

# MECHANICAL PROPERTIES OF SELF- COMPACTING CONCRETE SUBJECTED TO ELEVATED TEMPERATURES

الخصائص الميكانيكية للخرسانة ذاتية الدمك لدى تعرضها لدرجات حرارة مرتفعة

Alaa H. Atia

Lecturer in Materials Engineering Dept., Zagazig University, Egypt

خلاصة

الخرسانة ذاتية الدمك هي نوع جديد من الخرسانات ناتج من التطورات المستحدثة في مجال إضافات الخرسانة وقد أجريت العديد من البحوث على هذه الخرسانة ولكن أبحاث دراسة تأثيرات درجات الحرارة العالية على الخرسانة ذاتية الدمك كانت قليلة ويهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير الخصائص الميكانيكية للخرسانة ذاتية الدمك لدى تعرضها لدورتين من درجات الحرارة العالية ثم التبريد إما سريعاً بالماء أو في الهواء. وقد وجد أن خصائصها الميكانيكية مثل الضغط والشد ومعامل المرونة الاستاتيكي تقل تدريجياً بزيادة درجة الحرارة ثم التبريد سريعاً بالماء أما بالتبريد الهوائي فإن هذه الخصائص تتحسن بشكل ط الخرسانة ذاتية الدمك فيف بزيادة درجة الحرارة.

## ABSTRACT

*Self-compacting concrete (SCC) is a new type of concrete, resulted from the technological advancement in area of concrete admixtures. A various investigations have been carried out on SCC but the effect of elevated temperature on self-compacting concrete was of little research. This thesis aimed to study the mechanical properties of SCC such as compressive strength, tensile strength and modulus of elasticity when exposed to cycles of elevated temperatures then treated in either water quench or air cooled. In this research, the variables included were the cycle temperature (25°C, 100°C, 150°C, and 200°C) and the treatment type (water quench or air cooled) at cement content of 500 Kg/m<sup>3</sup> using ordinary Portland cement. Test results clearly show that a higher reduction in compressive, tensile strength and modulus of elasticity for SCC occur when exposed to cycles of elevated temperature then quenched in water. There was a significant increase in compressive strength, tensile strength and modulus of elasticity of SCC when cooled in air after exposing it to the same cycles of elevated temperatures.*

## KEYWORDS

Self-compacting concrete; Cycle temperature; Viscosity enhancing admixtures; Strength; Modulus of elasticity; Water quench

## INTRODUCTION

The rise in temperature of the concrete over 1000°C is enough to destroy the original material. At early stages of heating the evaporable water from concrete is lost over the range of 20°C to 110°C. Above 110°C the cement hydrates decompose, calcium hydroxide is broken down and the calcium carbonate suffers decarbonation. The aggregate also suffers changes, which contributes to the general loss of structure safety. The internal vapor, decomposition, and interface cracking cause a decrease in the strength of concrete structure [1].

Within the normal temperature, the thermal properties of concrete can be considered constant. However at elevated temperature these properties will be changed because of the change of moisture content of the concrete components and because of the progressive deterioration of the paste and in some cases of the aggregates. This process depends on the condition of exposure, the rate of temperature rise, the maximum temperature and the time taken at the elevated temperatures. The decrease in compressive strength depends on the aggregate, cement paste and the initial moisture content of the specimen. The changes in strength has been attributed to a combination of decomposition of the hydrated paste, deterioration of the aggregates and thermal incompatibility between cement paste and aggregates leading to stress concentration and micro-cracking [2].

The effect of high temperature on strength and modulus of elasticity concrete was investigated using concrete strength varied between 31.1 to 89 MPa and the temperature exposure was in the range of 23 to 800 °C. Test results indicated that exposure of concrete to temperatures in the range of 100 to 300 C decreased the compressive strength of high-strength concrete (HSC) by 15 to 20 percent. At temperatures in the range of 400 to 800°C , the compressive strength of concrete decreased to about 30 percent of its strength at room temperature. The exposure to high temperature also decreased the modulus of elasticity of concrete.[3]

The effect of fire on HSC by heating concrete to sufficiently high temperature results in loss of concrete strength. It is clear that a rapid heating of HSC can result in spalling of concrete due to the very low permeability of HSC. Another possible explanation for the observed spalling is the large thermal stresses encountered under fire conditions.[4]

E.Elshimy [5] studied the properties of cement mortars of silica fume and cement dust due to varying temperature of exposure. It is found that the compressive strength of mortar of either silica fume or cement dust replacement decrease as the temperature increases but a badly decrease in compressive strength mortar occur after exposing it to high temperature then treated with water.

SCC is a new type of concrete that can be spreaded in heavily congested regions under its own weight and without any vibration. It has excellent deformability and high resistance to bleeding and segregation. Okamura[6] proposed for SCC in 1986 so studies on the workability to develop SCC was carried out by Ozawa [7] in which the prototype of SCC was first completed using materials already on the market. Mahmoud Emam [8] attempted to produce SCC from the available materials in Egypt and investigated the workability requirements and tests for the SCC. Six different parameters as cement content, type of fine materials, content of lime stone powder, dosage of viscosity enhancing admixtures, dosage of air-entrained admixtures and dosage of superplasticizers are considered. The test results indicated that viscosity enhancing admixtures and superplasticizers is the keystone for the production of SCC.

Many researchers [9-13] studied variables as addition of fibers, maximum aggregate size, dosage of viscosity enhancing admixtures and homra powder use on properties of SCC at room temperature (25°C) but studying SCC properties at elevated temperatures was out of research. In this thesis, the mechanical properties of SCC as compressive, tensile and modulus of elasticity subjected to cycles of elevated temperatures then quickly quenched in water or cooled in air will be studied.

## **EXPERIMENTAL PROGRAM**

### **Properties of Materials Used**

#### ***Aggregates***

Gravel with nominal maximum size 14 mm was used as coarse aggregates. The properties of gravel are given in table (1). The grading for gravel was taken from fuller's grading curve in Neville [14] and the percentage taken from each size is given in table (2). The gravel content was selected low to increase the deformability of the SCC mix. Sand of 5mm as maximum aggregate size was used as fine aggregates.

#### ***Cement***

Locally produced ordinary Portland cement of Suez Company was used with cement content of 500 kg/m<sup>3</sup>.

#### ***Mixing water***

The water cement (W/C) ratio of SCC mix was low and equal 0.40 depending on the admixtures used Sikament-NN.

#### ***Superplasticizer***

Superplasticizer used in this thesis was the Sikament-NN from Sika Company that provides a very powerful fluidity effect for SCC mixes at low water cement ratio.

#### ***Viscosity Enhancing Admixture***

The Viscocrete-5-400 from Sika Company was used as viscosity enhancing admixture to increase the cohesion and gives adequate segregation resistance to SCC mixes.

