



Investigation of the Effect of Waste Concrete Powder in Self-Compacting Concrete

Rukiye KOÇKAR TUĞLA*¹

¹Kastamonu Üniversitesi, İnşaat Bölümü, Kastamonu, Türkiye

Keywords:

*Self compacting concrete,
Waste concrete powder
Fresh concrete test,
Compressive strength*

Abstract

The concrete is one of the most used construction materials in construction sector. A number of problems have arisen due to the widespread use of concrete. The throwing concrete structures, which have completed their service life, on the environment as a waste is the most important of these problems. Especially in recent years, many buildings have been destroyed for urban renewal, so a lot of concrete waste has been uncovered. It is necessary and important to re-evaluate these waste concretes which cause environmental pollution and turn them into a recyclable building material. In this study was to examine the effect of waste concrete powder on self-compacting concrete (SCC) properties. For this purpose, PÇ 42,5 (CEM I) cement, crushed aggregate, waste concrete powder three different ratio (%9, %14 and %18), hyper plasticizer admixture two different ratio (%1,5 and %1,7) have used in SCC. Concrete specimens were procuded with 100x100x100 mm sizes cubes. SCC specimens have been done fresh concrete tests which slump flow test, T500, V-funnel and L-box test and compressive strength test for 7 and 28 daily. Produced SCC mixture have been compared with each other and literature in terms of fresh concrete and hardened concrete. As a result, waste concrete powder can be used as fine material in SCC mixture.

Kendiliğinden Yerleşen Betonda Atık Beton Tozu Etkisinin İncelenmesi

Anahtar Kelimeler:

*Kendiliğinden yerleşen beton,
Atık beton tozu,
Taze beton deneyleri,
Basınç dayanımı*

Özet

Beton, inşaat sektöründe en çok tercih edilen yapı malzemelerinden birisidir. Betonun yaygın kullanılması beraberinde birtakım sorunları da doğurmuştur. Bu sorunlardan en önemlisi kullanım ömrünü tamamlayan betonların çevreye atık olarak bırakılmasıdır. Özellikle son yıllarda kentsel dönüşüm adı altında birçok yapı yıkılmış ve binlerce ton beton atığı ortaya çıkmıştır. Çevre kirliliğine neden olan bu atık betonların tekrar değerlendirilmesi ve geri dönüştürülebilir bir yapı malzemesi haline getirilmesi gerekli ve önemlidir. Bu çalışmada kendiliğinden yerleşen beton (KYB) özellikleri üzerine atık beton tozu etkisi incelenmiştir. Bu amaçla üretilen KYB karışımlarında bağlayıcı malzeme olarak CEM I PÇ 42,5 (R) tipi çimento, üç farklı oranda (%9, %14 ve %18) atık beton tozu ve iki farklı oranda (%1,5 ve %1,7) hiper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Kullanılan malzemeler ile 100x100x100 mm boyutunda küp numuneler üretilmiştir. Üretilen numunelere yayılma, T₅₀₀, V hunisi ve L kutusu gibi taze beton deneyleri ile 7 ve 28 günlük basınç dayanımı gibi sertleşmiş beton deneyleri yapılmıştır. KYB'ler taze ve sertleşmiş beton özellikleri bakımından hem birbirleriyle hem de literatür verileriyle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, kendiliğinden yerleşen beton karışımlarında atık beton tozunun ince malzeme olarak kullanılabilceği anlaşılmıştır.

1 GİRİŞ

Beton; bağlayıcı malzeme (çimento), agrega, su ve gerektiğinde mineral ve kimyasal katkı maddelerinin hesaplar neticesinde belirlenen oranlarda homojen bir şekilde karıştırılması ile elde edilen, başlangıçta plastik kıvamda olup zamanla katılaşıp istenilen şekli alan kompozit bir yapı malzemesidir [1].

Gelişen teknoloji ve kullanım alanındaki değişiklikler yeni beton türlerini meydana getirmiştir. Bu beton türlerinden bir tanesi de “Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB)”dur. KYB ilgili literatürde değişik isimlerle anılmaktadır: kendiliğinden sıkışan beton (self-compacting concrete-SCC), kendiliğinden düzleşebilen beton (self-levelling concrete-SCC) ve kendiliğinden çöken beton (self-consolidating concrete-SCC). Türkiye’de genellikle kendiliğinden yerleşen beton (KYB) terimi yaygın olarak kullanılmaktadır [2, 3].

KYB sıkıştırma ve yerleştirme için vibrasyon gerektirmeyen yenilikçi bir betondur [4]. Kendi ağırlığıyla akabilen, kalıbı tamamen doldurabilen ve yoğun bir donatı olması durumunda bile tam bir sıkışma sağlayan beton türüdür. Sertleşmiş KYB yoğun ve homojen bir yapıya ve geleneksel vibrasyonlu betonla aynı mühendislik özelliklerine ve dayanıklılığına sahiptir [5]. Hiper akışkanlaştırıcı kullanmak ve ince malzeme miktarını en iyi oranda ayarlamak kendiliğinden yerleşen beton karışımlarında en önemli iki ana özelliktir. Yüksek akışkanlığı ve ince malzemenin segregasyona karşı sınırlandırılması betonun uzun mesafelere pompalanabilirliğini belirler. KYB kullanmak betonda sadece taze halde üstünlük sağlamaz, aynı zamanda betonun dayanım ve dayanıklılığını artırır [6].

