

Uçucu Kül İkameli Çimento Harcının Basınç Dayanımı ve Priz Zamanına Distile Su Etkisinin Araştırılması

Atıla DORUM, İlker TEKİN
Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü
06500 Teknikokullar, ANKARA

ÖZET

Bu çalışmada, uçucu kül (UK) ikameli çimento harcında, karışım ve kür suyu olarak distile(saf) su kullanılmıştır. Hazırlanan numunelere 28 gün süreyle kür uygulanmış ve sertleşmiş numunenin basınç dayanımları ölçülmüştür. Ayrıca distile su kullanılarak hazırlanan UK ikameli çimento pastasının priz süreleri belirlenmiştir.

Çalışmada uçucu kül, toplam çimento kütlesince %5, %10, %15 ve %20 oranlarında çimentonun yerine konulduktan sonra, şehir şebeke ve distile suyu karışımlarda kullanılarak basınç dayanımı için 60, priz süresi tayini için 30 farklı numune hazırlanmıştır. Deneysel TS EN 196-1 ve TS EN 196-3 numaralı standartta belirtilen hususlara bağlı kalınarak yapılmıştır.

Sonuçlar su içeriğinin, uçucu kül içeren çimento harcında basınç dayanımını ve priz süresini etkilediğini göstermiştir. 28 gün sonunda, distile suyla hazırlanan çimento kütlesince %15 UK ikameli harç, şehir şebeke suyu ile aynı formda hazırlanan harca göre basınç dayanımında %12'lik bir artış göstermiştir. Priz deneyleri neticesinde ise, uçucu kül ikame oranı arttıkça priz sürelerinin de arttığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Distile Su, Çimento Harcı, Uçucu Kül, Basınç Dayanımı, Priz Süresi

The Effect of Distilled Water to Pressure Strength and Setting Time of the Fly Ash Replaced in Cement Paste

ABSTRACT

In this research, distilled water is used for mixing and curing water in fly ash (FA) replacing cement paste. Prepared samples are cured for 28 days and pressure strengths of the specimens are measured. Furthermore the setting time by using distilled water fly ash replacement within cement paste is determined.

In this study, 60 different samples to determine pressure strength and 30 different samples are prepared to determine the setting periods of fly ash replacements at rates of 5%, 10%, 15%, and 20% the cement paste is prepared by using potable domestic and distilled water. Experiments are made according to TS EN 196-1 and TS EN 196-3.

The results show the effect of the water content on the strength of the fly ash replacements within cement paste. After 28 days the sample prepared with distilled water and %15 (of cement mass) fly ash replacement has shown 12% increased pressure strength versus to the sample prepared with potable domestic water. Setting time results show that the increase in the fly ash ratio also increases the setting time of the cement paste.

Key Words: Distilled water, Cement paste, Fly ash, Pressure strength, Setting time

1. GİRİŞ

Beton karışımında kullanılacak suyun içerisinde istenmeyen miktarlarda yabancı maddelerin bulunması, çimento ve su arasındaki kimyasal reaksiyonların hızını ve hidrasyon olayının ilerlemesini etkilemektedir. Buna bağlı olarak, taze betonun priz (katılma) süresi, sertleşmiş betonun dayanımı ve dayanıklılığı etkilenmiş olur (1).

Betonda kullanılacak suyun kalitesi ve içeriği için belirli sınırlamalar getirilmiştir. Örneğin; beton karışım suyu olarak kullanılacak su, betona zarar verecek maddeler ihtiva etmemelidir. Bununla beraber karma suyu asit reaksiyonu göstermemelidir ($pH \geq 7$). Bu suda agresif karbonik asit, mangan bileşikleri, amonyum tuzları, serbest klor, yağlar (madeni, organik maddeler ve endüstri artıkları) bulunmamalıdır. Litresinde en çok çözülmüş (erimiş) halde 15gr. ve

üzer olarak 2 gr. madeni tuz, yine litresinde en çok 2gr. SO_3 bulunabilir (2).

Hizmet sürecinde beton için saf su yararlı değildir: Boru ve kanaletlerde saf su hidrate çimento hamurundaki $CaOH$ 'ı yıkayıp çıkarır. Hava kirliliği olmayan yerlerde yağmur suyu oldukça saftır ve o da $CaOH$ 'ı yıkar. Yıkanan bu madde zararlı olmamasına rağmen, yağmurdan sonra gelen güneşli havalarda beton yüzeyinde görünüşü bozan lekelenme ve çirkinleşmeler meydana getirir. Buna rağmen damıtılmış ve tuzdan arındırılmış saf suyun, betonun karıştırılması için uygun olduğu bilinmektedir(3).

Distile(saf) su, suyun kaynaması sırasında meydana gelen buharın soğutulmasıyla yoğunlaşması ile oluşan nötral ($pH=7$), renksiz, kokusuz ve tatsız bir sıvıdır. Birçok tuzu özelliklerine göre toprak alkali hidroksitlerle, bazı tuzları kısmen ve alkali hidroksitleri fazla oranda çözer(4). Distile suyun kimyasal

kompozisyon olarak şehir şebeke suyundan farklı olduğu düşünüldüğünde, çimento hidratasyonu ve harcın sertleşme sürecinde farklılıklar oluşturabilmesi mümkündür. Distile suyun elde edilmesi günümüz şartlarında pek ekonomik değildir. Fakat gelecekte su ihtiyacının artması ve kaynakların yetersizliği olasılığından dolayı, farklı içerikteki suların değerlendirilmesi gerekmektedir. Gelişen çimento sektöründe bir çok farklı tip çimento üretilmektedir. Bu çimentoların özelliklerinin farklı olduğu gözönüne alınır, saflaştırılmış suyun UK'lü çimento özelliklerine olan etkilerinin belirlenmesi önemli bir durum olmaktadır. Bu çerçevede içinde yapılan kaynak taramasında günümüz çimentolarının distile suyu etkisindeki özelliklerine rastlanılmamıştır ve bir araştırma ekşiği görülmüştür. Bundan dolayı bu çalışmada distile suyun etkileri değerlendirilmiştir.

