

Mineral, Kimyasal Katkılı ve Yüzey Kaplaması Uygulanmış Betonların Dürabilite Özelliklerinin Çevresel Etki Sınıfları Açısından Değerlendirilmesi*

Arda Işık¹, Cenk Kılınc², Eyüp Eren³,
Yavuz Şahin⁴, Göktuğ Aktaş⁵

Özet

Bu çalışmanın amacı TS13515 Standardı'na göre XC, XD ve XM çevresel etki sınıflarını sağlayan referans beton karışımlarının farklı bağlayıcı kombinasyonları, kimyasal katkı, koruyucu kaplama ve daha düşük çimento dozajı içeren beton karışımları ile çevresel etkilere karşı performanslarının karşılaştırılmasıdır.

Bu çalışma kapsamında 8 farklı beton tasarımı üretilmiştir. TS EN 12390-3 beton basınç dayanımı, NT BUILD 492 klorür migrasyon katsayısının tespiti, ASTM C1202-12 betonun klor geçişine karşı direnci, EN 13295 betonun karbonatlaşma direnci ve TS EN 13892-3 aşınma direnci tayini deneyleri yapılmıştır.

Deney sonuçlarına göre ortaya çıkan sonuçlar standardın tarif ettiği çevresel etki sınıfı gereklerine uyan ve uymayan karışımların performansları açısından karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda TS 13515 standardında şart koşulan en az çimento içeriği gerekliliği tartışılmıştır.

1. Giriş

Günümüzde betonun basınç dayanımı özelliğinin yanında yapının bulunduğu çevre şartlarına göre dayanıklılık (dürabilite) gereklilikleri de önem kazanmaktadır. Beton geçirimli ise karbonatlaşma, klor difüzyonu olur, demir korozyona uğrar, dürabilitesinden söz edilemez, yani önce dürabiliteye göre tasarım sonra dayanım söz konusu olmalıdır [1]. Mine-

Durability Performance of Concrete Designs with Mineral And Chemical Additives and Protective Coating Considering Environmental Exposure Classes

Purpose of this paper is to compare performances of concrete mixes that satisfies XC, XD and XM environmental exposure class criteria according to TS 13515 standard and those who have different lower binder contents and different binder compositions, chemical additives and protective coating.

In this study, 8 different concrete mixes have been produced. Those mixes have been tested for chloride migration according to NT BUILD 492 and ASTM C1202-12, carbonation resistance according to EN 13295, and mechanical abrasion according to TS EN 1338 (Böhme method).

Based on test results, performances of concrete mixes those comply and those do not comply with the requirements according to TS 13515 have been compared. In conclusion, minimum cement content requirement according to TS 13515 has been discussed.

ral katkıların uygun miktarda kullanımı ile betonun dürabilite özellikleri geliştirilebilir. Mineral katkının cinsine göre çimento dozajı bir miktar azaltılabilmektedir. Diğer taraftan mineral katkıların yüksek oranda kullanımı yapıların maruz kalacağı çevresel iklim şartları etkisi ile karbonatlaşma riskini arttıracığından uygun görülmemektedir [2]. Bunun yanında yüzeyin uygun kaplama malzemeleri ile ilave olarak korunması dürabilite açısından yarar sağlamaktadır [3].

TS EN 206 Standardı çeşitli çevresel etki şartlarını gözeterek beton tasarımlarında yol gösterici bir takım kriterler ortaya koymuştur. [4] Avrupa ülkeleri kendi şartları ışığında ilave kriterler tanımlayarak ulusal ekler oluşturmuştur. Ülkemizde TS EN 206'nın uygulanmasına yönelik tamamlayıcı standart olan TS 13515 ulusal ek, çeşitli çevresel etki şartları altında gerekli dürabilite özelliklerinin sağlanması için birtakım yol gösterici kriterler belirlemektedir. Bu kriterler en büyük su/eşdeğer bağlayıcı oranı, en az eşdeğer bağlayıcı içeriği, en az çimento içeriği ve en düşük beton sınıfını içermektedir. En az bağlayıcı içeriği gereklilikleri açısından TS EN

206 ve TS 13515 incelendiğinde, en az eşdeğer bağlayıcı içeriği ile ilgili kısıtlamanın iki standartta da bulunduğu, en az çimento içeriği ile ilgili bir kısıtlamanın Ulusal Ek'in getirdiği ilave bir şart olduğu görülmektedir. En az çimento içeriğinin belirlenmesinde ülkelerin kendi tecrübelerinin etkili olduğu

^{1,2,3} arda.isik@thbb.org , cenk.kilinc@thbb.org , eyup.eren@thbb.org , Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul

⁴ sahin.yavuz@tr.sika.com , Sika Yapı Kimyasalları, İstanbul

⁵ goktug.aktas@akcansa.com.tr , Akçansa Çim. ve San. Tic. A.Ş., İstanbul

^(*) Türkiye Hazır Beton Birliği tarafından düzenlenen Beton İstanbul 2017 Hazır Beton Kongresi'nde sunulmuştur.

anlaşılmaktadır. Bu konuda yayımlanan CEN/TR 16639:2014 raporunda çeşitli Avrupa ülkelerinde "k" değerinin belirlenmesinde kullanılacak mineral katkı ve bunların en yüksek miktarları konusundaki geri bildirimler incelendiğinde Avrupa ülkelerinin tamamında farklı yaklaşımlar uygulandığı anlaşılmaktadır [5]. Ulusal Ek'in minimum çimento içeriği yaklaşımının Alman DIN 1045-2 Standardı ile benzer yapıda olduğu görülmektedir [6].

Almanya'nın beton üretiminde cüruf kullanımı ile ilgili şartlarını incelediğimizde öğütülmüş yüksek fırın cürufunun (ÖYFC) betona karıştırılmasının uygulanmadığı, cürufun neredeyse tamamının çimento fabrikalarında katkılı çimento üretiminde kullanıldığı görülmüştür. DIN 1045-2'nin de bu uygulamayı destekleyen bir mantıkla oluşturulduğu cürufun ayrı bir beton katkısı olarak kullanılmasından ziyade katkılı çimento olarak kullanıldığı görülmüştür [7].

Almanya cürufun bağlayıcı özelliğini beton ve çimentoda ilk olarak kullanan ülkelerden biri olup 1923 yılından itibaren "Thurament" adını verdikleri ÖYFC ile küçük oranlarda ilave katkıların (çoğunlukla kireç) karışımını piyasaya arz etmiştir. Bu karışım o tarihlerde betonda çimento ile %50'ye varan oranda karıştırılabilmekte olup, 1960'lı yıllara kadar inşa edilen pek çok baraj projesindeki betonlar "Thurament" katkılı olarak üretilmiştir. İlerleyen yıllarda "Thurament" kullanımı ortadan kalkmıştır. Ülkede üretilen cüruf, çimento üreticileri tarafından çimento üretiminde kullanılmıştır [8].

Bu farklılıkları incelediğimizde, ülkelerin belirlediği kriterlerin gerekli dürabilite ve dayanım şartlarını sağlarken, ülkelerin kazanımlarını da maksimize edecek şekilde belirlendiği anlaşılmaktadır. Bununla beraber gelişen beton teknolojisi ile ekonomik ve dayanıklı beton üretimi ile ilgili yenilikler olmaktadır. Kalitesi ve bulunabilirliği artan mineral katkıları sayesinde beton üretimi sırasında ekonomi sağlanabildiği gibi, gelişen dünyamızın sorunlarından olan karbondioksit salınımı azaltılabilmekte, ürünlerin karbon ayak izi azalmaktadır.

Minimum çimento içeriği sınırı hakkında literatürde net bir sebep bulunmayıp çimento içeriği sınırından beklentiler aşığıdaki gibi sıralanmaktadır [9];

- Klasik yaklaşımdan hareketle işlenebilirliği sağlamak,
- Yeterli ince malzeme içeriği ile gerekli doluluğu sağlamak,
- Klorür (Cl) ve karbondioksit (CO₂)'in yeterli miktarda bağlanarak donatıya ulaşmasını engellemek,
- Mineral katkıların aktivasyonu için karışım içinde yeterli kalsiyum hidroksit (CaOH) elde etmek,
- Mineral katkıların çimento fabrikalarında daha kontrollü olarak kullanılmasını sağlamak.

Buna rağmen TS 13515 Standardı'nda kullanılan minimum

çimento içeriği yaklaşımı, kullanılacak mineral katkı içeriğini sınırlandırmaktadır ve potansiyel kazanımların önüne geçmektedir. Bu yaklaşıma alternatif olarak dürabilite sonuçları ışığında cüruf, kimyasal katkı ve koruyucu kaplama performansları araştırılmıştır.

2. Deneysel Çalışmalar

2.1. Malzemeler, Karışım Oranları ve Taze Beton Deneyleleri

Çalışmada kullanılan çimento Akçansa Büyükçekmece Fabrikası'na ait CEM I 42,5R tipi olup özgül ağırlığı 3,14 g/cm³, blaine değeri (özgül yüzey) 345 m²/kg'dır. Çimento bileşimi Tablo 1'de yer almaktadır.

