

T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARDA
SİLİS DUMANI KULLANIMININ, BETON BASINÇ
DAYANIMINA VE ADERANSA ETKİLERİ**

Ahmet KEÇECİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz - 2018
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Ahmet Keçeci tarafından hazırlanan “**Kendiliğinden yerleşen betonlarda silis dumanı kullanımının beton basınç dayanımına ve aderansa etkileri**” adlı tez çalışması **04.07.2018** tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Ülkü Sultan KESKİN

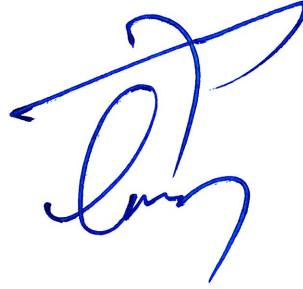
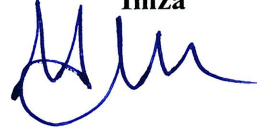
Danışman

Prof. Dr. Mehmet KAMANLI

Üye

Dr. Öğr. Üyesi S. Kamil AKIN

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Yakup KARA
Lisansüstü Eğitim Bilimleri Enstitüsü
Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Ahmet KEÇECİ

04/07/2018



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARDA SİLİS DUMANI KULLANIMININ BETON BASINÇ DAYANIMINA VE ADERANSA ETKİLERİ

Ahmet KEÇECİ

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Mehmet KAMANLI

2018, 70 Sayfa

Jüri

**Prof.Dr. Mehmet KAMANLI
Prof.Dr. Ülkü Sultan KESKİN
Dr. Öğr.Üyesi S. Kamil AKIN**

Kendiliğinden Yerleşen Beton, yapısı itibarı ile kendi ağırlığı altında yerleşebilen, vibratör kullanılmadan sıkışabilen, içerisindeki hava boşluğunu atarak uygulama kolaylığı sağlayan en ulaşılmaz noktalarda kalıba uyum sağlayabilen akıcı kıvamlı bir beton türüdür. Günümüz gelişen teknolojisi ile birlikte kendiliğinden yerleşen beton gibi özel beton türlerinin üretimi ve kullanımı oldukça yaygın hale gelmiş ve bu yönde çeşitli çalışmalar yapılarak, birçok mineral ve kimyasal katkı maddeleri geliştirilmiştir. Bu çalışmada kendiliğinden yerleşen betonun özelliklerini oluşturan mineral katkılardan olan silis dumanının, beton basınç dayanımına ve aderansa etkileri incelenmiştir. Silis dumanının beton basınç dayanımına ve aderansa olan etkileri deneysel çalışma ile desteklenmiştir. Deney sonucunda, basınç dayanımı için optimum silis oranı %15 olarak elde edilmiştir. Çekip çıkarma deneyleri sonuçlarında ise silis dumanı kullanımı etki göstermemiştir.

Anahtar Kelimeler: Aderans, Basınç Dayanımı, Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB), Silis Dumanı.

ABSTRACT

MS THESIS

THE USE OF SILICA FUME IN SELF-COMPACTING CONCRETES AFFECTS THE CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH AND ADHERENCE

Ahmet KECECI

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
KONYA TECHNICAL UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN CIVIL ENGINEERING**

Advisor : Prof. Dr. Mehmet KAMANLI

2018, 70 Pages

Jury

**Prof. Dr. Mehmet KAMANLI
Prof.Dr. Ülkü Sultan KESKİN
Asst. Prof. S. Kamil AKIN**

Self-locating Concrete is a kind of concrete that can be placed under its own weight under its own weight, can be compressed without using a vibrator, it can adapt to the most inaccessible points providing ease of application by throwing air in it. With today's developing technology, the production and use of special concrete types such as self-compacting concrete has become very common and many studies have been made in this direction and many mineral and chemical additives have been developed. In this study, the effects of silica smoke, concrete pressure resistance and adherence effects of mineral admixtures which are the properties of self-compacting concrete were investigated. The effects of silica smoke on the compressive strength and adherence of concrete were supported by experimental study. As a result of the experiment, the optimum silica ratio for compressive strength was obtained as %15. The use of silica fume was not effective in the extraction tests.

Keywords: Adherence, Pressure resistance, Self- Compacting Concrete (SCC), Silica Fume.

ÖNSÖZ

Yapı malzemesi olarak üretilen betonlar, taşıyıcı sistem elemanlarının oluşturulmasında ilk sırada öneme sahip yapı malzemeleridir. Güvenli, sağlam ve sağlıklı yapılar oluşturabilmek için, mutlaka yüksek basınç dayanımlı betonlar üretmek kaçınılmazdır. İlerleyen teknoloji ile birlikte, standart dökme betonların yanısıra, daha yüksek başarımlı (dayanımlı) beton türleri de üretilmeye başlanmıştır.

Bu yüksek dayanımlı betonlardan biri de kendiliğinden yerleşen betonlardır. Bu tür betonların geliştirilmesi için yapılan çok sayıda laboratuvar çalışması sonucunda, betondan en iyi verimi elde edebilmek amacıyla kimyasal ve mineral katkıları geliştirilmiştir.

Bu çalışmada mineral katkı olarak kullanılan silis dumanının, özel beton türlerinden olan kendiliğinden yerleşen betonlarda aderansa olan etkileri incelenmiştir. Bahse konu olan etkileri ortaya çıkarmak adına deneysel çalışma ile desteklenmiştir. Yapılan bu deneysel çalışmada, çimento oranları sabit tutularak ilk olarak silis dumanı kullanılmadan referans beton numuneleri elde edilmiştir.

Kendiliğinden yerleşen beton özelliklerini sağlamak amacı ile klasik üretim betonların dışında hiperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Yine beton özelliklerini sağlamak amacı ile dane çapı 0/4 ile 4/11,2 mm arasında değişen iki farklı agrega kullanılmıştır.

Referans numuneler haricinde, çimento miktarı sabit tutularak, çimento oranının %10'u, %15'i, %20'si ve %25'i oranlarında silis dumanı eklenerek toplamda, 7 ve 28 günlük değerlerini elde edebilmek için, 16 adet beton numunesi elde edilmiştir. Referans numuneler ile birlikte toplam 20 adet beton numunesi elde edilmiştir. Beton numunelerinin dökümü sırasında beton içerisinde aderansı ölçmek amacı ile 10 mm lik nervürlü çelik çubuk yerleştirilmiştir.

Elde edilen numunelerde yer alan 10 mm nervürlü çelik çubuklar, çekip çıkarma (pull-out) testine tabi tutulmuş ve sonuçlar incelenerek yorumlama yapılmıştır. Silis dumanının, kendiliğinden yerleşen betonlarda aderansa etkileri incelenmiştir.

Tez çalışmamın planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteklerini esirgemeyen,engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleri ile çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın danışman hocam, Prof. Dr. Mehmet KAMANLI'ya, deneysel çalışmalarında yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Ülkü Sultan KESKİN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ahmet KEÇECİ
KONYA-2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	10
3.1. Yapı Malzemesi Olarak Beton.....	10
3.2. Kendiliğinden Yerleşen Betonlar.....	11
3.3. Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Kullanılan Katkılar.....	13
3.3.1. Kimyasal katkılar	14
3.3.2. Mineral katkılar.....	15
3.4. Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Kullanılan Deneysel Yöntemler	20
3.4.1. Yayılma deneyi	20
3.4.2. V hunisi deneyi	21
3.4.3. L kutusu deneyi.....	22
3.4.4. U kutusu deneyi	23
3.4.5. Doldurma kutusu deneyi.....	25
3.5. Silis Dumanı	26
3.5.1. Silis dumanının taze beton özelliklerine etkisi	30
3.5.2. Silis dumanının sertleşmiş beton özelliklerine etkisi.....	31
3.6. Aderans	32
3.6.1. Basınç donatısının kenetlenmesi.....	37
3.6.2. Aderansın nedenleri ve çalışma bütünlüğü.....	37
4. DENEYSEL ÇALIŞMA VE DENEY SONUÇLARI	40
4.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemeler.....	42
4.1.1. Çimento.....	42
4.1.2. Silis dumanı	43
4.1.3. Agrega.....	44
4.1.4. Akışkanlaştırıcı	49
4.2. Deneyin Yapılışı	49
4.3. Deney Sonuçları.....	51
4.3.1. 7 Günlük sonuçlar.....	51
4.3.2. 28 Günlük sonuçlar.....	58
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	66
5.1. Sonuçlar.....	66
5.2. Öneriler.....	67
KAYNAKLAR	68
ÖZGEÇMİŞ	71



1. GİRİŞ

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte, kendiliğinden yerleşen betonlar gibi özel betonlar üretilmektedir. Özel betonlar sınıfına giren KYB, özelliklerini sağlamak amacıyla birçok katkı maddesi kullanılarak elde edilmektedir. Sözü geçen katkılar mineral ve kimyasal katkılar olarak sınıflandırılır.

Katkı maddesi kullanımının beton basınç dayanımına olumlu yönde etkisi olmakla beraber olumsuz etkileri de mevcuttur. Beton özelliklerinin etkilenmemesi için, üretim yapılan beton santrallerinde bulunan teknik ekip, katkı özellikleri ve kullanımı konusunda eğitilmiş olmalıdır.

Katkı maddesi kullanımının en uygun oranlarda olabilmesi için, üretim yapılan tesislerde deneysel çalışmalarla bu oranlar belirlenmelidir. Optimum oranlar aşıldığında, beton kalitesinin, basınç dayanımının, betonun fiziksel ve mekanik özelliklerinin olumsuz yönde etkileneceği açıktır (Keçeci, 2016).

Sürekli gelişen ve yeni teknolojilere açık olan inşaat sektöründe, taşıyıcı yapı elemanlarını oluşturmak için kullanılan betonlar büyük önem taşımaktadır. Bu tez çalışmasında, özel bir beton türü olan kendiliğinden yerleşen betonlarda kullanılan silis dumanı katkı maddesinin beton ile donatı arasındaki aderansı üzerindeki etkileri incelenecektir.

Mineral katkı maddesi olarak beton içerisinde kullanılan silis dumanı, yüksek sıcaklıkta kuvarsitin odun ve kömür parçalarına indirgenilmesi sonucu açığa çıkan atık maddedir. Puzolanik özelliğe sahip bu atık madde, beton içerisindeki boşluk miktarını en aza indirmek amacı ile kullanılır.

Son yıllarda inşaat sektöründe, beton içerisinde silis dumanı kullanımı oldukça yaygın hale gelmiştir. Bu duruma paralel olarak silis dumanı ile ilgili deneysel çalışmalar çeşitlenmiş ve ayrıntılı olarak incelenmeye başlanmıştır.

Kendiliğinden yerleşen betonların yüksek mukavemetli betonlar olmasında büyük pay sahibi olan silis dumanı, betondaki çimento oranını en aza indirerek, su/çimento oranını düşürür. Bu durum betonun yüksek mukavemetli olmasını sağlamaktadır. Diğer yandan segregasyon oluşumuna karşı, ayrışma direncini artırır ve daha düz yüzeyli (pürüzsüz) betonlar elde edilebilir.

Yapılan bu tez çalışmasında, silis dumanının beton içerisindeki boşluk oranını en aza indirmesi sonucu donatı ile arasında oluşabilecek aderans kuvveti incelenecektir.

Silis dumanının kendiliğinden yerleşen betonlarda aderans kuvvetine olan etkileri deneysel çalışma ile desteklenecektir.

Betonarme demiri ile betonun birbirleri içerisinde beraber çalışması, betonarmenin bilinen en önemli özelliğidir. Bu özelliğin oluşmasında en etkili unsur, beton ile betonarme çeliğinin ısı genleşme katsayılarının eşit olmasıdır. Bu özellik malzemeyi mükemmel yapar ve birlikte çalışmasını sağlar. Beton ile betonarme çeliğinin birlikte çalışmasında önemli olan bir diğer husus, bahse konu olan malzemeler arasındaki aderans kuvvetidir. Aderans kuvveti arttıkça, beton ile betonarme çeliğinin birbirinden ayrılması olasılığı bu kuvvete ters oranla azalır.

Beton ile donatı meydana gelen etkiler nedeniyle şekil değişimine uğrarlar. Bu sırada iki malzeme arasında gerilmelerin geçişi meydana gelir. Arada kayma kuvveti olmadan bu tür oluşabilecek gerilmelerin geçişinin ortaya çıkmasına **aderans** denir.

Aderans olayı betonarmenin en önemli faydalı özelliklerindendir. Bu suretle iki malzemenin beraberce kullanılması ve birbirini tamamlaması mümkün olur. Donatıda meydana gelen gerilme azalması ve çoğalması komşu beton bölgelerine gerilme geçişi ile meydana gelir. Bu durum düz yüzeyli çelik çubuklarda kayma gerilmelerinin doğrudan oluşmasıyla açıklanabilir.

Nervürlü çubuklarda ise geçişin nervür etrafında oluşan karmaşık bir gerilme durumunun bileşkesi olarak ortaya çıkan kayma gerilmeleri tarafından sağlandığı kabul edilebilir. Her iki durumda da ortaya çıkan kayma gerilmeleri aderans gerilmesi olarak isimlendirilir.

Yanal deprem kuvveti etkisi altında kalan betonarme yapılarda, sünek davranış beklenir. Sünek davranış için ideal donatı oranı kullanılmalı ve beton ile donatı arasındaki uyumun en üst seviyede olması beklenir. Yapıların taşıyıcı elemanlarında dengeli kırılma olması için tasarım yapılmalıdır. Kırılma esnasında sünek davranışın donatı tarafından karşılanması istenir. Donatı akma sınırına ulaştığı anda, betonun basınca maruz kalan bölgelerinde kırılma gözlemlenmelidir. Diğer taraftan aderansın mükemmel oluşu, betonun dayanımını iyi yönde etkilemekle birlikte istenilen plastik davranışı kısıtlamaya başlar.

Bu çalışma ile depreme dayanıklı betonarme yapı tasarımı için gerekli olan özelliklerin başında gelen aderans üzerinde ağırlıkla durulacaktır. Keçeci 2016, tarafından yapılan seminer çalışmasında gerçekleştirilen silis dumanı kullanımının kendiliğinden yerleşen betonlarda basınç dayanımına etkisi incelenmiştir. Çimento oranı sabit tutularak silis dumanı belirli oranlarda artırılmış ve beton basınç dayanımının artış

gösterdiği gözlemlenmiştir. Ancak bu artış çimento oranının % 15'i kadar kullanılan silis dumanı oranına kadar geçerli olmuştur. Bahsedilen oran aşıldığında beton basınç dayanımında azalma tespit edilmiştir.

Bu çalışmanın amacı kendiliğinden yerleşen betonlarda, silis dumanı kullanımının aderans için ideal oranını bulmaktır. Elde edilen deney sonuçları yorumlanarak, silis dumanının kendiliğinden yerleşen betonlarda aderansa etkileri ortaya çıkarılacaktır. Böylelikle, endüstriyel yan ürün olan, ferro krom tesislerinde atık malzeme olarak ortaya çıkan silis dumanının kullanımını yaygınlaştırmak ve beton teknolojisinde bu tür katkı maddelerinin geri dönüşümünü sağlamaktır.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Keçeci, A., (2016), yaptığı yüksek lisans seminer çalışmasında, kendiliğinden yerleşen betonlarda katkı maddesi olarak silis dumanı kullanmış, çimento miktarını sabit tutarak, çimento oranının % 15, %20 ve % 25'i oranlarında silis dumanı kullanmış ve beton basınç dayanımına etkilerini incelemiştir. Çalışma sonucunda silis dumanı en uygun oranı % 15 olarak belirlenmiş ve katkı kullanımının artması sonucu beton basınç dayanımında azalma tespit etmiştir.

Durmuş A., ve arkd. (2017), Eğilmede hafif beton-donatı aderansını incelemişlerdir. Geleneksel beton-donatı arasındaki aderans ile karşılaştırmalı olarak incelemişler ve hafif beton-donatı aderansının geleneksel beton-donatı aderansına göre daha düşük olduğunu göstermişlerdir.

Aruntaş ve Beycioğlu (2014), yaptıkları çalışmada, bazalt lifli donatının yüksek basırlı betonlarda olan aderans ilişkisini çelik donatı ile karşılaştırmalı olarak gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmada 28 gün sonunda 75,06 MPa ve 90 gün sonunda 79.84 MPa basınç dayanımı değerine ulaşan beton içerisinde, bazalt lifli yapay donatı ve çelik normal donatı kullanmışlardır. 20 ϕ çaplı kenetlenme boyu kullanılması durumunda bazalt lifli yapay donatının, referans olan çelik donatıda görüldüğü gibi 28 ve 90 gün sonunda betondan hiç sıyrılmadığını gözlemlemişlerdir.

Benli ve arkd. (2016), *“kendiliğinden yerleşen ve normal betondaki donatı aderans dayanımının deneysel ve sayısal olarak incelenmesi”* isimli çalışmalarında, 6 adet kiriş numunesi hazırlamışlar ve dört noktalı eğilmeye maruz bırakılarak test etmişlerdir. Deney sonuçlarını karşılaştırmak amacıyla aderans hesabı için sonlu eleman programı olan ANSYS kullanılarak da çözüm yapmışlardır. Her kirişte açıklık ortasında olacak şekilde bindirme ekli iki adet çekme donatısı yerleştirmişler ve kayma donatılı olarak tasarım yapmışlardır. Deney esnasında kirişlerin boyutları (s/ç ve çimento+silis dumanı) ve donatı çapı 16 mm olarak sabit tutulmuş, sadece değişken olarak beton tipi ele alınmıştır. Deneysel çalışma sonucunda kendiliğinden yerleşen beton ile oluşturulan numunelerde göçme yükserinde daha az fark olduğu görülmüştür.

Sungur I. (2009), yaptığı yüksek lisans tezinde aderans dayanımını çimento bazlı harçlar üzerinden incelemiştir. Aderans dayanımının yanısıra betonun durabilitesine ve ortam koşullarının etkileri üzerine çalışma yapılmıştır. Aderans dayanımı için kabul görülen 5 ayrı teoriyi açıklamış daha sonra aderansı etkileyen unsurlardan olan ıslanma ve yüzey işlemleri üzerinde durmuştur.

Topçu, İ., B., Canbaz, M., (2002), “*silis dumanlı betonların ara yüzeylerinin incelenmesi*” çalışmalarında, endüstriyel atık olarak bilinen silis dumanı ve süperakışkanlaştırıcılar kullanarak iki farklı çimento türü ile beton numunesi elde etmişler ve yaptıkları deneylerle betonun mekanik ve fiziksel özelliklerine etkilerini incelemişlerdir. Silis dumanının mikrofiber yapıda olması nedeniyle betonda yüksek derecede boşlukları doldurduğunu ve buna bağlı olarak düzenli bir harç yapısı oluşturduğunu bunun sonucunda ara yüzeylerde aderansın yüksek derecede sağlandığını tespit etmişlerdir.

Bingöl, A., F., ve Gül, R., (2009), “*donatı-beton aderansı, yüksek sıcaklıkların beton dayanımına ve adreransa etkileri konusunda bir derleme*” isimli çalışmalarında yüksek sıcaklıklardan sonra beton davranışını, aderansını ve yüksek sıcaklıklardan sonra beton-donatı aderansı literatür olarak incelenmiş ve genel olarak bir değerlendirme sunulmuştur.

Ezeldin ve Balaguru (1989), “*bond behavior of normal and high strenght fiber reinforced concrete*” isimli çalışmalarında betonda çimento yerine %20 oranına kadar silis dumanı kullanılmasının betonun çelikle olan aderansını artırdığını gözlemlemişlerdir.

Topçu, İ., B., Canbaz, M., (2007) “*silis dumanının betonda mekanik çatlak oluşumuna etkisi*” çalışmalarında silis dumanı kullanımının düzenli harç yapısı oluşturduğunu belirlemişler. Bunun sonucunda beton ara yüzeylerinde aderansın sağlandığını gözlemlemişlerdir.

Topçu, İ., B., Boğa, A., R., (2007), üç farklı çimento ile 300 ve 375 dozlu, katkısız ve mineral katkı olarak %10 ve %20 oranlarında uçucu kül katkısı kullanmışlar ve korozyon deneyleri uygulamışlardır. Deneyler sonucunda aderansın beton kalitesi ile ilgili olmadığını korozyon nedeniyle aderans kuvvetinin düştüğünü göstermişlerdir.

Durmuş, A., ve arkd. (2006), yüksek başarımli beton ile donatı aderanslarının karşılaştırılmalı olarak incelemesini yapmışlardır. Deneysel çalışmada düz ve nervürlü donatılar kullanmışlardır. Yüksek başarımli ve geleneksel yöntemlerle üretilen betonlar arasındaki aderansı eğilme deneyleri ile karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir.

Altan, F., (2013), sunduğu yüksek lisans tezinde, betona sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajların, aksenal çekme etkilerini incelemiş, mekanik özelliklere etkileri üzerinde durmuştur. Kimyasal ankrajların yeterli çap ve boyda kullanılması durumunda daha uygun sonuçlar alındığını görmüştür.

Appa Rao, G., (2007), “*Studies on the pull-out strength of ribbed bars in high-strength concrete*” isimli çalışmasında, farklı donatı çapları kullanmış (16 mm ve 20 mm) ve bu beton içine gömülmüş çelik çubukları sarmallar şeklinde birbirleri arasında sınıflandırmıştır. Çubuk çapı arttıkça sarmal bağ kuvvetinin de arttığını görmüştür. Dolayısıyla donatı çapının artmasının aderansı arttırdığı sonucuna ulaşmıştır.

Topçu, İ., B., Karakurt, C., (2015), “*betonarmede beton ve donatı arasındaki aderans dayanımına kür şartlarının etkisi*” isimli sempozyum çalışmalarında, üç seri beton ile hazırlanan en fazla agrega dane çapı 22 mm olacak şekilde, uçucu kül ve 20 mm çaplı donatı kullanarak numuneler elde etmişlerdir. %55-65 bağıl neme sahip dış ortamda ve standart kür havuzunda olmak üzere iki farklı kür ortamında 3,7 ve 28 günlük numunelere basınç ve aderans deneyleri uygulamışlardır. Deney sonucunda beton aderans dayanımının standart kür havuzunda bekletilen numunelerden en yüksek seviyede elde edilmiştir.

Coşkun, A., ve arkd. (2006), silis dumanı mineral katkılı beton ve nervürlü betonarme çeliği arasındaki aderans dayanımına yüksek sıcaklığın etkisini araştırmışlardır. Aderans deneyi için silindirik beton numuneleri elde etmişler 28 gün suda 270 gün normal hava şartlarında kür uyguladıktan sonra, numuneler 800 °C de yakılmış, aderans ve basınç deneyleri yapılmıştır. Yaptıkları deneyler sonucunda silis dumanı katkılı beton numunelerinin basınç ve aderans dayanımlarının daha yüksek olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Çınar (2000), aderansın nedenleri, mekanizması ve aderans davranışın belirlenmesinde kullanılan deney metotlarına değinmiş, hafif beton ve normal beton numunelerini çekip çıkarma deneyine tabi tutarak normal beton için verilen donatı kenetlenme boyunun hafif beton için de geçerli olup olmadığı araştırmıştır.

Yerlici ve Özturan (2002)’ın yaptıkları çalışmada; donatı çapı, beton basınç dayanımı, beton örtü kalınlığı ve gövde sarma donatısı miktarının, yüksek dayanımlı betonlardaki aderans dayanımı ve gerekli minimum kenetlenme boyu üstündeki etkisini araştırmak amaçlanmıştır.

Söylev (2004), taze betonun terleme, çökme ve ayrışmasına bağlı olarak ortaya çıkan çelik-beton aderans kusurlarını incelemiştir. Normal beton, yüksek mukavemetli beton, kendiliğinden yerleşen beton gibi farklı karışımlar test edilmiştir. Aderans kusurları pull-out testi ile ölçülen ortalama aderans gerilmesi ve donatı altındaki kusur uzunluğu video-mikroskopla tespit edilmiştir.

Tanyıldızı ve Yazıcıoğlu (2006), mineral katkıların betonarme demiri ve beton arasındaki aderans dayanımına etkisini araştırmışlardır. Mineral katkılar çimentoya ağırlıkça, %15 uçucu kül ve %10 silis dumanı olarak katılmıştır. 14 mm çapındaki düz ve nervürlü demirler beton içerisinde 15 cm kalacak şekilde gömülmüştür. Numunelerin 3 gün, 7 gün, 14 gün ve 28 gün sonunda aderans ve basınç dayanımları ölçülmüştür. Çalışmanın sonuçlarına göre silis dumanı katkılı betonların basınç ve aderans dayanımlarının her yaşta daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

Rosenberg ve Gaidis (1986), biri silis dumanlı, diğeri silis dumansız iki sınıf yüksek başarılı beton üzerinde gerçekleştirdikleri bir dizi çekip-çıkarma deneylerinden, basınç dayanımında %50 artışın aderans dayanımında %40'a varan artış meydana getirebileceğini gözlemlemişlerdir.

Mor (1992), Yüksek dayanımlı betonlarda, donatı-beton aderansını incelemiştir. Mor, beton yapımında silis dumanı da kullanmış ve bu şekilde yaptığı betonla – donatı aderansının geleneksel betonunkinin iki katı olduğunu belirtmiş ve bu sonucu betonun iç yapısıyla açıklamıştır.

Benli ve Türk (2008), Kendiliğinden yerleşen betonlarda üretilmiş kirişlerin aderans dayanımının deneysel ve sayısal olarak incelenmesi isimli çalışmalarında, normal ve KYB' dan üretilmiş ve 200*300*2000 mm boyutundaki 12 adet kiriş numunesi dört noktali eğilmeye maruz bırakılarak test edilmiştir. Deney sonuçlarıyla karşılaştırmak amacıyla aderans hesabı için kirişler nümerik olarak da sonlu eleman programı ANSYS yardımıyla da çözülmüştür.

