

T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
KOORDİNASYON BİRİMİ

**ALKALİ İLE AKTİFLEŞTİRİLMİŞ CÜRUF HARCININ AŞINMA DİRENCİNİN
ARAŞTIRILMASI**

**Proje No:
FBA-08-461**

BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJESİ

SONUÇ RAPORU

Proje Yürütücüsü:

Prof. Dr. Cengiz Duran ATİŞ
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Araştırmacı
Okan KARAHAN
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Kamuran ARI
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Haziran 2010

KAYSERİ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
İÇİNDEKİLER	3
ÖZET	4
ABSTRACT	4
1. GİRİŞ	5
2. MATERYAL VE METOT	6
2.1. Çimento	6
2.2. Cüruf	7
2.3. Referans Kum	7
2.4. Aktivatörler	7
2.5. Harç karışımları	7
2.6. Deney İşlemleri	8
2.7 Dikey Aşındırma Deneyi	10
2.8 Böhme Yatay Aşındırma Deneyi	10
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	11
3.1 İşlenebilirlik ve su emme	11
3.2 Basınç ve Eğilme Dayanımları	12
3.3 Aşınma Değerleri	12
3.4 Aşınma, Basınç ve Eğilme Dayanımı İlişkisi	14
4. SONUÇ	15
5. KAYNAKLAR	16

ALKALİ İLE AKTİFLEŞTİRİLMİŞ CÜRUF HARCININ AŞINMA DİRENCİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Bu çalışmada alkali ile aktifleştirilmiş cüruf harcının aşınma direnci yatay ve dikey aşındırma cihazlarıyla ölçülmüş, sonuçlar kontrol karışımı ile karşılaştırılmıştır. Karışım olarak standart harç karışımı kullanılmış olup, alkali ile aktifleştirilmiş karışımlarda ise çimento tamamen cüruf ile ikame edilmiştir. Aktivatör olarak sodyum hidroksit, sodyum karbonat, sıvı sodyum silikat ve sodyum meta silikat kullanılmıştır. Sodyum konsantrasyonu bağlayıcı oranının %8 i oranında kullanılmıştır. Çalışmada taze harç karışımları üzerinde işlenebilirlik, katılaşmış harçlar üzerinde ise su emme kapasitesi, eğilme ve basınç deneyleri ile aşınma deneyleri yürütülmüştür. Çalışmanın sonucunda sodyum karbonat kullanılan karışım hariç alkali ile aktifleştirilen karışımların oldukça tatminkâr ya da çok yüksek eğilme ve basınç dayanımı geliştirdiği, aşınma dirençlerinin ise kontrol karışımına göre oldukça yüksek olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Cüruf, alkali aktivasyonu, aşınma, basınç, eğilme dayanımı

ABSTRACT

In this study, abrasion resistance of alkali activated mortar measured using horizontal and vertical abrasion testing method were presented and compared with control mortar. Standart mortar mixture was used, alkali activated slag mortar was produced without using cement in the mixture. Sodium hydroxide, sodium carbonate and sodyum silicate in liquid form and granule form (sodium meta silicate) were used as alkali activators. Sodium concentration was kept constant at 8% of the amount of binder. Mortar flow workability of fresh mixture was measured. Compressive strength, flexural strength, abrasion value and water absorption capacity of hardened mortar were measured and presented. As a result of the study, it was observed that apart from sodyum carbonate activated slag, alkali activated slag mortar had developed satisfactory or high flexural and compressive strength, moreover, their abraision resistances were better than the control mortar.

Keywords: Slag, alkali activation, abrasion, compressive, flexural strength

1.GİRİŞ

Dünya nüfusunda meydana gelen artış, nüfusun ihtiyaç duyduğu su, yiyecek, yerleşim alanı ve enerji ihtiyacı gibi temel gereksinimler üzerindeki sıkıntıyı da beraberinde getirmektedir. Ekonomik büyüme ve nüfus artışı sonucu yükselen enerji talebinin karşılanmasında yenilenebilir enerji kaynakları yerine artan oranda fosil yakıtlarının kullanılması, sera gazlarının ortaya çıkmasının esas nedeni olarak kabul edilen CO₂ emisyonunun artmasında büyük rol oynamaktadır. Öte yandan, havada en çok ısı tutma özelliğine sahip gaz olması nedeniyle atmosferde artacak olan CO₂ oranı, çevresel kirlenmenin ve küresel ısınmanın daha da hızlanmasına yol açmaktadır. Fosil tabanlı yakıtların kullanılması sonucu ortaya çıkan CO₂ emisyonunda çimento endüstrisinin payı %10 civarındadır [1]. Ham maddelerden CaCO₃'ün dekarbonizasyonu, döner fırınlardaki pişirme sürecinde kullanılan yakıtların yanma reaksiyonları ve elektrik enerjisindeki tüketimin karşılanması gibi faktörler inşaat endüstrisindeki CO₂ emisyonunun üç önemli kaynağını oluşturmaktadır [2].

Kyoto protokolünün esasını teşkil eden CO₂ emisyonunun azaltılmasına yönelik çevresel düzenlemeler, insan sağlığının korunması, doğal kaynakların dikkatli ve etkin kullanımı ve ekonomi gibi faktörler, inşaat sektöründe endüstriyel atıkların yeniden değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır.

İnşaat sektöründe kullanılan puzolanik özelliğe sahip endüstriyel yan ürünlerden birisi de demir-çelik fabrikalarının atığı olarak ortaya çıkan yüksek fırın cürufudur. Ham demirin üretimi sırasında yüksek fırından eriyik bir durumda, atık malzeme olarak dışarı alınan cüruf yaklaşık 1500°C sıcaklıkta olduğundan, cürufun herhangi bir amaçla kullanımı, ancak soğutulmasından sonra mümkün olmaktadır. Uygulanan soğutma yöntemi ve hızına bağlı olarak, soğutulan malzeme oldukça değişik yapısal karakteristikler göstermektedir. Eriyik cürufun çok hızlı soğutulması işlemi, cürufa hem granüle hem de amorf (camsı) yapı kazandırmaktadır.

Havada soğutulmuş yüksek fırın cürufları, uygulanan yavaş soğutmaya bağlı olarak bağlayıcılık değeri taşımayan kristal yapı kazandıklarından, kırılmaları durumunda beton agregası olarak kullanılabilir. Öte yandan, büyük miktarda silis ve alümin içeren, uygulanan hızlı soğutma yöntemi ile amorf yapı kazanan granüle yüksek fırın cürufları ise öğütülerek çok ince taneli duruma getirilmeleri durumunda puzolanik bağlayıcı özellik göstermektedir.

Yüksek fırın cürufunu diğer mineral katkılardan ayıran en önemli özellik, kalsiyum hidroksit olmadan alkalilerle güçlü reaksiyonlar yapabilmesidir. Erken yaşta yüksek mukavemet sağlama potansiyeli olan alkalilerle aktive edilmiş cürufları (AAC), beton içerisinde bağlayıcı malzeme olarak kullanmak suretiyle ilk zamanlarda görülen bu düşük mukavemet probleminin üstesinden gelebilmek mümkün olmaktadır [3]. AAC betonlar, bağlayıcı malzeme olarak Portland Çimentosu (PÇ) yerine alkalilerle aktive edilmiş %100 öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu ile yapılmakta olup, Talling ve Brandstetr [4], AAC içeren betonlar ile ilgili ayrıntılara yapmış oldukları çalışmalarında yer vermişlerdir.

