



# POLİTEKNİK DERGİSİ

## JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

## Yüksek performanslı harç üretiminde optimum nano malzeme oranlarının belirlenmesi

*The determination of the optimum nano materials ratios in production of high performance mortar*

*Yazarlar (Authors): Akbar SERVATMAND<sup>1</sup>, Osman ŞİMŞEK<sup>2</sup>*

ORCID<sup>1</sup>: 0000-0001-5605-4698

ORCID<sup>2</sup>: 0000-0003-3842-5541

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Servatmand A. ve Şimşek O. "Yüksek performanslı harç üretiminde optimum nano malzeme oranlarının belirlenmesi", *Politeknik Dergisi*, 21(2): 327-332, (2018).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.399080

# Yüksek Performanslı Harç Üretiminde Optimum Nano Malzeme Oranlarının Belirlenmesi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Akbar SERVATMAND\*, Osman ŞİMŞEK**

Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Beşevler, Ankara, Türkiye  
(Geliş/Received : 28.02.2017 ; Kabul/Accepted : 26.07.2017)

## ÖZ

Sürdürülebilirlik açısından betonarme altyapı elamanlarında bazı sebeplerden ötürü bozulmalar oluşmaktadır. Bu bozulmaların tamir ve onarımında yüksek dayanımlı tamir harcı üretimi konusunda araştırmalar artmıştır. Bunun nedeni kısa sürede bozulan altyapı betonarme elamanlarının tamir ve onarımının daha az maliyetli olmasından kaynaklanmaktadır. Çalışmada yüksek performanslı tamir ve onarım harçları üretim amacıyla üç farklı nano malzeme çimento ağırlığının % 0.5, %1, %1.5 ve %2 oranlarında ilave edilir iken karışıma giren bağlayıcının %55'i oranında UK ikame edilmiştir. Her bir karışım için 28 günlük basınç dayanımı için üçer tane 50×50×50 mm küp numuneler hazırlanmıştır.

Genellikle nano silikat ve nano alüminat bütün karışım oranlarında yaklaşık olarak birbiriyle paralellik göstermiştir. Nano silikat ve nano alüminat %1 oranında kullanıldığında maksimum basınç dayanımını kazanırken, nano kalsit %0.5 oranında kullanıldığında maksimum basınç dayanımı değerini vermiştir. Nano malzemeler birbiri ile kıyaslandığında en yüksek dayanımı 97,86 MPa ile %1 oranı ile hazırlanan nano silikatlı numuneler verirken, en düşük dayanımı 54,32 MPa ile %0,5 oranı ile hazırlanan nano alüminatlı numuneler vermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Nano Silikat, Uçucu kül, Yüksek performanslı beton, onarım harcı.

## The Determination of the Optimum Nano Materials Ratios in Production of High Performance Mortar

### ABSTRACT

In terms of sustainability reinforced concrete infrastructure elements deteriorate for some reasons.. The research on the production of high performance repair mortars in the repair of these deteriorations has increased rapidly. The reasons for this is the use of nanomaterials at certain rates in the production of repair mortar and its great advantage of high performance in a short time. In the study, three different nano materials were added at 0.5%, 1%, 1.5% and 2% of the weight of the cement for the production of high performance repair and repair mortars, while the admixture binder was 55% UK substituted. Samples of 50 × 50 × 50 mm cubes were prepared for 28 days compressive strength for each mixture. Generally, with the nano-silicate and nano-aluminate mixtures had approximately parallel results to each other in all mixture ratios. Nano-silicate and nano-aluminate mixtures gave the maximum compressive strength when used at 1% whereas nano-calcite mixture gave the maximum compressive strength when used at 0.5% ratio. When the nano materials compared with each other, nano-silicate samples prepared at 1% ratio gave the highest strength of 97,86 MPa, while the nano-aluminate samples prepared at 0

ile arasında kimyasal reaksiyonlar meydana gelir. Bu.5 ratio gave the lowest strength of 54,32 MPa .

