Removal of Boron from Simulated Iraqi Surface Water by Electrocoagulation Method

Waleed M. Salih, Saadi K. Alnasri, and Ali Abdulameer Al Abdalaali

Environmental Engineering Department, Collage of Engineering, University of Baghdad

Abstract

The removal of boron from aqueous solution was carried out by electrocoagulation (EC) using magnesium electrodes as anode and stainless steel electrodes as cathode. Several operating parameters on the removal efficiency of boron were investigated, such as initial pH, current density, initial boron ion concentration, NaCl concentration, spacing between electrodes, electrode material, and presence of carbonate concentration. The optimum removal efficiency of 91. 5 % was achieved at a current density of 3 mA/cm^2 and pH = 7 using (Mg/St. St.) electrodes, within 45 min of operating time. The concentration of NaCl was o. 1 g/l with a 0.5cm spacing between the electrodes.

First and second order rate equation were applied to study adsorption kinetics. The adsorption process follows second order kinetic model with good correlation. The energy consumption was evaluated for the optimum operating conditions. It was in the range of 1.296 to 1.944 Kwh/m^3. The overall expected increase in the operating cost of water treatment using membrane desalination facility (for example) will be about 20%.

Keywords: Boron removal, Electrocoagulation, Water treatment, Mg electrode, pH.

الخلاصة

في هذا البحث استخدمة طريقة التخثير الكهربائي لمعالجة الماء الملوث بالبورون وباستخدام اقطاب انود من المغنسيوم كمخثر واقطاب كاثود من الحديد المقاوم . خلية تخثير بحجم 1.5 لتر قد استخدمت ايضا في العمل.

تم دراسة العديد من العوامل المؤثرة على عملية معالجة المياه الملوثة بالبورون وكانت هذه العوامل كالتالي: الدالة الحامضية، كثافة التيار، التركيز الاولي للبورون، تركيز كلوريد الصوديوم، المسافة بين الاقطاب، نوعية الاقطاب، وتركيز ايونات الكاربونيت. ومن النتائج تبين ان الازالة المثلي كانت 91.2% و قد تحققت بزمن 45 دقيقة بدالة حامضة تساوي 7 و كثافة تيار قدرها 3ملي امبير لكل سنتيميتر مربع وباستخدام اقطاب المغنسيوم. وبتركيز كلوريد صوديوم يساوي 0.1 ملغرام / لتر ومسافة 0.5 سنتيميتر بين الاقطاب. كما وقد تم دراسة كلفة استهلاك الطاقة في الضروف المثلى للازالة ، وقد كان استهلاك الطاقة يتراوح بين 1.296 الى 1.944 كيلو واط .ساعة/ متر مكعب

1. Introduction

Recently boron has come to the forefront as a possible drinking water contaminant (WHO, 2008). Due to the increasing demand of water in both potable use and for Irrigation, coupled with a decrease of suitable water sources, suppliers have to use alternatives such as sea water. By using those alternative sources more trace contaminants start to appear in the final product. One of these is boron. Boron (B), an inorganic compound, is a non-volatile metalloid that is ubiquitous in the environment in compounds called borates. Common borates include boron oxide, boric acid, and borax (USEPA, 2008). Boron could be released into the environment by both natural weathering processes and anthropic sources **(**Yonglan et al, 2008)**.**

Concentrations of boron vary widely and depend on the surrounding geology and wastewater discharges. Boron compounds are used in the manufacture of a variety of industrial products such as glass and porcelain, wire drawing, leather production, carpets, cosmetics, detergents, food preservatives, photographic chemicals, fireproofing fabrics and weather proofing for woods **(**Nihal et al, 2004)**.** During these processes many boron compounds are introduced into the environment as a waste.

Short and long term oral exposures to boric acid or borax in laboratory animals have demonstrated that the male reproductive tract is a consistent target of toxicity (WHO, 2008). According to the WHO and Iraqi drinking water guideline for 2009, boron levels in drinking water have to be limited to 0.5 mg/l.

There is no easy or simple method for the removal of boron from water and wastewater (Kabay, 2010). Technologies for boron removal include conventional and advanced treatment technologies such as, chemical precipitation, ion exchange, reverse osmosis (RO), adsorption with Activated carbon (AC), Electrodialysis (ED) and etc. These methods have disadvantages such as using large quantities of chemicals and generating large volume of sludge causing disposal problems. Therefore there is a need to find more efficient method to remove boron from water.

In recent years, the level of fresh water flowing into Shatt Al-Arab from Euphrates and Tigris rivers has declined, so salt and boron containing-water from the Arabian Gulf has increasingly poured in. This resulted in a problem to the water treatment plants in the south of Iraq because they use conventional methods for water treatment which are not effective for boron reduction as previously mentioned.

Researches had been done to remove boron from water and wastewater using EC method with different types of electrodes materials. Nihal et al., 2004 investigated the feasibility of boron removal from wastewater using EC with aluminum electrodes. The process was examined under various factors in order to assess optimal operating conditions. They showed that boron removal by EC process depends on current density, initial concentration and time. Removal of 92-96% was achieved under a current density of 30 mA/cm². Erden et al., 2007 provided a quantitative comparison of EC and Chemical Coagulation (CC) approaches based on boron removal. Comparison was done with the same amount of coagulant between EC and CC processes. Although, all operational parameters were same in EC and CC, boron removal efficiency between each treatment processes was a quite different. Boron removal efficiency for EC and CC were 94% and 24%, respectively. Subramanyan et al., 2010 optimized the process parameters for the removal of boron from drinking water by EC. The results showed that a maximum removal efficiency of 97.3% was achieved at a current density of 50 A/m² and pH of 7 using magnesium at the anode and stainless steel as the cathode.

This work aims to evaluate the effectiveness of EC process to remove boron from water using Magnesium/ St.St. electrodes and determine the effects of various operating parameters on the removal efficiency such as initial boron concentration, initial pH, current density, gap between electrodes, sodium chloride concentration, and time.

2. Electrocoagulation Mechanism

EC is a complicated process involving many chemical and physical phenomena that use sacrificial electrodes, such as Al, Fe and others, to supply ions into the water (Christos et al, 2010). In the EC process the coagulants generates in situ by dissolving electrically the consumable electrodes (Fe/Al). The metal ions generation takes place at the anode; hydrogen gas is released from the cathode (Lawrence, et al, 2007). In the EC process current is passed through a metal electrode, oxidizing the metal (M) to its (M^{n+}) at the anode.

$$M \longrightarrow M^{n+} + ne^{-} \qquad (1)$$

At the cathode side, hydrogen gas (H_2) and the hydroxyl ion (OH^-) are generated by reducing the water.

$$2H_2O + 2e^{-} \longrightarrow 2\,OH^{-} + H_2(g) \qquad (2)$$

(Holt et al, 1999).

In the solution, the metal cations resulted from the anode oxidation combine with hydroxyl ion (OH^-) resulting from water to form highly charged coagulant. In the case of Aluminum anode, the Al^{3+} reacts with H_2O to form $Al(OH)_3$, and in the case of magnesium anode the Mg^{2+} reacts with H_2O to form $Mg(OH)_2$.

The destabilization mechanism of the contaminant, particulate suspension, and breaking of emulsion may be summarized as follows (Christos et al, 2010).

1- Compression of the diffuse double layer around the charged species by the interactions of ions generated by oxidation of the sacrificial anode.
2- Charge neutralization of the ionic species in the wastewater by counter ions produced by the electrochemical dissolution of the sacrificial anode.
3- Floc formation.

3. Experimental Apparatus & Procedures

Fig 1 shows the EC cell consisted of a 1.5-L Plexiglas vessel. Magnesium electrodes of surface area (240 cm^2) acted as the anode. The cathodes were stainless steel of the same size as the anode. A regulated direct current (DC) was supplied from a rectifier (5 A, 0–25 V).

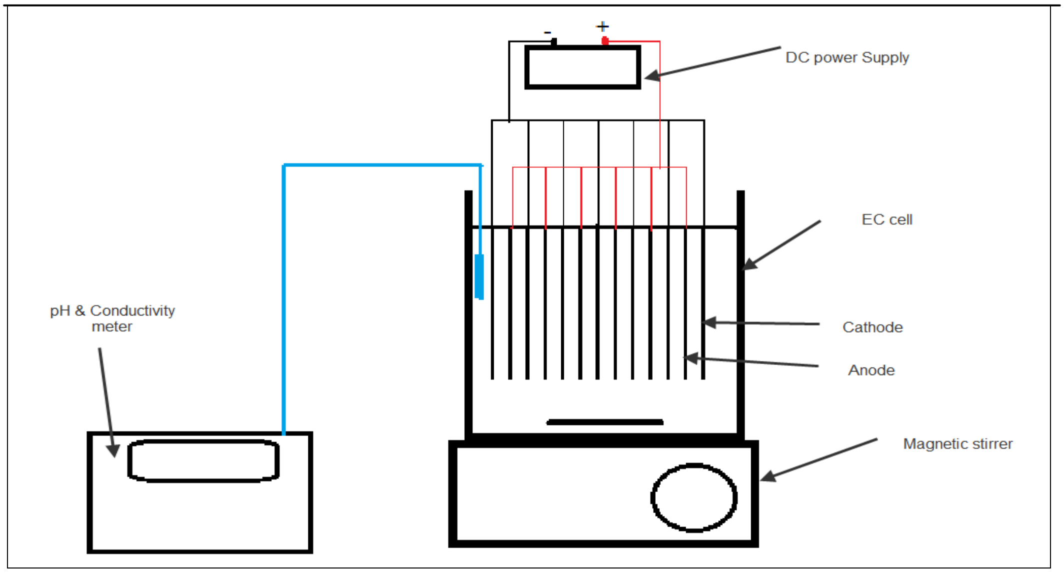


Figure 1: Schematic diagram of EC cell.

Boric acid H_3BO_3 was dissolved in distilled water for the required concentration. The solution of 1.5 L was used for each experiment as the electrolyte. The pH of the electrolyte was adjusted, if required, with 1 mol/L HCl or NaOH solutions before adsorption experiments. Electrolytic cell with monopolar electrodes in parallel connections has been used with an interelectrode distance varying from 0. 5 cm to 1 cm depending on each experiment conditions.

The magnesium electrode was weighed before and after each experiment to determine the amount of magnesium loss of each experiment. Before each experiment, the conductivity of the solution was adjusted with NaCl. During the experiments, the solution in the EC unit was stirred at 120 rpm by a magnetic stirrer with an Initial temperature of 22 ^{o}C.

Each run was timed starting with the DC power supply switching on. During the experiments, anodic dissolution occurred and hydrogen gas was produced at the cathode. Samples of 10 ml were taken during each experiment at different time to be filtered and then analyzed using atomic absorption spectrometer. Samples were analyzed at the civil Engineering labs at Dalhousie University in Canada. Each sample was taken from a distance between two electrodes and at fixed depth. After each run, the electrodes were washed and brushed then cleaned by ethanol to remove any solids accumulated on the electrode surface.

The operating conditions for each test run are summarized in Table 1. These operating conditions were optimized from preliminary tests and found out that they are the best conditions that give acceptable removal efficiency.

Table 1: Test runs plan summary for operating parameters.

Test run number	Test run description	pH	Boron conc. (mg/l)	Current density (mA/cm²)	NaCl conc. (g/l)	Spacing between electrodes cm	Carbonate conc. (mg/l)	Time (min)
1	Eff. of pH	3-10	5	3	0.1	0.5	0	0-120
2	Eff. of current	7	5	1-4	0.1	0.5	0	0-90
3	Eff. of B conc.	7	3-7	3	0.1	0.5	0	0-90
4	Eff. of NaCl conc.	7	5	3	0.01-0.2	0.5	0	0-90
5	Eff. of spacing	7	5	3	0.1	0.5-1	0	0-90
6	Eff. of carbonate	7	5	3	0.1	0.5	50-250	0-90

From other related research, it has concluded that the best stirring speeds are from 100 – 150. So, stirring speed of 120 rpm has kept constant during all the experiments.

4. Results and Discussion

4.1 Effect of Initial pH

pH of the solution plays an important role in the electrochemical and chemical coagulation process (Christos et al, 2010). In this study a set

of experiments were performed with initial pH in the range of (3-9), the test operating conditions are shown in Table 1. The maximum boron removal efficiency (99.59%) was obtained at pH of 7 within 120 min, which is neutral, from this it can be concluded that the majority of Mg coagulants are formed at this pH. The major complex that is formed at this pH maybe due to formation of $Mg(OH)_2$ which could be less soluble in water at pH of 7. However, that could be the reason of high boron removal percentage at this pH. This result is in agreement with the work of (Vasudevan et al, 2010). In which he indicated that the highest boron removal was obtained at pH of 7 because boron was present as $B(OH)_3$ and the formation of $Mg(OH)_2$ was high.

The results that show the effect of different pH values on removal efficiency of boron are shown in Fig 2

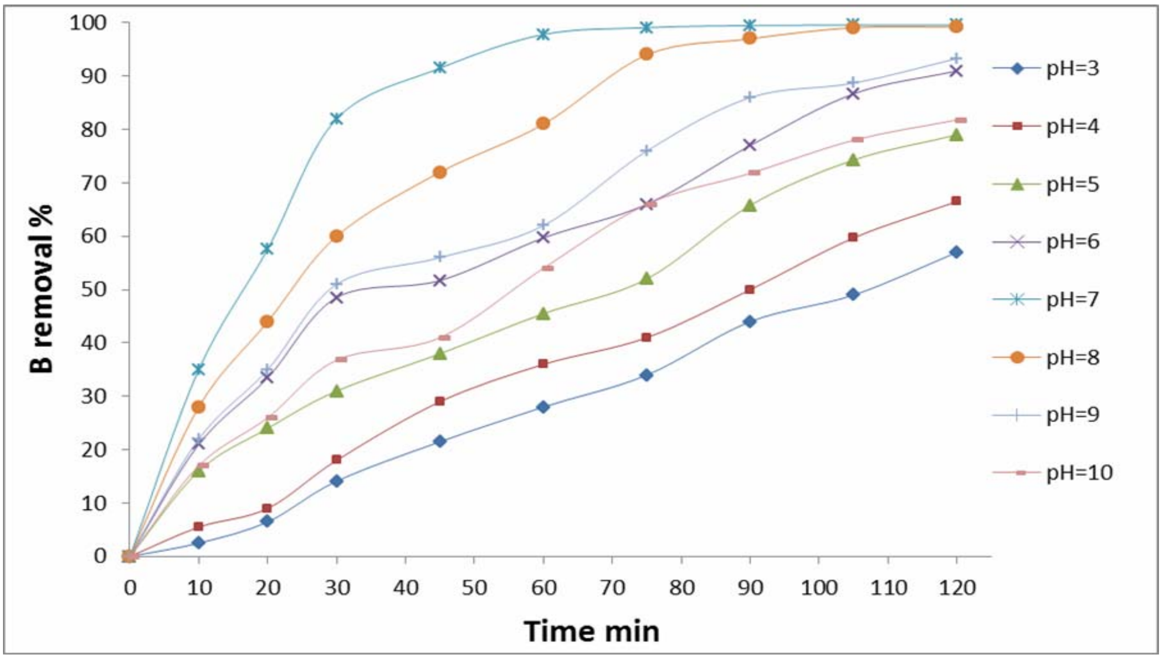


Figure 2: Boron removal efficiency with different pH values (Current density = 3mA/cm², [B]= 5 mg/l, [NaCl] = 0.1 g/l, gap = 0.5 cm, T = 22 °C, and stirring speed = 120 rpm).

4.2 Effect of Current Density

Current density is very important parameter that affects the EC process because it directly determines both coagulant dosage and bubble generation rates and strongly influences both solution mixing and mass transfer at the electrodes. So current density is the key operational parameter that affecting the system's response time and also influencing the dominant pollutant separation mode (Christos et al, 2010).

To examine the effect of current density on boron removal efficiency, a series of experiments were carried out with the current density being varied from 1 – 4 mA/cm². The test operating conditions are shown in Table 1. The results are depicted in Figure 3.

From the Figure it can be seen that the boron removal efficiency increases with the increase of current density. At high current densities, the generation of Mg ions increases due to the increase of anodic dissolution, resulting in a greater boron removal rates, indicating that the Adsorption depends up on the availability of binding sites for boron.

From Fig 3, it can be indicated that a current of 3mA/cm² gives B removal efficiency of 94%

which effectively reduces boron concentration to less than 0.5 mg/l. Any other increase in current density leads to increase in removal efficiency but it is not economically efficient due to high power consumption. A comparison between experimental and theoretical sacrificial magnesium anode consumption has been achieved by calculating the theoretical Mg loss from the anode using Faraday's equation and compared with those obtained experimentally. (Christos et al, 2010).

$$w = \frac{itM}{Nf}, \qquad \text{Faraday's law} \qquad (3)$$

Where:- w is the quantity of electrode material dissolved (g of M/cm²), i is the current density (A/cm²), t is the time in seconds, M is the relative molar mass of the electrode concerned, (M =56 for Fe, 27 for

Al, and 26. 3 for Mg), N is the number of electrons in oxidation/reduction reaction, (N=2 for Fe and Mg , N= 3 for Al), And f is the Faraday's constant, 96, 500 C/mol.

The comparison between theoretical and experimental amount of Mg dissolved in the electrolysis is shown in Figure 4.

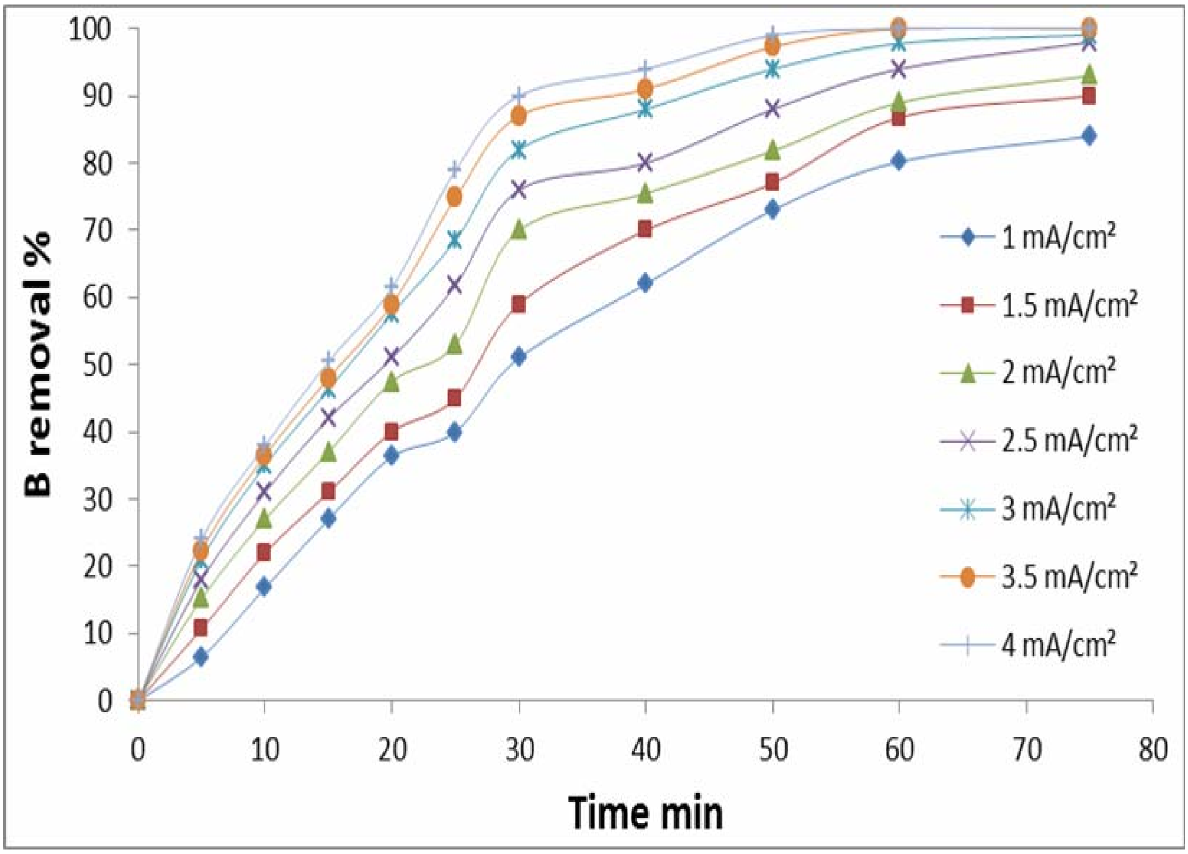


Figure 3: Effect of current density on boron removal efficiency. (pH = 7, [B]= 5 mg/l, [NaCl] = 0. 1 g/l, gap = 0. 5 cm, T = 22 °C, and stirring speed = 120 rpm).

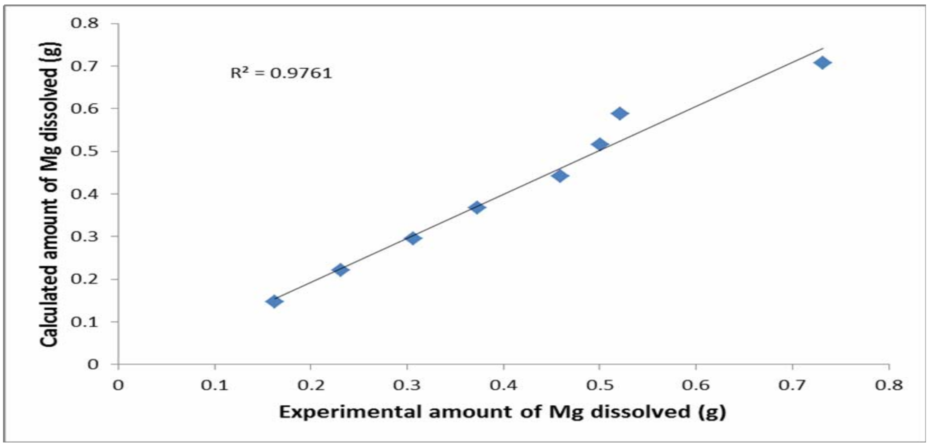


Figure 4: Measured Vs. calculated amount of Mg released from the anode

4.3 Effect of Initial Boron Concentration

The effect of initial boron concentration on boron removal was examined with solutions of boron concentrations ranging from 3-7 mg/l. The other test operating conditions are shown in Table 1. Fig 5 shows the boron removal efficiency with time for different initial boron Concentrations. From the results it can be seen That boron removal efficiency decreased with increasing boron concentration. This can be explained as follows; although the same amount Mg^{2+} passed to solution at the same current density for all boron concentration, Mg^{2+} was insufficient for solutions of higher B concentration.

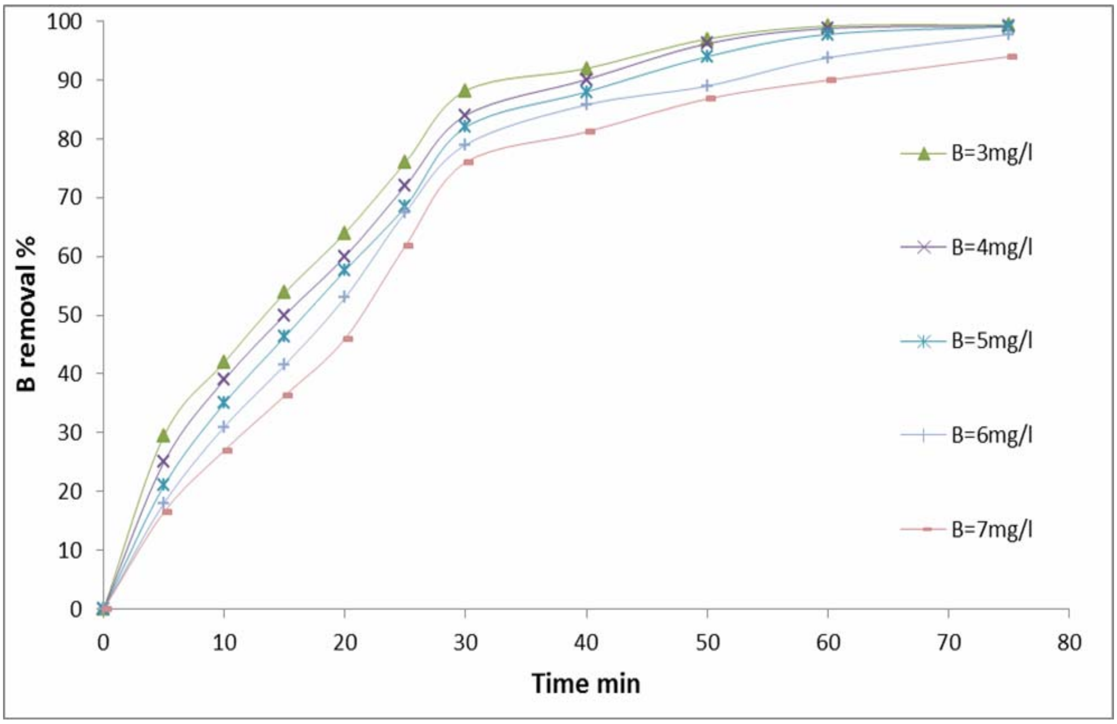


Figure 5: The Effect of initial boron concentration on Boron removal efficiency. (pH = 7, current = 3mA/cm², [NaCl] = 0. 1g/l, gap = 0. 5cm, T = 22 °C, and stirring speed = 120rpm).

4.4 Effect of Sodium Chloride Concentration

The effect of NaCl concentration on boron removal was examined with NaCl concentrations ranged between 0. 01 – 0. 2 g/l. the other test operating conditions is shown in Table 1. As expected, the obtained results showed that boron removal increased with increasing concentration of sodium chloride because of the increase in solution conductivity.

In addition, the energy consumption decreased with increasing concentration of sodium chloride due to potential decrease under constant current density. The results obtained from the experimental work are shown graphically in Fig 6.

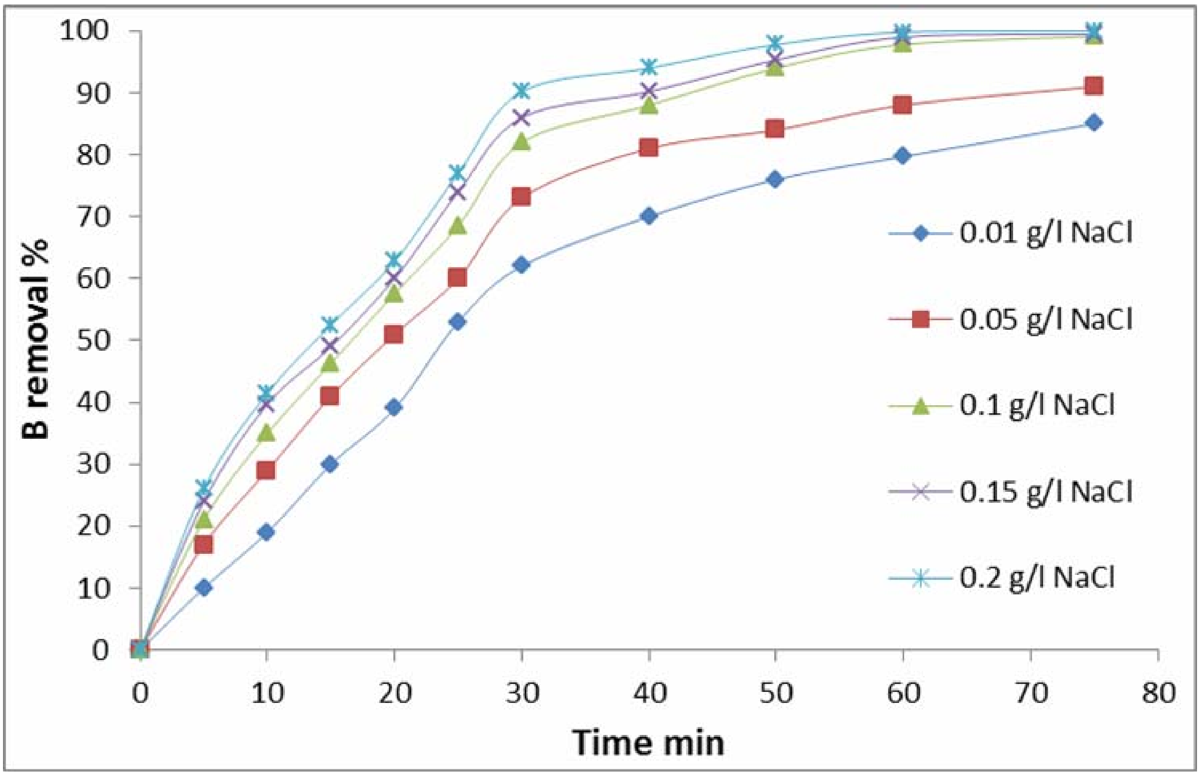


Figure 6: Relationship between B removal efficiency and time with different NaCl concentrations. (pH = 7, current = 3 mA/cm², [B] = 5 mg/l, gap = 0.5 cm, T = 22 °C, and stirring speed = 120 rpm).

4.5 Effect of Spacing between Electrodes

The effect interelectrode spacing on boron removal was investigated with spaces of 0.5, 0.75, and 1cm. The other operating conditions are shown in Table 1. It can be seen from Figure 7 that the removal efficiency increases with the decrease of space between electrodes while the highest removal efficiency of 99.1% was obtained at gap of 0.5 cm after 75 min. This can be explained that decreasing the space between electrodes results in low resistance through the solution which in effect results in increasing the rate of magnesium dissolution and Mg^{2+} releases and consequently leads to more boron removal from the solution. On the other hand, decreasing the space could enhance the flotation process by limiting the generated bubbles in a narrow space which results in higher removal efficiencies.

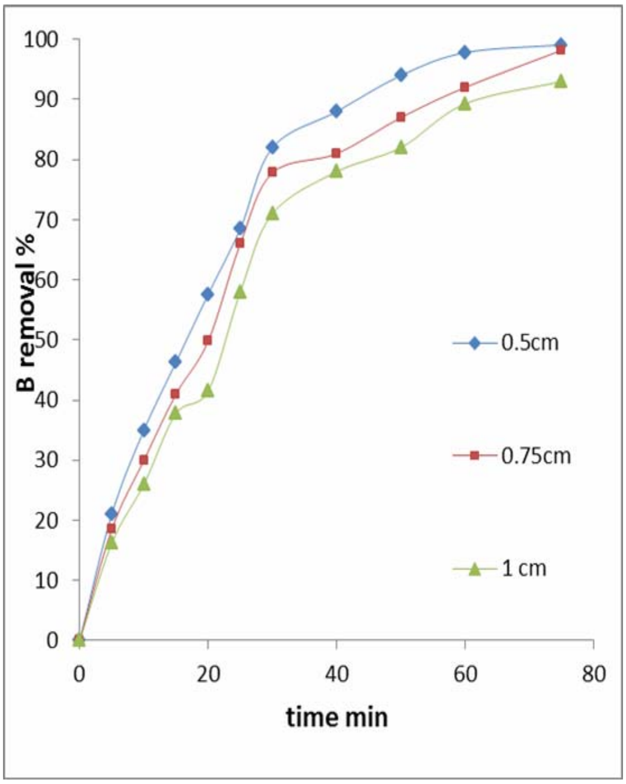


Figure 7: Effect of interelectrode spacing on boron removal efficiency

4.6 Effect of Electrode Material

A set of experiments were carried out using aluminum electrodes with the same dimensions and active area of the magnesium electrodes to

investigate the effect of different electrode material on boron removal efficiency. The operating conditions were maintained the same As when magnesium electrodes were used in the previous experiments. The operating conditions were: current density of 3 mA/cm², pH = 7, boron concentration of 5 mg/l, NaCl concentration of 100 mg/l, and interelectrode spacing of 0.5 cm.

Figure 8 shows that using Al electrodes is more efficient than Mg electrodes for the same operating conditions, although both electrodes reach the same maximum efficiency within 80 min. This could be happened because that the positive charge of Al ions (Al^{3+}) is higher than the charge of Mg ions (Mg^{2+}) which leads to more sorption affinity on pollutant colloids for Al ions.

The reason of using Mg electrodes instead of Al electrodes in the boron removal from drinking water is the high residual of aluminum in treated water, which can create health problems. In the case of Mg electrodes, there is no such disadvantage. The maximum allowed concentration of Al in drinking water is 0.2 mg/l while it is 100 mg/l for Mg **(**Iraqi specifications for drinking water, 2009)**.**

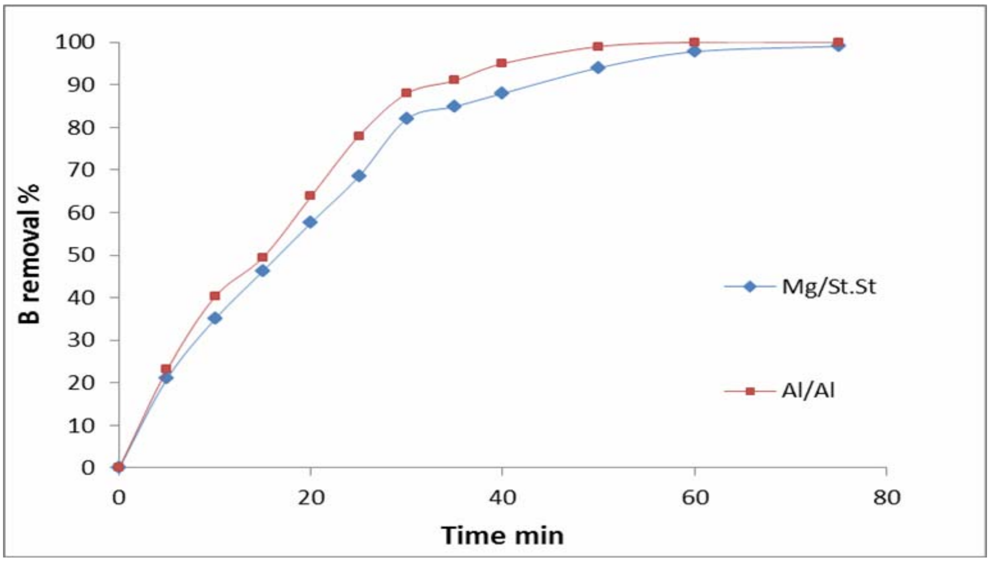


Figure 8: Effect of electrode material on boron removal efficiency

4.7 Effect of Coexisting Anions (Carbonate).

To investigate carbonate anions on boron removal a set of experimental series were conducted with different carbonate concentrations of 50, 100, 150, 200, and 250 mg/l. the other operating conditions are shown in Table 1. Figure 9 shows the effect of different carbonate concentrations on boron removal efficiency. The results indicate that carbonate anions have a significant effect on boron removal efficiency. This could be due to passivation of the anode and reducing dissolution of the anode.

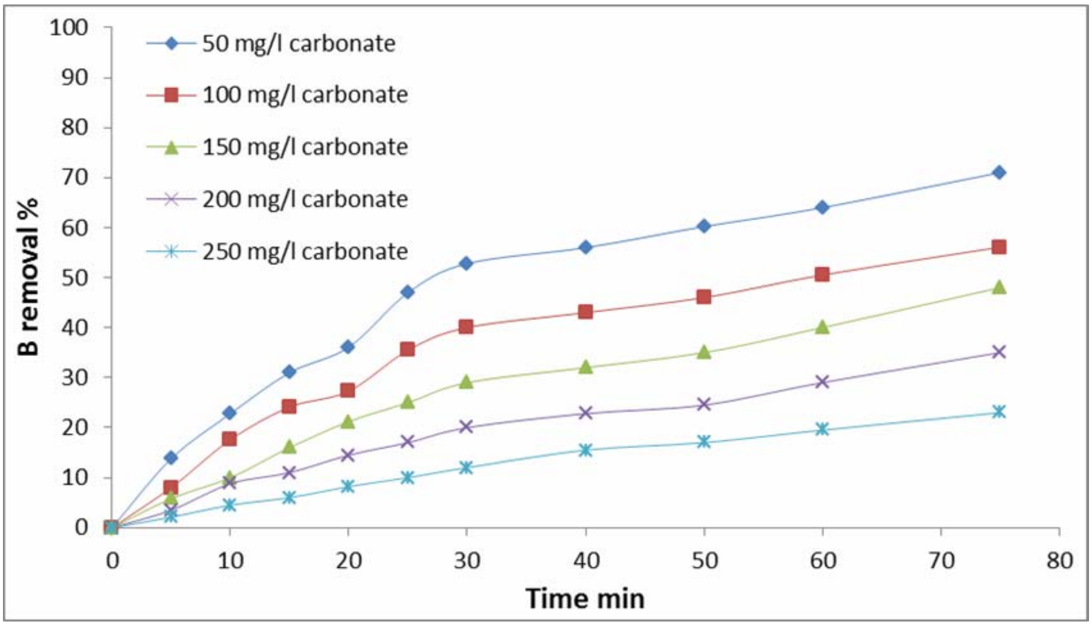


Figure 9: Effect of different carbonate concentration on B removal efficiency

4.8 Studies of Adsorption Kinetics

The kinetics of adsorption of boron is analyzed using first-order and second-order Lagergen rate equations. (Azizian, 2004).
The pseudo-first-order rate equation is

$$\frac{dq}{dt} = k_1 (q_e - q) \qquad (4)$$

Integrating Eq. (4) for the boundary conditions *t* = 0 to *t* = *t* and *q* = 0 to *q* = *q* gives

$$ln \frac{(q_e - q)}{q_e} = -k_1 t \qquad (5)$$

Where: *q* and *qe* are the grams of solute sorbed per gram of sorbent at any time and at equilibrium, respectively, and k_1 is the rate constant of first-order sorption.
Another model for the analysis of sorption kinetics is pseudo-second-order. The rate law for this system is expressed as

$$\frac{dq}{dt} = k_2 (q_e - q)^2 \qquad (6)$$

Integrating Eq. (6), for the boundary conditions *t* = 0 to *t* = *t* and *q* = 0 to *q* = *q*, gives

$$\frac{1}{(q_e - q)} = \frac{1}{q_e} + k_2 t \qquad (7)$$

Where: k_2 is the pseudo-second-order rate constant of sorption.

Equation (7), can be rearranged to obtain a linear form,

$$\frac{t}{q} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \qquad (8)$$

The amount of boron adsorbed at equilibrium and the first-order rate constant (k_1) were calculated from the slope of the plots of $\ln \frac{qe-q}{qe}$ versus time (t). It was found that the calculated qe values do not agree with the experimental qe values.
To investigate the adsorption of boron using Lagergen second-order equation, t/qt versus time were plotted in Figure 10. The second order kinetic values of qe and k_2 were calculated from the slope and intercept of the plots t/qt vs. t.
Table 2 gives the computed results from first- and second-order kinetic models. For the second-order kinetics model the calculated experimental amount of boron adsorbed at equilibrium values agree better than those of the first order kinetic model, indicating that adsorption follows more closely the second-order kinetic model.

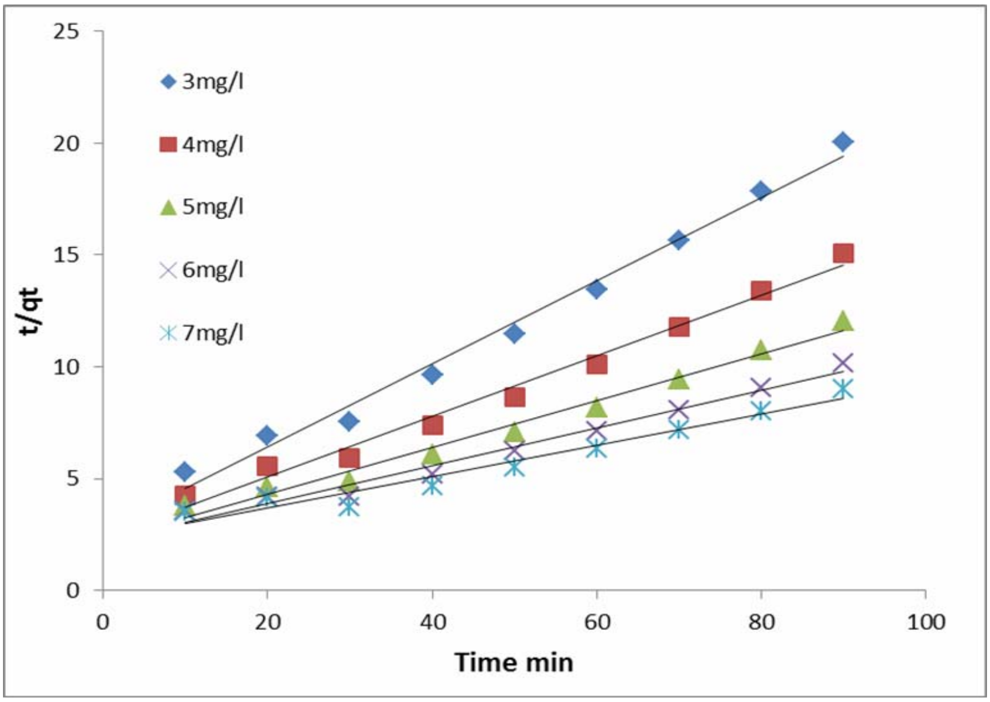


Figure 10: Second order kinetic model plot for different concentration of boron.

Table 2: Comparison between experimental and calculated qe values for different initial boron concentrations in first and second-order adsorption isotherm.

B conc mg/l	qe expt.	first order adsorption			second order adsorption		
		qe calc	K1 1/min	R^2	qe calc	k2 * 10^{-}⍰ 1/min	R^2
3	4.4955	7.7428	0.0859	0.9873	5.379	12.85	0.9884
4	5.976	21.8	0.1064	0.9171	7.3964	7.693	0.9857
5	7.4625	16.1213	0.08198	0.9768	9.5877	4.907	0.9822
6	8.874	15.8635	0.06747	0.9391	11.8906	3.1894	0.9771
7	9.9855	18.16	0.06632	0.9404	14.2247	2.162	0.9561

4. 9 Study of Cost of EC Process

The energy consumption was evaluated for the optimum operating conditions that obtained from the tests shown before. Ec (Kwh/m³) is calculated from the following equation. **(**Al Gurany, 2009)**.**

$$Ec = \eta IR I\, t / 1000V \qquad (9)$$

Where, ηIR is the potential drop across the solution (V), *I* is the electrolysis current (A), *t* is the electrolysis time (h), V is the volume of the solution treated (m³).

For current consumption of 3 mA/cm² (0.72 A in this thesis), voltage of 5.4 V, cell volume of 1.5 l, and 45 min operating time, the Ec is 1.944 Kwh/m³. If electric cost is estimated to be 0.06 $/kWh, then each m³ will cost extra 11 cents for only the electric consumption. There are also other costs, such as sludge movement, magnesium material costs, maintenance, etc.

The overall expected increase in the operating cost of water treatment using membrane desalination facility (for example) will be about 20%. Water samples were taken from two water treatment plants at Shat Al-Arab then these samples were tested. The results showed that the treated water comes from the treatment plants has high salinity reaches up to thousands of mg/l. Although water salinity is not preferred in drinking water, it enhances the EC process by increasing the solution conductivity which leads to less treatment cost by reducing the operating time. Fig 11 shows how more salty water gives higher removal efficiencies.

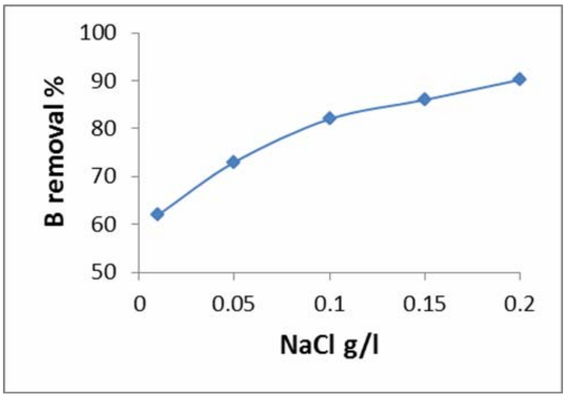


Figure 11: The effect of NaCl concentration of B removal efficiency (30min)

This Figure shows that using a concentration of 200 mg/l of NaCl instead of 100 mg/l gives 90.2% removal efficiency at 30 min. This removal efficiency reduces B level from 5 mg/l to 0.49 mg/l, which is within the drinking water guidelines. So that, using 200 mg/l NaCl reduces the cost of EC process by time reduction. Operating time of 30 min gives Ec equal to 1.296 Kwh/m³. In this case the EC cost will be 7.7 cents instead of 11 cents for only the electric consumption.

5. Conclusions

Experiments have been carried out to determine the best operating conditions which give an acceptable boron removal with the lowest time and cost.

1- The results showed that the optimized boron removal efficiency of 91.5% was achieved at a current of 3mA/cm², pH of 7, NaCl = 0. 1g/l, time = 45min, electrode spacing = 0.5cm, at a stirring speed of 120rpm, and temperature equal to 22°C, using magnesium electrodes as anode and stainless steel electrodes as cathode.

2- Although, aluminum electrodes gave more boron removal efficiency than magnesium electrodes, the use of magnesium electrodes in drinking water treatment is preferred because of the high Al ions residual in the treated water which may lead to some health problems.

3- It was clearly indicated that the boron removal efficiency of 91.5% was achieved from the generation of magnesium hydroxide in the EC cell. The magnesium hydroxide removes boron presents in the water and reduces the boron concentration to less than 0.5 mg/l, and makes it within the acceptable range for drinking water as mentioned by WHO guidelines for boron.

4- The effect of carbonate anions concentration on boron removal also was studied and the result showed a significant effect on the removal efficiency when the carbonate concentration is high, which could be caused by the passivation of the anode causing reduction in anode dissolution.

5- From an experimental study of boron adsorption kinetics, it was found that the boron adsorption process follows Lagerange second-order kinetics rather than first-order kinetics.

References

Al Gurany, A. J. M., Separation of oil from O/W emulsion by electroflotation technique, MSc. Thesis, University of Baghdad, 2009.

Christos C. and G. Chen, Electrochemistry for the Environment, Springer, New York, 2010, pp. 245-262.

Iraqi specifications for drinking water, 2009.

Kabay, N., Boron in seawater and methods for its separation — A review, Desalination 2010, doi:10. 1016/j. desal. 2010. 05. 033

5.Lawrence K. , Yung Tse, Nazih K. , Advanced Physicochemical Treatment Technologies, Humana Press, Totowa, New Jersey, 2007, pp. 64-65.

Nihal Bektas¸S. Oncel · H. Y. Akbulut, A. Dimoglo, Removal of boron by electrocoagulation, Environ Chem Lett, 2004, pp. 2:51–5.

Peter Holt, Geoffrey Barton, Cynthia Mitchell, EC as a wastewater treatment, The Third Annual Australian Environmental Engineering Research Event. 23-26 November Castlemaine, Victoria, 1999.

Saeid Azizian, Kinetic models of sorption: a theoretical analysis, Journal of Colloid and Interface Science 276 2004, pp. 47–52.

Subramanyan Vasudevan, Jothinathan Lakshmi, Sagayaraj Margrat Sheela, Optimization of the process parameters for the removal of boron from drinking water by electrocoagulation – a clean technology, J Chem Technol Biotechnol (2010), DOI 10. 1002/jctb. 2382.

USEPA. 2008. Regulatory Determinations Support Document for Selected Contaminants from the Second Drinking Water Contaminant Candidate List (CCL 2). EPA Report 815-R-08-012. June.

World Health Organization, Guidelines for Drinking-Water Quality, 3nd ed. , pp. 313, 314; Geneva, 2008.

12.Yonglan Xu and Jia-Qian Jiang, Technologies for Boron Removal, Ind. Eng. Chem. Res. 2008, 47, pp. 16-24.

13. Yilmaz A. E., Recep Boncukcuo˘glu, Muhtar Kocakerim M., A quantitative comparison between electrocoagulation and chemical coagulation for boron removal from boron-containing solution, Journal of Hazardous Materials, 2007, 149, pp. 475–481.

أثْر السياسةَ على فكرِ العِمارة

دراسة وصفية تحليلية لتأثير الايديولوجية السياسية على مُنجز العمارة، مدينة برلين إنموذجاً

إعداد الباحث:

ضرغام مزهر كريم العبيدي

الخلاصة:

يتقصى البحث موضوع تأثير السياسة وتوجهاتها على فكر العمارة ومنجزاته، وكيف يمكن أن يؤثر هذا النظام السياسي المتحكم في ميادين الحياة المختلفة في المجتمعات ومنها العمارة والتصميم الحضري. إذ يتم صياغة المشكلة البحثية بـ: عدم وضوح تأثيرات التوجهات الايديولوجية والقومية للحزب النازي على العمارة والتصميم الحضري لمدينة برلين، ومن ثم يتم تحديد اهداف البحث، انتقالاً لمناقشة مفهومي السياسة والعمارة وعلاقتهما بمفهوم الفكر الذي يؤدي دوره في عملية التصميم التي تعمل على تهيئة وانجاز البيئات الحضرية المناسبة لتلك المجتمعات. بعدها يتم دراسة وتحليل فكر الحزب النازي، مفاهيمه ومعتقداته القومية، وعلاقتها بتجديد مدينة برلين كمثال على ذلك، انتهاءا بتقديم المناقشة والاستنتاجات.

The Influence of Politics on Architectural Thought

A Descriptive and Analytical Study of the Effect of Political Ideology on the Achieved Architecture (Berlin City as an Example)

Prepare By:

DHIRGHAM MIZHER KAREEM ALOBAYDI

dhirghamalobaydi@yahoo.comE-Mail:

Abstract:

The research investigates the political effect and its directions on the architectural thoughts and its achievements and how can this political system affect all fields of life in communities including architectural urban design. The problem of the research lies in the ambiguity effects of the ideological national directions of the Nazi Party on the architecture and urban design of the city of Berlin, then determining the aims of the research to discuss the concepts of politics and architecture and their relation to the way of thinking that plays a role in the process of design that works on property and achieving the suitable urban environments for those communities. After that, the Nazi's party's thought would be studied and analyzed, its concepts, public beliefs and its relation with renewing the city of Berlin as an example, to finish with introducing the conclusions.

الكلمات الرئيسية: التصميم الحضري Urban Design، القرارالسياسي Political Decision، تغير Change، حركة ميتابولزم Metabolism، رمزي Symbolic، تصميم Design.

1. الاطار النظري للبحث:

1.1 المقدمة:

يحتوي تاريخ نتاجات العمارة على فترات متعددة مثلت مناطق للتغير الايديولوجي والفكري، اذ حدث على مستوى الجوهر الذي تمثل لاحقا في تشكيل نمط حضاري مختلف ومتميز عن سابقه، ضمن تسلسل التاريخ لنمو وتطور الفكر المعماري. وبطبيعة الحال فان ما يحدث في المجتمع من تغيرات سياسية وفكرية وعلمية واجتماعية لابد ان تجد لها تمثيل في المجال المعماري وبطبيعة الحال التصميم الحضري، ومن ثم تحدث في العمارة تغيرا مماثلا لما حدث في فكر المجتمع. اذ تصبح العمارة هي الهوية لذلك الفكر السياسي او الاقتصادي او الاجتماعي ثم ُتجسد أهم احداثه، فضلا عن كونها مؤشراً تاريخياً وحقيقياً لتلك الفترة من حياة المجتمع.

يتناول البحث مفهوم السياسة وتاثيره على الفكر المعماري، فهي لاتقتصر على فن الادارة والحكم بل تشمل توجيه التخطيط والاقتصاد، وتوجيه القضايا الاجتماعية كافة، فضلا عن رعاية الثقافة وغيرها من مستويات الوجود الاجتماعي في البيئات الانسانية. لذا يفهم البعض بأن الاستحواذ عليها هو استحواذا على المجتمع ونتاجه التاريخي ومنه العمارة.

يبدو ان الايديولوجيات السياسية الكبرى التي انتشرت انتشاراً واسعاً في المجتمعات الحديثة (كالـ: الليبرالية والاشتراكية ...) قد حلت بالتدريج محل رؤى العالم القديمة، كفكرة الخلاص بمدلولها المسيحي الى فكرة الخلاص بمدلولها التاريخي، والتي تأخذ طابع فكر جماعي أرضي، يؤطر فكر الجماهير العريضة، ويقدم لها معناً جديداً للتاريخ، وتصوراً جديداً للمجتمع، ويحول آمالها وطموحاتها الى مشاعر تاريخية في التنمية والتطوير والتغيير وتحقيق العدالة الاجتماعية (سبيلا،2000، ص25).

توجد اليوم أزمة الثقافة في العالم بشكل عام وفي الغرب بشكل خاص والطريقة التي نحيا بها فضلا عن وجود ازمة اخرى في العمارة والتصميم الحضري، واحيانا كثيرة يتم تَسييسنا معها، فالمجتمع عموما مضطرب ويفتقر السياسيون والمعماريون فيه الى التوجه، فأرادو ان يبلوروا الطموح الامثل ويجسدوا الامل الاكبر الا انهم ترددوا لما سيظهر من ابنية وتجمعات كتلية تكون هياكل مميزة تحوي الحياة اليومية، والانشطة الاجتماعية في المدينة وتؤرخها ضمن رصيدها الثقافي والتاريخي (جينكس،ص25).

فالعمارة تعكس المجتمع وتهتم بذلك، وهي المرآة التي تعرض عليها اليوم الآف التصورات والنظريات المختلفة، بعضها جيد جدا والآخر غير جيد. لقد فقد عصرنا تدريجيا نفسية المجتمع الموحد وجذوره وايمان المحدثين بتقدم الماركسية والاشتراكية الى انتصار الرآسمالية. وابتداء حقبة الشبكة العالمية المعلوماتية، التي غيرت العالم الى قرية صغيرة يمكن توجيهها بسهولة. إذ أُلغيت التقاليد والاعراف وأنحسرت، فما الذي يجب عمله؟ لا يمكن

ان نسال هذا السؤال بدون نظرة تهكمية على التاريخ. ويعاد السؤال اليوم كأنما يدعو لابعاد الشك.

فما هي الحياة المدنية اليومية؟ وماهي قناعاتها المشتركة في تجمعاتها الحضرية؟ ان المعماريين اكثر من اي اختصاصيين آخرين يدفعون للقلق حول بعض الاسئلة والاسباب الواضحة للعيان وهي ان منجزهم ضروري جداً للعامة. فالكُتاب والسياسيون قد يغضبون من المعاني الآنية لمنجزاتهم، ولكنها تأتي وتذهب مع الظروف المحيطة بوضعهم في ذلك الوقت، وليست كالعمارة؟ التي يكون منجزها مؤثراً في إشغال الفضاءات والاستحواذ عليها ومنع الاختيارات او البدائل الاخرى. فما هو الفكر الذي كان وراء هذا الإشغال لتلك الفضاءات؟ وما هي السياسات الايديولوجية والتوجهات التي منعت الاختيارات الاخرى!! ولذا ستظهر لنا المشكلة (المسألة) العامة لهذا الموضوع انتقالاً الى المشكلة الخاصة والبحثية، ومن ثم تحديد اهداف البحث، على النحو الآتي:

2.1 المشكلة العامة: عدم وضوح حدود واشكال العلاقة بين مفهوم السياسة والفكر من جهة ومفهوم العمارة والفكر من جهة اخرى في البيئات الاجتماعية.

3.1 المشكلة الخاصة: غياب التصور العلمي الواضح عن طبيعة تأثير السياسة على فكر العمارة والتصميم الحضري للمجتمعات الانسانية في المدن.

4.1 المشكلة البحثية: عدم وضوح تأثيرات التوجهات الايديولوجية والقومية للحزب النازي على فكر العمارة والتصميم الحضري لمدينة برلين.

5.1 أهداف البحث:

أ. الكشف عن طبيعة تأثير السياسة على فكر العمارة والتصميم الحضري للمدن وما يتم إنجازه من خلالِهما، في المجتمعات الانسانية.

ب. بيان دور فكر العمارة وموقعه بالنسبة لغايات السياسيين وكيفية تمثيله للهوية الاجتماعية لتلك المجتمعات الانسانية عن طريق عملية التصميم وما تُنجزه من انماط الانتاج التاريخية.

ج. إيضاح تأثير الايديولوجيا والتوجهات السياسية على تشكيل الهيئة الحضرية في المدن، من حيث التخطيط والمقياس ومواد البناء.

من اجل تحقيق الاهداف اعلاه، علينا تقصي حدود واشكال العلاقة بين مفاهيم السياسة والعمارة والفكر المتوسط بينهما من خلال فعل التفكير المرتبط بعملية التصميم، والتي يتطرق اليها البحث في هذا الموضوع، ولذا فعلينا اولاً ان نتعرف على معاني هذه المفردات واستعمالها، فضلاً عن طبيعة العلاقة الرابطة بينها بشكليها المنفصل والمتصل

من حيث انتاج التاريخ المعماري، ابنية معمارية وبيئات حضرية للعديد من المجتمعات الانسانية...

6.1 السياسة:

بالمعنى العام هي العلاقة بين مختلف مفاصل الكل الاجتماعي، فهي الموجه لهذا الكل، وبمعنى خاص: هي فن إدارة وتدبير مسار هذا الكل الاجتماعي. والسياسة هي رهان اجتماعي كلي حول حيازة الموارد والرموز، وهذا ما يعطي نوعا من الاولوية للمجال السياسي باعتباره الحل للازمات. وهو ما يضفي عليه طابع الصراع الفكري الايديولوجي والحربي احياناً (سبيلا،2000، ص19). ولايضاح هذا المفهوم بشكل تفصيلي وعلى قدر تعلقه بموضوع البحث، سنُوضح بعض جزئياته المهمة، وعلى النحو الأتي:

أ. إستراتيجيات السلطة:

اذا كانت الحرب هي السياسة بوسائل أخرى في رأي كلاوزفتز، فإن السياسة بدورها هي الحرب بوسائل أخرى. من شأن هذا التعريف أن يظهر الوجه الحقيقي للسياسة ويبعد عنها أوجه التأويل المختلفة. انها فن ادارة الصراع بأساليب وادوات تمتد من العنف الفيزياوي الى العنف الرمزي. والصراع السياسي هو صراع حول الموارد الحاضرة والمستقبلية واحياناً الماضية لمجتمع معين. وكل سلطة تعرف أن لها حق التحكم في ثرواته المادية والرمزية فضلاً عن البشرية، وانها موضع تطلع الجميع، ورغم أنه يفترض أنها تمثل المجتمع، والمصلحة العامة، فان لديها حساً أولياً في التمييز بين مصلحتها (مصلحة السلطة) ومصلحة الدولة (المجتمع)، مما يدفعها الى الدمج بين مصلحتها في البقاء والاستمرار ومصالح الدولة (سبيلا، 2000، ص129-131).

بما ان السلطة تُدار من قبل نظام سياسي يحدد آلياتها وأدواتها في التحكم بموارد المجتمعات، اذن فالنظام السياسي المؤثر هو الذي لا يكتفي بتقديم الوعود بتنفيذ المطالب السياسية والاجتماعية والاقتصادية المطروحة بل يعد بتحقيق الآمال والاهداف الكبرى في الرقي والتقدم والحرية وغيرها... فهو يعلم أن عامل اليأس هو الموقد للثورة والتغيير! وان الامل هو العلاج الذي يمكن من استمرار الحياة حتى لو كانت صعبة وقاسية. والاداة الاساسية في هذا المجال هي: الخطابات والبلاغات واللغة المؤثرة عموماً في احياء امجاد الامة ومآثر ومناقب المجتمع التاريخية، والتي بطبيعة الحال تحتاج الى اماكن واسعة وفضاءات عامة وموجهة، لتجميع الجماهير اثناء القاء هذه الخطابات. ومن ثم يأتي دور وسائل الاعلام الحديثة في تبليغ هذه الوعود واشاعتها على نطاق واسع، وهنا لابد لنا من الذكر بان السياسة وايديولوجيتها وفقاً لهذا الطرح دفعت المعماري سبير للتفكير في تهيأت الفضاءات العامة والتكوينات الحضرية الموجهة فضلاً عن المنصات المعمارية التي استعملت لتحقيق الغايات المتعلقة بتعبئة الجماهير الالمانية من خلال الخطابات القومية والتي أصبحت من أهم المبادىء التصميمية

والتخطيطية في المدن الألمانية، وسيرد تفصيلها لاحقاً في موضوع العمارة النازية. لابد لنا الآن ان نفهم معنى وانواع هذا الخطاب؟ وماهي مضامينه التي على المجتمع التأثُر بها؟

النوع الأول (الخطاب السياسي اليوتوبي):

كل خطاب سياسي، سواء كان خطاب سلطة أو خطاب معارضة، يتضمن ويتعين أن يتضمن ليس فقط بعداً ايديولوجياً أي تبريرياً للواقع، بل وبالأساس بعداً يوتوبياً، أي وعدا بالانجازات السياسية على الارض. فأما التضخم الديمغرافي الهائل الذي ولدته الحداثة لم يعد امام اي خطاب سياسي، بحكم التوازن المختل بين التطور الاقتصادي والنمو الديمغرافي، الا ان يلجأ للوعود والمثل والمدن الفاضلة (سبيلا،2000، ص33). وذلك لان لدى الجماهير ميلا دفعيا الى التصديق عامة والى تصديق الوعود والانجازات التي تطلبها الجماهير على وجه الخصوص. بل كلما كان الواقع الاجتماعي سيئاً وقاسياً كلما تزايد الطلب الاجتماعي التعويضي للمثال واليوتوبيا.

النوع الثاني (الخطاب السياسي المعاصر):

بما ان اللغة ليست فقط اداة التواصل والتعبير والتبليغ والتوضيح بل ايضا اداة التمويه والمناورة، وهي الجوانب التي تتجاوزها التعريفات اللسانية للغة، اذن من الضروري الانتباه الى هذه الجوانب السلبية بجانب انتباهنا للوظائف الايجابية. فنحن نتعرض في كل لحظة لعمليات تكييف لآرائنا وللمعلومات المختلفة التي تستلمها اسماعنا واعيننا واذهاننا. فالقواعد التعبيرية او البلاغية (المضادة) التي تستأنس بها الخطابات السلطوية المعاصرة هي الاخفاء، والتجميل، والتبرير، والتشويه وحسب الحالات المطلوبة عند القاء الخطابات، وذلك انطلاقا من ان تغيير وتكييف فهم ووعي المتلقي يمر عبر تكييف المفردات والتعبيرات (سبيلا،2000، ص107). فاللغة تظل هي الإدارة المثلى المكيفة للوعي والحاملة بل المحملة اكثر من غيرها بكل الوان الايديولوجيا.

ب. السياسة ونمط انتاج التاريخ:

ترى العديد من الطروحات بان المجتمع ليس قائما فقط على انتاج وتوزيع الموارد المادية التي تُحكم وتُدار من قبل السياسين، بل ينظم المجتمع نشاطاتٍ اخرى معنوية ورمزية، في كل مجتمع هناك نمط من انتاج المعنى. الذي يُقسم بدوره الى اقسام عدة وبحسب طبيعة العلاقة المتعلقة بظروف ومقدمات الانتاج، فمن حيث علاقة انتاج المعنى بالمصدر نتحدث عن نمط مثالي (ديني) او عن نمط وضعي (دنيوي)، ومن حيث علاقة المعنى بالميادين او المجالات التي يطالها، نتحدث عن نمط انتاج فلسفي او اخلاقي او سياسي او ديني، ومن حيث علاقته بالفرد او المجتمع نتحدث عن نمط انتاج فردي للمعنى ونمط انتاج جماعي للمعنى، ونمط آخر

لتسويق المعنى، والذوات الفاعلة في انتاج المعنى (سبيلا،2000، ص52-53).

التاريخ ينتج اشياء عظيمة كالاهرامات والكنائس الفخمة والمساجد العظيمة والقصور والمدارس والمصانع والتماثيل وكل ما يجسد امجاد الامم وتاريخها، لكن يقابل هذا الوجه المشرق وجهاً اخر قاتماً تمثله اشكال الدمار؟ الذي تخلفه الحروب. والوجه المشرق للتاريخ هو الذي يغطي عادة على نصفه الاخر. فمن الذي ينجز هذا الوجه المشرق من التاريخ؟ اذ نتحدث هنا عن الذين ساهموا في صناعة وصياغة احداث تاريخية كبرى، وهم الذين ينتجون المجتمع والتاريخ، بقدر ماينتجهم المجتمع والتاريخ. منهم العقول الكبيرة. المتطلعة الى عظائم الافعال. لاننا هنابصدد الحديث عن علاقة التاريخ بفاعليه او مفعوليه.

فاننا نتساءل: هل هناك نمط جماهيري اجتماعي في انتاج التاريخ؟ هل الجماهير قائدة ام مقودة؟ وهنا تختلف التفسيرات تماما وتتداخل. فهناك من يرى الجماهير كأداة يستخدمها السياسي عندما يريد، لانها لا تفكر بل تنفعل وتثار والفرد (المتميز) وحده هو الذي يفكر ويوجه ويقرر تطلعاتها. وآخر يرى بان الجماهير هي التي تلهم قادتها، وان هؤلاء يستلهمون هموم وآمال الجماهير ويصغون لصوتها الباطن ويوجهون التاريخ في الوجهة التي تخدم آمال الامة وتنهي الآمها. فالتاريخ الذي لا تصنعه الجماهير ولا تشارك في صياغته هو تاريخ منحرف او آيل الى الانحراف لان الأفراد، مهما كان سموهم، معرضون لضغط النزوات واغراء الرغبات والاهواء (سبيلا،2000، ص54). فالجماهير هي ضمانة اتجاه التاريخ في صالح الجميع لا في صالح فرد واحد. والسؤال الذي سنجيب عليه في موضوع العمارة النازية، لاحقاً: "هل العمارة النازية عمارة هتلارية أم عمارة ألمانية"؟

ومما تقدم اعلاه فان الواقع وتفاعلاته الاجتماعية والفكرية هو الذي يعطي السياسة الامتياز في تحديد نمط انتاج التاريخ. لذلك فإن تحليل بنية السياسة في كل مجتمع والقوى الفاعلة او المتحكمة فيه، والقيم الايديولوجية السائدة فيه كفيل بان يعطينا فكرة كافية على نمط انتاج التاريخ في هذا المجتمع متمثلا في ابنية عمائره العظيمة وتكويناتها الحضرية المُميزة.

ج. النظام الشمولي.

عرفت المجتمعات القديمة ظاهرة الاستبداد السياسي باشكال متفاوتة، الا ان العصر الحديث، وبالضبط القرن العشربن، شهد ظاهرة فريدة في تاريخ البشرية، وهي ظاهرة الانظمة الشمولية في الغرب اولا ثم في بقية العالم ثانيا. وتتميز الدولة الشمولية عما عداها من اشكال الاستبداد المذكورة في التاريخ، بإنها ليست فقط سيطرة سياسية وربما استغلالا اقتصاديا، بل هي بالاضافة الى ذلك هيمنة سياسية كاملة على المجتمع، وتسلط سيكولوجي شامل عالافراد، متستعملة في كل ذلك مظاهر التقدم التكنولوجي التي تم الحصول عليها. فالدولة الشمولية ظاهرة خاصة بالعصر الحديث ونموذجها الامثل هو

الدولة الهتارية والموسولونية والستالينية. هذه الدولة هي تجسيد واضح للاستعمار الداخلي للمجتمع، والاحتلال الكامل للفرد، والتحكم في مصيره، وتكييف وعيه، بل تحدد لا شعوره، وتتحكم في كل المجال السياسي بحيث تكون الدولة هي كل شيء وما عداها لا شيء (سبيلا،2000، ص132-134).

اذن فالنظام الشمولي بلغة اخرى هو النظام الذي تختزل فيه الدولة ممثلة بالحاكم كل حقوق الافراد والمجتمع، وكل حرياتهما. وهذا النظام في منظور الفلسفة السياسية المعاصرة، وبالاخص (حنة أرنت)، ليس نظاماً ديكتاتوريا، بل هو نظام سياسي نوعي اصيل ومبتكر، يختلف اختلافاً ماهوياً عن اشكال الاضطهاد والسيطرة السياسية الاخرى. انه نظام يحول حشود الشعب الى جمهور، والفرد الى مسار، والدولة الى آلة فعالة، والايديولوجيا الى شعار جماعي.

