



ATIK ÇİNKO CÜRUF TOZU KATKILI KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARIN TAZE BETON VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

^{1*} Türkay KOTAN , ²Metehan ARDAHANLI , ³Ömer Furkan ÖZBEY 

^{1,2} Erzurum Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum,
TÜRKİYE
³Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, TÜRKİYE
¹ turkay.kotan@erzurum.edu.tr, ² metehan.ardahanli@erzurum.edu.tr, ³ omer.ozbey56@erzurum.edu.tr

Önemli Katkıları (Highlights)

- Kendiliğinden yerleşen betonların özelliklerine atık çinko cüruf tozu katkısının etkisi incelenmiştir.
- Atık çinko cüruf tozu katkılı kendiliğinden yerleşen betonların basınç dayanımları, katkısız betonların basınç dayanım sonuçlarına yaklaşık eşdeğer olarak bulunmuştur.
- Atık çinko cüruf tozunun kendiliğinden yerleşen betonların üretiminde katkı maddesi olarak kullanılabilmesi belirlenmiştir.
- Belirli oranlarda çimento yerine atık çinko cüruf tozu katkısının kullanımı ile hem kendiliğinden yerleşen betonların maliyetleri azalacak hemde çevreci bir beton elde edilebilir.



ATIK ÇİNKO CÜRUF TOZU KATKILI KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARIN TAZE BETON VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

^{1*}Türkay KOTAN , ²Metehan ARDAHANLI , ³Ömer Furkan ÖZBEY 

^{1,2}Erzurum Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum,
TÜRKİYE

³Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, TÜRKİYE

¹turkay.kotan@erzurum.edu.tr, ²metehan.ardahanli@erzurum.edu.tr, ³omer.ozbey56@erzurum.edu.tr

(Geliş/Received: 15.09.2022; Kabul/Accepted in Revised Form: 07.04.2023)

ÖZ: Kendiliğinden yerleşen betonlar (KYB) yüksek işlenebilirliğe sahip, vibrasyon işlemi gerektirmeyen ve donatı sıklığının fazla olduğu kalıplarda kolayca yerleşebilen bir özel beton türüdür. KYB'lerin kullanımı günümüzde gittikçe yaygınlaşmakta olup özellikle bu tür betonlarda kullanılan yüksek çimento dozajını azaltarak maliyeti düşürmek için birçok çalışma yapılmaktadır. Betonun en yüksek maliyetli bileşeni olan çimentonun bir kısmının yerine atık ürünler kullanılması bu çalışmaların başında gelmektedir. Bu çalışmada, atık çinko cüruf tozu çimentonun yerine ağırlıkça %5, 7.5 ve 10 oranında kullanılmış olup, üretilen KYB'lerin taze beton özellikleri ile 7 ve 28 gün standart kür sonunda basınç dayanımı sonuçları incelenmiştir. Taze beton deneyleri olarak; yayılma deneyi, V-hunisi deneyi, L-kutusu deneyi ve U-kutusu deneyi gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, atık çinko cüruf tozunun KYB taze beton özelliklerini iyileştirebildiği görülmüş olup, bu malzemenin kullanılması ile üretilen KYB betonlarının yüksek dayanıma ve kontrol betonuna eş değer basınç dayanımına sahip olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kendiliğinden Yerleşen Beton, Atık Çinko Cürufu, Taze Beton Özellikleri, Basınç Dayanımı

Investigation of Fresh Concrete and Mechanical Properties of Self-Compacting Concrete with Waste Zinc Slag Admixture

ABSTRACT: Self-compacting concrete (SCC) is a special type of concrete that has high workability, does not require vibration and can easily settle in molds where reinforcement density is high. The use of SCCs is becoming more and more widespread in our day, and many studies are being carried out to reduce the cost, especially by reducing the high cement dosage used in this type of concrete. The use of waste products instead of the part of cement, which is the most costly component of concrete, is at the forefront of these studies. In this study, the waste zinc slag powder was used instead of cement at a rate of 5, 7.5 and 10% by weight, and the properties of fresh concrete and compressive strength results at the end of 7 and 28-days of standard curing of the produced SCCs were investigated. As fresh concrete experiments; slump-flow test, V-funnel test, L-box test and U-box test were performed. When the results were examined, it was seen that waste zinc slag powder could improve the fresh concrete properties of SCC, and it was determined that SCC concretes produced by using this material had high strength and compressive strength equivalent to control concrete.

