

Investigation of the Effect of Curing Applications Containing Different Nano Silica on the Strength of Cementitious Composites

A. Akın^{1*}, A. J. Zia²

Abstract: In this study, the difference between the increase rate of compressive strengths of cement-bonded composites at various ages cured in water and solutions containing different amount of nano-silica has been investigated. In the new generation curing solution developed, 0.5%, 1%, 2% and 3% of nano silica were used. A series of samples were cured in water only for control purposes. In the production of cement-bonded composites, fly ashes which are classified by ASTM standards as class F and C were used. In this way, the increase in strength of cementitious composites containing fly ash in different properties are cured in water and solution with different nano silica amount has been revealed. According to the results obtained from the experimental studies, the highest strength values were obtained from the samples cured in the solution with the 2% ratio of nano silica.

Keywords: Cementitious composite, nano silica, fly-ash, cure.

Farklı Oranda Nano Silika İçeren Kür Uygulamalarının Çimento Bağlayıcılı Kompozitlerin Dayanımına Etkisinin İncelenmesi

Özet: Bu çalışma ile farklı oranlarda nano silika içeren solüsyonlarda kür edilen çimento bağlayıcılı kompozitlerin farklı yaşlarda basınç dayanımına tabi tutulması sonucu su içerisinde kür edilen numunelere göre dayanım artışının ne oranda olduğu test edilmiştir. Geliştirilen yeni nesil kür solüsyonunda %0,5, %1, %2 ve %3 oranlarında nano silika kullanılmıştır. Üretilen bir seri numune kontrol amacıyla sadece su içerisinde kür edilmiştir. Çimento bağlayıcılı kompozitlerin üretiminde ASTM standartlarına göre F ve C sınıfı özellikler gösteren uçucu küller kullanılmıştır. Buna göre farklı özellikte uçucu kül içeren çimento bağlayıcılı kompozitlerin farklı oranlarda nano silika solüsyonu içerisinde kür edilmesi ve su içerisinde kür edilmesi sonucu gelişen dayanım artışları ortaya konmuştur. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre en yüksek dayanım değerleri %2' lik orana sahip solüsyon içerisinde kür edilen numunelerden elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çimento bağlayıcılı kompozitler, nano silika, uçucu kül, kür.

1. Giriş

Pek çok bilim ve mühendislik alanlarında olduğu gibi İnşaat Mühendisliği alanının da nano teknolojideki gelişmeler yakından takip edilmekte ve olası yeni uygulama alanları belirlenmeye çalışılmaktadır. Nano partiküllerin yapı malzemesi olarak kullanımı her geçen gün daha da ilgi

çekmektedir. Nano partiküllerin kullanımı ile malzemelerin mukavemet, durabilite, işlenebilirlik gibi özelliklerinin iyileştirilmesi mümkün olabilmektedir (Colleparadi vd., 2004; Gaitero vd., 2008; Kawashima vd., 2012) Beton üretiminde nano boyutta yapılan değişiklikler kapsamında çimento tanelerine, çimento fazlarına, agregalara veya katkılara molekül aşılması söz konusu

¹Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya/Türkiye

²Karatay Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya/Türkiye

*Corresponding author (İletişim yazarı): arifeaslan@selcuk.edu.tr

Citation (Atıf): Akın, A., Zia, A.J. (2017). Farklı Oranda Nano Silika İçeren Kür Uygulamalarının Çimento Bağlayıcılı Kompozitlerin Dayanımına Etkisinin İncelenmesi. Bilge International Journal of Science and Technology Research, 1 (Special Issue): 47-51.

olmaktadır. Çimento esaslı malzemeler için büyük önem teşkil eden, aynı zamanda kendisi de bir nano malzeme olarak nitelendirilebilecek C-S-H jelinin ve diğer hidratasyon ürünlerinin nano ve mikro ölçekteki fiziksel ve kimyasal özelliklerinin anlaşılmasıyla malzemelerin makro boyuttaki özellik ve performansları kontrol edilebilir hale gelmektedir.

