

**KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONDA
FARKLI FİLLER MALZEMELERİN RÖTRE
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YASEMİN MURATOĞLU

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Osman ÜNAL

YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

ŞUBAT 2009

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONDA
FARKLI FİLLER MALZEMELERİN RÖTRE
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YASEMİN MURATOĞLU

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Osman ÜNAL

YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

ŞUBAT 2009

ONAY SAYFASI

Yrd. Doç. Dr. Osman ÜNAL danışmanlığında,
Yasemin MURATOĞLU tarafından hazırlanan
Kendiliğinden Yerleşen Betonda Farklı Filler Malzemelerin
Rötre Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması
başlıklı bu çalışma lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri
uyarınca
...../...../.....
tarihindeki aşağıdaki jüri tarafından
Yapı Eğitimi Anabilim Dalında
Yüksek Lisans tezi olarak oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Ünvanı, Adı, SOYADI

İmza

Başkan

Üye

Üye

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Zehra BOZKURT
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONDA FARKLI FİLLER MALZEMELERİN RÖTRE ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Yasemin MURATOĞLU

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Yapı Eğitimi Ana Bilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. OSMAN ÜNAL

Bu çalışmada; kendiliğinden yerleşen beton bileşiminde kullanılacak ince malzeme türünün rötre özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

Çalışma kapsamında filler malzeme olarak kırmataş tozu, mermer tozu, tuğla tozu, uçucu kül ve silis dumanı olmak üzere beş farklı filler malzeme seçilmiştir. Agrega olarak doğal dere kumu kullanılmıştır. Su/çimento oranı 0.36, 0.39, 0.43, 0.47' ye kadar artırılıp, kimyasal katkı %2 oranında sabit kullanılmıştır. Her farklı filler malzeme ile ve farklı su/toz oranlarında harçlar üretilerek, taze beton deneyleri (Slump, V-kutusu) uygulanmıştır. Daha sonra sıkıştırma yapılmaksızın harçlar standartlarda belirtilen 25x25x285 mm boyutundaki kalıplara dökülerek harç çubukları üretilmiştir. Numuneler üzerinde ilk yaşlardan 180.ci güne kadar harç çubuklarının boylarındaki değişimleri rötre cihazıyla ölçülmüştür.

Bu çalışma sonucunda kendiliğinden yerleşen beton bileşiminde kullanılacak en uygun filler malzemesi kırmataş tozu olduğu belirlenmiştir.

2009, 55 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Kendiliğinden Yerleşen Beton, Filler Malzeme, Rötre

ABSTRACT

Ms.Sc.

INVESTIGATION THE AFFECTS OF DIFFERENT FILLER MATERIALS ON SHRINKAGE IN SELF CONDITIONED CONCRETE

Yasemin MURATOĞLU

Afyon Kocatepe University

Institute for the Natural and Applied Science

Department of Construction Education

Supervisor: Assit. Prof. Dr. OSMAN ÜNAL

In this study, it was investigated the fine materials types which was used in self conditioned concretes components affects on shrinkage properties.

In this scope, crushed stone, marble and brick dust, fly ash and silica fume was choosed as five different filler materials. Natural river sand was used as aggregates. Water/Cement Ratio was raised from 0,36 to 0,47 (0,36-0,39-0,43-0,47) and chemical admixture was used proportion of % 2 as constant. Mortars with various water/dust proportions were produced for all of the filler materials so it was performed fresh concrete tests (Slump, V-box test etc.).Then, mortars was cast in mould with 25×25×285 mm dimensions without compaction and mortar rod samples were produced. From early days of samples to 180th days of variation in lengths of mortar rods were measured with shrinkage device.

As a result of the study, it was determined the crushed stone dust is the best filler materials for self conditioned concrete components.

2009, 55 Sayfa

Key Words: Self Conditioned Concrete, Shrinkage, Filler materials.

TEŐEKKÖR

Bu tezin hazırlanmasında bana yardımlarını ve bilgilerini esirgemeyen değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Osman ÜNAL'a vermiş olduğu desteklerden dolayı teşekkür ederim. Ayrıca tez çalışmam için bölümümün laboratuvar imkanlarını sunan bölüm başkanım Doç. Dr. Hüseyin AKBULUT'a ve maddi destek sağlayan TÇMB İz Bırakanlar Bursu'na şükranlarımı sunarım.

Yasemin MURATOĞLU
AFYONKARAHİSAR, Şubat 2009

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
RESİMLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Kendiliğinden Yerleşen Beton	3
2.1.1. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Avantaj ve Dezavantajları	4
2.1.2. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Reolojisi	8
2.2. Rötire	9
2.2.1. Rötire Oluşum Mekanizmaları	10
2.2.1.1. Plastik (Bünyesel) Rötire	10
2.2.1.2. Şişme (Negatif) Rötire	12
2.2.1.3. Kuruma (Hidrolik) Rötire	12
2.2.1.4. Hidratasyon Rötresi	13
2.2.1.5. Termik Rötire	14
2.2.1.6. Karbonatlaşma Rötresi	14
2.2.2. Rötire Üzerine Yapılmış Çalışmalar	15
2.3. Filler Malzemeler Ve Özellikleri	17
2.3.1. Silis Dumanı	17
2.3.1.1. Silis Dumanının Rötire Üzerindeki Etkileri	18
2.3.2. Uçucu Kül	19
2.3.2.1. Uçucu Külün Rötire Üzerine Etkisi	21
2.3.3. Kırmataş Tozu	23
2.3.3.1. Kırmataş Tozunun Rötire Üzerine Etkisi	24
2.3.4. Mermer Tozu	24
2.3.4. Tuğla Tozu	25

3. MATERYAL VE METOD	26
3.1. Amaç ve Kapsam	26
3.2. Kullanılan Malzemelerin Tanıtılması	26
3.2.1. Çimento	26
3.2.2. Agregası	27
3.2.3. Mermer Tozu	28
3.2.4. Uçucu Kül	29
3.2.5. Silis Dumanı	30
3.2.6. Kırmataş Tozu	31
3.2.7. Tuğla Tozu	32
3.2.8. Kimyasal Katkı	33
3.2.9. Su	33
3.3. Kullanılan Araçlar ve Yöntem	33
3.3.1. Karışımların Hazırlanması ve Yayılma Deneyi	34
3.3.2. V-Kutusu Deneyi	34
3.3.3. Boy değişimi Ölçümleri	35
3.4. Deneysel Çalışma	36
3.4.1. Yayılma ve V-Kutusu Değerleri	36
4. BULGULAR	43
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	50
6. KAYNAKLAR	52

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa No
Şekil 2.1	Geleneksel beton ve kendiliğinden yerleşen beton için hacim oranları	4
Şekil 2.2	Plastik rötre oluşumu	11
Şekil 2.3	Plastik büzülme karşılaştırması	16
Şekil 2.4	Kuruma büzölmelerinin karşılaştırılması	16
Şekil 2.5	Farklı nem koşullarındaki rötre birim deformasyonları	17
Şekil 2.6	Uçucu kül içeriğinin su kaybı ve çatlakların toplam alanına etkisi	22
Şekil 3.1	Harç için mini slump aparatının boyutları	34
Şekil 3.2	a. Beton için kullanılan v-kutusu boyutları b. Harç için kullanılan v-kutusu boyutları	35 35
Şekil 3.4	Mermer tozu Slump ve V-kutusu grafikleri	37
Şekil 3.5	Uçucu kül slump ve V-kutusu grafikleri	38
Şekil 3.6	Silis dumanı slump ve V-kutusu grafikleri	39
Şekil 3.7	Kırmataş tozu slump ve V-kutusu grafikleri	40
Şekil 3.8	Tuğla tozu slump ve V-kutusu grafikleri	41
Şekil 4.1	Tüm malzemelere ait 0.36 nolu serideki örneklerin rötre değerleri	47
Şekil 4.2	Tüm malzemelere ait 0.39 nolu serideki örneklerin rötre değerleri	47
Şekil 4.3	Tüm malzemelere ait 0.43 nolu serideki örneklerin rötre değerleri	48
Şekil 4.4	Tüm malzemelere ait 0.47 nolu serideki örneklerin rötre değerleri	49

RESİMLER DİZİNİ

		Sayfa No
Resim 2.1	Sıkıştırma yetersizliğinden perdelerde olumsuz beton kalitesi	5
Resim 2.2	Sık donatılar arasından vibrasyon uygulamadan KYB geçişi	5
Resim 2.3	Uçucu külün mikroyapısı	20
Resim 2.4	Kırmataş tozu mikro yapısı	23
Resim 2.5	Tuğla tozu mikro yapısı	25
Resim 3.1	Mini çökme hunisinin doldurulması ve karışımın yayılma davranışı	34
Resim 3.2	Rötre kalıbı	35
Resim 3.3	Boy değişim ölçüm cihazı	36

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No	
Çizelge 2.1	KYB kullanımının fabrika içi çalışmalarına etkisi	5
Çizelge 2.2	EFNARC'a göre tavsiye edilen kendiliğinden yerleşen beton deney sınırları	9
Çizelge 3.1	Çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri	27
Çizelge 3.2	Agrega granülometri değerleri	28
Çizelge 3.3	Kuma ait fiziksel özellikler	28
Çizelge 3.4	Mermer tozuna ait kimyasal ve fiziksel özellikler	29
Çizelge 3.5	Uçucu külün kimyasal ve fiziksel özellikleri	30
Çizelge 3.6	Silis dumanına ait kimyasal ve fiziksel özellikler	31
Çizelge 3.7	Kırmataş tozuna ait kimyasal ve fiziksel özellikler	30
Çizelge 3.8	Tuğla tozuna ait kimyasal ve fiziksel özellikler	30
Çizelge 3.9	Kimyasal katkıya ait özellikler	33
Çizelge 3.10	Mermer tozuna ait slump ve v-kutusu değerleri	37
Çizelge 3.11	Uçucu küle ait slump ve v-kutusu değerleri	38
Çizelge 3.12	Silis dumanına ait slump ve v-kutusu değerleri	39
Çizelge 3.13	Taş tozuna ait slump ve v-kutusu değerleri	40
Çizelge 3.14	Tuğla tozuna ait slump ve v- kutusu değerleri	41
Çizelge 4.1	Rötre ile ilgili standartlarda verilen sıcaklık ve bağıl nem değerleri	43
Çizelge 4.2	ASTM Standartları sınır değerleri	42
Çizelge 4.3	Taş tozuna ait boy değişim değerleri	44
Çizelge 4.4	Tuğla tozuna ait boy değişim değerleri	45
Çizelge 4.5	Mermer tozuna ait boy değişim değerleri	45
Çizelge 4.6	Uçucu küle ait boy değişim değerleri	46
Çizelge 4.7	Silis dumanına ait boy değişim değerleri	46

1.GİRİŞ

Günümüzde beton, birçok farklı yapıda kullanılan en yaygın yapı malzemesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Betonun, ucuzluğu ve kolay üretilebilir olmasından dolayı, binalar, yollar, köprüler, barajlar, santraller, istinat duvarları, su depoları, limanlar, hava alanları, kent mobilyaları, vb. inşaat sektöründe birçok yerde yaygın kullanım alanına sahip olduğu görülmektedir. Dünyada her yıl yaklaşık 5.5 milyar ton beton üretilmektedir. Bu kadar yoğun tüketilen bir malzemenin de teknolojiye paralel gelişme göstermesi kaçınılmazdır.

Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB), kendi ağırlığı ile sık donatılı dar ve derin kesitlere yerleşebilen, iç veya dış vibrasyon gerektirmeksizin kendiliğinden sıkışabilen, bu özelliklerini sağlarken ayrışma ve terleme gibi problemler yaratmayarak kohezyonunu koruyabilen, çok akıcı kıvamlı bir beton türüdür (Okamura 1997).

Betonun içerisindeki suyun fiziksel (dış ortam koşulları) ve kimyasal (aşırı çimento veya filler malzeme etkisiyle hidrasyonu v.b.) nedenlerle azalması sonucunda betonun boyunda ve hacminde küçülme görülür. Bu küçülmeye rötre (büzülme) denir. Rötreye, hem beton tazeyken, hem de sertleşmiş durumdayken yer alan bir olaydır.

Rötreye büyük oranda malzeme içeriğinden ve çevre koşullarından etkilenir. Çimentolu malzemedeki rötre esas olarak, sertleşmiş çimento-su hamurundaki kalsiyum silikat (CSH) jelinin nemini kaybederek büzülmesiyle oluşur. Suyu doymuş çimento hamuru, doymuşluğunun altındaki nem oranına sahip çevre koşullarında boyutsal olarak stabil kalmaz. Bunun sebebi büyük oranda, CSH jelinin fiziksel olarak absorbe ettiği suyu kaybetmesidir ve bu durum rötreye yol açar (Asad vd. 1997).

Genellikle kendiliğinden yerleşen betonlarda ince madde miktarının 450 – 600 kg/m³ olması istenmekte olup, bu miktarın sadece çimento kullanılarak karşılandığında betonda hidrasyonu ısısından dolayı termal çatlamaları ve rötre miktarını arttırmaktadır. Bu nedenle günümüze kadar kendiliğinden yerleşen beton üzerine yapılan çalışmalarda ince malzeme olarak farklı ince puzolanik olan veya olmayan

malzemeler, çimentonun bir bölümüyle yer değiştirilmek suretiyle kullanılmaktadır. Bu malzemeler genellikle, kırmataş tozu, uçucu kül, silis dumanı, tuğla tozu v.b. dir.

Kullanılan bu filler malzemelerden bazıları puzolanik özelliklerinden dolayı çimentoyla birlikte su ile kimyasal reaksiyona girmekte ve betonun davranışını etkilemektedirler. Diğer yandan puzolanik olmayan fillerle de betonun davranışı üzerinde bir etkiye sahiptirler. Henüz yeni gelişmekte olan kendiliğinden yerleşen betonda kullanılan farklı tipteki filler malzemelerin betonda rötre üzerindeki etkisi henüz detaylı bir şekilde araştırılmış olmayıp, genellikle taze beton üzerindeki etkileri incelenmeye alınmıştır.

Bu nedenle yapılan tez çalışmasında hem farklı tipteki filler malzemelerin hem de hafif agregaların kendiliğinden yerleşen betonun rötre üzerindeki etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır.

Çalışmada kullanılmak üzere filler malzeme olarak kırmataş tozu, mermer tozu, tuğla tozu, silis dumanı ve uçucu kül olmak üzere beş farklı filler seçilmiştir. Filler malzemelerden sonra agrega tipi seçilmiştir. Agregada olarak doğal dere kumu kullanılmıştır. Rötre deneysel olarak harç çubukları üzerinde belirlendiğinden agrega olarak da harç üretimi için her tipten 0/4 mm boyutunda kullanılmıştır.

Her agrega türüyle ve filler içerikleriyle harçlar üretilerek standartlarda verilen 25 x 25 x 285 mm boyutundaki harç çubukları üretilerek ilk yaşlardan itibaren başlanmak suretiyle çeşitli numune yaşlarında harç çubuklarının boylarındaki değişimlerinin ölçülmesi suretiyle kendiliğinden yerleşen betonun zamana bağlı rötresi belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, her seriden farklı kalıplara numuneler alınarak üretilen serilerin üzerinde basınç, eğilme, birim ağırlık ve mikroyapı incelemesi gibi testler gerçekleştirilerek numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir.

