

تأثير النار على مقاومة الشد غير المباشر

المهندس الاستشاري
قيس عبدالحسين الخزرجي

الخلاصة:-

استخدمت خلطتان خرسانيتان بمقاومة انضغاط (٤٠ , ٣٠) ميكاباسكال وسميت بـ A , B على التوالي . تم أخذ نماذج من الخرسانة اسطوانية الشكل بابعاد (١٠٠ x ٢٠٠ mm) . عرضت هذه النماذج الخرسانية الى لهب النار بدرجات تراوحت بين (٢٥-٧٠٠) درجة مئوية وباعمار مختلفة تراوحت بين (٣٠ , ٦٠ , ٩٠) يوما مع ثلاث مستويات للحرارة (٧٠٠ , ٥٠٠ , ٤٠٠) درجة مئوية وبأربعة مديات للتعرض (١/٢ , ١ , ١.٥ , ٢) ساعة . النماذج المعرضة الى لهب النار ترك قسم منها لتبرد في الهواء والقسم الآخر في الماء . بعد فحص النماذج ومقارنتها بالخلطة المرجعية كانت النتائج كما يلي :-

مقاومة الشد (الأنشطار) المتبقية هي (٧٨% - ٦٧%) في درجة C ٤٠٠ و (٦٧% - ٤٠%) في درجة C ٥٠٠ و (٤٥% - ٢٠%) في درجة C ٧٠٠ . أما النقصان الإضافي في مقاومة الشد نتيجة لتبريد النماذج في الماء فكانت نسبته تتراوح بين (١٤% - ٢%) مقارنة مع النماذج المبردة في الهواء .

المقدمة :-

انتشر استخدام المنشآت الخرسانية في جميع انحاء العالم وشكل واسع خلال القرن الماضي ولازالت مستمرة بسبب ان كل المواد الداخلة في تكوينها مواد محلية ورخيصة كما انها سهلة الوصول الى مواقع العمل باستثناء مادتي السمنت والحديد فهي غالية الثمن مقارنة بالمواد الاخرى الداخلة في تركيب الخرسانة المسلحة . تتعرض المنشآت الخرسانية السكنية والتجارية والصناعية باستمرار الى حوادث الحريق مسببة لها اضرارا كبيرة .

لاشك ان الخرسانة المسلحة تتميز بمقاومتها الجيدة للحريق مقارنة بالصلب والخشب وكان هذا أحد أسباب انتشار استخدامها كمادة انشائية منذ اواخر القرن الـ ١٩ ، كما ان الخرسانة عند الحريق لاينبعث عنها غازات و مواد سامة على عكس الابنية المعمولة من الخشب او المواد البلاستيكية، ولكن ذلك لايعني انها لاتتصدع اذا

تعرضت لحريق يستمر عدة ساعات ولذا كان من الضروري دراسة تأثير الحرارة المرتفعة على خواصها الميكانيكية ومنها دراسة تأثير لهب النار على مقاومة الشد للخرسانة.

المواد:-

- ١- السمنت:- السمنت البورتلاندي الأعتيادي المصنوع في معمل سمنت الكوفة الجديد والمطابق للمواصفة العراقية (١) No.٥/١٩٨٤ .
- ٢ - الرمل:- رمل منطقة الأخيضر الجيد التدرج من محافظة كربلاء والمطابق للمواصفة العراقية zone-٣ (٢) No.٤٥/١٩٨٤ ,
- ٣- الحصى:- الحصى من منطقة النباعي وبأكبر مقاس له mm ١٩ وتم غسله وتجفيفه جيدا والمطابق للمواصفة العراقية No.٤٥/١٩٨٤ .
- ٤- الماء:- استعمال الماء الصالح للشرب.

