



UÇUCU KÜL İÇEREN YÜKSEK PERFORMANSLI GÜÇLENDİRME HARCINDA NANO SİLİKATIN ETKİSİ

¹Kenan TOKLU, ²Seydrahim BAHARAVAR, ³Osman ŞİMŞEK

^{1,2,3}Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Ankara
¹kenan0106toklu@gmail.com, ²seyedbah80@gmail.com, ³simsek@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 13.05.2016; Kabul/Accepted in Revised Form: 28.06.2016)

ÖZ: Bu çalışmada 8 farklı karışım yapılmıştır. Bu karışımlarda, Nano Silikat %0 'dan %2' ye kadar % 0.25 arttırılarak çimento yerine ikame edilmiştir. Hazırlanan numunelerde su oranı düşük tutulup yüksek hacimde kullanılan Uçucu Külün etkisi altında ikame edilen Nano Silikatlı karışımların basınç ve eğilme altındaki davranışları araştırılmıştır. Numunelerde basınç dayanımı testi için 5×5×5 cm küp prizma betonlar hazırlanmış ve 1., 3. ve 7. günlerde deneylere tabi tutulmuştur. Bu çalışmanın amacı Nano Silikatlı numunelerin 1. günden itibaren Uçucu Külün erken yaş dayanımındaki negatif etkisini önlemek ve yüksek performanslı beton elde etmektir.

Anahtar Kelimeler: Nano silikat, Pozolan, Uçucu kül, Yüksek performanslı beton

The effects of Nano Silicate Mixtures with High Volume Fly Ash on High Performance Strengthening Mortar

ABSTRACT: In this study, 8 different mixtures were made. In these mixtures, silica nanoparticles were substituted for cement by 0% to 2% by 0.25%. The compressive and flexural strength of Nano Silicate Mixtures under the influence of high volume fly ash with low water content were investigated. 5×5×5 cm concrete cubic prisms were produced and subjected to compressive strength test on the 1st, 3rd and 7th days. These prepared concrete specimens were subjected to experiments on 1, 3 and 7 days. The aim of this study is to prevent the negative effect of high volume fly ash on the early age strength of concrete from the first day and to obtain high performance concrete.

Key Words: Nano silica, Pozzolan, Fly ash, High performance concrete

GİRİŞ (Introduction)

İnşaat sektöründe Portland Çimentolu (PÇ) ürünler ve betonun en çok kullanılan malzemelerden biri olarak kabul görmesinde en önemli etkenlerden biri; beton teknolojisindeki hızlı gelişmeler ile beton kalitesinin çok yüksek mertebelere ulaşmasıdır. Beton kalitesindeki bu yükseliş büyük oranda, betonu oluşturan temel malzemeler olan çimento, agrega, su ve mineral katkıların yanında katılan kimyasal katkı maddeleri ile sağlanmıştır. Katkı tanımı, "Betonun veya harcın ana bileşenlerini oluşturan su, agrega, hidrolik çimento ve fiber takviye malzemeleri haricinde betonun üretim aşamasında veya öncesinde katılan malzemeler" (ACRA, 2006) olarak yapılmaktadır. Kimyasal katkılar esas olarak betonun veya harcın taze ve

sertleşmiş durumdaki özelliklerini iyileştiren, suda çözünebilen maddelerdir. Farklı özelliklerdeki kimyasal katkıların beton özellikleri üzerinde sağladığı iyileştirmelere örnek olarak, basınç ve eğilme dayanımları üzerinde artış, geçirimsizlik özellikleri ve buna bağlı olarak durabilite özellikleri üzerindeki iyileştirmeler, korozyon önleme, rötne azaltma, ayrışmadan yüksek kıvam artırma gibi işlenebilirlik özellikleri üzerindeki iyileştirmeler sayılabilir. Ayrıca, priz süresinin ayarlanması, yüksek pompalanabilirlik, amaca yönelik düzenlenebilir reolojik özellikler, çimento etkinliğinin artırılması ve alkali silika reaksiyon riskinin azaltılması gibi performans artırıcı etkiler de sayılabilir (Cilason, 1992).