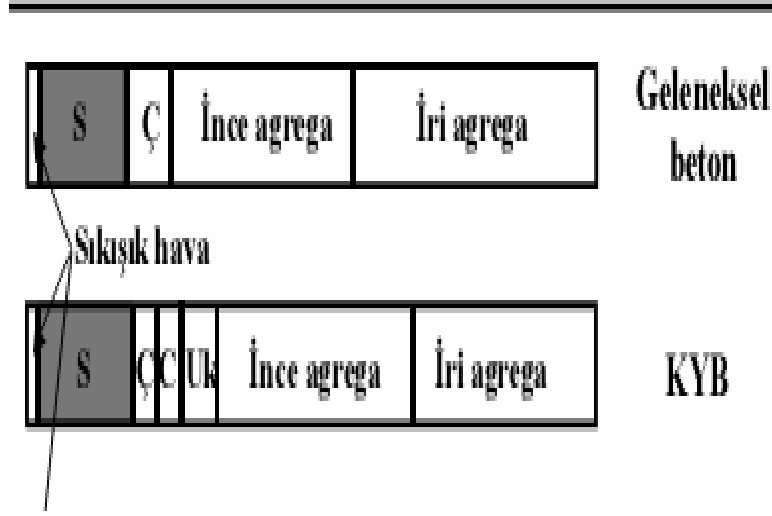
2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kendiliğinden Yerleşen Beton

KYB'nin ilk örneklerini yerleştirmek ve sıkıştırmak için çok az vibrasyon isteyen geleneksel konvansiyonel betonlar Avrupa'da 1970'lerin başından beri kullanılmaktadır. Japonya'da azalan kalifiye iş gücü nedeniyle Tokyo Üniversitesi tarafından 1986 yılında araştırılmaya başlanmasıyla KYB'nin ilk adımları atıldı (Okamura vd. 1999). KYB ile ilgili araştırma sonuçları 1989 yılında Japon araştırmacıların yaptıkları çalışmaların en geniş özeti 1992 yılında İstanbul'da gerçekleştirilen uluslar arası beton kongresinde yayınlanmıştır (Petersson vd. 2003). Bu kongrede yapılan ön bulguların sunumu dünya üzerinde büyük yankı yaratmış, özellikle büyük depremlerle sarsılan Asya ülkelerinde ve iş gücünün pahalı olduğu Kuzey Afrika ülkelerinde farklı yaklaşımlarla KYB uygulamalarına başlanmıştır. KYB'nin iş ve işçi güvenliğine olan katkısı, beton dökümü için ihtiyaç duyulan işçiliği azaltması, betonarme elemanlarda artan inşaat kalitesi ve betonun artan kalıcılık özellikleri nedeniyle birçok özelliği konvansiyonel vibrasyonla yerleştirilen betona karşı bir avantaj olarak öne çıkmaktadır. Avrupa'daki ilk KYB 1990'ların ortalarında İsveç karayolu yapılarında kullanılmıştır. Avrupa Birliği 1997–2000 yılları arasında uluslar arası bir çalışma başlatarak, Avrupa ülkelerinde KYB kullanımını arttırmayı hedeflemiştir.

KYB çok kolay yerleşme özelliği sağlayarak inşaat sürelerini kısaltmakta ve yoğun donatılı bölgelerde bile kolaylıkla donatıları sarabilmektedir. Betonun akışkanlığı ve ayrışmaya karşı olan direnci sayesinde betonun homojenliği, minimum hava boşluğu ve buna bağlı olarak her noktada aynı mukavemette olması sağlanmakta, artan dış yüzey özellikleri sayesinde yapılarda kalıcılık (durabilite) arttırılmaktadır.

Kendiliğinden Yerleşen Beton, beton dökümünde vibrasyon ve sıkıştırma gerektirmeyen, kendi ağırlığı ile yoğun donatılı bölgelerde bile kalıbı tamamen doldurabilen, sertleşmiş haliyle yoğunluğu, homojenliği ve kalıcılığı vibrasyonla kalıba yerleştirilmiş beton özelliklerinde olan betondur.



Şekil 2.1 Geleneksel beton ve kendiliğinden yerleşen beton için hacim oranları

2.1.1. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Avantaj ve Dezavantajları

1. Taze betonu sıkıştırma ihtiyacı ortadan kalkacak, böylece vibratör kullanımının yarattığı zaman, enerji ve para kaybı ortadan kalkacaktır. Vibratör kullanımının çevreye yaydığı gürültü kirliliği (özellikle prefabrike beton sektörü için) önlenecektir. Prefabrike beton sektöründe vibratör kullanımının kalıplara verdiği zarar ortadan kalkacağından kalıpların ekonomik ömürleri artacaktır. KYB kullanımının fabrika içindeki olumlu etkileri Çizelge 2.1'de sıralanmıştır (Pielkenrood 2002). İnsan sağlığı açısından 80 dB üstünde ses; dalgınlık, stres ve yorgunluk gibi rahatsızlıklara sebep olmaktadır. 0.25 m/sn^2 'nin üzerindeki vibrasyon ivmesi kan dolaşımını bozmaktadır. Özellikle, kuvarz tozu kanserojen etkisi olduğu için 5 mg/m^3 'ün üzerindeki konsantrasyonları insan sağlığını tehdit etmektedir. Bunun gibi sağlık sorunlarının ortadan kaldırılmasının işçilikte % 5 tasarruf sağlayacağı öngörülmektedir (Walraven 2002).

Çizelge 2.1 KYB kullanımının fabrika içi çalışmalarına etkisi

Etki	Standart Üretimde	KYB kullanımında
Fabrika içi gürültü seviyesi	93 dB	<80dB
Kalıplara etkiyen dinamik yük	0.75-4.0 m/sn ²	~ 0 m/sn ²
Fabrika içi toz konsantrasyonu	3-4 mg/m ³	0.2 mg/m ³

2. Betonun sık donatılı perde tipi dar ve derin kesitlere kendi ağırlığı ile boşluk bırakmadan yerleşmesi betonun mekanik performansını arttıracaktır. Özellikle, deprem riski olan bölgelerde perde tipi kolon kullanımının yoğun olması ve bu elemanların sık donatılı olmaları vibratör kullanımını zorlaştırmaktadır. Betonarme yapılarda önemli problemlerden biri de donatı yoğunlaşmasının meydana geldiği düğüm noktalarında ve perde tipi elemanlarda betonun iyi sıkıştırılamamasıdır (Resim 2.1). Bu sorunlar KYB kullanımıyla çözülebilir (Resim 2.2). Betonda sıkıştırma işleminin önemi Resim 2.2'de açıkça görülmektedir. Betonun yoğunluğu maksimum sıkışmanın sağlandığının kabul edildiği teorik yoğunluğa yaklaştıkça elde edilebilecek maksimum dayanıma yaklaşılmaktadır.



Resim 2.1 Sıkıştırma yetersizliğinden perdelerde olumsuz beton kalitesi



Resim 2.2 Sık donatılar arasından vibrasyon uygulamadan KYB geçişi

3. Yeni nesil kimyasal katkıların kullanımıyla çok akıcı, fakat düşük su/çimento oranına sahip, yüksek mukavemetli beton üretilerek beton kalitesi hem dayanım hem de dayanıklılık açısından arttırılmaktadır. Efektif kimyasal katkıların KYB üretiminde kullanımıyla, prefabrike sektöründe erken kalıp alma için, özellikle kış aylarında uygulanan buhar kürü ortadan kaldırılabilir (Corradi vd. 2002).
4. KYB'nin perdahlanabilirliği geleneksel betona kıyasla daha rahattır. Beton dökümünü önemli ölçüde hızlandırır.
5. Prefabrike beton sektöründe karşılaşılan önemli sorunlardan biri de sık donatılı narin elemanların kalıptan alınırken ince kesitlerinde yetersiz vibrasyondan kaynaklanan boşlukların ortaya çıkmasıdır. Bu durumda yama ile boşluklar kapatılmaktadır. KYB kullanımı ile rötuş işleminin % 25 ile % 75 oranında azaldığı belirlenmiştir (Martin 2002).
6. KYB pompalanabilirlik açısından geleneksel betona göre daha avantajlıdır. Pompa içi basıncın geleneksel betona kıyasla ortalama % 20 azaldığı rapor edilmiştir. Bu durum taze KYB'nin tiksotropik yapısından kaynaklanmaktadır (Fornasier vd. 2002).

KYB'nin yukarıda bahsedilen avantajlarının yanında bazı dezavantajları da mevcuttur. Fakat bunların çoğu, zamanla yapılan araştırma geliştirme çalışmalarıyla ortadan kaldırılacak özelliktedir;

1. Geleneksel betona göre yüksek oranda toz malzeme içerdiği için, boyutsal stabilitesi hakkında toz malzemenin tipine göre farklı sonuçlar elde eden araştırmacılar çoğunluktadır. Dizayn yöntemi ve kullanılan malzemelere göre değişmesine rağmen, genellikle kuruma büzülmesinin KYB'de geleneksel betona kıyasla daha yüksek olduğu kabul edilmektedir. Bu durum önerilmeli prefabrike eleman üretiminde dikkate alınmalıdır (Bury vd. 2002).
2. KYB'nin erken dönemde küre hassas olduğu çeşitli araştırmacılarca ortaya konulmuştur (Dehn 2002). Küre hassasiyet puzolanik aktivite gösteren toz maddelerin kullanılması halinde daha baskındır. KYB'nin en azından 7 güne kadar kür edilmesi tavsiye edilmektedir. Kür edilmemesi halinde sıcak havalarda plastik büzülme çatlakları meydana gelebilir (Turcry 2002).
3. Özellikle prefabrike beton üretiminde taze betonun taşınması için geleneksel betonda kullanılan bazı sistemlerin değiştirilmesi veya modifiye edilmesi gerekmektedir. Klasik prefabrike beton üretiminde kuru kıvamlı taze beton (2 – 5 cm çökme değeri) yerleştirileceği alana hareketli bantlarla ya da kovalar yardımıyla taşınmaktadır. KYB kullanılması halinde taşıyıcı bantların kullanımı mümkün değildir. Taşıma kovalarının da kapak kısımları sızdırmaz hale getirilmelidir. KYB'nin performansı malzeme tip ve oran değişkenliklerine hassastır (özellikle agrega nemi ve gradasyonu). Klasik betona göre daha sıkı kontrol gerektirir. Bu da üreticiye ilave tedbirler alma zorunluluğu getirir. Üretim sırasında müdahale zorluğu vardır. Örneğin agrega nem durumuna göre karışıma su ilavesi yapılması gerekebilir.
4. Kesinleşmiş dizayn yöntemi ve standart deneylerinin yokluğu kalite kontrol işlerinde genelleme yapılmasını engellemekte ve standartlaştırmada sıkıntılara yol açmaktadır. Özel şartnameler oluşturularak başarılı uygulamalar gerçekleştirilmesine karşın uluslararası genelleme yapmak pratikte mümkün değildir. Çünkü yerel malzemelerdeki değişkenlikler KYB'nin taze haldeki reolojisini etkilemektedir.

5. KYB'nin erken dönemde küre hassas olduğu çeşitli araştırmacılarca ortaya konulmuştur (Dehn 2002). Küre hassasiyet puzolanik aktivite gösteren toz maddelerin kullanılması halinde daha baskındır. KYB'nin en azından 7 güne kadar kür edilmesi tavsiye edilmektedir. Kür edilmemesi halinde sıcak havalarda plastik büzülme çatlakları meydana gelebilir (Turcry vd. 2002).

2.1.2. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Reolojisi

Bir taze beton karışımının kendiliğinden yerleşen özellikte olabilmesi için düşük eşik kayma değerine ve optimum viskoziteye sahip olması gereklidir. Newtonyen sıvılarda eşik kayma gerilmesi sıfırdır. Kendiliğinden yerleşebilirlik için eşik kayma gerilmesinin mümkün olduğunca sıfıra yakın olması amaçlanmalıdır. Optimum viskozitenin belirlenmesi, malzeme parametreleri ve karışım oranlarıyla yakından ilişkilidir. Optimum viskozitenin altına indirirse betonun stabilitesi bozulacak ve ayrışma başlayacağından beton homojenliğini yitirecektir. Bu durumda iri agrega hamurdan ayrılarak kümelenir ve pompalama sırasında tıkanma meydana gelir. Optimum viskozitenin üstüne çıkılırsa betonun kıvamı aşırı artacağından yerleştirmede sıkıntılar yaşanır. Sıkışık hava boşluğu riski artar. Pompa betonlarında kohezif yapıdan dolayı aşırı zorlanma ve tıkanma oluşabilir. Her iki durum da tehlikeli sonuçlar yaratmaktadır. Çözüm eşik kayma gerilmesini, karışım suyunu fazla arttırmadan akışkanlaştırıcı kullanarak azaltmaktır.

KYB'nin reolojisi; malzeme parametreleri dışında, karıştırıcı tipi (ne kadar hava sürükleneceğiyle ilgili), malzemelerin karışıma ilave edilme sırası (karışım prosedürü), karıştırma süresi ve sıcaklık gibi değişkenliklerden de etkilenir (EFNARC Komitesi 2002).

EFNARC Komitesi (2002)' ne göre KYB dizayn oranlarının ve miktarlarının belirlenmesinde hacimsel oranlar daha önemlidir. EFNARC'ın önerdiği başlıca dizayn esasları ve deney sınır değerleri ile çözüm yolları aşağıda belirtilmiştir

Su/toz oranı hacimce 0.80-1.10 aralığında olmalıdır.

Toplam toz miktarı m^3 'de 160 ile 240 litre arasında (400-600 kg) olmalıdır.

İri agrega miktarı hacmin %28 ile %35'i arasında olmalıdır.

Su/çimento oranı TS EN 206' nın gereksinimlerine göre belirlenmeli ve toplam su içeriği $200 \text{ kg}/m^3$ 'ü aşmamalıdır.

Kum miktarı diğer malzeme hacimlerine göre ayarlanmalıdır

Çizelge 2.2 EFNARC (2002)' a göre tavsiye edilen kendiliğinden yerleşen beton deney sınırları

Metod	Birim	Minimum Sınır	Maximum Sınır
Çökme-yayılma	mm	650	800
T50 cm yayılma süresi	s	2	5
J halkası	mm	0	10
V-hunisi	s	6	12
5 dk sonra V-hunisi	s	0	+3
L kutusu	h_2/h_1	0.8	1.0
V kutusu	h_2-h_1 mm	0	30
GTM stabilite deneyi	%	0	15
Orimet		0	5

2.2. Rötire

Betonun içerisindeki suyun fiziksel ve/veya kimyasal nedenlerle azalması sonucunda betonun boyunda ve hacminde yer alan küçülmeye, “büzülme” denilmektedir (ACI Committe 1994). Bu olay “rötire” olarak ta anılmaktadır.

Büzülme olayı, hem beton tazeyken hem de sertleşmiş durumdayken yer alan bir olaydır. Taze betondaki su kaybı tamamen fiziksel nedenlere dayanmaktadır.

Taze betonun içerisindeki suyun bir miktarı betonun yerleştirilmiş olduğu kalıplar veya zemin tarafından emilerek kaybolabilmektedir. Ama asıl su kaybı; betondaki suyun buharlaşmasıyla meydana gelmektedir. Taze betondaki terleme nedeniyle beton yüzeyine veya yüzeye yakın kısımlara çıkan suyun hızla buharlaşması sonucunda, beton yüzeyi kuruyarak büzülme göstermektedir. Betondaki plastiklik henüz tamamen kaybolmamış durumdaiken betonun yüzeyinde yer alan bu büzülmeye, “plastik büzülme” denilmektedir.

Sertleşmiş betondaki su kaybı, hem fiziksel hem de kimyasal nedenlerle gerçekleşebilmektedir. Betonun kurumması, karbonatlaşması ve betonun içerisindeki çimentonun hidratasyonu, sertleşmiş betonda bulunan suyun azalmasına yol açan başlıca etkenlerdir. O bakımdan sertleşmiş betondaki hacim küçülmesi su kaybına yol açan bu etkenler bağlı olarak aşağıda sıralanan türdeki büzülmeler olarak sıralanmaktadır:

- Hidratasyon büzülmesi (Kendi yapısından kaynaklanan büzülme)
- Karbonatlaşma büzülmesi
- Kuruma büzülmesi.

2.2.1. Rötire Oluşum Mekanizmaları

2.2.1.1. Plastik (Bünyesel) Rötire

Bu iki rötreyi bir arada düşünmek mümkündür. Bünyesel rötire kaçınılmaz bir olaydır. Hidratasyon sonucu toplam mutlak hacimde bir büzülme olur.

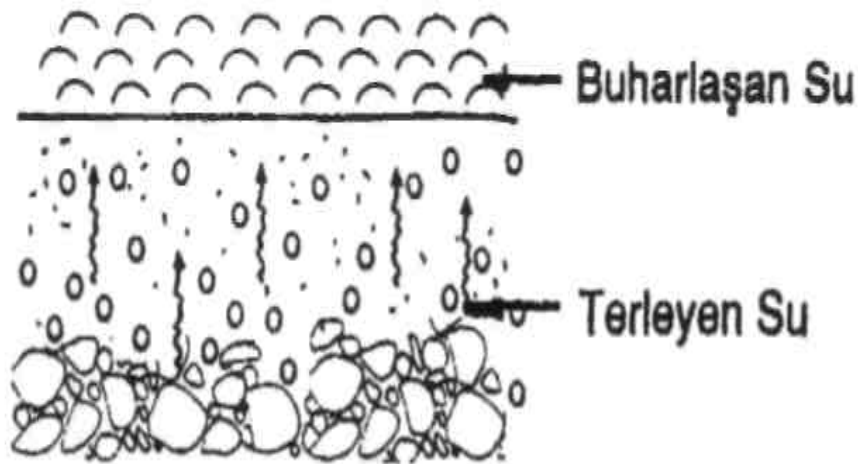
Bünyesel rötreyi etkileyen faktörler şunlardır:

- Kullanılan Çimentonun Bileşimi ve Dozajı: Çimentonun bileşimi; kimyasal reaksiyonların türünü ve hızını, reaksiyon ürünlerinin çeşidini etkiler. Ayrıca çimento yönünden zengin karışımlar daha fazla bünyesel rötire yapar.

