

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Agrega Türünün Kendiliğinden Yerleşen Beton Özelliklerine Etkisinin Araştırılması**

Osman ÜNAL<sup>11</sup>

<sup>1</sup>*Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Afyonkarahisar*

---

### **Özet**

Bu çalışmada, kendiliğinden yerleşen betonda farklı agregaların taze ve sertleşmiş beton özelliklerine etkisi incelenmiştir. Kendiliğinden yerleşen beton (KYB), akışkanlaştırıcı katkıları ve mineral katkıların beton karışımında kullanılmasıyla üretilen, betonun yerleştirilmesinde kolaylıklar sağlayarak inşaat sektöründe yerini almaya başlamış bir beton türüdür. Çalışmada, 5 seride kırma taş ve 5 seride çakıl agregaları kullanılarak, her seride altışar numune olmak üzere 60 adet 150\*150 mm'lik küp numuneler üretilmiştir. Bağlayıcı miktarı sabit, su miktarı değişken olarak belirlenmiştir. Taze beton deneyleri olarak çökmede yayılma, T<sub>500</sub> yayılma zamanı, V-hunisi, V<sub>T5</sub>, L-kutusu, Doldurma kutusu, birim hacim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Sertleşmiş beton deneyleri olarak da basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı yapılmıştır. Elde edilen verilere göre kırma taş agreganın KYB'nin dayanım özelliklerine etkisinin olumlu olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Kendiliğinden yerleşen beton, agrega türü, bağlayıcı, basınç dayanımı

---

## **The Investigation of Aggregate Type Effect on Properties of Self-Compacting Concrete**

### **Abstract**

In this study, the effect of different aggregates used in self compacting concrete on its fresh and hardened properties was investigated. Self-compacting concrete produced with chemical admixtures such as superplasticer and mineral admixtures presents many advantages like workability. Its usage has increased recently. In this work, 5 series with crushed stone and 5 series with gravel aggregates were used. For each series, 6 specimens were cast. In total, 60 cubic specimens with 150 mm size were produced. Binder content was kept constant, while water content is not. To determine the fresh concrete properties, flow table, T<sub>500</sub> time, V funnel, V<sub>T5</sub>, L-box, filling box and fresh unit weight were done. Compressive strength and splitting tensile strength as hardened concrete test were done. According to the test results obtained, the effect positive of crushed stone on strength of self-compacting concrete were observed.

**Keywords:** Self-compacting concrete, Aggregate type, Binder, Compressive strength

---

### **1.Giriş**

Taze betonun kendiliğinden yerleşebilme özelliği, donatının sık olduğu ve dar kesitli elemanlarda, betonun homojen yapısını koruyarak ve sıkıştırma işlemi gerektirmeden kendi ağırlığı ile yerleşebilmesi ve sıkışması olarak tanımlanabilir. Kendiliğinden yerleşen beton bileşimi, etkin bir süper akışkanlaştırıcı yanında toplam ince malzeme miktarı, su/bağlayıcı oranı, maksimum agrega boyutu, kum/toplam agrega oranı ve toplam iri agrega miktarı gibi parametreler açısından normal betona göre farklılıklar göstermektedir[1].

---

<sup>1</sup> Sorumlu yazar: [unal@aku.edu.tr](mailto:unal@aku.edu.tr)

Süper akışkanlaştırıcı katkıların görevi KYB’de yüksek akıcılık sağlanması ve su/bağlayıcı oranının düşürülmesini sağlamaktır. Viskozite düzenleyici katkıların vazifesi ise terleme ve çökme gibi ayrışmaları azaltarak betonun homojenliğini sağlamak ve kayma eşiğini düşürmektir[2,3].

KYB’nin yüksek bir akıcılığa sahip olması istenmektedir. Ancak, yüksek akıcılık sağlanırken, ayrışma ve su kusma olayları görülmemelidir. Yüksek akıcılık süper akışkanlaştırıcılar ile sağlanabilir. Ayrıca betonun kararlılığının bozulmaması için ince malzeme miktarını arttırmak ve/veya viskozite arttırıcı maddelerin kullanılması da önerilmektedir[4,5]. İnce madde olarak 0.125 mm’den daha küçük ince taneler düşünüldüğünde uçucu kül, taş unu (kireçtaşı tozu), cüruf (öğütülmüş), silis dumanı gibi malzemeler kullanılabilir. KYB’ler düşük su/çimento oranında, yüksek dayanıma ve üstün kalıcılığa sahip betonlar olduğu için, yüksek dayanımlı betonlar sınıfına girerler[5].