Son günlerde AAC betonlar akademik alanda oldukça ilgi çekmekte ve literatürde, bu malzeme ile alakalı birçok değerli araştırmanın sonuçları yayınlanmaktadır. Yapılan çalışmalardan elde edilen bulgulardan, AAC betonların, PÇ betonuna kıyasla, yüksek erken mukavemet ve agresif çevre koşullarında üstün durabilite gibi bazı özelliklere sahip olduğu bulunmuştur [5–6]. Wang ve ark. [7], cam suyu (sodyum silikat çözeltisi) ile aktivasyonun

çok hızlı sertleşme ve yüksek basınç mukavemeti verdiğini bildirmişlerdir. Çin, Rusya ve Avustralya'da daha önce yapılan çalışmaların bulguları da, yüksek basınç mukavemeti sonuçlarının cam suyu ile aktive edilmiş AAC betonlardan elde edildiğini göstermektedir [6–18].

Bir diğer çalışmada ise, AAC betonlarda mukavemet gelişiminin aktivatör tipine ve konsantrasyonuna bağlı olduğu rapor edilmiştir [8–9]. Öte yandan, yapılan başka çalışmalar ise AAC betonlarının, hızlı sertleşme [10] ve yüksek kuruma rötresi [11] gibi bazı önemli problemlere sahip olduğunu göstermiş, Kutti ve ark. [12], AAC betonlardaki kuruma rötresinin NPC harç ve betonlardan, 1.6 ila 2.1 kez daha fazla olduğunu ölçmüşlerdir. Bununla birlikte AAC betonlar, cüruf katkılı çimentolar ile yapılan betonlarda olduğu gibi kür şartlarına karşı hassas olduklarından iyi kür edilmeleri gerekmektedir. Bu durumla ilgili olarak, Collins ve Sanjayan [13], AAC betonlardaki mikro çatlakların yetersiz kür şartlarından dolayı arttığını rapor etmişlerdir.

PÇ içeren betona kıyasla erken yüksek mukavemet gelişimi sağlayan AAC betonlar, prefabrike beton elemanların üretimi için önemli olmakta [18], öte yandan endüstriyel atıkların değerlendirilmesi ve doğal kaynakların hızlı tüketiminin sınırlandırılması gibi birçok faydalar sağlamaktadır.

Yukarıda yapılan literatür taramasından da anlaşılabacağı üzere alkali ile aktifleştirilmiş cüruf harç ve betonlarının üzerinde çalışmalara devam etme gereksinimi vardır. Bu malzemenin özellikle rötresinin normal portland çimentolu beton ve harçlardan fazla olması malzemenin yapı imalatında kullanılmasını geciktirmekte ve engellemektedir. Alkali ile aktifleştirilmiş cürufun yüksek rötre nedeniyle yapıda kullanılmaması; rötrenin önem taşımadığı parke taşı imalatı ve bordür taşı imalatı alanlarında kullanılmasını engellemeyeceğinden, malzemenin bu alanlarda da değerlendirilmesi söz konusudur. Bu alanlarda ise malzemenin aşınma direnci rötreden daha önemlidir. Yukarıda yapılan kaynak taramasında da anlaşılabacağı üzere, alkali ile aktifleştirilmiş cüruf harç ve betonunun aşınma direnci üzerinde yapılan çalışmalar çok azdır. Bu nedenle bu çalışmada alkali ile aktifleştirilmiş harç numuneleri üzerinde aşınma deneyleri yürütülerek bu malzemenin sözü geçen özelliği incelenmiştir.

Bu çalışmanın amacı alkali ile aktifleştirilmiş cüruf (AAC) harcının aşınma direncini incelemektir. İnceleme sonucunda elde edilen verilere göre AAC'nin parke ve bordür taşı gibi prefabrik eleman imalatlarında kullanılabilirliği tartışılmaktadır. Katılmış harç aşınma direncinin yanı sıra eğilme ve basınç dayanımı, su emme kapasitesi ve taze harçlarda işlenebilirlik sonuçları da sunulmuştur.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Çimento

Bu çalışmada referans çimento olarak Türk Standardı TS EN 197-1 [19] e uygun olarak üretilen Normal Portland çimentosu PÇ 42.5R kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun kimyasal kompozisyonu aşağıda Tablo 1de verilmektedir.

Tablo 1 Çimento ve Cürufun kimyasal kompozisyonu

Oxide	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O
Cement	21.2	5.6	3.2	62.1	1.6	3.4	0.4	0.9
Slag	36.7	14.2	1.0	32.6	10.1	1.0	0.4	0.8

2.2. Cüruf

Çalışmada kullanılan cüruf İskenderun Demir Çelik fabrikasında ortaya çıkan cüruf olup, ince toz halinde kullanılmıştır. Kullanılan cüruf standartlara uygun olup, ASTM C 989 [20] standardına göre kategori 80 olarak sınıflandırılmaktadır. Cürufün özgül ağırlığı 2.81 g/cm^3 olup, Blaine özgül yüzeyi $4250 \text{ cm}^2/\text{g}$ dir. Cürufün kimyasal kompozisyonu çimento ile birlikte Tablo 1 de sunulmuştur.

2.3. Referans Kum

Çimento ve cüruf kullanılarak hazırlanan harç karışımlarında CEN referans kumu olarak adlandırılan maksimum tane boyutu 2 mm olan, tane boyutu dağılımı ile su emme kapasitesi fazla değişmeyen silis kumu kullanılmıştır. Kullanılan kumun tane boyutu dağılımı ve kum ile ilgili TS EN 196-1 standard sınırları [21] Tablo 2 de verilmektedir.

Table 2 Referans kumun tane boyutu dağılımı ve standart sınırları

	Tane boyutu (mm)					
	0.08	0.16	0.5	1.0	1.6	2.0
Kalan (%)	99	83	62	38	10	0
Sınırlar (%)	99 ± 1	87 ± 5	67 ± 5	33 ± 5	7 ± 5	0

2.4. Aktivatörler

Çalışmada cürufu aktifleştirmek için kullanılan alkali aktivatörler sodyum hidroksit, sodyum karbonat, sodyum meta silikat ve sodyum silikattır. Kullanılan sodyum hidroksit ve sodyum karbonatın kimyasal kompozisyonu Tablo 3 ve Tablo 4 de özetlenmiştir. İki farklı formda bulunan sodyum silikat çeşidi kullanılmıştır. Bunlardan birincisi sodyum metasilikat olarak adlandırılan ve taneli yapıda olan kuru sodyum silikattır. Diğeri ise $\text{SiO}_2:\text{Na}_2\text{O}$ (M_s) moleküler modülü 2 olan sıvı formda bulunan sodyum silikattır. Sıvı formdaki sodyum silikatın içeriği ise %23.06 SiO_2 , %11.62 Na_2O dir.

