

## ALKALİ İLE AKTİVE EDİLMİŞ ÖĞÜTÜLMÜŞ DIATOMİTLİ HARÇLARIN DAYANIM ÖZELLİKLERİ

**Mustafa SARIDEMİR\***

*İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Niğde Üniversitesi, Niğde, Türkiye*

*Geliş / Received: 08.04.2016*

*Düzeltilmelerin gelişi / Received in revised form: 18.05.2016*

*Kabul / Accepted: 19.05.2016*

### ÖZ

Bu çalışmada, sodyum karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ile aktive edilmiş diatomitli harçların eğilme ve basınç dayanımı değerleri araştırılmıştır. Karışımlarda, Niğde Başmakçı bölgesinden temin edilen 0-5 mm boyutlarındaki kırılmış kalker kumu kullanılmıştır. Karışımlarda, bağlayıcıyı aktive etmek için kullanılan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ve kırılmış kalker miktarları sabit tutulmuştur. Sadece çimento ile üretilen kontrol harcına ek olarak, sabit oranda  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ile birlikte çimento yerine ağırlıkça % 0, 25, 50, 75 ve 100 oranlarında öğütülmüş diatomit kullanılarak harç numuneler üretilmiştir. Dahası aynı karışım oranlarındaki çimento yerine % 4 oranında titanyum dioksit ( $\text{TiO}_2$ ) kullanılarak da harç numuneler üretilmiştir. Eğilme ve basınç dayanımlarını belirlemek için üretilen numunelere deney gününe kadar kuru veya ıslak kür uygulanmıştır. Öğütülmüş diatomit ve  $\text{TiO}_2$  içeren harçlara kuru ve ıslak kür uygulandıktan sonra belirlenen eğilme ve basınç dayanımı sonuçları ile kontrol harcı sonuçları karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar çimento yerine kullanılan diatomit miktarı arttıkça,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ile aktive edilmiş diatomitli harçların eğilme ve basınç dayanımı değerlerinin azaldığını göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Diatomit, alkali aktivatör, harç, eğilme dayanımı, basınç dayanım

## THE STRENGTH PROPERTIES OF ALKALI-ACTIVATED GROUND DIATOMITE MORTARS

### ABSTRACT

In this study, the flexural and compressive strength values of ground diatomite mortars activated with sodium carbonate ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) were investigated. The crushed limestone with maximum size of 0-5 mm provided from Niğde-Başmakçı region was used. The amounts of  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  used to activate the binder and crushed limestone were kept constant used in the mixtures. In addition to the control mortar control produced by only cement, the mortar specimens using the replacement ratios of 0, 25, 50, 75 and 100% ground diatomite by weight of cement together with  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  at a constant rate were produced. Moreover, the mortar mixtures using the replacement of 4% titanium dioxide ( $\text{TiO}_2$ ) by weight of cement were produced in the same mixture proportions. The dry or wet curing was applied on the produced specimens until the testing day to determine the flexural and compressive strength values. The flexural and compressive strength results of mortars made with ground diatomite and  $\text{TiO}_2$  applied the dry and wet curing were compared with the results of control mortars. The experimental results show that the flexural and compressive strength values of ground diatomite mortars activated with  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  decreases as the amount of ground diatomite used instead of cement increases.

**Keywords:** Diatomite, alkali activator, mortar, flexural strength, compressive strength

\*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 388 225 24 85; e-mail/e-posta: msdemir@nigde.edu.tr

*ALKALİ İLE AKTİVE EDİLMİŞ ÖĞÜTÜLMÜŞ DIATOMİTLİ HARÇLARIN DAYANIM ÖZELLİKLERİ***1. GİRİŞ**

Beton üretim maliyetini azaltmak amacıyla, puzolanik özelliğe sahip birçok yapay ve doğal malzeme beton üretiminde kullanılmaktadır. Dahası çevresel düzenlemelerdeki yeni eğilimler, özellikle endüstriyel yan ürün olan granüle yüksek fırın cürufu, silis dumanı, uçucu kül ve pirinç kabuğu külü gibi atıkların harç ve beton üretiminde çimento yerine kısmen kullanılarak değerlendirilmesine yöneliktir. Ayrıca puzolanik özelliğe sahip doğal zeolit, tras ve metakaolin gibi katkıları da beton üretiminde son yıllarda çimento yerine yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Betonun temel bileşenlerinden olmayan bu yapay ve doğal malzemeler, genellikle betonun fiziksel, mekaniksel ve dayanıklılık özelliklerini iyileştirmek için kullanılmaktadır [1]. Dahası bu malzemeler özellikle yüksek dayanım, dayanıklılık, geçirimsizlik ve daha uzun hizmet süresi gerektiren yapılar için harç ve betonda çimento yerine belirli oranlarda yer değiştirilerek kullanılmaktadır. Harç ve beton üretiminde kullanılan bu katkıların davranışı hem fiziksel hem de kimyasal bir olaydır. Bu davranışın fiziksel kısmı çimento matrisindeki çimento tanecikleri arasına girerek buradaki boşlukları bu malzemelerin doldurmasıyla ve çimento ile agrega ara yüzeyindeki boşluk boyutunu bu malzemelerin azaltmasıyla açıklanır. Kimyasal kısım ise zayıf kalsiyum-hidroksit ( $\text{Ca}(\text{HO})_2$ ) kristalleri ile girdiği reaksiyon sonucunda, daha sağlam kalsiyum silikat hidrat jelleri oluşturmasıyla açıklanır [2, 3].

Diatomit, hücre duvarları silikadan meydana gelmiş, opal ve hidrate silika içeren, mikroskobik su bitkisi olan diatom kalıntılarıdır. Diatomitin sahip olduğu puzolanik aktivite, içerdiğinde bulunan amorf silis miktarına bağlıdır. Diatomitin yüksek miktarda kil minerali içermesi durumunda puzolanik aktivitesi düşük olur. Bu yüzden bazı çeşitleri, yaklaşık olarak  $700^\circ\text{C}$  ile  $1000^\circ\text{C}$  arasında ısı işleme maruz bırakılarak puzolanik aktivitesi artırılır. Yüksek su ihtiyacı yüzünden beton üretiminde diatomitin kullanılması uygun olmayabilir. Bu yüksek su ihtiyacı betonun dayanım ve dayanıklılığını azaltabilir. Ancak su ihtiyacı iyi bir şekilde ayarlanabilirse, diatomit ile yapılan beton sülfat etkilerine ve alkali agrega reaksiyonuna oldukça dayanıklı olur [4]. Bu olumsuz etkilere dayanıklılık, diatomitte bulunan amorf silisin  $\text{Ca}(\text{HO})_2$  ile reaksiyona girmesi sonucu oluşan kalsiyum silikat hidrat jelleriyle açıklanır [5]. Bundan dolayı beton üretiminde çimento ile yer değiştirilerek belli oranlarda kullanılabilir [6].

