

## **UÇUCU KÜLÜN VE TAŞ TOZUNUN KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONDA AŞINMA DİRENCİNE ETKİLERİ**

Burak FELEKOĞLU<sup>1</sup>, Mert Yücel YARDIMCI<sup>2</sup> ve Bülent BARADAN<sup>3</sup>

**ÖZET** :Kendiliğinden yerleşen beton (KYB) teknolojisinde akışkanlık ve stabilitenin bir arada sağlanabilmesi için yeni nesil polikarboksilat bazlı süperakışkanlaştırıcılar ile birlikte puzolanik ve inert mineral katkıları veya viskozite arttırıcı kimyasal katkıları kullanılabilir. KYB teknolojisinde sıkça kullanılan bu katkıları, KYB'nin işlenebilirliğini önemli ölçüde etkilediği gibi, dayanım ve dayanıklılığında da farklar yaratmaktadır. Yapılan bu çalışmada, aynı çimento dozajında farklı viskozite arttırıcı mineral katkıları ve farklı agrega granülometreleri ile kendiliğinden yerleşen betonlar üretilmiştir. Bu betonların dayanım sınıfına eşdeğer, geleneksel sıkıştırma işlemi görmüş betonların yüzeyel aşınma performansları makalede açıklanan bir yöntem ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

**ANAHTAR KELİMELELER** :Beton, aşınma, taş tozu, uçucu kül, basınç dayanımı.

## **THE EFFECT OF FLY ASH AND STONE POWDER ON ABRASION RESISTANCE OF SELF COMPACTING CONCRETE**

**ABSTRACT** : Polycarboxylic acid type superplasticizers with pozzolanic and inert mineral additives or viscosity modifying chemical admixtures are being used in order to obtain flowability and stability in self compacting concrete (SCC) technology. These admixtures can enhance the fresh state properties of SCC and also improve the strength and durability properties. In this study, surface abrasion resistances of SCCs, produced by using different viscosity modifying mineral admixtures with different aggregate gradings, have been compared with conventionally compacted concretes of the same strength class.

**KEYWORDS** : Concrete, abrasion, limestone powder, fly ash, compressive strength.

---

<sup>1, 2, 3</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,  
Tınaztepe Kampüsü, 35160 Buca, İZMİR

## ***I. GİRİŞ***

Kendiliğinden yerleşen beton (KYB), Japonya'da 80'li yılların sonunda dayanıklılık açısından yüksek performanslı beton üretimi amacıyla geliştirilmiştir [1]. KYB, kendi ağırlığı altında istenilen kesite yayılabilen, herhangi bir iç veya dış vibrasyon uygulanmadan, kesitte tam doluluğun sağlanabildiği, akıcı kıvamda bir betondur. KYB'nin yukarıda sayılan özellikleri sağlayabilmesi için, akıcı kıvamda olması, fakat akış sırasında engeller arasından bloklanma veya tıkanma olmadan geçebilmesi ve ayrılmaya uğramaması gereklidir. Özellikle yüksek performanslı süper akışkanlaştırıcıların kullanımı, taze betonun viskozitesinde önemli bir düşüşe yol açmadan işlenebilirliği arttırmaktadır.

Kendiliğinden yerleşen betonun iki temel özelliği, çok miktarda toz malzeme ve süperakışkanlaştırıcı kullanımı ile elde edilen yüksek akıcılık ve yüksek ayrışma direncidir. KYB'de viskozite arttırıcı toz malzeme olarak uçucu kül, taş tozu, öğütülmüş yüksek fırın curufu, silika dumanı kullanılabilir [2-3]. Öte yandan geleneksel betonda özellikle düşük dozlu karışımlarda beton içerisine taş tozu ilave etmenin yararı, betonun kohezyonu, işlenebilirliği ve kompasitesi açısından büyük avantajlar sağlar [4]. Karışım tasarımındaki bu farklılıktan dolayı, geleneksel betona göre dayanım ve dayanıklılık değişebilir. Çimentolu malzemelerin zararlı etkilere karşı hasar mekanizması en fazla malzemelerin geçirimsizliğinden etkilenmektedir. KYB'nin kapiler su emme kapasitesi, geleneksel betona göre daha düşüktür. KYB'nin bu özelliği ayrık ve bağlantısız boşluk yapısı ile açıklanabilir [5].