Tablo 1. Çimento bileşimi

Bileşen	Bileşen yüzdesi (%)
SiO ₂	19,80
Al ₂ O ₃	4,43
Fe ₂ O ₃	3,20
CaO	63,70
MgO	1,08
SO ₃	2,59
Na ₂ O eşdeğeri	0,50
Kızdırma kaybı	2,77

Tablo 2. ÖYFC özellikleri

Deney	Sonuç
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	2,86
Özgül yüzey (m ² /kg)	480
45 → elek üstü (%)	1,5
CaO+MgO+SiO ₂ (%)	82,5
(CaO+MgO)/SiO ₂	1,06
Kızdırma kaybı (%)	0,1

Çalışmada Bolu Çimento'ya ait Ereğli cürufu, ince agrega olarak kırmataş tozu, iri agrega olarak iki çeşit kırmataş agrega kullanılmıştır. Kullanılan agregaların fiziksel özellikleri ve karışımın granülometrik bileşimleri Tablo 3 ve 4'te görülmektedir.

Tablo 3. Agrega fiziksel özellikleri

Fiziksel özellik	Kırmataş tozu	Kırmataş 1	Kırmataş 2
İncelik modülü	6,7	9,0	10,0
Özgül ağırlık (Kg/m ³)	2.650	2.740	2.750
Su emme (%)	1,7	0,8	0,6

Tablo 4. Agrega granülometreleri

Elek göz açıklığı	% Geçen											
	mm											
	31,5	22,4	16	11,2	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
Kırmaş tozu	100	100	100	98	70	46	28	17	10	7	3	2
Kırmaş 1	100	100	88	27	6	2	2	0	0	0	0	0
Kırmaş 2	100	84	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Karışım	100	96	75	60	40	26	16	9	6	4	2	1

Hazırlanan beton karışımlarında polikarboksilat esaslı yüksek oranda su azaltıcı/süperakışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Ayrıca bazı karışımlarda çimento esaslı, tek bileşenli, kristalize su yalıtım katkısı (Sika Crystal SG®) ve numune yüzeylerine uygulanan akrilat reçineli solvent esaslı beton koruyucu kaplama ürünleri (Sikagard®-680 S) kullanılmıştır.

2.2. Deneysel Çalışmalar

Çalışmada TS 13515 standardına göre XC, XD ve XM çevresel etki sınıflarını sağlayan referans beton numunelerinin farklı bağlayıcılar, kimyasal katkılar ve daha düşük çimento içeren beton karışımlarıyla ilgili çevresel etkilere karşı performanslarının karşılaştırılması yapılmıştır. Bu amaçla eşdeğer su-bağlayıcı oranı 0,55 ve 0,70 olan 4'er karışımdan oluşan karışım grupları hazırlanmıştır. Her bir grup için bağlayıcı olarak sadece çimento içeren ve bağlayıcı miktarının belirli oranda ÖYFC ile ikame edildiği tasarımlar yapılmıştır. ÖYFC ikameli karışımlarda ayrıca su geçirimsizlik katkısının eklendiği ve yüzey koruyucu kaplama ürünlerinin kullanıldığı numuneler de hazırlanmıştır. Çalışmalarda kullanılan beton bileşimleri, numune isimlendirmeleri ve taze hal özellikleri Tablo 5, 6 ve 7'da görülmektedir.

Tablo 5. Beton tasarım bilgileri

Kod	Tasarım bilgileri
A1	0,55 Su/eşdeğer bağlayıcı 300kg CEMI 42,5R
A2	0,55 Su/eşdeğer bağlayıcı 200kg CEMI42,5R+125 ÖYFC
A3	0,55 Su/eşdeğer bağlayıcı 200kg CEMI42,5R+125 ÖYFC + akrilat reçineli solvent esaslı beton koruyucu kaplama ürünleri
A4	0,55 Su/eşdeğer bağlayıcı 200kg CEMI42,5R +125 ÖYFC + tek bileşenli, kristalize su yalıtım katkısı
B1	0,70 Su/eşdeğer bağlayıcı 250kg CEMI42,5R
B2	0,70 Su/eşdeğer bağlayıcı 200kg CEMI42,5R +62,5 ÖYFC
B3	0,70 Su/eşdeğer bağlayıcı 200kg CEMI42,5R +62,5 ÖYFC + Akrilat Reçineli Solvent Esaslı Beton Koruyucu Kaplama Ürünleri
B4	0,70 Su/eşdeğer bağlayıcı 200kg CEMI42,5R +62,5 ÖYFC + Tek Bileşenli, Kristalize Su Yalıtım Katkısı

Tablo 6. Beton bileşenleri

Karışım Kodu		A1	A2	A3	A4
1 m ³ lük beton bileşimi	CEMI 42,5R(kg)	300	200	200	200
	ÖYFC (kg)	-	125	125	125
	Su (kg)	165	165	165	165
	Kırmaş tozu (kg)	1049	1010	1010	1010
	Kırmaş 1 (kg)	434	418	418	418
	Kırmaş 2 (kg)	455	438	438	438
	Tek bileşenli, kristalize su yalıtım katkısı	-	-	-	2
	Polikarboksilat esaslı yüksek oranda su azaltıcı/süperakışkanlaştırıcı (Bağlayıcıya oranla %)	1,5	1,5	1,5	1,5
	Akrilat reçineli solvent esaslı beton koruyucu kaplama ürünleri (kg/m ²)	-	-	0,20	-
	Su/Eşdeğer bağlayıcı	0,55	0,55	0,55	0,55
Taze beton özellikleri	Çökme (cm)	20	22	22	22
	Birim ağırlık (kg/m ³)	2.395	2.385	2.381	2.379