KYB üretiminde malzeme seçimi ve beton tasarımında yeni deney yöntemleri ve standartlar geliştirilmektedir. Özellikle işlenebilirlik konusunda farklı parametreler ölçen değişik deney yöntemleri bulunmaktadır. KYB’nin gerek prefabrike olarak üretilen ve gerekse şantiyede yerinde üretilen beton uygulamalarında önemi son zamanlarda hızla artmaktadır[2]. Kendiliğinden yerleşen betondaki en önemli değişiklik yüksek akışkanlık özelliğidir. Akışkanlığın arttırılması yüksek dozajda kimyasal katkı kullanımıyla sağlanmaktadır. Akışkanlaştırıcı dozajının yüksek olması taze betonun viskozitesini düşürür. Dolayısıyla taze betonun karışım suyundaki ve agrega gradasyonundaki değişkenliklere hassasiyetini arttırmaktadır[6].

İri agrega türünün ve akışkanlaştırıcı katkı dozajının KYB’nin taze ve mekanik özelliklerine etkilerinin araştırıldığı çalışma kapsamında[7] sabit su/toz (çimento + kireçtaşı tozu + uçucu kül) oranında KYB’ler hazırlanmıştır. Agrega hacmi de tüm karışımlarda sabit tutulmuş, ancak kullanılan agrega türü değiştirilmiştir. İlk aşamada farklı kaynaklardan temin edilen iki tür çakıl ve doğal kum kullanılarak KYB karışımları hazırlanmıştır. İkinci aşamada çakıl agregaları ile aynı tane boyut dağılımlarına sahip olacak şekilde kırma kireçtaşı agregaları kullanılarak KYB’ler üretilmiştir. Deney sonuçları kırma agrega kullanımının aynı tane boyut dağılımındaki doğal agrega kullanımına kıyasla; akışkanlaştırıcı katkı ihtiyacını arttırırken mekanik özellikleri olumlu etkilediği belirlenmiştir.

EFNARC (Avrupa Yapı Kimyasalları ve Beton Sistemleri Uzmanları) Komitesi[8], kendiliğinden yerleşen beton deneylerini işlevsellik açısından Doldurma Kabiliyeti, Geçiş Yeteneği ve Ayrışma Direnci Ölçen Deneyler olarak üç farklı sınıfa ayırmıştır. Bu sınıflamaya göre bu kapsamda KYB’nun dayanım özelliklerine kırmataş agregası ile çakıl agregasının etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada iri agrega olarak Afyon yöresinden temin edilen kırmataş ve çakıl, ince agrega olarak kum kullanılmıştır. Bağlayıcı olarak CEM I 42.5R çimentosu, kireçtaşı tozu ve uçucu kül ile süperakışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanılmıştır [9].

### 2.2. Çimento

Beton karışımlarında CEM I 42,5R tipi çimento kullanılmıştır. Özgül ağırlığı 3.07 olan çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 1’de kimyasal özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 1.** CEM I 42.5 R çimentosunun fiziksel ve mekanik özellikleri

Dayanım Sınıfı	Basınç Dayanımı (MPa)			Priz Başlama Süresi (saat)	Priz Sonu Süresi (saat)	Özgül Yüzey	Hacim Genleşmesi (mm)
	Erken Dayanım		Standart Dayanım				
	2 Günlük	7 Günlük	28 Günlük				
42.5	26.5	38.7	46	2.52	4,36	3685	3

**Tablo 2.** CEM I 42.5 R çimentosunun kimyasal özellikleri

Bileşik Adı	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Kızdırma kaybı
%	19.3	5.57	3.46	63.56	0.86	0.13	2.91	4.21

### 2.3. Katkı Maddesi

Deneylerde özellikleri Tablo 3'te verilen, güçlendirilmiş polikarboksilat bazlı bir süperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır.

**Tablo 3.** Süperakışkanlaştırıcı katkının özellikleri

Görünüm	Sıvı
Yoğunluk	1.050 ± 0.02 gr/cm <sup>3</sup>
Renk	Şeffaf -açık yeşil
pH	4.00 ± 1
Katı madde	%20.50 ± %5
Klorür içeriği	<%0.1

### 2.4. Uçucu Kül

Beton karışımlarında kullanılan Soma Termik Santraline ait uçucu külün kimyasal analiz sonuçları Tablo 4'te verilmiştir[10]. Bu özelliklere göre Soma uçucu külü, reaktif kireç miktarının %10'un üzerinde olması nedeniyle TS EN 197-1'de belirtilen kalkersi uçucu kül kapsamına girmektedir[11]. Ayrıca SiO<sub>2</sub>+ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+ Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarı istenilen %70 şartını sağlamaktadır[12].