#### ***Fine Powder***

Ground blast furnace slag of air cooled slag (ACS) type (70% pass from sieve size 0.125 mm) is used to reduce the inter-particle friction. The fine powder content was taken 20% as partial replacement of total aggregate content on the basis of previous experiments. The properties of ACS powder are given in table (3) and table (4) gives the chemical analysis of the air cooled slag [15].

### **Test Procedures**

This thesis purposed studying the mechanical properties of SCC when exposed to three cycles of elevated temperatures then treated in either water quench or air cooled. The variables included were cycle temperature (25°C, 100°C, 150°C, and 200°C) and the treatment type (water quench or air cooled). The three main tests on

fresh SCC, which differentiate the SCC from the ordinary concrete, were carried out. These tests were the slump flow test, V-funnel test and filling-capacity test. The test results were nearly 82 cm for the slump flow test, passing time of 7 seconds for V-funnel test and 94% for filling-capacity test which were considered excellent results for the produced SCC in accordance to the requirement mentioned in Khayat [16]

The mechanical properties investigated were compressive strength, tensile strength and modulus of elasticity. Twenty-four standard cubes of 15.24 cm in length were cast to determine the compressive strength for compression test. Forty-eight cylindrical concrete specimens of 15 cm diameter by 30 cm height were cast to determine both indirect tensile strength and modulus of elasticity of SCC. All test specimens were held in its molds for 24 hrs after casting then cured in water for 28 days. Each six cube and twelve cylindrical specimens were subjected to two cycles (72 hours in furnace at the cycle temperature and air cooled for one hour) then quickly quenched in water or cooled in air after finishing the two cycles immediately. Table (5) gives the mix constituents for the SCC mix.

## ANALYSIS AND DISCUSSION OF TEST RESULTS

### Compressive Strength

Fig. (1) shows the effect of cycle temperature on compressive strength of SCC after treating the SCC in two different media. It is clear from this figure that in water quench treatment, the compressive strength of SCC decreases as the cycle temperature increases. This decrease in SCC strength may be attributed to two reasons. Firstly, the suddenly large drop in SCC temperature (quench from the cycle temperature to 25°C) leads to the deterioration in SCC compressive strength. Secondly due to the variation of thermal expansion of SCC constituents since the aggregate thermal expansion is lower than that for cement hydrate paste, a rapid change in SCC temperature results in a sudden change in SCC volume thereby producing cracking in the SCC [1]. The percentages of decrease in SCC compressive strength were 1%, 5% and 15.3% for cycles temperatures of 100°C, 150°C, and 200°C respectively with reference to the 25°C compressive strength. Also from Fig. (1), the compressive strength of SCC increases as the cycle temperature increases after cooled in laboratory air. This can be related to the effect of exposure to cycle temperature on accelerating the pozzolanic reaction process between cement hydrates and ACS that produces additional calcium silicate hydrates i.e. more cementitious material added for SCC and so increases the compressive strength for the SCC [17]. The percentages of increase in SCC compressive strength were 1%, 3.5% and 6% for cycles temperatures of 100°C, 150°C, and 200°C respectively with reference to the 25°C compressive strength.

Fig. (2) presents the compressive strength of SCC for two different treatment types at different temperatures cycle. It is obvious from this figure that the compressive strength of SCC cooled in air was higher than that quenched in water for all temperatures cycle stated. From table (6), the percentages of increase in compressive strength of SCC cooled in air with reference to that quenched in water were 2%, 8% and 22.5% for cycles temperatures of 100°C, 150°C, and 200°C respectively. The higher compressive strength of SCC cooled in air than that quenched in water was attributed to the same mentioned reasons stated before.

### Tensile Strength

Fig. (3) describes the effect of cycle temperature on tensile strength of SCC after it quenched in water or cooled in air. It is clear from this figure that, the tensile strength of SCC decreases as the cycle temperature increases in water quench treatment. The decrease in SCC strength may be resulted from two reasons. Firstly, the suddenly large drop in SCC temperature leads to the deterioration in SCC strength. Secondly due to the variation of thermal expansion of SCC constituents (aggregate and cement hydrate paste), a rapid change in SCC volume occurs producing cracking in the SCC [1]. The percentages of decrease in SCC tensile strength were 1.5%, 5% and 14% for cycle's temperatures of 100°C, 150°C, and 200°C respectively with reference to the 25°C tensile strength.

For specimens quenched in water, the decreased percentages in SCC tensile strength are higher than that for compressive strength. This can be related to the difference in tension mode failure than compression mode failure. In tension failure mode, the failure occurs via tensile separation of bonded particles of aggregate and cement paste but for compression case the mode of failure occurs via resolved shear planes.

The tensile strength of SCC increases as the cycle temperature increases after being cooled in laboratory air as shown in Fig. (3). This increase in SCC tensile strength may be attributed to the increasing reactivity of pozzolanic reaction between the cement hydrates and ACS as the cycle temperature increases that add more cementitious material for SCC thereby increasing its tensile strength [17]. The percentages of increase in SCC tensile strength were 1%, 2.3% and 7% for cycle's temperatures of 100°C, 150°C, and 200°C respectively with reference to the 25°C tensile strength.

Fig. (4) illustrates the tensile strength of SCC for two different treatment types at different temperatures cycle. It is clear from this figure that the tensile strength of SCC cooled in air was higher than that quenched in water for all temperatures cycle stated. The percentages of increase in tensile strength of SCC cooled in air with reference to that quenched in water were 2.5%, 7.8% and 26% for cycles temperatures of 100°C, 150°C, and 200°C respectively as presented in table (6).

### Modulus of Elasticity

Fig. (5) shows generally that the modulus of elasticity of SCC quenched in water decreases as the cycle temperature increases. This decrease in SCC strength may be attributed to the same mentioned reasons stated before. The percentages of decrease in SCC modulus of elasticity were 1.5%, 8% and 20% for cycles temperatures of 100°C, 150°C, and 200°C respectively with reference to the 25°C tensile strength.

Also, the modulus of elasticity of SCC increases as the cycle temperature increases after cooled in air as presented in Fig. (5). This increase in SCC modulus of elasticity may be attributed to the mentioned reasons stated before for the compressive strength of SCC. The percentages of increase in SCC modulus were 1%, 2% and 7% for cycles temperatures of 100°C, 150°C, and 200°C respectively with reference to the 25°C modulus of elasticity.

Fig. (6) illustrates the modulus of elasticity of SCC quenched in water or cooled in air after exposure to different temperatures cycle. It is obvious from this figure that the modulus of elasticity of SCC cooled in air was higher than that quenched in water for all temperatures cycle stated. From table (6), the percentages of increase in modulus of elasticity of SCC cooled in air with reference to that quenched in water were 2.7%, 12% and 33.7% for cycles temperatures of 100°C, 150°C, and 200°C respectively.