- Karma Suyunun Miktarı: Erken yaştaki reaksiyon hızını, hamurun porozitesini ve serbest boşluk suyunun daha sonraki miktarını etkiler.
- Sıcaklık Koşulları: Reaksiyon hızını etkiler.
- Zaman: Reaksiyon mertebesini etkiler (Ramyar 2004)

Plastik (erken) rötre, henüz beton tazeyken priz süresinde ortaya çıkar. Yüzeyde biriken su hızla buharlaştığı takdirde şiddetli bir büzülme meydana gelir. Plastik rötre buharlaşan su miktarı, terleyen (kusulan) su miktarını aştığında belirginleşir. Buharlaşma hızı terleyen su hızından yüksek ise; betonun dış yüzeyi kurumaya başlar. İç kısımlar ise; bu büzülme takip edemeyince yüzeyde oluşan çekme gerilmeleri yüzeysel çatlaklara yol açar. Plastik rötre nedeniyle donatıların alt yüzeylerinde hava cepleri oluşur ve aderans yeteneği azalır.

Plastik büzülme çatlakları, beton yüzeyinden başlayarak iç kısımlara kadar uzanan derin çatlaklar değildir. O nedenle, genellikle betonun dayanımını azaltabilecek kadar etkileri yoktur; sadece beton yüzeyinin görünümünü bozmaktadırlar. Ancak zamanla beton yüzeyine dışarıdan gelebilecek bazı yıpratıcı etkiler karşısında bu çatlaklar daha derin çatlaklar haline dönüşebilmekte ve betonun dayanıklılığının azalmasına yol açabilmektedir.



Şekil 2.2 Plastik rötre oluşumu

Plastik rötre çatlakları dökümü izleyen birkaç saat içinde meydana gelmektedir. Buharlaşma hızını hava sıcaklığı, rutubeti, rüzgâr hızı ve güneş etkiler. Su kuma hızını etkileyen temel faktör ise; taze betonun kompositesidir. Kaliteli betonların kompositesi yüksek olduğundan su kuma hızı azdır. Bu nedenle kalitesi yüksek betonlarda plastik rötre olayı, kalitesiz betonlara kıyasla daha şiddetli gelişir (Baradan 2000).

2.2.1.2. Şişme (Negatif) Rötre

Devamlı olarak su içerisinde bırakılan çimento hamurlarının ve betonların hacimlerinde ve ağırlıklarında küçük bir miktar artma meydana gelmektedir. Çimento hamurunun veya betonun gösterdiği hacim artışına “şişme” veya “negatif rötre” denilmektedir. Hacim artışının nedeni, çimento jelleri tarafından emilen sudur. Su molekülleri jel parçacıklarının arasına girerek bu parçacıkların kohezyonuna karşı koyan bir kuvvet olarak hareket etmekte, şişmeye yol açan bir basınç oluşturmaktadır (Lerch 1957).

2.2.1.3. Kuruma (Hidrolik) Rötre

Rötre mekanizmalarından en önemlisi ve yaygın rastlananı kuruma rötresidir (Baradan, 2000). Kuruma büzülmesi, sertleşmiş betonun içerisindeki suyun bir miktarının buharlaşarak kaybolması (betonun kuruması) sonucunda yer alan büzülmedir.

Hava sıcaklığının yüksek olması ve/veya relatif nemin düşük olması ve/veya hızlı esen rüzgârlar nedeniyle betonun içerisindeki su zamanla buharlaşarak kaybolmaktadır. Betonun kuruması ile beton hacminde büzülme meydana gelmektedir. İlk zamanlarda betondaki su kaybı, doğal olarak daha hızlı olmaktadır (Mindess 1981). Kuru ortam devam ettikçe su kaybı artmaktadır. Dolayısıyla büzülme miktarında da zamanla artış görülmektedir.

Kuruma büzülmesi büyük oranda malzemenin içeriğinden ve çevre koşullarından etkilenir. Çimentolu malzemedeki kuruma rötresi esas olarak, sertleşmiş çimento-su hamurundaki hidrate kalsiyum silikat (CSH) jelinin nemini kaybederek büzülmesiyle

oluşur. Suyu doymuş çimento hamuru, doymuşluğunun altındaki nem oranına sahip çevre koşullarında boyutsal olarak stabil kalmaz. Bunun sebebi büyük oranda, CSH jelinin fiziksel olarak absorbe ettiği suyu kaybetmesidir ve bu durum rötreye yol açar (Asad vd. 1997). Çimento hamurunun kuruması sonucu, önce kılcal boşluklardaki su buharlaşmakta, bu boşluklara jel suyu akımı başlamakta ve daha sonra bu su da kısmen buharlaşmaktadır. Sonuçta adsorbe su tabakası incelerek ve taneler yaklaşarak hacim büzülmektedir. İlginç olan büzülmede herhangi bir dış yükleme olmamasıdır. Bir dış yükleme halinde jel suyunun hareketi hızlanacak ve çimento hamurunun boyutları daha da küçülecektir (Baradan 2000). Kuruma rötresi, ilk başta yüksek hızda gerçekleşir, malzemenin yaşı arttıkça yavaşlar (Asad vd. 1997). 20 yıldan uzun süren kuruma büzülmesi deneyleri göstermişti ki; 20 yıllık kuruma büzülmesinin ilk 2 haftada %50-60'ı ilk 3 ayda ve %75-80'i 1 yıl içinde gerçekleşmektedir (Ramyar 2004).

2.2.1.4. Hidratasyon Rötresi (Betonun Kendi Yapısından Kaynaklanan Büzülme)

Yerine yerleştirilmiş olan taze betonda çimento ve su arasındaki reaksiyonların devam edebilmesi için genellikle yeterli miktarda su bulunmaktadır. Ancak betonun içerisindeki suyun önemli bir miktarının herhangi bir nedenle kaybolması durumunda, kapiler boşluklardaki relatif buhar basıncı azalmakta ve hidratasyon yavaşlamaktadır.

Buharlaşmanın dışında kapiler boşlukların içerisindeki suyun azalmasına neden olabilecek bir başka faktör de, su/çimento oranı 0,5'den daha düşük olan betonlarda yer alan “öz-kuruma” olarak da adlandırılan kendine kuruma olayıdır. Bu durumda buharlaşma yoluyla hiç su kaybı olmasa dahi, kapiler boşluklardaki suyun bir miktarının hidratasyon için kullanılarak azalması nedeniyle bir süre sonra hidratasyonun devam edebilmesi için yeterli su bulunamamaktadır.

Betonda yer alabilecek öz-kuruma olayı “hidratasyon büzülmesi” veya “otojen büzülme” olarak adlandırılan bir miktar hacim değişikliğine yol açmaktadır. Hidratasyon büzülmesinin miktarı, aslında ihmal edilebilecek kadar azdır.

2.2.1.5. Termik Rötire

Termik rötire çimentonun hidratasyon ısıyla ilgilidir. Prizi sona eren ve sertleşmeye başlayan betonda hidratasyon ısısının tüm kütleyi ısıtmaya yetecek şekilde artmaması sonucu kütle soğumakta ve termik rötire adı verilen olay meydana gelmektedir. Bir iki gün içinde ortaya çıkan bu olay özellikle baraj gibi kütle betonlarında önemli sonuçlar çıkarır. İç kısımdaki beton yavaş, dış kısımdaki beton hızlı soğur. Sonuçta dış kısımdaki betonun büzülmesi önlenmiş olur, bu önleme çekme gerilmeleri doğurup betonu çatlatır (Baradan 2000).

2.2.1.6. Karbonatlaşma Rötresi

Sertleşmiş çimento hamuru CO₂ miktarı ile kimyasal reaksiyon oluşturur. Atmosferdeki CO₂ miktarı (yaklaşık %0,04), uzun zaman içinde çimento hamuru ile önemli miktarda reaksiyona yol açmak için yeterlidir. Bu reaksiyonları karbonatlaşma rötresi izler.

Karbonatlaşma rötresi muhtemelen, kuruma rötresinin neden olduğu gerilmeler altında Ca(OH)₂ kristallerinin dağılarak, gerilmelerin olmadığı boşluklarda CaCO₃ birikmesiyle oluşur. Çimento hamurunun sıkışma yeteneği geçici olarak artar. Karbonatlaşma, CSH'nin dehidratasyonu aşamasına kadar devam ederse, bu karbonatlaşma rötresini oluşturur (Ramyar 2004).



Rutubetin çok yüksek olduğu ortamlarda CO₂ difüzyonu oluşmaz. Ayrıca çok düşük rutubetli ortamlarda ise; asit karbonik büzülmesi ve CO₂ difüzyonu olamaz (Baradan 2000).

Karbonatlaşmaya uğramış beton su kaybederek bulunduğu ortandaki bağıl nemden çok daha düşük bir bağıl neme sahip olacak şekilde kurutulmuş gibi davranır. Rötire ve nem kaybı arasındaki ilişki, normal durumda gözlenen ilişkiye benzer. CSH'nin

karbonatlaşması bağlayıcılık özelliğini değiştirir ve karbonatlaşma rötresi tamamen geri dönüşüzdür (Ramyar 2004).

2.2.2. Rötire Üzerine Yapılmış Çalışmalar

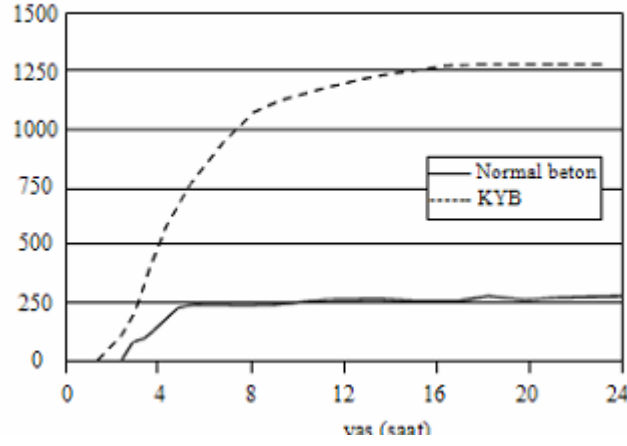
KYB yüksek toz oranı nedeniyle normal betona kıyasla daha çok plastik büzülme yapabileceğinden erken yaşlarda küre özen gösterilmelidir (Roshavelov 2002).

KYB dizaynında toz ipi metodu kullanılıyorsa, otojen kuruma büzülmesi açısından bakıldığında, taş tozu kullanmak uçucu kül kullanmaktan daha avantajlıdır. Çünkü uçucu kül puzolanik reaksiyona girdiği için, betonda kimyasal reaksiyondan kaynaklanan bir büzülmeye de sebep olmaktadır. Taş tozu kullanılması halinde ise; çimento ile belli oranda ikame edilerek kuruma büzülmesi azaltılabilir (Ambrosie 2002).

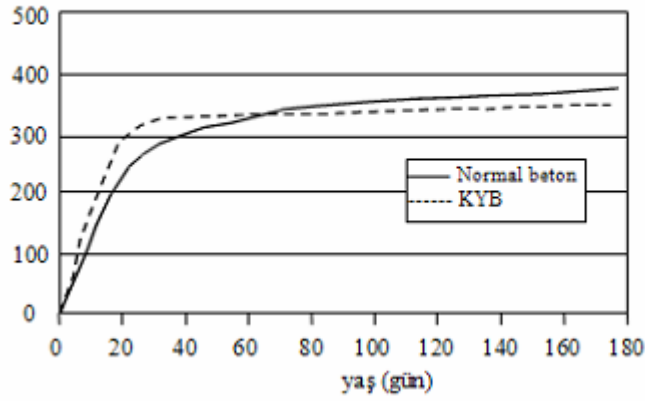
Persson (2001)' a göre, KYB ile geleneksel beton arasında kuruma büzülmesi bakımından bir fark olmadığı sonucunu elde etmiştir. Francy vd. (2001), uçucu kül kullanılması durumunda kuruma büzülmesinin yüksek olduğunu tespit etmiştir.

KYB' de agrega gradasyonu incelidikçe veya kum/iri agrega oranı arttıkça kuruma büzülmesi artar (Attiogbe 2002).

Yapılan bir çalışmada KYB ve geleneksel betonun plastik büzülme ve kuruma büzülmesi karşılaştırılmıştır. Aynı basınç dayanımına sahip bu iki karışımda plastik büzülmenin KYB'de geleneksel betondan 4 kat fazla olduğu (Şekil 2.3), fakat kuruma büzülmelerinin aynı olduğu (Şekil 2.4) sonucu elde edilmiştir. KYB'de düşük su/toz oranı ve yüksek oranda akışkanlaştırıcı kullanılması plastik büzülme hassasiyetini arttırmaktadır. Bu sebeple KYB'de her hava koşulunda erken yaşlarda küre dikkat edilmelidir. Normal betona göre plastik büzülme çatlağı oluşma ihtimali daha yüksektir (Turcry 2002).

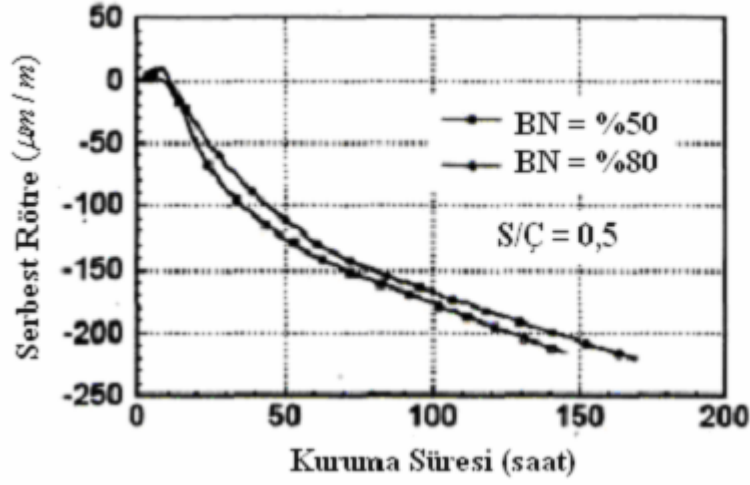


Şekil 2.3 Plastik büzülme karşılaştırması



Şekil 2.4 Kuruma büzülmelerinin karşılaştırılması

Altoubat vd. (2001)' nin çalışmasındaki 0,5 su/çimento oranına sahip normal betonun (NC-0,5) %50 ve %80 bağıl nem koşullarında gösterdiği rötre değerleri şekilde görülmektedir. Şekle göre bağıl nemin %50'den %80'e çıkarılmasının rötreyi azaltıcı etkisi çok küçüktür.



Şekil 2.5 Farklı nem koşullarındaki rötme birim deformasyonları

2.3. Filler Malzemeler ve Özellikleri

2.3.1. Silis Dumanı

Silisyum metalinin veya ferrosilisyum (FeSi) alaşımlarının üretimi sırasında kullanılan elektrik ark fırınlarında yüksek saflıktaki kuvarsitin, kömür ve odun parçacıkları ile indirgenmesi sonucu bir yan ürün olarak elde edilen çok ince taneli, toz halindeki endüstriyel atık maddeye “silis dumanı” denmektedir.

Silis dumanı Portland çimentosundan 100 kat daha ince, küresel şekilli, kristal olmayan, amorf yapılı oldukça ince tanelerden oluşan yapıya sahip çok iyi bir puzolandır. Silika içeriği %85 ile %98 arasında değişen silis dumanı, karbon (yanmamış kömür kalıntısı), demir oksit (Fe_2O_3), alumin (Al_2O_3), magnezi (MgO) ve alkalileri de (Na_2O ve K_2O) kimyasal yapısını içermektedir.

Çok ince taneli ve yüksek oranda amorf silis içeriği nedeni ile etkin bir puzolan olan silis dumanı Türkiye’de Antalya Eti Elektrometalurji A.Ş. tesislerinde elde edilmektedir.

Silis dumanının rengi genellikle açık griden koyu griye kadar, karbon artışına bağlı olarak değişir. Suyla karıştığı zaman siyaha yakın renktedir. Demir oksit fazlalığı ise; renge

hafif kahverengi bir ton verir. Tane boyutları 0,1 ile 0,2 µm arasında değişir ve çimento tane çapının 1/100'ü kadardır (Türkel 2004). Silis dumanı boyutlarına göre farklı isimler almaktadır. Normal silis dumanı 5 ile 10 mikrometre, mikrosilika (MS) 0,1 ile 1 mikrometre, ultra ince amorf kolloidal silis dumanı çözültisi (UFACS) ise; 5 ile 50 nanometre çap aralığına sahiptir. Silis dumanı özel proseslerden geçirilerek daha kaliteli hale getirilebilmektedir.