Tablo 3 Sodyum hidroksitin kimyasal kompozisyonu

Oksit	Asidimetrik	Na_2CO_3	Cl	SO_4	Pb	Al	Fe
%	≥ 97	≤ 1	≤ 0.01	≤ 0.01	≤ 0.002	≤ 0.002	≤ 0.002

Tablo 4 Sodyum karbonatın kimyasal kompozisyonu

Oksit	Asidimetrik	Cl	PO_4	SiO_2	SO_4	N
%	≥ 99.9	≤ 0.002	≤ 0.001	≤ 0.002	≤ 0.005	≤ 0.001
Oxide	Pb	Al	Ca	Fe	K	Mg
%	≤ 0.0005	≤ 0.001	≤ 0.005	≤ 0.0005	≤ 0.01	≤ 0.0005

2.5. Harç karışımları

Harç karışımı olarak bağlayıcı-kum oranı 3 olan, su-bağlayıcı oranı 0.5 olan standart karışım kullanılmıştır. Referans kontrol karışımı olarak çimento bağlayıcılı harç karışımı üretilmiştir. Alkali ile aktifleştirilmiş cürufun bağlayıcı olarak kullanıldığı harç karışımlarında çimento yerine tamamen cüruf konulmuştur. Karışım oranları referans karışımı ile aynı olarak alınmıştır. Bağlayıcısı sadece cüruf olan karışımlarda cüruf alkali ile aktifleştirilmiştir. Aktifleştirici olarak meta silikat, sodyum silikat, sodyum hidroksit ve sodyum karbonat

kullanıldığı daha önce belirtilmişti. Çalışmada kullanılan sıvı sodyum silikatın modülü iki olduğundan, sıvı sodyum silikat içine belirli miktarda sodyum hidroksit ilave edilerek modül oranı bire çekilmiştir. Metasilikatın modül oranı doğrudan bir olduğu için bu aktivatöre herhangi bir ilave yapılmamıştır. Karışımlar esnasında sıvı sodyum silikat içinde bulunan su miktarı karışımın su miktarından düşülerek standart harç karışımının su-bağlayıcı oranı 0.5 olarak sabit tutulmuştur.

Karışımlardaki sodyum konsantrasyonu bağlayıcı oranının %8i olacak şekilde seçilmiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda [22] optimum sodyum konsantrasyonunun %8 civarında olduğu belirtildiğinden %8 değeri bu çalışmada da kullanılmıştır. Harç karışımlarının malzeme miktarları Tablo 5 te sunulmuştur. Tablo 5 ten görüleceği üzere, K1 karışımı kontrol karışımı olup, bağlayıcısı sadece çimentodur. K2, K3, K4 ve K5 karışımlarının içinde çimento bulunmamaktadır, bu karışımlarda bağlayıcı olarak sadece cüruf ve alkali activator kullanılmıştır. K2 karışımının aktivatörü sodyum hidroksit olup, K3 karışımının aktivatörü sodyum karbonattır. K4 ve K5 karışımlarının aktivatörleri ise sodyum silikattır. Burada K4 karışımında modül değeri 1 olan ve taneli kuru formda metasilikat kullanılmıştır. K5 karışımında ise modül değeri iki olan sıvı sodyum silikat kullanılmış olup, modül değerini bire çekmek için sodyum hidroksit ilavesiyle birlikte kullanılmıştır.

Tablo 5 Karışım içerikleri

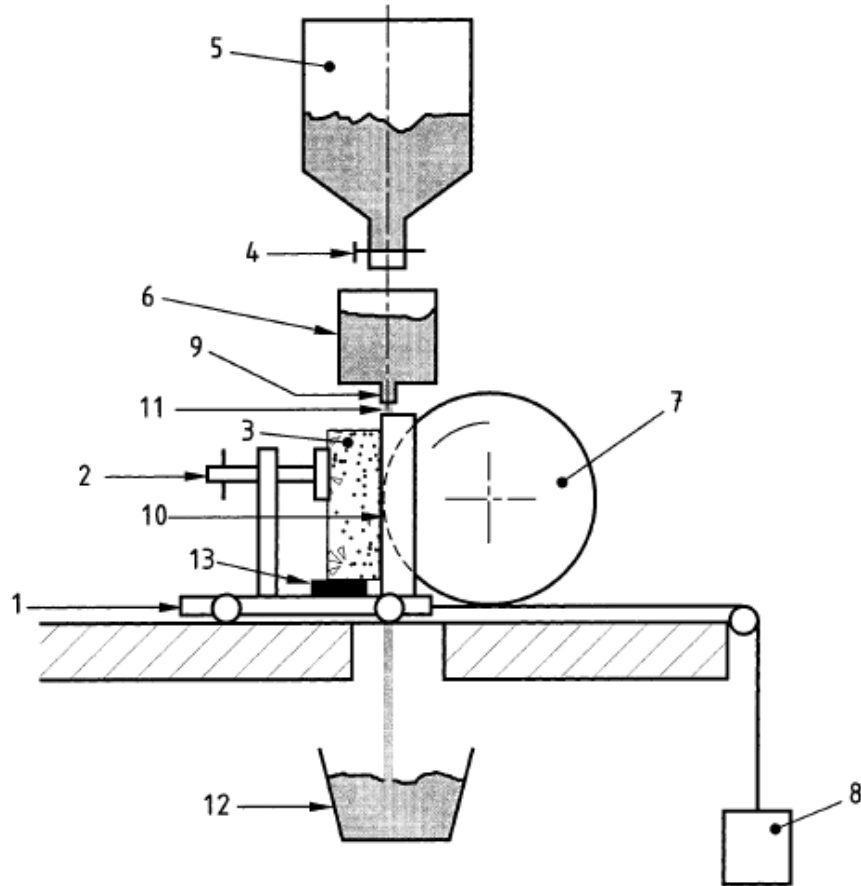
Karışım Adı	K1	K2	K3	K4	K5
Aktivatör	PÇ 42.5R	NaOH	Na ₂ CO ₃	Na ₂ .SiO ₃ .5H ₂ O Ms=1	Na ₂ .SiO ₂
Kum	1350	1350	1350	1350	1350
Çimento	450	-	-	-	-
Cüruf (g)	-	450	450	450	450
Su	225	225	225	225	81.17
NaOH	-	62.61	-	-	31.30
Na ₂ CO ₃	-	-	82.96	-	-
Na ₂ .SiO ₃ .5H ₂ O Ms=1	-	-	-	95.5	-
Na ₂ .SiO ₂	-	-	-	-	216.61
Su İçeriği	-	-	-	-	143.83

Harç karışım sırası aşağıdaki gibi yapılmıştır. İlk olarak aktivatör ile karışım suyu karıştırılarak aktivatör suda çözündürülmüştür. Cüruf ve aktivatörlü su Hobart harç karıştırıcısı içine konularak 30 saniye yavaş hızda karıştırılmıştır. İkinci olarak, karıştırıcı çalışırken karışım kumu 30 saniye süresince karışıma ilave edilmiştir. Üçüncü olarak, karışım 30 saniye hızlı pozisyonunda karıştırılmıştır. Dördüncü olarak, karıştırma işlemi 15 saniye frenlenerek beklenmiştir. Beşinci olarak karışım 60 saniye hızlı pozisyonunda karıştırılmıştır. Son olarak, taze hazırlanmış karışımdan bir miktar alınarak harç sarsma tablasında işlenebilirlik ölçülmüştür. Taze karışımdan bir miktar daha alınarak numune kalıplarına doldurulup, numune hazırlama sarsma makinasında bir dakika da 60 kez düşürülerek sarsılmıştır. Kalıplardaki numuneler 24 saat sonra çıkartılarak 28 günlük oluncaya kadar sıcaklığı 21±1°C olan su içinde konularak saklanmıştır. Boyutları 40x40x160 mm olan prizmatik numuneler, 70x70x70 mm olan kübik numuneler ve 100x70x40 mm olan plaka numuneler hazırlanmıştır.