Düşük kalorili linyit kömürlerinin yakıldığı termik santrallerde, elektrik üretimi sırasında toz haldeki kömürün yanması sonucu, baca gazları ile sürüklenen ve elektro filtreler tarafından tutularak atmosfere çıkışı önlenen mikron boyutunda kül tanecikleri oluşmaktadır. Uçabilen ve endüstriyel bir atık olan bu küllere, uçucu kül (UK) adı verilmektedir.(5,6,7) Yapılan araştırmalar, UK'ün betondaki sertleşme sürecini geciktirdiğini göstermiştir. Literatür taramasında genel olarak %10 katkılı UK ile hazırlanmış betonlarda, 28 günden sonraki basınç dayanımlarının standartlara uygun olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmalar, UK oranı arttıkça dayanımda belirgin azalmalar olduğunu göstermiştir. Bu araştırmada, UK oranı en fazla %20 olarak seçilmiş ve diğer oranlar oluşabilecek farklılıkları görmek için %5, %10, %15 olarak belirlenmiştir. Bu düşüncelerle "Distile suyun karışım suyu olarak kullanılması UK içeren çimento harcının 28 günlük basınç dayanımına etkisi yoktur." hipotezi oluşturulmuştur. Bu hipotez kısıtlayıcı çift etkenli özel düzeyli deneyler kategorisinde olduğundan, çift yönlü varyans çözümlemesi yapılarak denemenin etkisi ölçülmüş, dik doğrusal bağıntılar kurularak düzeylerin birbirleriyle olan etkileşimleri karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın asıl amacı, distile suyun etkisini uçucu kül ikameli bir çimentoda incelemek ve UK ikamesinin hangi oranda nasıl bir tepki vereceğini araştırmaktır. Burada önemli olan durum, distile suyun etkisidir. Yapay ve doğal puzolanlarla hazırlanan çimentolar ekonomik bir gelişme sağlarken, dayanımı ve diğer özellikleri değiştirmiştir. Bu bağlamda "çimentonun özellikleri farklı bileşimdeki sularla nasıl bir tepki verir?" sorusuna yanıt aranmıştır.

KAYNAK TARAMASI

Çelik, Aruntaş ve Baran (2003) Seyitömer ve Çayırhan Termik Santralleri uçucu küllerinin, çimentoda (PÇ 42.5) priz başlama ve sonu sürelerine etkisini araştırmışlardır. Çimentonun ağırlıkça %5, %10, %15

ve %20 oranlarında uçucu kül çimentonun yerine ikame edilerek kullanılmış ve hazırlanan numunelerin priz süreleri belirlenmiştir. Sonuçlar uçucu külün artmasıyla priz süresinin de arttığını göstermiştir (8).

Deghanian ve Arjemandi (1997), cüruf karışımı çimento bağlayıcı betona klor difüzyon oranının etkisini incelemiştir. Bu çalışmada %0-30 oranında cüruf kullanılmış ve oluşturulan numuneler %2-5 oranında NaCl çözelti etkisine maruz bırakılmıştır. Numuneler %100 nemli bir ortamda ve distile suyun içinde 9 ile 18 günlük kür koşullarına bırakılmıştır. Sonuç olarak kür koşullarının klor difüzyonunu etkilediği ve distile su içinde 18 günlük zaman içerisinde betona en faydalı kürün yapıldığı gözlemlenmiştir (9).

Amerikan askeri mühendisler grubu (1963), bazı genel tanımlamalar yapmışlardır. Buna göre distile su kullanılarak oluşturulan beton numunelerin 7 ve 28 günlük mukavemetlerinin istenilen dayanımın %90'ına eşit çıkması gerektiği belirtilmiştir (10).

ASTM C94'de distile suyla yapılmış küp beton numunelerin basınç dayanımının istenilen düzeyin %90'ından düşük ve priz süresi başlangıcının 1saatten erken, 1,5 saatten geç olmaması gerektiği belirtilmiştir (11).

Abrahms (1924), konu hakkında çok detaylı testler yapmıştır. Bu çalışmada yaklaşık olarak 6000 harç ve beton örnek içinde 68 farklı su örneği ile test edilmiştir. Test suları arasında deniz ve alkali suyu, bataklik suyu, maden ve mineral suları ile kanalizasyon içeren sular bulunmaktadır. Sonuçları karşılaştırmak amacıyla testlere doğal kaynak ve distile suları ile yapılan örnekler eklenmiştir. Kullanılan bütün su örnekleri için priz süresi, çimento ve beton dayanımları 3 günden 850 güne kadar test edilmiştir. Bu testlerde distile sular, diğer doğal sular ile yaklaşık aynı basınç dayanımını vermektedir(12,13).

Persson (2003), öz basınç altındaki betonun sülfat direncini araştırmıştır. Çalışmalarında 40'dan fazla silindirik numune üzerinde sodyum sülfat çözeltisini, deniz suyunu ve distile suyu 900 günlük süreç içerisinde denemiştir. Testlerin başlangıç sonuçları 28 ve 90 gün olarak kabul edilmiştir. Numunelerin ağırlıkları ve iç temel frekansları ölçülmüştür. Numuneler deniz suyu ve distile su küründen sonra kütle kaybına uğramışlar fakat sodyum sülfat çözeltisindeki kürede oldukça fazla miktarda kütle kaybına uğramışlardır(14).