KYB 1970’lerin başında Avrupa da kullanılmasına rağmen 1980’lerin sonlarında Japonya’da geliştirilmiştir [5]. Japonyada sık donatılı betonarme elemanlarda sıkıştırma işlemine gerek kalmadan yerleşebilen beton ihtiyacından dolayı üretilmiştir [7]. KYB alanında Türkiye’de de birçok çalışma yapılmıştır. Türkiye de KYB üzerine yapılan çalışmalardan bazılarını kısaca şöyle özetleyebiliriz;

- 2004 yılında Şahmaran ve arkadaşları tarafından KYB içerisinde ince malzeme olarak yüksek hacimde uçucu kül kullanılmıştır. Çalışma sonucuna göre KYB’nin dayanım değerinde ilk günlerde kontrol betonuna göre azalma olmuş ancak ileriki yaşlarda bu durum düzelmiştir [8].
- KYB içerisinde kullanılan diğer bir ince malzeme de kireç taşı tozudur. Sonucunda ise betona olumlu katkı sağlamıştır [9,10,11].
- 2010 yılında Ucuzcu tarafından yapılan yüksek lisans tezinde de mineral katkı olarak ince malzeme özelliği taşıyan uçucu kül ve atık beton tozu kullanılmıştır. Kalıplara gecikmeli yerleşimlerini taze ve sertleşmiş beton özellikleri bakımından incelemiştir. Çalışma sonucunda uçucu kül ve atık beton tozunun KYB üretiminde kullanılacağı ve ayrıca kalıplara dökümün gecikeceği durumlarda da basınç dayanımı kaybına yol açmadığı belirtilmiştir [12].
- Mineral katkı malzemesi olarak yüksek fırın cürüfu, uçucu kül, doğal zeolit, kalker tozu, mermer tozu, bazalt tozu içeren 17 farklı beton türü hazırlanarak KYB üretilmiştir. Ayrıca üretilen bu KYB’ler üzerinde statik ve dinamik elatisite modülleri belirlenmiştir [13].
- Köken vd. yapmış oldukları bir çalışmada atık beton kullanmışlardır. Üretilen üç farklı beton karışımı içerisinde kullanılan atık beton ilk karışımda tamamen yalnız kullanılmıştır. İkinci karışımda ise iri agrega olarak atık beton agregası kullanılmıştır. Üçüncü karışımda ise atık beton agregası kullanılmamıştır. Üretilen betonlar değerlendirildiğinde betonlarda geri dönüşüm agregası oranı arttıkça beton basınç mukavemetinde azalma olduğu sonucuna ulaşılmıştır [14].
- Atık beton agregasının uygun granülometri değerlerinde olabilmesi açısından farklı agregalarla karıştırılarak ve ikame yöntemiyle uçucu kül eklenerek bir çalışma yapılmıştır. Çalışma sonucu uçucu külün bazı mekanik özellikleri etkilediği bilgisine ulaşılmıştır [6].

Bu çalışmada da KYB özellikleri üzerine ince malzeme olarak atık beton tozu etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla çimento yerine üç farklı oranda atık beton tozu kullanılarak hazırlanan KYB’lere taze ve sertleşmiş beton deneyleri yapılmış ve deney sonucu elde edilen bulgular tartışılmıştır.

2 MATERYAL VE METOT

Kendiliğinden yerleşen beton üretimi için çimento, agrega, kimyasal katkı (hiper akışkanlaştırıcı, HA), atık beton (AB) ve karşım suyu kullanılmıştır. Kullanılan malzemelere ait detaylı bilgi ve KYB numuneleri üzerine yapılan deneyler alt başlıklarda anlatılmıştır.

2.1 Çimento

Bu deneysel çalışmada çimento olarak Limak Ankara Çimento Fabrikası’ndan temin edilen TS EN 197-1’e uygun CEM I PÇ 42.5 R çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun kimyasal analizi üretici firmaya yaptırılmış, fiziksel

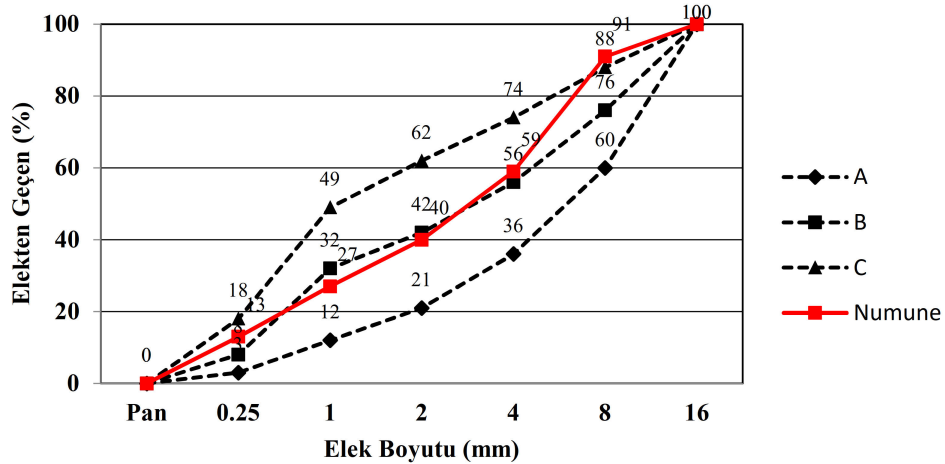
özellikleri ise laboratuvarında yapılan deneylerle belirlenmiştir. Çimentonun kimyasal kompozisyonu, fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir [15].