Betonun basınç dayanımı, aşınmaya karşı direncini belirleyen ana etmendir. Betonun yüzey bölgesinin özellikleri iyi kürden, yüzey bölgesindeki terleme özelliklerinden, yüzey bölgesi su / çimento oranından fazlaca etkilenir. Özellikle iyi kürün önemi fazladır. Avrupa Standartları EN 206:2000 [6], betonda iyi bir aşınma dayanımının elde edilebilmesi için kür süresinin normalden iki kat daha uzun tutulmasını önerir.

Bu çalışmada, taş tozu ve uçucu kül kullanılarak, iki farklı granülometride (kaba ve ince granülometreli karışım) KYB'ler üretilmiştir. Bu karışımların, aşınma direnci incelenmiş ve geleneksel betonla karşılaştırılması yapılmıştır.

## II. KULLANILAN MALZEMELER

### II.1. Çimento

Çalışmada tüm serilerde İzmir Çimentaş Fabrikası'nda üretilmiş olan CEM I 42.5 Portland çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun, üretici firmadan alınan kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri.

Oksit Kompozisyonu (%)	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Cl
	63.62	19.69	5.19	3.56	0.92	2.54	0.26	0.80	0.015
Özgül Ağırlık	Blaine değeri (cm <sup>2</sup> /g)	Priz Süresi (dakika)		Basınç Dayanımı (MPa)			Serbest CaO	Kızdırma Kaybı	
		Başlangıç	Bitiş	2 Gün	7 Gün	28 Gün			
3.15	3390	105	175	26.9	41.2	50.5	1.18	1.36	

### II.2. Taş Tozu ve Uçucu Kül

Çalışmada viskozite artırıcı toz malzeme olarak uçucu kül (UK) ve taş tozu (TT) kullanılmıştır. Kullanılan taş tozu Erkoç Kırmataş San. ve Tic. A.Ş.'den temin edilmiştir. Bu malzeme, kırmataş tesisinde filtrasyon yolu ile elde edilen bir atıktır. Kireçtaşı kökenli olan bu malzemenin Blaine değeri 4430 cm<sup>2</sup>/g olup özgül ağırlığı 2.58'dir. Taş tozunun % 96'sı 63 mikron elekten geçmektedir. Uçucu kül ise Soma Termik Santrali'nden elde edilmiş bir atıktır. Blaine değeri 2900 cm<sup>2</sup>/g olup özgül ağırlığı 2.06'dır. TS EN 450'ye göre 28 günlük puzolanik aktivite indeksi % 93.8 ve 28 günlük basınç dayanımı 48 MPa'dır. C tipi [7] uçucu külün kimyasal analizi Çizelge 2'de görülmektedir.

Çizelge 2. Uçucu külün kimyasal özellikleri.

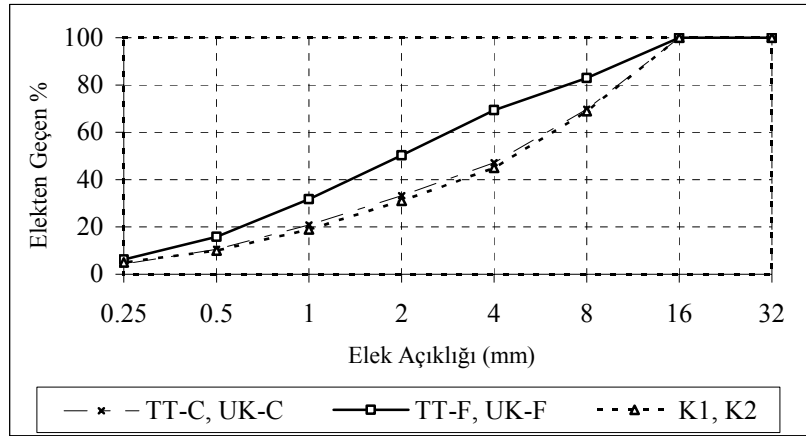
Kimyasal Analiz (%)			
SiO <sub>2</sub>	42.14	K <sub>2</sub> O	1.13
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.38	Na <sub>2</sub> O	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.64	SO <sub>3</sub>	2.43
CaO	26.96	Klor	0.0010
MgO	1.78	Serbest CaO	4.34

### II.3. Agregalar

Çalışmada kaba agregalar olarak kırma kireçtaşı kullanılmıştır. Kaba agreganın en büyük tane çapı 15 mm'dir. İnce agregalar olarak dere kumu (0-4 mm) kullanılmıştır. Karışım hesabında agregalar doymun kuru yüzey (DKY) olarak göz önüne alınmış ve karışım hesabında gerekli nem düzeltmeleri yapılmıştır. Kullanılan agregaların fiziksel özellikleri Çizelge 3'te verilmektedir. Deneysel çalışma programında ince agreganın kaba agregaya oranının değişimine göre ince ve kaba olmak üzere başlıca iki karışım hazırlanmıştır. Bu karışımlara ait granülometri eğrileri Şekil 1'de verilmiştir.