Gökçe ve arkadaşları (1996), Seyitömer UK'ün ağırlıkça %10, %20, ve %30 oranlarında çimento ile ikame ederek kullanmışlar ve UK'ün %10 ile %20 oranında ikamesinin dayanımı olumsuz etkilemeyeceğini belirlemiştir(15).

Erdoğan ve arkadaşları (1997), Çayırhan uçucu külünün çimento harcı üzerindeki mekanik ve fiziksel etkilerini araştırmışlardır. Karışımlarda uçucu kül %10, 20, 30 ve 40 oranlarında çimentonun yerine ikame

edilmiş ve deney sonuçları kontrol harcıyla karşılaştırılmıştır. Yapılan deneyler TS24'e göre sekilendirilmiş olup sonuç olarak numunelerdeki uçucu kül oranı arttıkça mekanik dayanımların düştüğü gözlenmiştir (16).

2. MALZEME VE METOT

2.1. Malzeme

2.1.1. Karışım suyu

Deneyde Ankara şehir şebekesine bağlı İvedik mevkiinden gelen su ile bu suyun distile edilmesiyle oluşturulan su kullanılmıştır. Distile suyun eldesi için SciCan isimli Waterdist Stat modelindeki distilasyon cihazı kullanılmıştır. Distile su pet şişelerde ağzı kapalı olarak laboratuarda muhafaza edilmiş ve sonrasında kullanılmıştır. Deney sırasında her iki suyun sıcaklıklarının eşit olması sağlanmıştır. Karışım sularıyla ilgili kimyasal analiz sonuçları Tablo.1'de verilmiştir.

Tablo 1: Deneyde Kullanılan Suların Analiz Sonuçları (17)

Su İçeriği	Şehir Şebeke Suyu (İvedik Mevkii)	Distile Su
Ph	7,21	7,3
Toplam Sertlik (Fransız Sertliği)	-	<0,5
CaCO ₃	89 mg/lt	7,1 mg/lt
Klorür	9,45 mg/lt	5 mg/lt
İletkenlik	-	2,7 µS _i
Kalsiyum	25,28 mg/lt	0,38 mg/lt

2.1.2. Uçucu Kül

Deneylerde kullanılan uçucu kül Çayırhan Termik Santralinden temin edilmiştir. Çayırhan Termik santralinden elde edilen uçucu külün içindeki hakim kristal fazlar kuvarz, hematit, manyetit, anhidrit, feldspat ve mullit olarak tespit edilmiştir. Ana faz ise amorf ve camsı fazdır (4). Deneylerde kullanılan UK' ün kimyasal analiz değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: PÇ 42.5 ve Çayırhan UK' ünün Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

Oksit	MgO	SO ₃	Cl	Çözünmeyen kalıntı	Kızdırma kaybı	Özgül yüzey(cm ² /g)
PÇ 42.5	1,83	2,91	0,0214	0,44	3,00	3090
UK	1,91	4,53	-	-	1,65	2754

Tablo 3 : Distile ve Şehir Şebeke Suyuyla Yapılan Deneylerin Basınç Dayanımı Sonuçları

Karışım Suyu	Numune No	PÇ 42.5	PÇ 42.5+%5UK	PÇ 42.5+%10UK	PÇ 42.5+%15UK	PÇ 42.5+%20UK
		Basınç Dayanımı (Mpa)	Basınç Dayanımı (Mpa)	Basınç Dayanımı (Mpa)	Basınç Dayanımı (Mpa)	Basınç Dayanımı (Mpa)
Distile Su	1	0,558	0,506	0,484	0,526	0,461
	2	0,565	0,472	0,492	0,516	0,425
	3	0,515	0,475	0,464	0,518	0,437
	4	0,545	0,450	0,514	0,496	0,428
	5	0,568	0,445	0,505	0,514	0,461
	6	0,525	0,473	0,501	0,502	0,457

Tablo 4 : UK İkameli Çimento Harcında Distile Suyun Basınç Dayanımına Etkisinin Belirlenmesi Deneyinin Tek Yönlü Düzenleme Verileri (MPa)

	P ₀ G ₁	P ₀ G ₂	P ₁ G ₁	P ₁ G ₂	P ₂ G ₁	P ₂ G ₂	P ₃ G ₁	P ₃ G ₂	P ₄ G ₁	P ₄ G ₂	
	558	536	506	485	484	476	526	359	461	425	
	565	521	472	490	492	454	516	441	425	460	
	515	526	475	485	464	478	518	413	437	444	
	545	526	450	430	514	464	496	299	428	441	
	568	531	445	484	505	477	514	490	461	464	Genel
	525	528	473	477	501	476	502	459	457	470	Toplamlar
T _i	3276	3168	2821	2851	2960	2825	3072	2461	2669	2704	28807
ΣY _{ij} ²	1791088	1672834	1328699	1357235	1461838	1330577	1573472	1034113	1188669	1220038	13958563
n _i	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	60

2.1.3. Çimento

Deneylerde TS 19'a (18) göre; Set Çimento Fabrikasında üretilen PÇ 42,5 tipi çimento kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 2'de verilmiştir (19).

2.1.4. Kum

Deneylerde, Tekirdağ Pınarbaşı mevkiinden elde edilen standart kum (Rilem Kum) kullanılmıştır.

2.1.5. Metot

Çalışmada hazırlanan numunelerin kontrolü için referans numuneleri UK ikamesi yapılmadan hazırlanmış, diğerleri PÇ 42.5 içerisine %5, %10, %15 ve %20 oranlarında Çayırhan UK ikamesi, şehir şebeke suyu ve distile su karışımıyla oluşturulmuştur. Bu şekilde on farklı karışım elde edilmiştir. Bu karışımlarda su / çimento oranı aynı (su/çimento =0,50) alınmıştır. Hazırlanan 60 adet numune bir gün süreyle kalıp içerisinde bekletilmiştir. Sonra 28 gün süreyle distile suyun içinde kür uygulanmıştır. Sertleşen numuneler TS EN 196-1'e(20) göre basınç testine tabi tutulmuştur.

