



Namık Yaltay

Yüzüncü Yıl University, namikyaltay@yyu.edu.tr, Van-Turkey

DOI	http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2017.12.4.1A0388
ORCID ID	0000-0002-0484-1275

NANO SİLİKA'NIN BETON BASINÇ DAYANIMINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

ÖZ

Bu çalışmada Nano SiO₂'nin betonların basınç dayanımına olan etkisi çok yönlü olarak incelenmiştir. Dünyada en çok kullanılan yapı malzemesi olan beton, gün geçtikçe gelişmekte ve yenilenmektedir. Bilimsel çalışmalar çimentonun yerini alacak alternatifler ararken, bir yandan da çimentonun performansını geliştirmek için yeni katkılar üretmektedir. Nano silika (SiO₂) betonun çeşitli özelliklerini iyileştirmek amacıyla beton bünyesinde çimentoyla ikame edilerek denenmekte, özellikle yüksek dayanımlı betonlarda matris özellikleri üzerinde çeşitli etkiler yapmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Nano, Silika, SiO₂, Beton, Çimento, Basınç Dayanımı

INVESTIGATION OF NANO SILICA EFFECT ON CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH

ABSTRACT

In this study, the effect of Nano SiO₂ on the compressive strength of concrete was sophisticatedly investigated. Concrete, the most widely used building material in the world, is being developed and renewed day by day. Scientific studies investigate the alternative materials to replace cement, while generating new admixtures to enhance cement performance. Nano silica (SiO₂) has been tried by substituting cement within the concrete in order to improve various properties of the concrete, and it has various effects on matrix properties especially in high strength concretes.

Keywords: Nano, Silica, SiO₂, Concrete, Cement, Compressive Strength

How to Cite:

Yaltay, N., (2017). Nano Silika'nın Beton Basınç Dayanımına Etkisinin İncelenmesi, **Engineering Sciences (NWSAENS)**, 12(4):216-223, DOI: 10.12739/NWSA.2017.12.4.1A0388.



1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Beton dünyada en yaygın kullanılan yapı malzemesidir [1 ve 2]. Betonun oluşturan temel bağlayıcı olan ve her yıl yaklaşık 20 milyar ton üretilen Çimento, dünya çapındaki CO₂ salınımının %8'sini oluşturmaktadır ki bu çevre kirliliği açısından endişe vericidir. Çimento üretimi, yoğun enerji kullanılan süreçtir ve dünya çapındaki enerji tüketiminin %7'sini temsil etmektedir. Çağdaş inşaat sektörü, ileri ve yeni çimento esaslı malzemelerin geliştirilmesi için çalışmaktadır. Çimento esaslı malzemelerin performansının artırılması için iki yaklaşım vardır, biri Geo-polimer gibi çimento içerikli malzemelerin yerini alacak uygun alternatif materyalleri bulmak ve diğeri ise katkı maddeleri ile çimentonun performansını ayarlamaktır [3 ve 4]. Nanoteknoloji, yeni özelliklere ve işlevlere sahip malzemeler üretmek amacıyla, nanometre düzeyinde (100nm'den daha küçük) maddenin anlaşılması, kontrolü ve yeniden yapılandırılması şeklinde tanımlanır [2]. Nanoteknolojide iki temel yaklaşım vardır. Biri "top-down" yaklaşımıdır. Bu yaklaşımda daha büyük yapı, atomik düzeyde kontrol olmaksızın orijinal özellikler korunarak nano ölçeğe küçültülür. Diğeri ise "bottom-top" yaklaşımıdır ki "moleküler nanoteknoloji" ya da "moleküler üretim" olarak da bilinir. Malzemelerin, atomlarının veya molekül bileşenlerinin birleştirilmesi veya kendi kendine bağ kurma prosesi ile tasarlanmasından ibarettir. Modern teknolojinin pek çoğu "top-down" yaklaşım üzerine kuruludur [2]. Nanoteknoloji son zamanlarda dünya çapında "en sıcak" araştırma ve geliştirme alanlarından biri olmuş ayrıca medya ve yatırım camiasından büyük ilgi görmüştür [5]. Nano malzemelerin betonda kullanılması, su ihtiyacı gibi eksiklikleri olmasına rağmen, çimento esaslı malzemelerin bazı teknik özelliklerinin iyileştirilmesinde faydalıdır. Nano materyallerin betona ilavesi, Metakolin ve silis dumanı gibi mikro esaslı malzemelerin etkisi gibi benzer bir etkiye sahiptir [6]. Betonda nano parçacıkların kullanılmasının betonun mekanik özelliklerini geliştirdiği ve ayrıca mikro yapı ve gözenek yapısında iyileşme sağladığı göstermiştir [7]. Nano malzemelerin çimentoya dahil edilmesi Çimento esaslı malzemelerin yapısal verimliliğini, dayanıklılığını ve mukavemetini artırabilir ve Böylece yapıların kalitesinin ve ömrünün artırılmasına yardımcı olabilir [4].