Çizelge 3. Agregaların özellikleri.

	Özgül Ağırlık (DKY)	Su Emme (%)
Kırma Kireç Taşı (5-15mm)	2.71	0.39
Dere Kumu (0-4mm)	2.60	1.63



Şekil 1. Karışımlara ait granülometri eğrileri.

### II.4. Kimyasal Katkılar

KYB serilerinde polikarboksilat bazlı "Smartflow HS100" adlı yeni nesil bir süperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Bu kimyasal katkı ASTM C 494 [8]'e göre F tipi, yüksek oranda su azaltıcı bir katkıdır. Katı madde miktarı % 35.7, pH'ı 6.5

ve özgül ağırlığı 1.11'dir. Geleneksel betonda ise özgül ağırlığı 1.21 olan "WRDA 90" adlı bir normal akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Bu akışkanlaştırıcı ASTM C 494'e göre A, D ve G tipindedir.

### III. DENEYSEL PROGRAM

Çalışmada karışım oranları Çizelge 4'te verilen dört adet kendiliğinden yerleşen beton ve iki adet geleneksel sıkıştırılmış beton serileri üretilmiştir. Üretilen KYB'lerin işlenebilirlikleri EFNARC'a [9] göre, çökme-yayılma ve V-kutusu deneyleri yapılarak belirlenmiştir. Serilerin taze haldeki özellikleri Çizelge 5'te sunulmuştur. TT-C ve UK-C serileri kendiliğinden yerleşen özellikte, kaba granülometrilik serilerdir. TT-F ve UK-F ince granülometriye sahip KYB'lerdir. K-1 ve K-2 serilerinde geleneksel sıkıştırma işlemi uygulanmıştır. Su / çimento oranları sırası ile 0.55 ve 0.47'dir. Taş tozlu serilerin kontrolü olarak K1, uçucu küllü serilerin kontrolü olarak K2 karışımları, aynı dayanım sınıfı hedeflenerek hazırlanmıştır.

Üretilen serilerden altı adet 150 mm ayrıtlı küp ve altı adet de 70 mm ayrıtlı küp numune alınmıştır. 150 mm ayrıtlı küp numuneler basınç dayanımı deneyleri için kullanılmış iken, 70 mm ayrıtlı numuneler aşınma deneyleri için kullanılmıştır.

Çizelge 4. Karışım oranları.

Malzeme (kg/m <sup>3</sup> )	TT-C	UK-C	TT-F	UK-F	K-1	K-2
Çimento	352	350	352	350	350	350
Uçucu Kül	0	185	0	203	0	0
Taş Tozu	186	0	205	0	0	0
Su	192	191	194	192	191	164
İnce Agregası	727	723	1062	1067	738	772
Kaba Agregası	867	862	488	482	1057	1092
Kim. Katkı	3.76*	8.05*	5.17*	7.7*	5.91**	6.16**
Su / çimento	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.47
Su / toz	0.36	0.36	0.35	0.35	0.55	0.47
İnce Ag. / Kaba Ag.	0.84	0.84	2.18	2.2	0.7	0.71
28 günlük basınç. day. (MPa)	42.9	68.7	48.1	52.7	42.9	52.1
Taze BHA (kg/m <sup>3</sup> )	2328	2319	2306	2302	2342	2384

\* SmartFlow HS 100

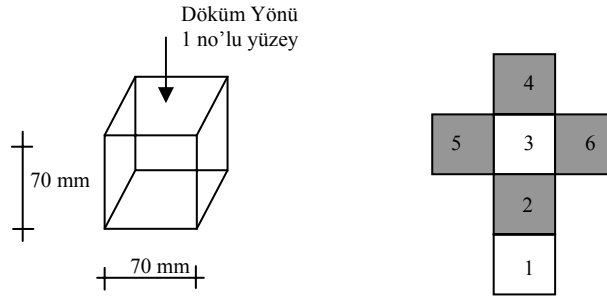
\*\* WRDA 90

**Çizelge 5.** Karışımların taze haldeki özellikleri.

	TT-C	UK-C	TT-F	UK-F	K-1	K-2
Yayıma Çapı (mm)	690	700	690	710	-	-
Çökme (mm)	-	-	-	-	180	170
T <sub>50</sub> (s)	2	5	4	5	-	-
V-Kutusu (s)	14	37	17	26	-	-