Priz sürelerinin tayini için TS EN 196-3 (21) standardında belirtilen hususlar dikkate alınarak yapılan kıvam deneylerinden sonra çimento pastaları hazırlanarak priz süresi testleri yapılmıştır. Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen deneyler için koşullar aşağıda verildiği gibidir:

Ortam Sıcaklığı : 20 ± 2 °C

Bağıl Nem: % 50 – 60

Karışım Suyu Sıcaklıkları :20 ± 2 °C

Standart Kumun Sıcaklığı:20 ± 2°C

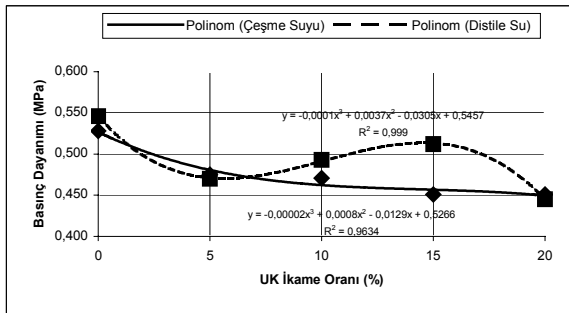
3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

3.1. Basınç Dayanımı

Kontrol harcı PÇ 42.5 ve uçucu kül ikameli çimentolarla yapılan deneylerin basınç dayanımı sonuçları Tablo 3 'de verilmiştir.

Tablo 4'de görüldüğü gibi distile su ile yapılmış

harcın basınç dayanımları şehir şebeke suyu ile yapılan harçlara nazaran değişiklikler göstermiştir. Dayanım %5 UK ikameli çimento harcında düşüşe geçmiştir. 0,546 MPa basınç dayanımı oluşturan katkısız numune yaklaşık olarak %14'lük bir dayanım kaybına uğramıştır. %10 UK ikameli çimento harcında, %5 UK ikameli çimento harcına göre %5'lik bir artış gözlemlenmiştir. Bu çalışmada en düşük sonuçları %20 UK ikameli çimento harçları göstermektedir. Şehir şebeke suyuyla oluşturulan numunelerin basınç dayanımı sonuçları UK ikame miktarı arttıkça azalırken, distile su ile oluşturulan numunelerde bu oran bir sinüs eğrisi oluşturmakta ve %15 UK ikamesinde en yüksek düzeye çıkmaktadır. Şehir şebeke suyu ile oluşturulmuş %15 UK ikameli çimento harcının dayanımı 0,451 MPa iken distile su ile oluşturulmuş %15 UK ikameli çimento harcının dayanımı 0,512 MPa olmaktadır. Aradaki oran yaklaşık %12'dir. Böylece beton sertleşme sürecinde distile suyun, belirli oranlardaki uçucu küllerle oluşturulan harçlarda, şehir şebeke suyuna göre daha aktif bir rol üstlendiğini anlayabiliriz. Basınç dayanımlarındaki karşılaştırmalar regresyon analiz grafiği ile Şekil 1'de verilmektedir. Regresyon grafiğinden şu yorumlar çıkarılabilir: İki tip su etkisindeki basınç dayanımı eğrileri arasında çok önemli bir fark vardır. Deney sonuçları %15 uçucu kül ikamesinin distile suyla olan etkileşiminin en iyi sonuç verdiği ve %12'lik bu dayanım artışının oldukça önemli olduğunu göstermiştir. %10-20 arasındaki UK ikameleri için araştırmalar genişletilebilir.



Şekil.1 Distile ve Şehir Şebeke Suyunun UK'lü Çimento Harçlarına Etkileri

4.1.1. Basınç Dayanımlarının Çok Etkenli Varyans Analizi

Bu testler 5 farklı uçucu kül ikamesiyle oluşturulan çimento harçlarında, 2 farklı özellikte karışım suyu kullanılarak yapılmıştır. Bundan dolayı çok etkenli varyans analizi yapılarak aralarındaki etkileşimlere bakılmıştır. (5x2) çok etkenli deneyi, 10 deneysel durum oluşturmuş ve her birinde 6 gözlem yapılmış ve

$$\text{Model Denklemi: } Y_{ijk} = \mu + P_i + G_j + PG_{ij} +$$

$\varepsilon_{k(ij)}$ olarak kurulmuştur.

P_i : Uçucu Kül Miktarı, G_j : Su Tipi, PG_{ij} : P ve G Arasındaki Etkileşim

$\varepsilon_{k(ij)}$: i, j Gözesindeki Rasgele Hata

Deneyden elde edilen sonuçlar MPa cinsinden verilmiş olup işlem kolaylığı sağlanabilmesi için 1000 kat büyütülmüştür.

P_0 : %0 U.K. İkamesi

P_3 : %15 U.K. İkamesi

G_1 : Distile Su

P_1 : %5 U.K. İkamesi

P_4 : %20 U.K. İkamesi

G_2 : Şehir Şebeke Suyu

P_2 : %10 U.K. İkamesi

Tablodan yararlanarak aşağıdaki sonuçlara ulaşabiliriz;

$$KT_{\text{genel}} = 127842,18 \quad KT_{\text{deneme}} = 90237,35$$

$$KT_{\text{hata}} = 37604,833$$

Denemeler arası kareler toplamına ilişkin 9 serbestlik derecesi uçucu kül miktarı-su türü ve etkileşim serbestlik derecesi olarak ayrılacağı için kareler toplamı da benzer şekilde ayrılabilir.