Keywords: Self-compacting Concrete, Waste Zinc Slag, Fresh Concrete Properties, Compressive Strength

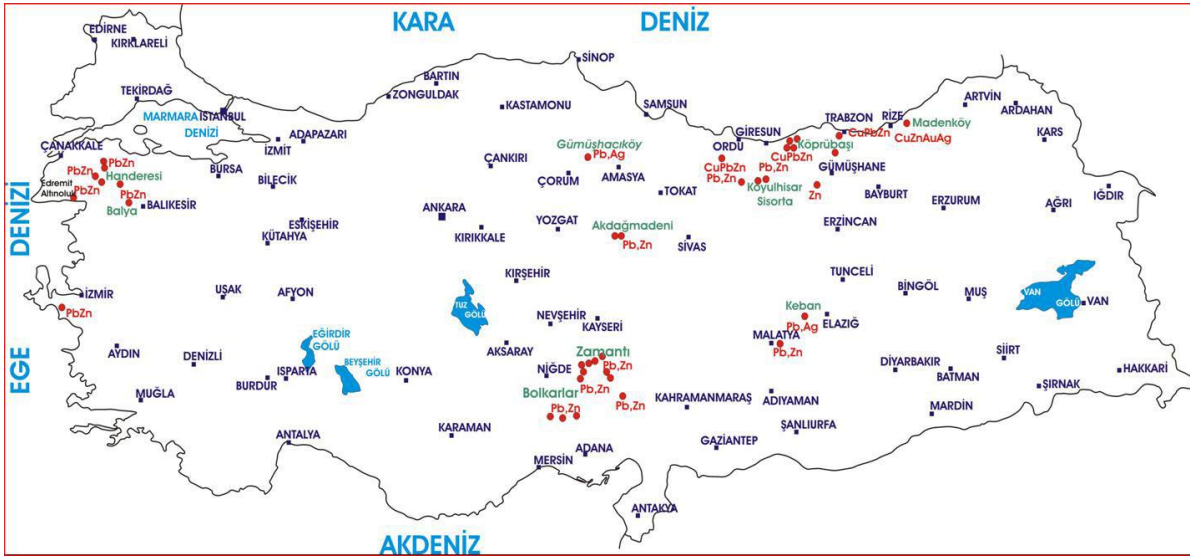
1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kendiliğinden yerleşebilirlik kavramı ilk olarak 1986 yılında Tokyo'da Prof. Dr. Hajime Okamura tarafından ortaya çıkmıştır [1]. Kendiliğinden yerleşen betonlar (KYB) sahip olduğu; vibrasyon gerektirmemesi, en sık donatı aralıklarından kolayca geçebilmesi ve segregasyon yapmadan kolayca yerleşebilmesi gibi birçok avantajı sayesinde son zamanlarda tercih sebebi olmuştur [2]-[4]. Bu avantajlarının getirdiği temel sonuç ise boşluksuz beton üretimidir [5]. KYB'lerin sahip olduğu 2 önemli özellik dikkat çekmektedir; bunlardan ilki yüksek ince malzeme miktarına sahip olmaları, ikincisi ise üretiminde yüksek oranda su azaltan süper akışkanlaştırıcıların kullanılmasıdır. Bu iki önemli özellik KYB'lerin düşük su/çimento oranına sahip olmasını ve dolayısıyla yüksek performanslı beton grubuna girmesini sağlar [6]-[8].

Beton bileşenleri içerisinde maliyeti en yüksek olan malzeme çimentonun, KYB'lerde yüksek dozajlarda kullanılması, bu tür özel betonların maliyetinin yüksek olmasına neden olmaktadır. Bu sebeple KYB üretiminde çeşitli atık maddeler öğütülüp çimento yerine ağırlıkça belirli oranlarda ikame olarak kullanılarak hem maliyetin düşürülmesi hem de kullanılan malzemenin yeterli performansı sağlaması istenir. Bu malzemeler çoğunlukla yapay puzolan olarak adlandırılan mineral katkılardır [9]-[12]. Bu mineral katkıların KYB'lerde kullanıldığı birçok çalışma mevcuttur;

Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu 3 farklı oranda (%20, 40 ve 60) çimentoya ikame edilerek oluşturulan kendiliğinden yerleşen betonlarda kapilarite ve basınç dayanımı incelendiğinde, uçucu kül ikamesi kapilarite katsayısı üzerinde anlamlı bir etki oluşturmazken, yüksek fırın cürufu ikame oranının artması kendiliğinden yerleşen betonların kapilarite katsayılarının önemli düzeyde düşmesine neden olmuştur ve en yüksek basınç dayanımı %20 oranında ikamesi ile elde edilmiştir [13]. Ayrıca uçucu külün kendiliğinden yerleşen betona etkisinin araştırıldığı bir başka çalışmada, çimento yerine %20 oranında uçucu kül kullanılmasının dayanım açısından optimum sonuçları vereceği tespit edilmiştir [14]. Farklı oranlarda F sınıfı uçucu kül (UK) içeren kendiliğinden yerleşen beton (KYB) karışımlarına karışım süresinin etkisi incelendiğinde, karışım oranları çok iyi ayarlanmış dahi olsa, karıştırma süresi 3 (dakika/45 litre) değerinden fazla olduğu zaman taze betonda ayrışma olduğu sonucuna varılmıştır [15]. Mineral katkı maddesi olarak çimento yerine ağırlıkça %5, 10 ve 15 oranlarında silis dumanı ve %25, 40 ve 55 oranlarında F tipi uçucu kül kullanılarak üretilen KYB üretiminde en yüksek basınç dayanımı değeri 88 MPa değeri ile %15 silis dumanı kullanılarak üretilen betonlardan elde edilirken [16], çimento yerine %40, 50, 60 oranlarında F tipi uçucu kül ikame edilmesi sonucunda en iyi akıcılık ve en iyi basınç dayanımı %40 oranında olduğu görülmüştür [17]. İki farklı kür şartı ve farklı oranlarda silis dumanı (%10, 15, 20) ile uçucu kül (%10, 20, 30, 40, 50) ikamesi ile ayrı olarak ve hibrit şeklinde üretilen KYB'lerde sadece uçucu kül kullanarak elde edilen KYB'lerde en yüksek dayanımın %30 oranında, sadece silis dumanı kullanılarak elde edilen KYB'lerde ise en yüksek dayanımın %15 oranında ve 28 gün su küründe uçucu küldeki optimum dayanım değerinin silis dumanındaki optimum değerden daha düşük olduğu, hibrit oran olarak %10 uçucu kül+%10 silis dumanı ikamesi ile elde edilen KYB'lerde en yüksek hibrit dayanımın elde edildiği gözlemlenmiştir [18]. Çelik cürufunun çimento yerine %5, 10, 15, 20, 25 ve 30 oranlarında kullanılarak üretilen KYB'lerin taze beton ve sertleşmiş beton özellikleri incelendiğinde çelik cürufunun %15 oranına kadar kullanımının KYB'lerde olumlu etki gösterdiği [19] ve çelik cürufunun KYB tokluk ve yorulma direncini artırdığı [20] belirlenmiştir. Ayrıca bakır cürufunun KYB'lerde basınç dayanımını artırdığı [21] ve KYB taze beton özelliklerini iyileştirdiği [22] görülmüştür.

Sanayi sektörü başta olmak üzere çeşitli alanların üretilmesinde, yapıların çatı kaplama işlerinde, lastik ve pil gibi malzemelerinin üretimi gibi birçok alanda çinko metali kullanılmaktadır. Çinko metalinin ülkemizde rezervi 2.3 milyon iken dünyada bu değer 200 milyon seviyelerine kadar çıkabilmektedir. Başta ABD olmak üzere Kanada, Çin ve Avustralya çinko rezervi açısından en zengin ülkelerdir. Dünyada bu rezervlerden 8 milyon ton üretim yapılırken bunun 0.5 tonu atık çinko cürufu olarak ortaya çıkmaktadır. Ülkemizde ise çinko metalinin tüketim seviyesi yüksek değerlerde olup yaklaşık olarak 60 bin tondur. Her geçen gün sanayi sektörünün artışına bağlı olarak bu değerler artmaktadır. Türkiye'de çinko yatakları çoğunlukla kurşun-çinko yatağı olarak Doğu Karadeniz Bölgesi'nde (Şekil 1) yaygın olarak bulunmaktadır [23].



Şekil 1. Türkiye'deki Kurşun-Çinko Yatakları [23]

Figure 1. Lead-Zinc Deposits in Turkey [23]

Atık çinko cürufunun agrega yerine kullanıldığı birçok çalışma mevcut iken [24]-[27] çimento yerine ikame olarak normal beton ve harçlarda kullanıldığı çalışmalar sınırlı sayıdadır;

Atık çinko cürufunun %10, 20 ve 30 oranlarında çimento yerine ağırlıkça ikame olarak kullanılması ile elde edilen harçların 3 farklı kür süresi sonunda (7, 14 ve 28) en yüksek basınç dayanımının %10 oranında çinko cürufunun kullanılması ile elde edildiği belirlenmiş olup [28] çinko cürufunun puzolanik malzeme olarak kullanılabilmesi belirlenmiştir [29].

Literatür incelendiğinde atık çinko cürufunun normal beton ve harçlarda kullanımına ait çalışmalar mevcuttur fakat bu malzemenin bir özel beton türü olan KYB üretiminde kullanımına dair herhangi bir çalışma mevcut değildir. Bu durum çalışmaya ayrıca bir özgünlük katmaktadır. Çalışma sonunda atık çinko cürufu kullanılarak KYB üretilmesi ile hem bir atık malzemenin doğadan uzaklaştırılması hem de bu malzemenin çimento yerine kullanılmasıyla KYB'deki yüksek çimento dozajından kaynaklı ekonomik problemlerin giderilmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Materyal (Material)

Bu çalışmada, Erzurum Aşkale Çimento Fabrikasından CEM I 42.5 R tipi çimento ve Kayseri ili Çinkom Fabrikasından atık çinko cürufu (Şekil 2) temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan çimento ve atık çinko cürufuna ait kimyasal özellikleri, ilgili üretim fabrikalarından temin edilmiş olup Çizelge 1'de verilmiştir. Çalışmada 4 farklı boyutta (0-2, 2-4, 4-8, 8-16) bazalt agregası kullanılmış olup, agregaya ait özellikler Çizelge 2'de, çinko cürufunun fiziksel özellikleri ise Çizelge 3'de yer almaktadır.