There was relatively similar behavior for SCC test results in compressive strength and modulus of elasticity tests since both test specimens are loaded axially compression.

## CONCLUSIONS

The following conclusions can be drawn from the experimental test results:

- The compressive strength, tensile strengths and modulus of elasticity of SCC decrease as the cycle's temperatures increases after water quench treatment.
- The studied mechanical properties of SCC significantly increase as the cycle's temperatures increase after cooled in air.
- It is recommended not to use water for extinguishing SCC when exposed to elevated temperature.
- The most mechanical property that is affected badly by water quench treatment was the modulus of elasticity after being subjected to cycles of elevated temperatures.
- A relatively similar behavior was found for SCC in compressive strength and modulus of elasticity test results.

## REFERENCES

- [1] J.M, Luston, "Concrete, Timber, Metals" Van Nostrand Reinhold Co. Ltd, PP. 556, 1979
- [2] Sidney Mindness, "Concrete" Prentice-hall Inc., England Cliff, PP. 521, 1981
- [3] Castillo, C. and Durrani, A. J. " Effect of Transient High Temperature on High-Strength Concrete " ACI Materials Journal, Vol. 87, No. 1, Jan-Feb 1990 pp 47-53.
- [4] Daniel R. Flynn "Response of High Performance Concrete to fire Conditions : Review of Thermal Property Data and Measuring Techniques " Metsys Corporation, Millwood, Gaintherburg, March 1999
- [5] E. Elshimmy " Effect of High Temperature on the Properties of Cement Mortars with Different Cementitious " Engng. Res. Jour., Vol. 53, PP. 126-137, June 1997

- [6] Okamura H, and OZAWA, K. "Mix-design for Self-Compacting Concrete", Concrete Library, JSCE, No. 25, pp.107-120, June 1995.
- [7] Ozawa K., Kunishima, M., Maekawa, K. and Ozawa, K. " Development of High Performance Concrete Based on the Durability Design of Concrete Structures ", Proceedings of the second East Asia and Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC-2), Vol. 1, pp. 445-450, January 1989.
- [8] Mahmoud Emam " Self-Compacting Concrete, How to Produce It " Mansoura Engineering Journal, (MEJ), Vol. 26, No. 3, September 2001.
- [9] Balaha, M.M., " Influence of type and content of fibers on the performance of Self-Compacting Concrete " Engineering Research Journal, Vol. 24, No. 4, October 2001, PP. 233-244.
- [10] Abdel- Rahman, A. G., " Mechanical properties of Self-Compacting Concrete" Engineering Research Journal, Vol. 25, No. 2, April 2002, PP. 1-11.
- [11] Abdel- Rahman, A. G. and Balaha, M.M., " properties of Self-Compacting Concrete in fresh state "Engineering Research Journal, Vol. 25, No. 1, January 2002, PP. 95-105.
- [12] Nasr, E.A., " Effect of mix properties on the slump flow of Self-Compacting Concrete " Civil Engineering Research Magazine (CERM), Vol. 23, No. 3, July 2001, PP. 832-839.
- [13] Sabry A. Ahmed " Use of Homra Powder in Self-Compacting Concrete " Engineering Research Journal, Vol. 25, No.4, October 2002, PP. 91-105.
- [14] A. M. Neville. " Properties of Concrete " The English Language Book Society and Pitman, Third Edition, 1981, pp. 174.
- [15] M. E. A. Metwally, S. A. Ahmed, and M. M. Balaha " Properties of Crushed Blast Furnace Slag Mortars " Six International Conference for Building and Construction, Vol.1, June 1999, PP. 497-505.
- [16] K. Khayat " Workability, Testing, and Performance of Self -Compacting Concrete" ACI Material Journal, V.96, No. 3, May-June 1999, PP. 346-353
- [17] Escalante-Garcia, J. I., and Sharp, J. H., "Effect Of Temperature On Hydration Of The Main Clinker Phases In Portland Cements: Part II, Blended Cements" Cement and Concrete research, 1998, Vol. 28, No. 9, PP. 1259-1274.

**Table (1): Properties of Gravel.**

Property	Gravel
Specific gravity	2.65
Absorption %	1.25 %
Bulk density	1700 kg/m <sup>3</sup>
Crushing value	16 %

**Table (2): Coarse aggregate grading for the two mixes.**

Aggregate size (mm)	percentage by weight from the total coarse aggregates
14	0
10	41
5	59

**Table (3): Properties of air cooled slag.**

Property	Air cooled slag
Specific gravity	2.85
Absorption %	4.4 %
Bulk density	1710 kg/m <sup>3</sup>
Fineness	75% pass from sieve size 0.125 mm

**Table (4): Chemical analysis of air cooled slag.**

Compound	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>
Percentage.	39.53	11.97	0.63	32.45	2.98	1.83



**Table (5): Mix constituents by weight, Kg/m<sup>3</sup> for SCC mix**

Mix Constituent	Cement	Gravel	Sand	(ACS)**	Water	Superplasticizers	Viscosity admixtures
Quantities	500	797	620	354	200	8	10.5

(ACS)\*\*: Ground blast furnace slag of air cooled slag type.

**Table (6): Experimental test results.**

Property	Cycle Temperature	Treatment type	
		Water quench	Air cooled
Compressive strength (kg/cm <sup>2</sup> )	25 °C	425	425
	100 °C	423	431
	150 °C	408	440
	200 °C	377	452
Tensile strength (kg/cm <sup>2</sup> )	25 °C	35	35
	100 °C	34.5	35.3
	150 °C	33.2	35.8
	200 °C	29.7	37.4
Modulus of elasticity (kn/cm <sup>2</sup> )	25 °C	35	34.5
	100 °C	34	34.9
	150 °C	31.7	35.5
	200 °C	27.9	36.9