**Tablo 4.** Soma uçucu kül kimyasal analiz sonuçları

Bileşik Adı	%	TS EN 450-1+A1	Bileşik Adı	%	TS EN 450-1+A1	Özgül Ağırlık
SiO <sub>2</sub>	45.71	En az %70	MgO	1.58	En çok %5	2.13
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23.67		Na <sub>2</sub> O	0.40		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.47		K <sub>2</sub> O	1.26		
S+A+F	73.85		SO <sub>3</sub>	4.11	En çok %5	
CaO	17.16		KK	0.87	En çok %10	
Cl <sup>-</sup>	0.010					

### 2.5. Kireçtaşı Tozu

KYB üretimlerinde uçucu küle ilave olarak özellikleri Tablo 5'te verilen kireçtaşı tozu kullanılmıştır.

**Tablo 5.** Kireçtaşı tozu kimyasal analiz sonuçları

	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (≥ 70)	MgO	Ağırlık Kaybı	Blaine yüzey alanı, cm <sup>2</sup> /g	Özgül ağırlık
<b>Kimyasal Özellikler</b>	54.97	0.01	0.17	0.05	0.23	0.64	43.66	-	
<b>Fiziksel Özellikler</b>	-	-	-	-	-	-	-	856	2.72

## 2.6. Agregalar

Karışımlarda 4/16 mm çakıl ve kırmataş agregası ile 0/4 mm kum kullanılmıştır. 1 m<sup>3</sup> beton karışımında kullanılan toplam agreganın miktarının %53'ü iri agreganın, %47'si ince agreganın olarak belirlenmiştir. Agregaların elek analizi değerleri ve fiziksel özellikleri Tablo 6'da verilmiştir.

**Tablo 6.** Agregaların granülometri değerleri ve fiziksel özellikleri

Elek Çapı (mm)	31.5	16	8	4	2	1	0.5	0.25	Birim Ağırlık kg/m <sup>3</sup>	Özgül Ağırlık	Su Emme %
4/16 Çakıl	100	91	38	2	1,2	0,7	0,4	0,2	1455	2.61	0.75
4/16 Kırma taş	100	100	59	46	39	27	17	9	1519	2.69	1.09
0/4 Kum	100	100	100	99	82	57	36	19	1520	2.59	3.73

## 2.7. Karışımlar ve Yapılan Deneyler

Çalışmada, tasarlanan farklı karışım oranları her iki agreganın türü içinde uygulanmıştır. Çalışmada toz miktarı (çimento+ uçucu kül+ kireçtaşı tozu) sabit tutularak su/bağlayıcı oranları değiştirilmiştir. 0.37, 0.41, 0.43, 0.46, 0.48 olarak artan oranlarda belirlenen su/bağlayıcı oranlarında kimyasal katkı miktarları ise su miktarı ile ters orantılı olarak azalan miktarlarda seçilmiştir. Buna göre sırasıyla Ç-1, Ç-2, Ç-3, Ç-4, Ç-5 (çakıl) ve KT-1, KT-2, KT-3, KT-4, KT-5 (kırma taş) olarak isimlendirilen KYB serilerinde numuneler üretilmiştir. Tablo 7'de 1m<sup>3</sup> KYB serilerindeki karışımda malzeme miktarları ve su/bağlayıcı oranları verilmiştir.

**Tablo 7.** 1 m<sup>3</sup> KYB'deki malzemelerin serilerin karışım miktarları (kg)

Seri	Su / Bağlayıcı	Çimento	Kireçtaşı Tozu	Uçucu Kül	Katkı	Agregalar	
						4/16	0/4
Ç-1	0.37	450	100	50	15.0	820	722
Ç-2	0.41	450	100	50	13.2	795	700
Ç-3	0.43	450	100	50	10.8	770	678
Ç-4	0.46	450	100	50	9.0	754	664
Ç-5	0.48	450	100	50	7.2	737	649
KT-1	0.37	450	100	50	15.0	806	715
KT-2	0.41	450	100	50	13.2	811	693
KT-3	0.43	450	100	50	10.8	786	671
KT-4	0.46	450	100	50	9.0	760	649
KT-5	0.48	450	100	50	7.2	777	664

Karışım oranlarına göre üretilen KYB serilerine taze beton deneylerinden Yayılma çapı ölçümlerinin yanı sıra EFNARC [8], standartlarına göre sırasıyla çökmede yayılma, T<sub>500</sub>, V hunisi, V<sub>T5</sub>, L kutusu, doldurma kutusu, hava içeriği, birim hacim ağırlık deneyleri yapılmıştır (Şekil 1).