Nano malzemelerin önemini ve betonun özelliklerine etkilerini anlamak için çok sayıda araştırma yapılmıştır. Bu araştırmaların bir kısmında çimento esaslı kompozitlerin tasarlanmasında nano boyutta modifiye edilmiş SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , CaCO_3 ve karbon nanotüp gibi malzemeler kullanılmıştır (Nazari vd., 2011; Jalal vd., 2013; Madandoust vd., 2015; Hou vd., 2015) Yapılan bu çalışmalarda genelde nano parçacıklar bağlayıcının belirli bir yüzdesi ile yer değiştirilerek kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar neticesinde çok küçük miktarlarda kullanılan nano malzemelerin bile betonun ya da özel bir beton çeşidi olan çimento bağlayıcı kompozitlerin basınç, eğilmede çekme, yarmada çekme gibi mekanik özelliklerinde ve su emme, su geçirimsizliği, donma-çözünme tekrarları gibi durabilite özelliklerinde belirgin iyileşmeler olduğu gözlenmiştir.

Çimento bağlayıcı kompozitler (ECC-Engineered Cementitious Composites), (Li, 2012) tarafından geliştirilen klasik betona ve liflerle güçlendirilmiş betonlara yakın bir kompozisyona sahip olmakla birlikte, süneklik özellikleri klasik betondan oldukça farklıdır. Geleneksel beton son derece gevrek bir malzemedir, çekmede birim şekil değiştirme kapasitesi %0.01 seviyelerindedir. Yalın beton ve lifli betonlarda ilk çatlak oluşumundan sonra yük artışı olmadan çatlak genişleyerek deformasyon yumuşaması olurken, çimento bağlayıcı kompozitler deformasyon sertleşmesi davranışını gösteren malzemelerdir (Keskinates vd., 2016). Deformasyon sertleşmesi davranışı, kompozitin çoklu çatlak davranışı gösterme potansiyelidir. Genellikle çatlak genişlikleri $100 \mu\text{m}$ 'nin altındadır. Dar çatlak genişliği aynı zamanda kompozitin kendiliğinden iyileşmesi için gerekli önemli parametrelerden biridir. Kendiliğinden iyileşme mekanizması, daha önce hidrate olmamış çimentonun hidrate olması, kalsit oluşumu, çatlak kenarlarındaki betonun genişlemesi, kristalleşme, çatlakların su içerisindeki katı maddeler tarafından tıkanması gibi sebeplerle mümkün olabilmektedir (Şahmaran vd., 2013).

Literatürden farklı olarak bu çalışmada nano parçacıklar, çimento bağlayıcı kompozitlerin tasarımında bir katkı olarak değil, kür suyu içerisine katılarak hazırlanan nano silika solüsyonunun, sadece su içerisinde bekletilen numunelere göre 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarında ne gibi değişiklikler oluşturduğu araştırılmıştır. Aynı zamanda nano silika solüsyonları %0.5, %1, %2, %3 gibi farklı oranlarda hazırlanarak dayanım açısından en iyi sonuçlar veren konsantrasyon değeri belirlenmiş ve optimum nano silika %' si olarak kabul edilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

Deneysel çalışmalarda üretilen kompozitlerin tasarımında çimento olarak CEM I 42.5 tipi çimento(PÇ), F ve C sınıfı olarak iki farklı özellikte uçucu kül (UK), tane büyüklüğü maksimum $400 \mu\text{m}$ olan kuvars kumu ve süper akışkanlaştırıcı(SA) katkı malzemesi kullanılmıştır. Çizelge 1' de bu malzemelerin karışımında hangi oranlarda kullanıldığı, Çizelge 2' de ise çimento ve uçucu küllerin fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmiştir. ASTM C 618 standardına göre F sınıfı uçucu kül $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ değerinin %70' in üzerinde ve CaO değerinin %10' un altında olması sebebiyle düşük kireçli, C sınıfı uçucu kül ise $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ değerinin %70' in altında olması ve CaO değerinin %10' un üzerinde olması sebebiyle yüksek kireçli kül olarak ayrılmaktadır. İki farklı özellikte uçucu kül ile hazırlanan karışımlarda bütün malzeme oranları sabit tutulmuş, sadece aynı işlenebilirliği sağlamak amacıyla akışkanlaştırıcı katkı miktarı değiştirilmiştir.