بعد ان وضح البحث مفهوم السياسة (المُؤثر) على قدر تعلقه بموضوع البحث، نتعرض الآن الى المفهوم الثاني وهو العمارة (المُتأثر)، وبيان اهم معانيها، التي تختلف بإختلاف إستعمالاتها للحاجات الانسانية.

7.1 العمارة:

للعمارة تفسيرات وتعريفات تختلف من طروحات الى أخرى، اذ تحاول ان تقدم صيغ معرفية وصور وصفية لحقيقتها الظاهرية التي تنتج من قبل الفرد والمجتمع، ويونقدم الآن البعض منه وكالأتي:

- العمارة، هي ذلك الفن الذي يتخذ من المادة ركيزة ومن الفعل والخيال وسيلة للإنتاج، وانتاجه هو ذلك المحيط البيئي الذي يوجده الفرد ليمارس فيه نشاطاته الحياتية والروحية ضمن بيئة بنائية حضرية تفصله عن مؤثرات الطبيعة غير المرغوب فيها. فنحن نشكل أبنيتنا ومن ثم هي تشكلنا **(We shape Our Building Thereafter - They Shape Us)** (شيرزاد، 1985، ص19-17)**.**
- ويرى البعض ان العمارة: نتاج إنساني معبر عن الوجود المعرفي والإبداعي للفرد والمجتمع ضمن العالم. إذ يعدها R.Dripps حافزاً لإرادة الأعمار يدفع نحو التعبير عن الطاقة التي تقود الفرد والمجتمع نحو تطوير شكلهم الخاص. وليست مجرد تلبية للحاجات والرغبات. ويؤكد R.Dripps ذلك بأنها ليست مجرد عملية صنع وإنتاج لعمل مستقل، بل هي إظهار لأصول البنى التنظيمية وتشكيلات اللغة في المجتمع. إذ تكتسب العمارة قيمتها من التجسيد المادي من خلال وجود الفرد في مجتمعه. فهي نتاج لهذا الفهم والادراك للعالم (Dripps, 1996, p.107, 18).
- ويحدد روبرت سترين العمارة بأنها: إعطاء القيم الثقافية العامة صفة مادية. إذ يتوجب على المبنى الفيزياوي ان يكون موضوعاً للتواصل الاجتماعي. فالشكل إظهار مادي

مستند إلى العالم، فيتحقق الشكل المعماري كجزء من انتماء الذات الواعية إلى العالم الخارجي. وهو ما يتوضح في كتاب “The idea of man-made world” إذ يتناول نورمان كرو العمارة بوصفها: عالماً إنساني الصنع، وهو محاولة لتفسير وتأويل كيفية تشكيلنا للعالم المعطى والثقافة الموجودة في كل مرحلة تأريخية، ومؤشراً لما يحدث من تغيير في الطبيعة لتتكيف مع العالم المصنوع، لأنها نتاج التداخل والمشاركة الواعية ضمن النظام الطبيعي، تتشكل بفعل قوى تطويرية ثقافية تاريخية وليست مجرد استجابة لرغبات الإنسان الطبيعية وحاجاته الفطرية (Crowe, 1995, p.233).

ويعتمد البحث تعريفاً إجرائياً لمفهوم العمارة هنا وهو: "حالة التكامل الفيزياوي والمعنوي التي تُهيئ فعل الاستمرارية للانشطة الانسانية اليومية في العمارة والتصاميم الحضرية"، وعادةً ما تتكون هذه الافعال الانسانية من انماط انتاج التأريخ المختلفة لدى الفرد والمجتمع. وما تنتجه من معاني معينة في حياة المجتمع، تصبح لاحقاً هوية مميزة لذلك المكان او تلك البيئة الاجتماعية.

أ. قوة الاشياء وقوة الأفكار:

نتحدث عن قوة الاشياء للتدليل على قوة الواقع، وسلطة الاشياء في مقابل قوة الافكار وسلطتها. تشير الاشياء الى سلطة الاحداث، والوقائع، والمؤسسات، والزمان، إذ تبدو الافكار احيانا وكأنها لاشيء، أمام قوة الاشياء وثقل الوقائع. وقد شهد تاريخ الفكر الانساني صراعاً وتنافساً بين القوتين داخل النظرية الواحدة نفسها مثلما هو الامر في النظرية الماركسية. فقد انبرى ماركس في الكثير من كتاباته الى النقد الافكار واظهار مثاليتها وتعاليها ووهميتها، وذلك في معرض نقده للفلسفات المثالية، محاولا ارجاعها الى قاعدتها المادية الانتاجية، والى الممارسات والمؤسسات التي تؤطرها وتتحكم فيها. في "الايديولوجيا الالمانية" صب ماركس جام نقده على الفلسفة المثالية التي تعتقد باستقلالية الافكار وقوتها، وتتصور ان التغير الفكري (الفلسفي) بديل عن التغيرالسياسي، وان الثورة الفكرية تقوم مقام الثورة الاجتماعية. وقد تبلورت فكرة احتقار الفكر والافكار في الماركسية في الاطروحة الحادية عشرة من اطروحات ماركس حول فويرباخ والتي يقول فيها: "لقد اكتفى الفلاسفة بتأويل (او تفسير) العالم في حين يتعين تحويله (تغييره)" وهي قولة أسوء الاثر على موقف الماركسيين من الافكار، مما جعل المفكر الفرنسي التوسير يقول بأن ماركس كان وضعيا (Positivist) في هذه الفترة (سبيلا، 2000، ص103).

في الوقت الذي كان الماركسيون منشغلين بالدعوة الى الممارسة والحد من شأن التفكير كانت الافكار الماركسية تسري في العقول والنفوس بسرعة مذهلة، إذ استولت الافكار الماركسية على العديد من العقول الكبيرة في هذا القرن وعلى وجدان الملايين من المجتمعات في العالم، واسهمت في تغيير او محاولة تغيير الكثير من الانظمة السياسية والايديولوجية في الشرق والغرب، وغزت اذهان ونفوس النخب المثقفة والجماهير في العالم الثالث ممارسة وتأثيرا بلغ حد الشغف والافتتان. وقد الحقت الافكار الماركسية حول اولوية الممارسة والفعل والتغيير على المعرفة والتامل والنظر مساسا كبيرا بفكرة فاعلية واهمية الافكار. وذلك بسبب الخلط بين التحديد السوسيولوجي (المادي) للافكار الذي الحت عليه الماركسية في اطار صراعها ضد الاتجاهات المثالية، وتحت ضغط متطلبات النضال في الفعل التاريخي-والتقليل من شأن الفكر وقيمة الافكار. ولاشك في ان هذه الموجة تضاءلت الآن، وتبين ان من الضروري التمييز بين المستوى الابستيمولوجي (المعرفي) الذي يلح على المحددات المادية (السوسيولوجية) للافكار، وبين القاعدة المعروفة المتداولة منذ القدم حول فعالية الافكار وقوتها وسلطتها. فالافكار، كما يقول كارل بوبر، وهي اخطر الاشياء واقواها، وان كانت ايضا اكثر الاشياء خطراً لانها لا تحمل قيمتها في ذاتها بل تعكس، بدرجة او بأخرى، ارادات في التضليل او الاستغلال او خدمة الاستبداد او تغليف الحقد او مقاومة الرغبة (سبيلا،2000، ص103-105).

ب. الفكر وعملية التصميم:

على الرغم من ان قوة الافكار تُشكل جزءاً شديد الخصوصية في مجال التصميم المعماري والحضري، بل انه من طبيعة عمل المصمم ضمن مراحل إعداده لعمله بمستويات مختلفة، الا انه ليس هناك من ضرورة لتتبعها من قبل الفرد عبر خطوات عملية التصميم، فالفكر في كل الاحوال يكون مخفي وراء العمل، ولايهتم به الا المختص. وان كان هذا الرأي مهم من الناحية التطبيقية، الا ان ما يحدث بالفعل على مستوى التطبيق الفيزياوي، يشير الى ان هناك حلقة مفقودة بين المصمم والسياسي وأحيانا أخرى المصمم والمجتمع، ممثلة في كيفية فهم صياغة الافكار وتمثيلها لجذورها الاجتماعية؟ وهو الامر الذي يضعف بالضرورة من تمايز المنجز النهائي.

كما حدث عند إنشاء برج (أيفل) في باريس، إذ هوجم هذا المنشأ من قبل السياسين والنقاد

والمجتمع، وتم وصفه على انه هيكل حديدي مرعب يهدد سماء مدينة باريس... وبعد مرور فترة من الزمن تم استيعابه، وتحول اليوم الى رمزٍ لمدينة باريس الفرنسية!! ان عملية التصميم كخطوات إجرائية شديدة الصلة بالعلوم التطبيقية والتجريبية، التي تنتهي بمنجز فيزياوي ملموس غايته الاساس هي تحقيق وظيفة معينة أو تلبية احتياج انساني او اجتماعي في ذاته.

ان الفكر يحتاج بطبيعته الى عمليات ذهنية عدة كي يصل الى مرحلة النضج والتمثيل، إذ تعرف هذه العمليات على أنها: "نشاط عقلي أدواته الرموز" ، اي انه يستعيض عن الاشياء والمواقف والاحداث برموزها بدلا من معالجتها معالجة فعلية واقعية (عزت، ص317-319). إذ يشمل التفكير بهذا المعنى العام جميع العمليات العقلية، من التصور والتخيل الى عمليات الحكم والفهم والاستدلال فضلا عن التخطيط والنقد. والرمز المقصود في التعريف المتقدم، هو: ماينوب عن الشيء أو يشير إليه أو يعبر عنه. واذا ما كنا نفكر مما تعلمناه ووعيناه فعن طريق التفكير نتعلم اشياء لم نعرفها من قبل! إذ يقتضي علينا إعادة تنظيم الخبرة الماضية لحل المشكلة الحاضرة. وبطبيعتة الحال يتم هذا التنظيم من الخبرة السابقة بعدة طرق، منها:

ب.1. الصورة الذهنية: وتشمل الصور الحسية. وهذا هو التصور أوالتخيل. فالصورة الذهنية حسية، فضلا عن كونها خبرة أو واقعة ذات طابع حسي يستحضره المصمم في ذهنه. فهي الالتفات لاشياء حاضرة بالفعل تؤثر في حواسه، ومن ثم تستحضر الاشياء في الذهن، لتعطي حلولا جديدة وفعالة، ومن ثم تتبلور لاحقا لتصاغ بشكل نصوص علمية وتطبيقات فيزياوية، واحد هذه الامثلة ذات الصلة بمجال العمارة والتصميم الحضري هو ما قدمته طروحات حركة ميتابولزم.

- حركة ميتابولزم Metabolism:

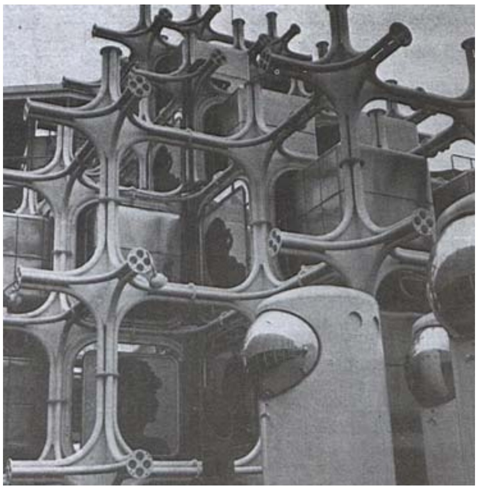
حركة جديدة ظهرت في اليابان شملت العمارة والتصميم الحضري. دعيت هذه الحركة بحركة ميتابولزم. وصلت ذروة اعمالهم في معرض اوساكا Osaka في اليابان عام 1970 (شكل1) الذي يمثل نموذجاً متطرفاً في التعبير عن افكار مجموعة ميتابولزم، اذ وصلت التعبيرية الشكلية فيها الى الذورة. إذ أكدت توجهاتهم على فكرة النمو، والتغير والتوسع المستقبلي التي هي اساس القاعدة الفكرية لمجموعة "ميتابولزم" (Jencks,1980,p.100-101).

ب.2. التصور العقلي: ويكون ذلك عن طريق التصور لمعان وأفكار غير مصوغة في نصوص أو الفاظ، اذ تدل التجارب على اننا نستطيع ان نسترجع الماضي ونفكر دون صور ذهنية سابقة، كما في التفكير الرياضي والفلسفي. بل ان ظهور الصور في مثل هذه الاحوال قد يعوق التفكير ويؤخره عن السير في مجراه. واحد الامثلة على تلك الافكار والتصورات الخيالية التي طرحتها مجموعة

اريكغرام، والتي تجاوزت محددات وامكانات العصر التكنولوجية، باتجاه الخيال العلمي المستقبلي.

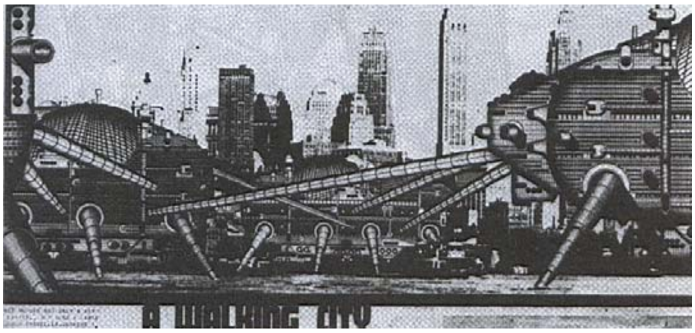
▪أعمال مجموعة اريكغرام:

اشتهرت اعمال مجموعة أركغرام الانكليزية في ابراز توجهها (الذي اقترب من الخيال العلمي) في مجال التصميم والتصميم الحضري. عملت هذه المجموعة عل اظهار المدينة باتجاه رؤية نصبية في مجال التركيب الانشائي ونظام الحركة والخدمات ضمن منظور مستقبلي. ومن بين اهم المشاريع التي انجزتها المجموعة مشروع المدينة المتحركة Walking City للمعمار Ron Herron عام 1964 (شكل2) (شيرزاد،2002،ص135-137).



شكل رقم (1)

جناح تاكارا في معرض أوساكا اليابان للمعمار Korokawa 1970، المصدر: (شيرزاد،2002،ص74)



شكل رقم (2)

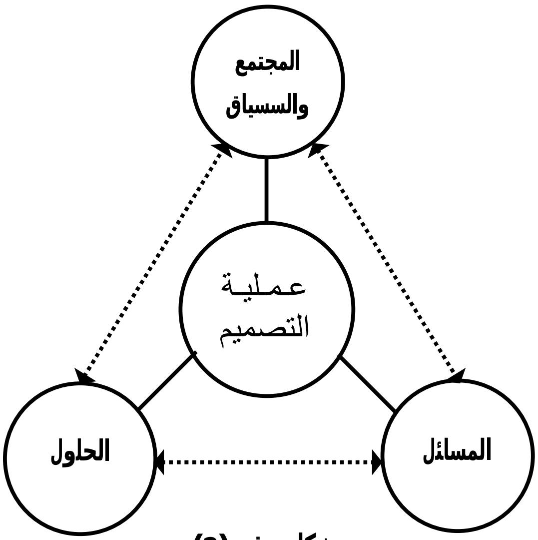
مشروع المدينة المتحركة للمعمار Herron 1964، المصدر: (شيرزاد،2002،ص138)

اذن، فان فعل التفكير لدى المصممين يصل بنا في حالاتٍ كثيرة، الى مستو ارقى من المستوى التصوري، الا وهو مستوى التفكير المجرد Abstract Thinking. الذي يعتمد على معاني الاشياء وما يقابلها من الفاظ لا على ذواتها المادية المجسمة أو صورها الذهنية. أي أنه التفكير الذي يرتفع عن مستوى الجزئيات الملموسة. فالتفكير المجرد، أحيانا يعرف بأنه: "التفكير عن طريق المعاني والقواعد والمبادىء العامة" (عزت، ص335).

يبذل المصممون جهدهم في طرح أفكارٍ تُلبي حاجات ومتطلبات السياسيين والمجتمع معاً، فالتصميم عمل ذهني اكثر منه عمل عضوي، إذ أنه: عبارة عن عملية منظمة تعتمد على التحليل والتقييم وصنع

الاختيارات والمفاضلة بينها. كما ان حل مشكلات التصميم المعتمد على التفكير عبارة عن عملية دائرية (حلقية) تسمح بالطرح، والمراجعة، واعادة التفكير، واستعمال الخبرة الماضية، والوصول الى منجزات جديدة يمكن مراجعتها في خطوات، إذ تتكون مشكلة التصميم من مشكلات مركبة متداخلة ومتصلة. تأتي مشكلات التصميم Design Problems في مجال الاختصاص بمعنى انها المسائل Dilemma التي يتبنى المصمم ايجاد حلول ملاءمة او متوافقة معها، ولاتعني المعنى السلبي للمشاكل Troubles بقدر ما تحمل ملامح الغايات والاهداف والرغبات وفقا لاحتياجات ومتطلبات كل تصميم (ابو سعدة، 2005، ص4).

ان عمل المصممين يعتمد بشكل عام على قاعدة اساسية، وهي الوصول الى الحلول من خلال إختبار المسائل (المشكلات) ذات الصلة بعملهم، وهي عملية ليست سهلة ومتسلسلة او خطية بل ترابطية او جدلية تحدث في منظومة عمل المصمم ورؤيته المركبة للعلاقة الوثيقة بين الحلول التي تنبع من فِهم المشكلات في البيئات الاجتماعية (شكل3)، وبين توجهات السياسيين في الرؤى والايديولوجيات المستقبلية لتخطيط المدن والتي تختلف من مدينة الى أخرى (شكل4). وللتقصي في هذا الموضوع بشكل اعمق واعتماداً على احد الامثلة المشهورة فيه. يناقش البحث هذه العلاقة المركبة، من خلال دراسة وتحليل الفكر السياسي النازي وأثره على فكر العمارة وعملية التصميم في مدينة برلين، التي تأثرت بالرؤى السياسية لزعيم الحزب ووزير حربه، في صياغة الابنية والمحاور الاساسية، وتكوين الفضاءات العامة، والتي تجسد بعضها! وآخر ترك كتصورات مستقبلية، لم تسمح لها الاقدار بالظهور!



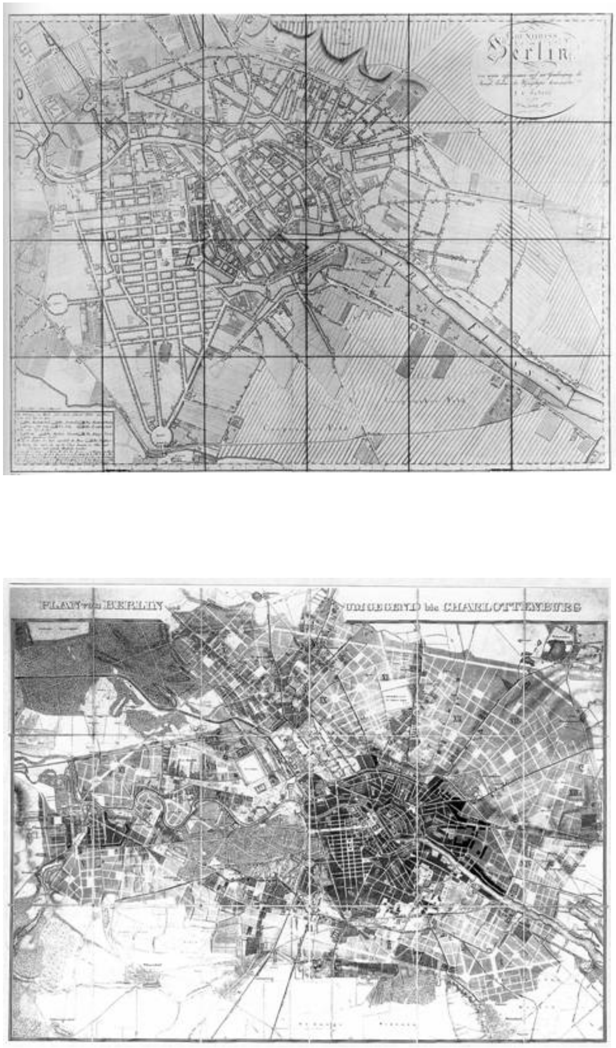
شكل رقم (3)
يوضح العلاقة بين عملية التصميم والمشاكل (المسائل) والحلول، المصدر: (الباحث)

شكل رقم (4)
يوضح الهيئة الحضرية لمدينة برلين
المصدر: (Wessling, 2010, p.14)

2. الدراسة التطبيقية (تجربة مدينة برلين):

1.2 الايديولوجية النازية ومدينة برلين:

عبرت العمارة النازية بشكل حي عن الرؤيا الاجتماعية والسياسية والثقافية الجديدة التي ادارتها النازية وزعيمها (Hitler) فظهرت توجهات قومية في المانيا بعد الحرب العالمية الاولى تميزت بظهور مراكز ثقافية متنوعة في مدنها المختلفة أتسمت بالخصوصية في تلك التوجهات إذ توجهت فيها الجهود نحو تطوير وابتكار اسلوب معماري قومي بعيداً عن الانتقائية كمساهمة في رسم خطوط معمارية جديدة في مدينة برلين ذلك الوقت على الرغم من التغير الموروفولوجي الذي طرأ عليها (شكل5). وبصورة عامة جاءت هذه المساعي والجهود مؤكدة على ضرورة تحقيق (عمارة قومية) تحقق او تمثل ابدية وادامة التقاليد المحلية ذات الصلة بالماضي، إذ جاءت طروحات معماريي المانيا لتمهد الطريق لايديولوجيا النازية نحو تحقيق هدفها في توحيد إنتاج الانماط التاريخية المعمارية على اساس القيم العرقية (إنجاز عمارة نازية تؤكد القومية ووحدة التعبير). وهذه المحاولات لا تخلو من ارتباط سياسي جعلها تبدو كردود فعل تجاه اغراض سياسية واجتماعية متعلقة بالفكر النازي وليس لاغراض تخدم العمارة ونمو نظرياتها بصفة مستقلة. اي ان الفترة الزمنية المناسبة والبيئة المحيطة كانت مهيئة لهذه الطروحات القومية! والتي وجدت قبولاً واسعاً لدى الجماهير الألمانية.



شكل رقم (5)

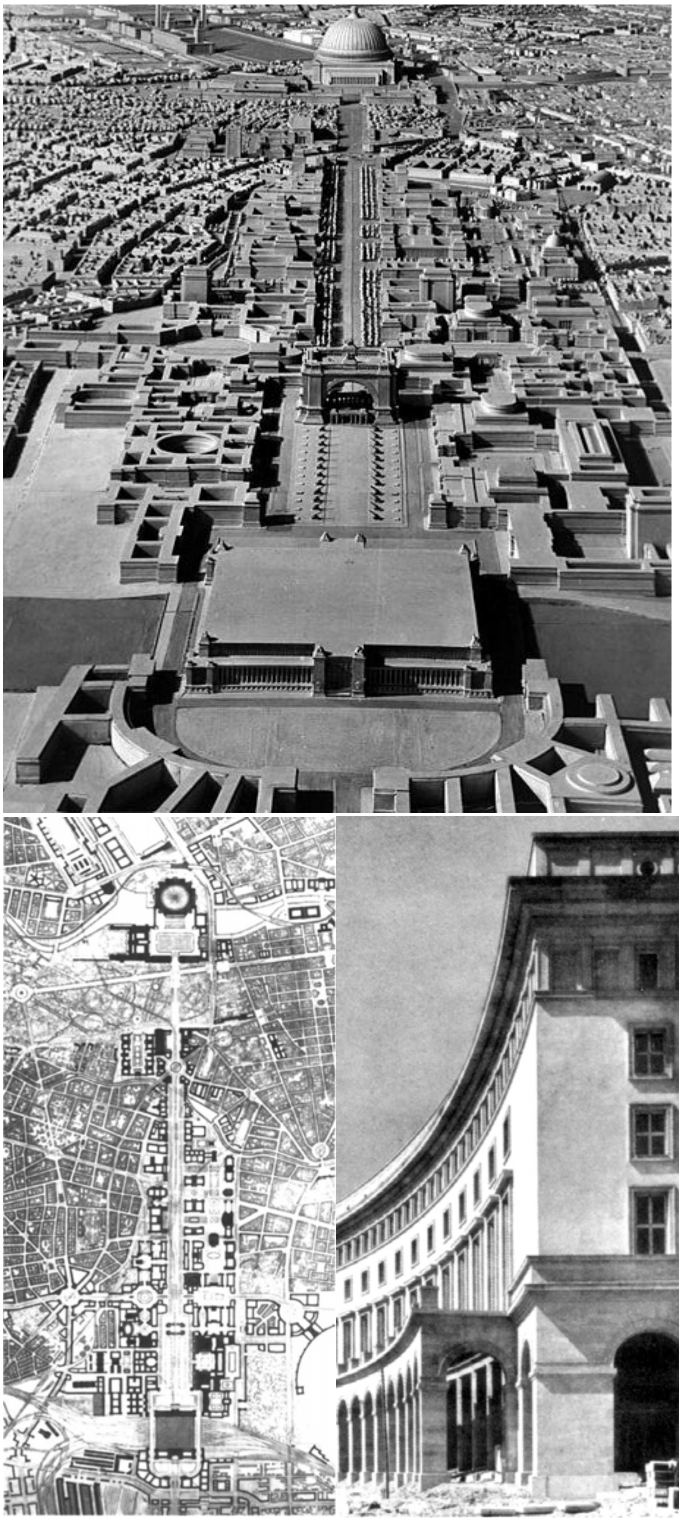
يوضح التغير الموروفولوجي لمدينة برلين،

المصدر: (Wessling, 2010, p.10& 12)

2.2 العمارة النازية:

تكاملت العمارة النازية مع فكر الحزب النازي في خططه واهدافه القومية التي ترمي الى ابداع وابتكار (إحياء روحي وثقافي) لالمانيا. وهنا يبرز دور؟ (Hitler) الذي كان شديد الاعجاب بحضارة الامبراطورية الرومانية ومهتماً لتأثر الالمان بها عبر الزمن إذ اصبحوا جزءا من النسيج الاجتماعي لها.

نجد هتلر هنا يشيد بالرومان معتبراً انهم "الامبراطورية الآرية الاقدم". وعليه فهو يجد في العمارة الرومانية حافزاً وملهما لابتكار طراز اصيل تغذيه كل من الكلاسيكية الجديدة و "حركة الارت ديكو". والى جانب هذا التأكيد على اولوية العرق الآري في تحديد منابع الاستلهام التاريخي معمارياً نجد ان هتلر كان تحت سيطرة فكرة او حلم ان يكون المؤسس الفكري للرايخ ولآلاف السنين. فكرة الخلود والابدية. وهو هنا يخطط مستبقاً الاحداث إذ يفكر كيف ستبدو المانيا وبرلين حينما يربح الحرب؟ وذلك قبل ان يربح الحرب فعلاً!!!. وتحت سلطان هذا الهاجس والحلم المستقبلي... نجده يخطط لتكوين الابنية التي ترمز لهيمنة المانيا بتأكيدها قيم الخلود والصرحية. وهنا يأتي دور العمارة كتمثيل فيزياوي ولتكون الوسط والاداة التي يتحقق من خلالها النظم الحاكمة الجديدة ذاتها عبر ترك بصمة مؤثرة، واثر خالد ومجسد فيزياوياً وعاطفياً في مناطق حكمهم. ادركت الايديولوجية النازية مايمكن للعمارة ان تلعبه من دور في ابداع وتجسيد نظامهم الجديد (شكل6).



شكل رقم (6)

مدينة برلين (جيرمانيا)، المصدر: (Wessling, 2010, p.24)

وهذا يؤكد الاهمية الخاصة التي حازتها العمارة لدى افراد الحكم والسياسة والذين مثلهم مثل كل القادة الديكتاتوريين، الذين يسعون نحو التأثير في كل مظاهر وجوانب حياة المجتمع. وعليه فأن هذا التأثير صار يشمل المدن الصغيرة والقرى وليس فقط المدن الكبرى الرئيسية، التي اريد لها ان تعبر عن منجزات وطبيعة المجتمع الالماني. لم يكن الهدف هو فقط تحجيم العمارة الليبرالية والماركسية بل ان تؤكد الابنية الجديدة على بزوغ فجر حقبة جديدة. إذ رأت السياسة النازية في العمارة منهجاً وسبيلاً لتحقيق ابنية لها الى جانب وظيفتها الاستعمالية القادرة على النهوض بدور اكبر من خلال شكلها وطرازها بان تكون بنية او منشأ مجتمعي بني وفق الطراز الآري. وبالعودة الى هذه المبادئ وتقصي انعكاساتها وآثارها على التخطيط العمراني (Nazi Architecture, P.1-3)، وكانت اهم المبادىء التي تسعى لتحقيقها على النحو الأتي:

أ. منصة مسرحية THEATRICAL STAGE:

اغلب الابنية النازية كانت تُنشأ على صيغة منصات لأدآء الفعاليات الاجتماعية. ويتم ذلك من خلال ابداع فضاء مستند على ايديولوجية النازية التي تريد تمجيد اللقاءات والخطابات السياسية، الاحتفاء الجماهيري واعياد قومية سياسية. اذ اراد النازيون من خلالها تقليد عام للارتباط مع الماضي الحضاري للالمان، ويكون هذا الارتباط على نوعين:

النوع الأول (الارتباط المباشر من خلال المسرح): وكان للقاءات بالقرب من معالم تاريخية مهمة وبارزة، استعمل هذا الإرتباط لإحتواء الجموع المشاركة في الاحتفالية والترابط مع الماضي. كما تم استعمال الاماكن العامة في تحقيق الترابط مع الماضي والارض عادةً ما تتضمن هذه الاماكن ابنية وعناصر طبيعية مثل الاحجار المبنية بشكل طبيعي. لقد كان بناء هذه المنشأت متاثرا بالمسارح الاغريقية، والتي اعتبرت منشأت تعود لحضارة تاريخية تعتبر (آرية Aryan). هذا الربط الفيزياوي بين الماضي والفكر النازي ساعد في تجسيد وجهة نظر النازية نحو التاريخ.

النوع الثاني (الارتباط غير المباشر): ابتكار مكان احتفالي تجري بعد المراسيم ويكون قريب من القصر الملكي ومتحف ألتس. هنا الرمزية عالية في أي متحدث سيقف ازاء متحف ألتس الذي يحوي داخله مجموع الخزين الالماني الكلاسيكي. إذ يظهر هنا الربط بين النظام الجديد مع الماضي الكلاسيكي. الفكر النازي هنا يرغب بقوة في ايجاد منصة لاجل (التجربة المجتمعية)

واستيعاب عدد هائل من الجمهور الذين يتم جمعهم داخل اتحاد وقور وفخم مع (قائد الامة الالمانية). ونجد انه حتى الحجم الضخم للمنصة اراده النازيون ان يكون بأهمية (ما كان يقال عليه)!!!

ب. الرمزي THE SYMBOLIC:

بصورة عامة يمكن القول، ان هنالك طرازان معماريان فيما يتعلق بـ National Socialist Styles . وهي:

الأول (الكلاسيكية الجديدة): التي أُستعملت بشكل اساسي في مجال التصميم الحضري. وابرز مثال لها هو (كاتدرائية الضوء) للمعمار (البرت شبير) التي استخدمت في تجمعات الحزب النازي في نورمبرغ.

الثاني (الطراز الشعبي): الذي أستعمل في المناطق النائية والمدن الجديدة في الضواحي. وهو طراز يعود الى حقبة كانت فيها المانيا غير خاضعة لاي سلطة اجنبية.

ج. الموعظة THE SERMON:

يرى هتلر في العمارة (The World In Stone) ، كما يعتبرها منهجاً لتوصيل الرسائل. والاستلهام من الماضي، وكان هذا النقل بالنسبة للنازيين كان يعني الارتباط مع الماضي وخاصة الماضي الاري. إن حجم الابنية التي تم اقتراحها لمدينة برلين تؤكد الفردانية في علاقتها مع المجتمع وفي نفس الوقت لإيصال رسالة فحواها هيمنة وفخامة المانيا والنازية. هنا تتظافر الهندسة مع العمارة لتجسيد هذه الرسالة. كما ان الدور الذي أراده النازيون من العمارة هو: توفير مكان يتضمن الرسالة، وكذلك يتضمن رموزها ولاجل تحقيق هذا وسواء أكان بأتباع الطرز المعمارية الحالية او المماثلة مع طرز اخرى، فسيكون ذلك. لقد بنى النازيون هذه التذكارات على الجانب الغربي من الرايخ...(تماما مثلما فعل الرومان).

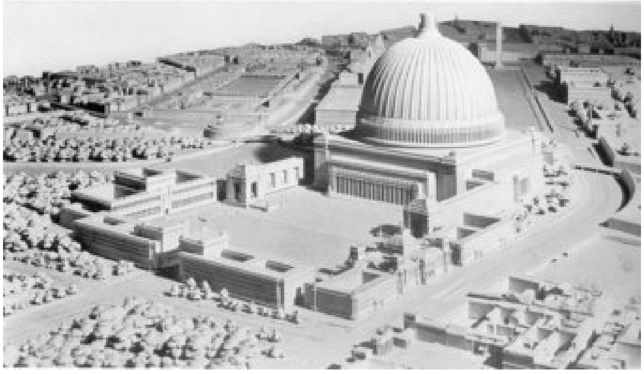
ويرجع ذلك الى اعجاب وتقدير (هتلر) لروما القديمة بوصفها امبراطورية عالمية، عاصمة ذات شواخص ونصب كتلية ذات صفة عامة وهو ما يعكس سلطتها وهيمنتها. كذلك هو يقدر ما فعله (موسوليني) في ايطاليا حيث حول شواخص الامبراطورية الرومانية الى رموز للفاشية. كان هتلر يخطط لـ (الرايخ) يماثل الامبراطورية الرومانية وعاصمته برلين التي اراد لها ان تحقق عظمة روما القديمة قبل مجيء المسيحية. انعكس ذلك على العمارة وتخطيط المدن واعمال Speer الذي اراد بناء منشآت يتم بها احياء تلك النصب الرومانية البارزة وكذلك الحال للمعماريين الاخرين غيره.

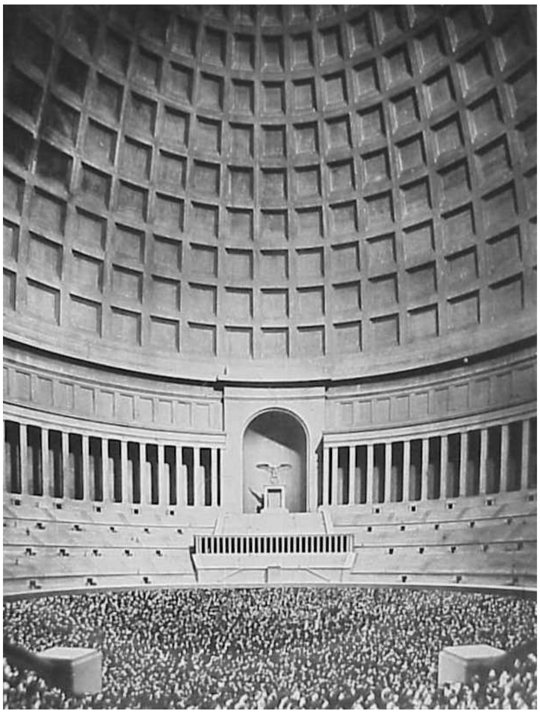
لقد أثر قدماء الرومان بعمائرهم ومدنهم على كل من هتلر و معماريوه ولذلك نجد (الكلاسيكية الجديدة) تجسد عمارة النازية، ليس فقط في تأكيدها على ديمومة التراث والتقاليد واستقرارها وانما تحقيق الرمزية نحوها.

3.2 تخطيط مدينة برلين:

أن المخطط الذي أعده المعماري Speer قائم على مبادئ تخطيط رومانية وليس اغريقية (ربما تأثرا بالمدن الايطالية للفاشية)، مخطط Speer ايجاد محور مركزي (شمال – جنوب) يقاطع محور آخر رئيسي (غرب – شرق) بزاوية قائمة ويتم توزيع الابنية فيه على النحو الأتي:

- الجزء الشمالي: مساحة تجمع كتلية 350000 متر مربع، وتحيط بها ابنية ذات ابعاد سياسية وفيزياوية عظيمة، قاعة الشعب ذات القبة الكبيرة (شمالا) (شكل7)، قصر هتلر الجديد، مبنى المستشارية (جنوبا). مبنى القوات الالمانية المسلحة (غربا). وترتبط هذه الابنية بعلامات محورية قوية تتمحور حول المجمع إذ صممت لاحتواء مليون شخص. ولكي تعبر عن عظمة الامبراطورية الالمانية ولجعل عاصمة العالم الجديدة (جيرمانيا) التي ستفوق بريق روما.





شكل رقم (7)

تصورات المعماري Speer لمجسم قاعة الشعب في

- لا تختلف مخططات المدن الصغيرة عن مخطط برلين الا في الابعاد.
- لم يتم تسقيط الابنية العامة اعتباطا او عشوائيا بل في مواقع مركزية في مخطط المدينة.
- لاجل تحقيق مراكز مدن ذات مراكز اجتماعية فقد تم الاستلهام من مبادئ تخطيط

المدن الرومانية. اذ مثلت العودة الى الاخلاقيات الرومانية.

- العمارة النازية في مظهرها ورمزيتها كانت اداة للتعبير عن القوة كما يرى Speer إذ ان العمارة الشمولية هي تعبير عن الحرب الشمولية التابعة لها.

4.2 جيرمانيا (عاصمة العالم):

" حالت الحرب دون تنفيذها "... جيرمانيا الاسم الذي اطلقه (Hitler) على برلين... على مشروع اعادة تاهيلها. كجزء من إيمانه ورؤيته لما سيكون عليه مستقبل المانيا بعد ان ينتصر في الحرب العالمية الثانية (كما كان يعتقد هو) (Nazi Architecture, P.1-3):

- اول مرحلة كانت (الاستاد الاولمبي) الذي اريد له التعبير عن الحكومة النازية.
- مبنى جديد للمستشارية الالمانية.
- شارع النصر (شارع بوليفارد طويل).
- الساحة الكبرى (في نهاية المحور الشمالية).
- قاعة الشعب (في الجزء الشمالي من الساحة).
- قوس النصر، ويكون باتجاه النهاية الجنوبية وصمم لكي يحوي داخل فتحة قوسه قوس النصر الباريسي.

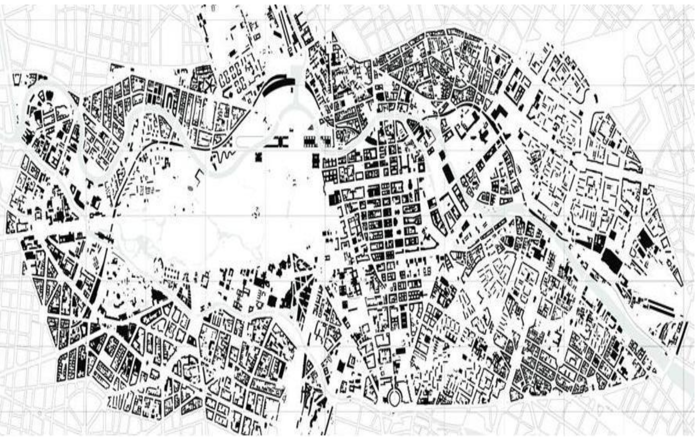
5.2 العلاقة الجدلية في تصميم مدينة برلين:

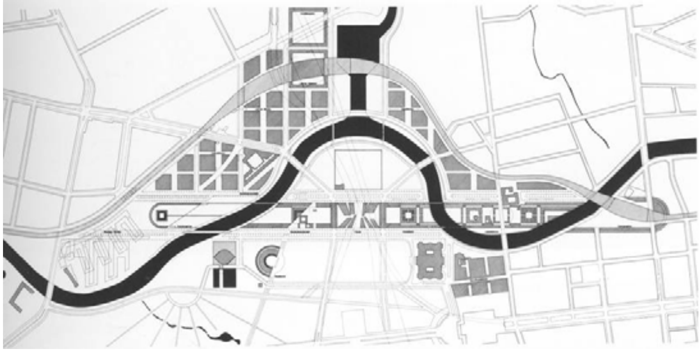
لقد صورت المنافسة الجديدة في برلين وهي مركز أوربا ، في مطلع 1940 أخلى (هتلر) منطقة (شبريبوغن) حيث يمر نهر (شبري) بانحناء في برلين لتحضيرها لتكون مدينة أسماها (جيرمانيا) إذ رأى فيها عاصمة العالم. ومنذ ذلك الحين والكثير من المواقع في المدينة فتحت بتفجير قنابل أو تحطيم جدار برلين! ولم يكن هناك معلم رمزي فيها أعظم من جدار برلين (شكل8). الذي أُنشى ليكون نقطة لأمبراطورية تمتد لالاف السنين، وفي النهاية كل ماتركه (هتلر) كان (تايبولا راسا) ومبنى (الرايخستاغ) والصراع الكبير للعماره منذ حريق لندن في القرن السابع عشر.

شكل رقم (8)

جدار برلين، تغير المعاني والوظائف بين الأمس واليوم، المصدر: (الباحث،2010)

فما الذي يجب عمله مع الخطوط المقسمة بين أشكال شرق وغرب برلين؟ وبمعنى أخر، هل الصيغتان المسيطرتان على الحداثة هما الشيوعية والرأسمالية؟ وكيف يجب لاحدٍ ما انُ يبين الرموز الاولية الجديدة للقوة؟ وكيف يمكن لبلد محرج بالنازية ان يستطيع التعامل مع (الرايخستاغ) (المجلس التشريعي الامبريالي)؟ (جينكس،ص27). ان منافسة Speer Bogen تعطي تعريفاً للقضايا الاساسية لعصرنا: كالسياسة والروحانية والايكولوجية مع عمارة ترمز لمطلع فجر الحداثة. وماذا كانت النتيجة؟ ولقد رأى الحكام بوضوح في اجتماعات حديثة عديدة ولاسيما في المعارض العالمية ما مفاده: ان جميع الرسومات والمجسمات التي استغرقت اشهرا لتحضيرها وكلفت العمارة حول العالم مبالغ ضخمة، لايوجد شيء مبهر او مميز يمد الخيال نحو المانيا جديدة او مدينة برلين (شكل9).





شكل رقم (9)

اكسل شيلتز تصميم سبير بوغين، برلين 1993،

المصدر: (Wessling, 2010, p.106&108)

فالعمارة التوافقية الوصفية مازالت سؤلا مفتوحاً وغامضاً! في اي نمط سوف نبني؟ او بشكلٍ اوضح واقرب، ماهي العمارة التي يجب ان تكون في عصرنا المميز بالاضطراب والسرعة؟ وما هو

نظام الاعتقاد المقنع لتدل عليه العمارة؟ وما المغزى والغاية من وراء المشاريع المجسمة؟ اعتبر هذا النقاش والتساؤل لكثير من المعماريين ومشاريعهم الحديثة نقاشاً ميتاً. وتلك الاسئلة هي اسئلة القرن التاسع عشر. والعمارة الآن على طريق التقدم، وعمل عمارة الوظيفة والتكنولوجيا والانشاء واستخدام الضوء والفضاء وجميع المعاني المعمارية المستخدمة في البناء.

لقد عبرت العمارة عن احساسها ومعتقداتها وافكارها النبيلة ودوافعها الاساسية التي لا يمكن ان توضع بشكلٍ محدد للتعبير عنها. اليوم نفس النقطة قد تكون وضعت كسؤال: مالذي نبنيه؟ هل نبني المماشي العامة اكثر من الساحات العامة؟ ام نبني (ديزني لاند) اكثر من الكاتدرائيات؟ لنضع طريقة اخرى للسؤال عن النمط في انتاج التاريخ والقناعة والقناعة المتولدة عنه. هل الزوايا الصحيحة اكثر من العمارة المتموجة؟ ام العمود بشكل I اكثر استخداما من العناصر العضوية؟ ام العمارة المألوفة اكثر من الانشاءات البارزة؟

ففي الازمان الماضية تغيرت وسألت بعض الاسئلة، بينما في وقت السلم كان الناس متأكدين من اقتراب التسلط. ونحن نحيا اليوم في وقت جدلي للتغير المستعجل والمتسارع والعمل المماثل الطبيعي والزمن هو تغير الشكل. من غير المتوقع ان نفكر ان المعماريين لا يمكنهم تغيير المجتمع فهم يتشاركون بالقوة مع السياسيين والصحفيين المتقدمين ورجال الأعمال. لقد عملوا بالسيطرة على اللغة المعمارية وتوصيل الرسائل. وتستطيع الابنية الفردية ان تظهر بعالم افضل وتغيرات مهمة في اتجاهاتها ولديها القوة لاستخدام الخيال والرمزية والحقائق الاساسية للكون. فالانسان ليس مقياسا لجميع الاشياءوالتكوينات الفضائية التي تظهر لنا في المدن، بدأت تعبر عن بعض إمكاناتها، ولكن السؤال هو: هل بإمكاننا بناء ثقافة مشتركة لهذه الابنية؟

ان المعماريين الذين اختصوا بالتغيرات من وجهة نظرة تكوين العالم الثابتة سيساعدون في بناء ثقافة مشتركة من خلال خلق عمارة تكوينية تُبين ان الانفتاح يتقدم بطريقتين:

- الأولى: الهيئة المهمة للتغيير.
- الثانية: نمو العالم بطريقة مباشرة (قوانينه، الازمنة والكميات) او بواسطة عكسها بصورة مطلقة في لغة جديدة للعمارة (التحركات المبتكرة في اللغات القديمة).

3. المناقشة والاستنتاجات:

1.3 المناقشة:

تتضمن مسألة (مشكلة) تخطيط المدن مساحة كبيرة من التفكير والنقد، وكيف نُناقش هذا النقد الموجه للعديد من المدن نتيجة تأثُره بالعديد من السياسات والايديولوجيات الموجهة! وما تشغُله من مساحات فكرية نتج عنها إشغال العديد من الفضاءات التي ثبتَ بعضها وتغير البعض الآخر بشكلٍ مستمر؟ هذا التغير الذي إنعكس على معاني هذه الفضاءات

وما تشكله من بيئات إجتماعية معاشة أفرزت بمرور الزمن هوية مميزة لتلك الاماكن والفضاءات... فلماذا لم تتطور لدينا آليات نقد المؤثرات السياسية على فكر العمارة؟ وهنا يناقش البحث نتائج فكر النازية الموجه في تخطيط مدينة برلين ومدى تأثيره على بعض أجزاءها الى يومنا هذا، فالفضاء المحوري الذي ينتهي في بوابة برلين ما زال قائماً في موقعه الحضري الى يومنا هذا، رغم اختلاف الغايات بين الماضي واليوم!! بين فضاءاً لتجميع الجماهير النازية والقاء الخطابات الحماسية فيه الذي تذكرهم بأمجاد الامة، الى مزاراً سياحياً يقصده كل من يزور مدينة برلين (شكل10).

شكل رقم (10)
اكسل شيلتز تصميم سبير بوغين، برلين 1993،
المصدر: (Wessling, 2010, p.73&75)

وعلى مستوى تخطيطي أعلى في التأثير على مورفولوجية مدينة برلين، فبعد التغير التاريخي الذي تمر به كل مدينة بسبب النمو الديموغرافي الطبيعي، جاءت السياسة النازية لتؤثر بأفكارها القومية على تخطيط المدينة بشكلٍ موجه اعتبر إنموذجاً لبقية المدن والقرى الالمانية بعد تحقيق الانتصار الذي لم يتم ! قام الحلفاء بتقسيم مدينة برلين بجدار الى قسمين (شرقي وغربي)، بعد أن اراد لها هتلر أن تكون عاصمة عالمية موحدة (جيرمانيا)؟ استمر التطور والنمو لقسمي مدينة برلين ولكن هذه المرة مع الواقع الجديد (جدار برلين) الذي لم يكن فاصلاً بين قسمي مدينة فقط بل كان حاجزاً بين معسكرين جديدين (شيوعي ورأسمالي)، أثر كل منهما بإيديولوجيته الجديدة على

هيئة وفضاءات مدينة برلين مرة أخرى والذي جاءِ كرد فعل لما ارادته النازية من المدينة. وآخر تغير مؤثر طرأ على تخطيط مدينة برلين هو إنهيار (جدار برلين) واتحاد الالمانيتين مرة أخرى... تكون من هذه المستويات المتراكمة تأريخياً على تخطيط مدينة برلين نسيجاً مركباً واضح في بعض الاجزاء ومعقد في اجزاءٍ أخرى، حديثاً وقديماً، منفصلاً ومتصلاً، ليعطي لنا هوية لمدينةٍ لا يمكن ان تكون لغيرها.

اطلقت بعض المجتمعات الافاق لقواها وخيالها لادارة افرادها المتميزين وافسحت المجال للنقد واعمال العقل والغت القيود والمعوقات التي كانت تحول دون مساهمة الفرد في صناعة التاريخ، إذ جاء تاريخها حياً وحركياً ومليئاً بالدينامية، بينما هناك مجتمعات تغلب عليها الرتابة التاريخية واعادة انتاج التخلف. ان نمط الانتاج المبدع هو نمط المتطلع الى المستقبل والى ما سيكون لا الى ما كان. ويبدو ان محاصرة الفرد في إطار ايديولوجي معين، وتقييد قُدراته التجديدية والابداعية، وكبت روح المبادرة فيه لن يؤدي الا الى تكرار الواقع وإستهلاك الماضي دون ان يستطيع التاريخ ان يخطو إلى الأمام. فتراكم اشكال المراقبة والتضييق السياسي من المستوى الاجتماعي الى المستوى الثقافي هو اكبر عقبة في وجه تطور وتقدم المنجز لمدينةٍ ما.

وهنا هل المدن وتاريخها يصنعه الافراد الاقوياء والمتميزون؟ والذين عاةً ما تهيؤهم الظروف لصناعة الجديد وتحقيق التقدم والانتقال المفصلي بالتاريخ من مرحلة الى اخرى. بينما يعتبرهم اخرون كارزميين ملهمين؟ لكن هؤلاء جميعاً، مهما اختلفت التفسيرات والتسميات، غالباً ما ينصبون انفسهم بمثابة حكام تاريخين على اساس انهم حققوا وحدة اوجلبوا انتصارا او انجزوا لهم اصلاحات اجتماعية، بينما تضفي عليهم الجماعة طابعاً اسطورياً وتنسب لهم كل ما هو ايجابي. هذا بينما يقول اخرون ان التاريخ لا يصنعه الافراد، مهما امتلكوا من ذكاء وعبقرية، بل تصنعه الشعوب والجماهير والطبقات. واذا كان هناك افراد متميزون فان الشعوب هي التي انتجتهم واوكلت لهم مهمة انجاز بعض المهام التاريخية الكبرى. فروح الشعب هي التي تسكن هؤلاء وتسخرهم (بشكل غير واع) نحو تحقيقهم اهدافها. أذن فالعمارة النازية ومبادئها في بعدها العميق، هي عمارة المانية، ارادتها الجماهير المؤمنة بطروحات النازية؟ في تلك الفترة.

2.3 الاستنتاجات:

1. نمط انتاج التاريخ يكون ذو وجهين في هذا المجال، فالديمقراطية هي انسب الاشكال التاريخية للتوفيق بين النمط الجماهيري والنمط النخبوي او الفردي في تهيئة المنجز المعماري والحضري، لانها تُتيح للعموم المساهمة في صياغة القرارات وتُوكل امر تنفيذها لممثليها ونوابها ومنتجيها، فيحصل نوع من التداول المستمر ونوع من التواصل الدائم بين الافراد القياديين والجماهير.

2. تعتمد العلاقة المركبة بين مفهوم الفكر وتمثيله بالعناصر المعمارية الشكلية ضمن عملية التصميم Design Process على نقطتين أساسيتين:

الأولى: بيان دور الفكر في التأكيد على العلاقات بين العناصر المعمارية الشكلية في البناء المتكامل لعملية التصميم، إبتداءاً بتحديد المشكلة (المسألة) التصميم وإنتهاءاً بتحقيق المنجز النهائي.

الثانية: وصف ملامح ماهية تلك العناصر على مستوى المادة والمعنى.

3. توظيف المصمم للظروف المحيطة به وخصوصا الضغوط السياسية والاجتماعية من اجل الخروج بـ (منجز معماري موحد)، من خلال ترتيبه للعناصر التقليدية بطريقة غير تقليدية ضمن عملية التصميم، إذ يصبح بإمكانه خلق معاني جديدة في هذا المنجز.

4.العلاقة بين النشاطات الاجتماعية التي يمارسها الانسان في حياته اليومية وانعكاساتها على العمارة، تكون تجسيداً فيزياوياً ومكاناً حقيقياً يحمل معناً كاملاً في تفاصيله وفي بنيته. اذ يقوم المصمم من خلال عمله بإنجاز بيئة مركبة من مجموع الاجزاء الحقيقية التي يحمل كل منها ارتباطاً مشتركاً، ومن ثم يأتي بعد ذلك نمو المكان طبيعيا وتكوين هويته المستقلة، لبيان اسلوب جديد من المشاركة بين المصمم والمستعملين لنفس المكان.

4. المصادر والمراجع:

1.4 المصادر والمراجع العربية:

أ. ابوسعدة، د.هشام جلال، إشكالية **العلاقة المركبة الفكرة-المفهوم في مراسم التصميم الحضري**، مقالة نظامية، مجلة الامارات للبحوث الهندسية، 2005.

ب. جينكس، تشارلز، **عمارة الكون الوثّاب**، ترجمة: رنا صبحي ناصر، مراجعة: د.صبحي ناصر حسين، دار علاء الدين للنشر والطباعة والتوزيع.

ج. سبيلا، د.محمد، **للسياسة، بالسياسة – في التشريح السياسي**، افريقيا الشرق – المغرب، 2000.

د. شيرزاد، شيرين إحسان، **الأسلوب العالمي في العمارة بين المحافظة والتجديد**، المؤسسة العربية للدراسات والنشر، المركز الرئيسي، الطبعة الثانية، 2002.

ه. شيرزاد، شيرين إحسان؛ **مبادئ في الفن والعمارة**، الدار العربية، بغداد، 1985.

و. عزت، د.احمد راجح، **أصول علم النفس**، المكتب المصري الحديث، مصر.

2.4 المصادر والمراجع الاجنبية:

I.Article, **Nazi Architecture**, From Wikipedia, the free encyclopedia.

II.Crowe, Norman; **Nature And Idea Of A Man-Made World: An Investigation Into The Evolutionary Roots of Form And Order In The Built Environment**, the MIT press, London, England; 1995.

III.Dripps, R.D.; **The First House; Myth, Paradigm, and the Task of Architecture**; the MIT press; 1996.

IV.Jencks, Charles, **Late Modern Architecture**, Academy editions, 1980.

V.Shane, Grahame, **Contextualism**, A.D. Architecture Design, No. 11, 1976.

VI. Wessling, Christoph, **THE BERLIN EXPERIENCE**, Reconstruction and urban development of the inner city since the Unification 1990, BTU Cottbus, Germany, 2010.

أثر تكنولوجيا المواد على إستدامة الأبنية

م.م. أسيل عبد الحليم لطيف
جامعة بغداد - كلية الهندسة
قسم الهندسة المعمارية

م.م. هاله شمسي محمد الديواني
جامعة بغداد - كلية الهندسة
قسم الهندسة المعمارية

المستخلص:

نتج عن التطور الذي شهدته تكنولوجيا المواد في العقود الأخيرة مشاريع متميزة هدفها الحفاظ على البيئة والطاقة وتقليل التلوث فقد اتخذت من مبادئ التصميم البيئي أساس للفكر المعماري أبتداءا من المراحل الأولى لعملية التصميم إنتهاء بأختيار المواد البنائية المناسبة من أجل تحقيق أبنية مستدامة، لكن هذه المحاولات محدودة في بيئتنا المحلية ولم تؤخذ بالجدية المطلوبة ، من هنا برزت مشكلة البحث في إغفال الجانب البيئي (الأيكولوجي) عند أختيار المواد البنائية أثناء العملية التصميمية لتحقيق أبنية مستدامة ، فكان هدف البحث هو الكشف عن أليات أختيار المواد البنائية بما يخدم الإداء الوظيفي لها ويقلل من تأثيراتها السلبية على البيئة والحفاظ على مواردها وأنظمتها الأيكولوجية قدر الأمكان وفق مؤشرات : الطاقة المجسدة[1]، إعادة التدوير، المتانة، مما يساعد المختصين والمهندسين المعماريين في عملية أتخاذ القرار والتي لها تأثير كبير في تحقيق ابنية مستدامة ضمن البيئة المحلية ومدى أمكانية تطبيقها في العراق.

كلمات مفتاح البحث : تكنولوجيا المواد ، النظام الأيكولوجي، الطاقة المجسدة، إعادة التدوير، المتانة.

The Impact of Materials' Technology on Sustainability of Buildings

Assist. Lect. ASEEL ABD- ALHALEEM LATIF
University of Baghdad
College of Engineering
Departement of Architecture Engineering
mmrreemm@yahoo.com

Assist. Lect. HALA SHAMSI MOHAMMED ALDIWANI
University of Baghdad
College of Engineering
Departement of Architectural Engineering
hala_aldywani@yahoo.com

Abstract:

The evolution in materials' technology in the last decades resulted in interesting projects that aimed at preserving the environment and energy and reduce pollution. They have been taken the principles of environmental design as a basis for architectural thought, starting from the early stages of the design process ending in choosing appropriate building materials to achieve sustainable buildings, but these trying are limited in our local environment and there isn't demanded seriousness. The

---

[1] هو مصطلح أعتمد في أكثر من بحث عربي رصين وأصبح من المفردات المتداولة في حقل الإستدامة ، فهو من أبرز المعايير التي تم أعتمادها في تقييم المواد كونها مستدامة او لا.

research problem emerges in the ignorance of the environmental aspect (ecological system) when selecting building materials during design process to achieve sustainable buildings. The aim of this research is revealing the mechanisms of selecting building materials to improve the functional performance and reduce the negative effects on the environment and preserve its resources and the ecological systems as much as possible according to the following indicators: Embodied energy, recycling, durability; to assist architects and specific engineers in making decisions that have a significant impact in achieving sustainable buildings in the local environment and the possibility of application in Iraq .

Research Keys: Materials’ Technology, Ecological system, Embodied energy, Recycling, Durability.

❖ المقدمة

ذكر ويليام موريس William Morris في إحدى مقالاته عام 1892 : " تمثل المادة وبشكل واضح أساس العمارة " ،

“The subject of Material
is clearly the foundation of Architecture"

(Randall, 2006, P.67) ، لقد مثل مجموعة من المصممين امثال والتركروبيوس ولي كوربوزيه وميس فان ديروه واخرون الاتجاه الجديد في عمارة القرن العشرين والذي يمثل طرازا دوليا له مفردات واضحة تمثلت في الاسقف الافقية والاسطح المستوية واستخدام مواد بنائية حديثة كالخرسانة المسلحة والحديد والالواح الزجاجية دون النظر الى الاعتبارات البيئية و العمارة المحلية الخاصة بكل منطقة .ومع ظهور مصادر الطاقة المتنوعة وتطور اساليب البناء الحديثة ظهر تطور واضح في الشكل المعماري وأدى الى بروز تصاميم معمارية تتعامل بحرية أكبر مع المواد البنائية الحديثة فظهر استعمال الزجاج بشكل واضح في الأبنية الى الحد الذي يصل في بعض الاحيان الى إكساء واجهات المبنى بالكامل بالزجاج ورافق ذلك استخدام اجهزة التكييف والتدفئة واصبحت التصميمات المعمارية متشابهة في معظم الدول بالرغم من اختلاف الظروف المناخية من منطقة الى اخرى في العالم. وقد عبر عن ذلك لي كوربوزييه بقوله: " أهدف الى إقامة مبنى واحد لكل البلدان ولكل أنواع المناخ "، ويعد إستخدام أنواع معينة من المواد البنائية اوالأنهاءات في الابنية الحديثة سببا من أسباب إستنزاف مصادر الطاقة بصورة غير مباشرة ، وظهرت دراسات كثيرة تركز على الطاقة المستهلكة في انتاج المواد البنائية ومدى إمكانية تقديرها، ومعظمها بدات في السبعينيات من القرن العشرين مع بداية التوجه بجدية نحو ترشيد استهلاك الطاقة و العمل على التقليل من التأثير السلبي للأنسان على البيئة الطبيعية (وزيري،2003،ص83،69). أن التركيز المتزايد على موضوع الإضرار بالنظام الطبيعي للأرض (النظام الأيكولوجي[2] ضمن المحيط الحيوي) أثار ردود أفعال مختلفة من قبل المصممين ، والتي نتج عنها رؤى عديدة للتصميم المستجيب والحساس ايكولوجيا ، حيث انه لفترة ليست ببعيدة كانت صورة العمارة الجيدة تتمثل في المبنى الذي يكون متلائما مع السياق البيئي المحيط به وفي نفس الوقت يحمي ساكنيه من تاثيرات المناخ الذي يحيطهم ، ولكن مع مرور الوقت وجد أن البيئة هي التي تحتاج الى حماية فأزيحت فكرة العمارة الجيدة الى مفهوم (المبنى المتحسس بيئياً) بحيث اصبح المبنى يحمي البيئة من التلوث الجزئي والأضرار الناتجة من النشاط الأنساني، مع الحفاظ على تحقيق راحة المستخدم وحماية الساكنين من تاثيرات المناخ الا أن المستخدم أصبح متمركزاً حول ما يفعله للطبيعة وليس ماتفعله الطبيعة له ، اي أن الصورة تحولت من سيطرة الخطر الخارجي الى سيطرة الخطر المصطنع.(رضاب أحمد،2009،ص47) الآن وبعد أكثر من قرن ومع مدى واسع من المواد البنائية المتناولة تحت يد المصمم (جدول(1)) وزيادة الوعي للتأثير البيئي لهذه المواد ،

---

[2] هو التفاعل بين مقومات البيئة البيولوجية والفيزياوية خلال وحدة فضائية ،فهو كل العلاقات البيئية التي تترابط مع بعضها في وحدة واحدة وهو اساس بقاء الأنسان .
(رضاب أحمد، 2009 ، ص43)

أضاف تصريح ويليام موريس أهمية أكثر، حيث تؤثر المواد البنائية على الهيكل الإنشائي والكلفة وأسلوب الإنشاء فضلا على تأثيراتها البيئية على البيئات الداخلية والخارجية. إن إسلوب تصميم العديد من الأبنية الحديثة المنفذة أصبح يحتاج منا وقفة متانية لتقييم اثارها وتاثيراتها على كل من الصحة والبيئة ومجالها الحيوي ونتيجة لذلك فهناك مسؤولية ملقاة على عاتق المعماري لاعادة النظر في الستراتيجيات المتبعة في تصاميم الابنية وجعل احد أهم الاهداف في العملية التصميمية هو الطاقة والسبل المثلى في استغلالها وتوفيرها في نفس الوقت .

❖ التكنولوجيا والعمارة

منذ أن وضع فتروفيوس ثلاثيته الشهيره حول أهداف العمارة (المنفعة،المتانه،الجمال) شكلت التكنولوجيا ركناً مهماً ضمن بنية تلك الثلاثية . تصب التكنولوجيا اهتمامها على الناتج وكيفية تحقيقه وبخصائص (أعلى، أكفأ، أسرع، أجود) وبذلك فأن الية عمل التكنولوجيا على نظم العمارة ستكون:

- ▪ مباشرة: تعمل القوة التكنولوجية على هذه النظم بشكل مباشر والمصمم مسؤول عن هذه العمليات.
- ▪ غير مباشرة ولها أسلوبان :
  - تنعكس هذه القوى في مجالات أخرى، كأستعمال مادة بنائية جديدة او طريقة إنشاء مبتكرة اوتطوير إحدى النظم التي تدخل في العملية التصميمية ودور المعماري هنا يكمن في أختيار المادة أو الطريقة .
  - قد تكون في ناتج تكنولوجي اخر ينعكس تأثيره في نظام العمارة او يساعد المصمم على القيام بعملياته التحويلية على جوهر مادة العمارة من فكر ومادة وشكل مثل الحاسبة الالكترونية وتأثيراتها على المراحل التصميمية والتنفيذية. ومن ثم فهناك ثلاث مرتكزات لإدخال التكنولوجيا الى العمارة ، تمثل المفاهيم الأساسية التي تحدد مدخلات العمارة المستدامة بشكل عام وهي:

(تكنولوجيا المعلومات، تكنولوجيا المواد، تكنولوجيا الأنظمة) .(رضاب أحمد، 2009 ، ص5- 6)

سيركز البحث على تكنولوجيا المواد بشئ من التفصيل كونها تمثل محور البحث.

تكنولوجيا المواد

يمكن تأشير نوعين من التطورات في مجال التكنولوجيا الحديثة للمواد البنائية :

- ▪ اعتماد مراحل اعدادية جديدة بين مراحل استخراج المواد الطبيعية ومراحل أستعمالها في البناء بهدف تحسين خصائص المادة الأولية وزيادة ملائمتها للمتطلبات الأنشائية أو التنفيذية أو امكانات السطح الخارجي مما أدى الى تحسين خصائص المواد الطبيعية المعتمدة في المراحل التكنولوجية السابقة.
- ▪ تقديم بدائل جديدة للمواد البنائية وأستغلال ما تم تطويره ضمن مجالات أخرى في تنمية الصناعة البنائية ،اذ أسهمت الأبتكارات في مجال الصناعات الكيمياوية والتعدين في تقديم بدائل مادية جديدة تمكنت من أثبات فعاليتها في تغيير الخيارات الأنشائية او التنفيذية أو امكانات السطح الخارجي او كلها معاً .

ويعتمد أستعمال اي مادة بنائية بصورة عامة على:

- الأمكانات الأنشائية (Structural potentialities) التي تتحدد تبعا لسلوك المادة في نقل الأحمال المسلطة عليهاومقدار هذه الأحمال،مما يفرض أتباع ترتيب انشائي معين عند أستخدام المادة البنائية.
- الإمكانات التنفيذية (Applicable potentialities) التي تتحدد تبعاً لمواصفات وحدة المادة كالأبعاد والوزن ومقدار تماسك المادة وغيرها،مما يفرض الألتزام بأساليب معينة في نقل المادة الى موقع العمل وطرق تجميعها وتركيبها ، وكذلك حجم ودقة العمالة المسؤولة عن أستخدامها.
- امكانات السطح الخارجي (Cladding potentialities) التي تتحدد تبعاً للصفات الخارجية للمادة مثل اللون والملمس ونسبة الشفافية، مما يؤثر في تحديد مواقع

استعمالات المادة ومدى ملاءمتها لفعاليات الفضاءات. (رغد نعمة الله ، 1997، ص62)

- إضافة عامل اخر: هو مدى تأثيرها على النظام الأيكولوجي،أحد الأعتبارات المهمة التي أخذ بها في الدراسات لما له من تاثير على البيئة (الباحثتان).