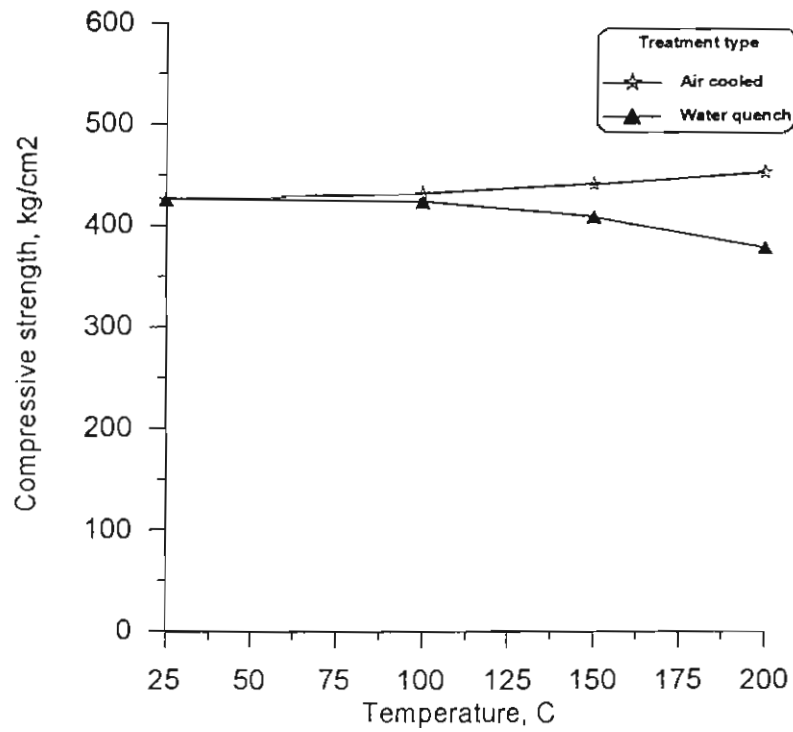


Fig (1) : Effect of temperature cycle on compressive strength of SCC for different treatment Types.

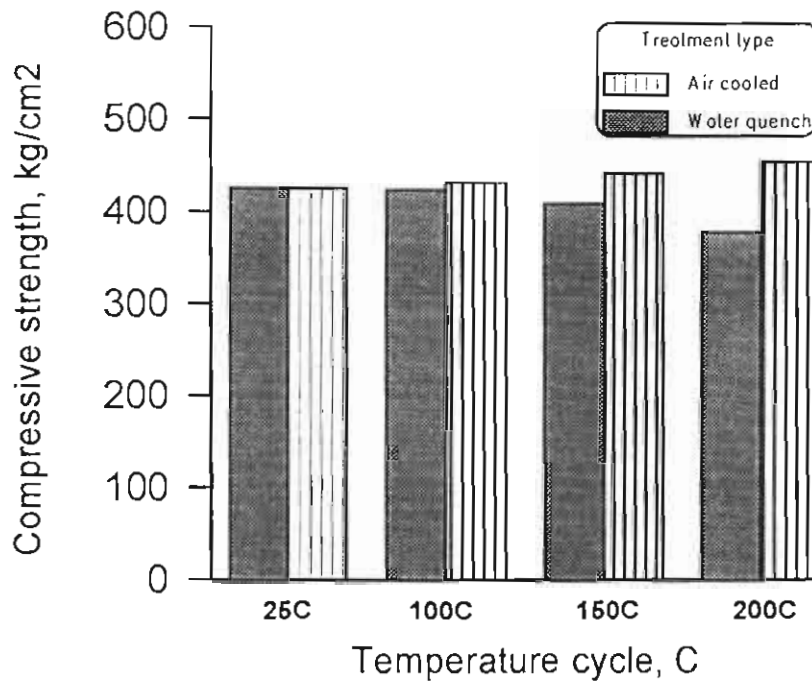


Fig. (2) : Compressive strength of SCC for different treatment types at different temperatures cycle.

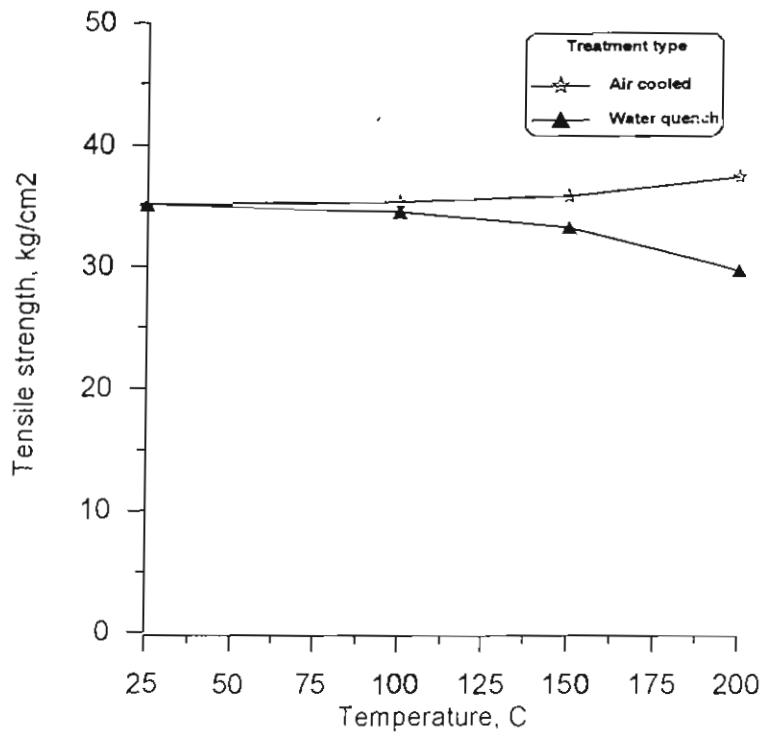


Fig (3) : Effect of temperature cycle on tensile strength of SCC for different treatment types.

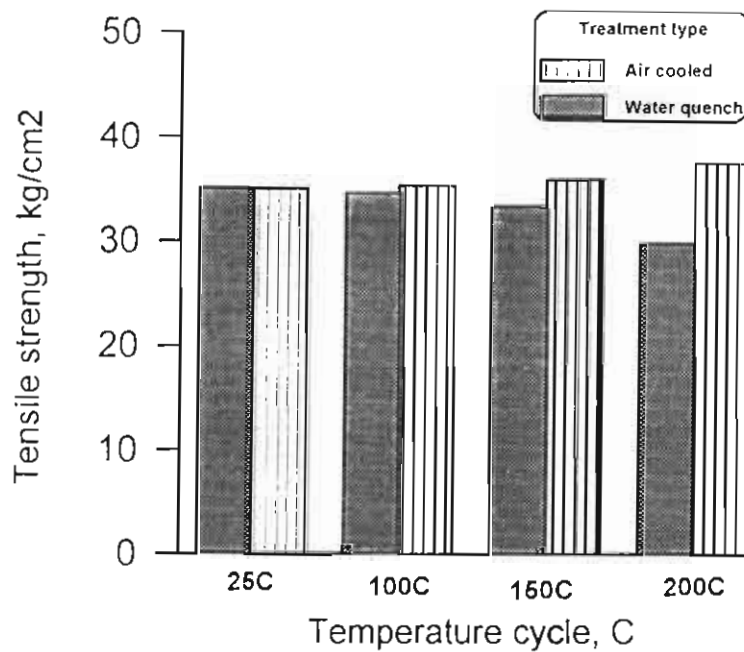


Fig (4) : Tensile strength of SCC for different treatment types at different temperatures cycle.