Karışımlar hazırlanırken iki farklı hız kademesine sahip 5 lt kapasiteli planet tipi mikser kullanılmıştır. Öncelikle toz malzemeler (Çimento, uçucu kül ve kum) 2 dk düşük devirde karıştırılmış, daha sonra suyun yaklaşık %70'i ilave edilerek 2 dk yüksek devirde karıştırılmış ve son olarak akışkanlaştırıcı ve suyun kalan kısmı birlikte karışıma dahil edilerek 3 dk yüksek devirde karıştırılmıştır. Çimento bağlayıcı kompozitlerin eksenel basınç dayanımlarını test edebilmek amacıyla $50 \times 50 \text{ mm}$ boyutunda küp numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler ilk 24 saat kalıplarından çıkarılıncaya kadar 95 ± 5 nem, 23 ± 2 °C sıcaklık değerlerini sağlayacak plastik torbalarda muhafaza edilmiştir. 24 saat sonrasında kalıplarından çıkarılan

numuneler 4 farklı konsantrasyon değerine sahip solüsyon (%0.5, %1, %2, %3) ve kontrol amacıyla su içerisinde deney gününe kadar bekletilmek üzere konulmuştur. Bu çalışmada farklı oranlarda nano silika içeren solüsyonların hazırlanmasında ticari olarak satılan ve içerisinde %30 nano silika bulunan solüsyon kullanılmıştır. Bunun sebebi toz halindeki nano silikanın su içerisinde homojen olarak dağıtılması ve bu homojenliğini en son deney gününe kadar (28 gün) bozulmadan koruyabilmesini sağlamaktır. Solüsyonu temin ettiğimiz firmanın verdiği bilgilere göre solüsyon içerisinde herhangi bir çökme oluşmaması için pH değerinin 8-11 arasında olması yani alkali değerinin yüksek olması gerekiyordu. Bu sebeple su ile seyreltilen solüsyonlara sodyum hidroksit (NaOH) ilave edilerek pH değeri artırılmıştır.

Çizelge 1. Karışımlarda kullanılan malzeme oranları

Kod	Karışım oranları				
	PÇ	UK/ PÇ	Kum/ (UK/PÇ)	Su/ (UK/PÇ)	SA (kg/m ³)
F-UK	1	1.2	0.36	0.27	4.3
C-UK	1	1.2	0.36	0.27	5.2

Çizelge 2. Çimento ve karışımlarda kullanılan farklı uçucu küllerin kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kimyasal Bileşimi(%)	PÇ	UK (F)	UK (C)
SiO ₂	20.8	58.75	34.29
Al ₂ O ₃	5.42	25.24	14.94
Fe ₂ O ₃	2.98	5.76	4.25
S+A+F	29.2	89.75	53.49
CaO	61.53	1.46	30.82
MgO	2.39	2.22	2.08
SO ₃	2.4	0.08	7.02
K ₂ O	0.75	4.05	0.97
Na ₂ O	0.21	0.60	0.61
Fiziksel Özellikleri			
Özgül ağırlık	3.06	2	2.47
İncelik (m ² /kg)	325	290	308

3. Bulgular

Eksenel basınç deneyleri 2200 N/sn yükleme hızı ile gerçekleştirilmiştir. 3, 7 ve 28 gün farklı nano silika konsantrasyonlarında ve su içerisinde bekletilen numunelerin basınç değerleri için en az

üç numune test edilmiş ve ortalamaları alınmıştır. Çizelge 3 ve 4' te sırasıyla F ve C sınıfı uçucu kül numunelerine ait basınç dayanım değerleri verilmiştir.

Çizelge 3' den 28 günlük ortalama basınç dayanım değerlerine bakıldığında F sınıfı uçucu kül ile hazırlanan farklı nano silika solüsyonu içerisinde kür edilen numunelerin, sadece su içerisinde kür edilen numunelere göre dayanımlarında bir artış olduğu, bununla birlikte %2 oranında nano silika içeren solüsyonda kür edilen numunelerin basınç dayanımlarının, diğer konsantrasyon değerlerine sahip solüsyonlarda ve yalnız suda kür edilen numunelere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. %2 solüsyonda kür edilen numunelerin basınç dayanımları, sadece su içerisinde kür edilen numunelerin basınç dayanım değerlerinden yaklaşık %7 daha fazla çıkmıştır.