طريقة العمل:-

وضعت الخرسانة الطرية في قوالب اسطوانية بابعاد (١٠٠ x ٢٠٠ mm) لكل من خلطة A و خلطة B وتم فتح القوالب بعد مرور ٢٤ ساعة ووضعت في الماء للمعالجة لمدة ٢٨ يوما، نماذج كل خلطة فحصت باعمار ٩٠، ٦٠، ٣٠ يوما قبل وبعد تعرضها الى لهب النار. عرضت النماذج الى ثلاث مستويات من الحرارة هي $^{\circ}\text{C}$ ٧٠٠، ٥٠٠، ٤٠٠ وبأربعة مديات للتعرض (٢، ١.٥، ١، ١/٢) ساعة. صممت الخلطتان بموجب الطريقة البريطانية لتصميم الخلطات الخرسانية (٣) ١٩٩١ : part ٢ BS ٥٣٢٨ وكما موضح في الجدوت التالي :-

جدول رقم [١] :- نسب الخاط

Mix Proportions (kg/m ³)						
Series	W/c-ratio	Water	Cement	Sand	Gravel	Slump(mm)
A	٠.٥٢	١٩٥	٣٧٥	٥٩١	١١٩٩	٨٠
B	٠.٤٥	١٩٥	٤٣٥	٥١٥	١٢١٥	٦٠

تم خلط المواد بواسطة خباطة سعة m^3 ٠.١ مع الحصى في الخباطة ثم الرمل وبعد ذلك السمنت ثم دبرت الخباطة لمدة دقيقة واحدة قبل وضع الماء . صبب الماء ودبرت الخباطة بالمواد الى ان تجانست الخلطة لمدة دقيقتين ثم قيس الهطول بموجب المواصفة - (٤) ١٩٨٩ a: ٨٩ - ASTM C ١٤٣ ، بعد ذلك وضعت

الخرسانة الطرية في القوالب الأسطوانية بطبقتين وكل طبقة هزت بواسطة هزاز منضدي لمدة ثلاثين ثانية لغرض طرد الفقاعات الهوائية ثم غلفت النماذج بطبقة من البوليثلين لمدة ٢٤ ساعة.

التعرض الى لهب النار والتبريد:-

عرضت النماذج الى لهب النار مباشرة من خلال مشاعل غازية داخل موقد من الطابوق الناري بابعاد $750 \times 900 \times 1200$ mm كما موضح في الشكل رقم (١) . تنظم درجات الحرارة حتى تصل الى الدرجة المطلوبة وتقاس بواسطة مقياس الحرارة الرقمي كما موضح في الشكل رقم (٢) . بعد اكمال فترة الحرق وبالدرجة المطلوبة يترك قسم من النماذج في الموقد لفترة ثلاثة ساعات ثم يرفع ليترك في جو المختبر لمدة عشرون ساعة قبل الفحص , اما القسم الأخر فيوضع في الماء مباشرة بعد الحرق ويترك في الماء لفترة ساعتين ثم يرفع ليترك في جو المختبر لمدة عشرون ساعة قبل الفحص.



الشكل رقم [١] :- موقد من الطابوق الناري تظهر فيه شبكة المشاعل الغازية

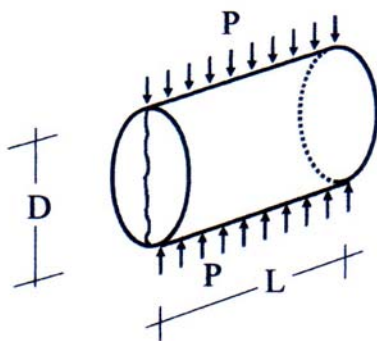


الشكل رقم [٢] مقياس الحرارة الرقمي

طريقة فحص مقاومة الشد (الأنشطار):-

يوضع النموذج (الأسطوانة) بين رأسي ماكينة الأختبار في وضع افقي وعلى جانبيها بين شريحتين من الخشب بعرض ٢ cm ويعين حمل الضغط المسبب لكسر النموذج وعند انهيارها يسجل الحمل الأقصى وبموجب المواصفة (ASTM C-٤٩٦^٥). كل قيمة لمقاومة الشد هي معدل مقاومة الشد لكل ثلاثة نماذج .