Nanoteknoloji maddeyi oluşturan atomları kontrol ederek maddenin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değiştirilmesine ve yeni ürünlerin geliştirilebilmesine olanak sağlayan bir teknolojidir. Nanoteknoloji hemen hemen tüm alanlarda geniş bir uygulama alanına sahip en aktif araştırma alanlarından biridir. Beton inşaat sektöründe en çok kullanılan malzeme olduğundan Nanoteknoloji ile kalitesi arttırılmaya çalışılmış ve geleneksel betonlardan çok daha üstün özellikler elde edilmiş (Alexander ve Stanish, 2005).

DENEYSEL ÇALIŞMALAR (Experimental Study)

Malzemeler (Materials)

Bu çalışmada, Çizelge 1’de sunulan betonlar üretildikten sonra 1, 3 ve 7 günlük deneylere tabi tutulmuştur.

Çizelge 1. Nano silikat ve kullanılan malzemelerin karışım oranları

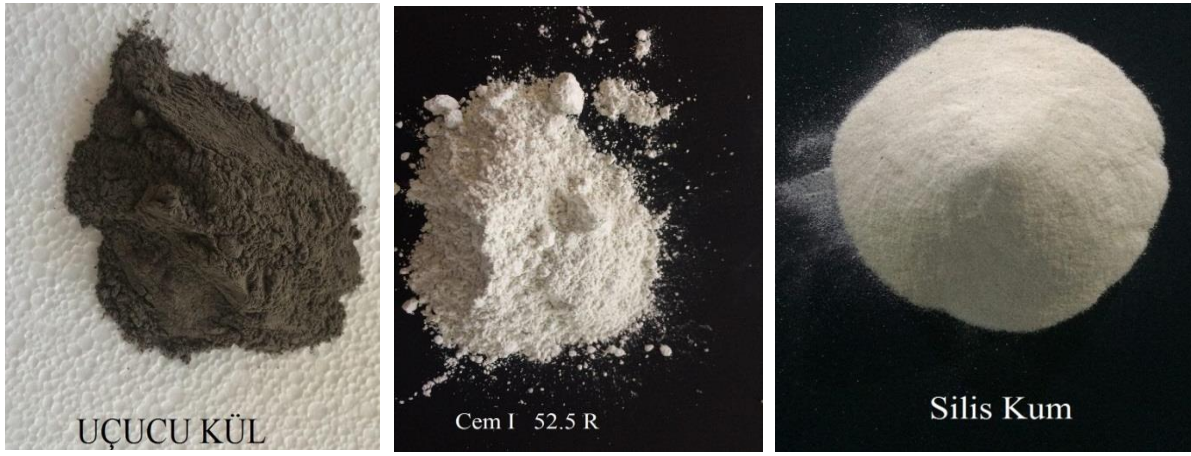
Table 1. Mixing ratios of nano-silicate and used materials

Malzeme	KB	UK55 nSi 25	UK55 nSi 50	UK55 nSi75	UK55 nSi 100	UK55 nSi 125	UK55 nSi 150	UK55 nSi 175	UK55 nSi 200
(nAl) /B	0.000	0.0025	0.0050	0.0075	0.0100	0.0125	0.0150	0.0175	0.0200
B/Kum	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
S/B	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
S/Ç	0,61	0,61	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,63
UK/Ç	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22
CF / B	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
PVA/B	0.0124	0.0124	0.0124	0.0124	0.0124	0.0124	0.0124	0.0124	0.0124
Kısaltmalar	Açıklama								
KB	Kontrol Betonu (%55 UK +% 45 Çimento+KK+CF+PVA+ n Si 0.00)								
(UK55nSi 25)	Yüksek performans amaçlı karışım								
UK	Uçucu Kül								
55	Uçucu külün bağlayıcı grubu içindeki yüzdesi								
n	Nano								
Si	Nano silikat								
25	Nano malzemenin % si								
B	Bağlayıcı= (Çimento+UK+Nano malzeme+Kalsiyum Format)								
CF	Calcium Formia(Kalsiyum Format)								
PVA	Poly(vinyl alcohol) lif								
S	Karışım suyu								
Ç	Çimento								