Tablo 7. Beton bileşimleri

Karışım Kodu		B1	B2	B3	B4
1 m ³ 'lük beton bileşimi	CEMI 42,5R(kg)	250	200	200	200
	ÖYFC (kg)	-	62,5	62,5	62,5
	Su (kg)	175	175	175	175
	Kırma taş tozu (kg)	1.057	1.036	1.036	1.036
	Kırma taş 1 (kg)	437	428	428	428
	Kırma taş 2 (kg)	459	449	449	449
	Tek bileşenli, kristalize su yalıtım katkısı	-	-	-	2
	Polikarboksilat esaslı yüksek oranda su azaltıcı/süperakışkanlaştırıcı (Bağlayıcıya oranla %)	1,4	1,4	1,4	1,4
	Akrilat reçineli solvent esaslı beton koruyucu kaplama ürünleri (kg/m ²)	-	-	0,20	-
	Su/Eşdeğer bağlayıcı	0,70	0,70	0,70	0,70
Taze beton özellikleri	Çökme (cm)	21	20	20	20
	Birim ağırlık (kg/m ³)	2.403	2.379	2.377	2.383

2.2.1 TS EN 12390-3 Basınç Dayanımı

Beton basınç dayanımı deneyi beton test cihazında gerçekleştirilmiştir. 100 mm ayrıtlı beton küp numuneler ile basınç dayanımı testleri yapılmıştır.

2.2.2 NT BUILD 492 Klorür Migrasyon Katsayısının Tespiti

NT BUILD 492 klorür migrasyon katsayısının tespiti deneyi, beton numune içerisine klorür iyonlarının penetrasyonuna karşı betonun direncinin ölçülmesi prensibine dayanmaktadır. Gösterilen direnç ne kadar yüksekse migrasyon katsayısı o kadar düşüktür. Deneysel çalışmada Ø100 mm x 200 mm silindirik beton numuneleri kullanılmıştır. Deney üç adet silindirik beton numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deney numuneleri Ø100 mm x 50 mm olacak şekilde kesilerek ha-

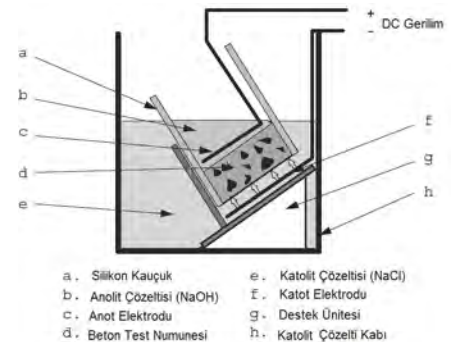
zırlanmıştır. Hazırlanan deney numuneleri vakum işlemine tabi tutulmak üzere Şekil 1'de görülen vakum kutusu içerisine alınmıştır. Vakum kutusunda 10 - 50 mbar (1 - 5 kPa) arasında vakum ortamında 3 saat bekletilen deney numuneleri hala vakum altındayken vakum kutusuna numuneler tamamen çözelti içerisinde kalana kadar doymuş kireç çözeltisi emdirilmiştir. Numuneler çözelti vakum ortamında 1 saat daha bekletildikten sonra vakum işlemine son verilerek vakum kutusunun kapağı açılmıştır. Numuneler çözelti içerisinde 18 ± 2 saat kalacak şekilde bekletilmiştir. Çözelti içerisinden alınan beton numuneleri Şekil 3'de görülen deney düzeneği içerisine yerleştirilmiştir. DC güç kaynağı kullanılarak standartta belirtilen sürelerle uygun gerilim değerleri beton numunelerinin her iki kutbu arasında uygulanmıştır.