Tablo 1. Çalışmada kullanılan çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri

Kimyasal kompozisyon (%)			
CaO	63,35	Na ₂ O	0,58
SiO ₂	2,035	K ₂ O	0,88
Al ₂ O ₃	5,98	Cr ₂ O ₃	-
Fe ₂ O ₃	3,06	Kızdırma kaybı	2,83
MgO	1,89	Çözünmeyen kalıntı	0,27
SO ₃	2,83		
Fiziksel özellikler			
Priz başı (dk)	180	Yoğunluk (g/cm ³)	3,1
Priz sonu (dk)	260	Özgül yüzey (cm ² /gr)	3229
Hacim genleşmesi (mm)	1		
Mekanik Özellikler			
Basınç dayanımı (MPa)	2 gün	27,1	
	7 gün	39,8	
	28 gün	51,7	

2.2 Agrega

KYB üretiminde Limak hazır beton üretim tesisinden elde edilen 0-4 mm ve 4-12 mm iki farklı tür kırma agrega kullanılmıştır. Kendiliğinden yerleşen beton (KYB) için kullanılan agrega TS 706 EN 12620 (2003)’ye uygun dayanıklılık şartlarını sağlamaktadır. Kırma agregada maksimum tane büyüklüğü (Dmaks) 12 mm olarak belirlenmiştir. KYB karışımına giren agrega %60 ince ve %40 iri agrega kullanılarak elde edilmiştir. KYB karışımında kullanılan agrega tane dağılımı, ilgili standartlarda önerilen ideal tane dağılımı (B), incelik sınırı (A) ve irilik sınırı (C) ile birlikte Şekil 1’de verilmektedir [16,17].



Şekil 1. KYB karışımlarında kullanılan agreganın granülometri eğrisi

2.3 Kimyasal katkı

Deneyel çalışmada Basf firmasına ait Glenium51 marka polikarboksilik eter esaslı, yüksek oranda su azaltıcı, erken ve nihai yüksek dayanım ve dayanıklılığa gereksinim duyulan hazır beton ve prekast endüstrisi için geliştirilmiş yeni nesil süper akışkanlaştırıcı (hiper akışkanlaştırıcı, HA) beton katkısı kullanılmıştır. Kimyasal katkıya ait teknik özellikler Tablo 2’de verilmiştir [25].

Tablo 2. Kullanılan kimyasal katkıya ait teknik özellikler [25]

Malzemenin yapısı	Polikarboksilik eter esaslı
Renk	Kahverengi
Yoğunluk	1,082-1,142 (kg/litre)
Klor içeriği % (EN 480-10)	<0,1
Alkali içeriği % (EN 480-12)	<3

2.4 Atık beton tozu

KYB karışımlarında dolgu malzemesi olarak atık beton tozu (ABT) kullanılmıştır. KYB karışımında kullanılan ABT şu şekilde elde edilmiştir: Laboratuvarında daha önceden yapılmış olan C35 sınıfı 15x15 cm küp şeklindeki beton numuneleri önce çekiçle kabaca kırılmış ve ardından konkasörden geçirilmiştir. Elde edilen irili ufaklı beton kırıkları bilyeli değirmende öğütülmüş ve daha sonra öğütülen malzeme 500 µm'lik elekten elenmiştir. KYB karışımlarında dolgu malzemesi olarak 500 µm'lik elek altı ABT kullanılmıştır. Atık betonun kimyasal kompozisyonu ve fiziksel özellikleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Deneyleerde kullanılan atık beton tozunun kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kimyasal kompozisyon (%)	ABT
CaO	26,49
SiO ₂	37,78
Al ₂ O ₃	8,79
Fe ₂ O ₃	4,00
MgO	1,75
SO ₃	0,53
Na ₂ O	1,48
K ₂ O	1,08
Cr ₂ O ₃	0,03
Kızdırma kaybı	17,44
Fiziksel ve mekanik özellikler	
Yoğunluk (g/cm ³)	2,49
Özgül yüzey	Belirlenemedi

2.5 Karışım suyu

Laboratuvarında üretilen KYB karışımlarında karışım suyu olarak TS EN 1008'e uygun Ankara şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Kullanılan suyun kimyasal analizi Tablo 4'te verilmiştir [18].

Tablo 4. Kullanılan karışım suyunun analiz sonuçları [19]

Parametre	Analiz Sonucu	EPA'ca izin verilebilir değer	TS 266'ca izin verilebilir değer	Sağlık Bakanlığı İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmelik Değerleri
Bulanıklık (NTU Birimi)	0,64	5	5	1,0
Koku	Yok	Yok	Yok	Yok
Bakiye Klor (mg/l)	0,5	0,8-1	-	Uç nokta da 0,5
İletkenlik γ =(25oC,mS/m)	90,6	-	250	250
Amonyum (mg/l)	<0,06	<1	0,5	0,5
Nitrit (mg/l)	<0,006	1	0,5	0,1
Sülfat (mg/l)	154	250	250	250
Demir (µg/l)	75	200	200	200
Alüminyum (µg/l)		200	200	200
Bakteri Sayısı	100 cc deki toplam koliform bakteri sayısı		100 cc deki toplam E-coli bakteri sayısı	
	0,0		0,0	

2.6 Metot

Üretilen betonların karışım hesabı TS 802 (2009)'ye uygun olarak yapılmıştır. Beton sınıfı C 35 olarak alınmış ve beton karışımlarında en büyük tane çapı 12 mm olan agregalar kullanılmıştır. Kaba (4-12) ve ince (0-4) olmak üzere iki farklı agrega kullanılmıştır. Beton karışımlarında %60 oranında ince agrega ve %40 oranında kaba agrega kullanılmıştır. KYB karışımlarında S/Ç oranı 0,35 ve bağlayıcı miktarı 550 kg sabit tutulmuşken; kimyasal katkı %1,5 ve %1,7 iki farklı oran olarak kullanılmıştır. Firmanın önerisi de dikkate alınarak kimyasal katkı su ile karıştırılarak beton karışımına ilave edilmiştir. KYB üretiminde ikame metodu ile çimento yerine atık beton kullanılmıştır. Tablo 5 ve Tablo 6'da görüldüğü gibi çimentodan belirli oranlarda (%9, %14 ve %18) azaltma

yapılmış ve yerine aynı miktarda atık beton kullanılarak KYB içindeki bağlayıcı madde miktarı sabit tutulmuştur. Referans betonuyla beraber her bir kimyasal katkı oranı için ayrı ayrı dört grup beton üretilmiştir. Her bir grup için üç adet beton üretilmiş ve bu çalışmada toplam 24 adet küp beton üretilmiştir. Karışımda kullanılan malzeme miktarları Tablo 5 ve Tablo 6'da verilmiştir. Üretilen KYB'ler; K0, K50, K75, K100 olarak kodlanmıştır. Burada K0 olarak kodlanan betonda atık beton kullanılmadığı bağlayıcı malzeme olarak sadece çimento kullanıldığı; K50, K75 ve K100 kodlu betonlarda ise çimento miktarında sırasıyla %9, %14 ve %18 oranında azaltma yapıldığı ve yerine aynı miktarda atık beton kullanıldığı anlaşılmalıdır. Kimyasal katkı oranı %1,5 olan KYB üretiminde kullanılan malzeme miktarları Tablo 5'de verilmiştir