Çizelge 1’de görüldüğü gibi beton karışımlarında Portland Çimento yerine yüksek oranda uçucu kül kullanımının çevresel ve ekonomik açıdan birçok pozitif etkisi bulunmaktadır. Ayrıca, bu malzemeler

yüksek performanslı çimento bağlayıcılı kompozitlerin performanslarını önemli ölçüde iyileştirmeleri sebebiyle son zamanlarda yüksek performanslı lif donatılı çimento bağlayıcılı kompozitlerin özel bir türü olan YPLDÇK karışım tasarımları için vazgeçilmez bileşenler olmuşlardır. Bilindiği üzere YPLDÇK üretiminde kullanılan mikro-mekanik tabanlı tasarım yaklaşımı kısıtları nedeni ile matris karışımında kullanılan S/B oranının belli bir seviyenin üzerine geçmemesi gerekmektedir. Performansı iyi olan düşük kalsiyum oksit oranına sahip Çatalağzı Termik Santrali UK'lerin çalışmamızda kullanılması kararlaştırılmıştır. Ayrıca, karışımlarda çimento türü olarak CEM I 52,5 R PÇ'nin kullanılması planlanmıştır.

Geleneksel betona kıyasla, matrise lif dağılımının kolaylığı için gerekli reolojik özelliklerin elde edilmesi ve mikro-mekanik tabanlı tasarım yaklaşımı gereksinimlerinden biri olan düşük matris tokluk değeri elde edebilmek için YPLDÇK üretiminde Manisa ilinden temin edilen 400µm'lik silis kumu kullanılmıştır. Şekil 1 ve 2 'de kullanılan malzemelerin çekilen resimleri verilmektedir.



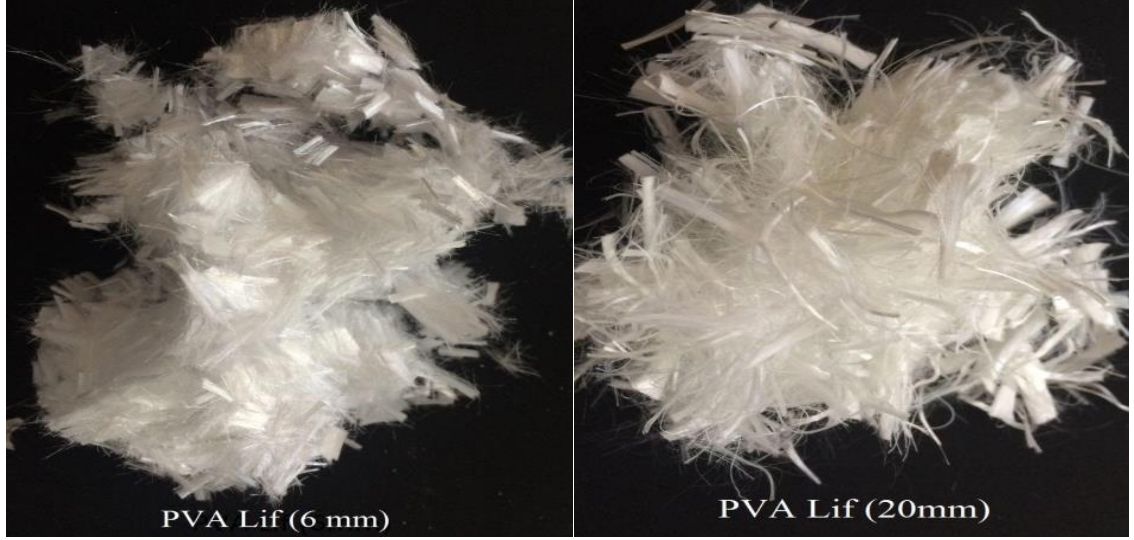
Şekil 1. Çalışmalarda kullanılan uçucu kül, çimento ve silis kumu
Figure 1. Fly ash, cement and silica sand used in the study