### III.1. Yüzeysel Aşınma Deneyleri

Yüzeysel aşınma deneyi TS 213'e uygun Dorry yüzeysel aşınma aleti ile yapılmıştır. Deneyler 70 mm ayrıtlı küp numuneler kullanılarak 7 ve 28. günlerde yapılmıştır. Aşınma deneyi öncesinde numuneler 40 °C'de 24 saat kurutularak hassas elektronik terazide tartılmışlardır. Aşındırıcı toz olarak korund kullanılmıştır. Numunelerde aşındırılan yüzeyler, Şekil 2'de küp açılımında görülen 2, 4, 5 ve 6 numaralı gri yüzeylerdir. Bu küp açılımında 1 nolu yüzey, serbest yüzey iken 3 no'lu yüzey kalıp tabanıdır. Numuneler, döküm yüzeyinden değil, kalıp yan yüzeylerinden aşındırılmış ve böylece yüzey koşullarından ziyade karışım oranlarının etkisi ön plana çıkarılmaya çalışılmıştır. Numunelere her bir yüzeye 84 devir aşındırma olmak üzere, dört yüzeyde toplam 336 devir aşındırma uygulanmıştır. Standart olmayan bu yöntem kullanılarak, üretilen serilerin toplam aşınma potansiyelleri, % ağırlık kaybı ve 2-4 ile 5-6 yüzeyleri arası % boy kısaltmalarının kumpas kullanılarak ölçülmesi ile karşılaştırılmıştır. Aşınma deneyi sonrasında numuneler yumuşak fırça kullanılarak tozdan arındırılmış ve tartım ile kumpas ölçümleri yapılmıştır. Aşınma deneyinde numune üzerine uygulanan kuvvet 300±3 N'dur. Aşınma deneyi düzeneği Şekil 3'te sunulmuştur.



**Şekil 2.** Deney örneği aşınma yüzeyleri.

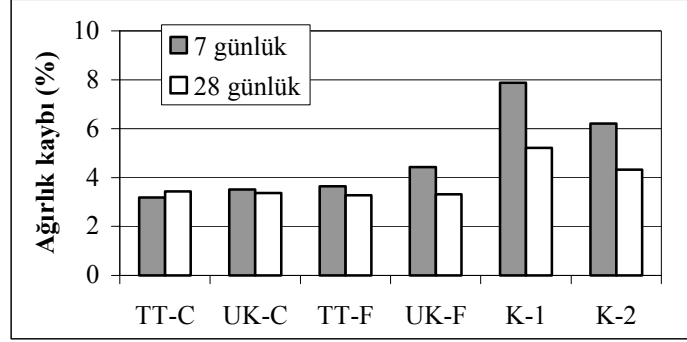


Şekil 3. Aşınma deneyi düzeneği.

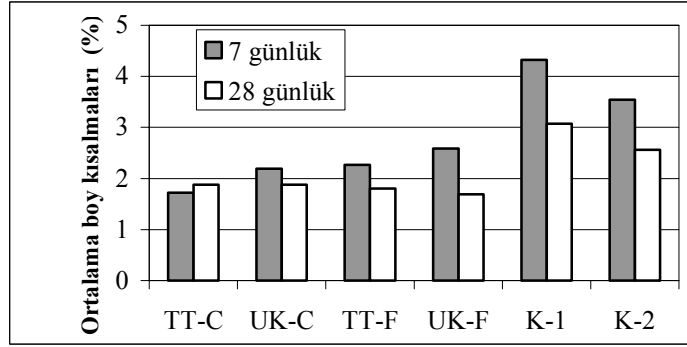
#### ***IV. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ***