**Keywords:** Nano silicate, fly ash, high performance concrete, repair mortar.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sürdürülebilirliğin esası doğayı tahrip etmeden, mevcut olan kaynakların dengeli bir biçimde tüketilmesidir. Genellikle, betondan yapılmış altyapılar için servis süresi yaklaşık 50 yılın üzerindedir. Ama son zamanlarda tabiat etkileri ve yeterli kalitede üretilemeyen altyapıların servis ömrü azalmaktadır [1]. Bu altyapı elemanlarının servis ömürlerindeki kısalma nedeniyle bu yapılarda kullanılan tamir harçlarında yüksek dayanımın önemi ortaya çıkmıştır [2, 3]. Ama son zamanlarda inşaat maliyetlerinde meydana gelen artışla var olan yapıların yeniden yapılmaksızın tekrar onarılmasının önemini ortaya koymuştur [4]. Yüksek dayanımlı yapı onarım malzemelerinin geliştirilmesi beton yapıların açısından çok önemli olmuştur [5]. Yapı onarım malzemelerinin maliyetini düşürmek amacıyla çimento yerine uçucu

küllerin kullanılması onarım işlerinde artış göstermiştir. Beton karışımlarında çimento yerine kullanılan uçucu küller puzolanik etkiye sahiptirler ve 90. Günden sonra çimentonun yapacağı dayanıma benze dayanımlar veren atık ürünlerdir [6]. Uçucu kül tanelerinin boyutları 0,01-100 µm arasında olup yoğunluğu 2,6 g/cm<sup>3</sup> civarında olan malzemedir [7]. ASTM C 618 [8]'e göre UK'lerin S+A+F miktarı toplamı %70 'in üzerinde ise UK'ler F sınıfı, S+A+F miktarı toplamı %50 'in üstünde ise UK'ler C sınıfı olarak isimlendirilir. Portland çimentosunun hidrasyonu sonunda meydana gelen kalsiyum hidroksit reaksiyonlar çimentonun hidrasyon işleminden daha uzun bir sürede meydana gelir [9, 10]. Uçucu küllerin ilk yaş dayanımlarında çok fazla dayanıklılık gösterememesi fakat ilerki yaşlarda dayanım göstermesi sonucu nano malzeme kullanılarak ilk yaş dayanımlarında artış meydana getirmek için birçok araştırmacı çalışmalar yapmıştır. [11,12].

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : servatmand.akbar@gmail.com

Nano Teknolojinin her alanda kullanılmasının sonucunda beton teknolojisinde nano kullanılması kaçınılmaz olmuştur [13,14]. Beton teknolojisinde kullanılan nano malzemelerin uygulanabilirliği ve yapılan çalışmalarla beton dayanımına katkısı gün geçtikçe artmaktadır.

Çimento esaslı kompozitlerin oluşturulmasında kullanılan nano malzemelerden bazıları magnetik nano tanecikleri ve nano  $TiO_2$  [15,16,17] olarak söylenebilir. Çok yüksek mukavemete sahip betonlar için karışımında kullanılacak malzemelerin taneciklerinin ince olması önemlidir. İnce tanecikli malzemeler kullanılan betonun mukavemeti de normal betondan daha çok olacaktır [17,18].

Beton ile yapılan son çalışmalarda kullanılan nano alümine, nano kalsit ve nano silikanın normal betona göre beton mukavemetini arttırdığı gözlemlenmiştir [19]. Nazari ve Riahi'nin [20,21] akademik yayınlarında ağırlık olarak çimento yerine %4'e varan miktarlarda nano-silika kullanılması sonucunda beton numunelerinin basınç dayanımlarında belli oranda artış meydana gelmiştir. Doğada bulunan kalsitin nano olarak üretilmesinde bazı metotlar kullanılabilir. Bunlar; öğütme, ezme ve eleme metotlarıdır. Doğal halde var olan kalsitin saflığı ve değeri yeterli olmamaktadır [22]. Bundan ötürü farklı bir metot olan kristalleşme yöntemi kullanılarak doğal kalsit nano kalsit olarak yeniden üretilebilir. Nano kalsit üretimi için gerekli malzemeler doğada mevcut olduğundan dolayı kristalleştirme metodu uygulanarak istenilen  $CaCO_3$  üretilebilir [22,23]. Kalsit, betonda dayanım açısından belli oranda iyileştirme yaptığından ötürü tamir harçlarında dolgu malzemesi olabilir. Kalsitin betonun dayanımına etkisini  $C_3A$  bakımından zengin olan çimentolarla reaksiyona girip karboalüminat oluşturması söylenebilir [24]. Kalker tozu ikamesinin artmasıyla betonun taze halde işlenebilirliğinin arttığı ve daha homojen bir yapı ortaya çıktığı görülmüştür [25,26].