خطوات البحث :

تشمّل منهجية البحث :

- دراسة تطوير الغلاف الخارجي للمبني باستحداث مواد جديدة .
- دراسة خصائص مادة البوليكربونيت الفزيوحرارية .
- مقارنة بينها وبين الزجاج لبيان أهمية استخدامها .
- عرض لبعض النماذج التطبيقية للمادة .
- مناقشة مميزات المادة والوصول إلي النتائج والتوصيات .

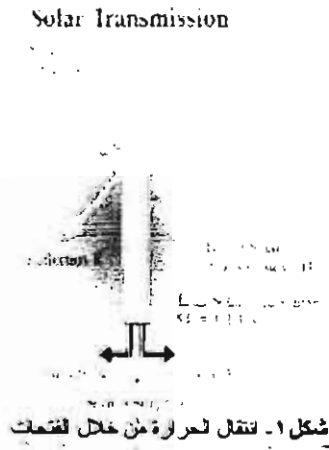
الفتحات الخارجية كمصدر حراري :

تعتبر الفتحات من أحد أهم المؤثرات على الوسط الحراري داخل الفراغ حيث تمثل الانتقالية الحرارية من خلالها نحو ثلاثة أضعاف الحوائط الخارجية ، كما يلعب الاشعاع الساقط علي النافذة دوراً هاماً في تحديد كمية الحرارة الداخلة للفراغ وحيث تعتبر وظيفة الفتحات هي نقل الضوء إلي الداخل فإنها تستقطب أيضاً حرارة حيث تنقسم الموجات الطولية إلي ٤-٧. ميكرون اضاءة وأكثر من ٧. حرارة وحيث أن متوسط الاشعاع النافذ من الزجاج يتراوح من ٤-٢,٥ ميكرون فإن الزجاج يمكن أن يمنع هذه النفاذية للموجات الطولية إلي نحو ١٠ ميكرون (Givoni 69) وهكذا فإن استخدام بدائل حديثة للزجاج للتقليل من النفاذية الحرارية وهي الهدف من البحث .

يشعر الانسان بالراحة الحرارية عندما يتحقق الاتزان الحراري للجسم وهي الحالة التي تتساوي فيها الحرارة المفقودة مع الحرارة المكتسبة وذلك من خلال علاقة التبادل الحراري بين جسم الانسان وجده والعناصر المؤثرة المحيطة عن طريق التوصيل والحمل والاشعاع (د.صلاح السيد ٨٧) ويكون التوصيل والانتقال عن طريق سطح النافذة متمثل في درجات الحرارة والاشعاع الساقط عليها.بينما يبلغ تأثير الاشعاع والذي يعتمد علي نوع السطح

المستقبل ضعف درجات الحرارة ويختلف من سطح لآخر (Ingersall,86) كما يعتبر الاشعاع الساقط من أهم العوامل المؤثرة علي اكتساب أوفقد الحرارة حيث تبلغ درجة حرارة الاشعاع ضعف درجة الحرارة الجافة (د. شفق الوكيل ٨٥) .

ويهدف العزل الحراري إلي التقليل من انتقال الحرارة خلال الفتحات والعكس (شكل ١). ويمثل السطح النافذ حوالي ٨٠% من مكونات الفتحة من هنا يكمن دورالسطح الزجاجي الشفاف في نفاذ الحرارة.وتتأثر درجة حرارة

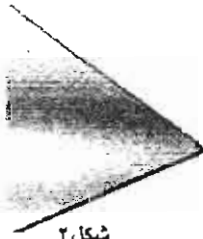


الهواء بالأشعاع المباشر + الحرارة المكتسبة للزجاج أو المادة المزججة طبقاً للمعادلة  $Dt+R+A=I$  حيث الأشعاع المباشر المنفذ DT الأشعاع المنعكس R والأشعاع الممتص A (Ingersall,86). ويتراوح معامل المقاومة الحرارية للنوافذ ٠.٧٥ - ١.٧٦ م<sup>٢</sup>/وات ويختلف باختلاف نظام الزجاج كلما زاد هذا المعامل كلما زادت مقاومة النافذة للاكتساب الحراري 85 (Ned Nisson) وفيما يلي الخصائص الفيزيولوجية الحرارية لمادة البولي كربونيت والتي تميز بها عن الزجاج .

#### الخواص الفيزيولوجية الحرارية لمادة البولي كربونيت :

يبحث المعماري عن الشكل الجمالي بالإضافة إلى التصميم الحر فتتعدد المواد المنتجة من البولي كربونيت كمادة مصمتة أو متعددة الطبقات لكل من خصائصها وتطبيقاتها المناسبة لها وقد ظهرت هذه المادة منذ أكثر من ثلاثين عاماً وهي مادة شفافة لها سلوك خاص حيث أنها ناتجة من تفاعلات كيميائية من مشتقات البترول والكاربون. وتتقسم ألواح البولي كربونيت إلى :

#### أولاً : الألواح المصمتة Solid Sheets (شكل ٢)



شكل ٢

الألواح البولي كربونيت المصمتة

وتتمثل أحد أنواع البولي كربونيت الشفافة والمسنفرة يمكن تشكيلها على البارد وتمثل حماية من أشعة ال UV (الأشعة فوق البنفسجية) من الجانبين مما يزيد من مقاومة العوامل الجوية حوالي ٩٨% يمكن تطويعه وتشكيله ليأخذ شكل المنحني والقنوات ويتناسب سمك الألواح

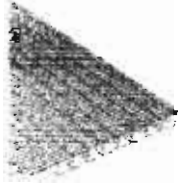
مع قطر الانحناء مثلاً سمك ٥ مم يناسبه ٧٥٠ سم وهكذا - من الناحية الاقتصادية مقاومته للكسر لها مقاومة خاصة تمثل ٢٠٠ مرة الزجاج مما يخفض من مبلغ الصيانة ويقلل من الطاقة المفقودة، ويمكن نقله بسهولة من مكان لآخر بدون هالك سهل التقطيع. له قدرة عالية لمقاومة النفاذ الحراري داخل المباني وفيما يلي (جدول ١) يوضح بعض الخصائص الفيزيولوجية الحرارية للمادة .

معامل التظليل	الانعكاسية	نفاذية الأشعة الشمسية	نفاذية الضوء	ألواح البولي كربونيت مم
٩٤.٠%	٩%	٨٤.٠%	٨٤.٠%	أبيض شفاف
٧٥.٠%	٧%	٦٥.٠%	٥٠.٠%	أبيض مسنفر
٦٧.٠%	٧%	٥٥.٠%	٥٠.٠%	برونز
٣٨.٠%	٥٢%	٣٣%	٢٥%	مسنفر أبيض ذو مقاومة حرارية عالية

جدول ١ الخصائص الفيزيولوجية الحرارية للمادة - GE Polycarbonates sheets 96

وحيث أن الضوء ينفذ من الألواح الشفافة بقيمة ٧٥-٨٧% تتراوح طبقاً لسماك اللوح فيفضل في الواجهات الجنوبية والغربية استخدام الألواح البرونزية أو الرمادية والمسنفرة مما يخفض من دخول الأشعة الشمسية وبالتالي يخفض من استهلاك الطاقة الموجبة وهو ذو حماية عالية ضد امتصاص الأشعة فوق البنفسجية وضد الاصفرار أو الخدش.