M. Sami Döndüren ve Arkd. (2006), beton ile donatı arasındaki aderans davranışının deneysel incelenmesi isimli çalışmalarında, birbirinden farklı özellikteki 16 adet deney numunesi üretmişler ve bu numuneleri 8 tanesi etriyeli 8 tanesi etriyesiz olarak tasarlamışlardır. BÇI ve BÇIII sınıflarında betonarme çeliği kullanmışlardır. Numune genişlikleri ve yükseklikleri 20cm olarak alınmış ve kenetlenme boyları TS500'de öngörülen bağıntıya uygun olarak seçilmiştir. Elde edilen beton numuneleri iki farklı basınç dayanıma sahiptir. C16 ve C20 Mpa basınç dayanımına sahip bu beton numunelerinde, beton kalitesi aynı tutulduğunda donatılar arası maksimum yüklerin oranı 1100/5500 bulunmuştur. Donatılar sabit tutulup beton numuneler arasındaki maksimum yük oranları ise 1100/2500 olarak elde edilmiştir. Etriyeli olarak tasarlanan beton numuneleri, etriyesiz numunelere göre ortalama %33 daha dayanımlı bulunmuştur.

Tohumcu, İ., ve Bingöl, A.F., (2013), yayınladıkları “*silis dumanı ve uçucu kül katkılı kendiliğinden yerleşen betonların taze beton özellikleri ve basınç dayanımları*” isimli çalışmalarında, mineral katkı maddesi olarak çimentonun yerine ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında silis dumanı kullanmışlar ve buna ek olarak, %25, %40 ve %55 oranlarında uçucu kül kullanarak kendiliğinden yerleşen betonlar üretmişlerdir. Taze beton özelliklerini incelemişler ve buna ek olarak üretilen beton numunelerinin 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarını incelemişlerdir. Silis dumanı kullanılan numunelerde beton basınç dayanımının artışı gözlemlenmiştir ve uçucu kül kullanılan numunelerde basınç dayanımının azaldığını tespit etmişlerdir. En yüksek basınç dayanımı 88 MPa ile %15 silis dumanı kullanılan numunelerden elde edilmiştir.

Demirel, B., Yazıcıoğlu, S., (2007), “*silis dumanının karbon fiber takviyeli hafif betonun mekanik özelliklerine etkisi*” isimli çalışmalarında, 4 farklı seri beton üretmişlerdir. Bu seriler, silis dumanı içermeyen hafif beton, silis dumanı içermeyen karbonfiberli hafif beton, silis dumanı içeren hafif beton ve silis dumanı içeren karbon fiberli hafif beton olarak üretilmiştir. Elde edilen numunelere ilk önce tahrip edici özelliği olmayan ultra ses geçiş hızı deneyi yapmışlar daha sonra basınç deneyi uygulamışlardır. Karbon fiber takviyeli numunelerde eğilmede çekme dayanım değerinin % 21,91 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Bu oranın silis dumanı katkılı hafif betonlarda % 31,12 arttığını gözlemlenmiştir.

Atış, C.,D., ve arkd. (2003), yaptıkları çalışmada çimento katkısı olarak silis dumanı kullanımının beton basınç dayanımını üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada dört farklı su/çimento oranı ile üç farklı çimento dozajı ve üç farklı silis dumanı oranı ile çalışmışlardır. Referans numune ile birlikte 48 farklı beton numunesi elde etmişlerdir. Elde edilen numuneler için 3 ve 28 gün sonunda basınç deneyleri uygulamışlar ve s/ç oranının optimum oranda olması durumunda silis dumanı kullanımının en yüksek basınç dayanımı değerine ulaştığını gözlemlenmiştir.

Kurt, E.,B., (2007), “*Betonun durabilite özelliklerine silis dumanı etkisi*” isimli tez çalışmasında, silis dumanı kullanımının basınç dayanımına, su emmesine, geçirimsizliğine ve öz direncine etkilerini araştırmıştır. Bunların yanısıra betona gömülü şekilde olan çelik çubukta korozyon durumunu da incelemiştir. Deneysel çalışma sonucunda silis dumanı kullanımının bahsi geçen özelliklerin hepsinde olumlu etkiler ortaya koyduğunu gözlemlenmiştir.

İlter, E., (2007), yüksek lisans tez çalışmasında, çimento miktarını sabit tutarak, bu oranın %5'i, %10'u ve %15'i oranlarında silis dumanı ilavesi yaparak beton numuneleri oluşturmuştur. Betonun basınç mukavemeti ve su emme oranına etkilerini incelemiştir. Deney sonucunda basınç dayanımlarının 28 gün sonunda genel olarak kontrol betonuna yakın değerler aldığını gözlemlemiştir. En yüksek su emme oranını %5 silis dumanı içeren betonda, en düşük su emme oranının da %10 silis dumanı içeren numunelerde olduğunu ortaya koymuştur.

Özdemir, E., (2006), doktora tez çalışmasında, katkı maddesi olarak, uçucu kül, silis dumanı ve granüle yüksek fırın cürufu kullanarak ikili, üçlü ve dörtlü kombinasyonlar oluşturmuş ve su / ç oranını 0.5 olarak sabit tutmuştur. Tüm bu özellikleri kullanarak işlenebilirlik, basınç, eğilme, aşınma ve rötre özelliklerine olan etkileri incelemiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda, kullanılabilir katkı oranlarını incelemiş aşınma değerlerinin uzun dönemde daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemiştir. Ayrıca elde edilen tüm numunelerde uçucu külün rötreyi azalttığını, silis dumanı kullanımını ise arttırdığını gözlemlemiştir.

Türk, K., ve arkd. (2008), *“farklı oranlarda silis dumanı ikameli kendiliğinden sıkışan betonun mühendislik özellikleri”* çalışmalarında, dört farklı oranda silis dumanı içeren (% 5, 10,15, 20) kendiliğinden yerleşen beton numunesi elde etmişler ve beton basınç dayanımı üzerindeki etkilerini irdelemişlerdir. Deneysel çalışma sonucunda, optimum silis dumanı oranının %15 olduğu görülmüştür. Bu oran aşıldığında beton basınç dayanımının azalttığını tespit etmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Yapı Malzemesi Olarak Beton

Yapı malzemelerinin vazgeçilmezi olarak ilk sırada yer alan betonlar, karışım itibarı ile çimento, agregalar, su ve gerekli beton özelliklerini sağlamak amacı ile belirli oranlarda ve belirli koşullarda kullanılması koşuluyla, mineral ve kimyasal katkı maddelerinin belirli oranlarda homojen bir şekilde karıştırılması ile elde edilen kompozit bir yapı malzemesidir. Üretilen betonlar ilk üretim sonrasında plastik bir yapıya sahiptirler ve çimentonun hidratasyonu nedeniyle zamanla katılaşır, istenilen kalıplarda yerleşerek kalıbın şeklini alırlar.

Betonu vazgeçilmez yapı malzemesi haline getiren özellikleri şu şekilde sıralamak mümkündür.

- Ekonomik olması,
- Basınç dayanımının yüksek seviyelerde olması,
- Çekme dayanımının çok düşük olmasına rağmen çelik donatı ile dengelenebilir olması,
- Dayanıklı malzeme olması,
- Yapıda kullanılan diğer malzemelere nazaran daha az enerji kullanılarak üretilmesi,
- Kalıp sistemi yardımıyla, istenilen şeklin kolay verilebilmesi,
- Karışımı oluşturan malzemelerin istenilen şekilde doğal yollarda da (doğal kaynaklardan) temin edilebilmesi,
- Betonun istenilen her yerde üretilebiliyor olması.

Betonun keşfedilme aşamaları tam olarak bilinmemektedir. Ancak beton teknolojisi ile ilgili çalışmaların 1800'lü yılların ikinci yarısından itibaren başladığı bilinmektedir. İlk betonarme yapı 1852 yılında yapılmıştır. Beton üzerine yapılan çalışmaların hız kazanması ile birlikte çeşitli şartnameler oluşturulmuş ve beton üretiminin belirli standartlar çerçevesinde yapılabilmesi zorunlu hale getirilmiştir. Bu çalışmalar doğrultusunda ilk beton şartnamesi 1904 yılında ABD'de, 1906 yılında ise Almanya da hazırlanmıştır. Ülkemizde ise ilk betonarme özellikteki yapı 1920 yılında inşa edilmiştir (Baradan, B. ve Arkd., 2004).

3.2. Kendiliğinden Yerleşen Betonlar

Kendiliğinden yerleşen betonlar, yapısı itibarı ile kimyasal ya da mineral katkıları veya özel reçeteler kullanılarak elde edilen yüksek akıcılığa sahip özel betonlar olarak adlandırılan bir beton türüdür.

Adından da anlaşılacağı üzere, kendiliğinden yerleşen betonlar, herhangi bir sıkıştırma işlemine gerek kalmadan, kendi ağırlığı ile uygulandığı kalıbı dolduran, yüksek dayanımlı betonlardır. Bu tür betonların ilk üretimine, 1980’li yılların başında Japonyada başlanmıştır. Kendiliğinden yerleşen beton uygulaması ile, ulaşılması güç kalıplarda, estetik kalıplarda, en sık donatılı yapı elemanlarında bile betonun istenilen şekilde dökümü gerçekleştirilebilir.

Kendiliğinden yerleşen betonlar yapısal özelliğinden dolayı, akıcı kıvamlı olmaları sebebi ile özellikle kolon ve kolon – kiriş birleşim bölgelerinde segregasyon sorunu yaşanmadan uygulanabilir. Böylelikle beton içi boşluklar azalır, geçirimsizliği düşük ve yüksek durabiliteye sahip betonlar üretilebilir.

Herhangi bir sıkıştırma işlemine maruz kalmadan uygulanabilen kendiliğinden yerleşen betonlar bu özellikleri sayesinde işçilikten ve zamandan tasarruf sağlamaktadırlar. Vibrasyon gürültüsünün ortadan kalkması ile özellikle gece beton dökümünde avantaj sağlamaktadır (Dinç, A.,2007).

Ülkemizde de son yıllarda bahsi geçen avantajlarından dolayı, kendiliğinden yerleşen beton üretimi ve kullanımı hızla yaygınlaşmış, nitelikli yapılar üretilmeye başlanmıştır. Yüksek basınç mukavemetinden dolayı, özellikle baraj gövdelerinde silis dumanı katkı maddesi ile birlikte kullanılmaktadır. Yüksek katlı, halkın kullanımına açık alışveriş merkezleri, askeri yapılar, hastane ve okul binaları gibi nitelikli yapılarda kullanımı daha ön plandadır. Diğer taraftan, güçlendirme projelerinin büyük kısmında kendiliğinden yerleşen betonlar tercih edilmektedir.

Kendiliğinden yerleşen betonlarda, betonun özelliklerini sağlamak amacı ile betonu oluşturan malzemelere özellikle dikkat edilmelidir. Örneğin, sık donatılı yapı elemanlarında kullanılabilmesi ve segregasyona maruz kalmaması için, KYB’de kullanılan agrega çapı çok büyük olmamalıdır. Bu konuda yapılan deneysel çalışmalar, KYB’de kullanılacak en büyük agrega dane çapının 22 mm olması yönündedir.

Diğer bir önemli özellik olarak akıcı kıvamın sağlanabilmesi için, katkı maddesi olarak geliştirilen, süperakışkanlaştırıcılar veya hiperakışkanlaştırıcılar kullanılmaktadır. Akışkanlaştırıcı kullanımı, kendiliğinde yerleşen betonlarda su / çimento oranını

düşürmekte ve betonun durabilitesini artırmaktadır. Ancak akışkanlaştırıcı kullanımı, ihtiyaç olunan orandan daha fazla olursa, betonun priz alma süresi gecikecek ve durabiliteyi olumsuz yönde etkileyecektir. Özellikle akışkanlaştırıcı katkı kullanımı gerçekleştirilirken, mutlaka konusunda uzman teknik personel gözetiminde santralde beton içerisine dökülmeli ve üretim yapılmalıdır (Keçeci A., 2016).

Yüksek mukavemetli olarak elde edilen kendiliğinden yerleşen betonların bahsi geçen avantajlarının yanında dezavantajları da mümkündür. KYB'lerin avantaj ve dezavantajlarını özetle sıralayacak olursak,

➤ **Avantajları ;**

- Vibrasyon gerektirmediğinden titreşim gürültüsünün ortadan kalkması,
- Prefabrik yapı elemanlarının üretiminde kolaylık sağlaması,
- Beton ile betonarme çeliği arasındaki boşluklu yapıyı en aza indirerek yüksek dayanımlar sağlanması,
- Güçlendirme uygulamalarında kalıpta tek bir noktadan uygulama yapılabilmesi,
- Özellikle şantiyede beton dökümü sırasında, beton içerisine su katılma olasılığını düşürmesi,
- Segregasyon direncini artırmasından dolayı, beton içerisinde hava kabarcığı bırakmayarak homojen bir yapıda beton elde edilmesi,
- Döşeme ve kolon gibi yapı elemanlarında, geleneksel olarak üretilen betonlara göre yaklaşık beşte bir oranında döküme hız kazandırması

➤ **Dezavantajları**

- Karışım oranları uygun olmayan kendiliğinden yerleşen betonlarda boşluklu yapılar oluşabilmektedir.
- Sıkı bir teknik denetleme gerektirerek üretim yapılmalıdır.
- Yeni sayılabilecek bir uygulama olduğundan, uluslararası belirlenmiş bir standarda sahip değildir. Bu nedenle uygulama yapılan ülke standartları ve kalite yönetimi sistemine göre üretim yapılır.

- Yapısı içinde kullanılan birtakım katkıların elde edilmesi ekonomik yönden külfetli olabilir (Baradan B. ve Arkd.2004).

3.3. Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Kullanılan Katkılar

Betonun kendine özgü özelliklerini olumlu yönde değiştirmek için, betondan istenilen verimi almak amacı ile betonun hazırlanması aşamasında, beton karışımı içerisine belirli oranlarda eklenen mineral veya kimyasal özelliklere sahip maddelere katkı maddeleri denir. Kullanılan katkılar yapı malzemesi olan betonun taze ve sertleşmiş durumlarındaki birtakım özelliklerinin iyileştirilmesi yönünde katkı sağlamaktadırlar. Bahse konu olan katkı maddelerinin beton üzerindeki olumlu ya da olumsuz etkilerini iyice irdelemek ve anlaşılır hale getirmek gerekmektedir. Bu sebeple katkı maddelerinin özelliklerinin bilinmesi önem arz etmektedir. Birtakım değerlendirmeler göz önünde bulundurulmalıdır.

Beton içerisinde kullanılan katkı maddeleri, karışım oranları uygun olmadan kötü üretim yapılmış betonların iyileştirilmesi durumları için kullanılamaz.

Kullanılacak olan katkı maddeleri, betonu oluşturan diğer malzemeler ile (çimento, agrega) tam manası ile uyumlu olmayabilir. Bu sebeple, beton içerisindeki kullanılması düşünülen katkı maddelerinin, üretim yapılmadan önce diğer malzemeler ile olan uyumları deneysel çalışmalarla desteklenmeli ve araştırılmalıdır. Katkı dozaj miktarları mutlaka ön çalışmalar ile beton üretimi öncesinde belirlenmelidir.

Katkı maddelerinin temel iyileştirici özelliklerinin yanısıra olumsuz yönde betona etki edebileceği özellikleri de mevcuttur. Bu sebeple katkı maddeleri, betonun bir yönde özelliğini iyileştirirken diğer taraftan başka bir özelliğini bozabilir.

Kullanılacak betonun özelliklerine göre, beton üretimi sırasında birden fazla katkı maddesi ilave edilebilir. Kullanılan birbirinden farklı bu tür katkı maddelerinin birbirleri ile uyumları ve betona etkileri mutlaka incelenmeli ve sağlıklı sonuçlar elde edilmesi durumunda birden fazla katkı maddesinin aynı anda kullanılmasına izin verilmelidir. Aksi takdirde betondan istenilen verim alınamayacaktır (Hamalı, Y.,2007). Kendiliğinden yerleşen betonlar gibi yüksek dayanıma sahip özel betonlarda, katkı maddesi kullanımı, standart üretim betonlara göre daha çok hassasiyet gerektirmektedir. Kendiliğinden yerleşen betonların özelliklerini sağlamak amacı ile

katkı maddelerinin miktar ve dozajlarının deneysel çalışmalar ile mutlaka önceden belirlenmesi gerekmektedir.

3.3.1. Kimyasal katkılar

Genel itibarı ile kullanılan katkılar betonun taze ve sertleşmiş her iki halinde de özelliklerini değışikliğe uğratan, betonu oluşturan diğeri belli başlı malzemelere göre daha az oranda kullanılması gereken kimyasal maddelerdir.

Kendiliğinden yerleşen betonlarda, betonun özelliklerini elde etmek amacı ile çeşitli kimyasallar kullanılmaktadır. Kimyasal katkılar türleri ve özelliklerine göre, akışkanlaştırıcı katkılar, vizkozite düzenleyiciler, hava sürükleyici katkılar, su tutucu katkılar olmak üzere sınıflandırılabilirler.

Akışkanlaştırıcı kimyasallar, süper ya da hiper akışkanlaştırıcılar olarak gruplandırılabilirler. Kendiliğinden yerleşen betonların amacına uygun olarak kullanılabilmesi için akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanılması kaçınılmazdır. Kullanılan bu tür akışkanlaştırıcı kimyasalların mutlaka TS EN 934-2'ye uygun olmalıdır.

Akışkanlaştırıcılar özellikleri bakımından, kendiliğinden yerleşen betonlarda kullanılması durumunda, su / çimento oranını büyük ölçüde düşürürler. Bu oranın düşmesine paralel olarak beton basınç dayanımında önemli ölçüde artışa sebep olmaktadır.

Betonun kıvamını artıran ve işlenebilirliğe olumlu yönde etki eden akışkanlaştırıcı kimyasallar, kendiliğinden yerleşen betonlarda en ulaşmaz kalıplarda ve çok sık donatılı taşıyıcı yapı elemanlarında yerleştirilmesi sırasında olumlu yönde etki edecektir. Betonun kıvamını işlenebilirlik açısından iyileştiren akışkanlaştırıcı katkılar, beton döküm sırasında pompalanma aşamasında kolaylıklar sağlayacaktır.

Diğeri bir kimyasal katkı maddesi olan su tutucu katkılar, su / çimento oranı düşük olan kendiliğinden yerleşen betonlarda, düşük su oranından faydalanmak üzere, beton içerisinde bulunan suyun dış etkilere karşı kaybını önlemek için kullanılırlar. Terlemeyi azaltma etkileri mevcuttur. Geniş alanlarda uygulanan betonlarda aşırı su kaybindan dolayı oluşabilecek oturmaları ve plastik rötire yüzey çatlaklarını engellemede kullanılırlar.

Hava sürükleyici katkılar ise, betonun üretimi aşamasında beton karışımına ilave edilen kontrollü olarak düzgün dağılım gösteren ve taze beton dışında, sertleşmiş beton halinde bile kalıcı olarak moleküller arası hava kabarcığını bileşenler arasından uzaklaştırmak için kullanılırlar. Bahsi geçen bu katkı donma-çözünme olaylarında yüksek dayanım sağlamakla birlikte, işlenebilirlik ve düşük geçirimsizlik sağlayan kimyasal katkılardır.

Bir başka kimyasal katkı olan viskozite düzenleyici katkılar, özellikle düşey taşıyıcı yapı elemanı olan kolonlarda, sıkça karşılaşılan segregasyon (ayrışma) direncini artırmak için kullanılabilirler. Ancak kendiliğinden yerleşen betonların kıvamı ve kullanılan agregaların dane çapının küçük olması ve kolay yerleşebilmesi özelliklerinden dolayı, vizkozite düzenleyici katkı maddesi kullanılmadan da kendiliğinden yerleşen betonlar üretilmektedir (Tezel, O. ve Arkd., TS EN 934-2).

Tüm bu kimyasal katkı maddelerinin yanında, kendiliğinden yerleşen betonların mevsimsel faktörlerden etkilenmemesi adına, soğuk iklim şartlarında betonu don etkisinden korumak amacı ile priz hızlandırıcı katkılar kullanılabilir. Bunun sonucunda erken mukavemet değerlerine de ulaşılabilir.

Sıcak iklim şartlarında ise, priz geciktirici katkılar da kullanılabilir. Bu kullanım ile soğuk derzlerin önüne geçilebilme imkanı doğacaktır. Ayrıca betonun uzak mesafelere taşınması sırasında avantaj sağlamaktadır. Özellikle kendiliğinden yerleşen beton tercih edilen baraj gövdeleri gibi kütle betonlarında döküm kolaylığı da sağlamaktadır (TS EN 934-2).

3.3.2. Mineral katkılar

Kendiliğinden yerleşen betonların üretimi sırasında, kimyasal katkı kullanımının yanısıra mineral katkı kullanımı da gerçekleştirilebilir. Mineral katkılar daha çok sanayi ve endüstri ürünlerinin üretimi sırasında açığa çıkan yan ürünlerdir. Bu ürünlerin kullanılmasındaki temel amaç, beton üretim maliyetlerini en aza indirmektir. Beton maliyetini artıran en önemli etken hiç şüphesiz ki, çimento miktarıdır. Kullanılan bu mineral katkılar, betonda kullanılan çimento oranını büyük oranda düşürmektedir.

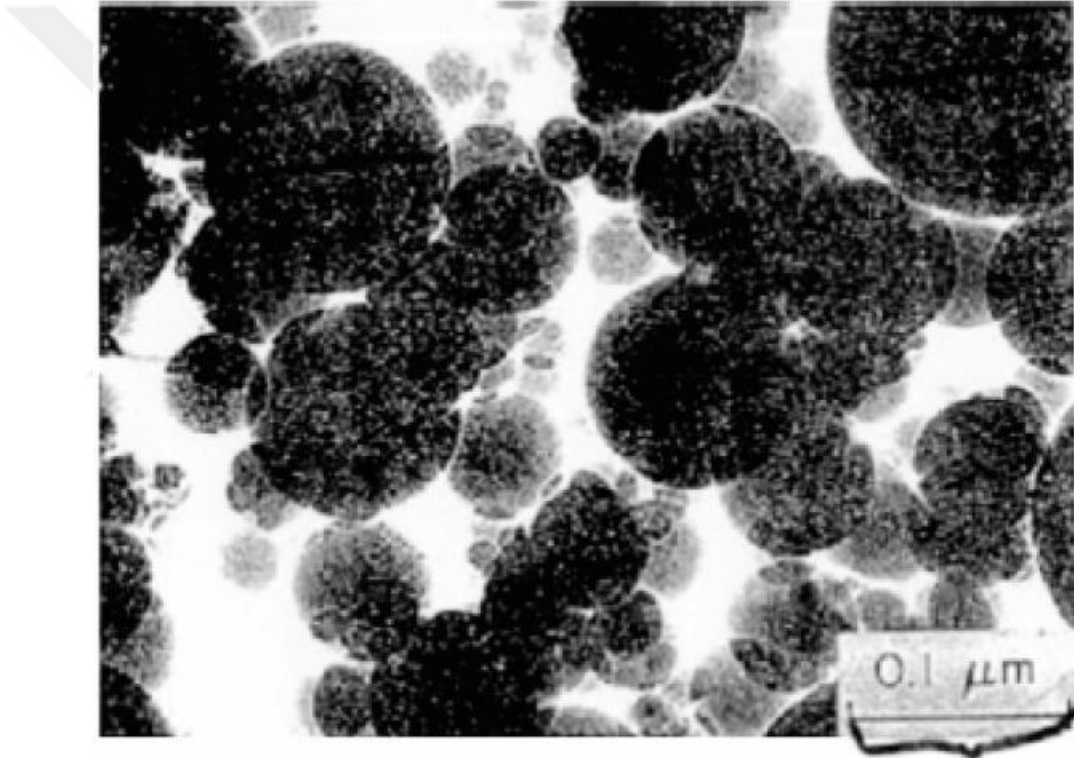
Mineral katkılar, maliyeti azaltmakla beraber, betonun özelliklerini de geliştirmektedir. Kullanılan mineral katkıların betonun ileri yaş dayanımını artırdığı deneysel çalışmalarla kanıtlanmıştır. Betonun yaş dayanımının artması ile birlikte

elastisite modülü de artacaktır. Aynı zamanda beton içeriğinde kohezif ve viskoz yapı oluşturan mineral katkıları kendiliğinden yerleşen betonların üretim amacına ulaşmasını sağlamaktadır (Uysal, M., Yılmaz, K., 2011).

Silis dumanı, uçucu kül, granüle yüksek fırın cürufu, pişirilmiş kil, volkanik kül ve tüfler beton üretiminde kullanılan belli başlı mineral katkılardır.

İndirgenmiş bir yan ürün olan silis dumanı, silis metali ya da ferrosilisyum olarak adlandırılan alaşımların üretilmesi esnasında ark fırınlarında ileri derecede yüksek saflığa sahip kuvarsitin kömür ve odun parçalarına ayrışması sonucunda elde edilebilen çok ince tanecik yapısına sahip tozdur (Yeğinobalı, A., 2009).

