CHAPTER 7

Conclusions and Recommendations

The following conclusions can be drawn based on the experimental and comprehensive studies presented in this study.

1- The water cooling regime has more adverse effects on the properties of conventional concrete than air cooling regime. At 200, 400ºC and 600ºC the retained residual performance by air-cooling over water-cooling was up to 3, 9 and 6% respectively with respect to the small dimension of the concrete cubes.

2- The (TGA/DTG) curves of the traditional mix, as presented in this study, shows three significant weight loss steps corresponding to endothermic processes. The first weight loss step, at about 100-200ºC, is attributed to surface water desorption, as well as water loss from C-S-H gel layers and the dehydration of ettringite. The second step, at about 480°C, is due to the decomposition of (portlandite). At last, the third weight loss step, at about 780ºC, can be attributed to the decarbonation of $CaCO_3$. It is worth noting that, the total DTG weight loss of the control mix was reduced with the increasing of the elevated temperature that the specimens may be exposed to before TGA test.

3- TGA curves fordifferent concrete mixtures can be used to estimate the temperature of exposure depending on the TGA-total weight loss. As the preheated temperature was increased as the TGA total weight loss was decreased.

4-Scanning electron microscopy (SEM) allows examination of concrete microstructural details. At room temperature, the SEM images showthe existence of CSH, CH and ettringite.With increasing the degree of the exposure temperature, the concrete start to be poor of hydration products. At 600°C, the SEM micrograph displayed the formation of micro cracks,in addition to the decomposition of the hydration products.

5-Concrete cover thickness play an important role in protecting the reinforcement inside the concrete slabs, where increasing concrete cover from 25mm to 75mm decreases the reinforcement´s temperature by about 58%, after the concrete slabs exposed to 800°C for 2 hrs.

6-The results show that the addition of 10% silicafume as cement replacement to CEM I improve the performance of the blended concrete when exposed to elevated temperatures up to 400ºC. At 600°C, the silicafume concrete exhibits a residual strength less than conventional mixture,

so it can be saidthat the silica fume concrete is more sensitive to elevated temperatures than normal concrete.

7-The presence of polypropylene fibers increase the residual compressive strength of both normal and blended concrete at low temperatures only. It shows a slight adverse effect on protecting the reinforcement inside the concrete. Moreover, it reduces the weight loss in normal concrete at elevated temperatures andalso decrease the surface cracks as a result to the pathways formed by the melting of the PP fibers at about 170°C.Such results are supported by SEM images that revealed a reduction in augmentation of the cracks up, compared with control or silicafume concrete.

8-Steel fibers inside the concrete enhance the residual compressive strength, reduce the surface cracks and reduce the reinforcement temperature inside the concrete when compared withtraditional concrete.

9- The addition oflimestone powder as additives to cement content enhances the residual compressive strength by about (25,21, 20 and 24%) for 10 percentage and (30,21,24 and 31%) for 15percentage at 20,200,400 and 600ºC respectively.SEM reveals clearly the unreacted LP at 600°C.

10- Limestone powder, as a cement replacement by mass, has influence on the observed compressive and flexural strength values that were reduced with the increase of amount of limestone fines due to the dilution effect of cement.The weight loss of the limestone-concrete is less than that of the convention concrete and the TGA sustains this result for the studied degree of temperatures, even if the limestone powder were used as a replacement or additive.

11-According to SEM and visual inspection, the LP reduces the cracks of concrete at 400°C and 600ºC.Concrete with 15% limestone, as an additive to cement content has showed the densest concrete and plenty with $Ca(OH)_2$ plates.

12- The addition of bentoniteas a 10%cement replacement shows an appreciable residual compressive strength at 400°C and 600ºC and reduces the concrete surface cracks. At 600ºC, the use of bentonite, as 10% replacement of cement content, has the least weight loss when compared with all other mixtures, but it shows uncomfortable trend in preventing the steel reinforcement in concrete. Scanning electron microscopy (SEM) results are consistent with the results of the visual inspection and the clay plates were considerably obvious up to 600°C.

13- This study has TGA/DTG curves for unheated and preheated conventional concrete up to 600ºC for 0.5, 1 and 2 hrs of exposure, from which it can be identified that the temperature or the duration that the buildings may be exposed in a real fire accident depending on the DTG-total weight loss or even the trend of TGA/DTG curves.

14-The plastering is considered one of the most important methods to protect the concrete from high temperatures. The use of limestone Portland cement instead of the CEM I, improves the residual compressive strength of the mortars by about 10, 30, 6 and 11% at 20, 200, 400 and 600°C respectively. On the other hand, itprovides a good protection for the covered concrete more than CEM I –mortar by about 4%, when used as a plastering (external protection).

15- The mortar was revealed a major role in preventing the reinforcement inside the concrete slabs where 1-inch concrete cover thicknesswith 1-inch traditional plastering allows only the arrival of 20% of the exposed temperature to the reinforcement.

16- The presence of the ceramic powder included in the mortars enhances the properties of the conventional mortar at elevated temperatures. The experimental results show that using 10% ceramic powder as cement replacement enhances compressive strength by about 9, 23, 14 and 2% at 20, 200, 400 and 600°C respectivelycompared with the conventional plastering. SEM graphs show the ceramic powder particles at temperatures up to 600°C without decomposition.

17- The compressive strengthof the crushed brick micro-mortar is found to be lower than the strength of conventional mortar at room temperature. After exposed to high temperatures the, the brick clay mortar shows nearly the same conventional mortar strength. The mortar with crushed brick powder keepsa strength that would make it suitable at elevated temperature. SEM graphs supported the more reduction that happened in 10% and 20% brick clay mortar´s compressive strength at 600°C.

18- The melamine powder has a significant effect on improving the residual compressive strength of the conventional mortar by about 8, 22, 25 and 17% at 20, 200, 400 and 600°C respectively at 10% cement replacement thatshows in the same time the highest protection of the covered concrete cubes by about 25%. SEM exhibits that the melamine granules seem to be cohesive and connected to one another with shiny appearance.

19- (TGA/DTG) of all mortarsshow the same three significant weight loss steps asconventional concrete mix. The melamine powder's thermograms show additional peak at about 320°C related to the hydrated C_3A that exhibits a small endothermal effect.