Şekil 1. Vakum İşlemi



Şekil 2. Klorür Penetrasyonu

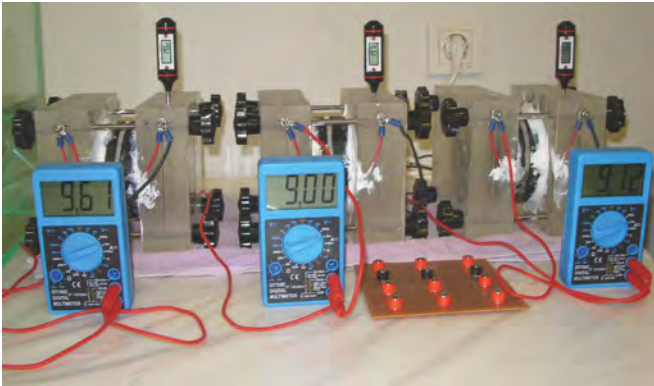


Şekil 3. Deney Düzeneği

Numuneler beton yarma aparatı vasıtasıyla ortadan ikiye ayrılmıştır. Yeni yarılmış numune yüzeylerine 0,1 M AgNO₃ çözeltisi spreyleneştir. Yaklaşık 15 dakika beklemeden sonra klorür iyonlarının beton numune içerisinde ilerleme miktarı beyaz bir bölge şeklinde kendini açık bir şekilde göstermeye başlamıştır (Şekil 2). Kumpas yardımıyla klorür penetrasyon derinliği mm cinsinden ölçülmüş ve klorür migrasyon katsayısı hesaplanmıştır.

2.2.3 ASTM C1202-12 Betonun Klorür Geçirimsizliğine Karşı Direnci

ASTM C1202-12 Standardı'na göre beton numunelerinin klorür geçirimsizliğine karşı direnci deneyinde Ø100 mm x 200 mm beton silindir numuneleri kullanılmıştır. Deney üç adet numune üzerinden gerçekleştirilmiştir. Deney numunelerinin NT BUILD 492 numunelerinden farkı ASTM C1202-12 hızlı klor geçirimsizliği numuneleri beton silindir numunelerinin dolmuş yönünden Ø100 mm x 50 mm olacak şekilde kesilerek hazırlanır. Vakum süreci NT BUILD 492 deneyi ile benzerlik göstermektedir. NT BUILD 492 deneyi için vakum değerinin 50 mbar altında olması gerekirken, ASTM C1202-12 deneyinde vakum değerinin yaklaşık 67 mbar altında olması yeterlidir. NT BUILD 492 deneyinde vakum çözeltisi olarak doymuş kireç çözeltisi kullanılırken ASTM C1202-12 deneyinde ise dinlendirilmiş musluk suyu kullanılmıştır. Numuneler çözelti içerisinde 18 ± 2 saat kalacak şekilde bekletilmiş ve Şekil 4'te görülmekte olan deney düzeneğine yerleştirilmiştir.



Şekil 4. ASTM C1202-12 Klorür geçirimsizliğine karşı direnci deney düzeneği

Düzeneğin çalışma şekli, beton disk numunesinin %3'lük NaCl ve 0,3 N NaOH çözeltileri arasında 60 V DC geriliminde beton elemanın elektriksel direncinin ölçülmesi prensibine dayanmaktadır. 60 V DC güç kaynağı ile beslenen betonun tamamladığı kapalı bir devre üzerinden 6 saat boyunca 30'ar dakika aralıklarla devreden geçen akım ölçülmüş ve betonun elektrik akımının geçişine karşı direnci Coulombs cinsinden hesaplanmıştır.

2.2.4 EN 13295 Betonun Karbonatlaşma Direnci

Beton numunelerinin karbonatlaşma direnci deneyi EN 13295 Standardı'na göre gerçekleştirilmiştir. Karbonatlaşma deneyi yapılacak olan beton test numuneleri 100 mm x 100 mm x 400 mm prizma olarak imal edilmiştir. Çalışmamızda 8 farklı tip betona ait test numuneleri deney düzeneğine yerleştirilmiştir. Hızlı karbonatlaşma deney düzeneğinde numune ve atmosfer kabinleri; içerisinde % 1 CO₂, 21±2 °C sıcaklık ve % 60±10 nem oranlarının sürekli olarak sağlandığı ve izlendiği kontrollü bir kapalı çevrimdir. Kabin içerisine yerleştirilen beton numuneleri 56 gün boyunca bekletildikten sonra yarma aparatı ile boyuna iki parçaya ayrılmıştır. Taze numune yüzeylerine fenolftalein çözeltisi püskürtülmesinden sonra numune yüzeyinden itibaren pembe renk değişiminin gözlemlendiği mesafe kumpas ile ölçülerek karbonatlaşma derinliği tespit edilmiştir.



Şekil 5. EN 13295 Karbonatlaşma direnci deney düzeneği

2.2.5 TS EN 13892-3 Aşınma Direncinin Tayini (Böhme)

Beton yüzeylerinin aşındırıcı maddelerle sürtünmesiyle oluşan ağırlık veya hacim azalmasına aşınma kaybı denir. Aşınma yavaş tempoda olan fiziksel ve mekanik bir olaydır. Aşınmaya maruz kalan beton yüzeyler sürtünme veya çarpma şeklinde gelen kuvvetlere maruz kalmaktadır. Bu nedenle aşınmaya maruz kalacak betonlar zamanla yapısal performans kaybına uğrayacaktır. Bu anlamda düşük su-eşdeğer bağılayıcı oranına sahip A deney serisine aşınma kaybı farklılıklarını tespit edebilmek için TS EN 13892-3 Standardı'nda tanımlanan Böhme deney metodu Şekil 6'da görülen cihaz ile uygulanmıştır. Bu standart genelde beton parke kaplama ürünlerinin ve yüzey sertleştirici kimyasalların performanslarının tespiti için kullanılan yüzeysel aşınma kayıplarını hacimsel olarak tespit edebilen bir deney metodudur.