Tablo 5. Kimyasal katkı (K.K) oranı %1,5 olan, 1 m³ KYB için kullanılan malzeme miktarı

Beton kodu	Çimento (kg)	Kimyasal katkı (%)	ABT (%)	S/Ç oranı	Karışım suyu (lt)	Agrega (kg)	
						0-4	4-12
K0	550	1,5	0	0,35	192,5	977,12	653,83
K50	500	1,5	9	0,35	192,5	977,12	653,83
K75	475	1,5	14	0,35	192,5	977,12	653,83
K100	450	1,5	18	0,35	192,5	977,12	653,83

Kimyasal katkı oranı %1,7 olan KYB üretiminde kullanılan malzeme miktarları Tablo 6'de verilmiştir. Tablo 5'de gösterilen KYB'lerden farkı sadece kimyasal katkı oranıdır, diğer malzeme miktarları benzerdir.

Tablo 6. Kimyasal katkı oranı %1,7 olan, 1 m³ KYB için kullanılan malzeme miktarı

Beton kodu	Çimento (kg)	Kimyasal katkı (%)	ABT (%)	S/Ç oranı	Karışım suyu (lt)	Agrega (kg)	
						0-4	4-12
K0	550	1,7	0	0,35	192,5	975,50	652,75
K50	500	1,7	9	0,35	192,5	975,50	652,75
K75	475	1,7	14	0,35	192,5	975,50	652,75
K100	450	1,7	18	0,35	192,5	975,50	652,75

KYB karışımları 50 dm³ kapasiteli düşey eksenli mikser kullanılarak 3 dakika süre ile karıştırılmıştır. Daha sonra üretilen betonlar üzerinde taze beton deneyleri yapılmıştır. Tablo 7'de verilen bu deneyler;

1. Düz bir zemin üzerine normal betonların aksine ters duran slump aleti içine KYB doldurularak çökme - yayılma deneyi [20],
2. KYB ile içi dolu olan slump aletinin sabit hızla ve sarsmadan kaldırılarak kronometre yardımıyla KYB'nin kendi ağırlığı altındaki akış süresinin ölçülmesi ile T₅₀₀ deneyi,
3. V hunisi içerisine KYB doldurularak alt kapağın açıldığı ve KYB akış hızının kronometre yardımıyla takip edildiği ve yukarıdan görünen ilk ışık süresinin kayıt edildiği V hunisi deneyi [21],
4. L kutusuna doldurulan KYB'lerin 200 mm ve 400 mm'ye ulaştığındaki akış sürelerinin kaydedildiği L kutusu deneyi yapılmıştır [22],
5. Ayrıca betonun akma yönünde bulunan yatay kısmının sonundaki ortalama yükseklik (H₂, mm) ve kapağın hemen arkasındaki betonun ortalama yüksekliği (H₁, mm) ölçülerek kaydedilip ve betonun geçme oranı (GO) da Eşitlik 1 ile hesaplanmıştır.

$$GO = H_2 / H_1$$

(1)

Tablo 7. KYB üretiminde kullanılan deney yöntemleri, tanımları ve sınır aralıkları [23]

Deney Yöntemi	Deney Tanımı	Birimi	Sınır Aralıkları	
			Minimum	Maksimum
Çökme - yayılma deneyleri	SF1	Mm	550	650
	SF2		660	750
	SF3		760	850
T500 deneyi	VS1/ VF1	Sn	≤2	
	VS2/ VF2		>2	
V- hunisi	VS1/ VF1	Sn	≤8	
	VS1/ VF1		9	25
L - kutusu	Geçme yeteneği: geçiş oranının (GO) belirlenmesi	-	≥0,8	

Taze beton deneyleri tamamlanan KYB'ler 100x100x100 mm boyutlu küp numunelere doldurularak kalıplanmıştır. Kalıplanan numuneler sıcaklığı 20°C±1°C ve bağıl nemi %60 olan laboratuvar ortamında 24 saat bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda numuneler kalıplardan çıkarılarak, içilebilir kıvamda ve sıcaklığı 20°C ± 1°C olan su içinde kür edilmiştir. Kür edilen küp numuneler için 7 ve 28 günlük basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Basınç dayanımları TS EN 12390-3 standartına uygun olarak 3000 kN kapasiteli yükleme hızı 2,4 kN/s olan deney cihazı kullanılarak belirlenmiştir [24].

3 BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Taze Beton Özellikleri

Üretilen betonların kendiliğinden yayılma özelliğini tespit etmek için kullanılan çökme-yayılma deneyleri, T₅₀₀ deneyleri, viskozite ve geçiş yeteneğini ölçen V-hunisi deneyleri, L-kutusu deneyleri yapılmıştır. Taze beton deney sonuçları European Federation of National Trade Associations [23] tarafından hazırlanan kriterlere göre irdelenmiştir. Deney sonuçları her bir beton türü için aşağıda verilmiştir.