- له مقاومة عالية ضد الكسر حيث يستخدم في مجمعات الاسكواش والأماكن المرئية ويستخدم كواطع داخلية في الأماكن الإدارية. يمكن ثنيه على البارد لعمل قبوات وفتحات مستديرة والبلكونات والسلالم وأسقف ال skylight لتغطية الفراغات المستديرة مثل حمامات السباحة وأسقف المصانع . يمكن عزل الصوت بعمل طبقتين بفواصل سم .



### ثانياً: البوليكرينونيت المتعدد الطبقات: Structured sheets (شكل ٣)

هونوع من التركيبات تزيد من المقاومة الحرارية عن طريق الهواء المحصور في الفراغات البينية وتنتقل الحرارة بالتوصيل عبر الفراغات الهوائية والتي تعمل كعازل حراري. وكلما زادت الطبقات زاد معامل المقاومة الحرارية وكذلك زيادة عدد المسافة بين الطبقات فنجد أنها مادة خفيفة لا تؤثر تعدد الطبقات علي زيادة ملحوظة بالوزن مقارنة بالزجاج.

- تناسب طبقات متعددة تغطية المناطق الخدمية والترفيهية والصناعية للمساحات الواسعة والتي يراد تشكيلها. وتمثل ألواح البوليكرينونيت المتعددة الطبقات خاصية مميزة حيث أن لها طبقة حماية من ال UV من الجهة المعرضة للأشعة الخارجية تلائم الأماكن الخاصة المطلوب بها الإقلال من تأثير الاكتساب الحراري. مثل Skylight والقبوات والأسقف العلوية للمصانع والأسواق التجارية حيث أن لها نفاذية عالية للضوء دون إحداث زغلة.

- يحدث الاكتساب الحراري الشمسي من الأشعة الشمسية النافذة تزيد من الطاقة المكتسبة وتخفيض هذه الألواح من نفاذية الإشعاع الشمسي بحوالي ٦٩% من هذا النفاذ الحراري ويمكن أن يصل إلي ٤٥% ( Marlon fs-2000 ) ويعمل هذا علي تخفيض طاقة التبريد ويعمل أيضا كعازل يخفض من الحرارة المفقودة أثناء الليل أو عند الاحتفاظ بالحرارة.

- يعمل كعازل لل UV وللعوامل الجوية - غير قابل للكسر أو للإصفرار . وهي مادة سهلة التقطيع يمكن لصقها بسهولة بمادة إيبوكسية أو من بوليثيرين سهلة التنظيف بالماء والمنظفات العادية أو الكحول ويتم تركيبه علي حلوق خشبية أو ألومنيوم أو PVC - يمكن استخدامها كحوائط داخلية من سمك ٢٠-٣٠ سم - ممرات للمشاه وتغطيات لحمامات السباحة.

## توفير للطاقة الحرارية داخل المباني:

يمكن أن توفر حوالي ٤٠% عن الزجاج التقليدي ويمكن أن تزيد هذه النسبة عند استخدامها كطبقة عازلة مع الزجاج التقليدي .

## خصائص المادة الطبيعية :

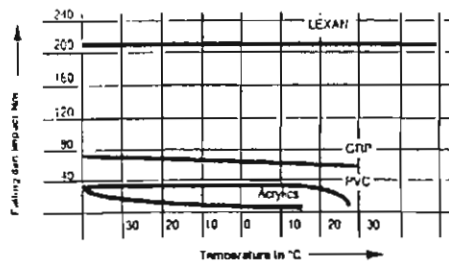
شفافة - برونز - مسنفر - ضد الحرارة - مسنفر برونز - حيث تنتج في طبقات ثنائية وثلاثية وحتى خمس طبقات ويعطي اللون برونز خصوصية للمكان مع السماح بمرور ضوء خفيف كما أن لها خاصية للحماية من الشمس عن الزجاج المزوج وتعمل بذلك كعازل للفراغ الداخلي ويوضح (جدول ٢) بعض خصائص الألواح متعددة الطبقات:

السماك							
٢٠	١٦	١٠	٨	٦	٤,٥	٤	
٣١٠٠	٢٧٠٠	٢٠٠٠	١٥٠٠	٢١٠٠	١٠٠٠	٨٠٠	للوزن جم/م <sup>٢</sup>
							نفاذية الضوء %
٧٧	٧٩	٨٢	٨٦	٨٨	٨٨	٨٨	شفاف
٣١	٣١	٤٦	٤٦	٥٥	-	-	برونز
٦١	٦٤	٦٤	٦٦	٧٠	٧٠	٧٠	مسنفر طبقتين
٥٠	٥١	٥١	٥٧	٥٩	٦٣	٦٦	مسنفر ٣ طبقات
٤٥	٥٢	٥٩	٦٦	٧١	٧٤	٧٩	نفاذية الأشعة الشمسية %
١,٩	٢,٢	٢,٨	٣,٤	٣,٦	٣,٩	٣,٩	u-luew/m <sup>2</sup> k
٢٢	٢١	٢١	١٩	١٩	١٨	١٨	عزل الصوت db

جدول ٢) بعض خصائص الألواح متعددة الطبقات GE- Structured Products 2000

## خصائص مادة البولي كربونيت مقارنة بالزجاج:

- لها قوة ضغط عالية تتحمل الكسر عند ٢٠٠ Nm عن المواد الأخرى من الزجاج وخمسة

شكل ٤ - قوة تحمل المادة ضد الكسر  
GE- Polycarbonates Sheet 96

ضعاف الأكريليك (شكل ٤). مقاوم للكسر البيئي مما يجعله مادة آمنة للمناطق السكنية والتجارية .

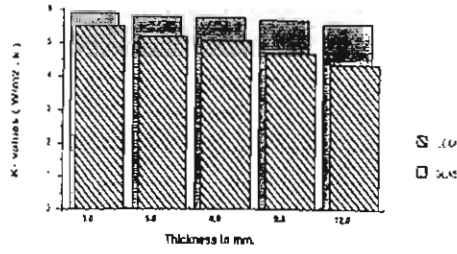
- لها أداء حراري متميز ويوضح (جدول ٣)

مقارنة بين المقاومة الحرارية لمادة

البولي كربونيت والزجاج لنفس السمك كما

يوضح (شكل ٥) قيمة الأداء الحراري للمادة

والتي تزيد كلما زاد سمك اللوح.