Şekil 2. Çalışmada kullanılan nano silika ve kalsiyum format
Figure 2. Nano silica and calcium format used in the study

Mikro-mekanik modellerle kompozitin mikroyapısı, istenen mekanik özelliklerin elde edilmesi için en uygun hale getirilmektedir (Kanda ve Li, 1999). Bu şekilde, lif, matris ve lif-matris arayüz etkileşiminin kontrolü ile yüksek performanslı kompozitler elde edilmektedir. Mikro-mekanik tabanlı tasarım aşamasında lifin mekanik ve fiziksel özellikleri gibi parametreler kullanılmaktadır. Bu çalışmada, YPLDÇK üretiminde

başarılı bir şekilde kullanılan, mikro-mekanik tabanlı tasarım sonucu geliştirilmiş PVA lifleri (Shahmaran ve diğ., 2007), 20 mm ve 6 mm boyutlarında kullanılarak numuneler üretilmiştir. Sadece 20 mm lik PVA lifle yapılan deneyde karıştırma sorunu ile karşı karşıya kalınmıştır. Bu sorun 6 mm lik PVA lif kullanılarak çözülmüştür. Yeterli eğilme dayanımı her iki lif çeşidinden eşit olarak kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil 3. Çalışmalarda kullanılan PVA lifleri
Figure 3. PVA fibers used in the study

Araştırmada kullanılan çimento, uçucu kül ve silis kumun fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 2 'de verilmektedir.

Çizelge 2. Malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri
Table 2. Physical and chemical properties of materials

Kimyasal Özellikler	PÇ52,5 Beyaz	UK	Silis Kumu 400 (SK)
CaO	65.70	2.18	0.05
SiO ₂	21.60	55.44	99.31
Al ₂ O ₃	4.05	24.93	0.29
Fe ₂ O ₃	0,26	6.33	0.05
MgO	1.30	2.38	-
SO ₃	3.30	0.14	-
K ₂ O	0,35	3.87	0.02
Na ₂ O	0,32	0.49	-
Kızdırma Kaybı	3.20		0.09
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	25.91	86.70	99.65
Yoğunluğu (g/cm ³)	3.06	2.13	2.65
Blaine İnceliği (cm ² /g)	4600	2698	-
Hacim genişmesi(mm)	1.00	-	-
90 µm elek üstü (%)	5.18	17,58	63.22
45 µm elek üstü (%)	22,22	33,42	94,68

Çizelge 3' de kullanılan Nano Silikanın fiziksel ve kimyasal analizinin özetini ayrıntılı bir şekilde gösterilmektedir.

Çizelge 3. Araştırmada kullanılan Nano Al₂O₃ ve Nano SiO₂ malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Table 3. Physical and chemical properties of Nano Al₂O₃ and Nano SiO₂