❖ الإستدامة واثرها في اختيار المواد البنائية

يعد قطاع البناء من اكثر القطاعات تاثيرا في البيئة من حيث استهلاك المواد والطاقة وانتاج المخلفات واطلاق الغازات الملوثة للبيئة فقد تصل نسبة استهلاك المواد الى 40% من اجمالي الاستهلاك العالمي من المواد الاولية (Roaf etal, 2007, P.48) ، **لذا فهو من أبرز مسببات تحطيم البيئة و هدر الموارد الطبيعية** . وكنتيجة للوعي البيئي الذي شهده العالم في الفترة الاخيرة منذ سبعينات القرن الماضي ، ظهر تحرك على المستوى الدولي تجسد في تكوين لجنة برئاسة السيدة برونتلاند[3] لدراسة تأثير السياسة التصنيعية والأقتصادية لدول العالم في الموارد الطبيعية بقصد تمكين هذه الدول من تحقيق تنمية مستمرة متوازنة تكفل التقدم والرخاء في جميع أنحاء العالم (اللجنة العالمية للبيئة والتنمية،1989،ص9) فقد عرفت اللجنة عام 1987 **التنمية المستدامة** هي" التنمية التي تلبي احتياجات الحاضر دون الحد من قدرة أجيال المستقبل على تلبية احتيـاجاتهم" ، (المصدر السابق، ص30)، لذا أصبحت هناك حاجة ملحة لدراسة التاثير البيئي لمواد البناء من خلال دراسة خصائص وصفات تلك المواد وعمليات الاستخراج والتصنيع التي تمر بها لوضع ستراتيجية تساعد في أختيار المواد التي تساعد في التقليل من التاثير السلبي على البيئة. فالتقييم وعملية صنع القرار اليوم من قبل المستهلكين وشركاء العمل لا تبنى على الإعتبارات المألوفة (Esko, 2002, P.1) (الملائمة للغرض ،الكلفة،المتانة،الأستقرار،والأمان) (Randall, 2006, P.67) فحسب وإنما على التاثير البيئي لتلك المواد وكيفية تقييم هذا التأثير، وظهرت عدة مسميات منها ما يعرف بالمنتجات الصديقة للبيئة والتي تطلق على المواد الأقل ضررا على البيئة. (Esko, 2002, P.1) ومن اجل ذلك لابد من معرفة الالية التي تؤثر بها عمليات البناء على البيئة في كل مرحلة من مراحل عمر المبنى، وأهمية تحليل دورة حياة المبنى. (Jones, 2000, P.22) فنلاحظ هناك ازدياد في توافر المعلومات حول تحديد القيمة البيئية أو تقييم التاثير البيئي لمواد البناء من اجل مساعدة المعماريين والمصممين وذي الاختصاص في اختيار الافضل حيث إن التأثير السلبي على البيئة هو نتاج لعمليات المعاملة للمنتج ابتداءا من عملية استخراج المواد الخام ومن ثم عمليات التصنيع انتهاءاً بتثبيت المنتج في المنشأ. (Gunther, 1999, P.135) ولما كانت عمليات استخراج وتصنيع ومعاملة المواد البنائية من أكبر القطاعات المستهلكة للطاقة فلابد ان تتوفر للمعماري معلومات كافية حول خصائص هذه المواد وصفاتها ليستطيع الوصول الى القرار الامثل او الاقرب الى الهدف وهو توفير الطاقة وفي نفس الوقت الحصول على أفضل النتائج من حيث تحقيق الوظيفة المراد للمواد البنائية تحقيقها ضمن المبنى.

هنا لابد من السؤال : ماهي الأعتبارات التي تؤخذ بالحسبان عند أختيار المواد البنائية ؟

عادة مايتطلب الجزء المنشئي من المبنى مواداً بنائية ذات مواصفات خاصة وقوة تحمل عالية فهو الجزء الحامل للقوى في المبنى ، واكثر المواد شيوعا هي الكونكريت (الخرسانة المسلحة) والحديد، اما في حالة الجزء الانشائي من المبنى فهناك مدى وحرية أكبر في إختيار المواد البنائية[4]، من هنا جاء البحث ليركز على المواد البنائية الأكثر شيوعا في البيئة بجزئيها لضمان إستدامتها. لذا تضاف إلى الإعتبارات المألوفة التاثيرات على البيئة الطبيعية وعلى الصحة البشرية، وهما ضمن علاقة مترابطة مع بعضها البعض.

---

[3] (Gro Harlem Brundth Land) رئيسة وزراء النرويج في حينها والمسؤولة عن اللجنة العالمية للبيئة والتنمية (اللجنة العالمية للبيئة والتنمية،1989،ص9)

[4] الجزء المنشئي (الهياكل الرئيسية) في الهيكل الانشائي للمبنى ، الجزء الإنشائي (الهياكل الثانوية) كتثبيت اكساءات الواجهات (Us Green Building Council, 1996, P.183)

لذاك يتبادر في اذهاننا السؤال الأتي : ماهي المواد البنائية الواجب أستعمالها وماهي تأثيراتها على البيئة الطبيعية؟

❖ التأثير البيئي للمواد البنائية

عادة ما تمر المـواد البنـائية بعمليات المعاملة والتصنيع قبل ان تدخل ضمن المنشأ والعملية البنائية ككل وهذا يستوجب استهلاكا للطاقة فضلا عن مخلفات الانتاج. وكلما زادت كمية الطاقة المستهلكة فان معامل التاثير البيئي (التأثير السلبي على البيئة) يزداد، فقد يصل الى اقل حد في حالة انشاء كوخ تقليدي من مواد محلية ويصل اعلى مستوياته في حالة الانشاء المسبق الصنع ، ولقياس مقدار او معامل التاثير البيئي للمواد البنائية هناك عدة عوامل من الواجب الأخذ بها، فمن المستحسن عدم تبني قرارات أو قواعد ثابتة لكل الحالات فان لجودة المواد البنائية وطريقة إندماجها اوإستعمالها في التصميم أثر في تحديد التاثير البيئي لتلك المـواد. (Roaf etal, 2007, P.48-49)

أهم العوامل التي يقيم على اساسها التاثير البيئي للمواد البنائية هي:

- كمية ونوع الطاقة المطلوبة لانتاج المادة.
- كمية او مقدار غاز ثاني اوكسيد الكربون CO2 المنبعث من عمليات تصنيع المواد البنائية .
- التأثير الحادث في البيئة المحلية نتيجة إستهلاك المواد مثل الخشب المأخوذ من الغابات الطبيعية أوعملية إستخراج النفط من الأبار ...الخ.
- التأثيرات السمية التي قد تحدثها بعض المواد البنائية مثل الدهانات وغيرها.
- كمية الطاقة المستهلكة في عمليات نقل المواد البنائية خلال عمليات التصنيع ومن ثم نقلها الى الموقع.
- درجة التلوث الناتجة من المواد البنائية بعد انتهاء دورة حياتها ضمن المبنى. (Roaf etal, 2007,P.49) .

أهم العوامل التي تؤخذ بالحسبان وتؤثر على القرارات التصميمية عند اختيار المواد البنائية هي:

- موقع وتفاصيل العناصر المعمارية.
- متطلبات الصيانة والمواد الضرورية للصيانة.
- مقدار مساهمة المواد البنائية المختارة في التقليل من التاثيرات المناخية على المبنى.
- المرونة في التصميم للسماح بالتكيف مع المتغيرات التي قد تحصل بمرور الزمن.
- العمر الافتراضي للمواد البنائية وإمكانية إعادة استعمالها في حالة تعرض المبنى للاندثار. (Roaf etal, 2007, P.50) .

لذا تعد بدائل المنتجات والمواد من الموضوعات المعقدة فهي لاتنطوي على إعتبارات تكنولوجية فحسب بل تنطوي على اعتبارات اقتصادية أيضا فضلا عن اذواق المستهلكين. (موسشيت،2000 ، ص135- 136). ولعل اهم قياس للتاثير البيئي لمواد البناء مايتضمنه مفهوم الطاقة المجسدة Embodied energy – والتي سيتم شرحها بشيء من التفصيل لاحقاً – حيث يعطي مقدارها تصور واضح عن كمية الطاقة المستعملة لانتاج العنصر او المنتج (Roaf etal, 2007, P.50) .

❖ المواد البنائية المستدامة

ظهر هذا المصطلح ليعبر عن المواد البنائية والمنتجات المفضل استعمالها من اجل موقع (بيئة) مستدامة وأبرز صفات وخصائص تلك المواد هي: (Calkins, 2009, P.3-6).

- تستهلك أقل مايمكن من الموارد الطبيعية في عمليات الانتاج والتصنيع للتقليل من التاثير السلبي على البيئة ويتم هذا من خلال اما اعادة التدوير للمواد البنائية او اعادة الاستعمال لتلك المواد بعد إندثار المبنى مثل اعادة استعمال العناصر الحديدية ذات الابعاد القياسية.
- المواد البنائية التي تمتلك أقل تاثير على البيئة الحياتية اي لاتتسبب بانبعاث مواد سمية للبيئة ولاتسبب تلوثا للبيئة بعد انتهاء دورة حياتها ضمن المبنى اي بعد

اندثار المبنى. اي انها لا تحمل او تكاد لا تحمل اي مخاطر على صحة الانسان والحياة في البيئة.

- المواد البنائية التي تكون طاقتها الأبتدائية أي الطاقة التي تعتمد عليها في عمليات انتاجها طاقة نظيفة متجددة للتقليل من التاثير السلبي على البيئة فيما لوتمت مقارنتها بالمواد البنائية التي تعتمد على الطاقات غير المتجددة مثل الوقود الاحفوري. (Calkins, 2009, P.3-6) فالطاقة التي يحتاجها الألمنيوم تعادل 8 مرات أكثر من الطاقة التي يحتاجها الحديد، لكن بالمقابل فان الطاقة الابتدائية للالمنيوم معتمدة على مصادر طاقة نظيفة متجددة وهي الطاقة الكهروبيمائية Hydroelectric power بينما الطاقة الابتدائية للحديد معتمدة على الفحم والذي يعد من مصادر الطاقة غير المتجددة المسببة لانبعاث CO2.
- المواد البنائية ذات الطاقة المجسدة القليلة مثل الحجر والخشب فهما يمتلكان طاقة مجسدة اقل بكثير اذا ماقورنت بالمواد البنائية ذات الطاقة المجسدة العالية مثل البلاستك والمعادن.

- المواد البنائية المحلية :استعمال مواد البناء المحلية للتقليل من الطاقة المستهلكة في عمليات النقل ويعد وزن المادة عامل مهم في مقدار تلك الطاقة فضلا عن المسافة المقطوعة وكما ياتي: تزداد مقدار الطاقة المستهلكة بإزدياد المسافة المقطوعة من موقع استخراج المواد الخام الى معامل او مصانع تكرير هذه المواد وتزداد مقدار الطاقة المستهلكة بإزدياد الوزن. (Calkins, 2009, P.6-7)

المواد المستدامة وتأثيرها في عمر المبنى

يرتبط تقييم دورة حياة المبنى مباشرة بالطاقة المجسدة للمواد البنائية حيث ان للاثنين علاقة بمفهوم التاثير البيئي من حيث الطاقة الداخلة او المستهلكة في عمليات البناء (منذ المراحل الاولى لإستخراج المواد ومن ثم التصنيع والمعاملة) إلى الطاقة المستعملة في اشغال المبنى على طول عمر المبنى. إن تحديد عمر المبنى المراد إنشاؤه افضل وسيلة للتعرف على حجم التاثير السلبي للمبنى على البيئة، حيث يتم تقييم التاثير البيئي للمواد وكلفة المواد البنائية نسبة الى تقييم عمر المبنى LAC[5] ، وهو من الوسائل الفعالة للمقارنة بين المواد البنائية المختلفة المستعملة لنفس الغرض او الوظيفة مثل الحديد او الخشب او الالمنيوم المستعمل في النوافذ. وتعد متانة المواد البنائية إحدى اكثر العوامل اهمية في تاثيرها على دورة حياة المبنى. فاستعمال المواد البنائية غير المتينة (None-Durable) في الغلاف الخارجي وانهاءات المبنى تؤثر على تقييم دورة حياة المبنى لاحتياجها للصيانة والتبديل بصورة تكاد تكون مستمرة . (Jones, 2000, P.6)

❖ المؤشرات التصميمية المؤثرة في أختيار المواد البنائية.

أن عملية اختيار المواد البنائية لها اهمية كبيرة في العملية التصميمية لتأثيرها المباشر في وظيفة وعمر المبنى فضلا عن تأثيرها في البيئة المحيطة. وأهم الاعتبارات الواجب الاخذ بها عند إختيار المواد البنائية:

- الطاقة المجسدة للمواد البنائية.
- امكانية اعادة التدوير.
- المتانة (الديمومة).
- المواد الملائمة محليا.
- ملائمة المناخ . (US Green Building Council 1996, P.185)

وعندما تكون مفاهيم الإستدامة هي القوة الدافعة فان مفهوم الطاقة المجسدة للمواد المستعملة في البناء سوف تخضع لقرارات مستدامة بدلا من القرارات المستندة على الاذواق ومفاهيم الجمال والكلفة. من ذلك سيتناول البحث ثلاث جوانب هي (**الطاقة المجسدة للمواد وإمكانية إعادة التدوير والمتانة**) بشئ من التفصيل للأسباب الاتية:

- لارتباطها مع بعضها البعض ارتباطا وثيقا اثناء انتاج المادة البنائية.
- قلة الدراسات والبحوث المتناولة لتلك الجوانب.

الطاقة المجسدة Embodied Energy

يرتبط تقييم دورة حياة المبنى مباشرة بالطاقة المجسدة للمواد البنائية حيث ان للاثنين علاقة بمفهوم

---

[5] (Life Cycle Assessment) تقييم دورة الحياة

التأثير البيئي من حيث الطاقة الداخلة او المستهلكة في عمليات البناء (منذ المراحل الاولى لإستخراج المواد ومن ثم التصنيع والمعاملة) إلى الطاقة المستعملة في اشغال المبنى على طول عمر المبنى. (Jones, 2000, P.6)

أهم معيار يؤخذ بالحسبان عند تقييم التاثير البيئي لمواد البناء هو مايتضمنه مفهوم الطاقة المجسدة فهو يعطي تصور عن كمية الطاقة المستعملة في انتاج او تصنيع منتج ما. ويمكن تعريف الطاقة المجسدة بانها: **مجمل الطاقة الاولية الممنوحة لعمليات أستخراج المواد الخام الموجودة في الارض من اجل أنتاج ونقل ومعاملة وفصل المواد الخاصة بمنتج أو مركب أوعنصر أومبنى معين.**

The total primary energy that has to be sequestered from a stock within the earth in order to produce, transport, maintain and dispose of materials within a specified product, component, element or building . (Pank, 2002, P.21)

وتشير الدراسات الى وجود عدة طرق لحساب الطاقة المجسدة تبعا للمدى الواسع من المنتجات المعلنة واختلاف تلك المنتجات من حيث المواد الداخلة في انتاجها، فضلا عن الاختلافات في طرق تصنيع المنتج من منطقة الى اخرى ونوع الطاقة المستعملة في عملية التصنيع فيما اذا كانت من مصادر الطاقة المتجددة او من مصادر الطاقة غير المتجددة والاختلاف في دقة المعلومات المتوفرة.

تشمل حسابات الطاقة المجسدة كل من:

- **الطاقة المستلمة** Delivered energy تشير الى الكمية الفعلية للطاقة المستعمله داخل موقع محدد او مبنى محدد، كمثال: كمية او مقدار الطاقة الكهربائية المسجلة بقائمة دفع اجور الكهرباء.
- **الطاقة الابتدائية أو الاولية** Primary energy فهي تشير الى مقدار الطاقة المستعملة لانتاج هذه الكمية من الطاقة المستلمة، كمثال: مقدار الوقود (النفط، الغاز) التي احتاجتها مولدات توليد الكهرباء لتوليد الطاقة الكهربائية المستعملة بالموقع.

وهناك من يفضل ان يقارن بين المواد على اساس **الانبعاث المجسد Embodied Emissions** (في حالة كون المعلومات المتوفرة حول الطاقة المجسدة لايتم فيها التركيز على طريقة الحساب المشتملة على الطاقة المستلمة فضلا عن الطاقة الابتدائية). وفكرة **الإنبعاث المجسد** مشابهة لفكرة الطاقة المجسدة وتشير الى **كمية الإنبعاث الناتج من عملية انتاج الجسم المادي او المنتج او العنصر،** مثل انبعاث CO2 الناتج من احتراق الوقود المستعمل، وإنبعاث السموم في معاملة بعض انواع المواد التي تحتاج الى معاملة كيميائية، وفي هذه الحالة يجب الاخذ في الحسبان مقدار الوقود الاولي ومعرفة نوع الوقود المستعمل في عملية التصنيع حيث ان كل نوع من الوقود يعطي خليط مختلف من الانبعاثات. (Roaf etal, 2007, P.50-51) ،

ويعرف جزء الطاقة المجسدة للمنتج التي تضمنت على طاقة توليد معتمدة على مصادر طاقة غير متجددة مثل الوقود الاحفوري لكل مراحل عملية الانتاج والنقل والتصنيع **بالطاقة الرمادية**Gray Energy وان مقدار هذه الطاقة المستعملة في المواد البنائية هي التي تحدد مقدار التلوث الحاصل بسبب عملية الانتاج من خلال كمية غاز ثاني اوكسيد الكربون المنبعثة فضلا عن الملوثات الاخرى الناتجة من عمليات التصنيع،ومن الصعب تحديد كمية الطاقة الرمادية المستعملة للمنتج حيث إن التقنيات المتوفرة في بعض الاحيان لاتعطي المعلومات الكافية فضلا عن تباين هذه الطاقة من منطقة الى اخرى لعدة عوامل:

- تتعلق بعمليات التصنيع.
- الاختلافات في مقدار الكفاية التي تستخدم بها الطاقة الاولية.
- تتعلق بطبيعة المناخ، حيث إن أنواع الكربون المستعملة مختلفة، ومن ثم تاثيراتها مختلفة من منطقة الى اخرى.
- عمليات التصنيع قد لاتكون بالكفاءة المطلوبة ومن ثم هناك اختلافات في كمية الطاقة المستعملة.

أن عمر المبنى الافتراضي يؤثر بشكل واضح في حسابات الطاقة المجسدة وهناك دراسات تقسم الطاقة المجسدة الى قسمين :

- **الطاقة المجسدة الاولية** Initial embodied energy: هي تلك الطاقة المستهلكة اوالمستعملة في العمليات التي تمر بها المواد من حالتها الاولى كمواد خام ومن ثم عمليات التصنيع والمعاملة وحتى نقل المنتج وتثبيته في الموقع وبالطبع فهي طاقة غير قابلة للتجدد.
- **الطاقة المجسدة الراجعة** Recurring embodied energy: والتي يطلق عليها البعض **بطاقة ما بعد التشغيل** فهي الطاقة المستهلكة في عمليات الصيانة والتصليح واستبدال العناصر اثناء فترة تشغيل المبنى- اثناء فترة حياة المبنى-وهي ايضا طاقة غير قابلة للتجدد، شكل (1). ويلعب عامل المتانة دور كبير في مقدار تلك الطاقة فمواد البناء ذات المتانة العالية يتوقع لها عمر اطول ضمن فترة حياة المبنى ومن ثم نسبة الطاقة المستهلكة لاعمال الصيانة تكون اقل . كما إن زيادة عمر المبنى يتبعه زيادة في مقدار الطاقة الراجعة بحيث تصبح نسبة الطاقة المجسدة الاولية صغيرة جدا نسبة الى الطاقة الراجعة،شكل(2)

(Holtshausen, 2007, P.2)، تحسب كمية الطاقة المجسدة عادة لكل وحدة وزن او لكل وحدة حجم للمادة، وبذلك فهناك حاجة لمعرفة الوزن او الحجم الحقيقي للمواد المستعملة في المبنى، جدول(2) ، وعادة ما تحسب بالكيلوواط بالساعة لكل طن اولكل متر مكعب. (Gunther, 1999, P.135) وبالرغم من الصعوبات في تحديد كمية الطاقة المجسدة للمنتج الا انها تبقى من العوامل المهمة المؤثرة في عملية الاختيار بالنسبة للمعماريين والانشائيين ولابد من جمع المعلومات الكافية حول مختلف مواد البناء والتخطيط المسبق في كلا المرحلتين التصميمية والانشائية .

o التصنيع والطاقة المجسدة

كلما زادت عمليات التصنيع التي تمر بها المواد فهناك ازدياد في مقدار الطاقة المجسدة فضلا عن مخلفات عمليات التصنيع الملوثة للبيئة فمثلا المواد مثل المعادن تحتاج الى طاقة كبيرة داخلة في عملية الانتاج وتحتاج الى معدات معقدة وحديثة لذلك يفضل عند اختيار المواد البنائية والمركبات ان تكون قريبة جدا من حالاتها الطبيعية اي انها تحتاج الى اقل مايمكن من عمليات التصنيع، مثال الشباك ذو الاطار المصنوع من الخشب اللين soft wood يعد اداءه افضل من الاطار المصنوع من الالمنيوم، وكمثال اخر الدهان العضوي والذي يستعمل مع الماء بشكل اساسي المصنوع من اصباغ طبيعية هو المفضل اذا ماقورن بالاصباغ الصناعية عالية الجودة. (Roaf etal, 2007, P.53)

o النقل والطاقة المجسدة

إن النقل يمكن ان يعد عامل مهم ومؤثر في الطاقة المجسدة فهناك طاقة كبيرة تستهلك في عمليات النقل فضلا عن ان وزن المواد يؤثر في كمية الطاقة التي نحتاجها في عمليات النقل، بعض المواد الطبيعية تحتاج الى ان تنقل الى مسافات طويلة مثال : الكرانيت المصقول ممكن ان ينقل عبر البحار فضلا عن احتياجه الى اماكن خزن قبل ان ينتقل الى البلاد المراد نقله اليه، لذا فان اختيار المواد من مصادر محلية ممكن ان يخفض وبشكل ملحوظ من كمية الطاقة المجسدة لها ومن ثم كمية الانبعاث بسبب انخفاض في مقدار الطاقة المستهلكة في عمليات النقل، لذاك نلاحظ في بعض الاحيان اختلاف او تباين في مقدار الطاقة المجسدة لانواع من الخشب اعتمادا على مصدر الخشب الخام. (Roaf etal, 2007, P.54-57)

إعادة التدوير Recycling

ان إعادة التدوير للمبنى او لعنصر في المبنى يقصد به التجديد او إعادة التاهيل وتختلف الاراء حول الفائدة من إعادة التاهيل او التجديد Refurbishing ، إتخاذ القرار بإعادة التدوير قد يكون اختيار ناجح في حالة عدم الاحتياج الى ادخال كميات كبيرة من الطاقة – الطاقة الداخلة في عملية الانتاج الجديدة – مع ضمان جودة المنتج. (Roaf etal, 2007, P.55) ، ويتم تصنيف المواد البنائية الى مواد بايولوجية اومواد تقنية ويفضل الابتعاد عن المواد الهجينة ومحاولة تصميم ابنية قابلة

للتفكك ، تصمم وفق نظام بايولوجي او نظام تقني (الحديد الى الحديد او الزجاج الى الزجاج) وهذا يعني عودة المواد البنائية الى عالمها الايضي الاساسي اما عن طريق الايض البايولوجي او الايض الصناعي وهذا مشابه لما يحدث في الطبيعة (Jones,2000,P.18) ، وإن إحدى المشاكل التي ارتبطت بمبادىء التصميم المستدام تكمن في رغبة المستهلك لمواكبة الحديث من مواد الانهاء المنتجة والتي تعد الافضل من حيث النوعية اذا ماقورنت بالمنتج المعاد واذا ماخذ بالحسبان ايضا الوقت الذي تحتاجه المواد المعادة الانتاج لتصبح متوفرة في السوق. (Holtshausen , 2007, P.8) ، الكثير من الابنية الحديثة حاليا والتي تعتمد على مفاهيم الاستدامة في تصاميمها اصبحت تحوي على نسبة كبيرة من المواد المعادة . وعادة ما يحدث تشويش او عدم وضوح في مصطلح إعادة التدوير ، فهناك على الاقل ثلاثة انواع من المواد القابلة للتدوير وهي :

(USGreen Building Council, 1996, P.179)

- المواد المستهلكة Post consumer Material هي نتاج الانشطة التجارية والصناعية او مخلفات النشاطات المنزلية والتي من غير الممكن استعمالها مرة ثانية لنفس الغرض.
- مخلفات العمليات الصناعية Recovered industrial process waste وعادة لايمكن اعادة استعمالها في العمليات ذاتها، مثل الخبث الناتج من عمليات صهر المعادن.
- المواد المعادة داخليا ضمن عمليات الانتاج .

Internally recycled materials from a manufacturing process

مثل بقايا القطع الناتجة من التهذيب وعمليات القص للمنتج.

المتانة Durability

وتعد متانة المواد البنائية إحدى اكثر العوامل اهمية في تاثيرها على دورة حياة المبنى. فاستعمال المواد البنائية غير المتينة (None-Durable) في الغلاف الخارجي وانهاءات المبنى تؤثر على تقييم دورة حياة المبنى لاحتياجها للصيانة والتبديل بصورة تكاد تكون مستمرة. (Jones, 2000, P.6) ، إن متانة المواد البنائية المستعملة هي احدى اكثر العوامل المؤثرة في دورة حياة المبنى، فعادة ماتحتاج المواد القليلة المتانة الى عمليات التبديل والصيانة ومن ثم فهي لها اثر في التقليل من دورة حياة المبنى. ومن أكثر العوامل المؤثرة والحاسمة في عملية اختيار المواد البنائية من قبل المعماري والمالك هي الكلفة الابتدائية التي قد تؤدي إلى احتمالية إختيار المواد البنائية التي لاتملك المتانة الكافية وذلك نتيجة التصور غير الواضح او المشوش حول العلاقة بين الكلفة الابتدائية (الاولية) للمبنى وبين الكلفة الجارية (المستقبلية) للمبنى وجزء من المشكلة يقع على عاتق المستثمرين الذين يهدفون الى تحقيق ارباح اولية كبيرة واهمال التفكير بالربح المستقبلي الحاصل خلال دورة حياة المبنى . تظهر الاختلافات في مقدار المتانة بشكل واضح عندما تكون هناك اختلافات واضحة في المدى العمري لمكونات المبنى والمواد البنائية والانظمة المستعملة في المبنى ، كما في الشكل (2)، نلاحظ ان معظم الطاقة المستهلكة هي نتيجة الصيانة وإعادة التاهيل للغلاف الخارجي للمبنى والانهاءات والخدمات . فالتصميم الجيد هو التصميم الذي يعمل على تقليل الكلفة الى حد كبير نسبة الى زيادة عمر المبنى، واحدى هذه الستراتيجيات التصميمية ممكن الوصول اليها من خلال التركيز على تصميم التفاصيل التي من شانها حماية المواد والاجزاء الاضعف في المبنى، وبصورة عامة فقد لوحظ ان مواد البناء ذات الطاقة المجسدة المنخفضة تحتاج الى صيانة مستمرة نسبيا وتفتقد الى المتانة كما تفتقد الى المواصفات الهيكلية (المنشئية) ولاتعد كفوءة في الاستعمال للمنشات العالية (الابنية العالية)، كما إن من الضروري الاعتناء باختيار مواد الانهاء اذا ما اخذ بالحسبان زيادة المدى العمري للمبنى. (Holtshausen , 2007, P.7)، فاختيار المواد البنائية ذات قابلية التحمل العالية والمدى العمري الطويل تضمن سنوات خدمة طويلة تقلل من الاستهلاك النسبي للموارد الطبيعية

والطاقة خلال سنوات الخدمة لهذه المواد بالمقارنة مع المواد البنائية المعرضة للتلف بسرعة وتحتاج الى الاستبدال (Esko, 2002, P.1) .

❖ المواد البنائية المنتخبة للدراسة

سيتناول البحث اكثر المواد البنائية استعمالا والأكثر شيوعا في الوقت الحاضر (كالخشب ،الطابوق، الحديد، الأسمنت، الالمنيوم والبلاستك) من اجل توفير قاعدة معلوماتية ضرورية حول تلك المواد وخصائصها مما لها اثر وأهمية في عملية اتخاذ القرار من قبل المختصين والمعماريين وتاثيرها الواضح في إستدامة المبنى وزيادة قيمته البيئية. فان المصمم ممكن ان يميز اويدرك التاثير الاساسي للطاقة المجسدة للمبنى من خلال التركيز على مواصفات تلك المواد وسيتم تناول هذه المواد من حيث التاثيرات البيئية وفق مؤشرات:

(الطاقة المجسدة ، إعادة التدوير، المتانة)

الخشب

ويعد من اقدم المواد استعمالا في إنشاء الابنية التقليدية وهو من المواد التي تمتلك شهادة بيئية ممتازة كونها من المصادر المتجددة ومن اهم مميزاته :

- التقليل من كمية غاز CO2 المنبعث في طبقات الجو.
- لا يحتاج الى تقنيات عالية اومهارات كبيرة للعمل به.
- يعد اختيار جيد كونه من المواد المستدامة.

▪ **الطاقة المجسدة للخشب ناتجة من :**

- عمليات التصنيع : الخشب غير المعامل ذو قيم واطئة من حيث الطاقة المجسدة وهو يدخل في الأستعمالات الداخلية ، اما الانواع الصلبة من الممكن استعمالها خارجيا بدون معالجتها على ان تدرس التفاصيل جيدا لتكون بعيدة عن المياه لضمان عدم تعرضها للتاف .
- عمليات النقل : الطاقة المجسدة الناتجة من عمليات النقل قد تكون مرتفعة بالاعتماد على المصدر ونوع الخشب المستعمل فهناك الاخشاب اللينة والأخشاب الصلبة Hard Wood التي عادة ما تستورد من الدول الاوربية وهي من غابات معتمدة في نموها على الامطار وهذه الغابات لايمكن ان يعوض مكانها صناعيا[6] اما الأخشاب اللينة Soft wood فتاتي من الغابات التي تعاد زراعتها وهذه الغابات التجارية عادة ماتزرع بواقع مساحات صغيرة للاشجار مما يؤثر في التنوع الاحيائي (Roaf etal, 2007, P.60-61)

▪ **إعادة التدوير:** يمكن إعادة تدوير الخشب الصلب من خلال اعادة نشره ، منتجات الخشب المنشئية والواح الخشب ممكن تدويرها واعادة نشرها فيما اذا كانت مثبتة في المنشأ بطريقة تسمح بازالتها بسهولة. (Us Green Building Council), 1996, P.180

▪ **المتانة :** يحتاج الخشب الى مواد مضافة في حالات الاستعمال الخارجي لمنع تلفه وغالبا ما تكون هذه المعالجات باعثة للسموم لذا يجب تجنب استعمالها في الابنية البيئية المراد لها ان تكون مستدامة. (Roaf etal, 2007, P.59-60)

الطابوق الطيني

يعدالطابوق الطيني من اقدم المواد البنائية التي إستعملت نظرا لتوافر مادة تكوينه وهي الطين في أغلب بقاع العالم وكانت الشمس هي المصدر المجاني لتجفيفه. بنى البابليون والسومريون مدنهم ومعابدهم من الطابوق المجفف تحت اشعة لشمس واثار تلك الحقبة من التاريخ هي شاهد على قوة وتحمل هذه المادة للظروف والعوامل الطبيعية.

▪ **الطاقة المجسدة للطابوق ناتجة عن :**

- عمليات التصنيع : إن التاثير الاولي في عمليات انتاج الطابوق هو مقدار الوقود والطاقة المستعملة في حرق الطابوق وتجفيفه، حيث يترك الطابوق بعد تشكيله ليجف ثم يمر بعدة مراحل لإعادة تجفيفه حتى يصل الى غرف ذات درجة حرارة تتراوح بين 100°f الى 400°f، ومعظم الحرارة هي ناتجة من إستعمال الغاز الطبيعي كوقود اساسي في عملية التصنيع. الطابوق الذي يمتلك قوة ضغط وشد عاليتين مع اقل مايمكن من قابلية الامتصاص هو الطابوق المقاوم

---

[6] ظهرت في المملكة المتحدة جمعيات بدات تضع خطة للمصادقة على الاخشاب القادمة من غابات مستدامة لكن هناك نسبة قليلة من الخشب التجاري المتوفر مصادق عليه ومن الصعب الحصول عليه. (Roaf etal, 2007, P.60)

للظروف المناخية، يحتاج الى زمن احراق اطول فضلا عن درجات حرارة عالية عند الحرق. يعد الغاز الطبيعي من اكثر انواع الوقود استعمالا في احراق الطابوق. (Calkins,2009,P.182) ويحتاج الطابوق الطيني طاقة مابين 15%-40% اكثر مما يحتاجه الطابوق الكونكريتي، لكن بالمقابل فان الطاقة الاولية المستعملة في حالة الطابوق الطيني ناتجة من احراق الغاز الطبيعي وهي تعد طاقة نظيفة اذا ماقورنت بالطاقة الاولية المستعملة في حالة الطابوق الكونكريتي الذي يعتمد في انتاجه على احراق الفحم. مقدار الانبعاث لغاز CO_2 الناتج من عمليات تصنيع الطابوق الطيني و الفضلات الناتجة هي اقل مما عليه في حاله الطابوق الكونكريتي. (Kim, 1998, P.24)

- عمليات النقل : يصنع الطابوق الطيني عادة من مادة الطين وهي من الموارد الطبيعية المتوفرة في أغلب بقاع العالم ، ترسبات الطين هذه تختلف في جودتها من منطقة الى اخرى ومن ثم فهي لاتناسب جميع الاستعمالات فهناك تباين في المسافة التي تقطعها شاحنات الطابوق بانتقالها من معامل الانتاج الى موقع التنفيذ. (Calkins, 2009, P.180-184)

- **إعادة التدوير:** يمتاز الطابوق الطيني بقابلية استعماله لاكثر من مرة ولانواع مختلفة من الهياكل الانشائية. وضمن عمليات الانتاج فهناك اعادة استعمال مستمرة للفضلات الناتجة . حسب تقديرات جمعية صناعة الطابوق فان 80% من الانتاج عادة ما تدخل فيه فضلات المواد الناتجة من الاحتراق خلال عمليات الانتاج ، وقد تنقل هذه الفضلات لتستعمل في منتجات اخرى . (Ibid , P.179-181)

- **المتانة:** يمتاز الطابوق الطيني بمتانة وديمومة عاليتين، وعند استعماله في الجزء المنشئي من المنشأ فهو يدوم لمئات السنين تصل الى 350 سنة أو أكثر مع احتياجه الى صيانة بسيطة ، وعلى الرغم من إمتلاكه لطاقة مجسدة عالية، لكن ممكن القبول بها بسبب ديمومته العالية.(Kim, 1998, P.24)

الحديد

يعد الحديد في الوقت الحاضر من اكثر المواد البنائية استعمالا في العالم لعدة اسباب :

- واسع الاستعمال في الهياكل المنشئية الرئيسية والثانوية لمعظم الابنية .
- يمتاز بامكانية اعادة تصنيعه 100% .
- سهولة وسرعة العمل به نتيجة لطرق تثبيته في العمليات الانشائية والتي تمتاز بامكانية رفع المقاطع ذات الابعاد القياسية وإعادة استعمالها.
- ممكن الاستفادة من فضلات الحديد وبعض النواتج العرضية لعمليات تصنيع الحديد في اعمال الانشاء، مثلا نواتج الافران او ما يدعى برماد الافران (زبدة المعدن) الناتجة من عمليات الانصهار (Us Green Building Council, 1996, P.183) وتستعمل كاحجار للطرق rood stone اوتطحن وتستعمل مع الاسمنت اومع خليط الخرسانة.

- **الطاقة المجسدة للحديد ناتجة من:**

- عمليات التصنيع: عمليات تصنيع الحديد تحتاج الى طاقة عالية ومركزة . وتشمل العديد من الخطوات على عمليات صهر للحديد والتي تحتاج الى افران ذات درجات حرارة عالية تصل الى 100C .
- عمليات النقل: نتيجة لوزن الحديد فهو يحتاج الى طاقة مجسدة كبيرة ناتجة من عمليات النقل وخاصة اذا ما كان ينقل على مدى مسافات طويلة.

فيعد **الحديد من المواد ذات الطاقة المجسدة العالية.**

الطريقة الاكثر فاعلية لخفض التاثير البيئي للحديد في عمليات الانشاء هي:

- التاكيد على إعادة استعمال العناصر الحديدية المستعملة في هياكل قديمة.
- تقليل كمية الطاقة المستهلكة في عمليات النقل من خلال الاعتماد على المصادر المحلية او المصادر القريبة لموقع التنفيذ. (Holtshausen , 2007, P.5)

- **إعادة التدوير:** الحديد من المواد التي تمتاز بامكانية عالية في اعادة تدويرها وممكن خفض كمية الطاقة

المستهلكة ومقدار التلوث الى 50-70% من الحد المعتاد في حالة إعادة تدويره .

(Us Green Building Council , 1996, P.180)

- **المتانة :** يمتاز الحديد بمتانة عالية لاسيما الحديد المعالج ضد الصدأ.

السمنت

يعد السمنت من المواد الاساسية المكونة للخرسانة فضلا عن استعماله في اعمال الإنهاءات للجدران، ويعد من بين اكثر المواد البنائية المتوفرة والمتسبب الاكبر لما يعرف بظاهرة البيت الزجاجي[7] .

- **الطاقة المجسدة للسمنت ناتجة من :**

- عمليات التصنيع : يشمل انتاج السمنت عمليات جمع السمنت وطحنه مع المواد الخام (حجر الكلس والطين والرمل) للحصول على المواد الاساسية المكونة له وهي الكالسيوم والسيليكا ومركبات الالمنيوم والحديد. بعد طحن المواد يتم تسخينها الى درجات حرارة عالية جدا للحصول على قطع من الرخام الصاب حالما يبرد، ثم تطحن مع كمية قليلة من الجبس للحصول على مسحوق السمنت، لذلك فالطاقة المستهلكة في عمليات التصنيع كبيرة جدا نتيجة الحرارة العالية التي تحتاجها تلك العمليات .
- عمليات النقل : تتسبب حاليا عمليات انتاج السمنت ما يعادل 0.33% من كمية غاز CO_2 المنبعثة في الولايات المتحدة ، بينما يشكل النقل 27% من كمية غازCO_2 المنبعثة. (Holtshausen , 2007, P.4-5)

- **إعادة التدوير:** الالواح الاسمنتية هي من الامثلة على المواد التي من الصعب تدويرها أواعادة استعمالها، وتقتصر بعض عمليات التدوير على سحقها واستعمالها كمواد املاء للطرق والارصفة.
- **المتانة :** تعد الالواح المؤلفة من مركبات مصنوعة من السمنت المسلح (الالواح السمنتية) والتي عادة ماتطلى باصباغ لماعة او تكسى بالبلاستك او طبقة خفيفة من المعادن ملائمة لتغليف الواجهات فهي تمتاز بالمتانة وبعض مكوناتها تحوي على مواد قابلة لاعادة التدوير فيما لوتم فصلها عن بعضها البعض بعناية وهي تعد اختيار جيد نظرا لديمومتها العالية ومتانتها.

(Us Green Building Council, 1996, P.180-185)

الالمنيوم

يعد الالمنيوم من اكثر مواد البناء متانة ورصانة فهو يعد من المواد ذات المدى العمري الطويل ويمتاز بامكانية اعادة تدويره بسهولة مما يضمن خفض في نسبة غاز CO_2 المنبعثة.(Kim, 1998, P.23)

- **الطاقة المجسدة للالمنيوم ناتجة من:**

- عمليات التصنيع: يحتاج الالمنيوم الى طاقة مجسدة عالية نتيجة لكمية الطاقة الاولية التي يحتاجها في عمليات الاستخراج والتصنيع فالانتاج الاولي للالمنيوم له تاثير سلبي كبير على البيئة.
- عمليات النقل: نتيجة لخفة الوزن الذي يمتاز بها الالمنيوم فالطاقة المستهلكة في النقل قليلة نسبيا فهناك تناسب طردي للطاقة المستهلكة مع وزن المادة.

- **إعادة التدوير:** يمتاز الالمنيوم بامكانية اعادة تدويره وتصنيعه في عمليات تعد سهلة وغير مكلفة،اذا ما أخذنا بالحسبان الوزن الخفيف للالمنيوم فالطاقة المجسدة له تساوي 80 MJ/Kg. (Holtshausen , 2007, p.5) ، وممكن خفض كمية الطاقة المستهلكة ومقدار التلوث الى 8.5% عن الحد المعتاد في حالة اعادة تدويره بدلا من استعمال الجديد منه .
- **المتانة :** تعد الواح الالمنيوم المطلية من المواد البنائية الملائمة في الواجهات فهي تستهلك مادة قليلة نسبة للتغطية - المساحة المغطاة من الواجهة - وتمتاز بالمتانة وامكانية اعادة الاستعمال والتدوير.

(Us Green Building Council, 1996, P.180-185)

البلاستك

يعد البلاستك من المواد التي تمتلك قيمة عالية من الطاقة المجسدة لكل وحدة وزن لكن ممكن الحصول على فائدة جمالية من خلالها اذا ما استعملت بكميات

---

[7] وتعرف ايضا بظاهرة الاحتباس الحراري او الدفيئة حيث يؤدي تراكم غاز ثاني اوكسيد الكربون الى حجز الاشعاع الشمسي قرب سطح الارض مما يتسبب في الزيادة التدريجية لحرارة سطحها . (اللجنة العالمية للبيئة والتنمية،1989،ص23)

قليلة كإضافة مفصل ضروري بين المواد البنائية اومن خلال زيادة كثافة بعض المواد مثل مادة الخشب، ففي هذه الحالة من الممكن زيادة عمر العنصر. (Roaf etal, 2007, P.58)

- **الطاقة المجسدة للبلاستك ناتجة عن :**

- عمليات التصنيع : الطاقة المجسدة للبلاستك الناتجة من عمليات التصنيع تعد عالية جدا فهي من اكثر الصناعات المسؤولة عن اكبر كمية انبعاث لغاز CO2 والذي يصل نسبته الى اكثر من نصف حجم الغازات السامة المنبعثة الى البيئة . (Roaf etal, 2007, P.59)

- **إعادة التدوير:** أغلب أنواع البلاستك تمتاز بامكانية إعادة التدوير وتسمح باعادة التشكيل لكن من الصعب تحديد نسبة الطاقة التي من الممكن توفيرها في حالة التدوير بسبب التنوع الكبير في مادة البلاستك المستعملة ومن الصعب فصلها عن بعضها فضلا عن الطلاءات التي تضاف وتجعل من عملية التدوير عملية معقدة وصعبة. (Us Green Building Council , 1996, P.180)

- **المتانة :** تختلف متانة البلاستك باختلاف المواد الداخلة في عملية التصنيع وبإختلاف الإستعمالات. (Roaf etal, 2007, P.58)

ومن خلال ماتقدم أعتمد البحث على المنهج الوصفي التحليلي المقارن (جدول (3)) في المواد البنائية المنتخبة للدراسة وفق مؤشرات الطاقة المجسدة ، إعادة التدوير ،المتانة ، ليتسنى دراستها وتحليلها على الجانب التطبيقي.

❖ الجانب التطبيقي

تم أختيار عينة منتخبة للدراسة مكونة من 5 مشاريع خضراء مستدامة عالمياً، اعتماداً على أسس واضحة تم أستنباطها من محتوى البحث لتحقيق اهدافه وهي:

- المشاريع المختارة هي من المشاريع الخضراء وتعد من ابرز الأمثلة العالمية الحائزة على جائزة LEED[8] او مقيمة من قبل AIA[9] كأفضل عشرة مشاريع خضراء لعام معين. تؤكد المشاريع على مؤشر أو اكثر من المؤشرات التي تناولها البحث (الطاقة المجسدة ،إعادة التدوير، المتانة).
- تم اختيار المشاريع التي أنتهى العمل بها مع نهايات القرن العشرين وبدايات القرن الواحد والعشرين فهي مواكبة للتطور الذي شهدته التكنولوجيا ومواد البناء في العقود الأخيرة (روعي في تسلسل عرض المشاريع التسلسل الزمني في إنشائها).
- تمتلك خصائص فكرية ومادية وشكلية مميزة .

✤ **اسم المشروع**: مركز مصادر الطاقة (Energy Resource Center)

- **الموقع** : كاليفورنيا (Downey) ، الولايات المتحدة الأمريكية
- **نوع المبنى**: مجمع مكاتب تجارية.
- **التنفيذ**: إعادة تاهيل لمجمع مكاتب أنشات عام 1957، أكتمل البناء في 1995.
- **وصف عام للمشروع ومحتوياته** : يقدم المركز افكار للزبائن لمساعدتهم من أجل الوصول الى أفضل الحلول والأفكار من حيث الكفاءة والكلفة والمتوافقة مع البيئة والتي تلبي أحتياجهم من الطاقة مع توفير الإدامة المطلوبة والإداء العالي للفضاءات المخدومة.
- **تقييم المشروع:** حاز المبنى على المستوى البرونزي من قبل LEED، كما قيم المشروع من قبل LEED كبناء واقع حال عام 2009 من حيث التشغيل والصيانة بالمستوى البرونزي ، وأختير المشروع من قبل مجلس AIA من بين أفضل عشرة مشاريع خضراء لعام 1998.
- **المواد البنائية ومصادرها:** إحدى أهم اهداف فريق العمل هو التقليل من كمية أستعمال الموارد الطبيعية من خلال التقليل في أستهلاكها وإعادة استعمال المواد وإعادة التدوير للمواد ودمج المنتجات المستهلكة مع

---

[8] (Leedership in Energy and Environmental Design) هو نظام تقييم المبنى الأخضر تم تقديمه بصورة رسمية الى العامة في عام 2000 من قبل مجاس البناء الأخضر في الولايات المتحدة الأمريكية ، تأسس في عام 1993 ، فأعتبر وثيقة حية يتم تحديثها كل ثلاث سنوات ساعدت في تحرك صناعة الأبنية نحو تجارب أكثر إستدامة ، لذا يمكن تصنيف الأبنية وفق نظام تقدير النسب ضمن الشروط والمعايير المستخدمة في الحكم على مدى إلتزام المبنى بالضوابط الخضراء وبشكل نقاط في جوانب مختلفة وحسب نوع المبنى كما في جدول (4) ، جدول (5) . (Mendler&Odell,2000,P.20)

[9] The American Institute of Architects (المعهد الامريكي للمعماريين)

المواد المعادة للتدوير وتجنب أستعمال المواد البنائية التي تهدد النظام الأيكولوجي ، إي ما يعادل 80% من المواد المستعملة هي مواد معادة أو مصنوعة من مواد قابلة للتدوير، وهذه تعد من أبرز الوسائل المتبعة للتقليل من الطاقة المجسدة. المواد البنائية المعادة المستعملة هي الحديد ، الواح الزجاج، والقواطع البلاستيكية للحمامات والخشب المستعمل في المدخل من الخشب المعاد تأهيله.

- **ستراتيجيات الإستدامة:**

- إعادة أستعمال المواد البنائية للمنشأ القديم.
- الأعتماد على السوق المحلية لجمع المواد البنائية التي من الممكن إعادة تدويرها وأستعمالها .
- إعادة أستعمال المواد الموجودة في المبنى القديم مثل البلاستك (أعيد أستعماله ليكون قواطع بلاستيكية معادة التصنيع) والخشب (إعادة تأهيله من المبنى القديم وإعادة استعماله) .شكل (3)

http://www2.aiatopten.org/hpb/overview.cfm?ProjectID=45

- **اسم المشروع**: مكتبة البحيرة (Lake View Terrace Library)
- **الموقع** : ، كاليفورنيا ، الولايات المتحدة الأمريكية
- **نوع المبنى**: ثقافي - مبنى منفرد.
- **التنفيذ**: بناء جديد، أكتمل البناء في حزيران 2003.
- **وصف عام للمشروع ومحتوياته** : تعد المكتبة مكان ثقافي أجتماعي تجري فيه فعاليات متنوعة تقع في مدينة لوس انجلس .

مكونات المبنى: قاعة المطالعة ، قاعة الأجتماعات ، معرض بيئي وباحة خارجية.

- **تقييم المشروع:** حاز المبنى على المستوى البلاتيني من قبل LEED، وأختير المشروع من قبل مجلس AIA من بين أفضل عشرة مشاريع خضراء لعام 2004 .
- **المواد البنائية ومصادرها:** عمر المبنى المصمم له 100 سنة لذلك تم أختيار مادة الكونكريت لبناء الهيكل فهو يتكون من وحدات بناء كونكريتية (CMV)[10] تتميز:

1- الوحدات مفرغة من الداخل فهي جزء من ستراتيجية التبريد المتبعة داخل المبنى .

2- الوحدات البنائية مصقولة لتوفير سطح انيق وللتقليل من الحاجة الى الصبغ .

- تم استعمال مواد بنائية معاد تصنيعها بنسبة 15% من مجمل المواد البنائية المستعملة مثل الحديد، للتقليل من الطاقة المجسدة المستهلكة في التصنيع.
- 60% من المواد البنائية المستعملة مصادرها تبعد حوالي 500 ميل من موقع المبنى، و30 % من المواد البنائية مصادرها من أماكن تبعد 100 ميل، وأكثر من نصف المواد البنائية هي من مواد بنائية محلية،للتقليل من الطاقة المجسدة المستهلكة في عمليات النقل.

يعد تحديد عمر المبنى في المراحل الأولى لعمليات التخطيط والتصميم من النقاط المهمة التي لها تأثير واضح في نوعية المواد البنائية المختارة في البناء (الإنشاء) وأحدى أهم النقاط في هذه الحاله هي أختيار مواد بنائية متقاربة في أعمارها الأفتراضية (وهو عامل مهم في تقييم كلفة أعمال الصيانة).

- **ستراتيجيات الأستدامة:**

- التخطيط المسبق لعمر المبنى ومن ثم تقدير أختيار المواد البنائية حسب أعمارها الأفتراضية Plan for Materials Longevity
- التقليل من غازات البيت الزجاجي المنبعثة من عمليات التصنيع[11]. أستعملت الوحدات البنائية الكونكريتية وتم أدخال مادة الرماد المتطاير (احدى مخلفات عمليات التصنيع) بنسبة 20% بدلا من الاسمنت البورتلندي للتقليل من عمليات التصنيع التي ينتج عنها أنبعاث الغازات السامة وأبرزها غاز ثاني أوكسيد الكربون.
- أختيار المواد البنائية المتوفرة في البيئة المحلية قدر الأمكان[12] و أختيار أرضيات من شجر البامبو بدلا من الخشب الصلب (Hardwood).
- عمليات نقل المواد(Transportation of Materials) كان له دور واضح في عملية أختيار المواد البنائية لما له من أثر في حساب الكلفة النهائية للمشروع لذلك

---

[10] CONCRETE MASONERY UNITS

[11] Greenhouse Gas Emissions From Manufacture

[12] Materials and Wildlife Habitat

فُضل أستعمال المواد البنائية التي تم أستعمالها وتصنيعها من البيئةالمحلية،شكل(4)
http://www2.aiatopten.org/hpb/overview.cfm?ProjectID=289

- **اسم المشروع**: مركز طلابي ضمن حرم الجامعة (Charles Hostler Student center)
  - **الموقع** : بيروت- لبنان
  - **نوع المبنى** : مبنى ترفيهي ضمن حرم جامعي
  - **التنفيذ** إنشاء جديد، أكمل البناء في شباط 2008.
  - **وصف عام للمشروع ومحتوياته:** يقع المركز ضمن الحرم الجامعي للجامعة الامريكية في بيروت يمثل نموذج مثالي لتصميم متجاوب بيئيا،يحوي قاعات للاجتماعات وكافتريا و فضاء للدراسة.
  - **تقييم المشروع:** أختير المشروع من قبل مجلس AIA من بين أفضل عشرة مشاريع خضراء لعام 2009
  - **المواد البنائية ومصادرها:** المواد المختارة من المواد البنائية المتوفرة محلياً ، للتقليل من الطاقة المجسدة المستهلكة في عمليات النقل، وتمتاز هذه المواد بالديمومة العالية (ذات عمر أفتراضي كبير) وذات متانة عالية . أعتمد نظام المبنى على المواد والتقنيات البنائية المستعملة محلياً متضمناً الكونكريت والحجر والألمنيوم للشبابيك، كما أستعملت كاسرات الشمس من الألمنيوم في الأتجاه الجنوبي والكاسرات المسبقة الصنع للشرق وجدران للجهة الغربية لتوفير الظل للشبابيك والأبواب.
  - **ستراتيجيات الاستدامة:**

- تفضيل المواد البنائية ذات المصادر المحلية التي يجري تصنيعها ضمن البيئة المحلية. للتقليل من كمية الطاقة المجسدة المستهلكة في عمليات النقل.
- اعتمد المشروع في تنفيذه على الربط بين التقنيات التقليدية والتقنيات الحديثة. شكل(5)

http://www2.aiatopten.org/hpb/images.cfm?ProjectID=1301

- **اسم المشروع**: دار للأجتماعات (First Unitarian Society Meeting House)
  - **الموقع** : ماديسن (Madison) ، ويسكونسن (Wisconsin)
  - **نوع المبنى**: دار للأجتماعات، مبنى منفرد ، موقع حضري، 91% مبنى جديد ، 9% ترميم لمبنى تاريخي.
  - **التنفيذ**: أكتمل البناء في أيلول 2008.
  - **وصف عام للمشروع ومحتوياته** : يعد المبنى الجديد هو إضافة بناء الى دار الأجتماعات التاريخية المصممة من قبل فرانك لويد رايت عام 1951 والتي تعد احد الأمثلة الأكثر ابداعا في العالم. طور المصممون اربعة معايير رئيسية كانت الموجه للقرارات التصميمية اللاحقة :

- المحاكاة للمبنى التاريخي والبناء ضمن روح الأصالة (الأستلهام من روح التاريخ ومحاكاة المبنى القديم).
- المحافظة على وحدة المبنى الجديد مع القديم.
- يعزز المبنى الجديد القوة الأيقونية للمبنى.
- المحافظة على تكامل المبنى مع الأنظمة الطبيعية والذي حققه فرانك لويد رايت في مبناه.

- **تقييم المشروع:** حاز المبنى على المستوى الذهبي من قبل LEED، ، وأختير المشروع من قبل مجلس AIA من بين أفضل عشرة مشاريع خضراء لعام 2011.
- **المواد البنائية ومصادرها:**

- أستعمال المواد البنائية المنتجة محلياً مع أستعمال الهياكل الحديدية في الأنشاء ،إضافة الى الخرسانة، واستعمال مواد سليلوزية للعزل ومن مواد معادة .
- استعمال أخشاب أشجار الصنوبر المتوفرة محلياً في الموقع والتي أستعملت في بعض السقوف والأبواب.
- استعمال الحجر المتوفر محلياً.
- 90% من مخلفات الموقع وضع لها برنامج لإعادة التدوير واستعمالها مرة اخرى .

- **ستراتيجيات الإستدامة:**

- حماية النظام البيئي. والتصميم لدورة حياة طويلة للمبنى باعتماد المواد ذات المتانة العالية.
- اعتماد عمليات إعادة التدوير لمخلفات الموقع.
- استعمال المواد المحلية المتوفرة في الموقع ومن ضمنهاالأخشاب والمواد المنتجة محلياً.

- عمليات نقل المواد: اعتماد المواد البنائية من المصادر المحلية والمصنعة محلياً، للتقليل من الطاقة المجسدة المستهلكة في النقل، شكل (6) .

http://www2.aiatopten.org/hpb/grid2011.cfm?project_id=1964&section=16

- **اسم المشروع**: مبنى تعليمي (High Tech High (Chula Vista
  - **الموقع** : كاليفورنيا (Chula Vista)، أمريكا
  - **نوع المبنى**: مبنى منفرد ، تعليمي، المساحة $4120\ m^2$ في مركز المدينة
  - **التنفيذ**: بناء جديد ، أكتمل البناء في أذار 2009.
  - **وصف عام للمشروع ومحتوياته** : تخدم المدرسة 550 طالب مابين المراحل 9- 12، تقع المدرسة في موقع من أكثر المواقع تنوعاً ثقافياً و اقتصادياً في الولايات المتحدة الأمريكية.
  - **تقييم المشروع:** حاز المبنى على المستوى الذهبي من قبل LEED، أختير المشروع من قبل مجلس AIA من بين أفضل عشرة مشاريع خضراء لعام 2011 .
  - **المواد البنائية ومصادرها:**

- أعتمد الأنشاء على نوعين من القطع المصنعة ، وحدات مسبقة الصنع حديثة ووحدات تقليدية الصنع،كلاهما أعتمد على تجميع الوحدات المتكررة ذات الأبعاد المقيسة، وأعتمدت هذه الأبعاد المقيسة لكل اجزاء المبنى بما فيها الخدمات للتقليل الى الحد الأدنى من القطع التالفة الناتجة من القطع.
- أعتماد الخشب المحلي في معظم أجزاء المبنى.
- أعتماد الوحدات التكرارية المقيسة Modules الذي أعطى الفرصة لتوفير الوقت في التنفيذ فعملية تجميع أجزاء المبنى كانت تستغرق فقط بضعة أيام. وهذا ايضاً قلل من الأعمال الأنشائية داخل الموقع الى الحد الأدنى لها ، ومن ثم الحد من التلوث ، الضوضاء في الموقع ، إضافة الى ماتوفره هذه الوحدات من إمكانية التفكيك بسهولة وأستعمالها مرة أخرى في المستقبل اذا أستدعى الأمر.
- روعي في أختيار مواد بنائية ذات إداء بيئي صحي عالي وتم التأكيد على منتجات الخشب ، والهياكل الحديدية المقيسة في الإنشاء.
- صمم المشروع لدورة حياة 100 سنة أو أكثر، أستعمل في المبنى مواد ذات متطلبات صيانة منخفضة : الطوابق الخرسانية ، التأطير بالحديد (الفولاذ) الأسقف والأرضية من الحديد ، سمنت ليفي ، لضمان إدامة طويلة للمدرسة.
- أعتماد نظام الوحدات المكررة (Modular) يعطي امكانيات التغير في المستقبل مع التقنيات المستحدثة وخاصة في مجال الطاقة وأنظمة الخدمات .

- **ستراتيجيات الإستدامة:**

- إستعمال الوحدات البنائية القابلة لإعادة الأستعمال بواسطة: أستعمال وحدات بنائية مقيسة قابلة للأستعمال مرة ثانية والتأكيد على أستعمال التكرار للوحدات المقيسة (Modular) .
- التخطيط لمواد أطول عمراً من خلال: أستعمال مواد وأنظمة ذات متطلبات صيانة منخفضة وأستعمال السمنت الليفي .
- أستعمال المواد المعادة للتقليل من الطاقة المجسدة المستهلكة في عمليات التصنيع من خلال استعمال الهياكل الأنشائية من مواد معادة. شكل (7)

http://www2.aiatopten.org/hpb/grid2011.cfm?project_id=1950&section=16

❖ نتائج الدراسة العملية

ومن خلال ماتم عرضه من مشاريع عالمية حائزة على جائزة LEED ، والمقيمة كأفضل مشاريع خضراء من قبل AIA ، وباستخدام المنهج الوصفي التحليلي المقارن جدول رقم (5) ، تبين :

1. ان جميع المشاريع كانت قد وضعت ضمن ستراتيجيتها التقليل من الطاقة المجسدة المستهلكة في عمليات النقل من خلال أعتمادها على المواد المحلية في أغلب اجزاء المشروع ومادة الخشب والحجر وحسب ماهو متوفر في كل منطقة وهذا مالاحظناه في المشاريع(2، 4، 5)
2. أن أبرز الستراتيجيات المتبعة للتقليل من الطاقة المجسدة المستهلكة في عمليات التصنيع فقد تباينت بين

استعمال مواد ذات طاقة مجسدة قليلة مثل الخشب كما في المشروع (5،4،1) والحجر في المشروع (3،4) وبين استعمال مواد معادة التصنيع والتاكيد على ماهو متوفر في السوق المحلية ضمن المنطقة للتقليل من الطاقة المجسدة المستهلكة في عمليات النقل في نفس الوقت كما في المشروع (5) ،

3. التقليل من كمية الموارد الطبيعية المستهلكة فيظهر ذلك واضحاً في أختيار مواد قابلة للتدوير ومقيسة ومواد وعادة بنسب كبيرة ضمن المشروع الواحد كما في المشاريع (5،4،2،1) والتأكيد على أستعمال الوحدات المتكررة والمواد المقيسة ومن أبرز المواد التي أستعملت هي الحديد ،

4. أما مايخص المتانة فقد كان التخطيط المسبق لتحديد عمرالمبنى دور كبير في أختيار مواد بنائية ذات متانة عالية ومتقاربة في أعمارها الأفتراضية كما في المشروع (5،4،2). وبذلك يكون البحث قد توصل الى الكشف عن أليات أختيار المواد البنائية بما يخدم الإداء الوظيفي لها ويقلل من تأثيراتها السلبية على البيئة والحفاظ على مواردها وأنظمتها الأيكولوجية قدر الأمكان وفق مؤشرات : الطاقة المجسدة، إعادة التدوير، المتانة، والتي لها تأثير كبير في تحقيق ابنية مستدامة ضمن البيئة المحلية.

❖ الاستنتاجات

- استعمال المواد البنائية القابلة للتدوير وإعادة الاستعمال مثل الالمنيوم والحديد وبالأبعاد القياسية مما يضمن سهوله تجميعها ومن ثم سهولة تفكيكها اذا اقتضت الحاجة وإعادة استعمالها او إعادة تدويرها، للتقليل من التأثير السلبي لهذه المواد على البيئة .
- يعد استخدام المواد الطبيعية ذات الأستهلاك الأقل لكميات الطاقة في عمليات التصنيع مثل الخشب لها أثر فعال في تقليل التاثير البيئي،وان لم يكن استعمال المواد غير الطبيعية قابلا للتجنب فيجب ان يكون مشروطا بمنافع اخرى مثل الديمومة العالية للحصول على مدى عمري أطول اثناء فترة حياة المبنى.
- إستخدام مواد بنائية طبيعية منتجة محليا لتجنب استخدام طاقة كبيرة في نقلها والتي تحتاج الى اقل مايمكن من عمليات التصنيع.
- استعمال مواد بنائية متقاربة او مماثلة في مدى ديمومتها للحد من الطاقة المستهلكة في عمليات الصيانة على مدى طول عمر المبنى.

❖ التوصيات

- وضع ستراتيجية واضحة للمشروع قبل البدء بالتصميم... مثل تحديد عمر المبنى ومايترتب عليه من اعتبارات كالمواد والهياكل المستعملة ، نظم الأنشاء.
- الدراسة المستفيضة للموقع من حيث المواد المتوفرة محليا ضمن الموقع وطرق الإنشاء في المنطقة والوسائل والأنظمة المستعملة في الأنشاء تساعد فريق العمل لتقييم الستراتيجيات الفعاله في ذلك الموقع وتحديدها .
- تحتاج الكثير من البلدان النامية الى معلومات عن طبيعة وانتاج المواد البنائية والمخاطر المرتبطة ببعض عمليات انتاجها، من خلال اعداد برامج تدريبية خاصة للعاملين في قطاع صناعة المواد البنائية.
- زيادة الوعي البيئي للمواد البنائية المحلية في الاقسام الهندسية في جامعات القطر كافة ابتدءا من العملية التعليمية، وأستمرارها اثناء الممارسة من خلال التعليم المستمر والتدريب والتاهيل المهني.
- إصدار ادوات تقييم لحساب مدى التأثيرات البيئية. الحرجة للمواد البنائية خلال دورة حياة المبنى الناجمة عن انشاء وتشغيل المبنى، ومن ثم الهدم والازالة.
- تاسيس مراكز بحثية متخصصة لدراسة المواد البنائية من حيث تاثيراتها البيئيةواقامة المحاضرات والندوات والدورات التدريبية للهيئات الهندسية والمهنية

المصادر العربية:

1) رضاب أحمد محمود؛"**الأبنية المدارية الذكية، دراسة أثر التكامل البيئي التقني في تقليل كلفة المبنى الأنشائية والتشغيلية**"، رسالة ماجستير، قسم الهندسة المعمارية، الجامعة التكنولوجية،2009.

2) رغد نعمة الله حمد الله؛ "**التكنولوجيا والشكل – أثر التكنولوجيا الحديثة في شكل المسكن**"، رسالة ماجستير، قسم الهندسة المعمارية، كلية الهندسة،جامعة بغداد،1997.

3) الزبيدي ، مها صباح سلمان؛ "**الاستدامة البيئية في تشكيل التجمعات الاسكانية في العراق**"، اطروحة دكتوراه، قسم الهندسة المعمارية، كلية الهندسة،جامعة بغداد،2006.

4) موسشيت، ف. دوجلاس؛ "**مبادئ التنمية المستدامة**"، ، تحرير:ف .دوجلاس موسشيت، ترجمة: بهاء شاهين، الدار الدولية للاستثمارات الثقافية، القاهرة، الطبعة الاولى، 2000.

5) وزيري، يحيى؛ "**التصميم المعماري الصديق للبيئة نحو: عمارة خضراء**" الطبعة الاولى، مكتبة مدبولي،القاهرة،2003.

6) اللجنة العالمية للبيئة والتنمية؛ "**مستقبلنا المشترك**"، سلسلة عالم المعرفة العدد(142) – المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب، الكويت، 1989.

English References

1) Calkins, Meg ,” **Materials of Sustainabl Sites”,** John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, Canada ,2009.

2) Esko Miettinen,” **Sustainable Architecture with Stainless Steel**” the conference creative architecture with Stainless Steel jointly organized by (Euro Inox, Brussels, Belgium, and Cedinox , Madrid ,Spain) , Barcelona on12th March 2002.

3) Gumaste, Krishnakedar. S., , “**Embodied Energy Computations In Buildings**”, Advances in Energy Research (AER – 2006.

4) Gunther,Thomas Schmitz , **Living Spaces-Ecological Building and Design**,Slovenia,1999.

5) Holtshausen, H.J, “**Embodied Energy and its impact on Architectural Decisions** “, Faculty of Art and, Design and Architecture, University of Johannesburg, 2007.

6) Jones, Anna Ray; "**sustainable architecture in Japan- the green buildings of nikken sekkei**", wiley academy, UK, 2000.

7) Kim ,Jong-Jin, “**Sustainable Architecture Module: Qualities, Use, and Examples of Sustainable Building Materials**”, 1998, The University of Michigan .

8) Mendler, Sandara &odell, William;"**the hok guide book to sustainable design**", John Wiley and Sons Inc., USA, 2000.

9) Pank ,Will –Girardet , Herbert & Cox ,Greg “**Tall Buildings and Sustainablility**”, Corporation of London,2002.

10)Randall, Thomas,”**Environmental Design (An Introduction for Architects and Engineers)**” Taylor&francis e-Library,2006.

11)Reddy , Venkatarama ,“**Sustainable building technologies”,** Department of Civil Engineering & Centre for Sustainable Technologies, Indian Institute of Science, Bangalore 560 012, India ,Current Science, Vol. 87, NO. 7, 10 October, 2004.

12)Roaf ,Sue - Fuentes, Mannel and Stephanic Thomas, “**Eco House :A Design Guide**”, Oxford,UK 2007.

13)US green building Council,” **sustainable Building Technical Manual**”, Bublic Technology Inc.,1996.