Şekil 2. Atık Çinko Cürufu

Figure 2. Waste Zinc Slag

Çizelge 1. Çimento ve Atık Çinko Cürufunun Kimyasal Özellikleri

Table 1. Chemical Properties of Cement and Waste Zinc Slag

Kimyasal Bileşenler	Çimento (%)	Atık Çinko Cürufu (%)
SiO ₂	18.10	16.10
Al ₂ O ₃	4.48	8.53
Fe ₂ O ₃	3.09	26.47
CaO	63.65	29.83
MgO	2.58	3.22
SO ₃	2.84	-
Kızdırma Kaybı	3.9	11.10
Na ₂ O	0.21	-
K ₂ O	0.62	-
Na ₂ O+0.66K ₂ O	0.62	-
Cl	0.015	-
Ölçülemeyen	0.52	-
Toplam	100	-
Serbest CaO	0.44	-
Çözülemeyen Miktar	0.55	-

Çizelge 2. Bazalt Agregasının Fiziksel Özellikleri

Table 2. Physical Properties of Basalt Aggregate

Agrega Boyutu (mm)	DKY Tane Yoğunluğu (gr/cm ³)	Su Emme Oranı (%)	Stok Nemi (%)
0-2	2.61	2.98	2.59
2-4	2.61	2.95	2.39
4-8	2.63	1.40	1.49
8-16	2.63	1.47	1.17

Çizelge 3. Çinko Cürufunun Fiziksel Özellikleri*Table 3. Physical Properties of Zinc Slag*

Cüruf Boyutu (mm)	DKY Tane Yoğunluğu (gr/cm ³)	Su Emme Oranı (%)
0-4	2.22	10.2
4-8	2.23	9.5

Los Angeles cihazı yardımıyla öğütülen atık çinko cürufu malzemesinin, 63 mikron ve 75 mikron boyutunda kare gözlü eleklerden geçen yüzdesi Çizelge 4’de verilmiştir.

Çizelge 4. Atık Çinko Cürufunun İnceliği*Table 4. Fineness of Waste Zinc Slag*

Elek Çapı (mikron)	Elekten Geçen (%)
75	85
63	60

2.2. KYB Karışım Grupları (KYB Mixture Groups)

Polikarboksilik eter esaslı 2. nesil süper akışkanlaştırıcı çimento ağırlığına %2.63 oranında kullanılarak oluşturulan KYB karışım grupları Çizelge 5’de verilmiştir. Uygun ve doğru akışkanlaştırıcı oranı için birçok ön deneme yapılmıştır. KYB karışım grupları; kontrol grubuna ek olarak atık çinko cürufunun çimento yerine ağırlıkça %5, 7.5 ve 10 oranlarında kullanılması ile oluşturulmuştur.

Çizelge 5. KYB Karışım Grupları*Table 5. KYB Mixture Groups*

KYB Grupları	Malzeme Miktarı (kg/m ³)								
	Ç	ÇC	Agrega (mm)				S	S/B	SA
			0-2	2-4	4-8	8-16			
K	578	-	568	353	308	307	208	0.36	15.2
ÇC5	549	29	568	353	308	307	208	0.36	15.2
ÇC7.5	535	43	568	353	308	307	208	0.36	15.2
ÇC10	520	58	568	353	308	307	208	0.36	15.2

K: Kontrol KYB Grubu, Ç: Çimento, ÇC: Çinko Cürufu S: Su, S/B: Su/Bağlayıcı Oranı, SA: Süperakışkanlaştırıcı

2.3. Yöntem (Method)

2.3.1. Taze beton deneyleri (Fresh Concrete Tests)

2.3.1.1. Yayılma deneyi (Flow-table test)

KYB’nin yayılma deneyinde, taze betonun kendi ağırlığı ile yayılma çapı ve T50 süresi belirlenir. Bu deneyde, düz bir yüzey üzerinde slump hunisine doldurulan KYB’nin, huni çekildikten sonra yayılabildiği maksimum çap ile 50 cm dairesel çap ölçüsüne yayılma süresi belirlenir. Deney (Şekil 3) TS EN 12350-8 [30] standardına uygun olarak yapılmıştır.



Şekil 3. Yayılma Deneyi

Figure 3. Flow-Table Tests

2.3.1.2. V-Hunisi deneyi (V-Funnel Flow test)

V-hunisi deneyi (Şekil 4), KYB'nin boşluklardan geçebilme kabiliyetini ölçmek için kullanılır. Bu deneyde, KYB'nin kendi ağırlığı ile V-hunisinin dar olan kısmından boşaldığı süre ölçülür. Deney TS EN 12350-9 [31] standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. V Hunisi Deneyi

Figure 4. V-Funnel Flow Test

2.3.1.3. L-Kutusu deneyi (L-Box Test)

KYB'nin donatılar arasındaki geçiş ve kalıba kendiliğinden yerleşme yeteneğini ölçmek için uygulanır. Deneyde, (Şekil 5) sürgülü kapak açıldıktan sonra L-kutusunun her iki ucundaki yükseklikler ölçülerek aradaki fark tespit edilir. Deney TS EN 12350-10 [32] standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5. L-Kutusu Deneyi