Son zamanlarda yapılan birçok çalışma, öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufun ve uçucu külün alkali aktivatörlerle bağlanabileceğini ve çimentoya gereksinin duymadan beton üretilebileceğini göstermiştir [7]. Silika ve alümina içeren her malzeme alkalilerle aktive edilebilir. Bundan dolayı yüksek fırın cürufu ve uçucu kül gibi amorf karakterli malzemeler bir aktivatör vasıtasıyla aktive edilerek bir bağlayıcıya dönüştürülebilir. Öğütülmüş yüksek fırın cürufunun ve uçucu külün alkaliler ile aktifleştirilmesi sonucunda çimento esaslı bağlayıcılardaki gibi kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) jeline benzer bir yapı oluşmaktadır [8]. Çimento kullanmadan, kimyasal alkali aktivatör kullanmak suretiyle, % 100 cüruf ve uçucu küllü bağlayıcılar, sahip oldukları özellikler ve sergiledikleri performans göz önüne alındığında, çimentoya alternatif modern bir bağlayıcı malzeme tipi olarak görülebilir [9, 10].

Son yıllarda, yapılan birçok çalışma endüstriyel yan ürünleri ve doğal puzolanları alkali aktivatör ile aktifleştirerek çimentosuz harç ve beton üretilebileceğini göstermiştir. Bu çalışmaların çoğu endüstriyel yan ürünlerden olan öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu ve uçucu külü alkalilerle aktifleştirmek için yapılmıştır. Genellikle, bu aktifleştirmelerde kullanılan alkaliler sodyum hidroksit ( $\text{NaOH}$ ), sodyum meta silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), sodyum karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ve potasyum hidroksit ( $\text{KOH}$ ) çözeltileridir [11-14]. Sadece çimento ile üretilen harç ve betonlara göre, alkalilerle aktive edilmiş bağlayıcılar, daha yüksek erken dayanım [15-18], daha düşük porozite, daha düşük hidratasyon ısı [19], kimyasal etkilere karşı daha iyi dayanıklılık [20-22], donma çözülme etkisine karşı daha iyi dayanıklılık [10], daha kuvvetli matris-agrega ara yüzeyi [23] ve daha iyi geçirimsizlik gibi önemli avantajlar gösterir. Alkali aktivatörden dolayı, ani priz [24], işlenebilirlikte azalma, daha fazla mikro çatlak oluşumu, daha fazla büzülme [25, 26] ve daha fazla çiçeklenme gibi bazı dezavantajları da gösterir.

Özellikle, öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu ve uçucu külü alkalilerle aktifleştirmek için birçok çalışma yapılmıştır. Atış ve ark. [27] alkali aktivatör olarak sıvı  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ,  $\text{NaOH}$  ve  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  kullanarak aktifleştirdikleri çimentosuz cürufulu harçları 0,5 su-bağlayıcı oranında üretmişlerdir. Bu numuneler üzerinde 7, 28 ve 90 günlük eğilme ve basınç dayanımı deneyleri ile 6 aya kadar olan kuruma rötresi ölçümleri yapmışlardır. En yüksek eğilme ve basınç dayanımı değerlerini sıvı  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ile ürettikleri numunelerden elde etmişlerdir. Normal çimento ile üretilmiş kontrol karışımlarına göre, sıvı  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ile aktive edilmiş cürufulu numunelerde ortaya çıkan rötrenin yaklaşık olarak 6 kat daha fazla olduğunu gözlemişlerdir. Krizan ve Zivanovic [28]  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ile aktive edilmiş cürufulu harçların dayanım gelişimleri ve kuruma rötresini araştırmışlardır. Cürufun aktivasyonu için 0,6 ile 1,5 arasında silikat modülüne sahip uygun dozajlı  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  kullanmışlardır. Bu aktivasyon oranlarında, çimento ile üretilen kontrol karışımlarından daha yüksek dayanım elde edilebileceğini belirtmişlerdir.  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ile aktive edilmiş cürufulu harçların kuruma rötresinin, çimento ile üretilen kontrol karışımlarına kıyasla oldukça fazla olduğunu, cam suyu dozajının artmasıyla ya da yükselen silikat modülüyle rötrenin daha da şiddetlendiğini rapor edilmiştir. Chi ve Huang [29] alkali ile aktive edilmiş farklı oranlarda