Bu çalışmada karışıma giren çimento ağırlığının 4 farklı % oranda, nano-silika, nano alümine ve nano kalsit katılarak, optimum nano malzeme oranlarını belirlemek için basınç dayanımları incelenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

### 2.1. Malzemeler (Materials)

Bu deneysel çalışmada 400  $\mu m$  boyutunda silisli kum, çimento, Kangal C sınıfı uçucu külü, kalsiyum format, nano silika, nano alüminat ve nano kalsit kullanılmıştır.



Şekil 1. Çalışmalarda kullanılan uçucu kül, çimento, silis kumu ve kalsiyum format [27] (Fly ash, cement, silica sand and calcium formiat used in the study)



Şekil 2. YPLDÇK karışımlarında kullanılan nano malzemeler [27] (Nano materials used in mixtures)

Bu harç bileşim malzemeleri belirli oranlarda karışımlar hazırlanarak 50 mm boyutunda küp deney numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan harç numunelerine 28 gün sonra basınç dayanımı testi uygulanmıştır.

Araştırmada kullanılan çimento, uçucu kül ve silis kumun teknik özellikleri Çizelge 1 'de verilmektedir. Çizelge 2' de kullanılan Nano malzemelerinin fiziksel ve kimyasal analizinin özeti ayrıntılı bir şekilde gösterilmektedir.

**Çizelge 1** Araştırmada kullanılan malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri [27] (physical and chemical properties of materials used in the study)

Kimyasal Özellikler	PÇ52,5 Beyaz	UK	Silis Kumu 400 (SK)	Nano Kalsit (nK)
CaO (%)	65.70	29,85	0.05	98.88
SiO <sub>2</sub> (%)	21.60	33,26	99.31	0.4-0.1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	4.05	12,88	0.29	0.4-0.1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	0,26	5,36	0.05	0.5-0.1
MgO (%)	1.30	2,55	-	0.5-0.1
SO <sub>3</sub> (%)	3.30	4,90	-	-
K <sub>2</sub> O (%)	0,35	0,95	0.02	-
Na <sub>2</sub> O (%)	0,32	0,33	-	-
Kızdırma Kaybı (%)	3.20	4,65	0.09	13.50
SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	25.91	51,5	99.65	1.3-0.3
Fiziksel Özellikler				
Yoğunluğu (g/cm <sup>3</sup> )	3.06	2.13	2.65	-
Blaine İnceliği (cm <sup>2</sup> /g)	4600	2698	-	2μ
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 2.** Araştırmada kullanılan Nano Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Nano SiO<sub>2</sub> malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri [27] (Physical and chemical properties of Nano Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Nano SiO<sub>2</sub> used in the study)

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

**Çizelge 3.** 1 m<sup>3</sup> için nano malzemesi karışım miktarları (Nano materials mixture quantities for 1 m<sup>3</sup>)

Malzeme	Nano Aluminat				Nano Kalsit				Nano Silikat			
	0.5	1	1.5	2	0.5	1	1.5	2	0.5	1	1.5	2
Silis Kum	486	487	488	489	486	486	486	486	481	476	472	467
Çimento	533	532	530	528	533	530	527	525	527	517	512	505
Su	328	329	329	330	328	328	328	328	325	321	318	315
Uçucu Kül	652	650	648	645	651	648	645	641	645	635	626	617
Nano	6.07	12.18	18.30	24.45	6.07	12.14	18.20	24.29	6.01	11.90	17.68	23.35
Akışkanlaştırıcı	18.2	18.2	18.2	18.2	18.2	18.2	18.2	18.2	18.2	18.2	18.2	18.2
Kalsiyum Format	24.31	24.35	24.40	24.45	24.28	24.28	24.29	24.29	24.00	23.81	23.60	23.35
Bağlayıcı	1216	1218	1220	1223	1214	1214	1214	1214	1202	1187	1179	1168

## 2.2. METOT (METHOD)

Karışımlarda su/ çimento oranı 0,62, Uçucu kül / bağlayıcı oranı 1,22 oranlarda sabit olarak alınmış ve karışıma giren malzeme miktarları Çizelge 3'de verilmiştir. Bu malzemeler ile 50 mm boyutunda küp numunesi hazırlanmıştır. Basınç dayanımı testi ASTM C39/C39M [28] standardına uygun olarak yapılmıştır.