$$\text{مقاومة الشد غير المباشر (البرازيلي)} = \frac{2 \times \text{الحمل الأقصى}}{\text{ط} \times \text{الطول} \times \text{القطر}} \text{ نيوتن / ملم}^2$$



$$\text{مقاومة الشد البرازيلي} = \frac{2P}{\pi DL} \text{ نيوتن / ملم}^2$$

حيث:

- P = الحمل الأقصى نيوتن
- D = قطر الإسطوانة ملم
- L = طول الإسطوانة ملم

نتائج

نتائج فحص النماذج الأسطوانية لمقاومة الشد غير المباشر- الأنتشار (الطريقة البرازيلية) لخصت في الجدول رقم [٢] والجدول رقم [٣] . اما العلاقة بين مقاومة الشد (الأنتشار) وبين درجات حرارة لهب النار فقد وضحت بالأشكال للخلطة A من رقم (٦ - ٣) ومن رقم (١٠ - ٧) للخلطة B .

جدول رقم [٢] :- نتائج مقاومة الشد غير المباشر (الأنتشار) للخلطة A بعد تعرضها الى درجات حرارة لهب النار

Age at Exposure (days)	Period of Exposure (hours)	Splitting Tensile Strength (MPa)				Ratios f_{sa}/f_{sb}			Type of Cooling
		Temperature °C				2/1 (5)	3/1 (6)	4/1 (7)	
		25 (1)	400 (2)	500 (3)	700 (4)				
30	0.5	3.43	2.47	1.65	1.10	0.72	0.48	0.32	Air
			2.33	1.20	0.72	0.68	0.35	0.21	Water
	1.0		2.40	1.60	0.89	0.70	0.47	0.26	Air
			2.23	1.37	0.62	0.65	0.40	0.18	Water
	1.5		2.47	1.72	0.79	0.72	0.50	0.23	Air
			2.26	1.44	0.38	0.66	0.42	0.11	Water
	2.0		2.30	1.61	0.62	0.67	0.47	0.21	Air
			2.02	1.27	0.34	0.59	0.37	0.10	Water
60	0.5	3.82	2.87	2.06	1.30	0.75	0.54	0.34	Air
			2.67	1.95	1.07	0.70	0.51	0.28	Water
	1.0		2.71	1.99	1.11	0.71	0.52	0.29	Air
			2.52	1.68	0.84	0.66	0.44	0.22	Water
	1.5		2.83	2.06	1.15	0.74	0.54	0.30	Air
			2.64	1.80	0.84	0.69	0.47	0.22	Water
	2.0		2.72	1.83	0.99	0.71	0.48	0.25	Air
			2.41	1.64	0.77	0.63	0.43	0.20	Water
90	0.5	4.05	3.08	2.27	2.35	0.76	0.58	0.41	Air
			2.92	1.94	2.11	0.72	0.52	0.33	Water
	1.0		2.96	2.31	1.58	0.73	0.57	0.39	Air
			2.75	2.00	1.22	0.68	0.49	0.30	Water
	1.5		3.04	2.43	1.54	0.75	0.60	0.38	Air
			2.88	2.15	1.17	0.71	0.53	0.29	Water
	2.0		2.83	2.19	1.38	0.70	0.54	0.34	Air
			2.79	1.86	1.05	0.69	0.46	0.26	Water

f_{sa} = Splitting tensile strength after exposure to fire flame.

f_{sb} = Splitting tensile strength before exposure to fire flame.