20- The three main peaks investigated by DTG curves, for either concrete or mortar, may be shifted to a higher or a lower temperature according to lime content. In addition the TGA-total weight loss of the concrete mixtures and the mortars arereduced with increasing the preheated degree of temperature.

21- In the present study, the ANN models for the effective of the concrete cover thickness andthe residual compressive strength for concrete cubes after exposed to elevated temperature has been developed. The modelswere trained with input and output experimental data. Correlation coefficient, RMSE and MAE are statistical values that are calculated for comparing experimental data with ANN model. As a result, the effect of the concrete cover thickness on protecting the Rft inside small scale concrete slabs and the residual compressive strength values of concrete can be predicted in ANN models.Numerical modeling using neural network shows a great performance to estimate steel temperatures and compressive strength for concrete samples subjected to high temperatures where the minimum value of R^2 is 0.9074for testing set ANN.

References

1- U. Schneider, J. Horvath, Abplatzverhaltenan Tunnelinnenschalenbeton [Spalling of concrete for tunnel linings], Beton- und Stahlbetonbau 97 (4) (2002) 185–190 (in German).

2- ABRAMS M.S., "Compressive Strength of Concrete at Elevated Temperatures to 1600F (871 °C)", ACI SP-25, 1971, pp. 33-58.

3- Internationalcode councel, International Building Code 2000, Falls Church, VA, March 2000.

4- American Society for Testingand Materials, ASTM E 119 Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials, West Conshohocken, PA, 1995.

5- American Concrete Institue, ACI/TMS 216 Standard Method for Determining Fire Resistance of Concrete and Masonry Construction Assemblies, Farmington Hills, MI, 1997.

6- Abrams M.S., "Compressive Strength of Concrete at Temperatures to 1600 F," American Concrete Institute (ACI) SP 25, Temperature and Concrete, Detroit, Michigan, 1971.

7- National Fire ProtectionAsociation, NFPA 251 Standard Methods for Tests of Fire Endurance of Building Construction and Materials, Quincy, MA, 2003.

8- American Societyof Civil Engineers, ASCE/SFPE 29-99 Standard Calculation Methods for Structural Fire Protection, Reston, VA, 1999.

9- Drysdale D, Schneider U, CIB W14 Report. Repairability of fire damaged structures. Fire Safety J 1990;16:251–336.

10- W Grosshandler, Kodur V 'Fire Resistance Evaluation of Large-scale Structural Systems' Proceedings of NISTIR 6890 Fire Resistance Determination and Performance Prediction Research Needs workshop, Sept 2002.

11- Khoury, G.A. (2000), Effect of fire on concrete and concrete structures, Progress. In Structural Engineering and Materials, Issue 2, pp 429-447.

12- L.T. Phan, Fire performance of high-strength concrete: a report of the state-of-the-art, Res. Report NISTIR 5934, pp. 105, National Institute of Standards and Technology, Gaitherburg, 1996.

13- Bažant, Z., and Thonguthai W. (1979). "Pore pressure and drying of concrete at high temperature." Magazine of Concrete Research 31(107): 67-75.

14- Blundell, R., Diamond, C. and Browne, R.G., (1976), "The Properties of Concrete Subjected to Elevated Temperature", CIRIA Underwater Engineering Group, Technical Note No. 9, Concrete Society, London, UK.

15- Khoury, G.A, Sullivan, P.J.E., and Grainger, B.N. (1984). "Radial temperature distributions within solid concrete cylinders under transient thermal states", Magazine of Concrete Research, 36(128), 146-156.

16- Phan, L.T., and Carino, N.J. (1998). "Review of Mechanical Properties of HSC at Elevated Temperature", Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE, Feb., 10(1), 58-64.

17- Abrams, M.S. (1971). "Compressive strength of concrete at temperatures to 1600°F", American Concrete Institute (ACI) SP 25, Temperature and Concrete, Detroit, Michigan.

18- Kodur, V.K.R., Dwaikat, M.M.S., and Dwaikat, M.B. (2008) "High-Temperature Properties of Concrete for Fire Resistance Modeling of Structures", ACI Materials Journal, 105(5), September-October, 517 – 527.

19- Lee, J.S., Xi, Y., and Willam, K. (2008) "Properties of Concrete after High Temperature Heating and Cooling", J. of Materials, ACI, July-Aug. 105(4), 334-341.

20- Castillo, C., and Durani, A.J. (1990). "Effect of transient high temperature on high-strength concrete", ACI Material Journal, Jan/Feb, 87(1), 38-67.

21- Furumura, F., Abe, T., and Shinohara, Y. (1995). "Mechanical properties of high strength concrete at high temperature", Proceedings of the Fourth Weimar Workshop on High Performance Concrete: Material Properties and Design, HochschulefuerArchitektur und Bauwesen (HAB), Weimar, Germany, Oct., 237-254.

22- Noumowe, A.N., Clastres, P., Debicki, G., and Costaz, J.L. (1996). "Thermal stresses and water vapor pressure of high performance concrete at high temperature", Proceedings, 4th International symposium on utilization of High-strength/High-Performance Concrete, Paris, France.

23- Khoury, G.A., Majorana, C.E., Pesavento, F., and Schrefler, B.A. (2002). "Modelling of heated concrete", Magazine of Concrete Research, 54(2), 77-101.

24- Morita, T., Saito, H., and Kumagai, H. (1992). "Residual mechanical properties of high strength concrete members exposed to high temperature-part 1. Test on material properties", Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, Niigata, Aug.

25- Lee, J.S., Xi, Y., and Willam, K. (2008) "Properties of Concrete after High Temperature Heating and Cooling", J. of Materials, ACI, July-Aug. 105(4), 334-341.

26- Connolly, R.J. (1995), Thespalling of concrete in fires, PhD thesis, University of Aston.

27- G.R. Consolazio, M.C. McVay, J.W. Rish III, Measurement and prediction of pore pressure in cement mortar subjected to elevated temperature, in: L. T. Phan, N.J. Carino, D. Duthinh,

E. Garboczi (Eds.), Proceedings of the International Workshop on Fire Performance of High-Strength Concrete, NIST, Gaithersburg, Maryland, 1997, pp. 125–148.