Şekil 3. Basınç dayanımı test cihazı (Compressive strength test machine)



Şekil 4. Basınç testi sonrası numunelerin görüntüsü (The view of the samples after being subjected to compressive strength test)

## 3. BULGULAR VE TARIŞMA (FINDINGS and DISCUSSION)

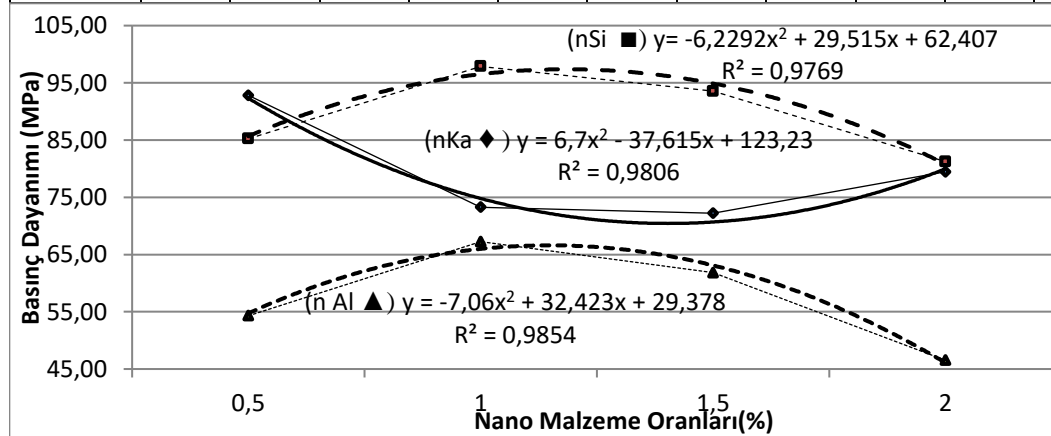
Çalışmada nano malzemelerin optimum karışım oranını belirlemek için çimento ağırlığının yüzdesi olarak 0.5, 1, 1.5 ve 2 oranlarında nano kalsit, nano silikat ve nano alümine katılarak üçer adet küp numunelerinin 28 günlük basınç dayanımı incelenmiştir. Bu karışımlar içinde en yüksek basınç dayanımını veren nano malzeme optimum olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 4 ve Şekil 1 incelendiğinde nano alüminatlı karışım oranlarıyla üretilen numunelerin en yüksek basınç dayanımını 67,25 MPa ile %1 nano alüminatlı numuneler vermiştir. Katkı oranı basınç dayanımı ilişkisi ikinci derece polinom denklemi  $y = -7,06x^2 + 32,423x + 29,378$  olur iken  $R^2$ 'si 0,9854 olarak hesaplanmıştır. Basınç dayanımı ile katkı oranı arasında kuvvetli bir ilişki olduğunu söylemek zorda olsa, çimento ağırlığının % 1 oranı optimum olarak saptanmıştır. En düşük basınç dayanımı 46,53 MPa ile %2 oranıyla üretilen karışımlar vermiştir.

Çizelge 4 ve Şekil 5 incelendiğinde nano kalsitli karışım oranlarıyla üretilen numunelerin en yüksek basınç dayanımı 92.82 ile %0,5 nano kalsitli numuneler vermiştir. Katkı oranı basınç dayanımı ilişkisi ikinci derece polinom denklemi  $y = 6,7x^2 - 37,615x + 123,23$  olur iken  $R^2$  'si 0,9806 olarak hesaplanmıştır. Basınç dayanımı ile katkı oranı arasında kuvvetli bir ilişki olduğunu söylemek zorda olsa, çimento ağırlığının %

Çizelge 4. Numunelerin basınç dayanımları sonuçlarının istatistiksel değerlendirilmesi (Statistical evaluation of compressive strength results of samples)