Silis dumanı tanecik görünümü Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



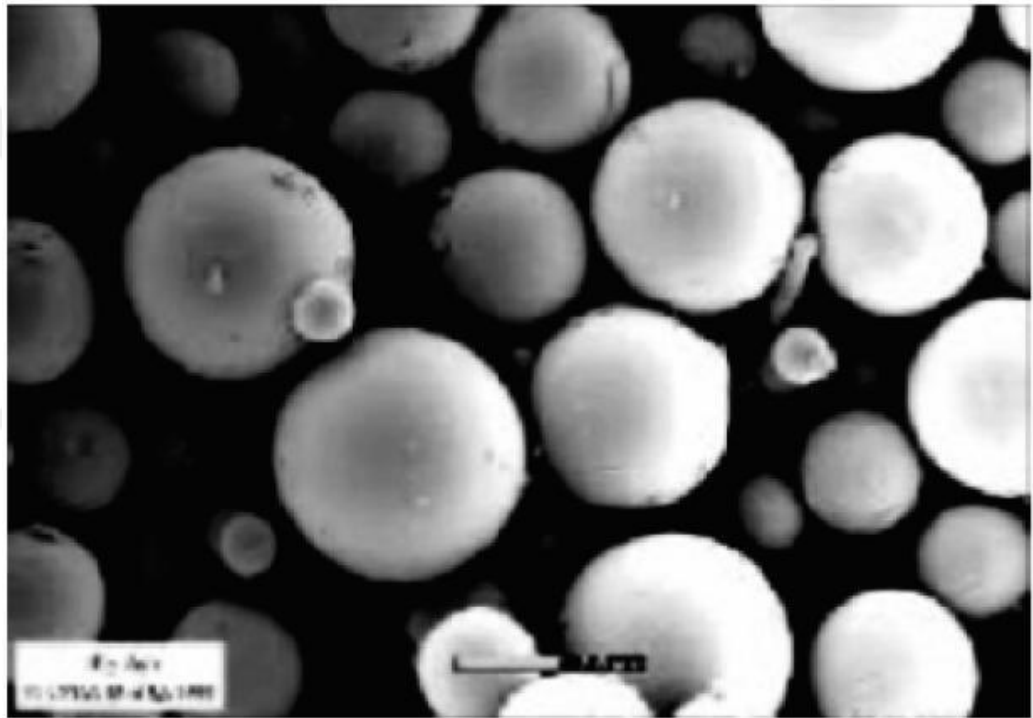
Şekil 3.1. Silis dumanı taneciklerinin mikroskopik görünümü (Dinç, A., 2007)

Silis dumanı, çok küçük ve ince parçacıklara sahip olduğundan yüksek mukavemete sahip ya da erken yaşta yüksek mukavemete ulaşabilen betonlar elde edebilmek için süper akışkanlaştırıcılar veya hiper akışkanlaştırıcılar ile birlikte kullanılabilir (Bingöl, A.,F., Tohumcu, İ., 2013).

Akışkanlaştırıcılar ile birlikte kullanılması sonucu, silis dumanı betonun taze halde işlenebilirliğini artırmaktadır. Ayrıca katılaşan betonun da birçok özelliğini iyileştirmektedir.

Silis dumanına benzer şekilde mikrofiller yapıya sahip uçucu küller, beton içerisinde bulunabilecek iri taneler arasındaki boşlukları doldurarak sürtünmeyi azaltırlar ve buna bağlı olarak akıcılığı artırır. Akıcılığın artması ile birlikte kendiliğinden yerleşen beton özellikleri ortaya çıkmış olur. Segregasyon olarak adlandırılan ayrışma riskini en aza indirirler. Böylelikle daha iyi işlenebilir ve kaliteli beton üretimi gerçekleştirilebilir. Uçucu küller, termik santrallerinde yakıt olarak kullanılan kömürün baca filtrelerinde kül olarak toplanması sonucu elde edilen atık maddelerdir (Dinç, A., 2007).

Şekil 3.2.'de uçucu küllerin mikroskop altında elde edilen görünümü verilmiştir.



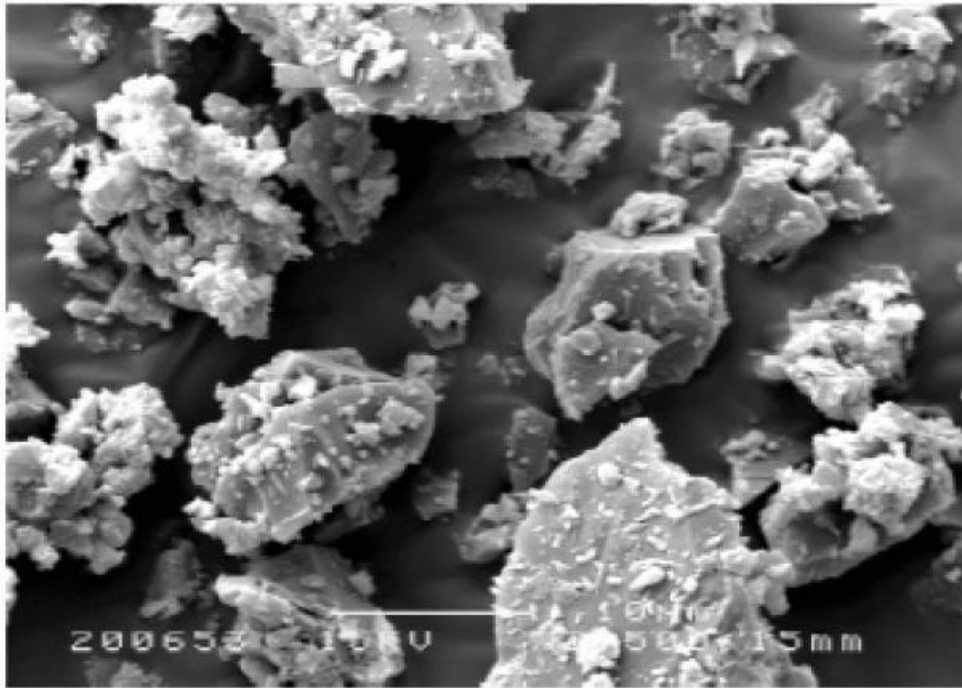
Şekil 3.2. Uçucu kül taneciklerinin mikroskopik görünümü (Dinç, A.)

Küresel ve ince taneciklere sahip olan uçucu küller, bu özellikleri sayesinde betondaki boşluk oranını azaltarak betonun işlenebilme kapasitesini artırır. Çimento hidratasyonu sırasında ortaya çıkan kireç ile etkileşime girerek çimento ile birlikte jel oluşturular ve ekstra bağlayıcı özelliğe sahip malzeme elde edilmiş olur (Kurt, E.,B., 2007).

Yüksek fırın cürufu, diğer mineral katkılarda olduğu gibi atık malzeme olarak demir endüstrisinden elde edilmektedir. Silikatlar bakımından oldukça zengin bir yapıya sahiptirler. Uçucu küller gibi, yüksek fırın cürufu da kullanım amaçları bakımından benzer özellikler taşır. Yüksek fırın cürufu beton içerisinde genellikle çimento miktarının %15'i ile %30'u arasında değişen oranlarda kullanılır.

Kendisine özgü kimyasal ve fiziksel yapısından dolayı, uçucu kül kadar değişkenlik göstermediğinden daha güvenilir katkı maddeleri arasında gösterilebilir (Dinç, A., 2007).

Şekil 3.3.'de yüksek fırın cürufu mikroskopik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Yüksek fırın cürufunun mikroskopik görünümü (Dinç, A.)

Camsı (amorf) yapılarından dolayı, hidrolik özelliğe sahip olan fırın cürufu, bu özelliğini kullanarak hidrolik bağlayıcı rolünü üstlenebilir. Diğer mineral katkı maddeleri gibi, fırın cürufu da dane çap ve özelliklerinden dolayı beton içerisindeki boşlukları doldurarak daha kararlı ve boşluksuz beton üretiminde faydalar sağlamaktadır (Kurt, E.,B., 2007).

Kendiliğinden yerleşen betonlarda kullanılan katkı maddeleri özellikleri bakımından incelendiğinde, çoğunlukla beton boşluk oranını en aza indirmek ve daha boşluksuz betonlar elde etmek için kullanılmaktadır. Boşluk oranı en aza indirildiğinde yüksek mukavemetli veya erken yaşta yüksek mukavemet kazanabilen betonlar üretilmesinde kolaylık sağlamaktadır.

Diğer taraftan boşluk oranı az olduğundan dolayı, segregasyon ile karşılaşma olasılığı en az seviyeye inmektedir. Kendiliğinden yerleşen betonlarda işlenebilirlik açısından en büyük dane çapı yaklaşık 22 mm olacağından, bu daneler arasını doldurabilecek çap ve özellikteki mineral katkıları rahatlıkla kullanılabilir.

Genel olarak mikrofiber yapıda olan mineral katkıları, süper akışkanlaştırıcı veya hiper akışkanlaştırıcılar ile beraber kullanılarak kendiliğinden yerleşen betonların işlenebilirliğini olumlu yönde etkilemektedir.

Kendiliğinden yerleşen betonların yüksek mukavemetli olabilmesi için geliştirilen mineral ve kimyasal katkıların dozajları için birçok deneysel yöntemler geliştirilmiştir. Aynı zamanda kendiliğinden yerleşen betonların özelliklerinin ortaya çıkarmak için de çeşitli deneysel metotlar geliştirilmiş ve uygulamada kullanılmaya başlanmıştır.

Özel betonlar sınıfına giren kendiliğinden yerleşen betonlarda, betonun özelliklerini belirlemek amacıyla, yayılma deneyi, V hunisi deneyi, L kutusu deneyi, U kutusu deneyi, doldurma kutusu deneyi gibi deneysel metotlar geliştirilmiştir.

Bahsi geçen deneysel metotların uygulanma aşaması oldukça önem arz etmektedir. Bu deneysel yöntemler uygulanırken mutlaka standartlarına uyulmalı, malzeme özellikleri ve dozajları belirlenmelidir.

Uygulanan bu deneysel yöntemler beton özellikleri hakkında fikir vereceğinden, deneyleri yapan teknik personelin deneyler hakkında bilgi sahibi olması gerekir. Malzemeyi yakından tanımalı, katkıların beton ve kendileri arasındaki etkileşimleri konusunda bilgili olmalıdır. Katkı maddelerinin beton özelliklerini olumlu yönde etkileyeceği gibi, olumsuz yönde etkileyerek kötü beton ortaya çıkaracağı unutulmamalıdır.

3.4. Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Kullanılan Deneysel Yöntemler

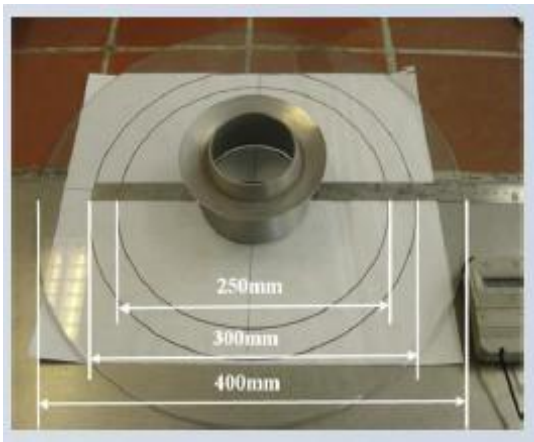
Standart döküm betonlar için kullanılan deneyssel yöntemlerden farklı olarak, kendiliğinden yerleşen betonlarda kullanılmak üzere çeşitli deneyssel yöntemler geliştirilmiştir.

Yüksek mukavemetli özel betonlar sınıfında olan kendiliğinden yerleşen betonlar, kullanılan mineral ve kimyasal katkıları etkisiyle daha akışkan bir yapıya sahip olacaktır. Bu özelliğinden dolayı standart beton deneyleri dışında deneyssel metotlar kullanılmaktadır. Birden fazla metot kullanılabileceği gibi, tek bir yöntemle de kendiliğinden yerleşen beton özellikleri kontrol edilebilir.

3.4.1. Yayılma deneyi

Bu deney yönteminde, kendiliğinden yerleşen betonun yayılma hızı ve betonun kendi ağırlığı altında yayılması ile oluşacak çapın ölçülmesi hedeflenmektedir. Deney düzeneğinde çökme hunisi ve betonun yayılacağı bir tabla kullanılmalıdır. Standart slump deneyine benzer şekilde, çökme hunisi kendiliğinden yerleşen beton ile doldurulur. Huni yukarıya doğru çekilerek betonun akması sağlanır. Huni çekildikten sonra tabla üzerine yayılan kendiliğinden yerleşen betonun çapı ölçülür. Buna ek olarak kronometre yardımı ile 50 cm yayılabilmesi için geçen süre tutulur. Bu sürenin genellikle 8 – 12 saniye arasında olması istenir (Tezel, O., 2010., Işık, E., 2005).

Şekil 3.4.'de deney düzeneği, Şekil 3.5.'de deneyin yapılışı gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Deney düzeneği



Şekil 3.5. Deneyin yapılışı

3.4.2. V hunisi deneyi

Kendiliğinden yerleşen betonlarda kullanılan bir diğer deneysel yöntem v hunisi yöntemidir. Kendiliğinden yerleşen betonların üretilme amaçlarından birisi de en ulaşılmaz dar kalıplarda ve sık donatılı taşıyıcı betonarme elemanlarında boşluk bırakmadan doldurma işlemini yapmaktır.

V hunisi deneyi de kendiliğinden yerleşen betonların bu boşluklardan geçebilme özellik ve yeteneğini ölçmek amacı ile yapılır. İsminden de anlaşılacağı üzere, V şeklindeki deneysel bir aparata beton doldurulur. Bu aparatın altında betonun dökülebilmesi için bir kova bulunur. Deney aparatı tamamen beton ile doldurulduktan sonra, alt kısımda bulunan kapak açılır ve betonun kova içerisine dolma süresi ölçülerek betonun akışkanlığı ve yerleşebilirliği konusunda fikir edinilebilir.

Deney uygulanırken birtakım hususlara dikkat edilmelidir. Kendiliğinden yerleşen betonlar vibrasyon etkisi gerektirmediğinden, kaba beton doldurma işlemi sırasında herhangi bir şişleme işlemi uygulanmaz. Huninin içi akışkanlığı sağlamak amacı ile nemli tutulmalıdır. Bahse konu olan V hunisinin hacmi yaklaşık olarak 12 litredir.

Alt kapak açıldıktan sonra betonun yerleşimi için yaklaşık 10 saniye beklenir. Akışın tam olarak bitmesi için geçen süre ölçülür. Deney için kullanılan beton ile v hunisinin yüzey kısımları temizlenmeden 5 dakika sonra aynı işlem tekrar uygulanmalıdır. Şekil 3.6.'da v hunisi deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 3.6. V hunisi deney düzeneği

Tekrar uygulama sonucunda akış süresinde azalma görülüyorsa, yani 10 saniyeden daha hızlı sürede akış tamamen gerçekleşiyorsa, bu durum betonun yüksek akışkanlığa sahip olduğunu gösterir. İkinci kez uygulanan deney ile ilk deney arasındaki ölçülen zaman farkı, betonun segregasyon direnci hakkında da bilgi verebilir (Tezel, O., 2010., Işık, E., 2005).

3.4.3. L kutusu deneyi

Kendiliğinden yerleşen betonların yüksek mukavemetli olmasını sağlayan en önemli özelliği sık donatılı elemanların dökümünde bile en uygun yerleşmeyi sağlamasıdır. Bu özelliği test etmek için ilk defa Japonya’da daha sonra da Fransa’da kendiliğinden yerleşen betonlar için bu deneysel yöntem kullanılmaya başlanmıştır.

Betonun akıcılığı ile birlikte, donatılar arası geçişini ölçmek amacıyla geliştirilen bu yöntemde, deney düzeneği olarak yatay ve dikey olacak şekilde hazneler oluşturulmuştur. Böylelikle dikeylik ve yataylık kullanılarak, betonun tıkanma riskini ölçmek de hedeflenmiştir.

Deney düzeneğindeki dikey haznenin ve yatay haznenin birleşim noktalarına dik olacak şekilde 3 adet 12 mm lik donatılar yerleştirilir. Dikey kısım ile yatay kısım arasında bir kapak bulunmaktadır. Beton dökülmeden önce bu kapak kapatılmalıdır.

Yine v hunisi deneyinde olduğu gibi, akışı sağlamak amacı ile aparatın iç yüzeyi mutlaka nemlendirilmelidir. Kendiliğinden yerleşen beton özelliği sağlamak amacıyla beton dökümü esnasında kesinlikle şişleme veya vibrasyon uygulanmamalıdır.

L kutusu ahşap ya da çelik olarak tasarlanabilir. Düzeneğin dikey kısmı yaklaşık olarak 13 litre beton hacmine sahiptir. Deneye başlamadan önce, düzeneğin yatay kısmında ara kapaktan itibaren 200 mm ve 400 mm lik mesafeler mutlaka işaretlenmelidir. Beton doldurulduktan sonra yaklaşık 1 dakika bekleme süresi olmalıdır. Bu süre sonunda dikey kısımda bulunan ve deney başlangıcında kapalı olan ara kapak açılır. Donatılar arası beton geçişi takip edilir.

Akış tamamlandıktan sonra, yatay ve dikey kısımların her iki ucundaki beton seviyeleri ölçülür. Ölçülen bu değer literatürde ‘‘bloklanma oranı’’ olarak isimlendirilir.

Şekil 3.7.de L kutusu deney düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 3.7. L kutusu deney düzeneği

Bahsi geçen bu oran kendiliğinden yerleşen betonlarda, betonun geçiş yeteneği ve akıcılığı konusunda bilgi verir. Genellikle bu oran minimum 0.8 olarak kabul görmektedir. 200mm ve 400 mm lik mesafelerde ölçülen bu değerler için herhangi bir sınır değer kabulü yoktur.

Uygulanan bu deneysel yöntem ile birlikte donatılar arası betonun geçiş durumu, betonun bu bölgede tıkanma olasılığı ve betonun ilerleme durumları incelenir. Tüm bu gözlemler ile birlikte, beton için en önemli özellik olan segregasyon direnci ile ilgili gözlemler yapılabilir (Tezel, O., 2010., Işık, E., 2005).

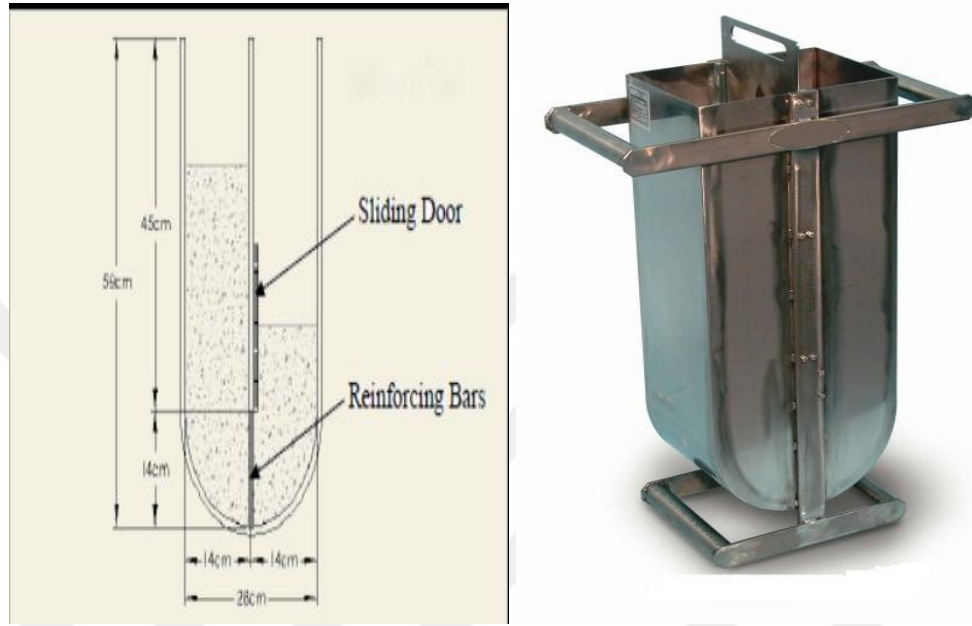
3.4.4. U kutusu deneyi

Kendiliğinden yerleşen betonun hiçbir dış etkiye maruz kalmadan kendi ağırlığı altında çelik donatı çubuklarının arasında kolayca geçebilme özelliğini belirlemek için uygulanan bir deneysel yöntemdir.

Deney düzeneğinde kutu içerisinde beton döküm yönüne paralel olarak yerleştirilen 13 mm lik donatılar bulunur. Her bir donatı arası net açıklığı 35 mm olarak tasarlanmıştır. Yerleştirilen bu donatıların önünde betonun geçişini kolaylaştırmak amacı ile kayıcı özelliğe sahip kapaklar bulunmaktadır. U şeklindeki bu düzende, kısımları birbirinden ayıran bir duvar bulunur. Ancak betonun alt kısımda geçişini sağlamak amacı ile bu kısımları ayıran duvar, düzeneğin alt kısmına kadar inmez. Bu sistem ilk olarak Japonya’da bir teknoloji araştırma merkezi tarafından, kendiliğinden yerleşen betonlarda uygulanmak için geliştirilmiştir.

Bahse konu olan deneysel yöntem, genellikle su altı betonlarının incelenmesinde ve agrega dane çapının en fazla 25 mm olduğu durumlarda uygulanır. Kendiliğinden yerleşen betonun en önemli özelliği olan akış yeteneği gözlemlenir. Aynı zamanda doldurma kapasitesi hakkında da fikir sahibi olunabilir.

Şekil 3.8.'de U kutusu deney düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 3.8. U kutusu deney düzeneği

Diğer deneysel yöntemlerde olduğu gibi, deney düzeneğinin iç kısmı nemli hale getirilir. İlk durumda beton geçişine izin vermemek için kayıcı kapak kapatılmalıdır. U kutusunun birinci haznesi yaklaşık olarak 20 litre betonla herhangi bir şişleme ya da vibrasyon uygulanmadan doldurulur. Betonun düzenek içerisinde yerleşmesi beklenmelidir. Bu yerleşim süresi için yaklaşık 1 dakika yeterli olacaktır. Beton yerleştikten sonra kayıcı kapak açılarak, doldurulan betonun ikinci hazneye geçmesi sağlanır. Beton akışı tamamen sona erdikten sonra u kutusunun her iki kısmındaki beton yükseklik seviyeleri ölçülerek bu iki kısım arasındaki fark hesaplanmalıdır.

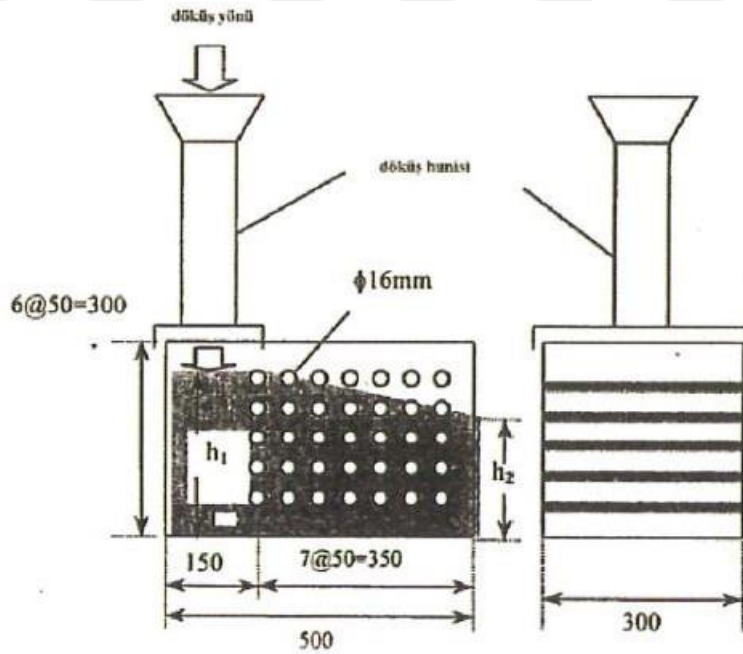
Literatürde “doldurma yüksekliği” olarak adlandırılan bu değer, kendiliğinden yerleşen betonlar için en fazla 30 cm olarak kabul edilmektedir. 30 cm den daha düşük değerler elde edilebiliyorsa, betonun donatılar arasında geçiş yeteneğinin ve doldurma kapasitesinin yüksek olduğu yorumu yapılabilir (Tezel, O., 2010., Işık, E., 2005).

3.4.5. Doldurma kutusu deneyi

Kendiliğinden yerleşen betonlar için kullanılan bir diğer deneysel yöntem, fill-box olarak da bilinen doldurma kutusu deneyidir. Betonun özelliklerini tam anlamıyla ortaya çıkaran bu deneysel yöntemde, kullanılan betonun sık donatılı elemanlarda akışını, işlenebilirliğini ve geçiş yeteneğini araştırmak ana hedeftir.

Şeffaf bir kutu düzeneğinden oluşan deney aparatında, betonun ayrışmaya uğramadan ve terlemeye maruz kalmadan donatı çubuklarının arasından geçişi gözlemlenir. Kendiliğinden yerleşen betonlar için birçok çalışma yürüten Japonyalı bilim adamı Ozawa tarafından geliştirilen bir yöntemdir.

Şekil 3.9’da deney düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Doldurma kutusu deney düzeneği

Kutu içerisinde düşey ve yatay olmak üzere, düşey hatta 5, yatay hat boyunca 7 adet olacak şekilde toplam 35 adet 20mm çapa sahip donatı ile deney düzeneği oluşturulur. Hazne ucunda 50 cm yükseklikte bir boru sistemi mevcuttur. Bu borudan belirli hız ile (yaklaşık 5 saniye içinde 1,5-2 litre) beton akışı başlatılır.