## M. SARIDEMİR

uçucu kül ve yüksek fırın cürüflü harçların kuruma rötresi, su emme, eğilme ve basınç dayanımı değerlerini araştırmışlardır. Kuruma büzülmesi değerleri hariç su emme, eğilme ve basınç dayanımı değerlerinin normal çimento ile üretilen kontrol harçları ile mukayese edilebilir seviyede olduğunu belirtmişlerdir. % 4 ve % 6 Na<sub>2</sub>O oranında alkali ile aktive edilmiş % 50 yüksek fırın cürufu + % 50 uçucu kül kullanılan karışımlarda, 28 günlük kür sonunda sırasıyla 80 MPa ve 105,8 MPa olarak en yüksek basınç dayanımı değerlerini elde etmişlerdir. Aynı karışımlarda basınç dayanımına paralel olarak % 6 Na<sub>2</sub>O içeren numunelerin eğilme dayanımını 9,32 MPa olarak bulurlarken, % 6 Na<sub>2</sub>O içeren numunelerin eğilme dayanımı değerlerini daha fazla bulmuşlardır. Puertas ve ark. [30] NaOH ile aktifleştirilen % 50 uçucu kül + % 50 yüksek fırın cürüflü harçlara 25°C kür sıcaklığı uygulandıktan sonra 28 günlük basınç dayanımı değerlerinin 50 MPa değerine ulaştığını belirtmişlerdir. Haha ve ark. [31] NaOH ve Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> ile aktifleştirilen iki farklı Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriğine sahip yüksek fırın cürüflü harçlar üretmişlerdir. Üretilen numuneleri deney gününe kadar oda sıcaklığında kür etmişlerdir. Numuneler üzerinde basınç dayanım deneyleri yapmışlardır. NaOH ile aktive edilen numunelerde 1 gün sonunda basınç dayanımı değeri elde ederlerken, Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> ile aktive edilen numunelerde herhangi bir dayanım değeri elde edememişlerdir. Ancak Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> ile aktive edilen numunelerde 7 günden sonraki dayanım değerlerini, NaOH ile aktive edilen numunelerden hep daha yüksek bulmuşlardır. 180 gün sonunda ise Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> ile aktive edilen numunelerin sahip olduğu dayanım değerlerinin, NaOH ile aktive edilen numunelerinkinden 2 kat daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Dahası, NaOH ile aktifleştirilen numunelerin erken dayanımlarını yüksek olduğunu, Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> ile aktifleştirilen numunelerin ise 7 günden sonraki dayanımlarının yüksek olduğunu ifade etmişlerdir. Roy ve Idorn [32] alkalilerle aktive edilmiş cürüflü betonları normal çimentolu betonlarla kıyaslamışlardır. Alkalilerle aktive edilmiş cürüflü betonların düşük hidrasyon ısısına, yüksek erken dayanıma ve olumsuz çevre koşullarında daha üstün dayanıklılığa sahip olduğunu belirtmişlerdir. Wang ve ark. [11] alkali ile aktive edilmiş cürüflü çimento ve beton üzerine yaptıkları çalışmada, Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> ile aktivasyonun çok hızlı sertleşme ve yüksek basınç dayanımı değeri verdiğini bildirmişlerdir. Chang ve ark. [33] Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> esaslı alkaliler ile aktive edilmiş cürüflü hamurların özellikleri üzerinde fosforik asit ve alçının etkisini araştırmışlardır. Tek başına fosforik asit kullanılması durumunda, priz süresi ve kuruma rötresinin arttığını ve erken yastaki basınç dayanımının azaldığını gözlemişlerdir. Tek başına alçının kullanılması durumunda, priz süresi ve kuruma rötresinin azalttığını ve basınç dayanımı değerlerinin arttırdığını gözlemişlerdir. Fosforik asit ve alçının birlikte kullanılması durumunda ise, fosforik asidin geciktirici etkisinin engellendiği, alçının rötre azaltıcı etkisinin engellendiği ve basınç dayanımı gelişiminin fosforik asidin yalnız başına kullanımına benzediği belirtilmiştir. Puertas ve Fernández-Jiménez [34] alkali ile aktive edilmiş uçucu kül + cüruf karışımlarının dayanım gelişimlerini, mineralojik ve mikro yapısal özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada, % 50 uçucu kül + % 50 cürüflü karışımları NaOH çözeltisi ile aktive etmişlerdir. Bu karışımlarda, su-bağlayıcı oranını 0,35 olarak belirlemişlerdir. Alkali ile aktive edilmiş cüruf + uçucu külün hidrasyonuyla birlikte iki ayrı reaksiyonun meydana geldiğini gözlemişlerdir. 22°C sıcaklıkta kür ettikleri numunelerden 28 gün sonunda yaklaşık olarak 65 MPa basınç dayanımı değerleri elde etmişlerdir. Bakharev ve ark. [11] çimentosuz cürufu sıvı NaOH, Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ve Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ile aktifleştirerek harç numuneler üretmişlerdir. Bu numunelere 60°C kür sıcaklığı uygulamışlardır. En yüksek basınç dayanımı değerlerini sıvı NaOH ile aktifleştirilen numuneler üzerinde gözlemişlerdir. El-Didamony ve ark. [35] NaOH ve Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> ile aktive edilmiş cürüflü harçlar üretmişlerdir. Karışımlarda deniz suyu ve musluk suyu kullanmışlardır. En yüksek basınç dayanımı değerlerini deniz suyu ile birlikte sıvı NaOH ile aktifleştirilen numuneler üzerinde gözlemişlerdir. Oh ve ark. [36] öğütülmüş yüksek fırın cürufunu ve yüksek kalsiyum içerikli uçucu külü NaOH ve Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> ile 80°C sıcaklıkta aktifleştirerek harçlar üretmişlerdir. Ürettikleri numunelerde yüksek basınç dayanımı değerleri elde etmişlerdir. Guo ve ark. [37] C sınıfı uçucu külü NaOH ve Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> ile 75°C sıcaklıkta aktifleştirerek harç numuneler üretmişlerdir. Ürettikleri numunelerde yüksek basınç dayanımı değerleri elde etmişlerdir. Chindaprasirt ve ark. [38] uçucu küllü NaOH ve Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> ile yaklaşık 2 gün 75°C sıcaklıkta aktifleştirerek harçlar üretmişlerdir. Ürettikleri numunelerde yüksek basınç dayanımı değerleri elde etmişlerdir. Fernandez ve Palomo [39] uçucu küllü NaOH, NaOH + Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ve NaOH + Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> ile 20 saat 85°C sıcaklıkta aktifleştirerek harç numuneler üretmişlerdir. En yüksek eğilme dayanımı değerlerini NaOH ile aktifleştirdikleri numunelerde, en yüksek basınç dayanımı değerlerini ise NaOH + Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> ile aktifleştirdikleri numunelerde gözlemişlerdir. Khalifeh ve ark. [40] C sınıfı uçucu külü Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> ve NaOH ile 87°C ve 125°C sıcaklıkta aktifleştirerek harç numuneler üretmişlerdir. En yüksek basınç dayanımı değerlerini 87°C sıcaklıkta aktifleştirdikleri numunelerde gözlemişlerdir.

Bu deneysel çalışmada, sadece çimento ile üretilen kontrol harcına ek olarak, alkali ile aktifleştirilmiş % 0, 25, 50, 75 ve 100 oranlarında öğütülmüş diatomit içeren harçlar ile aynı karışım oranlarında çimento yerine % 4 TiO<sub>2</sub> kullanılan harçlar üretilmiştir. Üretilen harçlara deney gününe kadar kuru kür (laboratuvar ortamında poşet içerisinde) ve ıslak kür (kür havuzunda su içerisinde) uygulanmıştır. 7, 28 ve 56 gün süresince bu iki farklı kür uygulanan numunelerin birim ağırlık, eğilme ve basınç dayanımı değerleri belirlenmiştir. Ayrıca eğilme ve basınç dayanımı değerleri arasındaki ilişkiler irdelenmiştir.

## ALKALİ İLE AKTİVE EDİLMİŞ ÖĞÜTÜLMÜŞ DIATOMİTLİ HARÇLARIN DAYANIM ÖZELLİKLERİ

## 2. MATERYAL VE METOT

## 2.1. Materyal

Çalışmada kullanılan çimento Niğde Çimsa Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş. tarafından üretilmiş, TS EN 197-1 [30] standardına uygun, erken dayanımı yüksek CEM I 42.5R tipi Portland çimentosudur. Bu çimentonun özellikleri Tablo 1 ve 2’de verilmiştir. Çalışmada kullanılan öğütülmüş diatomit, Nevşehir bölgesinden sağlanmış olup, kimyasal özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. Oluşma ortamının yapısına ve şartlarına bağlı olarak diatomitin yapısında organik kalıntılar, kil, volkanik kül ve kum bulunabilir. Çalışma kapsamında kullanılan öğütülmüş diatomitin puzolanik aktivitesi TS EN 197-1 [41] ve ASTM C 311 [42] standartlarına uygundur. Dahası ısı işlem uygulamadan harç karışımlarında kullanılan diatomitin taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi görüntüsü Şekil 1’de verilmiştir. Şekil 1a’daki SEM analizinde, araziden alınan ham diatomitin elipsoidal bir şekle sahip olduğu görülmektedir. Şekil 1b’deki SEM analizinde ise, bütün haldeki diatomit fosilinin tam ortadan ikiye bölünmüş şekli ve bu şeklin altında benzer diatomit fosilinin bütün hali görülmektedir. Bu SEM analizlerinden de görüldüğü gibi diatomit birbirinden bağımsız sıralı gözenekleri olan morfolojik bir yapıya sahiptir. Karışımlarda kullanılan titanyum dioksit ( $TiO_2$ ) doğada saf olarak bulunmamakta ve genellikle demir titanyum trioksit ( $Fe_3TiO_3$ ) cevherinden üretilmektedir. En yaygın kullanılan beyaz pigment olan  $TiO_2$  çok beyazdır. Kullanım alanları arasında gıda, kozmetik ve eczacılık ürünleri gelmektedir. Dahası beyazlık ve opaklık sağlayan pigment olarak boya, plastik ve kağıt endüstrilerinde de yaygın kullanım alanı bulmaktadır. Karışımlarında kullanılan  $TiO_2$ ’nin fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 3’te verilmiştir. Deneysel çalışmada çimento yerine kullanılan  $TiO_2$ ’nin özgül ağırlığı 3,7 olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada çimento ile yer değiştirilerek kullanılan öğütülmüş diatomiti aktive etmek için  $Na_2CO_3$  kimyasalı kullanılmıştır.