	Nano Alüminat Karışım Basınç Dayanımı ( MPa)				Nano Kalsit Karışım Basınç Dayanımı ( MPa)				Nano Silikat Karışım Basınç Dayanımı ( MPa)			
	0.5	1	1.5	2	0.5	1	1.5	2	0.5	1	1.5	2
Oranlar (%)												
Min	51,32	63,19	58,89	43,6	90,91	72,64	68,38	77,86	80,89	95,11	92,54	74,89
Max	55,91	70,4	64,22	48,5	94,42	73,97	74,62	81,66	88,58	99,54	94,67	85,58
St.Sapma	2,60	3,69	2,71	2,59	1,78	0,67	3,36	1,97	3,95	2,40	1,07	5,62
Ort	54,32	67,25	61,84	46,53	92,82	73,26	72,22	79,46	85,25	97,86	93,55	81,25



Şekil 5. Karışımlarda nano malzeme oranı ve basınç dayanımı ilişkisi (The relationship between nano material ratio and compressive strength in mixtures)

0,5'ini veren oran optimum olarak saptanmıştır. En düşük basınç dayanımı 72,22 MPa ile %1,5 oranıyla üretilen karışımlar vermiştir.

Çizelge 4 ve Şekil 5 incelendiğinde nano silikatlı karışım oranlarıyla üretilen numunelerin en yüksek basınç dayanımını 97,86 MPa ile %1 nano silikat numuneler vermiştir. Katkı oranı basınç dayanımı ilişkisi ikinci derece polinom denklemi  $y = -6,2292x^2 + 29,515x + 62,407$

olur iken  $R^2$  'si 0,9769 olarak hesaplanmıştır. Basınç dayanımı ile katkı oranı arasında kuvvetli bir ilişki olduğunu söylemek zorda olsa, çimento ağırlığının % 1'ini veren oran optimum olarak saptanmıştır. En düşük basınç dayanımı 81,25 MPa ile %2 oranıyla üretilen karışımlar vermiştir.

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Genellikle nano silikat ve nano alüminat bütün karışım oranlarında yaklaşık olarak birbiriyle paralellik göstermiştir.

Nano silikatlı karışımlarda en yüksek basınç dayanımını 97,86 MPa ile sağlayan %1 nano silikat oranı optimum olarak belirlenmiştir.

Nano alüminatlı karışımlarda en yüksek basınç dayanımını 67,25 MPa ile sağlayan %1 nano alümina oranı optimum olarak belirlenmiştir.

Nano kalsitli karışımli karışımlarda en yüksek basınç dayanımını 92,82 MPa ile sağlayan % 0,5 nano kalsit oranı optimum olarak belirlenmiştir.

Bu üç nano malzeme içinde en yüksek basınç dayanımını nano silikatlı karışımlar vermiştir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Toklu, K., Şimşek, O., "Investigation of mechanical properties of repair mortars containing high-volume fly ash and nano materials" *Journal of Australian Ceramic Society*, <https://doi.org/10.1007/s41779-017-0150-7>, (2017).
2. Cilason N., "Quality assurance and quality control for concrete in hot climates "- Paper submitted to Rilem, *9<sup>th</sup> International Symposium*, Torquay, England, 167-71, September 21-25 , (1992).
3. Alexander M.G., Stanish K., "Durability design and specification of reinforced concrete structures using a multi-factored approach. *CONMAT'05*, 10, ( 2005).
4. Mehta P.K., Burrows R.W., "Building durable structures in the 21st century" *Conc Int*, 23(3), 57-63, ( 2001).
5. Vecchio F., Bucci F., "Analysis of repaired reinforced concrete structures," *ASCE Str Eng*, 125(6), 644-652, (1999).
6. Aruntaş, H.Y., "Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli "*Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 06500 Ankara, 21(1): 193-203, (2006).
7. Şengül Ü., "Uçucu Kül ve Çevresel Etkileri", *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(1): 89-104, (2001).
8. ASTM C 618, "Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for use as a mineral admixture in Portland Cement Concrete", *ASTM*, (2001).