Şekil. 1. KYB özelliklerinin belirlendiği taze beton deneyleri

Çökmede yayılma deneyinde, yayılma çapı karşılıklı iki taraftan ölçülerek aritmetik ortalaması alınmıştır.  $T_{500}$  deneyinde çökme sonrası 500 mm çapa yayılma süresi ölçümü yapılmıştır. Doldurma kutusu deneyinde doldurma kutusuna doldurulan betonun akışı durduktan sonra doldurma tarafının ( $h_1$ ) ve karşı tarafın ( $h_2$ ) beton yüksekliği ölçülmüştür ve aşağıda verilen formülle doldurma oranı belirlenmiştir.

$$G = \left[ \frac{(h_1 + h_2)}{2 * h_1} \right] * 100$$

V-hunisi deneyinde huni tamamen beton ile doldurulduktan sonra alt kısmında bulunan kapak açılır aynı anda süreölçer çalıştırılır ve huniye üstten bakıldığında ilk ışık görüldüğü ana kadar olan süre akış süresi olarak kaydedilmiştir.  $V_{T5}$  akış süresi deneyinde ise V-hunisi tamamen taze beton ile doldurulduktan sonra 5 dakika bekletmiş ve V-hunisi deneyi tekrarlanmıştır. Ele edilen süre  $V_{T5}$  süresi olarak kaydedilmiştir. L-kutusu deneyinde, L-kutusu deney aleti düşey kısım hareketli bir kapak yardımıyla kapalıyken taze beton ile dolduruldu. Kapak kaldırıldığında taze beton, donatılar arasından geçerek yatay kısımdaki dikdörtgenler prizması şeklindeki kısmı doldurmaya başladı. Akma durduğunda karşılıklı iki uç kısımdan beton yükseklikleri ölçülmüştür. Bu yükseklikler arası L-kutusu oranı ( $h_2/h_1$ ) hesaplanmıştır. Taze beton deneyleri tamamlanan KYB numuneleri 150 mm'lik küp numuneler olarak üretilmiştir. Bu numuneler 28. gün yaşına kadar (20 °C) su kürüne maruz bırakılmıştır. Kür işlemi sonunda her beton serisi için, 3'er adet 150 mm'lik küp numuneye basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı deneyleri yapılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Kalıba yerleştirilen KYB numuneleri ve sertleşmiş beton deneyleri

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Taze Beton Deney Sonuçları

KT ve Ç serilerine ait taze beton deney sonuçları Tablo 8 ve 9'da verilmiştir. s/b oranının artmasıyla; çökmede yayılma deneyinde yayılma çaplarında artış sergilemiş, çökmede yayılma  $T_{500}$  deneyi, V-hunisi ve  $V_{T5}$  deneylerinde deney süreleri kısalmış, L-kutusu değeri ve doldurma kutusu oranı artış göstermiştir. Birim hacim ağırlıklarda ise s/b oranının artmasıyla azalma görülmüştür.

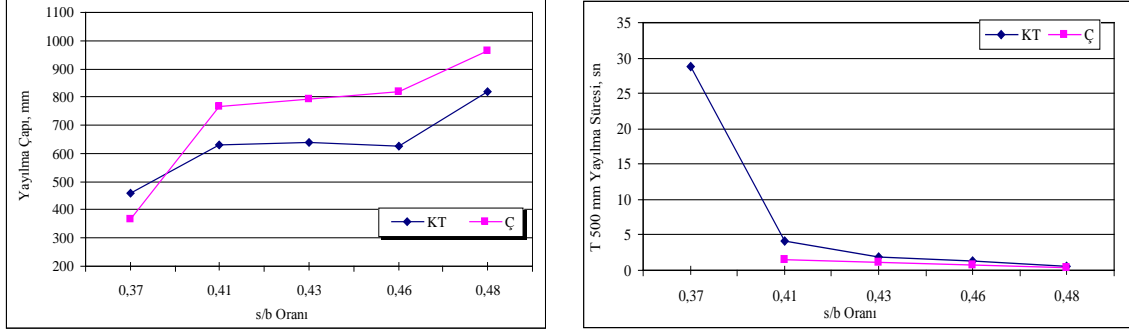
Tablo 8. Kırmataş serilerinin taze beton özellikleri