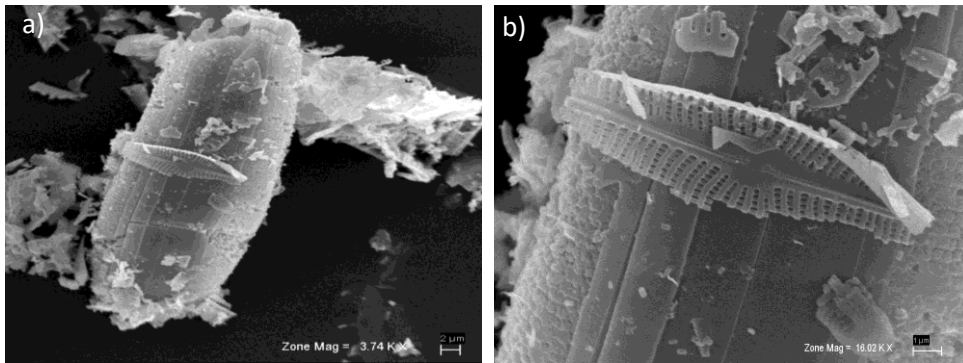
**Tablo 1.** Çimento ve öğütülmüş diatomitin kimyasal özellikleri

Oksit	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	KK
Çimento	21,2	5,9	2,1	62,1	2,3	3,4	0,8	0,4	1,8
Diatomit	86,36	3,12	1,75	1,84	0,73	0,2	0,35	0,57	5,13

KK: Kızdırma kaybı

**Tablo 2.** Çimentonun fiziksel özellikleri

Fiziksel özellikler		Sonuçlar
Özgül ağırlık		3,10
Priz süresi	İlk (dakika)	130
	Son (dakika)	215
İncelik	Özgül yüzey (cm <sup>2</sup> /g)	3310



**Şekil 1.** Karışımlarda kullanılan diatomitin SEM görüntüsü

**Tablo 3.** Titanyum dioksitin özellikleri

<b>Fiziksel durumu</b>	Amorf kokusuz beyaz toz
<b>Erime sıcaklığı (°C)</b>	1800
<b>İncelik</b>	3310
<b>Özgül ağırlık</b>	3.7
<b>Çözünürlük</b>	Suda çözünmez
<b>pH</b>	8

Niğde Başmakçı bölgesinden temin edilen 0-5 mm tane boyutlarında kırma kalker kumu deneysel çalışmada kullanılmıştır. Karışımlarda kullanılan kırma kalker kumunun özgül ağırlığı 2,58 olarak belirlenmiştir. Dahası TS 802 [43] standardında belirtilen ince agrega tane büyüklüğü dağılımı eğrisine ait sınır değerler ve kırma kalker kumunun eleklerden geçen yüzde miktarı Tablo 4'te verilmiştir. Harç karışımlarında ve üretilen harçların ıslak küründe, Niğde Belediyesine ait şehir şebekesinden sağlanan içme suyu kullanılmıştır. Taze harç karışımlarında işlenebilirliği sağlayabilmek için TS EN 934-2+A1 [44] ve ASTM C 494-99a [45] standartlarına uygun Glenium 51 olarak bilinen süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Bu akışkanlaştırıcı, yüksek oranda su azaltıcı özelliği olan, erken ve ileriki yaşlarda yüksek dayanım ve dayanıklılık gerektiren betonlar için geliştirilmiş, yeni nesil süper akışkanlaştırıcı beton katkısıdır. % 50 bağıl nem koşullarında ve +20°C sıcaklıkta üretilen bu akışkanlaştırıcının özellikler Tablo 5'te verilmiştir.

**Tablo 4.** Kullanılan kırma kalker kumunun elek analizi

<b>Tane boyutu (mm)</b>	0,063	0,15	0,25	0,5	1	2	4	5,6	8
<b>Elekten geçen (%)</b>	2,5	10	24,5	42,5	59,5	78,5	98,5	100	100
<b>Sınırlar (%)</b>	0-3	3-10	8-25	20-50	44-74	69-90	85-98	95-100	100

**Tablo 5.** Yeni nesil süper akışkanlaştırıcının özellikleri

<b>Malzemenin yapısı</b>	Polikarboksilik Eter Esaslı
<b>Renk</b>	Amber
<b>Yoğunluk (kg/litre)</b>	1,082 – 1,142
<b>Klor içeriği (%)</b>	< 0,1
<b>Alkali içeriği (%)</b>	< 3

## 2.2. Metot

Çalışmada, sadece çimento ile kontrol karışımı, % 6 Na içeren sadece çimento ile harç karışımı, % 6 Na ve %4 TiO<sub>2</sub> içeren sadece çimento ile harç karışımı ile numuneler üretilmiştir. Dahası diğer karışımlarda % 6 Na ve %4 TiO<sub>2</sub> sabit olmak üzere % 25, 50, 75 ve 100 yer değiştirme oranlarında öğütülmüş diatomit çimento yerine ağırlıkça kullanılmıştır. Karışımlarda kırılmış kalker kumu sabit miktarda kullanılmıştır. Öğütülmüş diatomiti aktive etmek için sabit miktarda Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> kullanılmıştır. Tablo 6'da, 11 farklı harç karışımında kullanılan malzemelerin miktarları verilmiştir. Harç karışımları hazırlanırken mikserle sırasıyla kırılmış kalker kumu, çimento, bağlayıcı, su, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ve süper akışkanlaştırıcı eklenmiştir. Kırılmış kalker kumu ve bağlayıcılar mikserle eklendikten sonra, mikser yavaş konumda 30 sn çalıştırılmıştır. Sonra mikser yavaş hızla çalışırken karışım suyu ve Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> eklenmiştir. Daha sonra mikserle süper akışkanlaştırıcı eklenerek hızlı konumda mikser 30 sn daha çalıştırılmış ve 15 sn bekletilmiştir. Son olarak mikser hızlı konumda 60 sn daha çalıştırılarak karıştırma işlemi sonlandırılmıştır.

Her bir harç karışımı üretildikten sonra yayılma tablası üzerinde yayılma değerleri belirlenmiştir. Yayılma değerleri belirlenen karışımlar 40x40x160 mm boyutlarındaki prizmatik harç kalıplarına vibratör masasında sıkıştırılarak yerleştirilmiştir. Bir gün sonra kalıplardan çıkartılan numunelere, laboratuvar koşullarında hava almaz poşet içerisinde (kuru kür) ve 23±2°C sıcaklıktaki su içerisinde (ıslak kür) deney gününe kadar kür uygulanmıştır. Deney günü suyu doygun kuru yüzey durumundaki numunelerin ilk olarak birim ağırlık değerleri belirlenmiştir. Daha sonra eğilme dayanımı değerleri, 40x40x160 mm boyutlarında prizmatik numuneler

**ALKALİ İLE AKTİVE EDİLMİŞ ÖĞÜTÜLMÜŞ DIATOMİTLİ HARÇLARIN DAYANIM ÖZELLİKLERİ**

üzerinde üç nokta eğilme deneyi uygulanarak belirlenmiştir. Basınç dayanımı değerleri eğilme testinde ikiye bölünmüş numunelerin alt ve üst yüzeyine 40x40 mm plakalar yerleştirilerek belirlenmiştir. Bu dayanım değerleri TS EN 1015-11 [35] standardına uygun olarak belirlenmiştir.