9. Şimşek, O., "Beton ve Beton Teknolojisi", *Seçkin Yay. San. ve Tic. A.Ş.*, Ankara, 5: 50-62, (2016).
10. Hearn, N., Hooton, R. D., and Mills, R. H., "Pore Structure and Permeability", *Concrete and Concrete-Making Materials*, Edited by: Klieger, P. and Lamond, J., *ASTM STP 169C*, 240-262, (1994).
11. Federal Highway Administration (FHWA), *Manual of Practice "Materials and procedures for rapid repair of partial-depth spalls in concrete pavements"*, 135, (1999).
12. Li, M., and Li, V. C., "High-Early-Strength Engineered Cementitious Composites for Fast, Durable Concrete Repair – Material Properties," *ACI Materials Journal*, 108(1): 3-12. ( 2011).
13. Turan, O., " Bir Fırsat Penceresi: İnşaat Sektöründe Nanoteknoloji", *Beton Prefabrikasyon Dergisi*, 97, (2011).
14. Belytschko T, Xiao SP, Schatz GC, Ruoff R." Atomistic simulations of nanotube fracture" *Phys Rev B*; 65(23):235430-7, ( 2002).
15. Pekmezci,B.,Y., ve Atahan, H.,N., "Kimyasal ve Nano Katkılar: Betonda Kullanımı ve Beton Performansına Etkileri", 01/2013, s. 239-263, Beton 2013: *Hazır Beton Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 21.02.2013 - 23.02.2013, (Çağrılı Bildiri \_ Invited Paper)
16. Blyszko, W. Kiernozycki, N. Guskos, G. Zolnierkiewicz, J. Typek, U. Narkiewicz, M. Podsiadly, ( 2008). Study of mechanical properties of concrete with low concentration of magnetic nanoparticles, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 354: 35–39, (2008),
17. Li, H., Xiao, H., Yuan, J., Ou, J., "Microstructure of Cement Mortar with Nano- Particles", *Composites: Part B: Engineering*, 35:185-189, (2004).
18. Collepardi, S., Borsoi, A., Olagot, J.J.O., Troli, R., Collepardi, M., Curzio, A.Q., "Influence of Nano-Sized Mineral Additions on Performance of SCC", *6. International Congress, Global Construction*, Ultimate Concrete Opportunities, Dundee, U.K, ( 2012).
19. Makar JM, Beaudoin JJ. "Carbon nanotubes and their applications in the construction industry", In: Bartos PJM, Hughes JJ, Trtik P, Zhu W, editors. *Nanotechnology in construction, Proceedings of the 1st international symposium on nanotechnology in construction. Royal Society of Chemistry*; 331–41, (2004).
20. Nazari, A. and Riahi, S., "Microstructural, thermal, physical and mechanical behavior of the self compacting concrete containing SiO<sub>2</sub> nanoparticles" *Materials Science and Engineering A*, 527, 7663–7672, (2010).
21. Nazari, A. and Riahi, S. "The role of SiO<sub>2</sub> nanoparticles and ground granulated blast furnace slag admixtures on physical, thermal and mechanical properties of self compacting concrete" *Materials Science and Engineering A*, 528, 2149–2157, (2011).
22. Özdemir K.S. ve Özdemir E., "Delikli nano CaCO<sub>3</sub> üretimi", *3. Sanayi Şurası*, Ankara, (2013).
23. Ukrainczyk, M.; Kontrec, J.; Babic-Ivancic, V.; Brecevic, L.; Kralj, D., *Powder Technology*, 171, 192, ( 2007).
24. Shah SP, Konsta-Gdoutos MS, Metaxa ZS, Mondal P., "Nanoscale modification of cementitious materials" In: Bittnar Z, Bartos PJM, Nemecek J, Smilauer V, Zeman J, editors. 51, (2009).

25. Matschei T., Lothenbach B., Glasser F.P., "The role of calcium carbonate in cement hydration" *Cement and Concrete Research*, Vol. 37, pp. 551–558, (2007).
26. Gökçe, M., Dalmıs, K., Simsek, O., "Farklı Tip Akiskanlaştırmacı Katkı ile Değişik Oranlarda Mermer Tozu İkame Edilen Betonların Performansları" *Yapılarda Kimyasal Katkılar 3. Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 215-224, (2009) Toklu, K., Baharavar, S., Şimşek, O., 'Uçucu kül içeren yüksek performanslı güçlendirme harcında nano silikatın etkisi', *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 5, 1. (2017).
27. ASTM C39/C39M, "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens", *For Annual Book of ASTM Standards volume information*, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website, (2016).