Beton akışı tamamlandıktan sonra şekil 3.9.'da görüldüğü gibi haznenin iki ucundaki betonun yükseklikleri ölçülür ve ortalamaları alınarak doldurma oranı hesaplanır.

$$F(\%) = [(h_1 + h_2) \times 350 / 2] / [(h_1 \times 350) \times 100] = [(h_1 + h_2) / 2] \times 100 \quad (3.1)$$

Formülde de görüldüğü gibi, bu değer yüzde (%) olarak hesaplanmaktadır. Kendiliğinden yerleşen betonlarda bu oran en az %90 olmalıdır. Bu oran %100'e yaklaştıkça betonun doldurma kabiliyetinin yüksek olduğunu kanıtlanmaktadır (Tezel, O., 2010., Işık, E., 2005).

3.5. Silis Dumanı

Silis dumanı, silis metalinin ya da ferrosilisyum olarak adlandırılan alaşımların üretiminde ortaya çıkan yüksek saflığa sahip kuvarsitin çok küçük parçacıklara indirgenmesi ile elde edilen çok ince tanecik yapısına sahip bir tozdur. Atık madde olarak ark fırınlarının bacalarında filtreler yardımıyla bir araya toplanan silis dumanı ‘‘baca tozu’’ olarak da isimlendirilir. Silis dumanı ilk olarak değerlendirme amacıyla 1950 lerde Norveç’de başlamış, 1960’lı yılların sonunda da yine Norveç’de çimento katkısı olarak beton içerisinde kullanılmaya başlanmıştır. Ülkemizde silis dumanı üretimi, Antalya ilimizde bulunan ETİ Elektrometalurji A.Ş. tarafından yapılmaktadır.

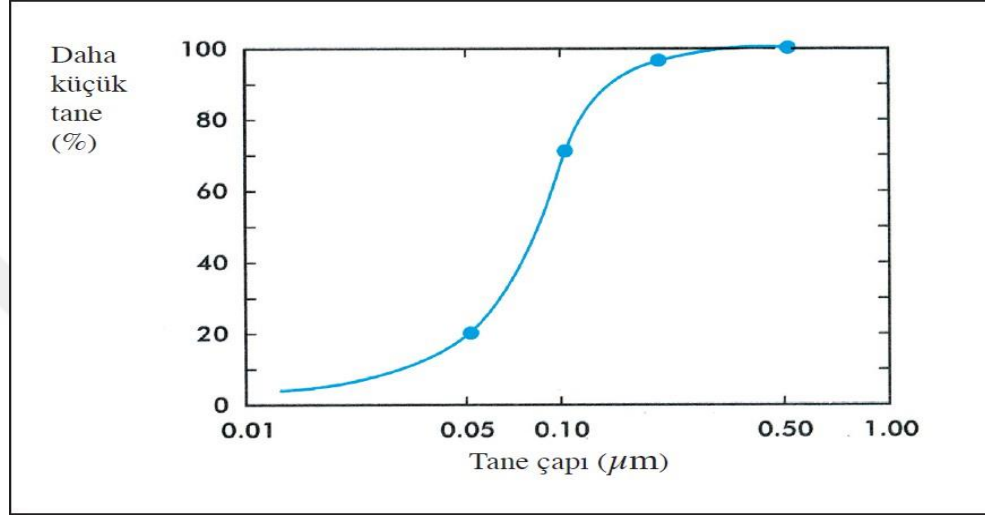
Baca filtrelerinde toplanan bu atık madde, fabrikasyon üretimi sırasında açığa çıktığı şekilde, sulandırılarak, sıkıştırılarak, ya da topak şeklinde piyasada kullanım amaçlı sunulmaktadır. Beton içerisinde kullanılan çimento veya diğer katkı maddeleri gibi torbalama yöntemi ile de kullanım ve satışı mümkündür.

Çimentoya göre daha ince dane yapısına sahip olan silis dumanının, nakliyesi, saklama koşulları ve kullanımı esnasında özel itina gerektirmektedir. Kullanım esnasında toz şeklinde olması sebebiyle, kullanım amacı dışında dış ortama yayılma söz konusu olabilmektedir. Yapılan araştırmalara göre, genel olarak ağırlıkça %40 ile %60 oranlarında su ile veya ihtiyaç halinde akışkanlaştırıcılar ile birlikte kullanılabilir. Çimentonun rengine benzer şekilde gri tonlarında renge sahiptir. İçeriği gereği demir oksit olarak fazlalık söz konusu ise rengi kahverengi olarak da görülebilir (Özdemir, E., 2006).

Birim ağırlık olarak, gevşek birim ağırlığı 130 ile 430 kg/m³ olarak değişkenlik gösterebilir. Bu değerler alarım ve elde edilen kaynak türüne göre değişir.

Yapısı itibari ile silis dumanı genel olarak düzgün pürüzsüz yüzeyle, küresel ve camsı özelliklere sahiptir. Bu özellikleri sayesinde, beton içerisindeki hava boşluklarını rahatlıkla doldurabilir.

Şekil 3.10.'da silis dumanı dane çapı dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Silis dumanı dane çapı dağılımı (Yeğınobalı, A., 2009)

Şekil 3.10.'da görüldüğü gibi, tanelerin hemen hemen tamamı 1µm den küçük ve ortalama dane çapı 0,1 µm olarak ölçülmüştür. Çimento taneciklerinin dane çapına göre silis dumanının dane çapı yaklaşık olarak 100 kat daha küçük ve incedir. Bu dane çapı dağılımı, silis dumanının elde ediliş şekline kaynağına göre değişkenlik gösterebilir.

Çimento tanelerinden daha küçük ve ince olması sebebiyle, beton karışımı esnasında, silis dumanı tanecikleri çimento taneciklerinin arasına girerek, mevcut olan boşlukları doldururlar ve bu boşluklarda sıkışmış durumda olan suyu dışarıya doğru iterler. Böylelikle taze beton içerisinde çimento hamurunun kıvamı için etkili olmaya başlarlar. Bu durum elbette ki taze betonun kıvamı üzerinde olumlu yönde etki yapacaktır. Ancak, her katkı maddesinde olduğu gibi olumlu etkilerin yanında olumsuz etkileri de söz konusu olacaktır.

Çimento taneleri arasına giren silis dumanı tanecikleri bu alanda geniş yüzey alanları oluşturmaya çalışacak ve bu durumda beton karışımı için su ihtiyacı ortaya çıkacaktır. Bu durum beton kıvamını olumsuz yönde etkileyecektir.

Bu sebeple silis dumanı oranı belirli deneysel çalışmalar ve hesaplamalar sonucunda tayin edilmelidir. Yapılan sayısız deneysel çalışma ve hesaplamalar sonucu çimento oranının %5'i kadar kullanılan silis dumanının betonun su ihtiyacını fazla etkilemediği kanıtlanmıştır. Bu orandan daha fazla silis dumanı kullanımı, kullanılan oranla doğru orantılı olarak beton karışımının su ihtiyacını artıracaktır.

Kendiliğinden yerleşen betonlarda bilindiği gibi s / ç oranı düşüktür. Bu tür özel betonlarda silis dumanı kullanımı betonun içerisinde yapışkanlık özelliğini artıracaktır. Buna bağlı olarak, fazla su miktarı dışarı atıldığından ve s/ç oranı düşük olduğundan iç terlemenin de önüne geçilecektir. Terleme tamamen durdurulmasa bile büyük oranda yavaşlayacaktır (Yeğınobalı, A.,2009., Özdemir, E., 2006).

Taze betonda kimyasal reaksiyonlar devam ettiğinden ve akışkanlık olduğundan dolayı, beton içerisindeki su genellikle iri agrega danelerinin alt kısımlarında toplanmaya çalışır ve bu yönde hareketine devam eder. Bunun sonucunda çimento hamuru ile agregalar arası ara yüzeyde s/ç oranı yükselecektir. Sonuç olarak boşluk yüzdesi artacaktır. Silis dumanı kullanımı ile bu boşluk yüzdesi minimum orana düşürülmektedir.

Mineral katkıları puzolanik özelliklerinden dolayı, çimento miktarının belirli oranlarında kullanıldıklarında taze betonda ortaya çıkan hidratasyon ısını büyük oranda düşürmeye yardımcı olurlar. Puzolanik özellikteki silis dumanı kullanımında da hidratasyon ısı büyük oranda düşecektir. Ancak silis dumanı kullanımı, diğer puzolanlara göre başlangıçta değişiklik gösterebilir. Silis dumanı kullanımı başlangıçta ısı artışına sebep olabilir. Bu ısı artışı silis dumanının çimento hidratasyonunu hızlandırması olarak gösterilebilir. İlerleyen safhalarda çimento bazında ısının yayılma hızını arttırsa da betonun ileri yaşlarında çimento bazında açığa çıkan ısıyı azalttığı kanıtlanmıştır.

Silis dumanı kullanımının hidratasyon ısını düşürme üzerindeki etkisi, çimento miktarının ne kadarı oranında kullanıldığına, kimyasal katkı olarak kullanılan akışkanlaştırıcı kullanımına paralel olarak değişkenlik gösterebilmektedir.

Hidratasyon ısını geç düşürmelerinden dolayı, silis dumanı kullanılan betonlar genel olarak daha geç prizini alırlar. Akışkanlaştırıcılar ile birlikte kullanımı da priz süresini belirli oranda etkilemektedir. Silis dumanı katkı miktarı arttıkça priz süresi de artacaktır. Bu sebeple kendiliğinden yerleşen betonlar gibi özel sınıf betonlarda, kullanılacak silis dumanı oranı önceden deneysel çalışmalarla mutlaka belirlenmelidir (Yeğınobalı, A., 2009).

Silis dumanı, kendiliğinden yerleşen betonlarda tek başına kullanılabildiği gibi, farklı mineral katkıları ile de kullanılabilir. Bahsi geçen mineral katkıları, uçucu küller, granüle yüksek fırın cürufu olarak gösterilebilmektedir.

Silis dumanının çeşitli mineral katkıları ile birlikte kullanılması yönünde birçok çalışma yapılmıştır ve bu çalışmalar sürekli yenilenerek farklı oran ve durumlar için devam etmektedir. Silis dumanı dışında, kullanılan bu mineral katkıları genellikle betonun ilk dayanımı düşürürler. Silis dumanının bu tür mineral katkıları ile birlikte kullanılması hem erken hem de ileri yaş dayanımlarını olumlu yönde etkileyecektir.

Özellikle uçucu kül katkılı betonların priz süreleri uzun sürmektedir. Silis dumanının priz süresini azaltıcı etkisinden faydalanılarak, uçucu küller ile birlikte kullanılması mantıklı olacaktır (Özdemir, E., 2006).

Kendiliğinden yerleşen betonlarda, mineral katkıların yanında kimyasal katkılarında kullanıldığı bilinmektedir. Mineral katkı maddesi olarak kullanılan silis dumanı, mutlaka kimyasal katkıları ile etkileşim içinde olacaktır. Genellikle silis dumanı kimyasal akışkanlaştırıcı katkıları ile birlikte kullanılır. Priz hızlandırıcı ve hava sürükleyici katkıları ile birlikte de kullanılabilir. Kimyasal katkıları özellikleri sebebi ile polimer moleküller oluştururlar ve çimento taneleri tarafında emilirler. Bu nedenle çimento tanelerinin şişmesi sonucu birbirleri iterek dağılmalarına sebep olurlar. Bunun sonucunda beton kıvamı için gerekli olan karışım suyunu azaltır (Yeğinoğlu, A., 2009).

Bahse konu olan tüm bu özelliklerden dolayı, beton karışım hesabı yapılırken, kullanılacak olan kimyasal ve mineral katkıların kendi içerisindeki ve birbirleri ile olan etkileşimleri mutlaka incelenmelidir. Kullanılacak olan katkı maddeleri hakkında mutlaka detaylı bilgi edinilmeli, malzeme iyi şekilde tanınmalı ve kullanılacak olan katkı maddesi miktar ve oranları mutlaka önceden yapılacak deneysel çalışmalar sonucunda belirlenmelidir.

Bu oran ve özellikler yeterli derecede tespit edilmediği takdirde, betonun taze haldeki ve ileri yaştaki özellik ve dayanımlarının olumsuz yönde etkileneceği bunun sonucunda kötü beton elde edileceği açıktır.

3.5.1. Silis dumanının taze beton özelliklerine etkisi

Önceki bölümde bahsedildiği gibi, silis dumanı taze beton kıvamında, betonun işlenebilirliğini artıran dolayısıyla çimento hamurunun kıvamını etkileyen mineral katkı maddesidir. Her katkı maddesinde olduğu gibi, ihtiyaç fazlası olarak kullanıldığında betonun kıvamını olumsuz yönde etkileyecektir.

Fazla dozaj ile silis dumanı kullanımı gerçekleştiğinde akışkanlaştırıcı ilave katkıları kullanmak ihtiyacı doğacaktır. Kullanılacak olan akışkanlaştırıcılar, türüne, kullanılan silis dumanı miktarına ve s / ç oranına bağlı olarak değişkenlik gösterebilir.

Silis dumanının dane özelliklerinden ve kimyasal özelliklerinden dolayı beton içerisinde jel oluşturarak yapışkan bir hal alarak, betonunu ayrışma olasılığını en aza indirirler. Böylelikle segregasyon ihtimali düşecektir.

Silis dumanı agregalar arasında serbest olarak bulunan suyun büyük bölümünü bağlarlar. Bunun dışında kalan suyu, agregalar arasını dolduran silis dumanı taneciklerini dışarıya iterler. Bu boşlukları doldurarak serbest suyu bağlayan silis dumanı, suyun beton yüzeyine çıkmasını yavaşlatır ve katkı miktarına bağlı olarak terleme büyük oranda azaltılır. Diğer taraftan terlemenin azaltılmasına bağlı olarak, beton yüzeyinin düzleştirilmesi işleminde (tesviye) olumsuz etki edecektir (Yeğinoğlu, A., 2009, Özdemir, E., 2006).

Taze betonda önemli olan diğer etken, priz süreleri olarak bilinmektedir. Silis dumanı s/ç oranını etkilediğinden akışkanlaştırıcılar ile birlikte kullanılması uygun olacaktır. Bu durumda priz sürelerinin etkileneceği açıktır. Priz sürelerinin azaltılması konusunda, hesaplamalar sonucunda belirlenen silis dumanı kullanımı etkili olacaktır. Optimum sürede betonun priz alması silis dumanı yardımıyla sağlanabilmektedir. Betonun hidrasyon ısını azaltarak terlemenin de önüne geçilebilmektedir (Özdemir, E., 2006, Yeğinoğlu, A., 2009).

Tüm özellikleri ile birlikte silis dumanı betonun geçirimsizlik özelliğini azaltmaktadır. İnce tanecik yapısı sebebiyle beton içindeki boşlukları muazzam şekilde doldururlar, fazla suyu dışarı iterler, hidrasyon ısını düşürerek terlemenin önüne geçerler, ayrışma direnci oluşturarak segregasyon riskini en aza indirirler.

3.5.2. Silis dumanının sertleşmiş beton özelliklerine etkileri

Silis dumanı kullanımının sertleşmiş beton üzerindeki en önemli etkisi basınç dayanımını artırmasıdır. Taze haldeyken beton içerisindeki boşluğu minimum seviyeye indiren silis dumanı böylelikle geçirimsizlik özelliğini de azaltmaktadır. Terlemenin önüne geçerek fazla su kaybını engelleyen silis dumanı tüm bu etki ve özelliklerinden dolayı beton basınç dayanımını olumlu yönde etkilemektedir. Basınç dayanımının artması sadece silis dumanı oranına bağlı olmamakla birlikte, kür şartlarının da yerine getirilmesi ile ilgilidir.

Silis dumanı kullanımından en üst düzeyde yararlanabilmek için özellikle 7 günlük kür bakımı mutlaka yapılmalıdır. Şantiye ortamında yaz mevsimi şartları hakim ise mutlaka beton sulanmalı ve içerisindeki suyun kaybının önüne geçilmesi gerekmektedir. Kış mevsiminin hakim olduğu durumlarda ise beton içerisindeki serbest suyun donmaması adına beton ısıtılmalı ya da çeşitli yöntemlerle koruma altına alınmalıdır.

Kür şartlarının yerine getirilmesi ile, erken yaş dayanımı ve ileri yaş dayanımı mutlaka artış gösterecektir (Kurt, E., B., 2007).

Keçeci A., silis dumanı kullanımının beton basınç dayanımına etkisi isimli seminer çalışmasında, çimento miktarını sabit tutarak bu miktarın %15'i, %20'si ve %25'i oranlarında silis dumanı kullanarak basınç dayanımına etkisini incelemiştir. Çalışma sonucunda %15 ve % 20 oranlarında kullanılan silis dumanının beton basınç dayanımlarını 7 ve 28 gün sonunda attırdığını gözlemlemiştir. % 25 oranında ise, hiç silis dumanı kullanılmayan referans numune dayanımının da altında basınç dayanımları elde etmiştir. Katkı miktarı arttıkça, beton basınç dayanımının azaldığını kanıtlamıştır (Keçeci, A., 2016).

Beton basınç dayanımının artması ile birlikte, çekme ve eğilme dayanımları da artacaktır. Bu artış yavaşlayan bir periyot oluşturarak devam eder. Bu dayanımların oluşmasında silis dumanı oranı ve bununla beraber akışkanlaştırıcı kullanımı önem arz etmektedir. Deneysel yöntemlerle elde edilen bu oranlar aşıldığında beton basınç dayanımı olumsuz yönde etkilenecektir (Yeğınobalı, A., 2009).

3.6. Aderans

Betonarme, beton ile çeliğin bir arada kullanılması sonucu ortaya çıkan, taşıyıcı eleman üretiminde kullanılan yapı malzemesidir. Betonarmenin bilinen en önemli özelliği, beton ile çeliğin birlikte çalışması ve birbirlerinin eksik yönlerini tamamlamasıdır. Bu birlikteliğin oluşmasında en önemli etken, beton ile çeliğin ısı genleşme katsayısının eşit olmasıdır. Bu eşitlikten dolayı, malzeme mükemmel yakın davranış sergiler.

Betonun basınç dayanımı yüksek olmakla beraber, çekme dayanımı oldukça düşüktür. Çeliğin ise basınç dayanımı düşük, çekme dayanımı oldukça yüksektir. Beton ile çeliğin karşılıklı eksikliklerini tamamlaması sebebiyle, betonarme, basınç ve çekme gerilmelerine maruz kalan yapı elemanlarında vazgeçilmez yapı malzemesi olmuştur.

Betonarme teorisinde diğer husus, birlikte çalışan beton ile çeliğin birbirleri arasında meydana gelen gerilme aktarımlarıdır. Gerilme aktarımları, beton ile beton içerisinde gömülü halde bulunan donatıların yüzeyleri arasında meydana gelen rölatif hareketlere ya da kaymaya karşı gösterilen direnç sayesinde mümkün olmaktadır. Gerilme geçişleri sırasında açığa bu direnç aderans olarak adlandırılmaktadır (Benli, A., ve Arkd., 2008).

Betonarme taşıyıcı elemanlarının gerektiği şekilde davranış gösterebilmesi için, donatının betona kenetlenip birlikte çalışması zorunludur. Kenetlenme sayesinde aderans kuvveti fazla olacaktır. Aderansın tam manasıyla ortaya çıkması, gerekli kenetlenme boyu ve kesitte bulunan çelik donatı çubuklarının betonlama işlemi sırasındaki konumuna bağlıdır.

Herhangi bir betonarme taşıyıcı elemanda, donatıdan beklenen çekme ya da basınç gerilmesini güvenli bir şekilde taşıyabilmesi için, donatının her iki yönde de uygun kenetlenme boyuna sahip olması gerekmektedir.

Kenetlenme boyu ile birlikte yüksek aderans kuvveti elde etmek için, donatı ile betonun dış yüzeyi arasında uygun beton örtüsü oluşturulmalıdır. Bu beton örtüsü ile donatıya gerekli aderans sağlanır ve donatı dış etkilere korunmuş olur. Net beton örtüsü olarak adlandırılan bu örtü, yangın, paslanma ve diğer zararlı etkiler söz konusu olabilecek durumlarda gerekli görüldüğü kadarıyla mutlaka arttırılmalıdır (TS 500).

TS500'e göre gerekli beton örtüsü değerleri çizelge 3.1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. En dış donatının dış yüzünden ölçülen gerekli beton örtüsü (TS500)

Zeminle doğrudan ilişkide olan elemanlarda	$c_c \geq 50 \text{ mm}$
Hava koşullarına açık kolon ve kirişlerde	$c_c \geq 25 \text{ mm}$
Yapı içinde, dış etkilere açık olmayan kolon ve kirişlerde	$c_c \geq 20 \text{ mm}$
Perde duvar ve döşemelerde	$c_c \geq 15 \text{ mm}$
Kabuk ve katlanmış plaklarda	$c_c \geq 15 \text{ mm}$

Donatının kenetlenmesi için gerekli net beton örtüsünün yanında, donatıların net aralıkları, kullanılan agregaların çapları ve donatıların uygun şekilde yerleştirilmesi de önemlidir. Donatı aralığı ile ilgili standart koşulları, TS500’de 9.5.2. numaralı başlık altında verilmiştir.

Betonarme elemanlarda çelik donatı çubukları, beton kütesinin içerisine yeterli oranda gömülmüş şekilde ise, çubuğu sıyrılması oldukça imkansızdır. Ters durumda ise, çelik çubuğun çapına bağlı olarak sıyrılıp çıkabilir veya gömülü olduğu beton kütesini çatlatıp yarabilir. Donatının beton içerisinde kalan bu gömülmüş uzunluğuna “kenetlenme boyu” adı verilmektedir. Bu uzunluğa bağlı olarak ortaya çıkan aderans şekline ise, “kenetlenme aderansı” denilmektedir.

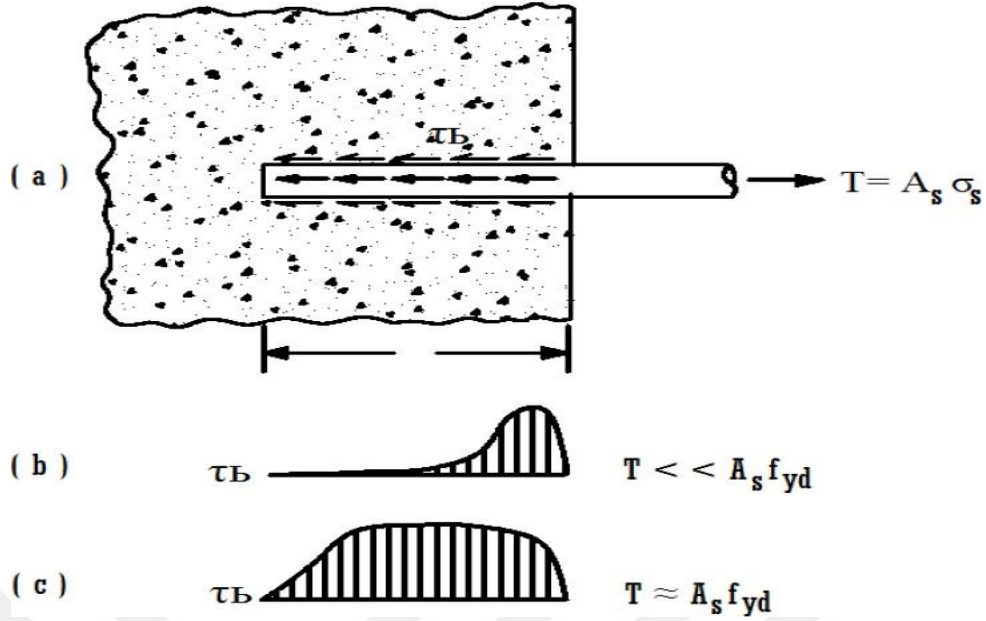
Beton ile donatı çubuğunun arasında meydana gelen aderans kuvvetini başlıca üç ana neden altında toplamak mümkündür.

- Beton ile çelik çubuk arasındaki bağ kuvvetleri,
- Beton ile çelik donatı çubukları arasındaki sürtünme kuvvetleri,
- Çelik çubuk ile beton arasında meydana gelen mekanik dış kuvvetleri.

Aderans, beton ve donatıdan kaynaklanan birçok özellikten etkilenebilir. Bu özellikler beton ve donatıdan kaynaklanan özelliklerdir. Betonun çekmeye karşı gösterdiği dayanım, çeliğin akma sınırına ulaşma seviyesi, çelik çubuğun yüzeysel geometrisi, donatıların çapları, kenetlenme boyları, donatıyı saran beton örtüsü, beton karışımında kullanılan agregaların cins ve dane çapları ve kullanılan diğer katkı maddeleri olarak söylenebilir (Bingöl, A.,F., Gül, R., 2009).

Donatının deprem esnasında betondan sıyrılıp betonu yarmaması için, kenetlenme boyunun yeterli olması gerekir. Donatı akma gerilmesine ulaştığında betonun içerisinde kalmalı ve sıyrılmamalıdır. Ülkemizde uygulanan standartlar doğrultusunda uygulama yapıldığı takdirde, aderans kuvveti yeterince karşılanacak şekilde betonarme imalatlar yapmak mümkün olacaktır.

Şekil 3.11.’de betona gömülü bir çelik çubuk kesiti gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Aderans gerilme dağılımı, Ersoy (1985)

Aderans kuvveti için oluşan gerilmeler ve kenetlenme için gerekli boy arasında oluşacak ilişkiyi yaklaşık belirleyebilmek adına, aderans gerilmesinin kenetlenme boyunca yaklaşık sabit kaldığı varsayılabilir (Ersoy, 1985).