Internet Sites references

1) http://www.usgbc.org/DisplayPage.aspx?CMSPageID=1721 موقع مجلس المبنى الاخضر

2) http://www2.aiatopten.org/hpb/grid2011.cfm?project_id=1950&section=16 موقع المعهد الامريكي للمعماريين

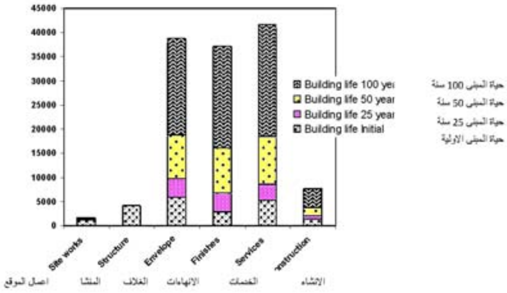
3) http://www2.aiatopten.org/hpb/grid2011.cfm?project_id=1964&section=16 موقع المعهد الامريكي للمعماريين

4) http://www2.aiatopten.org/hpb/images.cfm?ProjectID=1301 موقع المعهد الامريكي للمعماريين

5) http://www2.aiatopten.org/hpb/overview.cfm?ProjectID=289 موقع المعهد الامريكي للمعماريين

6) http://www2.aiatopten.org/hpb/overview.cfm?ProjectID=45 موقع المعهد الامريكي للمعماريين

شكل(1) المراحل المثالية للمادة أو دورة حياة المنتَجِ مبينة مساهماتِ الطاقةِ والمخلفات الناتجة في كُلّ مرحلة ، المصدر:الباحثتان بالإستناد الى (Calkins,2009,P.24)



شكل(2) مقارنة اولية للطاقة الراجعة لمبنى ذو هيكل خشبي الى حد 100 سنة من عمر المبنى،المصدر:(Holtshausen , 2007, P.3)


المخطط الأفقي للمبنى استعمال المواد ذات المتانة العالية مثل الحديد. استعمال المواد البنائية المحلية التي لا تحتاج الى عمليات تصنيع معقدة مثل الخشب

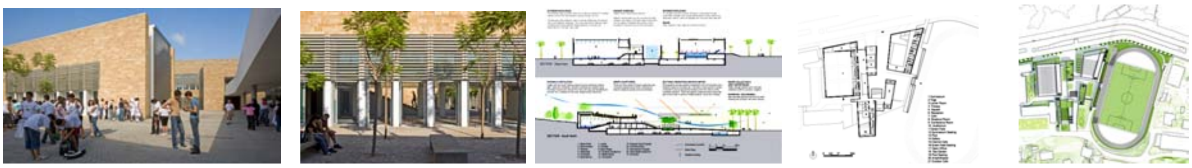
شكل(3) : المشروع الأول :مركز مصادر الطاقة (Energy Resource Center) كاليفورنيا - أمريكا،

المصدر: http://www2.aiatopten.org/hpb/overview.cfm?ProjectID=45


مخطط افقي للمكتبة مقاطع في المكتبة استعمال الوحدات البنائية الكونكريتية مع المواد البنائية المحلية استعمال خشب البامبو المتوفر محليا

شكل(4): المشروع الثاني: مكتبة البحيرة (lake View Terrace Library) كاليفورنيا - أمريكا ،

المصدر: http://www2.aiatopten.org/hpb/overview.cfm?ProjectID=289


الموقع العام للمشروع المخطط الأفقي للطابق الأول مقاطع في المبنى استعمال المواد البنائية المحلية مثل الحجر كبير اختيار مواد بنائية ذات عمر افتراضي لضمان متانة عالية مثل الكونكريت والحجر

شكل(5) : المشروع الثالث : مركز طلابي ضمن حرم الجامعة (Charles Hostler Student center)

بيروت- لبنان ، المصدر: http://www2.aiatopten.org/hpb/images.cfm?ProjectID=1301


الموقع العام للمشروع   المخطط الأفقي للمشروع   استعمال المواد البنائية المحلية مثل الحجر والخشب   استعمال الخشب المتوفر محليا (أشجار الصنوبر)

شكل(6) : المشروع الرابع : دار للأجتماعات (First Unitarian Society Meeting House) - ماديسن

المصدر : http://www2.aiatopten.org/hpb/grid2011.cfm?project_id=1964&section=16


الموقع العام للمشروع   المخطط الأفقي للمشروع   استعمال المواد المحلية مثل الخشب   أعتماد الوحدات المتكررة المقيسة

شكل(7) : المشروع الخامس : مبنى تعليمي (High Tech High Chula Vista) كاليفورنيا - أمريكا ،

المصدر: http://www2.aiatopten.org/hpb/grid2011.cfm?project_id=1950&section=16

جدول(1) التسلسل التاريخي لظهور المواد البنائية ،

المصدر: (Reddy ,2004,P.899)

ت	المادة البنائية	الفترة
.1	الطين، أحجار، خشب / قَشّ	Prior 8000 BC
.2	الطابوق المجفف بالشمس	6000 BC
.3	المنتَجات الفخارية	4000 BC -8000 BC
.4	الطابوق المحترق	4000 BC
.5	الكلس	3000 BC
.6	الزجاج	1300 BC
.7	المنتَجات الحديدية	1350 BC
.8	الكلس(إسمنت بوزلانا)	300 BC - 476 AD
.9	الألمنيوم	1808 AD
.10	إسمنت بورتلند	1824 AD
.11	البلاستيك	1862

جدول(2) مقدار الطاقة المجسدة للمواد البنائية ،

المصدر:(Holtshausen , 2007, P.4)

ت	المواد البنائية	الطاقة المجسدة	
		MJ/kg[14]	MJ/m³ [13]
.1	حجر(محلي)	0.79	2030
.2	كتلة خرسانية (كونكريتية)	0.94	2350
.3	خرسانية (كونكريت)	1.30	3180
.4	خرسانة(كونكريت) مسبق الصنع	2.00	2780
.5	طابوق	2.50	5170
.6	فولاذ معاد	8.90	37210
.7	فولاذ	32.00	251200
.8	الخشب المعاكس	10.40	5720
.9	عازل	117.00	3770
.10	المنيوم معاد	8.10	21870
.11	المنيوم	227.00	515700

---

[13] حساب كمية الطاقة المجسدة لكل وحدة حجم للمادة

[14] حساب كمية الطاقة المجسدة لكل وحدة وزن للمادة

جدول(3) مقارنة بين المواد البنائية التي تناولها البحث وتم دراستها وفق مؤشرات الطاقة المجسدة، إعادة التدوير، المتانة، المصدر: الباحثتان

ت	المادة	الطاقة المجسدة			إعادة التدوير	المتانة
		العوامل المؤثرة على كمية الطاقة		كمية الطاقة المجهزة[15]		
		النقل	عمليات التصنيع			
.1	الخشب	متباينة اعتمادا على المصدر	طاقة واطئة	متوسطة	من الممكن اعادة تدويره من خلال اعادة نشره	متباينه اعتمادا على نوع الخشب والمعالجة المستعملة لحمايته
.2	الطابوق الطيني	واطئة	طاقة عالية	متوسطة	اعادة التدوير يتم اثناء مراحل الانتاج وهي مخلفات الافران حيث تدخل في العملية الانتاجية مرة اخرى	متانة وديمومة عالية
.3	الحديد	يحتاج طاقة عالية بسبب وزنه خاصة اذا ما كان ينقل على مسافات طويله	طاقة عالية ومركزة	عالية جدا	ممكن إعادة تدويره 100%	يمتاز بمتانة عالية
.4	السمنت	طاقة عالية	طاقة عالية	عالية	من الصعب تدويره وتقتصر بعض عمليات التدوير على سحقه واستعماله كمواد املاء للطارق والارصفة	يمتاز بالمتانة وديمومة عالية
.5	الالمنيوم	قليلة نسبة لخفة وزنه	طاقة اولية عالية ومركزة جدا اثناء التصنيع	عالية جدا	يمتاز بامكانية اعادة التدوير وتصنيعه في عمليات سهلة وغير مكلفة	ديمومة عالية
.6	البلاستك	متباينة لتباين المواد الداخلة في الصناعة	طاقة عالية جدا من اكثر الصناعات المسؤوله عن اكبر كمية انبعاث CO_2	عالية جدا	عملية التدوير معقدةوصعبة بسبب التنوع الكبيرفي المواد الداخلة في صناعته	متباينة نتيجة لاختلاف المواد الداخلة في صناعته

جدول (4) المعايير المستخدمة في تقييم LEED وحسب نوع المبنى

المصدر:الباحثتان بالإستناد الى (موقع مجلس المبنى الاخضر)

(http://www.usgbc.org/DisplayPage.aspx?CMSPageID=1721

	معايير ليد LEED Facts	إنشاء جديد أبنية عامة	تصاميم داخلية لأبنية تجارية	أبنية سكنية	أبنية واقع حال	المصاعد والقشرة الخارجية
.1	مخططات الموقع المستدامة	14	7	14	16	15
.2	كفاءة المياه	5	2	12	5	5
.3	الطاقة والغلاف الحيوي	17	12	29	22	15
.4	المواد والموارد	13	14	24	10	9
.5	النوعية البيئية الداخلية	15	17	14	18	13
.6	المواقع والمجاورات	/	/	10	/	/
.7	الوعي والتعليم	/	/	5	/	/
.8	الإبتكار والتصميم	5	5	4	5	5
	التقييم لا يتجاوز مجموع النقاط	69	57	108	76	62

جدول (5) تصنيف الأبنية وفق نظام LEED ضمن الشروط والمعايير المصدر: الباحثتان بالإستناد إلى

(Mendler&Odell,2005,P.20)

http://www.usgbc.org/DisplayPage.aspx?CMSPageID=1721

ت	تصنيف الأبنية وفق نظام LEED	عدد النقاط (إنشاء جديد)	نسبة الضمانات لبقية التصنيفات
.1	البرونزي	26-32 نقطة	يحقق 40% من الضمانات
.2	الفضي	33-38 نقطة	يحقق 51- 60% من الضمانات
.3	الذهبي	39-51 نقطة	يحقق 61 - 80% من الضمانات
.4	البلاتيني	52-69 نقطة	يحقق 80% من الضمانات

تحدد قيمة معينة لكل فقرة من الفقرات المبينة في جدول (4) ، وهذه القيمة متغيرة حسب نوع المبنى كونه إنشاء جديد او واقع حال ، أبنية عامة أو أبنية سكنية وتحدد قيم للمصاعد والقشرة الخارجية ، ومن مجموع القيم التي يحصل عليها المشروع ممكن تقييم المشروع وحسب جدول

---

[15] بالاستناد الى مصدر(Randall,2006,P.72)

جدول (6) مقارنة للمشاريع المنتخبة للدراسة ، المصدر: الباحثتان

ت	اسم المشروع	الطاقة المجسدة		إعادة التدوير	المتانة	تقييم المشروع
		العوامل المؤثرة على كمية الطاقة				
		النقل	عمليات التصنيع			
1.	مركز مصادر الطاقة كاليفورنيا امريكا	الأعتماد على السوق المحلية لجمع المواد البنائية التي من الممكن اعادة تدويرها وأستعمالها.	استعمال المواد البنائية المحلية التي لاتحتاج الى عمليات تصنيع معقدة مثل الخشب.	للتقليل من استعمال الموارد الطبيعية فان 80%من المواد البنائية المستعملة هي مواد معاد تدويرها او من المواد القابلة للتدوير (مثل الحديد والواح الزجاج) كما أن الخشب المستعمل من الخشب المعاد تأهيله.	استعمال المواد ذات المتانة العالية مثل الحديد.	المستوى البرونزي (LEED) اختير كافضل عشرة مشاريع خضراء لعام 1998 من قبل AIA
2.	مكتبة البحيرة كاليفورنيا امريكا	أكثر من نصف المواد البنائية من مواد بنائية محلية مثل شجر البابو بدلاً من الخشب الصلب لتقليل كلفة النقل ،استعملت مواد بنائية محلية تم تصنيعها في البيئة المحلية.	أستعمال الوحدات البنائية الكونكريتية وأدخال مادة الرماد المتطاير (أحدى مخلفات عمليات التصنيع) بنسبة 20% بدلاً من السمنت البروتلاندي للتقليل من عمليات التصنيع للتقليل من أنبعاث CO2.	أستعمال مواد بنائية معاد تصنيعها بنسبة 15% من المواد المستعملة مثل الحديد	عمر المبنى المصمم له 100 سنه لذلك تم أختيار مادة الكونكريت لبناء الهيكل وأختيار مواد بنائية متقاربة في أعمارها الأفتراضية (وهو عامل مهم لتقليل من كلفة أعمال الصيانة)	المستوى البلاتيني (LEED) اختير كافضل عشرة مشاريع خضراء لعام 2004 من قبل AIA
3.	مركز طلابي بيروت لبنان	أختيار المواد البنائية من مصادر محلية مثل الحجر.	أستعمال المواد البنائية المحلية مثل الحجر.	————————	أختيار مواد بنائية ذات عمر أفتراضي كبير وذات متانة عالية مثل الكونكريت والحجر وذات ديمومة عالية مثل الألمنيوم.	اختير كافضل عشرة مشاريع خضراء لعام 2009 من قبل AIA
4.	دار للأجتماعات ماديسن ويسكونسن	أعتماد المواد البنائية المحلية والمصنعة محلياً.استعمال أخشاب أشجار الصنوبروالحجر المتوفر محلياً في الموقع .	أعتماد مواد منتجة محلياً مثل الخشب والحجر ولاتحتاج الى عمليات تصنيع معقدة.	أستعمال مواد سليلوزية للعزل من مواد معادة 90% من مخلفات الموقع وضع لها برنامج لإعادة التدوير وأستعمالها مرة أخرى.	التصميم لدورة حياة طويلة للمبنى بأعتماد المواد ذات المتانة العالية مثل الخرسانة والهياكل الحديدية.	المستوى الذهبي (LEED) اختير كافضل عشرة مشاريع خضراء لعام 2011 من قبل AIA
5.	مبنى تعليمي كاليفورنيا أمريكا	أستعمال المواد المحلية في معظم أجزاء المبنى مثل الخشب.	أستعمال المواد المحلية بنسبة كبيرة أعتماد الأبعاد المقيسة للحد من القطع التالفة الناتجة من القطع ،أستعمال المواد ذات الإداء الصحي والبيئي العالي مثل منتجات الخشب والهياكل الحديدية المقيسة.	أستعمال المكونات القابلة لإعادة الأستعمال ، والهياكل المعادة . أعتماد الوحدات ال متكررة المقيسة M AODULES ، إعطاء فرصة لتوفير الوقت وتقليل الأعمال الأنشائية في الموقع ، إضافة الى إمكانية التفكيك بسهولة وأستعمالها مرة أخرى ،أستعمال الهياكل الحديدية المقيسة.	صمم المشروع لدورة حياة 100 سنه أو أكثر لذلك أستعملت المواد ذات متطلبات الصيانة الأقل مثل الطوابق الخرسانية و الهياكل الحديدية والسمنت الليفي. أستعمال الهياكل الحديدية المقيسة في الإنشاء .	المستوى الذهبي (LEED) اختير كافضل عشرة مشاريع خضراء لعام 2011 من قبل AIA

Effect of Transverse Base Width Restraint on the Cracking Behavior of Massive Concrete

Dr. Adnan Falih. Ali
Professor
Baghdad University
Email:adnan.f@yahoo.com

Dr. Omar Al-Farouq Al-Damluji
Professor
Baghdad University
Email:omaraldamluji@gmail.com

Dr. Ala'a Hussein. A. Al-Zuhairi
Lecturer
Baghdad University
Email: alaalwn@yahoo.com

Abstract

The effect of considering the third dimension in mass concrete members on its cracking behavior is investigated in this study. The investigation includes thermal and structural analyses of mass concrete structures. From thermal analysis, the actual temperature distribution throughout the mass concrete body was obtained due to the generation of heat as a result of cement hydration in addition to the ambient circumstances. This was performed via solving the differential equations of heat conduction and convection using the finite element method.

The finite element method was also implemented in the structural analysis adopting the concept of initial strain problem. Drying shrinkage volume changes were calculated using the procedure suggested by ACI Committee 209 and inverted to equivalent temperature differences to be added algebraically to the temperature differences obtained from thermal analysis.

Willam-Warnke model with five strength parameters is used in modeling of concrete material in which cracking and crushing behavior of concrete can be included. The ANSYS program was employed in a modified manner to perform the above analyses.

A thick concrete slab of 1.5m in thickness and 10m in length was analyzed for different widths 2, 4, 8, and 10m to produce different aspect ratios (B/L) of 0.2, 0.4, 0.8, and 1.0 respectively. The results of the analyses show an increase in cracking tendency of mass concrete member as the aspect ratio of the same member is increased due to the effect of transverse base restraint. Accordingly, such effect cannot be ignored in the analysis of base restrained mass concrete structures subjected to temperature and drying shrinkage volume changes.

Keywords: Mass concrete, temperature difference, drying volume change, base restraint, concrete cracking.

تأثير تقييد عرض القاعدة العرضي على سلوك تشقق الخرسانة الكتلية

د.عدنان فالح علي
استاذ

د.عمرالفاروق الدملوجي
استاذ

د.علاء حسين علوان الزهيري
مدرس

الخلاصة

في هذا البحث، تم إجراء تحري عن تأثير أخذ البعد الثالث في أعضاء الخرسانة الكتلية بنظر الاعتبار على تشققها. وتتضمن الدراسة إجراء التحليل الحراري والإنشائي لمنشآت الخرسانة الكتلية. ويتم الحصول على التوزيع الحقيقي لدرجات الحرارة خلال جسم الخرسانة الكتلية من خلال التحليل الحراري للمسألة نتيجة للحرارة المتولدة جراء إماهة السمنت بالإضافة إلى الظروف الجوية المحيطة. وهذا يجرى من خلال حل المعادلتين التفاضليتين للتوصيل والحمل الحراري باستخدام طريقة العناصر المحددة.

كما إن طريقة العناصر المحددة أستخدمت أيضا في التحليل الأنشائي وذلك بتبني فكرة مسألة الأنفعال الابتدائي. كذلك يتم احتساب التقلصات الحجمية المرافقة لجفاف الخرسانة بالاعتماد على الطريقة المقترحة من قبل معهد الخرسانة الأمريكي

لجنة 209 والتي يتم تحويلها إلى ما يكافئها من تغير في درجات الحرارة لتضاف جبريا إلى التغيرات بدرجات الحرارة التي تم الحصول عليها من التحليل الحراري.

لقد تم تبني نموذج ويلام-ورانك ذات خمسة معاملات مقاومة لتمثيل مادة الخرسانة إذ يتضمن هذا النموذج تصرف الخرسانة في حالتي التشقق والتهشم. هذا وتم استخدام برنامج ANSYS وبطريقة معدلة لإنجاز التحليلين المشار أليهما أعلاه.

تم تحليل بلاطة خرسانية بسمك 1.5م وطول 10م وبأعراض مختلفة 2، 4، 8 و10م لتحقيق نسب جانبية عرض/طول مختلفة 0.2، 0.4، 0.8و 1.0 على الترتيب. أظهرت نتائج التحليل زيادة في قابلية تشقق أعضاء الخرسانة الكتلية بزيادة النسب الجانبية بسبب تأثير تقييد القاعدة العرضي. وعليه، فأن مثل هذا التأثير لا يمكن إهماله في منشآت الخرسانة الكتلية التي تتعرض لتغيرات في درجات الحرارة و تقلص الجفاف.

الكلمات الرئيسيه :

الخرسانة الكتلية، اختلاف درجة الحرارة، التغير الحجمي بالجفاف، تقييد القاعدة، تشقق الخرسانة

Introduction

Mass concrete is an expression usually used for any concrete structure with dimensions large enough to cause structural problems during and after the construction period. These problems are mainly the occurrence of cracking due to temperature variations and shrinkage volume changes. Like any solid material, concrete is affected by increase and decrease of temperature. The effect appears as a thermal strain that occurs within the concrete structure when it is prevented or restricted from motion, i.e., restrained. The second category of volume change is the drying shrinkage, which is related to the drying and shrinking of the cement gel.

ACI 207 Committee (ACI Committee 1995) suggested the following equations to be Used to calculate the degree of restraint for rigid continuous base restraint.

$$K_R = \left[(L/H-2)/(L/H+1)\right]^{h/H} \quad for\, L/H \geq 2.5$$
$$K_R = \left[(L/H-1)/(L/H+10)\right]^{h/H} \quad for\, L/H < 2.5 \qquad (1)$$

Where

K_R = degree of restraint
L/H = length to height ratio, and
h = the height at which the degree of restraint is calculated.

As can be noticed, ACI 207 Committee neglects the effect of the restraint in the transverse direction and hence, eq. (1) can be applied to the concrete walls only. Therefore, it is the objective of the present study to investigate the effect of transverse base restraint, i.e., effects of 3rd dimension on the behavior of massive concrete and therefore cracking tendency and cracking prevention in such structures.

Thermal Analysis

Based on Fourier's Law for heat transfer, the heat conduction equation can be expressed as follows (Holman, 1981):

$$k_x \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + k_z \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \bar{q} = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} \qquad (2)$$

where,

k_x, k_y and k_z = heat conductivity of the material in x, y and z-direction respectively,

T = the difference between absolute and reference temperatures,

$\bar{q}$ = heat generation per unit volume,

c_p = specific heat, and

ρ = density.

On the other hand, heat may transfer by convection according to the following Newton formula (Holman, 1981):

$$q = \int_A h_{cv}(T - T_\infty)\,dA \qquad (3)$$

where,

h_{cv} = convection heat transfer coefficient (film coefficient).

T_∞ = bulk fluid temperature.

T = temperature.

Both of the above equations may be descritized using Raylieh-Ritz variation process to derive an expression employing the finite difference method to overcome the time-rate nature of the problem, that is,

$$\left[K_e^*\right]\left\{\Delta\delta_{(t)}\right\}=\left\{F^*\right\} \qquad (4)$$

where,

$$\left[K_e^*\right]=\left[K_e\right]+\frac{[C]}{\Delta t}$$

$$\left\{F^*\right\}=\left\{\Delta F_{(t)}\right\}+\frac{[C]}{\Delta t}\left\{\Delta\delta_{(t-\Delta t)}\right\}$$

Eq. (4) is used in the finite element method to predict the temperature distribution within the mass concrete body invoking the described initial and boundary temperatures as follows:

1. Initial temperature = concrete placement temperature = 20 °C.
2. Bulk ambient temperature T_∞ which is specified for Baghdad climate according to Kammouna, 2001, from:

$$T_\infty = 29.815 - 15.291*\cos(0.893t \qquad (5)$$

Where, t is time in days.

Shrinkage Strain Calculation

Following the procedure recommended by (ACI Committee 209, 1992) and taking the ambient circumstances and concrete mixing and placing conditions, the drying shrinkage strains may be calculated as a function of time after curing period for concrete which is assumed to be seven days.

Quoting the concept of evaporable moisture content that was adopted by Carlson, 1937, the distribution of drying shrinkage strains may be assessed within the body of mass concrete member. Table (1) shows such distribution in which the values of drying shrinkage strains seem very low. Such observation may be related to the non-convenience of eq. (6) that was suggested by ACI 209 Committee (ACI Committee, 1992) and used to estimate shrinkage strain-time relation.

$$\left(\varepsilon_{sh}\right)_t=\frac{t}{35+t}\left(\varepsilon_{sh}\right)_u \qquad (6)$$

where,

$(\varepsilon_{sh})_t$ = shrinkage strain at any time t (in days), and

$(\varepsilon_{sh})_u$ = ultimate shrinkage strain = $780*10^{-6}$.

As can be seen from eq. (6) 50% only of the ultimate shrinkage strain occurs at 35 days after curing. However, one can conclude from the trend of the drying shrinkage strains as they are decreased with the increase in the width of the slab as the major cause of cracking in large mass concrete members is the temperature variation rather than shrinkage volume changes.

Adopted Costitutive Relationship For Concrete

The concrete was modeled using Willam and Wranke model (Willam and Wranke, 1974) which predicts failure of brittle materials in which the cracking and crushing modes should be accounted for. The criterion for failure of concrete due to a multiaxial stress state can be expressed in the form:

$$\frac{F}{f_c'}-S\geq 0 \qquad (7)$$

where,

F = a function of the principal stress state (σ_{xp}, σ_{yp}, σ_{zp}),

S = failure surface expressed in terms of principal stresses and five input strength parameters as follows:

$f_t{}'$ = ultimate uniaxial tensile strength in MPa

$f_c{}'$ = ultimate uniaxial compressive crushing strength in MPa,

f_{cb} = ultimate biaxial compressive strength in Mpa,

σ_h = ambient hydrostatic stress state in MPa,

f_1 = ambient hydrostatic stress state of biaxial superimposed on hydrostatic stress state in Mpa, and

f_2 = ambient hydrostatic stress state of uniaxial superimposed on hydrostatic stress state in Mpa.

For simplicity, Willam and Warnke, 1974, suggested the following equations to calculate three of strength parameters in terms of f_c' in case of $\left|\sigma_h\right|\leq\sqrt{3}f_c'$. Thus, the failure surface S can be specified with a minimum two constants, $f_t{}'$ and f_c'.

$$\begin{aligned} f_{cb} &= 1.2 f_c' \\ f_1 &= 1.45 f_c' \\ f_2 &= 1.725 f_c' \end{aligned} \qquad (8)$$

Failure of concrete is categorized into four domains. In each domain, independent functions were specified to describe the function F and the failure surface S. The failure surface S can be seen in Fig. (1).

Compression-Compression-Compression Domain($0 \le \sigma_1 \le \sigma_2 \le \sigma_3$)

In this case, F takes the form:

$$F = F_1 = \frac{1}{\sqrt{15}}\left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (9)$$

and the failure surface S is defined as:

$$S = S_1 = \frac{2r_2\left(r_2^2 - r_1^2\right)\cos\eta + r_2\left(2r_1 - r_2\right)\left[4\left(r_2^2 - r_1^2\right)\cos^2\eta + 5r_1^2 - 4r_1r_2\right]^{\frac{1}{2}}}{4\left(r_2^2 - r_1^2\right)\cos^2\eta + \left(r_2 - 2r_1\right)^2} \qquad (10)$$

where,

$$\cos\eta = \frac{2\sigma_1 - \sigma_2 - \sigma_3}{\sqrt{2}\left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2\right]^{\frac{1}{2}}}$$

in which η = angle of similarity, and

$$r_1 = a_0 + a_1\xi + a_2\xi^2$$

$$r_2 = b_0 + b_1\xi + b_2\xi^2$$

$$\xi = \frac{\sigma_h}{f_c'}$$

The undetermined coefficients a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, and b_2 are discussed below.

When $\eta = 0^o$, S_1 in eq. (10) is equal to r_1 while if $\eta = 60^o$, S_1 is equal to r_2. Therefore, the function r_1 represents the failure surface of all stress states with $\eta = 0^o$.

The function r_1 is determined by adjusting a_0, a_1, and a_2 such that f_t', f_{cb} and f_1 all lie on the failure surface. Mathematically:

$$\left\{\begin{array}{l} \frac{F_1}{f_c'}\left(\sigma_1 = f_t', \sigma_2 = \sigma_3 = 0\right) \\ \frac{F_1}{f_c'}\left(\sigma_1 = 0, \sigma_2 = \sigma_3 = -f_{cb}\right) \\ \frac{F_1}{f_c'}\left(\sigma_1 = -\sigma_h^a, \sigma_2 = \sigma_3 = -\sigma_h^a - f_1\right) \end{array}\right\} = \begin{bmatrix} 1 & \xi_t & \xi_t^2 \\ 1 & \xi_{cb} & \xi_{cb}^2 \\ 1 & \xi_1 & \xi_1^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{Bmatrix} \qquad (11)$$

In which:

$$\xi_t = \frac{f_t'}{3f_c'}\ , \xi_{cb} = \frac{f_{cb}}{3f_c'}\ , and\ \xi_1 = -\frac{\sigma_h^a}{f_c'} - \frac{2f_1}{3f_c'}\ .$$

The proper values for the coefficient a_0, a_1, and a_2 can be determined through the solution of the simultaneous equations given in eq. (11).

The function r_2 is calculated by adjusting b_0, b_1, and b_2 to satisfy the conditions:

$$\begin{Bmatrix} \frac{F_1}{f'_c}\left(\sigma_1=\sigma_2=0, \sigma_3=-f'_c\right) \\ \frac{F_1}{f'_c}\left(\sigma_1=\sigma_2=-\sigma_h^a, \sigma_3=-\sigma_h^a-f_2\right) \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{3} & \frac{1}{9} \\ 1 & \xi_2 & \xi_2^2 \\ 1 & \xi_0 & \xi_0^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \end{Bmatrix} \tag{12}$$

Where,

ξ_2 is defined by: $\xi_2 = -\frac{\sigma_h^a}{f'_c} - \frac{f_2}{3f'_c}$.

and ξ_0 is the positive root of the equation:

$$r_2(\xi_0) = a_0 + a_1\xi_0 + a_2\xi_0^2 \tag{13}$$

in which a_0, a_1, and a_2 are evaluated by eq. (11).

Since the failure surface must remain convex, the ratio r_1/r_2 is restricted to the range $(0.5<r_1/r_2<1.25)$, although the upper bound is not considered to restriction since $(r_1/r_2 < 1.0)$ for most materials. Also, the coefficients a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, and b_2 must satisfy the conditions:

$a_0 > 0$, $a_1 \le 0$, $a_2 \le 0$

$b_0 > 0$, $b_1 \le 0$, $b_2 \le 0$

Therefore, the failure surface is closed and predicts failure under high hydrostatic pressure ($\xi < \xi_2$). This closure of the failure surface has not been verified experimentally and it has been suggested that Von Mises type cylinder is a more valid failure surface for large compressive σ_h-values. Consequently, it is recommended that values of f_1 and f_2 are selected at a hydrostatic stress level in the vicinity of or above the expected maximum hydrostatic stress encountered in the structure.

Eq. (9) describes the condition that the failure surface has an apex at $\xi = \xi_0$. A profile of r_1 and r_2 as a function of ξ is shown in Fig. (2).The lower curve represents all stress state such that $\eta = 0^o$ while the upper curve represents stress state such that $\eta = 60^o$. If the failure criterion is satisfied, the material is assumed to crush.

Tension-Compression-Compression Domain ($\sigma_1 \ge 0 \ge \sigma_2 \ge \sigma_3$)

In this regime, F takes the form:

$$F = F_2 = \frac{1}{\sqrt{15}}\left[(\sigma_2-\sigma_3)^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2\right]^{\frac{1}{2}} \tag{14}$$

and S is defined as:

$$S = S_2 = \left(1-\frac{\sigma_1}{f'_t}\right)\frac{2p_2\left(p_2^2-p_1^2\right)\cos\eta + p_2(2p_1-p_2)\left[4\left(p_2^2-p_1^2\right)\cos^2\eta + 5p_1^2 - 4p_1p_2\right]^{\frac{1}{2}}}{4\left(p_2^2-p_1^2\right)\cos^2\eta + (p_2-2p_1)^2} \tag{15}$$

where cosη is already defined above, and

$$p_1 = a_0 + a_1\chi + a_2\chi^2$$

$$p_2 = b_0 + b_1\chi + b_2\chi^2$$

$$\chi = \frac{1}{3}(\sigma_2+\sigma_3)$$

The coefficients a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, and b_2 are defined by eq. (11) and eq. (12).

If the failure criterion is satisfied, cracking occurs in the plane perpendicular to the principal stress σ_1.

Tension- Tension -Compression Domain ($\sigma_1 \ge \sigma_2 \ge 0 \ge \sigma_3$)

Here the function F takes the form:

$$F = F_3 = \sigma_i \; ; i = 1,2 \tag{16}$$

and the failure surface S is defined as:

$$S = S_3 = \frac{f'_t}{f'_c}\left(1+\frac{\sigma_3}{S_2(\sigma_i, 0, \sigma_3)}\right); i = 1,2 \tag{17}$$

If the failure criterion for both i = 1, 2 is satisfied, cracking occur in the planes perpendicular to principal stresses σ_1, σ_2. If the failure criterion is satisfied only for i = 1, cracking occurs only in the plane perpendicular to principal stress σ_1.

Tension- Tension - Tension Domain ($\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq 0 \geq \sigma_3$)

In this regime, F takes the form:

$$F = F_4 = \sigma_i \;\; ; i = 1,2,3 \qquad (18)$$

and S is defined as:

$$S = S_4 = \frac{f_t'}{f_c'} \qquad (19)$$

If the failure criterion is satisfied in directions1, 2, and 3, cracking occurs in the planes perpendicular to principal stresses σ_1, σ_2, and σ_3, otherwise, cracking occurs in plane or plane Perpendicular to the directions of principal stresses where the failure criterion is satisfied.

Implementation of the Finite Element Method

According to Fung, 1965, the effect of temperature changes on an elastic body subjected to external forces may be determined using one of the followings:

1. Solution of the discretized form of the coupled thermo-elastic equation in which the effect of both temperature and displacement on each other may be determined, i.e. the displacement due to unit temperature change and vice versa. However, this procedure is not usually used especially in problems where the temperature changes are not high enough like in mass concrete problem.
2. When the simplifying assumptions mentioned in (1) above are introduced, the theory is referred to as an uncoupled, quasi-static theory; it degenerates into heat conduction and thermoelasticity as two separate problems. Experience shows that the change of temperature of an elastic body due to adiabatic straining is, in general, very small. If this interaction between strain and temperature is ignored, then the only effects of elasticity on the temperature distribution are effects of change in dimensions of the body under investigation. The change in dimension of a body is of the order of product of the linear dimension of the body L, the temperature rise ΔT, and the coefficient of thermal expansion α. If $L = 1m$ and $\Delta T = 100\ ^oC$, $\alpha = 10*10^{-6}$ per ^oC, the change in dimension is 10^{-3}m, which is negligible in problems of heat conduction.

The equivalent temperature changes to the estimated drying shrinkage strains may be calculated using the following simple relation:

$$\Delta T_{DS} = \frac{\varepsilon_{sh}}{\alpha_c} \qquad (20)$$

where,

ΔT_{DS} = drying shrinkage equivalent temperature change,

ε_{sh} = shrinkage strain, and

α_c = coefficient of thermal expansion of concrete.

Then the equivalent temperature changes to drying shrinkage may be added algebraically to the temperature changes resulting from thermal analysis. The effect of this sum of temperatures, which appears as thermal stress and strain, may be Detected using the second method described in (2) above. This means that the problem is treated as “an initial stress or strain” problem. The term *“initial stress”* signifies a stress present before deformations are allowed. Effectively, it is a residual stress to be superposed on stress caused by deformation. The effect of temperature changes can be placed as initial strain ε_o, or initial stress and strain σ_o and ε_o. Both are viewed as alternative ways to express the same thing (Cook, 1989).

In a linear elastic material, the stress-strain relation is (Cook, 1989):

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + \varepsilon_o \qquad (21)$$

where,

ε_o = initial strain = $\alpha_c \Delta T$

or,

$$\sigma = E(\varepsilon - \varepsilon_o) \qquad (22)$$

The strain energy U_o is defined as (Cook, 1989):

$$U_o = \int_v \frac{\sigma\varepsilon}{2} dv \qquad (23)$$

Substituting eq. (22) into eq. (23):

$$U_o = \int_v \frac{E}{2} (\varepsilon - \varepsilon_o)^2 dv$$

or,

$$U_o = \int_v \frac{E}{2}\left(\varepsilon^2 - 2\varepsilon\varepsilon_o + \varepsilon_o^2\right)dv \qquad (24)$$

The third term in the parenthesis in eq. (24) can be omitted since it is independent of nodal displacements. Then its derivative is equal to zero. Thus,

$$U_o = \int_v \frac{E}{2}\left(\varepsilon^2 - 2\varepsilon\varepsilon_o\right)dv \qquad (25)$$

Writing $u_o = \frac{E}{2}\left(\varepsilon^2 - 2\varepsilon\varepsilon_o\right)dv$ = is the energy per unit volume. Hence, for a state of multiaxial stresses:

$$u_o = \frac{1}{2}\lfloor \varepsilon \rfloor [D]\{\varepsilon\} - \lfloor \varepsilon \rfloor [D]\{\varepsilon_o\} \qquad (26)$$

where

[D] = the constitutive relations matrix for concrete and is defined for linear-elastic material as follows (Cook, 1989):

$$[D] = \frac{E}{(1+\upsilon)(1-2\upsilon)}\begin{bmatrix} (1-\upsilon) & \upsilon & \upsilon & 0 & 0 & 0 \\ \upsilon & (1-\upsilon) & \upsilon & 0 & 0 & 0 \\ \upsilon & \upsilon & (1-\upsilon) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\upsilon}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\upsilon}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\upsilon}{2} \end{bmatrix} \qquad (27)$$

The potential of external load may be expressed as:

$$\Omega_{ex} = -\lfloor u \rfloor \{\phi\} \qquad (28)$$

where,

$\lfloor$u$\rfloor$ = the displacement field vector, and

{ϕ} = the load vector.

Furthermore, the potential of body forces is given by:

$$\Pi_{p_0} = U_o + \Omega$$
$$= \frac{1}{2}\lfloor \varepsilon \rfloor [D]\{\varepsilon\} - \lfloor \varepsilon \rfloor [D]\{\varepsilon_o\} - \lfloor u \rfloor \{\phi\} - \lfloor u \rfloor \{\overline{F}\} \qquad (30)$$

The total potential within the element is:

$$\Pi_{p_e} = \int_v \Pi_{p_o} dv \qquad (31)$$

or,

$$\Pi_{p_e} = \frac{1}{2}\int_v \lfloor \varepsilon \rfloor [D]\{\varepsilon\}dv - \int_v \lfloor \varepsilon \rfloor [D]\{\varepsilon_o\}dv - \int_s \lfloor u \rfloor \{\phi\}ds - \int_v \lfloor u \rfloor \{\overline{F}\}dv \qquad (32)$$

$$\Omega_{bf} = \lfloor u \rfloor \{\overline{F}\} \qquad (29)$$

Where, $\{\overline{F}\}$ = the body force vector, which is any force distributed over the entire volume of the body like the self-weight.

The total potential energy per unit volume can be written in the form (Cook, 1989):

Since,

$$\{u\} = [N]\{e\} \qquad (33)$$

where,

[N] = shape function matrix, and

{e} = nodal displacement vector.

Also,

$$\{\varepsilon\} = [B]\{e\} \qquad (34)$$

where,

[B] = strain-nodal displacement matrix.

Hence,

$$\Pi_{p_e} = \frac{1}{2}\int_v \lfloor e \rfloor [B]^T [D]\{e\}dv - \int_v \lfloor e \rfloor [B][D]\{\varepsilon_o\}dv - \int_s \lfloor e \rfloor [N]^T \{\phi\}ds - \int_v \lfloor e \rfloor [N]\{\bar{F}\}dv \qquad (35)$$

which after simplification and introducing effects of externally applied nodal forces becomes:

$$\Pi_{p_e} = \frac{1}{2}\lfloor e \rfloor [K]\{e\} - \lfloor e \rfloor \{R\} - \lfloor e \rfloor \{F\} \qquad (36)$$

where, {F} = externally applied nodal forces vector.

Applying the minimization of the total potential yields:

$$\frac{\partial \Pi_p}{\partial \{e\}} = 0$$

or,

$$[K]\{e\} = \{F\} + \{R\} \qquad (37)$$

where,

$$\{R\} = \int_v [B]^T [D]\{\varepsilon_o\}dv + \int_v [N]^T \{\bar{F}\}dv + \int_s [N]^T \{\phi\}ds$$

Eq. (37) will be used in the analysis of the mass concrete due to effects of temperature and drying shrinkage volume changes.

Computer Implementation

Besides the "Graphical User Interface (GUI)" that is commonly used in software packages, ANSYS program proposes a programming language similar to some extent to the conventional FORTRAN language. The proposed language is referred as APDL (ANSYS Parametric Design Language).

A modified ANSYS program is adopted in this study. This consists of a main program and four subprograms. The main program contains the principal steps of analysis and required calls for subprograms. Each of these subprograms is responsible of some limit tasks like:

- Performing the thermal analysis,
- Storing temperature values in a pre-dimensioned array,
- Calculating drying shrinkage strains throughout the concrete body, and
- Conducting the nonlinear structural analysis by considering the effect of concrete aging via updating concrete strength parameters (f_t', f_c', E_c) after deleting the thermal finite element mesh and constructing a new structural one.

Two Types of elements are used in this program:

1. Thermal Solid 70: This element is an eight-noded brick element with one degree of freedom, temperature, at each node. The element is applicable to a three-dimensional, steady state or transient thermal analysis.

2. Structural Solid 65: This element is used for the three-dimensional modeling of the concrete with or without reinforcing bars. The element is defined by eight nodes having three degrees of freedom at each node: translations in the global x, y, and z directions. It is capable of considering cracking in tension and crushing in compression.

Problem Description and Results

To investigate the effect of the transverse base restraint on the cracking behavior of mass concrete member having the dimensions shown in Fi.(3) due to temperature variation and drying shrinkage volume changes, a nonlinear finite element analysis was applied to base restrained thick plain concrete slab resting on the soil. Four different aspect ratios (width/length) were considered for the case of a slab with fixed bottom cast at the first of January (winter concrete placement) in Baghdad. The aspect ratios were 0.2, 0.4, 0.8, and 1.0 and obtained by fixing the length of the slab to 10 meters and varying the width as 2, 4, 8, and 10 meters. In all these cases, the thickness of the slab was taken as 1.5 m. The properties of the concrete tht adopted during analysis were listed in Table(2).

Thermal and structural analyses were conducted on the slab including all the surrounding circumstances and boundaries utilizing the finite element mesh shown in Fig. (3).

The temperature distribution in the central sections along the length and width directions at some times after concrete placement are shown in Figs. (4) to (15). The assessed final cracking pattern of the concrete slabs with different aspect ratios can be seen in Figs. (16) to (19).

Conclusions

The following conclusions can be drawn from the results of analysis:

1. Value of peak temperature increases with increasing aspect ratio (B/L) of the slab especialy at age of 3days after concrete placement as shown in Figs. (4), (7), (10) and (13). This may be related to the increase in the magnitude of heat generated upon concrete placement due to volume increase.
2. A small temperature drop at the 28th day of concrete age is noticed as the ratio B/L is increased (see Figs.((5), (8), (11) and (14). This is attributed by the effect of the volume to surface ratio (V/S), since the temperature increases with increasing the aspect ratio (B/L).
3. The number of primary cracks (cracks that extend over the entire thickness) increase with increasing the width of slab, i.e., the aspect ratio as shown in Figs(16), (17) and (18). This can be interpreted as a result of the considerable increase in restraint provided by the slab base and the increase in the maximum temperature due to the hydration process after concrete placement.
4. The full-depth cracks are concentrated at the central portion of the slab where the maximum drop in temperature occurs (Figs.(16) to (19).

From the above and since it was concluded previously that the major cause of cracking in the thick slabs is temperature drop, the effect of the third dimension (width) cannot be ignored when the response (stresses and cracking) of this type of structures is required. Unfortunately, most of the standards like ACI-Committee neglect the effect of the third dimension and assume a uniform temperature distribution.

REFRENCES

ACI Committee 207, “Effect of Restraint, Volume Change, and Reinforcement on Cracking in Massive Concrete”, (ACI 207.2R-95). American Concrete Institute, Detroit, 1999, 26 pp

.ACI Committee 209, “Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures”, (ACI 209R-92), (Reapproved 1997). American Concrete Institute, Detroit, 1999, 47 pp.

ANSYS 5.4 Inc., “ANSYS Theory Reference”, Eighth Edition, SAS IP, Inc. 1997, Chapter 4 pp. 48-56.

Carlson, R. W., “Drying Shrinkage of Large Concrete Members” ACI Journal, Proceedings, Vol. 33, January-February 1937, pp.327-336.

Cook, R. D., Malkas, D. S., and Plesha, M. E., “Concepts and Applications of Finite Element Analysis”, John Wiley and Sons Inc., Third edition, 1989, 630 pp.

Fung, Y. C., “Foundations of Solid Mechanics”, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1965, 525 pp.

Holman, J. P., “Heat Transfer”, Fourth Edition, 1976, McGraw-Hill.

Kammouna, Z. M., “Development of A Mathematical Model for Creep of Concrete with Reference to Baghdad Climate”, M.Sc. Thesis, Baghdad University, College of Engineering, 2001, 90 pp.

Willam, K. J., and Warnke, E. D., “Constitutive Model for the Triaxial Behavior of Concrete”, Proceedings, International Association for Bridge and Structural Engineering, Vol. 19, ISMES, Bergamo, Italy, p. 174 (1975).

Table (1) Drying shrinkage strains

d/H (*)	Drying shrinkage strain (10^{-6})																			
	Slab width = 2.0m					Slab width = 4.0m					Slab width = 8.0m					Slab width = 10.0m				
	After … days					After … days					After … days					After … days				
	8	14	28	90	180	8	14	28	90	180	8	14	28	90	180	8	14	28	90	180
0	0.5	3.2	7.5	18.0	24.3	0.2	1.3	3.0	7.1	9.6	0. 1	0.6	1.4	3.3	4.4	0.08	0.48	1.12	2.7	3.6
0.2	0.2	1.3	3.1	7.5	10.3	0.1	0.5	1.2	3.0	4.1	0.04	0.25	0.57	1.4	1.9	0.03	0.2	0.47	1.13	1.5
0.4	0.07	0.4	1.01	2.4	3.2	0.03	0.17	0.4	0.96	1.3	0.01	0.08	0.19	0.44	0.63	0.01	0.07	0.15	0.36	0.48
0.6	0.02	0.1	0.3	0.8	1.1	0.01	0.05	0.12	0.3	0.45	0	0.02	0.05	0.14	0.21	0	0.02	0.04	0.11	0.17
0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(*) d/H defines the ratio of the depth from top surface / the slab thickness H.

Table (2) Material Properties

Property		Unit	Values for	
			Concrete	Soil
Thermal	Conductivity, k	kJ/m.day.°C	240	72
	Speecific heat, c_p	kJ/kg.°C	1.0	0.92
Physical & Mechanical	Density, ρ	Kg/m^3	2400	1700
	Modulus of elasticity, E	MPa	23168(*)	1000
	Poisson's ratio, ν	-	0.15	0.40
	Compressive strength, f'_c	MPa	21(*)	-
	Tensile strength, f'_t	MPa	1.55(*)	-
	Coefficient of thermal expansion, α	/°C	12×10^{-6}	0.3×10^{-6}
	Cohesion, c	MPa	4.7(*)	0.1
	Angle of internal friction, ϕ	degrees	41.7(*)	20

(*) The values were assumed or caculated at the age of 28days

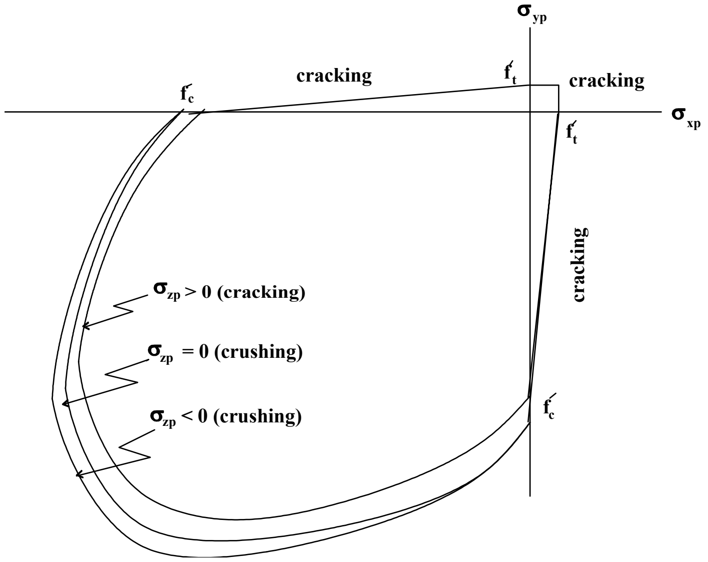


Fig.(1): Failure surface in principal stress space with nearly biaxial stress state, after ANSYS Inc.

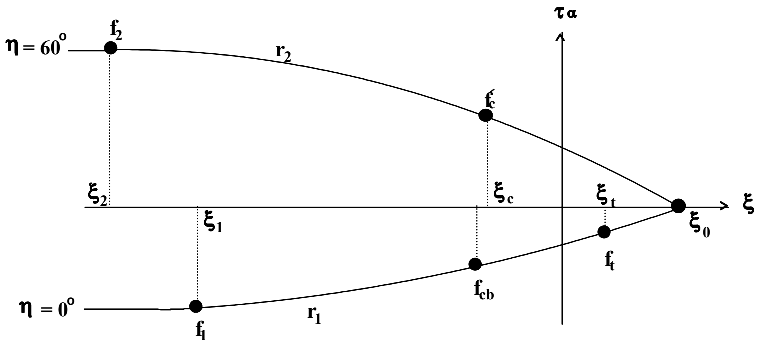


Fig. (2): A profile of the failure surface, after ANSYS Inc.

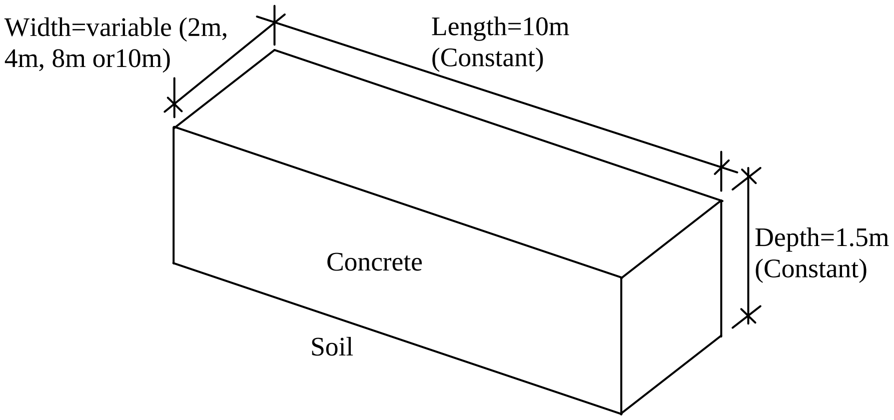
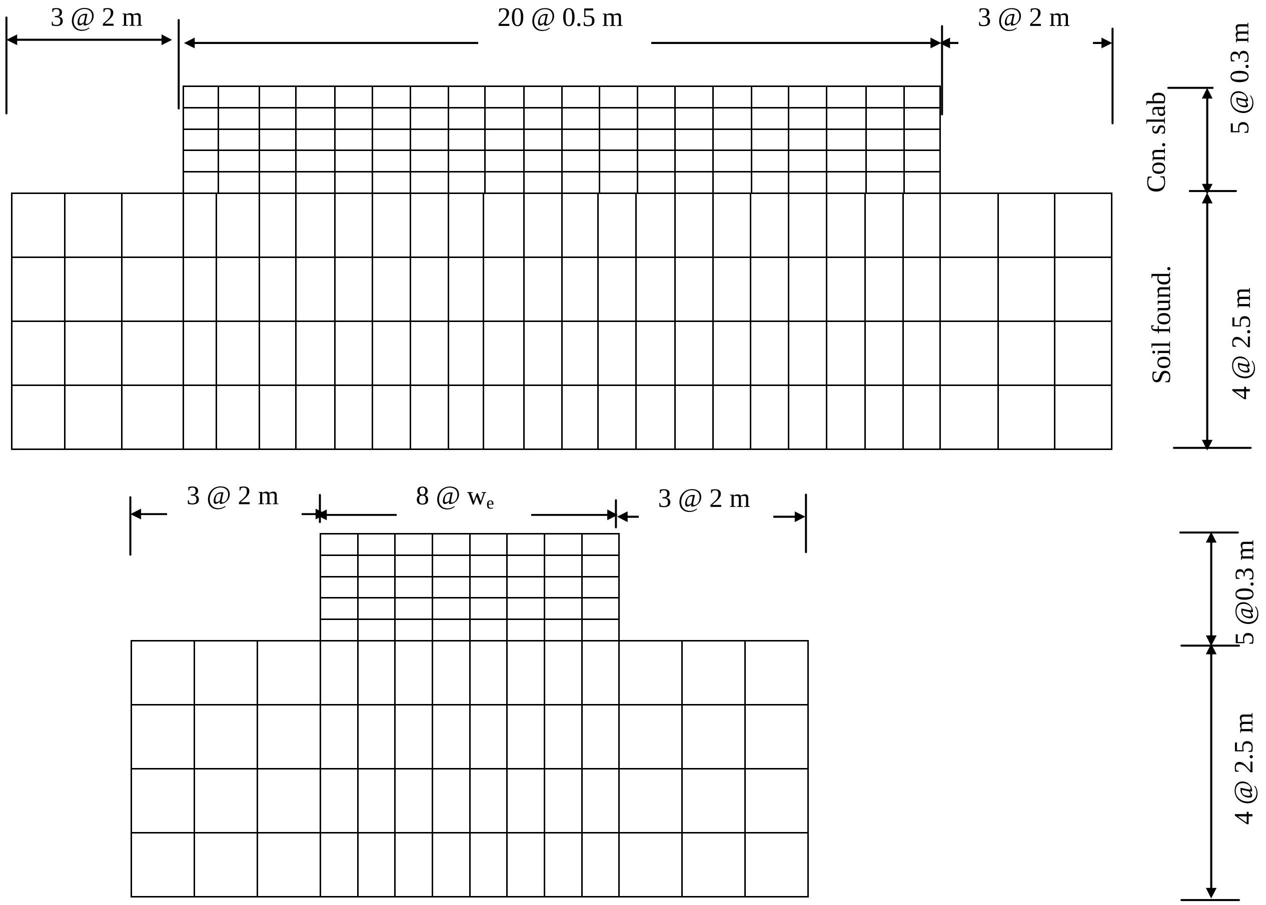


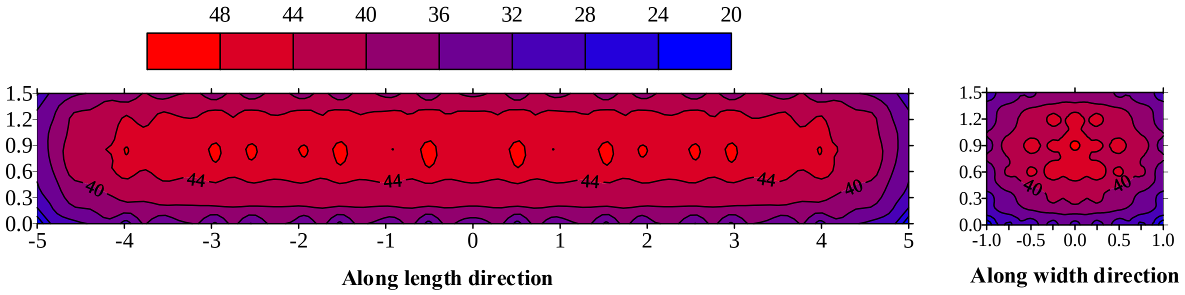
Fig. (3): Problem Geometry.



Notes:

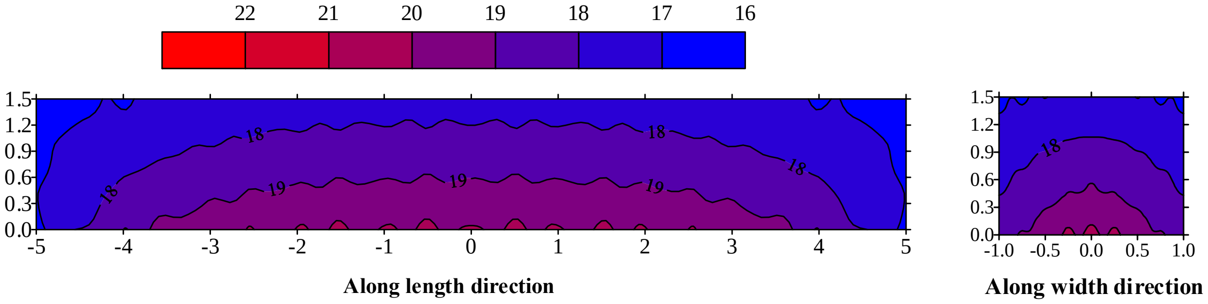
- w_e = concrete element width (variable) = 0.25, 0.5, 1.0, or 1.5 m.
- Dimensions are not to scale.

Fig. (3): Finite element mesh for a thick concrete slab problem



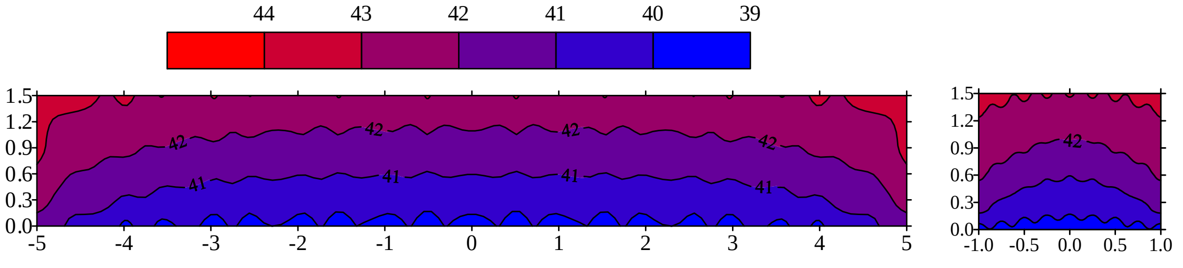
Note: Temperatures are in ^{o}C

Fig. (4): Temperature distribution in a slab with B/L=0.2 (3 days after placement)



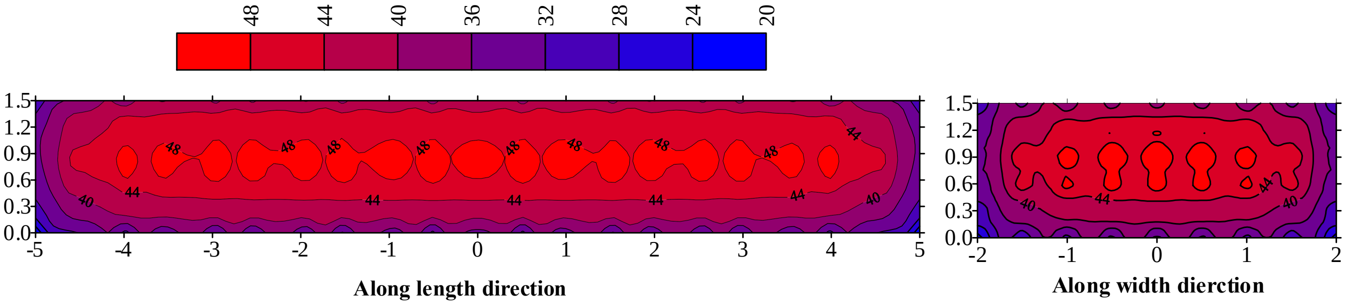
Note: Temperatures are in ^{o}C

Fig. (5): Temperature distribution in a slab with B/L=0.2 (28 days after placement)



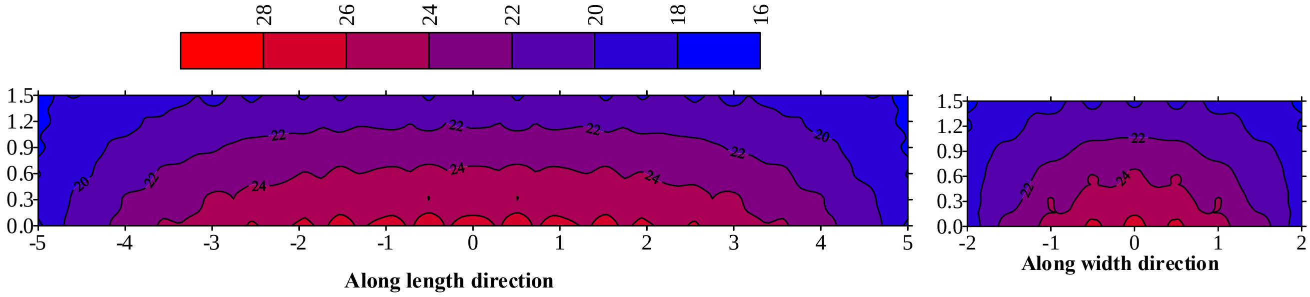
Note: Temperatures are in ^{o}C

Fig. (6): Temperature distribution in a slab with B/L=0.2 (180 days after placement)



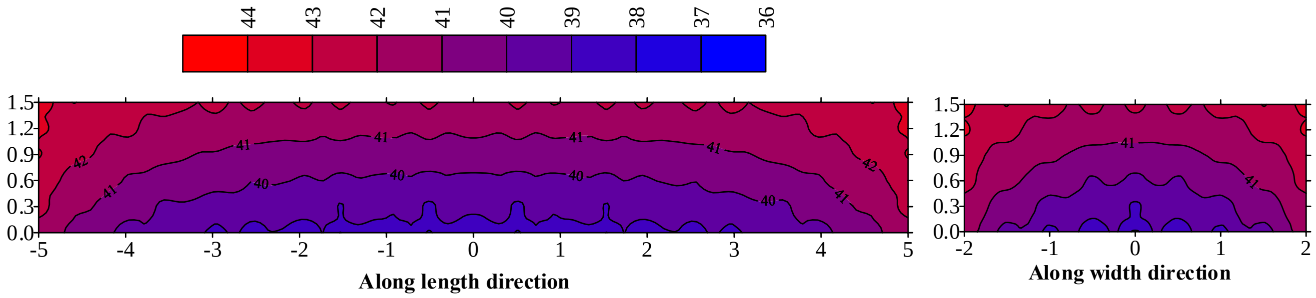
Note: Temperatures are in ^{o}C

Fig. (7): Temperature distribution in a slab with B/L=0.4 (3 days after placement)



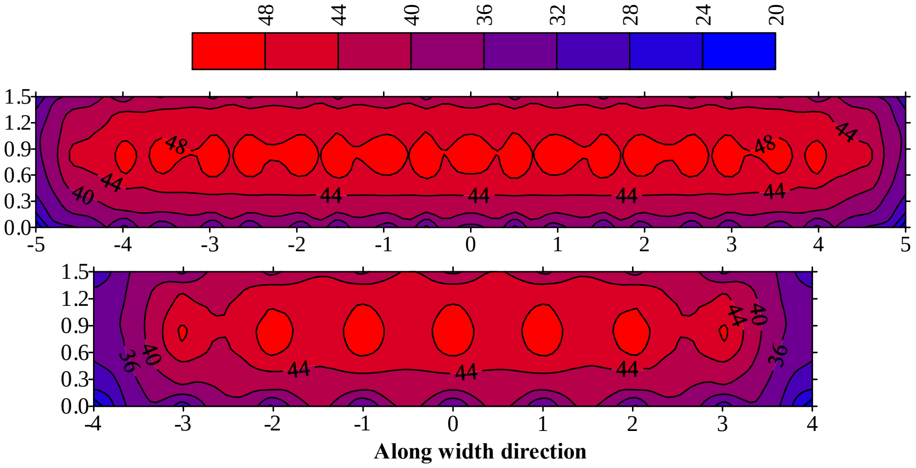
Note: Temperatures are in ^{o}C

Fig. (8): Temperature distribution in a slab with B/L=0.4 (28 days after placement)



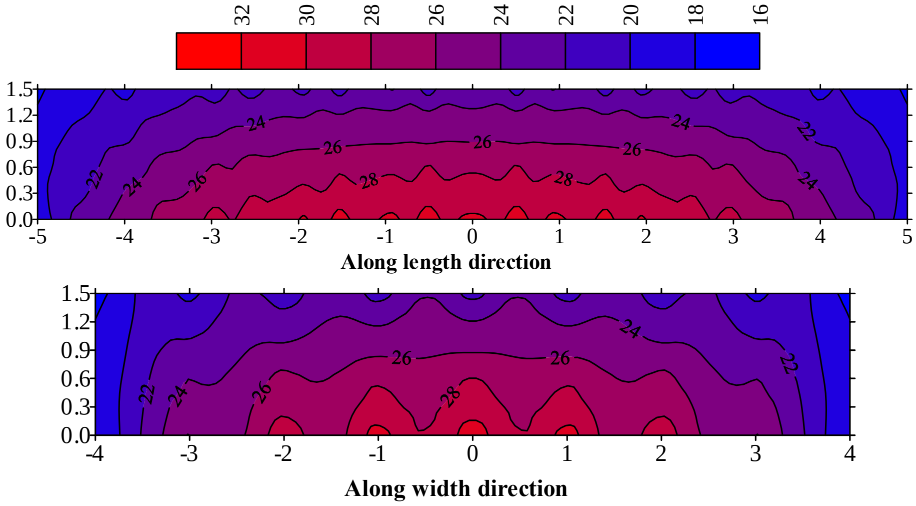
Note: Temperatures are in ^{o}C

Fig. (9): Temperature distribution in a slab with B/L=0.4 (180 days after placement)



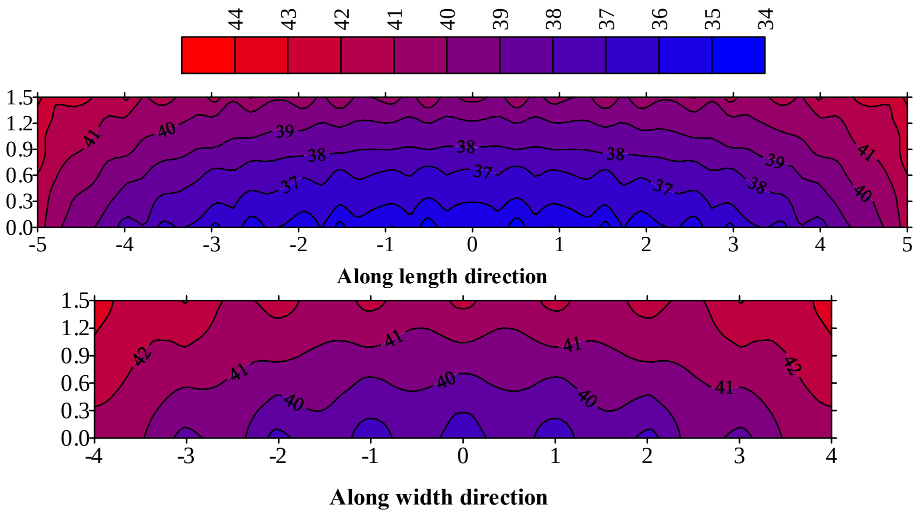
Note: Temperatures are in ^{o}C

Fig. (10): Temperature distribution in a slab with B/L=0.8 (3 days after placement)



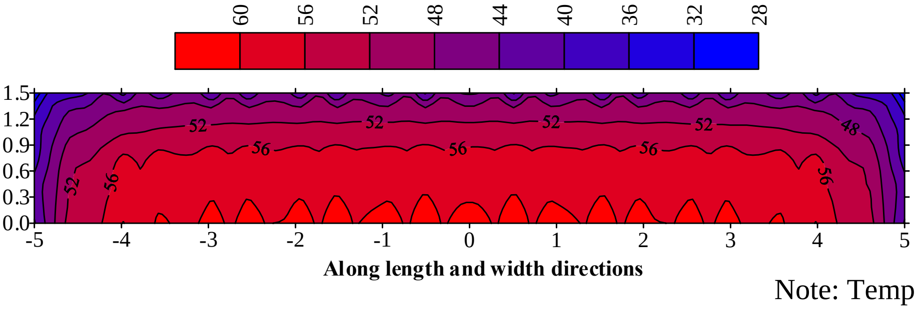
Note: Temperatures are in ^{o}C

Fig. (11): Temperature distribution in a slab with B/L=0.8 (28 days after placement)



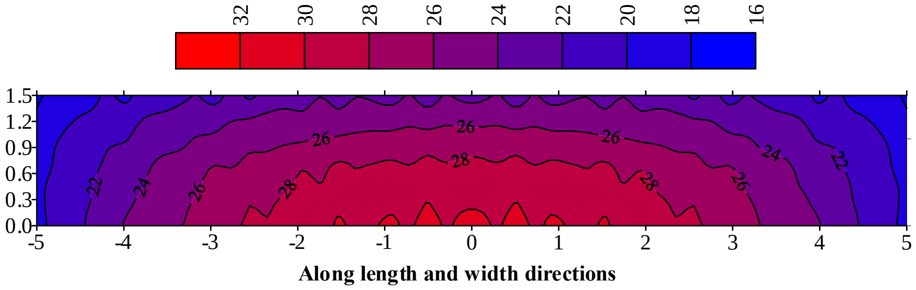
Note: Temperatures are in °C

Fig. (12): Temperature distribution in a slab with B/L=0.8 (180 days after placement)



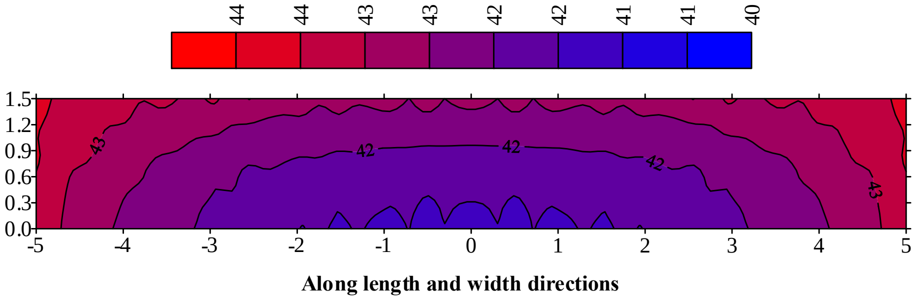
Note: Temperatures are in °C

Fig. (13): Temperature distribution in a slab with B/L=1.0 (3 days after placement)



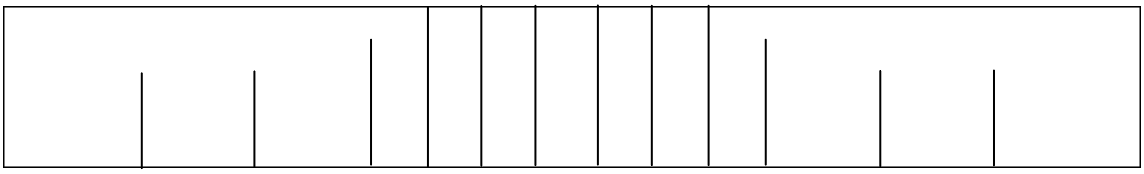
Note: Temperatures are in °C

Fig. (14): Temperature distribution in a slab with B/L=1.0 (28 days after placement)