Üretilen KYB'ler için yapılan çökme-yayılma deney sonuçları Tablo 8'de verilmiştir. Atık beton kullanılmadan üretilen K0 betonu için kullanılan kimyasal katkı oranı %1,5 olduğu takdirde toplam yayılmanın 620 mm olduğu ve kimyasal katkı oranı %1,7 olduğu takdirde toplam yayılmanın 650 mm olduğu görülmektedir. Kimyasal katkı oranının artması KYB'lerde toplam yayılmanın artmasına neden olmuştur. Elde edilen sonuçlara göre K0 betonunun çökme yayılma sınıflarından SF1 olarak adlandırılan grupta yer aldığı görülmektedir [23]. Atık beton tozunun eklenmesi ile üretilen K50, K75 ve K100 kodlu betonlarda kimyasal katkı oranındaki artış toplam yayılmada artmaya neden olmuştur. Ayrıca çimento yerine atık beton ikame edilerek üretilen betonlarda atık beton miktarındaki artış da toplam yayılmayı etkilemiştir. İnce malzeme oranındaki artış üretilen KYB'lerde toplam yayılmanın artmasını sağlamıştır. %1,5 ve %1,7 oranında kimyasal katkı ile üretilen K50, K75 ve K100 betonlarının çökme yayılma sınıfı SF2 olarak belirlenmiştir [23] (Tablo 8).

Tablo 8. Kimyasal katkı oranlarına göre elde edilen KYB'lerin toplam yayılma sonuçları

Toplam Yayılma		
Beton Türü	Kimyasal Katkı %1,5	Kimyasal Katkı %1,7
	(mm)	(mm)
K0	620	650
K50	670	670
K75	700	740
K100	730	750

Farklı kimyasal katkı oranları ile üretilen KYB'lerin kendi ağırlıkları altındaki yayılma çaplarının 50 cm'ye gelinceye kadar geçen akış sürelerinin ölçülmesi ile elde edilen T₅₀₀ deneyine ait sonuçlar Tablo 9'da verilmiştir. Elde edilen deney sonuçlarına göre T₅₀₀ deney verileri de Tablo 8'de gösterilen toplam yayılma deney sonuçlarında olduğu gibi kimyasal katkı oranı artışından etkilendiği görülmüştür. T₅₀₀ deney süreleri kimyasal katkı oranı arttıkça azalmıştır. Aynı zamanda KYB'ler içindeki atık beton tozu miktarındaki artış da T₅₀₀ deney sürelerini azaltmıştır (Tablo 9).

Tablo 9. Kimyasal katkı oranlarına göre elde edilen KYB'lerin T₅₀₀ deney sonuçları

T ₅₀₀ deney süreleri		
Beton Türü	Kimyasal Katkı %1,5	Kimyasal Katkı %1,7
	(sn)	(sn)
K0	7,00	6,41
K50	6,30	4,90
K75	6,00	4,55
K100	5,50	3,44

KYB'ler üzerinde yapılan V-hunisi deneyinden elde edilen sonuçlar Tablo 10'da verilmiştir. Bu deney sonuçlarına göre KYB'ler içindeki atık beton tozu miktarındaki artış V hunisinden beton akış hızını azalttığı anlaşılmıştır. Aynı miktarda atık beton içeren betonların kimyasal katkı oranı arttıkça da V hunisi beton akış hızının azaldığı görülmüştür (Tablo 10).

Tablo 10. Kimyasal katkı oranlarına göre elde edilen KYB'lerin V-Hunisi deney sonuçları

V-Hunisi		
Beton Türü	Kimyasal Katkı %1,5	Kimyasal Katkı %1,7
	(sn)	(sn)
K0	19.67	14.00
K50	13.25	8.50
K75	12.41	7.00
K100	10.07	6.93

KYB'ler için yapılan L-kutusu deney sonuçları Tablo 11'de gösterilmiştir. L kutusu deney sonuçlarına göre T_{200} ve T_{400} deney süreleri her iki farklı oranda kimyasal katkı kullanıldığı durumda da atık beton miktarının artması ile ilişkili olarak artış göstermiştir (Tablo 11). Bu sonuçlara göre KYB'lerin geçme oranları (GO) sınır şartlarına ($\geq 0,8$ bkz. Tablo 7) uygundur.

Tablo 11. Kimyasal katkı oranlarına göre elde edilen KYB'lerin L-Kutusu deney sonuçları

L-Kutusu										
Beton Türü	Kimyasal Katkı %1,5					Kimyasal Katkı %1,7				
	T_{200} (sn)	T_{400} (sn)	H_1 (cm)	H_2 (cm)	GO (H_2/H_1)	T_{200} (sn)	T_{400} (sn)	H_1 (cm)	H_2 (cm)	GO (H_2/H_1)
KYBAB0	9	13	10	8	0,8	3	8	10	8	0,8
KYBAB50	2	4	10	9	0,9	2	4	9	9	1
KYBAB75	3	5	10	9	0,9	4	8	9	8	0,9
KYBAB100	4	9	10	9	0,9	5	8	9	9	1

KYB'ler için yapılan taze beton deneyleri sonucunda üretilen her bir beton türü için elde edilen sonuçlar, Türkiye Hazır Beton Birliği'nin vermiş olduğu kriterler ile karşılaştırılarak bu betonların KYB özelliği gösterip göstermediği belirlenmiştir (Bkz. Tablo 8, Tablo 9, Tablo10, Tablo 11). Bu çalışmada;