**Tablo 6.** Karışımlarında kullanılan malzeme miktarları (kg/m<sup>3</sup>)

Karışım Kodu	Çimento (kg/m <sup>3</sup> )	ÖD (kg/m <sup>3</sup> )	Su (kg/m <sup>3</sup> )	KK (kg/m <sup>3</sup> )	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	TiO <sub>2</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	SA (kg/m <sup>3</sup> )	Yayılma (cm)
K	500	0	250	1350	0	0	0	16
KA	500	0	250	1350	70	0	29,60	14,5
25ÖD	375	125	300	1350	70	0	37,00	10
50ÖD	250	250	350	1350	70	0	44,50	9,5
75ÖD	125	375	400	1350	70	0	52,00	8,5
100ÖD	0	500	450	1350	70	0	55,60	8,5
KAT	480	0	250	1350	67	20	29,60	13,5
25ÖDT	360	120	300	1350	67	20	37,00	9,5
50ÖDT	240	240	350	1350	67	20	44,50	9
75ÖDT	120	360	400	1350	67	20	52,00	8,5
100ÖDT	0	480	450	1350	67	20	55,60	8

ÖD: Öğütülmüş diatomit, KK: Kalker kumu, SA: Süper akışkanlaştırıcı

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

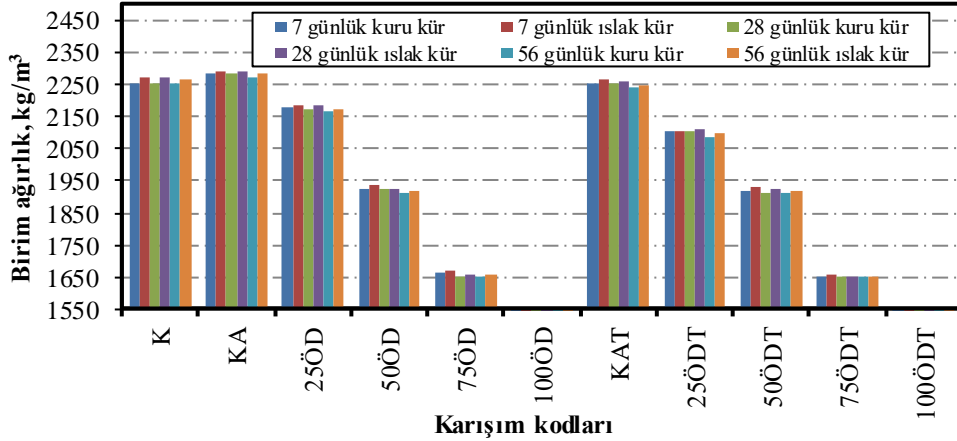
#### 3.1. Yayılma

Üretilen taze harç karışımlarında yeterli işlenebilirliği sağlayabilmek için süper akışkanlaştırıcı kullanılmış ve yayılma tablası üzerinde bu harçların yayılma değerleri ölçülmüştür. Alkali aktivatör olarak Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> kullanılan öğütülmüş diatomitli harçlarda, çimento yer değışim oranındaki diatomit miktarı arttıkça yeterli işlenebilirliğin sağlanabilmesi için karışım suyu ve süper akışkanlaştırıcı miktarı artırılmıştır. Yayılma tablasının üzerine yerleştirilen koniye harç karışımları yerleştirildikten sonra koninin üzeri düzeltilmiştir. Daha sonra, harcın yayılması için koni çıkarılmış ve yayılma tablasında 15 vuruş yapıldıktan sonra 4 farklı yönden harçların yayılma çapları ölçülmüştür. Tablo 6'da verilen yayılma değerleri, ölçülen 4 değerin aritmetik ortalamasıyla belirlenmiştir. Alkali ile aktive edilmiş öğütülmüş diatomit miktarı arttıkça taze harçların yayılma değerlerinin azaldığı gözlenmiştir. Dahası diğer karışımlara göre, TiO<sub>2</sub> kullanılan karışımlarda da yayılma değerinin azaldığı gözlenmiştir.

#### 3.2. Sertleşmiş Birim Ağırlık

Tüm harç karışımlarının 7, 28 ve 56 günlük sertleşmiş birim ağırlık değerleri, eğilme ve basınç dayanımı değerlerinin belirlenmesi için üretilen 40x40x160 mm boyutlarındaki prizma numunelerin tartılmasıyla ölçülmüştür. Bu ölçümde, ıslak kür koşuluna maruz kalan numunelerin sudan çıkarıldıktan sonraki suya doygun kuru yüzey durumundaki birim ağırlık değerleri göz önünde bulundurulmuştur. Islak ve kuru kür koşuluna maruz kalan her bir karışıma ait 3 numunenin ortalama ağırlıklarının numune hacmine bölünmesiyle birim ağırlık değerleri belirlenmiştir. Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ile aktifleştirilen öğütülmüş diatomitli harçların 7, 28 ve 56 günlük sertleşmiş birim ağırlık değerleri Şekil 2'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi harç karışımlarında çimento yerine ağırlıkça kullanılan öğütülmüş diatomit miktarı arttıkça birim ağırlık değerleri azalmıştır. Bu azalmanın nedeni çimento özgül ağırlığına göre, öğütülmüş diatomitin özgül ağırlığının daha düşük olmasıdır. Çimento yerine çok az miktarda TiO<sub>2</sub> kullanılan karışımlar incelendiğinde ise birim ağırlık değerlerinde çok fazla bir değışim olmamıştır. Birim ağırlık değerlerine kuru ve ıslak kür koşullarının fazla bir etkisi olmamıştır. Çimento yerine ağırlıkça % 100 öğütülmüş diatomit kullanılan karışımlar tam olarak bağlanmadığı için birim ağırlık değerleri belirlenememiştir.

