

**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SİLİS DUMANI VE KALKER TOZLU KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN
HARÇLARIN FİZİKO-MEKANİK VE REOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

Abdullah ÖĞRETMEN

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2019**

Prof. Dr. Paki TURĞUT danışmanlığında, Abdullah ÖĞRETMEN'in hazırladığı “**Silis Dumanı ve Kalker Tozlu Kendiliğinden Yerleşen Harçların Fiziko-Mekanik ve Reolojik Özelliklerinin İncelenmesi**” konulu bu çalışma 14/01/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman: Prof. Dr. Paki TURĞUT

.....

Üye: Doç. Dr. Recep Kadir PEKGÖKGÖZ

.....

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Emin ÖNCÜ

.....

Bu Tezin İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım.

Prof. Dr. Halil Murad ALĞIN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
1.GİRİŞ.....	1
2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
3.MATERYAL ve YÖNTEM	13
3.1. Kullanılan malzemeler	13
3.2. Numunelerin Hazırlanması	14
3.3. Numuneler Üzerinde Yapılan Testler.....	18
3.3.1.Taze karışımlar üzerinde yapılan testler	18
3.3.1.1. Yayılma Testi.....	18
3.3.1.2. Mini V-Hunisi Testi	18
3.3.1.3. Taze Birim Ağırlık	19
3.3.1.4. Viskozite Testi	19
3.3.2.Sertleşmiş Numuneler Üzerinde Yapılan Testler	20
3.3.2.1. Basınç Dayanımı	21
3.3.2.2. Normal Su Emme ve Birim Ağırlık.....	21
3.3.2.3. Kılcal Su Emme	22
3.3.2.4. Kuruma Büzülmesi.....	24
4.ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	25
4.1. Taze Harç Testleri.....	25
4.2. Sertleşmiş Harç Testleri	32
4.2.1.Basınç Dayanımı	32
4.2.2.Normal, Kılcal Su Emme ve Birim Ağırlık.....	34
4.2.3.Kuruma Büzülmesi.....	36
5.SONUÇLAR ve ÖNERİLER	39
KAYNAKLAR.....	41
ÖZGEÇMİŞ	45

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SİLİS DUMANI VE KALKER TOZLU KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HARÇLARIN FİZİKO-MEKANİK VE REOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Abdullah ÖĞRETMEN

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Paki TURĞUT
YIL: 2019, Sayfa: 45

Portland çimentosu ile silis dumanı ağırlıkça %15'ten daha fazla yer değiştirdiğinde, Kendiliğinden Yerleşen Harçlarda (KYH) ve betonlarda ayrışma sorunu meydana geldiği daha önceki çalışmalarda farklı araştırmacılar tarafından bildirilmiştir. Bu tez çalışmasında, ağırlıkça %25 yer değiştirmeli silis dumanlı KYH'nin ayrışmasını önlemek için kalker tozu kullanılmıştır. Toplam olarak, KYH'lardan beş seri karışım üretilmiştir. KYH'nin kontrol karışımının binder malzemesi sadece Portland çimentosu olmuştur. Diğer KYH'da, Portland çimentosu ile silis dumanı ağırlıkça %25 yer değiştirmiştir. Diğer üç KYH karışımlarındaki binder, Portland çimentosu, silis dumanı ve kalker tozu içermiştir. Kontrol karışımındaki Portland çimentosu miktarının, kalker tozu ile yer değiştirmeleri sırasıyla ağırlıkça %5, 10 ve 20 olarak seçilmiştir. Böylece, Portland çimentosu ile silis dumanı ve kalker tozunun toplam yer değiştirmeleri ağırlıkça %25, 35 ve 45 olmuştur. Kontrol karışımındaki Portland çimentosu miktarı 640 kg/m^3 olurken, ağırlıkça %45 yer değiştirmeli karışımda 352 kg/m^3 olmuştur. Taze ve sertleşmiş KYH'lar üzerinde bazı testler yapılmıştır. Silis dumanlı KYH'ta, kalker tozunun ayrışmayı önlediği ve viskoziteyi azalttığı görülmüştür. Silis dumanlı KYH'ta, kalker tozu ayrışmayı önleyerek basınç dayanımının artmasına katkıda bulunmuştur.

ANAHTAR KELİMELEER: Kendiliğinden Yerleşen Harç, Kalker Tozu, Silis Dumanı, Reoloji

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF PHYSICO-MECHANICAL AND RHEOLOGICAL PROPERTIES OF SELF-CONSOLIDATED MORTARS WITH SILICA FUME AND LIMESTONE POWDER

Abdullah OGRETMEN

**Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Paki TURÇUT
Year: 2019, Page: 45**

It was reported in earlier studies by different researchers that the segregation problem occurred in the Self-Consolidated Mortars (SCMOs) or concretes when Portland cement replacement with the silica fume was higher than 15% by weight. In this thesis, the limestone powder was used to prevent segregation of the SCMOs with 25% silica fume replacement by weight. Totally five series mixtures of SCMOs were produced. The binder material of control SCMO mixture was the only Portland cement. In another SCMO, Portland cement was replaced with 25% silica fume by weight. In the other three SCMOs mixtures, the binder contained Portland cement, silica fume and limestone powder. The replacements of Portland cement amount in control mixture with limestone powder were selected as 5, 10 and 20% by weight, respectively. Thus, Portland cement replacements with total of silica fume and limestone powder were 25, 35 and 45% by weight. The Portland cement amount was 352 kg/m³ in the mixture with 45% replacement by weight while it was 640 kg/m³ in the control mixture. Some tests were made on fresh and hardened SCMOs. It was shown that the limestone powder prevented the segregation and decreased the viscosity in SCMO with silica fume. The limestone powder contributed to increase of the compressive strength in SCMO with silica fume by preventing segregation.

KEY WORDS: Self-Consolidating Mortar, Limestone Powder, Silica Fume, Rheology

TEŞEKKÜR

Tez konusunun belirlenmesinde, literatür kaynaklarının araştırılmasında ve laboratuvar çalışmalarında yardımları nedeniyle, danışman hocam sayın Prof.Dr. Paki TURĞUT'a teşekkür ederim. Numunelerin basınç dayanımı testlerini ücretsiz olarak yapan MEDARCH İnşaat Yapı Zemin ve Laboratuvar firmasına da teşekkür etmeyi bir borç bilirim.



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 3.1. Numunenin karıştırılması	16
Şekil 3.2. $\phi 75 \times 150$ mm boyutunda numune üretilmesi	16
Şekil 3.3. Büzülme numunesi üretimi	17
Şekil 3.4. Harç yayılma Testi	18
Şekil 3.5. Mini V-hunisi akma testi	19
Şekil 3.6. Harçların viskozite testi	20
Şekil 3.7. Kılcal su emme	23
Şekil 4.1. Kontrol numunesi	26
Şekil 4.2. SF25 numunesi	27
Şekil 4.3. SF25LP5 numunesi	27
Şekil 4.4. SF25LP10 numunesi	28
Şekil 4.5. SF25LP20 numunesi	28
Şekil 4.6. Taze harç karışımlarının birim ağırlıkları	29
Şekil 4.7. Viskozite ile RPM ilişkisi	31
Şekil 4.8. RPM 30 ile viskozite arasındaki ilişki	31
Şekil 4.9. Karışımların mini V hunisi akma süreleri	32
Şekil 4.10. Basınç dayanımı değerleri	34
Şekil 4.11. 28.güne kıyasla basınç dayanımı değişimi	34
Şekil 4.12. Numunelerin ağırlıkça su emme sonuçları	35
Şekil 4.13. Numunelerin kılcal su emme sonuçları	36
Şekil 4.14. Numunelerin kuru birim ağırlığı	36
Şekil 4.15. Numunelerin kuruma büzülme değerleri	38

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. Malzemelerin kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	14
Çizelge 3.2. Karışımlarda kullanılan ağırlıkça % kum miktarları.....	14
Çizelge 3.3. Karışımlardaki malzemelerin miktarları (kg/m ³).....	15



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

CH	Kalsiyum - Hidroksit
C-S-H	Kalsiyum – Silikat - Hidrat
C-A-S-H	Etrenjit
EFNARC	European Federation of National Associations Representing for Concrete
HRWR	High-Range Water Reducers
PC	Portland Çimentosu
FA	Uçucu Kül
SF	Silis Dumanı
LP	Kalker Tozu
KYH	Kendiliğinden Yerleşen Harç
KYB	Kendiliğinden Yerleşen Beton
KB	Konvansiyonel Beton
TS EN	Türk Standartları Europe Norm
SF25	Ağırlıkça %25 Silis Dumanı İçeren Numune
SF25LP5	Ağırlıkça %25 Silis Dumanı %5 Kalker Tozu İçeren Numune
SF25LP10	Ağırlıkça %25 Silis Dumanı %10 Kalker Tozu İçeren Numune
SF25LP20	Ağırlıkça %25 Silis Dumanı %20 Kalker Tozu İçeren Numune
OH	Hidroksit
<i>fm</i>	Basınç Dayanımı
C ₃ S	Alit Çimento
C ₃ A	Aluminat Çimento

1. GİRİŞ

Kendiliğinden yerleşen beton (KYB), taze durumdayken bileşenlerinde herhangi bir ayrışma oluşmaksızın çok kolay bir şekilde akan beton olarak tanımlanmıştır. Taze durumdaki KYB’ de yayılma kolay olur ve ayrışma/bloklaşma problemleri meydana gelmeden, kalıplarda sıkıştırma uygulanmadan yerine yerleşir (Khayat ve ark., 1999; Skarendahl ve Petersson, 1999; Ye, 2007).

KYB’nun ilk kullanım tarihi 1990’lı yıllara dayanmaktadır ve ilk defa Japonya’da kullanılmıştır. Günümüzde de KYB yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Hayakawa, 1994). KYB’lar konvensiyonel betonlardaki (KB) aynı temel malzeme bileşenlerine sahiptir. Ancak KYB’lardaki ince malzeme miktarı daha fazladır (EFNARC, 2002). KYB’ların icadından günümüze kadar, KYB’lar üzerinde yapılan araştırmaların büyük bir kısmı mineral katkıların hidrasyonu yanında karışım tasarımı ve işlenebilirlik üzerine olan etkileri üzerinde yoğunlaşmıştır (Oh ve ark., 1999). KYB’lardaki çimento hamuru miktarı, KB’larınkine kıyasla çok daha fazladır. Bu nedenle, KYB’lar çevreye zarar veren ince malzemeler için aynı zamanda bir depolama alanıdır (Khayat ve ark., 1999).

Tane çapı 0.125 mm’den daha küçük olan inorganik malzeme, KYB’de toz malzeme olarak isimlendirilmektedir. KYB karışımlarındaki miktarları, 380 ila 600 kg/m³ arasındadır (EFNARC, 2002). Bu betonlarda viskozite artışını sağlayan olay, tane boyutu azaldıkça taneler arasındaki etkileşimin artmasıdır. KYB’larda binder olarak isimlendirilen toz malzemelerin kullanılması, taze karışımın katı iskeletini zenginleştirmekte ve malzemeyi daha yoğun bir duruma getirmektedir. Agregaların, yoğun olan harçla iyi bir şekilde kaplanmasını sağlamaktadır (Sari ve ark., 1999). Beton için gerekli olan binder malzemeyi, sadece çimento ile oluşturmak hem ekonomik hem de dayanım ve dayanıklılık bakımından sakıncalar oluşturmaktadır. Bu nedenle, KYB üretiminde binder malzemeyi artırmak için çimento ile mineral katkı (Uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu, kalker tozu tozu v.b.) birlikte kullanılmaktadır. KYB hem işlenebilirlik hem de sertleşmiş özellikleri bakımından

oldukça avantajlıdır. Ancak piyasada kullanımı o kadar hızlı olmamıştır. Bunun nedenlerinden birisi, kullanılan mineral katkının belirli bir miktardan sonra taze karışımda ayrışmaya (segregasyon) sebep olması, diğeri ise salt çimento kullanılması durumunda maliyetin artmasıdır.

Bu çalışmada, kalker tozu ve silis dumanı mineral katkıları kendiliğinden yerleşen harçlarda birlikte kullanılmıştır. Çimento yerine ağırlıkça %15 ya da daha fazla miktarda silis dumanı ikame (yer değiştirmesi) edilmesi, taze betonda ayrışma problemlerine sebep olmaktadır. Bu durum, sertleşmiş betonun fiziksel ve mekaniksel özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu çalışmada, silis dumanı miktarı çimentoyla ağırlıkça %25 değerinde yer değiştirilmiş, daha sonra bu karışımların içerisine çimento ağırlığının %5, %10 ve %20'si kadar kalker tozu katılmıştır. Kontrol karışımı 640 kg/m^3 çimento içermektedir. Böylece oluşturulan numuneler, Kontrol, SF25, SF25LP5, SF25LP10 ve SF25LP20 olmuştur. Böylece, SF25LP20 numunesinde çimento ile yer değiştiren mineral katkı miktarı toplam %45 olmuş ve bu numunede dayanıklılık açısından en az çimento miktarı 352 kg/m^3 şartı sağlanmıştır. KYH'ların hem taze hem de sertleşmiş durumdaki özellikleri incelenmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu kısımda, silis dumanı ve kalker tozunun KB ve KYB’da kullanımıyla ilgili, literatürde yapılmış çalışmalar detaylı bir şekilde verilmiştir.

Silis dumanının çimento yerine ikame edilmesiyle yüksek performanslı betonlar üretilmiştir (Neville, 1996).