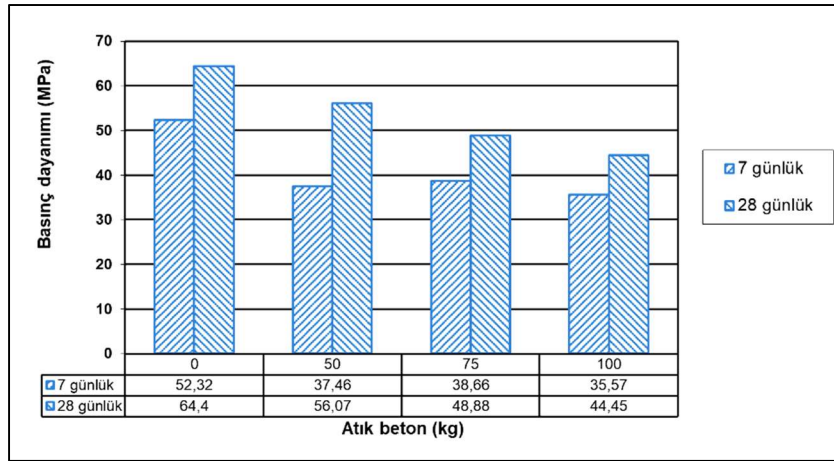
1. İlk beton türü olan ve ayrıca referans/kontrol betonu olarak da kullanılan içinde atık beton tozu bulunmayan kimyasal katkı oranı %1,5 olan KYBAB0 kodlu betonun yayılma sınıfı değeri 620 mm, T_{500} deney süresi 7,0 sn, V-hunisi değeri 19,67 sn ve L-kutusu değeri olarak alınan geçme ortalaması (GO) da 0,8 olarak belirlenmiştir. Bu durum Türkiye Hazır Beton Birliği (THBB)'nin KYB için belirlediği ölçütlerle uygunluk gösterdiği için bu beton türü KYB özelliği göstermiştir (Bkz. Tablo 8, Tablo 9, Tablo10, Tablo 11).
2. KYBAB50 (%1,5) betonun akma sınıfı değeri 670 mm, T_{500} deney süresi 6,30 sn, V- hunisi değeri 13,25 sn ve L-kutusu değeri olarak alınan geçme ortalaması (GO) da 0,9 olarak belirlenmiştir. Bu durum THBB'nin KYB için koyduğu ölçütlerle uygunluk gösterdiği için bu beton türü KYB özelliği göstermiştir (Bkz. Tablo 8, Tablo 9, Tablo10, Tablo 11).
3. KYBAB75 (%1,5) betonun akma sınıfı değeri 700 mm, T_{500} deney süresi 6,00 sn, V- hunisi değeri 12,41 sn ve L kutusu değeri olarak alınan geçme ortalaması (GO) da 0,9 olarak belirlenmiştir. Bu durum THBB'nin KYB için koyduğu ölçütlerle uygunluk gösterdiği için bu beton türü KYB özelliği göstermiştir (Bkz. Tablo 8, Tablo 9, Tablo10, Tablo 11).
4. KYBAB100 (%1,5) betonun akma sınıfı değeri 730 mm, T_{500} deney süresi 5,50 sn, V- hunisi değeri 10,07 sn ve L kutusu değeri olarak alınan geçme ortalaması (GO) da 0,9 olarak belirlenmiştir. Bu durum THBB'nin KYB için belirlediği ölçütlerle uygunluk gösterdiği için bu beton türü KYB özelliği göstermiştir (Bkz. Tablo 8, Tablo 9, Tablo10, Tablo 11).
5. Kimyasal katkı oranı %1,7 olan ver referans olarak üretilen KYBAB0 kodlu betonun akma sınıfı değeri 650 mm, T_{500} deney süresi 6,41 sn, V- hunisi değeri 14,00 sn ve L kutusu değeri olarak alınan geçme ortalaması (GO) da 0,8 olarak belirlenmiştir. Bu durum THBB'nin KYB için belirlediği ölçütlerle uygunluk gösterdiği için bu beton türü KYB özelliği göstermiştir (Bkz. Tablo 8, Tablo 9, Tablo10, Tablo 11).
6. KYBAB50 (%1,7) betonun akma sınıfı değeri 670 mm, T_{500} deney süresi 4,9 sn, V- hunisi değeri 8,50 sn ve L kutusu değeri olarak alınan geçme ortalaması (GO) da 1,0 olarak belirlenmiştir. Bu durum THBB'nin KYB için belirlediği ölçütlerle uygunluk gösterdiği için bu beton türü KYB özelliği göstermiştir (Bkz. Tablo 8, Tablo 9, Tablo10, Tablo 11).
7. KYBAB75 (%1,7) betonun akma sınıfı değeri 740 mm, T_{500} deney süresi 4,55 sn, V- hunisi değeri 7,00 sn ve L kutusu değeri olarak alınan geçme ortalaması (GO) da 0,9 olarak belirlenmiştir. Bu durum

THBB'nin KYB için belirlediği ölçütlerle uygunluk gösterdiği için bu beton türü KYB özelliği göstermiştir (Bkz. Tablo 8, Tablo 9, Tablo10, Tablo 11).

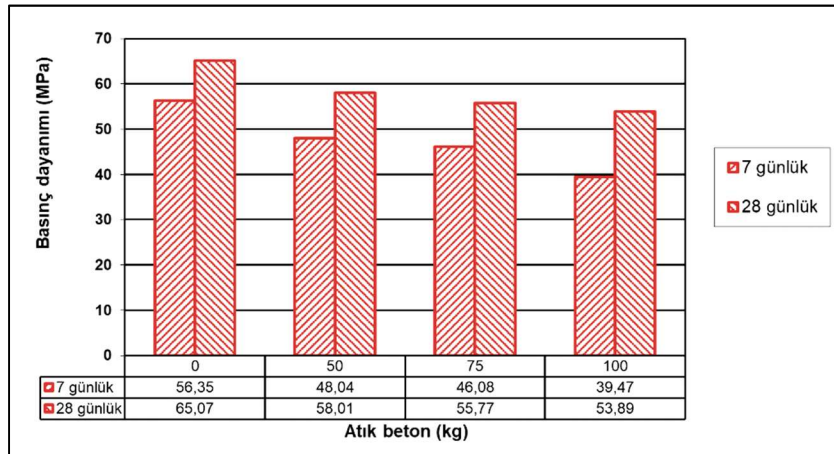
8. KYBAB100 (%1,7) betonun akma sınıfı değeri 750 mm, T_{500} deney süresi 3,44 sn, V- hunisi değeri 6,93 sn ve L kutusu değeri olarak alınan geçme ortalaması (GO) da 1 olarak belirlenmiştir. Bu durum THBB'nin KYB için belirlediği ölçütlerle uygunluk gösterdiği için bu beton türü KYB özelliği göstermiştir (Bkz. Tablo 8, Tablo 9, Tablo10, Tablo 11).

