

FARKLI KOMPOZİSYONLARDAKİ ZARARLI ORTAMLARA MARUZ KALAN BETONLAR İÇİN UYGUN ÇİMENTO TİPİNİN BELİRLENMESİ

Mücteba UYSAL¹, Bedri Caner ALPAY¹, Kemalettin YILMAZ¹

¹Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, SAKARYA

E-mail: mucteba@sakarya.edu.tr

ÖZET

Günümüzde gelişen ve ilerleyen teknoloji ile birlikte artan talepler ve bunun paralelinde doğan malzeme sıkıntısı, malzemenin en verimli ve en etkin şekilde kullanılma gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Bunun için betonun en önemli bileşeni olan çimentonun etkin biçimde kullanılması, içyapısının ve bazı özelliklerinin iyi bir biçimde analiz edilerek ve mekanik davranışının en iyi şekilde anlaşılması gerekmektedir. Betonun içerisine sızan su, karbondioksit, oksijen, sülfat, asit ve klor gibi maddeler, betonda değişik türlerdeki kimyasal olayların yer almasına neden olmaktadır. Bunun sonucunda beton hizmet süresi boyunca, bünyesinde yıpranmaya yol açabilecek birçok kimyasal ve fiziksel etkenle karşılaşmaktadır.

Bu çalışmada CEM I 42.5 R, CEM II/A-P 42.5 R, CEM IV/A-P 32.5 R ve SDÇ 42.5 R çimento tipleri ile iki farklı beton türünde (C20/25 ve C30/37) numuneler hazırlanmış ve bu numuneler farklı iki tür zararlı kimyasal ortama maruz bırakılmıştır. Bu numuneler üzerinde 28. ve 180. günlerde basınç dayanımı deneyleri yapılarak Ambarlı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinde kullanılacak beton bileşimindeki en uygun çimento tipi belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çimento, Basınç Dayanımı, Zararlı Ortam, Beton Sınıfı.

DETERMINATION OF OPTIMUM CEMENT TYPE OF CONCRETE EXPOSED TO VARIOUS CHEMICAL HAZARDOUS ENVIRONMENTS

ABSTRACT

Nowadays, it is emerged to use the materials optimum and efficiently due to shortage of material arising from increasing demands and developed and improved technology. Because of this, it is necessity to understand thoroughly and analyze the internal structure and mechanical behavior of cement which one of the most important component of concrete. Water, carbon dioxide, oxygen, sulfate, acid and chloride infiltrate into concrete and caused various types of chemical reactions. Therefore, the concrete has exposed to some chemical and physical factors caused durability problems within the concrete.

In this study, CEM I 42.5 R, CEM II/A-P 42.5 R, CEM IV/A-P 32.5 R and SDC 42.5 R types of cements were used and two types of concrete (C20/25 and C30/37) were produced and the concretes were exposed to two various hazardous chemical environments. Compressive strength test was performed on the specimens at 28 d and 180 d. However, it was aimed to determine optimum cement type of concrete exposed to various chemical hazardous environments at Ambarlı Advanced Biological Wastewater Treatment Plant.

Keywords: Cement, Compressive Strength, Hazardous Environment, Concrete Type.

1. GİRİŞ

Beton sürekli çimento hamuru ile dağılı agrega fazı ile bu iki fazın temas yüzeyinin oluşturduğu arayüz fazından meydana gelen kompozit bir malzemedir [1]. Bu haliyle beton son yıllarda en çok kullanılan en önemli ve popüler yapı malzemesidir [2-11]. Türkiye'deki yapı üretiminin %90'ının betonarme taşıyıcı sistem olarak gerçekleştirildiği bilinmektedir [12]. Bu durumda, betonarme ve yapı malzemelerine ilişkin bilgilerin önemi artmaktadır.