Silis dumanının özgül ağırlığı alaşım türüne ve kaynağına göre değişmekle birlikte ortalama 2,20 civarındadır. Gevşek birim hacim ağırlığı 240–300 kg/m³ arasındadır. Portland çimentosunun ise; 1200 kg/m³ civarındadır (Türkel 2004).

Silis dumanı da diğer puzolanik toz maddeler gibi amorf yapısı nedeniyle kalsiyum silika hidrat (CSH) oluşturucu çekirdekler meydana getirir. Çekirdeklerde ilave kristal yapısı oluşumuna katkıda bulunarak prizi hızlandırır ve erken dayanımı dolaylı yoldan artırır (Felekoğlu 2004). Silis dumanı genellikle çok yüksek bir puzolanik aktiviteye sahiptir. Yüksek oranda silika içeriği ve çok ince oluşu puzolanik aktiviteyi artırır (Türkel 2004). Puzolanik reaksiyon hızı diğer puzolanlara göre daha yüksektir. Aynı uçucu kül ve diğer puzolanlar gibi C₃S ve C₂S hidratasyonundan gelen serbest kireci bağlar ve ilave CSH oluşumuna neden olur. Buradaki CSH yapısı normal çimento hidratasyonundan oluşan CSH yapısından farklıdır (Felekoğlu 2004).



2.3.1.1. Silis Dumanının Rötire Üzerine Etkisi

Silis dumanı tanecikleri oldukça küçük olduğundan ve bu yüzden alanı artığı için taze betondaki bir kısım serbest suyu bağlar. Böylece, bu taneler boşluk ve gözenekleri doldurarak suyun beton yüzeyine çıkışını yavaşlatır. Sonuç olarak terleme azalır. Terlemenin azalmasıyla çok az suyun yüzeye çıkması beton yüzeyinden buharlaşmanın fazla olduğu ortamlarda plastik büzülme çatlaklarının artmasına neden olur. Çatlakların oluşması priz başlangıcına kadar sürebilir. Özellikle yüksek sıcaklık, düşük nem ve aşırı

rüzgârlı ortamlar taze beton üzerindeki suyun hızla buharlaşmasına neden olduğundan plastik büzülme çatlaklarına karşı gerekli önlemler alınmalıdır (Türkel 2004).

Silis dumanı içeren betonlarda, $(S/(PÇ+SD))$ oranı, katkı miktarı ve ilk günlerdeki bakım koşulları rötreyi etkileyen en önemli faktördür. Katkı miktarı %10'dan az olan betonların rötresi normal betonlardan farklı değildir. Ancak daha yüksek oranlarda silis dumanı kullanımı $(S/(PÇ+SD))$ oranının 0,60'dan büyük olması ve yetersiz ıslak bakım kuruma rötresini göreceli olarak arttırmaktadır (Türkel 2004).

Ding vd. (2002)' nin yaptığı çalışmada; katkısız Portland çimentolu ve silis dumanı veya metakolin katkılı betonların zamana bağlı serbest rötre birim deformasyonları ve silis dumanı katkılı betonların rötre hızları, çalışma sonuçlarına göre silis dumanı katkısıyla betonda serbest kuruma büzülmesini azaltmak mümkündür.

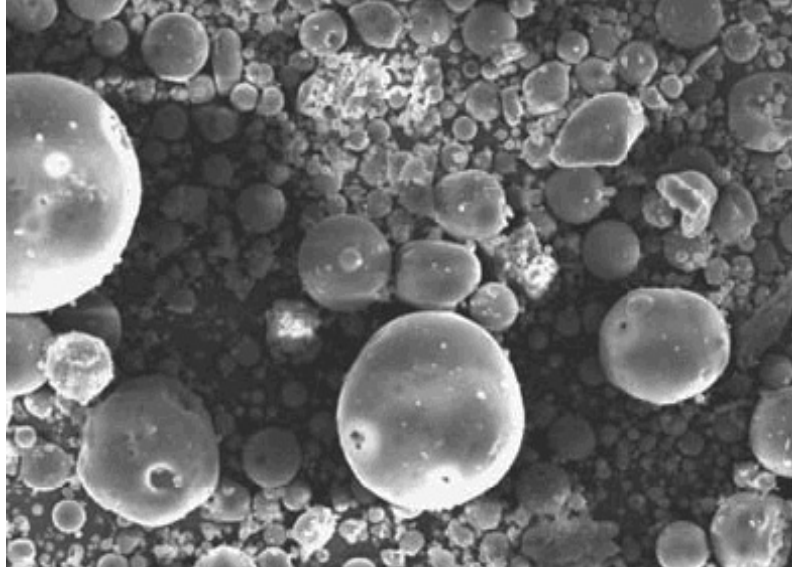
2.3.2. Uçucu Kül

Endüstriyel yakıt olarak kullanılma imkânı olmayan düşük kalorili kömürlerden elektrik enerjisi üretmek amacıyla kurulan termik santrallerde yararlanılmaktadır. Bu amaçla termik santrallerde buhar üretici kazanları ısıtmak amacıyla çoğunlukla öğütülmüş halde kömür yakılır. 75 µm (No.200) elekten %80'i geçecek şekilde kırılıp inceltelen kömür tozları önceden ısıtılmış hava ile karıştırılır ve yanma için kazan içine üflenir. Bu yanmanın sonucunda farklı özellikteki çeşitli gazlar ve bazı atıklar (kömür külleri ve yanmayan kalıntı) açığa çıkar. Genellikle, termik santrallerde kullanılan taş kömürlerinin %10-15'i, linyit kömürlerinin ise; %20-40'ı küldür.

Üretilen atığın %75-80'lik birincil kısmı, çok küçük tanecikler halinde yanma odasından gazlarla birlikte uçarlar. Bu tanecikler, gazlarla birlikte bacadan havaya çıkarken elektrostatik filtreler veya elektromekanik yöntemler kullanılarak tutulur ve kül toplayıcı silolara kanalize edilir. Daha sonra da silolardan konveyör bantlarla veya başka yöntemlerle termik santrallerin uzağında bir yere atık olarak depolanmaktadır. Modern santrallerde bu ince malzemelerin %99' u gaz çıkmadan önce tutulmaktadır (Erdoğan 1997).

Uçucu kül, bu güç üretim tesislerinde bacadan gazlarla birlikte uçup gitmeye çalışan küller verilen isimdir. Endüstriyel bir yan ürün ya da atık olarak bilinir.

Uçucu külün esas bileşenleri; SiO_2 , AlO_3 ve Fe_2O_3 'tür. Uçucu kül tipine bağlı olmak üzere belli miktarda CaO , MgO , SO_3 ve yanmamış karbon içerir.



Resim 2.3 Uçucu külün mikroyapısı

Uçucu küller puzolanik özellikler gösterirler. Kendi başlarına bağlayıcılık özellikleri ya çok azdır ya da hiç yoktur. Ancak nemli ortamda normal sıcaklıkta ($20-25\text{ }^{\circ}\text{C}$) $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile reaksiyona girerek C-S-H bileşenini oluşturur.

Uçucu küllerin fiziksel özellikleri tane şekli, dağılımı, incelik ve yoğunluktur. Bu özellikler taze ya da katılaşmış betonun özelliklerini etkiler. Uçucu külün rengi ve kullanılacağı miktar sonuçta elde edilecek betonun rengini etkileyebilir. ASTM C 618 (1994)'e göre uçucu külün inceliğinin yanı sıra dayanım aktivite indisi, su ihtiyacı, homojenliği ve su muhtevası da uçucu külün fiziksel özelliklerindedir.

Uçucu kül çoğunlukla katı, biraz boşluklu ve küresel şekle sahip taneleri içerir. Boşluklu tanelerin muhtevası %5 ile %20 arasındadır. Bunlar azot ve karbondioksit ile doludur. Bu tanelerin fazla olması beton üretiminde kullanılacak küllerde istenmez. Çünkü bu taneler boşluklu olduklarından su yüzeyinde kalmaya çalışırlar ve bitirmeyi

zorlaştırdıkları gibi beton yüzeyi üzerinde rengi koyulaşan kısımlar meydana getirirler. Uçucu küllerin tane boyutları 1 ile 150 µ arasında değişir.

Uçucu külün inceliği puzolanik aktiviteyi ve taze betonun işlenebilirliğini etkiler. Betonun su ihtiyacını ve hava sürükleyici katkı dozajını etkileyebilir. Genel olarak uçucu kül kullanımı betonun su ihtiyacını düşürür ve işlenebilirliğini arttırır da inceliği fazla olan, 45µ eleği geçen yüzdesi %95'in üzerinde olan uçucu kül su/çimento oranı düşük betonlar için su miktarını %1 ile %3 arasında arttırabilir. İnceliğin çok yüksek olması hava sürükleyici katkı maddesinin dozajını arttırır.

Uçucu külün yoğunluğu normalde 2.1 ile 2.7 gr/cm³ civarındadır. Uçucu külün yoğunluğu beton özellikleri üzerinde çok az etkiye sahiptir. Yoğunluğun yüksekliği inceliği ile ilgilidir. İnce küller kaba küllere göre daha fazla yoğunluk verirler.

Uçucu küllerin rengi ise; değişik renklerde olabilir. Ancak bu renk gri civarında değişir. Bu renk, kullanılan fırınların işletilmesine ve kömürün kalitesine bağlıdır. Uçucu kül içerisinde yanmamış karbon oranı arttıkça rengi koyulaşır.

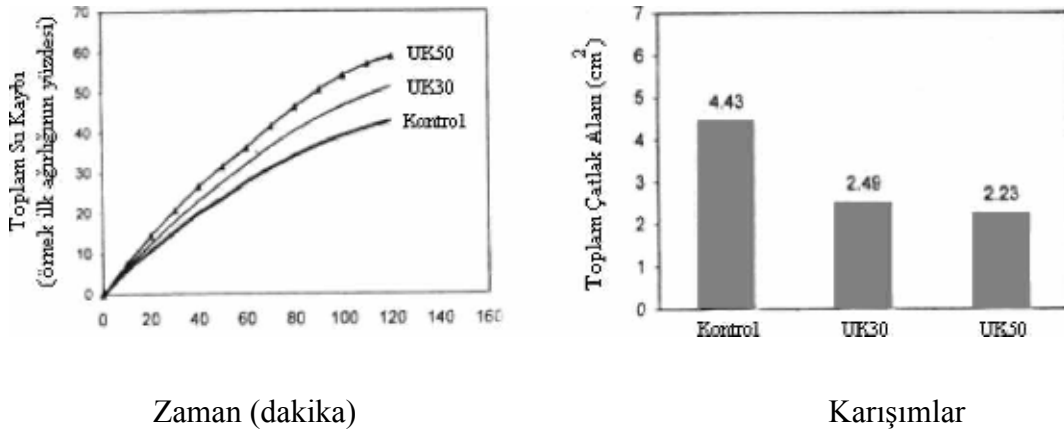
2.3.2.1. Uçucu Külün Rötire Üzerine Etkisi

Atiş (2004), F sınıfı uçucu kül ile yaptığı çalışmada %50 ile %70 uçucu kül ikame oranlarına sahip betonları optimum su/çimento oranında, Portland çimentosu ile kıyaslandığında önemli derecede düşük rötire değerlerine sahip oldukları sonucunu elde etmiştir. Kullanılan akışkanlaştırıcının rötreyi arttırdığını belirten Atiş (2004), uçucu kül kullanımı sonucunda Portland çimentosu betonuna kıyasla, rötire de %40'a varan düşme gözlenmiştir.

Uçucu küllü betonun priz süresi, diğer puzolanlarda olduğu gibi daha uzundur. Priz süresinin uzun oluşu, plastik büzülme çatlaklarının oluşumunu, özellikle yüksek buharlaşma olduğunda arttırabilir.

Uçucu külün priz süresine etkisi, uçucu kül karakteristiklerine ve kullanım miktarına bağlıdır. F sınıfı uçucu küller priz süresini geciktirirler. Ancak bazı CaO miktarı yüksek uçucu küller priz süresini geciktirici etki yapmazlar (Türkel 2004).

Wang vd. (2001)' nin betonun plastik rötresi üzerine yaptıkları çalışmada kullanılan F sınıfı uçucu külün içeriği ve tipinin su kaybı ve 100 x 100 x 8 mm ayrıtlarına sahip örnekteki plastik rötre çatlaklarının toplam alanına etkisi Şekil 2.6'da görülmektedir. Örneklerin tümü 0,55 su/bağlayıcı oranına sahiptir. Görüldüğü gibi uçucu kül içeriğinin artmasıyla su kaybı artmaktadır. Yazarlara göre bunun nedeni, uçucu külün yavaş hidratasyonu sonucu erken yaşta daha poroz bir yapının oluşmasıdır. Ancak uçucu kül içeriğinin artmasıyla plastik rötre çatlaklarının toplam alanının azaldığı da görülmektedir. Yazarlar bunu, uçucu kül katkılı karışımlardaki, katkısız karışımdakine kıyasla daha geniş boşluklarda oluşan nispeten küçük kapiler boşluk basınçlarına bağlamaktadır. Ayrıca ultra ince uçucu kül kullanılması su kaybını normal uçucu külden daha fazla arttırmış; ayrıca plastik rötre çatlaklarının toplam alanının da artmasına neden olmuştur.



Şekil 2.6 Uçucu kül içeriğinin su kaybı ve çatlakların toplam alanına etkisi

H. K. Lee vd. (2003)' nin F sınıfı uçucu kül kullanarak yaptıkları çalışmada, düşük su/bağlayıcı oranına sahip betonlarda uçucu kül katkısının bünyesel rötre üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Uçucu kül katkısı arttıkça bünyesel rötre azalmaktadır.

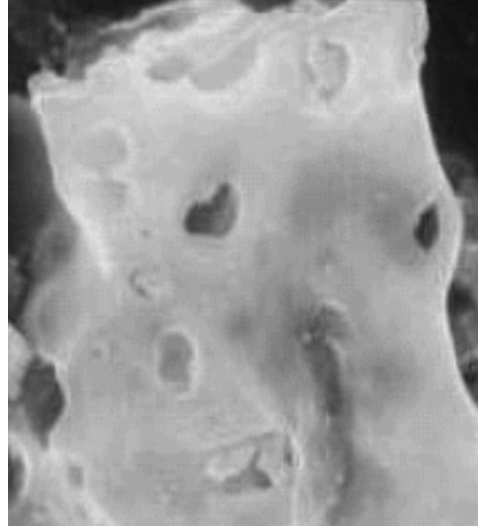
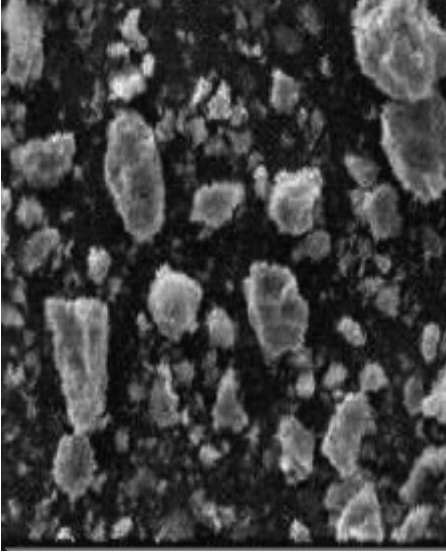
Betonun kuruma büzülmesi imento hamuru hacmi, su ve imento miktarları, imento ve agrega tipi gibi bazı faktörler tarafından etkilenir. Bütün bu durumlarda, uçucu külün eklenmesi ile hamur hacmi arttığından, su miktarı sabit tutulsa bile kuruma büzülmesini hafifçe arttırabilir. Ancak, uçucu kül katkısı betonun işlenebilirliğini de arttırdığından, sabit bir işlenebilirlik için daha az su kullanılabilir (Türkel 2004).

2.3.3. Kırmataş Tozu

Kırmataş tozu kayaçtan öğütülerek elde edilebilir. Ayrıca, taş ocaklarında üretim %1'lik kısmını oluşturan atık bir malzemedir. Filtrasyonla tutulması halinde istenen gradasyonda stoklanması mümkündür. Geleneksel betonda taş tozu kullanımı, agrega yzelerine yapışarak aderansı azaltıcı etki yaratması nedeniyle standartlarca sınırlandırılmıştır. Bu olumsuz etkisi kendiliğinden yerleşen betonda viskozite arttırıcı olarak kullanılmasıyla olumlu etkiye dönüştürülebilir.