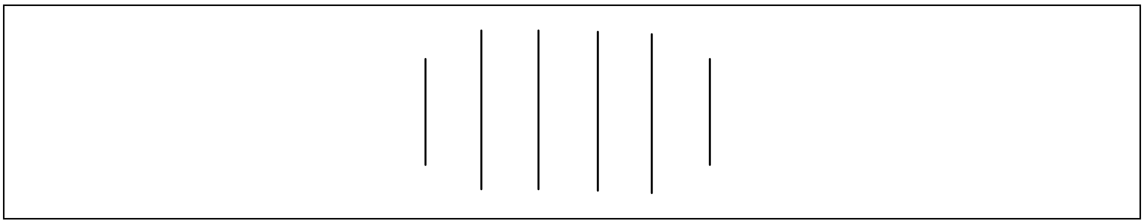


Note: Temperatures are in °C

Fig. (15): Temperature distribution in a slab with B/L=1.0 (180 days after placement)

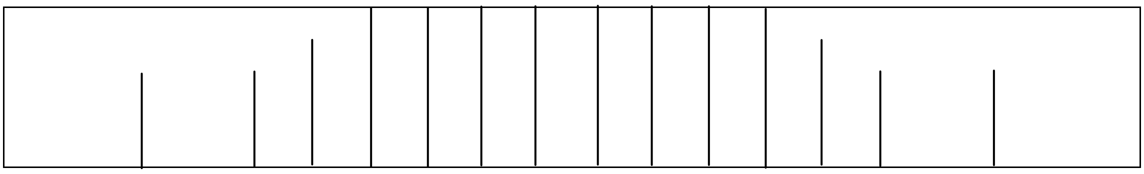


Side view of the central section along length direction

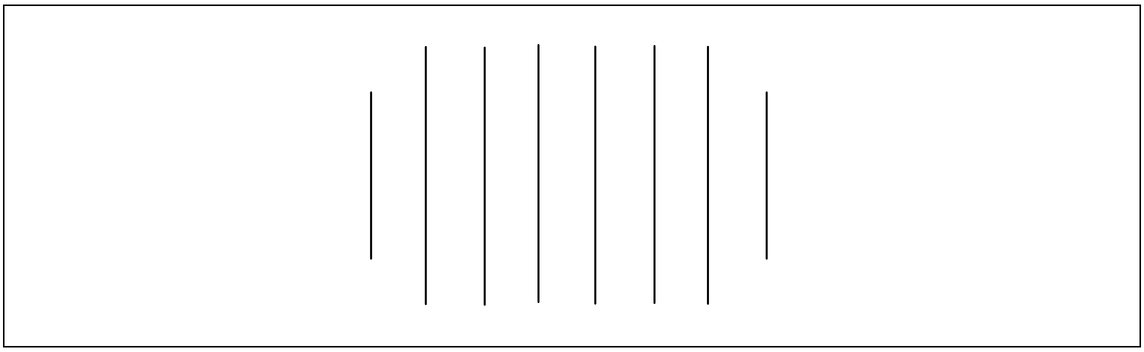


Top view

Fig. (16): Final cracking pattern for slab cast in winter with B/L=0.2

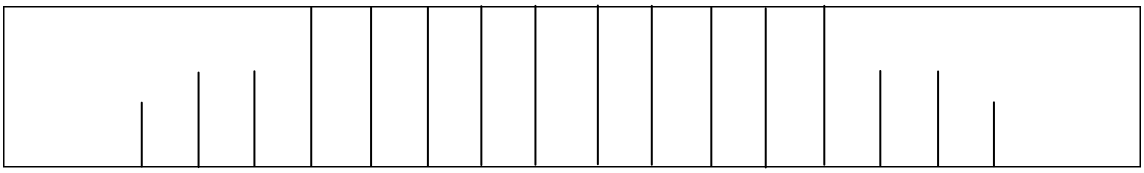


Side view of the central section along length direction

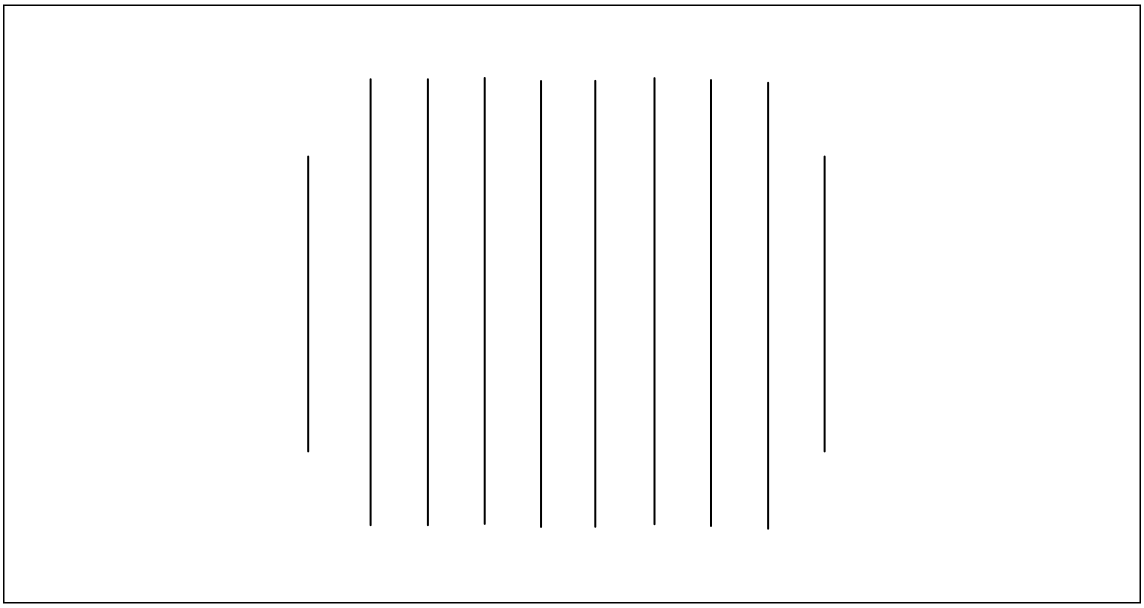


Top view

Fig. (17): Final cracking pattern for slab cast in winter with B/L=0.4

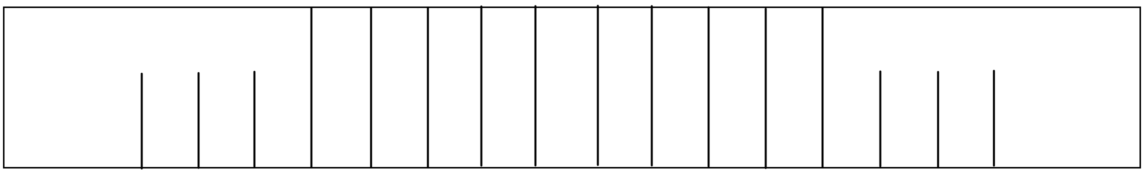


Side view of the central section along length direction

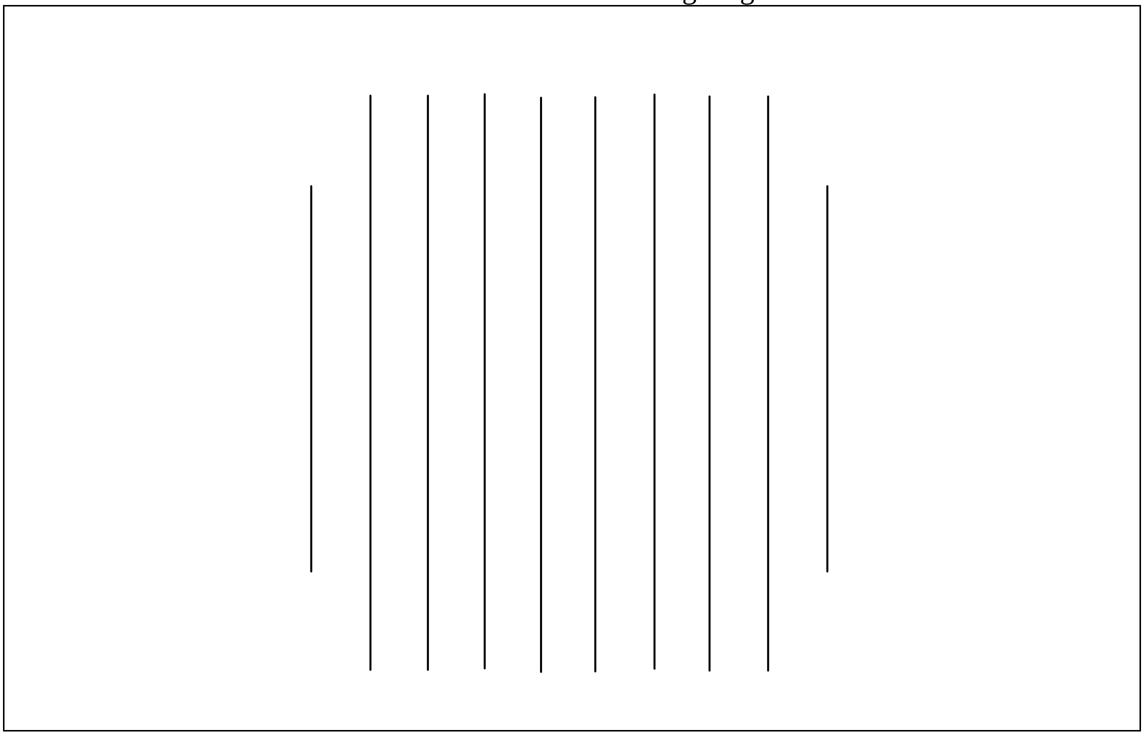


Top view

Fig. (18): Final cracking pattern for slab cast in winter with B/L=0.8



Side view of the central section along length direction



Top view

Fig. (19): Final cracking pattern for slab cast in winter with B/L=1.0

Replacement of Line Loads acting on slabs to equivalent uniformly Distributed Loads

Ass.Prof.Dr.AbdulMuttalib
abdmusawi@yahoo.com
Department of Civil Engineering

College of Engineering
University of Baghdad

Dr. Salah Rohaima Obed
Email: salahalzaidee2004@gmail.com
lecturer / Department of Civil Engineering

College of Engineering
University of Baghdad

Salam Mreh Ayez
Email:salamalkhafaji84@yahoo.com
M. Sc. Student
Department of Civil Engineering
College of Engineering
University of Baghdad

Abstract

This study aims to derive a general relation between line loads that acting on two-way slab system and the equivalent uniformly distributed loads. This relation will be so useful to structural designer that are used to working with a uniformly distributed load and enable them to use the traditional methods for analysis of two-way systems (e.g. Direct Design Method).

Two types of slab systems, Slab System with Beams and Flat Slab Systems, have been considered in this study to include the effect of aspect ratio and type of slab on the proposed relation. Five aspect ratios, l_2/l_1 of 0.5, 0.75, 1.0, 1.5 and 2.0, have been considered for both types of two-way systems.

All necessary finite element analyses have been executed with **SAFE Software.** Data obtained from the F. E. analyses have been used in a statistical analysis using **Statistic Software** to derive the relation based on a Linear Regression Analysis.

Keywords: Line Loads, Equivalent Uniformly Distributed Loads, Two-way Slabs, Flat Slabs, SAFE, Finite Element Analysis, Statistical Analysis, Linear Regression Analysis.

أستبدال الأحمال الخطية المؤثرة على البلاطات الى احمال مكافئة موزعة بأنتظام

د. صلاح رحيمه عبيد
مدرس/قسم الهندسة المدنية
كلية الهندسة / جامعة بغداد

سلام مريح عايز
طالب ماجستير/مدني
كلية الهندسة/ جامعة بغداد

الخلاصـــــــة:

تقدم هذة الدراسة بحثا تحليليا يخص تحويل الاحمال الخطية المسلطة على السقوف الخرسانية كأحمال الجدران الى أحمال منتشرة وموزعة بأنتظام مكافئة للأحمال الاصلية ومؤثرة على كافة مساحة السقف وذلك لتسهيل عملية التصميم لهذه السقوف بطرق التصميم السائدة والمعدة بالاساس للأحمال الموزعة بأنتظام كطرق التصميم الموجودة في المدونة الأمريكية (مثل طريقة التصميم المباشر).

تم أخذ نوعين من أكثر أنواع السقوف أنتشارا (السقوف المسندة على أعتاب خرسانية والسقوف المستوية) حيث تم دراسة أهم العوامل المؤثرة على العلاقة بين الحمل الخطي والحمل المنتشر المكافىء له ومن أهمها نسبة طول الفضاء الى طول الفضاء العمودي عليه وكذلك نسبة جساءة العتبب الى جساءة السقف (في النوع الاول فقط) حيث تم أخذ خمسة نسب من نسبة طول الفضاء على طول الفضاء العمودي عليه (0.5، 0.75، 1.0,1.5 و 2.0) لكل نوع منهما.

تم تسليط أحمال خطية مرة وموزعة بأنتظام مرة أخرى على هذه السقوف وحللت بطريقة العناصر المحددة وبأستخدام برنامج: (SAFE Software V. 12).

ولايجاد العلاقة بين الحمل الخطي والحمل الموزع بأنتظام و المكافيء له تم الاعتماد على طريقة تحليل الأنحدارحيث تم ادخال البيانات المستحصلة من تحليل الانظمة أعلاه الى البرنامج الاحصائي: (STATISTIC Software).

الكلمات الرئيسية: الأحمال الخطية، الأحمال المكافئة الموزعة بأنتظام ، بلاطات ثنائية، بلاطات مستوية،تحليل السقوف بطريقة العناصر المحددة، التحليل بالعناصر المحددة، التحليل الأحصائي،تحليل الأرتباط الخطي.

INTRODUCTION

Line loads, as may be applied by walls, are a special case of loads acting on small areas. It has apparently been customary to take the weight of interior walls into account by adding an addition uniformly distributed loads of 1.44 kN/m^2 to the dead load of the slab.(1).

Woodring (2) studied the effects of an arbitrary length placed concrete block wall weighing 4.43 kN/m (304 lb/ft) and extending to an arbitrary length. The wall was considered to have zero stiffness and hence to apply a uniform line load to the slab regardless of the slab deflection. Considering a single wall, the 1.44 kN/m^2 (30 psf) allowance was more adequate than for any length and placement of the wall as far as the negative moments in beamless slabs were concerned. However, if the wall was placed at midspan and especially if it extends across several panels, the 1.44 kN/m^2 (30 psf) allowance was inadequate for positive moments. When the wall extended across the full width of one panel, the required allowance to properly compensate for the effects on midspan moments acting in the direction perpendicular to the wall varied from 3.2 kN/m^2 when l_1 = 6.1m to 2.1 kN/m^2 when l_1 = 9.15m. If the wall extended across more than one panel, the required equivalent loads would be slightly larger. Thus, it may be desirable, if inconvenient; to design the positive–moment sections with one equivalent load and the negative-moment sections for another lower equivalent load. Then the equivalent uniformly distributed load can be computed by using the following equation (1):

$$w^* = \frac{\bar{w}C}{L} \qquad (1)$$

Where:

: is the equivalent uniformly distributed load per unit width.

: is the weight of wall per unit length.

: Span of square panel.

C: concentration coefficient, where a positive number indicates moments with the same sign as are caused by distributed loads.

According to Syrian Code(3), the line loads light in weight can be replaced by an equivalent uniformly distributed load when the line loads on slab systems equal to or less than 1.5 kN/m^2 on the area under wall and as shown in **Fig. 1**.

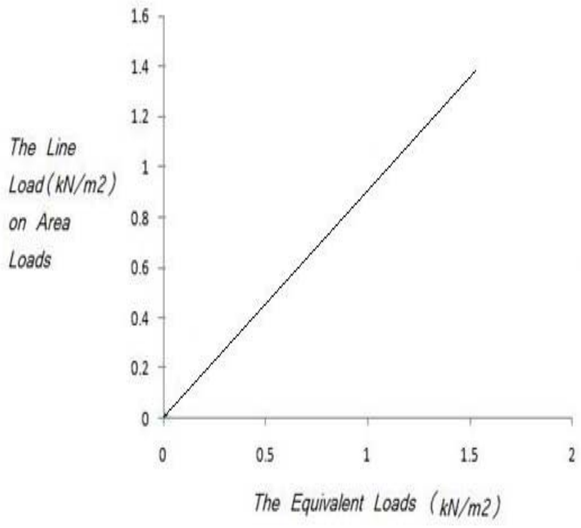


Fig. 1
Equivalent Uniform Loads to Line Loads (3)

Also when the live load applied on slab systems is greater than a 6 kN/m^2 the effect of the line loads can be neglected $^{(3)}$.

According to Egyptian Code, when the design live loads is greater than or equal to 5.0 kN/m^2 and the line loads equal to or less than 1.0 kN/m^2, line load effects can be neglected $^{(4)}$.

According to the International Building Code, in the office and other buildings where partition locations are subjected to change, provision for partition weight shall be made, whether or not partitions are shown on the construction documents, unless the specified live load exceeds 3.83 kN/m^2 (80 psf). Such the partition load shall not be less than a uniformly distributed live load of 0.96 kN/m^2 (20 psf) (according to **IBC 2003)**$^{(5)}$ or 0.74 kN/m^2 (15 psf) (according to **IBC 2006)** $^{(6)}$**.**

EQUIVALENT UNIFORM LOAD:

As discussed in the previous section, most of current methods for estimating the equivalent uniformly distributed load recommend a constant value of the equivalent uniformly distributed load that does not depend neither on the intensity of the original line load nor on system parameters (existence of beams, stiffness of beams, and panel aspect ratio). The main goal of this study is to develop a more rigorous relation that includes these effects into account. This has been started with finite element analyses of the two-way systems under a unit line loads and unit uniformly distributed loads. These finite element results had been used in a linear regression analysis to obtain the required general relation.

FINITE ELEMENT ANALYSES:

Finite element analyses (executed by **SAFE Software**) for systems with following properties:

1. A Concrete slab of 0.2 m thick.
2. Concrete beams (for slab with beams) with dimensions of 0.4 m by 0.6 m and a relative flexural stiffnesses “ ” greater than two ($\alpha \frac{l2}{l1}$).
3. All concrete columns have dimensions of 0.4 m by 0.4 m.
4. A line load of (1) and uniform distribution load (1 kN/m^2).
5. A square finite element mesh with dimensions of 20 cm by 20 cm.

Five different aspect ratios have been considered in each case study, namely 0.5, 0.75, 1.0, 1.5, and 2.0. Then the lengths will be l_2 is 4, 3, 5, 6, and 8 and l_1 is 8, 4, 5, 4, and 4.

For each aspect ratio, the system has been subjected to the following two load cases:

First Load Case: This load case intends to simulate the floor systems that subjected to quasi symmetrical line loads. Then in this load case all center lines in the direction under consideration have been subjected to line loads and as shown in **Fig. 2** for slab with beams and in **Fig. 3** for flat slab systems.

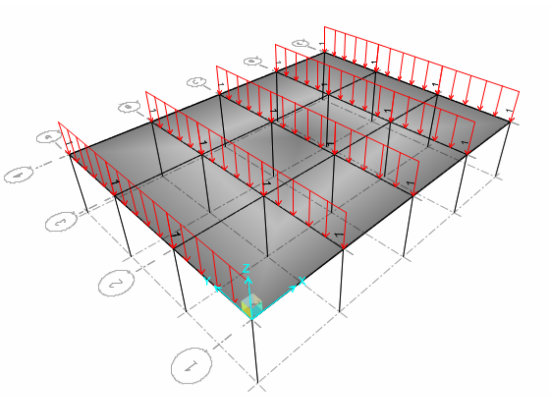


Fig. 2:
Slab with beams subjected to unit line load (kN/m).

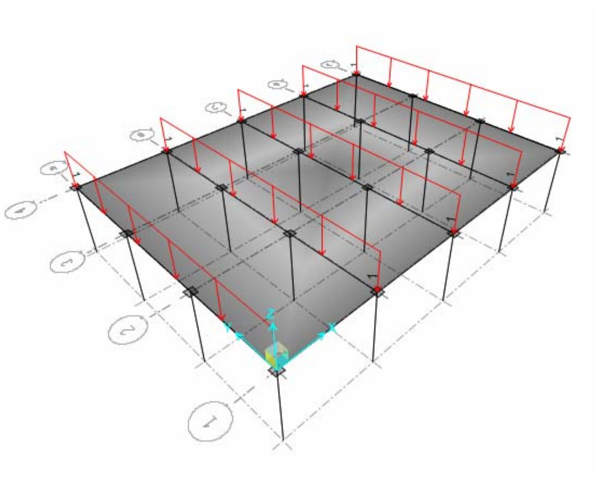


Fig. 3:
Flat slab subjected to unit line load (kN/m).

In the second Load Case the re-analysis of these systems under a uniformly distributed load with unit load value as shown in **Fig. 4** for slab with beams and **Fig. 5** for flat slab systems to obtain the data in **Table 1** for slab with beams and then, to obtain **Table 2** for flat plat slabs.

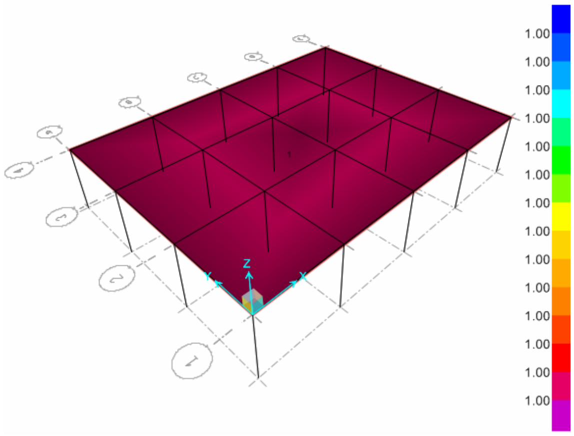


Fig. 4:
Slab with beams subjected to unit uniformly Distribution load (kN/m^2).

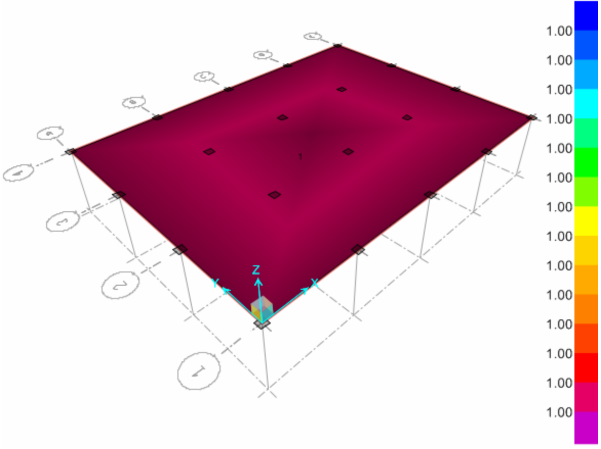


Fig. 5:
Flat slab subjected to unit uniformly Distribution load (kN/m^2).

In these Tables, the ratio W_{UDL}/W_{Line} Load has been computed as follows:

1. Based on linearity of structure:

$$M_{Due\ to\ Line\ Load} = M_{Unit\ Line\ Load} \times W_{Line}$$
$$M_{Due\ to\ UDL} = M_{Due\ to\ Unit\ UDL} \times W_{UDL}$$

2. Based on definition of the equivalent uniformly distributed load:

$$\because M_{Due\ to\ UDL} = M_{Due\ to\ Line\ Load}$$
$$\therefore M_{Unit\ UDL} \times W_{UDL} = M_{Unit\ Line\ Load} \times W_{Line}$$
$$\therefore \frac{W_{UDL}}{W_{Line}} = \frac{M_{Due\ to\ Unit\ Line\ Load}}{M_{Due\ to\ Unit\ UDL}}$$

Table 1: Comparison of Moment due to Unit Line Load and Corresponding Unit Uniformly Distributed Load (UDL) for Two-way Slabs with Beams (see Fig. 2 and Fig. 4):

Aspect Ratio	**α**	**Mv**	**Moments Due to a Unit Line Load** $(kN \times m/m)$			**Moments Due to Unit UDL** $(kN \times m/m)$			**Average** W_{UDL}/W_{Line} = M_{Line}/M_{UDL}
			M_{beam}	M_{cs}	M_{ms}	M_{beam}	M_{cs}	M_{ms}	
0.5	**4.342**	-Mv	4.24	0.511	0.418	16.19	2.229	2.365	0.248700924
		+Mv	1.683	0.181	0.159	6.595	0.527	0.905	0.252024418
0.75	**5.787**	-Mv	0.877	0.1194	0.0814	2.3515	0.418	0.465	0.333219972
		+Mv	0.4579	0.0484	0.0345	1.2341	0.0954	0.2793	0.336151169
1.0	**3.742**	-Mv	1.451	0.250	0.133	5.676	1.513	1.932	0.201074444
		+Mv	0.664	0.100	0.043	2.473	0.338	1.108	0.205919878
1.5	**2.893**	-Mv	0.849	0.1384	0.0852	3.1297	0.8926	2.3783	0.16757804
		+Mv	0.4625	0.0597	0.0232	1.487	0.1276	1.606	0.169347327
2.0	**2.170**	-Mv	0.845	0.138	0.083	3.405	1.083	3.902	0.127056019
		+Mv	0.469	0.061	0.022	1.672	0.043	2.710	0.124745763

Where:

M_{cs}: Moment in column strip

M_{ms}: Moment in middle strip

Table 2: Comparison of Moment due to Unit Line Load and Corresponding Unit Uniformly Distributed Load (UDL) for Flat Plate Slab (see Fig. 3 and Fig 5):

Aspect Ratio	**Mv**	**Moments Due to a Unit Line Load** $(kN \times m/m)$		**Moments Due to Unit UDL** $(kN \times m/m)$		**Average** $W_{UDL}/W_{Line} = M_{Line}/M_{UDL}$
		M $_{cs}$	**M** $_{ms}$	**M** $_{cs}$	**M** $_{ms}$	
05	**-Mv**	2.9947	1.7753	12.541	6.986	0.244277155
	+Mv	1.1853	1.0940	4.743	4.703	0.2412979040
0.75	**-Mv**	0.7746	0.2627	2.3608	0.9114	0.3170038510
	+Mv	0.3022	0.2068	0.8314	0.7435	0.323195123
1.0	**-Mv**	1.380	0.430	7.00	2.027	0.2005095820
	+Mv	0.553	0.257	2.338	1.716	.199802664
1.5	**-Mv**	0.839	0.2791	5.3146	1.2997	0.169042831
	+Mv	0.347	0.1514	1.3850	1.5686	0.168743229
2.0	**-Mv**	0.840	0.278	7.432	1.446	0.125929263
	+Mv	0.352	0.149	1.392	2.446	0.130536738

Where:

+Mv: The positive moment

-Mv: The negative moment

REGRESSION ANALYSIS

Multiple regressions analysis have been executed to derive required relationship based on finite element results that summarized in Table 1 and Table 2. This has been executed by STATISTICA Software. Using $\frac{W_{Eq.l}}{W_{Actual\,L}}$ as dependent variable and and as independent variables, linear regression relation will take the following form:

$$\frac{W_{Eq.UDL}}{W_{Actual\,Line\,Load}} = a_0 + a_1\alpha + a_2\frac{l_2}{l_1} \qquad (2)$$

where:

α is the relative ratio of the stiffness of beam to slab, is the aspect ratio.

W_{UDL}/W_{Line} is the ratio of equivalent uniformly distributed load to actual line load. , , and are regression coefficients.

Based on finite element results and statistical model that proposed in Eq. (2), one can conclude that the general relation between actual line load and the equivalent uniformly distributed will be:

$$\frac{W_{Eq.UDL}}{W_{Actual\,Line\,Load}} = 0.32193 + 0.00473\alpha - 0.10175\,\frac{l_2}{l_1} \qquad (3)$$

It is useful to note that this relation has a multiple correlation coefficients (R) equal to 0.8327334. This gives an indication that there is an actual linear proportionality between the dependent and independent variables. To assess the effect of each one of independent variables, correlation coefficient (r) has been computed as shown in **Fig. 6** and **Fig. 7 (each Fig. for both types of Slab Systems)** below:

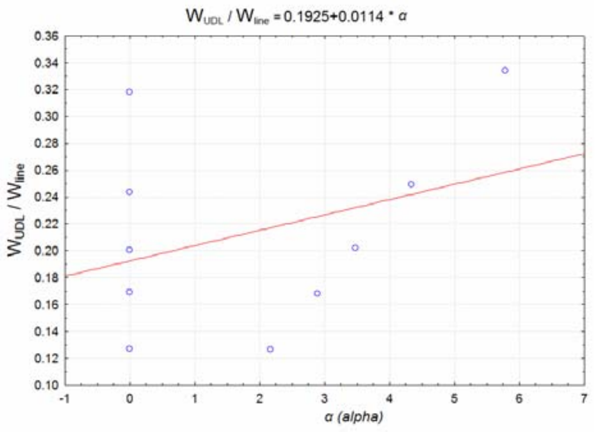


Fig. 6

Relationship Between (W_{UDL}/W_{Line}) and α.(Relative stiffness of beam to slab)

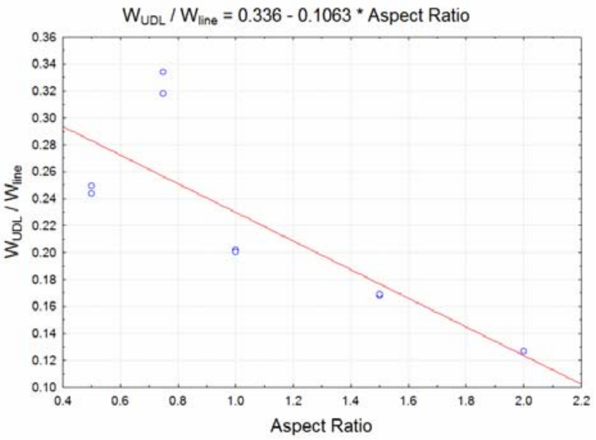


Fig. 7

Relationship Between (W_{UDL}/W_{Line}) and Aspect Ratio

CONCLUSIONS

Based on finite element analyses and regression analyses that have been executed in this study, one can conclude that an accurate estimation of the uniformly distributed load that equivalent to a known line load should include parameters related to system type and beams relative stiffness (in there is any beam in the system) in addition to the value of the line load.

REFERENCES:

- 1-Park R. and Gamble W. L. "Reinforced Concrete Slabs", John Wiley and Sons, Inc. 1980.
- 2-R. E. Woodring "Analytical Study of the Moments in Continuous Slabs Subjected to Concentrated Loads," Ph. D. thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign, 1963, pp. 151.
- 3-الملحق رقم 1 للكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة 2006
- 4-الكود المصري لحساب الاحمال والقوى في الاعمال الانشائية واعمال المباني سبتمبر2008
- 6-IBC, "International Building Code", 2003.
- 5-IBC, "International Building Code", 2006

NOTATION:

l_1	Span under consideration (m)
l_2	Lateral span length (m)
$\bar{w}$	Weight of wall per unit length (kN/m).
w^*	Equivalent uniformly distributed load (kN/m^2)
, , and	Coefficients of regression
C	Concentration coefficient
L	Span of square panel (m).
R	Correlation coefficients
W_{Line}	The actual line loads (kN/m)
W_{UDL}	Equivalent uniformly distributed load (kN/m^2) for the actual line loads
α	Relative ratio of the stiffness of beam to slab
M_{cs}	Moment in column strip
M_{ms}	Moment in middle strip
+Mv	The positive moment
-Mv	The negative moment

Replacement of Line Loads acting on slabs to equivalent uniformly Distributed Loads

Ass.Prof.Dr.AbdulMuttalibI.Said
abdmusawi@yahoo.com
Department of Civil Engineering

College of Engineering
University of Baghdad

Dr. Salah Rohaima Obed
Email: salahalzaidee2004@gmail.com
lecturer / Department of Civil Engineering

College of Engineering
University of Baghdad

Salam Mreh Ayez
Email:salamalkhafaji84@yahoo.com
M. Sc. Student
Department of Civil Engineering
College of Engineering
University of Baghdad

Abstract

This study aims to derive a general relation between line loads that acting on two-way slab system and the equivalent uniformly distributed loads. This relation will be so useful to structural designer that are used to working with a uniformly distributed load and enable them to use the traditional methods for analysis of two-way systems (e.g. Direct Design Method).

Two types of slab systems, Slab System with Beams and Flat Slab Systems, have been considered in this study to include the effect of aspect ratio and type of slab on the proposed relation. Five aspect ratios, l_2/l_1 of 0.5, 0.75, 1.0, 1.5 and 2.0, have been considered for both types of two-way systems.

All necessary finite element analyses have been executed with **SAFE Software.** Data obtained from the F. E. analyses have been used in a statistical analysis using **Statistic Software** to derive the relation based on a Linear Regression Analysis.

Keywords: Line Loads, Equivalent Uniformly Distributed Loads, Two-way Slabs, Flat Slabs, SAFE, Finite Element Analysis, Statistical Analysis, Linear Regression Analysis.

أستبدال الأحمال الخطية المؤثرة على البلاطات الى احمال مكافئة موزعة بأنتظام

أ.م.د. عبد المطلب عيسى سعيد

مدرس/قسم الهندسة المدنية
كلية الهندسة / جامعة بغداد

د. صلاح رحيمه عبيد

مدرس/قسم الهندسة المدنية
كلية الهندسة / جامعة بغداد

سلام مريح عايز

طالب ماجستير/مدني
كلية الهندسة/ جامعة بغداد

الخلاصـــــــة:

تقدم هذة الدراسة بحثا تحليليا يخص تحويل الاحمال الخطية المسلطة على السقوف الخرسانية كأحمال الجدران الى أحمال منتشرة وموزعة بأنتظام مكافئة للأحمال الاصلية ومؤثرة على كافة مساحة السقف وذلك لتسهيل عملية التصميم لهذه السقوف بطرق التصميم السائدة والمعدة بالاساس للأحمال الموزعة بأنتظام كطرق التصميم الموجودة في المدونة الأمريكية (مثل طريقة التصميم المباشر).

تم أخذ نوعين من أكثر أنواع السقوف أنتشارا (السقوف المسندة على أعتاب خرسانية والسقوف المستوية) حيث تم دراسة أهم العوامل المؤثرة على العلاقة بين الحمل الخطي والحمل المنتشر المكافىء له ومن أهمها نسبة طول الفضاء الى طول الفضاء العمودي عليه وكذلك نسبة جساءة العتبب الى جساءة السقف (في النوع الاول فقط) حيث تم أخذ خمسة نسب من نسبة طول الفضاء على طول الفضاء العمودي عليه (0.5، 0.75، 1.0,1.5 و 2.0) لكل نوع منهما.

تم تسليط أحمال خطية مرة وموزعة بأنتظام مرة أخرى على هذه السقوف وحللت بطريقة العناصر المحددة وبأستخدام برنامج: (SAFE Software V. 12).

ولايجاد العلاقة بين الحمل الخطي والحمل الموزع بأنتظام و المكافىء له تم الاعتماد على طريقة تحليل الأنحدارحيث تم ادخال البيانات المستحصلة من تحليل الانظمة أعلاه الى البرنامج الاحصائي: (STATISTIC Software)

الكلمات الرئيسية: الأحمال الخطية، الأحمال المكافئة الموزعة بأنتظام ، بلاطات ثنائية، بلاطات مستوية،تحليل السقوف بطريقة العناصر المحددة، التحليل بالعناصر المحددة، التحليل الأحصائي،تحليل الأرتباط الخطي.

INTRODUCTION

Line loads, as may be applied by walls, are a special case of loads acting on small areas. It has apparently been customary to take the weight of interior walls into account by adding an addition uniformly distributed loads of 1.44 kN/m^2 to the dead load of the slab.(1).

Woodring (2) studied the effects of an arbitrary length placed concrete block wall weighing 4.43 kN/m (304 lb/ft) and extending to an arbitrary length. The wall was considered to have zero stiffness and hence to apply a uniform line load to the slab regardless of the slab deflection. Considering a single wall, the 1.44 kN/m^2 (30 psf) allowance was more adequate than for any length and placement of the wall as far as the negative moments in beamless slabs were concerned. However, if the wall was placed at midspan and especially if it extends across several panels, the 1.44 kN/m^2 (30 psf) allowance was inadequate for positive moments. When the wall extended across the full width of one panel, the required allowance to properly compensate for the effects on midspan moments acting in the direction perpendicular to the wall varied from 3.2 kN/m^2 when l_1 = 6.1m to 2.1 kN/m^2 when l_1 = 9.15m. If the wall extended across more than one panel, the required equivalent loads would be slightly larger. Thus, it may be desirable, if inconvenient; to design the positive–moment sections with one equivalent load and the negative-moment sections for another lower equivalent load. Then the equivalent uniformly distributed load can be computed by using the following equation (1):

$$w^* = \frac{\bar{w}C}{L} \qquad (1)$$

Where:

: is the equivalent uniformly distributed load per unit width.

: is the weight of wall per unit length.

: Span of square panel.

C: concentration coefficient, where a positive number indicates moments with the same sign as are caused by distributed loads.

According to Syrian Code(3), the line loads light in weight can be replaced by an equivalent uniformly distributed load when the line loads on slab systems equal to or less than 1.5 kN/m^2 on the area under wall and as shown in **Fig. 1**.

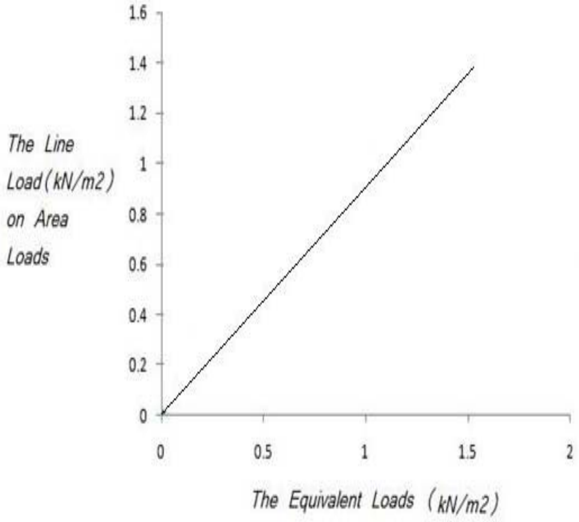


Fig. 1
Equivalent Uniform Loads to Line Loads (3)

Also when the live load applied on slab systems is greater than a 6 kN/m^2 the effect of the line loads can be neglected [(3)].

According to Egyptian Code, when the design live loads is greater than or equal to 5.0 kN/m^2 and the line loads equal to or less than 1.0 kN/m^2, line load effects can be neglected [(4)].

According to the International Building Code, in the office and other buildings where partition locations are subjected to change, provision for partition weight shall be made, whether or not partitions are shown on the construction documents, unless the specified live load exceeds 3.83 kN/m^2 (80 psf). Such the partition load shall not be less than a uniformly distributed live load of 0.96 kN/m^2 (20 psf) (according to **IBC 2003)**[(5)] or 0.74 kN/m^2 (15 psf) (according to **IBC 2006)** [(6)]**.**

EQUIVALENT UNIFORM LOAD:

As discussed in the previous section, most of current methods for estimating the equivalent uniformly distributed load recommend a constant value of the equivalent uniformly distributed load that does not depend neither on the intensity of the original line load nor on system parameters (existence of beams, stiffness of beams, and panel aspect ratio). The main goal of this study is to develop a more rigorous relation that includes these effects into account. This has been started with finite element analyses of the two-way systems under a unit line loads and unit uniformly distributed loads. These finite element results had been used in a linear regression analysis to obtain the required general relation.

FINITE ELEMENT ANALYSES:

Finite element analyses (executed by **SAFE Software**) for systems with following properties:

1. A Concrete slab of 0.2 m thick.
2. Concrete beams (for slab with beams) with dimensions of 0.4 m by 0.6 m and a relative flexural stiffnesses “ ” greater than two ($\alpha \frac{l2}{l1}$).
3. All concrete columns have dimensions of 0.4 m by 0.4 m.
4. A line load of (1) and uniform distribution load (1 kN/m^2).
5. A square finite element mesh with dimensions of 20 cm by 20 cm.

Five different aspect ratios have been considered in each case study, namely 0.5, 0.75, 1.0, 1.5, and 2.0. Then the lengths will be l_2 is 4, 3, 5, 6, and 8 and l_1 is 8, 4, 5, 4, and 4.

For each aspect ratio, the system has been subjected to the following two load cases:

First Load Case: This load case intends to simulate the floor systems that subjected to quasi symmetrical line loads. Then in this load case all center lines in the direction under consideration have been subjected to line loads and as shown in **Fig. 2** for slab with beams and in **Fig. 3** for flat slab systems.

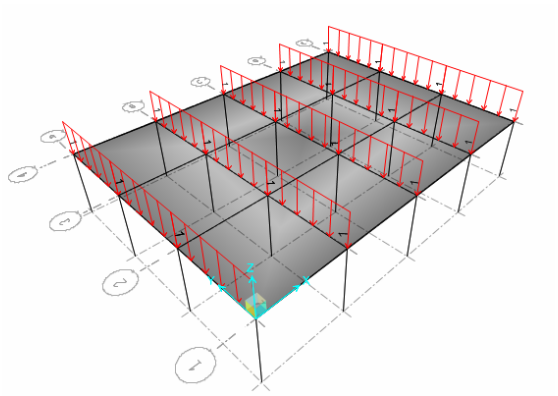


Fig. 2:
Slab with beams subjected to unit line load (kN/m).

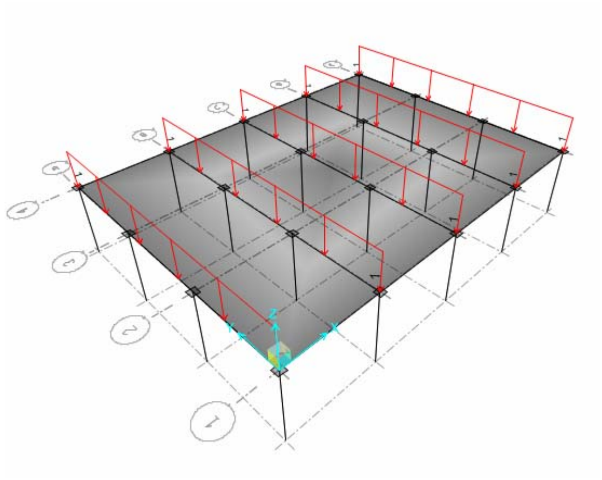


Fig. 3:
Flat slab subjected to unit line load (kN/m).

In the second Load Case the re-analysis of these systems under a uniformly distributed load with unit load value as shown in **Fig. 4** for slab with beams and **Fig. 5** for flat slab systems to obtain the data in **Table 1** for slab with beams and then, to obtain **Table 2** for flat plat slabs.

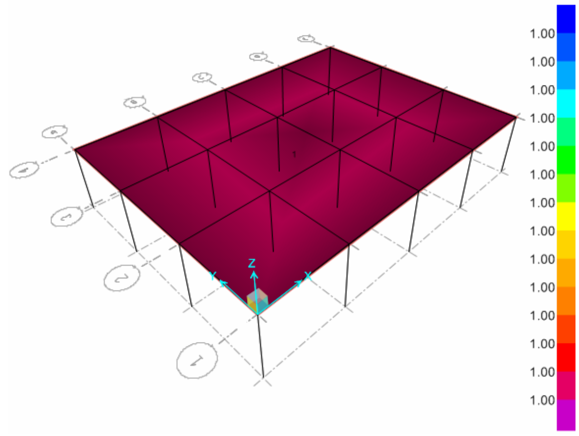


Fig. 4:
Slab with beams subjected to unit uniformly Distribution load (kN/m^2).

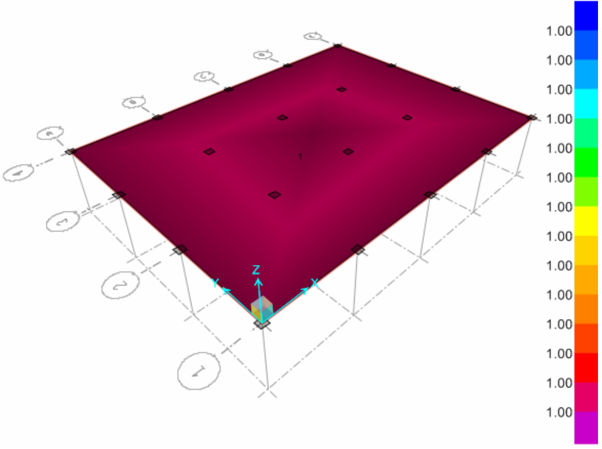


Fig. 5:
Flat slab subjected to unit uniformly Distribution load (kN/m^2).

In these Tables, the ratio W_{UDL}/W_{Line} Load has been computed as follows:

1. Based on linearity of structure:

$$M_{Due\ to\ Line\ Load} = M_{Unit\ Line\ Load} \times W_{Line}$$
$$M_{Due\ to\ UDL} = M_{Due\ to\ Unit\ UDL} \times W_{UDL}$$

2. Based on definition of the equivalent uniformly distributed load:

$$\because M_{Due\ to\ UDL} = M_{Due\ to\ Line\ Load}$$
$$\therefore M_{Unit\ UDL} \times W_{UDL} = M_{Unit\ Line\ Load} \times W_{Line}$$
$$\therefore \frac{W_{UDL}}{W_{Line}} = \frac{M_{Due\ to\ Unit\ Line\ Load}}{M_{Due\ to\ Unit\ UDL}}$$

Table 1: Comparison of Moment due to Unit Line Load and Corresponding Unit Uniformly Distributed Load (UDL) for Two-way Slabs with Beams (see Fig. 2 and Fig. 4):

Aspect Ratio	**α**	**Mv**	**Moments Due to a Unit Line Load** $(kN \times m/m)$			**Moments Due to Unit UDL** $(kN \times m/m)$			**Average**
			$\mathbf{M_{beam}}$	$\mathbf{M_{cs}}$	$\mathbf{M_{ms}}$	$\mathbf{M_{beam}}$	$\mathbf{M_{cs}}$	$\mathbf{M_{ms}}$	$W_{UDL}/W_{Line} = M_{Line}/M_{UDL}$
0.5	**4.342**	-Mv	4.24	0.511	0.418	16.19	2.229	2.365	0.248700924
		+Mv	1.683	0.181	0.159	6.595	0.527	0.905	0.252024418
0.75	**5.787**	-Mv	0.877	0.1194	0.0814	2.3515	0.418	0.465	0.333219972
		+Mv	0.4579	0.0484	0.0345	1.2341	0.0954	0.2793	0.336151169
1.0	**3.742**	-Mv	1.451	0.250	0.133	5.676	1.513	1.932	0.201074444
		+Mv	0.664	0.100	0.043	2.473	0.338	1.108	0.205919878
1.5	**2.893**	-Mv	0.849	0.1384	0.0852	3.1297	0.8926	2.3783	0.16757804
		+Mv	0.4625	0.0597	0.0232	1.487	0.1276	1.606	0.169347327
2.0	**2.170**	-Mv	0.845	0.138	0.083	3.405	1.083	3.902	0.127056019
		+Mv	0.469	0.061	0.022	1.672	0.043	2.710	0.124745763

Where:

M_{cs}: Moment in column strip

M_{ms}: Moment in middle strip

Table 2: Comparison of Moment due to Unit Line Load and Corresponding Unit Uniformly Distributed Load (UDL) for Flat Plate Slab (see Fig. 3 and Fig 5):

Aspect Ratio	**Mv**	**Moments Due to a Unit Line Load** $(kN \times m/m)$		**Moments Due to Unit UDL** $(kN \times m/m)$		**Average** W_{UDL}/W_{Line} = M_{Line}/M_{UDL}
		M $_{cs}$	**M** $_{ms}$	**M** $_{cs}$	**M** $_{ms}$	
05	**-Mv**	2.9947	1.7753	12.541	6.986	0.244277155
	+Mv	1.1853	1.0940	4.743	4.703	0.2412979040
0.75	**-Mv**	0.7746	0.2627	2.3608	0.9114	0.3170038510
	+Mv	0.3022	0.2068	0.8314	0.7435	0.323195123
1.0	**-Mv**	1.380	0.430	7.00	2.027	0.2005095820
	+Mv	0.553	0.257	2.338	1.716	.199802664
1.5	**-Mv**	0.839	0.2791	5.3146	1.2997	0.169042831
	+Mv	0.347	0.1514	1.3850	1.5686	0.168743229
2.0	**-Mv**	0.840	0.278	7.432	1.446	0.125929263
	+Mv	0.352	0.149	1.392	2.446	0.130536738

Where:

+Mv: The positive moment

-Mv: The negative moment

REGRESSION ANALYSIS

Multiple regressions analysis have been executed to derive required relationship based on finite element results that summarized in Table 1 and Table 2. This has been executed by STATISTICA Software. Using $\frac{W_{Eq.l}}{W_{Actual\,L}}$ as dependent variable and and as independent variables, linear regression relation will take the following form:

$$\frac{W_{Eq.UDL}}{W_{Actual\,Line\,Load}} = a_0 + a_1\alpha + a_2\frac{l_2}{l_1} \qquad (2)$$

where:

α is the relative ratio of the stiffness of beam to slab, is the aspect ratio.

W_{UDL}/W_{Line} is the ratio of equivalent uniformly distributed load to actual line load. , , and are regression coefficients.

Based on finite element results and statistical model that proposed in Eq. (2), one can conclude that the general relation between actual line load and the equivalent uniformly distributed will be:

$$\frac{W_{Eq.UDL}}{W_{Actual\ Line\ Load}} = 0.32193 + 0.00473\alpha - 0.10175\,\frac{l_2}{l_1} \qquad (3)$$

It is useful to note that this relation has a multiple correlation coefficients (R) equal to 0.8327334. This gives an indication that there is an actual linear proportionality between the dependent and independent variables. To assess the effect of each one of independent variables, correlation coefficient (r) has been computed as shown in **Fig. 6** and **Fig. 7 (each Fig. for both types of Slab Systems)** below:

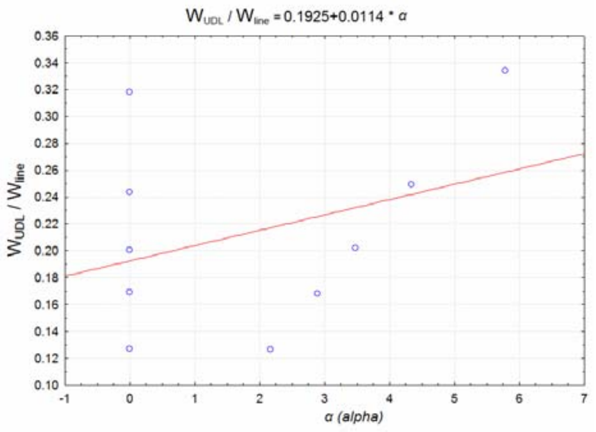


Fig. 6
Relationship Between (W_{UDL}/W_{Line}) and α.(Relative stiffness of beam to slab)

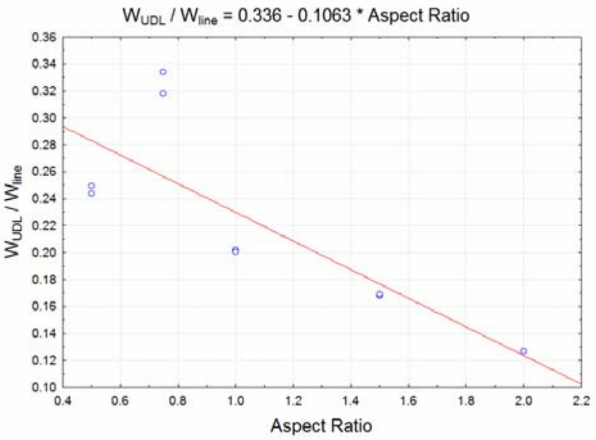


Fig. 7
Relationship Between (W_{UDL}/W_{Line}) and Aspect Ratio

CONCLUSIONS

Based on finite element analyses and regression analyses that have been executed in this study, one can conclude that an accurate estimation of the uniformly distributed load that equivalent to a known line load should include parameters related to system type and beams relative stiffness (in there is any beam in the system) in addition to the value of the line load.

REFERENCES:

- 1-Park R. and Gamble W. L. "Reinforced Concrete Slabs", John Wiley and Sons, Inc. 1980.
- 2-R. E. Woodring “Analytical Study of the Moments in Continuous Slabs Subjected to Concentrated Loads,” Ph. D. thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign, 1963, pp. 151.
- 3-الملحق رقم 1 للكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة 2006
- 4-الكود المصري لحساب الاحمال والقوى في الاعمال الانشائية واعمال المباني سبتمبر2008
- 6-IBC, "International Building Code", 2003.
- 5-IBC, "International Building Code”, 2006

NOTATION:

l_1	Span under consideration (m)
l_2	Lateral span length (m)
$\bar{w}$	Weight of wall per unit length (kN/m).
w^*	Equivalent uniformly distributed load (kN/m^2)
, , and	Coefficients of regression
C	Concentration coefficient
L	Span of square panel (m).
R	Correlation coefficients
W_{Line}	The actual line loads (kN/m)
W_{UDL}	Equivalent uniformly distributed load (kN/m^2) for the actual line loads
α	Relative ratio of the stiffness of beam to slab
M_{cs}	Moment in column strip
M_{ms}	Moment in middle strip
+Mv	The positive moment
-Mv	The negative moment

Surface Free Energy for the Evaluation of Asphalt Binder Stripping

Prof. Saad Issa Sarsam and Esraa Thamer Al – Azawee
saadisasarsam@coeng.uobaghdad.edu.iq
College of Engineering/ University of Baghdad

Abstract

Stripping is one of the major distresses within asphalt concrete pavements caused due to penetration of water within the interface of asphalt-aggregate matrix. In this work, one grade of asphalt cement (40-50) was mixed with variable percentages of three types of additives (fly ash, fumed silica, and phosphogypsum) to obtained an modified asphalt cement to resist the effect of stripping phenomena .The specimens have been tested for physical properties according to AASHTO. The surface free energy has been measured by using two methods namely, the wilhelmy technique and the Sessile drop method according to NCHRP-104 procedures.

Samples of asphalt concrete using different asphalt cement and modified asphalt cement percentages(4.1,4.6 and 5.6) were prepared and tested for stripping phenomena by using Marshall Immersion method (The index of retained stability test(I.R.S) ≥75 %.

When using Sessile drop method the value of surface free energy of asphalt cement grade (40-50) was about 8.8 ergs/cm^2, while when using Wilhelmy technique the value of surface free energy of asphalt cement was 30.71 ergs/cm^2.

Finally, a mathematical relationship was obtained by using (SPSS) Software between the stripping asphalt concrete using conditioned and unconditioned specimens data (I.R.S) %, the contact angle, the total surface free energy for asphalt cement and modified asphalt cement with fume silica.

Keywords: Stripping, surface free energy, modified asphalt, fume silica

تقييم خصائص التقشر للأسفلت السمنتي بأستخدام مبدأ الطاقة السطحية الحرة

الخلاصة

تقشر الأسفلت عن الركام هو احد المشاكل الرئيسية التي تضعف الخرسانة الأسفلتية وذلك بسبب تغلغل الماء الى سطح الأسفلت والركام. في هذا البحث تم مزج نوع واحد من الأسفلت السمنتي (40-50) مع نسب متغيرة من ثلاثة انواع من المضافات (الرماد المتطايروالفيوم سليكا والفوسفوجبسوم) للحصول على أسفلت سمنتي محسن.

تم فحص النماذج للخصائص الفيزيائية اتباعا لمواصفة AASHTO الأميريكية للأسفلت السمنتي والمحسن وثم قياس الطاقة السطحية الحرة بأستخدام طريقتي(Wilhelmy Method and Sessilt Drop) بموجب مواصفة (NCHRP-104).

تم فحص نماذج الخرسانة الأسفلتية لأنواع الأسفلت الأسمنتي والأسفلت المحسن بالنسب 4.1,4.6,5.6 لقياس ظاهرة التقشر بأستخدام طريقة Marshall Immersion لأيجاد مؤشر بقاء الأستقرارية (I.R.S.%). ومن نتائج الفحوصات لوحظ ان طاقة الشد السطحي للأسفلت السمنتي (40-50) المحسوب بطريقةSessile Drop حيث كانت 8.8 ergs/cm^2 بينما اعطت طريقة Wilhelmy Method طاقة الشد السطحي المحسوية بمقدار 30.71 erg/cm^2.وتم ايجاد علاقات رياضية تربط ظاهرة التقشر للنماذج(Conditioned and unconditioned) و(contact angle) مع طاقة الشد السطحي للأسفلت المحسن بالفيوم سيليكا.

الكامات الرئيسية: التقشر ، الطاقه السطحيه الحره ، الاسفلت المحسن ، أبخره السليكا.

Introduction

General

Moisture damage in asphalt concrete pavements is considered as primary cause of distresses in the asphalt pavement layers. The exposure of asphalt pavement to water is often one of the major factors affecting the durability of HMA. The water induced damage in HMA layers may be associated with two mechanisms: loss of adhesion and/loss of cohesion. In the first mechanism, the water gets trapped between the asphalt and aggregate and strips the asphalt film away, leaving aggregate without asphalt film coverage. This happens because the aggregates have a greater affinity for water than asphalt binder. The second mechanism includes the interaction of water with the asphalt cement that reduces the cohesion within the asphalt cement. This will lead to a severe reduction in the asphalt mixture strength. **(Wasiuddin, (2007)).**

Mineral anti-stripping additives and liquid anti-stripping agents are commonly used to modify hot mix asphalt HMA components, asphalt binder and aggregate, to increase the resistance of HMA mixtures to moisture damage. Surface free energy, of a material is the amount of work required to create unit area of the material in vacuum. The total surface energy of a material is divided into three components, namely,: the Lifshitz–van der Waals component, the acid component, and the base component. Such components can be used in calculating the free surface energy for asphalt **(NCHRP-104)**, and there are several methods to determine the surface energy.

Methods for Determination of Surface Free Energy of Asphalt:

- Sessile Drop Method **(SDM).**
- Wilhelmy Plate Method **(WPM).**

Research Objective

The main objectives of this research work are:

(1). Studying the relationship between the surface free energy and stripping properties for asphalt cement and modified asphalt improved by three types of additives (fly ash, phpsphogypsum and fume silica). The source of fly ash is locally from the waste of factories, phospho gypsum from Phosphate plant usually available as waste, fume silica obtained from local market.

(2). Finding a mathematical relationship between the stripping of asphalt concrete using conditioned and unconditioned specimens data with (I.R.S) and the contact angle and the total surface free energy for asphalt cement and modified asphalt cement.

Stripping Test

Marshall Immersion Test:

Three sets of Marshall Specimens were prepared according to the method described by ASTM D 1559. Each set contains four groups (two Specimens, one dried (control) and another (condition).The Marshall Specimens were used to find the Index of Retained Stability (I.R.S) %. Each group contains two specimens subgroup; one is the average of three specimens (control specimens) which were subjected to immersion in water bath at 60 ˚C for 30 minute. The second is the average of three specimens (conditioned specimen) and were immersed in water bath at 14±2˚C for 24 hrs. Such procedure was also followed by **Zhou et al (2009) and Solaimanian et al (2003).**

Then the specimens were tested by using Marshall Device .The index of retained stability was calculated as the ratio of stability of water exposed specimens to the stability of control specimens using equation (1).**Yousif, (2003).**

$$\text{I.R.S}\,(\%) = \frac{S_2}{S_1} \times 100 \qquad (1)$$

Where:

S_1=Marshall Stability for control specimen (30 minutes immersion at 60˚C).

S_2=Marshall Stability for condition specimen (24 hours immersion at 14±2˚C, then 30 minutes immersion in water at 60 ˚C).

A minimum I.R.S (%) of 75% is often specified for satisfactory resistance to damage by moisture. **Yousif (2003).**

Figure (1) show the gradation of aggregate used for wearing course(SCRB)

Test Methods to Measure Surface Energy Components:

Surface energy is defined as the energy needed to create a new unit surface area of material in vacuum condition. Surface energy measurements are used to compute the adhesive bond strength between the aggregates and asphalt and cohesive bond strength in the binder. It is a suitable method for forecasting the moisture damage in asphalt mixtures. Therefore, this method seems to be capable of analyzing the effects of anti-stripping additives on the reduction of moisture damage. The ability to accurately determine surface free energy of asphalt binders and aggregates has been developed based on the **Van Oss theory. Cheng (2002). Table (1)** shows the Surface Energy Components of the Probe Liquids used throughout this investigation. **Figure (2)** shows the flow chart of the surface energy determination.

The total surface energy of a material is divided into three components, namely, the Lifshitz-van der Waals component, the acid component, and the base component **Cheng (2002).** The surface free energy, $\square^{\mathbf{total}}$ of a material is determined by combining the polar and nonpolar components as follows:

$$\gamma^{\mathbf{total}} = \gamma^{\square\square} + 2\sqrt{\gamma^{+}\gamma^{-}} \qquad (2)$$

Where:

$\gamma^{\mathbf{total}}$ = is the total surface free energy of the material.

$\gamma^{\square\square}$= the Lifshitz-van der Waals.

γ^{+}= is the Lewis acid component.

γ^{-} =is the Lewis base component.

Several methods are proposed in the literature to measure the surface free energy of the asphalt-aggregate system. **Shah (2003)** studied the surface energy that aimed at assessing moisture damage. **Wasiuddin et al (2005)** studied that (SFE) of A HMA mix and its constituents (aggregate and binder) can be a valuable indicator of moisture damage in HMA. **Hefer; et al (2006)** studied the bitumen surface energy using contact angles measured with various liquids by the Wilhelmy plate.

Wilhelm Plate Device Method(WPD)

This method is used to measure dynamic contact angles of the asphalt binder with various probe liquids and to determine surface energy components of the binder. A glass slide (25.4mm× 76.2mm × 1mm) coated with the asphalt binder and suspended from a microbalance is immersed in a probe liquid. From simple force equilibrium conditions the contact angle of the probe liquid with the surface of the asphalt binder can be determined. **Bhasin et al (2007)**

The difference between weight of a plate measured in air and partially submerged in a probe liquid, ΔF, is expressed in terms of buoyancy of the liquid, liquid surface energy, contact angle, and geometry of the plate **Bhasin et al (2007)**. The contact angle between the liquid and surface of the plate is calculated from this equilibrium as follows:

$$\cos\theta = \frac{\Delta F + V_{im}\left(\rho_L - \rho_{air} g\right)}{P_t \gamma_L^{Tot}} \qquad (3)$$

Where:

Pt=is the perimeter of the bitumen coated plate.

$\square_{\mathbf{L}}^{Tot}$ =Is the total surface energy of the liquid.

$\boldsymbol{\theta}$ = The dynamic contact angle between the asphalt binder and the liquid.

V_{im} =The volume immersed in the liquid.

P_L=The density of the liquid.

P_{air}= The air density.

g =The local acceleration due to gravitation.

The analysis for obtaining the contact angle is usually carried out by using the software of the testing device. Since the testing device was not available in our laboratory, a manual test procedure was followed instead of using the device. The glass slides were of dimensions (25.4mm× 76.2mm × 1mm) each was coated with asphalt binder or modified asphalt. Each slide was then immersed in the beaker that was filled with the different probe liquids slowly at a steady speed and then a picture was taken while the slide was in its last position in the liquid.

The digital balance with a capacity of (1000 g) was used having a sensitivity of 0.2gm. The glass beaker that is filled with probe liquid was placed on the balance and then was covered together with the balance to prevent the air effect. Then, the glass slide was linked with a clipper paper and downloaded at slow and steady speed inside the beaker. The balance reading was taken when the slide touches the liquid. However, the balance was not sensitive enough for this measurement and it was not possible to determine the value of the ΔF during the immersion and lifting and hence, Equation (3) cannot be used. Therefore the image processing software **(Comef 4.3)** was used to find a dynamic contact angle. A total number of slides were perpetrated of (48) slides. **Arabani (2010)** explained the theoretical and experimental concept of predicting moisture damage in asphalt concrete mixes by using the surface free energy (SFE) concept using dynamic Wilhelmy plate method. **Figure (3)** shows the contact angle between probe liquid and glass slide coated asphalt. A total number of slides were perpetrated of (48) slides.

Sessile Drop Method(SDM)

A probe liquid is dispensed over a smooth horizontal surface coated with asphalt binder. The image of the drop of liquid formed over the surface of the binder is captured by using a digital camera. Contact angles are obtained by analyzing the image using image processing software **(Comef 4.3)** software. A static Contact angles measured with different probe liquids are used with equations of work of adhesion to determine the three surface energy components of the asphalt binder. **[NCHRP -104(2006)],** A total number of slides were perpetrated of (48) slides.

A drop with a contact angle over 90° is hydrophobic. This condition is exemplified by poor wetting, poor adhesiveness and the solid surface free energy is low. A drop with a small contact angle is hydrophilic this condition reflects better wetting, better adhesiveness, and higher surface energy. **Figure (4)** shows the Output of the Comef 4.3 Software

Computing Surface Energies from Contact Angles

The surface energy component of a solid surface is determined by measuring its contact angles with various probe liquids. Typically more than three liquids are recommended to determine the three surface energy components of the solid. At least three probe liquids are recommended to be used in this test. These are water, glycerol, and formamid and all reagents must be high-purity grade (>99%). Contact angles must be measured for at least three replicates with each probe liquid for each type of asphalt binder and modifier asphalt. Probe liquids that have been selected not react chemically or dissolve with asphalt binders and are used to measure the contact angles with the binder.

The system of linear equations generated based on the above equations is shown below:

$$A\,x = B \qquad (4)$$

Where:

$$A = \begin{bmatrix} \sqrt{\gamma_{l1}^{LW}} & \sqrt{\gamma_{l1}^{+}} & \sqrt{\gamma_{l1}^{-}} \\ \cdots\cdots & \cdots\cdots & \cdots\cdots \\ \sqrt{\gamma_{lm}^{LW}} & \sqrt{\gamma_{lm}^{+}} & \sqrt{\gamma_{lm}^{-}} \end{bmatrix} (m \times 3) \qquad (5)$$

$$X = \begin{bmatrix} \sqrt{\gamma_s^{LW}} \\ \sqrt{\gamma_s^{-}} \\ \sqrt{\gamma_s^{+}} \end{bmatrix} (3 \times 1) \qquad (6)$$

$$B = 0.5 \begin{bmatrix} \gamma_{li}(1 + cos\theta_1) \\ \cdots\cdots \\ \gamma_{li}(1 + cos\theta_m) \end{bmatrix} (m \times 1) \qquad (7)$$

$$x = A^{-1}B \qquad (8)$$

The propagated variance of error in the work of adhesion can be calculated for each liquid as follows in Equation (10) and a reasonable approximation of σ_y is 0.1ergs/cm^2

$$\sigma_w^2 = \sigma_y^2\{0.5(1 + cos\theta)\}^2 + \frac{1}{r}\frac{1}{(r-1)}\sum_{k=1}^{r}(\theta_k - \bar{\theta})^2\{-0.5\,\gamma\sin\theta^{-}\}^2 \qquad (10)$$

Where, is the total surface free energy value of the liquid shown in table (1), **θ**□ is the average contact angle from ***r*** replicate measurements in radian, θ_k is the contact angle from r replicate measurements. σ_{θ}^{2} is the variance **θ** expressed in radians shown in Equation (3.10)

$$\sigma_{\theta}^{2} = \frac{1}{r}\frac{1}{(r-1)}\sum_{k=1}^{r}(\theta_k - \bar{\theta})^2 \{-0.5\, \gamma\, Sin\, \theta^{-}\}^2 \quad (11)$$

The matrices **A** and **B** are changed as follows:

$$A' = \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{\gamma_{l1}^{LW}}}{\sigma_1} & \frac{\sqrt{\gamma_{l1}^{+}}}{\sigma_1} & \frac{\sqrt{\gamma_{l1}^{-}}}{\sigma_1} \\ \dots\dots & \dots\dots & \dots\dots \\ \frac{\sqrt{\gamma_{lm}^{LW}}}{\sigma_m} & \frac{\sqrt{\gamma_{lm}^{+}}}{\sigma_m} & \frac{\sqrt{\gamma_{lm}^{-}}}{\sigma_m} \end{bmatrix} (m \times 3) \quad (12)$$

$$B' = 0.5 \begin{bmatrix} \frac{\gamma_{li}(1+\cos\theta_1)}{\sigma_m} \\ \dots\dots \\ \frac{\gamma_{li}(1+\cos\theta_1)}{\sigma_m} \end{bmatrix} (m \times 1) \quad (13)$$

Then, determine the $(\mathbf{A}'^{\,T}\mathbf{A}')^{-1}$ matrix for each asphalt binder. The three diagonal elements of this matrix(c_{ii}) represent the variance of the square roots of the surface energy components (Lifshitz-van der Waals, base and acid component, respectively).