Bayasi ve Zhou (1993), harç ya da beton içerisinde kullanılan silis dumanının etkili bir puzolanik malzeme olduğunu ve silis dumanı kullanılmayan harç ya da betonlarla kıyaslandığında, süreksiz ve su geçirmez boşluk yapıları oluşturduğunu ileri sürmüşlerdir.

Cheng ve Feldman (1985), çimento hamurunun boşluk suyu içerisine OH^- ve alkali iyonlarının salıverilmesinden dolayı, silis dumanının ilk saatlerde çimentonun hidratasyonunu hızlandırdığını bildirmişlerdir. İlk birkaç saat içerisinde, C_3S ve C_3A ana bileşenlerinin hidratasyonunda hızlanma olduğunu görmüşlerdir.

Larbi ve Bijen (1990), betonda silis dumanının kullanılması sonucunda, çimento hidratasyonunun başladığı ilk birkaç günü içerisinde, agrega yüzeyindeki CH kristallerinin kristal şeklinin ve yönelimlerinin değiştiğini belirtmişlerdir.

Kalsiyum Silikat Hidratlar (C-S-H) çimento hamurunun karakteristiklerinin oluşmasında önemli rol oynamıştır. Düşük su/binder oranlarında (su/binder= 0.25) silis dumanı artırıldığında, sertleşmiş çimento hamurunun basınç dayanımı azalmıştır. Yüksek su/binder oranlarında ise (su/binder= 45), silis dumanının basınç dayanımına katkısının 1 ve 180 gün arasında daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Feldman ve Cheng, 1985).

Rao (2003), çimento hamuru ve harçlar üzerine silis dumanının etkisini araştırmıştır. Çimento hamurunun özgül ağırlık değişimi, işlenebilirlik özellikleri ve priz süresine silis dumanının etkisini incelemiştir. Aynı zamanda, çimento harçları kullanarak üzerine silis dumanının işlenebilirliğe, kuruma büzülmesine ve dayanıklılığa etkisini araştırmıştır. Silis dumanının çimento ile yer değiştirmesini %30' a kadar çıkarmıştır. Bu çalışmada, kuruma büzülmesinin arttığı gözlenmiş olup, en uygun silis dumanı miktarının %15 ile %22 arasında olmasının uygun olacağı belirtilmiştir. Silis dumanı miktarı arttıkça, çimento hamurlarının priz süresi, harçların hava muhtevası ve işlenebilirliğinin azaldığını görmüştür. Silis dumanının erken dönemde kuruma büzülmesini artırdığını, ancak geç dönemde pek etkilemediğini ileri sürmüştür.

Araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda, silis dumanlı harçlarda kuruma büzülmesinin önemli derecede değiştiği gözlenmiştir. Silis dumanının miktarının artmasıyla, kuruma büzülmesi miktarının arttığı gözlenmiştir. Silis dumanının ileriki yaşlarda büzülmesine pek bir etkisi olmamakla birlikte, erken yaşlarda kuruma büzülmesini önemli derecede artırdığı bildirilmiştir. Erken yaşlarda kuruma büzülmesi miktarının büyük olmasının nedeni, puzolanik etkinin erken yaşlarda başlaması olduğu ileri sürülmüştür. Çünkü silis dumanı ile Portland çimentosunun hidrasyon ürünlerinden CH'in reaksiyonu sonucunda ilave C-S-H ürünü oluşmaktadır. Kuruma büzülmesinin nedenlerinden birisi de, C-S-H jelleri üzerindeki yüzey geriliminden kaynaklanan gerilmelerdir (Setter ve Roy, 1978; Vagelis ve ark., 1992; Rao, 1998).

Silis dumanlı betonlarda yüksek dayanımın elde edilmesinin nedeni, sertleşmiş çimento hamurunda boşluk boyutunun küçülmesi, CH miktarındaki azalma ve agrega ile çimento hamuru ara yüzeyinin boşluksuz bir yapıya kavuşmasından kaynaklanmıştır (Feldman ve Cheng, 1985; Cohen ve Klitsika, 1986; Cohen, 1990).

Bir pozzolan olarak silis dumanı, Portland çimentosu ana bileşenleri C_3S ve C_2S 'nin hidrolizi sonucunda meydana gelen CH ile reaksiyona girmektedir. CH toplam hidratasyon ürünlerinin hacimce % 20-25'ini oluşturmaktadır ve CH kristali çözelti içerisinde büyümektedir. Morfoloji bakımından CH kristalleri zayıf, gevrek ve bağlayıcı olmayan özelliğe sahiptir. Sertleşmiş çimento hamuru içerisindeki çatlaklar, CH kristalleri içerisinde ve özellikle de agrega-çimento hamuru matrisi ara yüzeyinde çok rahat bir şekilde ilerlerler. Silis dumanı tarafından tüketilen CH yüzdesi, silis dumanının puzolanik aktivite indeksi olarak isimlendirilmektedir (Neville, 1996).

Portland çimentosunun ana bileşen reaksiyonları aşağıdaki gibi gerçekleşir;



Portland çimentosunun reaksiyonu devam ederken, silis dumanının oluşan CH'le reaksiyonu aşağıdaki gibidir.



Vikan ve Justnes (2007), Portland çimentosu-silis dumanlı ve Portland çimentosu-kalker tozlu çimento hamurları üzerinde incelemeler yapmışlardır. Portland çimentosu hamuru üzerine, silis dumanı ve kalker tozunun etkisini araştırmışlardır. Çimento hamurunun akma direncinin, silis dumanı miktarının artmasıyla arttığını belirtmişlerdir. Bunun nedeninin, ortamın pH değerinin yüksek olmasından kaynaklı silis dumanı yüzeyindeki iyonlaşma, kalsiyum gibi çok değerlilik katyonlarla köprüleşme ve C-S-H oluşumunda tüketilen sudan kaynaklandığını bildirmişlerdir. Ancak süperakışkanlaştırıcı arttığında, akma direncinin azaldığı belirtilmiştir. Karışımdaki kalker tozu arttıkça, akma direnci (viskozite) azalmıştır. Kalker tozunun, çimento tanelerini silis dumanından daha etkili bir şekilde dağıttığı sonucuna varmışlardır. Bu durumun, kalker tozunun

kimyasal reaksiyona girmemesi ve sadece inert olarak davranmasından kaynaklanabileceği belirtilmiştir. Kalker tozunun jelleşmeye herhangi bir katkısının olmadığı ileri sürülmüştür. %8'lik bir kalker tozu yer değiştirmesine kadar jel dayanımına bir katkı olmadığı, ancak %9'luk bir yer değiştirmenin jel dayanımını arttırdığını gözlenmiştir. Sonuç olarak, silis dumanın kalker tozunu stabilize ettiği ileri sürmüştür. Karışımın akma direncinin, kalker tozu çimento yer değiştirmesiyle azaldığını sonucu ortaya çıkmıştır. Kalker tozunun, silis dumanından daha etkili bir şekilde çimento tanelerinin kümelenmesini dağıttığı gözlenmiştir. Gjörv ve Løland (1982)'de, kalker tozunun kümelenmiş çimento tanelerini etkili bir şekilde dağıttığını gözlemlemişlerdir. Bu durumun, kalker tozunun çekirdeklenme bölgeleri oluşturmuş olmasından kaynaklanabileceği belirtilmiştir.

Nehdi ve ark. (1998), sertleşmiş betonun özelliklerinin, taze betonun özelliklerine kuvvetli bir şekilde bağlı olduğunu ileri sürmüşlerdir. Bu nedenle, filler malzemelerin çimentonun reolojik özelliklerine etkisinin belirlenmesinin önemli olduğunu belirtmişlerdir. Çimento süspansiyonu üzerine değişik kuvvetler etki etmektedir. Bunlardan birincisi, Brownian random kuvvetidir. Bu kuvvet tanelerin yönelimini ve dizilmelerini etkiler. Genellikle 1 mikrondan küçük taneler üzerinde etkilidir. İkincisi ise, taneler arası etkileşimden ve suyun kutupsal olmasından kaynaklı kuvvetlerdir. Çimento taneleri arasında van der Waals çekim kuvveti ya da tanelerin yüzeyinde farklı elektrik yükü bulunduğundan, çimento taneleri arasında çekme kuvveti oluşur ve bu çekim kuvvetleri çimento tanelerini kümelenmeye zorlar. Ancak polimerik ya da yüzey aktif maddeler kullanıldığında, bu maddeler çimento tanelerinin yüzeyine yapışarak taneler arasında itme oluşturur. Bu nedenle, mineral katkıların yüzeyindeki elektriksel yüke bağlı olarak, elektrostatik kuvvetlerin etkisi değiştirilebilmektedir. Üçüncüsü ise, çimento taneleri ve su, çimento hamuru ile agrega arasında yerel hız farklarıyla orantılı olan viskoz kuvvetler oluşmaktadır.

Çimento bazlı malzemeler çok yoğun süspansiyonlar olduğundan, taneler birbirinden uzaklaşmak zorunda kalmaktadır (özellikle kümeleşme durumunda). Fillerin inceliği, tane boyutu ve tane şekli, karışımın reolojisini etkilemektedir. Değişik boyutlarda tanelerin bulunması, daha iyi bir paketleme sağlamaktadır. Çünkü

iri tanelerin arasındaki boşlukları ince taneler doldurmaktadır. İdeal tane dağılımından sapma arttıkça, süspansiyonların viskozitesi genellikle artmaktadır. Ayrıca, küre şeklinden herhangi bir sapma, aynı miktardaki bir hacimde viskozitede bir artış meydana getirmektedir. Akışkanlaştırıcıların kullanılması durumunda, daha ince ve daha küresel filler çok daha iyi reolojik özellikler sergilemektedir. Süper akışkanlaştırıcıların değişik filler malzemeler üzerindeki etkili çalışması, süper akışkanlaştırıcının filler üzerine yapışmasının uygunluğuyla ilgilidir. Bu durumda, hidrasyon reaksiyonlarının kinetikleri ve hidrasyon ürünlerinin çekirdeklenmesi etkilemektedirler. Süper akışkanlaştırıcılar ve ince filler malzemeler, yüksek dayanımlı betonların yerine iyi bir şekilde yerleşmesini sağlar. Akışkanlaştırıcılar elektrostatik kuvvetlere savaş açıp, çok ince taneleri birbirinden uzaklaştırır. Mikro-filler malzemeler ise, viskoz kuvvetleri ve agregalar arasındaki Coulomb sürtünmesini azaltır (Barnes ve ark., 1989).

Kendiliğinden yerleşen taze beton kalıbı iyi doldurmakta ve donatıyı iyi sarmaktadır. Kendiliğinden yerleşen betonların homojenlikleri diğer betonlara kıyasla daha iyidir. Kalıbı iyi doldurup, donatıyı sarma ve homojenlik sağlamak, ancak taze betonun reolojik özelliklerinin iyileştirilmesiyle mümkündür. Yani, karışımlarda yeterli plastik viskozitenin yanında, düşük akma dayanımı da sağlanmalıdır. Süper akışkanlaştırıcıların kullanımı, filler malzemelerin paketleme özelliğinden yararlanma ve akma davranışını iyileştirme, kendiliğinden yerleşen betonun karışım oranlarının iyi bir şekilde ayarlanmasıyla mümkündür (A. Skarendahl, 2000; S. Tangtermsirikul ve Khayat, 2000).

Billberg (1999), betondaki ince tanelerin puzolanik ya da puzolanik olmayan filler ve ince malzemelerden oluştuğunu belirtmiştir. Puzolanik olmayan filler malzemelerin dolomit ve kalker tozu olduğunu ileri sürmüştür. Bu malzemelerin, KYB’de ince tanelerin miktarını artırmada kullanıldığını belirtmişlerdir.

Husson ve Guilhot (1999) ile Bonavetti ve ark. (2000), kalker tozunun Portland çimentosuyla birlikte kullanılmasının taze ve sertleşmiş beton özellikleri üzerinde birkaç etkisinin olduğunu ileri sürmüşlerdir. Erken hidrasyon döneminde

kalker tozu tanelerinin, CH ve C-S-H için çekirdeklenme bölgeleri oluşturduğunu belirtmişlerdir. Kalker tozunun, klinker minerallerinin özellikle de C_3S 'in hidratasyonunu hızlandırdığını ve böylece erken dayanıma katkıda bulunduğunu bildirmişlerdir.

Bonavetti ve ark. (2001), kalker tozu ile C_3A arasındaki reaksiyonlar sonucunda karbo-alüminatlar oluştuğunu ileri sürmüşlerdir.

Larbi ve ark. (1990), kalker tozunun C-S-H'in yanında, etrenjit oluşumu için de çekirdek oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Nehdi (2000), Nehdi ve ark. (1998) ve Ghezal ve Khayat (2002), ince kalker tozu sayesinde oluşan iyi bir paketlemenin, taze betonun işlenebilirliğini ve stabilitesini oldukça zenginleştirdiğini ileri sürmüşlerdir.

Tragardh (1999) ve Billberg (1999), betonda kullanılan kalker tozunun, çimento hamuru ile agrega ara yüzeyinin ve çimento hamurunun matris yoğunluğunu artırdığını göstermişlerdir.

Belaribi ve ark. (1997), çimento hamurunun boşluk sistemindeki artan kıvrımlılık ve incelikten dolayı, betona kalker tozu katılmasının içerideki nem değişimlerini etkilediğini ve böylece, büzülme ve sünme deformasyonları üzerinde de etkili olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Sonerbi ve ark. (2000) ve Petersson (2001), aynı su/çimento oranına sahip ve Portland çimentosu kullanılan bir betonda, uygun tane dağılımlı kalker tozu kullanılmasının genellikle betonun basınç dayanımında iyileşmeler sağladığını belirtmişlerdir.