Tablo 5 : UK İkameli Çimento Harcında Distile Suyun Basınç Dayanımına Etkisinin Belirlenmesi Deneyinin Tek Yönlü Varyans Çözümleme Tablosu

Kaynak	sd	KT
Denemeler Arası	9	90237,35
Denemeler İçi	50	37604,83
Genel	59	12842,18

$$T_{i..} = 6444, 5672, 5785, 5533, 5373$$

$$\sum T_{i..} = 28807 \text{ olduğu görülür.}$$

$$KT_p = 56459,43. \text{ Su türü veri toplamları :}$$

$T_j = 14798, 14009 \Rightarrow \sum T_{j..} = 28807$ ve bu ana etki için $KT_G = 10375,35$. $KT_{PG} = 23402,57$ PG etkileşimi için kareler toplamı olarak kalır.

Tablo 6 : UK İkameli Çimento Harcında Distile Suyun Basınç Dayanımına Etkisinin Belirlenmesi Deneyinin Tek Yönlü Varyans Çözümleme Tablosu

Kaynak	sd	KT	KO
Uçucu Kül Miktarı	4	56459,43	14114,85
Su Türü	1	10375,35	10375,35
PxG Etkileşimi	4	23402,57	5850,64
Gözeler İçi Yada	50	37604,83	752,10
Genel	59	127842,18	

Yukarıdaki sonuçlar incelenerek üç değişik hipotez test edilebilir.

$H_1 : P_i = 0$ bütün i'ler için (Uçucu kül miktarının etkisi yoktur.) $F_{4,50} = 18,77$ $.95F_{4,50} = 2,57$ (Tablo) $F_{tablo} < F_{hesap}$ hipotez geçersizdir. Bu değer %5 önemlidir.

Kontrol harcı PÇ 42.5 ve uçucu kül ikameci çimentolarla yapılan deneylerin priz başlama ve bitiş süreleri Tablo 7'de verilmiştir.

Tabloda görüldüğü gibi uçucu kül ikame oranı

Tablo 7: Distile ve Şebeke Suyu ile Yapılmış UK İkameli Çimento Hamurunda Priz Başlama ve Sonu Süreleri

Kullanılan Su	PÇ 42.5		%5 UK		%10 UK		%15 UK		%20 UK	
	Priz Başlama (dk)	Priz Sonu (dk)	Priz Başlama (dk)	Priz Sonu (dk)	Priz Başlama (dk)	Priz Sonu (dk)	Priz Başlama (dk)	Priz Sonu (dk)	Priz Başlama (dk)	Priz Sonu (dk)
Distile Su	165	445	193	370	218	460	205	525	270	540
	170	460	190	380	205	425	180	520	275	550
	172	380	202	380	193	400	220	535	255	540
Ortalama	169	428,33	195	376,67	205,33	428,33	201,67	526,67	266,67	543,33
Şehir	180	260	215	290	270	366	340	410	385	435
Şebeke	190	265	205	282	263	371	338	405	385	428
Suyu	186	267	212	285	275	375	335	408	380	425
Ortalama	185,33	264	210,67	285,67	269,33	370,67	337,67	407,67	383,33	429,33

$H_2 : G_j = 0$ bütün j'ler için (Su içeriğinin etkisi yoktur.) $F_{1,50} = 13,80$

$.95F_{1,50} = 4,04$ (Tablo)

$F_{tablo} < F_{hesap}$ hipotez geçersizdir. Bu değer %5 önemlidir.

$H_3 : PG_{ij} = 0$ bütün i ve j'ler için (PG etkileşim etkisi yoktur.) $F_{4,50} = 7,78$

$.95F_{4,50} = 2,57$ (Tablo) $F_{tablo} < F_{hesap}$ hipotez geçersizdir. Bu değer %5 önemlidir.

Bu üç testin sonuçları, su özelliğinin çimento harcının basınç dayanımına etkisi olduğunu, uçucu kül ikamesinin basınç dayanımını etkilediğini, aynı zamanda distile su ve uçucu kül etkileşimlerinin de önemli olduğunu göstermektedir. UK ikame oranını karşılaştırmak için Newman-Keuls testi veriler için kullanılabilir. A,B,C,D,E beş farklı ikame oranı ise;

A : %0 UK; B : %5 UK; C : %10 UK; D : %15 UK; E : %20 UK ise;

Ortalamalar : 447,75 (E) ; 461,08 (D) ; 472,67 (B) ; 482,08 (C) ; 537 (A)

Hata kareler ortalaması : 752,1 (50 sd ile)

Y_i 'nin standart hatası = 7,92 olarak bulunur. Tablodaki Z_p aralıkları, %95

$Z_{2,50} : 2,845 \Rightarrow R_{2,50} = 22,53$

$Z_{3,50} : 3,42 \Rightarrow R_{3,50} = 27,09$

$Z_{4,50} : 3,765 \Rightarrow R_{4,50} = 29,82$

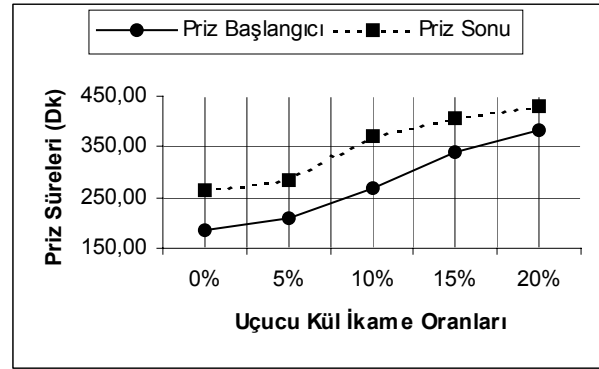
$Z_{5,50} : 4,01 \Rightarrow R_{5,50} = 31,76$; UK farklılıkları:

A-E, A-D, A-B, A-C, C-E etkileşimleri %5 düzeyinde önemlilik gösteriyor.