28- U. Schneider, J. Horvath, AbplatzverhaltenanTunnelinnenschalenbeton [Spalling of concrete for tunnel linings], Beton- und Stahlbetonbau 97 (4) (2002) 185–190 (in German).

29- Lie, T. T., and Harmathy, T. Z., "A Numerical Procedure to Calculate the Temperature of Protected Steel Columns Exposed to Fire," Fire Study No. 28 (NRCC 12535), Division of Building Research, National Research Council of Canada, Ottawa, 1972, pp. 26 .

30- Lie, T. T., and Harmathy, T. Z., "Fire Endurance of Concrete-protected Steel Columns," ACI JOURNAL, Proceedings V. 71, No. 1, Jan. 1974, pp. 29-32.

31- Cam, H. T. and Neithalath, N., "Moisture and Ionic Transport in Coarse Limestone Powder Modified Concretes," Cement and Concrete Composites, Vol. 32, Issue 7, 2010, pages 486 to 496.

32- Schmidt, M., "Cement with Interground Additives – Capability and Environmental Relief," Zement-Kalk-Gips, Vol. 45, Nos. 2 and 6, 1992, pages 64 to 69 and 296 to 301.

33- Matschei, T.; Lothenbach, B.; and Glasser, F.P., "The Role of Calcium Carbonate in Cement Hydration," Cement and Concrete Research, Vol. 37, 2007a, pages 551 to 558.

34- S. R. Wijaya and J. D. S. Rohman, "ModifikasiBentonit (Clay) MenjadiOrganoclaydenganPenambahanSurfaktan," Journ. Nano sains&Nanoteknologi, BPPT, pp. 48-51, 2008.

35- Ali F A, Connolly R & Sullivan P J E, 1996, Spalling of High Strength Concrete at Elevated Temperatures, J. Applied Fire Science, Vol 6(1) 3-14, 1996-7.

36- Khoury, G A, 2008 Polypropylene fibres in heated concrete, Magazine of Concrete Research, 2008, 60, No. 3, April, 189–204.

37- Jansson, R. &Boström, L. 2008. Experimental Study of the Influence of Polypropylene Fibres on Material Properties and Fire Spalling of Concrete, 3rd International Symposium on Tunnel Safety and Security (ISTSS), Stockholm, Sweden.

38- Liu, X, G. Yeb, G. De Schutter, Y. Yuana and L. Taerwe, 2008. On the mechanism of polypropylene fibres in preventing fire spalling in self compacting and high performance cement paste, Cement & Concrete Research, Vol38, Issue 4, p 487-499.

39- Saka T, 2009, Spalling Potential of fire exposed structural concrete, Proceedings of 1st International Workshop on Concrete Spalling due to Fire Exposure, Leipzig, Germany p 510-518.

40- Kalifa P, G Chene& C Galle, 2001. High Temperature Behaviour of polypropylene fibres, Cement & Concrete Research, Vol31, Issue10, October 2001, p 1487-1499.

41- Bostrom L. &Jansson R., 2007, Fire Spalling of Self Compacting Concrete, 5th International Symposium on Self Compacting Concrete, Ghent, Belgium, September 2007.

42- U. Diederichs, U.-M. Jumppanen, V. Penttala, Behaviour of high strength concrete athigh temperatures, Helsinki University of Technology, Division of Structural Engineering, report 92, p 76, 1989.

43- Chan, Y.N.S., Peng, G.F., Anson, M., "residual strength and pore structure of high strength concrete and normal strength concrete ", Cement and Concrete Composites, 1999, pp: 23-27.

44- S. Mindess, J. F. Young, and D. Darwin, Concrete, Pearson Education, Upper Saddle River, NJ, USA, 2003.

45- W. Khaliq and V. Kodur, "High temperature mechanical properties of high strength fly ash concrete with and without fibers," ACI Materials Journal, vol. 109, no. 6, pp. 665–674, 2012.

46- A. M. Neville, Properties of Concrete, Pearson Education, Essex, UK, 2004.

47- S. P. Shah, "Do fibers increase the tensile strength of cement-based matrixes?" ACI Materials Journal, vol. 88, no. 6, pp. 595–602, 1991.

48- Hanaa Fares, Albert Noumowe, SébastienRemond, "Self consolidation Concrete Subjected to High Temperature Mechanical and Physiochemical Properties," Cement and Concrete Research, vol. 39, pp. 1230–1238, 2009.

49- Khaliq, W., Kodur, V.: Thermal and mechanical properties of fiber reinforced high performance self-consolidating concrete at elevated temperatures. Cement. Concrete. Res. 41, 1112–1122 (2011).

50- Persson, B.: Fire Resistance of Self-Compacting Concrete. SCC Mater. Struct. 7(11),575–584 (2004).

51- Fares, H., Noumowe, A., Remond, S.: Self-consolidating concrete subjected to high temperature—mechanical and physicochemical properties. Cem. Concr. Res. 39, 1230–1238 (2009).

52- G. Hoff, A. Bilodeau, V. M. Malhotra, "Elevated Temperature Effectson HSC Residual Strength," Concr. Int., vol. 22, no. 4, pp. 41–47, 2000.

53- Kristensen L. and Torebn C., "Cracks in concrete core due to fireor (thermal heating shock) "ACI Materials Journal September/October, 1994.

54- M. S. Morsy, S. H. Alsayed and M. Aqel, *International Journal of Civil & Environmental Engineering* IJCEE-IJENS Vol:10 No:01, 2010.

55- Cheon-Goo Han, Yin-Seong Hwang, Seong-Hwan Yang, N. Gowripalan, Performance of spalling resistance ofhigh performance concrete with polypropylene fiber contents and lateral confinement, Journal of Cement and Concrete Research, Vol.35, (2005), 1747 – 1753.

56- K. Ramamurthy, E.K. KunhanandanNambiar, G. Indu Siva Ranjani, A classification of studies on properties offoam concrete, Journal of Cement & Concrete Composites, Vol. 31, (2009), 388–396.

57- Kalifa, P., Chene, G., Galle, C., 2001. High temperature behavior of HPC with polypropylene fibers from spalling to microstructure. Cement and Concrete Research 31, 1487–1499.