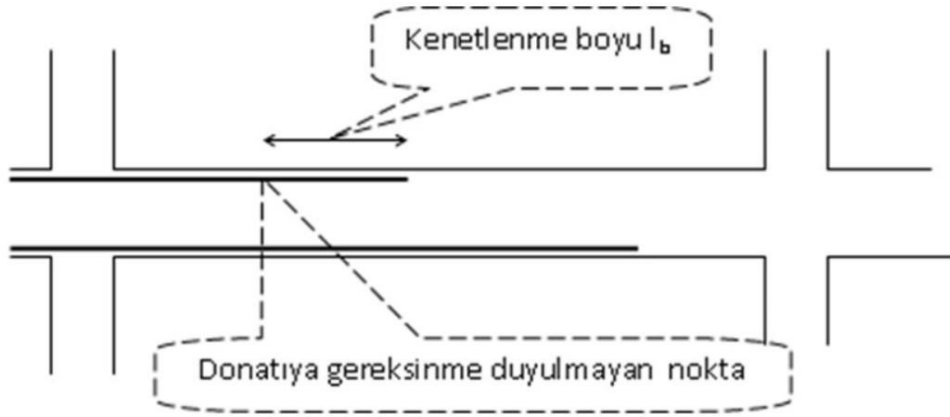
Aderans dayanımı, çelik çubuğun çapına, donatı alanına, gömülü olan çubuk uzunluğuna, kenetlenme boyuna, donatı akma sınırına ve en önemli etken olarak betonun çekme dayanımına bağlı olarak birçok değişken ile ilgilidir.

Aderans kuvvetinin yüksek olmasını sağlamak için, betonun özelliklerinin yanısıra, çekme donatısının da iyi derecede kenetlenmiş olması gerekir. Yeterli kenetlenme durumu dört farklı şekilde elde edilebilir.

- Düz kenetlenme ;

Çekme donatısında meydana gelen en yüksek gerilmenin olduğu noktanın her iki tarafında, standartlarda belirlenen kenetlenme boyu kadar uzatılmışlık varsa, uygulanan kenetlenme boyu yeterlidir.

Şekil 3.12.'de düz kenetlenme verilmiştir.



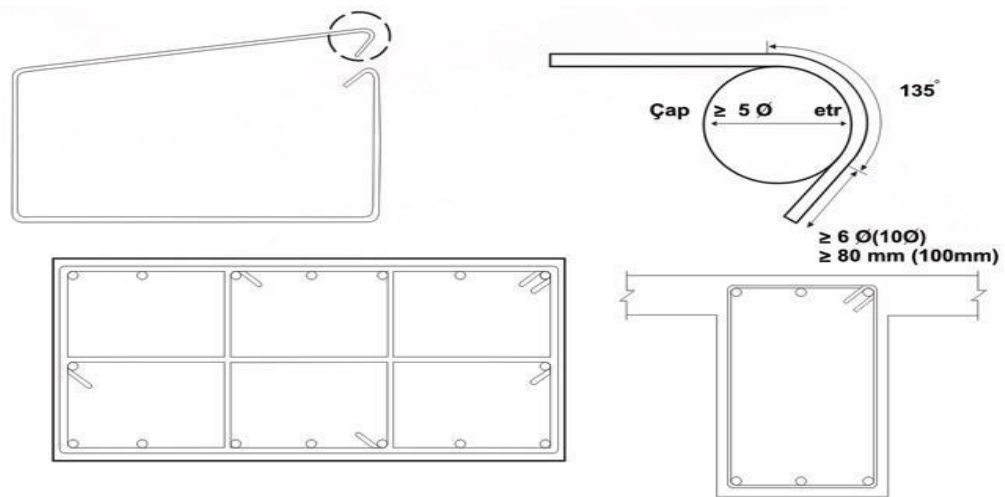
Şekil 3.12. Düz kenetlenme (Çağlar, N.)

- Kanca ve fiyong ile kenetlenme;

Bazı özel durumlar için donatının düz kenetlenebilmesi mümkün olmayabilir. Böyle durumlar için, donatı uç kısmında kanca ya da fiyong şeklinde kenetlenme yapabilecek parçalar oluşturulur. Genellikle kiriş ve kolon etriyelerinde uygulanan bu yöntemde kanca açısı 90° ile 180° arasında değişiklik gösterebilir. Uygulamada yapılması gereken, donatı çubuğunun beton içerisinden sıyrılmasını önlemek amacıyla 135° olarak yapılmalıdır.

TS500 e göre kancaların standart olması halinde, kenetlene için gereken boy formül ile hesaplanan değerin $\frac{3}{4}$ 'ü kadar kabul edilebilir.

Şekil 3.13.'de kanca ile kenetlenme gösterilmiştir.



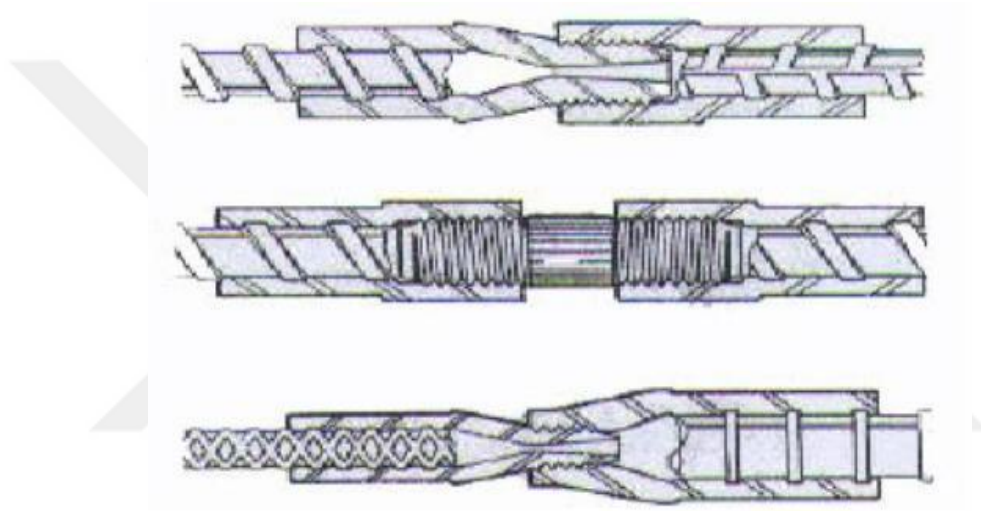
Şekil 3.13. Kanca ile kenetlenme (TS500)

- Kaynaklanan enine çubuklarla kenetlenme;

Genellikle hasır donatılar için kullanılan bu yöntemde, kenetlenmesi gerekecek olan donatı çubuğuna dik yönde kaynak işlemi uygulanarak eklenen çubuklar ile birlikte kenetlenme için gerekli boy uzunluğuna ulaşılabilir (Ersoy,1985).

- Mekanik kenetlenme;

Kenetlenmesi istenen donatı çubuğunun uç kısmına somun, çelik plakalar veya buna benzer parçalarla kaynaklama ile oluşturulan kenetlenme boyudur. Bu türdeki kenetlenmelerin yeterli derecede uygun olduğu deneysel çalışmalar ile desteklenmelidir.



Şekil 3.14. Mekanik kenetlenme (Koçak, A., 2007)

Beton döküm sırasında özellikle kirişlerin montaj donatılarında, beton üst yüzeyine yakın oldukları için aderans kuvvetleri zayıf olacaktır. Bu sebepten dolayı, üst çubukların kenetlenme boylarını %40 oranında arttırmak uygun olacaktır. Basınç bölgesinde yer alan bu donatıların kenetlenmesi için de çeşitli uygulamalar yapılmalıdır.

Çubuklardaki gerilmelerin en fazla olduğu noktadan, çubukların her iki tarafa da en az kenetlenme boyu kadar uzatılması gerekmektedir.

Oluşan bu gerilmeler, momentin maksimum olduğu noktada ya da bazı donatı çubuklarının büküldüğü noktalarda meydana gelir. Bu noktalar belirlenirken, mesnette oluşabilecek oturmalar, moment diyagramının oluşabilecek eğik çatlaklar sebebi ile sağa veya sola kayması ihtimali düşünülmelidir (Altan, F., 2013).

3.6.1. Basınç donatısının kenetlenmesi

Basınç bölgesinde beton için, çekme çatlakları veya çekme gerilmeleri olmadığından dolayı basınç donatıları için aderans kuvveti, çekme donatı çubuklarına oranla kritik değerlerde değildir. Yönetmelik şartlarında basınç çubukları için gerekli kenetlenme boyları, çekme donatı çubukları için öngörülenden çok daha küçüktür.

Bu sebeple basınç bölgesinde bulunan donatı çubukları için, özel olarak geliştirilmiş kenetlenme türleri yoktur. Ayrıca basınç donatısına kanca yapılamaz.

3.6.2. Aderansın nedenleri ve çalışma bütünlüğü

Beton ile donatı çubuğunun birbiri arasında oluşturduğu bağ olarak isinlendirilen aderans kuvvetinin üç temel nedene dayandığı kabul görmektedir. Bu nedenler;

- Donatı çeliği ile beton arasında yapışma şeklinde nitelik kazandıracak moleküler ve kapiler bağ kuvvetleri; bu bağ kuvvetleri sonucu oluşabilecek yapışma, değeri çok düşük olan yapışma türüdür. Etki eden zayıf yükler altında bile donatı çeliğinin ve betonun, birbirileri arasında aderans kuvvetleri geçişi sırasında çok küçük deplasman yapmaları sonucunda dahi koparlar.
- Sürtünme kuvveti; beton ile donatı çubuğunun birlikte çalışmasında en önemli etken hiç şüphesiz yok ki, birbirleri arasındaki sürtünme kuvvetidir. Bu kuvvet, moleküler olarak açığa çıkan kuvvetlerden daha fazla önemlidir. Donatı çubuğunun düz yüzeyli olması sürtünme kuvvetini etkileyecektir.
- Mekanik dış kuvvetler; mekanik dış kuvvetlerin etki etmesi, aderansı geliştirilmiş nervürlü çubuklarda ortaya çıkmaktadır. Bu yüzeylerin biçimleri uygun ise aderans kuvveti önemli derecede artacaktır (Ersoy, U.,1985, Altan, F., 2013).

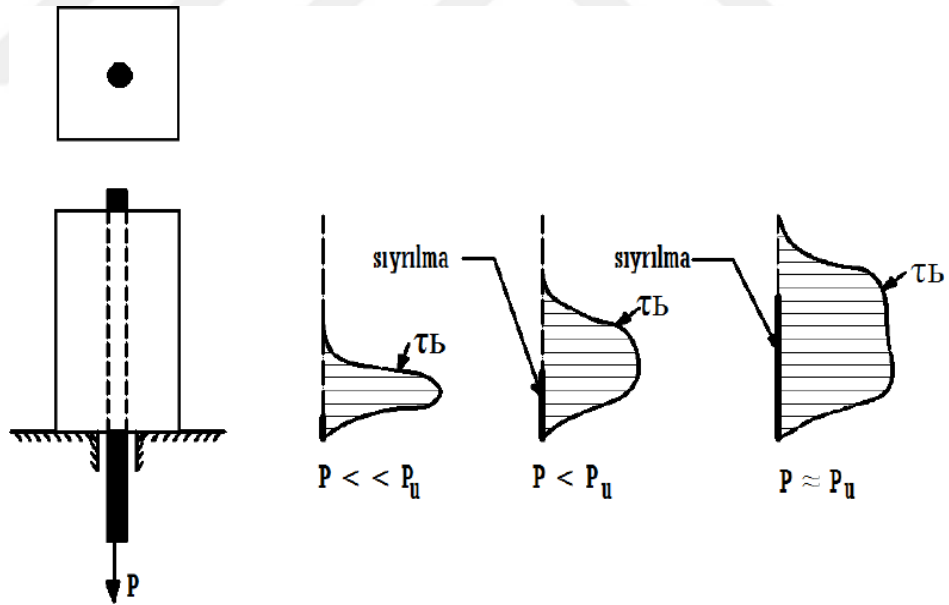
Nervürsüz, diğer bir deyişle düz yüzeye sahip çelik çubuklarda aderans kuvveti, yukarıda sayılan ilk iki nedene bağlı olarak etkinlik göstermektedir. Nervürlü çelik donatılarda ise, sayılan ilk iki nedenin etkisi ihmal edilebilir. Nervürlü donatıların aderansı çelik çubukta bulunan çıkıntılarının (nervürlerin) beton ile etkileşime girmesi ve nervür aralarının beton ile dolması ile sağlanmaktadır.

Bahsi geçen etkileşime mekanik dış kuvvet denilmektedir. Birçok aderans deneylerinin yanısıra en basit olarak geliştirilmiş deneysel yöntem “eksenel çekip çıkarma” deney düzeneğidir.

Oluşturulan bu düzenekte, silindir, küp veya prizma şeklinde üretilen beton numunelerinin içerisine çelik donatı çubuğunun yerleştirilerek, çubuğa eksenel çekme kuvveti uygulanarak çelik çubuğun beton içerisinden çekip çıkarılması amaçlanır.

Deneysel metotun sonucunda, genellikle nervürlü donatı çubuklarında kenetlenme boyu uygun ise donatı akar, kenetlenme boyu uygun olmadığı durumlarda ise, donatı beton içerisinden sıyrılıp çıkar (Ersoy, 1985, Altan, F., 2013).

Deney düzeneği şekil 3.15.’de gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Çekip çıkarma deney düzeneği (Ersoy, 1985)

Aderans kuvveti birçok etkene bağı olarak değişkenlik gösterebilir. Bu faktörler özetlenirse;

- Nervürlü çelik çubuğun fiziksel özelliğinden dolayı, betonda kırılmalar yarılma olarak gerçekleşeceğinden betonun çekme dayanımı önem kazanmaktadır.
- Çelik çubukların akma dayanımları, aderans kuvvetinin gerilme dağılımında önemli rol alacağından, akma dayanımları oldukça önemlidir.
- Çelik çubukların fiziksel (yüzeysel özellikleri). Nervürülü ya da nervürsüz olmaları etkilidir.
- Çelik donatının çapı aderans kuvvetini etkileyen önemli özelliklerinden birisidir. Donatının çapı değişim gösterdikçe, bu değişim oranında kenetlenme çevresinin uygulanacak kuvvetin etkisi altındaki alana oranı değişkenlik gösterecektir.
- Kenetlenme boyu, aderans kuvveti için değişkenlik gösterebilen özelliklerden birisidir. Kenetlenme boyu ile aderans gerilmesi arasında bir orantı kurmak sağlıklı bir yorum olmayacaktır. Kenetlenme boyu iki katına çıktığında, aderans dayanım kuvvetinin de iki katına çıkacağı varsayılmaz.
- Donatının üzerini ve etrafını çevreleyen beton örtüsü, diğere bir deyişle pas payı, aderans dayanımını etkileyen bir diğere faktördür.
- Beton dökümü esnasında donatıların konumları önemlidir. Beton dökümü sırasında, öncelikle donatıların alt kısımları dolacağından, üst yüzeye yakın kalan donatı çubuklarının alt kısmında kalan bölgelerde hava boşlukları oluşabilir ve bu durum aderansı zayıflatır.
- Sargı donatısı etkisi özellikle nervürlü çelik çubuklarda etki göstermektedir. Sargı donatı düzeni, beton çekirdek kütlesini saracağından, yarılma olarak gerçekleşebilecek kırılmalara karşı aderans dayanım kuvvetini büyük oranda artıracaktır.
- Betonun oluşturmada kullanılan agrega cinsi ve çapı, kullanılan mineral ve kimyasal katkı maddeleri de beton ile çelik donatı çubuğı arasındaki aderansı etkileyen önemli unsurlardır (Altan, F., 2013).

4. DENEYSEL ÇALIŞMA VE DENEY SONUÇLARI

Yapılan tez çalışmasında, kendiliğinden yerleşen betonlarda mineral katkı olarak kullanılan silis dumanının, beton basınç dayanımına ve beton ile donatı çeliği arasında oluşan aderans kuvvetine etkileri incelenmiştir.

Deneysel çalışmayı gerçekleştirmek için, silis dumanı içermeyen 4 adet 15x15x15 cm lik küp deney kapları ile referans beton karışımı üretilmiştir. Referans numuneleri oluşturan tüm malzeme miktarları sabit tutulmuş, sadece çimento miktarının %10'u, %15'i, %20'si ve %25'i kadar silis dumanı eklemesi yapılarak toplam 20 adet beton küp numuneler elde edilmiştir. Çekip çıkarma deneyi için uygulanacak numuneler dışında, beton basınç dayanımını takip edebilmek için, farklı oranlarda silis dumanı içeren, her set için 2 adet numune elde edilmiştir. 7 ve 28 gün sonunda basınç dayanımını elde etmek için toplam 10 numune daha üretilmiştir. Numune adetleri Tablo 4.1.'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Deneyde Kullanılan Numune Adetleri

	Basınç Deneyi	Çekip Çıkarma Deneyi	Numune Cinsi
Referans Numuneler	2	4	Küp
%10 Silis İçeren Numuneler	2	4	Küp
%15 Silis İçeren Numuneler	2	4	Küp
%20 Silis İçeren Numuneler	2	4	Küp
%25 Silis İçeren Numuneler	2	4	Küp

Referans numuneler ile birlikte, farklı ikame oranlarına sahip 5 set olmak üzere, toplam 20 adet kendiliğinden yerleşen beton numunesi elde edilmiştir. Beton numunelerinin içerisinde 15 cm'lik kısmı betona gömülü olacak şekilde 100 cm boyunda 10 mm çaplı nervürlü donatı çubuğu yerleştirilmiştir. Basınç ve çekme sonuçlarını elde etmek için toplam 30 adet numune üretilmiştir.

Teknik ekipmanlar yardımıyla, çelik donatı çubuğuna eksenel çekme kuvveti uygulanarak, donatı çubuğunun beton içerisinden çekip çıkarılması amaçlanmıştır. Bu çekip çıkarma kuvvetinin, diğer bir deyişle aderans kuvvetinin, silis dumanı oranı ile bağlantısı araştırılmış, bahse konu olan bu oranın aderans kuvvetine etkileri incelenmiştir.

Oluşturulan numuneler, 7 ve 28 gün boyunca kirece doymun kür havuzunda, laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Oluşturulan beton numuneler içerisinde bulunan çelik çubuklara eksenel çekme kuvveti uygulama işlemi 7. ve 28. günlerin sonunda uygulanmıştır.

7. günün sonunda her setten 2 adet kendiliğinden yerleşen beton içerisine gömülü 10 mm lik çelik çubuklara çekip çıkarma deneyi uygulanmış ve her bir set için ortalama değerler elde edilmiştir.

28. günün sonunda ise, her setten kalan 2 adet beton numunesi içerisinde gömülü bulunan çelik çubuklara çekip çıkarma deneyi uygulanmış, ortalama değerleri alınarak deneysel çalışma tamamlanmıştır. Sonuçlar irdelenerek, silis dumanı kullanımının beton ile donatı arasındaki aderans kuvvetine etkileri incelenmiştir.

4.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemeler

4.1.1. Çimento

Konya Çimento Sanayii A.Ş.’den temin edilen, CEM II/A-M (P,L) 42,5R özellikli çimento kullanılmıştır. Deneysel çalışma için kullanılan bu çimento tipinin fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 4.2. ve Tablo 4.3.’deki gibidir.

Tablo 4.2. Çimentonun mevcut kimyasal özellikleri

Kimyasal Özellikler	Çimento Değerleri	TS EN197-1’e göre minimum değerler	TS EN197-1’e göre maksimum değerler
(%) SO ₃ , Kükürt Trioksit değeri.	3,37		4,00
(%) Cl, Klorür değeri	0,06		0,1
(%) Toplam katkı	17	6	20
K ₂ O (Potasyum oksit) Na ₂ O (Sodyum oksit)	0,71 0,63		

Tablo 4.3. Çimentonun mevcut fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikler	Çimento Değerleri	TS EN197-1’e göre minimum değerler	TS EN197-1’e göre maksimum değerler
2. gün sonunda basınç dayanım değeri (N/mm ²)	24,8	20	
28.gün sonunda basınç dayanım değeri (N/mm ²)	47,2	42,5	62,5
Priz başlangıç süresi (dakika)	190	60	
Hacim genişleme değeri (mm)	1		10

4.1.2. Silis dumanı

Atık malzeme olarak elde edilen silis dumanı, Antalya Eti Elektrometalurji A.Ş. bünyesinde bulunan üretim tesislerinden elde edilmiş ve bu deneysel çalışmada, çimento miktarının %10, %15, %20 ve %25'i oranlarında farklı numunelerde kullanılmıştır. Tipik olarak silis dumanı kimyasal bileşim özellikleri Tablo 4.4.'de verilmiştir.

Tablo 4.4. Silis dumanı kimyasal bileşimi (Dinç, A., 2007)

Kimyasal Bileşeni	Ağırlıkça Yüzdesi	Kimyasal Bileşeni	Ağırlıkça Yüzdesi
CaO (Kalsiyum oksit)	0,6	Alkali	0,96
Fe ₂ O ₃ (Demir II oksit)	0,8	SO ₃ (Kükürt trioksit)	0,3
Al ₂ O ₃ (Alüminyum oksit)	0,4	MgO (Magnezyum oksit)	0,6
SiO ₂ (Silisyum dioksit)	93		

Silis dumanının kimyasal bileşiğinin yanısıra, birtakım özelliklerinin de bilinmesi gereklidir. Yaklaşık dane çapı 0,1 ile 0,2 mikron arasındadır, çimento dane çapına göre yaklaşık 100 kat daha küçüktür, yoğunluğu ise 100 – 650 kg/m³ olarak bilinmektedir. Küresel ve camsı dane yapısına sahiptir.

Tablo 4.4.'de tipik silis dumanı özellikleri verilmiştir. Bu özelliklerin, malzemenin temin edildiği yere ve elde ediliş şekline göre değişiklik gösterebileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

4.1.3. Agrega

Beton karışımını oluşturan ana malzemelerden olan agregalar çeşitli dane çaplarına sahiptirler. Elde ediliş şekillerine ve elde edildikleri doğal ortamlarına göre moleküler yapıları farklılık gösterebilmektedir.

Kendiliğinden yerleşen betonlar gibi özel tür betonlarda, agrega dane çapı oldukça önem taşımaktadır. Kendiliğinden yerleşen betonların uygulanabilmesi için gerekli dane çapının çok büyük olmaması gerekir. KYB'lerin kullanım amaçlarından bazılarını hatırlayacak olursak;

En ulaşılmaz kalıplarda, estetik olarak tasarım yapılan kalıplarda, çok sık donatılı taşıyıcı yapı elemanlarında (kolon, kiriş), betonun segregasyona sebebiyet vermeden yerleşebilmesini sağlamaktır. Be nedenle, kendiliğinden yerleşen betonlarda, en fazla dane çapı, yapılan araştırma ve deneysel çalışmalar sonucunda 22 mm olarak kabul görmüştür. Daha büyük dane çapı kullanılması durumunda, agregaların birbirleri arasında mevcut olan boşluk oranlarının artacağı açıktır.

Boşluk oranının artması ile birlikte beton basınç dayanımında düşüş gözlenmesi beklenebilir. Yüksek dayanımlı özel betonlar sınıfında gösterilen KYB'ler için bu durum olumsuz sonuçlar ortaya çıkaracaktır.

Yapılan bu deneysel çalışma için, bahsi geçen özelliklerin yerine getirilebilmesi için, 0/4 ve 4/11,2 mm ortalama dane çaplı iki tip agrega kullanılmıştır.

Kullanılan bu iki tip agrega için, Sigma beton laboratuvarından elde edilen agrega özellikleri ve yapılan deneysel çalışma sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 4.5'de 0/4 ortalama çaplı birinci tip agrega için, elek analizi yapılmış ve sonuçlar gösterilmiştir.

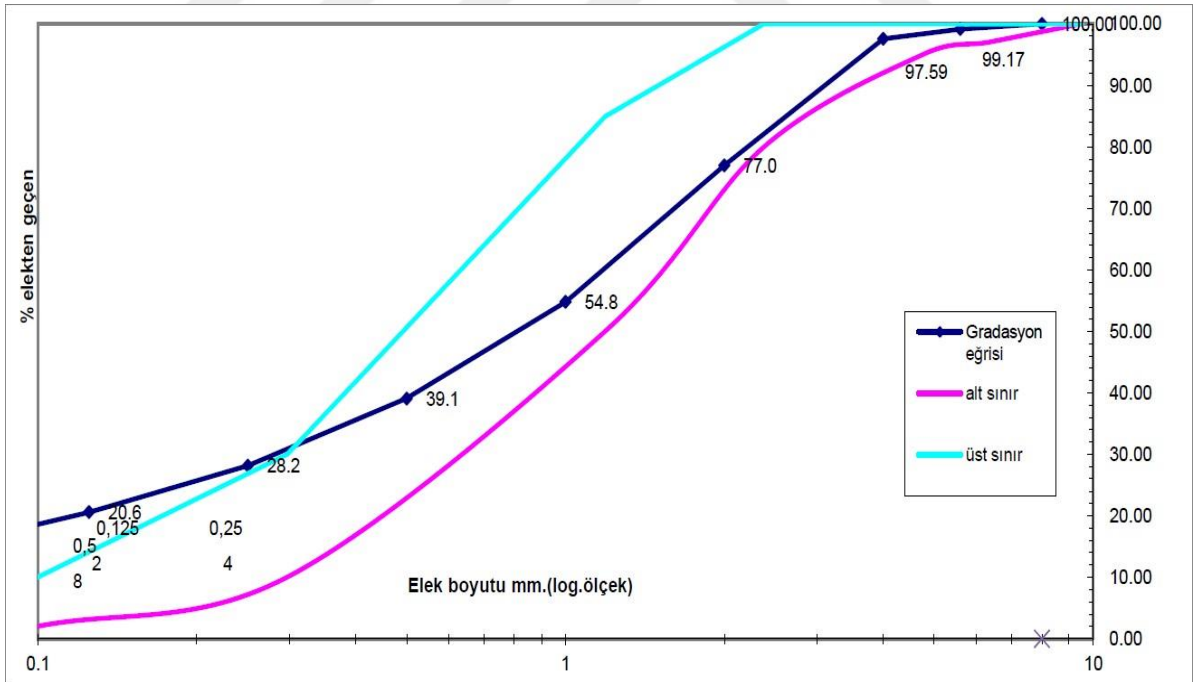
Tablo 4.6'de birinci tip kırmataş agrega için özgül ağırlık deney sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.6.'da birinci tip agrega için su emme oranı deney sonuçları gösterilmiştir.