Ölçülen	Deney	Birim	KT-1	KT-2	KT-3	KT-4	KT-5
Doldurma Yeteneği	Çökmede Yayılma	mm	460.5	628.6	638.9	626.5	819.3
	Çökmede Yayılma $T_{500}$	sn	28.76	4.16	1.84	1.34	0.53
	V Hunisi	sn	176	17.23	11.2	9.86	3.2
Ayrışmaya Direnç	$V_{T5}$	sn	114	23	10.52	9.81	5.36
Geçebilme Yeteneği	L Kutusu $h_2/h_1$	-	-	0.56	0.64	0.73	0.93
	Doldurma Kutusu Oranı	%	50	66	79	82	100
Birim Hacim Ağırlık s/b oranları	Birim Hacim Ağırlık s/b oranları	$kg/m^3$	2342	2313	2296	2285	2271
			0.37	0.41	0.43	0.46	0.48

Tablo 9. Çakıl serileri taze beton özellikleri

Ölçülen	Deney	Birim	Ç-1	Ç-2	Ç-3	Ç-4	Ç-5
Doldurma Yeteneği	Çökmede Yayılma	mm	365.5	766.0	794.2	821.0	963.0
	Çökmede Yayılma $T_{500}$	sn	-	1.43	1.09	0.73	0.38
	V Hunisi	sn	-	9.14	4.04	2.85	2.29
Ayrışmaya Direnç	$V_{T5}$	sn	-	11.6	6.22	4.08	3.21
Geçebilme Yeteneği	L Kutusu $h_2/h_1$	-	-	0.96	1.0	0.96	1.0
	Doldurma Kutusu Oranı	%	50	60	59	72	60
Birim Hacim Ağırlık s/b oranları	Birim Hacim Ağırlık s/b oranları	$kg/m^3$	2320	2300	2280	2270	2190
			0.37	0.41	0.43	0.46	0.48

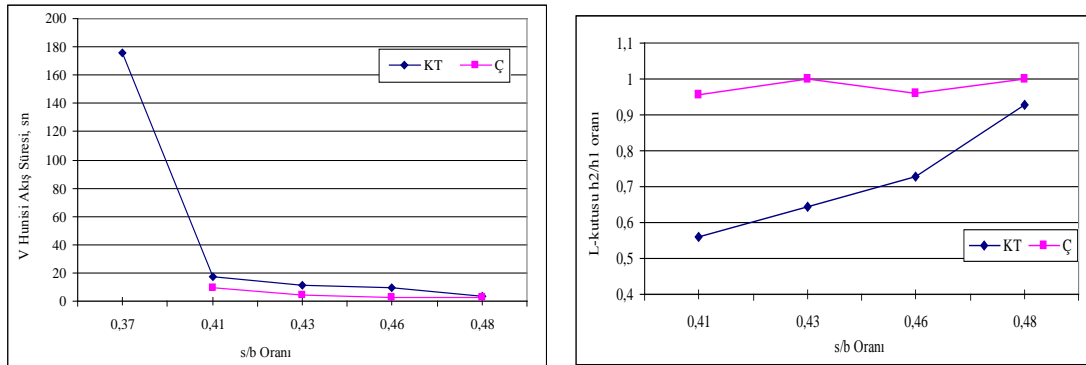
Çakıl serilerinde L-kutusu ve doldurma kutusu deneylerinde s/b oranının artmasıyla Ç-4 serisinde ayrışma ve bunun sonucunda bloklaşma görülmüştür. Artan s/b oranı sonucu yüksek akışkanlık oluşmuş ve çakıl agregasının bu akışkanlıkta kohezyonunu kaybederek buna sebep olduğu düşünülmektedir. Taze beton deneyleri karşılaştırıldığında Ç serilerinin, taze beton özelliklerinin daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 3. KT ve Ç serilerinin yayılma ve T<sub>500</sub> yayılma çapı ve değerleri

Çökmede yayılma deneyi ile T<sub>500</sub> yayılma süresi sonuçları Şekil 3’de verilmiştir. Buna göre Ç serilerinin genel olarak yayılma çaplarının KT serilerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu sonucun oluşmasında kırma taşın pürüzlü ve köşeli yüzey yapısı yayılmaya engel teşkil ederken, çakılın yüzey pürüzsüzlüğünün çok daha iyi olmasına ve köşesiz oval bir yapıya sahip olmasının etken olduğu sonucuna bağlanabilir. Bir betonun KYB olarak kabul edilebilmesi için Abrams Konisinde deney yapılarak elde edilen yayılmasının 550 ile 850 mm arasında olması gerekmektedir. EFNARC’a göre bu yayılma değeri 650 ile 800 mm arasında olmalıdır[8]. Ancak, KYB’nin kullanım alanının genişletilebilmesi için, Avrupa KYB şartnamesinde bu değer artırılmıştır [3,13].