58- Lankard, Dr., Birkimer, D.L., Fondfrist, F.F., Snyder, M.J., 1971. Effects of moisture content on the structural properties of Portland cement concrete exposed to temperature up to 500F.Temperature and Concrete, SP-25, Detroit, pp. 59–102.

59- Min, L., ChunXiang, Q. and Wei, S. Mechanical Properties of High-strength Concrete after Fire, Cement and Concrete Research, 34: pp: 1001-1005, 2004.

60- A. Lau and M. Anson, "Effect of high temperatures on high performance steel fibre reinforced concrete," Cement and Concrete Research, vol. 36, no. 9, pp: 1698–1707, 2006.

61- G. Menendez, V. Bonavetti and E.F. Irassar, Strength development of ternary blended cement with limestone filler and blast-furnace slag, Cement & Concrete Composites 25 (2003) 61-67.

62- El-KamashA.M. , M.R. El-Naggar, and M.I. El- Dessouky, "Immobilization of cesium and strontium radionuclides in zeolite-cement blends", Journal of Hazardous Materials B136, 310, 2006.

63- Balakrishnaiah.D1,"Study of mechanical properties of concrete at elevated temperature- a review- ijret": International Journal of Research in Engineering and Technology Volume: 02 Issue: 08 Aug-2013.

64- Lothenbach, B., Saout, G., Gallucci, E., Scrivener, K.," Influence of limestone on the hydration of Portland cements", Cement and Concrete Research, vol. 38, pp: 848–860, 2008.

65- S.D Inglethorpe, D J Morgan, British Geological Survey, Technical Report W/G/93/20, 1993.

66- Handoo, SK, Agarwal S, Agarwal SK, Physiochemical, Mineralogical, and Morphological Characteristics of Concrete Exposed to ElevatedTemperatures, Cement and Concrete Research, 32, 1009-1018, 2002.

67- A. Lau and M. Anson, "Effect of high temperatures on high performance steel fibre reinforced concrete," Cement and Concrete Research, vol. 36, no. 9, pp. 1698–1707, 2006.

68- C.-S. Poon, S. Azhar, M. Anson, and Y.-L. Wong, "Comparison of the strength and durability performance of normal- and high-strength pozzolanic concretes at elevated temperatures," Cement and Concrete Research, vol. 31, no. 9, pp. 1291–1300, 2001.View at Publisher · View at Google Scholar · View at Scopus

69- B. Chen and J. Liu, "Residual strength of hybrid-fiber-reinforced high-strength concrete after exposure to high temperatures," Cement and Concrete Research, vol. 34, no. 6, pp. 1065–1069, 2004.View at Publisher · View at Google Scholar · View at Scopus

70- Arioz, O. ''Retained properties of concrete exposed to high temperatures:size effect'', Fire and Materials, 33, pp. 211–222 doi:10.1002/fam. (2009).Comp.stre

71- Georgali, B. and Tsakiridis, P.E. ''Microstructure of fire-damaged concrete'',Cement and Concrete Composites, 27, pp. 255–259 (2005).Comp.stre

72- Xiao, J. and Konig, G. ''Study on concrete at high temperature in China—anoverview'', Fire Safety Journal, 39, pp. 89–103 (2004).Comp.stre

73- Savva, A., Manita, P. and Sideris, K.K. ''Influence of elevated temperatureson the mechanical properties of blended cement concretes prepared withlimestone and siliceous aggregates'', Cement and Concrete Research, 27,pp. 239–248 (2005).Comp.stre

74- Chan, Y.N., Peng, G.F. and Anson, M. ''Residual strength and pore structureof high-strength concrete and normal strength concrete after exposure tohigh temperatures'', Cement and Concrete Research, 21, pp. 23–27 (1999).Comp.stre

75- D.L. Bish, C.J. Duffy, R.F. Giese Jr., S. Guggenheim, A.F. Koster van Groos, R.A. Ramik, F.J. Wicks, Thermal Analysis in Clay Science Vol. 3, The Clay Minerals Society, Boulder, 1990.

76- Min, L., ChunXiang, Q. and Wei, S."Mechanical Properties of High-strength Concrete after Fire", Cement and Concrete Research, 34: pp: 1001-1005, 2004.

77- Mao-hua Zhang, Hui Li, Pore structure and chloride permeability of concrete containing nano-particles for pavement, Journal of Construction and Building Materials, Vol. 25, (2011), 608–616.

78- Josef Hadipramana, Abdul Aziz Abdul Samad, Zi Jun Zhao, Noridah Mohammad, W. Wirdawati, Influence of Polypropylene Fiber in Strength of Foamed Concrete, Journal of Advanced Materials Research, Vol. 488 – 489, (2012), 253-257.

79- Georgali, B, Tsakiridis P.E, Microstructure of Fire-Damaged Concrete, A Case Study, Cement and Concrete Composites, 27 (2013), No 2, 255-259.

80- Fares, H., Noumowe, A., Remond, S.: Self-consolidating concrete subjected to high temperature—mechanical and physicochemical properties. Cem. Concr. Res. 39, 1230–1238 (2009).

81- Toledo Filho, R.D., Goncalves, J.P., Americano, B.B. and Fairbairn, E.M.R., Potential for use of crushed waste calcined clay brick. Vol. 37, Issue 9, pp. 1357 - 1366, 2007.).

82- Liu, Y. A., Baughman, D. R., Neural Networks in Bioprocessing and Chemical Engineering, Academic Press, Inc., San Diego, 1995.

83- F. Ozcan, C.D. Atis, O. Karahan, E. Uncuoglu, H. Tanyildizi,Comparison of artificial neural network and fuzzy logic modelsfor prediction of long term compressive strength of silica fumeconcrete, Adv. Eng. Softw. 40 (2009) 856–863.

84- W.P.S. Dias, S.P. Pooliyadda, Neural networks for predictingproperties of concretes with admixtures, Constr. Build. Mater.15 (2001) 371–379.

85- DEBOECK, G. J. (1994), Trading on the Edge, John Wiley and Sons Inc., New York.

86- PARTOVI, F. Y. and ANANDRAJAN, M. (2002), „Classifying Inventory Using an ArtificialNeural Network Approach", Computers and Industrial Engineering 41, 389–404.