Bosiljkov (2003), 380 kg/m^3 çimento ve 350 kg/m^3 kalker tozu kullanılan normal betonlarla kıyaslandığında, kendiliğinden yerleşen beton numunelerinin bazılarında basınç dayanımının 5 MPa kadar yüksek, bazılarında ise 5 MPa daha

küçük olduğunu bulmuştur. Ortaya çıkan bu durumun, kullanılan kalker tozunun inceliğinden ya da tane dağılımından kaynaklanabileceği ileri sürülmüştür.

Felekoğlu ve ark. (2006), kalker tozunun erken dayanıma katkısının uçucu külden daha iyi olduğunu göstermiştir.

Türkel ve Altuntaş (2009), kendiliğinden yerleşen tamir harçları üzerine çalışmalar yapmışlardır. Harç karışımlarında üç farklı mineral katkıyı önce ayrı, daha sonra ise birbirlerine belirli oranlarda karıştırarak kullanmışlardır. Kalker tozunu erken dayanıma katkısının hem uçucu kül hem de silis dumanına kıyasla daha fazla olduğunu ileri sürmüşlerdir. Yüksek miktarda kalker tozu (%30) kullanımının mekanik dayanımları azalttığını görmüşlerdir. Harçlarda kullanılan kalker tozu-çimento yer değiştirmesinin ağırlıkça %5 ile %10 arasında olmasının uygun olacağını belirtmişlerdir. Harçlar içerisinde silis dumanı, uçucu kül ve kalker tozu kombinezonlarının birlikte kullanılmasının, bunların ayrı bir şekilde kullanılmasından daha etkili olacağı ileri sürülmüştür.

Felekoglu (2007) tarafından yapılan bir çalışmada, %10 kalker tozu-çimento yer değiştirmesinin çimento hamurunun basınç dayanımını bir miktar artırdığını ileri sürmüştür. Ayrıca, betonda kalker tozunun kullanılmasının süper akışkanlaştırıcı miktarını da düşürdüğünü belirtmiştir.

Kalker tozu içeren betonların sünme ve büzülme deformasyonlarının yanında, elastisite modüllerinin, çok değişken olduğu bildirilmiştir. Bazı betonlarda yüksek elastisite modülü değeri elde edilirken, bazı betonlarda da düşük elastisite modülü değerleri elde edilmiştir. Başka bir tür betonda ise, elastisite modülünün kalker tozu kullanılmayan betondakine eşit olduğu, yani değişmediği belirtilmiştir (Gram ve Piiparinen, 1999; Bui ve Montgomery, 1999; Persson, 2001) .

Uygun bir mineral katkı kullanılmadığında, beton karışımının akışkanlığı viskozite değiştirici katkılarla sağlanmaktadır. Viskozite değiştirici katkıları, suda çözünebilen polimerlerdir. Esas olarak, betonda kullanılan karışım suyunun

viskozitesini artırırılar. Böylece, çimento tanelerinin karışım suyu içerisinde asılı bir şekilde kalmasını sağlarlar. Kendiliğinden yerleşen betonların stabilitesini zenginleştirmede kullanılırlar (Sari ve ark., 1999; Rols, 1999; Khayat ve Guizani, 1997).

Bomble (1986) ve Escadillas (1988), kalker tozunun çimentonun tane dağılımını iyileşmesine katkıda bulunduğunu ve beton ve harç içerisindeki kullanıldığında karışımın stabilitesini zenginleştirdiğini ileri sürmüşlerdir.

Sprung ve Siebel (1991), kalker tozu tanelerinin daha iri çimento taneleri arasındaki boşlukları doldurduğunu, çimento hamurunu kayganlaştırdığını ve böylece su ihtiyacını azalttığını ileri sürmüşlerdir. Ayrıca, ileriki yaşlarda çimento hamuru içerisindeki kılcal boşlukları tıkadığını bildirmişlerdir.

Cochet ve Sorrentino (1993), kalker tozunun kayganlaştırıcı etkisinin su/çimento oranını düşürmede etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Bomble (1996), kalker tozunun betonun reolojisi üzerinde etkili olduğunu, daha iyi kohezyon ve plastiklik sağladığını belirtmişlerdir.

Neto ve Campitelli (1990), kalker tozu içeren çimentonun reolojisini karakterize etmek için, iki noktalı test tekniği kullanmışlardır. Kalker tozu arttığında, akma gerilmesinde bir azalma gözlemişlerdir. Belirli bir incelik/kalker tozu ilişkisinin ötesinde, plastik viskozitede artış olduğunu bildirmişlerdir.

Brookbanks (1989), ağırlıkça %5 ile % 28 kalker tozu-çimento yer değiştirmesinin taze betonun özellikleri üzerine etkini incelemiştir. Kalker tozu arttığında priz süresinin azaldığını, %5 kalker tozuna kadar karışım suyu miktarında bir değişim gözlenmediği, ancak sonraki kalker tozu artışlarında karışım suyu ihtiyacının azaldığını belirtmiştir. Ayrıca, kalker tozunun su kusmayı etkili bir şekilde azalttığını ve hava sürüklemeye üzerine olumsuz etkisi olmadığını ileri sürmüştür.

Nehdi ve Mindess (1997), ultra incelikteki kalker tozunun süperakışkanlaştırıcı dozajını düşürdüğünü ve yüksek performanslı betonun işlenebilirliğini zenginleştirdiğini ileri sürmüşlerdir. Daha ince ve fazla filler malzemenin betonda kullanılmasının akma direncini azalttığını ileri sürmüşlerdir. Aynı durumu, Portland çimentosu, kalker tozu ve silis dumanı üçlü karışımlarında da gözlemişlerdir. Ghezal (1999) ise, yukarıdaki aksine, Portland çimentosu, kalker tozu ve silis dumanının hızlı ve ciddi anlamda bir çökme kaybına sebep olduğunu ileri sürmüştür. Başlangıçta kontrol numunesine kıyasla çok az süperakışkanlaştırıcı gerekmesine rağmen, yeterli işlenebilirliği zaman içerisinde sağlamadığından karışımlar reddedilmiştir.

Buna karşın, Sakara ve ark. (1995) tarafından kalker tozu içeren çok akışkan bir karışım oranı oluşturulmuştur. Karışımlarında zamanla herhangi bir çökme kaybının olmadığını bildirmişler ve bu karışımı gerçek yapılarda kullanılmasını da önermişlerdir.

Nehdi (2000), kalker tozu tanelerinin çimento hamuru içerisinde Ca^{+2} iyonlarını salarak, çimentonun hidrasyon reaksiyonlarının kinetiğini değiştirip değiştirmeyeceğini incelemiştir. Sonuç olarak, alkali sitem içerisinde kalsitin çözünürlüğünün düşük olmasından dolayı, termodinamik olarak bunun mümkün olmadığını ileri sürmüştür.

Nehdi ve Mindes (2001), yukarıdaki konuyu daha detaylı bir şekilde incelemişlerdir. Bir seri karışımlarında ağırlıkça % 5, 10, 15, 20 kalker tozu, diğer seri karışımlarında da yine aynı miktarda hidrat kireç tozundan oluşan çimento hamurları üretmişlerdir. Hidrat olmuş kirecin kullanılmasını nedeni, hidrat kirecin suyun içerisinde kalker tozundan çok daha çözünür olması ve çözeltiye daha fazla Ca^{+2} iyonu salmasıdır. Bu çalışmanın amacı, Ca^{+2} iyonlarının çimento hamuru sisteminde reoloji üzerine yapacağı etkiyi araştırmaktır. Sonuç olarak, çimento hamuruna kalker tozu ya da hidrat kireçten salınan Ca^{+2} iyonlarının işlenebilirlik

kaybı oluşturmadığı ve reolojik özellikler üzerine hiçbir olumsuz bir etki yapmadığını bildirmişlerdir.

Kalker tozu ve kalsiyum alüminat (C_3A) arasında, kalsiyum karbo-alüminatları oluşturmak için ($C_3A.CaCO_3.11H_2O$) güçlü bir reaksiyon potansiyeli vardır. Bu reaksiyonda hidrasyon ısısı-zaman grafiğindeki durağan kısımdaki sürenin azalması ya da hidrasyon hızının artmasından kalker tozunun sorumlu olup olmadığı araştırılmıştır. Prizi geciktirmek için çimento içerisine katılan alçıtaşının yaptığı etkinin, kalker tozuyla elde edilmesine çalışılmış ve durum detaylı bir şekilde incelenmiştir. Çimento içerisinde kullanılan alçıtaşı, C_3A ana bileşeni etrafında etrenjit ürünü oluşturarak C_3A 'ın reaksiyonunu yavaşlatmaktadır. Kalker tozu ile C_3A arasındaki reaksiyonda, C_3A etrafında oluşan karbo-alüminatların etrenjit analogisine benzer olarak, C_3A 'ın reaksiyonunu yavaşlatması gerekmektedir. Bu durumda, kalker tozunun C_3A 'ın reaksiyonunu hızlandırmadığı ortaya çıkmaktadır. Ancak, C_3S 'ın reaksiyonunu hızlandırmaktadır (Bobrowski ve ark., 1977; Negro ve ark., 1986; Bensted, 1980; Bensted, 1983).

Escadillas (1988), kalker içeren çimento hamurlarını X-ray difraksiyonu ile incelemiş ve hidrasyon başladıktan sonraki ilk birkaç saat içerisinde kalker tozunun miktarının azaldığını gözlemlemiştir. Ancak, kalker tozunun tüketildiği ilk birkaç saat içerisinde karbo-alüminatların oluşmadığını, karbo-alüminatların reaksiyon başladıktan 7 gün sonra oluşmaya başladığını rapor etmiştir. Belki de, oluşan karbo-alüminatların çok küçük taneli yapıya sahip olduğu ve bunun ilk birkaç saat içerisinde görülemeyecek kadar küçük olduğunu da belirtmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Kullanılan malzemeler

Harç numunelerin üretiminde ana bağlayıcı olarak, CEM I 42.5 R Portland çimentosu (PC) kullanılmıştır. Mineral katkı olarak silis dumanı (SF) ve kalker tozu (LP) kullanılmıştır. Kullanılan kalker tozu en büyük göz açıklığı 0.150 mm olan eleklerle elenmiştir. Çizelge 3.1’de, Portland çimentosu, silis dumanı ve kalker tozunun fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmiştir. Kendiliğinden yerleşen harçların (KYH) üretimlerinde, yüksek miktarda su azaltıcı kimyasal katkı kullanılmıştır. Karışımlarda DEGUSA yapı kimyasalları A.Ş. firmasının GLENİUM 51, polikorbarboksilik eter esaslı, yoğunluğu 1.06, pH değeri 7.03 ve katı madde oranı %35.52 olan yüksek miktarda su azaltıcı (HRWR) süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. KYH üretiminde en büyük tane çapı 2.36 mm olan dere kumu kullanılmıştır. Kumun suya dolgun yüzey kurusu yoğunluğu 2.65gr/cm³’tür. 0.150-0.300, 0.300-0.600, 0.600-1.18 ve 1.18-2.36 mm’lik eleklerden geçirilen kum 4 farklı gruba ayrılmıştır. Karışımda kullanılan kum miktarlarının ağırlıkça yüzdeleri Çizelge 3.1’de verilmektedir ve bu değerler ASTM C33’nün verdiği alt ve üst sınırlar içinde kalacak şekilde ayarlanmıştır.

Çizelge 3.1. Malzemelerin kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kompozisyon (%)	PC	LP	SF
CaO	63.59	51.79	1,2969
SiO ₂	18.90	2,1938	83,1351
Al ₂ O ₃	5.15	0,1325	0,1913
Fe ₂ O ₃	3.36	0,0651	0,2394
Na ₂ O	0.31	0,8168	0,6406
K ₂ O	0.77	0,0191	2,6232
MgO	1.57	1.34	4,2401
SO ₃	2.65	0,0449	1,0446
TiO ₂	-	-	-
Cl ⁻	0.0238	0,0097	0,1806
Serbest CaO	-	-	-
Kızdırma kaybı	3.59	43.60	4.77
Yoğunluk	3.10	2.54	2.25
Özgül yüzey (cm ² /g)	2047	2186	20000(BET)

Çizelge 3.2. Karışımlarda kullanılan ağırlıkça % kum miktarları

Elek Ebatları(mm)	0.150-0.300	0.300-0.600	0.600-1.18	1.18-2.36
Ağırlıkça %	10	20	30	40

3.2. Numunelerin Hazırlanması

Bu çalışmada kontrol numunesi ve diğer 4 tanesi de mineral katkı içeren toplam 5 adet KYH üretilmiştir. Üretilen harçların karışım oranları Çizelge 3.2’de verilmiştir. TS EN 206’daki çevresel etki sınıfları dikkate alınarak, en az çimento dozajı 352 kg/m³ alınmıştır. Karışımların tümünde hava muhtevası, hacimce %1 kabul edilmiştir. Su/binder oranı karışımların tümünde 0.46 olarak alınmıştır.