2.6. Deney İşlemleri

Harç karışımlarının kıvamını belirlemede yayılma tablası işlenebilirlik ölçüm deneyi kullanılmıştır. Hazırlanan karışımdan bir miktar alınarak sarsma tablasının alt iç tabanının çapı 100 mm olan kesik koni şeklindeki kalıbına iki aşamada tokmak ile yerleştirilen harç numunesinin üst yüzeyi düzeltilip, kalıp çekilmiştir. Sarsma tablası üzerindeki harç TS EN 1015-3 [23] de tarif edildiği üzere, 15 saniyede 12.5 mm yükseklikten 15 kez düşürülmüştür. Bu işlemin sonucunda yayılan taze harcın çapı bir kaç yerden ölçülerek ortalaması alınarak sarsma tablası işlenebilirlik sonucu ölçülmüştür.

Karışımlara ait katılaşmış harç su emme kapasite deneyleri 40x40x160 mm boyutlarındaki numuneler kullanılarak yürütülmüştür. Aynı şekilde 40x40x160 mm boyutlarındaki prizmatik numuneler kullanılarak TS EN 1015-11 [23] e uygun olarak eğilme ve basınç dayanımları bulunmuştur. Yatay ve dikey aşınma deneyleri sırasıyla 70mm lik kübik ve 100x70x40 boyutlarındaki plak numuneler üzerinde TS 2824 EN 1338 [24]e uygun olarak yapılmıştır. Aşağıda yatay ve dikey aşındırmanın nasıl yapıldığı anlatılmaktadır.



Açıklama:

- | | |
|------------------------------|-----------------------------------|
| 1 Numune tutma kazağı | 8 Karşı ağırlık |
| 2 Tespit vidası | 9 Çıkış ağız |
| 3 Deney numunesi | 10 Oyuk |
| 4 Kontrol vanası | 11 Aşındırıcı malzeme akışı |
| 5 Zımpara tozu silosu | 12 Aşındırıcı malzeme toplayıcısı |
| 6 Akış yönlendirici alt silo | 13 Takoz |
| 7 Geniş aşındırma diski | |

Şekil 1. Dikey Aşındırma cihazı çalışma prensibi

2.7 Dikey Aşındırma Deneyi

Dikey aşındırma cihazının çalışma prensibi ilgili standarttan alınarak Şekil 1 de verilmiştir. Standartta belirtildiği üzere, bu deneyde, aşındırma tozu silosu, rutubeti en fazla % 1 olan kuru aşındırma tozu ile doldurulur. Numune tutma kazağı, geniş aşındırma diskinden uzağa çekilir. Numune, tutucu kızak üzerine, işlem sonunda oluşacak iz veya oyuk, numunenin herhangi bir kenarından en az 15 mm uzaklıkta olacak şekilde yerleştirilir ve numune, aşındırma tozunun alt tarafa geçmesine izin verecek şekilde takoz ile sabitlenir. Aşındırma tozunun içerisinde toplanacağı kap, geniş aşındırma diskinin alt kısmına yerleştirilir.

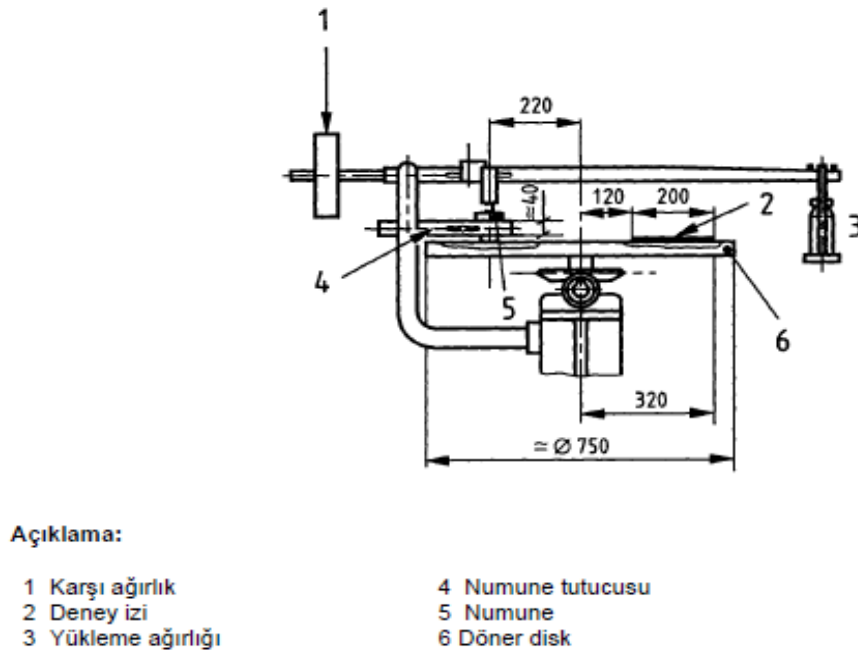
Deney numunesi, yüzeyi geniş aşındırma diskinde temas edecek şekilde yaklaştırılır. Aşınma tozu kontrol vanası açılır ve aynı anda motor, geniş aşındırma diski, (60 ± 3) saniye sürede 75 dönüş yapacak şekilde çalıştırılır. Aşındırma malzemesi akış debisinin deney süresince değişip değişmediği gözle kontrol edilir. Diskin 75 dönüş yapmasından sonra, aşındırma tozu akışı ve disk durdurulur. Mümkünse, her bir numunede iki deney yapılmalıdır.

Numune, anma büyümesi en az 2x olan büyük boyutlu büyüteç altına konulur ve tercihan, oyuk boyutlarının daha kolay ölçülebilmesini sağlamak üzere ışıklandırma donanımı bulundurulur.

Numune üzerinde aşınmadan dolayı oluşan oyuk ya da disk izinin genişliği standartta belirtilen şekilde ölçülür. İz genişliği ölçme işlemleri farklı noktalarda yapılarak numune için ortalama bir değer bulunur.