T<sub>500</sub> yayılma süresi sonuçlarına göre de Ç serisi 0,37 s/b oranında bu deneyi tamamlayamamış ve 500 mm çapa ulaşamamıştır. Diğer serilerde ise Ç serisi daha kısa zamanda deneyi tamamlamıştır. Bu yayılma deneyinde Ç serilerinin daha yüksek çaplara ulaşması sonucunu da desteklemektedir. Bu sonucun çakıl agregasının daha pürüzsüz ve oval yapıya sahip olmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

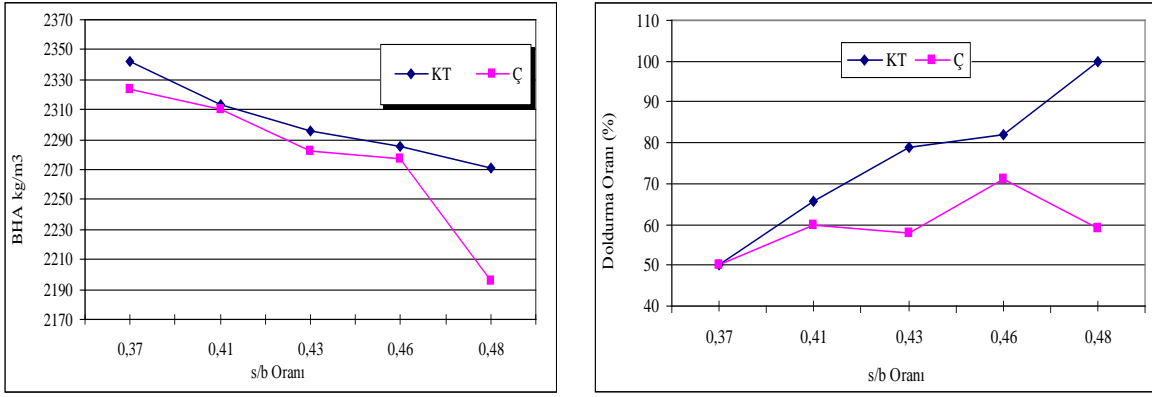


Şekil 4. KT ve Ç serilerinin V Hunisi akma süresi ve L-kutusu değerleri

Ç-1 serisi V hunisi deneyinde akma yeteneği gösterememiş ve deney sonucu elde edilememiştir. Bu sonuca göre 0,37 s/b oranı doldurma yeteneği açısından, akışkanlığı sağlamaya yeterli değildir. V-hunisi ve V<sub>T5</sub> deneyinde Ç serilerinin KT serilerine paralellik gösterdiği ancak daha kısa akma süresi sonucu verdiği görülmüştür (Şekil 4).

L-kutusu deneyinde 0,37 s/b oranına sahip Ç ve KT serilerinde taze beton L-kutusu akma mesafesine akamadığından L-kutusu deneyi tamamlanamamış ve sonuç elde edilememiştir. Diğer serilerde elde edilen sonuçlar Şekil 4’de görülmektedir. Ç serilerinin L-kutusu değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. L-kutusu geçiş yeteneği ölçen bir deneydir. Buna göre çakıl agregasının kırmataş agregasına göre geçebilme yeteneği daha fazla olduğu görülmüştür.