Çizelge 3.3. Karışımlardaki malzemelerin miktarları (kg/m³)

	Su/Binder	Su	PC	SF	LP	Kum	HRWR
Kontrol	0.46	294	640	-	-	1293	1.28
SF25	0.46	294	480	160	-	1224	8.32
SF25LP5	0.46	294	448	160	32	1218	8.32
SF25LP10	0.46	294	416	160	64	1212	8.32
SF25LP20	0.46	294	352	160	128	1200	8.32

Çizelge 3.2’de görüldüğü gibi, Kontrol numunesinde sadece Portland çimentosu kullanılmıştır. SF25 numunesinde, kontrol numunesinde kullanılan çimentonun miktarı ağırlıkça %25 azaltılmış ve bunun yerine karışıma ağırlıkça %25 oranında silis dumanı katılmıştır. SF25LP5 numunesinde, kontrol numunesinde kullanılan çimentonun miktarı ağırlıkça %30 azaltılmış ve bunun yerine karışıma ağırlıkça %25 oranında silis dumanı ,%5 oranında da kalker tozu katılmıştır. SF25LP10 ve SF25LP20 numunelerinde de benzer işlemler yapılmıştır.

Malzemelerin karıştırılması 5 litre kapasiteli HOBART mikserde yapılmıştır. Bütün karışımlarda aynı karışım süresi uygulanmıştır. Mineral katkı numunelerin tümünde, malzemeler bir dakika süresince ASTM C 109’da belirtilen standarda uyularak karıştırılmıştır. Daha sonra 2 dakika boyunca toplam suyun $\frac{3}{4}$ ‘ü ile karıştırılmıştır. En sonda da suyun kalan $\frac{1}{4}$ ’ne karıştırılmış olan kimyasal katkı eklenmiş ve harç 3 dakika daha karıştırılmıştır (Şekil 3.1). Karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra, harçların işlenebilirliklerinin tespiti için yayılma testi ve mini V hunisi deneyleri yapılmıştır.

Harçların işlenebilirliği tespit edildikten sonra, basınç dayanımı testi için $\phi 75 \times 150$ mm silindir numuneler ve kuruma büzülme testleri için $25 \times 25 \times 285$ mm prizmatik numuneler üretilmiştir. Numunelerin hazırlanması Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’te gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Numunenin karıştırılması



Şekil 3.2. $\phi 75 \times 150$ mm boyutunda silindir numune üretimi



Şekil 3.3. Büzölme numunesi üretimi

3.3. Numuneler Üzerinde Yapılan Testler

3.3.1. Taze karışımlar üzerinde yapılan testler

3.3.1.1. Yayılma Testi

KYH'larda yayılma testi EFNARC'da tanımlanmıştır (EFNARC, 2002). Şekil 3.4'te gösterilen, kesik huni şeklindeki kalıp düz bir plakanın üzerinde yerleştirilmiş, içerisi harçla doldurulmuş ve yukarı doğru çekilmiştir. Harcın yayılmasından sonra, bir birine dik iki yöndeki çaplar ölçülüp bunların ortalaması son çap olarak alınmıştır.



Şekil 3.4. Harç yayılma testi

3.3.1.2. Mini V-Hunisi Testi

KYH'lar için mini V-hunisi testi de EFNARC tarafından tarif edilmiş ve Şekil 3.5'te gösterilmiştir (EFNARC, 2002). Bu testte huni tamamen harçla doldurulmuş ve alttaki kapak açılarak harcın akması sağlanmıştır. Harcın akış süresi,

tabandaki kapağın açılması ile tepeden bakıldığında tabandan ışığın görülmesi arasında geçen süre olarak alınmıştır.



Şekil 3.5. Mini V-hunisi akma testi

3.3.1.3. Taze Birim Ağırlık

KYH için taze birim ağırlık testinde, önceden belirlenmiş, $\phi 75 \times 150$ mm silindir kalıp boş iken tartılmıştır. Hazırlanan karışımı kalıp içerisine, üstten kalıba sıfır olacak şekilde tepe noktasına kadar doldurulmuş ve tartılmıştır. Taze karışımların ağırlıkları, kalıbın iç hacmine bölünerek birim ağırlık değerleri elde edilmiştir.

3.3.1.4. Viskozite Testi

Bir akışkanın kendi bünyesindeki içsel sürtünme olayına viskozite adı verilmektedir. Akışkan durumdaki bir malzemenin tabakaları arasındaki göreceli hareketler sürtünme olayını meydana getirmektedir. Sürtünme kuvvetlerinin artmasıyla birlikte, akışkanın hareketini sağlayacak olan kayma kuvveti de artacaktır. KYH'ların karıştırılmasında, yerine dökülmesinde ve yayılmasında kayma

gerilmeleri meydana gelmektedir. Kısaca özetlenecek olursa, KYH'ların fiziksel olarak hareketi, kayma gerilmeleri meydana getirmektedir. KYH'larda viskozite testi için harç hazırlanma işlemi diğer testlerdekine benzer şekilde yapılmıştır. Şekil 3.6'da gösterilen kap içerisine harç doldurulmuştur. Viskozite değerini bulmak için, harcın içine dönme hareketi yapan standart bir uç yerleştirilmiştir. Viskozimetrenin akışkan ile temasının gerçekleştiği parçaya standart uç denir ve birçok değişik modeli vardır. Kullanılan standart karıştırma ucunun akışkan içerisindeki bağlı hareketiyle oluşan kuvvet, bu uçta burulma kuvveti meydana getirmektedir. Standart uç geometrisi ve açısal hızı ve kap geometrisi ile ilgili parametreler kullanılarak viskozite, kayma gerilmesi hız gradyanı hesaplanabilir. Standart ucun dönme hareketi sonucunda ekranda viskozite değeri, makinenin yardımıyla standartta verilen belli süreler içinde makinenin ekranında yansıtılan veriler not edilmektedir.



Şekil 3.6. Harçların viskozite testi

3.3.2. Sertleşmiş Numuneler Üzerinde Yapılan Testler

$\phi 75 \times 150$ mm silindir numuneler üzerinde 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı testleri yapılmıştır. Yine, $\phi 75 \times 150$ mm silindir numuneler üzerinde birim ağırlık, normal su emme ve kılcal su emme testleri yapılmıştır. Toplam numune sayısı 60 adettir. Her bir testte kullanılan 3 adet numunenin ortalaması alınmıştır.

3.3.2.1. Basınç Dayanımı

24 saat sonra kalıptan çıkartılan numuneler, 20 °C sıcaklıktaki kür havuzu içerisine yerleştirilmiştir. 7, 28 ve 90 günler sonunda, kür havuzundan çıkarılan numuneler bir süre (1 ya da 2 saat) normal oda koşullarında bekletilmiş ve daha sonra numunelerin yüzeylerindeki su tanecikleri kâğıt havlu ile kurutulmuştur. Numunelerin her iki yüzeyine kükürtten başlık yapılmıştır. ASTM C109 standardı takip edilerek, numunelerin basınç testleri yapılmıştır.

200 ton kapasiteli yük kontrollü preste numunelerin kırım işlemleri yapılmıştır. Presin numuneyi yükleme hızı 1,8 kN/s dir. Numune kırıldıktan sonra, presin yük göstergesi kısmındaki yük değeri kN olarak okunmuştur. Numunenin kırılma yükü değeri, yine numunenin kesit alanına bölünerek basınç dayanımı değeri bulunmuştur.

$$f_m = \frac{P}{S} \quad (3.1)$$

Yukarıdaki bağıntıda, f_m basınç dayanımı (MPa), P numuneyi kıran yük değeri (N) ve S ise yükleme doğrultusuna dik numune yüzey alanıdır (mm²).

3.3.2.2. Normal Su Emme ve Birim Ağırlık

Numunelerin yoğunluk ve su emme testleri ASTM C 642'ye göre yapılmıştır. Tüm numuneler 110 °C'lik sıcaklığa sahip fırın içerisinde 24 saat ısıtılmış ve değişmez ağırlığa sahip fırın kurusu hale getirilmiştir. Bu süre sonunda fırın kapatılmış ve numunelerin fırın içerisinde ortam sıcaklığına yavaşça gelmesi sağlanmıştır. Daha sonra 0.01 gr hassasiyetinde 5000 gr kapasiteli laboratuvar tipi terazide tartılarak ağırlıkları bulunmuştur. Numunelerin birim ağırlık değerleri aşağıdaki bağıntı yardımıyla bulunmuştur.

$$d = \frac{G}{V} \quad (3.2)$$

Bağıntıda gösterilen, d numunenin birim ağırlığı, (kg/m³). G numune ağırlığı (kg) ve V ise, $\phi 75 \times 150$ mm boyutunda silindir numune hacmidir (m³).

Her bir numunenin normal su emme değerinin bulunması işlemi için , kılcal su emme deneyi yapılmış numuneler kullanılarak yapılmıştır. Bu nedenle, kılcal su emme testleri bitirilmiş numunelerin etrafındaki bantlar sökülmüş ve 110 °C sıcaklıktaki fırında 24 saat süreyle değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Fırın kapatılarak numunelerin kendiliğinden fırın içerisinde ortam sıcaklığına kadar soğuması sağlanmıştır. Daha sonra, numuneler sıcaklığı 23 °C olan suyun içerisinde 48 saat boyunca bekletilmiştir.

Su içerisinden alınan numunelerin yüzey kısımlarındaki su tanecikleri kâğıt havlu yardımıyla kurutulmuştur. Numunelerin su emme yüzdeleri ağırlık esasına göre aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmıştır.

$$S_a(\%) = \left[\frac{B - G}{G} \right] \times 100 \quad (3.3)$$

Numunenin suya doymun yüzey kurusu durumdaki ağırlığı B (kg)' dir. Fırında değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulduktan sonraki ağırlığı da G (kg)' dir.

3.3.2.3. Kılcal Su Emme

Kılcal su emme deneyleri TS EN 772-11 standardı takip edilerek yapılmıştır. Fırın kurusu hale getirilen numunelerde, numunenin suyla temas halinde olacak yüzeyi ve buna paralel üst yüzey haricindeki bütün yüzeyler su geçirmez bir bantla kaplanmıştır. Bunun nedeni, yan yüzeylerden suyun buharlaşmasını engellemek ve tek doğrultuda bir su hareketine zemin hazırlamaktır (Şekil 3.7).

Numunenin taban kısmı 5 mm suya dalacak şekilde batırılmış ve 5, 10, 30, 60, 240 ve 1440 dakikalık zamanlardaki numune ağırlıkları kaydedilmiştir. Tartımlardan önce, numunelerin suyla temastaki yüzeyi kâğıt havluyla kurutulmuştur. Tartımlar 0.01 gr hassasiyetli teraziyle yapılmıştır. Son ağırlıklar ile başlangıçtaki ağırlık farkı hesaplanarak, aşağıda verilen bağıntı yardımıyla kılcal su emme değerleri tespit edilmiştir.

$$\frac{Q}{A} = k\sqrt{t} \quad (3.4)$$

Burada, kılcal su emme değeri k ($\text{cm/s}^{0.5}$), su ile temas eden numune yüzey alanı A (cm^2), yüzeyin su ile temas süresi t (s) ve numune tarafından kılcal olarak emilen su miktarı Q (cm^3)'dur. En küçük kareler bağıntısı yardımıyla, Q/A 'nın t süresi ile olan ilişkisi belirlenerek kılcallık katsayısı hesaplanmıştır.



Şekil 3.7. Kılcal su emme

3.3.2.4. Kuruma Büzülmesi

Numunelerin kuruma büzülmesi testleri ASTM C 596'ya göre yapılmıştır. Kuruma büzülmesi testlerinde standardın belirttiği 25×25×285 mm boyutunda prizma numuneler kullanılmıştır. 24 saat sonra kalıptan çıkartılan numuneler, 20 °C sıcaklıktaki kür havuzu içerisine yerleştirilmiş ve 48 saat bekletilmiştir. 48 saat sonra, numunelerin ilk boyları 0.0001 mm hassasiyetinde ölçülmüştür. Daha sonra, 23 °C ve % 60 bağıl nemli ortamda bekletilmiştir. 4., 11., 18. ve 25. günlerde numunelerin boyları ölçülmüştür. Numunelerin belirtilen sürelerde ölçülen uzunluk değerleriyle ilk uzunluk değerleri arasındaki fark bulunmuştur. Böylece, kuruma büzülmesi değerleri tespit edilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Taze Harç Testleri

Karışımlarda su/binder oranı sabittir ve değeri 0.46'dır. Harç karışımlarında hedeflenen 25 ± 1 cm'lik yayılma değeri, karışıma katılan süper akışkanlaştırıcıyla sağlanmıştır.

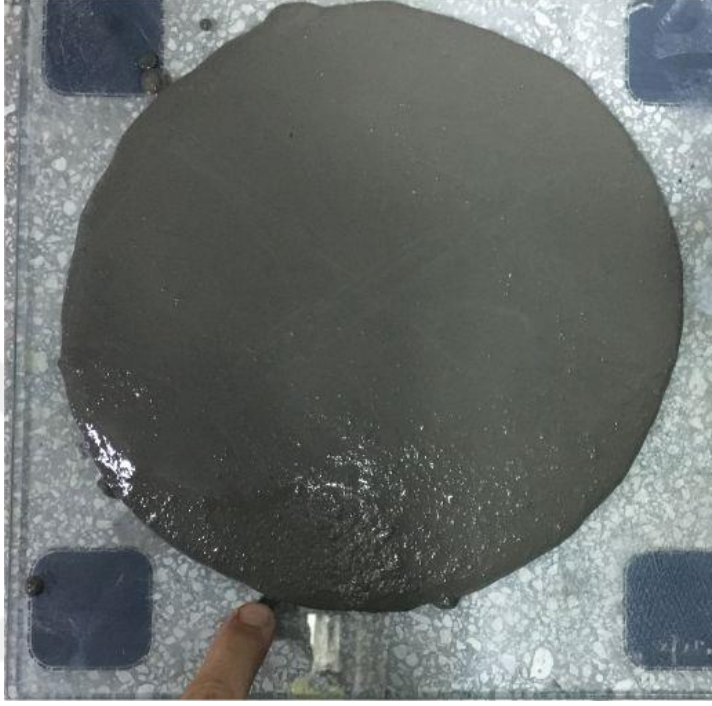
Şekil 4.1'de, yayılmış kontrol karışımı gösterilmiştir. Şekil 4.1'de görüldüğü gibi, çok az da olsa karışımda çimento-kum ayrışması meydana gelmiştir.