C sınıfı için yapılan deney sonuçlarına bakıldığında ise, farklı oranlarda nano silika içeren solüsyonlarda kür edilen numunelerin basınç dayanımları arasında en yüksek değerlerin %2 solüsyon oranında kür edilen numunelerden elde edildiği görülmektedir. Fakat bu artış çok kayda değer bir artış değildir. Aynı zamanda su içerisinde kür edilen numunelerin basınç dayanımları daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeninin başlangıçta nano silika ihtiva eden kür solüsyonlarının hazırlanmasında NaOH ilavesinin yapılmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Deneysel çalışmalarda ilk olarak C sınıfı uçucu kül karışımları hazırlanmış ve kür edilmiştir. İlk başlarda, seyreltilen solüsyonun pH değerinin bozulmaması gerektiği bilinmediğinden solüsyon içerisinde kür edilen numunelerin yüzeyinde bir jel tabakası oluşmuştur. Muhtemelen bu jel tabakasının, nano parçacıkların kompozitin hidratasyon olayına katılmasını engellediği düşünülmektedir. İkinci aşamada F sınıfı uçucu kül ile hazırlanan numunelerin kür edileceği solüsyonlar içerisinde bir miktar NaOH ilave edilerek çözeltinin alkali değeri yükseltilmiş ve böylece numune yüzeyinde jel tabakası oluşmadığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 3. F sınıfı uçucu kül ile hazırlanan numunelerin 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanım değerleri

NO	KÜR ŞARTI	3 Günlük (MPa)	ORT (MPa)	7 Günlük (MPa)	ORT (MPa)	28 Günlük (MPa)	ORT (MPa)
1	F-UK-0.5	35.3	37.19	37.99	38.20	62.41	62.85
2		36.98		37.6		64.69	
3		39.29		39		61.46	
1	F-UK-1	33.78	35.61	37.16	36.33	67.69	63.93
2		37.49		37.12		59.74	
3		35.57		34.72		64.36	
1	F-UK-2	41.81	38.42	46.07	42.07	56.08	64.52
2		34.25		39.61		71.42	
3		39.19		40.52		66.05	
1	F-UK-3	32.58	37.09	37.73	38.48	62.12	62.32
2		35.63		40.98		60.67	
3		43.05		36.74		64.17	
1	F-UK-Su	38.93	36.29	39.19	36.23	57.66	59.95
2		34.53		29.44		62,12	
3		35.42		40.07		60,07	

Çizelge 4. C sınıfı uçucu kül ile hazırlanan numunelerin 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanım değerleri

NO	KÜR ŞARTI	3 Günlük (MPa)	ORT (MPa)	7 Günlük (MPa)	ORT (MPa)	28 Günlük (MPa)	ORT (MPa)
1	C-UK-0.5	21,61	18,68	20,39	17,29	22,57	26,88
2		18,53		15,89		31,16	
3		15,89		15,6		26,9	
1	C-UK-1	19,43	21,26	23,31	21,91	28,97	26,18
2		22,81		19,69		24,84	
3		21,53		22,74		24,74	
1	C-UK-2	24,56	23,11	21,89	22,37	29,74	31,84
2		21,56		22,55		33,58	
3		23,21		22,68		32,21	
1	C-UK-3	24,69	21,69	23,93	19,08	25,25	25,16
2		20,62		17,03		27,09	
3		19,77		16,29		23,15	
1	C-UK-Su	25,32	24,29	24,12	23,28	33,48	31,43
2		23,27		22,43		34,27	
3		24,29		23,3		26,53	

4. Tartışma ve Sonuçlar

Literatürden farklı olarak nano parçacıkların betona benzer özellik gösteren çimento bağlayıcı kompozitlerde bir katkı malzemesi olarak değil, kür aşamasındaki etkilerini araştırmak amacıyla yapılan bu deneysel çalışmalar neticesinde elde

edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde vurgulanmıştır.