Kendiliğinden yerleşen beton dizaynında ince ğtlmş (Blaine değeri $>2500 \text{ cm}^2/\text{g}$) kireçtaşı tozu, granit, kuvarz kumu kullanılabilir. Bu tozların etkinliği incelidikçe artar. Dolomit kökenli kireçtaşı tozu ince öğütülmesi halinde, reaktifliği arttığından alkali karbonat reaksiyonuna yol açabilir. Bu nedenle kullanımı riskli olabilir. Öğütücü tipine de bağlı olmakla beraber genel olarak granit tozu, mikro yapısı incelendiğinde kireçtaşı tozuna kıyasla daha çok kusurlu mikro tane içerir. Bu açıdan kireçtaşı tozu tercih edilmelidir.

Kırmataş tozunun mikro yüzey yapısı, işlenebilirliği büyük ölçüde etkiler. Resim 2.4' de çok przly yzeeye sahip kireçtaşı tozunun elektron mikroskobu altında çekilmiş fotoğrafı görülmektedir. Aynı miktarda uçucu kül ve kırmataş tozu ilave edilen karışımlar karıştırıldığında, uçucu külün kireç taşı tozuna kıyasla eşik kayma gerilmesini fazla yükseltmeden viskoziteyi arttırdığı görülmüştür (Felekoğlu 2003).



Resim 2.4 Kırmataş tozu mikro yapısı

2.3.3.1. Kırmataş Tozunun Rötire Üzerine Etkisi

Kırmataş tozunun, tamir harçlarında çok önemli bir özellik olan kuruma büzülmesini azaltıcı etkisi vardır. Felekoğlu vd. (2003)' ne göre kırmataş tozunun kuruma büzülmesini azaltmasının nedeni, çimentoya göre daha ince olan kırmataş tozu tanelerinin çimento hamurundaki boşlukları doldurarak daha yoğun bir hamurun oluşmasını sağlaması ve buna bağlı olarak malzemenin rötire deformasyonlarına daha iyi karşı koymasındır.

2.3.4. Mermer Tozu

Mermer tozu, en küçük boyutlu mermer atıklarıdır. Mermer işleme tesislerinde blokların ve plakaların kesilmesi sırasında oluşan ve çoğunlukla 1 mm altında olan mermer tanecikleridir. Kesme işleminde su kullanılması nedeniyle suyla birlikte çökeltme havuzlarına taşınır. Havuzlarda çökelen mermer tozu daha sonra atık sahalarına alınmaktadır.

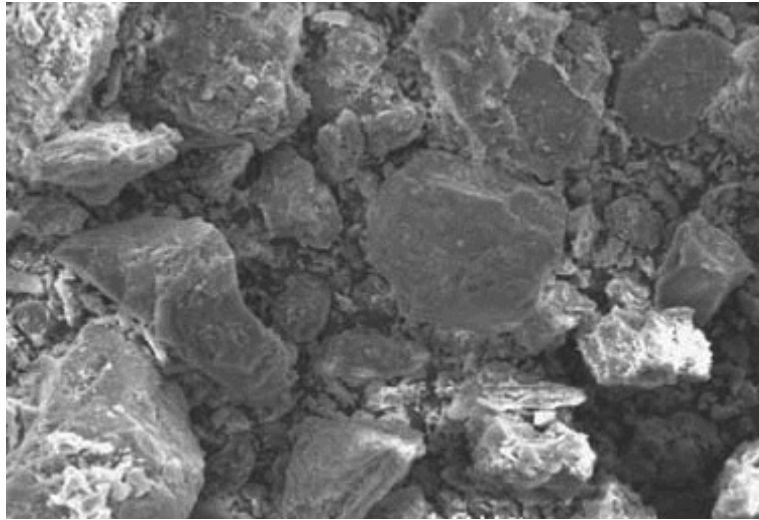
Mermer atıkları parça boyutu olarak işleme tesislerinden iki farklı ürün olarak çıkabilmektedir. Bunlar:

- İri boyutlu mermer atıkları
- Kolloidal yapıda büyük miktarı 150 mikronun altında olan ve maksimum parça boyutu 2 mm'ye ulaşabilen kesim toz atığıdır.

Toz mermer atıkları zirai kireç taşı, zirai toprak ve zemin ayarlayıcı, yem ve mineralli besinler, sıva malzemesi, çimento üretimi, kireç üretimi, kalsine dolomit üretimi, cüruf yapıcı malzeme, refrakter malzeme gibi farklı alanlarda değerlendirilmektedir. Kendiliğinden yerleşen betonda da kullanılabilmesi için değişik çalışmalar yapılmaktadır.

2.3.5. Tuğla Tozu

Tuğla tozu, tuğla fabrikalarında pişmiş olan tuğlaların nakliye veya taşıma sırasında veya inşaatlarda kırılması sonucu kullanılamaz hale gelen atık tuğlaların öğütülmeleri sonucunda elde edilen ve kendiliğinden yerleşen betonda değerlendirilmesi araştırılan silis esaslı minerla bir katkıdır. Tuğla tozlarının mikro yapısı incelendiğinde yüzeyinin kireçtaşı tozuna şekilde köşeli ve pürüzlü bir yapıda olduğu görülür (Resim 2.5). Bu da tuğla tozunun su gereksinimini arttırmaktadır.



Resim 2.5. Tuğla tozu mikro yapısı

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Amaç ve Kapsam

Genellikle kendiliğinden yerleşen betonlarda ince madde miktarının 450 – 600 kg/m³ olması istenmekte olup, bu miktar sadece çimento kullanılarak karşılandığında betonda hidrasyonu ısısından dolayı termal çatlamları ve rötre miktarını arttırmaktadır. Bu nedenle günümüze kadar kendiliğinden yerleşen beton üzerine yapılan çalışmalarda ince malzeme olarak farklı ince puzolanik olan veya olmayan malzemeler, çimentonun bir bölümüyle yer değiştirilmek suretiyle kullanılmaktadır. Bu malzemeler genellikle, kırmataş tozu, uçucu kül, silis dumanı, tuğla tozu v.b. dir. Genellikle 0.125 mm elek altına geçmesi istenmektedir.

Bu çalışmada kendiliğinden yerleşen betonda farklı filler malzemeler kullanılarak filler malzemelerin rötre üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Böylece kendiliğinden yerleşen betonda kullanılacak olan en uygun filler malzemenin seçilmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında; filler malzeme olarak kırmataş tozu, mermer tozu, tuğla tozu, uçucu kül ve silis dumanı olmak üzere beş farklı filler kullanılmıştır. Fillerlerin seçilmesinde atık malzeme olmasına özen gösterilmiştir. Agregada olarak doğal dere kumu kullanılmıştır. Rötre deneysel olarak harç çubukları üzerinde belirlendiğinden agregada olarak da harç üretimi için her tipten 0/4 mm boyutunda kullanılmıştır. Her agregada türüyle ve filler içerikleriyle harçlar üretilerek standartlarda verilen 25 x 25 x 285 mm boyutundaki harç çubukları üretilerek ilk yaşlardan itibaren başlanmak suretiyle çeşitli numune yaşlarında (ör. 1, 7, 14, 28, 63, 90 ve 180 gün gibi) harç çubukların boylarındaki değişimlerinin ölçülmesi suretiyle kendiliğinden yerleşen betonun zamana bağlı rötresi belirlenmiştir.

3.2. Kullanılan Malzemelerin Tanıtılması

3.2.1. Çimento

Bu çalışmada TS EN 197-1-CEM 1 42,5 R yüksek erken dayanımlı portland çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun bütünü 50 kg'lık standart torbalarda laboratuvar şartlarında

çevre koşullarından etkilenmeden korunmuştur. Kullanılan çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kimyasal Analiz		Basınç Dayanımı		
	Ortalama Değer (%)	Ortalama değer (MPa)		
CaO	63.7	2 günlük	25.4	
SiO ₂	19.68	7 günlük	41.1	
Al ₂ O ₃	5.75	28 günlük	50.6	
Fe ₂ O ₃	3.00			
MgO	0.90			
Na ₂ O	0.20			
K ₂ O	0.83			
		Fiziksel Özellikler		
SO ₃	2.78	Kıvam Suyu	28.8	%
Cl	0.01	Priz başlangıç Süresi	135	dk
Kızdırma Kaybı	2.84	Priz bitiş süresi	245	dk
Serbest CaO	1.55	Hacim Sabitliği	2.5	mm
Çözülme Kalıntı.	0.70	Blaine	340	m ² /kg

3.2.2. Agregata

Çalışmada üretilen harç betonları için 0–4 mm tane dağılımına sahip kırma kum kullanılmıştır. Bileşime giren kırma kumun elek analizi TS 706 ya göre yapılarak granülometri değerleri çizelge 3.2’de, fiziksel özellikleri çizelge 3.3’te verilmiştir. Filler malzeme olarak taş tozu, tuğla tozu, mermer tozu, uçucu kül ve silis dumanı kullanılmıştır.

Çizelge 3.2 Agreganın granülometri değerleri

Elek Açıklığı (mm)	31.5	16	8	4	2	1	0.25
Kırma Kum	100	100	100	95	60	32	15

Çizelge 3.3. Kuma ait fiziksel özellikler

Kuru Özgül Ağırlık	2,56
K.Y.D. Özgül Ağırlık	2,60
Su Emme (%)	1,63
Gevşek B.H.A (kg/l)	1,48
Sıkışık B.H.A. (kg/l)	1,68
İnce Madde Oranı	5

3.2.3. Mermer Tozu

Mermer tozu Afyonkarahisar İncehisar'da bulunan mermer işletmesine ait çökelti havuzundan getirilmiştir. Malzeme 105°C lik sıcaklıkta etüvde kurutulmuştur. Kurutulan malzeme elle ovuşturma ve mala gibi aletlerle ezilerek toz haline getirilmiştir. Malzeme üzerinde gerekli deneyler yapılabilmesi için malzeme 2 mm açıklıklı elekten elenmiştir. Mermer tozuna ait fiziksel ve kimyasal özellikler çizelge 3.4' te verilmiştir.

Çizelge 3.4 Mermer tozuna ait kimyasal ve fiziksel özellikler

Kimyasal Özellikler		Fiziksel Özellikler	
Bileşik	% Değeri	Adı	Değeri
SiO ₂	4.67	Özgül Ağırlık	2.75 gr/cm ³
Al ₂ O ₃	-	Birim Hacim Ağırlığı	2.73 gr/cm ³
Fe ₂ O ₃	0.03	Porozite	0.2 %
CaO	51.8	Doluluk Oranı	99.3 %
MgO	0.4	Gözeneklilik Derecesi	0.7 %
Na ₂ O	-	Elastisite Modülü	5.9x10 ⁴ kgf/cm ²
K ₂ O	-		
SO ₃	-		
A.Z.	4.16		
Kızdırma Kaybı	-		

3.2.4. Uçucu Kül

Harç karışımlarında Soma termik santraline ait uçucu kül kullanılmış olup, fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları çizelge 3.5’de verilmiştir. Bu özelliklere göre Soma uçucu külü, reaktif kireç miktarının %10’un üzerinde olması nedeniyle TS EN 197-1’e göre Kalkersi Uçucu Kül kapsamına girmektedir.

Soma Termik Santrali uçucu külünün minerolojik bileşimini gösteren X-ışınları difraktogramı incelendiğinde, başlıca kuvars, anhidrit, serbest kireç ve bunun yanında albit, dolomit içerdiği belirlenmiştir. Kül tanelerinin büyük bir kısmı silisli ve alüminli cam bileşiminde dolu veya boş küreciklerden oluşmakta olup bileşiminde çok az karbon ve demir zerrecikleri bulunmaktadır.

Morfolojik analizinde ise; genellikle büyüklükleri 0.5-50 p.m arasında değişen, çoğunluğu düzensiz şekilli olmak üzere, yüzeyi pürüzsüz küresel ve yarı küresel taneciklerden oluştuğu gözlenmiştir (Türkel vd. 2003).

Çizelge 3.5 Uçucu külün kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kimyasal Özellikler		Fiziksel Özellikler	
Bileşik Adı	Oranlar (%)	Bileşik Adı	Değerleri
SiO ₂	46.51	Özgül Ağırlık	2.13 (gr/cm ³)
Al ₂ O ₃	25.47	İncelik (Blaine)	1760 (cm ² /gr)
Fe ₂ O ₃	4.88	Kızdırma Kaybı	1.35 (%)
(S+F+A)	76.86		
CaO	15.94		
MgO	0.67		
Na ₂ O	0.36		
K ₂ O	1.7		
SO ₃	2.78		

3.2.5. Silis Dumanı

Çalışmada Etibank Antalya Elektrometalürji tesislerinin bir yan ürünü olarak elde edilen silis dumanı kullanılmıştır. Fiziksel ve Kimyasal özellikleri çizelge 3. 6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6 Silis dumanına ait kimyasal ve fiziksel özellikler

Kimyasal Özellikler		Fiziksel Özellikler	
Bileşik	Oran (%)	Bileşik Adı	Değerleri
SiO ₂	79.77	Özgül Ağırlık	2.2 (gr/cm ³)
Fe ₂ O ₃	1.43	İncelik (Blaine)	-
Al ₂ O ₃	1.25	Kızdırma Kaybı	1.84 (%)
CaO	2.06		
MgO	3.70		
Na ₂ O	1.22		
K ₂ O	1.20		
Çözünmeyen Kalıntı	33.74		
SO ₃	1.54		

3.2.6. Kırmataş Tozu

Kırmataş tozu olarak yapılar da kullanılan 12/22 mm agregalar öğütülerek kullanılmıştır. Tane boyutu 0.25 mm altında seçilmiştir. Kullanılan filler malzemenin fiziksel ve kimyasal özellikleri çizelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.7 Kırmataş tozuna ait kimyasal ve fiziksel özellikler

Kimyasal Özellikler		Fiziksel Özellikler	
Bileşik Adı	Oranlar (%)	Bileşik Adı	Değerleri
SiO ₂	0.01	Özgül Ağırlık	2.7 (gr/cm ³)
Al ₂ O ₃	0.17	İncelik (Blaine)	5278 (cm ² /gr)
Fe ₂ O ₃	0.05	Kızdırma Kaybı	43.66 (%)
CaO	54.97		
MgO	0.64		
Na ₂ O	-		
K ₂ O	-		
	-		

3.2.7. Tuğla Tozu

Afyon yöresindeki tuğla fabrikaların atıklarından oluşan tuğla tozu kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan tuğla tozuna ait fiziksel ve kimyasal özellikler çizelge 3.8’de verilmiştir.

Çizelge 3.8 Tuğla tozuna ait kimyasal ve fiziksel özellikler

Kimyasal Özellikler		Fiziksel Özellikler	
Bileşik Adı	Oranlar (%)	Bileşik Adı	Değerleri
SiO ₂	63.11	Özgül Ağırlık	2.73 (gr/cm ³)
Al ₂ O ₃	15.08	İncelik (Blaine)	1405 (cm ² /gr)
Fe ₂ O ₃	6.66	Kızdırma Kaybı	2.33 (%)
CaO	4.65		
MgO	1.95		
Na ₂ O	0.78		
K ₂ O	2.34		
SO ₃	0.36		

3.2.6. Kimyasal Katkı

Çalışmada kimyasal katkı olarak, Chryso firmasına ait polikarboksilat esaslı yeni nesil süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. KYB için özel olarak tasarlanmış kimyasal katkıya ait özellikler aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 3.9 Kimyasal katkıya ait özellikler

Görünüm	Sıvı
Yoğunluk	1,050 ± 0,02 gr/cm ³
Renk	Şeffaf -açık yeşil
pH	4,00 ± 1
Katı madde, (%)	20,50 ± 5
Klorür içeriği (%)	<0,1

3.2.7.Su

Kendiliğinden yerleşen beton harç üretiminde, karışım suyu olarak 20±2°C sıcaklığındaki Afyonkarahisar ili şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

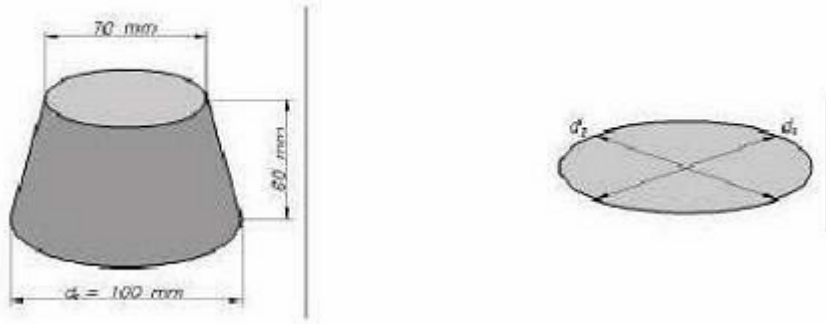
3.3. Yöntem

3.3.1. Karışımların Hazırlanması ve Yayılma Deneyi

Üretimde öncelikle agregalar önceden su emme yaptırılarak yüzey kuru suya doymuş halde karışıma katılmıştır.