Değişik türdeki yapılarda kullanılmakta olan beton, servis ömrü boyunca bünyesinde yıpranmaya yol açabilecek birçok kimyasal ve fiziksel etkenle karşılaşmaktadır. Betonun içine sızan su, karbondioksit, oksijen, sülfat, asit ve klor gibi maddeler betonda değişik türlerdeki kimyasal olayların yert almasına neden olmaktadır. Betonda ortaya çıkan zararlı kimyasal reaksiyonlar kendini, betonun gözenekliliğinin ve geçirimsizliğinin artması, çatlamlar, dökülmeler, kapak atmalar ve betonun yumuşaması, dayanımını ve rijitliğini kaybetmesi şeklinde gösterir. Betonun hasar görme derecesinin artışıyla bozulma süreci hızlanır. Betonda karşılaşılan en önemli kimyasal etkiler sülfat, asit ve alkali saldırıları sonucu meydana gelir. Ayrıca atık su ve tuz etkileri de beton üzerinde önemli sorunlar oluşturmaktadır. Bu yıpratıcı reaksiyonların çoğunda çimentodaki C_3A içeriğinin olumsuz etkisi vardır. Çünkü çimento içinde C_3A varlığıyla oluşan bazı yarı kararlı yapılar, ortama kimyasal maddelerin girmesiyle bozulur ve genleşen veya beton bünyesinden uzaklaşan yeni yapılar oluşturur. Betonda yer alan kimyasal ve fiziksel olaylar sonucunda beton daha geçirimli bir hal almakta ve içerisindeki donatı paslanabilmekte, beton aşınabilmekte ve içerisinde çok büyük gerilmeler oluşabilmektedir. Bütün bu olaylar, betonun hasar görmesine ve hizmet edemez duruma gelmesine yol açmaktadır.

Genelde betonun kalıcılığı kullanılan çimento tipine göre değişmektedir. Gerek beton kalitesi bakımından proje dayanımının sağlanması için, gerekse zararlı etkilere maruz kalan beton elemanların bozulmasını önlemek için uygun çimento seçiminin yapılması zorunludur. Sülfatlı ortamlarda sülfata dayanıklı çimento (SDÇ), süper sülfat çimentosu (SSÇ) gibi özel üretimler tercih edilmeli ya da Portland çimentosuna yüksek fırın cürufu, silis dumanı, uçucu kül gibi mineral katkıları ilave edilmelidir. Böylece koruyucu şartları da yerine getirerek betonarme yapıda durabilite sağlanabilmektedir.

Asitler iyon değişimi ile çimento hamuru bileşenlerinden çözünebilir veya çözünmeyen kalsiyum tuzları meydana getirmektedir. Ayrıca, magnezyum tuzlarının çimento hamuru ile teması halinde magnezyum CSH jelindeki kalsiyumun yerini almakta ve bu jel bağlayıcılık değerini kaybetmektedir. Asitlerin sertleşmiş beton üzerindeki etkisi, kalsiyum bileşenlerini ($Ca(OH)_2$, CSH ve CAH), saldırıda

bulunan asidin kalsiyum tuzlarına dönüştürmesi şeklinde gelişmektedir. Kalsiyum tuzları suda yavaş veya hızlı çözündüklerinden, çimento harcı belirli zaman sürecinde çözülmekte ve beton harap olmaktadır. Asit etkisine; bacalarda, asit buharlarının oluşturduğu döküm yapılan tesislerde, bataklık sularında, buz etkisinde dağlık bölgelerde, kanalizasyon sularında ve arıtma tesisleri gibi yerlerde rastlanmaktadır [13].

Atıksu arıtma tesislerinde kullanılacak beton elemanının maruz kalacağı ortamda çimento hamuru ile temas halinde olan su kirece doyduğunda hidroliz sona ermektedir. Suyun sürekli akması veya yenilenmesi durumunda ise kalsiyum hidroksit tamamen çözünüp yıkanarak hamur dışına atılabilmekte ve bu kez çözünme bağlayıcı özellikteki kalsiyum silika hidrate jellerinde başlamaktadır. Kireç içeriğinin azalması sonucunda betonda dayanım kaybı meydana gelmekte ve kirecin boşalttığı gözenekler sebebiyle geçirimsizlik artıp dayanım azalabilmektedir. Mehta tarafında yapılan araştırmalara göre, asidik veya magnezyum içeren sular nedeniyle çimento hidrate bileşenlerinin çözünmesi veya yıkanarak uzaklaşması halinde, kaybedilen her %1 kireç (CaO eşdeğeri olarak) içeriği için beton basınç dayanımının %2 azaldığı, betonun orijinal kireç içeriğinin dörtte birini kaybetmesi halinde ise dayanımının yarısını kaybettiği görülmektedir [14].