Çalışmada elde edilen, 7 ve 28 günlük numunelerin aşınma deneyi sonuçları Şekil 4 ve 5'te toplu halde görülmektedir. Tüm seriler dikkate alındığında, geleneksel sıkıştırma işlemi uygulanmış ve su/çimento oranları sırası ile 0.55 ve 0.47 olan K-1 ve K-2 serileri 7 ve 28 günde en fazla ağırlık kaybına uğramıştır (Şekil 4). Yedinci günde en az ağırlık kaybına uğrayan seri TT-C iken 28 günlük numunelerde ağırlık kaybı seviyeleri kendiliğinden yerleşen beton serileri için (TT-C, UK-C, TT-F ve UK-F) % 3.28 ile % 3.43 arasında olmak üzere hemen hemen aynı düzeydedir. Kendiliğinden yerleşen serilerin ağırlık kaybı seviyeleri geleneksel sıkıştırma işlemi uygulanmış serilerden (K-1 ve K-2) ortalama % 30 daha düşüktür. Öte yandan KYB ve geleneksel sıkıştırma işlemi uygulanmış beton numunelerde kılma oranları da Şekil 5'te sunulmuştur. 7 ve 28 günlük KYB numunelerde aşınmaya bağlı ortalama boy kılması miktarları, geleneksel sıkıştırma işlemi uygulanmış beton numunelerle karşılaştırıldığında sırasıyla % 44.2 ve % 35.6 oranında daha düşüktür. Çalışmada uygulanan aşınma deneyi yöntemiyle 28 günlük KYB numunelerinde aşınma direnci açısından farklı dayanım sınıflarında olmalarına rağmen önemli bir fark gözlemlenememiştir. Bu sonuç KYB'lerin geleneksel betonlarla karşılaştırıldığında çok daha iyi agrega-bağlayıcı ara yüzey özelliklerine bağlanabilir. Aşınma sırasında bağlayıcı tarafından çok daha iyi sarılmış olan agrega tanecikleri beton bünyesinden kolayca sökülmemektedir. Öte yandan basınç dayanımları incelendiğinde KYB serilerinde 28 günlük basınç

dayanımlarının oldukça farklı olduğu görülmektedir (Şekil 6). Aynı çimento miktarı ile üretilen bu karışımların 28 günde farklı dayanımlara ulaşması uçucu külün puzolanik aktivitesine bağlanabilir. Kendiliğinden yerleşen betonda süperakışkanlaştırıcı katkının yardımıyla uçucu külün sistemde daha homojen karışması puzolanik etkinliğini arttırmaktadır.



Şekil 4. Betonların aşınma deneyi ağırlık kayıpları.



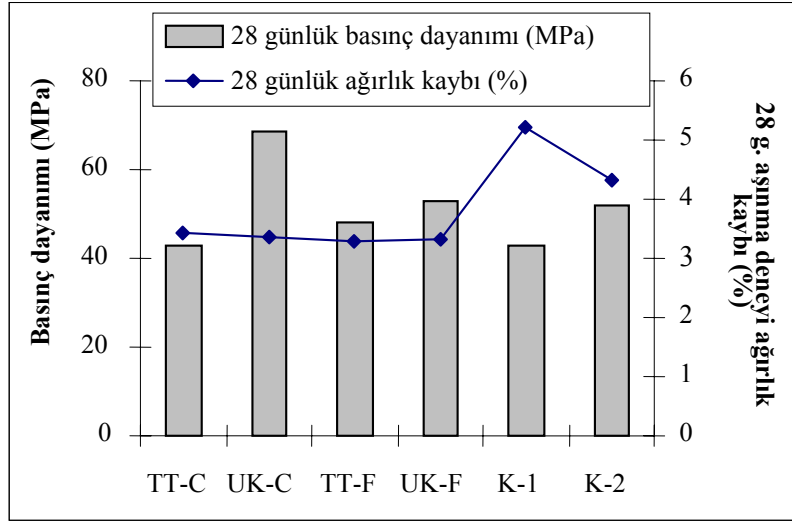
Şekil 5. Betonların aşınma deneyi ortalama boy kısalma %'leri.

Aynı karışım oranlarında taş tozu yerine, uçucu kül kullanımı ile 7 günde aşınma deneyi sonucu ağırlık kaybı artışı (özellikle uçucu kül miktarı arttığında) daha fazla olmaktadır (UK-C – UK-F). Fakat bu eğilim 28 günde ortadan kalkmakta ve uçucu kül ve taş tozlu kendiliğinden yerleşen beton serilerinde ağırlık kaybı seviyeleri birbirlerine yaklaşmaktadır. Uçucu küllü UK-F karışımının 7 günlük aşınma direncinin düşüklüğü uçucu külün yavaş dayanım kazanmasına neden olan puzolanik reaksiyona bağlanabilir. Aynı çimento dozajında, aynı dayanım



sınıfındaki TT-C ve K-1 serilerinden aşınma deneyi sonucu 28 gündeki ağırlık kaybı K-1’de % 52 daha fazladır. Benzer şekilde aynı dayanım sınıfındaki UK-F ve K-2 serileri karşılaştırıldığında kendiliğinden yerleşen özellikteki UK-F serisinin 28 gündeki ağırlık kaybı % 24 daha azdır.