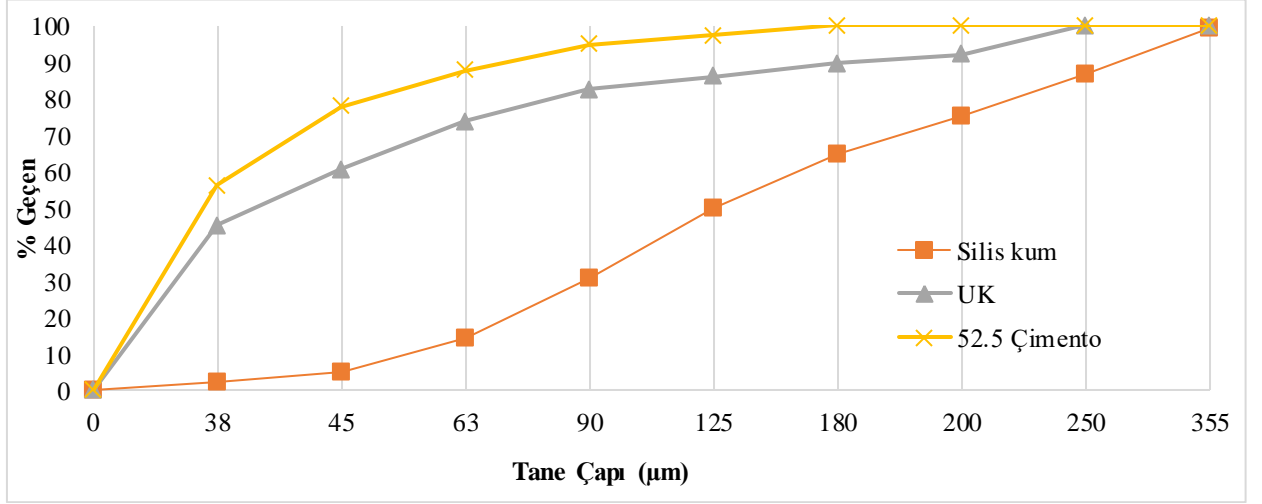
Özellikler	Nano Al ₂ O ₃	Nano SiO ₂
APS	20 nm	15-20nm
SSA:	~150 m ² /g	~300m ² /g
Yapısı	Hemen hemen küresel	Gözenekli
Renk	Beyaz	Beyaz
Yogunluk:	3890 kg/m ³	Gerçek Yogunluk 2.4 g/cm ³ Birim Hacim Ağırlığı <0.05 g/cm ³
Ultraviyole Reflektivite	-	>85%
Hidroksil İçeriği	-	>45%
Analiz - ppm		
Ca	<25	<20
Al	-	<20
Fe	<80	<10
Cr	<4	-
Mg	-	<10
Na	<70	-
Mn	<3	-
Co	<2	-
Cl	-	<10

Çalışmada kullanılan silis kum, uçucu kül ve çimentonun elek analizleri Çizelge 4' te verilmiş ve bu analize ait diyagram Şekil 4'te görünmektedir.

Çizelge 4. Karışımda kullanılan malzemelerin tane büyüklüğü dağılımı

Table 4. Particle size distribution of materials used in the mixture

Elek Çap (µm)	Silis Kum (% Geçen)	Uçucu Kül (% Geçen)	Çimento 52,5 (% Geçen)
500	100	100	100
355	99,32	100	100
250	86,96	100	100
200	75,04	92,14	100
180	65,04	89,62	100
125	50,04	83,1	97,32
90	30,78	82,42	94,82
63	14,36	73,68	87,82
45	5,32	60,58	77,78
38	2,00	41,5	53,16
0	0	0	0



Şekil 4. Karışımda kullanılan çimento, uk ve silis kumunun elek analizi eğrisi
 Figure 4. Graphs of sieve analysis of the cement, fly ash and silica sand used in the mixture

METOT (Method)

Çizelge 5'te Nano Silikat içeren numunelerin karışım miktarları 1m³ için verilmiştir. Hazırlanan karışımların her birinden 1, 3 ve 7 günlük basınç dayanımı için her yaşta 3 adet numune kullanılmak üzere 50×50 mm boyutlarında toplamda 9 adet küp numunesi hazırlanmıştır. Numuneler ortalama sıcaklığı 23 ± 2 °C ve nemi %95 ± 5 olan özel kür tankında deney tarihine kadar muhafaza edilmiştir. Basınç dayanımı testi ASTM C39 (ASTM C39/C39M, 2016) standardına uygun olarak 100 ton kapasiteli test cihazı kullanılarak 5 cm boyutlu küp numuneler üzerinde yapılmıştır.