2.8 Böhme Yatay Aşındırma Deneyi

Yatay Böhme aşınma deneyine ait aşındırma cihazının şematik görünümü ilgili standarttan alınarak Şekil 2 de verilmiştir. Bu deneyde numune olarak kenar uzunluğu $(71 \pm 1,5)$ mm olan kare plâka veya küpler kullanılmaktadır.



Şekil 2. Böhme yatay aşındırma diskinin prensibi

Standartta tarif edildiği üzere, numunenin temas eden ve ona karşı gelen yüzü paralel ve düz olmalıdır. Kalınlık azalmasını ilgili standartta tarif edildiği şekilde tayin edebilmek için karşı yüz mümkünse aşındırarak veya alet ile işleyerek paralel hâle getirilmelidir.

Numuneler, temas yüzü normal şartlarda gerekli görülen dört dönüşlük ön aşındırmadan sonra, genellikle $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ 'ta sabit kütleye kadar kurutulur.

Deney izine 20 g standard aşındırıcı konur. Temas yüzü ize gelecek şekilde numune tutucusuna yerleştirilen numune eksenel olarak (294 ± 3) N ile yüklenir. Numuneye, her biri 22 dönüşten meydana gelen 16 çevrim uygulanır. Her çevrimden sonra disk ve temas yüzü temizlenmeli, numune sıra ile 90° döndürülmeli ve ize, standartta tarif edildiği gibi yeni aşındırıcı konulmalıdır. Deney sonucunda numunedeki kalınlık azalması hashas kumpas ile çeşitli noktalardan ölçülerek ortalaması alınır, ortalama kalınlık azalması değeri numunenin aşınması olarak kayıt edilir.

3. Sonuçlar ve Tartışma

3.1 İşlenebilirlik ve su emme

Bu kısımda taze harç karışımlarının işlenebilirlik sonuçları ile 28 günlük katılaşmış harç karışımlarının su emme sonuçları verilmektedir. İşlenebilirlik ve su emme değerleri her bir karışım için Tablo 6 da verilmiştir. İşlenebilirlik değerlerinin incelenmesi yapıldığında sodyum hidroksit ile aktifleştirilen K2 karışımının işlenebilirliğinin kontrol karışımı K1 in işlenebilirliğinden daha iyi olduğu görülür. K3 karışımının işlenebilirliğinin ise kontrol karışımına kıyasla bir miktar düşük olmasına rağmen kontrol karışımına eşdeğer kabul edilebilir. K4 ve K5 karışımlarında ise işlenebilirliklerin kontrol karışımından belirgin olarak yüksek değerde olduğu görülür. Aktivatör olarak sıvı sodyum silikat ya da meta silikat kullanımının işlenebilirliği belirgin bir şekilde artırdığı, sodyum hidroksit kullanımının ise işlenebilirliği bir miktar yükselttiği, sodyum karbonat kullanımının ise iyileştirme yapmadığı aksine çok küçük miktarda düşürdüğü savunulabilir.

Tablo 6 Karışımlara ait sarsma tablası işlenebilirliği, su emme kapasitesi

Karışım Adı	Aktivatör	Akış (mm)	Su emme (%)
K1	PÇ 42.5 42.5R	170	9,2
K2	NaOH	180	9,6
K3	Na ₂ CO ₃	165	11,4
K4	Na ₂ .SiO ₃ .5H ₂ O Ms=1	210	9,1
K5	Na ₂ .SiO ₂ Ms=1	205	9,2

Su emme kapasitelerinin değerlendirilmesi yapıldığında sıvı sodyum silikat yada meta silikat ile aktifleştirilen karışımların K4-K5 su emme kapasitelerinin kontrol karışımı K1 ile hemen hemen aynı olduğu Tablo 6 dan görülebilir. Sodyum hidroksitin kullanılan K2 karışımının ise su emme kapasitesini kontrol karışımı K1 e nazaran %3-4 civarında arttığı anlaşılmaktadır. Sodyum karbonat ile aktifleştirilen karışımın su emme kapasitesi kontrol karışımına nazaran %25 daha fazla bulunduğundan, sodyum karbonat kullanımının karışımında daha fazla boşluk oluşumuna neden olduğu ve dolayısıyla su emme kapasitesinin arttığı sonucuna varılabilir.

3.2 Basınç ve Eğilme Dayanımları

Tablo 7 de bu çalışmada üretilen harç karışımlarının 28 günlük katılaşmış harç basınç ve eğilme çekme dayanımları sunulmuştur. Tablo 7 den en düşük dayanım değerlerinin sodyum karbonat kullanılan karışıma K3 e ait olduğu görülebilir. K3 karışımı, kontrol karışımı K1 e göre oldukça düşük basınç ve eğilme dayanımı geliştirmiştir. K3 ün basınç dayanımı kontrol karışımının üçte biri mertebesinde olup, eğilme dayanımı ise ikide biri mertebesinde.

Sodyum hidroksit ile aktifleştirilen K2 karışımı ise K1 karışımına yakın basınç ve eğilme dayanımı geliştirmiş olup, K2 nin basınç ve eğilme dayanımlarının sırasıyla K1 in basınç ve eğilme dayanımlarının %85 ve %93 mertebesinde olduğu görülür. K2 nin yüksek basınç ve eğilme dayanımlarının sırasıyla 51.8 ve 5.5 MPa olduğunun da altı çizilmelidir. Kuru taneli formda meta silikat ve sıvı sodyum silikat kullanılan sırasıyla K4 ve K5 karışımlarına ait basınç ve eğilme dayanımları incelendiğinde her iki karışımın birbirine çok yakın değerler verdiği görülmektedir (120 MPa ve 6 Mpa çok yüksek dayanım). K4 ve K5 karışımlarının dayanımları kontrol karışımı K1 ile karşılaştırıldığında K1 karışımına nazaran iki misli (%100 yüksek) basınç dayanımı geliştirdikleri görülür. Ancak, eğilme dayanımı açısından bakıldığında K4 ve K5 in eğilme dayanımlarının K1 in eğilme dayanımına eşit yada çok az miktarda yüksek (%2-3) olduğu görülür. K4 ve K5 karışımlarının sonuçları K2 ile karşılaştırıldığında basınç dayanımlarının K2 ye göre iki mislinden daha fazla olduğu (%135 yüksek), eğilme dayanımlarının ise %10 daha fazla olduğu görülür.

Tablo 7 Karışımlara ait basınç ve eğilme dayanımı sonuçları

Karışım Adı	Aktivatör	Eğilme	Basınç	Eğilme/Basınç (%)
K1	PÇ 42.5 42.5R	5,9	61,2	9.64
K2	NaOH	5,5	51,8	10.62
K3	Na ₂ CO ₃	3,1	22,6	13.72
K4	Na ₂ .SiO ₃ .5H ₂ OMs=1	6,1	120,8	5.05
K5	Na ₂ .SiO ₂ Ms=1	6,0	121,3	4.95

Her karışıma ait eğilme dayanımı ve basınç dayanımı arasındaki oran yüzde olarak Tablo 7 nin son sütununda verilmektedir. Bu sütun incelendiğinde K1, K2 ve K3 ün eğilme/basınç oranlarının %10 lar mertebesinde olduğu görülür. Bu oran K4 ve K5 te ise %5 mertebesinde. Bu oranın düşmesinin K4 ve K5 karışımlarının daha gevrek davranışa sahip olduğu anlamına gelmektedir. Çünkü gevrek malzemenin tanımında çekme dayanımının basınç dayanımına göre oldukça küçük olduğu gerçeği bulunmaktadır. K2 ve K3 karışımlarının gevrekliklerinin kontrol karışımı olan çimentolu karışıma yakın olduğu söylenebilir. Sodyum silikat ile aktifleştirilen K4 ve K5 karışımlarının diğer karışımlara göre daha gevrek oldukları görüşü savunulabilir.