Küçük hacimli harç karışımları, Hobar mikser kullanılarak hazırlanmıştır. Homojen bir karışım elde etmek amacıyla, su ve akışkanlaştırıcı katkı hariç kum ve bağlayıcılar kuru olarak düşük devirde 3 dakika karıştırılmıştır. 3 dakikadan sonra, mikser çalışır durumda iken su ve son olarak akışkanlaştırıcı katkı eklenmiş ve ardından 3 dakika düşük devirde ve 2 dakika yüksek devirde karıştırma yapılmıştır. Bu işlem tüm karışım oranları için uygulanmıştır. Karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra bir miktar taze harç

ile mini çökme hunisi kullanılarak Resim 3.1’ de görüldüğü gibi yayılma deneyi yapılmıştır. Hazırlanan karışımların kendiliğinden yerleşen özellikte olması nedeniyle, kalıplara yerleştirilen karışımlara herhangi bir sıkıştırma işlemi uygulanmamıştır.



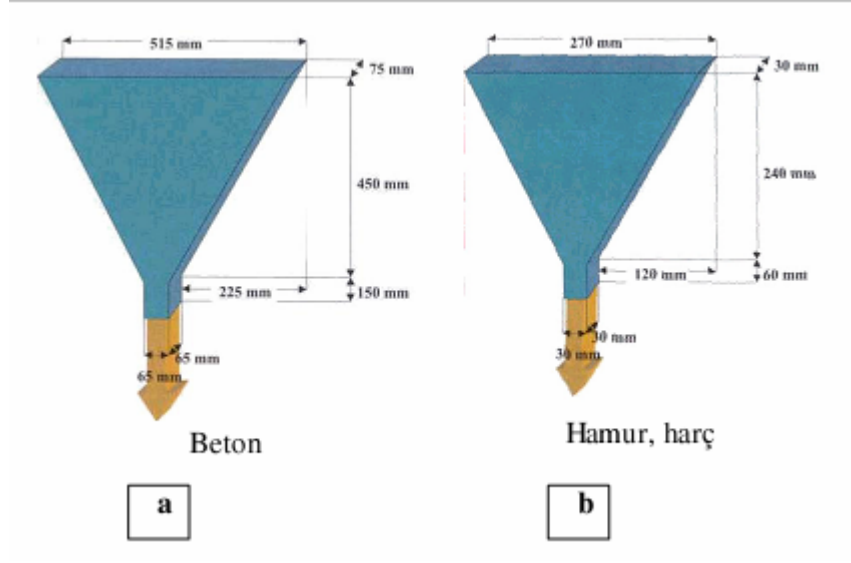
Şekil 3.1 Harç için mini slump aparatının boyutları



Resim 3.1 Mini çökme hunisinin doldurulması ve karışımın yayılma davranışı

3.3.2. V-Kutusu Deneyi

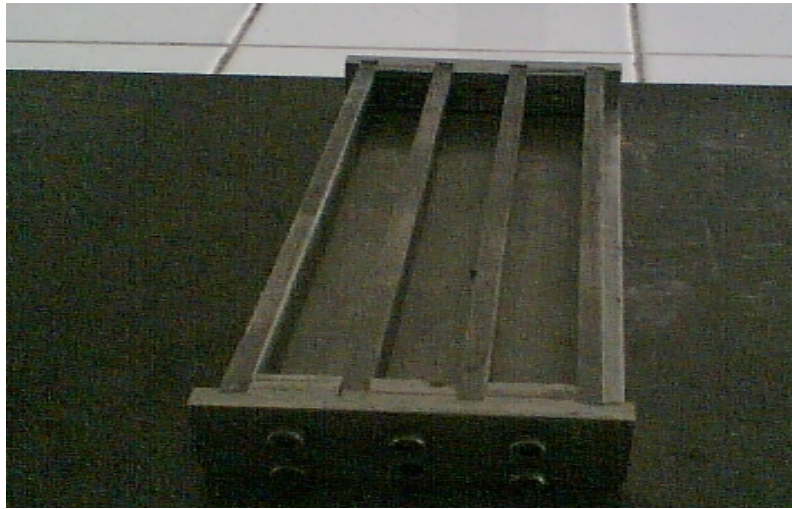
Yayılma deneyinden sonra karışımlara V-kutusu deneyi uygulanmıştır. Bu deney, taze KYB’un kendi ağırlığı ile özel tasarlanmış bir huninin dar olan ağzından boşalma süresinin ölçülmesini içerir. Aparat olarak özel bir huni kullanılmıştır (Şekil 3.3). Huniye KYB doldurulduktan sonra en altta bulunan sürgülü kapak açılıp huni içerisindeki tüm betonun boşalma süreleri belirlenmiştir.



Şekil 3.3 a. Beton için kullanılan v-kutusu boyutları
b. Harç için kullanılan v-kutusu boyutları

3.3.3. Boy Değişimi Ölçümleri

Deneysel çalışma kapsamında, slump ve V-kutusu deneyleri uygulandıktan sonra 25x25x185 mm ayrıtlarındaki rötire kalıbına hazırlanan karışımlar yerleştirilmiştir. Hazırlanan rötire harç çubukları normal laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Örneklerin kalıplardan çıkarıldıkları ilk günden itibaren günlük olarak boy değişimleri ölçülmüştür.



Resim 3.2 Rötire kalıbı

Kalıplardan çıkartılan harç çubuklarının boy değişimleri ölçüm cihazıyla ölçülmüştür.



Resim 3.3 Boy değişim ölçüm cihazı

Cihazdan sonuçları okunan numunelerin son boylarından (L_i) ilk boyları (L_0) çıkartılarak boy değişimleri (ΔL) hesaplanmış, bu boy değişimleri de ilk boya bölünerek genleşme miktarları bulunmuştur.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{(L_i - L_0)}{L_0} \quad (3.3)$$

3.4. Deneysel Çalışma

Deneysel çalışmanın başlangıç aşamasında, kendiliğinden yerleşen harç hazırlamak amacıyla beş farklı filler malzeme kullanılmıştır. Tüm filler malzemeler farklı su/bağlayıcı oranının 0.36, 0.39, 0.43 ve 0.47' si oranında karışıma katılarak 4 farklı seri üretilmiştir. Karışımda %2 oranında akışkanlaştırıcılığı arttırmak amacıyla katkı maddesi kullanılmıştır.

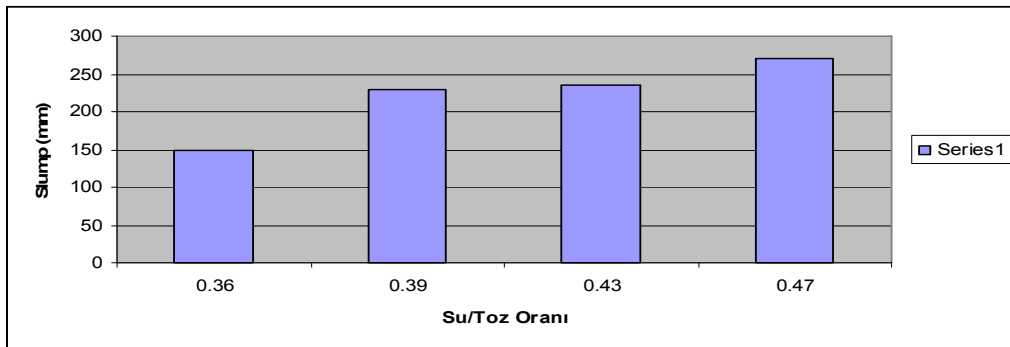
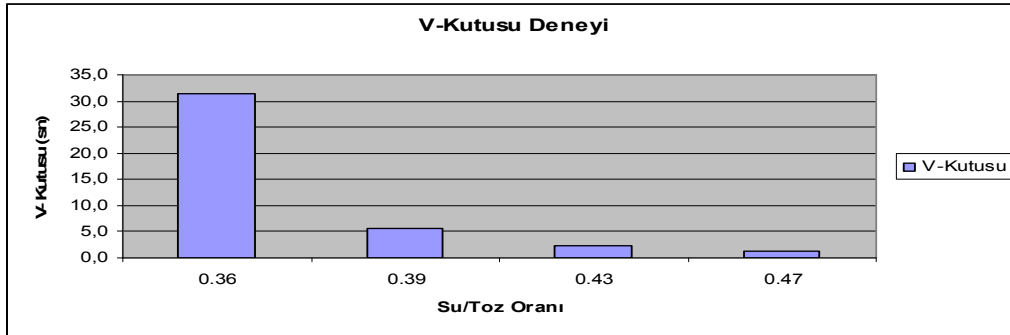
3.4.1. Yayılma ve V-Kutusu Değerleri

Çalışmada hazırlanan harçların kendiliğinden yerleşen özellikte olması amaçlanmıştır. Hazırlanan tüm karışımlarda akışkanlaştırıcı katkı oranı sabit tutulmuştur. Karışımların taze halde iken yayılmaları ve akış süreleri belirlenmiştir. Karışımlara ait değerler çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 3.10 Mermer tozuna ait slump ve v-kutusu değerleri

W/P	Katkı Miktarı (%)	Slump (mm)	V-Kutusu (sn)
0.36	2	150	31.5
0.39	2	230	5.6
0.43	2	235	2.3
0.47	2	270	1.4

Mermer tozu' na ait slump ve V- kutusu deney grafikleri Şekil 3.4' de gösterilmiştir.

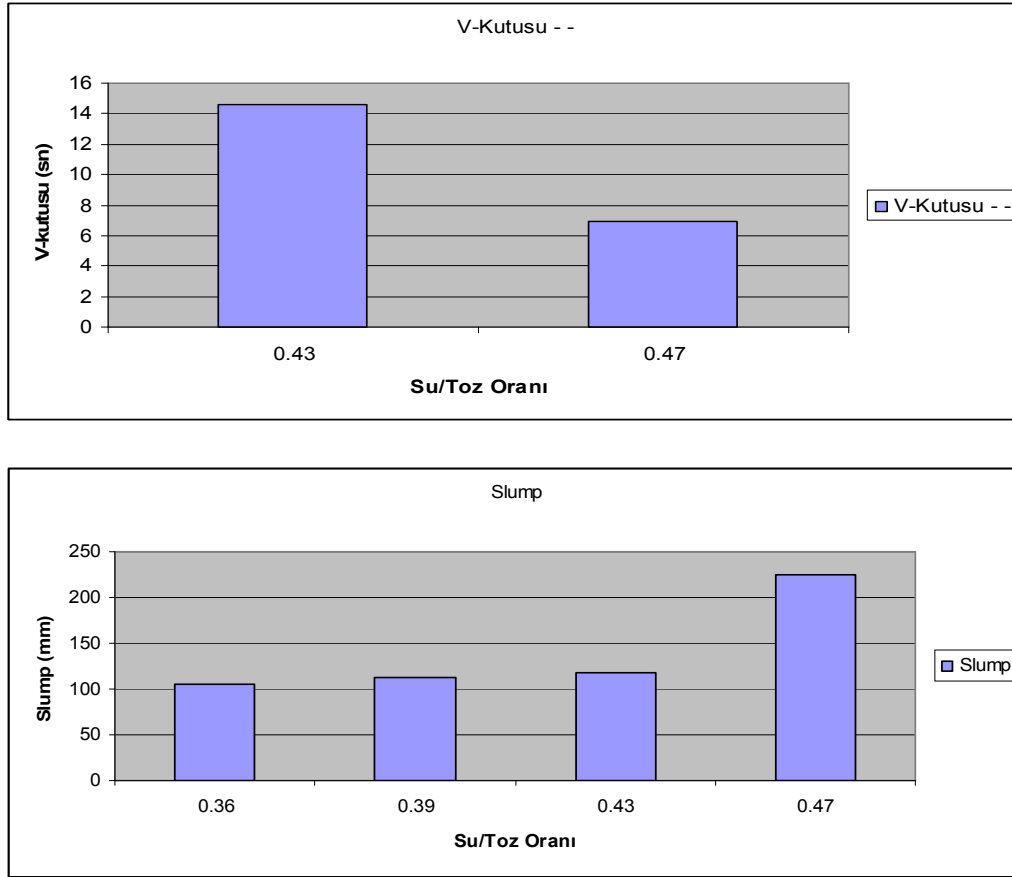


Şekil 3.4 Mermer tozu slump ve V-kutusu grafikleri

Çizelge 3.11 Uçucu küle ait slump ve v-kutusu değerleri

W/P	Katkı Miktarı (%)	Slump (mm)	V-Kutusu (sn)
0.36	2	105	-
0.39	2	113	-
0.43	2	117	14,6
0.47	2	225	6.9

Uçucu kül' e ait slump ve V- kutusu deney grafikleri Şekil 3.5' de gösterilmiştir.

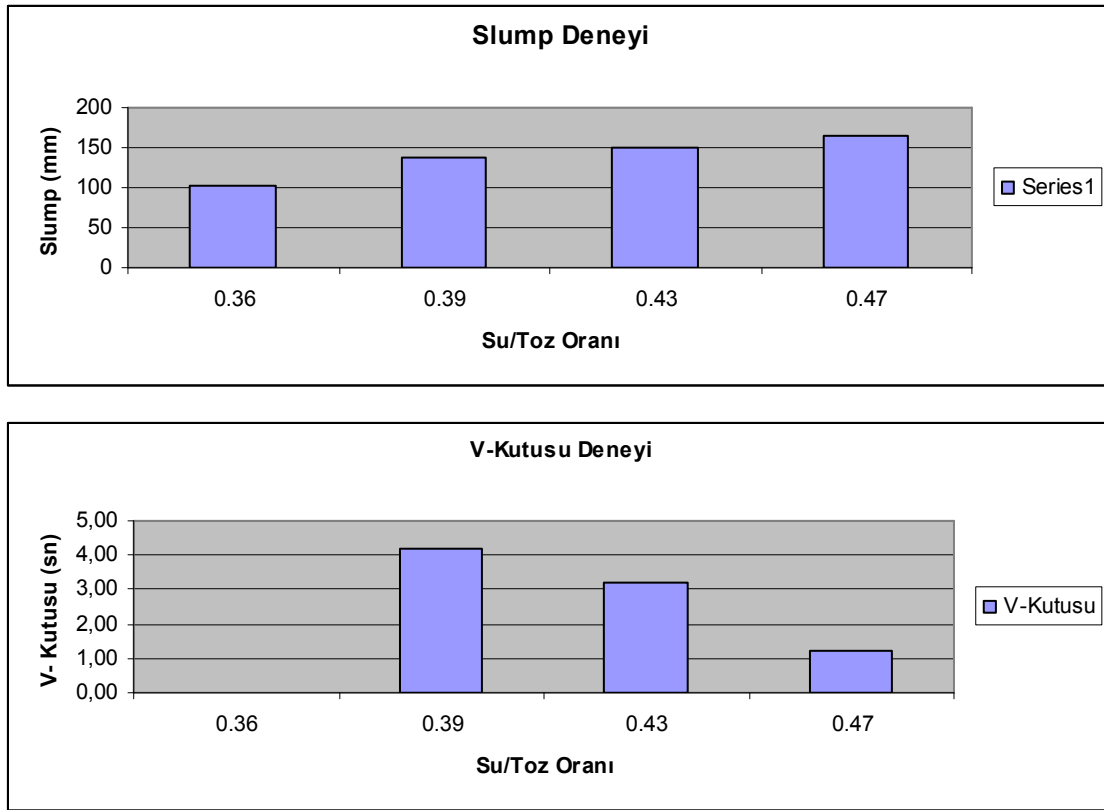


Şekil 3.5 Uçucu kül slump ve V-kutusu grafikleri

Çizelge 3.12 Silis dumanına ait slump ve v-kutusu değerleri

W/P	Katkı Miktarı (%)	Slump (mm)	V-Kutusu (sn)
0.36	2	103	-
0.39	2	138	4.17
0.43	2	150	3.2
0.47	2	165	1.23

Silis dumanı' na ait slump ve V- kutusu deney grafikleri Şekil 3.6' da gösterilmiştir.