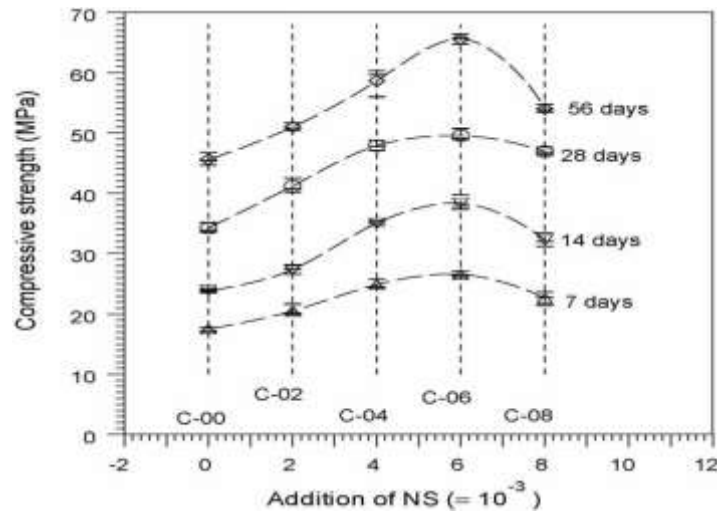
2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Dünyada en yaygın olarak kullanılan beton karışımında kullanılan çimento üretiminin çevreye verdiği zararın ve tükettiği enerji miktarının azaltılması açısından çeşitli puzolanik mineral katkılarla birlikte kullanılması fayda sağlamaktadır. Nano boyuttaki malzemelerin bu anlamda kullanılması ve çimento üzerinde yaptığı iyileştirmelerle ilgili yapılan çalışmaların beton basınç dayanımı açısından derlenmesi, betonun bu en önemli özelliği için hem bir kaynak olacak hem de sonraki çalışmalara ışık tutacaktır. Nano malzemeler içinde betonda araştırmalar için en çok kullanılan nano SiO₂ (Silika) bu açıdan ayrıca önemlidir.

3. NANO SiO₂'NİN BETONDA KULLANIMI VE BASINÇ DAYANIMINA ETKİLERİ (THE EFFECTS OF NANO SiO₂ ON CONCRETE USE AND PRESSURE RESISTANCE)

Betonda, nano boyutta CaCO₃, TiO₂, Al₂O₃, FeO₂,Cr₂O₃ ve nano SiO₂ gibi katkıları çeşitli özelliklere etkilerini görmek üzere denenmiştir [6, 7, 8, 9 ve 10]. Tüm nano malzemeler içinde, çimento ve betonda performansı artırmak için en geniş kullanımı olan nano silikadır (SiO₂). Puzolanik aktivitesi yanında, boşluk doldurma etkisi gösteren