87- NEHDI, M., EL CHABIB, H. and EL NAGGAR, H. (2001a), „Predicting Performance of Self-Compacting Concrete Mixtures Using Artificial Neural Networks", ACI Materials Journal 98(5), 394–401.

88- YEH, I. C. (1999), „Design of High-Performance Concrete Mixture Using Neural Networks and Nonlinear Programming", Journal of Computing in Civil Engineering 13(1), 36–42.

89- Tapkin, S., Tuncan, M., Arioz, O., Tuncan, A. and Ramyar, K. (2006), "Estimation of concrete compressive strengthby using ultrasonic pulse velocities and artificial neural networks", Conference for Computer Aided Engineeringand System Modeling, 11th FIGES User's Conference, Turkey.

90-Rafiq, M.Y., Bugmann, G. and Easterbrook D.J. (2001), "Neural network design for engineering application", Comput.Struct., 79, 1541-1552.

91-Ashour, A.F. and Alqedra, M.A. (2005), "Concrete breakout strength of single anchors in tension using neuralnetworks", Adv. Eng. Softw., 36, 87-97.

92-Kartam, N., Flood, I. and Garrett, J.H. (1997), Artificial neural networks for civil engineers: fundamentals and applications, ASCE, New York.

93-A.B. Goktepe, G. Inan, K. Ramyar, A. Sezer, Estimation ofsulfate expansion level of PC mortar using statistical and neuralapproaches, Constr. Build.Mater. 20 (2006) 441–449.

94-E. Guneyisi, M. Gesoglu, T. Ozturan, E. Ozbay, Estimation ofchloride permeability of concretes by empirical modeling:considering effect of cement type, curing condition and age,Constr. Build. Mater. 23 (2009) 469–481.

95-Ren LQ, Zhao ZY.An optimal neural network and concrete strength modeling. Journal ofAdvance Engineering Software, 33 (2013) 117–130.

Guide Line Proposed Code Provision for Concrete Performance under Elevated Temperature

In the last four years,fire accidentsinEgypthave becomeone of the majorproblems thatplaguethose whoaredevelopingspecificationsfor buildings andpublicfacilitiesdue to theconsequentsevere damage inthefacilitiesand thelivesofhazardsexposuretimes. Thisresearch andthe authors try to developnew waysand means ofhelpingto understand andstudythe impact ofthe on theconcrete. Thereforethe researchers hope thatthis letterwill help those whoare developingthespecificationsin Egypt throughsome of the recommendations as follows:

1-The weight loss is considered as one of the most concrete signs that give indications on the vulnerability of the concrete when exposed to high temperature. As it well known that as the exposure to elevated temperaturesincreases, the damageof concrete increasesas well as loss in weight. Based on this principle, this research estimatedthe maximum temperature and the duration of exposure by total weight loss analyzing using TGA apparatus. In order to simplify this task, after the concrete samples were exposed to elevated temperature at 20, 200, 400 and 600°C for different timingperiods up to two hours.Powdered samples (40 mg) were placed in the (TGA) apparatus and the mass loss was measured while the specimens were gradually exposed to increasing temperatures up to 1000°C. Results showed that as temperature ofthe sampleincreases before placing itin the(TGA)device,itsoverall(TGA) weightlossdecreases. The obtained curveshave linkedthree variables, the degree of temperature during the exposure to fire,the duration ofexposure andthe lossinweight. Throughthese curvesandby knowinganytwo variables the third variable can be obtained. No expensive measurement equipmentswere necessary to perform these observationsand the experiment just took less than 2 hours.Therefore,this studyrecommendsincreasingthe reliance on(TGA) deviceand using it toestimatecurvesfor different types ofconcretein terms ofdifferentcement content, water to cement ratio, compressive strength…… etc.

2- This thesis suggests that the best way for the construction industry tobecome more sustainable is by using wastesfrom other industries as building materials. Therefore, as a considerable recommendation,the use ofwastecement plants materials should expand, and particularly in what is knowncommercially asceramicpowder and melaminepowderas theyclearly

showed a significant improvement in high temperature resistance of the cement mortar and its morphologywhen usedas a cement replacement by 10% of mass. It will also have a major effect ondecreasing concrete costs, since the cost of these waste materials is less than the cement cost of about 70%.

3-This thesis recommends expanding in the usage of limestone Portland cement instead of ordinary Portland cement in case of buildings,which can be exposed to high degree of temperature, due to the fact that the limestone Portland cement enhances the resistance of the mortars and the concrete when the temperature is elevated.

4- The authors suggested the following equation to classify the degree of damage for the concrete at elevated temperatures:

$$(F.D) = \frac{[Tt * Wtga]}{[Tt + Tc]} * 100$$

Where:

F.D : Factor of damage.

T_t: Duration of the elevated temperature exposure.

Wtga: Total –TGA- weight loss.

T_c : Degree of the elevated temperature.

If:

F.D > 10 ..... No damage.

10 ≥ F.D ≥ 3.25.....Low damage.

3.25> F.D ≥ 1.5 .....Moderate damage.

F.D < 1.5.....Quite adverse damage.

Finally, the authors hope that these thesis's recommendations produce, even a little bit, some useful information that may help improving and increasing the effectiveness of concrete durability against high temperatures.

جـامعة الإسكـندريـة

كلـية الـهندسـه

النـهج القائـم علـى الأداء لتحسين مقاومـة الخرسـانة تحت تأثير درجـة الحـــرارة العالـية

رسـاله

للإنجاز الجزئي لدرجة دكتوراة الفلسفة في الهندسة الإنشائية

مقدمة من مهندس

محمد محمود الجوهري

بكالوريوس هندسة مدنية ٢٠٠١

دبلـوم هندســة إنشـائيـة ٢٠٠٤

ماجيستير هندسة انشائية ٢٠٠٧

لجنة الإشراف

أ.د. عادل أحمد الكردي

أ.د. علي عبد الحكم علي

تاريخ التسجيل ٢٠٠٨/٩

تاريخ التسليم ٢٠١٤/٩

إعتماد صلاحية الرســـالــة

جـامعـة الإسكـنـدريـة

كلـيـة الهندســه

النهج القائم على الأداء لتحسين مقاومة الخرسانة تحت تأثير درجة الحـرارة العالـية

رسـاله

للإنجاز الجزئي لدرجة دكتوراة الفلسفة في الهندسة الإنشائية

مقدمة من مهندس / محمد محمود الجوهري

لجنة الحكم على الرسالة:

الأستاذ الدكتور/ عادل أحمد الكردي
أستـاذ بقســم الهندســة الإنشــائيــة
كليـة الهندســة- جـامعة الاسكـندرية

الأستاذ الدكتور/ جــودة محمد غانـم
أستـاذ بقســم الهندســة الإنشــائيــة
كليـــة الهندســة- جـامـعة حلــوان

الأستاذ الدكتور/ شفيق شوقي خوري
أستـاذ بقســم الهندســة الإنشــائيــة
كليـة الهندســة- جـامعة الاسكـندرية

الأستاذ الدكتور/ علي عبد الحكم علي
أستـاذ بقســم الهندســة الإنشــائيــة
كليـة الهندســة- جـامعة الاسكـندرية

إعتماد مجلس الكلية:

الأستاذ الدكتور/
وكيل الكلية للدراسات العليا والبحوث
كلية الهندسة – جامعة الاسكـــندريـة

إعتماد صلاحية الرســـالــة

جـامعة الإسكـندريــة

كلـية الهندســه

النهج القائم على الأداء لتحسين مقاومة الخرسانة تحت تأثير درجــة الحــرارة العالــية

رسـاله

للإنجاز الجزئي لدرجة دكتوراة الفلسفة في الهندسة الإنشائية

مقدمة من مهندس / محمد محمود الجوهري

لجنة الإشراف:-

الأستاذ الدكتور/ عادل أحمد الكردي

أستاذ خواص وإختبار المواد - كلية الهندسة - جامعة الاسكندرية

الأستاذ الدكتور/ علي عبد الحكم علي

أستاذ خواص وإختبار المواد - كلية الهندسة- جامعة الاسكندرية

الملخص العربى

مقدمة:-

عند تعرض الخرسانة للحرارة المرتفعة او الحريق مباشرة فانها تتأثر تأثرا شديدا ويحدث لها دمارا شديدا وتتأثر خواصها بدرجة كبيرة خاصة مع ارتفاع درجة الحرارة فكلما زادت درجة الحرارة التي تتعرض لها الخرسانة كلما زادت درجة الأضرار التي تلحق بها.

تعتبر تلك الدراسة محاولة للحد من تأثير الحرارة المرتفعة علي الخرسانة ومحاوله لتوفير حمايه لها باكبر قدر ممكن و من اجل ذلك فانه تم دراسة تأثير إضافة بعض المواد داخل الخرسانة للحد من آثار الحرارة العاليه مثل البولي بروبلين فايبر، الفيبر الحديد، السيليكافيوم، بودرة الحجر الجيري و البنتونيت. كما تم استخدام بعض المواد كنسبة من المحتوي الاسمنتي في عمل مونه تعمل كحمايه خارجية للخرسانة ومن ضمن تلك المواد بودرة السيراميك، بودرة الميلامين، البنتونيت، بودرة الطوب الأحمر و اسمنت الحجر الجيري البورتلاندي لملاحظة ايهم يحقق كفاءة وأداء أفضل للخرسانة عند تعرضها للحرارة المرتفعة.

أهداف الدراسة:-

تركزت الرسالة علي دراسة التدهور الحادث في خواص الخرسانة (الضغط والشد الانفصالي والانحناء) عند تعرضهم للحرارة العاليه ودراسة تأثير التبريد بالماء علي مقاومة الضغط للخرسانة وتأثير الغطاء الخرساني علي حمايه حديد التسليح. كما تم دراسة توزيع الحرارة داخل البلاطات الخرسانية. تناولت الدراسة ايضا كيفية تحسين مقاومة الخرسانة للحرارة العالية سواء بإضافة مواد داخل مكونات الخرسانة نفسها او باستخدام مونة معدلة كحماية خارجية للخرسانة.

محتويات الرسالة:-

تتكون الرسالة من سبعة ابواب وتركزت علي تأثير الحرارة العاليه علي تدهور خواص الخرسانة وكيفية تحسين أدائها.

الباب الأول:

يتحدث عن اهميه الخرسانة ودورها في مقاومة الحريق والحرارة العاليه والتغيرات التي تحدث بها أثناء ارتفاع درجات الحرارة. كما يحتوي علي أهداف الرسالة والغرض منها.

الباب الثاني:

يحتوي علي ملخص عن قراءات سابقة عن تأثير الحرارة العاليه علي خواص الخرسانة وكيفية تناول ودراسة الاكواد العالميه المختلفة لتلك التأثيرات. كما يتضمن ذلك الباب ايضا نبذة تاريخيه عن خواص المواد المضافة للخرسانة او المونة مثل بودرة الحجر الجيري، البنتونيت...الخ

الباب الثالث:

يحتوي علي تقديم للمواد التي تم استخدامها في صب العينات الخرسانيه و المونه الأسمنتيه التي اجريت عليها الاختبارات وتقديم خواصها الفيزيقة والطبيعية وهذة المواد هي الماء، الأسمنت، الرمل، السن، السليكافيوم، بودرة الحجر الجيري، البنتونيت، بودرة السيراميك، بودرة الميلامين، بودرة الطوب الأحمر وأسمنت الحجر الجيري البورتلاندي. تم تثبيت المحتوي الاسمنتي عند ٤٠٠ كجم/ م ونسبة الماء الي الأسمنت ٠.٤٠ لكل الصبات الخرسانية بإستثناء العينات الخرسانية التي تحتوي علي بودرة الحجر الجيري كإضافة للمحتوي الاسمنتي. تم إجراء الاختبارات كالأتي:

أ- إختبارات علي الخرسانة العادية:
- إختبار الضغط علي مكعبات ١٠*١٠*١٠ سم.