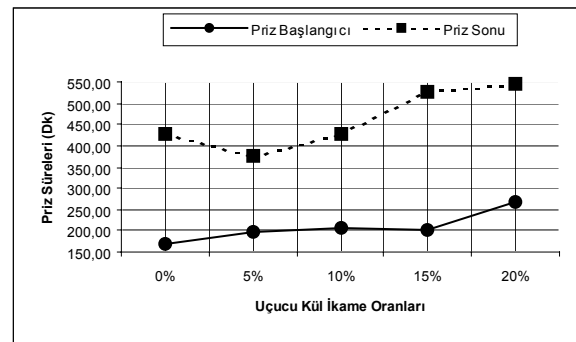
Diğer etkileşimlerde de önemli bir fark yoktur.

4.2. Priz Süresi

arttıkça priz başlangıç ve bitiş süreleri artış göstermiştir. Bu durum Şekil. 2 ve 3'te daha iyi görülebilir.



Şekil.2 Şehir Şebeke Suyu İle Hazırlanmış Numunelerin Priz Süreleri



Şekil.3 Distile Suyu ile Hazırlanmış Numunelerin Priz Süreleri

4.2.1. Priz başlangıç sürelerinin çok etkenli varyans analizi

Bu testler 5 farklı uçucu kül ikamesiyle oluşturulan çimento harçlarında, 2 farklı özellikte karışım suyu kullanılarak yapılmıştır. Bundan dolayı çok etkenli varyans analizi yapılarak aralarındaki

etkileşimlere bakılmıştır. (5x2) çok etkenli deneyi, 10 deneysel durum oluşturmuş ve her birinde 3 gözlem yapılmıştır. Tablo 10'da numunelerin hazırlanmasında uygulanan sıra belirtilmiştir.

Çalışmada tek kısıtlayıcı etken ortamın aynı olmasıdır.

Model Denklemi: $Y_{ijk} = \mu + P_i + G_j + PG_{ij} + \epsilon_{k(ij)}$

Tablo-4.5'de verilen değerler kullanılarak priz başlangıcı süresi deneyinin tek yönlü düzenleme verileri tablosu oluşturulur (Tablo 8).

Yukarıdaki tablodan yararlanarak aşağıdaki sonuçlara ulaşabiliriz;

$$KT_{genel} = 137205,2 \quad KT_{deneme} = 135550,2$$

$$KT_{hata} = 1655$$

Tablo 8: Uçucu Kül İkameli Çimento Harcında Distile Suyun Priz Başlangıcı Süresine Etkisinin Belirlenmesi Deneyinin Tek Yönlü Düzenleme Verileri

	P ₀ G ₁	P ₀ G ₂	P ₁ G ₁	P ₁ G ₂	P ₂ G ₁	P ₂ G ₂	P ₃ G ₁	P ₃ G ₂	P ₄ G ₁	P ₄ G ₂	
	165	180	193	215	218	270	205	340	270	385	
	170	190	190	205	205	263	180	338	275	385	Genel
	172	186	202	212	193	275	220	335	255	380	Toplamlar
T _i	507	556	585	632	616	808	605	1013	800	1150	7272
$\sum Y_{ij}^2$	85709	103096	114153	133194	126798	217694	122825	342069	213550	440850	1899938
n _j	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	30

Tablo 9: UK İkameli Çimento Harcında Distile Suyun Priz Başlangıcı Süresine Etkisinin Belirlenmesi Deneyinin Tek Yönlü Varyans Çözümleme Tablosu

Kaynak	sd	KT
Denemeler	9	137205,
Denemeler İçi	20	135550,
Genel	29	1655

Denemeler arası kareler toplamına ilişkin 9 serbestlik derecesi UK miktarı-su türü ve etkileşim serbestlik derecesi olarak ayrılacağı için kareler toplamı da benzer şekilde ayrılabilir.

$$T_{i..} = 1063, 1217, 1424, 1618, 1950$$

$\sum T_{i..} = 7272$ olduğu görülür. $KT_p = 80476,87$. Su türü veri toplamı:

$T_j = 3113, 4159 \Rightarrow \sum T_{j..} = 7272$ ve bu ana etki için : $KT_G = 36470,53$. $KT_{PG} = 20257,80$ PG etkileşimi için kareler toplamı olarak kalır.

Tablo-4.8'deki sonuçlar incelenerek üç de-ğişik hipotez test edilebilir.

$H_1 : P_i = 0$ bütün i'ler için (Uçucu kül miktarının etkisi yoktur.) $F_{4,20} = 2,97$

$.95F_{4,20} = 2,87$ (Tablo) $F_{tablo} < F_{hesap}$ hipotez geçersizdir. Bu değer %5 önemlidir.

$H_2 : G_j = 0$ bütün j'ler için (Su içeriğinin etkisi yoktur.) $F_{1,20} = 5,38$

$.95F_{1,20} = 4,35$ (Tablo) $F_{tablo} < F_{hesap}$ hipotez geçersizdir. Bu değer %5 önemlidir.

$H_3 : PG_{ij} = 0$ bütün i ve j'ler için (PG etkileşim etkisi yoktur.) $F_{4,20} = 0,75$

$.95F_{4,20} = 2,87$ (Tablo) $F_{tablo} > F_{hesap}$ hipotez geçerlidir.