Figure 5. L-Box Test

2.3.1.4. U-Kutusu deneyi (U-Box test)

Taze durumdaki KYB'nin, donatılar arasından kendi ağırlığı ile geçebilme yeteneğinin belirlendiği deney (Şekil 6) yöntemidir. Bu deneyde, U-kutusunun iki bölmesi arasındaki sürgülü kapak kapalı durumda iken, bir bölmesine doldurulan ve kapağın açılmasıyla diğer bölmede yükselen KYB'nin iki bölmedeki yükseklik farkı ölçülür.



Şekil 6. U-Kutusu Deneyi

Figure 6. U-Box Test

2.3.2. Sertleşmiş beton deneyi (Hardened concrete test)

2.3.2.1. Basınç dayanımı deneyi (Compressive strength test)

Basınç dayanımı deneyi 150×150×150 mm boyutlu numunelerde 7 ve 28 gün standart kür sonunda TS EN 12390-3 [33] standardına uygun olarak yapılmıştır. Deneyde, standarda uygun olarak yükleme hızı 0.4 MPa/s olarak alınmıştır (Şekil 7).



Şekil 7. Basınç Dayanımı Deneyi
Figure 7. Compressive Strength Test

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

3.1. Taze Beton Deney Sonuçları (Fresh Concrete Test Results)

Farklı oranlarda atık çinko cüruf tozu ikameli KYB gruplarına ait taze beton deney sonuçları Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. KYB Taze Beton Deney Sonuçları

Table 6. KYB Fresh Concrete Test Results

KYB Taze Beton Özellikleri	KYB Karışım Grupları				
	Birim	K	ÇC5	ÇC7.5	ÇC10
Yayılma Çapı	cm	90	94	98	86
T-50 Süresi	s	2.25	1.92	1.64	2.25
V Hunisi Süresi	s	5.36	3.91	4.98	4.2
L Kutusu Yükseklik Oranı (h1/h2)	-	1.13	1.11	1.08	1.10
U Kutusu Yükseklik Farkı (h1-h2)	cm	1	0.5	0.6	0.8

K: Kontrol, ÇC: Çinko Cürufu

Çizelge 6 incelendiğinde, atık çinko cüruf tozu ikameli KYB gruplarının yayılma çapı değerlerinin yüksek olduğu ve en yüksek yayılma çapının 98 cm ile ÇC7.5 KYB grubunda elde edildiği belirlenmiştir. EFNARC [34] standardına göre KYB betonlarının minimum 65 cm yayılma çapına sahip olması gerektiği belirtilmektedir. Elde edilen en yüksek yayılma çapının ise minimum yayılma çapından %51, kontrol KYB betonundan ise %9 daha fazla olduğu belirlenmiştir. Ayrıca yayılma çapının en yüksek çıktığı ÇC7.5 KYB grubunun T-50 süresi en az çıkmış ve bu durum atık çinko cürufu malzemesinin kullanıldığı KYB'lerin, kendi ağırlığı ile yayılma çaplarının artacağı ve yayılma sürelerinin ise azalacağı sonucunu ortaya koymuştur. Ağırlıkça çimento yerine %7.5 oranında kullanılan atık çinko cürufunun %10 oranına çıkması ile yayılma çapı ve T-50 süresi azalmış iken KYB'lerin taze beton özellikleri için olumsuz durum olan L Kutusu Yükseklik Oranı (h1/h2) ve U Kutusu Yükseklik Farkı (h1-h2) ise artış göstermiştir. Atık çinko cürufunun sahip olduğu yüksek su emme oranları nedeniyle betonda kullanım oranının artışına bağlı olarak işlenebilirliği olumsuz etkilediği düşünülmektedir.

Atık çinko cürufu içeren KYB'lerdeki V-hunisi deneyi süreleri, L-kutusu yükseklik oranı ve U-kutusu yükseklik farkı miktarı kontrol KYB grubuna göre daha düşük çıkmıştır. Bu deney sonuçlarının kontrol KYB grubuna göre düşük çıkması, KYB için istenilen bir sonuçtur [16].

Atık çinko cüruf tozu içeren KYB grupları bütün KYB taze beton deneylerinde olumlu sonuç vermiş olup, bu atık malzemenin KYB tasarımlarında kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır. Atık çinko cüruf tozunun KYB'lerde kullanılması ile işlenebilirliği artırabileceği belirlenmiştir. Puzolanik katkıların işlenebilirliği olumlu etkilediği bilinmektedir [18], [35]. Bu durum atık çinko cüruf tozunun KYB'lerin taze beton özelliklerinde bir puzolan katkısı gibi çalışabileceğini ortaya koymaktadır.