The variance estimate of the errors in the surface free energy components is obtained by propagation of errors as follows:

$$\gamma_{LW}^{2} = 4X_i^2 C_{ii} \quad (14)$$

$$\gamma_{base(\gamma^{-})}^{2} = 4X_i^2 C_{ii} \quad (15)$$

$$\gamma_{LWacid(\gamma^{+})}^{2} = 4X_i^2 C_{ii} \quad (16)$$

Where, c_{ii} are diagonal elements of the $(\mathbf{A}'^{\,T}\mathbf{A}')^{-1}$ matrix.

Determination of Physical Properties:

In **table (3)** shows the physical properties of asphalt cement and modified asphalt cement were determined by using the following equations and shell nomograph. The table below illustrates such properties, **Sarsam et al (2000).**

$$\text{Penetration Index (P.I)} = \left[\frac{30}{(1+90\,k)}\right] - 10 \quad (17)$$

$$k = \frac{log800 - logpenetrationat77^{\circ}F}{[ringandball\,(softeningpoint^{\circ}F) - 77^{\circ}F]} \quad (18)$$

The value of penetration index indicates greater temperature susceptibility. Stiffness modules (SM) defines as the ratio stress/strain was obtained from shell nomograph at $T_{R\&B}$ 75°C and temperature of asphalt at 25°C and a frequency of 10 Hz.

Effect of Additives on Calculated Surface Free Energy by Sessile Drop Method

Surface free energy was determined for each type of asphalt binder based on Van Oss theory which separates the surface energy of asphalt into three components, namely, the Lifshitz-Van Der Waals component, the acid component, and the base component. **Figures (5), (6) and (7)** show the histograms of surface free energy of asphalt and modified asphalt. The surface free energy calculated was randomly when using asphalt modified with fly ash, fume silica and phosphor gypsum.

Effect of Additives on Calculated Surface Free Energy by Wilhelmy Plate Method

Surface free energy was determined for each type of asphalt binder based on Van Oss theory which separates the surface energy of asphalt into three components, namely, the Lifshitz-Van Der Waals component, the acid component, and the base component. **Figures (8), (9) and (10)** show the histograms of surface free energy of asphalt and modified asphalt. The surface free energy calculated was randomly when using asphalt modified with fly ash, fume silica and phosphor gypsum.

Effect of Additives on Stripping Potential Using Marshall Immersion Test The index of retained stability (I.R.S) % was calculated as the ratio of stability of water exposed specimens to the stability of dry specimens. A minimum I.R.S (%) of 75%is often specified for satisfactory resistance to damage by moisture. **Figures (11),(12),(13) ,(14) ,(15) and (16)** show the relationship between contact angle of water and (I.R.S) % and total surface free energy of asphalt cement (40-50) modified with fumesilica

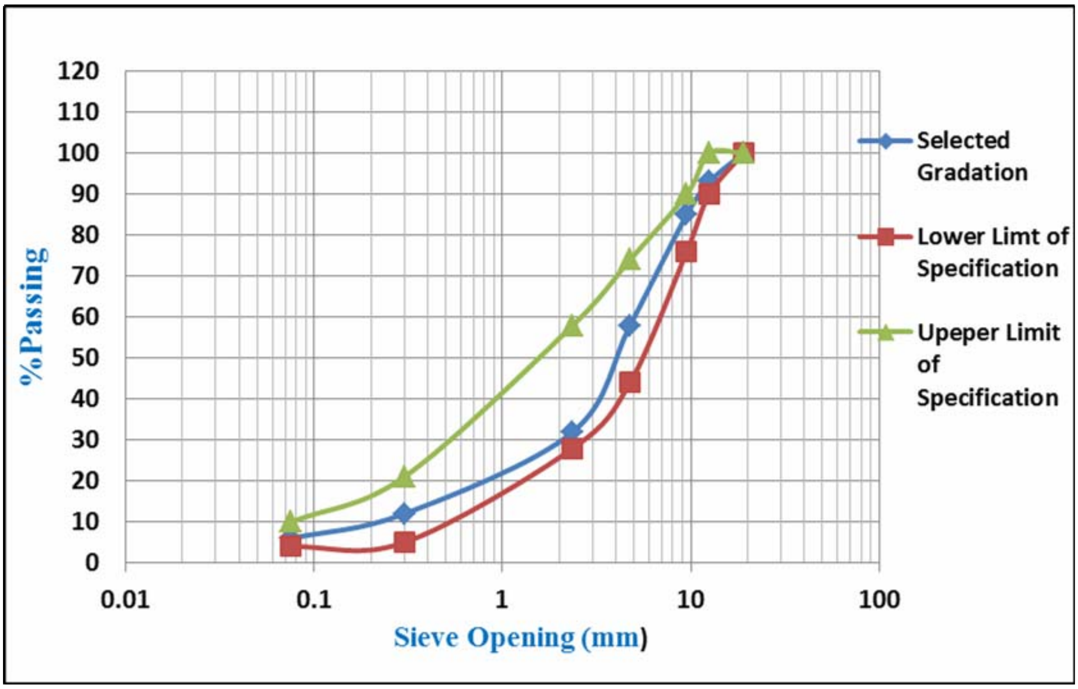


Figure (1) Gradation Curve of Aggregate Used for Wearing Course(SCRB)

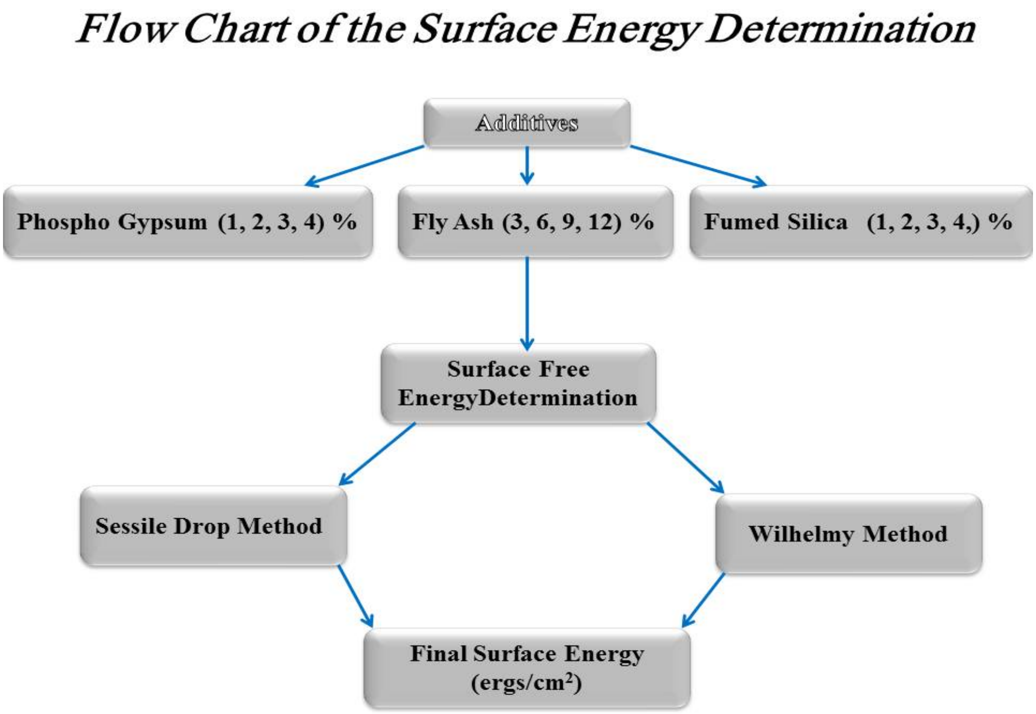


Figure (2) Flow Chart of the Surface free Energy Determination.

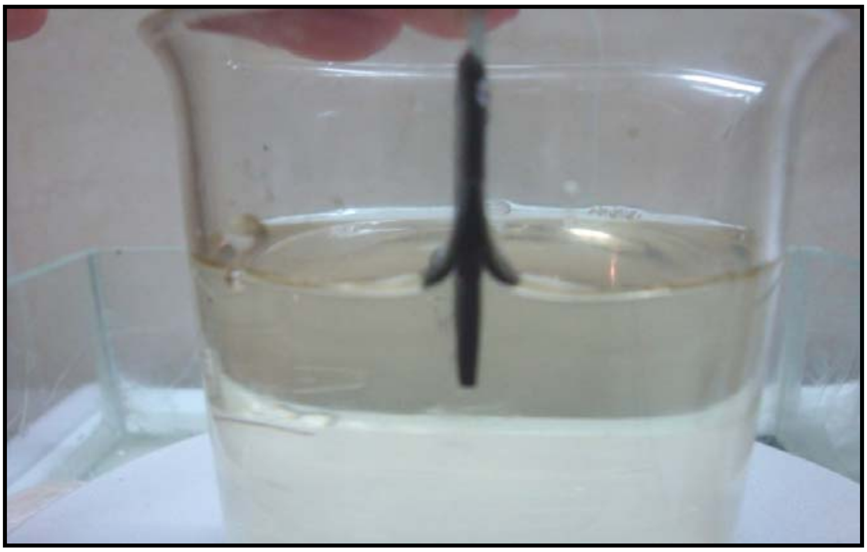


Figure (3) Contact Angle between Probe Liquid and Glass Slide Coated Asphalt

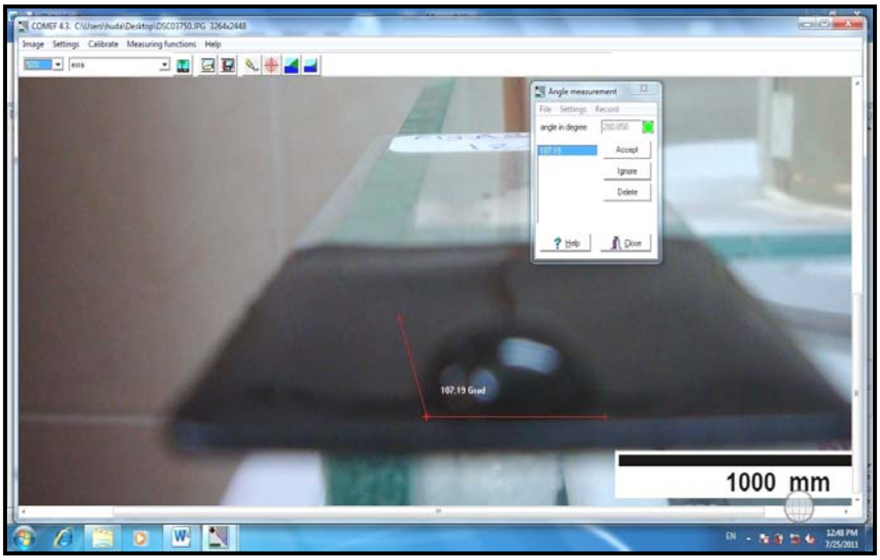


Figure (4) Output of the Comef 4.3 Software

Table (1) Surface Energy Components of the Probe Liquids [NCHRP 104 (2006)]

Probe Liquid	γ□□	γ^+	γ^-	γ^{Total} (ergs/cm^2)	Density g/cm^3
Water	21.8	25.5	25.5	72.80	0.997
Formamid	39.0	2.28	39.6	58.00	1.134
Glycerol	34.0	3.92	57.4	64.00	1.258

Table (2) Physical properties of Modified Asphalt Grade (40-50)

Asphalt(40-50)	**penetration**	**Softening point (C°)**	**PI**	**SM(N/m^2)**
control	46	51	-0.022	1.0x10^8
Fume Silica 1%	62	52	0.722	8x10^7
2%	47	51	-0.193	1.8x10^8
3%	37	57	0.491	9x10^7
4%	39	58	0.798	0.5x10^8
Phospho1%	26	52	-1.198	5.5x10^8
2%	30	53	-0.728	3.0x10^8
3%	33	55	-0.138	2.0x10^8
4%	44	57	0.889	6x10^7
Fly ash 3%	49.6	51.5	0.0671	1.9x10^8
6%	55.41	52	1.0517	4.3x10^7
9%	62	53.5	1.0517	5.0x10^7
12%	61.5	53.7	1.107	4.8x10^7

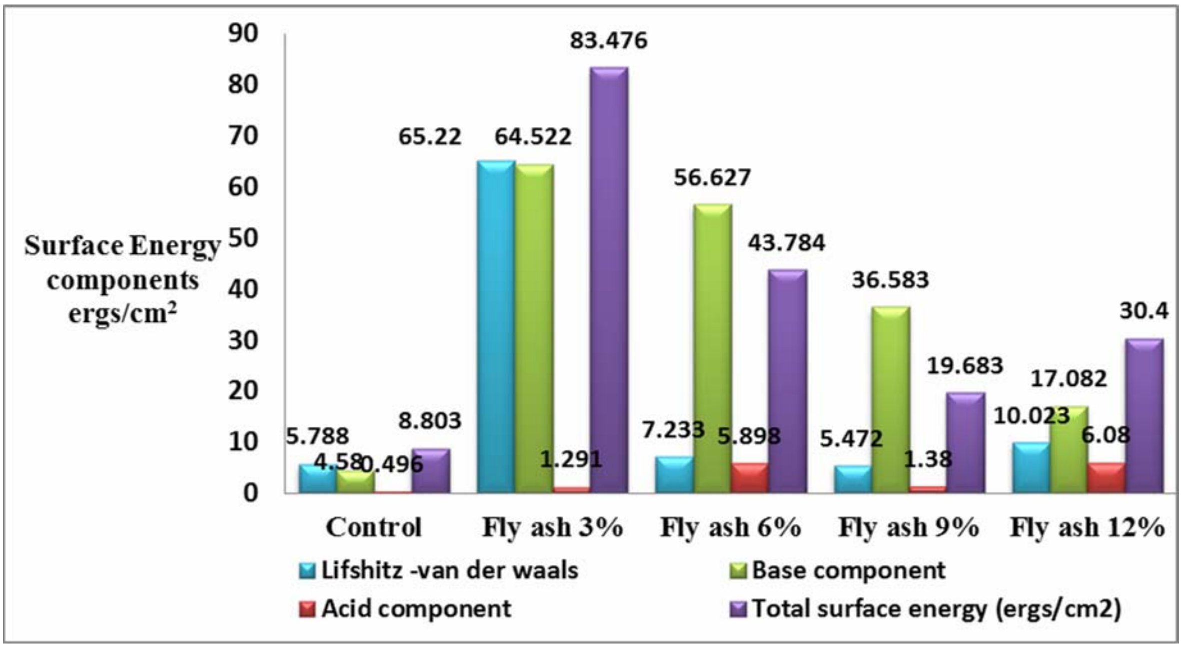


Figure (5) Effect of Fly ash on Surface Energy component of Asphalt binder by Sessile Drop Method

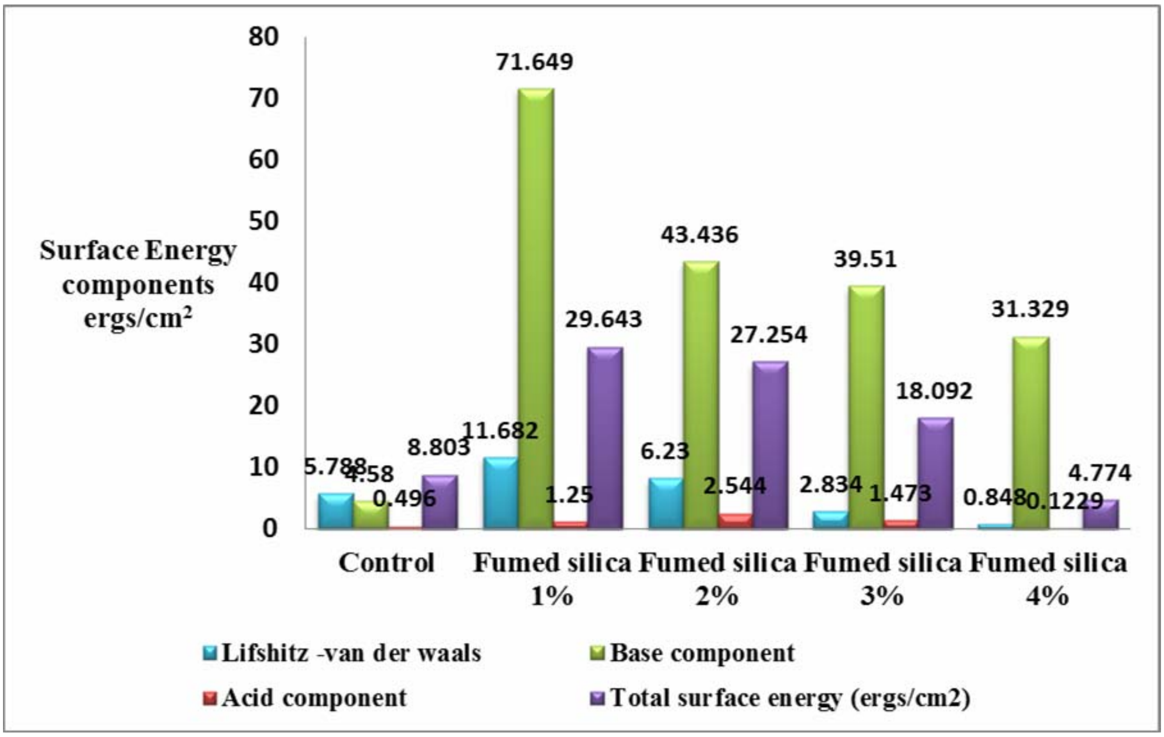


Figure (6) Effect of Fumed silica on Surface Energy component of asphalt binder by Sessile Drop Method

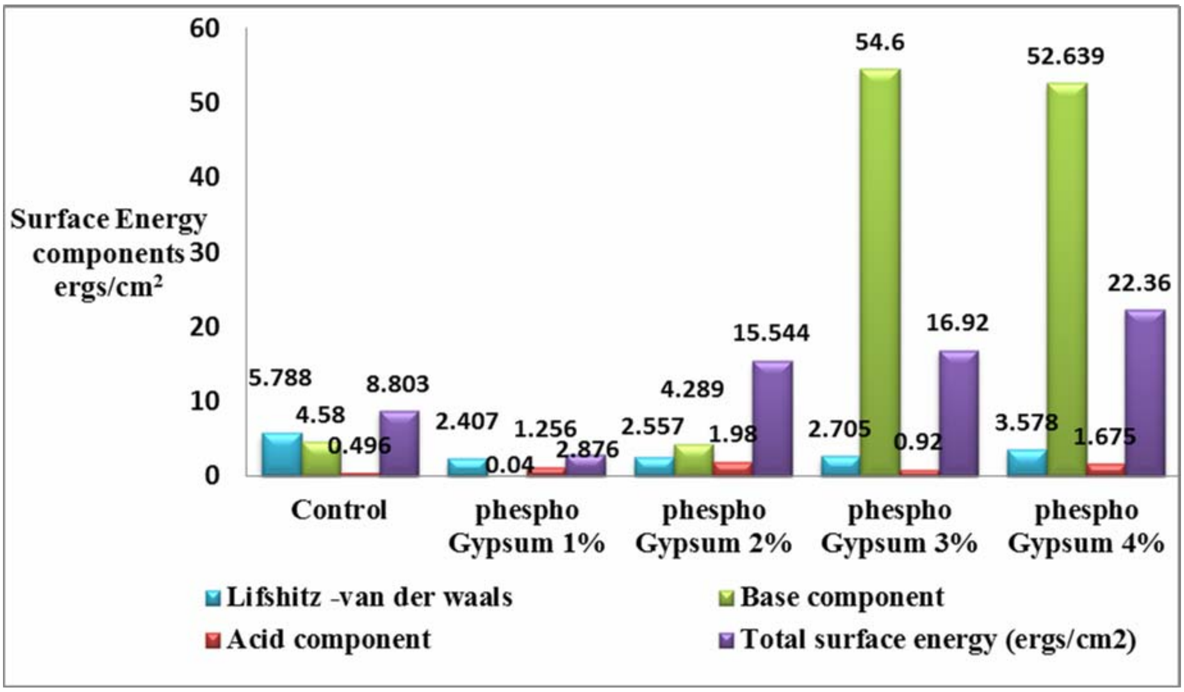


Figure (7) Effect of Phospho Gypsum on Surface Energy component of asphalt binder by Sessile Drop Method

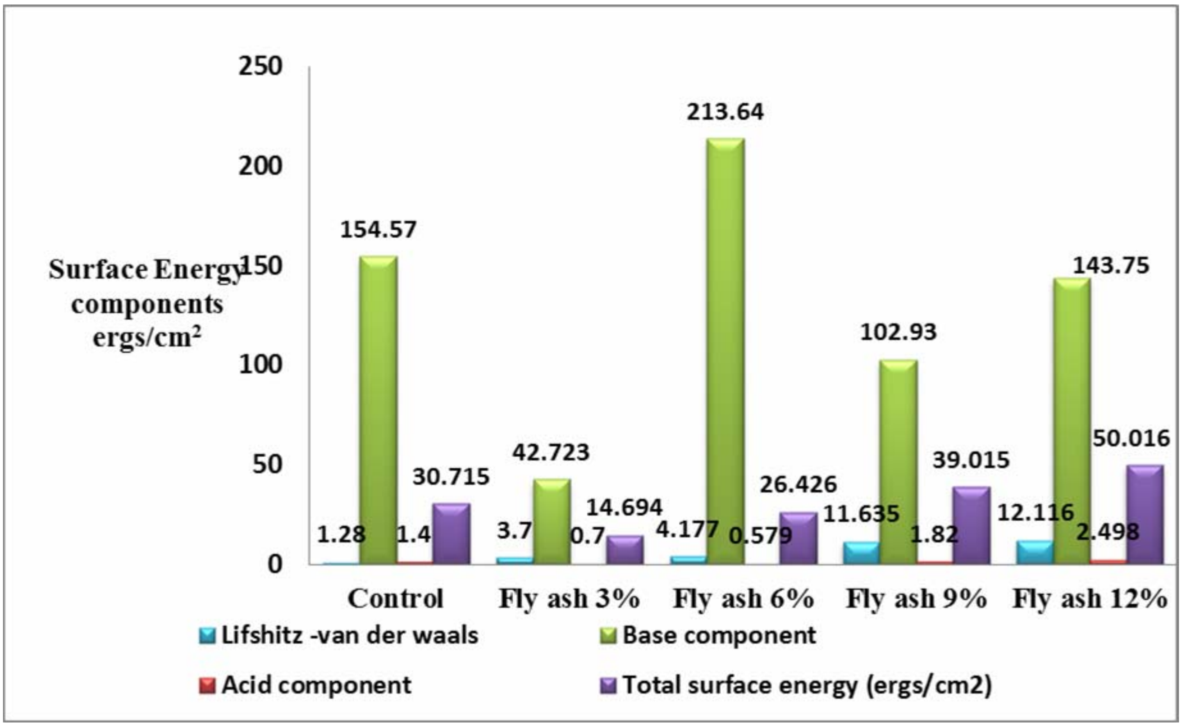


Figure (8) Effect of Fly ash on Surface Energy component of Asphalt binder by Wilhelmy Method

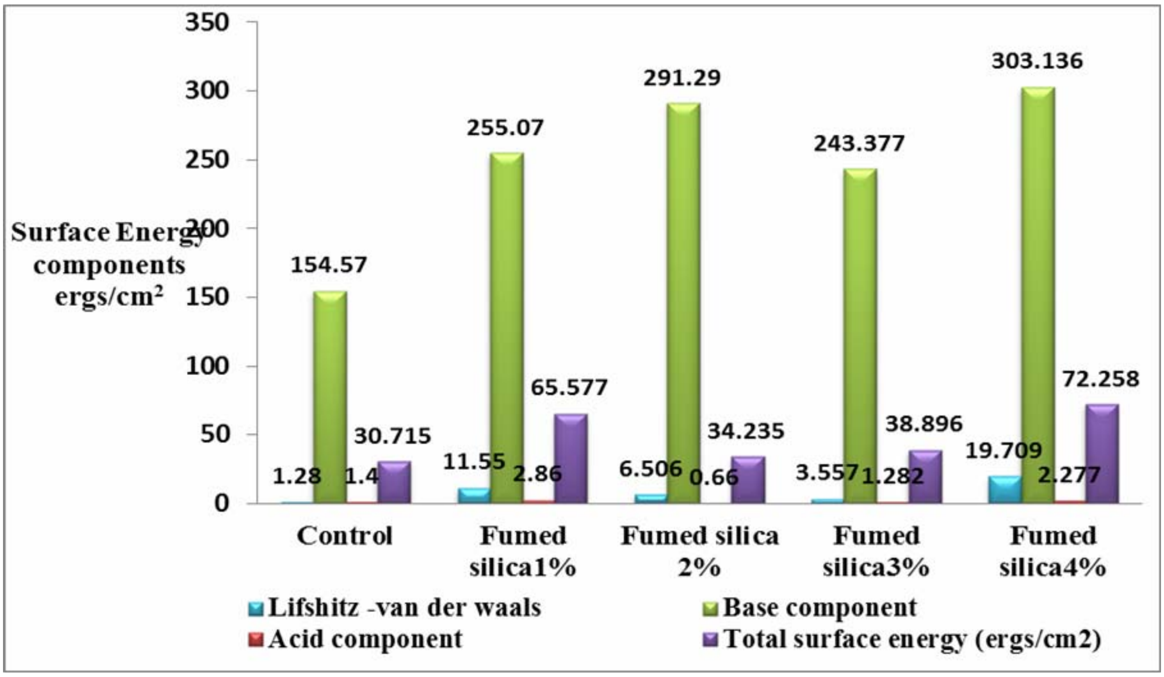


Figure (9) Effect of Fumed silica on Surface Energy components of Asphalt binder by Wilhelmy Method

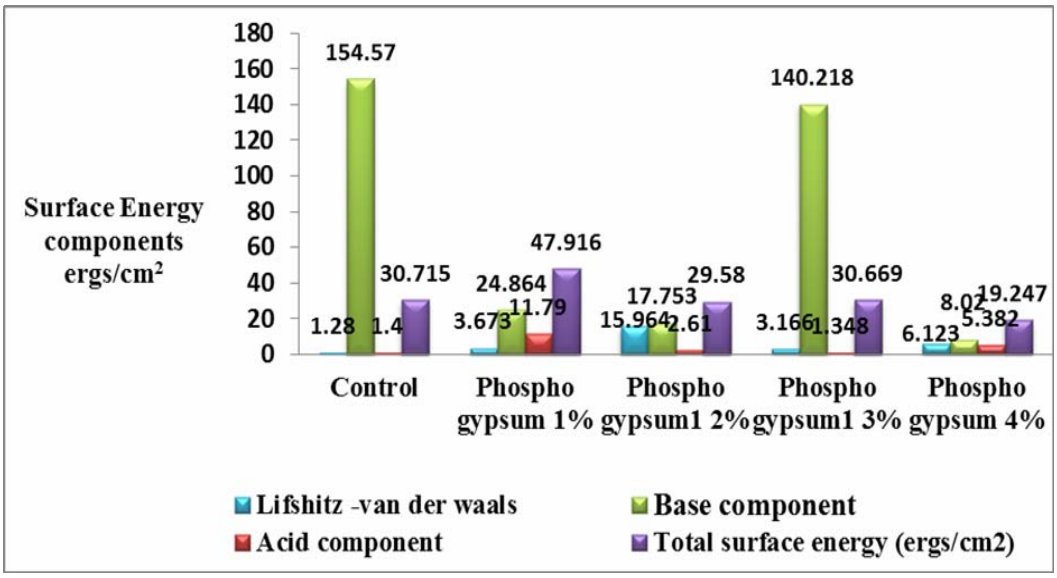
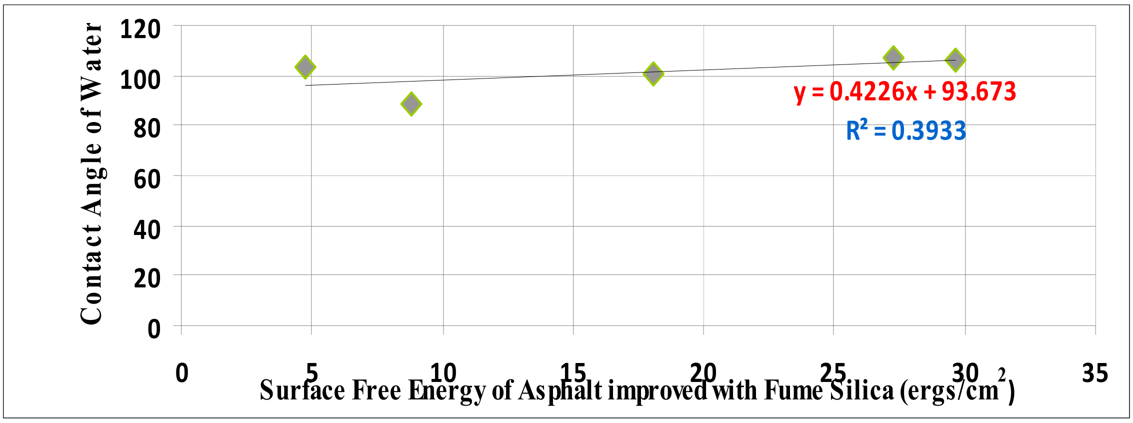


Figure (10) Effect of Phospho on Surface Energy components of Asphalt binder by Wilhelmy Method



Finger (11) Effect of fumed silica on contact angle

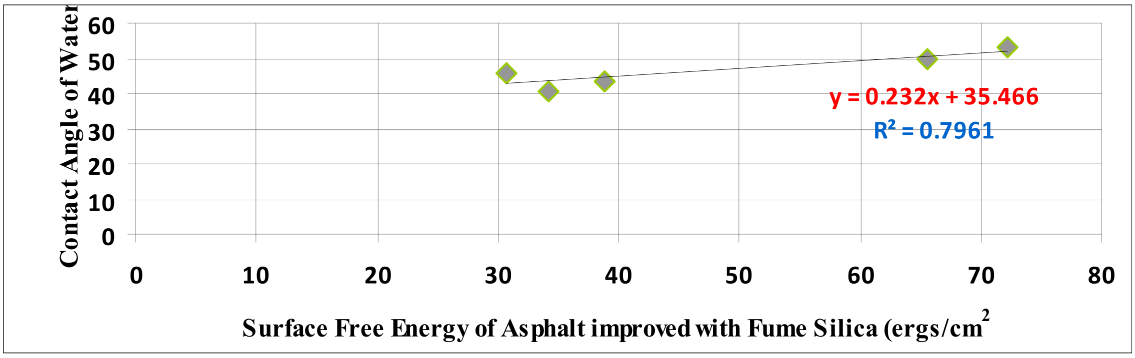


Figure (12) Effect of surface free energy on index of retained strength

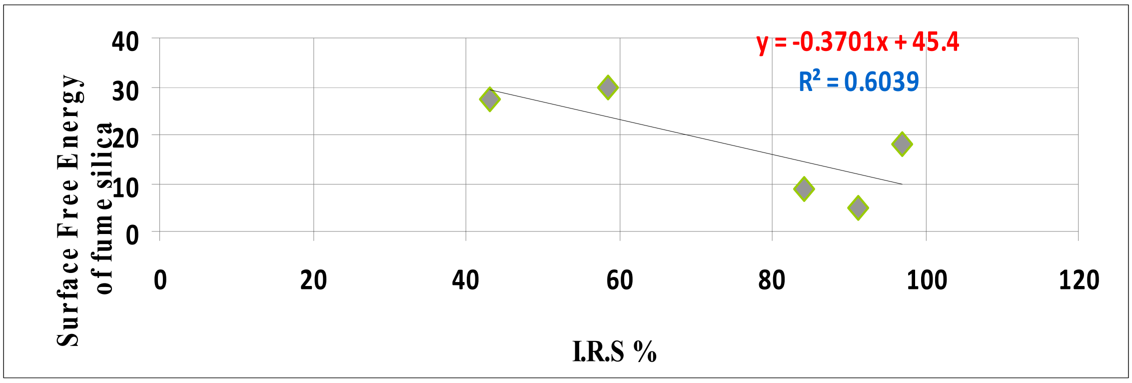


Figure (13) Surface Free Energy and I.R.S. % Relationship Using Sessile Drop Method

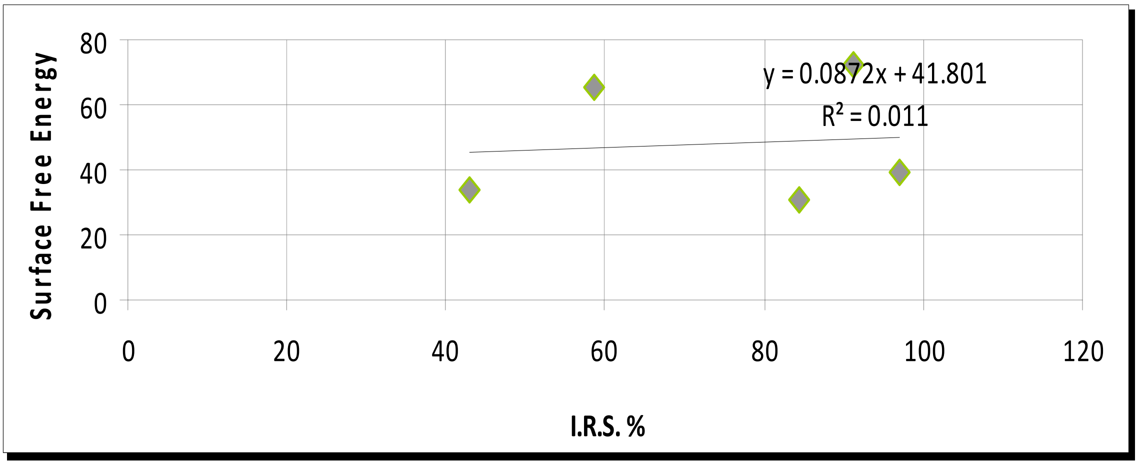


Figure (14) Surface Free Energy and I.R.S. % Relationship Using Wilhelmy Method

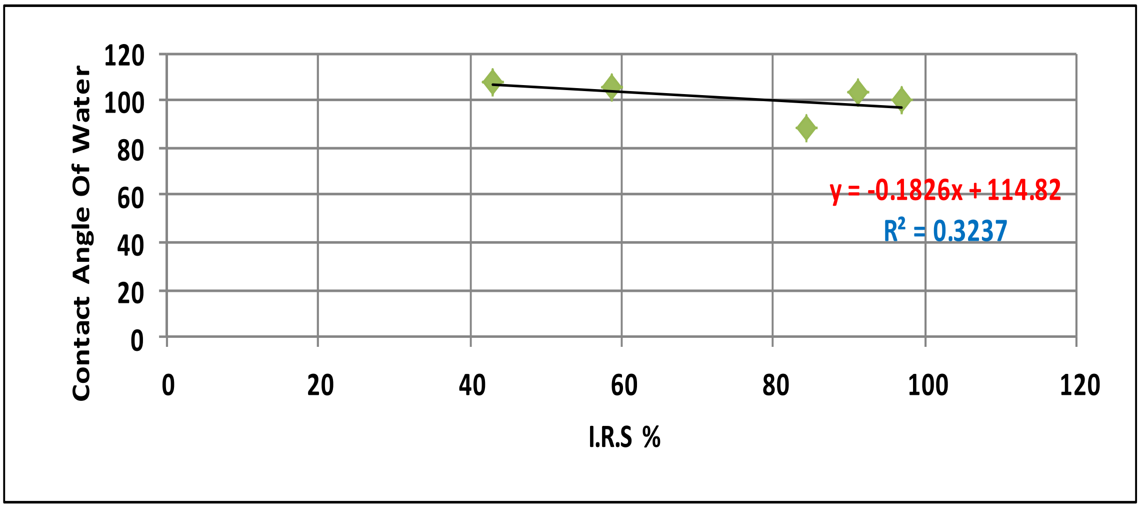


Figure (15) Contact Angle and I.R.S. % Relationship Using Sessile Drop Method

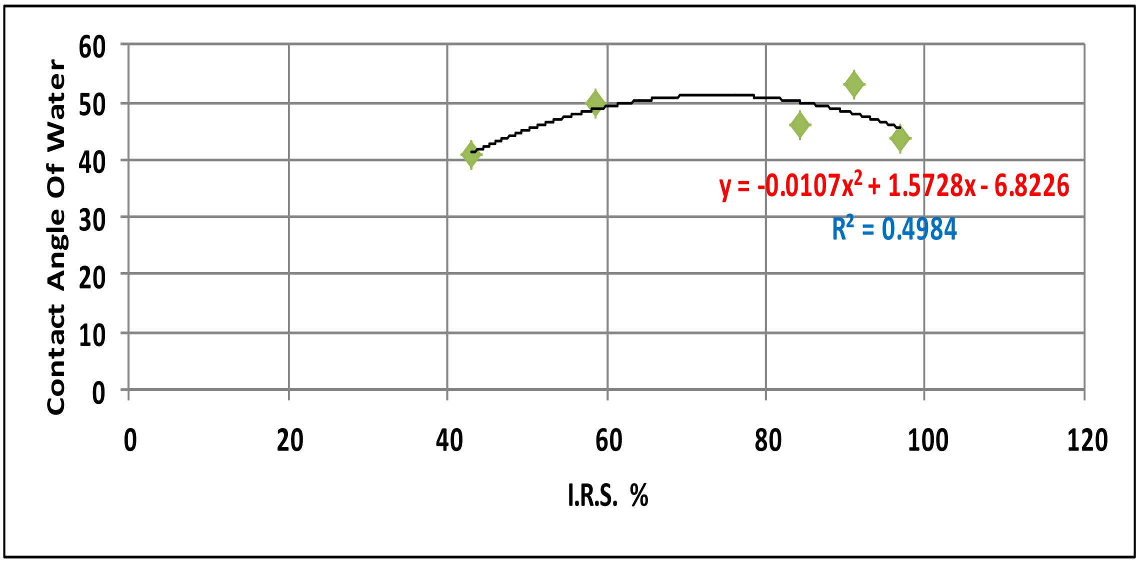


Figure (16) Contact Angle and I.R.S. % Relationship Using Wilhelmy Method

Modeling of Stripping Potential Using Surface Energy (Sessile Drop)

Linear regression is used to develop model for stripping (I.R.S. %), physical and rheological properties using SSPS statistics 17.0.
The dependent variable is % Index of Retained Stability **(%I.R.S).**

The independent variables are **SFESD, S.P, P, PVN, P. I, θ_w, θ_F, θ_G, SM.**

SFESD: Total surface free energy by sessile drop (ergs/cm^2).

P.I= penetration Index.

S.P =Softening point of asphalt cement (°C).

P=Penetration of asphalt cement.

θ_w =Average contact angle when using water as probe liquid(°).

θ_F=Average contact angle when using Formamid as probe liquid(°).

θ_G=Average contact angle when using Glycerol as probe liquid(°).

SM=stiffness modules of asphalt cement and modified asphalt (N/m^2).

It has been found that this model has an R^2 value of 0.871 and R of 0.933and the standard error of the estimated value of (42.70). The developed statistical model using SPSS software V. 17 is shown below in Eq.(19)

$$Y=-109816.12+2.4SFESD+217.2S.P-55.48P-941.89P.I+-3.484\theta_w+1.271\theta_F-1.865\theta_G+8.28x10^{-5}SM \quad (19)$$

Modeling of Stripping Potential Using Surface Energy (Wilhelmy Method)

The following variables will be included in the prediction of the model:

The dependent variable is % Index of Retained Stability **(%I.R.S).**

The independent variables are **SFEW, S.P, P, PVN, P. I, θ_w, θ_F, θ_G, SM.**

SFEW: Total surface free energy by Wilhelmy Method (ergs/cm^2).

P.I= penetration Index.

S.P =Softening point of asphalt cement (°C).

P=Penetration of asphalt cement.

θ_w =Average contact angle when using water as probe liquid(°).

θ_F=Average contact angle when using Formamid as probe liquid(°).

θ_G=Average contact angle when using Glycerol as probe liquid(°).

SM=stiffness modules of asphalt cement and modified asphalt (N/m^2).

It has been found that this model has an R^2 value of 0.827 and R of 0.909 and the standard error of the estimated value of (49.58).The developed statistical model is shown below in Eq.(20).

$$Y= -81267.65-2.16\,SFEW+45.3\,S.P-67.5P-109.44\,P.I++\;1.9\,\theta_W-4.778\,\theta_F+3.96\,\theta_G+1.18x10^{-7}\,SM \quad (20)$$

It can be noticed that the following variables have the most positive effect on (I.R.S) % for both methods of surface energy. **Table (3)** shows the significance of such variables in descending order for Sessile drop and Wilhelmy Method.

Table (4.21) The Significant of such variables in descending order for both Method

Variable	Constant of (SDM)	Variable	Constant of (WPD)
P.I	941.89	P.I	109.44
S.P	217.20	P	67. 50
P	55.48	S.P	45.30
θ_w	3.48	**θ_F**	4.77
SFE	2.47	**θ_G**	3.96
θ_G	1.86	SFE	2.16
θ_F	1.27	**θ_w**	1.90
SM	$8.28\mathrm{x}10^{-7}$	SM	$1.11\mathrm{x}10^{-7}$

When using Sessile drop method the effect of surface free energy is significant as supported by high constant value of (2.47), while when using Wilhelmy technique the effect of surface free energy is less significant due to a lower constant value (2.16).

Conclusions

Based on the limitation of materials and test procedure in this work the following conclusions are drawn:

1. When using Sessile drop method the value of surface free energy of asphalt cement grade (40-50) was about8.8 ergs/cm^2, while when using Wilhelmy technique the value of surface free energy of asphalt cement was 30.71 ergs/cm^2.
2. The surface free energy values as calculated by Sessile drop method are higher than the values calculated by using Wilhelmy technique for both asphalt cement and modified asphalt when using fly ash. While the surface free energy values calculated by using Wilhelmy method are greater than those values calculated by using sessile drop method for both asphalt cement and modified asphalt when using fumed silica and phosphpo gypsum.
3. Higher surface free energy values were obtained when using base component of Van Oss theory as compared to the acid and Lifshitz -Van Der Waals for both methods.
4. Higher contact angle can be obtained when using sessile drop method and lower surface energy, while when using Wilhelmy technique we obtained lower contact angle and higher surface energy.
5. From the relationship between surface energy of the asphalt modified with fumed silica and the I.R.S. % when using sessile drop method it was found that the coefficient of determination (R^2) was 0.6.
6. From the relationship between the contacts angle of the asphalt modified with fumed silica and the I.R.S. % when using Wilhelmy technique it was found that the coefficient of determination (R^2) was 0.5.
7. The surface free energy concept should be considered when the stripping of asphalt concrete is under question.

LIST OF ABBREVIATION

I.R.S %: The index of retained stability.

SDM : Sessile Drop Method.

SFE: Surface Free Energy.

WPM: Wilhelmy Plate Method.

REFERENCE

- Arabani, M. and Hamedi, Gh.(2010). **"Using the Surface Free Energy Method to Evaluate the Effects of Polymeric Aggregate Treatment on Moisture Damage in Hot Mix Asphalt"** (ASCE), volume No.23, pp. (802-811).

- Bhasin, A.; Little, D., Vasconcelos, K. and Masad, E. (2007). **"Surface Free Energy to Identify Moisture Sensitivity of Materials for Asphalt Mixes"**,(TRB), volume 2001, pp. (37-45).
- Cheng, D.; Little, D.; Lytton, R.; and Holste, J. (2002) **" Surface Free Energy Measurement of Aggregates and Its Application to Adhesion and Moisture Damage of Asphalt aggregate Systems"** AAPT, Vol.71, pp.(59-88).
- Little, D. and Bhasin, A. (2006). **"Using Surface Energy Measurements to Select Materials for Asphalt Pavement"**, Final Report for National Cooperative Highway Research program NCHRP Project 9-37(W104).
- State Commission of Roads and Bridge (SCRB) (2003): **" Hot Mix Asphalt Concrete Pavement"**, Iraq Standard Specification, Ministry of Housing and Construction, Department of Design and Study ,Section R9.
- Shah, B. (2003). **"Evaluation of Moisture Damage within Asphalt Concrete Mixes"**, M.Sc Thesis, Texas A&M University.
- Wasiuddin, N. (2007**). "Effect of**
- **Additives on Surface Free Energy Characteristics of Aggregates and Binders in Hot Mix Asphalt"**, the Texas Transportation Institute (TTI).
- Yousif, S., (2003), **"Improving Bituminous Material Properties to Reduce the Effect of Stripping"** M.Sc thesis,University of Technology/Baghdad.
- Zhou, L.; Chen, F.; Jiang, Y.; and Qi Xie.(2009**)." Influence of Water Saturated State on Moisture Susceptibility of Asphalt Mixture"** ,ASCE Performance Modeling and Evaluation of Pavement Systems and Materials (GSP 195) Proceedings of Selected Papers from the 2009, No.354,issue No.16.

Multiwavelet based-approach to detect shared congestion in computer networks

Ass. Prof. Dr. Tarik Zeyad Ismaeel
University of Baghdad
Electrical Engineering Department

Eng. Ahmed A. Mahdi A. Kareem
University of Baghdad
Electrical Engineering Department

Abstract

Internet paths sharing the same congested link can be identified using several shared congestion detection techniques. The new detection technique which is proposed in this paper depends on the previous novel technique (delay correlation with wavelet denoising (DCW) with new denoising method called Discrete Multiwavelet Transform (DMWT) as signal denoising to separate between queuing delay caused by network congestion and delay caused by various other delay variations. The new detection technique provides faster convergence (3 to 5 seconds less than previous novel technique) while using fewer probe packets approximately half numbers than the previous novel technique, so it will reduce the overload on the network caused by probe packets. Thus, new detection technique will improve the overall performance of computer network.

Keywords: congestion, computer network, shared congestion, DMWT, DWT.

Introduction

Congestion in computer networks is becoming an important issue due to the increasing mismatch in link speeds caused by Intermixing between old and new technology of computer networks (CHIU, 1989). Flow control, congestion control and congestion avoidance are algorithms that have been addressed by several researchers in the past which are used to process congestion phenomena in computer network (Ramakrishnan, 1990). Generally speaking, there are two types of congestion that may occur in the computer network: first, *Independent congestion* may occur in the terminal of the network caused by one source which sends data through the links associated with it exceeds the capacity of these links or caused by two sources send data exceeds the capacity of individual link which is connect between them (Fall, 2009, Kim, 2003). The second type is *shared congestions* which occurs when two or more flows sharing the same link in the network and these flows send data exceeds the capacity of shared link (Balakrishnan, 1999, Rubenstein, 2000). All algorithms used to manage the performance of computer networks will first need algorithms to detect the level of congestion in these networks, thus detecting congestion became very important issue in the field of computer network. Better utilization of network resources is achievable with cooperation between flows. For example, the Congestion Manager examines all flows of the host where it resides, and groups flows passing through the same bottleneck link into a single flow aggregate. By performing congestion control over flow aggregates, rather than over each individual flow separately, the Congestion Manager can improve fairness and efficiency significantly (CHIU, 1989, Kim, 2003).

The basic primitive required for cooperative congestion control is to decide whether two flows are sharing a bottleneck link or not. Techniques for inferring shared congestion use two kinds of information from feedback: packet loss and delay. Techniques based on packet loss assume bursty packet loss (Rubenstein, 2000), thus they work well with drop-tail queues and lossy links but it slow and inaccurate with low loss rate or with other queueing disciplines, such as RED. Techniques based on delay (Rubenstein, 2000, Katabi, 2001) show more robust behavior in such an environment.

This paper will propose previous novel technique (delay correlation with wavelet denoising or DCW) with new denoising technique (discrete multiwavelet transform or DMWT) to detect shared congestion between two computer network paths. Like previous techniques, it is based on a simple observation: two paths sharing congested links (as shown in figure 1) have high correlation between their one-way delays. However, naive correlation measurements may be inaccurate, due to random fluctuation of queuing delay and mild congestion on non-shared links. In new proposed technique, these interfering delay variations are filtered out with *multiwavelet denoising*, which is signal processing method to separate signal caused by shared congestion delay from other delay signals (noise).

New detection technique is evaluated through extensive simulation by using the following programing languages: network simulation ver.2 (NS2) (Fall, 2010), AWK ver.2 (Close, 1995), MATLAB ver. R2008b. It takes at most 5 s to detect shared congestion with both drop-tail and RED queues, while previous techniques often takes longer time or fail.

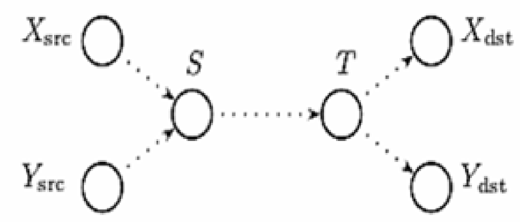


Fig. 1 Two paths sharing same link

Metrics Used To Detect Shared Congestion

There are two important metrics used with most techniques to detect shared congestion in computer network.

- **One-way delay time**:
  Time needed to send each packet from source to destination (Wen, 2008).
- **One-way Packet Loss:**
  Represents the number of packets lost from overall packets sent from source to destination (Wen, 2008).

Related Work

Rubenstein *et. al* (2000) (Rubenstein, 2000). Proposed two techniques to detect shared congestion in computer network, one based on one-way delays and the other is based on packet losses. The delay-based technique uses to generate a sequence of delay samples. An auto-measure Ma (auto correlation coefficients) is computed from pairs of adjacent packets of the first sequence. A cross measure Mx (cross correlation coefficients) is computed from a new delay sequence obtained by merging the two delay sequences. If Ma < Mx, it is mean that there is shared congestion. In their loss-based technique, Ma and Mx are conditional probabilities that a packet is lost when its following packet is lost.

Harfoush *et. al* (2001) (Harfoush, 2000). Harfoush technique explores the effects of concurrency on diagnosing network conditions. In this technique, a common source sends a packet pair back to back at 15 Hz. The probability that only the second packet is lost is computed from packet losses. If the probability exceeds the threshold (0.4), two paths are sharing a bottleneck.

Katabi *et. al* (2002) (Katabi, 2001). The approach of this technique relies on the observation that the correct clustering minimizes the entropy (Entropy: The concept of entropy is used as a measure of the uncertainty in a random variable) of the inter-packet spacing seen by the observer. This technique is highly accurate for detecting shared bottlenecks when the observer is strategically located, otherwise it becomes inaccurate.

Min S. Kim *et. al* (2003) (Kim, 2003). Proposed a novel technique (delay correlation with wavelet denoising or DCW) to detect shared congestion in Internet paths. Like previous techniques, it is based on a simple observation: two paths sharing congested links have high correlation between their one-way delays. If the correlation converges to 1, this means that there is shared congestion and other wise there is no shared congestion.

O. Younis and S. Fahmy (2005) (Fahmy, 2005). This technique is called Flowmate which uses the comparison test for delay based techniques from Rubenstein. At their development status they got the data from TCP **(**Transmission Control Protocol) flows only, since the majority of Internet traffic is TCP. The accuracy of bottleneck detection strongly depends on the lifetime of the TCP connections. The longer the lifetime of a connection the better the detection results are.

Simulation Procedure

Block diagram shown in figure (2) is represents the procedures of new shared congestion detection technique.

Delay Sampling Stage

Represents the first stage which will be used to get delay samples signal for path 1 and 2 for two types of queue (RED and DropTail). This stage is implemented on network topology shown in figure (3) which is created by NS2 program with the following parameters (Kim, 2003):

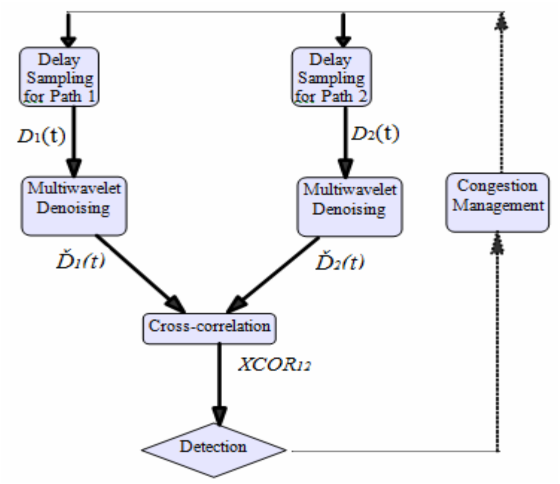
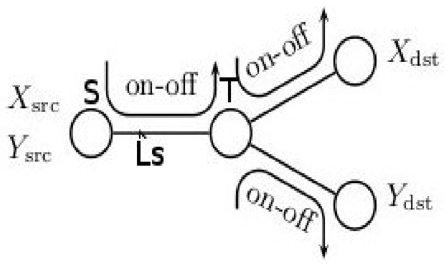


Fig. 2 Shared congestion detection



procedure

Fig. 3 Simple topology with a common source

(1) Each link has a bandwidth of 1.5 Mb/s. This value is chosen depending on real network measurements (Kim, 2003).

(2) The propagation delay of each link was chosen randomly between 20 and 30 ms for each simulation to make the behavior of simulation links similar to the behavior of real network links.

(3) Pareto ON-OFF constant-bit-rate (CBR) flows were used as background traffic, so that the congestion level could be controlled easily by changing the number of CBR flows. Background traffic will make some load on the simulation network links to make it near from the real network (Kim, 2003, Singh, 2004). The average ON and OFF states (ON-time is the time interval of sending packets by background traffic and OFF-time is the time interval of stopped (idle) sending packets) where selected uniformly between 0.2 and 3s. This step makes the behavior of simulation network near from the behavior of real network to increase the reliability of simulation results.

(4) The CBR rate was selected uniformly between 20 and 40 kb/s, and its pareto shape parameter was 1.2.

(5) Put 100 ON-OFF CBR flows on the shared link and 60 ON-OFF CBR on the independent links. With 60 flows, no congestion occurred and no packet loss was observed but the congestion will occur with 100 flows as well as the loss rate will be varied between 2% and 12%.

(6) The source node have two sources Xscr and Yscr which sends CBR packets through shared link to destination nodes Xdst and Ydst respectively at constant rate 10Hz (10 packets/S) in all simulations.

(7) The size of probe packet is 500 kB. (kB = kByte)

(8) The queueing size at each node is 50 packets.

(9) Background flows will start sending data at time 0 and after 1 second the sources Xscr and Yscr will start sending probe packets to ensure that the links are not empty.

(10) The time of each simulation starts from 0 to 105 s.

Dmwt Denoising Stage

The block diagram shown in figure (4) shows the procedure of denoising stage by DMWT.

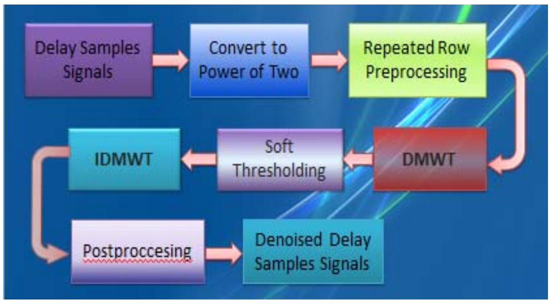


Fig. 4 Procedure of DMWT denoising stage

The important sub stages in the DMWT denoising stage is: DMWT, soft thresholding and IDMWT (inverse of DMWT). The other sub stages are assistant stages.

DMWT Operation

DMWT sub stage will analyze the input signal to two types of coefficients, the first one is approximation coefficients (represent the main information about original signal) which can be obtained by the following equation (Strela, 1998):

$$v_{j,k} = \sum_{m} G_{m-2k} v_{j-1,m} \qquad (1)$$

Where

$v_{j,k}$ = approximation coefficients

G_{m-2k} = low pass filter of DMWT

$v_{j-1,m}$ = samples of input signal

The second one is detail coefficients (represent noise components) which can be obtained it by the following equation (Strela, 1998):

$$w_{\mathrm{j},k} = \sum_m H_{m-2\mathrm{k}} v_{\mathrm{j-1},m} \qquad (2)$$

Where

$w_{\mathrm{j},k}$ = detail coefficients

$H_{m-2\mathrm{k}}$ = high pass filter of DMWT

Soft Thresholding Operation

This sub stage is very important because it is used to remove noise from analyzed signal to get original signal. To get denoised signal, soft thresholding algorithm should be applied on the detail coefficients only for each decomposition level. Threshold value T is needed to apply thresholding algorithm. The idea of universal thresholding for scalar sequence of white noise wavelet coefficients with mean zero and variance σ^2 as in equation (3) (Strela, 1998).

$$T = \sigma \sqrt{2\log_e N} \qquad (3)$$

where N is the length of original input signal and σ represents the variance of input signal.

The universal threshold is attractively simple, but it is strictly suitable only when thresholding a gaussian scalar sequence of white noise wavelet (detail) coefficients of mean zero and variance σ^2. The repeated row preprocessing and the DMWT will change substantially the variances of the wavelet coefficients $w_{j,k}^{(0)}$ and $w_{j,k}^{(1)}$, thus 'average variances' have been defined ; for example, GHM filter banks with repeated row preprocessing the noise variance σ^2 is deflated by a factor c = 0.75 to $0.75\sigma^2$. Hence, for GHM with repeated row preprocessing, $\tilde{N} = 2\mathrm{N}$, T will be calculated by the following equation (Strela, 1998):

$$T = \sqrt{2 * 0.75\, \sigma_\varepsilon^2 \log(2\mathrm{N})} \qquad (4)$$

IDMWT Operation

This sub stage will use approximation coefficients and denoised detail coefficients to create denoised delay samples signal for path 1 and 2 by the following equation (Strela, 1998):

$$v_{j-1,k} = \sum_m \tilde{G}^T_{k-2\mathrm{m}} v_{j,m} + \sum_m \tilde{H}^T_{k-2\mathrm{m}} w_{j,m} \qquad (5)$$

Where

$v_{j-1,k}$ = approximation and denoised detail coefficients for j-1 of decomposition level. If j=1 then $v_{j-1,k}$ will represent denoised delay samples signal.

Cross-Correlation Stage

In signal processing, cross-correlation is a measure of similarity of two waveforms as a function of a time-lag (Wikipedia, 2010). The general shared congestion detection technique is based on the observation that measured delays of two paths showing strong correlation if the paths share one or more congested links, and little correlation if they don't share any congested links. Cross-correlation coefficients are calculated between delay samples signal for path 1 and 2 by the following equation (Rubenstein, 2000):

$$XCOR_{XY} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^{n}(Y_i - \bar{Y})^2}} \qquad (6)$$

Where

X_i and Y_i are represent one way delay signals for path X and path Y.

$\overline{X}$ and $\overline{Y}$ represent the average of one way delay signals for path X and path Y.

Detection Stage

This stage depends on the value of cross-correlation coefficients obtained from cross-correlation stage to decide whether shared congestion occurred or not in the tested path. If the values of cross-correlation coefficients converge to {1}, this leads that shared congestion occurred in the tested path of computer network, while if the cross-correlation coefficients converge to {0}, this leads that there is no shared congestion in the tested path of computer network.

Limitation

The important limitation for the new detection technique is *synchronization offset* which is defined as the time difference between arrivals of two probe packets at *S* (see figure 3), one sent by *Xsrc* at time *t* with *Xsrc*'s clock and the other by *Ysrc* at time *t* with *Ysrc*'s clock. As shown in figure (5), when synchronization offset increases, the delay sequences collected by the two nodes show less and less correlation. Figure (5) plots the cross-correlation coefficients without using any denoising signal techniques for two paths sharing a congested link as synchronization offset rises from 0 to 1s (Kim, 2003).

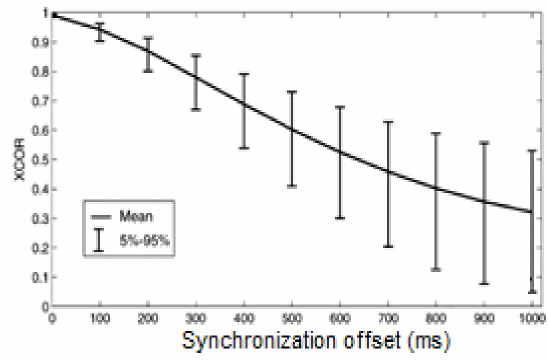


Fig. 5 Cross-correlation coefficient between two delay sequences versus synchronization

Simulation Results

After implementing the steps in delay sampling stage with RED queue technique and the source codes were co-located and their clocks were synchronized, the following signals will be obtained as shown figures (6) and (7) which represent the one way delay samples D1 and D2 of two sources X_{src} and Y_{src} sharing the same bottleneck L_s as shown in figure (3) for 100 seconds simulation. Each sample in the two delay signals represents the average of 500 simulations as explained in delay sampling stage to make the new detection technique is similar to the real network behavior.

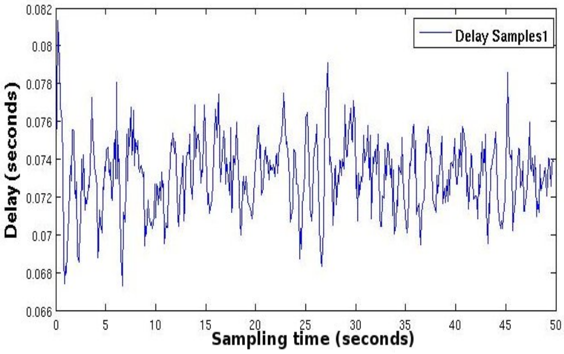


Fig. 6 Delay samples signal for path 1

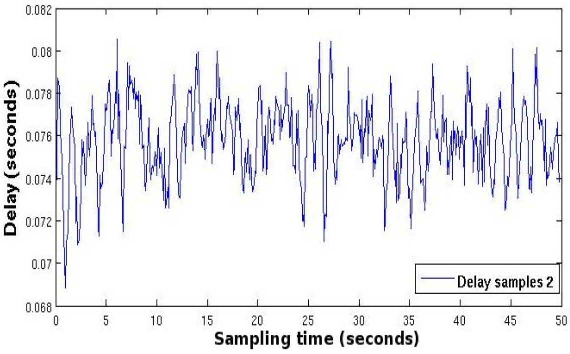


Fig. 7 Delay samples signal for path 2

To show if there is a shared congestion in the link L_s or not, these two signals D1 and D2 will be denoised by discrete multiwavelet denoising technique to get denoised signals $\tilde{D}1$ and $\tilde{D}2$ then calculating series of cross-correlation coefficients by using these two denoised signals. If cross-correlation coefficients converge to one, this indicates that there is a shared congestion and if cross-correlation coefficients converge to zero, this indicates that there is no shared congestion.

Figures (8) and (9) show the denoised of delay samples signals for path 1 and path 2 which are obtained from DWT and DMWT for three levels of decomposition. From these two figures, it can be shown that the power dropped from denoised signal by DMWT (star curve) is smaller than the one from signal denoised by DWT (dotted curve). This property is useful to keep fluctuations larger than noise in delay samples similar or near from fluctuations in original signal.

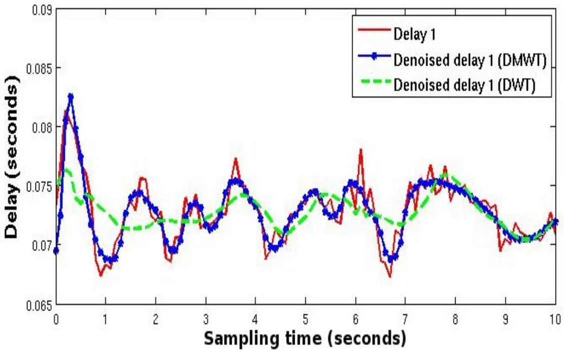


Fig. 8 Part of denoised delay 1 by DWT and DMWT

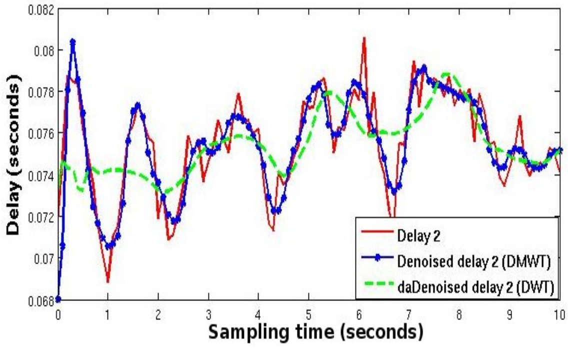


Fig. 9 Part of denoised delay 2 by DWT and DMWT

There is small difference between delay samples 1 and delay samples 2 caused by the behavior of RED queue technique which is used by network devices (router, switch, etc). DMWT will decrease the effect of this difference on the new detection technique by removing noise from these two delay signals and increase the similarity between them better than DWT does. Cross-correlation technique is used to calculate the similarity between the two collected signal, thus, DMWT will detect shared congestion faster than DWT because DMWT increases the similarity between the two collected signal and makes cross-correlation coefficients converge to one faster than coefficients obtained from DWT with small number of collected samples.

Figure (10) shows the mean of cross-correlation coefficients over 500 experiments with sending rate of 10Hz and three level of decomposition for delay samples which denoised by DWT and DMWT.

Figure (10) shows that the cross-correlation coefficients calculated from two delay samples which denoised by DMWT (continuous curve) is better and faster to converge to 1 than the cross-correlation coefficients calculated from same delay samples which is denoised by DWT (dotted curve).

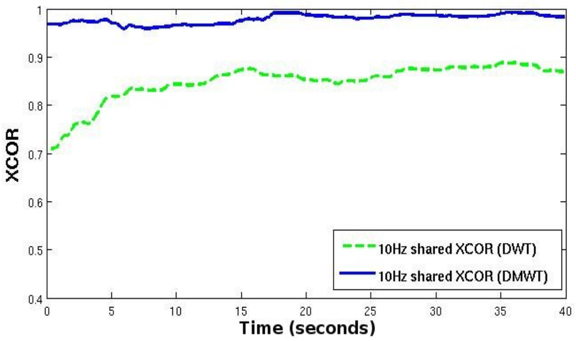


Fig. 10 Shared cross-correlation coefficients with RED queue

This means that the new detection technique is faster from previous novel technique (DCW) and need less than 7 seconds to detect shared congestion and this will improve overall network management.

Now we will test the new detection technique if there is independent congestion in the tested path.

Figures (11) and (12) represent mean of independent congestion delay samples of 500 simulations.

It can be shown that the two delay samples signals in figures (11) and (12) are not similar especially in large fluctuation as shared congestion because delay samples that flow through independent link 1 (from node T to Xdst node in figure (3)) will be exposed to situations differs from delay samples flow through independent link 2 (from node T to Ydst node in figure (3)).

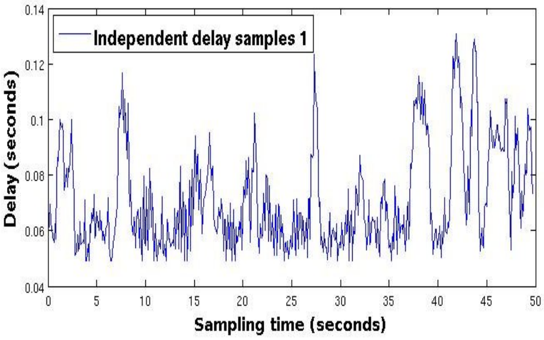


Fig. 11 Mean of independent congestion delay samples for path 1

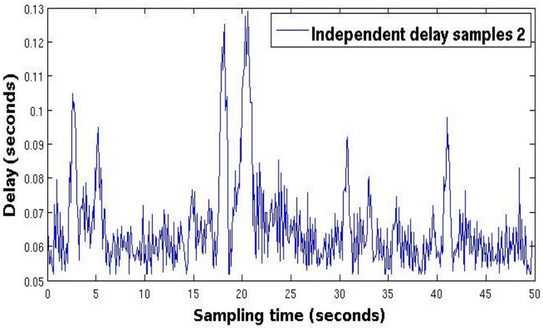


Fig. 12 Mean of independent congestion delay samples for path 2

Figure (13) shows cross-correlation coefficients between delay samples 1 and delay samples 2. Figure (13) shows that both cross-correlation coefficients obtained from denoising independent delay samples 1 and delay samples 2 by DWT and DMWT are reliable, similar and converge to zero after 3 seconds but cross-correlation coefficients obtained by DMWT are more stable from cross-correlation coefficients obtained by DWT.