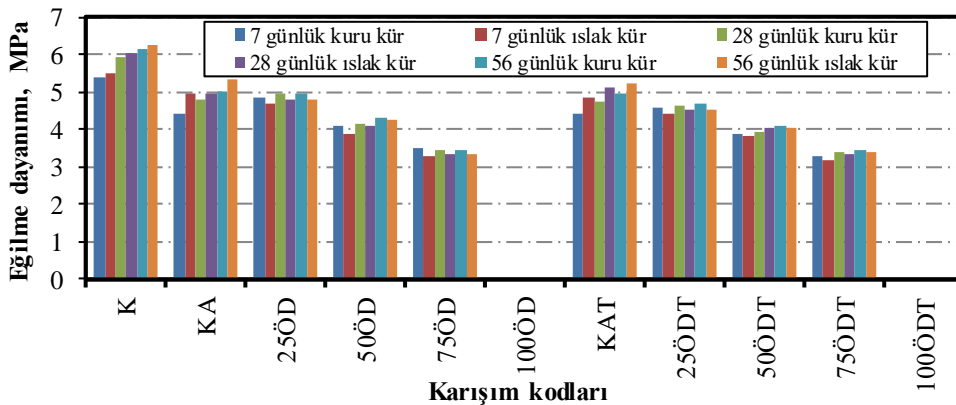
M. SARIDEMİR



Şekil 2. Diatomitli harçların sertleşmiş birim ağırlık değerleri

### 3.3. Eğilme Dayanımı

Çalışmada, kuru ve ıslak kür koşullarına maruz kalan 40x40x160 mm boyutlarında prizma numuneler üzerinde  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ile aktifleştirilmiş diatomit kullanılan harçlar ve  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ile aktifleştirilmiş diatomit ile birlikte  $\text{TiO}_2$  kullanılan harçların 7, 28 ve 56 günlük eğilme dayanımı değerleri belirlenmiştir. Kuru ve ıslak kür koşullarına maruz kalan 11 farklı her bir karışımın eğilme deneylerinde 3 numune kullanılmıştır. Bu üç numunenin kırılma yüklerine göre hesaplanan 7, 28 ve 56 günlük eğilme dayanımı değerleri Şekil 3'te verilmiştir. Sadece çimento ile üretilen kontrol harçlara göre,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ile aktifleştirilmiş diatomit kullanılan harçlar ve  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ile aktifleştirilmiş diatomit ile birlikte  $\text{TiO}_2$  kullanılan harçların eğilme dayanımı değerleri Şekil 3'te görüldüğü gibi azalmıştır.  $\text{TiO}_2$  kullanılmayan harçlara göre,  $\text{TiO}_2$  kullanılan harçların eğilme dayanımı değerleri de bir miktar azalmıştır. Çimento yerine ağırlıkça öğütülmüş diatomit kullanılan numunelerde, en yüksek eğilme dayanım değerleri % 25 öğütülmüş diatomitli karışımlarda gözlenirken, en düşük eğilme dayanımı değerleri % 75 öğütülmüş diatomitli karışımlarda gözlenmiştir. Karışımlarda % 100 öğütülmüş diatomit kullanılan numuneler bağlanmadığı için bu numunelerde eğilme dayanımı değerleri belirlenememiştir. Sadece çimento ile üretilen kontrol harçları hariç, ıslak kür koşuluna maruz kalan numunelere göre, kuru kür koşuluna maruz kalan numunelerin eğilme dayanımı değerlerinin bir miktar daha fazla olduğu gözlenmiştir. Karışımlarda çimento yerine kullanılan öğütülmüş diatomit miktarının artması karışımın su ihtiyacını arttırmış, bu durumda eğilme dayanımı değerlerinin düşmesine neden olmuştur. Ayrıca, kuru kür koşuluna göre, ıslak kür koşulu diatomitin mikro gözenek yapısının su tutma özelliğinden dolayı eğilme dayanım değerlerinin düşmesine neden olmuştur.



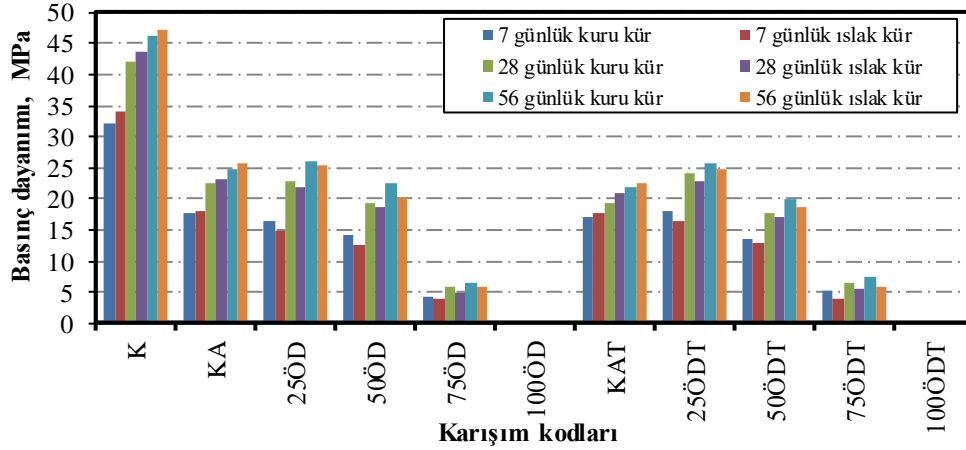
Şekil 3. Diatomitli harçların eğilme dayanımı değerleri

### 3.4. Basınç Dayanımı

Kuru ve ıslak kür koşullarına maruz kalan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ile aktifleştirilmiş diatomit kullanılan harçlar ve  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ile aktifleştirilmiş diatomit ile birlikte  $\text{TiO}_2$  kullanılan harçların 7, 28 ve 56 günlük basınç dayanımı değerleri eğilme

**ALKALİ İLE AKTİVE EDİLMİŞ ÖĞÜTÜLMÜŞ DIATOMİTLİ HARÇLARIN DAYANIM ÖZELLİKLERİ**

deneylerinde ikiye bölünen numuneler üzerinde belirlenmiştir. İkiye bölünen numunelerin alt ve üstüne 40x40 mm plakalar yerleştirilerek basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Bu şekilde basınç deneyleri yapılan 3 numunenin ortalaması alınarak belirlenen 7, 28 ve 56 günlük basınç dayanımı değerleri Şekil 4'te verilmiştir. Sadece çimento ile üretilen kontrol harçlarına göre,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ile aktifleştirilmiş diatomitli harçların basınç dayanımı değerleri şekilde görüldüğü gibi daha düşük çıkmıştır.  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ile aktifleştirilmiş diatomitli harçlara göre de,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ile aktifleştirilmiş diatomit ile birlikte  $\text{TiO}_2$  kullanılan harçların da basınç dayanımı değerleri düşük çıkmıştır. Tüm karışımlar incelendiğinde, en yüksek basınç dayanım değerleri kontrol harçlarında gözlenirken, en düşük basınç dayanım değerleri de % 75 öğütülmüş diatomit ile birlikte  $\text{TiO}_2$  kullanılan harçlarda gözlenmiştir. % 100 öğütülmüş diatomit ve % 100 öğütülmüş diatomit ile birlikte  $\text{TiO}_2$  kullanılan harçlarda basınç dayanımı değerleri belirlenememiştir. Beklendiği gibi kür süresi arttıkça hem kuru kür hem de ıslak kür koşullarına maruz kalan numunelerin basınç dayanımı değerleri artmıştır. Dahası eğilme dayanımı değerlerinde olduğu gibi, kuru kür koşuluna maruz kalan numunelerin ıslak kür koşuluna maruz kalan numunelere göre basınç dayanımı değerlerinin daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeni ise şu şekilde açıklanabilir. Karışımlarda kullanılan bağlayıcı ve su arasında kimyasal reaksiyonlar ile hidrasyon meydana gelir. Hidrasyon sonucunda da bağlayıcının sertleşmesiyle kalsiyum silikat hidrat jeli oluşur. Bu kalsiyum silikat hidrat jeli de bağlayıcıya bağlayıcılık ve dayanım özelliği kazandırır. Bu bağlayıcılık ve dayanım özelliği de, meydana gelen kalsiyum silikat hidrat jelleri arasındaki çekim kuvvetiyle oluşur. Ancak, ıslak kür uygulanan numunelerin bünyesinde öğütülmüş diatomitin su emiciliği özelliğinden dolayı gereğinden daha fazla su bulunmaktadır. Gereğinden fazla bulunan bu su da, kuru kür koşuluna maruz kalan numunelere göre, ıslak kür koşuluna maruz kalan numunelerin basınç dayanımı değerlerinin düşürmüştür.