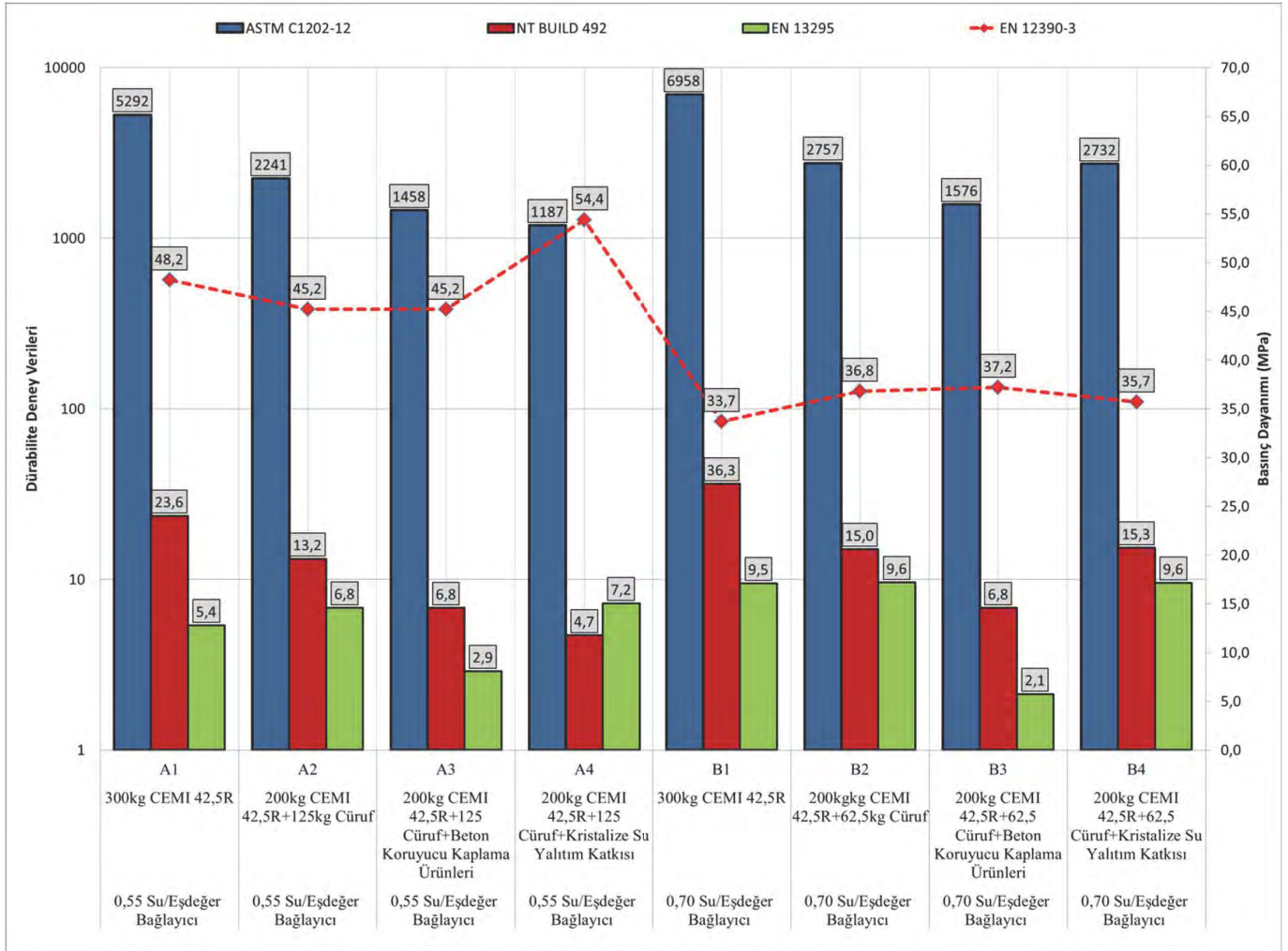
Sürtünme ile aşınma kaybı deneyi için TS EN 13892-3'e uygun olarak kenar uzunlukları 71 mm ± 1,5 mm olan küp biçiminde deney numuneleri hazırlanmıştır. Deneylerde 20 g ± 0,5 g zımpara tozu sürtünme şeridi üzerine serpilip çelik manivela aracılığı ile 294 ± 3 N ile yüklenmiştir. Her numune için 22

devirden meydana gelen çevrim, 16 kez uygulanmıştır. Deney numunesi iyice temizlendikten sonra numune boyutları 0,01 mm hassasiyetinde kumpas ile ölçülmüştür. 16 çevrim sonunda aşınma; numunenin kalınlığındaki azalma ve hacimdeki azalma oranları şeklinde hesaplanmıştır.