- Yüksek miktarda mineral katkı malzemesi içeren çimento bağlayıcı kompozitlerde kullanılan mineral katkı çeşidinin kompozitin mekanik özellikleri üzerinde oldukça etkili olduğu görülmüştür. F ve C

sınıfı uçucu kül kullanılarak hazırlanan numuneler üzerinde yapılan basınç deneyleri, F sınıfı külün kompozitle daha uyumlu olduğu sonucunu ortaya çıkarmıştır.

- Dört farklı oranda nano silika içeren solüsyonlarda kür edilen numunelerin basınç dayanım değerleri kıyaslandığında, en yüksek dayanım değerlerini veren konsantrasyon değerinin her iki karışımda da (F ve C sınıfı uçucu kül ile hazırlanan) %2' lik orana sahip solüsyonda kür edilen numunelerden elde edildiği görülmüştür. Böylece optimum nano silika konsantrasyonunun %2 olması gerektiği anlaşılmıştır.
- Nano parçacıkların katkı malzemesi olarak değilde, kür aşamasında betona ne oranda katkı sağlayacağını anlaşıması ile, betonun kürü sırasında oluşabilecek kılcal çatlakların ve dayanım düşüşünün bir miktar azalacağı ve hatta dayanımda artış olabileceği düşünülmektedir. Bu şekilde betonda kendiliğinden iyileşme mekanizması üzerinde nano boyutta modifiye edilmiş nano parçacıklar ile hazırlanan kürün etkili olabileceği sonucunu düşündürmüştür.

Teşekkür

Bu çalışmaların gerçekleştirilmesinde MAG-116M003 nolu proje numarası ile finansal destek sağlayan TÜBİTAK' a teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynaklar

- Colleparidi, M., Colleparidi, S., Skarp, U., Troli, R. (2004). Optimization of silica fume, fly ash and amorphous nano-silica in superplasticized high-performance concrete. *ACI Spec. Publ.*, vol. 221, pp. 495–505.
- Gaitero, J. J., Campillo, I., Guerrero, A. (2008). Reduction of the calcium leaching rate of cement paste by addition of silica nanoparticles. *Cem. Concr. Res.*, vol. 38, no. 8–9, pp. 1112–1118.
- Hou, P., Qian, J., Cheng, X., Shah, S. P. (2015). Effects of the pozzolanic reactivity of nanoSiO₂ on cement-based materials. *Cem. Concr. Compos.*, vol. 55.

Jalal, M., Fathi, M., Farzad, M. (2013). Effects of fly ash and TiO₂ nanoparticles on rheological, mechanical, microstructural and thermal properties of high strength self compacting concrete. *Mech. Mater.*, vol. 61, pp. 11–27.

Kawashima, S., Kim, J. H., Corr, D. J., Shah, S. P. (2012). Study of the mechanisms underlying the fresh-state response of cementitious materials modified with nanoclays. *Constr. Build. Mater.*, vol. 36, pp. 749–757.

Keskinateş, M., Felekoğlu, K. T., Felekoğlu, B., Gödek, E. (2016). Çimento Esaslı Lifli Kompozitlerde Su/Çimento Oranı ve Mineral Katkı Türünün Çoklu Çatlak Davranışına Etkisi. *Deu Muhendis. Fak. Fen ve Muhendis.*, vol. 18, no. 54, pp. 440–440, Jan.

Li, V. C. (2002). Reflections on the Research and Development of Engineered Cementitious Composites (ECC). *Proceedings of the JCI International Workshop on Ductile Fiber Reinforced Cementitious Composites (DFRCC)- Application and Evaluation-October.*

Madandoust, R., Mohseni, E., Mousavi, S. Y., Namnevis, M. (2015). An experimental investigation on the durability of self-compacting mortar containing nano-SiO₂, nano-Fe₂O₃ and nano-CuO. *Constr. Build. Mater.*, vol. 86, pp. 44–50.

Nazari, A., 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.

Sahmaran, M., Yildirim, G., Erdem, T. K. (2013). Self-healing capability of cementitious composites incorporating different supplementary cementitious materials. *Cem. Concr. Compos.*, vol. 35, no. 1, pp. 89–101.