Bu çalışmada, Anbarlı Atıksu Arıtma Tesisinde depolanacak atıksulara karşı en ideal dayanım ve dayanıklılığı sağlayacak beton için en uygun çimento tipi belirlenmesine yönelik olarak 4 farklı çimento tipi ve iki farklı beton sınıfında numuneler üretilmiş ve bu numuneler musluk suyu ile farklı iki tür zararlı kimyasal ortama maruz bırakılmıştır. Bu betonlar üzerinde 28. ve 180. günlerde basınç dayanımı deneyleri yapılarak Ambarlı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinde kullanılacak beton bileşimindeki en uygun çimento tipi belirlenmeye çalışılmıştır.

2. KULLANILAN MALZEMELER

Beton karışımlarında çimento olarak 4 farklı çimento tipi CEM I 42.5 R (Portland çimentosu), CEM II/A-P 42.5 R (Portland puzolanlı çimento), CEM IV/A-P 32.5 R (Puzolanik çimento) ve SDÇ 42.5 R (Sülfata dayanıklı çimento), agrega olarak kalker agregası kullanılmıştır. Çimentolara ait kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikler Tablo 1'de gösterilmiştir.

Numuneler agregaları ve kıvamları sabit olmak üzere sadece çimento tipleri değişken olarak üretilmiştir. Bu çimentoları kullanarak, C20/25 ve C30/37 olmak üzere iki tip beton sınıfında üretim gerçekleştirilmiştir. Numuneler $15 \times 15 \times 15$ cm küp olarak üretilmiştir. Üretilen numuneler kalıptan alındıktan sonra 7 gün boyunca $20 \pm 2^\circ C$ 'de kirece doygun su içerisinde bekletilmiştir. Daha sonra 28 ve 180 gün boyunca musluk suyu ve farklı kombinasyonlardaki iki değişik zararlı

kimyasal ortamda bırakılmıştır. Deneylerde kullanılan zararlı kimyasal ortamların kompozisyonu Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1. Çimentolara ait kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikler

Bileşen Adı	CEM I 42.5 R	CEM II/A-P 42.5 R	CEM IV/A-P 32.5 R	SDÇ 42.5 R
Çözünmez kalıntı	0.61	0.62	0.60	0.60
MgO	1.10	1.11	1.13	1.12
SO ₃	2.50	2.5	2.4	2.7
Kızdırma Kaybı	2.10	2.13	2.42	2.41
Serbest CaO	1.10	1.13	1.12	1.10
Toplam Alkali	0.53	0.54	0.52	0.53
Fiziksel Özellikler				
Priz Başlangıcı (dak.)	190	170	200	170
Priz Sonu (dak.)	250	205	240	205
Hacim Sabitliği (cm)	1.0	1.0	1.0	1.0
Özgül Yüzey (cm ² /g)	3410	3770	4980	3610
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3.13	3.12	3.14	3.14
Mekanik Özellikler (MPa)				
2 Günlük Dayanım	26	26	14	26
28 Günlük Dayanım	58	57	38	54

Tablo 2. Deneylerde kullanılan zararlı kimyasal ortamların kompozisyonu

		I. Zararlı ortam	II. Zararlı ortam
BOI	mg/l	349	531
KOI	mg/l	696	995
AKM	mg/l	631	934
UAKM	mg/l	337	472
Tuzluluk	%	4.64	4.85
TOP-N	mg/l	69.4	78.8
Top-P	mg/l	12	19.8

BOI : Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı. Bakterilerin suda bulunan organik maddeleri parçalarken tükettikleri oksijen miktarı.