3.3 Aşınma Değerleri

Bu çalışmada üretilen karışımlara ait yatay ve dikey aşındırma değerleri Tablo 8 de sunulmaktadır. En fazla aşınma değeri, dayanımları da en düşük olan sodyum karbonat ile aktifleştirilen karışımda elde edilmiştir. En düşük yatay ve dikey aşınma değerleri dayanımlardan beklenildiği şekilde K4 ve K5 karışımlarında elde edilmiştir. Her ne kadar eğilme ve basınç dayanımı K1 kontrol karışımından biraz daha düşük olan sodyum hidroksit ile aktifleştirilen K2 karışımı, aşınmaya karşı K1 den biraz daha dayanımlı çıkmıştır.

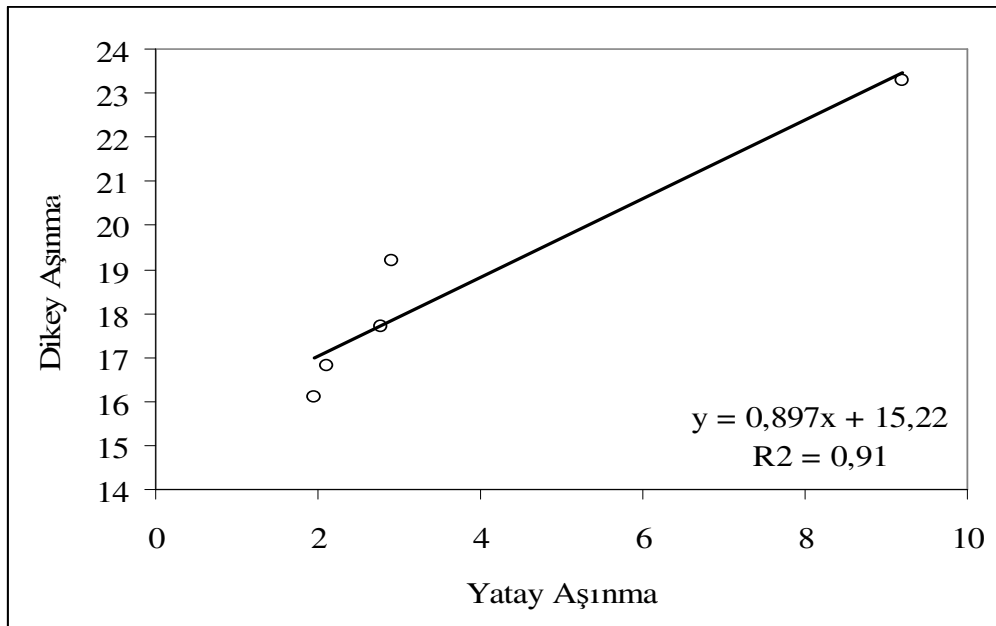
K4 ve K5 karışımları ile K1 karışımının aşınma değerleri karşılaştırıldığında, K4 ve K5 in aşınma dayanımları K1 e göre yatay aşınmaya göre %30 daha dayanıklı dikey aşınmaya göre ise %15 daha dayanıklı görülmektedir. K2 karışımı ile K1 karışımının aşınma değerleri karşılaştırıldığında, K2 nin aşınma dayanımları K1 e göre yatay aşınmaya göre %5 daha dayanıklı, dikey aşınmaya göre ise %8 daha dayanıklı görülmektedir.

K4 ve K5 karışımları ile K2 karışımının aşınma değerleri karşılaştırıldığında, K4 ve K5 in aşınma dayanımları K2 e göre yatay aşınmaya da %26 daha dayanıklı dikey aşınma da ise %7 daha dayanıklı görülmektedir. Basınç dayanımları açısından bakıldığında ise K4 ve K5 in K2 den %135 daha fazla basınç dayanımı geliştirmişti.

Sonuç olarak sodyum karbonat ile aktifleştirilen cüruf harcının haricinde kalan diğer alkali ile aktifleştirilmiş karışımların basınç ve eğilme dayanımlarının ve ayrıca aşınma ya karşı gösterdikleri direncin kontrol çimento harcıyla eşdeğer ya da daha iyi olduğu anlaşılmıştır. Bu nedenle K2, K4 ve K5 karışımlarının aşınmaya karşı dayanıklı parke taşı ya da bordür taşı üretilmesinde kullanılabileceği düşünülmektedir. Böyle bir kullanım yolu ile demir çelik fabrikalarının atığı olan cürufun çevreyi kirletmesine engel olunacaktır. Çevre dostu parke taşı ve bordür taşı üretilmiş olacaktır. Aynı zamanda karbondioksit salınımının azaltılmasına da katkı sağlanmış olacaktır.

Tablo 8 Karışımlara ait aşınma sonuçları

Karışım Adı	Aktivator	Böhme Yatay Aşındırma Kalınlık azalması (mm)	Dikey Aşındırma İz genişliği (mm)
K1	PÇ 42.5 42.5R	2,91	19,2
K2	NaOH	2,77	17,7
K3	Na ₂ CO ₃	9,2	23,3
K4	Na ₂ .SiO ₃ .5H ₂ OMs=1	2,11	16,8
K5	Na ₂ .SiO ₂ Ms=1	1,96	16,1