Şekil 4.1.'de ise 0/4 mm ortalama çaplı birinci tip agrega için granülometri eğrisi verilmiştir.

Tablo 4.5. 0/4 ortalama çap için elek analizi sonuçları (Sigma beton lab. Ankara)

Elek Boyutu (mm)	Elekte Kalan (g)	Elekte Kalan (%)	Küm.Elekten Geçen (%)	Küm. Elekte Kalan (%)
8	0	0,00	100,00	0,00
5,6	7,3	0,83	99,17	0,83
4	13,9	1,58	97,56	2,41
2	180,8	20,6	77,0	23,0
1	194,8	22,2	54,8	45,2
0,5	138,2	15,7	39,1	60,9
0,25	95,7	10,9	28,2	71,8
0,125	66,4	7,6	20,6	79,4
0,063	52,9	6,0	14,6	85,4
0,024	128	14,6	0,0	100,0
Toplam	878,0	100	İncelik Modülü	2,8

**Şekil 4.1.** 0/4 agrega tipi için elde edilen granölometri eğrisi (Sigma beton lab. Ankara)

Tablo 4.6. 0/4 mm için özgül ağırlık deney sonuçları (Sigma beton lab. Ankara)

ÖLÇÜMLER	Deney 1	Deney 2	
Etiv Kuru Ağırlığı (M4) g	1172,0	1172,0	
Doygun Kuru Yüzey Ağırlığı (M1) g	1187,0	1187,0	
Kap+Numune+Su ağırlığı (M2) g	4689,0	4689,0	
Ölçü Kabı + Su Ağırlığı (M3) g	3948,0	3948,0	
Sıcaklık (° C)	19,0	41,0	Ortalama
Kuru Özgül Ağırlık $M4 / (M1+M3-M2)$	2,63	2,63	2,63
Doygun Kuru Yüzde Özgül Ağırlığı $M1 / M1+M3-M2$	2,66	2,66	2,66
Görünen Özgül Ağırlığı $M4 / (M4+M3-M2)$	2,72	2,72	2,72

Tablo 4.7. 0/4 tip agregaya için su emme oranı deney sonuçları (Sigma beton lab. Ankara)

ÖLÇÜMLER	Deney 1	Deney 2	
Doygun Kuru Yüzey Ağırlığı (M1) g	1187,0	1187,0	
Etiv Kuru Ağırlığı (M4) g	1172,0	1172,0	
Absorpsiyon (M1 – M4) g	15,0	15,0	Ortalama
Yüzde Absorbtion (M1 – M2)/ M2 x 100	1,28	1,28	1,28

Deneyisel çalışma için kullanılan diğer agregaya dane çapı 4/11,2 olarak belirlenmiştir. İkinci kırmataş olarak kullanılan agreganın özellikleri ve yapılan birtakım deney sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 4.8’de 4/11,2 ortalama çaplı ikinci kırmataş agregaya için, özgül ağırlık deneyi yapılmış ve sonuçlar gösterilmiştir.

Tablo 4.9’de ikinci tip kırmataş agrega için su emme oranı deney sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.10.’da ikinci tip kırmataş agrega için elek analizi deney sonuçları verilmiştir.

Şekil 4.2.’de ise 4/11,2 mm ortalama çaplı birinci tip agrega için granülometri eğrisi verilmiştir.

Tablo 4.8. 4/11,2 mm için özgül ağırlık deney sonuçları (Sigma beton lab. Ankara)

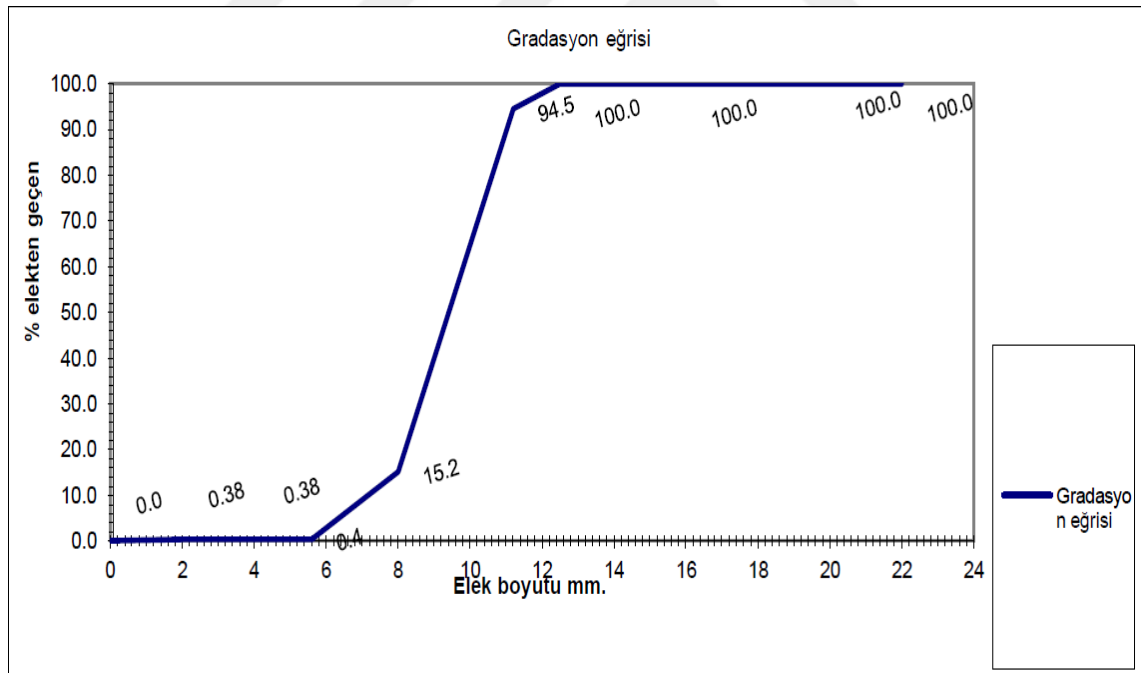
ÖLÇÜMLER	Deney 1	Deney 2	
Etüv Kuru Ağırlığı (M4) g	1128,0	1128,0	
Doygun Kuru Yüzey Ağırlığı (M1) g	1133,0	1133,0	
Kap+Numune+Su ağırlığı (M2) g	4660,0	4660,0	
Ölçü Kabı + Su Ağırlığı (M3) g	3948,0	3948,0	
Sıcaklık (° C)	19,0	41,0	Ortalama
Kuru Özgül Ağırlık $M4 / (M1+M3-M2)$	2,68	2,66	2,68
Doygun Kuru Yüzde Özgül Ağırlığı $M1 / (M1+M3-M2)$	2,69	2,69	2,69
Görünen Özgül Ağırlığı $M4 / (M4+M3-M2)$	2,71	2,71	2,71

Tablo 4.9. 4/11,2 Su emme oranı deney sonuçları (Sigma beton lab. Ankara)

ÖLÇÜMLER	Deney 1	Deney 2	
Doygun Kuru Yüzey Ağırlığı (M1) g	1133,00	1133,00	
Etüv Kuru Ağırlığı (M4) g	1128,00	1128,00	
Absorpsiyon (M1 – M4) g	5,00	5,00	Ortalama
Yüzde Absorbction (M1 – M2)/ M2 x 100	0,44	0,44	0,44

Tablo 4.10. 4/11,2 tip agrega için elek analizi sonuçları (Sigma beton lab. Ankara)

Elek Boyutu (mm)	Elekte Kalan (g)	Elekte Kalan (%)	Küm.Elekten Geçen (%)	Küm. Elekte Kalan (%)
22	0,0	0,00	100,00	0,00
20	0,0	0,00	100,00	0,00
16	0,0	0,00	100,00	0,00
12,5	0,0	0,00	100,00	0,00
11,2	75,7	5,5	94,5	5,5
8	1099,7	79,3	15,2	84,8
5,6	95,7	14,8	0,4	99,6
4	205,3	0,00	0,38	99,6
2	0,0	0,00	0,38	99,6
0,024	5,3	0,40	0,0	100,0
Toplam	1386	100	İncelik Modülü	4,1

**Şekil 4.2.** 4/11,2 agrega tipi için elde edilen granülometri eğrisi (Sigma beton lab. Ankara)

4.1.4. Akışkanlaştırıcı

Kendiliğinden yerleşen betonların önemli özelliklerinden olan akışkanlık ve işlenebilirlik, kullanılan çeşitli katkıları sayesinde sağlanabilmektedir. Akışkan bir yapıya sahip olabilmesi için, levelcon marka hiper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Bu şekilde kendiliğinden yerleşen betonun işlenebilirliği artırılmıştır.

4.2. Deneyin Yapılışı

İlk olarak, beton basınç dayanımlarını belirlemek için, silis dumanı içermeyen 2 adet, çimento miktarının % 10'u, %15'i, %20'si ve %25'i oranlarında silis dumanı içeren 2 şer adet olmak üzere toplamda 10 adet beton küp numune elde edilmiştir.

Referans olarak kabul edilen bu numunelerde kullanılan malzeme miktarları Tablo 4.11'de verilmiştir.

Tablo 4.11. Referans numuneler için kullanılan malzeme miktarları

Kullanılan Malzeme Adı	Malzeme Miktarı
Çimento	15 kg (1m ³ de 372 kg)
Su / Çimento	0.4 (1m ³ de 0.45 – 0.50)
İnce Agrega (0/4)	30 kg (1m ³ de 1215 kg)
Kaba Agrega (4/11,2)	18 kg (1m ³ de 653 kg)

Silis dumanı içeren diğer numuneler için de Tablo 4.11'de gösterildiği şekilde malzeme miktarları kullanılmış ve betoniyer vasıtası ile beton karışımı gerçekleştirilmiştir. Öncelikle silis dumanının beton basınç dayanımına etkisi incelenmiş, her grup için 7 ve 28 gün sonunda basınç testi yapılmıştır.

Beton basınç dayanımı için oluşturulan numuneler Şekil 4.3. ve Şekil 4.4.'deki gibidir.



Şekil 4.3. Basınç dayanımı için oluşturulan numuneler



Şekil 4.4. Basınç dayanımı için oluşturulan numuneler

Beton basınç dayanımı için üretilen numunelerde kullanılan malzeme miktarları her set için sabit tutulmuş ve eksenel çekme kuvveti için kullanılacak olan numuneler hazırlanmıştır. 10 mm çaplı 100 cm boyundaki nervürlü donatı çubukları, özel olarak oluşturulan kalıplara yerleştirilip 15 cm'lik kısmı beton içerisinde kalacak şekilde döküm gerçekleştirilmiştir.

Aderans için oluşturulan numuneler Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 daki gibidir.



Şekil 4.5. Aderans deneyi için oluşturulan numuneler



Şekil 4.6. Aderans deneyi için oluşturulan numuneler



Şekil 4.7. Basınç deneyi numuneleri



Şekil 4.8. Aderans deneyi numuneleri

Basınç ve çekip çıkarma deneyleri için oluşturulan numuneler 24 saat boyunca kalıplarda kalmış ve 24 saat sonunda kalıplardan çıkarılarak kür havuzunda, 7 ve 28 gün boyunca bekletilmiştir.

4.3. Deney Sonuçları

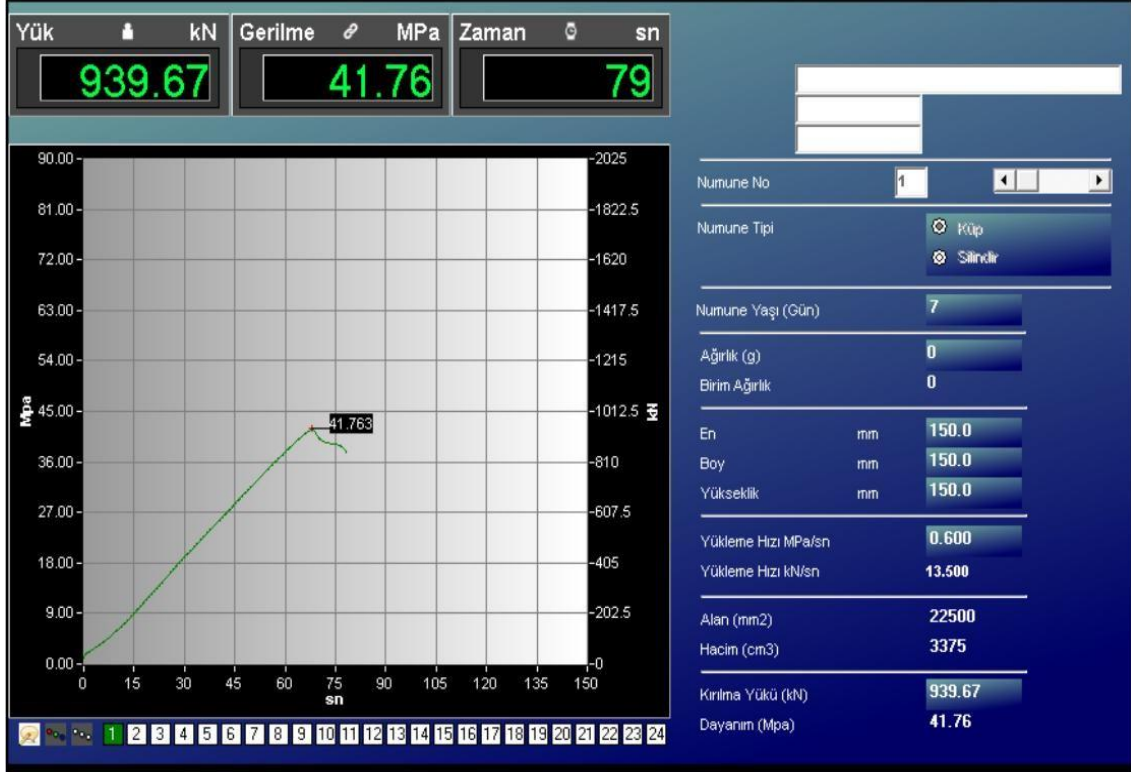
4.3.1. 7 Günlük sonuçlar

Yedinci gün sonunda elde edilen beton basınç dayanım değerleri Tablo 4.12’de gösterilmiştir.

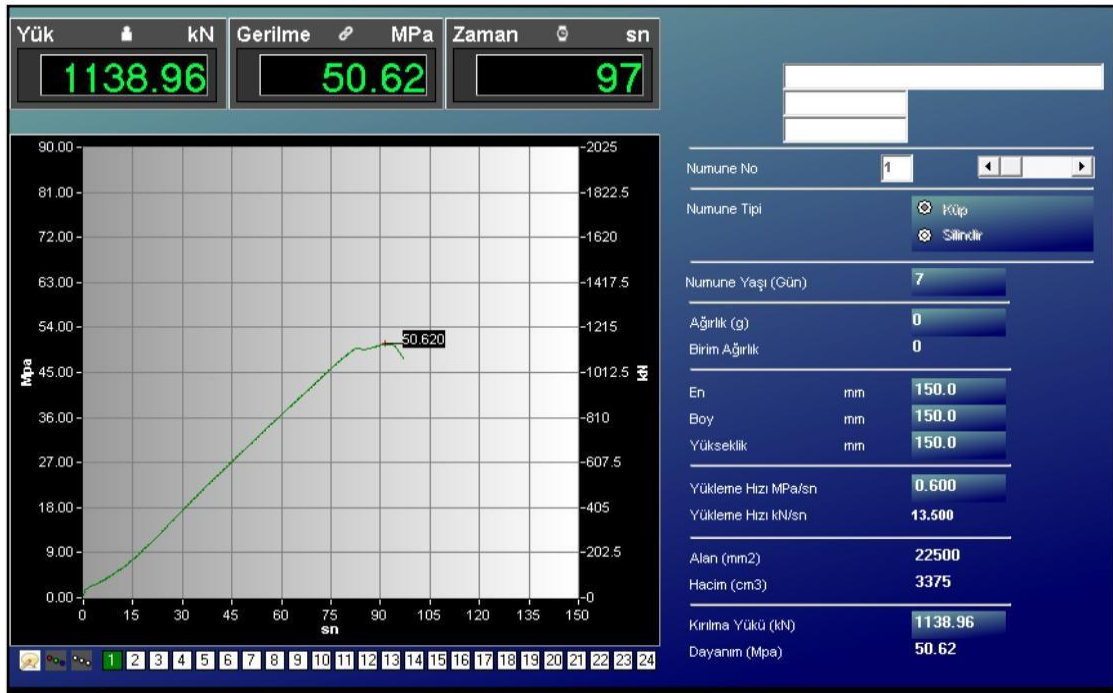
Tablo 4.12. Yedinci (7) gün sonunda elde edilen basınç dayanımları

Kullanılan Numune Özellikleri	Beton Basınç Dayanımı Değerleri (MPa)
Silis Dumanı Oranı (% 0)	41,76
Silis Dumanı Oranı (% 10)	50,62
Silis Dumanı Oranı (% 15)	52,70
Silis Dumanı Oranı (% 20)	41,51
Silis Dumanı Oranı (% 25)	37,90

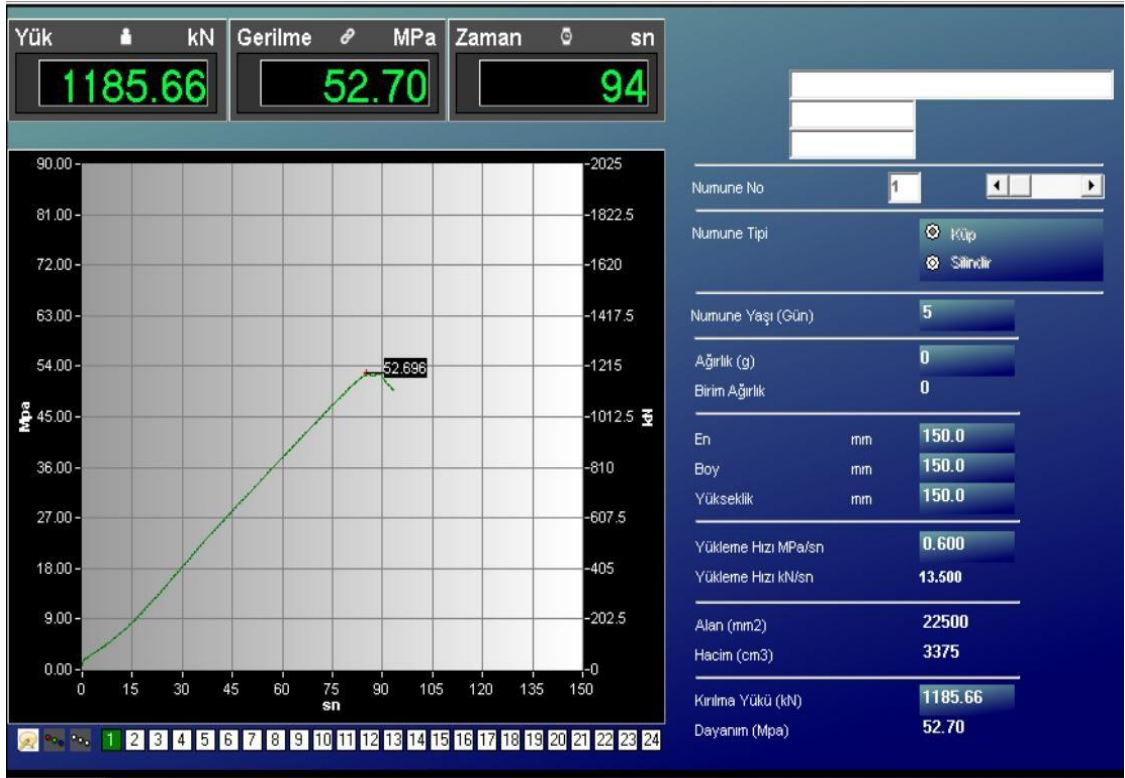
Tablo 4.12.'de gösterilen 7 günlük beton basınç dayanım değerleri, Analiz Yapı Laboratuvarında bulunan basınç dayanım cihazı ile kırılarak elde edilmiş ve grafiksel değerler Şekil 4.9., Şekil 4.10., Şekil 4.11., Şekil 4.12. ve Şekil 4.13'de gösterilmiştir.



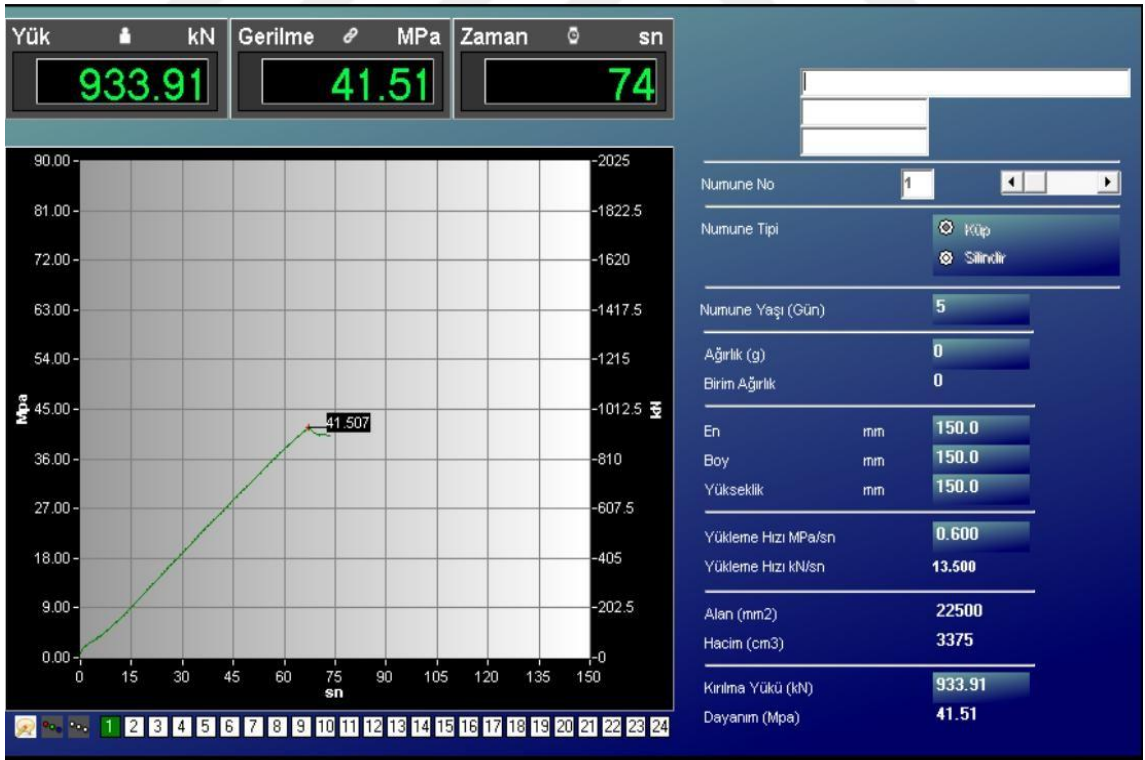
Şekil 4.9. Silis dumanı içermeyen referans numune basınç dayanımı (7 günlük)



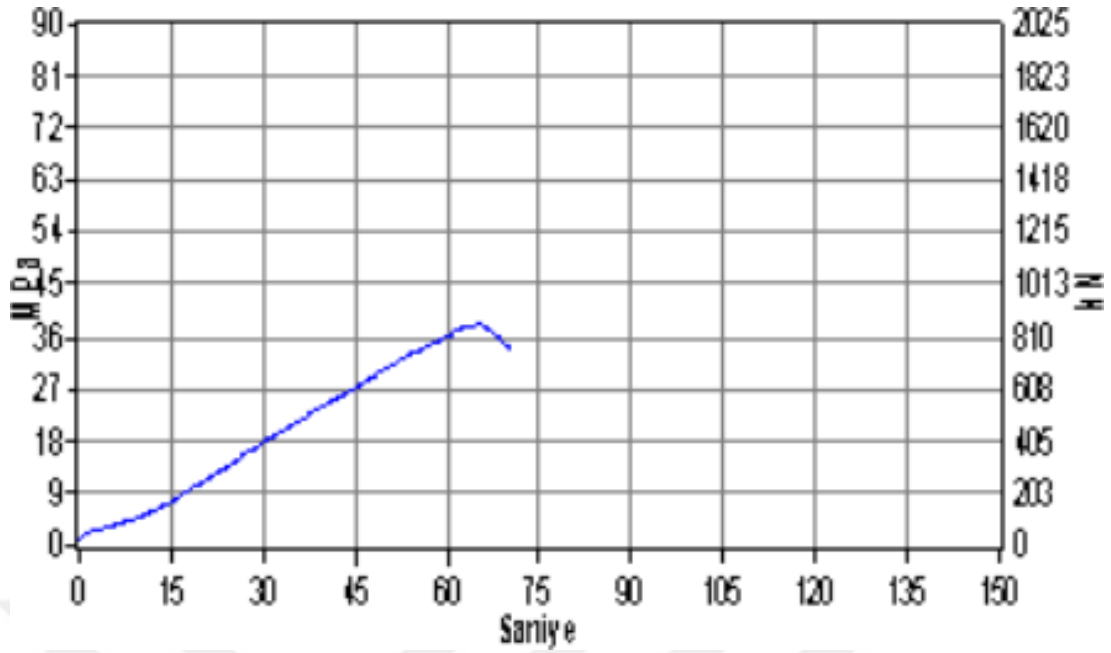
Şekil 4.10. %10 silis dumanı içeren numune basınç dayanımı (7 günlük)



Şekil 4.11. %15 silis dumanı içeren numune basınç dayanımı (7 günlük)



Şekil 4.12. %20 silis dumanı içeren numune basınç dayanımı (7 günlük)



Şekil 4.13. %25 silis dumanı içeren numune basınç dayanımı (7 günlük)

Şekil 4.9., 4.10., 4.11., 4.12., ve 4.13.'den anlaşılacağı üzere, 7 günlük basınç dayanımı sonuçları için silis dumanı kullanılmayan numune dışında, çimento miktarının % 10'u kadar silis dumanı kullanıldığında, yaklaşık **9 MPa** artış gözlenmiştir.