- إختبار الشد الإنفصالي علي اسطوانات ١٠*٢٠ سم.
- إختبار الإنحناء علي كمرات ١٠*١٠*٥٠ سم.
- إختبار TGA.
- دراسة تأثير ارتفاع درجات الحرارة علي الفقد في الوزن وعلي الشروخ السطحية للمكعبات الخرسانية.
- دراسة تاثير سمك الغطاء الخرساني علي حماية حديد التسليح.
- دراسة تأثير التبريد بالماء علي مقاومة الخرسانة ومقارنتها بالتبريد بالهواء.
- دراسة توزيع درجات الحرارة داخل البلاطات الخرسانيه.
- دراسة التركيب البنائي للخرسانة باستخدام الميكرسكوب الإلكتروني عند درجات الحرارة المختلفة (٢٠، ٢٠٠، ٤٠٠، 600درجة مئوية).
- إختبار الشد الانفصالي بين الخرسانه وحديد التسليح علي اسطوانات ١٠*٢٠ سم في مركزها قضيب حديد ذو قطر ١٠ مم.

ب- إختبارات علي الخرسانة المعدله:
- إختبار الضغط علي مكعبات ١٠*١٠*١٠ سم.
- إختبار الإنحناء علي كمرات ١٠*١٠*٥٠ سم.
- دراسة تأثير المواد المختلفة علي حمايه البلاطات الخرسانية وعلي حمايه حديد التسليح داخل تلك البلاطات.
- دراسة تأثير ارتفاع درجات الحرارة علي الفقد في الوزن وعلي الشروخ السطحية للمكعبات الخرسانية.
- إختبار TGA.
- دراسة التركيب البنائي للخرسانة باستخدام الميكرسكوب الإلكتروني عند درجات الحرارة المختلفة (٢٠، ٢٠٠، ٤٠٠، 600درجة مئوية).

ت- إختبارات علي المونة المعدله:
- إختبار الضغط علي مكعبات ٢.٥*٢.٥*٢.٥ سم.
- إختبار TGA.
- دراسة التركيب البنائي للمونة المعدله باستخدام الميكرسكوب الإلكتروني عند درجات الحرارة المختلفة (٢٠، ٢٠٠، ٤٠٠، 600درجة مئوية).
- دراسة تأثير المواد المختلفة المضافة الي المونة الاسمنتيه كنسبة من المحتوي الاسمنتي علي حمايه الخرسانة العادية من الحرارة العاليه باستخدامها كحمايه خارجية.
- دراسة تأثير ارتفاع درجات الحرارة علي الفقد في الوزن وعلي الشروخ السطحية للمونة الاسمنتيه.
-

ث- تم تعريض مبني صغير لحريق كدراسة عمليه ودراسة تأثير الحرارة العاليه علي بعض خواص البلاطة الخرسانيه للمبني.

الباب الرابع:-

تم تقديم نتائج الإختبارات التي اجريت علي العينات الخرسانية ومناقشتها مع عمل دراسة لتأثير الحريق علي مبني صغير كدراسة عمليه.

الباب الخامس:-

تم فيه استخدام جهاز الـ TGA لاستنباط منحنيات يمكن من خلالها معرفة درجة الحرارة التي يمكن ان يتعرض لها المنشأ أثناء الحريق او مدته الزمنيه اعتمادا علي الفقد في الوزن لعينه الخرسانه.

الباب السادس:-

تم عمل نماذج باستخدام برنامج الشبكات العصبيه ومقارنتها بالنتائج المعمليه وأثبتت دقة النتائج وقدرة البرنامج علي استنتاج النتائج بدقة كبيرة.

الباب السابع:-

عرض ملخص لما تم التوصل اليه من نتائج ومناقشتها.

وأخيرا تم عرض المراجع السابقة التي تم الإستعانة بها في إعداد الرسالة.

<u>نتائج البحث:-</u>

١- التبريد بالماء له اثار ضارة علي مقاومة الخرسانة اذا ماتم مقارنتها بالتبريد في درجة حرارة الغرفة العادية حيث تقلل مقاومة الضغط بمقدار ٣، ٩، ٦% عند درجات حرارة ٢٠٠، ٤٠٠، ٦٠٠ درجة مئوية بالترتيب مقارنة بالتبريد في درجة حرارة الغرفة مع الخذ في الإعتبار تأثير صغر ابعاد العينات حيث تمت التجارب علي مكعبات ١٠٠ مم.

٢- منحنيات (TGA/DTG) للخرسانة التقليدية تظهر ان هناك ثلاث خطوات للفقد في الوزن، الاولي عند حوالي ١٠٠ درجة مئوية نتيجة لتبخر الماء السطحي والماء الموجود في رابطة C-S-H. الثانيه عند درجة حرارة تقريبا ٤٨٠ درجة مئوية نتيجة عمليه الهيدريشن وتحلل هيدروكسيد الكالسيوم والثالثة عند درجة حرارة ٧٨٠ درجة مئوية تقريبا نتيجة لعمليه تحلل كربونات الكالسيوم.

٣- استخدام الميكرسكوب الماسح الالكتروني في فحص الخرسانة التقليدية يظهر تجانس مكونات الخرسانة، مع ارتفاع درجات الحرارة يحدث تحلل لمكونات الخرسانة وخاصة عند درجة حرارة ٦٠٠ درجة مئوية والتي تظهر بها الشروخ واضحة في العينات الخرسانية.

٤- الغطاء الخرساني له دور كبير في حمايه حديد التسليح فزيادة الغطاء الخرساني من ٢٥ مم الي ٧٥ مم يقلل درجة حرارة حديد التسليح بمقدار ٥٨% داخل البلاطات الخرسانية اذا ما عرضت لدرجة حرارة ٨٠٠ درجة مئوية لمدة ساعتين.

٥- إضافة السليكافيوم بنسبة ١٠% كنسبة احلال من المحتوي الاسمنتي يحسن من مقاومة الخرسانة للحرارة العاليه حتي درجة حرارة ٤٠٠ درجة مئوية بنسب تتراوح بين ٣ و ١٥%. عند ٦٠٠ درجة مئوية تقل مقاومة خرسانة السليكافيوم عن الخرسانة التقليدية بنسبه ٢١% وذلك يثبت حساسيتها لدرجات الحرارة المرتفعة.

٦- وجود البولي بروبلين فايبر داخل الخرسانة (٠.٩٠ كجم/ م) يقلل من الفقد في الوزن ويقلل الشروخ السطحية للخرسانة نتيجة لان ذوبان البولي بروبلين فايبر عند درجة حرارة ١٧٠ درجة مئوية يكون ممرات داخل الخرسانة مما يقلل من الضغط داخل الخرسانة نتيجة تبخر الماء. الميكرسكوب الماسح الالكتروني عزز هذه النتائج.