bir malzemedir [3]. Yapılan çeşitli çalışmalarda, kendiliğinden yerleşen, ultra yüksek dayanımlı, lifli+kendiliğinden yerleşen, Petrol kuyu, alkali aktif çürüf betonu ve çimento harçları üzerinde, çimentoyla ikame edilen nano silika oranı değişkenlik göstermektedir. Genel olarak Nano SiO₂ için optimum değerler %0.6, 1, 1.5, 2.5, 3, 4 ve %5'in altında şeklinde ifade edilmiş ve söz konusu yüzde oranlarında nispeten daha iyi performanslar elde edilmiştir. Mekanik özelliklerde oluşan iyileşme nano silikanın yüksek puzolanik aktivitesine, hidrasyonu destekleyerek mikroyapıyı iyileştirmesine ve filler etkisine bağlanmıştır [11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 ve 20]. Yüksek dayanımlı betonlarda yapılan çalışmada özellikle erken yaşlarda nano SiO₂ oranının artışıyla basınç dayanımının arttığı rapor edilmiştir. Silis dumanı için bu durumun tersi, erken yaşlarda hafif düşüşler ve ileri yaşlarda basınç dayanımında artış olduğu belirtilmiştir [21]. Shih, Chang ve Hsiao (2006:16) yaptıkları çalışmada %0.6 oranında kullandıkları nano silika ile ürettikleri 14 günlük çimento harç numunelerinin basınç dayanım artışının %60.6, 56 günlük numunelerde ise %43.8 olduğunu rapor etmişlerdir. Nano Silikanın Aşırı miktarda eklenmesi durumunda aglomerasyon problemine bağlı olarak dayanımlarda azalmalar olduğu bildirilmiştir [12 ve 15]. Jalal ve ark. (2015:23)'a göre "Nispeten az miktarda bile olsa nano partiküller, harç içine üniform dağıldığında, çekirdek oluşturarak, çimento hidratı ile sıkıca bağlanır ve yüksek aktivitesi ile hidrasyonu ayrıca destekler ki, bu çimento harcı dayanımında olumlu bir durum oluşturur".

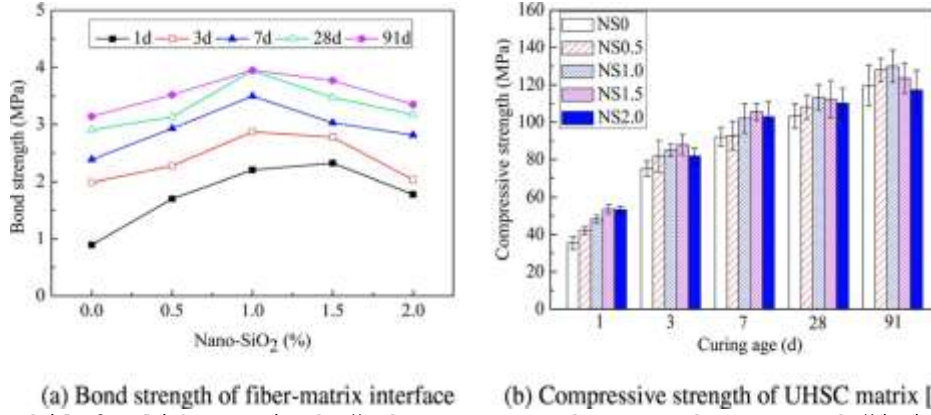


Şekil 1. Farklı Nano silika oranları ve kür yaşları için basınç dayanımları

(Figure 1. Compressive strengths of Portland cement composite at various additions of NS and ages) [16]

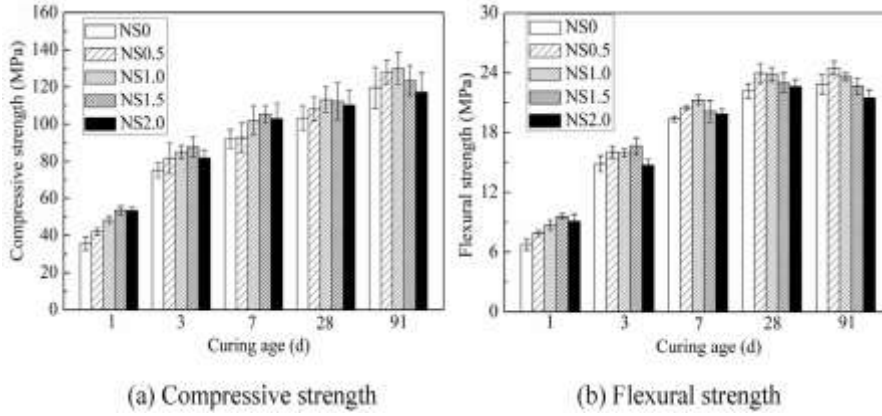
Wu, Khayt ve Shi (2017:14) lifli ultra yüksek dayanımlı beton üzerinde yaptıkları çalışmada Nano-SiO₂'nin lif ile UYDB arasında ara yüz bölgesi bağ özelliklerinin kayda değer şekilde iyileştirebildiğini bildirmektedir. Bağ dayanımının ve çekilme (pullout) enerjisinin önce SiO₂ içeriğinin artması ile yükseldiğini ve %1 gibi kritik bir değerden sonra düştüğünü ifade etmiştir. Bu değişimin matrisin basınç dayanım değişimiyle uyumlu olduğunu, bağ dayanımı ve çekilme enerjisinin %1 nano SiO₂ için 28 günlük kür süresinde, sırasıyla %35 ve %70 referans numuneye göre iyileşmiştir. Aynı çalışmada kür yaşı ve nano SiO₂ içeriğinin ayrı ayrı bağ özelliklerinde belirgin iyileştirmesine rağmen, bu iki parametre arasında herhangi bir etkileşime