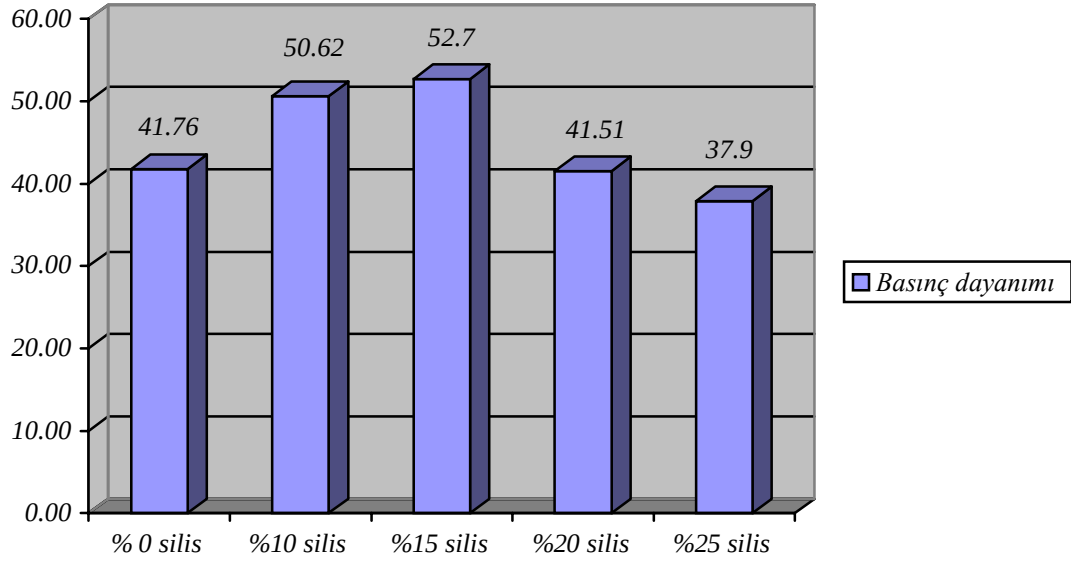
Çimento miktarının % 15'kadar kullanıldığında, yaklaşık olarak, %10'a göre 2 MPa, referans numuneye göre, **11 Mpa** artış gözlemlenmiştir.

Çimento miktarının %20'si kadar silis dumanı kullanıldığında, beton basınç dayanımı düşmeye başlamış ve referans numune basınç dayanımının altına düşmüştür. Bu değer **41.51 MPa** olarak ölçülmüştür. % 15' silis oranına göre 11,19 MPa düşüş gerçekleşmiştir.

Çimento miktarının %25'i kadar silis kullanımı beton basınç dayanımını oldukça düşürmüştür. Bu değer **37,90 MPa** olarak ölçülmüştür. % 20 oranına göre beton basınç dayanımı, 3,61 Mpa düşmüştür. Referans numuneden elde edilen dayanımın da altına düşmüştür.

7 günlük sonuçlar basınç dayanımı olarak kendi içerisinde değerlendirildiğinde, en uygun silis dumanı oranı %15 olarak belirlenmiştir. Mineral katkı olarak kullanılan silis dumanı miktarı arttıkça, beton basınç dayanımı azalmaktadır.

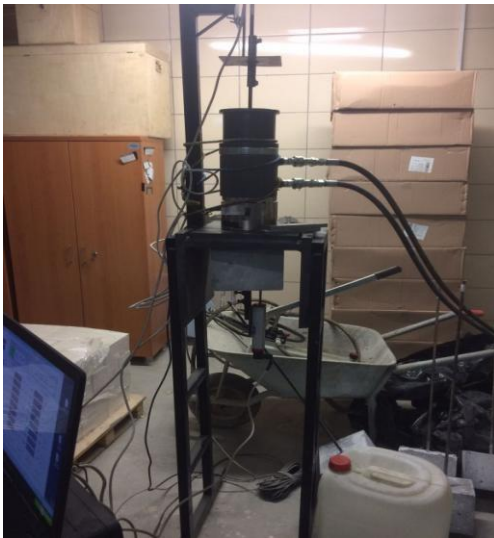
7 gün sonucunda elde edilen beton basınç dayanımı değerleri Şekil 4.14.'de verilmiştir.



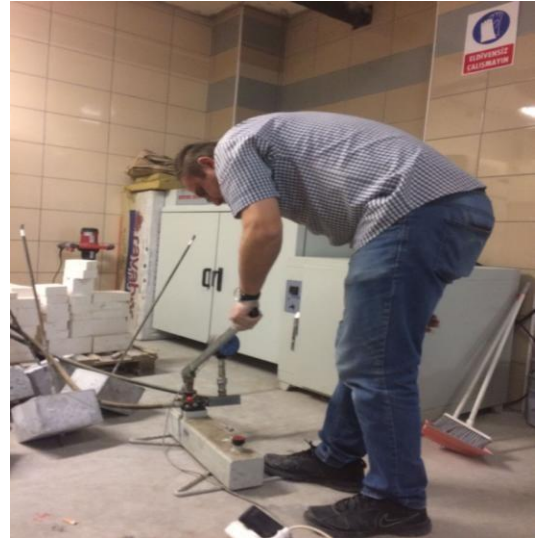
Şekil 4.14. 7 günlük beton basınç dayanım değerleri

Yedinci gün sonunda beton içerisinde 15 cm lik kısmı bulunan çelik çubuklar çekip çıkarma deneyine tabi tutulmuş ve yük deformasyon eğrileri elde edilmiştir. Çekip çıkarma cihazına yerleştirilen çelik çubuklu numunelere hidrolik yük uygulanmış ve datalogger yardımı ile yük deformasyon değerleri elde edilmiştir. Yük deplasman ile ilgili elde edilen sonuçlar Şekil4.15., Şekil 4.16., Şekil 4.17., Şekil 4.18. ve Şekil 4.19.'da verilmiştir. Çekip çıkarma deneyine maruz kalan numuneler Resim 4.3. ve Resim 4.4.'de verildiği gibidir.

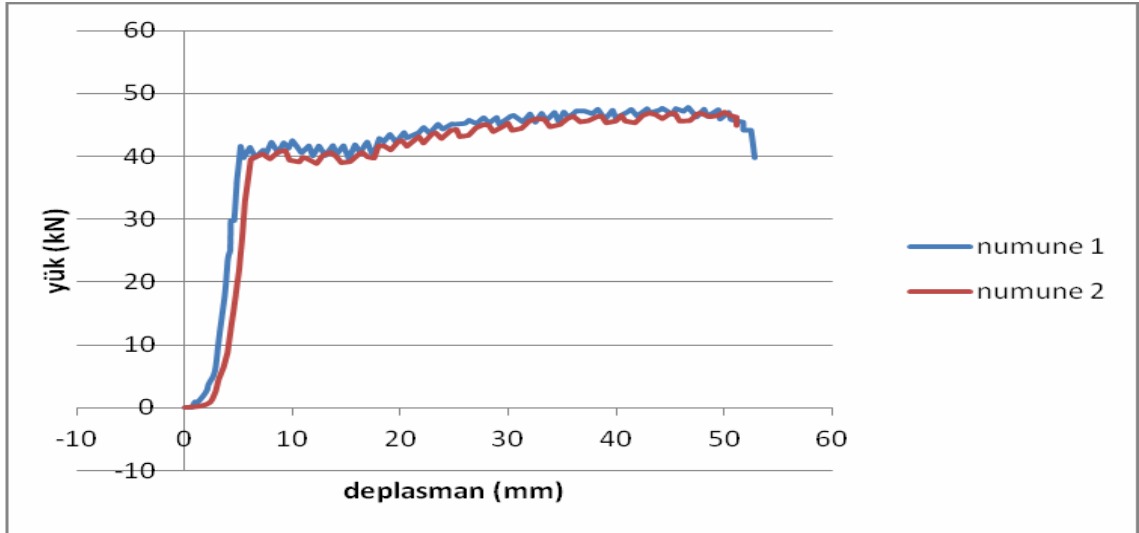
Deney düzeneği Resim 4.1.'de ve Resim 4.2.'de gösterilmiştir.



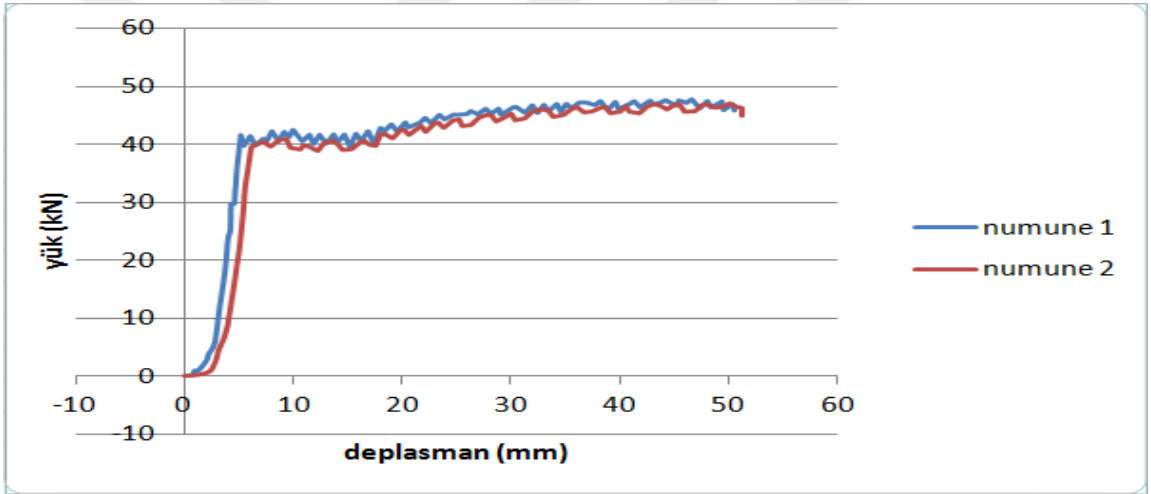
Resim 4.1. Deney düzeneği



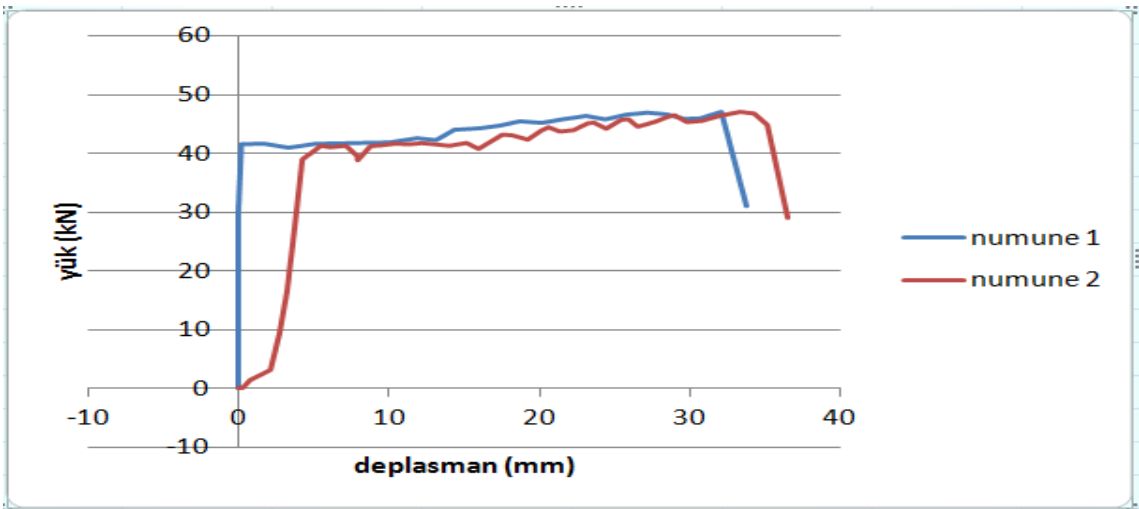
Resim 4.2. Hidrolik yük verilmesi



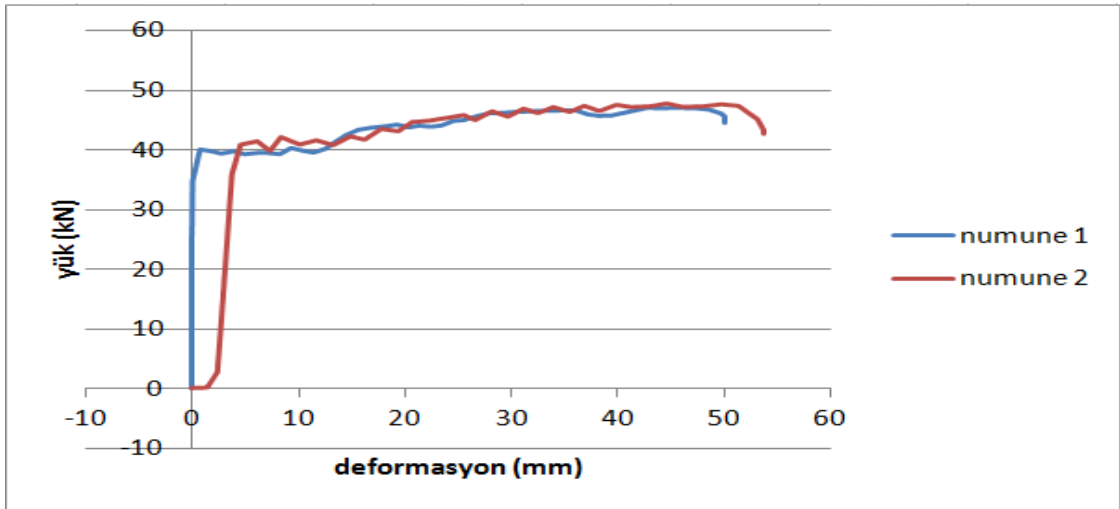
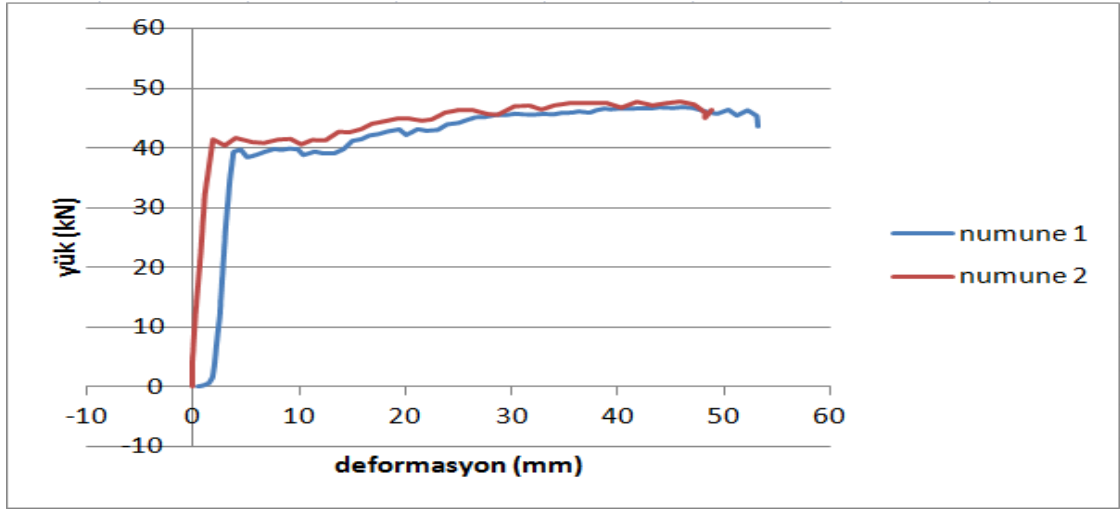
Şekil 4.15. %0 Silis dumanı içeren numunelerde yük deplasman eğrisi (7 günlük)



Şekil 4.16. %10 Silis dumanı içeren numunelerde yük deplasman eğrisi (7 günlük)



Şekil 4.17. %15 Silis dumanı içeren numunelerde yük deplasman eğrisi (7 günlük)



Resim 4.3. Çekme testi uygulanan numune



Resim 4.4. Çekme testi uygulanan numune

Yedinci gün sonunda çekip çıkarma (pull-out) testi uygulanan numunelere ait yük deformasyon eğrileri verilmiştir. Grafikler incelendiğinde, en az sıyrılma değeri, %15 silis dumanı içeren iki numune için ortalama **35,05 mm** olarak datalogger değerleri baz alınarak ölçülmüştür. Diğer silis oranı içeren numunelerde, sıyrılma değerleri **50 mm ile 55 mm** arasında değişkenlik göstermiştir. Sonuç olarak, yedinci gün sonunda, beton donatı arası aderans kuvveti, donatının en az sıyrılma değeri göz önüne alınarak %15 silis dumanı içeren numunelerde gözlemlenmiştir.

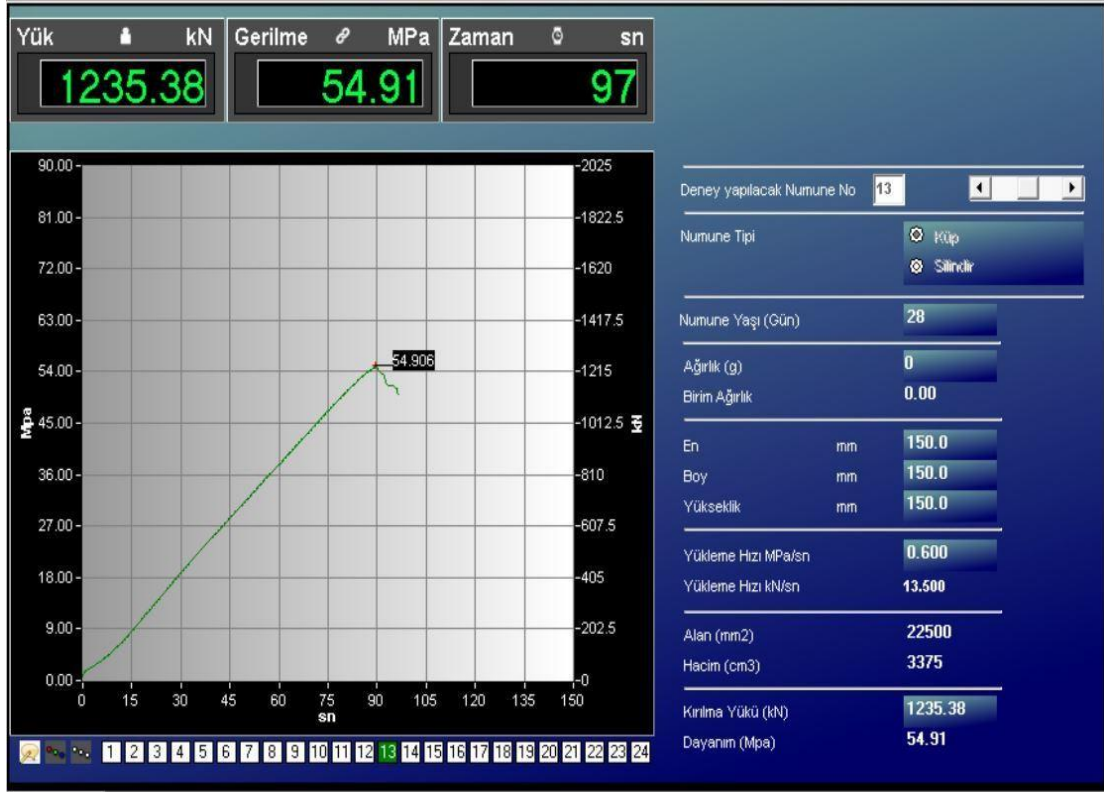
4.3.2. 28 Günlük sonuçlar

28 günün sonunda, kür havuzundan çıkarılan küp numuneler basınç dayanımlarını elde etmek amacı ile basınç dayanım testine tabi tutulmuştur. Elde edilen basınç dayanım değerleri Tablo 4.13.'deki gibidir.

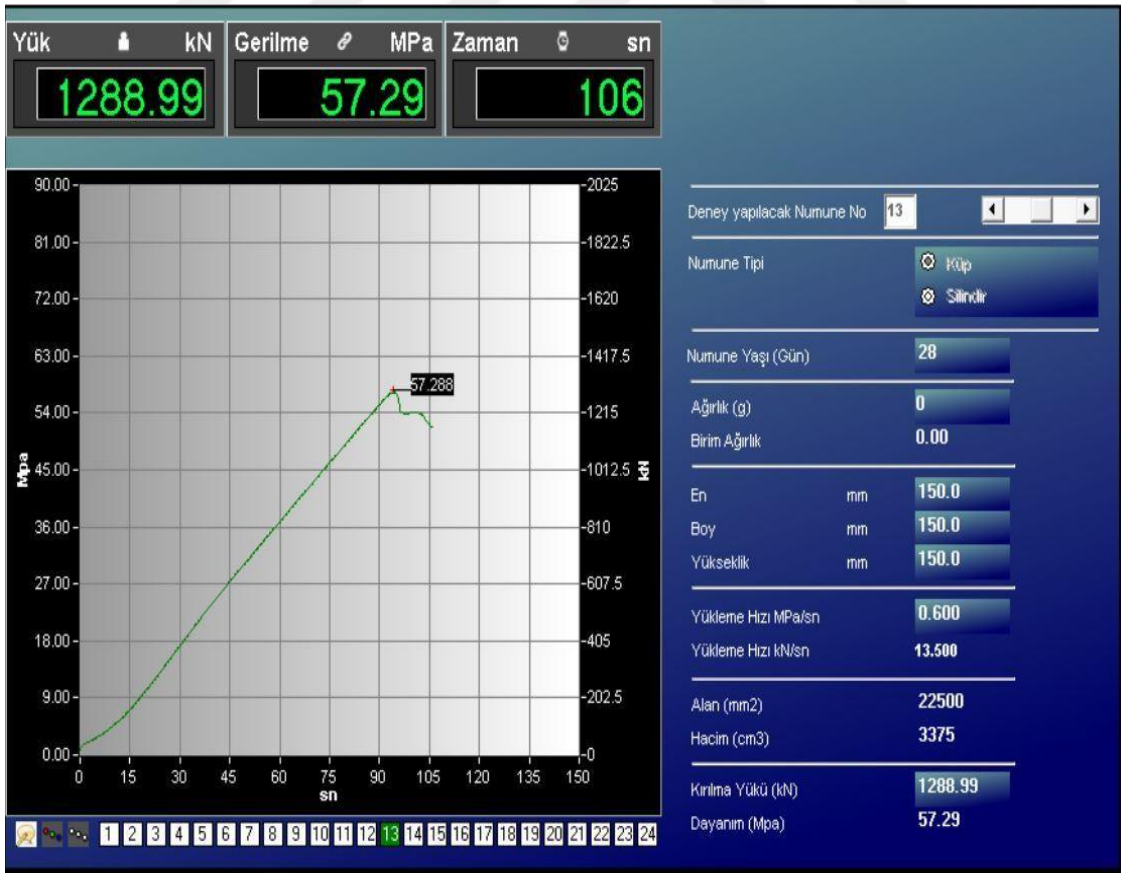
Tablo 4.13. Yirmi sekiz (28) gün sonunda elde edilen basınç dayanımları

Kullanılan Numune Özellikleri	Beton Basınç Dayanımı Değerleri (MPa)
Silis Dumanı Oranı (% 0)	54,91
Silis Dumanı Oranı (% 10)	57,29
Silis Dumanı Oranı (% 15)	66,03
Silis Dumanı Oranı (% 20)	63,29
Silis Dumanı Oranı (% 25)	40,89

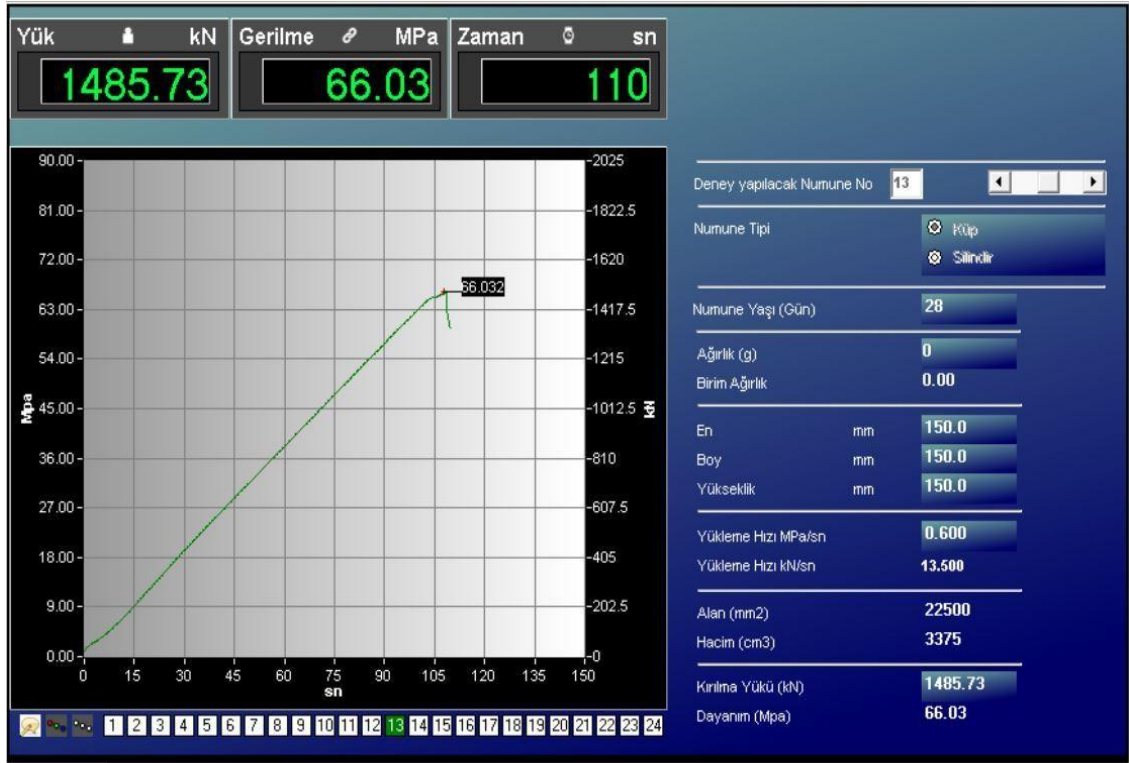
28 gün sonunda elde edilen grafik değerleri aşağıda verilmiştir. Yükleme hızı 0.6 MPa / s olarak yapılmıştır. 28 gün sonucunda basınç testinden elde edilen değerler Şekil 4.20., Şekil 4.21., Şekil 4.22., Şekil 4.23., Şekil 4.24'de verilmiştir.