Numunelerin üretilmesi için ilk aşamada %50 su miktarı ile nano malzeme 20 dakika karıştırılmış ve Şekil 5 'te görünen mikserde karıştırılmış olan malzemeye eklenmiştir. Karışım makinesinin içindeki malzemeler 5 dakika normal hızda ve nano malzeme eklendikten sonra 5 dakika hızlı şekilde karıştırılmıştır.

Çizelge 5. 1 m³ için Nano Silikat karışım miktarları

Table 5. Nano-Silica mixture quantities for 1 m³

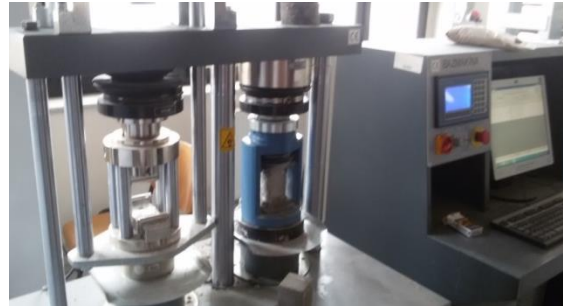
Malzeme	KB	UK55 nSi 25	UK55 nSi 50	UK55 nSi 75	UK55 nSi 100	UK55 nSi 125	UK55 nSi 150	UK55 nSi 175	UK55 nSi 200
Silis Kum(kg)	485,53	483,20	480,80	478,50	476,20	473,90	471,65	469,40	467,15
Çimento (kg)	535,30	531,37	527,38	523,51	519,65	515,81	512,04	508,27	504,52
Su (lt)	327,73	326,16	324,54	322,99	321,44	319,88	318,36	316,85	315,33
PVA Lif (kg)	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
UK (kg)	654,25	649,45	644,57	639,84	635,13	630,44	625,82	621,22	616,64
nSi (kg)	0,00	3,02	6,01	8,97	11,91	14,81	17,69	20,54	23,36
KK (kg)	18,20	18,20	18,20	18,20	18,20	18,20	18,20	18,20	18,20
CF (kg)	24,28	24,16	24,04	23,93	23,81	23,70	23,58	23,47	23,36



Şekil 5. Deneyde kullanılan mikser

Figure 5. Mixer used in the experiment

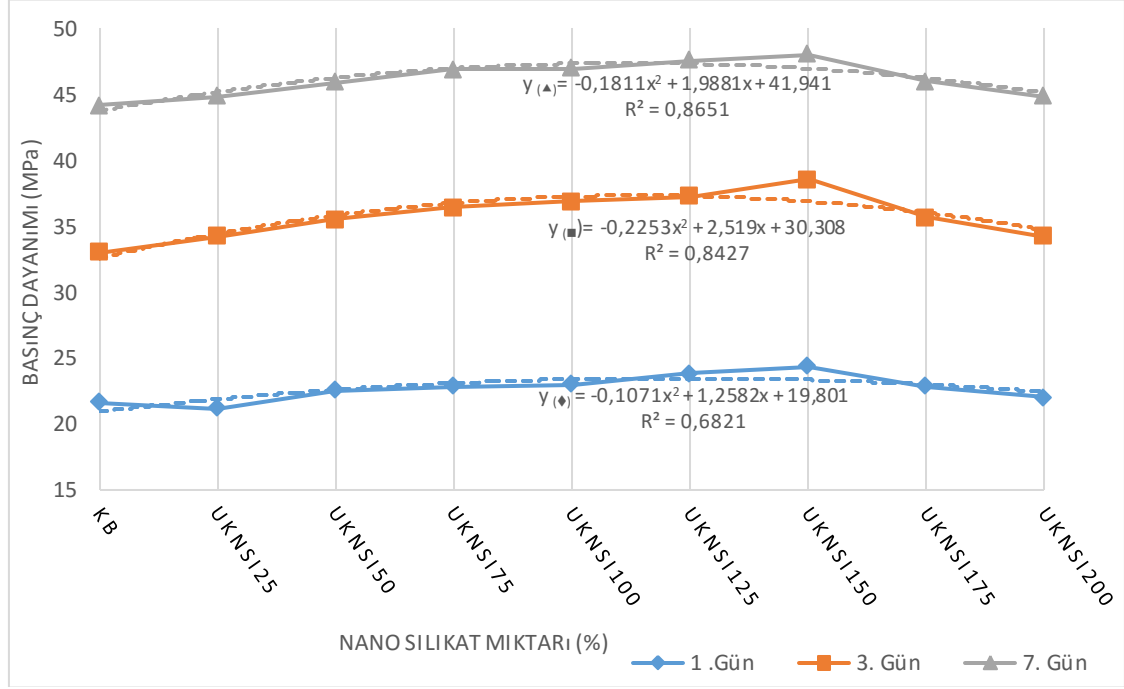
Tüm numuneler döküldükten sonra yapılan kürede bekletilmiş ve kendi yaşlarında Şekil 6'da görünen basınç makinesinde basınca tabi tutularak kırılmış ve sonuçlar kaydedilmiştir.