rastlanmadığını bildirmişlerdir. Mikroyapı analizinde %1 Nano SiO₂ katkısının matrisin en yoğun ve daha homojen mikroyapısıyla en düşük poroziteyi verdiğini bildirmiştir.



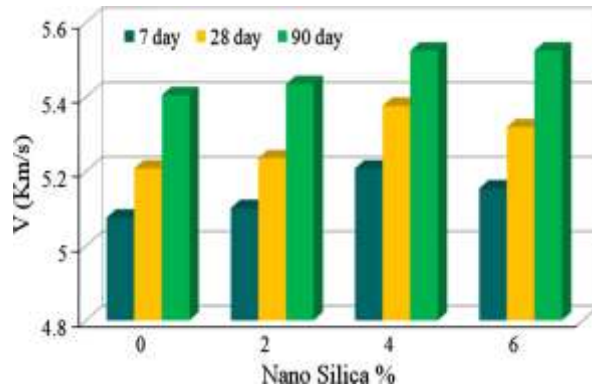
Şekil 2. lif-matris bağ dayanımı ve basınç dayanımı değişimi.
(Figure 2. Effect of nano-SiO₂ content on bond strength of fiber-matrix interface and compressive strength of UHSC matrix) [14]

Wu ve ark. (2016:15), nano CaCO₃ ve SiO₂ kullanarak ürettiği ultra yüksek dayanımlı betonlarda optimum SiO₂ dozajını %0.5-1.5 aralığında vermiştir. Ayrıca aglomerasyon problemine bağlı olarak verilen optimum değerlerden yüksek miktarda nano malzemeler kullanılırsa dayanımların refrans numunelerinden küçük bile çıkabildiğini bildirmiştir. Nano SiO₂'nin özellikle 7 günün altında erken yaş dayanımına katkıda bulunduğunu ifade etmiştir.



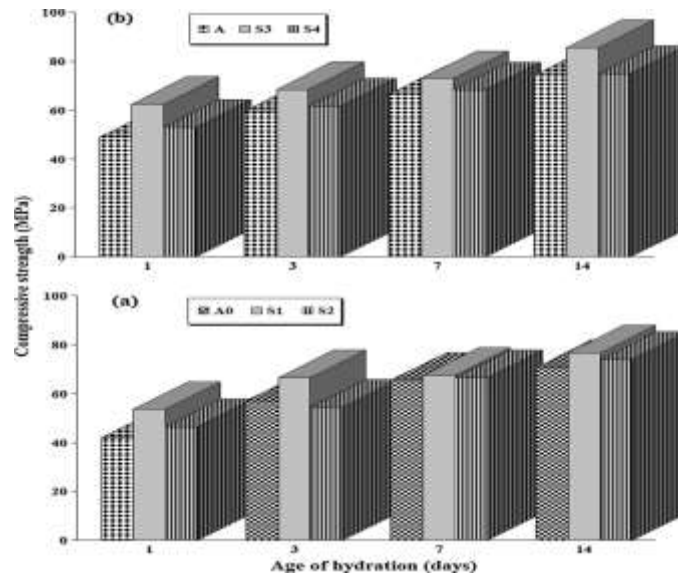
Şekil 3. Farklı nano SiO₂ içeriklerinin ultra yüksek dayanımlı betonda basınç ve eğilme dayanımına etkisi
(Figure 3. Effect of different nano-SiO₂ contents on compressive and flexural strengths of UHSC) [15]

Sadeghi Nik ve Lotfi Omran (2013:12), nano tanecikli, lif takviyeli ve kendiliğinden yerleşen betonların basınç dayanımlarını ultrasonik pulse hızı yöntemini kullanarak belirlemişlerdir. Çalışmada, %0, 2, 4 ve 6 oranlarında nano SiO₂'yi çimentoyla yer değiştirerek numuneler üretmişler ve %4'e kadar SiO₂ oranının basınç dayanımını öncelikle artırdığını ve sonra neredeyse azalttığını bildirmişlerdir. Artışın Nano SiO₂'nin filler ve puzolan etkisiyle lif ile çimento matrisini güçlendirmesine, düşüşü ise silikanın yüksek spesifik alanı nedeniyle topaklanmasına, fiziksel bir reaksiyonun silikanın bir araya gelerek kararsız topaklar oluşturduğunu ve %4 oranının uygulanabilir olduğunu bildirmişlerdir.