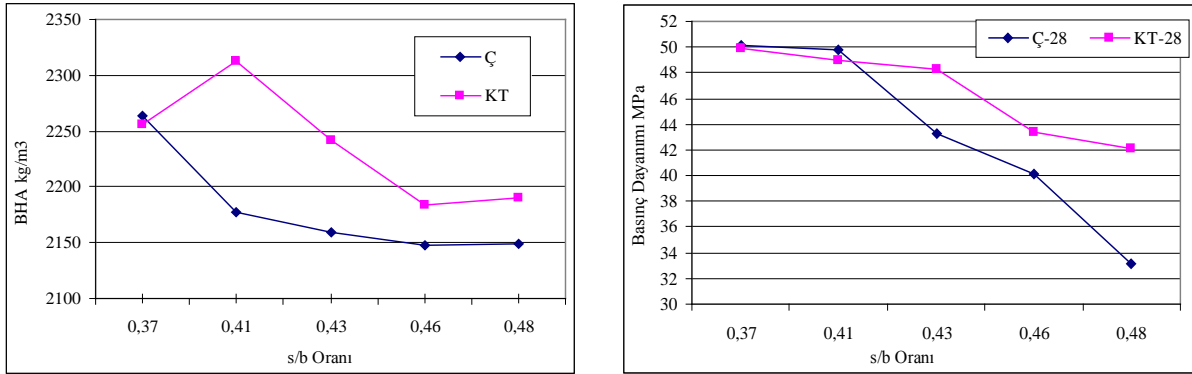


Şekil 5. KT ve Ç serileri birim ağırlık ve Doldurma Kutusu değerleri

KT ve Ç serilerinin su/bağlayıcı oranlarına göre birim ağırlık ve doldurma kutusu değerlerinin değişimleri Şekil 5’de verilmiştir. Buna göre KT serileri Ç serilerine göre birim ağırlıklar s/b oranı artarken azalma eğilimi gösterirken doldurma kutusu değerlerinde ise artma eğilimi şeklinde görülmektedir. Bunda kırmataş agregası birim hacim ağırlığının daha yüksek olması sebebiyle akış hızını artırması ve hız ile doldurma kabiliyetinin artması sonucu olduğu düşünülmektedir.

### 3.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

Agrega türünün KYB özelliklerine etkisinin araştırıldığı bu çalışmada, Kırmataş(KT) ve çakıl (Ç) serileri üzerinde yapılan deneylerden elde edilen sonuçların s/b oranlarına göre değişimleri Şekil 6 ve 7’de verilmiştir. Birim hacim ağırlık (BHA) sonuçlarına göre kırmataş serilerinin daha yüksek sonuçlar verdiği görülmektedir (Şekil 6). Buna kırmataş birim hacim ağırlığının yüksek olmasının sebep olduğu düşünülmektedir. Sadece Ç-1 serisi, KT-1 serisinden yüksek sonuç vermiştir.

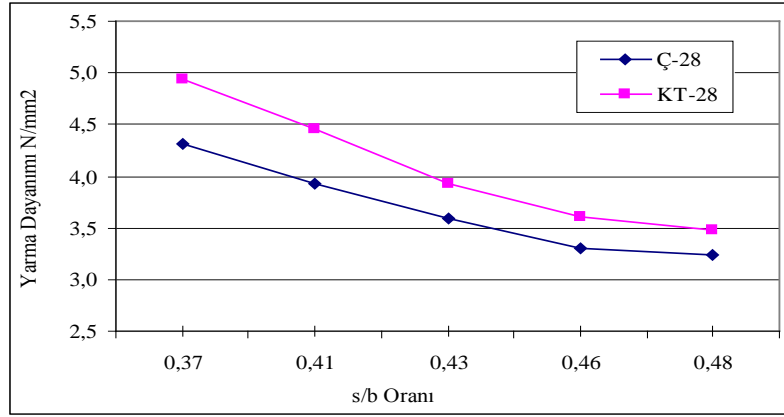


Şekil 6. KT ve Ç serileri BHA ve basınç dayanımı sonuçları

KT-1 serisinin kırmataş agregasının köşeli yapısından dolayı s/b oranının düşük olduğu seride yerleşme yeteneğinin düşük olmasından dolayı daha düşük sonuç verdiği düşünülmektedir. KT-2 serisinde ise s/b oranının artmasıyla daha akışkan hale gelen KYB’nin daha iyi bir sıkışma yeteneği sergilemesi sonucu artış görülmüştür. S/b oranının daha da artmasıyla beton içerisinde su miktarının artmasıyla birim hacim ağırlıklarda düşüşler görülmüştür.

Basınç dayanımları sonuçları göre de; s/b oranının artmasıyla basınç dayanımlarında düşüşler görülmüştür (Şekil 6). 0.37 ve 0.41 s/b oranlarında KT ve Ç serileri yaklaşık aynı değerleri vermiştir. Diğer serilerde ise KT agregalı KYB’nin daha yüksek dayanıma ulaştığı görülmüştür. Sonuç olarak, KT agregalarının daha yüksek dayanıma sahip olmasının etkisi kadar BHA’nın yüksek olmasının da etkisinin olduğu söylenebilir. Literatürden de bilindiği üzere BHA yükselmesiyle dayanım sonuçları da paralel olarak yükselmektedir. Yapılan BHA deneyleri de basınç dayanımı sonuçlarını desteklemektedir.