Şekil 4.2'de, yayılmış SF25 karışımı gösterilmiştir. Bu karışımda, çok fazla miktarda silis dumanı kullanılması, karışımda su ile hamur-kum arasında bir ayrışma meydana getirmiştir. Çimento ile silis dumanın ağırlıkça % 15'lik bir yer değiştirmesi neticesinde, ayrışma meydana geleceği daha önceki çalışmalarda belirtilmişti. Dolayısıyla, ağırlıkça % 25 silis dumanı ile çimentonun yer değiştirmesindeki ayrışma beklenen bir sonuç olmuştur. Şekil 4.2'de görüldüğü gibi, yayılmış harç karışımının çevresinde yaklaşık 2.5 cm'lik halkada su toplanmıştır. Bu ayrışmanın çok belirgin bir örneği olmuştur.

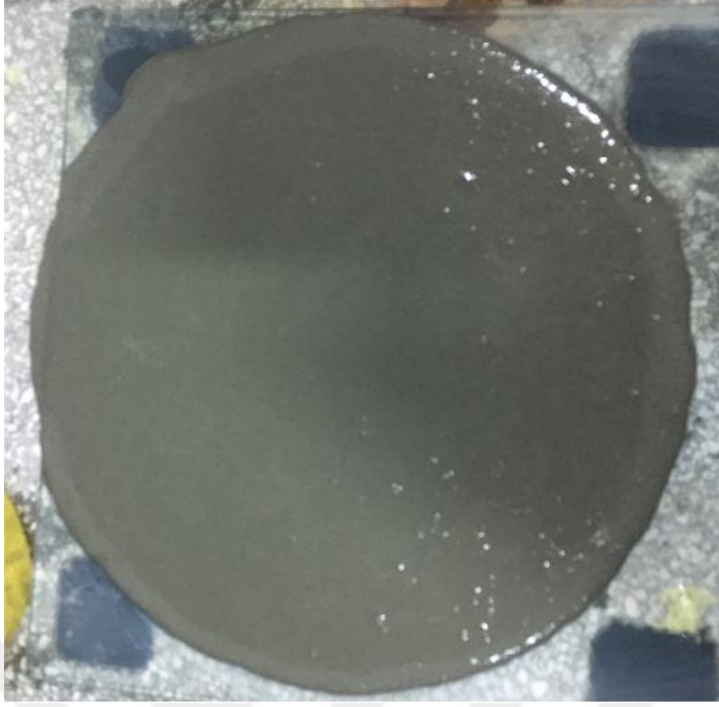
Şekil 4.3'te, yayılmış SF25LP5 karışımı gösterilmiştir. Bu karışımda, % 5 kalker tozunun kullanılması ayrışmayı bir miktar azaltmıştır. Şekil 4.3'te görüldüğü gibi, yayılmış harç karışımının çevresindeki yaklaşık 1 cm'lik halkada su toplanmıştır.

Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te sırasıyla, yayılmış SF25LP10 ve SF25LP20 karışımları gösterilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi, bu karışımlarda ayrışma olmadığı görülmüştür. Kalker tozunun karışım içerisinde artmasıyla, ayrışma önlemiş ve stabil bir karışım oluşmuştur.

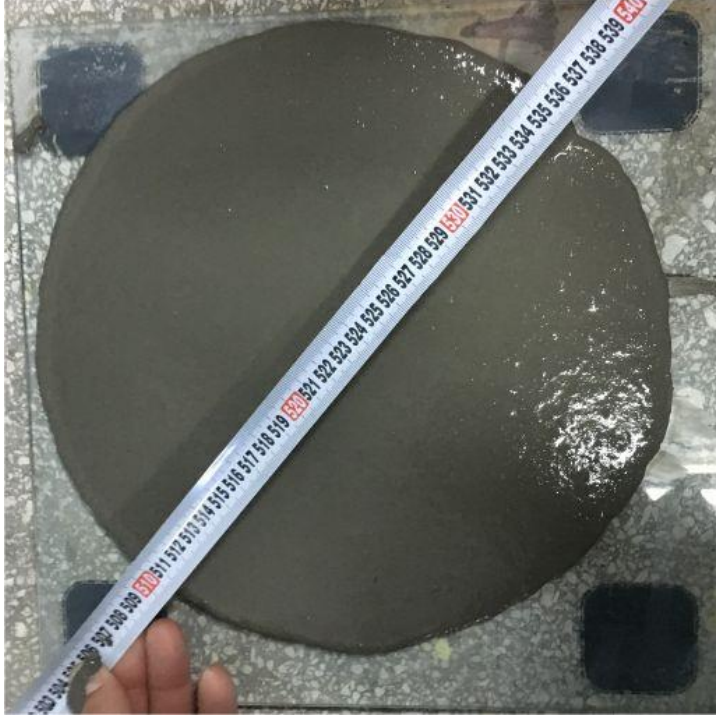
Şekil 4.6’da, taze harç karışımlarının birim ağırlık değerleri gösterilmiştir. Kontrol karışımının birim ağırlığı en büyük, mineral katkıları içeren harçların ise düşük olmuştur. Harç içerisinde yoğunluğu en yüksek olan toz malzeme çimentodur (3.10).



Şekil 4.1. Kontrol numunesi



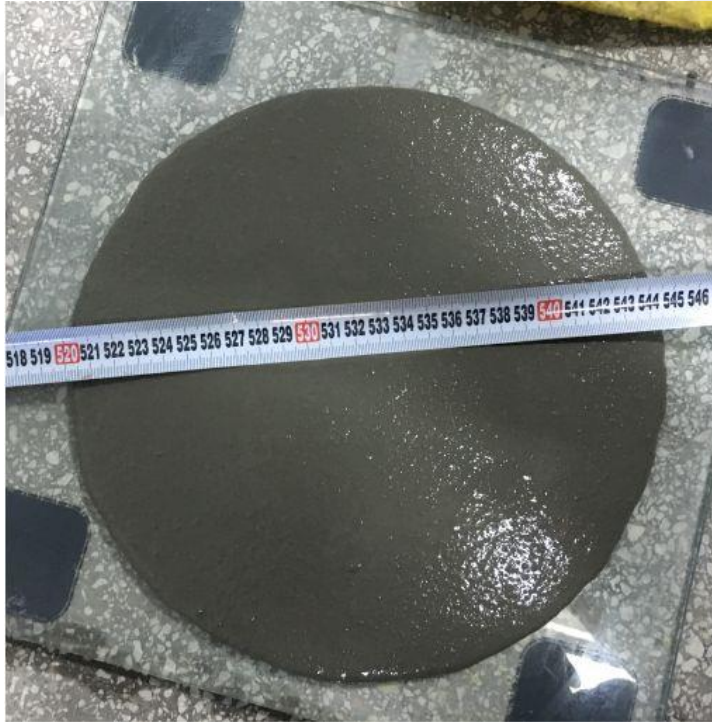
şekil 4.2. SF25 numunesi



şekil 4.3. SF25LP5 numunesi



Şekil 4.4. SF25LP10 numunesi

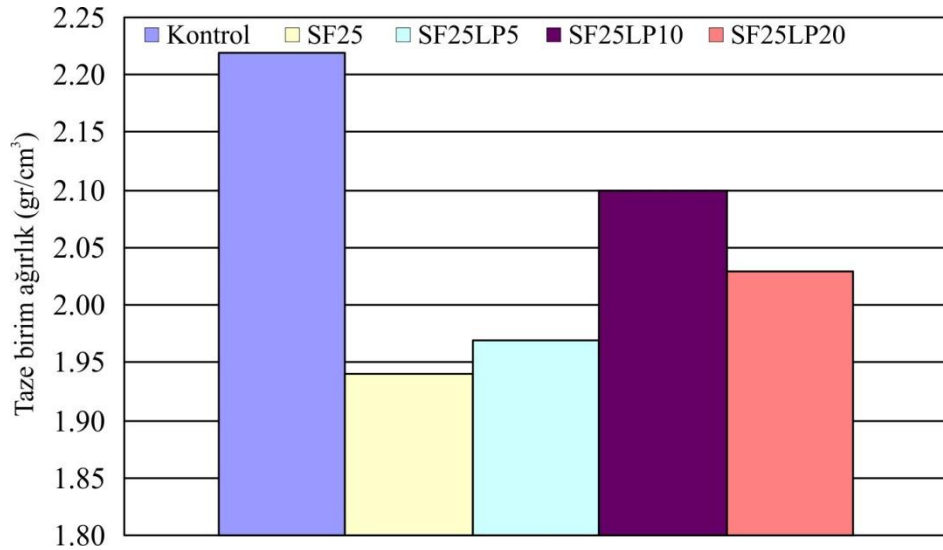


Şekil 4.5. SF25LP20 numunesi

Dolayısıyla, kontrol karışımının birim ağırlığının en büyük olması beklenen bir durumdur. En düşük birim ağırlık değeri ise, SF25 karışımına aittir.

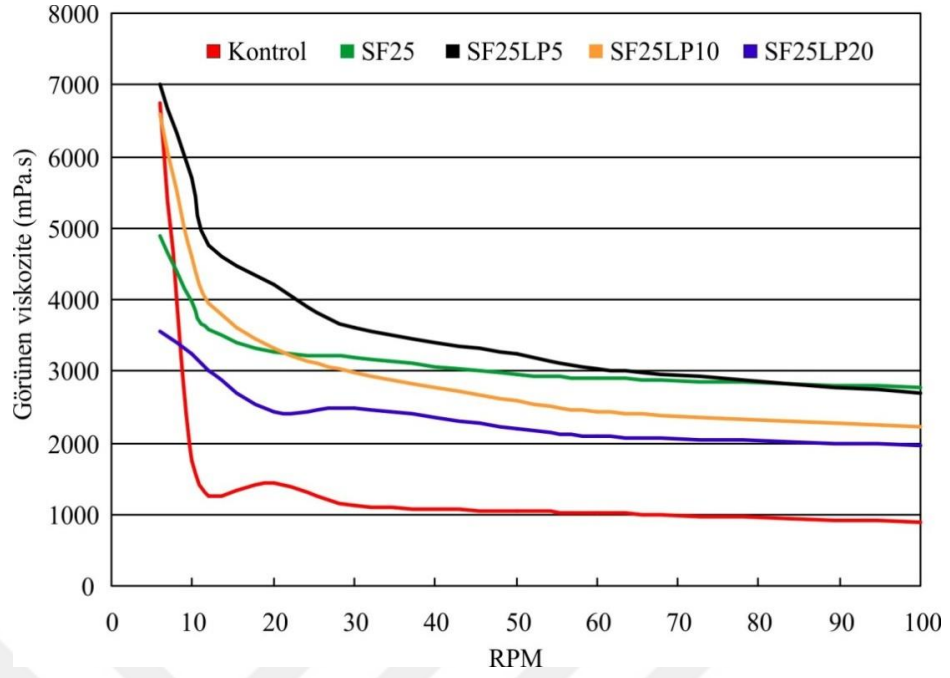
Silis dumanı malzemesinin yoğunluğu 2.25 olduğundan, çimento ile yer değiştirmede pasta hacmi artmış ve böylece karışımın birim ağırlığı azalmıştır. Harçların taze birim ağırlıklarıyla ilgili ilginç durum, SF25LP5, SF25LP10 ve SF25LP20 karışımlarında meydana gelmiştir. Kalker tozunun yoğunluğu 2.54'tür ve çimentonun yoğunluğundan düşüktür. SF25LP5, SF25LP10 ve SF25LP20 karışımlarında, silis dumanı+kalker tozu mineral katkılarının çimento ile ağırlıkça yer değiştirmeleri sırasıyla, % 30, 35 ve 45 olmuştur. SF25 karışımında, silis dumanı ile çimentonun ağırlıkça yer değiştirmesi % 25 olması durumunda, taze birim ağırlık değeri en küçük olmuştur. Hâlbuki çimento ile silis dumanı+kalker tozu ağırlıkça yer değiştirmesi % 25 değerinden daha büyük olmuş ve böylece karışımlar içerisindeki çimento miktarı daha da azalmıştı. Burada beklenen durum, SF25LP5, SF25LP10 ve SF25LP20 karışımlarının taze birim ağırlık değerlerinin, SF25 karışımından daha küçük değerlerde olmasıdır.

Barnes ve ark. (1989), değişik boyutlarda tanelerin bulunması, daha iyi bir paketleme sağlamaktadır. Tragardh (1999) ve Billberg (1999), kalker tozu tanelerinin daha iri çimento taneleri arasındaki boşlukları doldurduğunu ve hamurun yoğunluğunu artırdığını belirtmişlerdi. Burada elde edilen sonuçlar, bu çalışmayı doğrulamıştır.