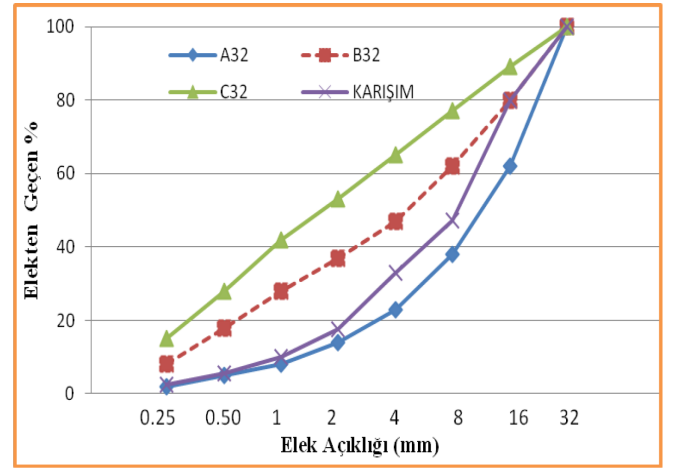
KOI : Kimyasal Oksijen İhtiyacı. Bakterilerin suda bulunan organik maddeleri parçalarken tükettikleri oksijen miktarı atık su arıtma sistemi planlamasında çok önemli bir parametredir.

AKM : Askıda Katı Madde. Suda ve yağım suyunda bulunan, yaklaşık 1 mikron büyüklüğünde veya daha büyük olmakla birlikte, sözgelimi kum tanesinden daha küçük katıları ifade etmek için kullanılan terimdir.

UAKM : Uçucu Askıda Katı Maddeler. Suda ve yağım suyunda bulunan, yaklaşık 1 mikron büyüklüğünde veya daha büyük olmakla birlikte, sözgelimi kum tanesinden daha küçük katıları ifade etmek için kullanılan terim.

TOP-N : Bir litre atık sudaki toplam azot miktarı.

TOP-P : Bir litre atıksudaki toplam fosfor miktarı.



Şekil 1. TS 706 referans ve karışım granülometri eğrileri

Bu atık sular Ambarlı Atıksu Arıtma Tesisi'ne girecek olan Ambarlı ve Gürpınar tünellerinden alınmıştır. Beton numuneleri üzerinde 28 ve 180 gün sonunda basınç dayanım deneyleri yapılarak, 4 farklı çimento tipinde ve iki farklı beton sınıfında üretilen numunelerin farklı kombinasyonlardaki iki değişik zararlı kimyasal ortama maruz kalmaları durumunda temiz suda bekletilen numunelere göre basınç dayanımları karşılaştırılmıştır. Üretilen betonlarda kullanılan agregaların granülometrik analizi TS 3530'a göre yapılmış ve Şekil 1'de gösterilmiştir [15].

Tablo 3. 1 m³ beton için karışım dizaynı

Beton kodu	Çimento (kg/m ³)	Su (kg/m ³)	s/ç	Doğal Kum (kg/m ³)	Kırma Kum (kg/m ³)	Kırmaşa I (kg/m ³)	Kırmaşa II (kg/m ³)	Çökme (mm)
C20/25	312	177	0.56	387	646	513	566	20
C30/37	377	164	0.43	377	586	533	565	17

Beton üretiminde her bir çimento tipi için 18'i C20/25 ve diğeri 18'i ise C30/37 sınıfında olmak üzere 36 adet numune, toplamda ise 144 adet numune üretilmiştir.

Hazırlanan karışımlar, 16-21 cm arasında çökme değerleri elde edilecek şekilde hazırlanmıştır. Her gruba ait üç numune basınç deneyine tabi tutulmuştur. Beton karışımlarının hazırlanması esnasında öncelikle, agregalar ve çimento kuru olarak karılmış, daha sonra su karışıma dahil edilmiştir.

Karışımların tamamı 20±3°C ortam sıcaklığında hazırlanmıştır. Standartlara uygun olarak yapılan deney yöntemleriyle üretim aşamasında her grupta taze betonun çökme değerleri tespit edilmiştir. Bu özelliklere bağlı olarak üretilen betonların karışım oranları Tablo 3'te verilmiştir.