جدول رقم [٣] :- نتائج مقاومة الشد غير المباشر (الأنتشار) للخلطة B بعد تعرضها الى درجات حرارة لهب النار

Age at Exposure (days)	Period of Exposure (hours)	Splitting Tensile Strength (MPa)				Ratios f_{sa}/f_{sb}			Type of Cooling
		Temperature °C				٢/١ (٥)	٢/١ (٦)	٤/١ (٧)	
		٢٥ (١)	٤٠٠ (٢)	٥٠٠ (٣)	٧٠٠ (٤)				
٣٠	٠.٥	٤.٢٤	٣.١٠	٢.٢٩	١.٤٠	٠.٧٣	٠.٥٤	٠.٣٣	Air
			٢.٩٣	٢.٠٤	٠.٩٨	٠.٦٩	٠.٤٨	٠.٢٣	Water
	١.٠		٣.٠٥	٢.٠٨	١.١٥	٠.٧٢	٠.٤٩	٠.٢٧	Air
			٢.٨٨	١.٧٨	٠.٧٦	٠.٦٨	٠.٤٢	٠.١٨	Water
	١.٥		٣.١٤	١.٨٢	٠.٩٣	٠.٧٤	٠.٤٣	٠.٢٢	Air
			٣.٠١	١.٥٧	٠.٣٨	٠.٧١	٠.٣٧	٠.٠٩	Water
	٢.٠		٢.٩٣	١.٧٠	٠.٨٥	٠.٦٩	٠.٤٠	٠.٢٠	Air
			٢.٦٧	١.٤٠	٠.٤٢	٠.٦٣	٠.٣٣	٠.١٠	Water
٦٠	٠.٥	٤.٥٠	٣.٣٦	٢.٧٠	١.٦٢	٠.٧٥	٠.٦٠	٠.٣٦	Air
			٣.٢٠	٢.٣٤	١.٤٤	٠.٧١	٠.٥٢	٠.٣٢	Water
	١.٠		٣.٠٦	٢.٥٢	١.٥٣	٠.٦٨	٠.٥٦	٠.٣٤	Air
			٢.٧٩	٢.٢٥	١.١٧	٠.٦٢	٠.٥٠	٠.٢٦	Water
	١.٥		٣.٣٦	٢.٤٣	١.٣٥	٠.٧٥	٠.٥٤	٠.٣٠	Air
			٣.٢٠	٢.٢١	٠.٩٩	٠.٧١	٠.٤٩	٠.٢٢	Water
	٢.٠		٣.٢٤	٢.٢٥	١.٠٨	٠.٧٢	٠.٥٠	٠.٢٤	Air
			٣.٠٢	١.٩٨	٠.٨٥	٠.٦٧	٠.٤٤	٠.١٩	Water
٩٠	٠.٥	٤.٨٦	٣.٦٩	٢.٢٦	٢.١٩	٠.٧٦	٠.٦٧	٠.٤٥	Air
			٣.٥٠	٢.٧٣	١.٩٠	٠.٧٢	٠.٥٦	٠.٣٩	Water
	١.٠		٣.٧٩	٢.٧٢	١.٩٤	٠.٧٨	٠.٥٦	٠.٤٠	Air
			٣.٥٥	٢.٤٨	١.٥٤	٠.٧٣	٠.٥٢	٠.٣٣	Water
	١.٥		٣.٦٠	٢.٥٣	١.٨٠	٠.٧٤	٠.٥٢	٠.٣٧	Air
			٣.٣٥	٢.٢٨	١.٤١	٠.٦٩	٠.٤٧	٠.٢٩	Water
	٢.٠		٣.٥٥	٢.٣٨	١.٤٦	٠.٧٣	٠.٤٩	٠.٣٠	Air
			٣.٣٠	٢.٠٤	١.١٢	٠.٦٨	٠.٤٣	٠.٢٣	Water

f_{sa} = Splitting tensile strength after exposure to fire flame.

f_{sb} = Splitting tensile strength before exposure to fire flame

التبريد بالهواء:-

١- عند تعرض النماذج الى لهب النار وبدرجة 400°C ولكل الأعمار ولكل الفترات الزمنية فان مقاومة الشد المتبقية هي ($67\% - 76\%$) للخلطة **A** و ($69\% - 76\%$) للخلطة **B**. أجريت بحوث على مقاومة الشد (الأنشطار) من قبل ^(٦) Al-Ausi and Faiyadh وبعده ^(٧) AL- Owaisy وكذلك من قبل ^(٨) Takeuchi ولفس درجة الحرارة ولفس طريقة التبريد وكانت مقاومة الشد المتبقية هي 67% , 62% , 65% على التوالي .