Şekil 4. Nano-SiO₂ oranının ultrason hızı iyileştirmeleri
(Figure 4. The influence of the percentage of nano-SiO₂ on the ultrasonic pulse velocity) [12]

El Gamal ve ark. (2017:11), Petrol kuyu çimento hamurunda karbon nanotüp, nano SiO₂ ve nano metakaolin kullanarak ürettikleri beton numunelerini oda sıcaklığı ve yüksek sıcaklıkta kürleyerek sonuçları değerlendirmişlerdir. Söz konusu malzemeler %1 ve %2 oranlarında kullanılmış ve Nano silikanın basınç dayanımında yükselttiğini, bunun da puzolanik reaksiyon sonucunda portlantidin tüketilmesi ve sistemin porozitesini düşüren ek CSH jelleri oluşumu ile meydana geldiğini bildirmişlerdir. Her iki kür sıcaklığında nano silika için optimum oran %1 olarak verilmiştir.



Şekil 5. %1 ve %2 nano silika oranları için a) oda sıcaklığında b) yüksek sıcaklıkta (90°C) Petrol kuyu çimentosu harcının basınç dayanım değerleri

(Figure 5. Compressive strength values for hardened OWC pastes admixed with 1 and 2% NS. (a) Hydrated at room temperature (b) Hydrated at 90°C) [11]

Ji, (2005:22) [22] nano SiO₂'nin mikroyapıyı iyileştirme mekanizmasını özetlerken; Çok miktarda Ca(OH)₂ kristalinin, çimento ve suyun reaksiyona girmesi (hidratasyon) sonucunda oluştuğunu, su geçirgenliği direnç kapasitesine zararlı olan Ca(OH)₂ kristalinin altıgen şeklinde olduğunu ve agrega ile bağlayıcı hamur arasında arayüz geçiş bölgesinde dizildiğini, nano-SiO₂'nin galaktik spesifik



alanı nedeniyle çok yüksek aktiviteye sahip olduğunu için $\text{Ca}(\text{OH})_2$ kristali ile çok hızlı reaksiyona girerek CSH jeli oluşturduğunu, Bunun da $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'nin absorbe edilerek miktar ve ebat olarak azalması demek olduğunu, sonuçta oluşan CSH jeli boşlukları doldurarak arayüz geçiş bölgesini geliştirdiğini bildirmiştir. Benzer şekilde ortalama çapı 10 nm olan CSH jelinin, hidrasyon ürününün %70'ini oluşturduğunu, Nano SiO_2 'nin CSH yapısının boşluklarını doldurabildiğini, ve bunun da matrisi daha yoğun hale getirdiğini ifade etmiş, bir nano SiO_2 taneciğinin CSH jeli içinde çekirdek oluşturarak CSH jel tanecikleriyle sıkı bağ oluşturduğunu ve böylece hidrasyon ürün yapısının entegrasyon ve stabilitesinin iyileştiği ve uzun vadede mekanik özelliklerin ve durabilitenin artmasının beklendiğini belirtmiştir. Filler özelliğinin düşük oranlarda kullanılsa bile dağılımın iyi olduğu durumda oluşacağını bildirmiştir [23].

Qing ve arkadaşları (2007:21), nano silika ile silis dumanını karşılaştırarak yaptıkları çalışmalarında, Zhang YL, Li CD. (2002:24) den de alıntı yaparak şu ifadeyi kullanmıştır: "ultra ince bir tanecik nano yapıya dönüştüğünde, (Silis dumanının Nano Silikaya dönüşmesi gibi) spesifik alan ve yüzeydeki atom sayısı hızlıca artmaktadır. yüzeydeki diğer koordinat atomlarıyla dolu olmayan nano boyuttaki partiküllerin atomları Nedeniyle yüzeyde partikülleri termodinamik açıdan kararsız duruma gelmesine yol açan çok miktarda serbest bağ ve doymamış bağ veya kalan değerlik (valans) kuvvetler ortaya çıkar. Öte yandan partikül boyutunun küçülmesi ile kimyasal reaksiyon alanını artıran düzensiz birçok atom adımları oluşur. Bu nedenle nano boyutlu partiküller, mesela nano silika gibi, yüksek yüzey enerjisine ve yüzeyde, atomları dıştakilerle kolayca reaksiyona yönlendirecek yüksek aktiviteli atomlara sahiptir. Bunun sonucu olarak nano silikanın puzolanik aktivitesi erken yaşlarda Silis dumanından yüksektir."