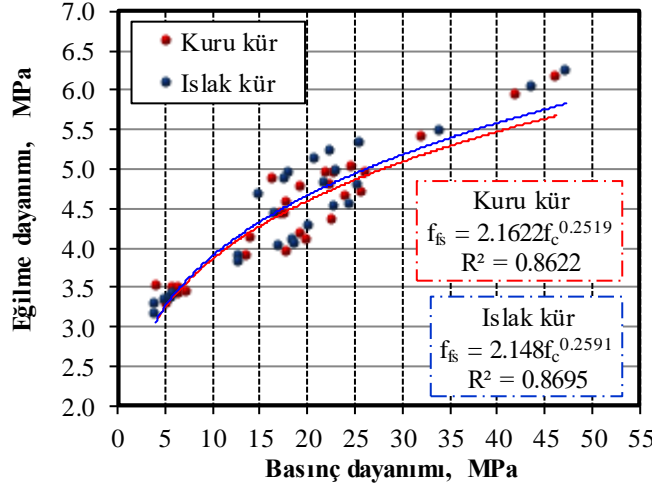


Şekil 4. Diatomitli harçların basınç dayanımı değerleri

### 3.5. Eğilme Dayanımı ile Basınç Dayanımı İlişkisi

Kuru ve ıslak kür koşullarına maruz kalan numunelerin eğilme dayanımı ( $f_{fs}$ ) ve basınç dayanımı ( $f_c$ ) değerleri Şekil 5'te görüldüğü gibi ilişkilendirilmiştir. Bu ilişkiler sonucunda, kuru ve ıslak kür koşullarına maruz kalan numunelerin  $f_c$  değerlerinden  $f_{fs}$  değerlerinin hesaplandığı formüller ve  $R^2$  değerleri şekil üzerinde verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, kuru ve ıslak kür koşullarına maruz kalan numunelerin  $f_{fs}$  ile  $f_c$  değerleri arasında yüksek bir korelasyon gözlenmiştir. Bu yüksek korelasyonu şekil üzerinde verilen  $R^2$  değerleri açıkça göstermektedir. Dahası bu ilişkilerden elde edilen denklemler yardımıyla kuru ve ıslak kür koşullarına maruz kalan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ile aktifleştirilmiş diatomit kullanılan harçlar ve  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ile aktifleştirilmiş diatomit ile birlikte  $\text{TiO}_2$  kullanılan harçların  $f_c$  değerlerinden  $f_{fs}$  değerleri hesaplanabilir. Sonuç olarak, kuru ve ıslak kür koşullarına maruz kalan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ile aktifleştirilmiş diatomit kullanılan harçlar ve  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ile aktifleştirilmiş diatomit ile birlikte  $\text{TiO}_2$  kullanılan harçların  $f_{fs}$  ve  $f_c$  değerleri arasında üstel bir ilişkinin olduğu söylenebilir.





Şekil 5. Diatomitli harçların eğilme ve basınç dayanımı ilişkisi

#### 4. SONUÇLAR

Kuru ve ıslak kür koşullarına maruz kalan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ile aktifleştirilmiş diatomit kullanılan harçlar ve  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ile aktifleştirilmiş diatomit ile birlikte  $\text{TiO}_2$  kullanılan harçların deneysel çalışmalarından aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

-  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ile aktifleştirilmiş diatomitli harçlarda kullanılan öğütülmüş diatomit miktarı arttıkça, karışımların su ihtiyacı ve yeterli işlenebilirlik için kullanılan süper akışkanlaştırıcı miktarı artmıştır.

- Sadece çimento ile üretilen kontrol harçlarına göre,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ile aktifleştirilmiş diatomit kullanılan harçlar ve  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ile aktifleştirilmiş diatomit ile birlikte  $\text{TiO}_2$  kullanılan harçların eğilme ve basınç dayanımı değerleri daha düşük çıkmıştır.

- Islak kür koşuluna maruz kalan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ile aktifleştirilmiş diatomit ve  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ile aktifleştirilmiş diatomit ile birlikte  $\text{TiO}_2$  kullanılan harç numunelerine göre, kuru kür koşuluna maruz kalan aynı karışımlardaki harç numunelerin eğilme ve basınç dayanımı değerleri daha yüksek çıkmıştır.

- Kuru ve ıslak kür koşullarına maruz kalan numunelerin eğilme ve basınç dayanımı değerleri arasında yüksek korelasyonlar gözlenmiştir. Bu yüksek korelasyonları  $R^2$  değerleri açıkça göstermektedir. Dahası bu korelasyonlara göre kuru ve ıslak kür koşullarına maruz kalan numunelerin basınç dayanımı değerlerinden eğilme dayanımı değerlerini hesaplamak için denklemler önerilmiştir.

#### KAYNAKLAR

- [1] HAN, S.H., KIM, J.K., PARK, Y.D., "Prediction of Compressive Strength of Fly Ash Concrete by New Apparent Activation Energy Function", Cement and Concrete Research, 33, 965-971, 2003.
- [2] ÖZCAN, F., Silis Dumanı İçeren Harç ve Betonların Özellikleri ve Hızlandırılmış Kür ile Dayanım Tahmini, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2005.
- [3] ÖZKUL, H., TAŞDEMİR, M.A., TOKYAY, M., UYAN, M., Her Yönüyle Beton, Türkiye Hazır Beton Birliği, Ankara, Türkiye, 2004.
- [4] GÖKKONCA KARAHİSAR E., Diatomit Katkılı Harçların Bazı Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinin Değişiminin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 2010.
- [5] XU, S., WANG, J., MA, Q., ZHAO, X., ZHANG, T., "Study on the Lightweight Hydraulic Mortars Designed by the Use of Diatomite as Partial Replacement of Natural Hydraulic Lime and Masonry Waste as Aggregate", Construction and Building Materials, 73, 33-40, 2014.
- [6] ERGÜN, A., "Effects of the Usage of Diatomite and Waste Marble Powder as Partial Replacement of Cement on the Mechanical Properties of Concrete", Construction and Building Materials, 25, 806-812, 2011.
- [7] COLLINS, F.G., SANJAYAN, J.G., "Workability and Mechanical Properties of Alkali Activated Slag Concrete", Cement and Concrete Research, 29, 455-458, 1999.