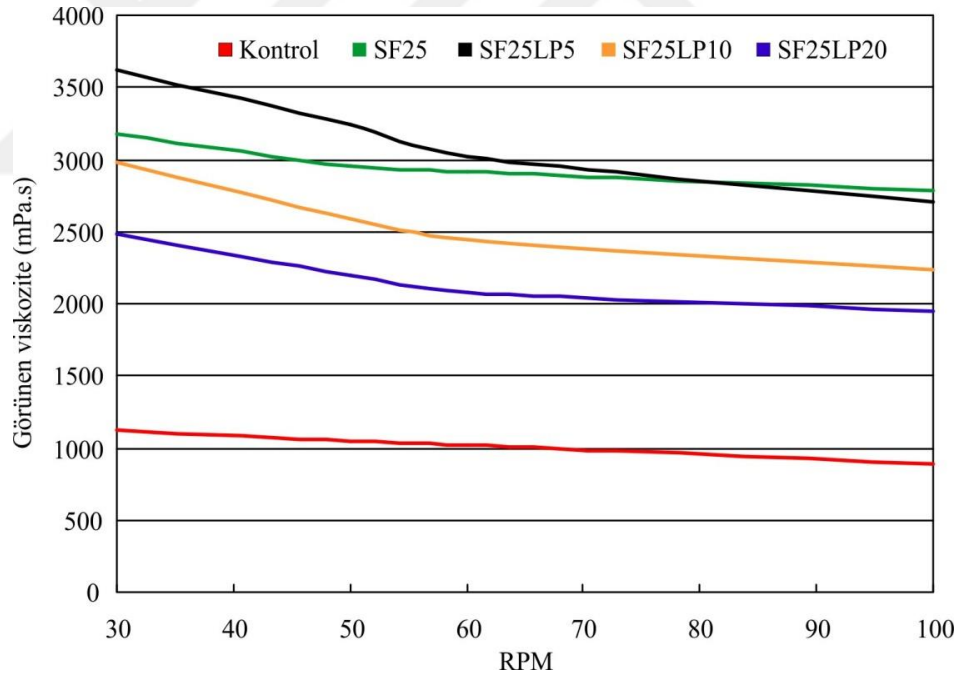


Şekil 4.6 Taze harç karışımlarının birim ağırlıkları

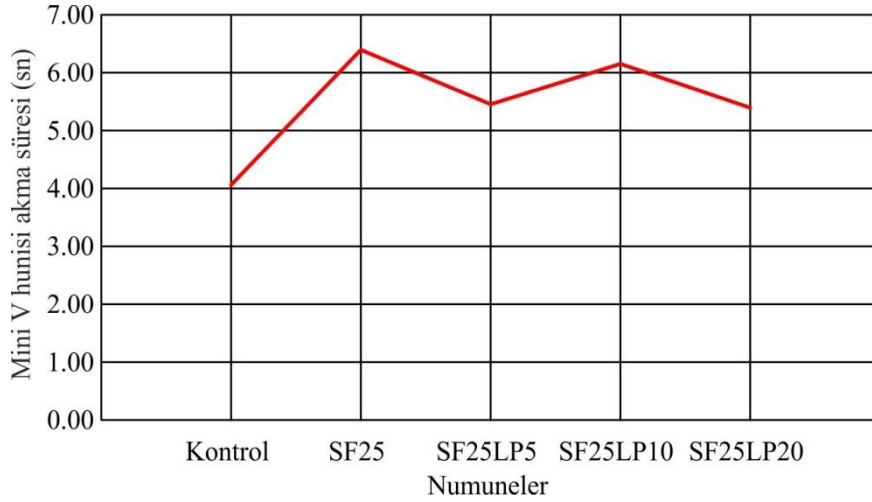
Şekil 4.7’de, taze harç karışımlardaki standart ucun dakikadaki dönüş sayısı (RPM) ve bu dönüş sayılarına karşılık gelen görünen viskozite değerleri gösterilmiştir. Çok düşük devirlerde viskozite ile RPM arasındaki ilişki stabil olmadığından, RPM 30’dan sonraki kısım değerlendirmeye alınmış, yani başlangıç kısmı ihmal edilerek Şekil 4.8 verilmiştir. Şekil 4.8’de görüldüğü gibi, Kontrol numunesinin viskozitesi en düşük olurken, SF25 ve SF25LP5 karışımlarının en yüksek olmuştur. Buradan şu sonuç ortaya çıkmaktadır ki, silis dumanı içeren harçlara % 5 kalker tozu ilavesinin reolojik özelliklerin iyileşmesine, yani viskozitenin azalmasına herhangi bir olumlu katkısı olmamıştır. Ancak silis dumanlı karışıma % 10 ve % 20 kalker tozu ilavesinde, artan kalker tozu miktarına bağlı olarak viskozite değeri de azalmıştır. Burada elde edilen sonuçlar, Vikan ve Justnes (2007) tarafından yapılan çalışmada, kalker tozu miktarı arttıkça karışımların viskozite değerleri azaldığını belirtmişlerdir. Burada da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bu kısımda gözden kaçırılmaması gereken bir diğer durumda şudur; Çizelge 3.3’de verildiği gibi, SF25, SF25LP5, SF25LP10 ve SF25LP20 karışımlarındaki su/binder oranları aynı olmasına rağmen, süper akışkanlaştırıcı miktarı sabit kalmıştır. Hâlbuki toz malzeme miktarı arttıkça, süper akışkanlaştırıcı miktarının da artması gereklidir. Yine, Vikan ve Justnes (2007) tarafından yapılan çalışmada, kalker tozunun, çimento tanelerini silis dumanından daha etkili bir şekilde dağıttığı sonucuna varmışlardı. Benzer durum bu çalışmada da görülmüştür. Şekil 4.9’da karışımların mini V hunisi akma süreleri gösterilmiştir. Elde edilen test sonuçları, kalker tozunun viskoziteyi azalttığını göstermiştir.



Şekil 4.7. Viskozite ile RPM ilişkisi



Şekil 4.8 RPM 30 ile viskozite arasındaki ilişki



Şekil 4.9. Karışımların mini V hunisi akma süreleri

4.2. Sertleşmiş Harç Testleri

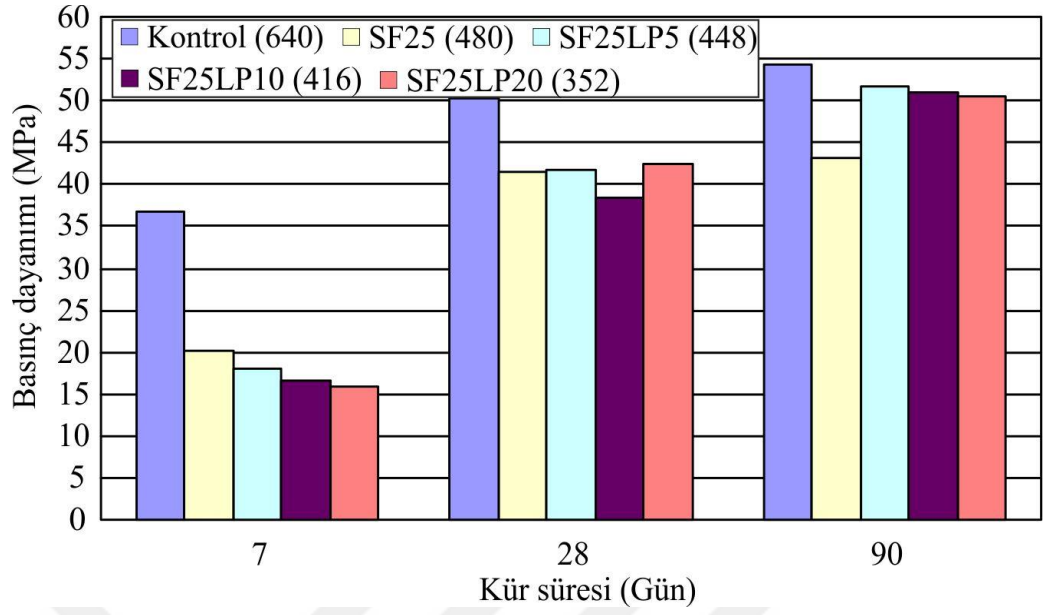
4.2.1. Basınç Dayanımı

Şekil 4.10'da, numunelerin 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı değerlerinin değişimi gösterilmiştir. 7 günlük kür sonunda kırılan numunelerde, Kontrol numunesinin basınç dayanımı en büyük olmuştur. Mineral katkı içeren numunelerin basınç dayanımı değerleri, Kontrol numunesinin basınç dayanımının yarısından daha az olmuştur. Kontrol numunesinin 7. gündeki basınç dayanımı, 28. gündeki dayanımının %73'üne eşit olmuştur. Ancak silis dumanı ve silis dumanı/kalker tozu içeren numunelerde farklı bir durum oluşmuştur. Mineral katkı içeren numunelerin 7. gündeki basınç dayanımı değerleri, 28. gündeki dayanımlarının yarısından daha düşük olmuştur. Karışımdaki kalker tozu arttıkça, 7 günlük numunelerde basınç dayanımı azalmaktadır. Bu durum, kalker tozunun inert (puzolanik ya da bağlayıcı olmayan) bir malzeme olmasından kaynaklanmıştır.

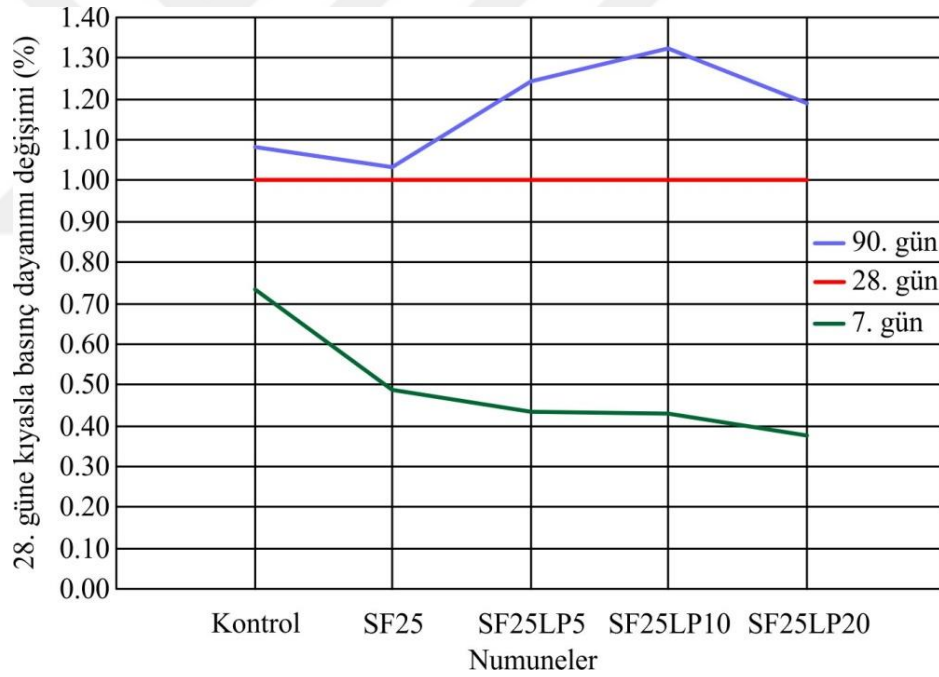
Şekil 4.11'de gösterildiği gibi, 28. günde mineral katkı içeren numunelerin basınç dayanımlarında, 7. güne kıyasla çok önemli miktarda artışlar gözlenmiştir. Bu arada, Kontrol numunesinin de basınç dayanımında artış meydana gelmiştir. Kontrol numunesinin basınç dayanımı değeri, mineral katkı içeren numunelerin basınç dayanımı değerlerinden daha büyük olmuştur. Ancak 28. gündeki Kontrol

numunesinin basınç dayanımı değeri ile mineral katkı içeren numunelerin basınç dayanımları arasındaki farklar, 7'nci gün ile kıyaslandığında azalmıştır. 90 günlük numunelerde, silis dumanı ve kalker tozu içeren numunelerin basınç dayanımı değerleri Kontrol numunesinin basınç dayanımı değerine yaklaşmıştır. 28. günden sonra, tüm numunelerin basınç dayanımlarında artışlar meydana gelmiş ve en önemli artış ise, SF25LP10 numunesinde olmuştur. SF25LP10 numunesindeki karışım oranlarının uygun olduğu görülmüştür. Kontrol numunesindeki karışımında 640 kg/m^3 çimento kullanılmasına karşın, SF25LP10 numunesindeki karışımında 416 kg/m^3 çimento kullanılmış ve Kontrol numunesinin basınç dayanımı değerine yaklaşmıştır.

Bu kısımda dikkat edilmesi gereken bir durum şudur; SF25 numunesinde, silis dumanının etkili bir şekilde basınç dayanımını artırması beklenmişti, ancak bu görülmedi. Karışımlar hazırlanırken ve kalıplara yerleştirilirken, SF25 karışımının aşırı derecede ayrışma yaptığı gözlenmişti. Çimento hamuru ve kum taneleri kalıbın alt kısımlarına çökmüş ve silis dumanı ile bir su üst kısımda toplanmıştı. Üst kısımda bir miktar da çimento vardı. Numunelerin kırılması esnasında, numunelerin sadece üst kısmının kırıldığı gözlenmişti. Bu durum şunu göstermektedir. SF25 haricindeki numunelerde kalker tozu kullanılarak oluşturulan karışımlar homojen duruma getirilmiş ancak silis dumanı içeren SF25 numunesinde çimento ve silis dumanı, karışım içerisinde homojen bir şekilde dağılmamıştır. Bu durumlar basınç dayanımlarına iyi ya da kötü yönden yansımıştır.