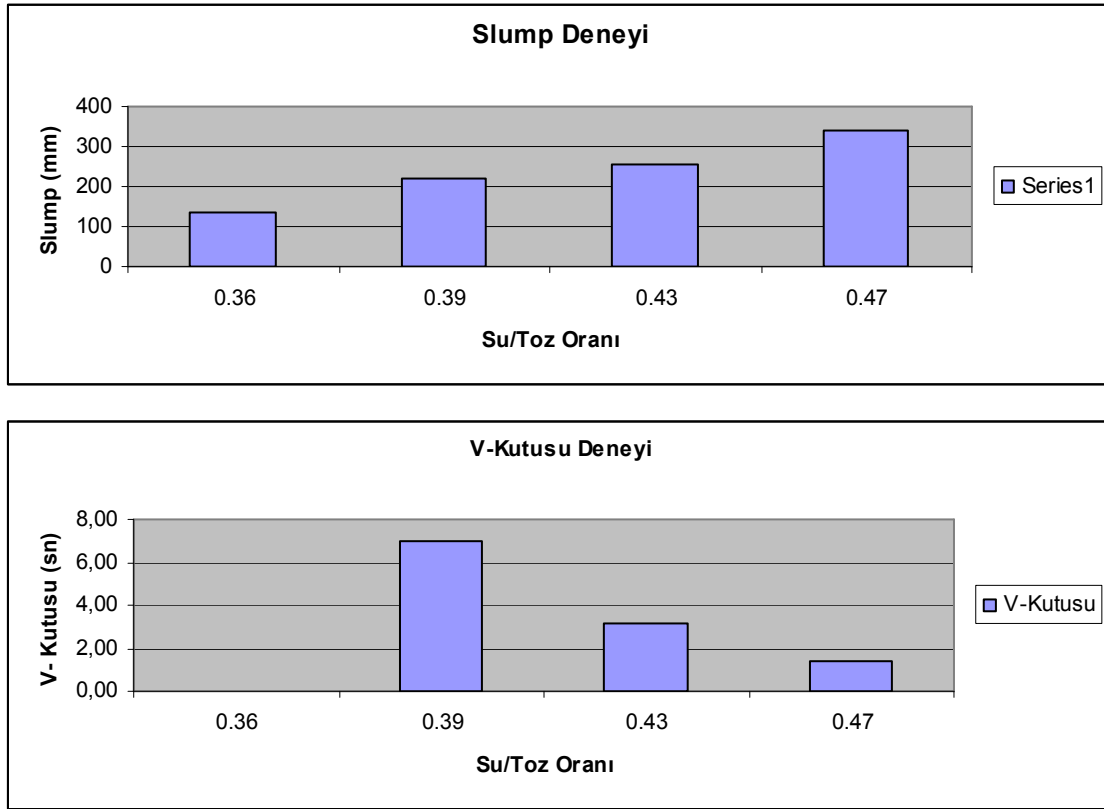


Şekil 3.6 Silis dumanı slump ve V-kutusu grafikleri

Çizelge 3.13 Kırmataş tozuna ait slump ve v-kutusu değerleri

W/P	Katkı Miktarı (%)	Slump (mm)	V-Kutusu (sn)
0.36	2	135	-
0.39	2	222	7
0.43	2	254	3.14
0.47	2	341	1.36

Kırmataş tozu' na ait slump ve V- kutusu deney grafikleri Şekil 3.7' de gösterilmiştir.

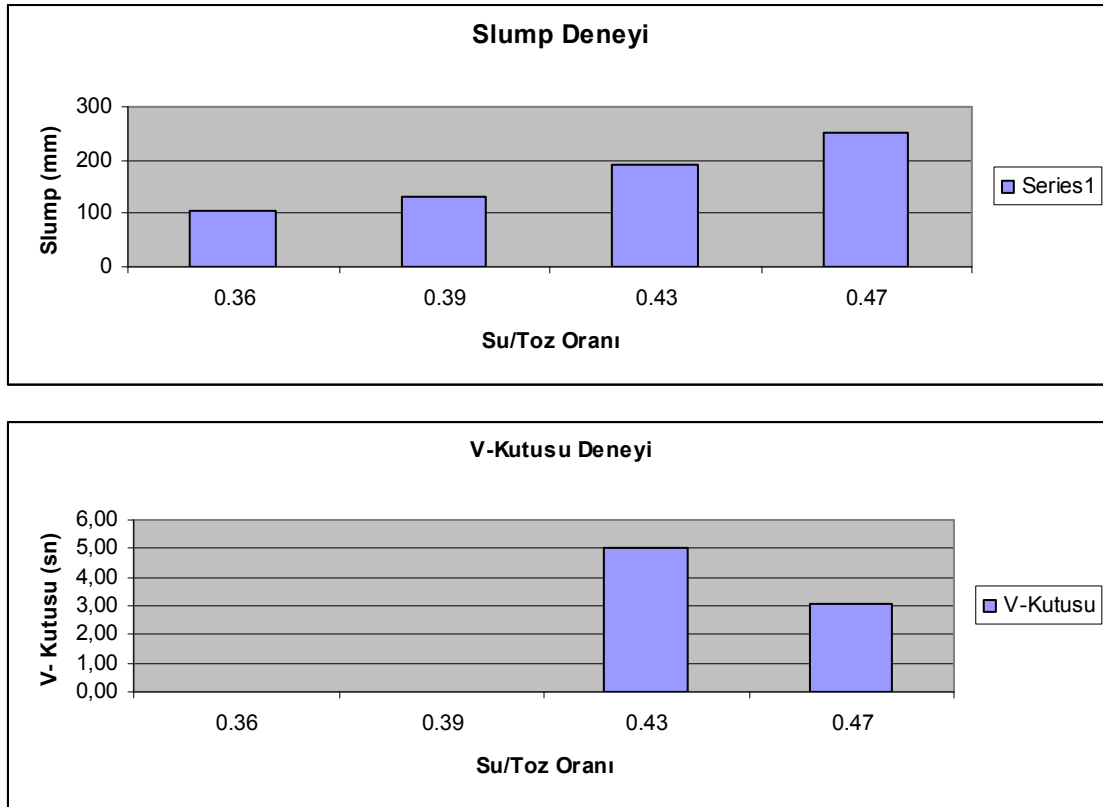


Şekil 3.7 Kırmataş tozu slump ve V-kutusu grafikleri

Çizelge 3.14 Tuğla tozuna ait slump ve v- kutusu değerleri

W/P	Katkı Miktarı (%)	Slump (mm)	V-Kutusu (sn)
0.36	2	105	-
0.39	2	132	-
0.43	2	192	5
0.47	2	251	3.1

Tuğla tozu' na ait slump ve V- kutusu deney grafikleri Şekil 3.8' de gösterilmiştir.



Şekil 3.8 Tuğla tozu slump ve V-kutusu grafikleri

Deney sonuçlarına göre slump değerleri 103 ile 341 mm arasında kalmıştır. En iyi yayılma taş tozu katkılı 0.47 nolu seride; en düşük yayılma değeri de silis dumanı

katkılı 0.36 nolu seride olmuştur. Mineral katkı ilaveleri, bütün karışımlarda sabit bir işlenebilirlik için gerekli su miktarını arttırmıştır. Çalışmada katkı oranı tüm karışımlarda sabit tutularak, işlenebilirlik su oranı artışıyla sağlanmıştır.

Çalışmada tüm malzemelerde yeterli işlenebilirlik sağlanamamıştır. Bunun nedeni katkı oranının sabit tutulmuş olmasıdır. Su oranı arttırılmış olsa da yeteri kadar standartta belirtilen sınır değerlere ulaşamamıştır. Daha iyi bir yayılma sağlanabilmesi için katkı oranı arttırılmalıdır.

4. BULGULAR

Kendiliğinden yerleşen betonda farklı filler malzemelerin rötre üzerine etkilerinin araştırıldığı bu çalışmada; 25x25x185 mm ayrıtlarındaki rötre kalıbına hazırlanan karışımlar yerleştirilmiştir. Örneklerin kalıplardan çıkarıldıkları ilk günden itibaren günlük olarak 0.002 mm hassasiyette boy değişimleri ölçülmüştür. Kuruma büzülmesinin boyutunun anlaşılması için; dökümden bir gün sonra kalıptan çıkarılan örnekler laboratuvar koşullarında kür edilmiştir. Dünyada kullanımda olan bütün şartnamelerde, rötre deneyleri için örnek ayrıtları dışında belirli sıcaklık ve bağıl nem koşulları şart konulmuştur.

Çizelge 4.1 Rötre ile ilgili standartlarda verilen sıcaklık ve bağıl nem değerleri

Şartname/Standart	Koşullar	Örnek Ayrıtları (mm)
Hong Kong Housing Authority (HKHA)	27 °C, % 55 bağıl nem	25x25x185
ABD ASTM C157-1989	23 °C, % 50 bağıl nem	25x25x185

Ancak laboratuvar imkânlarında rötre deneylerinin sabit sıcaklık ve bağıl nem altında yapılması mümkün olmamıştır. Hazırlanan numunelerin belli zaman aralıklarında (1, 7, 14, 28, 63, 90, 180) ölçülmüş boy değişim değerleri aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir.

Harç çubuklarının boy değişimlerinin değerlendirilmesinde ASTM C 1260-01 ve ASTM C 227 standartları dikkate alınmıştır. Bu sınır değerler Çizelge 4.2’de verilmiştir.

ASTM C 1260, 14 günlük standart genişleme limitini %0.1 olarak açıklamış; % 0.2’ nin altındaki değerleri de zararsız kabul etmiştir. ASTM C 227’ de ise 6 ayda %0.05, 12 ayda %0.1 değerlerinin altını limit olarak belirlemiştir.

Çizelge 4.2 ASTM Standartları sınır değerleri

Deney	ASTM C 1260-01	ASTM C 227
Numune Tasarımı	Harç çubukları; w/c : 0,50 Agregalar : sabit dereceli Kum/çimento : 2,25	Harç veya Beton çubuklar; w/c : Belirtilmemiş Agregalar : sabit dereceli Kum/çimento : 2,25
Ölçüm Koşulları	80 °C'de 1N NaOH çözeltisi	%100 bağıl nem ve 38 °C'de
Genleşme	Eğer; 14 günde genleşme > %0.2 ise zararlı	Eğer; 6 ayda > %0.05 12 ayda > %0.1 ise zararlı

Çizelge 4.2 Taş tozuna ait boy değişim değerleri (mm/mm)

Seri No	1.gün	7.gün	14.gün	28.gün	63.gün	90.gün	180.gün
0.36	0.000	-0.14	-0.17	-0.22	0.27	0.34	0.29
0.39	0.000	-0.18	-0.27	-0.31	-0.27	-0.13	-0.10
0.43	0.000	-0.05	-0.08	-0.1	0.15	0.15	-0.21
0.47	0.000	-0.37	-0.48	-0.57	0.67	0.75	0.79

Taş tozu katkılı tüm serilerdeki numunelerin 14. güne kadarki genleşmeleri Hızlı harç yöntemine göre taş tozu aktkılı harçların genleşmeleri 0.2'nin altında kalmıştır. Bu sebeple tüm serilerdeki genleşmeler zararsızdır. 6 aylık süreçteki genleşmeler ise zararlı boyuttadır. Taş tozu katkılı harçlarda en ideal genleşme 0.39 nolu seride meydana gelmiştir.

Çizelge 4.3 Tuğla tozuna ait boy değişim değerleri (mm/mm)

Seri No	1.gün	7.gün	14.gün	28.gün	63.gün	90.gün	180.gün
0.36	0.000	-0.01	-0.02	-0.17	-0.25	-0.26	-0.28
0.39	0.000	-0.47	-0.49	-0.52	-0.51	-0.38	-0.37
0.43	0.000	-0.42	-0.44	-0.50	-0.08	-0.08	-0.11
0.47	0.000	0.12	-0.14	-0.73	-0.35	-0.22	-0.18

Tuğla tozu katkılı 0.36 ve 0.47 nolu serilerde ilk günlerde boylarında bir artış olmuşken; 0.43 nolu serilerin boy değişimlerinde ise; çok hızlı bir düşüş gözlenmiştir. 0.36 ve 0.47 nolu serilerdeki numune boy değişimlerinde 14.günden itibaren önemli derecede bir azalış olmuştur. Diğer serilerde ise; önemli derecede bir azalış olmamıştır. 28. günden itibaren tüm serilerdeki örneklerin boylarında bir azalış, 0.47 nolu seride ise; bir artış gözlenmiştir.

Çizelge 4.4 Mermer tozuna ait boy değişim değerleri (mm/mm)

Seri No	1.gün	7.gün	14.gün	28.gün	63.gün	90.gün	180.gün
0.36	0.000	0.01	-0.15	-0.12	0.09	0.08	0.06
0.39	0.000	0.04	-0.34	-0.12	-0.15	-0.17	-0.24
0.43	0.000	-0.15	-0.19	-0.21	0.07	0.05	0.05
0.47	0.000	-0.20	-0.28	-0.28	0.33	0.34	0.42

Mermer tozu katkılı tüm serilerdeki örneklerin boy değişimlerinde sürekli olarak bir artış ve azalış olmuştur. Sadece 0.47 nolu seride sabit bir azalış gözlenmiştir.

Çizelge 4.5 Uçucu küle ait boy değişim değerleri (mm/mm)

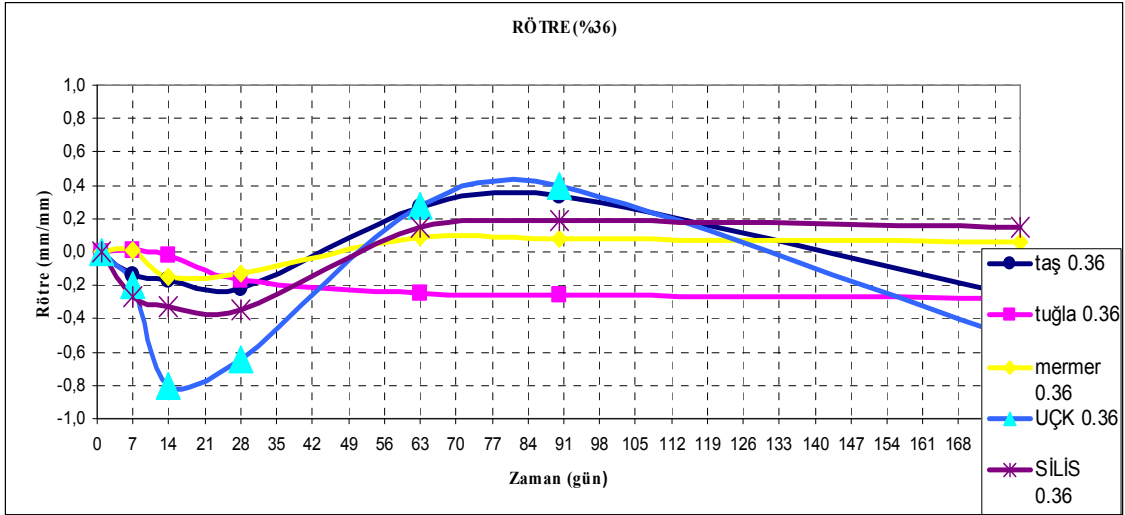
Seri No	1.gün	7.gün	14.gün	28.gün	63.gün	90.gün	180.gün
0.36	0.000	0.20	0.35	0.50	0.73	0.70	0.63
0.39	0.000	1.88	1.78	1.75	2.58	2.50	2.39
0.43	0.000	1.80	1.84	1.82	2.60	2.59	2.55
0.47	0.000	1.82	1.77	1.65	2.45	2.45	2.41

Genel olarak uçucu külün kullanımı arttıkça genleşmeler azalmaktadır. 0,36 nolu seride limit değerin altında bir davranış göstermiştir.