The important factor which has a negative effect on the new detection technique and previous novel technique is synchronization offset which was explained in limitation section. When synchronization offset increases, the negative effect on both DWT and DMWT will be increased. Figure (14) shows the negative effects of increasing of synchronization offset on cross-correlation coefficients and make both new detection technique and previous novel technique less reliable.

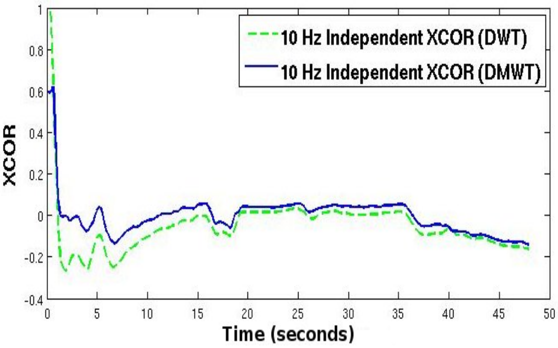


Figure 13 Independent cross-correlation coefficients

Figure (14) shows the effect of synchronization offset on the cross-correlation coefficients calculated from delay sequences 1 and 2 and how denoising techniques improves the algorithm of detecting a shared congestion in computer network by decreasing the effect of synchronization offset. Red dotted curve represents the mean of cross-correlation coefficients for non denoised delay samples which shows fast decays with the increase of synchronization offset and with 500 ms offset, the mean coefficient approaches to (0.5) which is the cut off values.

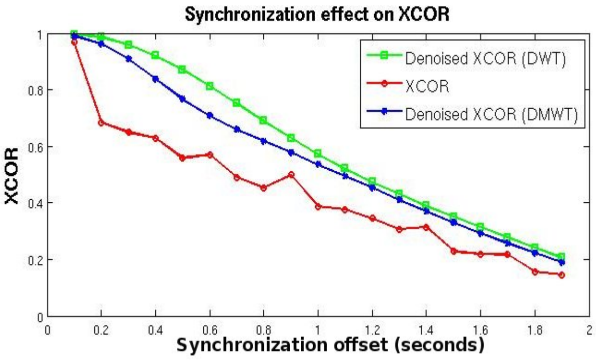


Figure 14 The effects of DWT and DMWT On the synchronization offset

It can be shown, with denoised cross-correlation coefficients by DWT and DMWT, the technique became more reliable and robust with 1 second of synchronization offset. So the maximum offset is roughly the maximum round-trip time (RTT) on the computer network. Measurement studies including one done by CAIDA (CAIDA, 1999) confirm that round-trip time is less than 1 second for the majority of paths on the computer network.

From all previous results, It can be shown that DMWT improves the new detection technique and make it faster from previous novel technique (DCW) to detect shared congestion in computer networks.

Conclusions

A new shared congestion detection technique based on the previous novel technique except DWT is replaced with DMWT which has more robust properties than wavelet transform in signal denoising and image compression. DMWT improve signal denoising technique in new detection technique and maks it faster (need less than 7 second) from previous novel technique (DCW) to detect shared congestion in computer network with approximately half number of probe packets which is needed with previous novel technique. Thus, new detection technique will decrease the effect of overload on the network caused by probe packets.

References

CAIDA, “The Cooperative Association for Internet Data Analysis”, Source: CAIDA, skitter-f.isc.org, available at http://www.caida.org/tools/measurement/skitter/RSSAC/ , 8 October 1999.

D. B. Close, et al., “The AWK Manual”, Free Software Foundation, Inc, Edition 1.0, December 1995.

D. CHIU, *et al.*, “Analysis of the Increase and Decrease Algorithms for Congestion Avoidance in Computer Networks”, Digital equipment corporation, computer network and ISDN systems, Elsivier science publishers, 1989.

D. Katabi, et al., “A passive approach for detecting shared bottlenecks”, In Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Computer Communications and Networks, Oct. 2001.

D. Rubenstein, et al., “Detecting Shared Congestion of Flows Via End-to-end Measurement ”, Working draft of version to appear in ACM SIGMETRICS’00, University of Massachusetts at Amherst, Department of Computer Science, June 2000.

H. Balakrishnan, et al., “An Integrated Congestion Management Architecture for Internet Hosts”, technical report, M.I.T. Laboratory for Computer Science and IBM T. J. Watson Research Center, 1999.

H. C. Wen, et al., “method for detecting congestion in internet traffic”, Technical report, United States Patent (San Jose, CA, US), 2008.

H. Tammerle, “Implementation and Evaluation of a Shared Bottleneck Detection System in Computer Networks ”, Master Thesis, University of Innsbruck, Institute of Computer Science , June 19, 2009.

K. Fall, et al., “The ns Manual”, The VINT Project A Collaboration between researchers at UC Berkeley, LBL, USC/ISI, and Xerox PARC, 2010.

K. Harfoush, et al., “Robust Identification of Shared Losses Using End-to-End Unicast Probes”, In Proceedings of the 8th IEEE International Conference on Network Protocols, Nov. 2000.

K. K. Ramakrishnan, et al., “A Binary Feedback Scheme for Congestion Avoidance in Computer Networks ”, ACM Transactions on Computer Systems, Vol. 8, No. 2, May 1990, Pages 158-181.

M. S. Kim, et al., “A Wavelet-Based Approach to Detect Shared Congestion”, Technical Report, University of Texas at Austin, Electrical and Computer Engineering, 2003.

M. Singh, P. Pradhan, P. Francis, “MPAT: Aggregate TCP Congestion Management as a Building Block for Internet QoS ”, International conference, Cornell University, IBM T.J. Watson Research Center, 2004.

O. Younis and S. Fahmy, “FlowMate: Scalable On-line Flow Clustering”, Networking, IEEE/ACM, University of Purdue, Department of Computer Science, 2005.

V. Strela, A. T. Walden, “Orthogonal and Biorthogonal Multiwavelets for Signal Denoising and Image Compression ”, Department of Mathematics, Dartmouth College, USA, 1998.

Wikipedia,“Cross-correlation”, Available at http://en.wikipedia.org/wiki/Cross-correlation#Properties,September 2010.

Experimental Investigation into the Heat and Mass Transfer in an Indirect Contact Closed Circuit Cooling Tower

Asst. Prof. Dr. Najim Abid Jassim [a] **, Mohammed A. Al-Tayyar** [b]
[a] **Univ. of Baghdad, College of Eng., Mech. Dept.,** najmosawe@yahoo.com,
[b] M.Sc. Student, **Univ. of Baghdad, College of Eng., Mech. Dept.** mohammed_tayyar@yahoo.com

Abstract

The heat and mass transfer coefficients of the indirect contact closed circuit cooling tower, ICCCCT, were investigated experimentally. Different experiments were conducted involving the controlling parameters such as air velocity, spray water to air mass flow rate ratio, spray water flow rate, ambient air wet bulb temperature and the provided heat load to investigate their effects on the performance of the ICCCCT. Also the effect of using packing on the performance of the ICCCCT was investigated. It was noticed that these parameters affect the tower performance and the use of packing materials is a good approach to enhance the performance for different operational conditions. Correlations for mass and heat transfer coefficients are presented. The results showed a good agreement with other published works. Correlations are showed that the spray heat transfer coefficient is a function flow rates of spray water and air as well as spray water temperature while mass transfer coefficient is a function of spray water and air flow rates only.

Keywords

Closed Circuit Cooling Tower, Experiments, Heat & Mass Transfer Coefficients, Correlations

التحقق العملي من انتقال الحرارة والكتلة في برج تبريد نوع مغلق و ذي اتصال غير مباشر

استاذ مساعد د. نجم عبد جاسم، محمد عبد الخالق الطيار

الخُلاصة

تضمن هذا البحث دراسة معاملي إنتقال الحرارة والكتلة لبرج تبريد من النوع المغلق ذي الإتصال غير المباشر عملياً. حيث تم إجراء عدد من التجارب بتغيير العوامل الحاكمة في أداء برج التبريد كسرعة الهواء، نسبة معدل التدفق الكتلي بين ماء الرش والهواء، معدل تدفق ماء الرش، درجة حرارة البصلة الرطبة للهواء الخارجي و الحمل الحراري المجهز من أجل تحري تأثيرات هذه العوامل على أداء البرج. كذلك فقد تم أيضاً تحري تأثير إستخدام الحشوات على الأداء الحراري للبرج. لقد بينت النتائج أن لهذه العوامل تأثيرات واضحة على أداء البرج وإن استخدام الحشوات طريقة جيدة لتحسين الأداء ولظروف تشغيلية مختلفة. تم تقديم معادلات تجريبية لمعاملي إنتقال الكتلة والحرارة وأظهرت هذه المعادلات توافقاً جيداً مع الأعمال المنشورة في الأدبيات. بينت المعادلات التجريبية أن معامل إنتقال الحرارة يعتمد على معدل تدفق كل من ماء الرش والهواء إضافةً إلى درجة حرارة ماء الرش في حين إن معامل إنتقال الكتلة يعتمد على معدل تدفق ماء الرش والهواء فقط.

Introduction

Cooling towers are heat exchangers which are used to dissipate large heat loads to the atmosphere. They are equipments used to reduce the temperature of a water stream by extracting heat from water and emitting it to the atmosphere. Heat is transferred in a cooling tower by two major mechanisms as sensible heat from water to air (convection) and latent heat transfer by the evaporation of water (diffusion). These mechanisms operate at the air-water interface. The total heat transfer is the sum of the effect of these mechanisms.

One considers an elementary control-volume as that shown in **Fig. 1**. This is crossed by a water flow, an air flow and a water spray flow. At the interface between the air and the water spray, there is a film of saturated air, in close contact with the water. This film of saturated air is at the average temperature of the water spray film in this small element of volume. Since the water-vapor partial-pressure at this interface is higher than the water-vapor partial pressure in the air, there is a transfer of water-vapor towards the air. This mass transfer brings a heat transfer related to the water vaporization, called transfer of latent heat. At the same time, because of the difference in temperature between surface of the water and the air, there is transfer of heat by convection (Stabat & Marchio 2004). Radiation effect is likely to be very small at normal conditions and it is generally neglected.

There are numerous types of cooling towers according to the conditions such as climate, place, capacity…etc. The indirect contact closed type cooling tower has been traditionally used in various industrial and HVAC systems. It contains two separate fluid circuits: (1) an external circuit, in which water is exposed to the atmosphere as it cascades over the tubes of a coil bundle, and (2) an internal circuit, in which the fluid to be cooled circulates inside the tubes of the coil bundle. In operation, heat flows from the internal fluid circuit, through the tube walls of the coil, to the external water circuit and then, by dual heat & mass transfer, to the atmospheric air.

The main advantageous of this type compared with an open cooling tower are the contamination risks with airborne dusts & corrosion are limited since the process water never contacts the outside air, the possibility of using it to cool

Fluids other than water as the internal fluid never contacts the atmosphere and it minimizes contamination and maintenance of heat exchangers, chiller condensers and other equipments. The main drawback compared to an open cooling tower is that the cost & the size are increased since a large heat exchange is required to reach the same heat transfer.

The objective of this work is to investigate the thermal performance of the ICCCCT experimentally. This was represented by the mass transfer coefficient between spray water interface and air, α_m, and the heat transfer coefficient between tubes and spray water, α_s.

1. Literature Review

The first basic theory of cooling tower was proposed by Walker in 1923. Several authors presented some correlations of mass transfer coefficient between air and spray water film and heat transfer coefficient between tube external surface and spray water film that take place in closed circuit cooling tower and evaporative cooler.

Parker & Treybal in 1961 were the first researchers presented a detailed analysis of counter flow evaporative liquid coolers. The analysis assumed that the amount of water evaporated is negligibly small. Empirical correlations for heat & mass transfer were presented for 19mm outside diameter staggered tubes as in equs. (1) & (2), respectively. They assumed that the Lewis factor is equal to unity.

$$\alpha_s = 704\left(1.39 + 0.022T_{sp}\right)\left(\frac{\Gamma}{D}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

$$\alpha_m = 0.049G_{air}^{0.049} \quad (2)$$

Mizushinha et al., in 1967, conducted tests on an evaporative cooler for three different tube diameters 12.7, 19.05 and 40 mm to predict the effect of tube diameter variation on heat & mass transfer coefficients. An assumption of constant spray water temperature inside the tower was applied. The results of mass transfer coefficient were presented as a function of air Reynolds number (Re_{air}) and spray water Reynolds number (Re_{sp}) while heat transfer coefficient was presented as a function of spray water flow rate per unit length (Γ):

$$\alpha_s = 2100\left(\frac{\Gamma}{D}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (3)$$

$$\alpha_m A_v = 5.028 * 10^{-8} \, Re_{air}^{0.9} \, Re_{sp}^{0.15} \, D^{-0.26} \quad \textbf{(4)}$$

where A_V is the contact area per unit volume and these correlations are valid for the ranges of $1.5 * 10^3 < Re_{air} < 8 * 10^3$ and $50 < Re_{sp} < 240$.

Nistu et al. in 1969 suggested the heat and mass transfer correlations of an evaporative cooler having both smooth and finned tubes with 16 mm outside diameter in a staggered arrangement. The correlations for plain tubes were as shown below:

$$\alpha_s = 990\left(\frac{\Gamma}{D}\right)^{0.46} \quad \textbf{(5)}$$

$$\alpha_m = 0.076 G_{air}^{0.8} \quad \textbf{(6)}$$

Hasan & Sirén in 2002 developed a computational model for a 10 kW nominal power CWCT with chilled ceilings consisted of 19 tubes of 10 mm outside diameter arranged in 12 rows in a staggered arrangement. They also presented a correlation for the mass transfer coefficient concluded for a total of 60 sets of measurements as shown in equ. (7).

$$\alpha_m = 0.065 \, \dot{G}_{air}^{0.773} \quad (7)$$

Oliveira & Facao in 2004 tested a small-size indirect contact cooling tower and correlations for heat & mass transfer were experimentally determined. Experimental results obtained heat transfer coefficient as a function of spray flow rate as shown in equ. (8), while mass transfer coefficients was presented as a function of air flow as shown in equ. (9). The model showed that the correlations have a good degree of accuracy when applied to all possible operating conditions.

$$\alpha_s = 602\left(\frac{\Gamma}{D}\right)^{0.358} \quad (8)$$

$$\alpha_m = 0.064 \, \dot{G}_{air}^{0.81} \quad (9)$$

Gyu-Jin Shim et al. in 2008 investigated experimentally the effect of changing the heat exchanger in a CWCT on the heat & mass transfer coefficients and also on cooling capacity. Two heat exchangers consisting of bare-type copper tube of 15.88mm & 19.05mm were used with multi path. It was found that the range of CWCT using two paths is higher approximately 20% than those using one path.

Heyns & Kroger in 2010 investigated the thermal-flow performance characteristics of an evaporative cooler consisting of 15 tube rows with 38.1 mm outer diameter galvanized steel tubes. From the experimental results, correlations for the water film heat transfer coefficient, air–water mass transfer coefficient were developed. Their results showed that the spray water mass flow rate has the greatest influence on the spray heat transfer coefficient but this coefficient is also a function of the air mass flow rate and the spray water temperature as given by equ. (10). It was also found that the air–water mass transfer coefficient is a function of the air mass velocity and the spray water mass velocity as given by equ. (11).

$$\alpha_s = 470 \, \dot{G}_{air}^{0.1} \left(\frac{\Gamma}{D}\right)^{0.1} T_{sp}^{0.3} \quad (10)$$

$$\alpha_m = 0.038 \dot{G}_{air}^{0.773} \left(\frac{\Gamma}{D}\right)^{0.2} \quad (11)$$

Yoo et al. in 2010 analyzed the performance of the heat exchanger for the CWCT. Two heat exchangers in inline arrangement were investigated: a 22 row by 11 column with diameter of 9.52 mm (heat exchanger 1) and an 8 row by 5 column with diameter of 25.4 mm (heat exchanger 2). They indicated that the heat transfer coefficient can be obtained from the equation for external heat transfer of tube banks and the mass transfer coefficient was affected by the air velocity and spray water flow rate. This study provides the correlation equation for mass transfer coefficient based on the analogy of the heat and mass transfer and the experimental data. The result from the correlation equation showed accuracy within 5% with the experimental data.

The objects of this study is to analyze the influence of inlet cooling water temperature, inlet air wet and dry bulb temperatures, spray water and air flow rates and heat load on the thermal performance of the indirect contact closed circuit cooling tower. The mass transfer coefficient calculated from heat and mass transfer analogy was compared with experimental data. The regulated correlation was obtained from the result of the comparison. The cooling capacity and thermal efficiency of the closed wet cooling tower were calculated from provided equation and the performance of the tower were investigated.

2. Experimental Apparatus And Method

The system that used in the experimental tests is a (WL 320 Demo cooling tower, made by Gunt company in Germany). It was an open circuit direct contact counter flow forced draft cooling tower. This cooling tower was modulated to be used as an indirect contact closed type cooling tower by adding several components such as a bare-tube heat exchanger & the cooling water circuit. The heat exchanger was designed and then manufactured according to the procedure that presented by (Kern in 1978). It was consisted of 8 mm outside copper tube diameter with 6 rows and 12 columns in an inline arrangement. The experimental apparatus consists generally of the cooling column, cooling water circuit, spray water circuit & the air circuit. A schematic diagram & a photograph of the experimental apparatus are shown in **Figs**. **2** & **3**, respectively.

The cooling column is the most important portion in the experimental apparatus where the cooling process takes place inside it. It is a duct made from transparent glass with (150*150*800 mm) to allow the spray water paths inside it to be observed.

Cooling water circuit transfers the water that to be cooled through the tower inside the heat exchanger. After it reheated, the cooling water is recirculated through this circuit to cool again. This circuit consists of tank with a heater to reheat the cooling water, pump and the heat exchanger.

Spray water circuit transfers the spray water through the tower to enable the tower from operating in wet mode operation. This circuit consists of tank, pump and spray nozzle.

By the air circuit the air is brought into the cooling tower and it is then blow through the cooling column to absorb heat from the other process fluids. This circuit consists of a blower to blow the air and humidifier and dehumidifier to adjust the conditions of the supplied air such as relative humidity, dry and wet bulb air temperatures.

Measuring devices were used to sense the variations of cooling water temperatures & flow rate, spray water temperatures, flow rate, air temperatures, relative humidity, air velocity, flow rate and electrical voltage and current.

Several experiments were conducted by changing the controlling parameters involving air velocity, spray water to air mass flow rate ratio, spray water flow rate, ambient air wet bulb temperature and the provided heat load to investigate their effects on the performance of the ICCCCT. In addition to this, each experiment was repeated twice changing the above parameters, first without using packing and then packing were fixed inside the cooling column above the heat exchanger to study the effect of packing on the tower transfer coefficients.

After all the experimental data for each experiment were collected and recorded, a set of calculations was started to obtain the experimental mass and heat transfer coefficients for the ICCCCT.

The mass transfer coefficient of water vapor between spray water film and air was calculated after experimental measurements using eq. (12) which was presented by Olivera & Facao 2004:

$$G\left(h_{air,out} - h_{air,in}\right) = \alpha_m \, A \, LMhD \qquad (12)$$

where, α_m is the mass transfer coefficient (kg/m^2 s), A is the surface area of the heat exchanger equal to 0.226 m^2 , and LMhD is the logarithmic mean enthalpy difference (kJ/kg) defined as:

$$LMhD \frac{h_{air.outi} - h_{air,in}}{Lin \dfrac{h_{sat.Ti} - h_{air,in}}{h_{sat.Ti} - h_{air.outi}}} \qquad \mathbf{(13)}$$

where $h_{sat,Ti}$ is the specific enthalpy of the saturated air at the interface temperature (kJ/kg).

The average of spray water temperatures was taken as the interface temperature according to Olivera & Facao 2004 as well as Stabat & Marchio 2004 while the inlet and outlet air enthalpies were taken from the psychrometric chart according the measured data.

Spray heat transfer coefficient which takes place between tubes external surface and spray water was calculated by equ. (16) which presented by Olivera & Facao, 2004. Experimental data were used to calculate this coefficient after calculating the overall heat transfer coefficient, U_o, between water inside tubes and the interface based on the outer area of the tube according to equ. (14):

$$Q = \dot{m}_{cw} C_{p,cw} dT_{cw} = U_o \, A \, LMTD \qquad (14)$$

where LMTD: is the logarithmic mean temperature difference (^oC) defined as:

$$LMTD \frac{T_{CW.out} - T_{CW.in}}{Lin \dfrac{T_{CW.out} - T_{sp,av}}{T_{CW.in} - T_{sp,av}}} \qquad \mathbf{(15)}$$

where $T_{sp,ave}$ is the average spray water temperature, ^oC.

After the overall heat transfer coefficient was calculated, it was used to calculate the spray heat transfer coefficient between the tubes external surface and spray water film:

$$\alpha_s = \left[\frac{\dfrac{1}{U_o} - \dfrac{D}{\alpha_w \times d} - \dfrac{D}{2k_{tube}} \ln D}{d} \right]^{-1} \qquad (16)$$

where α_w is the heat transfer coefficient for water inside the tubes ($W/m^2.^oC$) and it was calculated according to Stabat & Marchio 2004 by the following equation:

$$\alpha_w = 0.023 \, \mathrm{Re}^{0.8} \, \mathrm{Pr}^{0.3} \, k_{cw} / d \qquad \mathbf{(17)}$$

Reynolds number and Prandtl number were taken for the water inside tubes with values of 7.13 and 11767 respectively.

4. Results And Discussion

4.1 Spray Heat Transfer Coefficient, α_s

Fig. **4** shows the effect of air velocity on the spray heat transfer coefficient, **αs.** It is clear that spray heat transfer coefficient increased slowly with increasing of air velocity. This is because that when air velocity increases, the cooling water range increases and this leads to increase the overall heat transfer coefficient and then to increase the spray heat transfer coefficient. This figure shows that the use of packing has a good effect in enhancing the spray heat transfer coefficient because the packings make the cooling water range to be larger. A correlation for spray heat transfer coefficient was concluded from the experimental results for the case of cooling tower without packings and it conforms well to the experimental values of this experiment as seen in this figure. This correlation is given by:

$$\alpha_s = 555 \left(\dot{G}_{air}\right)^{0.075} \left(\frac{\Gamma}{D}\right)^{0.48} \left(T_{sp,ave}\right)^{0.1} \qquad (18)$$

Fig. 5 shows the effect of the ratio of L/G on the spray heat transfer coefficient. This figure illustrates that the spray heat transfer coefficient decreases with increasing of L/G. This can be attributable to the fact that when L/G increases; the air flow becomes insufficient to transfer the same amount of heat. In case of using packing in the tower operates the spray heat transfer coefficient is increased due to increasing of the surface area.

Fig. 6 indicates that the heat transfer coefficient increases with increasing spray water flow rate. This can be explained by equ. (14). When spray flow rate increases, the cooling capacity increases too leads to increase the overall heat transfer coefficient, **U_o**, and then **α_s** increases according to equ. (16). This figure also shows that the presented correlation of spray heat transfer coefficient conforms well to the values of spray heat transfer coefficient of this experiment when packing were not used. If this figure compared with **Fig. 4**, it can be noticed that the spray heat transfer coefficient depends greatly on spray flow rate and little on air velocity, this is clear by the difference between the exponents of spray and air flow rates in equ. (18). The average spray water temperature changes with respect to spray flow rate; this makes spray water temperature affects the spray heat transfer coefficient as it is clear in the presented correlation and this is conform with the correlation of the spray heat transfer coefficient that presented by Heyns & Kroger 2010.

When the wet bulb temperature increases, the spray heat transfer coefficient decreases as shown in **Fig. 7**. This is simply because of the fact that the cooling capacity decreases with respect to the wet bulb temperature which leading to decrease the overall heat transfer coefficient and thus the spray heat transfer coefficient decreases. Spray heat transfer coefficient becomes larger with using packing as it compared with that when packing were not used as shown in this figure, but the difference in the values between the two cases decreases for high wet bulb temperatures.

Spray heat transfer coefficient influenced by the heat load as shown in **Fig. 8**. When the load increases the cooling water range was increased leading to increase the overall heat transfer coefficient according to equ. (14) consequently the spray heat transfer coefficient was increased. This figure also shows that the spray heat transfer coefficient as the packing used is 10.25 % higher than its values when the packing were not used.

In **Fig. 9** the spray heat transfer coefficient correlation which concluded in the present work, equ. (18), is compared with other previous works conducted by Nistu et al. 1969 for plain tubes of 16 mm outside diameter in a staggered arrangement and Olivera & Facao, 2004 for 222 staggered tubes of 10 mm outside diameter. This figure shows that the presented correlation falls with about to 11.6 % from Nistu et al. correlation and rises with about to 26.6 % above Olivera & Facao correlation .

4.2 Mass Transfer Coefficient, α_m

In **Fig. 10** it is shown that the mass transfer coefficient for water vapor between spray water film and air increases greatly as air velocity increases. This increasing in mass transfer coefficient can be attributable to the increase of water evaporation rate as air flow increases. When the packing added to the tower, mass transfer coefficient shows increasing in its values because of increasing in the surface area of mass transfer. A correlation for mass transfer coefficient was concluded from the experimental results for the case of cooling tower without packing as in equ. (19). This correlation conforms well to the experimental values seen in this figure.

$$\alpha_m = 0.063\,(\dot{G}_{air})^{0.81}\left(\frac{\Gamma}{D}\right)^{0.1} \qquad (19)$$

The mass transfer coefficient of water vapor between spray water and air with respect to the ratio of mass flow rate of spray water and air, **L/G**, is shown in **Fig. 11**. The experiment was conducted keeping L constant and letting **G** to vary. From this figure, it is evident that mass transfer coefficient decreases with increasing of **L/G**. This is mainly return to that when **L/G** increases this means that air flow inside the tower will be unproportionate with spray flow which leads to decrease the capability of air to gain more water vapor and this decreases the mass transfer coefficient.

Fig. 12 indicates that the mass transfer coefficient is influenced by spray water flow rate. As spray flow increases the mass transfer coefficient increases too. This mainly because that the increasing in spray flow means there is a large amount of water droplet could be evaporated and transferred to the air stream. This figure also shows that the presented correlation of mass transfer coefficient, equ. (19), conforms well to the values of this experiment when the tower operates without packing. The increasing rate in mass transfer coefficient with respect to spray flow is much less than that with respect to air flow, as seen in figure (10) and this is clear by the difference between the exponents of spray and air flow rates in the presented correlation of mass transfer coefficient equ. (19). This figure also shows that mass transfer coefficient increases when the tower operates with using packing material, due to increase the surface area of mass transfer.

When the wet bulb temperature of the inlet air increases, mass transfer coefficient increases slightly as shown in **Fig. 13**. But when the wet bulb temperature increased the difference between the outlet and inlet air enthalpy, Δh_{air}, is decreased with a rate less than that in the logarithmic mean enthalpy difference, **LMhD**, causing in increasing mass transfer coefficient. For example, for the case without packing, when wet bulb temperature increased from 20 to 32°C, $\boldsymbol{\Delta h_{air}}$ decreased from 39.75 to 5.6 kJ/kg with a ratio of 7.1 while **LMhD** decreased from 21.88 to 2.536 kJ/kg with a ratio of 8.63 and this was the reason to increase mass transfer coefficient from 0.241 to 0.293 kg/m^2.s. This figure shows also that the tower operates with packing has higher values for mass transfer coefficient as it operates without packing.

In **Fig. 14** the influence of the heat load on the mass transfer coefficient is shown. It is clear that mass transfer coefficient increases slightly with increasing the heat load. This can be attributable to the increase in the outlet air enthalpy as heat load increases which increasing the difference between the outlet & inlet air enthalpies which then affects the mass transfer coefficient according to equ. (12). This figure indicates that the mass transfer coefficient increases with about 7.78 % in case of the tower operates using packing.

In **Fig. 15** the mass transfer coefficient correlation which concluded in the present work, eq. (19), is compared with other previous works conducted by Parker and Treybal, 1961 for 19 mm outside diameter staggered tubes, and Hasan and Serin, 2002 for 34 mm outside diameter staggered tubes arranged in 13 rows*20 columns, and Olivera and Facao, 2004 for 222 staggered tubes of 10 mm outside diameter. This figure shows that the presented correlation falls within the range of other correlations and it conforms well to them especially Hasan and Serin 2002.

5 CONCLUSIONS

The thermal performance of a small size indirect contact closed type cooling tower was investigated experimentally. It was found that the spray water flow rate has the greatest influence on the spray heat transfer coefficient, α_s, but it is also a function of the air flow rate and the spray water temperature. In addition to this, both air and spray water flow rate affect the mass transfer coefficient, α_m, but the great effect belongs to the air flow rate. The results of increasing the ratio of spray water to air mass flow rate indicate that it decreases the tower transfer coefficient. Correlations for spray heat transfer coefficient and mass transfer coefficient for ICCCCT were concluded. These correlations was found to represent the experimental results very and also in a good agreement with the previous works. Wet bulb temperature w2as found to has a great influence on the characteristics of the tower. It decreases spray heat transfer coefficient while it increases mass transfer coefficient. The cooling water heat load increases both heat and mass transfer coefficients. The effect of packing material and then repeated using packing was found to has a relatively good enhancement on the cooling tower performance.

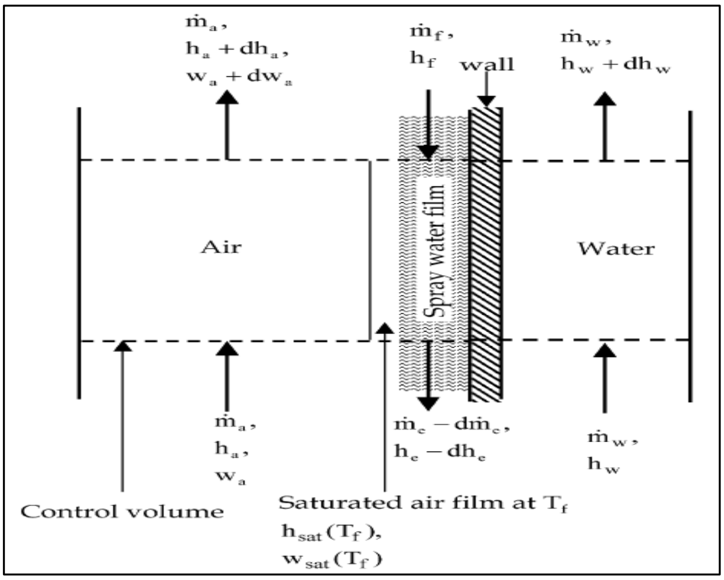


Fig. 1 Heat & mass transfer mechanisms in the Indirect contact cooling tower

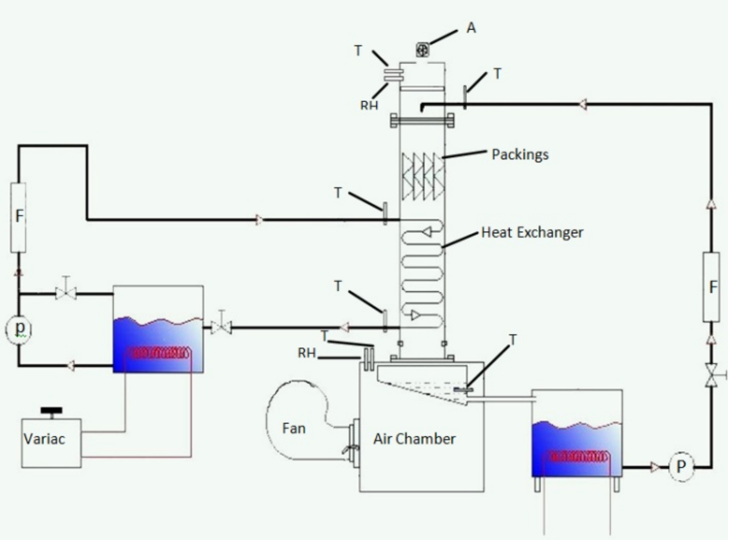


Fig. 2 Schematic representation of the experimental apparatus

A: Anemometer T: Thermocouple RH: Relative Humidity Sensor F: Flow Meter P: Pump

Fig. 3 Photograph of the experimental apparatus

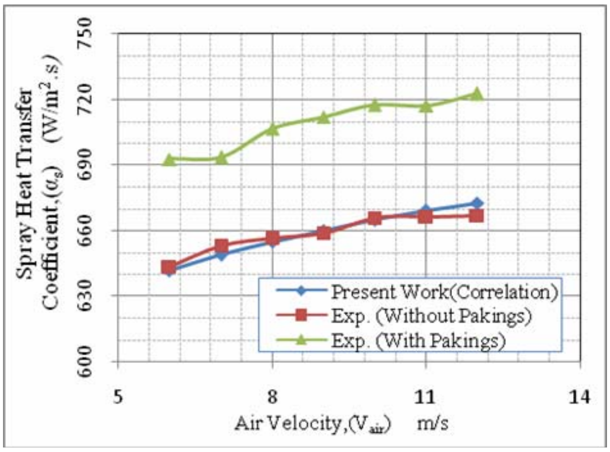


Fig. 4 Influence of the air velocity on spray heat transfer coefficient

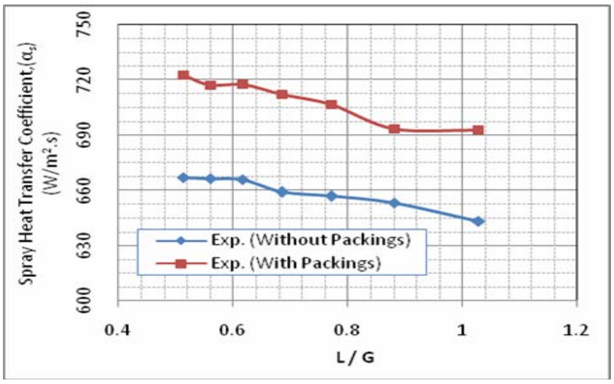


Fig. 5 Influence of spray water to air mass flow rate ratio on spray heat transfer coefficient

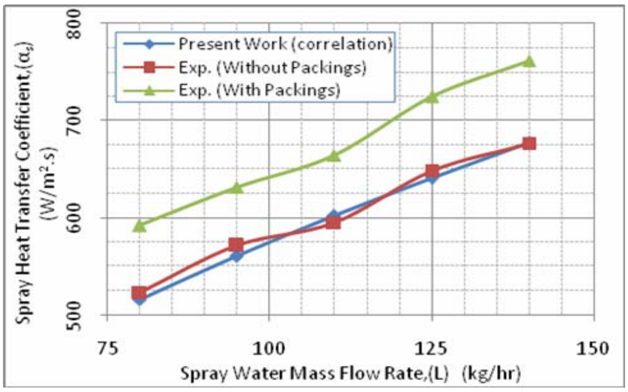


Fig. 6 Influence of the spray water mass flow rate on spray heat transfer coefficient

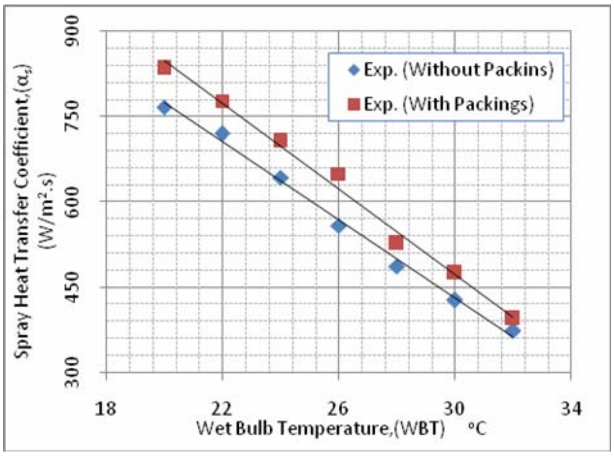


Fig. 7 Influence of the inlet air wet bulb temperature on spray heat transfer coefficient

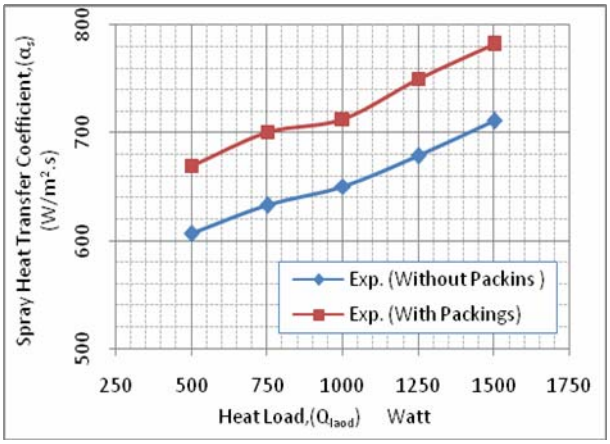


Fig. 8 Variation of spray heat transfer coefficient with respect to the heat load

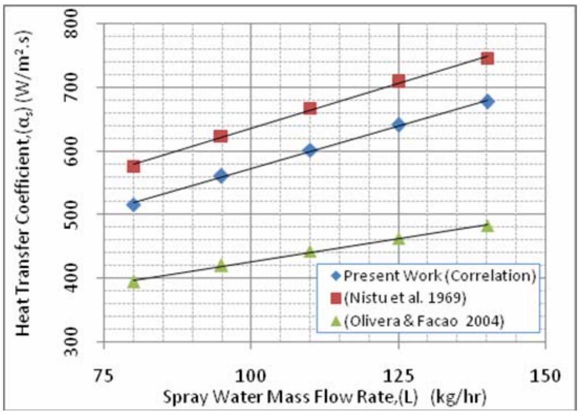


Fig. 9 Comparison of the presented correlation for the spray heat transfer coefficient with other works

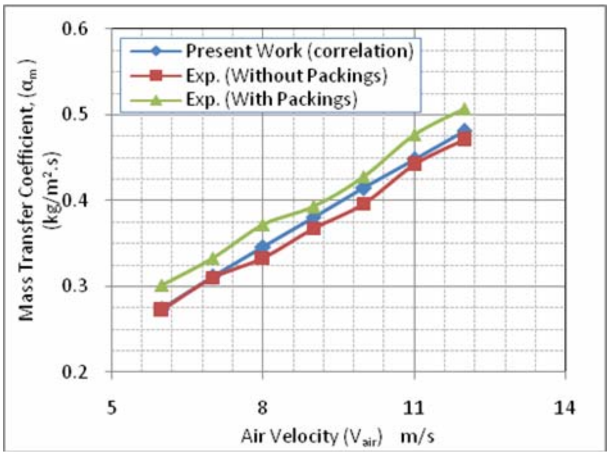


Fig. 10 Influence of the air velocity on mass transfer coefficient

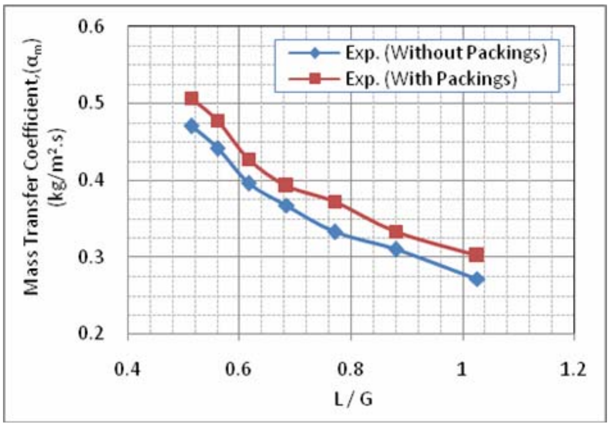


Fig. 11 Influence of spray water to air mass flow rate ratio on mass transfer coefficient

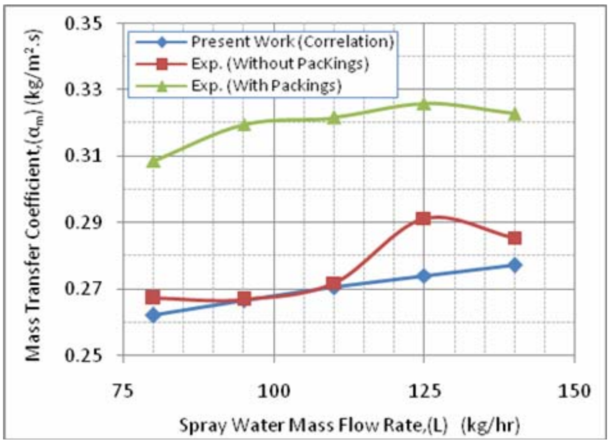


Fig. 12 Influence of the spray water mass flow rate on mass transfer coefficient

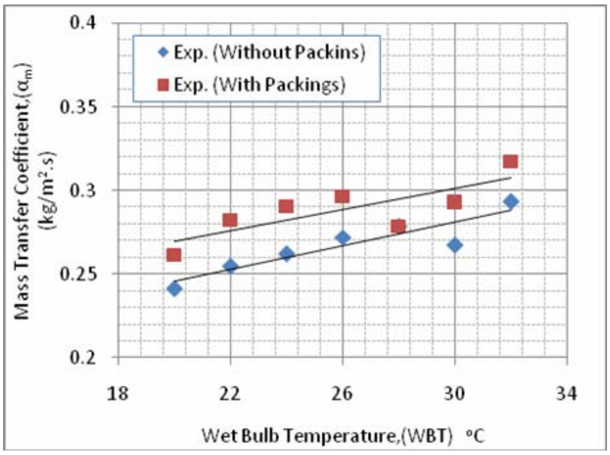


Fig. 13 Influence of the inlet air wet bulb temperature on mass transfer coefficient

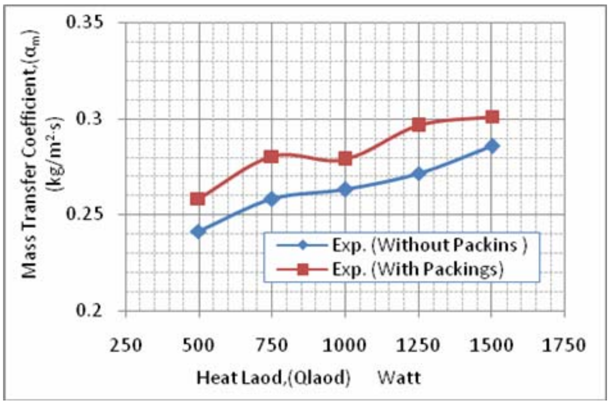


Fig. 14 Variation of mass transfer coefficient with respect to the heat load

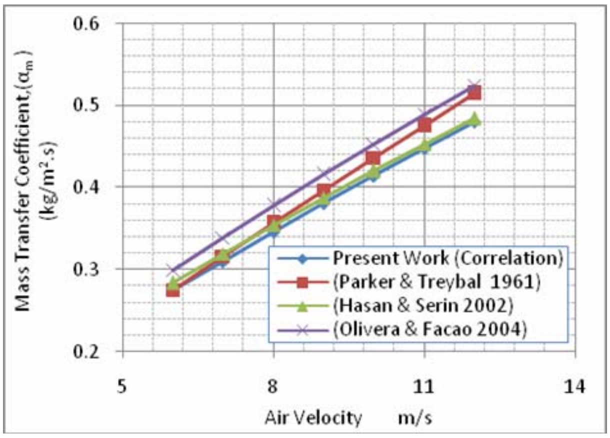


Fig. 15 Comparison of the presented correlation for the mass transfer coefficient with other works

REFERENCES

Oliveira A., and Facao J., 2004, "Heat and Mass Transfer Correlations for the Design of Small Indirect Contact Cooling Towers", Applied Thermal Engineering, Vol. 24, pp: 1969–1978.
ASHRAE, 2000, Equipment and Applications.

Shim G.J., Baek S.M., Moon C.G., Lee H.S., and Yoon J.I., 2008. "Performance Characteristics of a Closed Circuit Cooling Tower with Multi Path". World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol. 46, pp: 310-314.

Hasan A., and Sirén K., 2002," Theoretical and Computational Analysis of Closed Wet Cooling Towers and Its Application in Cooling of Buildings", Energy and Buildings, Vol. 34, pp: 477 – 486.
Heyns J.A., and Kroger D.G., 2010, "Experimental Investigation into the Thermal-Flow Performance Characteristics of an Evaporative Cooler", Applied Thermal Engineering, Vol. 30, pp: 492–498.

Kern D. Q., 1978, "Process Heat Transfer". McGraw-Hill book company, USA.

Mizushina T., Ito R., and Miyashita H., 1967, "Experimental Study of an Evaporative Cooler", International Chemical Engineering, Vol. 7, No.4, pp: 727–732.
Nistu Y., Niato K., and Anzai T., 1969, "Studies on Characteristics & Design Procedure of Evaporative Cooler", Journal of ASHREA, Japan, Vol. 43, No. 7, pp: 581-590.

Parker R.O., and Treybal R.E., 1961, "The Heat Mass Transfer Characteristics of Evaporative Coolers", Chemical Engineering Progress Symposium Series, Vol. 57, No. 32, pp: 138–149.

Stabat P., and Marchio D., 2004, " Simplified Model for Indirect-Contact Evaporative Cooling-Tower Behaviour", Applied Energy, Vol. 78, pp: 433–451.
Yoo S.Y., Kim J.H., and Han K.H., 2010, "Thermal Performance Analysis of Heat Exchanger for Closed Wet Cooling Tower", Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 24, No. 4, pp: 893-898.

Walker W.H., and Lewis W.K., Mcadams W.H., Gilliland ER, 1923. Principles of Chemical Engineering. 3rd Ed. New York: McGraw-Hill Inc.

NOMENCLATURE

A	Area (m^2)
Cp	Specific heat at constant pressure (kJ/kg ^oC)
D	Outer tube diameter (m)
d	Inner tube diameter (m)
G	Air mass flow rate (kg/hr)
$\dot{G}$	Air mass velocity based on minimum Section = ρv ($kg/m^2.s$)
h	Specific enthalpy (kJ/kg)
k	Thermal conductivity (W/m ^oC)
L	Spray water mass flow rate (kg/hr)
$\dot{m}$	Mass flow rate (kg/hr)
Q	Cooling capacity (Watt)
Pr	Prandtl number
Re	Reynolds number
T	Temperature (^oC)
U_o	Overall heat transfer coefficient (W/m^2 ^oC)
v	Velocity (m/s)

Greek letter

α_m	Mass transfer coefficient for water vapor, between spray water film and air (kg/m^2 s)
α_s	Heat transfer coefficient between tube surface and spray water film (W/m^2 ^oC)
α_w	Heat transfer coefficient for water inside the tubes (W/m^2 ^oC)
Γ	Spray water mass rate per length of tube (kg/m s)
ρ	Density (kg/m^3)

Sub-Script

ave	Average
air	Air flow (a)
cw	Cooling water
in	Inlet
out	Outlet
i	Interface between spray water film & air
f	saturated air-spray water film
sat	Saturation properties
sp	Spray water (w)

Abbreviations

LMhD	Logarithmic mean enthalpy Difference (kJ/kg)
LMTD	Logarithmic mean temperature Difference (^{o}C)
CWCT	Closed wet cooling tower
ICCCCT	Indirect contact closed circuit cooling tower
HVAC	Heating ventilation air conditioning

Data Acquisition System for Wind Speed, Direction and Temperature Measurements

Dr. Fouad Sh. Tahir Lecturer
Ayad M. Salman Asst. Lecturer
Dr. Jabbar K. Mohammed Lecturer
Wahab K. Ahmed Engineer

Energy and Renewable Energies Technology Center
University of Technology
Iraq-Baghdad

Abstract:

This paper describes the use of microcomputer as a laboratory instrument system. The system is focused on three weather variables measurement, are temperature, wind speed, and wind direction. This instrument is a type of data acquisition system; in this paper we deal with the design and implementation of data acquisition system based on personal computer (Pentium) using Industry Standard Architecture (ISA) bus.

The design of this system involves mainly a hardware implementation, and the software programs that are used for testing, measuring and control. The system can be used to display the required information that can be transferred and processed from the external field to the system. A visual basic language with Microsoft foundation classes (MFC) is the fundamental tool for windows programming. It has been used to build a Man-Machine Interface (MMI), which was used for processing and monitoring acquisition data from environment weather.

الخلاصة

تتناول الدراسة الحالية توصيف لاستخدام الحاسوب كأداة مختبرية حيث تركز هذه المنظومة على قياس متغيرات الطقس كدرجة الحرارة وسرعة الريح واتجاهها, إذ تمثل هذه الأداة المختبرية نوع من أنظمة استخلاص البيانات. لقد تناولت هذه الدراسة التعامل مع تصميم وبناء منظومة رقمية لاستخلاص البيانات تعتمد على الحاسوب الشخصي نوع (بنتيوم) من خلال استخدام معمارية الناقل الصناعي القياسي(ISA).

يتضمن تصميم المنظومة بشكل رئيسي من بناء الكيان المادي والكيان البر مجي الذي يستخدم لأغراض الفحص والقياس والسيطرة. للنظام القدرة على عرض المعلومات المطلوبة والتي يتم نقلها ومعالجتها من الحقل الخارجي إلى داخل المنظومة.

لقد تم استخدام لغة فبجوال بيسك المصنفة كأساس الميكروسوفت كأداة أساسية لبرمجة النوافذ. حيث استخدمت هذه اللغة لبناء الربط البيني لرجل الماكنة (MMI) والذي استخدم للمعالجة ومشاهدة البيانات المستخلصة من الطقس.

1. Introduction

Data acquisition systems is an interfacing unit between the real world of physical parameters, which are analog, and the artificial world of digital computation and control. With current emphasis on digital systems, the interfacing function has become an important one; digital systems are used widely because complex circuits are low cost, accurate, and relatively simple to implement. In addition, there is rapid growth in the use of microcomputers to perform difficult digital control and measurement functions (**Gerd 2005**).

Sensors are essential components in many applications, not only in the industries for process control but also in daily life for building's safety and security monitoring, traffic flow measuring, weather condition monitoring and etc. In weather monitoring, for instance, parameters such as wind speed, wind direction and temperature need to be measured ±) thus sensors have always assigned the task for doing so.

Weather or climate plays an important role in human life. The thermal comfort of human being is known to be influenced mostly by six parameters, i.e., air temperature, radiation, air flow, humidity, activity level and clothing thermal resistance. The advancement in technology has made these small and reliable electronic sensors capable of monitoring environmental parameters more favorably (**Kamarul and Chow 2006**).

2. Type of Instruments for Wind Speed and Direction Measurement

The two instruments commonly used to measure wind speed and wind direction are the anemometer (wind speed) and the wind vane (wind direction).

2-1.Wind Direction Ssensor

The wind vane, illustrated in **Fig. 1**, measuring wind direction sensors are generally some variant of the familiar weather vane. Sensitivity is maintained by constructing the weather vane to rotate on bearings with minimal resistance. Electronic readout can be achieved using a potentiometer (a “wiper” contact connected to the vane slides over a wire-wound resistor). The resistance between the contact and one end of the wire resistor indicates the position of the vane. Alternative methods of readout include optical and magnetic position sensors. Positional accuracy is ±5% (**John 2000**).

2-2. Rotational Anemometer

Weather stations commonly employ a 3-cup anemometer. This consists of a vertical axis rotating collar with three vanes in the form of cups. The rotation speed is directly proportional to wind speed as shown in **Fig.2**. An alternative to the cup anemometer is a propeller anemometer in which the wind causes a propeller to rotate. There are several ways to obtain an electrical signal indicating the speed: a magnet attached to the rotating shaft can induce a sinusoidal electrical impulse in a pickup coil; a Hall effect sensor can be used; or the rotating shaft can interrupt a light beam, generating an electric pulse in a photo detector. Rotating anemometers can measure wind velocities from close to 0 up to 70 m s^{-1}(150 mph) (**Ian 2001**)

3. Integrated Circuit Temperature Sensor

This very cheap, simple means of temperature measurement or compensation for temperature in the range -40°C to +110°C. The integrated circuit, which looks like a small transistor, operates on a power supply between 4 to 30 volts, giving a linear output of 10 mV deg./°C, with an accuracy of ±0.4 °C (**Telemetry Group 2005**).

4. Computer Measurement and Control Hardware Requirement of the Present Work

The computer interface system hardware comprises mainly of the following unit:

- Input and output interface circuit.
- Data acquisition system.
- Transducer.

4-1. Input and Output System Hardware

The system hardware was designed and built for real time computer control and measurement operation. The designed process system is interfaced to (Pentium 1) microprocessor system via a group of buffering and latching gate, each having 8-bit I/O port which are used to adapt with other external hardware system as shown in the detailed interface circuit diagram of **Fig.3** (**Telemetry Group 2005 and K. Lacanette1997**). The address that are used and the functions performed by each unit are mapped in **Table 1**.

4-2. Data Acquisition System

The data acquisition system was designed to transfer 8-bit data system variable (temperature, direction, and wind speed) to the microcomputer system.

An 8-bit, 8-channel unipolar (ADC0808) analog to digital converter based on successive approximation is used for measuring three different variable (wind direction, wind speed, and weather temperature) each one of the measured variable use a separated input channel in the analog to digital chip.

The data acquisition is started by selecting the required channel to be converted, the selector line come from one bit in the output port. The conversion is initiated by start conversion pulse that is applied from the computer through another bit of the same selector output port. Then the status of the A/D is read by means of input port to ensure the conversion is complete. The basic units of data acquisition system are interconnected as shown in details of **Fig.4** (**D.C. Ramsay 1996 and Chuck Hellebuyck, 2003**).

4-3. The Transducer (Gods Atul P., 2008 and Patil C. Y., 2008)

The wind-vane transducer shaft is internally coupled to 20kΩ potentiometer for measuring shaft position and wind direction; this potentiometer has a complete 360° rotation with no rotation stop.

The anemometer shaft is internally coupled to magnetic reed switch. Each revolution of the anemometer produces one contact closure of the reed switch.

The data acquisition system has a number of 8-analogue channels inputs designed to be connected to analogue type measurement sensor. Other analog inputs can be added if we use network modules, these analog inputs are designed to interface to ground-referenced (0-5) VDC analog signals. The interfacing is capable of measuring the frequency of a periodic input signal (digital) with the accruing required for this interface. To be compatible with interface analog input, a signal is needed that varies from 0 to 5 VDC and is proportional to wind direction. The wind-vane shaft is directly connected to the wiper of 20-k potentiometer. Therefore the position of the pot wiper always indicates wind direction.

It's a simple matter to connect the ends of the potentiometer to ground and to +5VDC. The wiper voltage then varies from 0V(0 degree) to 5V(360 degree) as the wind vane is rotated. The relationship between the wiper output voltage and wind direction can be determined by:

$$\mathit{Wind}\ \mathrm{Direction} = \frac{\mathrm{V_{out}}}{5\mathrm{V}} \times 360^{o} \qquad (1)$$

This relationship assumes that the potentiometer is completely linear. The first step in the design of the wind speed interface is to calibrate the anemometer to correlate wind speed versus switch-closure frequency. To accomplish this step, we mounted the wind transducers to the spare tire carrier at the rear of our truck. Then, we drove the vehicle on a virtually windless morning at speeds spanning the input range of the anemometer while measuring the switch-closer frequency. Before attempting this experiment we also had our vehicles speedometer professionally calibrated since our new tire diameter differed from the original tires. The recalibration resulted in a fixed indicted speed offset of about +3MPH. The results of our data collection which has measured experimentally are presented in **Fig.5**. The manufacturer subsequently verified our finding-one switch closure per second (or 1 Hz) equaled 2.33MPH. Thus, over the wind speed range of interest (0-115MPH) the switch closure frequency varies from (1Hz=2.3MPH) to (50Hz=115MPH).

There are many ways to convert a variable frequency signal in to DC voltage. This type of circuit, often known as a tachometer circuit is implemented most often using a single-chip FN converter integrated circuit. The circuit consists of an input comparator, one-shot, and integrator.

Each time the input signal crosses the comparator threshold; it activates the one-shot, which switches a precise amount of charge in to the integrator input for a measured time period. As the input signal increases in frequency, the charge injected into the integration capacitor increase proportionally. The result is an average output voltage from the integrator proportional to the input signal frequency.

Obviously, this job was better suited to a digital counter or micro controller. We choose microchips PIC16C54 due to the circuit designs simplicity, low parts count, and program flexibility. In the approach we followed, the wind speed transducer is connected directly to an input bit of the PIC micro-controller.

An 8-bit D/A configured for an output range 0-5 volts DC is connected to eight of the PIC general-purpose I/O bits, which are configured as outputs.

To measure wind speed, the PIC simply counts the number of anemometer switch closures during a predetermined time period (frequency). This count is then scaled to obtain the 8-bit digital value, which drives the DAC. The scale factors ensure that the digital output is equal to 225 when the input frequency is equal to 50 H_Z (115 MPH).

The DAC output voltage is always proportional to the wind speed as measured by the anemometer. The software programmed to measured frequencies up to 50 H_Z in $1H_Z$ increments. Thus, wind speeds up to 115 MPH can be measured in increments of 2.3 MPH. Therefore, at a wind speed of 0 MPH, the output voltage of the circuit is 0 volt, and it is 5 volt with a wind speed of 115 MPH.

The relationship between the DAC output voltage and wind speed can be found by the following equation:

$$windspeed = \frac{V_{out}}{5V} \times 115 \qquad (2)$$

By using a micro-controller, we can measure switch closure frequency (and thus, wind speed) with greater resolution than 1 H_Z. in our application, however, this level of precision was unwarranted. The circuitry required to interface the wind speed and direction transducers is shown in **Fig.6**.

For weather temperature measurement we need a transducer to sense this temperature. For our work we use LM334 a three terminal adjustable current source, as a temperature sensor because it is reliable, economical and compact in size. The output current I_{set} of the LM334 is directly proportional to absolute temperature in Kelvin (k) and is given by

$$I_{set} = \frac{(227uv/k)(T)}{R_{set}} \qquad (3)$$

where:
I_{set}= output current of the LM334.
R_{set}=resistor that determines I_{set} and is connected between R and V terminals of LM334.
T=temperature in Kelvin.

To express the output voltage V_o of the LM334 in terms of I_{set} and R_L we will use the connection diagram of the LM334 shown in **Fig. 7**. And equation (3). In other words the output voltage will be.

$$V_o \approx I_{set} R_L$$

$$V_o \approx 10m\ V/K \qquad (4)$$

To condition the output signal of the temperature transducer to make it suitable for the ADC o8o8 we will use a voltage follower and differential amplifier as shown in **Fig.8**. Because the voltage follower eliminate loading and differential amplifier provides the gain necessary to make the signal suitable for the ADC.

5. System Software (Barry B. Brey, 2007)

The software of the system consists of two main parts: Man-Machine Interface software and control software. Man-Machine interface software is application independent. And it plays the role of an interface between the operator and the system. While the control software is application dependent and must be written specially for the used control hardware (plug-in card).

The control software is lightly linked to the Man-Machine interface software, and the two must be worked together to make the system software function. The system software was implemented by using visual basic language, which is fundamental programming for windows. We deals with visual basic software programming because it is easy to use and has a speed adequate for most application (the exception is control of the analog-digital-converter, a process which requires precise timing).

The program begin with an initialization procedure which configures the computer for the correct channel of the variable measurements, setup the necessary data array-and performs other housekeeping chores. The user is then given the opportunity to plot data stored on a hard-disk from a previous measurements, or to run the operation of measurement itself, if the user chooses to begin the measurement task the program immediately goes in to the data acquisition software which acts as controller, prompting other program which collect the data, manipulated data, and display the variables on user window as a real value or display it as graphics. The user window which represent the Man-Machine interface software is shown in **Fig. 9**.

The procedure represents the main program which was used to initialize the procedure of measuring the weather variables is illustrated in following steps:

1- Start.
2- initialize the input ports of the system.
3- select the digital to analog (ADC) input port.
4- Send start conversion signal to ADC unit.

5- Check the ADC status , If it is true then end the conversion operation and input the binary data to the computer system and go to step 6 .Else take few second and return to check the ADC status.
6- Manipulated the digital raw input data.
7- save the information in specific array on hard disc and display the weather variable on the user window.
8- If you want to repeat the weather variables measuring go to step 3, else go to step 9.
9- End.

6. Results and Discussion

The proposed system was calibrated through using advanced equipment meter type PROVA, which contains a thermometer and anemometer sensor.

The results which were obtained from the proposed system for five days were plotted in **Figs. 10** and **11** for temperature and wind speed measuring results and the wind direction results for five days are put it in table 2.

The measurements of the variables have been compared with the same variables value obtained from portable measurement equipment type PROVA (AVM-07) and the results which observed in **Figs. 12** and **13**. From this comparison show us very good level of stability as well as accuracy.

7. Conclusions

The focus of the paper is in using digital data acquisition system based on microcomputer for measuring a multi type of variable. The following points are the most important outline which obtained from this paper.

1. The system usefulness is as a teaching tool that let engineers and scientific user to exercise their programming skills in order to

   Acquire and store, process data and display the process in to engineering form.
2. Data acquisition system based on microcomputer is more efficient and economical than conventional system because it can be programmed at predetermined time.
3. The graphics capabilities of the microcomputer have been exploited so that several system variables can be observed simultaneously. Consequently, no additional recording instruments are required.(Hence the computer will store all the data on hard disk, and we don't need an external storage devices.
4. The general purpose nature of the microcomputer based system has been demonstrated and also we have been considered for illustrating basic important concept of data acquisition for real-time multi-variable measurement system.
5. Data acquisition system based on microcomputer provides the user with flexibility of selecting various variable type of process measurement. The system has the ability to deal with multi-variable at the same time.
6. The use of digital techniques for data acquisition system makes these systems more accurate, reliable, and simpler.

References

Ian R.Sinclair"sensors and transducers", Butterworth-heinemann,2001.

John D .Garrison,"Environmental Measurement.",CRC Prees.2000.

K. Lacanette, "National Temperature Sensor Handbook.",Nattional Semiconductor Corporation,1997.

Kamarul Ariffin , Chow Chee,"Microcontroller-based Weather Monitoring System", university of mallaya ,CMU.gournal,VOL 5,2006.

Patil C. Y., "8-Bit Microprocessor Microcontroller", Delhi Satya Prakashan, 2008.

Telemetry Group, "Instrumentation Engineers Handbook", December, 2005.

Barry B. Brey , "The Intel Microprocessor, Programming and Interfacing" prentice –Hall, Inc., 2007.

Chuck Hellebuyck"Programming PIC Microcontroller with PICbasic",Elsevier science USA,2003.

D.C. Ramsay, ”Principles Of Engineering Instrumentation”, Halstead Press an Imprint Of Wiley & Sons INC., New York,1996.

Gerd Wostenkuhle ,"Measuring system Design", john wiley & sons,Ltd,2005.

Gods Atul P., "Microprocessor Microcontroller and Applications", India Technical Puplications Pune, 2008.

Table 1 Input And Output Address Mapping.

Addresses	Function description
300 H	Address of analogue channel select
301 H	A/D enable and start conversion
302 H	Statue of A/D (EOC)
303 H	A/D data reading enable

Table. 2 Illustrated the results of wind direction for five days.

Time (hr)	Date				
	1/11/2010	7/11/2010	14/11/2010	21/11/2010	28/11/2010
	Direction				
1	NE	N	WN	WN	NW
2	NE	N	NW	NW	WN
3	N	NW	NW	NW	NW
4	N	N	NW	WN	NW
5	N	W	NW	W	WN
6	N	W	W	W	WN
7	N	W	WN	WN	NW
8	NW	WN	WN	N	NW
9	NE	NW	NW	N	NW
10	N	NW	WN	NW	NW
11	NE	N	NW	WN	NW
12	NE	N	NW	WN	WN
13	N	NE	NW	WN	WN
14	NE	NE	WN	W	NW
15	NE	W	WN	W	NW
16	NE	N	WN	WN	WN
17	N	N	N	WN	WN
18	N	WN	N	N	W
19	NW	NW	NE	N	NW
20	NW	N	NE	NE	NW

21	NW	NE	N	E	WN
22	NW	NE	NW	NE	NW
23	NW	N	NW	N	W
24	NW	N	W	WN	W

Fig. 1 Illustrates Wind Direction Sensor.

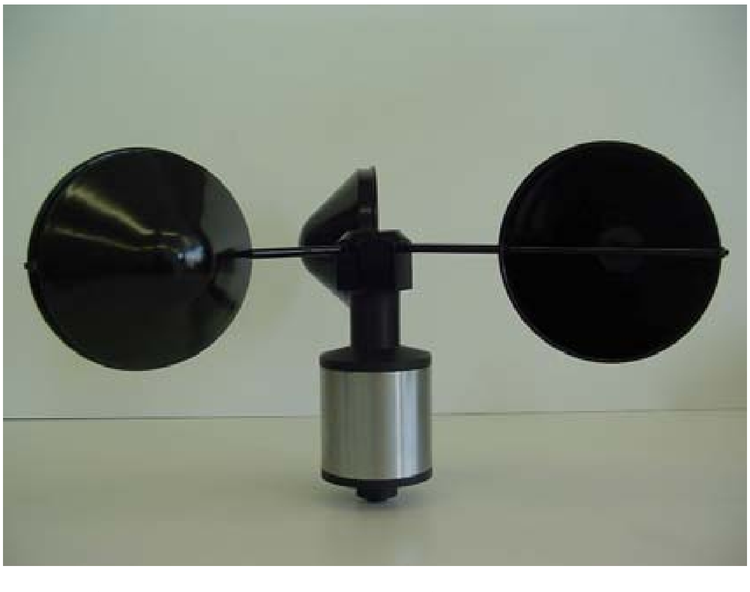


Fig. 2 Illustrate Types Of Wind Speed Sensor.

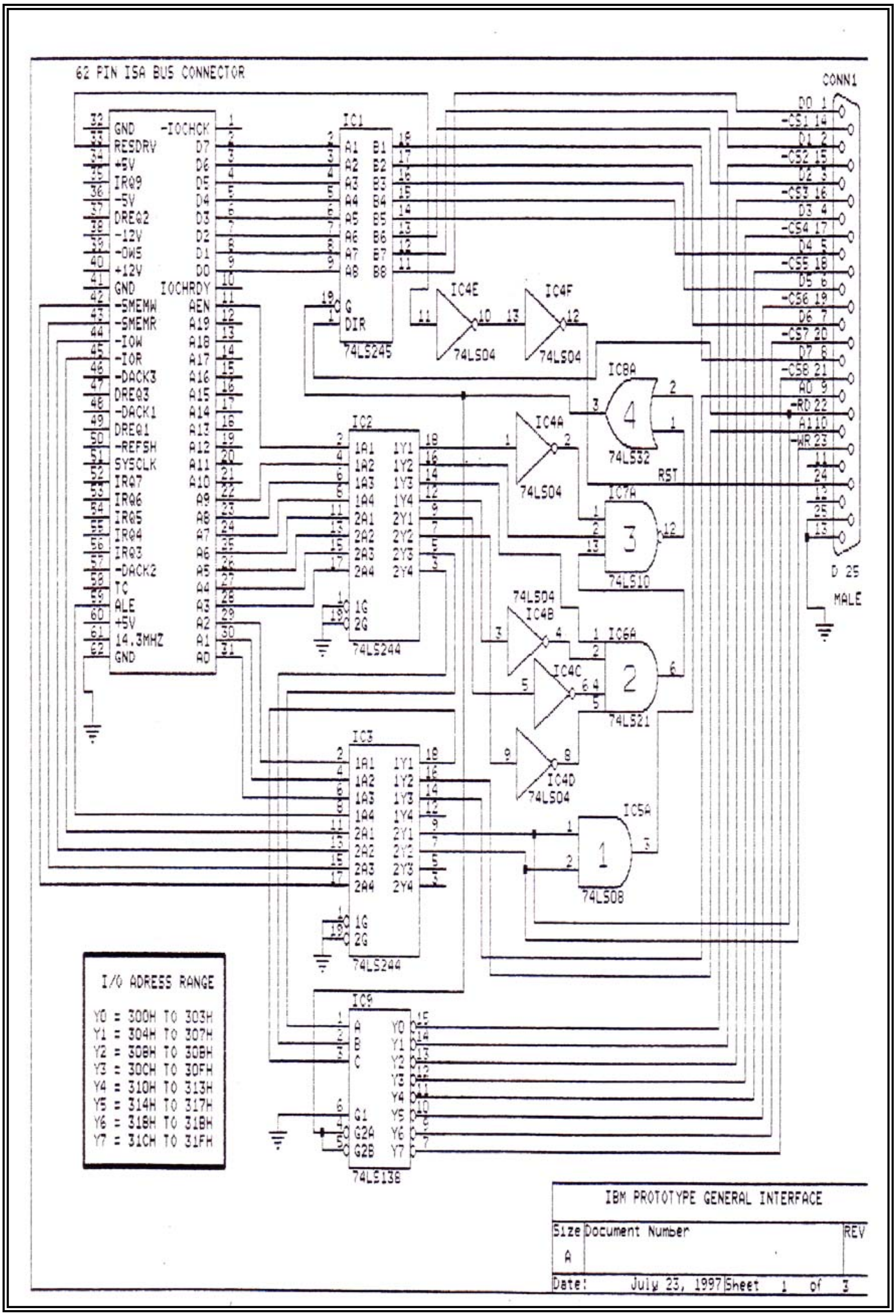


Fig. 3 Illustrate The Detail Of Digital Interfacing Circuit For ISA Bus.