Tablo 10: UK İkameli Çimento Harcında Distile Suyun Basınç Dayanımına Etkisinin Belirlenmesi Deneyinin Tek Yönlü Varyans Çözümleme Tablosu

Kaynak	sd	KT	KO
Uçucu Kül Miktarı	4	80476,87	20119,22
Su Türü	1	36470,53	36470,53
PxG Etkileşimi	4	20257,80	5064,45
Gözeler İçi Yada	20	135550,2	6777,51
Genel	29	272755,4	

Beş uçucu kül ikame oranını karşılaştırmak için Newman-Keuls testi veriler için kullanılabilir.

Ortalamalar : 177,17 (A) ; 202,83 (B) ; 237,33 (C) ; 269,67 (D) ; 325 (E)

Hata kareler ortalaması : 6777,51 (20 sd ile)

Y_i 'nin standart hatası=33,61 olarak bulunur. Tablodaki Z_p aralıkları,

$$Z_{2,20} : 2,95(0,05) \Rightarrow R_{2,50} = 99,15$$

$$Z_{3,20} : 3,58(0,05) \Rightarrow R_{3,50} = 120,32$$

$$Z_{4,20} : 3,96(0,05) \Rightarrow R_{4,50} = 133,10$$

$Z_{5,20} : 4,24(0,05) \Rightarrow R_{5,50} = 142,51$; UK farklılıkları:

$E-A = 325-177,17=147,83 > 142,51 \dots > \%5$ düzeyinde önemlilik gösteriyor.

Diğer etkileşimlerde önemli bir fark yoktur.

4.2.2. Priz Sonu Sürelerinin Çok Etkenli Varyans Analizi

Bu testler 5 farklı uçucu kül ikamesiyle oluşturulan çimento harçlarında, 2 farklı içerikte karışım suyu kullanılarak yapılmıştır. Bundan dolayı çok etkenli varyans analizi yapılarak aralarındaki etkileşimlere bakılmıştır. (5x2) çok etkenli deneyi, 10 deneysel durum oluşturmuş ve her birinde 3 gözlem yapılmıştır.

Model Denklemi: $Y_{ijk} = \mu + P_i + G_j + PG_{ij} + \epsilon_{k(ij)}$

Tablo 9’da verilen değerler kullanılarak priz başlangıcı süresi deneyinin tek yönlü düzenleme verileri tablosu oluşturulur (Tablo 8).

$H_1 : P_i = 0$ bütün i’ler için (Uçucu kül miktarının etkisi yoktur.) $F_{4,20}=2,71$

$95F_{4,20} = 2,87$ (Tablo) $F_{tablo} > F_{hesap}$ hipotez geçerlidir.

Tablo 11: Uçucu Kül İkameli Çimento Harcında Distile Suyun Priz Sonu Süresine Etkisinin Belirlenmesi Deneyinin Tek Yönlü Düzenleme Verileri

	P_0G_1	P_0G_2	P_1G_1	P_1G_2	P_2G_1	P_2G_2	P_3G_1	P_3G_2	P_4G_1	P_4G_2	
	445	260	370	290	460	366	525	410	540	435	
	460	265	380	282	425	371	520	405	550	428	Genel
	380	267	380	285	400	375	535	408	540	425	Toplamlar
T_j	1285	792	1130	857	1285	1112	1580	1223	1630	1288	12182
$\sum Y_{ij2}$	554025	209114	425700	244849	552225	412222	832250	498589	885700	553034	5167708
n_j	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	30

Yukarıdaki tablodan yararlanarak aşağıdaki sonuçlara ulaşabiliriz;

$$KT_{genel} = 221003,87 \quad KT_{deneme} = 215155,87$$

$$KT_{hata} = 5848$$

Tablo 12 : UK İkameli Çimento Harcında Distile Suyun Priz Sonu Süresine Etkisinin Belirlenmesi Deneyinin Tek Yönlü Varyans Çözümleme Tablosu

Kaynak	sd	KT
Denemeler Arası	9	221003,8
Denemeler İçi	20	215155,8
Genel	29	5848

Denemeler arası kareler toplamına ilişkin 9 serbestlik derecesi uçucu kül miktarı-su türü ve etkileşim serbestlik derecesi olarak ayrılacağı için kareler toplamı da benzer şekilde ayrılabilir.

$$T_{i..} = 2077, 1987, 2397, 2803, 2918$$

$\sum T_{i..} = 12182$ olduğu görülür. $KT_p = 116502,53$. Su türü veri toplamı:

$T_j = 6910, 5272 \Rightarrow \sum T_{j..} = 12182$ ve bu ana etki için $KT_G = 89434,80$

$KT_{PG} = 15066,54$ PG etkileşimi için kareler toplamı olarak kalır.

Tablo 13 : UK İkameli Çimento Harcında Distile Suyun Basınç Dayanımına Etkisinin Belirlenmesi Deneyinin Tek Yönlü Varyans Çözümleme

Kaynak	sd	KT	KO
Uçucu Kül Miktarı	4	116502,53	29125,63
Su Türü	1	89434,80	89434,80
PxG Etkileşimi	4	15066,54	3766,63
Gözeler İçi Yada	20	215155,87	10757,79
Genel	29	436159,74	

Yukarıdaki sonuçlar incelenerek üç değişik hipotez test edilebilir.

$H_2 : G_j = 0$ bütün j’ler için (Su içeriğinin etkisi yoktur.) $F_{1,20}=8,31$

$95F_{1,20}=4,35$ (Tablo) $F_{tablo} < F_{hesap}$ hipotez geçersizdir. Bu değer %5 önemlidir.

$H_3 : PG_{ij} = 0$ bütün i ve j’ler için (PG etkileşim etkisi yoktur.) $F_{4,20}=0,..$

$95F_{4,20} = 2,87$ (Tablo) $F_{tablo} > F_{hesap}$ hipotez geçerlidir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Distile su ile şehir şebeke suyunun UK ikameli çimento harcına etkilerinin araştırıldığı bu çalışmada, su içeriğinin pozitif ve negatif etkileri görülmüştür. Mekanik mukavemetler, suyun içindeki zararlı mineral maddelerin ve oksitlerin etkisi altında değişmektedir. TSE’ de belirtilen karışım suyunun karakteriyle ilgili bilgiler dışında UK ikameli çimentolarla hazırlanan harçlarda suyun saflığı önemlidir.