٢- حصل نقصان اضافي لمقاومة الشد (الأنشطار) عند درجة 500°C بين ($58\% - 47\%$) للخلطة **A** اما الخلطة **B** فان النقصان في مقاومة الشد هو ($67\% - 40\%$) . هذه النتائج مطابقة مع نتائج التجارب التي اجريت من قبل ^(٩) Al-Ausi and Faiyadh , ^(٩) Carrete and Painter , وكذلك ^(١٠) Hidayet ولفس درجة الحرارة ولفس طريقة التبريد.

٣- اما عند درجة 700°C فان مقاومة الشد المتبقية هي ($45\% - 20\%$) للخلطة **A** و ($45\% - 21\%$) للخلطة **B** .

التبريد بالماء:-

التبريد بالماء سبب نقصان اضافي في مقاومة الشد وعليه فان مقاومة الشد المتبقية هي ($72\% - 59\%$) للخلطة **A** و ($72\% - 63\%$) للخلطة **B** بدرجة 400°C ولكل الأعمار ولكل الفترات الزمنية. اما عند درجة 500°C فان النقصان في مقاومة الشد هو ($52\% - 37\%$) للخلطة **A** و ($56\% - 33\%$) للخلطة **B** . عند درجة 700°C فان مقاومة الشد المتبقية هي ($33\% - 10\%$) للخلطة **A** و ($39\% - 9\%$) للخلطة **B** .

النقصان في مقاومة الشد يأتي من الفرق بين معدل التبريد على سطح النموذج وداخله والذي يسبب في زيادة حجم الشقوق وهذه الشقوق بدورها تؤدي الى نقصان في مقاومة الشد (الأنشطار).

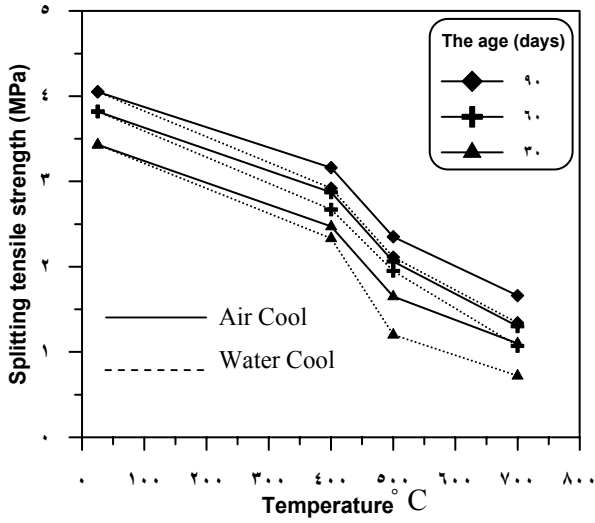


Fig [٧]) The effect of fire flame on the splitting tensile strength of series-A at ٠.٠ hour period of exposure.

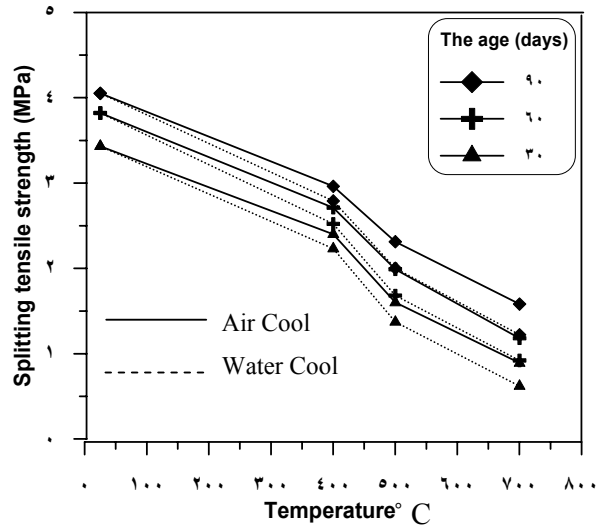


Fig [٨]) The effect of fire flame on the splitting tensile strength of series-A at ١.٠ hour period of exposure.