3.2. Sertleşmiş Beton Deneyi Sonuçları (Hardened Concrete Test Results)

3.2.1. Basınç Dayanımı Sonuçları (Compressive Strength Results)

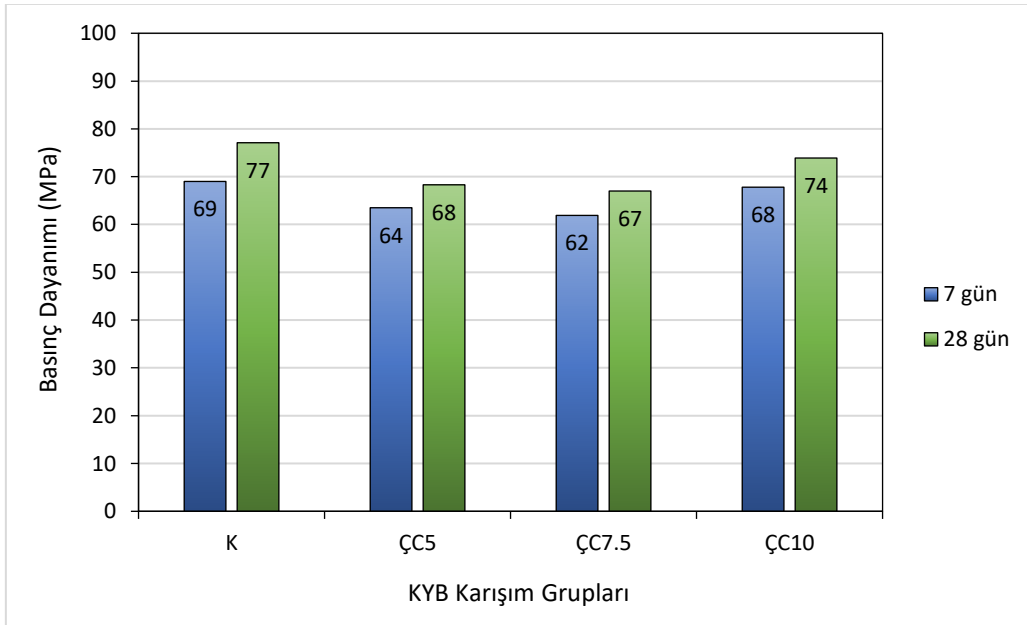
Atık çinko cüruf tozu katkılı ve kontrol KYB gruplarına ait 7 ve 28 gün standart su kürü sonunda, her bir gruba ait üçer adet numuneden elde edilen ortalama basınç dayanım sonuçları Çizelge 7 ve Şekil 8'de verilmiştir.

Çizelge 7. Basınç Dayanımı Sonuçları

Table 7. Compressive Strength Results

KYB Grupları	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)	
	7 Gün	28 Gün
K	69	77
ÇC5	64	68
ÇC7.5	62	67
ÇC10	68	74

K: Kontrol, ÇC: Çinko Cürufu



Şekil 8. Basınç Dayanımı Sonuçları

Figure 8. Compressive Strength Results

Çizelge 7 ve Şekil 8 incelendiğinde, 7 ve 28 gün standart kür sonunda atık çinko cüruf tozu ikameli KYB karışım gruplarının basınç dayanım sonuçları, her iki kür süresinde de kontrol grubu dayanım sonuçlarına yaklaşık eş değer olduğu görülmektedir.

Atık çinko cüruf tozu katkı KYB gruplarında, her iki kür süresinde de en yüksek basınç dayanımları ÇC10 grubunda elde edilmiştir. Atık çinko cüruf lu gruplarda, 7 gün standart kür sonunda minimum 62 MPa, 28 gün standart kür sonunda minimum 67 MPa basınç dayanımı elde edilmiş olup, atık çinko cüruf tozu ikamesi ile yüksek dayanımlı KYB'lerin elde edilebileceği belirlenmiştir. Atık çinko cüruf tozunun kimyasal bileşiminde yer alan SiO_2 miktarının kullanılan çimento ile yakın olması ve sahip olduğu kimyasal özellikler sayesinde ($CaO > \%10$ ve $Al_2O_3 + SiO_2 + Fe_2O_3 > \%50$) C tipi uçucu kül gibi kendiliğinden bağlayıcılık özelliklerine sahip olabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle ilk zamanlarda (7 gün kür süreli) atık çinko cüruf tozu içeren KYB'lerin basınç dayanımı sonuçları referans KYB'nin basınç dayanımı sonuçlarına yakın olarak elde edilmiştir. Çinko cüruf katkısının artışına bağlı olarak, 28 gün standart kür sonunda basınç dayanımları 74 MPa seviyelerine ulaşmış olup, bu durum atık malzemenin KYB içerisinde puzolanik katkı maddesi olarak kullanılabilceğini göstermektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER (CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS)

Bu çalışmada, atık çinko cüruf malzemesinin bir özel beton türü olan KYB üretiminde kullanılabilirliği incelenmiş ve bu kapsamda çimento yerine ağırlıkça 3 farklı oranda (%5, 7.5 ve 10) ikame edilerek karışım grupları oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında, taze beton deneylerine ek olarak, üretilen numuneler üzerinde basınç dayanımı deneyi uygulanmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar özetle;