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME (CONCLUSION AND EVALUATION)

Yapılan derleme çalışmasından,

- Beton özelliklerinin geliştirilmesi için çeşitli nano malzemeler denenmekte olduğu ve bu anlamda en çok kullanılan nano malzemenin nano SiO_2 'dir.
- Nano SiO_2 çimentoyla çeşitli çalışmalarda %0-5 aralığında ikame edilerek çimento ve beton basınç dayanım değerlerini özellikle erken yaşlarda iyileştirmektedir.
- Çalışmalarda belirtilen optimum değerler (genellikle %0-5 arasında) üzerine çıkıldığı zaman aglomerasyon nedeniyle basınç dayanım artışının azaldığı hatta bazen dayanımın referans betonunun altına düştüğü bildirilmektedir.
- Nano Silikanın erken yaş dayanımına olumlu etkisi puzolanik ve filler etkisine bağlıdır ve yüksek spesifik alanının bu iki özelliği arttırmaktadır.
- Yaklaşık boyutu 10nm olan CSH jelinin boşlukları nano silika ile daha iyi dolmaktadır ve bu da matrisin daha yoğun hale gelmesini sağlamaktadır.
- Nano boyutta SiO_2 CSH jeli içinde çekirdek oluşturarak CSH jel tanecikleriyle sıkı bağ oluşturmakta ve böylece hidrasyon ürün yapısının entegrasyon ve stabilitesinin iyileşmektedir. Bu da uzun vadede mekanik özelliklerin ve durabilitenin artması beklentisini doğurmaktadır.
- Nano SiO_2 'nin beton karışımında dağılımının iyi olması durumunda, düşük oranda kullanılsa bile filler etki göstermektedir.

Sonraki çalışmalarda aglomerasyon probleminin giderilmesi için araştırmalar yapılması önerilebilir.

NOT (NOTE)