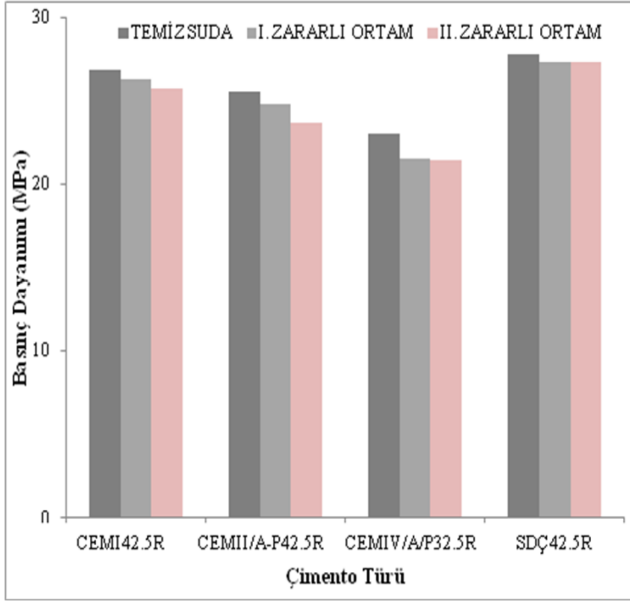
3. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Farklı iki tür zararlı kimyasal ortama maruz kalacak betonlar için en uygun çimento türünün belirlenmeye çalışıldığı bu çalışmada 4 farklı çimento tipi kullanarak ve iki değişik beton sınıfında beton üretimi gerçekleştirilerek üretilen betonlar üzerinde yapılan 28 ve 180 günlük basınç dayanımı deneyleri sonucunda elde edilen değerler Tablo 4'te herbir çimento türü için temiz suda bekletilen numuneler referans alınarak verilmiştir.

Tablo 4. Herbir çimento tipi için temiz suda bekletilen numuneler esas alınarak basınç dayanımının göreceli olarak değişimi

Çimento Tipi	Beton Sınıfı	Kimyasal Ortam	28 Günlük Basınç Dayanımı	180 Günlük Basınç Dayanımı
CEMI42.5R	C20/25	Temiz Su	100	100
		I.Zararlı Ortam	98	90
		II.Zararlı Ortam	95	88
	C30/37	Temiz Su	100	100
		I.Zararlı Ortam	98.7	95.9
		II.Zararlı Ortam	97.8	92.8
CEMII/A-P 42.5R	C20/25	Temiz Su	100	100
		I.Zararlı Ortam	96.9	84
		II.Zararlı Ortam	94.7	80.1
	C30/37	Temiz Su	100	100
		I.Zararlı Ortam	96.5	89.1
		II.Zararlı Ortam	95.7	86.2
CEMIV/A-P 32.5R	C20/25	Temiz Su	100	100
		I.Zararlı Ortam	93.4	84.1
		II.Zararlı Ortam	93	82.7
	C30/37	Temiz Su	100	100
		I.Zararlı Ortam	95.3	86.8
		II.Zararlı Ortam	95	85.4
SDÇ42.5R	C20/25	Temiz Su	100	100
		I.Zararlı Ortam	98.2	97.6
		II.Zararlı Ortam	98.3	94.8
	C30/37	Temiz Su	100	100
		I.Zararlı Ortam	99.3	98.3
		II.Zararlı Ortam	98.8	98.1

C20/25 sınıfında üretilen betonlar değerlendirildiğinde Şekil 2'de de görüldüğü üzere 28. günde en iyi performansı SDÇ42.5R çimentosu ile üretilen betonlar vermiştir. Bu çimento kullanılarak üretilen betonlar 28. günde I. Zararlı ortamda %1.8, II. Zararlı ortamda ise %1.7 dayanım kaybına uğramıştır. Ayrıca, SDÇ42.5R çimentolu betondan 28. günde temiz suda ve iki farklı zararlı kimyasal ortamda en yüksek basınç dayanımı değeri elde edilmiştir. C20/25 sınıfında üretilen betonlar içerisinde 28. günde en kötü performansı ise genel olarak CEM IV/A-P 32.5 R çimentolu betonlar vermiştir. Bu çimento kullanılarak üretilen betonlar 28. günde I. Zararlı ortamda % 6.6, II. Zararlı ortamda ise % 7 dayanım kaybına uğramıştır. SDÇ42.5R çimentosunun % 5'in altında C₃A içermesi ve hidrasyon sırasında oluşan inert alümin jelinin koruyucu etkisi bu çimento kullanılarak üretilen betonların her iki zararlı kimyasal ortamda da en iyi performansı göstermesine olanak sağladığı söylenebilir.