Şekil 4.10. Basınç dayanımı değerleri



Şekil 4.11. 28. güne kıyasla basınç dayanımı değişimi

4.2.2. Normal, Kılcal Su Emme ve Birim Ağırlık

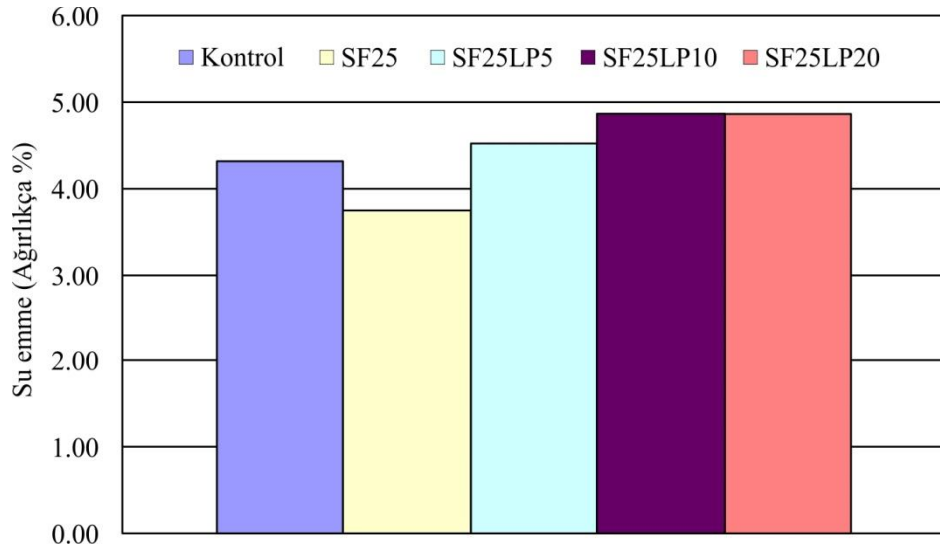
Şekil 4.12’de, numunelerin ağırlıkça su emme değerleri gösterilmektedir. SF25 numunesindeki su emme değeri en düşük olmuştur. Ancak, kalker tozu içeren

numunelerdeki su emme değerleri bir miktar artmıştır. Bu durum, kalker tozunun gözenekli yapısından kaynaklanmıştır.

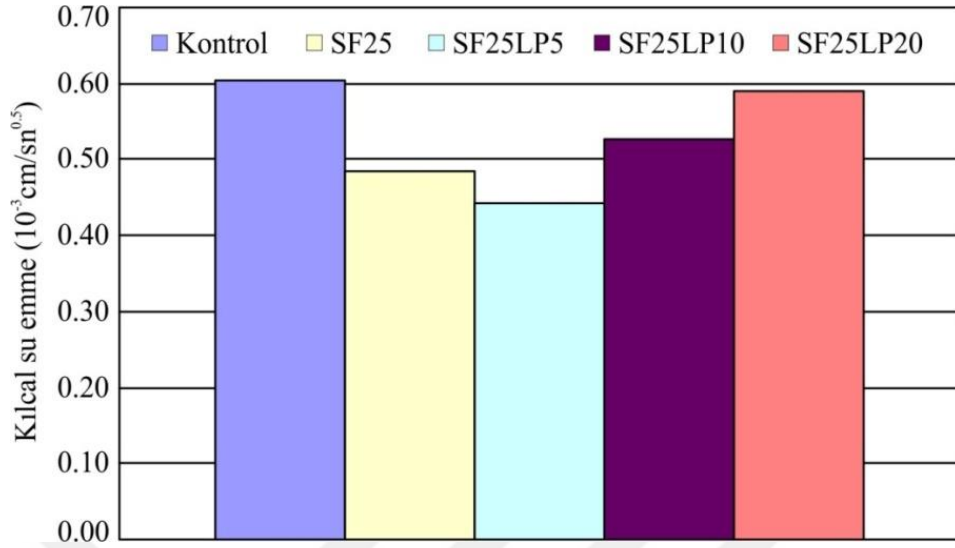
Valcuende ve ark. (2012), kalker tozunun KYB’ da daha ince boşluklu bir yapı oluşturduğunu, toplam boşluk yüzeyi alanını artırdığını ve böylece daha büyük kapiler kuvvetler oluştuğunu belirtmişlerdir.

Şekil 4.13’te numunelerin kılcal su emme değerleri gösterilmektedir. SF25LP5 numunesindeki kılcal su emme değeri en az olmuştur. Ancak, diğer kalkerli numunelerde kılcal su emme değerleri artmıştır. Bharatkumar ve ark. (2001), üretmiş oldukları yüksek performanslı betonların kılcal su emme değerleri $0.62 \times 10^{-3} \text{ cm/s}^{0.5}$ ile $1.47 \times 10^{-3} \text{ cm/s}^{0.5}$ arasında değişmiştir. Taşdemir (2003) tarafından, kalker tozu, silis dumanı, taş tozu ve uçucu küllerden üretilmiş betonların kılcal su emme değerleri $0.46 \times 10^{-3} \text{ cm/s}^{0.5}$ ile $0.77 \times 10^{-3} \text{ cm/s}^{0.5}$ arasında değişmiştir. Bu çalışmada üretilen numunelerin en büyük kılcal su emme değeri $0.60 \times 10^{-3} \text{ cm/s}^{0.5}$ en küçüğü ise, $0.45 \times 10^{-3} \text{ cm/s}^{0.5}$ olmuştur.

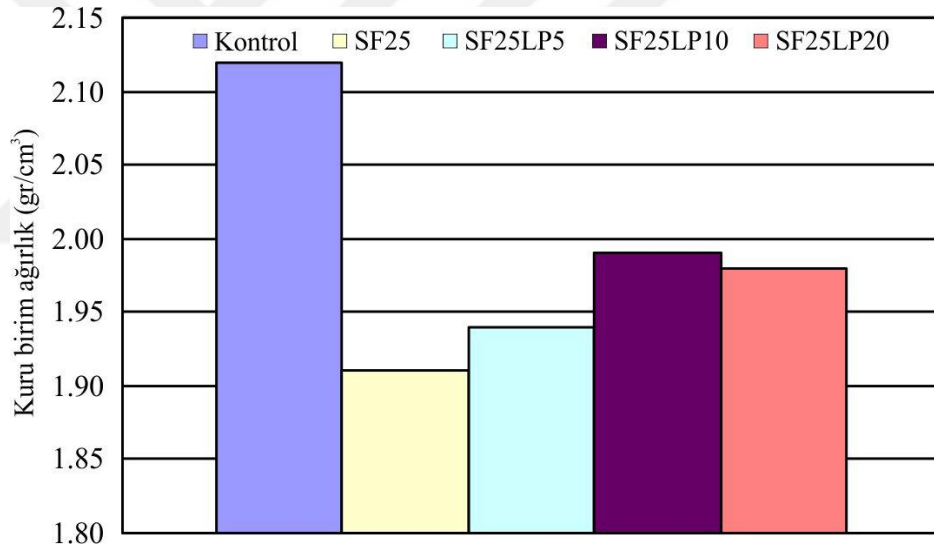
Numunelerin kuru birim ağırlık değerleri Şekil 4.14’te gösterilmektedir. Taze karışımların birim ağırlıklarındaki durumun aynısı, burada da geçerli olmuştur.



Şekil 4.12. Numunelerin ağırlıkça su emme sonuçları



Şekil 4.13. Numunelerin kılcal su emme sonuçları



Şekil 4.14. Numunelerin kuru birim ağırlığı

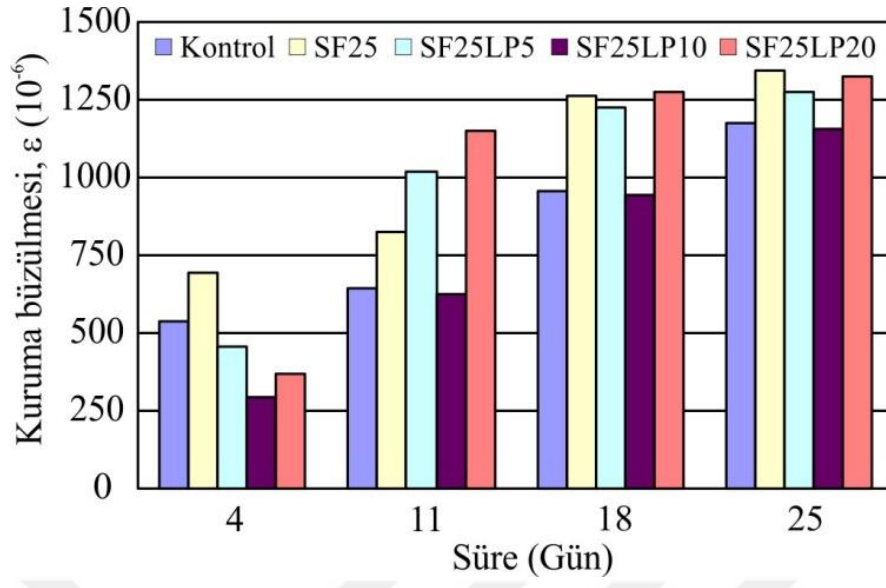
4.2.3. Kuruma Büzülmesi

Şekil 4.15'te, numunelerin 4, 11, 18. ve 25. günlerdeki kuruma büzülmesi değerleri gösterilmektedir. Kalker tozu içeren numunelerin 4. günde kuruma büzülmesi küçük olurken, SF25 numunesinin kuruma büzülmesi en büyük olmuştur. Kontrol numunesinin büzülmesi, SF25 numunesine kıyasla daha az olmuştur. Tüm numunelerin kuruma büzülmesi hızı zamanla azalmıştır. Silis dumanlı numunelerdeki büzülme hızının yavaşlaması, kontrol numunesinden daha belirgin

olmuştur. Kontrol numunesinin tüm zamanlardaki büzülmesi, diğer numunelerden daha az olmuştur.

Setter ve Roy (1978); Vagelis ve ark. (1992); Rao (1998), silis dumanın kuruma büzülmesini önemli derecede artırdığını belirtmiştir. Silis dumanın ileriki yaşlarda büzülmesine pek bir etkisi olmamakla birlikte, erken yaşlarda kuruma büzülmesini önemli derecede artırdığı bildirmişlerdir. Erken yaşlarda kuruma büzülmesi miktarının büyük olmasının nedeni, puzolanik etkinin erken yaşlarda başlaması olduğu ileri sürülmüştür. Çünkü silis dumanı ile Portland çimentosunun hidratasyon ürünlerinden CH arasındaki reaksiyonunda C-S-H ürünü oluşmaktadır. Kuruma büzülmesinin nedenlerinden birisi de, C-S-H jelleri üzerindeki yüzey geriliminden kaynaklanan gerilmelerdir. Şekil 4.15'te görüldüğü gibi, tüm zamanlarda SF25LP10 numunesinin kuruma büzülmesi, diğer numunelerin kuruma büzülmesinden daha az olmuştur.

Bui ve Montgomery (1999) ile Klug ve Holschemacher (2003), kalker tozunun büzülme üzerine etkisinin, kalker tozunun inceliğiyle ilgili olduğunu belirtmişlerdir. Kalker tozunun inceliğinin, çimentonun inceliğinden daha büyük olması durumunda meydana gelen çimento hamurunun mikro-yapısının yoğunluğunun arttığını ve bu durumda büzülmenin azaldığını belirtmişlerdir. SF25LP10 numunesinin taze ve sertleşmiş birim ağırlık değerleri, kalker tozu içeren diğer numunelerden daha büyük olmuştur. Aynı numunenin kuruma büzülmesi değeri de, kalker tozu içeren diğer numunelerden daha küçük olmuştur. Bu durum, SF25LP10 numunesinin daha yoğun bir yapıya sahip olmasından kaynaklanmıştır. Ancak kalker tozu kullanıldığında, büzülme miktarındaki azalmanın çok az olduğunu ileri sürmüşlerdir. Söz konusu çalışmalar, bu çalışmada elde edilen sonuçları desteklemiştir.



Şekil 4.15. Numunelerin kuruma büzülme değerleri

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

Portland çimentosu ile silis dumanın ağırlıkça % 15'den daha fazla yer değiştirmesi durumunda, KB'larda ve KYB'da ayrışma problemleri ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada, Portland çimentosu ile silis dumanı ağırlıkça % 25 oranında yer değiştirilmiştir. Salt Portland çimentosu ve silis dumanı içeren harçlarda çok aşırı derecede ayrışma meydana gelmiştir. Kalker tozlu harç karışımlarında, Portland çimentosu ve silis dumanı içeren karışım içerisinde Portland çimentosunun ağırlığının sırasıyla % 5, 10 ve 20'si kadar kalker tozu katılmıştır. % 5 kalker tozlu harç numunesinde ayrışma biraz iyileşmiş, ancak % 10 ve 20 kalker tozu içeren numunelerde hiçbir ayrışma görülmemiştir.

Reolojik ölçümler sonucunda, Portland çimentosu-silis dumanı karışımının viskozitesinin yüksek olduğu görülmüştür. Portland çimentosu-silis dumanı karışımı içerisinde ağırlıkça % 5 kalker tozu katılmasının viskoziteye herhangi bir etkisi gözlenmemesine rağmen, ağırlıkça % 10 ve 20 kalker tozlu karışımlarda viskoziteler azalmıştır. % 20 kalker tozlu karışımın viskozitesi daha düşük olmuştur.

Aynı su/binder oranında, harç karışımları içerisindeki toz malzeme miktarı artmasına rağmen (silis dumanı + kalker tozu), silis dumanı-kalker tozu harç karışımlarındaki süper akışkanlaştırıcı miktarı sabit kalmıştır.