Bu çalışma 5-8 Eylül 2017 tarihinde Tiflis-Gürcistan'da düzenlenen "2. International Science Symposium (ISS2017)" sempozyumunda sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Aitcin, P.C., (2000). Cements of Yesterday and Today-Concrete of Tomorrow. *Cem. Concr. Res.*, Vol:30, No:9, pp:1349-1359.
2. Sanchez, F. and Sobolev, K., (2010). Nanotechnology in Concrete-A review, *Constr. Build. Mater.*, Vol:24, No:11, pp:2060-2071.
3. Singh, L.P., Karade, S.R., Bhattacharyya, S.K., Yousuf, M.M., and Ahalawat, S., (2013). Beneficial role of Nanosilica in Cement Based Materials-A Review, *Constr. Build. Mater.*, Vol:47, pp:1069-1077.
4. Hanus, M.J. and Harris, A.T., (2013). Nanotechnology Innovations for the Construction Industry, *Prog. Mater. Sci.*, Vol:58, No:7, pp:1056-1102.
5. Zhu, W., Bartos, P.J.M., and Porro, A., (2004). Application of Nanotechnology in Construction Summary of a State-of-the-art report, *Mater. Struct.*, Vol:37, November, pp:649-658.
6. Norhasri, M.S.M., Hamidah, M.S., and Fadzil, A.M., (2017). Applications of Using Nano Material in Concrete: A review, *Constr. Build. Mater.*, Vol:133, pp:91-97.
7. Kumari, K., et al., (2016). Nanoparticles for Enhancing Mechanical Properties of Fly Ash Concrete, *Mater. Today Proc.*, vol:3, no:6, pp:2387-2393.
8. Behfarnia, K. and Salemi, N., (2013). The effects of Nano-silica and Nano-alumina on Frost Resistance of Normal Concrete, *Constr. Build. Mater.*, Vol:48, pp:580-584.
9. Oltulu, M. and Şahin, R., (2011). Single and Combined Effects of Nano-SiO₂, Nano-Al₂O₃ and Nano-Fe₂O₃ Powders on Compressive Strength and Capillary Permeability of Cement Mortar Containing Silica Fume, *Mater. Sci. Eng. A*, Vol:528, No:22-23, pp:7012-7019.
10. Nazari, A. and Riahi, S., (2011). The Effects of Cr₂O₃ Nanoparticles on Strength Assessments and Water Permeability of Concrete in Different Curing Media, *Mater. Sci. Eng. A*, Vol:528, No:3, pp:1173-1182.
11. El-Gamal, S.M.A., Hashem, F.S., and Amin, M.S., (2017). Influence of Carbon Nanotubes, Nanosilica and Nanometakaolin on Some Morphological-Mechanical Properties of Oil Well Cement Pastes Subjected to Elevated Water Curing Temperature and Regular Room Air Curing Temperature, *Constr. Build. Mater.*, Vol:146, pp:531-546.
12. Sadeghi, N.A. and Lotfi Omran, O., (2013). Estimation of Compressive Strength of Self-Compacted Concrete with Fibers Consisting Nano-SiO₂ Using Ultrasonic Pulse Velocity, *Constr. Build. Mater.*, Vol:44, pp:654-662.
13. Zhang, P., Wan, J., Wang, K., and Li, Q., (2017). Influence of nano-SiO₂ on properties of fresh and hardened high performance concrete: A state-of-the-art review, *Constr. Build. Mater.*, Vol:148, pp:648-658.
14. Wu, Z., Khayat, K.H., and Shi, C., (2017). Effect of nano-SiO₂ particles and curing time on development of fiber-matrix bond properties and microstructure of ultra-high strength concrete, *Cem. Concr. Res.*, Vol:95, pp:247-256.
15. Wu, Z., Shi, C., Khayat, K.H., and Wan, S., (2016). Effects of different nanomaterials on hardening and performance of ultra-high strength concrete (UHSC), *Cem. Concr. Compos.*, Vol:70,



- pp:24-34.
16. Shih, J.Y., Chang, T.P., and Hsiao, T.C., (2006). Effect of nanosilica on characterization of Portland cement composite, *Mater. Sci. Eng. A*, Vol:424, no:1-2, pp:266-274.
 17. Behfarnia, K. and Rostami, M., (2017). Effects of Micro and Nanoparticles of SiO₂ on the Permeability of Alkali Activated Slag Concrete, *Constr. Build. Mater.*, Vol:131, pp:205-213.
 18. Nazari, A. and Riahi, S., (2011). The Effects of SiO₂ Nanoparticles on Physical and Mechanical Properties of High Strength Compacting Concrete, *Compos. Part B Eng.*, Vol:42, no:3, pp:570-578.
 19. Beigi, M.H., Berenjian, J., Lotfi Omran, O., Sadeghi Nik, A., and Nikbin, I.M., (2013). An Experimental Survey on Combined Effects of Fibers and Nanosilica on The Mechanical, Rheological, and Durability Properties of Self-Compacting Concrete, *Mater. Des.*, Vol:50, pp:1019-1029.
 20. Ltifi, M., Guefrech, A., Mounanga, P., and Khelidj, A., (2011). Experimental Study of the Effect of Addition of Nano-silica on the Behaviour of Cement Mortars, *Procedia Eng.*, Vol:10, pp:900-905.
 21. Qing, Y., Zenan, Z., Deyu, K., and Rongshen, C., (2007). of Nano-SiO₂ Addition on Properties of Hardened Cement Paste as Compared with Silica Fume, *Constr. Build. Mater.*, Vol:21, No:3, pp:539-545.
 22. Ji, T., (2005). Preliminary Study on the Water Permeability and Microstructure of Concrete Incorporating Nano-SiO₂, *Cem. Concr. Res.*, Vol:35, no:10, pp:1943-1947.
 23. Jalal, M., Pouladkhan, A., Harandi, O.F., and Jafari, D., (2015). Comparative Study on Effects of Class F fly Ash, Nano Silica and Silica Fume on Properties of High Performance Self Compacting Concrete, *Constr. Build. Mater.*, Vol:94, pp:90-104.
 24. Zhang, Y.L. and Li, C.D., (2002). Nano-structured Technology and Nano-structured Plastics. Beijing, China: China Light Industry Press; [in Chinese] pp:8-15, 386-9.