Şekil 7. Ç ve KT serisi 28. gün yarmada çekme dayanımı sonuçları

Şekil 7’de verilen yarmada çekme dayanımının s/b oranlarına göre değişiminde, KT ve Ç serilerinde s/b oranının artmasıyla dayanımlarda azalma eğiliminde paralellik görülmektedir. En yüksek dayanım sonuçları 0.37 s/b oranında elde edilmiş ve s/b oranının artmasıyla azalan dayanım değerlerinde farkın azaldığı görülmektedir. Her iki malzeme için s/b oranının artması neticesinde dayanımların düşmesi karışıma giren su miktarının artması ve hidrotasyon sonucu buharlaşan suyun yerini bıraktığı hava boşlukları neticesinde olduğu düşünülmektedir. Literatürden bilindiği gibi pürüzlü ve köşegenli olan kırmataş agregaların yapışma kabiliyeti yüksek olduğu için yarmada çekme dayanımında mukavemete etkisi daha fazla olduğu görülmektedir.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada iki farklı agrega türünün KYB’nin taze beton özellikleri ve 28 günlük dayanım özellikleri üzerine etkilerinin araştırılmasından aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Taze betonda 0.37 s/b oranının her iki agrega türü içinde KYB’de aranan özellikleri sağlamaya yeterli olmadığı görülmüştür.
- Taze beton deneylerinde çakıl agregasının genel olarak KYB’nin özelliklerine daha uygun sonuçlar vermiştir.
- KT agregası Ç agregasının taze beton özelliklerini göstermek için daha yüksek akışkanlığa ihtiyaç duymaktadır.
- S/b oranının 0.48 olduğu serilerde segregasyon ve bloklaşma görülmüştür. Bu s/b oranının kullanımının sorunlara yol açabileceği düşünülmektedir.
- Aynı karışım oranlarındaki agregalardan kırma taş ile yapılan seriler, genel olarak çakıl ile yapılan serilere göre daha yüksek basınç ve yarmada çekme dayanımı göstermiştir.
- S/b oranının artması, BHA’larda düşüşe sebep olmuştur.
- S/b oranının artması yarmada çekme ve basınç dayanımı sonuçlarının düşüşüne yol açmıştır.

Sonuç olarak taze beton deneylerinde çakıl agregası serileri, sertleşmiş beton deneylerinde ise kırmataş serilerinin beton özellikleri daha iyi çıkmıştır. Bu sebepten KYB için, iki agrega türünün uygun oranlarda karıştırılarak kullanılması önerilebilir. S/b oranı olarak 0.37 oranının yeterli olmadığı, 0.46 ve 0.48 s/b oranının ise segregasyon sorununa sebep olabileceğinden s/b aralığı 0.41–0.45 aralığında olmasının daha sağlıklı sonuçlar verebileceği söylenebilir.

## Kaynaklar

1. Okamura H.1997, Self-Compacting Highperformance Concrete, Concrete International, 19(7): 50-54.
2. Bürge T. 1999. Viscocrete, Latest Development, Madrid, Spain.
3. Skarendahl, A.& Peterson, O. 2000. Self-Compacting Concrete, State-of-the Art Report of RILEM Technical Committee, 174 – SCC, s. 257. France.
4. Okamura H.& Ouchi, M.2003. Self-Compacting Concrete, Journal of Advanced Concrete Technoloji Vol:1,no:5.Japan.
5. Ozkul M. H. 2002. Beton Teknolojisinde Bir Devrim: Kendiliğinden Yerleşen-Sıkışan Beton, THBB Hazır Beton Dergisi, 52: 64-71.
6. Felekoğlu B. 2003. Kendiliğinden Yerleşen Betonların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği A.B.D.,Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
7. Türkel Ş., Felekoğlu B. 2012. İri Agrega Türü ve Akışkanlaştırıcı Katkı Dozajının KYB'nin Mekanik Performansına Etkileri, Hazır Beton Dergisi, Kasım– Aralık.
8. EFNARC. 2005. The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification, Production and Use. The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems.
9. Artık K. 2009. Kendiliğinden Yerleşen Betonda Farklı Agregaların Beton Özelliklerine Etkisi Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyon.
10. Ünal O., Uygunoğlu T. 2004. Uçucu Küllü Betonların Donma-Çözülmeye Karşı Dayanıklılığının Araştırılması, Beton 2004 Hazır Beton Kongresi, Türkiye Hazır Beton Birliği, 376-386, 10-12 Haziran.
11. TS EN 197–1. 2002. Çimento - Bölüm 1: Genel Çimentolar – Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, TSE, Ankara.
12. TS EN 450–1+A1. 2008. Uçucu kül - Betonda kullanılan - Bölüm 1: Tarif, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, TSE, Ankara.
13. Duyar O. 2006. Avrupa Kendiliğinden Yerleşen Beton Şartnamesi Işığında Tanımlar, Dizayn Yöntemi, Deney Metotları ve Mühendislik Özellikleri, THBB Hazır Beton Dergisi, 75: 46-52.