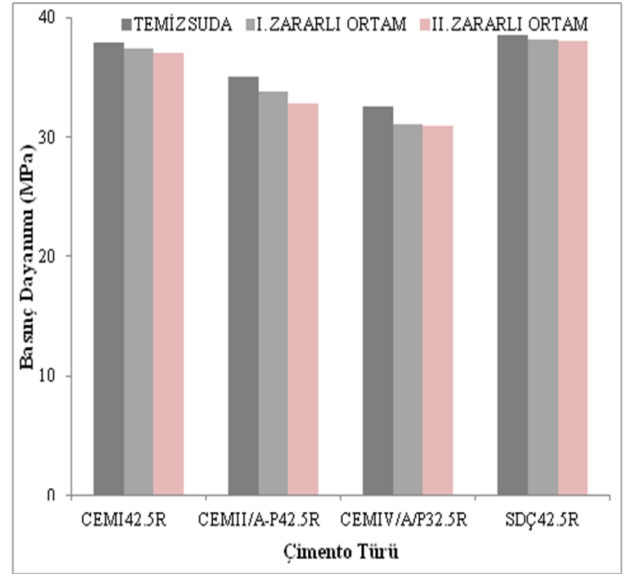


Şekil 2. C20/25 sınıfında üretilen betonların 28 günlük basınç dayanımı sonuçları

Şekil 3'te C30/37 sınıfında üretilen betonların temiz suda ve iki farklı zararlı ortamda 28 gün bekletilmeleri sonucunda elde edilen basınç dayanımı sonuçları verilmiştir. Şekil 3 incelendiğinde C30/37 sınıfında üretilen betonlar içerisinde 28. günde en iyi performansı SDÇ42.5R çimentosu ile üretilen betonlar vermiştir. Bu çimento kullanılarak üretilen betonlar 28. günde I. Zararlı ortamda %0.7, II. Zararlı ortamda ise %1.2 dayanım kaybına uğramıştır. Temiz suda ve iki farklı zararlı ortamda 28 gün boyunca bekletilen ve C30/37 sınıfında üretilen betonlar içerisinde en kötü performans olarak en yüksek dayanım kaybını ise I. ve II. Zararlı ortamda CEM IV/A-P 32.5 R çimentosu kullanılarak üretilen betonlar vermiştir. CEM IV/A-P 32.5 R çimentosu kullanılarak üretilen betonlar 28. günde I. Zararlı ortamda % 4.7, II. Zararlı ortamda ise % 5 dayanım kaybına uğramıştır.

Genel olarak değerlendirildiğinde 28. günde C30/37 beton sınıfındaki betonların beklendiği üzere, C20/25 beton sınıfındaki betonlara göre her iki zararlı ortamda da daha iyi performans gösterdiği, diğer bir deyişle temiz suda bekletilen numunelere göre her iki zararlı ortamda meydana gelen dayanım kaybının C30/37 beton sınıfında daha az olduğu söylenebilir. Bu duruma neden olarak C30/37 sınıfında üretilen betonların C20/25 sınıfında üretilen betonlara göre daha fazla bağlayıcı içermesi, bu durumun da geçirimsizliğe olumlu katkı yapması söylenebilir.

C20/25 sınıfında üretilen betonlar değerlendirildiğinde Şekil 4'te de görüldüğü üzere 180. günde en iyi performans SDÇ42.5R çimentosu ile üretilen betonlardan elde edilmiştir.

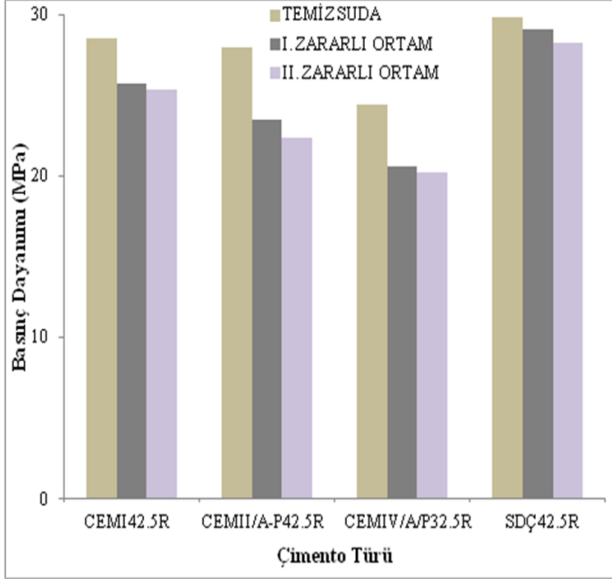


Şekil 3. C30/37 sınıfında üretilen betonların 28 günlük basınç dayanımı sonuçları