Şekil 6. Basınç makinesinin görüntüsü

Figure 6. The view of compression machine

Betonlar 1, 3 ve 7 gün sonunda kırılarak betonların erken yaşta gelişmesi ve mukavemet kazanılması gözlenmiştir. Yapılan basınç deneylerin sonuçları Şekil 7'de verilmektedir.



Şekil 7. Nano Silikatlı numunelerde basınç dayanımı-Nano Silikat oranı ilişkisi

Figure 7. The relationship between Nano Silicate ratio and compressive strength in Nano Silicate mixtures

ARAŞTIRMA SONUÇLARI (RESEARCH RESULTS)

Şekil 7 incelendiğinde Nano Silikatin değişik oranlarda ikame edilmiş numunelerde 1, 3 ve 7. günlerde etkisi görülmektedir. En iyi sonucu tüm yaşlarda %1.5 ikame edilmiş Nano Silikat vermiştir. Nano silikat %1.5 tan fazla olduğu zaman karışım üzerinde olumsuz etki etmiştir. Şekil 7'yi dikkate aldığımızda Nano Silikatin bu çalışmada doygunluk derecesi %1.5 olarak belirlenmiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu makale, TÜBİTAK tarafından desteklenen TÜBİTAK 1001 projesinin 214 M 041 numaralı araştırma projesi kapsamında üretilmiştir. Destekleri için TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- ACRA and CSIRO Australian Standards, 2006, "Guide to Concrete Repair and Protection", Australian Concrete Repair Association, Sydney, Australia.
- Alexander, M.G., Stanish K., "Durability Design and Specification of Reinforced Concrete Structures Using a Multi-Factored Approach", *Mindess Symposium, Third International Conference on Construction Materials*, Vancouver, 22 - 24 August 2005.
- ASTM C39/C39M, 2016, "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA.
- Cilason, N., "Quality Assurance and Quality Control for Concrete in Hot Climates", *9th International RILEM Conference on Concrete in Hot Climates*, Torquay, England, No. 3, pp. 167-171, 21-25 September 1992.

- Kanda, T., Li, V.C., 1999, "A New Micromechanics Design Theory for Pseudo Strain-Hardening Cementitious Composite", *ASCE Journal of Engineering Mechanics*, Vol. 125 (4), pp. 373-381.
- Sahmaran M., Li M., Li V.C., 2007, "Transport Properties of Engineered Cementitious Composites under Chloride Exposure", *ACI Materials Journal*, Vol. 104, No. 6, pp. 604-611.