3.2 Sertleşmiş Beton Özellikleri

İkame yöntemiyle çimento yerine belli oranlarda (%9, %14 ve %18) atık beton eklenen KYB'lerin sertleşmiş beton deney sonuçları Tablo 12'de verilmiştir. K0, K50, K75 ve K100 diye kodlanan betonlarının kalıba dökümleri sırasında herhangi bir problemle karşılaşmamıştır. Kalıplanan betonlar priz aldıktan sonra kalıplardan çıkarılmış ve su içerisinde 7 ile 28 gün kürleme işlemine tabi tutulmuştur. Kürleme süreleri sona eren KYB'ler için 7 ve 28 günlük basınç dayanımı testi yapılmıştır. Elde edilen deney sonuçlarına göre hem kimyasal katkı (K.K) oranı %1,5 olan hem de %1,7 olan betonların 7 ve 28 günlük basınç dayanımları atık beton kullanılarak üretilen K50, K75 ve K100 olarak kodlanan beton numunelere göre daha yüksek çıkmıştır. Deney sonuçlarına ait grafikler Şekil 2 ve Şekil 3'de verilmiştir. KYB içerisindeki atık beton miktarı arttıkça basınç dayanımının düştüğü görülmektedir. Bu sonuç 7 ve 28 günlük erken ve ileriki yaş basınç dayanım sonuçları için benzerdir (Şekil 2 ve Şekil 3).



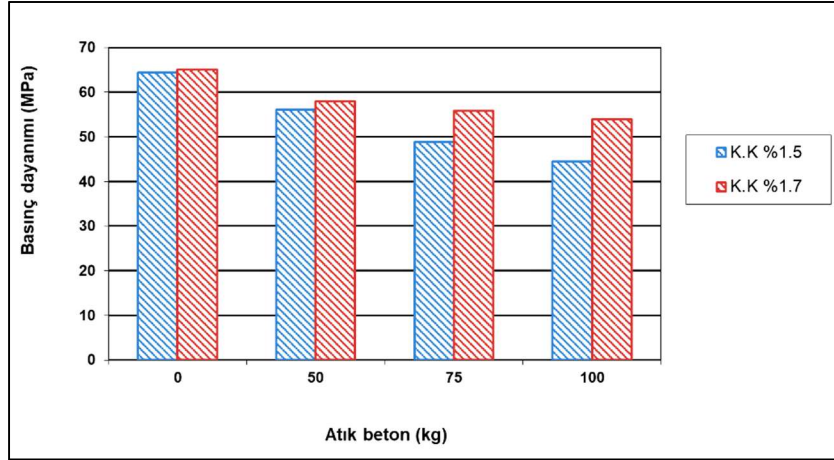
Şekil 2. Kimyasal katkı oranı %1,5 olan KYB'lerin basınç dayanımı-atık beton ilişkisi



Şekil 3 Kimyasal katkı oranı %1,7 olan KYB'lerin Basınç Dayanımı-Atık Beton ilişkisi

Atık beton miktarının artması her iki kimyasal katkı türünde (K.K %1,5 ve %1,7) üretilen betonlar için de basınç dayanımlarının düşmesine sebep olmuştur. Ancak kontrol betonları (K0) ve atık beton kullanılarak üretilen betonların (K50, K75 ve K100) basınç dayanımlarının kimyasal katkı oranındaki artışa bağlı olarak değiştiği gözlenmiştir. Kimyasal katkı oranı arttıkça bütün beton gruplarının erken (7 gün) ve ileriki (28 gün) yaş basınç dayanımında artış görülmüştür. Bu durum kullanılan kimyasal katkının hiper akışkanlaştırıcı olması sebebiyle beklenen bir durumdur. Ayrıca literatür verileri ile de kıyaslandığında sonuçlar benzer bulunmuştur. Ucuzcu'nun 2010 yılında yaptığı yüksek lisans çalışmasında da benzer oranlarda (%1,5 ve %1,7) kimyasal katkı (hiper

akışkanlaştırıcı) kullanılmış ve %1,7 kimyasal katkı oranı ile üretilen betonların 28 günlük basınç dayanımlarının daha yüksek olduğu görülmüştür [12] Kimyasal katkı oranına göre 28 günlük basınç dayanımı sonuçları Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4. Kimyasal katkı oranı %1,5 ve %1,7 olan KYB’lerin 28 günlük basınç dayanımı ilişkisi