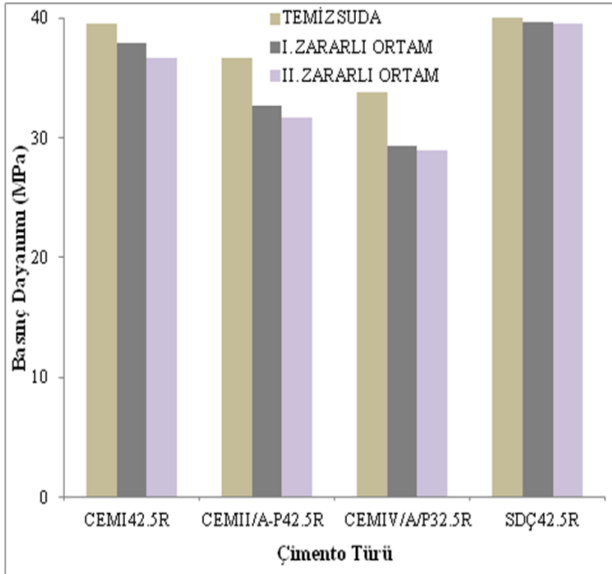
Bu çimento kullanılarak üretilen betonlar 180. günde I. Zararlı ortamda %2.4, II. Zararlı ortamda ise %5.2 dayanım kaybına uğramıştır. Bununla birlikte, SDÇ42.5R çimentolu betondan 28. günde temiz suda ve iki farklı zararlı kimyasal ortamda en yüksek basınç dayanımı değeri elde edilmiştir. 180. günde C20/25 sınıfında üretilen betonlar içerisinde en kötü performans ise CEMII/A-P 42.5R çimentolu betonlardan elde edilmiştir. Bu çimento kullanılarak üretilen betonlar 180. günde I. Zararlı ortamda % 16, II. Zararlı ortamda ise % 19.9 dayanım kaybına uğramıştır.

180. günde C30/37 sınıfında üretilen betonlar içerisinde en iyi performans olarak iki farklı zararlı ortamda en az dayanım kaybına uğrayan betonlar SDÇ42.5R çimentosu ile üretilen betonlar olmuştur. Bu çimento kullanılarak üretilen betonlar 180. günde I. Zararlı ortamda %1.7, II. Zararlı ortamda ise %1.9 dayanım kaybına uğramıştır. Temiz suda ve iki farklı zararlı ortamda 180 gün boyunca bekletilen ve

C30/37 sınıfında üretilen betonlar içerisinde en kötü performans olarak en yüksek dayanım kaybını I. ve II. Zararlı ortamda CEM IV/A-P 32.5 R çimentosu kullanılarak üretilen betonlar vermiştir. CEM IV/A-P 32.5 R çimentosu kullanılarak üretilen C30/37 sınıftaki betonlar 180. günde I. Zararlı ortamda % 13.2, II. Zararlı ortamda ise % 14.6 dayanım kaybına uğramıştır (Şekil 5). 28 günlük numunelerde olduğu gibi 180 günlük numuneler içerisinde de C30/37 beton sınıfındaki betonların, C20/25 beton sınıfındaki betonlara göre her iki zararlı ortamda da daha iyi performans gösterdiği görülmüştür.