Distile suyla hazırlanan %15 UK içerikli çimento harcı uygulanan diğer karışımlara göre en iyi sonucu vermiştir. Şebeke suyu ile hazırlanmış kontrol harcı (PÇ42.5) 28 gün sonunda 0,528 MPa (5,28 kg/cm²) değerine ulaşırken, distile su ile hazırlanan %15 UK ikameli çimento harcı 0,512 MPa (5,12 kg/cm²) sonucunu vermiştir. Neticede basınç dayanımında %3’lük azalma vardır. Bu durum inşaat ekonomisi için irdelenebilir bir sonuçtur. Ayrıca regresyon grafiğinde görülen %15 UK ikamesiyle hazırlanan çimento harcında, distile suyun etkisiyle (0.451/0.512=) %12’lik bir artış görülmektedir. Bu durum çalışmadaki en önemli sonuçtur. Fakat örnek sayısının azlığından dolayı kesin bir yargı ortaya konulamamıştır. Kaynak taramasında UK ikameli çimentoların 90 günlük ve daha sonraki dayanımlarının daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu araştırma, puzolanların diğer etkileri de gözönüne alınarak daha geniş çerçevede yapılmalıdır. Şehir şebeke suyu ile hazırlanan çimento pastalarının priz süreleri, UK ikame oranıyla doğru orantılı bir şekilde artarken, distile su ile hazırlanmış numunelerde ciddi bir fark göstermiştir.

Şekil 2 ve 3'te görüldüğü gibi distile su ilk prizi hızlandırmakta son prizi ise yavaşlatmaktadır. Bu durum distile su ve şebeke suyunun bileşiminin farklılığından ileri gelmektedir. Grafiklere bakıldığında %15 UK ikame oranının bulunduğu bölge diğerlerine göre farklılık göstermektedir. Distile su %10–20 arasındaki UK ikame oranlarında hazırlanan çimentonun sertleşme karakterini değiştirmiştir.

6. KAYNAKLAR

1. Erdoğan T.Y., Beton, METU Press, ANKA-RA, 2003.
2. TS 500, Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, TSE, Ankara, 1985.
3. Neville A., "Water and Concrete: A Love-Hate Relationship," Concrete International, Vol. 22, No. 12, December, 2000.
4. Yaşar H., Özellik ve Uygulamalarla Malzeme, KOSGEB, Ankara, 2001.
5. Neville A.M., Properties of Concrete, Longman Scientific & Technical, New York, 1981.
6. Mehta P.K., Concrete-Structure, Properties and Materials, Prentice-Hall, New Jersey, 1986.
7. Tokyay M., Erdoğan K., Uçucu Küllerin Karakterizasyonu, TÇMB, Ankara, 1998.
8. Çelik M.H., Aruntaş Y. ve Baran Y., Seyitömer ve Çayırhan Uçucu Küllerinin Portland Çimentosu-Uçucu Kül (PÇ-UK) Hamurunun Priz Başlama ve Sonu Sürelerine Etkisi, Politeknik Dergisi, Cilt:6, Sayı:1, 2003.
9. Dehghanian C. ve Arjemandi M., Influence of Slag Blended Cement Concrete on Chloride Diffusion Rate, Cement and Concrete Research, Vol.27, No.6 Sayfa,937-945,1997.
10. U.S. Army Corps of Engineers, "Test Method for Compressive Strength of Mortar for use in Evaluating Water for mixing Concrete", CRD-C 406, Handbook for Concrete and Cement, Vicksburg, MS, 1963
11. ASTM C 94, Standart Specification for Ready Mixed Concrete, Annual Book of ASTM Standards, 1994.
12. Pierce J.S., "Mixing and Curing Water for Concrete", Significance of Test and Properties of Concrete and Concrete-Making Materials, ASTM, STP 169C, Sayfa 473-477.
13. Abrams D.A., "Test of Impure Waters for Mixing Concrete," Proceedings, American Concrete Institute, Vol. 20, Sayfa. 442-486, 1924.
14. Persson B., Sulphate Resistance of Self-Compacting Concrete, Cement and Concrete Research, 2003.
15. Gökçe A., Çiçekli O.C., Uyan M., Öztekin E., Uçucu Küllü Betonların Mekanik Özellikleri Üzerine Bir Deneysel Çalışma, 4. Ulusal Beton Kongresi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, İstanbul, 1996.
16. Erdoğan T.Y., Turanlı L. ve Karaer K., "Çayırhan Uçucu Küllünün Portland Çimentosu-Uçucu Kül Hamur ve Harçlarının Özelliklerine Etkileri" Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi, Ankara, 1997.
17. ASKİ Genel Müdürlüğü, Su Kalite Kontrol Laboratuvarları, Ankara, 2003.
18. TS 19, Portland Çimentoları, TSE, 1994.
19. SET Italcementi Group, PÇ 42.5 Çimentosunun Kimyasal ve Fiziksel Analiz Raporu, Ankara, 2003.
20. TS EN 196-1, Çimento Deney Metotları- Bölüm 1 : Dayanım Tayini, TSE, 2002.
21. TS EN 196-3, Çimento Deney Metotları- Bölüm 3 : Priz Süresi ve Genleşme Tayini, TSE, 2002.
22. Çelik M.H., Deney Düzenleme ve Çözümleme Metotları, Lisansüstü Ders Notları, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi A.B.D., Ankara, 2003.