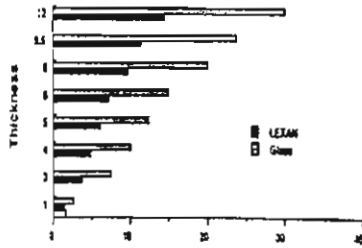


شكل ٥- مقارنة بين الأداء الحراري

للزجاج والبوليكربونيت-GE-Poly. Sheet 96

الزجاج	ألواح البوليكربونيت	السمك (مم)
٥,٨٨	٥,٦٦	
٥,٨٧	٥,٤٩	
٥,٨٢	٥,٢١	
٥,٧٧	٥,٠٩	
٥,٧١	٤,٨٤	
٥,٦٦	٤,٦١	
٥,٥٨	٤,٣٥	

جدول ٣- المقاومة الحرارية لمسانتي البوليكربونيت والزجاج Marlon fs-2000



- سهلة التقطيع بدون هوالك وسهلة التركيب لها قابلية التشكيل على البارد .

- يقل وزن البوليكربونيت بنحو نصف وزن الزجاج تقريبا وهو ما يعطي ميزة لاستخدامه وسهولة تناوله (شكل ٦).

- له مقاومة عالية لأشعة الشمس وخاصة الضارة منها

التي تفوق بنفسجية فتعكس نحو ٩٨ % منها مقاوم

للأحماض والمواد الكيميائية ومقاوم للعوامل الجوية

وخاصة التغير في درجات الحرارة الخارجية أكثر من الزجاج .

- لا يتأثر بمواد البناء العادية من خرسانة وطوب وغير ذلك وله خواص مقاومة الحريق

وتؤخر من زمن الحريق .

- له خصية متميزة لامتصاص الصوت بنحو ١٠ % عن الزجاج .

### الخلاصة :

- تعتبر منتجات البوليكربونيت مواد تكنولوجية متطورة تفي باحتياجات عملية البناء اذ خلقت

كمادة تستعمل في الغلاف الخارجي للمبني وكتغطية علوية وكذلك كحواط داخلية ( قواطع )

حيث ينتشر استخدام ألواح البوليكربونيت في دول العالم المتقدمة. لها معالجة ضد الأشعة

فوق البنفسجية وضد للكسر والصدمات وخفيفة للوزن مما يسهم في سهولة النقل. وتوفر هذه



الضوء بكفاءة أكبر حيث تحد من نفاذية الأشعة الضارة من الأشعة فوق البنفسجية كما تعكس الأشعة تحت الحمراء بنسبة ٤٠% أكثر من الزجاج بنفس السمك. وينعكس نحو ٤٠% من كمية الأشعة الساقطة على ألواح البوليكربونيت وينفذ نحو ٣٠% إلى داخل الفراغ

- تنتج في ألواح مصممة ومتعددة الطبقات لكل منها استخداماته الخاصة في الفراغات المعمارية فيستخدم في المباني التعليمية والمكتبات العامة من الألواح المصممة الشفافة بحيث تنفذ أكبر كمية من الضوء بينما نجد أن استخدام الألواح البرونزية أو الأزرق المصممت للواجهات الجنوبية الغربية حيث تقلل من شدة نفاذية الأشعة الشمسية وبالتالي تخفض من التوصيلية الحرارية حسب سمك اللوح، ولما تتميز به من صلابة وقوة تحمل ومقاومة للكسر فتستخدم في واجهات البنوك والمباني المؤمنة ضد السرقة والمعارض الفنية حيث يمكن أن يستخدم في المعارض والمتاحف لحماية المعروضات وفي نفس الوقت هي مادة شفافة .

- ويستخدم متعدد الطبقات في الأسقف العلوية للتغطيات الخاصة لحمامات السباحة والمراكز التجارية والإدارية والمطارات حيث يمكن تشكيله بسهولة ويعطي التعدد في طبقاته الفرصة أكثر لعزل الفراغ حرارياً ليخفف نحو ٤٠% من الطاقة الحرارية داخل الفراغ كما يستخدم المستشفيات ومحطات الركاب. ويستخدم اللون البرونز مثلاً في البلكونات الخارجية والفراغات التي تحتاج إلى الخصوصية حيث يتناسب كل نوع مع مكان تركيبه في الغلاف الخارجي والعلوي والتصميم الداخلي. وتعد ألواح البوليكربونيت المعالج حرارياً غير الشفاف له أعلى نفاذية للضوء نحو ٨٢% وفي نفس الوقت لا ينفذ الأشعة فوق البنفسجية وهو مادة غير ضارة بيئياً ويستخدم في الواجهات المعرضة للشمس أطول مدة مثل الواجهات الجنوبية والغربية .

- وعند مقارنة التوصيلية الحرارية لمادة البوليكربونيت بالنسبة للزجاج بنفس السمك نجد أنها تقل نحو من ٢٠-٣٠% حسب لون اللوح .

- نجد من التجارب أن زجاج سمك ٤م حقق توصيلية حرارية ٥,٨ وات/م<sup>٢</sup>م ولوح الليكسان ٣,٠٠ وات/م<sup>٢</sup>م وهو ما يمكنه تخفيض نسبة ترشيد الطاقة الكهربائية إلى نحو ٤٢% فتقل التوصيلية الحرارية إلى نحو ١,٢ وات/

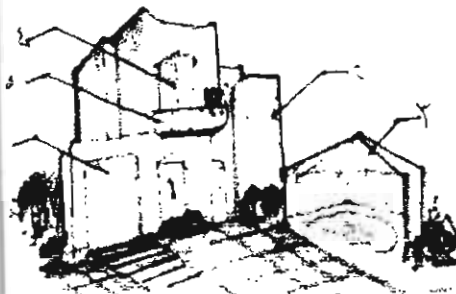
م<sup>٢</sup>م عند استخدام لوحين مزدوجين من البوليكربونيت.

#### مقترح تطبيقي: (شكل ٧)

ونعرض فيما يلي نموذجاً تطبيقياً للمادة من خلال مقترح لفيل سكنية يستخدم فيها الآتي :

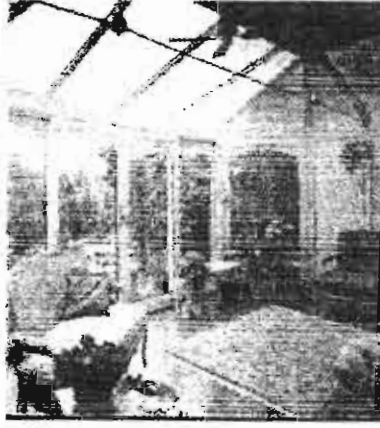
١- ألواح مستفزة مصممة ضد الكسر للمداخل الرئيسية

٢- ألواح مستفزة للمسلم حيث يمكن تشكيلها بسهولة .