KYB serilerinde, granülometride meydana gelen incelme, 7 günlük aşınma direncini hem uçucu küllü hem de taş tozlu seride azaltmaktadır. Yirmisekiz günlük aşınma direncinde granülometri değişimi önemli bir etki meydana getirmemiştir (Şekil 4). Buna karşın 28 günlük basınç dayanımları granülometrinin incelmesiyle uçucu küllü seride azalırken, taş tozlu seride artmaktadır (Şekil 6).



Şekil 6. Betonların basınç dayanımları ve aşınma deneyi ağırlık kayıpları.

## V. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yapılan bu deneysel çalışmadan çıkarılabilecek sonuçlar şöyle özetlenebilir.

- 1- Aynı karışım oranlarında KYB serilerinde toz malzeme olarak taş tozu yerine uçucu kül kullanımı ile 28 günlük basınç dayanımında uçucu külün puzolanik aktivitesi nedeni ile artışlar görülmektedir. Fakat granülometrinin incelmeye bağlı olarak sabit çimento dozajında bu çalışmadaki oranlar dikkate alındığında uçucu kül miktarının artması, dayanımda düşüşe neden

olmaktadır. Bu durum KYB teknolojisinde kullanılan uçucu kül miktarının belirli bir optimumda tutulmasını gerektirmektedir.

- 2- Uygulanan aşınma deneyi yöntemiyle, 7 ve 28 günlük KYB'ler geleneksel betona göre sırasıyla % 47.6 ve % 30 daha az aşınma ağırlık kaybına uğramışlardır.
- 3- KYB teknolojisinde kullanılan viskozite arttırıcı mineral katkı tipi KYB'nin dayanım ve dayanıklılık parametrelerini önemli düzeyde etkilemektedir. 28 günlük basınç dayanımı açısından uçucu kül daha avantajlı iken, aşınma direnci açısından erken yaşlarda taş tozu, ileriki yaşlarda uçucu kül daha avantajlıdır.
- 4- KYB teknolojisinde gittikçe daha geniş kullanım alanı bulan taş tozu ve uçucu kül gibi viskozite arttırıcı toz malzemelerin kullanımının dayanım ve dayanıklılık açısından optimizasyonu çalışmalarına ağırlık verilmelidir.
- 5- Uçucu kül gibi puzolanik özelliği olan mineral katkıların kullanılması halinde, aşınma direnci açısından uzun vadeli performanslarının da incelenmesi yararlı olacaktır.

## ***KAYNAKLAR***

- [1] H. Okamura, M. Ouchi, "Self Compacting Concrete. Development, Present Use and Future", Proceedings of the First International RILEM Symposium, Stockholm, Sweden, 1999, pp. 3-14.
- [2] K.H. Khayat, Z. Guizani, "Use of Viscosity-Modifying Admixture to Enhance Stability of Fluid Concrete", ACI Materials Journal July-August 1997, pp. 332-340.
- [3] B. Felekoğlu, M.Y. Yardımcı, B. Baradan, "A Comparative Study on the Use of Powder and Chemical Types of Viscosity Enhancers in Self Compacting Concrete", Proceedings of the 3rd International Symposium on Self Compacting Concrete, Iceland, 2003, pp.446-456.
- [4] İ.B. Topçu, S. Yakaroğlu, "Taş Unu Kullanımının Beton Özelliklerine Etkisi", Hazır Beton Dergisi, THBB, Yıl: 5, Sayı: 29, Eylül-Ekim 1998, pp.67-70.

- [5] A.M. Neville, "*Properties of Concrete*", Fourth and Final Edition, Addison Wesley Longman Limited, Essex, England, 1995.
- [6] EN 206-1, "Concrete- Part 1: Specification, performance, production and conformity", European Standards, 2000.
- [7] ASTM C 618-01, "Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for use as a Mineral Admixture in Concrete", Annual Book of ASTM Standards, 2002.
- [8] ASTM C 494-99a, "Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete", Annual Book of ASTM Standards, 2002.
- [9] EFNARC, "Specification and Guidelines for Self Compacting Concrete", Association House, 99 West Street, Farnham, Surrey GU9 7EN, UK, ISBN 0953973344, 2002, 32 p.