Şekil 6. Böhme deney aleti

3. Bulgular ve Tartışma



Şekil 7. Denei sonuçları

Tablo 8. Deney sonuçları

Numune kodu	Basınç dayanımı TS EN 12390-3	Klorür migrasyon katsayısı NT BUILD 492	Klorür geçirimsizliğine karşı direnç ASTM C1202-12	Karbonatlaşma direnci EN 13295
	(MPa)	($\times 10^{-12}$ m ² /s)	(Coulombs)	(mm)
A1	48,2	23,6	5.292	5,4
A2	45,2	13,2	2.241	6,8
A3	45,2	6,8	1.458	2,9
A4	54,4	4,7	1.187	7,2
B1	33,7	36,3	6.958	9,5
B2	36,8	15,0	2.757	9,6
B3	37,2	6,8	1.576	2,1
B4	35,7	15,3	2.732	9,6

3.1. TS EN 13892-3 Aşınma Direnci (Böhme) Deney Sonuçları

Böhme deneyi sadece su-eşdeğer bağlayıcı oranı 0,55 olan A serisi betonlara uygulanmıştır. Deney sonuçları Tablo 9'da verilmiştir.

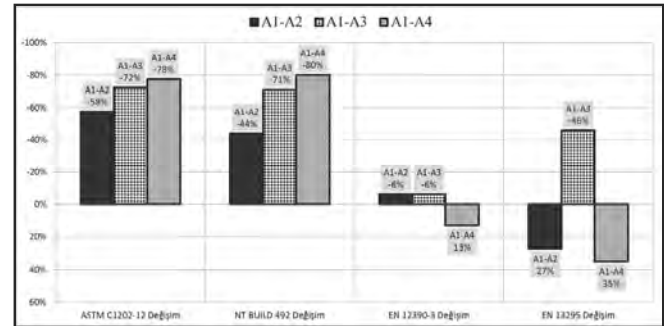
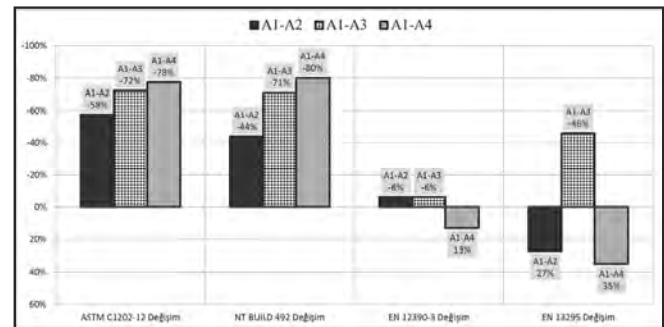
Tablo 9. Böhme deneyi sonuçları

Beton	Boyut ölçümü ile hesaplanmış hacim kaybı (%)	Batırma yöntemi ile ölçülmüş hacim kaybı (%)
A1	5,84	4,97
A2	4,84	4,82
A3	5,88	4,73
A4	6,06	5,02

Böhme yöntemiyle aşınma yapılan betonlarda yüzey mastarlanması olabildiğince iyi yapılmalı ve yüzey pürüzleri giderilmelidir. Bu çalışmada alınan numunelerin yüzey pürüzlülüğü olması gerekenden fazla olması sebebiyle aşındırma ve kalınlık ölçümleri esnasında sıkıntılarla karşılaşmıştır. Bu sebeple ölçülmüş hacim yöntemi kullanılarak alınmış sonuçları değerlendirmenin daha doğru olacağı söylenebilir.

Batırma yöntemi ile ölçülmüş hacim kayıplarına göre numuneler arasında anlamlı farklar olmadığı söylenebilir. Cürufun ve kimyasal katkıların aşınma performansına etkisini görebilmek için üretilen beton numunelerinin farklı çevresel etkilere maruz bırakılmasından sonra deneylerin yapılması önerilebilir.