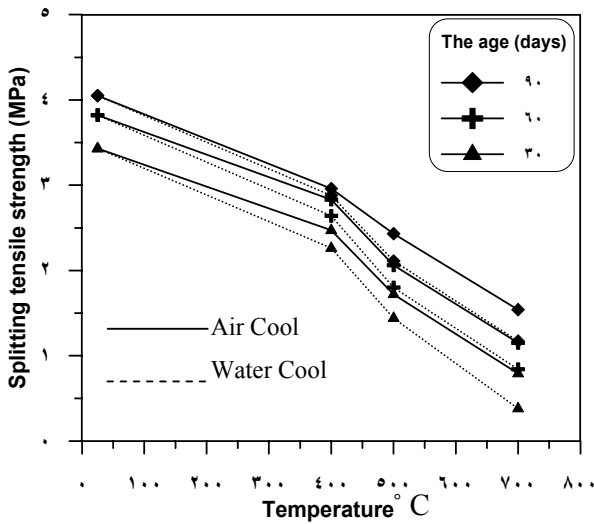


Fig [٩]) The effect of fire flame on the splitting tensile strength of series A at ١.٥ hours period of exposure.

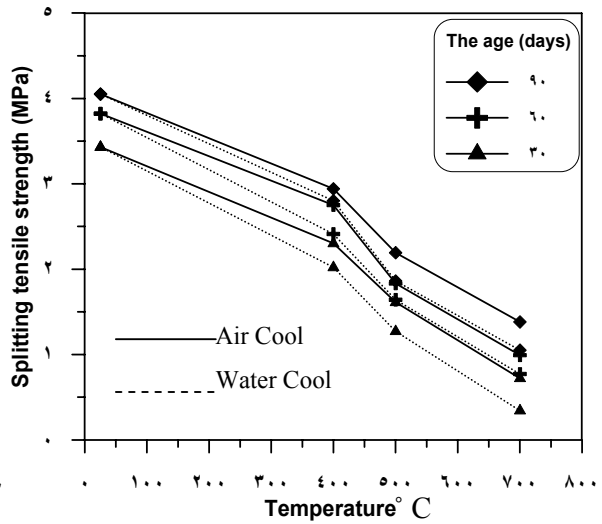


Fig [١٠]) The effect of fire flame on the splitting tensile strength of series A at ٢.٠ hours period of exposure.

- A - الخطة

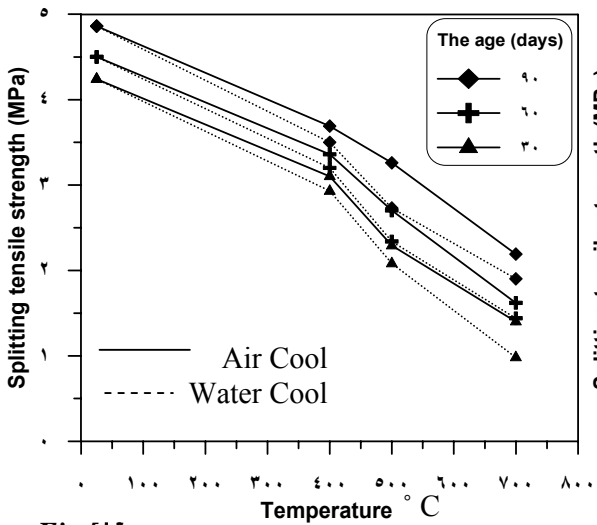


Fig [V]) The effect of fire flame on the splitted tensile strength of series-B at 0.0 hour period of exposure.