Şekil 4. C20/25 sınıfında üretilen betonların 180 günlük basınç dayanımı sonuçları



Şekil 5. C30/37 sınıfında üretilen betonların 180 günlük basınç dayanımı sonuçları

4. SONUÇLAR

Ambarlı Atıksu Arıtma Tesisi'ne girecek iki farklı tünelden alınarak oluşturulan kimyasal ortamlarda bekletilen numuneler üzerinde bu tesis için en uygun çimento türünün belirlenmeye çalışıldığı bu çalışmada 4 farklı çimento tipi kullanarak ve iki değişik beton sınıfında beton üretimi gerçekleştirilerek üretilen betonlar üzerinde 28 ve 180 günlük basınç dayanımı deneyleri sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Basınç dayanımı sonuçları değerlendirildiğinde 28. ve 180. günlerde C30/37 beton sınıfındaki betonların, C20/25 beton sınıfındaki betonlara göre her iki zararlı ortamda da daha iyi performans gösterdiği görülmüştür.
- İki farklı zararlı ortamda bekletilen numuneler her bir çimento tipi için birarada değerlendirildiğinde (her iki zararlı ortam ve beton sınıfı birlikte düşünüldüğünde) CEM I 42.5 R çimentolu betonlarda 28. günden 180. güne gelindiğinde % 5.71, CEM II/A-P 42.5 R çimentolu betonlarda 28. günden 180. güne gelindiğinde % 11.35, CEM IV/A-P 32.5 R çimentolu betonlarda 28. günden 180. güne gelindiğinde % 9.43 ve SDC 42.5 R çimentolu betonlarda 28. günden 180. güne gelindiğinde % 1.45 dayanım düşüşü meydana gelmiştir.
- Her iki beton sınıfı ve farklı iki beton yaşı gözönüne alındığında Ambarlı Atıksu Arıtma Tesisi için en uygun çimento türünün SDC 42.5 R çimentosu olduğu bu çalışma sonunda ortaya konmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] Söylev, T.A., Özturan T., Çelik ve Polipropilen Liflerin Betonun Mekanik ve Geçirimsizlik Özelliklerine Etkisi, 8. Ulusal Beton Kongresi, s.425-433, İzmir (2011).
- [2] Topçu, İ.B., Yapı Malzemesi ve Beton, Şahvar Offset, Eskişehir (2006).
- [3] Kırca, Ö., Yapılarda Beyaz Beton Uygulamaları, Konut Kurultayı Bildiriler Kitabı, İstanbul (2002).
- [4] Tuyan, M., Yazıcı, H., Yüksek Performanslı Harçlarda Lif-Matris Aderansının İncelenmesi, 8. Ulusal Beton Kongresi, s.299-308, İzmir (2011).
- [5] Bilim, C., Atis, C.D., Tanyildizi, H., Karahan, O., Predicting the compressive strength of ground granulated blast furnace slag concrete using artificial neural network, Advances in Engineering Software, Vol.40(5), pp.334-340 (2009).
- [6] Siddique, R., Aggarwal, Y., Aggarwal, P., Kadri, E.H., Bennacer, R., Strength, durability, and micro-structural properties of concrete made with used-foundry sand (UFS), Construction and Building Materials, Vol.25, pp.1916-1925 (2011).

- [7] Siddique, R., Performance characteristics of high-volume Class F fly ash concrete Cement and Concrete Research, Vol.34, pp. 487-493 (2004).
- [8] Neville A.M., Properties of Concrete, Longman Scientific & Technical, England (1981).
- [9] Kovler, K., Roussel, N., Properties of fresh and hardened concrete, Cement and Concrete Research, Vol. 41, pp. 775-792 (2011).
- [10] Yerramala, A., Babu, K.G., Transport properties of high volume fly ash roller compacted concrete, Cement & Concrete Composites, Vol.33, pp.1057-1062 (2011).
- [11] Kabay, N., Akoz, F., Effect of prewetting methods on some fresh and hardened properties of concrete with pumice aggregate, Cement & Concrete Composites, Vol.34,pp. 503-507 (2012).
- [12] Erdoğan, T.Y., Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yay. ve İletişim A.Ş., Ankara (2003).
- [13] Baradan, B., Yazıcı, H., Ün, H., Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık, Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul (2010).
- [14] Mehta, P.K., Monteiro, J.M.P., Concrete (microstructure, properties and materials), Indian Concrete Institute, Indian Edition (2006).
- [15] TS 3530, Beton Agregalarının Tane Büyüklüğü Dağılımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara (1980).