شكل ٧- مقترح تطبيقي لاستخدامات ألواح البوليكربونيت - الباحثة

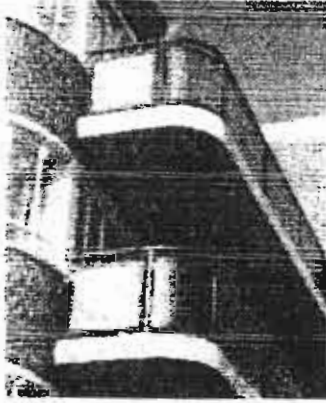
- ٣- تغطية لحمام السباحة متعدد الطبقات الشفاف لنفاذ الضوء لاحتساس باستمرارية الفراغ  
 ٤- ألواح مصمتة شفافة أورمادية للنوافذ الخارجية حسب اتجاه الواجهة  
 ٥- استخدام اللون البرونزي لاضفاء الخصوصية في البلكونات الخارجية  
 ٦- استخدام ألواح البوليكربونيت متعددة الطبقات ليوابة الجراج للحماية من السرقة .  
 وفيما يلي عرض لنماذج تطبيقية استخدم فيه البوليكربونيت في المباني الادارية والفراغات المعيشية حيث تتداخل الطبيعة مع الفراغ وتقلل من التوصلية الحرارية كما يستخدم كقواطع داخلية وفي التراسات الخارجية وتغطيات حمامات السباحة والمباني العامة :



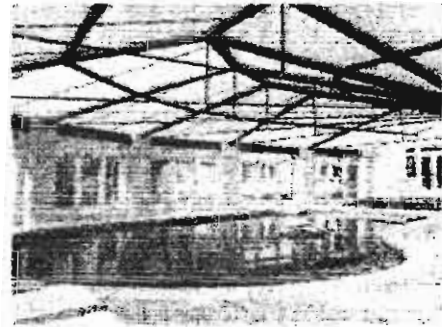
شكل ٩- في الفراغات المعيشية لتقليل  
 التوصلية الحرارية Marlon fs2000



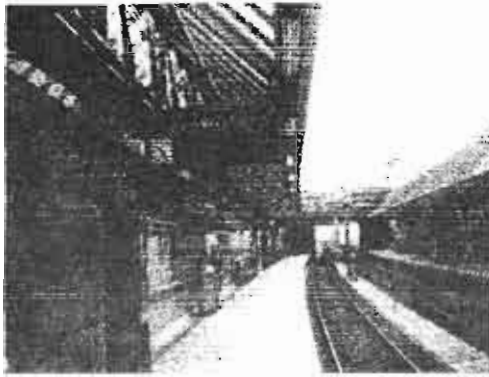
شكل ٨- في البنوك والمباني الادارية (الباحثة)



شكل ١١- يستخدم اللون البرونزي في  
 التراسات 1999 - Lexan St 5000



شكل ١٠- تغطية حمامات السباحة  
 Marlon fs 2000



شكلي ١٣،١٢- في المطارات ومحطات القطارات  
( الباحثة ) ألمانيا

### النتائج والتوصيات :

- ١- تستخدم البوليكرينونيت كمادة بديلة للزجاج تعمل عازل حراري للفراغات وتخفض من الاكتساب الحراري للأشعة الشمسية حيث يمكن التوسع في تصميم فتحات انارة في الواجهات الغربية والجنوبية مع اختبار ألوان رمادية أو برونزية لحجب الأشعة الضارة والسماح بِنفاذ الضوء الطبيعي وفي الوقت ذاته تسمح للمعماري بالتفكير الحر للفراغات ذات البحور الكبيرة حيث أعطت المادة مرونة في التغطية وفي نفس الوقت توفير الطاقة الحرارية وبالتالي توفير الطاقة الموجبة من استهلاك الطاقة الكهربائية .
- ٢- المادة متعددة الخصائص ولها أنواع متعددة تنافس مادة الزجاج من حيث أنها تقل بنسبة تصل إلي نصف وزن الزجاج وسهلة النقل ومقاومة للخدش فيقل ذلك من الهالك الذي يتكون نتيجة أعمال النقل والتركيب .
- ٣- تتميز المادة بأنها تعكس الأشعة الضارة لتصل إلي ٩٨% من الأشعة فوق البنفسجية
- ٤- تتميز المادة بأن لها مقاومة عالية للنفاذية الحرارية فتناسب أجواءنا الحارة وخاصة بالنسبة عند اختيار المعماري للألوان الرمادية والبرونزية حيث تقل النفاذية الحرارية نحو ٤٠% عن الزجاج مما يوفر في استهلاك في الطاقة الكهربائية داخل المباني السكنية والعمارة .

### التوصيات :

مما سبق نوصي بالتوسع في استخدام تطبيقات مادة البوليكرينونيت في تصميم الغلاف الخارجي للمباني من فتحات وأسقف علوية تغطي احتياجات الفراغات من اضاءة طبيعية أو أسقف وفي الوقت ذاته توفر طاقة حرارية وهو هدف البحث .

## References &amp; Bibliographies :

- B. Givoni – *Man Climate & Architecture*- Elsevier publishing COM. limited 1969 NK
  - GE- *Polycarbonates Sheet* – Technical Report –Lab 1996-U.S
  - GE- *Structured Products Lexan Sheet* -2000 U.S
  - Koenigsberger,Ingersoll,Mayhew,Szokolay, *Manual Of Tropical Housing and Building*, 1986,Longman Limited, London
  - Laurence Berkeley Laboratory. *From Lab to Market Place* Dept. Of Engineering 1998 California U.S..
  - Laurence Berkeley Laboratory. *Building Technologies Program*, Annual report, 1994 California U.S.
  - Lexan St 5000-*Lastra di Policarbonato* -1999- Italy
  - Marlon fs properties –*Fabricating guidelines*-2000 –UK
  - Ned Nesson ,Gantam Dutt, *The Superinsulated Home Book* -1985- New York John Wiky & Sons
- د. شفق عوض الوكيل - د. محمد عبد الله سراج - المناخ وعمارة المناطق الحارة - ١٩٨٥-عالم الكتاب .
  - د. محمد صلاح الدين السيد - الراحة الحرارية للإنسان داخل الفراغات المعمارية - ١٩٨٧- مجلة جمعية المهندسين المصرية
  - د/ محي الدين سليقيني - العمارة البيئية - ٢٠٠١- دار قابس .
  - وزارة الإسكان والمجتمعات العمرانية - المواصفات العامة المصرية - أعمال العزل الحراري - ١٩٩٩