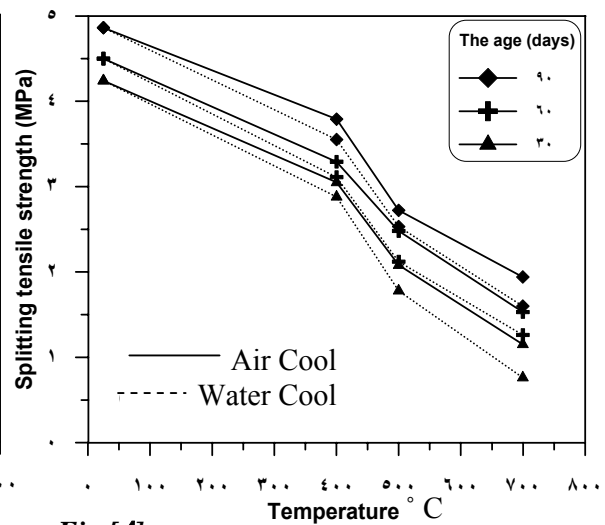


Fig [A]) The effect of fire flame on the splitted tensile strength of series-B at 1.0 hour period of exposure.

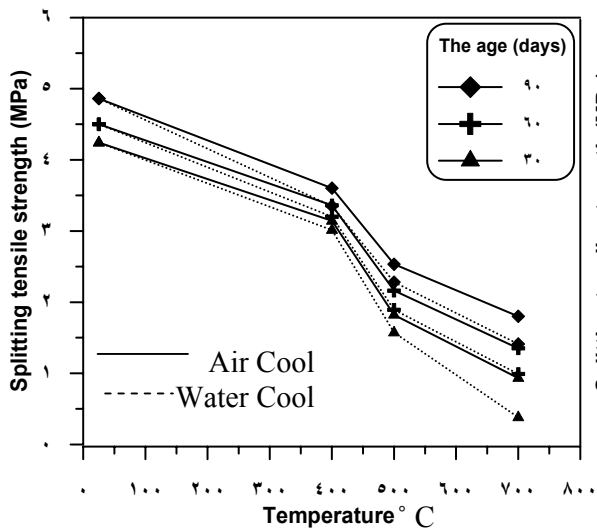


Fig [9]) The effect of fire flame on the splitted tensile strength of series-B at 2.0 hours period of exposure.

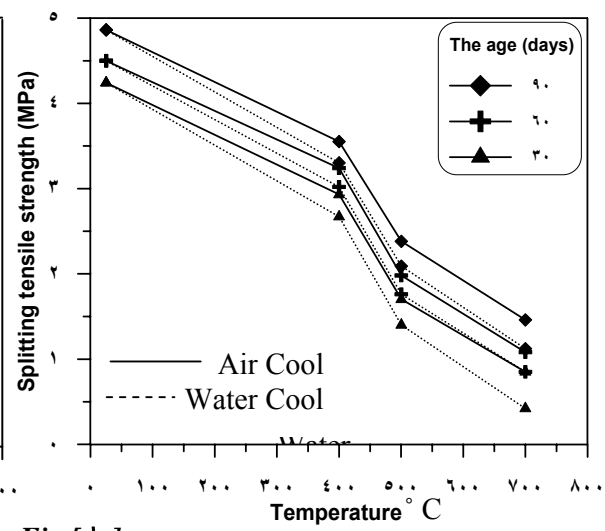


Fig [10]) The effect of fire flame on the splitted tensile strength of series-B at 3.0 hours period of exposure.