*ALKALİ İLE AKTİVE EDİLMİŞ ÖĞÜTÜLMÜŞ DİATOMİTLİ HARÇLARIN DAYANIM ÖZELLİKLERİ*

- [8] AYDIN, S., Alkalilerle Aktive Edilmiş Yüksek Fırın Cürufu Bağlayıcılı Lifli Kompozit Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2010.
- [9] CHANG, J.J., YEIH, W., HUNG C.C., “Effects of Gypsum and Phosphoric Acid on the Properties of Sodium Silicate-Based Alkali-Activated Slag Pastes”, *Cement and Concrete Composites*, 27, 85–91, 2005.
- [10] PUERTAS, F., AMAT, T., JIMÉNEZ, A.F., VÁZQUEZ, T., “Mechanical and Durable Behaviour of Alkaline Cement Mortars Reinforced with Polypropylene Fibres”, *Cement and Concrete Research*, 33, 2031-2036, 2003.
- [11] WANG, S.D., PU, X.C., SCRIVENER, K.L., PRATT, P.L., “Alkali Activated Slag Cement and Concrete: A Review of Properties and Problems”, *Advances in Cement Research*, 27, 93-102, 1995.
- [12] HARDJITO, D., WALLAH, S.E., SUMAJOUW, D.M.J., RANGAN, B.V., “On the Development of Fly Ash-based Geopolymer Concrete”, *ACI Materials Journal*, 101, 467–472, 2004.
- [13] PACHECO-TORGAL, F., CASTRO-GOMES, J., JALALI, S., “Alkali Activated Binders: A Review. Part 2. About Materials and Binder Manufacture”, *Construction and Building Materials*, 22, 1305–1314, 2008.
- [14] YANG, K.H., SONG, J.K., “Workability Loss and Compressive Strength Development of Cementless Mortars Activated By Combination of Sodium Silicate and Sodium Hydroxide”, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 21, 119-127, 2009.
- [15] FERNANDEZ-JIMENEZ, A., PALOMO, J.G., PUERTAS, F., “Alkali-Activated Slag Mortars – Mechanical Strength Behavior”, *Cement and Concrete Research*, 29, 1313-1321, 1999.
- [16] BAKHAREV, T., SANJAYAN, J.G., CHENG, Y.B., “Alkali Activation of Australian Slag Cements”, *Cement and Concrete Research*, 29, 113–120, 1999.
- [17] KRIZAN, D., ZIVANOVIC, B., “Effects of Dosage and Modulus of Water Glass on Early Hydration of Alkali-Slag Cements”, *Cement and Concrete Research*, 32, 1181-1188, 2002.
- [18] BERNAL, S., GUTIERREZ, R.D., SILVIO, D., RODRIGUEZ, E., “Effect of Binder Content on the Performance of Alkali-Activated Slag Concretes”, *Cement and Concrete Research*, 41, 1-8, 2011.
- [19] SHI, C., KRIVENKO, P.V., ROY, D., *Alkali-Activated Cements and Concretes*, Taylor and Francis, USA and Canada, 2006.
- [20] ROY, D.M., JIANG W., SILSBEE, M.R., “Chloride Diffusion in Ordinary, Blended, and Alkali-Activated Cement Pastes and Its Relation to Other Properties”, *Cement and Concrete Research*, 30, 1879-1884, 2000.
- [21] BAKHAREV, T., SANJAYAN, J.G., CHENG, Y.B., “Sulfate Attack on Alkali-Activated Slag Concrete”, *Cement and Concrete Research*, 32, 211–216, 2002.
- [22] BAKHAREV, T., SANJAYAN, J.G., CHENG, Y.B., “Resistance of Alkali-Activated Slag Concrete to Acid Attack”, *Cement and Concrete Research*, 33, 1607-1611, 2003.
- [23] SHI, C., XIE, P., “Interface Between Cement Paste and Quartz Sand in Alkali Activated Slag Mortars”, *Cement and Concrete Research*, 28, 887-896, 1998.
- [24] ZIVICA, V., “Effects of Type and Dosage of Alkaline Activator and Temperature on the Properties of Alkali-Activated Slag Mixtures”, *Construction and Building Materials*, 21, 1463–1469, 2007.
- [25] COLLINS, F.G., SANJAYAN, J.G., “Workability and Mechanical Properties of Alkali Activated Slag Concrete”, *Cement and Concrete Research*, 29, 455-458, 1999.
- [26] SERDAR, A., “A Ternary Optimisation of Mineral Additives of Alkali Activated Cement Mortars”, *Construction and Building Materials*, 43, 131–138, 2013.
- [27] ATIŞ, C.D., BILIM, C., ÇELİK, Ö., KARAHAN, O., “Influence of Activator on the Strength and Drying Shrinkage of Alkali-Activated Slag Mortar”, *Construction and Building Materials*, 23, 548-555, 2009.
- [28] KRIZAN, D., ZIVANOVIC, B., “Effects of Dosage and Modulus of Water Glass on Early Hydration of Alkali-Slag Cements”, *Cement and Concrete Research*, 32, 1181-1188, 2002.
- [29] CHI, M., HUANG, R., “Binding mechanism and properties of alkali activated fly ash/slag mortars”, *Construction and Building Materials*, 40, 291-298, 2013.
- [30] PUERTAS, F., MARTINEZ-RAMIREZ, S., ALONSO, S., VAZQUEZ, T., “Alkali-Activated Fly Ash/Slag Cements: Strength Behaviour and Hydration Products”, *Cement and Concrete Research*, 30, 1625-1632, 2000.
- [31] HABA, B.M., LOTHENBACH, B., LE SAOUT, G., WINNEFELD, F., “Influence of Activator Type on Hydration Kinetics, Hydrate Assemblage and Microstructural Development of Alkali Activated Blast-Furnace Slags”, *Cement and Concrete Research*, 41, 301-310, 2011.
- [32] ROY, D.M., IDORN, G.M., “Hydration, Structure and Blast Furnace Slag Cements, Mortars and Concrete”, *ACI Journal, Proceedings*, 79, 445-457, 1982.
- [33] CHANG, J.C., YEIH, W., HUNG, C.C., “Effects of Gypsum and Phosphoric Acid on the Properties of Sodium Silicate-Based Alkali-Activated Slag Pastes”, *Cement and Concrete Composites*, 27, 85-91, 2005.

*M. SARIDEMİR*

- [34] PUERTAS, F., FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, A., “Mineralogical and Microstructural Characterisation of Alkali-Activated Fly Ash/Slag Pastes”, *Cement and Concrete Composites*, 25, 287-292, 2003.
- [35] EL-DIDAMONY, H., AMER, A.A., ELA-ZIZ, H.A., “Properties and Durability of Alkali-Activated Slag Pastes Immersed In Sea Water”, *Ceramics International*, 38, 3773-3780, 2012.
- [36] OH, J.E., MONTEIRO, P.J.M., JUN, S.S., CHOI, S., CLARK, S.M., “The Evolution of Strength and Crystalline Phases for Alkali-Activated Ground Blast Furnace Slag and Fly Ash-Based Geopolymers”, *Cement and Concrete Research*, 40, 189-196, 2010.
- [37] GUO, X., SHI, H.U., CHEN, L., DICK, W.A., “Alkali-Activated Complex Binders from Class C Fly Ash and Ca-Containing Admixtures”, *Journal of Hazardous Materials*, 173, 480–486, 2010.
- [38] CHINDAPRASIRT, P., CHAREERAT, T., SIRIVIVATNANON, V., “Workability and Strength of Coarse High Calcium Fly Ash Geopolymer”, *Cement and Concrete Composites*, 29, 224–229, 2007.
- [39] FERNANDEZ-JIMENEZ, A., PALOMO, J.G., “Composition and Microstructure of Alkali Activated Fly Ash Binder: Effect of the Activator”, *Cement and Concrete Research*, 35, 1984-1992, 2005.
- [40] KHALIFEH, M., SAASEN, A., VRALSTAD, T., HODNE, H., “Potential Utilization of Class C Fly Ash-Based Geopolymer in Oil Well Cementing Operations”, *Cement and Concrete Composites*, 53, 10–17, 2014.
- [41] TS EN 197-1, Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2012.
- [42] ASTM C 311/C 311 M-13, Standard Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use in Portland-Cement Concrete, Annual Book of ASTM Standarts, 2013.
- [43] TS 802, Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2009.
- [44] TS EN 934-2+A1, Kimyasal Katkılar-Beton, Harç ve Şerbet İçin-Bölüm 2: Beton Kimyasal Katkıları-Tarifler, Gereker, Uygunluk, İşaretleme ve Etiketleme, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2013.
- [45] ASTM C 494-99a, Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete, Annual Book of ASTM Standards, 2002.
- [46] TS EN 1015-11, Kâgir Harcı-Deney Metotları-Bölüm 11: Sertleşmiş Harcın Basınç ve Eğilme Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.