3.2 Bağıl Karşılaştırmalı Deney Sonuçları

**Şekil 8.** 0,55 su/eşdeğer bağlayıcı grubu için bağıl deney sonuçları tablosu**Şekil 9.** 0,70 su/eşdeğer bağlayıcı grubu için bağıl deney sonuçları

4. Değerlendirme ve Sonuçlar

- Yüksek fırın cürufu kullanılan betonlarda referans betona göre karbonatlaşma derinliğinde azalma görülmemiştir. Ancak klorür geçirimliliği özelliğinin cürufu betonlarda referans betona göre %50'ye yakın azalma gösterdiği görülmüştür.
- Elde edilen deney sonuçlarına göre akrilat reçineli solvent esaslı beton koruyucu kaplama ürünü su-eşdeğer bağlayıcı oranından bağımsız olarak betonlarda etkili bir koruma sağlamaktadır. Beton içerisine eklenmiş bir katkı olmadığı için basınç dayanımına etkisi olmadığı söylenebilir. Dürabilite açısından tüm deneyler birlikte değerlendirildiğinde en yüksek performansı sağladığı söylenebilir. Bu sonuçlar literatürde önceden yapılmış çalışmalar ile uyumluluk içerisinde [10].
- Tek bileşenli, kristalize su yalıtım katkısının, kristalize etki göstererek düşük su-eşdeğer bağlayıcı oranına sahip betonlarda etkili olduğu söylenebilirken, su-eşdeğer bağlayıcı oranı yüksek betonlarda bu etkiyi gösterememektedir. Su-eşdeğer bağlayıcı oranı yüksek olan betonlarda boşluk oranı fazla olduğu için kristalize etki yeterince bu boşlukları dolduramamıştır. Dolayısıyla dürabilite özelliklerini genel olarak iyileştirmek için tasarım sırasında su-eşdeğer bağlayıcı oranının öncelikli olduğu ortaya çıkmaktadır.
- Su-eşdeğer bağlayıcı oranı 0,55'ten 0,70 değerine artırıldığında basınç dayanımı değerinin %30 azaldığı, klorür geçirimliliği değerinin %54, karbonatlaşma derinliğinin %77 ve klorür migrasyon katsayısının da %32 arttığı görülmüştür.
- Yüksek fırın cürufu ilave edilmiş betonların su/bağlayıcı değerlerinin 0,55'ten 0,70 değerine artırıldığında, basınç dayanımı değerinin %19 azaldığı, klorür geçirimliliği değerinin %23, karbonatlaşma derinliğinin %41 ve klorür migrasyon katsayısının da %14 arttığı görülmüştür.
- TS 13515 Standardı ele alındığında 300 kg CEM I 42,5R çimentosu içeren ve 0,55 su-eşdeğer bağlayıcı oranına sahip C30/37 sınıfındaki bir beton karışımı XD1 çevresel etki sınıfının şartlarını sağlamaktadır. Buna rağmen eşdeğer su-bağlayıcı oranını değiştirmeden 200 kg CEM I 42,5R çimentosu, 125 kg cüruf içeren bir beton karışımı minimum çimento içeriği gerekliliği dolayısıyla XD1 çevresel etkisi sınıfına ait şartları sağlamamaktadır. Ancak bu iki beton karışımın klorür geçirimliliği performansları karşılaştırıldığında cürufu karışım TS 13515'teki şartları sağlamamasına rağmen daha başarılı sonuç vermiştir. Bununla beraber aynı iki beton, karbonatlaşma açısından karşılaştırıldığında cürufuz beton karışımının karbonatlaşma derinliği cürufu betona göre daha düşük gerçekleşmiştir. Bu veriler ışığında belli bir su-eşdeğer bağlayıcı oranındaki betonlarda mineral katkıları klorür geçirimliliğini düşürmesine rağmen karbonatlaşma açısından performanslarının sorgulanması gerektiği anlaşılmıştır.

Kaynaklar

1. Mehmet Ali Taşdemir, "Betonun Dayanım ve Dürabiliteye Göre Tasarımı ve Üretimi," Sürekli Eğitim Seminerleri, İstanbul, 2002.
2. C., Snibb, R Bohlin, "Carbonation of concrete Effect of mineral additions and influence on transport properties".
3. B., Yazıcı, H., Ün, H. Baradan, "Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Dürabilite)", İstanbul: Türkiye Hazır Beton Birliği Yayınları, 2010.
4. "Beton, Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk," TSE, Standart TS EN 206, 2014.
5. "k-değeri kavramı, eşdeğer beton performans kavramı ve kombinasyonların eşdeğer performans kavramlarının kullanımı,» CEN, CEN/TR 16639, 2014.
6. "Concrete, reinforced and prestressed concrete structures - Part 2: Concrete - Specification, performance, production and conformity - Application rules for DIN EN 206," DIN, Standart 1045-2, 2014.
7. CEN TR, 15868, 2009.
8. The Federal Association of the German Ready-Mixed Concrete Industry, Mar. 23, 2007.
9. Katz, A. Bentur R. Wassermann, "Minimum cement content requirements: a must or a myth?", Sep. 30, 2008.
10. M Simas, "Concrete Carbonation Protection Systems," Instituto Superior Técnico, Lisbon.