- B - الخطة

المناقشة:-

- ١- ان مقاومة الشد غير المباشر (الأنشطار) للخرسانة تتاثر عند تعرضها الى لهب النار. المقاومة المتبقية لكلا الخلطين تتراوح بين (٧٦% - ٦٧) عند درجة $^{\circ}\text{C}$ ٤٠٠ , (٦٧% - ٤٠) عند درجة $^{\circ}\text{C}$ ٥٠٠ , و(٤٥% - ٢٠) عند درجة $^{\circ}\text{C}$ ٧٠٠ .
- ٢- حصل نقصان اضافي لمقاومة الشد (الأنشطار) لكلا الخلطين نتيجة لوضع النماذج في الماء مباشرة , هذا النقصان تتراوح بين (٧٣% - ٥٩) عند درجة $^{\circ}\text{C}$ ٤٠٠ , (٥٦% - ٣٣) عند درجة $^{\circ}\text{C}$ ٥٠٠ , و(٤٥% - ٩) عند درجة $^{\circ}\text{C}$ ٧٠٠ .
- ٣- النماذج التي بردت في الماء حصل لها نقصان في مقاومة الشد غير المباشر (الأنشطار) أكثر من النماذج التي بردت في الهواء. نسبة النقصان تراوحت بين (٨% - ٤) , (١٠% - ٦) , (١٢% - ٦) للخلطة A اما النقصان الذي طرأ على الخلطة B فكان (٦% - ٣) , (٧% - ٤) , (١٤% - ٥) , عند درجة $^{\circ}\text{C}$ ٤٠٠ , درجة $^{\circ}\text{C}$ ٥٠٠ , وعند درجة $^{\circ}\text{C}$ ٧٠٠ على التوالي.

المصادر:-

- [١] Iraqi Organization of Standards, *IOS ٥: ١٩٨٤, for Portland Cement.*
- [٢] Iraqi Organization of Standards, *IOS ٤٥: ١٩٨٤, for Aggregate.*
- [٣] British Standard Institution, "*Method for Specifying Concrete Mixes*", BS ٥٣٢٨: Part ٢: ١٩٩١.
- [٤] American Society for Testing and Materials, C١٤٣-٨٩a, "*Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete*", Annual Book of ASTM Standards, Vol. ٠٤.٠٢, ١٩٨٩, pp. ٨٥-٨٦.
- [٥] American Society for Testing and Materials, C٤٩٦-٨٦, "*Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens*", Annual Book of ASTM Standards, Vol. ٠٤.٠٢, ١٩٨٩, pp. ٢٥٩-٢٦٢.
- [٦] Al-Ausi, M. A. and Faiyadh, F. I., "*Effect of Elevated Temperature on Splitting Tensile Strength of Fiber Concrete*", The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, Vol. ١١, No. ٣, Aug. ١٩٨٩, pp. ١٧٥-١٧٨.

- [٧] AL-Owaisy,S., Rashid., **“Effect of Elevated Temperatures on Bond in Reinforced Concrete”**, MSc.Thesis, College of Engineering, Department of Civil Engineering, Al-Mustansiriyah University, Baghdad , Iraq, February ,٢٠٠١, ١٠٧pp.
- [٨] Takeuchi, M., Hiramoto, M., Kumagai, N., Yamazaki, N., Kodaira,A. and Sugiyama, K. ١٩٩٣ , **“Material Properties of Concrete and Steel Bars at Elevated Temperatures”**,Trans of the ١٢th Int. Conf. On SMIRT, Vol.H , pp.١٢٣-١٢٨.
- [٩] Hidayet,A.١٩٩٣, **“Behavior of Reinforced Concrete Slab Subjected to High Temperatures”**, M.Sc. Thesis, Building and Const. Dept., Univ. of Technology.
- [١٠] Carette, G. G., Painter, K. E., V. Malhotra., **“Sustained Elevated emperature Effect on Concrete Made with Normal Portland Cement, Normal Portland Cement and Slag, or Normal Portland Cement and Fly Ash ”**, Concrete International, July ١٩٨٢, pp.٤١-٥١.