- Atık çinko cüruf tozunun KYB üretiminde katkı maddesi olarak kullanılabilceği belirlenmiştir.
- Üretilen tüm atık çinko cüruf tozu katkı grupların, KYB taze beton özelliklerini iyileştirdiği ve en iyi sonuçların ise %7.5 ve %10 oranında kullanılması ile elde edildiği belirlenmiştir.
- Atık çinko cüruf tozu kullanılarak elde edilen KYB gruplarında, 28 gün standart kür sonunda minimum 62 MPa basınç dayanımı elde edilmiş olup, her iki kür süresinde de en iyi sonuçların ÇC10 grubunda olduğu tespit edilmiştir.
- Basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde, atık çinko cüruf tozu katkı KYB'lerin basınç dayanım sonuçları, kontrol grubunun dayanım sonuçlarına yaklaşık eşdeğer olduğu belirlenmiştir.
- Çimento yerine atık çinko cüruf tozunun kullanılmasıyla hem KYB maliyetleri azaltılabilecek hem de bir atık malzeme doğadan uzaklaştırılabilecek ve böylece daha çevreci bir beton üretimi gerçekleştirilebilecektir.

Sonraki çalışmalarda;

- Atık çinko cüruf tozu kullanılarak üretilen KYB'lerin çeşitli durabilite özelliklerinin incelenmesi,
- Bu atık malzemenin diğer özel beton türlerinde kullanılabilirliğinin araştırılması,
- Basınç dayanımı sonuçlarının daha uzun kür sürelerinde incelenmesi,
- Atık çinko cüruf tozu içeren KYB'lerin ayrışma dirençlerinin belirlenmesinde reometre deneyi gibi daha ileri testlerin kullanılması,
- Atık çinko cüruf tozunun inceliği artırılarak, daha önceki sonuçlar ile karşılaştırılması önerilmektedir.

Etik Standartlar Bildirimi (Declaration of Ethical Standards)

Çalışma etik standartlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Yazar Katkı Beyannamesi (Credit Authorship Contribution Statement)

Yazarlar çalışmaya eşit oranda katkı vermiştir.

Çıkar Çatışması Beyannamesi (Declaration of Competing Interest)

Yazarların herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Veri Kullanılabilirliği (Data Availability)

Veriler talep edildiği takdirde sunulabilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] H. Okamura, and M. Ouchi, "Self-compacting concrete," *J Adv Concrete Tech*, vol. 1, no. 1, pp. 5-15, 2003.
- [2] N. Su, K. C. Hsu, and H. W. Chai, "A simple mix design method for self-compacting concrete," *Cement and Concrete Research*, vol. 31, no. 12, pp. 1799-1807, 2001.
- [3] İ. B. Topçu, T. Uygunoğlu, ve O. Ünal, , "Kendiliğinden yerleşen betonda mineral katkıların taze beton özelliklerine etkilerinin araştırılması," *Yapıda Kimyasal Katkılar Sempozyumu*, 2007, ss. 181-193.
- [4] M. Ardahanlı, and M. Oltulu, "Investigation of pozzolanic activity indexes of pasinler obsidian and zinc slag," *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 11, no. 2, pp. 507-521, 2021.
- [5] R. Gaimster, and N. Dixon, "Self-compacting concrete," in *Advanced Concrete Technology*, vol. 4, pp. 1-23, 2003.
- [6] V. Bonavetti, H. Donza, G. Menindez, O. Cabrera, and E. F. Irassar, "Limestone filler cement in low w/c concrete: a rational use of energy," *Cement and Concrete Research*, vol. 33, no. 6, pp. 865-871, 2003.
- [7] Y. Zhao, "Study on fracture properties of self-compacting concrete using wedge splitting test," 1st International Symposium on Design, Performance and Use of Self-Consolidating Concrete, 2005, pp. 421-428.
- [8] R. A. Sağlam, N. Parlak, A. Ü. Doğan, ve M. H. Özkul, "Kendiliğinden yerleşen betonda çimento katkı uyumu," 6.Ulusal Beton Kongresi, 2005, ss. 213-224.
- [9] A. Benli, ve M. Karatas, "Uçucu kül ve silis dumanı ikameli üçlü karışımlardan üretilen kendiliğinden yerleşen harçların durabilite ve dayanım özellikleri," *DÜMF Mühendislik Dergisi*, cilt. 10, ss. 335-345, 2019.
- [10] M. Ardahanlı, M. Oltulu, and I. Alameri, "Evaluation of the mechanical properties of self-compacting concrete containing fly ash subjected to early-age temperature," Hoca Ahmet Yesevi 2. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi, 2019.
- [11] E. H. Yücel, "Uçucu kül yerine kullanılan atık cam tozunun kendiliğinden yerleşen betonların taze, mekanik ve durabilite özellikleri üzerine etkisi," *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, cilt. 33, sayı. 2, ss. 153-164, 2018.
- [12] V. Kannan, "Strength and durability performance of self compacting concrete containing self-combusted rice husk ash and metakaolin," *Const and Building Mat*, vol. 160, pp. 169-179, 2018.
- [13] A. Beycioglu, and A. H. Yılmaz, "Effect of artificial pozzolans on capilarity and compressive strength of self compacting concretes," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol. 2, pp. 352-361, 2014.
- [14] E. Karaüç, "Uçucu kül ve zeolit in kendiliğinden yerleşen betonlara etkileri," Yüksek Lisans tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.
- [15] M. Karataş, ve Ç. Z. Ulucan, "F sınıfı uçucu kül içeren kendiliğinden sıkışan betonda karışım süresinin işlenebilirliğe etkisi," *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 2007.
- [16] A. F. Bingöl, ve İ. Tohumcu, "Silis dumanı ve uçucu kül katkılı kendiliğinden yerleşen betonların taze beton özellikleri ve basınç dayanımları," *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, cilt. 15, sayı. 43, ss. 31-44, 2013.
- [17] N. Bouzoubaâ, and M. Lachemi, "Self-compacting concrete incorporating high volumes of class f fly ash: preliminary results," *Cement and Concrete Research*, vol. 31, pp. 413-420, 2001.
- [18] H. Mohamed, "Effect of fly ash and silica fume on compressive strength of self-compacting concrete under different curing conditions," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 2, no. 2, pp. 79-86, 2011.