4 SONUÇLAR

Bu çalışmada betonun atık malzeme olarak çevre kirliliği oluşturmamasına karşın geri dönüştürülebilir bir yapı malzemesi olarak kendiliğinden yerleşen beton üretiminde tekrar kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu nedenle çimento yerine ince malzeme olarak farklı oranlarda atık beton tozu ikame edilerek KYB numuneleri üretilmiştir. Üretilen bu numunelere taze ve sertleşmiş beton deneyleri yapılmıştır. KYB’ler için yapılan taze beton deneylerinden elde edilen sonuçlar Türkiye Hazır Beton Birliği’nin vermiş olduğu kriterler ile değerlendirilmiştir. Buna göre yapılan taze beton deneylerinden (toplam yayılma, T500, V hunisi ve L kutusu gibi) elde edilen verilere göre KYB üretiminde kullanılan kimyasal katkı oranı %1,5 ve %1,7 olan bütün beton numuneler KYB özelliği göstermiştir. Kimyasal katkı oranı ve atık beton tozu üretilen KYB betonlarının hem taze beton hem de sertleşmiş beton özelliklerine etki etmiştir. Çalışmada kullanılan kimyasal katkı oranı ve atık beton miktarındaki değişkenlik özellikle taze beton deneyleri üzerinde farklı sonuçların elde edilmesine neden olmuştur. Bu nedenle bundan sonra yapılacak çalışmalarda değişkenlerin azaltılması yani kimyasal katkı oranı sabit tutularak atık beton tozu miktarının değiştirilmesi şeklinde çalışmaların yapılması önerilebilir. Böylece atık beton tozunun KYB üretiminde ki etkisi daha açık bir şekilde gözlemlenebilir. Sonuç olarak; bu deneysel çalışmada kullanılan atık betonun ince malzeme olarak KYB üretiminde kullanılabileceği anlaşılmış olup, ancak beton basınç dayanımlarında düşmeye neden olduğu saptanmıştır. Atık beton tozunun geri dönüştürülebilir/sürdürülebilir bir yapı malzemesi olarak kullanılabilirliğinin araştırıldığı çalışmaların artırılması gereklidir.

Kaynakça

- [1] TS 802, “Beton Karışım Hesap Esasları”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, Ocak, 2009.
- [2] S. Rols, J. Ambroise, J. Pera, “Effects of different viscosity agents on the properties of self-leveling concrete”, *Cement and Concrete Research*, vol 29, 2, pp. 261-266, 1999.
- [3] A. Yahia, M. Tanimura, Y. Shimoyama, “Rheological properties of highly flowable mortar containing limestone filler-effect of powder content and W/C ratio”, *Cement and Concrete Research*, vol. 35, 2, pp. 532-539, 2005.
- [4] H.J.H. Brouwers, H.J. Radix, “Self-compacting concrete: theoretical and experimental study”, *Cement and Concrete Research*, vol. 35, 2, pp. 2116-2136, 2005.
- [5] Türkiye Hazır Beton Birliği, *Kendiliğinden Yerleşen Beton Klavuzu*, Nisan, 2007.
- [6] İ. Kılıç, A. Kadayıfçı, C. Özel, “Geri dönüştürülmüş atık betonlarda Muğla-Yatağan uçucu külünün etkileri”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, s. 187-193, 2007.
- [7] H. Okamura, M. Ouchi, “Self-compacting concrete: development, present use and future”, *Proceedings of First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete*, 1999, pp.3-14.

- [8] M. Şahmaran, İ. Ö. Yaman, M. Tokyay, “Yeni nesil yüksek akışkanlaştırıcı katkı maddeleri ile yüksek hacimde uçucu kül içeren kendiliğinden yerleşen beton”, *Beton 2004 Kongresi*, 2004, s 225-233, 10-12 Haziran, İstanbul.
- [9] B. Felekoğlu, B. Baradan, “Kendiliğinden yerleşen betonların mekanik özellikleri”, *Beton 2004 Kongresi*, 2004, s. 234-243, 10-12, Haziran, İstanbul.
- [10] H. Özkul, “Kendiliğinden yerleşen betonların genel özellikleri”, *Yapılarda Kimyasal Katkular Sempozyumu*, 2005, s. 119-136, 24-25 Mart, Ankara.
- [11] İ. Ö. Yaman, M. Şahmaran, “Kimyasal ve Mineral Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Harçlar”, *Yapılarda Kimyasal Katkular Sempozyumu*, 2005, s. 137-146, 24-25 Mart, Ankara.
- [12] T. Ucuzcu, “Kendiliğinden Yerleşen Beton Dökümündeki Gecikmelerin Beton Özelliklerine Etkisi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Ankara, Haziran, 2010.
- [13] M. Uysal, K. Yılmaz, “Mineral Katkı Kullanımının Kendiliğinden Yerleşen Betonun Elastisite Modülüne Etkisinin İncelenmesi”, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, 2011, pp. 16-18, May, Elazığ.
- [14] A. Köken, M.A. Köroğlu, F. Yonar, “Atık Betonların Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği”, *Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Teknik-Online Dergi*, Cilt 7, Sayı:1, s 86-97, 2008.
- [15] TS EN 197-1, “Çimento - Bölüm 1: Genel Çimentolar – Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2012.
- [16] TS 706 EN 12620, “Beton agregaları”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2003.
- [17] TS EN 933-1, “Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler, Tane Büyüklüğü Dağılımının Tayini - Eleme Yöntemi”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2012.
- [18] TS EN 1008, “Beton-Karma suyu-numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2003.
- [19] ASKİ, “Ankara şehir şebek suyu”, 2013. [Online]. Available: <http://www.aski.gov.tr/tr/laboratuvar.aspx>
- [20] TS EN 12350-8, “Taze Beton Deneyleri, Kendiliğinden Yerleşen Beton, Çökme Yayılma Deneyi”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2011.
- [21] TS EN 12350-9, “Taze Beton Deneyleri, Kendiliğinden Yerleşen Beton, V hunisi deneyi”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2011.
- [22] TS EN 12350-10, “Taze Beton Deneyleri, Kendiliğinden Yerleşen Beton, L Kutusu Deneyi”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2011.
- [23] EFNARC, *The european guidelines for self-compacting concrete; specification, production and use*, 1-63, May, 2005.
- [24] TS EN 12390-3, “Sertleşmiş Beton Deneyleri-Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2010.
- [25] BASFYKS, “Yüksek oranda su azaltıcı süper akışkanlaştırıcılar”, 2013. [Online]. Available: http://www.basfyks.com.tr/TR/urunler/katki_sistemleri/hazir_beton/yukse_k_oranda_su_azaltici_superakisk_anlastricilar/glenium_51/Documents/GLENIUM%C2%AE%2051.pdf