٧- وجود الفايبر الحديدي يحسن من مقاومة الضغط بنسب ٣٧، ٣٨، ٤٧ و ٢٢ عند ٢٠، ٢٠٠، ٤٠٠ و ٦٠٠ درجة مئوية بالترتيب ويقلل الشروخ ويحمي حديد التسليح داخل البلاطات الخرسانيةعند تعرضها لدرجات الحرارة العاليه.

٨- أظهرت النتائج ان استخدام بودرة الحجر الجيري كإضافة للمحتوي الاسمنتي يحسن من خواص الخرسانة حتي نسبة ١٥% ويقلل الشروخ السطحية ويحسن المقاومة عند درجات الحرارة المرتفعة كما انه يقلل من محتوي الركام الصغير والكبير بنسبه ٦.٥%. كما تظر الصور الناتجة من الميكرسكوب الماسح الالكتروني استمرار وجود حبيبات الحجر الجيري حتي ٦٠٠ درجة مئوية دون حدوث تحلل لها.

٩- استخدام بودرة الحجر الجيري كإحلال بنسبه ١٠ و١٥% من المحتوي الاسمنتي يقلل من مقاومة الخرسانة عند درجات الحرارة المرتفعة بنسب تتراوح بين ٢ و ٣٥% نتيجة ان بودرة الحجر الجيري لا تستطيع تعويض الفقد في محتوي الاسمنت البورتلاندي ولكنها ما زالت تقلل من الشروخ السطحيه للخرسانة.

١٠- استخدام البنتونيت يعطي نتائج مرضية الي حد ما بالرغم من ان مقاومة الضغط للخرسانة المحتوية علي ١٠% بنتونيت كنسبة احلال من المحتوي الاسمنتي يعطي نتائج اقل من الخرسانة التقليدية بنسبة تتراوح بـ ٤% عند ٦٠٠

درجه مئويه. كما أن وجود البنتونيت يقلل من الفقد في الوزن في الخرسانة نتيجة ارتفاع درجات الحرارة. صور الميكرسكوب الماسح الالكتروني تظهر وجود صفائح البنتونيت حتي درجة ٦٠٠ درجة مئوية.

١١-يمكن استخدام المنحنيات الناتجة من TGA/DTG في استنتاج درجة الحرارة او الفترة الزمنية التي تعرضت لها الخرسانة للحريق او الحرارة العاليه وذلك كدلالة في الفقد في الوزنوهي نتيجه مهمة للبحث يمكن تطويرها في المستقبل حيث إنها تحتاج لقاعدة بيانات كبيرة لكي تغطي كافة انواع الخرسانات.

١٢-توفر المونة الاسمنتية حمايه جيدة للخرسانة من الحرارة العاليه. حيث أثبتت النتائج المعمليه ان عمل حمايه للخرسانة باستخدام المونه العاديه بسمك ٢.٥ سم يوفر حمايه لها بدرجة تحسن من مقاومتها عند تعرضها لـ ٦٠٠ درجة مئويه لمدة ساعتين بمقدار ٢٠% ويقلل من درجة حديد التسليح داخل الخرسانه بنسبه ١٣%.

١٣- أظهرت التجارب المعمليه أيضا انه عند عمل مونة أسمنتيه تقليديه كطبقة حمايه بسمك ٢.٥ سم لبلاطه خرسانيه بها ٢.٥ سم غطاء خرساني فان درجة الحرارة التي تصل الي حديد التسليح لا تتعدي ٢٠% من درجة الحرارة التي تتعرض لها البلاطة (١٢٠٠ درجة مئويه).

١٤-عند استخدام اسمنت الحجر الجيري البورتلاندي بدلا من الاسمنت البورتلاندي العادي في عمل المونة الاسمنتية تحسنت مقاومة الضغط عند درجات الحرارة العاليه حتي ٦٠٠ درجة مئوية بنسب تراوحت بين ٦ و ٣٠% واظهرت حمايه افضل للخرسانة عند استخدامها كطبقة حمايه خارجية.

١٥-استخدام بودرة السيراميك في المونة الاسمنتيه بنسبة احلال من الاسمنت البورتلاندي العادي ١٠% اعطي نتائج في مقاومة الضغط افضل من المونة التقليدية بنسب تراوحت بين ٢ و ٢٣% تحت تاثير درجات الحرارة المختلفة حتي ٦٠٠ درجة مئويه بينما زيادة هذة النسبة الي ٢٠% اعطي نتائج عكسية.

١٦-استخدام بودرة الطوب الاحمر كنسبة احلال من الاسمنت البورتلاندي العادي ١٠ و ٢٠% عند درجة حرارة الغرفة اعطي مقاومة اقل بنسب ٦ و ١٥% بالترتيب ولكن عند تعرضها للحرارة العاليه اعطت نتائج قريبة جدا بالمقارنة بالمونة الاسمنتية التقليدية.

١٧-استخدام بودرة الميلامين بنسبة ١٠% من محتوي الاسمنت البورتلاندي العادي بالمونة اظهر نتائج جيدة في مقاومة الضغط كما اعطي افضل النتائج عند استخدامها في تغطية المكعبات الخرسانية. كما أظهرت حبيباتها تحت الميكرسكوب الماسح الإليكتروني تماسكها في مجموعات بشكل جدير بالاهتمام.

١٨-منحنيات TGA/DTG سواء للخرسانة او المونة الاسمنية تظهر ثلاث مراحل للفقد في الوزن عند درجات الحرارة السابق ذكرها وقد تتغير هذة الحرارة بالزيادة او النقصان بمقدار بسيط تبعا لمحتوي الجير. كما ان الفقد في الوزن الناتج عن اختبار TGA/DTG يقل مع ازدياد درجة الحرارة السابق تعريض العينات لها قبل الاختبار.

١٩-تم استخدام برنامج الشبكات العصبيه في مقارنة بعض النتائج المعمليه وبيان دقتها. اثبت البرنامج دقة نتائج التجارب المعمليه باستخدام ثلاث محددات وهي ($RMSE, MAE, R^2$) كما أظهر كفاءة كبيرة في استنباط وتوقع النتائج بدقة وإنتظام.