- [19] B. Naik, A. N. Chaubey, S. M. Mustakim, S. Paul, A. Baura, and S. Jeet, "Synthesis and characterization of ladle furnace slag on the mechanical properties of self-compacting concrete," *Materials today Proceedings*, vol. 74, pp. 673-680, 2023.
- [20] Y. Li, J. Li, C. Li, A. Chen, T. Bai, S. Tang, S. Wu, Y. Gao, H. Zhu, and J. Feng, "Strength formation mechanism and performance of steel slag self-compacting epoxy resin concrete," *Construction and Building Materials*, Vol. 359, pp. 1-16, 2022.
- [21] B. K. Chaitanya, and I. Sivakumar, "Influence of waste copper slag on flexural strength properties of self compacting concrete," *Materials today Proceedings*, vol. 42, pp. 671-676, 2021.
- [22] N. Gupta, and R. Siddique, "Strength and micro-structural properties of self-compacting concrete incorporating copper slag," *Construction and Building Materials*, vol. 224, pp. 894-908, 2019.
- [23] *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Kurumu*, 2019.
- [24] S. Mosavinezhad, and S. Nabavi, "Effect of 30% Ground granulated blast furnace, lead and zinc slags as sand replacements on the strength of concrete," *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 16, pp. 989-993, 2012.
- [25] M. Alweli, "Application of granulated lead-zinc slag in concrete as an opportunity to save natural resources," *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 83, pp. 54-60, 2013.
- [26] M. Alweli, "Investigation of gamma radiation shielding and compressive strength properties of concrete containing scale and granulated lead-zinc slag wastes," *Journal of Cleaner Production*, vol. 166, pp. 157-162, 2017.
- [27] Z. Öztürk, M. Bağiran, B. Sağlar, L. Arslan, ve Ş. Aycan, "Agrega olarak çinko madeni cürufu kullanımının beton basınç dayanımına etkisi," *International Journal of Engineering Research and Development*, cilt. 10 sayı. 2, ss. 144-152, 2018.
- [28] İ. Aslan, M. Oltulu, and C. Karakurt, "Investigation of the waste zinc slag on the workability and mechanical properties of cement based mortars," 3rd International Conference on Advanced Engineering Technologies, 2019.
- [29] M. Ardahanlı, M. Oltulu, and I. Alameri, "Uçucu küllü kendiliğinden yerleşen betonun özellikleri üzerine ön ısıtmanın etkisi," *Black Sea Journal of Engineering and Science*, vol. 4, no. 3, pp. 81-88, 2021.
- [30] Anonim, "TS EN 12350-8-Beton-Taze beton deneyleri - Bölüm 8: Kendiliğinden yerleşerek sıkışan beton - Çökme yayılma deneyi," 2019.
- [31] Anonim, "TS EN 12350-9-Beton-Taze beton deneyleri - Bölüm 9: Kendiliğinden yerleşen beton - V hunisi deneyi," 2011.
- [32] Anonim, "TS EN 12350-10-Beton-Taze beton deneyleri - Bölüm 10: Kendiliğinden yerleşen beton - L kutusu deneyi," 2011.
- [33] Anonim, "TS EN 12390-3-Beton-Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini," 2019.
- [34] EFNARC, "The european guidelines for self-compacting concrete," 2005.
- [35] I. Alameri, M. Oltulu, and M. Ardahanlı, "Influence of preheating on the mechanical properties of high strength concrete with micro silica filler," *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 7, no. 2, pp. 1084-1093, 2020.