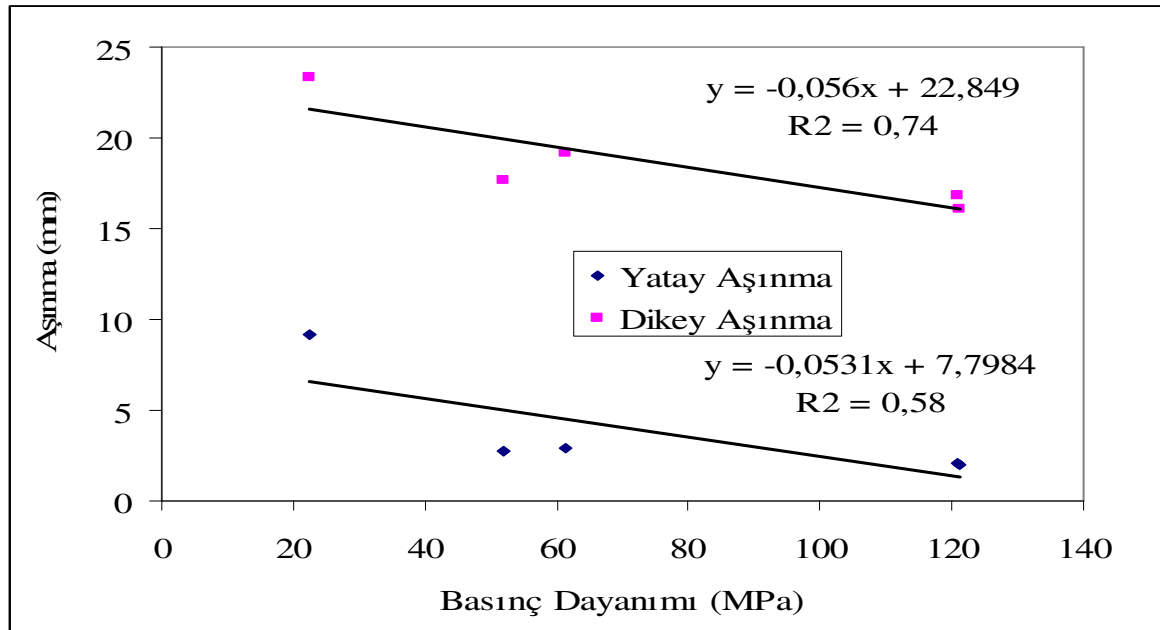


Şekil 3 Yatay aşınma ve dikey aşınma arasındaki ilişki

Aşınmaların bir yıpratma etkisi olduğundan hareketle yatay ve dikey aşındırmaların her ne kadar birbirinden farklı iki deney olduğu bilinse de aralarında bir ilişkinin olması kaçınılmazdır. Bu nedenle bu çalışmada elde edilen yatay ve dikey aşınmalar arasında doğrusal bir ilişki olduğu düşünülerek, aşınma değerleri arasından regresyon doğrusu geçirilmiştir. Elde edilen regresyon doğrusu Şekil 3 te sunulmuştur. Aradaki ilişkinin regresyon katsayısının 0.91 olduğu ve her iki aşınma arasında oldukça anlamlı doğrusal bir ilişkinin olduğu görülmüştür.

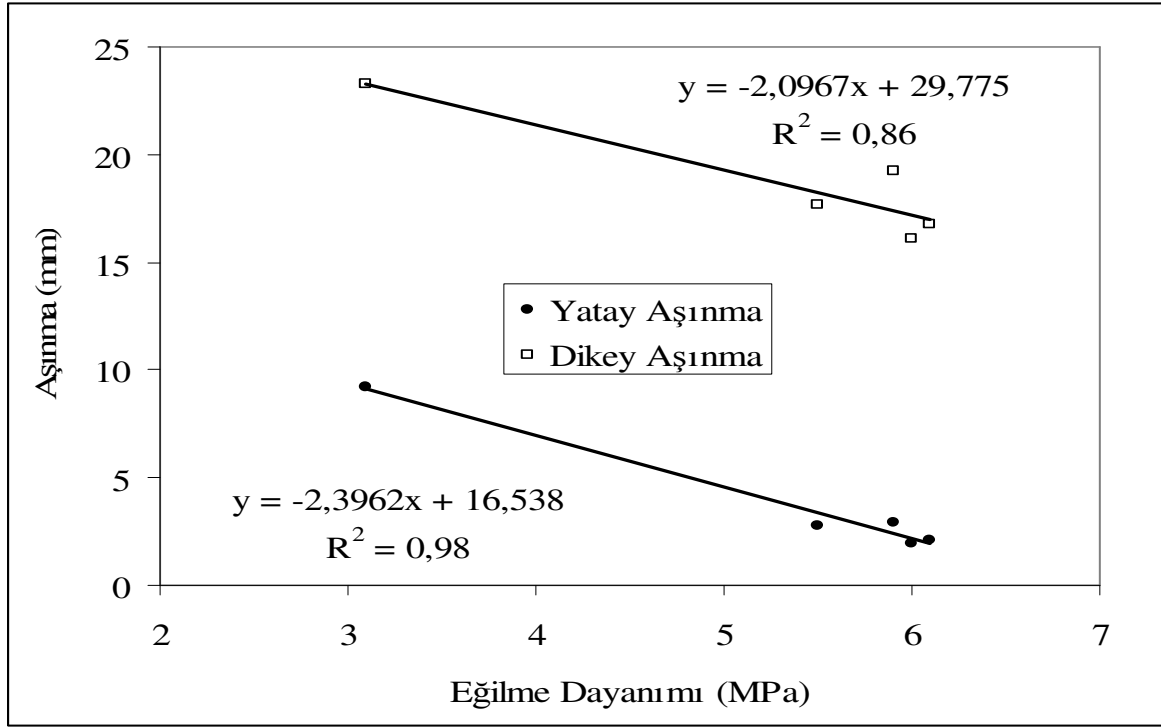
3.4 Aşınma, Basınç ve Eğilme Dayanımı İlişkisi

Dayanımı yüksek olan malzemelerin daha az aşındığı bilindiğinden, aşınma ve dayanımlar arasında ilişki kurulması amaçlanarak, yatay ve dikey aşınmalar ile basınç dayanımı ve ayrıca yatay ve dikey aşınmalar ile eğilme dayanımı arasında ayrı ayrı ilişki kurulmuştur. Aşınma ve basınç dayanımı arasındaki ilişkiler Şekil 4 te, benzer tarzda aşınma ve eğilme dayanımı arasındaki ilişkiler Şekil 5 te sunulmuştur. Şekil 4 incelendiğinde aşınma ve basınç dayanımı arasında regresyon katsayısı sırasıyla dikey aşınma ve yatay aşınma için 0.74 ve 0.58 olan doğrusal ilişkiler elde edilmiştir. Şekil 5 incelendiğinde aşınma ve eğilme dayanımı arasında regresyon katsayısı sırasıyla dikey aşınma ve yatay aşınma için 0.86ve 0.98 olan doğrusal ilişkiler elde edilmiştir.



Şekil 4 Basınç Dayanımı ve Aşınma İlişkisi

Buradan eğilme dayanımı ve aşınma ilişkisinin regresyon katsayılarının, basınç dayanımı ve aşınma ilişkisinin regresyon katsayılarından daha yüksek ve anlamlı olduğu anlaşılmaktadır. Aşınmanın basınç dayanımı ile bir ilişkisi vardır, ancak eğilme ve aşınma arasındaki ilişkinin diğer ilişkiden daha kuvvetli olduğu görülmektedir. Eğilme aşınma ilişkisinin daha kuvvetli olması şu şekilde izah edilmektedir. Aşınma malzemeden kayıplar şeklinde oluşmaktadır, bu kayıplar ise kopmalar şeklinde oluşmaktadır. Malzemede oluşan kopmaların genellikle çekme dayanımının ya da çekme birim uzama kapasitesinin aşılmasından dolayı olduğu bilinmektedir. Basınç durumunda ise böyle bir durum söz konusu değildir. Dolayısı ile eğilme dayanımı ile aşınma dayanımı arasındaki ilişkinin doğal olarak basınç dayanımı ile aşınma dayanımı arasındaki ilişkiden daha kuvvetli olması tabiidir.