Çizelge 4.6 Silis dumanına ait boy değişim değerleri (mm/mm)

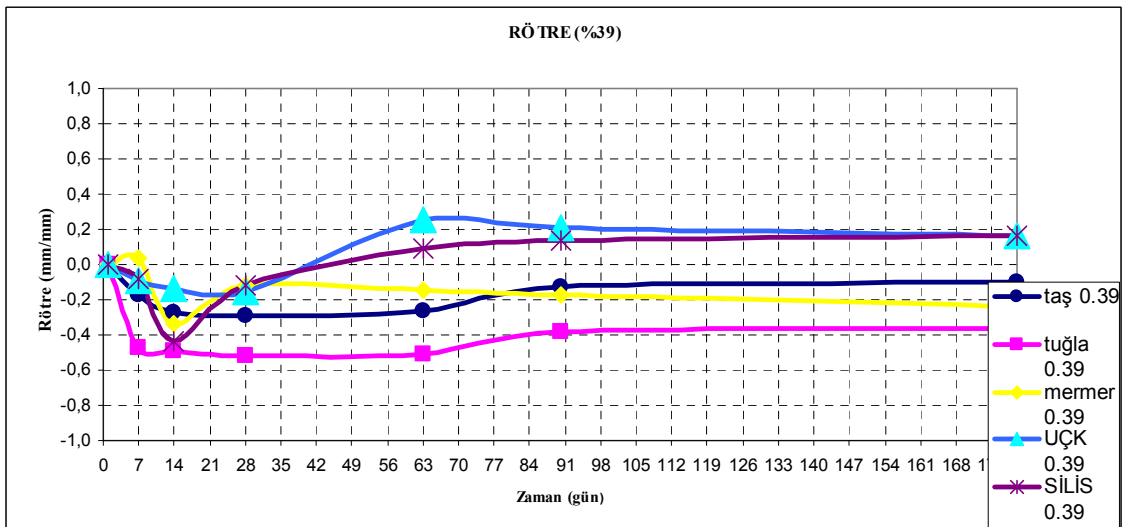
Seri No	1.gün	7.gün	14.gün	28.gün	63.gün	90.gün	180.gün
0.36	1.52	1.12	1.02	1	1.74	1.80	1.74
0.39	3.05	2.81	1.72	2.70	3.33	3.46	3.55
0.43	1.55	0.66	0.64	0.59	0.78	0.76	0.91
0.47	2.80	2.46	2.46	2.32	2.95	2.96	3.05

28. güne kadar 0.36, 0.43, 0.47 nolu serilerin boylarında bir azalma olmuşken 0.39 nolu seride ise; sürekli bir artış ve azalış olmuştur. 28.günden itibaren tüm serilerdeki örneklerin boy değişimlerinde bir artış gözlenmiştir.



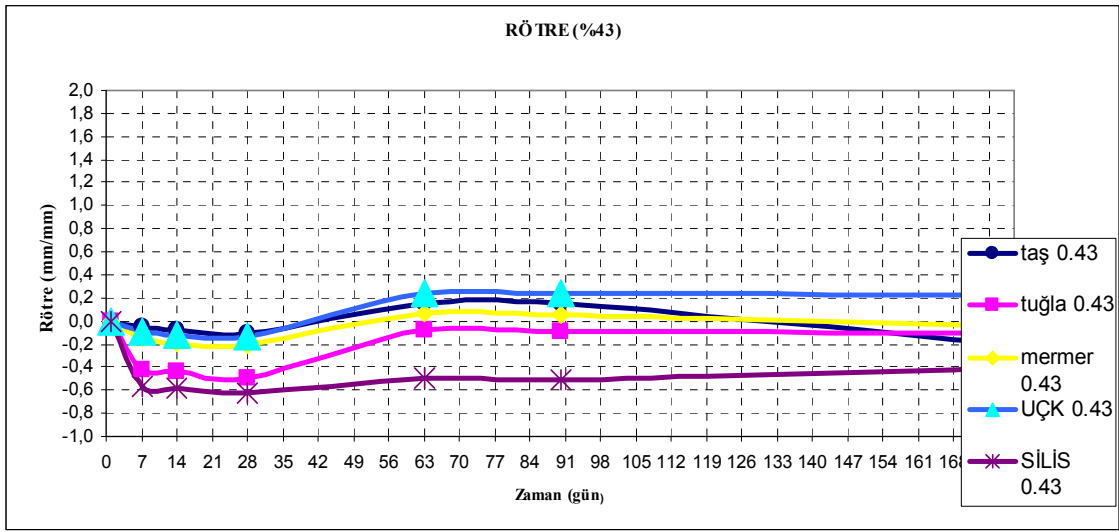
Şekil 4.1 Tüm malzemelere ait 0.36 nolu serideki örneklerin rötre değerleri

Su/Filler oranı 0.36 olan serilerin rötre değerleri incelendiğinde; ilk 28 gün içerisinde tüm malzemelerin rötre değerlerinde bir artış gözlenmiştir. En hızlı artış uçucu kül katkılı numunelerde meydana gelmiştir. 28. günden sonra tüm malzemelerin rötre değerlerinde bir azalma olmuştur. 28 ile 63. günler arasında taş tozu, mermer tozu ve sili dumanı katkılı örneklerin rötre değerlerinde bir artış olmuşken; tuğla tozu katkılı numunede bir azalış gözlenmiştir. 90. günden sonra tüm malzemelerin rötre değerlerinde önemli bir değişim olmamıştır. İlk 15 gün içinde standartta limit değerler sağlanmışken; 180. gün sonunda limit değerlerin üzerinde bir sonuç elde edilmiştir.



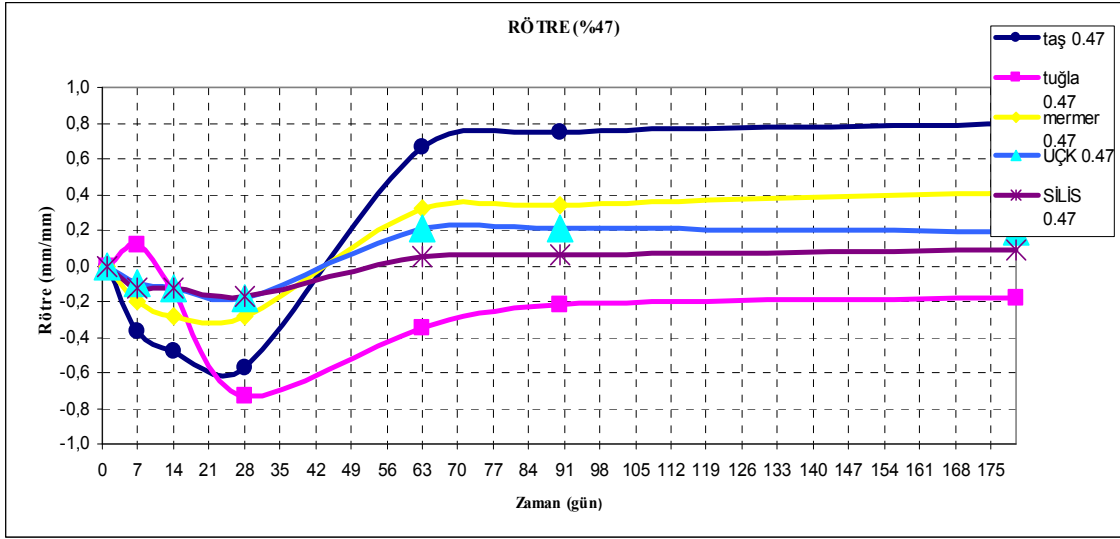
Şekil 4.2 Tüm malzemelere ait 0.39 nolu serideki rötre değerleri

0.39 nolu seride ilk günlerde rötre değerlerindeki en hızlı azalış tuğla tozu ve silis dumanı katkılı numunelerde olmuştur. Mermer tozunda ilk günlerde rötre değerlerinde bir azalış 7.günden sonra ise; bir artış gözlenmiştir. 28 ile 63. günler arasında taş tozu, tuğla tozu ve mermer tozu katkılı numunelerin değerlerinde herhangi bir değişiklik olmazken; uçucu kül ve silis dumanı katkılı örnek değerlerinde ise; bir azalış olmuştur. Daha sonraki günlerde malzemelerin rötre değerlerinde ciddi bir değişiklik meydana gelmemiştir. 0,39 nolu serideki tüm malzemelerde limit değerler korunmuştur. En ideal sonuç bu seride elde edilmiştir.



Şekil 4.3 Tüm malzemeler ait 0.43 nolu serideki rötre değerleri

İlk günlerde tüm malzemelerin rötre değerlerinde bir azalış olmuştur. En fazla azalış silis dumanı ve tuğla tozu katkılı numunelerde gözlenmiştir. Bunun nedeni silis dumanı harçtaki kalsiyum silika hidrat (CSH) içeriğini arttırmakta ve bu faktör 28 günlük rötreye etki eden en önemli faktör olmaktadır. 28. gün ile 63. gün arasında tüm malzeme değerlerinde bir artma olmuş ve değerler daha sonraki günlerde çok fazla bir değişiklik göstermemiştir.



Şekil 4.4 Tüm malzemelere ait 0.47 nolu serideki rötre değerleri

Su/ Filler oranı 0.47 olan seriyi incelediğimizde ise; yine tüm malzemelerde ilk 28 gün içerisinde değerlerde bir azalış olurken; 28. günden sonra değerlerde artış meydana gelmiştir. En fazla artış taş tozu katkılı numunede gözlenmiştir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

- Filler malzemelerin katkısıyla hazırlanan tüm serilerde; genel olarak rötre değerleri ilk günlerde artış göstermiştir. Çalışmada kullanılan filler malzemeler ilk günlerde hidrasyon hızını düşürmüştür. Hidrasyon hızının düşmesi, daha yüksek miktarda suyun serbest kalmasına ve su kaybının artmasına yol açtığından ilk günlerdeki kuruma rötresini arttırıcı etki göstermişlerdir.
- Genleşme oranları tüm filler malzemelerde %0,1 ile %0,2 arasında olması istenmiştir. Fakat tüm malzemelerde bu durum sağlanmamıştır. Alkali-silü reaksiyonlarını önlemede özellikle F sınıfı uçucu külün kullanılmasının faydalı olacağı sonucuna varılmıştı.
- Mineral katkılı örnekler üzerinde yapılan rötre çalışması laboratuvar imkânları nedeniyle sabit sıcaklık ve bağıl nem altında gerçekleşmemiştir. Yine de mineral katkılı bütün örneklerin aynı zamanda dökülerek 180 gün boyunca aynı sıcaklık ve bağıl neme maruz kalmalarının, elde edilen rötre değerlerinin birbirleriyle karşılaştırılabilir olmasını sağladığı düşünülmektedir. Ancak rötre deneylerinde daha sağlıklı ve güvenilir sonuçlar alınabilmesi ve ölçülen rötre değerlerinin standartlarda yer alan limitlerle karşılaştırılabilir olması için boy değişimleri ölçülen örneklerin sıcaklık ve bağıl nemi ayarlanabilen ortamlarda saklanması gereklidir.
- Tuğla tozu yapısı itibariyle içerisinde fazla miktarda kil bulunduran bir malzemedir. İlk günlerde kuruma büzülmesini arttırmasının nedeni; içerisinde kil bulundurmasından dolayı fazla su emmesidir. Diğer malzemelerde olduğu gibi tuğla tozu da; sabit sıcaklık ve bağıl nem ortamında veya su içerisinde kür edilmesi koşuluyla çimento yerine belirli oranlarda KYB' de kullanılabilir.
- Rötre deney sonuçlarına göre; en uygun rötre davranışı taş tozu katkılı harç çubuklarında gözlenmiştir. Özellikle en yavaş rötre artışı 0.43 nolu seride olmuştur.

- Silis dumanı ve uçucu kül gibi filler malzemeler puzolan aktivite gösterdikleri için; çalışma kapsamında standartlarda belirtilen şartlarda saklanmaları koşuluyla su/toz oranının 0.39 ile 0.43' ü arasında kullanılabilir.
- Çalışma sonuçlarına göre; tüm malzemelerin ilk günlerde iyi kür edilmesiyle rötre artış değerleri azaltılabilir. Bu nedenle iyi kür şartları sağlandığı takdirde KYB' da kullanılan filler malzemeler çimento yerine belli oranlarda kullanılabilir. Çalışma sonuçlarına göre, kırmataş tozu katkılı numnelerden 0,39 oranındaki karışım en ideal sonucu vermiştir.

6. KAYNAKLAR

Ambrosie, J., Pera J., 2002, "Design of self-levelling concrete", First North American Conference on the Design and Use of Self- Consolidating Concrete, pp.93-98.

ASTM C 1260-01, 2001, "Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregate ", Annual Book of ASTM Standards, Vol.04.01.

ASTM C227-03, 2003, "Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Cement-Aggregate Combinations", Annual Book of ASTM Standards, Vol.04.02.

Atıf, C., Kılıç A., Sevim U.K., 2004, "Strength and shrinkage properties of mortar containing a nonstandart high-calcium fly ash", Cement and Concrete Research, 34, 99-102.

Attiogbe, E.K., See H.T., Daczko J.A., 2002, "Engineering properties of self-consolidating concrete", First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, pp. 371-376.

Baradan, B., 2002, "Yapı malzemesi I (4.Baskı)", D.E.Ü Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir.

Baradan, B., Felekoğlu B., 2004, "Kendiliğinden yerleşen betonların mekanik özellikleri", THBB Dergisi, No: 222.

Bury, M.A., Christensen B.J., 2002, "The role of innovative chemical admixtures in producing self-consolidating concrete", First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, pp. 141-146.

Corradi, M., Khurana R., Magarotto R., Torresan I., 2002, "Zero energy system: An innovative approach for rationalized precast concrete production", BIBM 17 International Congress of the Precast Concrete Industry. Istanbul (Turkey), 8p.

Davraz M., Gündüz L., 2004, "Doğal Amorf Silikanın Alkali Silika Reaksiyonu Gelişimine Etkisi", Beton Kongresi, Isparta.

Dehn, F., 2002, "High performance self-compacting concretes for bridge construction", First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, pp. 433-438.

Ding, J., Li Z., 2002, Effect of metakolin and silica fume on properties of concrete. ACI Materials Journal, 99(4), 393-398.

EFNARC, 2002, "Specifications and guidelines for self-compacting concrete", EFNARC, Association House, 99 West Street, Farnham, UK, www.efnarc.org, ISBN 0 953973344, 32p.

Erdoğan, T.Y., 1997, "Admixtures for concrete", METU Press, Ankara.

Felekoğlu, B., 2003, Kendiliğinden Yerleşen Betonun Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Yüksel Lisans Tezi, D.E.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Felekoğlu, B., Baradan B., 2003, "Utilisation of limestone powder in self-levelling binders", International Symposium on Advances in Waste Management and Recycling, (Accepted to be published), 10p.

Felekoğlu, B., Yardimci M.Y., Baradan B., 2003, "A Comparative study on the use of mineral and chemical types of viscosity enhancers in self-compacting concrete",

3rd International Symposium on Self-Compacting Concrete, Iceland, (Accepted to be published), 12p.

Francy, O., Chopin D., 2001, "Creep and shrinkage of heat-cured self-compacting-concrete (SCC)", Study and Research Centre for the French Concrete Industry, 14p.

Lee, H. K., Lee K.M., Kim B.G., 2003, "Autogenous shrinkage of high performance concrete containing fly ash", Magazine of Concrete Research, 55 (6), 507-515.

Martin, D.J., 2002, "Economic impact of SCC in precast applications", First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, pp. 153-158.

Okamura, H., 1997, "Self-compacting high-performance concrete", Concrete International, 19, s.50-54.

Okamura, H., Ouchi M., 1999, "Self-compacting concrete. Development, present use and future", Proceedings of the First International RILEM Symposium, Edited by A.Skarendahl and G. Petersson, pp. 3-14.

Persson, B., 2001, "A comparison between mechanical properties of self-compacting concrete and the corresponding properties of normal concrete", Cem. Concr. Res., Vol: 31, pp. 193-198.

Pielkenrood, A.P., 2002, "SCC will boost profits", BIBM 17th International Congress of the Precast Concrete Industry, Istanbul (Turkey), 5p.

- Roshavelov, T., 2002, "Concrete mixture proportioning based on rheological approach", First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, pp. 113-120.
- Skarendahl, A., Petersson Ö., 2003, "Self compacting concrete, State-of-the-Art Report of RILEM Tehnical Commmitte", 174-SCC, RILEM Publication.
- Türkel, S., Felekoğlu B., 2003, "Silika dumanı ve akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanımının betonda kendiliğinden yerleşebilirlik ve basınç dayanımı üzerine etkileri", Kocaeli 2003 Deprem Sempozyumu, Kocaeli Üniversitesi Yer ve Uzay Bilimleri Araştırma Merkezi, 8s.
- Walraven, J., 2002, "Self-compacting concrete in the Netherlands", First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, pp. 399-404.
- Wang, K., Shah S.P., Phuaksuk P., 2001, "Plastic shrinkage cracking in concrete materials- Influence of fly ash nd fibers", ACI Materials Journal) (6), 458-464.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Yasemin MURATOĞLU

Doğum Yeri : Antakya

Doğum Tarihi : 10.08.1982

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Antakya Lisesi 1999

Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi 2006

Yüksek Lisans: Afyon Kocatepe Üniversitesi 2009

Yaptığı Çalışmalar :

Kendiliğinden Yerleşen Betonda Farklı Filler Malzemelerin Rötire Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması, “TÇMB İz Bırakanlar Bursu” destekli.