Silis dumanı-kalker tozu mineral katkılarının çimento ile ağırlıkça yer değiştirmeleri sırasıyla, % 30, 35 ve 45 olmasına rağmen, kalker tozlu karışımların taze birim ağırlık değerlerinde artma meydana gelmiştir. Portland çimentosunun yoğunluk değerinin, kalker tozununkinden daha büyük olması nedeniyle, kalker tozlu karışımların birim ağırlıklarının azalması beklenmişti. Bu durum, kalker tozunun daha iri olan Portland çimentosu tanelerinin arasını doldurarak iyi bir paketleme yapmasından kaynaklanmıştır.

Portland çimentosu-silis dumanı harç numunesinin basınç dayanımı, meydana gelen aşırı ayrışma nedeniyle azalmıştır. Ancak Portland çimentosu-silis dumanı karışımlarında kalker tozu kullanılması, kalker tozlu harçlarda silis dumanının homojen bir şekilde dağılmasını sağlamıştır. Bu durumda, silis dumanının pozolanik etkisi nedeniyle, Portland çimentosu miktarı azalmasına rağmen basınç dayanımları artmış ve Kontrol numunesinin basınç dayanımına yaklaşmıştır.

KYH’larda kalker tozu kullanılması normal ve kılcal su emmeyi olumsuz bir şekilde etkilememiştir. Elde edilen normal ve kılcal su emme değerleri, yüksek performanslı ya da yüksek dayanımlı betonları değerlerine yaklaşık olarak eşit olmuştur.

Kalker tozunun kuruma büzülmesine olumlu katkısı çok az olmuştur.

Yapılan bu harçla barajlarda oluşan çatlaklar, kolon ve kirişlerde oluşan betonun giremediği boşluklara uygun bir malzeme olarak kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- AYANO, T., K. SAKATA , and A. OGAWA. 1995, Mixture Proportioning for Highly-Flowable Concrete Incorporating Limestone Powder. Special Publication, 153: 249-268.
- BARNES, H. A., HUTTON, and JOHN F., 1989. WALTERS, Kenneth. An introduction to rheology. Elsevier.
- BAYASI, Z, and ZHOU, J, 1993. Properties of silica fume concrete and mortar. Materials Journal, 90(4): 349-356.
- BELARIBI, N., PONS G., and PERRIN B., 1997. Delayed behaviour of concrete: influence of additions and aggregate characteristics in relation to moisture variations. Cement and concrete research, 27(9): 1429-1438.
- BENSTED, J., 1980. Some hydration investigations involving portland cement-effect of calcium carbonate substitution of gypsum . World Cement Technology, 11(8).
- BENSTED, J., 1983. Further hydration investigations involving Portland cement and the substitution of limestone for gypsum. World cement, 14(10): 383-392.
- BHARATKUMAR, B. H., 2001. Mix proportioning of high performance concrete. February.
- BILLBERG, P., 1999. Energy modified cement in SCC. In: International RILEM symposium on self-compacting concrete, p. 591-602.
- BILLBERG, P., 1999. Fine mortar rheology in mix design of SCC. In: 1 st International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, 13-14 September, Stockholm, Sweden. p. 47-58.
- BOBROWSKI, G. S., WILSON, J. L., and DAUGHERTY, K. E., 1977. Limestone substitutes for gypsum as a cement ingredient. Rock Products, 8(2):64-67.
- BOMBLED, J. P., 1986. Rhéologie du béton frais: Influence de l'ajout de fillers aux ciments. In: Proc. 8th. International Congress on the Chemistry of Cement, Rio de Janeiro, p. 190-196.
- BONAVETTI, V., 2000. Influence of initial curing on the properties of concrete containing limestone blended cement. Cement and Concrete Research, May 2000, 30(5): 703-708.
- BONAVETTI, V., L., RAHHAL, V. F., and IRASSAR, E. F., 2001. Studies on the carboaluminate formation in limestone filler-blended cements. Cement and Concrete Research, May 2001, 31(6): 853-859.
- BOSILJKOV, V. B., 2003. SCC mixes with poorly graded aggregate and high volume of limestone filler. Cement and Concrete Research, September 2003, 33(9): 1279-1286.
- BROOKBANKS, P., 1989. Properties of fresh concrete, Performance of Limestone Filled Cements. In: Proc. BRE/BCA Seminar, Garston, p. 4(1): 4-15. Cement and Concrete Composites, 23(1): 71-80.
- CHENG-YI, H., FELDMAN, and R. F., 1985. Hydration reactions in Portland cement-silica fume blends. Cement and Concrete Research, July 1985, 15(4): 585-592.

- COCHET, G., and SORRENTINO, F., 1933. Limestone filled cements: Properties and uses. *Mineral admixtures in cement and concrete*, 4: 266-295.
- COHEN, M. D., 1990. A look at silica fume and its actions in Portland cement concrete. *The Indian Concrete Journal*, 64(9): 429-438.
- COHEN, M. D., and KLITSIKAS, M., 1986. Mechanisms of hydration and strength developments in Portland cement composites containing silica fume particles. Northeastern University.
- EFNARC, F., 2002. Specification and guidelines for self-compacting concrete. European Federation of National Associations Representing producers and applicators of specialist building products for Concrete (EFNARC), February, 32: 31.
- ESCADEILLAS, G., 1988. Les ciments aux fillers calcaires: Contribution a leur optimisation par l'étude des propriétés mécaniques et physiques des bétons fillérisés, PhD Thesis. Toulouse 3.
- FELDMAN, Rolf F., and CHENG-YI, 1985. Huang. Properties of Portland cement-silica fume pastes II. Mechanical properties. *Cement and Concrete Research*, November 1985, 15(6): 943-952.
- FELEKOGLU, Burak, 2007. Utilisation of high volumes of limestone quarry wastes in concrete industry (self-compacting concrete case). *Resources, Conservation and Recycling*, October 2007, 51(4): 770-791.
- FELEKOĞLU, Burak, 2006. The effect of fly ash and limestone fillers on the viscosity and compressive strength of self-compacting repair mortars. *Cement and concrete research*, September 2006, 36(9): 1719-1726.
- GHEZAL, A., KHAYAT, and Kamal H., 2002. Optimizing self-consolidating concrete with limestone filler by using statistical factorial design methods. *Materials Journal*, May-June 2002, 99(3): 264-272.
- GHEZAL, A., 1999. Modélisation statistique du comportement des bétons autoplaçants & optimisation, PhD Thesis. Université de Sherbrooke.
- HAYAKAWA, M., MATSUOKA, Y., and SHINDOH, T., 1994. Development and application of super workable concrete. In: *RILEM PROCEEDINGS. CHAPMAN & HALL*, p. 183-183.
- HWANG, C.-L., and YOUNG, J. F., 1984. Drying shrinkage of portland cement pastes I. Microcracking during drying. *Cement and Concrete Research*, July 1984, 14(4): 585-594.
- KHAYAT, K., H., and GUIZANI, Z., 1997. Use of viscosity-modifying admixture to enhance stability of fluid concrete. *Materials Journal*, July-August 1997, 94(4): 332-340.
- KHAYAT, K., HU, C., and MONTY, H., 1999. Stability of self-consolidating concrete, advantages, and potential applications. In: *Self-Compacting Concrete: Proceedings of the First International RILEM Symposium*, 13-14 September, Stockholm, Sweden, p. 143-152.
- KLUG, Y., and HOLSCHEMACHER, K., 2003. Comparison of the hardened properties of self-compacting and normal vibrated concrete. In: *3rd RILEM symposium on self compacting concrete*, Reykjavik, p. 596-605.
- LARBI, J. A., FRAAY, A. L. A., and BIJEN, J. M., 1990. The chemistry of the pore fluid of silica fume-blended cement systems. *Cement and Concrete Research*, July 1990, 20(4): 506-516.

- LARBI, J. A., and BIJEN, J. M., 1990. Orientation of calcium hydroxide at the Portland cement paste-aggregate interface in mortars in the presence of silica fume: A contribution. *Cement and Concrete Research*, May 1990, 20(3): 461-470.
- NEGRO, A., ABBIATI, G., and CUSSINO, L., 1986. On the use of limestone to control cement setting. In: *Proceedings*, p. 109.
- NEHDI, M., 2000. Why some carbonate fillers cause rapid increases of viscosity in dispersed cement-based materials. *Cement and concrete Research*, October 2000, 30(10): 1663-1669.
- NEHDI, M., MINDESS, S., and AITCIN, P.C., 1997. Statistical modelling of the microfiller effect on the rheology of composite cement pastes. *Advances in Cement Research*, 9(33): 37-46.
- NEHDI, M., MINDESS, S., and AITCIN, P.C., 1998. Rheology of high-performance concrete: effect of ultrafine particles. *Cement and Concrete Research*, 28(5): 687-697.
- NEHDI, M., and MINDESS, S., 2001. Microfiller partial substitution for cement. *Materials Science of Concrete VI*. American Ceramic Society, Inc, 735 Ceramic Place, Westerville, OH 43081, USA, 513-574.
- NETO, C., S., and CAMPITELI, V. C., 1990. The influence of limestone additions on the rheological properties and water retention value of Portland cement slurries. In: *Carbonate additions to cement*. ASTM International.
- NEVILLE, A.M., 1996. *Properties of Concrete*, 4th ed., ELBS and Longman, Malaysia.
- OH, S. G., NOGUCHI, T., and TOMOSAWA, F. 1999. Toward mix design for rheology of self-compacting concrete. In: *proc. of First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete* (eds. Skarendahl, Å. and Peterson, O.), 13-14 September, Stockholm, Sweden, p. 361-372.
- PAPADAKIS, V., G., FARDIS, M., and VAYENAS, Costas G., 1992. Hydration and carbonation of pozzolanic cements. *Materials Journal*, 89(2): 119-130.
- PENTTI, G., 1999. Properties of SCC-especially early age and long term shrinkage and salt frost resistance. In: *Proceedings of the 1 st International Rilem Symposium on Self-compacting Concrete*, Stockholm, Sweden. Rilem, Bagnaux, France, 13-14 September, p. 211-225.
- PÉRA, J., HUSSON, S., and GUILHOT, B., 1999. Influence of finely ground limestone on cement hydration. *Cement and Concrete Composites*, 21(2): 99-105.
- PERSSON, B., 2001. A comparison between mechanical properties of self-compacting concrete and the corresponding properties of normal concrete. *Cement and concrete Research*, 31(2): 193-198.
- PETERSSON, O., 2001. Limestone powder as filler in self-compacting concrete-frost resistance and compressive strength. In: *Proceeding of 2nd International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete*, Tokyo, Japan. p. 277-284.
- RAO, G. A., 1998. Influence of silica fume replacement of cement on expansion and drying shrinkage. *Cement and concrete research*, 28(10): 1505-1509.

- RAO, G. A., 2003. Investigations on the performance of silica fume-incorporated cement pastes and mortars. *Cement and Concrete Research*, 33(11): 1765-1770.
- ROLS, S., AMBROISE, J., and PERA, J., 1999. Effects of different viscosity agents on the properties of self-leveling concrete. *Cement and Concrete Research*, 29(2): 261-266.
- SARI, M., PRAT, E., and LABASTIRE, J.F., 1999. High strength self-compacting concrete original solutions associating organic and inorganic admixtures. *Cement and concrete research*, 29(6): 813-818.
- SETTER, N., and ROY, D., M., 1978. Mechanical features of chemical shrinkage of cement paste. *Cement and Concrete Research*, 8(5): 623-634.
- SKARENDAHL, Å., and PETERSSON, Ö., 2000. Report 23: Self-Compacting Concrete State of the Art Report of Rilem Technical Committee 174-177 SCC. RILEM publications.
- SONERBI, M., 2000. Task 4-properties of hardened concrete, Final report, Brite EuRam Project No. BE96-3801. Contact BRPR-CT96-0366.
- SPRUNG, S., and SIEBEL, E., 1991. Assessment of the suitability of limestone for producing Portland limestone cement. ZKG International, Edition B, 44(1): 1-11.
- TASDEMIR, C., 2003. Combined effects of mineral admixtures and curing conditions on the sorptivity coefficient of concrete. *cement and concrete research*, 33(10): 1637-1642.
- TRAGARDH, J., 1999. Microstructural features and related properties of self-compacting concrete. In: *Self-Compacting Concrete: Proceedings of the First International RILEM Symposium held in Stockholm, 13-14 September*, p. 175-186.
- VALCUENDE, M., 2012. Influence of limestone filler and viscosity-modifying admixture on the shrinkage of self-compacting concrete. *Cement and Concrete Research*, 42(4): 583-592.
- VAN KHANH, B., and MONTGOMERY, , 1999. Drying shrinkage of self-compacting concrete containing milled limestone. In: *International RILEM symposium on self-compacting concrete, Stockholm, 13-14 September*, p. 227-238.
- VIKAN, H., and JUSTNES, H., 2007. Rheology of cementitious paste with silica fume or limestone. *Cement and Concrete Research*, 37(11): 1512-1517.
- YE, G., 2007. Influence of limestone powder used as filler in SCC on hydration and microstructure of cement pastes. *Cement and Concrete Composites*, 29(2): 94-102.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Abdullah ÖĞRETMEN
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Merkez / ŞANLIURFA - 1992
Telefon : 0532 174 85 96
Faks : -
e-mail : abduallahogretmen63@gmail.com

EĞİTİM

DERECE	Adı,İlçe,İl	Bitirme Yılı
Lise	: Şanlıurfa Mehmet Güneş Anadolu Öğretmen Lisesi	2010
Üniversite	:Harran Üniversitesi Merkez/ŞANLIURFA	2015

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2015	Atlasyol Yapı	Şantiye Şefi
2016	İnci Yapı	Firma Sahibi

UZMANLIK ALANI: Yapı Malzemesi

YABANCI DİLLER

İngilizce