Şekil 5 Eğilme Dayanımı ve Aşınma İlişkisi

4. Sonuç

Bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- 1-Sodyum karbonatın işlenebilirliği düşürdüğü ve su emme kapasitesini artırdığı,
- 2-Sodyum hidroksitin işlenebilirliği bir miktar artırdığı, su emmeyi fazla etkilemediği,
- 3-Sodyum silikat ve meta silikat kullanımının işlenebilirliği oldukça iyileştirdiği ve su emme kapasitesini iyi yönde etkilediği,
- 4-Sodyum karbonat ile aktifleştirilen cüruf harçların dayanımının düşük olduğu,
- 5-Sodyum hidroksit ile aktifleştirilen cüruf harçlarının oldukça tatminkâr eğilme ve basınç dayanımı geliştirdikleri,
- 6-Sodyum silikat ve meta silikat kullanımı ile aktifleştirilen cüruf harçların basınç dayanımlarının çok yüksek, eğilme dayanımlarının ise oldukça tatminkâr olduğu,
- 7-Sodyum karbonat ile aktifleştirilen cüruf harçların aşınmalarının oldukça fazla olduğu,
- 8-Sodyum hidroksit ile aktifleştirilen cüruf harçlarının aşınma dirençlerinin kontrol karışımından daha yüksek olduğu,

9-Sodyum silikat ve meta silikat kullanımı ile aktifleştirilen cüruf harçların aşınma dirençlerinin hem kontrol karışımından hem de sodyum hidroksit kullanılan karışımdan daha yüksek olduğu,

10-Yatay aşınma ve dikey aşınma arasında oldukça anlamlı doğrusal bir ilişkinin olduğu,

11-Aşınma ve dayanımlar arasında oldukça anlamlı doğrusal birer ilişkinin olduğu,

12-Aşınma direnci ile eğilme dayanımı arasındaki doğrusal ilişkinin aşınma direnci ve basınç dayanımı arasındaki ilişkiden daha kuvvetli olduğu, yargısına varılmıştır.

5. Kaynaklar

- [1] S. Anand, P. Vrat, R. P. Dahiya, 2006. Application of a System Dynamics Approach for Assessment and Mitigation of CO₂ Emissions from The Cement Industry. Journal of Environmental Management, Vol. 79, pp. 383–398.
- [2] R. Roskovic, D. Bjegovic, 2005. Role of Mineral Additions in Reducing CO₂ Emission. Cement and Concrete Research, Vol. 35, pp. 974–978.
- [3] F. Collins, J. G. Sanjayan, 1999. Workability and Mechanical Properties of Alkali Activated Slag Concrete. Cement and Concrete Research, Vol. 29, pp. 455–458.
- [4] B. Talling, J. Brandstetr, Present state and future of alkali activated slag concretes. In: Malhotra VM, editor. Proceedings of The Third International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag, and Natural Pozzolans in Concrete, Trondheim, Norway, ACI SP 114, Vol. 2; 1989. p. 1519–1546.
- [5] D. M. Roy, G. M. Idorn, Hydration, structure, and properties of blast furnace slag cements, mortars, and concrete. ACI Materials Journal 1982;79(12);444-457.
- [6] V. D. Glukhovsky, V. A. Pakhomov, Slag-Alkali Cements and Concretes. Kiev: Buidivelnik Publishers; 1978.
- [7] S. D. Wang, X. C. Pu, K. L. Scrivener, P. L. Pratt, 1995. Alkali Activated Slag Cement and Concrete: A Review of Properties and Problems. Advances in Cement Research, Vol. 7, No. 27, pp. 93–102.
- [8] S. Caijun, Strength, pore structure and permeability of alkali-activated slag mortars. Cement and Concrete Research, 1999;26(11):1789-1799.
- [9] A. Fernandez-Jimenez, J. G. Palomob, F. Puertas, Alkali-activated slag mortars mechanical strength behavior. Cement and Concrete Research, 1999;29(8):1313-1321.
- [10] C. Gong, N. Yang, Effect of phosphate on the hydration of alkali-activated red mud-slag cementitious material. Cement and Concrete Research, 2000;30(7):1013-1016.
- [11] F. Collins, J. G. Sanjayan, Effect of pore size distrubition on drying shrinkage properties of alkali-activated slag concrete. Cement and Concrete Research, 2000;30(9):1401–1406.

- [12] T. Kutti, L. Berntsson, S. Chandra, 1992. Shrinkage of Cements with High Content of Blast-Furnace Slag. Proceedings, CANMET/ACI Fourth International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Supplementary Papers, Editor V. M. Malhotra, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., İstanbul, pp. 615–625.
- [13] F. Collins, J. G. Sanjayan, 2000. Cracking Tendency of Alkali-Activated Slag Concrete Subjected to Restrained Shrinkage. Cement and Concrete Research, Vol. 30, pp. 791–798.
- [14] X. C. Pu, C. C. Gan, S. D. Wang, C. H. Yang, Summary Reports of Research on Alkali-Activated Slag Cement and Concrete. Volumes 1-6, Chongqing Institute of Architecture and Engineering, Chongqing 1988.
- [15] T. Bakharev, J. G. Sanjayan, Y. B. Cheng, 1999. Alkali Activation of Australian Slag Cements. Cement and Concrete Research, Vol. 29, pp. 113–120.
- [16] D. Krizan, B. Zivanovic, 2002. Effects of Dosage and Modulus of Water Glass on Early Hydration of Alkali-Slag Cements. Cement and Concrete Research, Vol. 32, pp. 1181–1188.
- [17] F. Collins, J. G. Sanjayan, 2001. Mikrocracking and Strength Development of Alkali Activated Slag Concrete. Cement and Concrete Composites, Vol. 23, pp. 345–352.
- [18] T. Bakharev, J. G. Sanjayan, Y. B. Cheng, 1999. Effect of Elevated Temperature Curing on Properties of Alkali Activated Slag Concrete. Cement and Concrete Research, Vol. 29, pp. 1619–1625.
- [19] TS EN 197-1, Çimento – Bölüm 1: Genel Çimentolar – Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, Türk Standardları Enstitüsü, Mart 2002, Ankara, Türkiye
- [20] ASTM (1994) ASTM C-989. Standard specification for ground granulated blast furnace slag for use in concrete and mortars. Annual book of American Society for Testing and Materials, USA.
- [21] TS EN 196-1, Çimento Deney Metotları – Bölüm 1: Dayanım, Türk Standardları Enstitüsü, Mart 2002, Ankara, Türkiye
- [22] C.D. Atış, Bilim C., Çelik O., Karahan O., "Influence of activator on the strength and drying shrinkage of alkali-activated slag mortar", Construction and Building Materials, 23 (1), 548-555, (2009).
- [23] TS EN 1015-3, Kagit Harcı – Deney Metotları – Bölüm 3: Taze Harç Kıvamının Tayini (Yayılma Tablası ile), Türk Standardları Enstitüsü, Kasım 2000, Ankara, Türkiye
- [24] TS 2824 EN 1338, Zemin Döşemesi için Beton Kaplama Blokları - gerekli şartlar ve deney metotları (TSE, 2005).