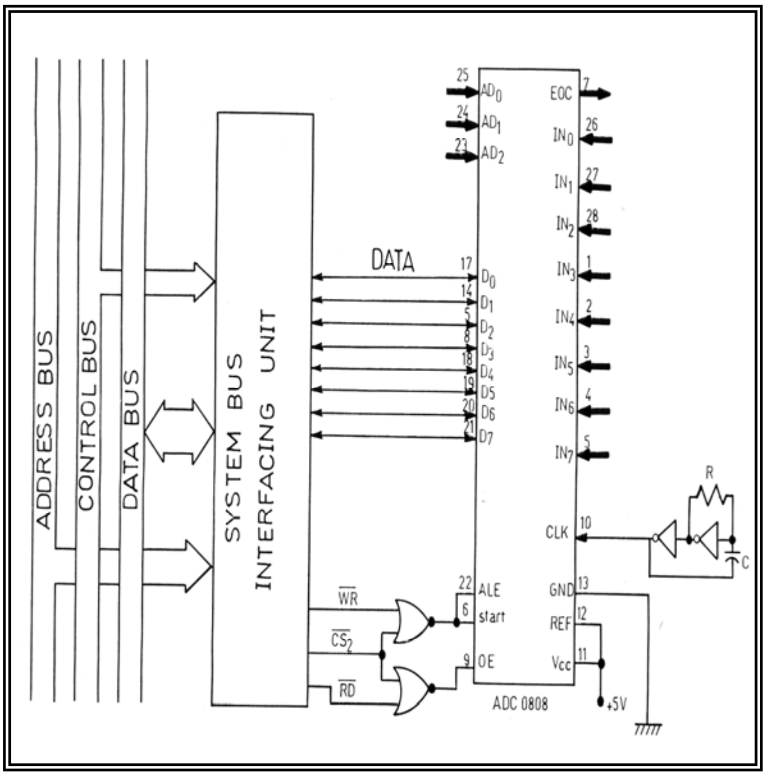


Fig. 4 Illustrates The Data Acquisition System.

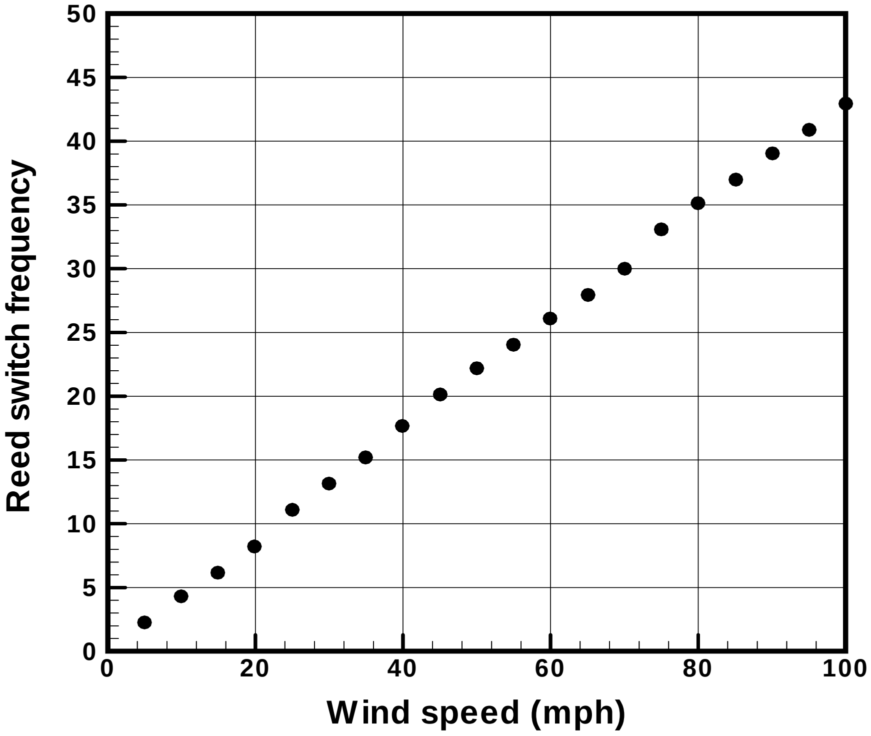


Fig. 5 Illustrate A Relations Ship Between The Reed Switch Frequency And Wind Speed.

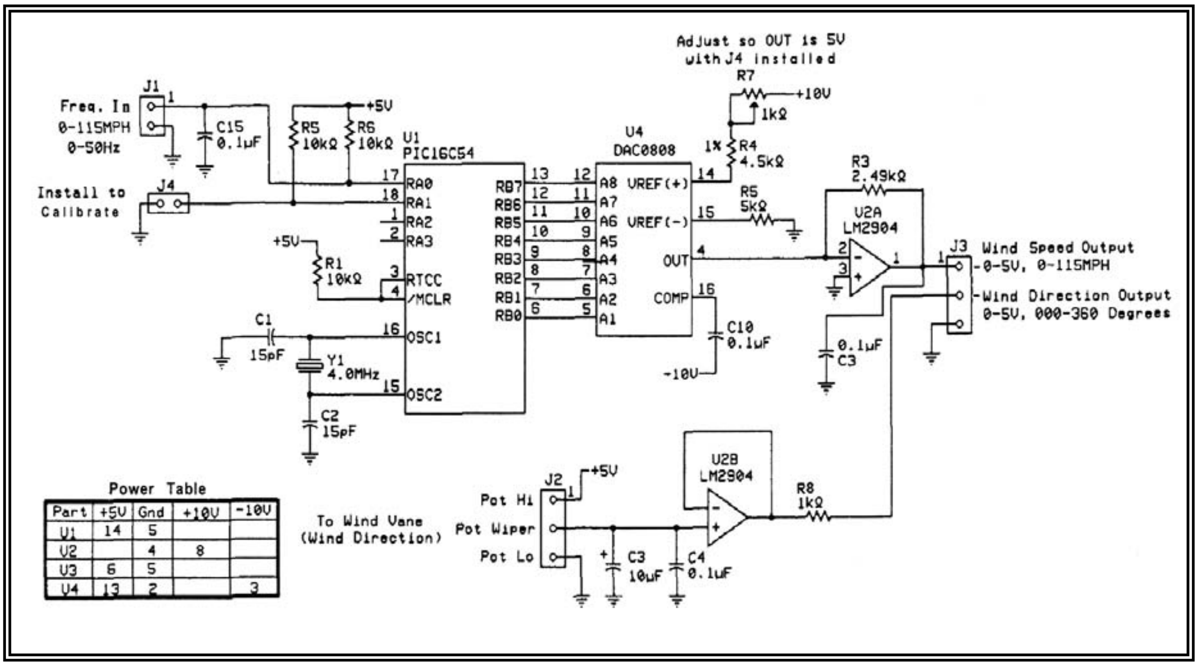


Fig. 6 Illustrate the Electronic Circuit Details Wind Speed and Direction Transducer.

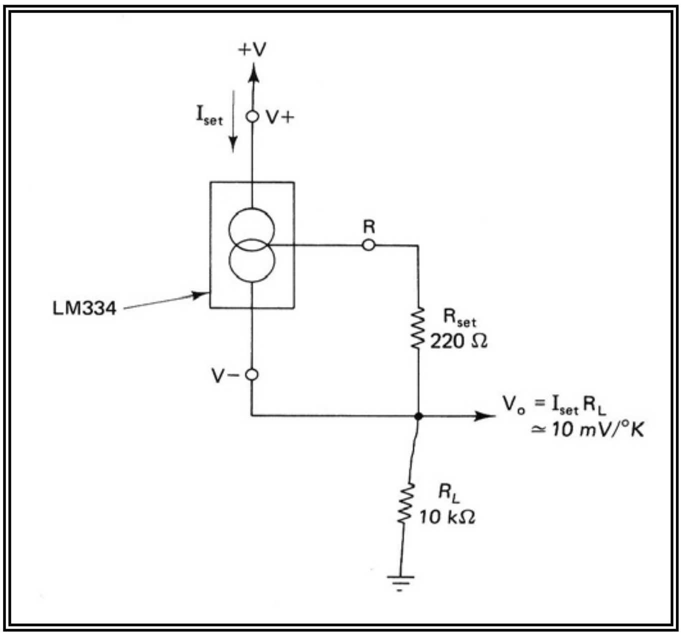


Fig. 7 Illustrate LM334 Connection Diagram.

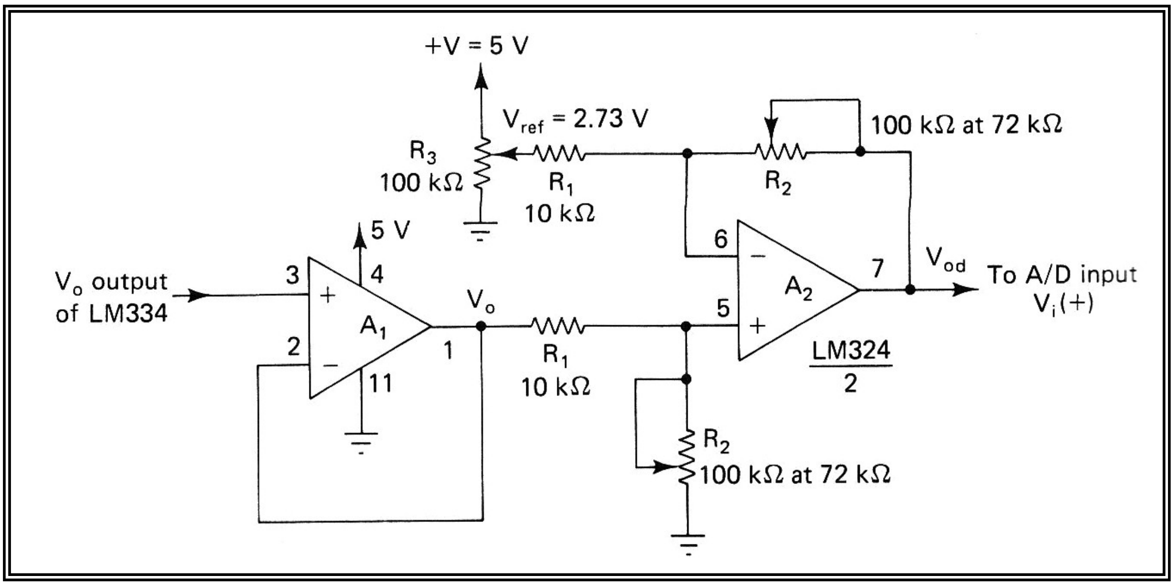


Fig. 8 Illustrate the Signal Conditioning Through Voltage Follower and Differential Amplifier.

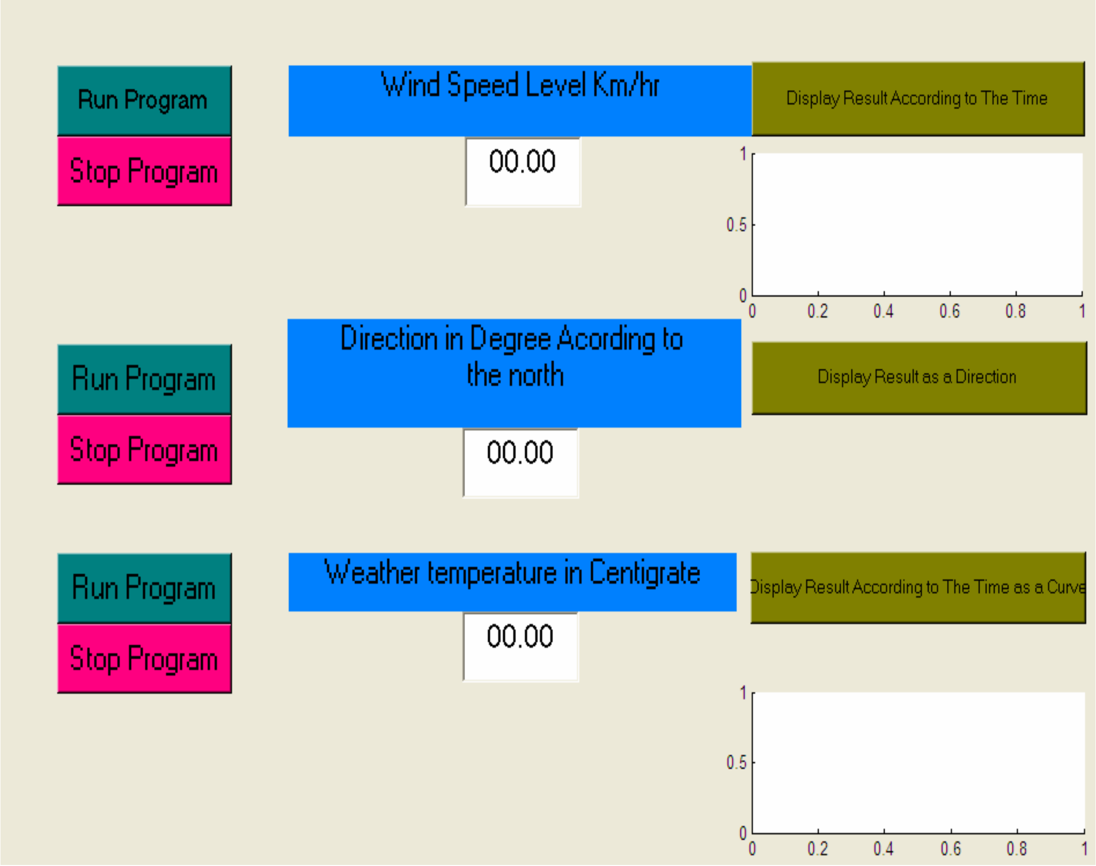


Fig. 9 Illustrate User Window (Man-Machine Interface) MMI.

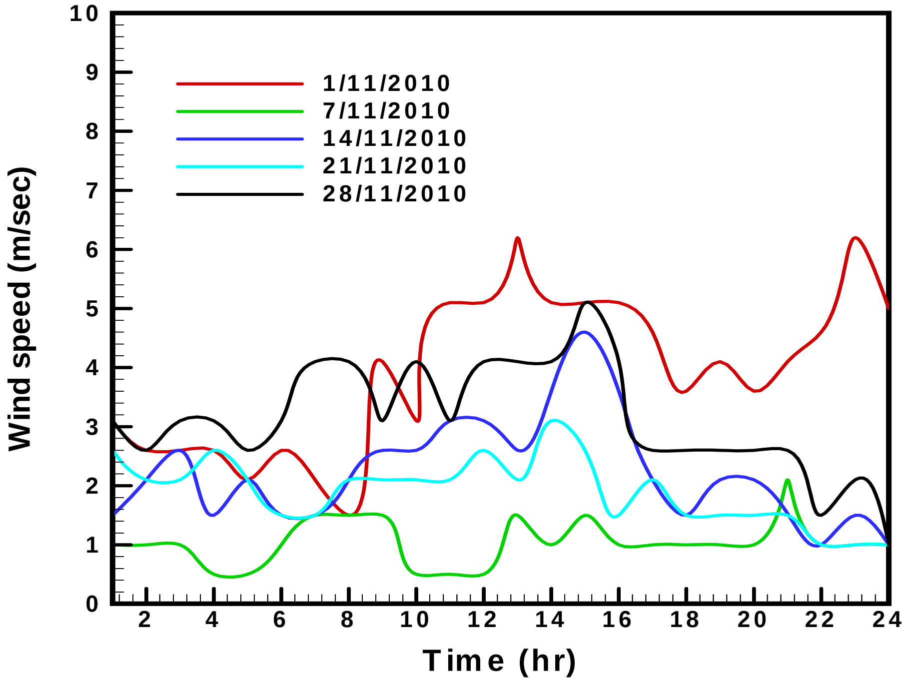


Fig. 10 Illustrate Wind Speed Distribution With Time For Five Days.

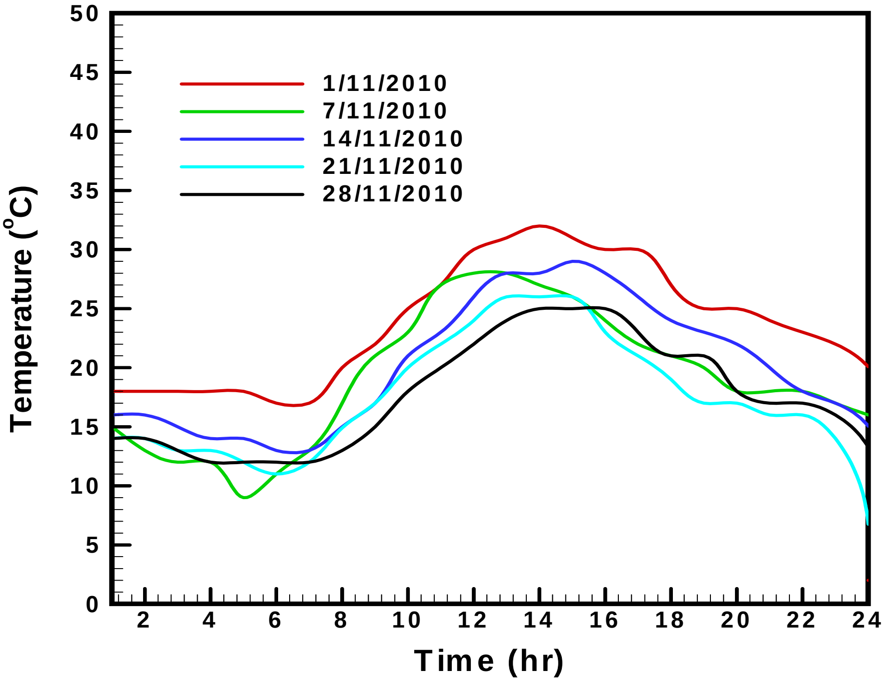


Fig. 11 Illustrate Temperature Distribution With Time For Five Days.

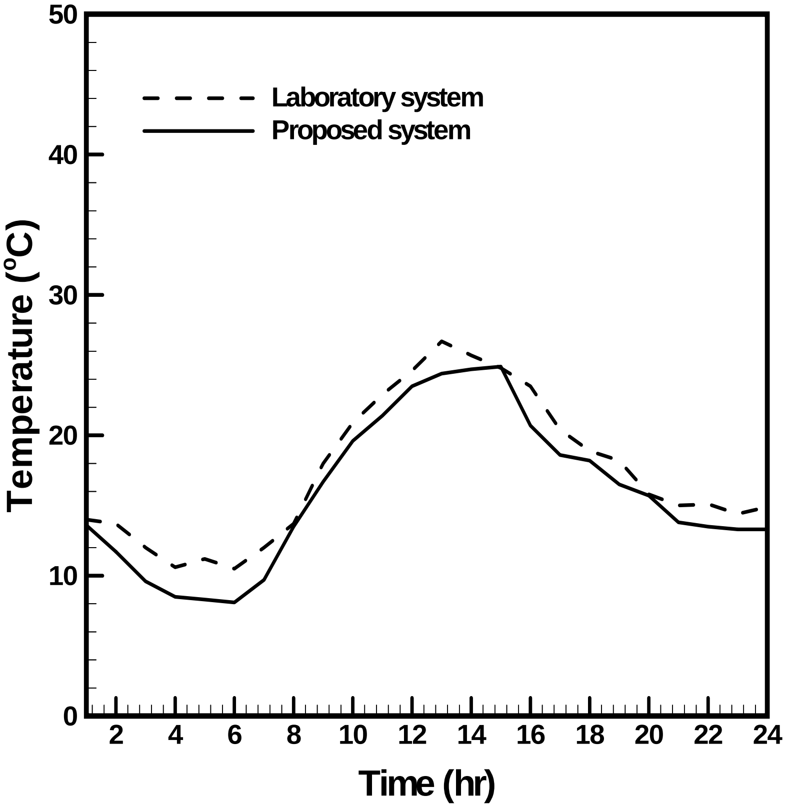


Fig.12 Illustrate The Comparison Of Temperature For Proposed System And Laboratory System.

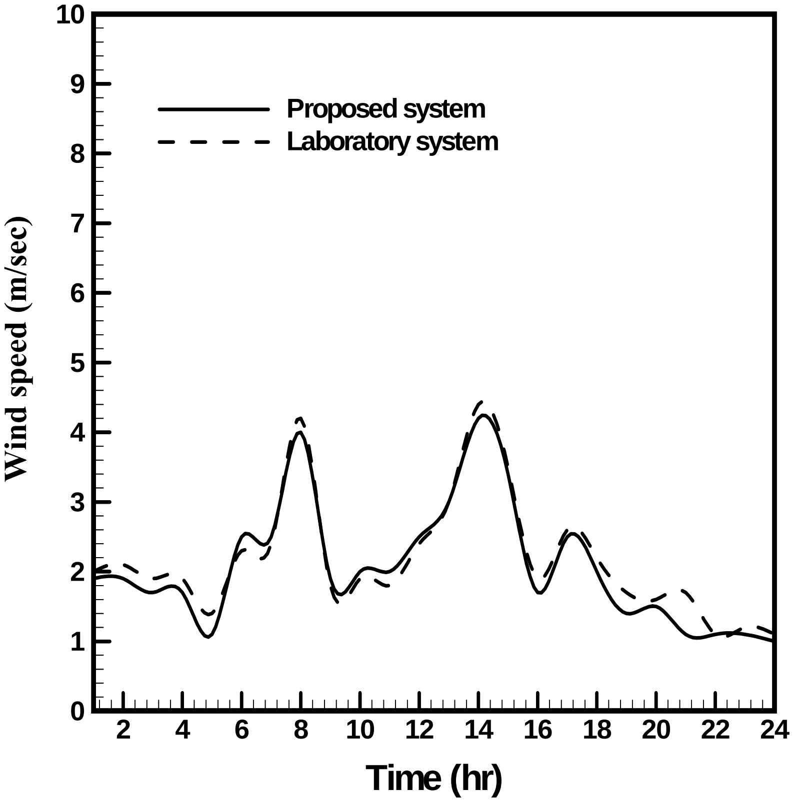


Fig.13 Illustrate The Comparison Of Wind Speed For Proposed System And Laboratory System.

Hybrid Controller for a Single Flexible Link Manipulator

Waladin K. Sa'id
Control Systems Dept.
University of TechnologyBaghdad, Iraq
waladinksy@yahoo.com

Bahaa I. Kazem
Mechatronics Eng Dept.
University of Baghdad
bahaak@mit.edu

Alya'a M. Manaty
College of Science
University of Thi-Qar
alyaanow@yahoo.com

Abstract

In this study, the dynamic modeling and step input tracking control of single flexible link is studied. The Lagrange-assumed modes approach is applied to get the dynamic model of a planner single link manipulator. A Step input tracking controller is suggested by utilizing the hybrid controller approach to overcome the problem of vibration of tip position through motion which is a characteristic of the flexible link system. The first controller is a modified version of the proportional-derivative (PD) rigid controller to track the hub position while sliding mode (SM) control is used for vibration damping. Also, a second controller (a fuzzy logic based proportional-integral plus derivative (PI+D) control scheme) is developed for both vibration damping and hub position tracking. A comparison is made between the performances of these two controllers. The Hybrid controller with PD and SM shows better tracking behavior than obtained from the suggested fuzzy $(PI+D)^2$ controller for a single link flexible manipulator.

Keywords: Flexible Link, Single Link, Hybrid Control, Fuzzy Control.

المسيطر الهجين على ذراع مرنة مفردة لإنسان آلي

الأستاذ الدكتور ولاء الدين خيري سعيد
الجامعة التكنولوجية
قسم السيطرة والنظم

الاستاذ المساعد الدكتور بهاء إبراهيم كاظم
جامعة بغداد
كلية هندسة الخوارزمي

الدكتورة علياء محسن مناتي
جامعة ذي قار
كلية العلوم/ علوم الحاسبات

الخلاصة

في هذه الدراسة تم دراسة النموذج الديناميكي والسيطرة على حركة ذراع ذو وصلة واحدة single link. تم تطبيق طريقة لاكرانج - النمط الكفوء Lagrange-assumed modes approach للحصول على نموذج ديناميكي لذراع الانسان الآلي. وتم الحصول على نموذج خطي للذراع ذو الوصلة الواحدة والذي تم محاكاته بأستخدام برنامج Matlab وأداة Simulink للتحليل والمحاكاة .تم اقتراح مسيطر لتتبع الادخال من فكرة المسيطر الهجين hybrid controller للتغلب على مشكلة الاهتزاز في طرف الذراع خلال الحركة والذي هو من صفات الهياكل المرنة. حيث تم تصميم نسخة معدلة من مسيطر PD لتتبع مسار المفصل بينما تم استخدام سيطرة النمط المنزلق sliding mode لتخميد الاهتزازات. وكذلك تم تطوير مسيطر ثاني (مسيطر منطق مضبب Fuzzy $((PI+D)^2$ كطريقة للسيطرة على كل من تخميد الاهتزازات وتتبع مسار المفصل. وتمت مقارنة نتائج اداء المسيطرين والتي تظهر بوضوح تفوق عمل المسيطر الهجين من النوع الاول مقارنة مع مسيطر المنطق المضبب المقترح.

1. Introduction

Many of today's robots are required to perform tasks which demand a high level of accuracy in end-effector positioning. Most robots cannot directly sense this position and instead calculate it using the joint angles and forward kinematics equations. This technique assumes that the links connecting the joints are rigid, and thus many robots have large, heavy links which behave like true rigid links. This prevents oscillations in the links which cause errors in the calculated end-effector position. Since the links are heavy, much of the joint motor's power is expended moving the link and holding them up against gravity. Also payloads must be kept quite small compared to the mass of the robot itself, since large payloads will cause sagging and vibrations in the links which create uncertainty in end-effector position. This results in a situation where these rigid robots are very inefficient and slow. In an attempt to solve these problems, the field of flexible robots was created, Natarajan et al (1998).

In order to fully exploit the potential offered by flexible robot manipulator, it is desirable to have an explicit, complete, and accurate dynamic model. This model must consider the effects of structural link flexibility and properly deal with vibrational behavior. Different schemes for modeling of the manipulators are studied by a number or researchers as described below. The mathematical models of the manipulators are generally derived from energy principles and for a simple rigid manipulator, the rigid arms store kinetic energy by virtue of their moving inertia and store potential energy by virtue of their position in the gravitational field, but the flexible arms store potential energy by virtue of the deflections of its links.

To include bending one may often use the Euler-Bernoulli equation which ignores shearing and rotary inertia effects. These two effects may be incorporated using a Timoshenko beam element which generally must be used if the beam is short relative to its diameter, Book et al (1990). In most models of flexible manipulators Euler-Bernoulli beams are used.

The robotic systems with flexible links are continuous dynamical systems characterized by an infinite number of degrees of freedom and are governed by nonlinear coupled, ordinary and partial differential equations. The exact solution of such systems is not feasible practically and the infinite

Dimensional model imposes severe constraints on the design of controllers as well. Hence, they are truncated to some finite dimensional models using assumed modes method (AMM), finite elements method (FEM) or lumped parameters method.

In the literature a number of techniques for deriving equations of motions were used to develop the dynamic equations of motion of flexible link systems. Three main techniques were used by researchers, namely: Newton-Euler approach , Boyer et al (1996), Lagrangian approach , Geniele et al (1997), and Hamiltonian approach ,Benati et al (1991).

The control difficulty of flexible arm is due to the non-collocated nature of the sensor and actuator positions which results in unstable zero dynamics. In other words, the nonlinear system is non-minimum phase. Therefore, the system has an unstable inverse dynamics. The non-minimum phase property makes exact asymptotic tracking of a desired tip trajectory impossible, if one employ causal controllers. Furthermore, the robot should handle a wide variety of payloads, the robustness of the control system becomes very important , talebi et al (1996).

The control strategies considered in this field can be divided into open-loop and closed-loop methods. Open-loop control involves altering the shape of actuator commands by considering the physical and vibration properties of the system. The main source of vibration in the flexible manipulator is the motion itself. Thus, input torque profiles are generated by minimizing input energy at system natural frequencies, so that vibration in the flexible manipulator system is reduced during and after the move. Many types of shaped input strategies are developed on the basis of extracting the energies around the natural frequencies. These are, Gaussian shaped input, low pass filtered torque input and band-stop filtered torque input. While closed-loop control uses measurements of the system states and alters the actuator input in order to reduce the system vibration, Azad et al (2003).

A number of feed-back control strategies have been proposed in the literature for the end-point trajectory tracking in flexible manipulators. Book et al (1975) and Hasting et al (1987), employed linear control theory, while Singh et al (1986), De Luca et al (1989), and De Luca et al (1991) made use of nonlinear decoupling. They recognized that a multi-link arm could not be controlled based on their approach because of nonlinearities in the dynamics of a multi-link arm.

Tang et al. (2006) focused on tracking control problem of flexible link manipulators. In order to alleviate the effects of nonlinearities and uncertainties, a combined control strategy based on neural network (NN) and the concept of sliding mode control (SMC) was proposed systematically. The chattering phenomenon in conventional SMC is eliminated by incorporated a saturation function in the proposed controller, and the computation burden caused by model dynamics was reduced by applying a two-layer NN with an analytical approximated upper bound, which was used to implement a certain functional estimate. In addition, the Lyapunov analysis can guarantee the signals of closed-loop system bounded and the online NN adaptive laws made the system states converge to the sliding surface.

Alwan et al (2008) suggested the dynamic modele and control; of a robot with single flexible-link with revolute joint, which rotates in the horizontal plane. The dynamic equations are derived using the (assumed mode)/Lagrangian formulation, based on Euler-Bernoulli beam theory. Both the rigid degrees of freedom and the elastic degrees of freedom of the system are treated as generalized coordinate. Although the equations of motion of the system are highly nonlinear and coupled, due to the dynamic model derived in this work takes into account the coupling effects between rigid body motions and elastic deformation. The inverse dynamic method is used to present the Trajectory Control of Flexible Robot Arm; the desired position of the end point of the manipulator is given versus time, and the required joint torques are determined, The main difficulty is that the numerical solution of the inverse dynamic problem of flexible manipulators normally diverges. The computed joint torques can be used as feedforward controls which minimize the work of the feedback controller needed to compensate modeling errors.

In this work several control schemes have been suggested and simulated for step input to possessing interesting nonlinear and non-minimum phase features for one flexible link manipulator.

2- Dynamic Modeling Of A Single Flexible Link

The schematic of a planar single-link flexible manipulator is shown in **Fig. 1**. Where (X , Y) is an inertial coordinate frame, and (x , y) is the coordinate assigned for a flexible link moving with instantaneous Center of Mass (CoM). θ, $w(x,t)$, ℓ, and τ represent the hub angular position, the deflection along the arm, the length of the link, and the torque applied to the hub, respectively.

Single link flexible arm modeled as an Euler-Bernoulli beam in rotation. At one end, the arm is clamped on a rigid hub mounted directly on the vertical shaft of a DC motor, the other end is free to flex in a horizontal plane, and has a mass mp as a payload. It is assumed that the length of the beam, ℓ is much greater than its width, thus restricting the beam to oscillate in the horizontal direction. Neglecting the effects of shear deformation and rotary inertia, the deflection of any point on the beam is given by the Euler-Bernoulli beam equation Thomson (1981).

The Euler-Bernoulli beam theory and the assumed modes method can be used to express the deflection w(x,t) of a point located at a distance x along the link as:

$$w(x,t)=\sum_{i=1}^{n}\phi_i(x)\delta_i(t) \tag{1}$$

where $\phi_i(x)$ is the mode shape function and $\delta_i(t)$ is the time varying modal function and n is the number of finite modes.

The absolute vector of a point along the link is described by:

$$P=\begin{bmatrix} p_x \\ p_y \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x \\ w \end{bmatrix}$$

$$=\begin{bmatrix} x\cos\theta & -w\sin\theta \\ x\sin\theta & +w\cos\theta \end{bmatrix} \tag{2}$$

In order to derive the equations of motion for this system which is a combination of a lumped parameter part (the hub rotation and the payload mass) and distributed parameter part (the link deformation); an energy-based method is the most convenient, i.e. Lagrange formulation. The Lagrangian, L, of the system can be determined by substituting equation for the total kinetic energy and the total potential energy ($L = T - V$).

Therefore, the kinetic energy T and the potential energy V of the system have to be computed.

$$T = T_h + T_\ell + T_p \tag{3}$$

where T_h is the kinetic energy contributions from the hub:

$$T_h = \frac{1}{2} J_h \dot{\theta}(t)^2 + \frac{1}{2} m_h \dot{w}_0^2 \tag{4}$$

Where w_o is the deflection at the hub.From the geometric boundary condition this is equal to zero. T_ℓ from the link: is:

$$T_\ell = \frac{1}{2} \int_0^\ell \dot{p}^t \dot{p} \, dx \tag{5}$$

Where

$$\dot{p}^t \dot{p} = w^2 \dot{\theta}^2 + x^2 \dot{\theta}^2 + 2x\dot{w}\dot{\theta} + \dot{w}^2$$

Similarly, the kinetic energy associated with the payload can be written as:

$$T_p = \frac{1}{2} m_p \dot{w}_\ell^2 + \frac{1}{2} J_p \dot{\theta}(t)^2 \tag{6}$$

Where w_ℓ is the deflection at the end of the link

The potential energy of the link is composed of two parts: the gravitational energy V_g, and the strain potential energy V_e owing to the flexure of the link Chapnik et al (1991),

$$V = V_e + V_g \tag{7}$$

Since the movement of the link is assumed in the horizontal plane only, the gravitational energy can be neglected. The potential energy resulting from the elastic deformation of the link is given by:

$$V_e = \frac{1}{2} \int_0^\ell EI \, w''^2 dx \tag{8}$$

The potential energy V_e, of the system is stored in the flexible modes and can be attributed to "modal stiffnesses" K which are evaluated by integrals over the length of the link.

Then the dynamic equations of the system can be derived using the Euler-Lagrange. A system with n+1 generalized coordinates q must satisfy n+1 differential equations of the form:

$$\frac{d}{dt}\left[\frac{\partial L}{\partial \dot{q}}\right] - \frac{\partial L}{\partial q} = U \tag{9}$$

The computational details on various differentials and integrals can be found in Manaty 2008, results are a coupled set of second order dynamic equations:

$$M(q_i)\ddot{q}_i + C(q_i, \dot{q}_i) + D\dot{q}_i + Kq_i + g(q_i) = U \tag{10}$$

$$\begin{bmatrix} M_{rr}(q) & M_{rf}^T(q) \\ M_{fr}(q) & M_{ff}(q) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\theta} \\ \ddot{\delta}_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{rr}(q,\dot{q}) & C_{rf}(q,\dot{q}) \\ C_{fr}(q,\dot{q}) & C_{ff}(q,\dot{q}) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} d_{rr} & 0 \\ 0 & D_{ff} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ \dot{\delta}_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & K_{ff} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta \\ \delta_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} g_r(q) \\ g_f(q) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \tau \tag{11}$$

where r and f denote rigid and flexible part, respectively. $M(q_i)$ and K_{ff} *are* the positive definite symmetric inertia matrix and positive definite diagonal stiffness matrix respectively .

The elements ($i=n+1$, $j=n+1$) of the inertia matrix and stiffness matrices for a single link robot with one vibration mode take on the expression below.

$$m_{11}(q) = J_h + J_p + \rho \frac{\ell^3}{3}$$

$$m_{12}(q) = \rho \int_0^\ell x\phi_1 \, dx$$

$$m_{21}(q) = m_{12}^T(q)$$

$$m_{22}(q) = m_p \phi_\ell^2 + m_h \phi_0^2 + \rho \int_0^\ell x\phi_1 \, dx$$

$$k_{22} = EI \int_0^\ell \phi_1''^2 dx$$

3. Hybrid Controller

Similarly to most of the contributions in the field, the proposed control method is developed for the one-link flexible arm as a first step towards general multi-link arms. The suggested control approach consists of two sub-controllers; one is slow sub-controller to tracking the desired input, and the other is fast sub-controller to damp out vibration. Using the dynamic model eq. (11) and eq. (12), a hybrid controller is designed. The rigid sub-controller will be built using the inverse control approach (Augmented PD controller), while the flexible sub-controller is sliding mode control (SMC).

3.1 Augmented PD Controller

The purposes of slow sub-controller are tracking input without steady state error and reducing coupling effect from flexibility. To design the control u_r for the n joint coordinates q_r, infinitely stiff links are assumed. The rigid body model for the manipulator can be recovered from the n upper rows of eq. (12), by setting $q_i = 0$ for all (n_e)flexible links. This yields $q_e = \dot{q}_e = \ddot{q}_e = 0$, and the equations of motion are then

$$M_r(q_r)\ddot{q}_r(t) + C_r(q_r,\dot{q}_r) + g_r(q_r) = u_r \qquad (12)$$

Accurate measurements of joint variables, either angles or displacements and joint velocities are assumed to be available. If the tip location r_t of the manipulator is of interest, then

$$r_t = f(q_r) \qquad (13)$$

the vector of desired joint coordinates q_r^d must be computed using the inverse kinematic equation

$$q_r^d = f^{-1}(r_t^d) \qquad (14)$$

The well-known inverse dynamics control method is chosen here, where the control u_r is taken to be a function of the manipulator state in the form;

$$u_r = M_r(q_r)\overline{u_r} + C_r(q_r,\dot{q}_r) + g_r(q_r) \qquad (15)$$

Because the mass matrix M_r is invertible, the combined system reduces to

$$\ddot{q}_r = \overline{u_r} \qquad (16)$$

where u_r represents a new input vector, which is still to be chosen, for the system.
The approach

$$\overline{u_r} = -K_p q_r - K_D \dot{q}_r + r \qquad (17)$$

with constant control matrices K_P and K_D leads to a simple linear second-order system,

$$\ddot{q}_r + K_D \dot{q}_r + K_p q_r = r \qquad (18)$$

where r is the reference input. Under the assumption of positive definite matrices K_P and K_D, this system is asymptotically stable. Given a desired trajectory q_r^d , one may choose

$$r = \ddot{q}_r^d + K_D \dot{q}_r^d + K_p q_r^d \qquad (19)$$

The tracking error $e = q_r^d - q_r$ then satisfies the homogeneous second-order differential equation

$$\ddot{e} + K_D \dot{e} + K_p e = 0 \qquad (20)$$

Choosing K_P and K_D as diagonal gain matrices of the type

$$K_p = diag\{\omega_1^2 ......\omega_n^2\}$$
$$K_D = diag\{2\delta_1\omega_1 .... 2\delta_n\omega_n\} \qquad (21)$$

results in a closed-loop system that is globally decoupled. Each joint response is equal to the response of a second-order system characterized by a natural frequency ω_i and a damping ratio δ_i.

The method of inverse dynamics is attractive because the nonlinear coupled dynamics of the manipulator is canceled and replaced by n linear decoupled second-order systems. However, such exact cancellation schemes leave open many issues of sensitivity and robustness due to unavoidably imperfect compensation. These issues are addressed in several books dealing in details with modeling and control of robot manipulators, e.g. Spong et al 1989. However the final control law used in this paper is given by

$$u_r = M_r(q_r)\overline{u_r} + K_r(q_r,\dot{q}_r) + g_r(q_r) \qquad (22)$$

$$\overline{u_r} = \ddot{q}_r^2 + K_D(\dot{q}_r^d - \dot{q}_r) + K_p(q_r^d - q_r) \qquad (23)$$

3.2 PI - Sliding Mode Controller (SMC)

The flexible sub-controller should be designed to damp out vibration. Sliding Mode Control (SMC) is often favored as a basic control approach, especially because of its insensitivity property toward the parametric uncertainties and the external disturbances. SMC are characterized by control laws that are discontinuous on a certain manifold in the state space, the so-called sliding surface. The control law is designed such that the representative point's trajectories of the closed-loop system are attracted to the sliding surface and once on the sliding surface they slide towards the origin . However the major drawback in the SMC approach is the undesired phenomenon of chattering because of the discontinuous change of control laws across the sliding surface. In practical engineering systems, chattering may cause damage to system components, as well as excite unmodeled and high frequency plant dynamics , Kwatny et al (1987).

There exist several techniques to eliminate chattering. PI-SMC approach provides an effective way to resolve the chattering problem. In general, the first step to illustrate the standard SMC is to define a time-varying sliding surface, S(t), that is linear and stable. The S(t) acting on the tracking-error expression selected in this work, is:

$$S(t) = \lambda e(t) + \dot{e}(t) \tag{24}$$

where λ is a strictly positive constant, and $e(t)$ is the tracking error, while $\dot{e}(t)$ is the time derivative of the tracking error e(t). Since the aim of this controller is to damp out the vibration to zero, therefore $q_f(t)$ and $\dot{q}_f(t)$ are used instead of e(t) and $\dot{e}(t)$ respectively, then eq. 24) becomes

$$S(t) = \lambda q_f(t) + \dot{q}_f(t) \tag{25}$$

Sliding mode means that once the state trajectory has reached the sliding surface $S(e,\dot{e}) = 0$ the system trajectory remains on it while sliding into the origin (0,0), independently of model uncertainties, unmodeled frequencies, and disturbances, Quang (2000).

To keep the $S(e,\dot{e})$ at zero, the control law is designed to satisfy the following sliding condition (Lyapunov function):

$$V = \frac{1}{2} S(t)^T S(t) \geq 0 \tag{26}$$

Its time derivative becomes $\dot{V} = \dot{S}S$ and the control u_f is chosen such that

$$\dot{S}(t)S(t) \leq -\eta \left|S(t)\right| \tag{27}$$

where η is a positive constant that guarantees the system trajectories hits the sliding surface in a finite time. Essentially, eq. (26) states that the squared "distance" to the surface, as measured by $S^T S$, decreases along all system trajectories. Thus, eq. (27) provides a sufficient reaching condition such that the tracking error e_i will asymptotically converge to zero, Quang (2000). In order to meet that condition, the control law is chosen as follows

$$u_f = -K_s \operatorname{sgn}(S) \tag{28}$$

where the sliding gain $K_s > 0$ and sgn(S) is a sign (or signum) function, which is defined as

$$\operatorname{sgn}(S) = \begin{cases} -1 & if\, S < 0 \\ 0 & if\, S = 0 \\ 1 & if\, S > 0 \end{cases} \tag{29}$$

As explained before, using a sign function often causes a chattering problem. A proportional-integral combination of the sliding function is proposed in a boundary layer in place of the signum function by Quang (2000). This continuous controller can force the system states to reach the sliding surface and attain high tracking performance. The equation for this saturated proportional-integral functions is given by

$$\rho_{PI}(\sigma_{PI}) = \begin{cases} 1 & if\, \sigma_{PI} > 1 \\ \sigma_{PI} + K_I \int_{t_{i0}}^{t_i} \sigma_{PI} & if\, -1 \leq \sigma_{PI} \leq 1, \\ -1 & if\, \sigma_{PI} < -1 \end{cases} \tag{30}$$

where

$$\sigma_{PI} = \frac{S}{\Phi};$$

where $K_I > 0$ is an integral gain, and t_{i0} is the initial time when the system states enter the boundary layer $B(t)$ which is defined as ,Nguyen et al (2003),

$$B(t) = \{e, \left|S(e,t)\right| \leq \Phi\}, \Phi > 0 \tag{31}$$

where $|S(x,t)|$ is the distance between state e and sliding surface S, Φ is the boundary layer thickness.

If $|\sigma_{PI}| \geq 1$ the integration term in eq. (30) will be reset to zero to prepare for the system state entering boundary layer. It is assumed that the chosen integration gains K_I are sufficiently large such that

$$\dot{\sigma}_{PI} + K_I\sigma_{PI} > 0 \quad for\,all\,\sigma_{PI} > 0$$
$$\dot{\sigma}_{PIi} + K_I\sigma_{PI} < 0 \quad for\,all\,\sigma_{PI} < 0 \qquad (32)$$

Inequalities (33) imply that ρ_{PI} increases for all $\sigma_{PI} > 0$, and ρ_{PI} decreases for all $\sigma_{PI} < 0$ Nguyen et al (2003).

The overall Fuzzy PI +D control system is shown in **Fig. 2**.

Similar to the classical (PI+D) controller which uses two integrators, the fuzzy (PI + D)^2 control approach uses two fuzzy (PI + D) controllers. The first controller is used for set-point tracking control, while the second one is used for vibration damping. The block diagram of this approach is shown in **Fig. 3.**

Eight rules, “ D output” had been used for fuzzy control output. The formulation for these rules is given by Tang et al (2001).

5. Simulation Results And Discussion

The simulation results for a robotic system that has single link with one mode are discussed. The numerical model used in the simulations is illustrated below. It is derived by using the assumed modes method with clamped-free shape functions presented in section 2. The link parameters are given in **Table 1**, these parameters are taken from Azad et al (2003). One mode shape approximation is used for this example. The inertia M, stiffness K, and damping D matrices, are obtained by using the Matlab program given in Manaty (2008).

$$M = \begin{bmatrix} 1.5623 & 0.1837 \\ 0.1837 & 0.3910 \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0.1 \end{bmatrix} \quad K = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 31.6931 \end{bmatrix}$$

The simulation results of a single link with one mode approximation using controllers (the hybrid and the fuzzy (PI+D)^2) designed in section 3 and 4 to track a step reference input are shown in Fig.s 4 and 5.

4. The Fuzzy (Pi+D)^2 Controller

This approach was proposed by Sooraksa et al 1998, to control the flexible link manipulator. The overall fuzzy PI+D control law can be obtained by algebraically summing the fuzzy PI control law and the fuzzy D law together. The result is

$$u_{PID}(nT) = u_{PI}(nT-T) + K_{uPI}\Delta u_{PI}(nT) + \\ u_D(nT-T) - K_{uD}\Delta_{uD}(nT) \qquad (33)$$

In this simulation, gains for the hybrid controller are chosen as (K_P=5 and K_D = 5) for augmented controller. While the gains for the SMC (λ = 10, ϕ = 0.1, K_I = 10, K_S= 4).

A (1 radian) step reference is applied to the hybrid controller, as well as the fuzzy (PI+D)^2 controller (with K_P = 4000 and K_D = 800 for rigid part and K_P = 4000 and kD = 600 for flexible part).

The proposed hybrid controller demonstrates a significant improvement over the other controller (fuzzy (PI+D)^2) as illustrated in **Fig. 4**. The manipulator tracks the step reference trajectory with almost no overshoot or undershoots. The hybrid controller has better settling time (2.5 sec) and has virtually no ripple.

The fuzzy (PI+D)^2 controller results show that there is small oscillations in the transient response causing the step response to reach steady-state in (4.7 sec). The fuzzy controller has slightly longer settling time 3.5 sec.

The control signal for the rigid link and for the flexible mode is shown in **Fig. 8** while the tracking error signal is shown in **Fig. 6**. Both results show that the two controllers approaches give unequal torque values for the rigid link and for the deflection as shown in **Fig. 7**. It can be noticed that the error system with hybird controller reaches zero steady state error after a few seconds (3 sec) while system response when using the fuzzy (PI+D)2 controller there is (0.1) steady state error.

6. Conclusions

In this paper, a model for the single flexible-link manipulator which describes both linear and nonlinear behavior of the entire system has been developed.

Two approaches to control the flexible link manipulator are used. The first one is a hybrid (PD and sliding mode) controller. Where, the augmented PD controller is used as a hub position control while the sliding mode control is used to damp out the vibration of tip position. The second control approach is to use a fuzzy $(PI+D)^2$ controller for both, the hub angle control and tip deflection control.

The hybrid controller has a steady state error which reaches zero in a fast manner and gives good tracking to the trajectory while the fuzzy $(PI+D)^2$ has a small steady state error when both controllers try to track the step reference input.

The control torque signal for the hybrid controller shows higher initial torque and lower mean value torque signal than that using fuzzy $(PI+D)^2$.

In general the hybrid controller shows better behavior than the proposed fuzzy $(PI+D)^2$ controller for the single flexible link manipulator.

References

Alwan A. Adel, Kazem I. Bahaa, Hussein T. Mustafa “Modeling and Trajectory Control of Planar Flexible Robot Arm”, UOB Journal of applied and pure scinces, Vol. 15 No.4, pp. 1818-1826, 2008.

Azad, A. K. M., Tokhi M. O., and Anand N. , "Teaching of Control for Complex Systems Through Simulation," Proceedings of the 2003 ASEE/WFEO International Colloquium, American Society for Engineering Education, 2003.

Benati, M., and Morro A., "Formulation of Equations of Motion for a Chain of Flexible Links Using Hamilton's Principle," ASME Journal of Dynamic Systems, Measurements, and Control, vol. 116, pp. 81-88, 1994.

Book, W. J., "Modeling, Design, And Control Of Flexible Manipulator Arms: A Tutorial Review," Proceedings of the 29th IEEE Conference on Decision and Control, pp. 500-506, Dec. 1990.

Book, W.J., Maizz-Neto O., and Whitney D.E., "Feedback Control of Two Beam, Two Joint Systems with Distributed Flexibility," ASME Journal of Dynamic Systems, Measurements, and Control, vol. 97, pp. 424-431, 1975.

Boyer, F., and Coiffet,P. “Generalisation Of Newton-Euler Model For Flexible Manipulators,” Journal of Robotic Systems, vol. 13, no. 1, pp. 11-24, 1996.

Chapnik, B. V., Heppler G. R., and Aplevich J. D., "Modeling Impact On A One-Link Flexible Robotic Arm," IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 7, no. 4, August 1991.

De Luca, A., and Siciliano B., "Closed-Form Dynamic Model Of Planar Multilink Lightweight Robots," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, vol. 21, no. 4, pp.826-839, 1991.

De Luca, A., Lucibello P., and Ulivi G., "Inversion Techniques For Trajectory Control Of Flexible Robot Arms," Journal of robotic systems, vol. 6, no. 4, pp. 325-344, 1989.

Geniele, H., Patel R. V., and . Khorasani K, "End-Point Control Of A Single Link Flexible Manipulator: Theory And Experiments," IEEE Transactions on Control Systems Technology, vol. 5, no. 6, 556-560, 1997.

Hastings, G. G., and Book W. J., "A Linear Dynamic Model For Flexible Robot Manipulators," IEEE Control Systems Magazine, pp. 61-64, February 1987.

Kwatny, H. G., and Siu T. L., “Chattering in Variable Structure Feedback Systems,” Proceedings of IFAC 10th World Conference, vol. 8, pp. 307-314, 1987.

Manaty, A. M., "Hybrid Controller For A Flexible Link Robot Manipulator", Ph.D. thesis, University of technology, control and systems dept., Nov. 2008.

Natarajan, K., Yu S., and Karray F., "Modeling And Control Design For A Flexible-Link Manipulator" IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, vol. 1, pp. 117-120, issue 24-28 May 1998.

Nguyen, T. V. M., Ha Q. P. and Nguyen H. T., ”A Chattering-Free Variable Structure Controller for Tracking of Robotic Manipulators,” Faculty of Engineering, University of Technology, Sydney, 2003.

Quang, N. H., ”Robust Low Level Control of Robotic Excavation,” Ph.D., Thesis, Australian Centre for Field Robotics, University of Sydney, Mar. 2000.

Singh, S. N., and Schy A. A., "Control of Elastic Robotic Systems by Nonlinear Inversion and Modal Damping," ASME Journal of Dynamic Systems, Measurements, and Control, vol. 108, pp. 180-189, 1986

Sooraksa, P., and Chen G., ”Mathematical Modeling and Fuzzy Control of a Flexible-Link Robot Arm,” Mathematical Computation and Modelling, vol. 27, no. 6, pp. 73-93, 1998.

Spong, M. and Vidyasagar M., "Robot Dynamics and Control," McGraw-Hill, 1989.

Talebi, H. A., "Neural Network-Based Control of Flexible-Link Manipulators," Ph. D. thesis, Concordia University, Montréal, Québec, Canada, 1997.

Tang K. S., Man K. F. , Chen G. and Kwong S, “ An optimal fuzzy PID controller”, IEEE Transaction on industrial Electronics , Vol.48, No. 4, pp 757-765, Aug. 2001.

Tang, Y., Sun F., Sun Z., "Neural Network Control Of Flexible-Link Manipulators Using Sliding Mode," Neurocomputing, no. 70, pp. 288–295, 2006.

Thomson, W. T., "Theory Of Vibration With Applications," Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N. J., 2nd edition. 1981.

List of Symbols

$e(t)$	Tracking error
EI	Flexural rigidity (N.m^2)
J	Total inertia (kg.m^2)
J_h	Hub inertia (kg.m^2)
J_P	Payload inertia (kg.m^2)
K	Stiffness matrix
K_D	Derivative gain
K_S	Sliding gain
K_I	Integral gain
K_p	proportional gain
K_{UPI}	PI constant control gain
L	Lagrangain
l	Length of the link (m)
M	Inertia matrix
m_l	Mass of the link (kg)
m_p	Mass of the payload (kg)
P	Position vector of any point along the link
q	Generalized coordinate
$\dot{q}_r$	Velocity of the rigid part
$\dot{q}_r^d$	Desired velocity of joint coordinate
r	Position vector of link end
$S(t)$	Time-varying sliding surface
T	Kinetic energy
T_l	Kinetic energy for link
T_h	Kinetic energy for hub
T_p	Kinetic energy for payload
u_f	Control signal for flexible part
u_r	Control signal for rigid part
V	Potential energy
V_e	Potential energy due to elasticity
V_g	Potential energy due to garvity
$w_i(x,t)$	Deflection of a point x along the ith link
w_l	Defection at tip position (m)
θ	Joint position of the link (degree)
φ	Eigen function of the link
δ	Flexible mode of the link
$\theta_c(t)$	Position of the center of mass
ρ	Mass density (kg/m)

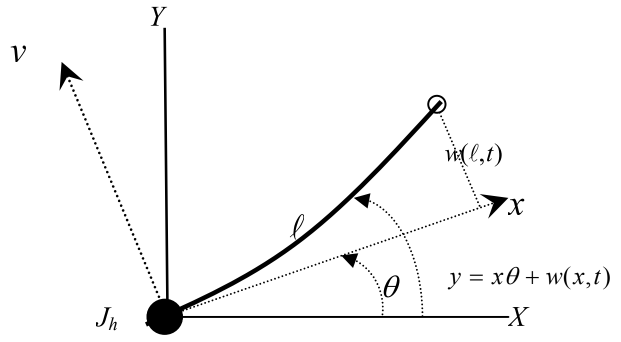


Fig. 1 Single Flexible Link Manipulator

Table 1 The Link parameters for simulation of manipulator, Azad et al 2003

Parameter	Value	Units
Length	1.22	m
Mass density	0.24	kg/m
Flexural rigidity	11.82	N . m^2
Hub mass	2	kg
Hub moment of inertia	1.35	Kg. m^2
Payload mass	0.045	Kg
Payload inertia	0.067	Kg.m^2
damping	0.1	__

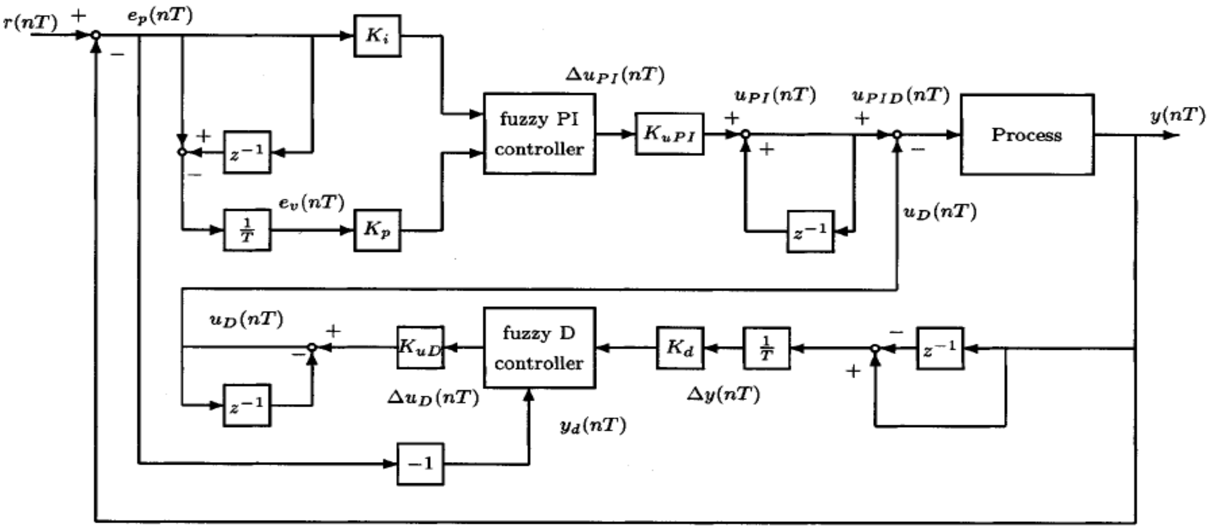


Fig. 2 Fuzzy PI+D control system Sooraksa et al 1998.

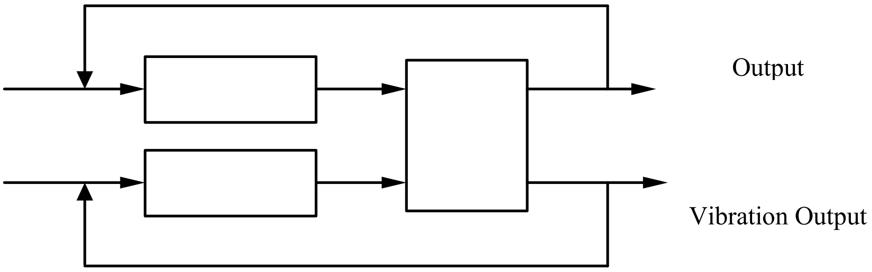
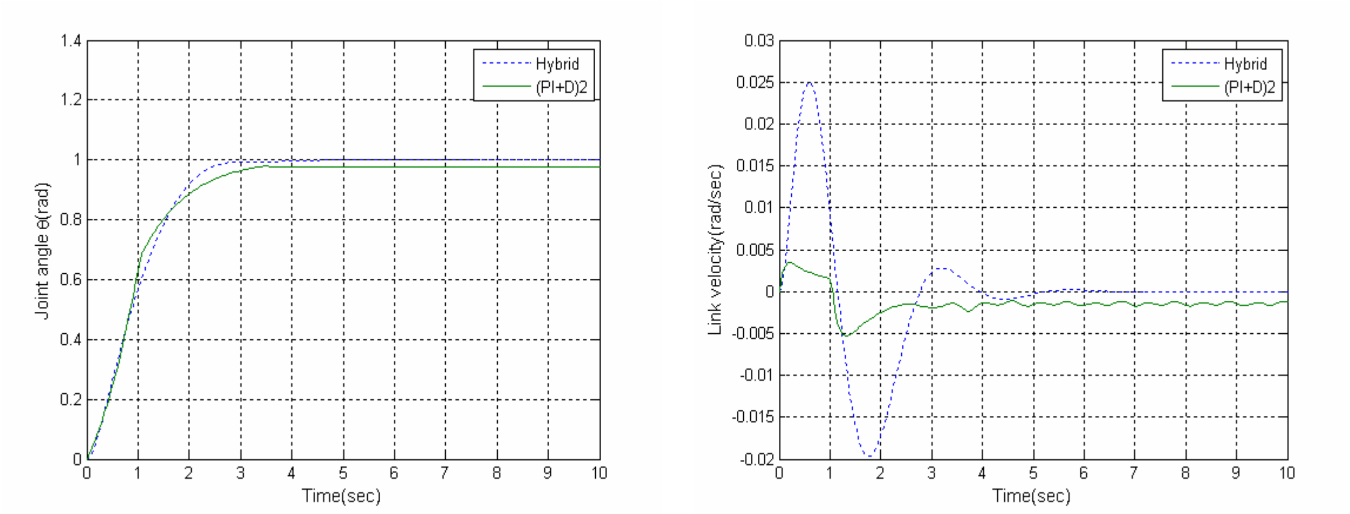


Fig. 3 The fuzzy $(PI+D)^2$ control approach Sooraksa et al 1998.

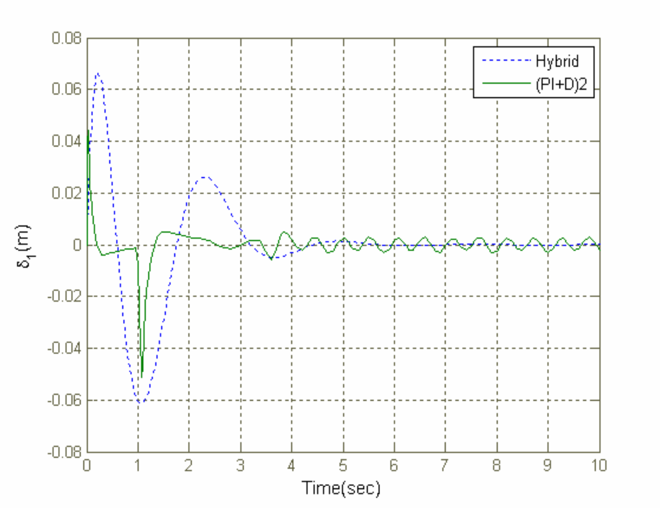


(a) Tracking position

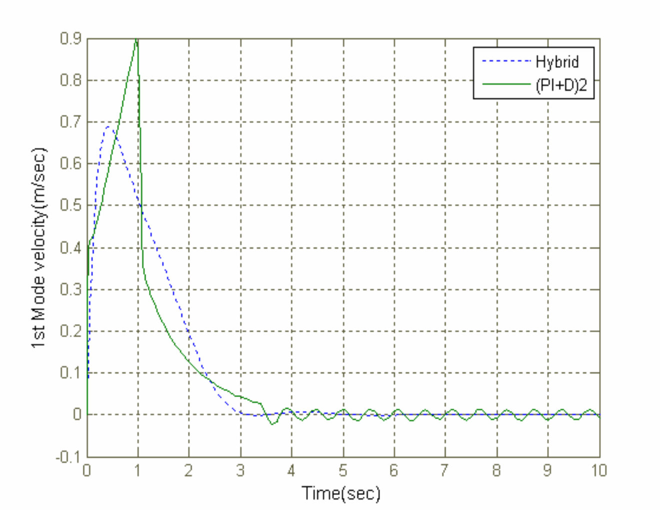
(b) Tracking velocity

Fig. 4 Comparison of tracking performance of hybrid and fuzzy $(PI+D)^2$ controllers.

Fuzzy PI+D
Controller

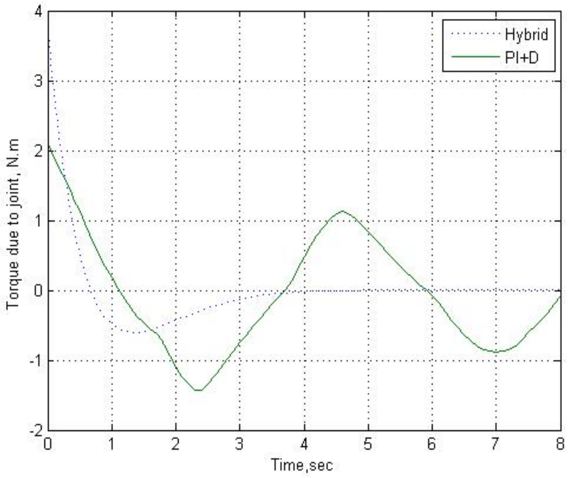


(a) Tip deflection position

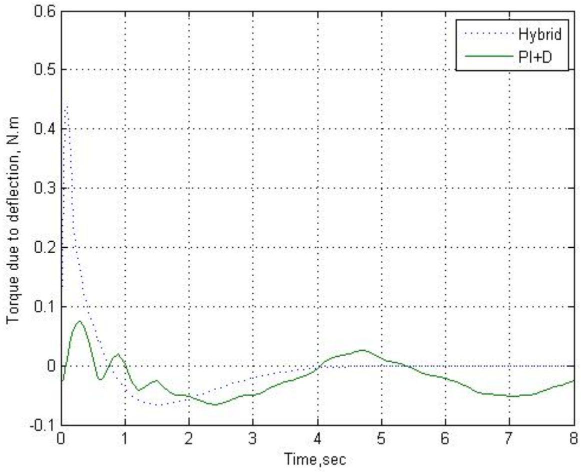


(b) Tip deflection velocity

Fig. 5 Comparison of first mode suppression performance of hybrid and fuzzy $(PI+D)^2$ controllers.

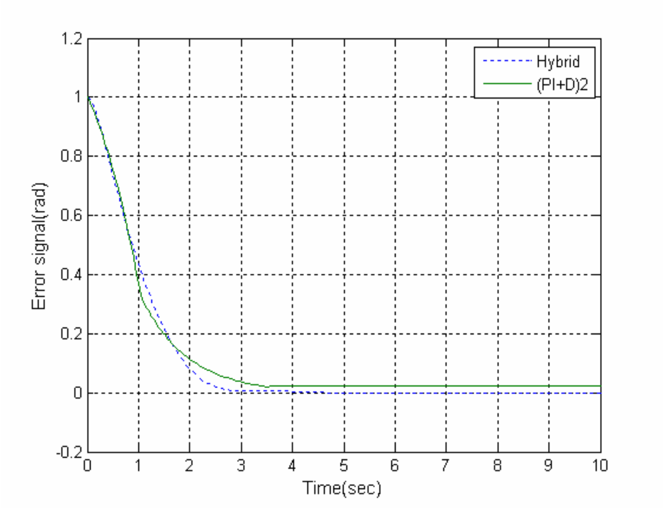


(a) Control torque signal for the rigid part.

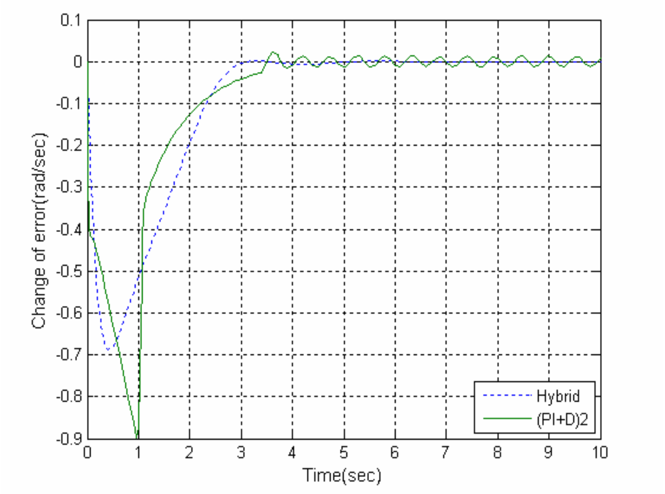


(b) Control torque signal for the flexible part.

Fig. 6 Control torque signal of hybrid and fuzzy $(PI+D)^2$ controllers.



(a) Rigid part error signal.



(b) Flexible part error signal.

Fig. 7 Tracking error signals.