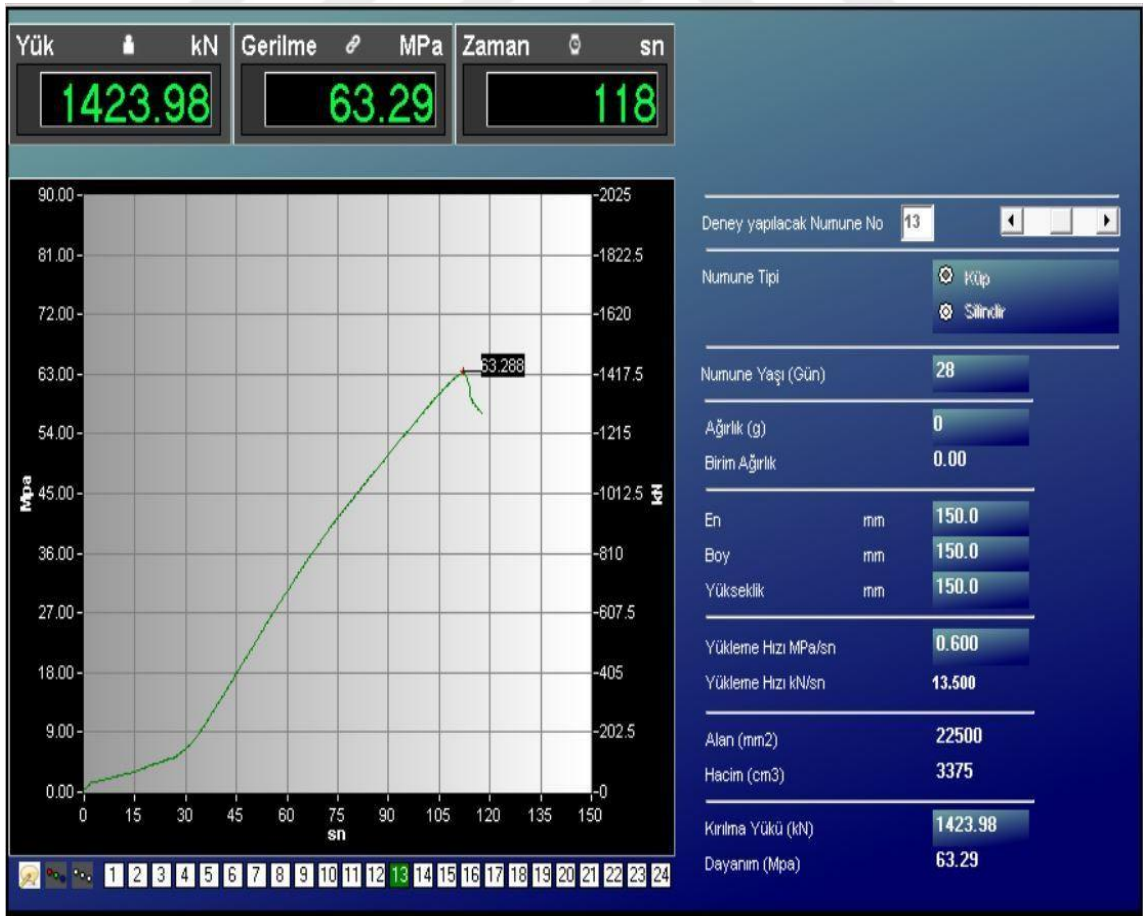
Şekil 4.20. % 0 silis dumanı içeren numune basınç dayanımı (28 günlük)



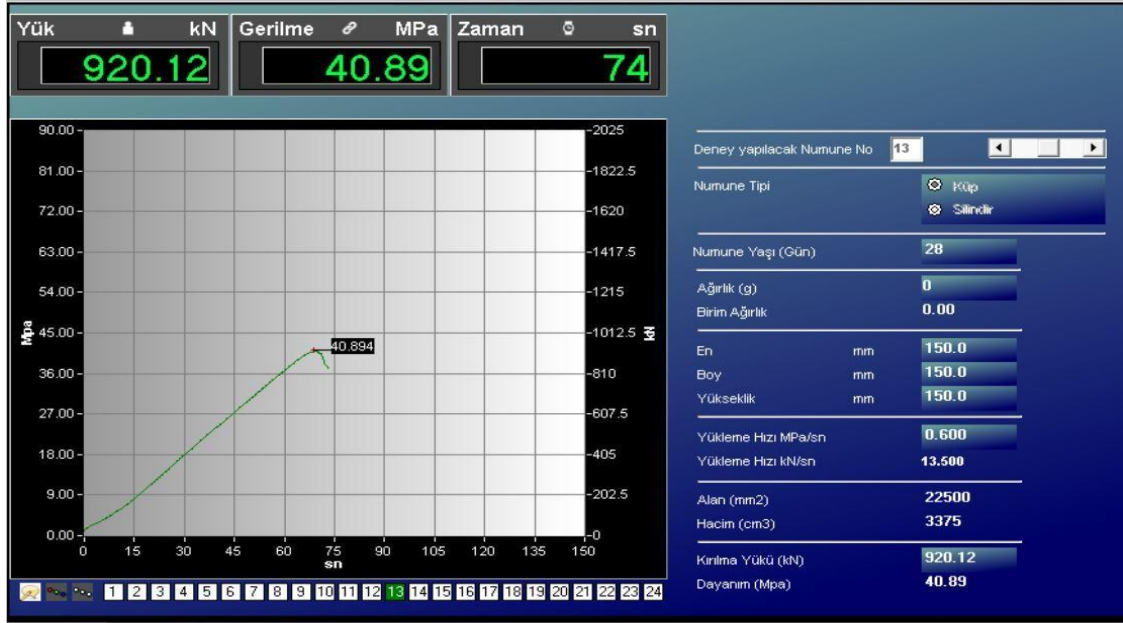
Şekil 4.21. % 10 silis dumanı içeren numune basınç dayanımı (28 günlük)



Şekil 4.22. % 15 silis dumana içeren numune basınç dayanımı (28 günlük)



Şekil 4.23. % 20 silis dumana içeren numune basınç dayanımı (28 günlük)



Şekil 4.24. % 25 silis dumanı içeren numune basınç dayanımı (28 günlük)

28 günlük sonuçlar kendi içerisinde incelendiğinde, silis dumanı oranları dikkate alınarak basınç dayanımlarımda değişiklikler gözlenmiştir. Silis dumanı kullanılmayan referans numunenin basınç dayanımı **54,91 MPa** olarak elde edilmiştir.

Silis oranı % 10 olduğunda, dayanım yaklaşık olarak, 3 MPa artış göstermiş ve **57,29 Mpa** olarak elde edilmiştir.

%15 silis oranına bakıldığında, dayanım **66,03 Mpa** olarak ölçülmüş, referans numunenin 12 Mpa üzerinde bir sonuç elde edilmiştir.

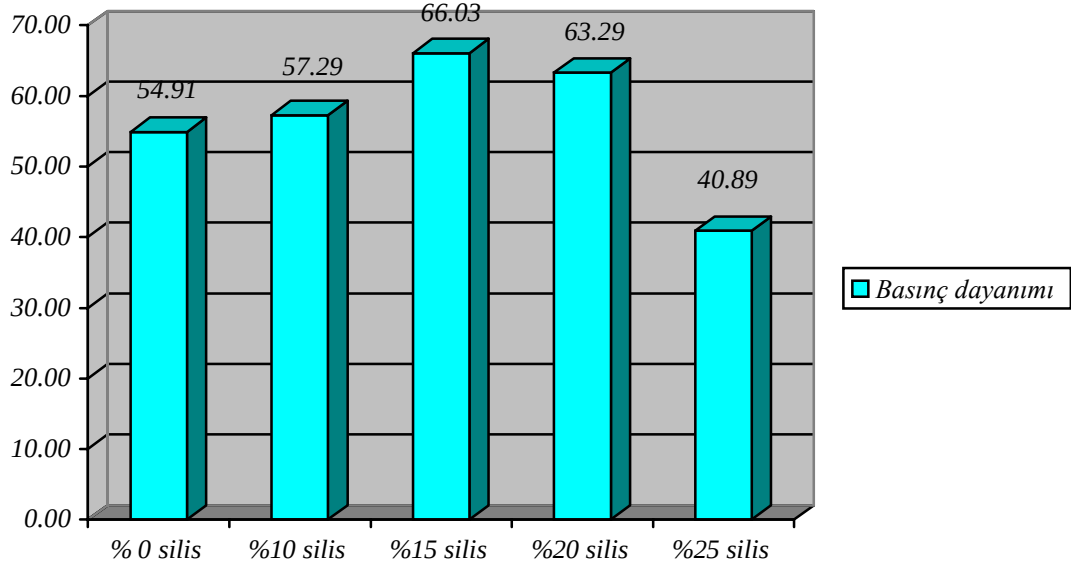
%20 silis oranında ise, dayanım düşüş göstermeye başlamış ve **63,29 MPa** olarak ölçülmüştür.

Son olarak %25 silis oranı için, dayanım çok düşmüş ve referans numunenin altında bir değerde kalmıştır. **40,89 MPa** olarak elde edilmiştir.

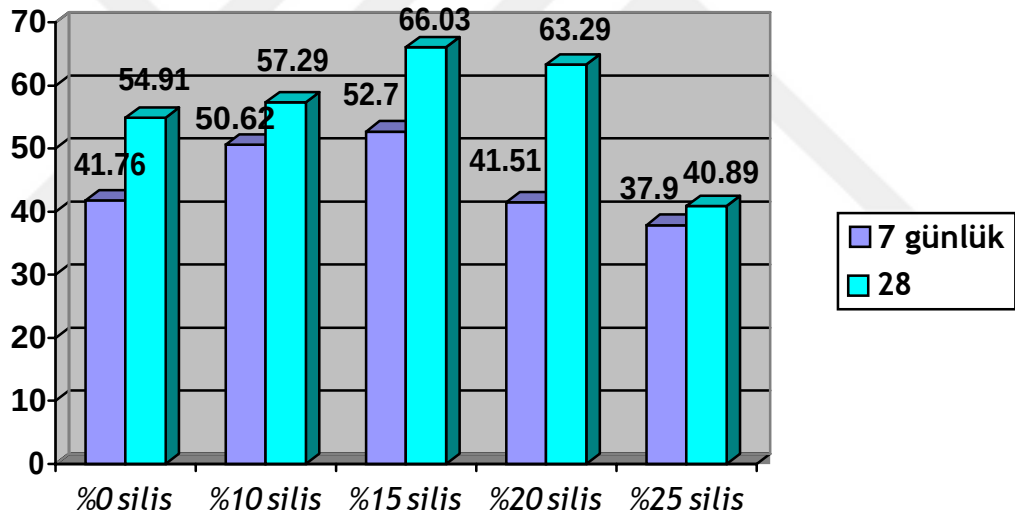
Genel sonuçlar incelendiğinde, 7 günlük basınç dayanım değerlerine benzer şekilde, %15 oranına kadar artış gözlemlenmiş, %20 ve %25 oranlarında dayanımın düşüşe geçtiği görülmüştür.

Optimum silis dumanı oranı 28 günlük için de, %15 olarak elde edilmiştir.

28 günlük beton basınç dayanım değerleri Şekil 4.25.'de ve 7 gün ile 28 gün sonucunda elde edilen beton basınç dayanım değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 4.26.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.25. 28 günlük beton basınç dayanım değerleri



Şekil 4.26. 7 ve 28 günlük karşılaştırmalı beton basınç dayanım değerleri

7 ve 28 günlük sonuçlar karşılaştırıldığında, 28 günün sonunda beton basınç dayanımları artış göstermiştir. Optimum silis oranları dikkate alınarak incelendiğinde, 7 günlük %15 silis içeren numune basınç dayanımı, **52,70 MPa** iken, 28 günlük dayanım değeri ise **66,03 MPa** olarak elde edilmiştir.

%15 oranı için, betona basınç dayanımı, yaklaşık olarak, **14 MPa** artış göstermiştir. Literatür çalışmalarında benzer şekilde en uygun silis oranı, çimento miktarının **%15'i** olarak kabul edilmiştir.

28 gün sonunda, basınç dayanım testleri ile birlikte çekip çıkarma deneyi de uygulanmıştır. 7 günde olduğu gibi teknik ihazlar yardımıyla, hidrolik yük uygulanarak, 15 cm aderans boyuna sahip 10 mm çaplı nervürlü çelik donatılar, beton içerisinden çıkarılmaya çalışılmış ve datalogger yardımıyla çelik çubuğa ait yük – deplasman eğrileri elde edilmiştir. Her set için 2 adet numune kullanılmıştır. Deney düzeneği ve hidrolik yük verilmesi, Resim 4.5. ve Resim 4.6.’daki gibidir.

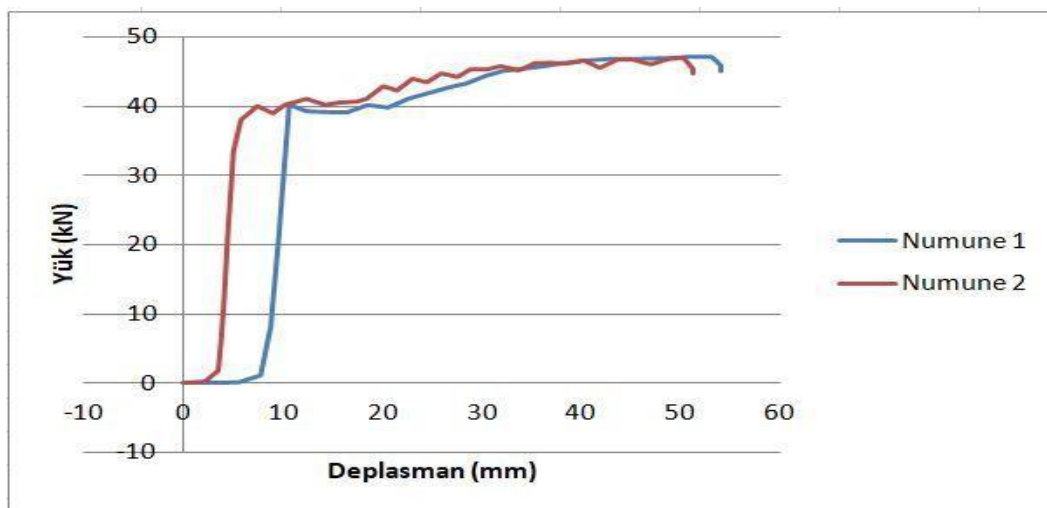


Resim 4.5. Deney Düzeneği

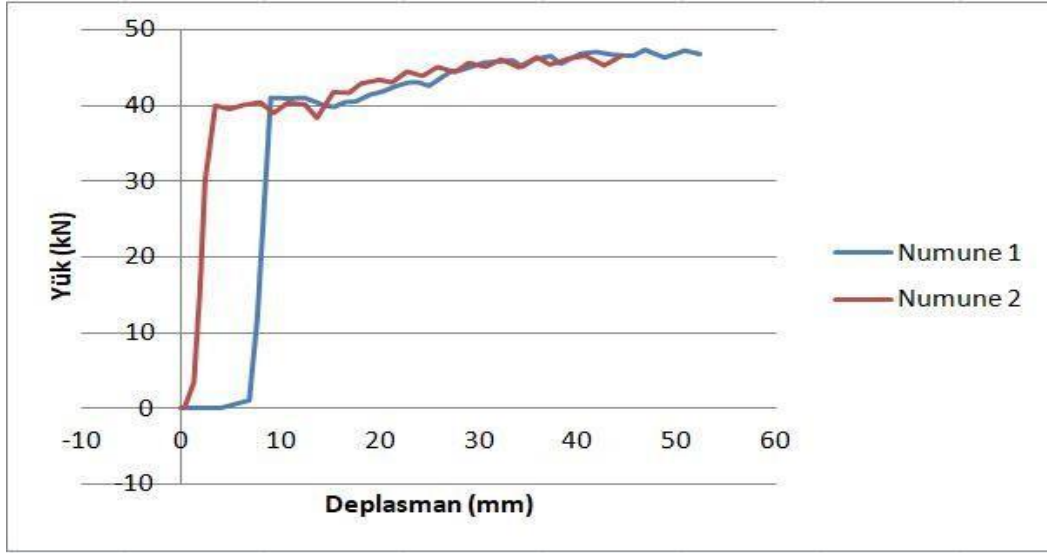


Resim 4.6. Hidrolik Yük Verilmesi

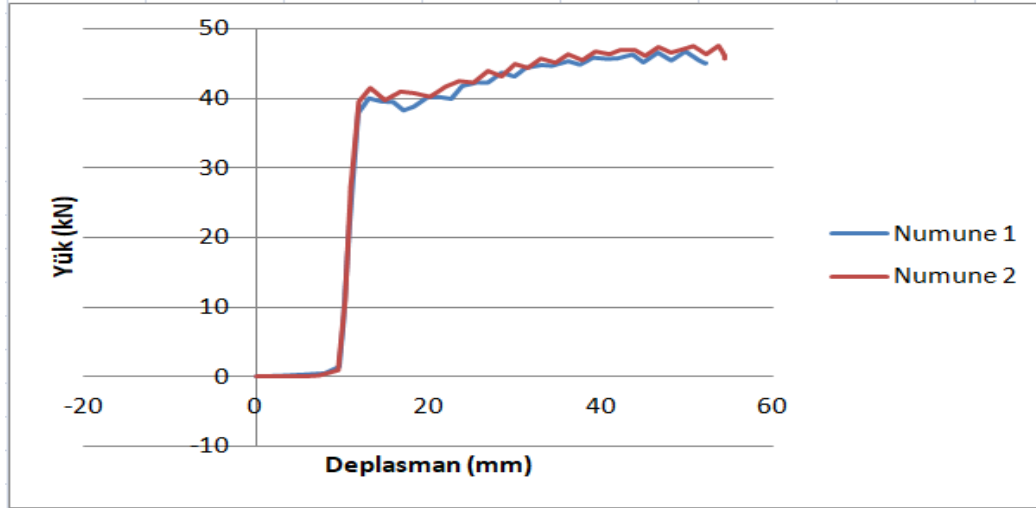
Elde edilen yük deplasman eğrileri Şekil 4.27., Şekil 4.28., Şekil 4.29., Şekil 4.30 ve Şekil 4.31.’deki gibidir. Çekip çıkarma testine maruz kalan numuneler Resim 4.7.’de gösterilmiştir.



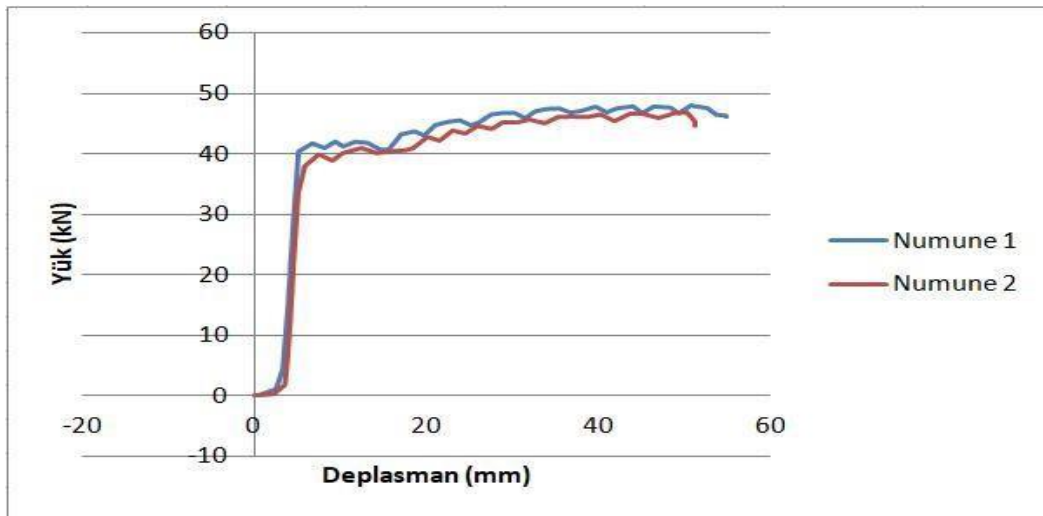
Şekil 4.27. %0 Silis dumanı içeren numunelerde yük deplasman eğrisi (28 günlük)



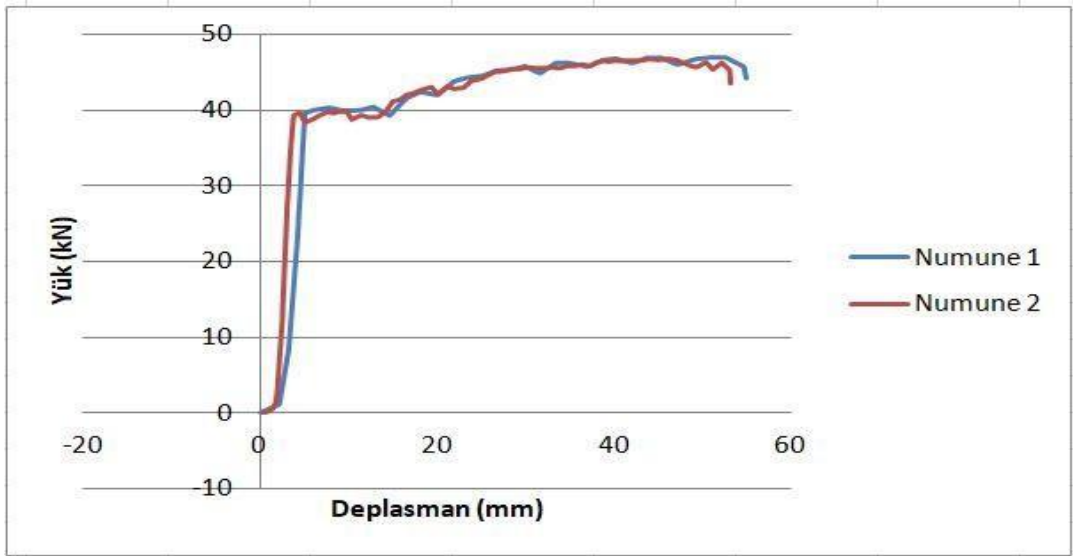
Şekil 4.28. %10 Silis dumanı içeren numunelerde yük deplasman eğrisi (28 günlük)



Şekil 4.29. %15 Silis dumanı içeren numunelerde yük deplasman eğrisi (28 günlük)



Şekil 4.30. %20 Silis dumanı içeren numunelerde yük deplasman eğrisi (28 günlük)



Şekil 4.31. %25 Silis dumanı içeren numunelerde yük deplasman eğrisi (28 günlük)



Resim 4.7. Çekip çıkarma (pull-out) testi uygulanan numuneler

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

➤ Basınç Dayanımı İçin Genel Sonuçlar;

7 ve 28 günlük sonuçlar birlikte incelendiğinde, beton basınç dayanımı için kullanılan optimum silis dumanı oranı, betonda kullanılan çimento oranının % 15'i kadardır.

Silis dumanı kullanılmayan numunelere göre, %10 silis oranlı numunelerde basınç dayanımında artışlar gözlemlenmiştir. Bu artışlar %15 ikameli silis içeren numunelerde en yüksek seviyeye ulaşmıştır.

%20 ve %25 silis dumanı içeren numunelerde ise, beton basınç dayanımı düşüşe geçmiştir. %25 oranına sahip numunelerde basınç dayanımı, silis dumanı içermeyen referans numunelerden elde edilen basınç dayanımının da altına düşmüştür.

7 ve 28 günlük deney sonuçları göz önüne alınarak, çimento miktarının %15'i kadar silis dumanı içeren numuneler en yüksek basınç dayanımına sahiptir ve %15'lik bu oran, basınç dayanımı için ‘‘optimum oran’’olaran nitelendirilebilir.

➤ Çekip Çıkarma (pull-out) İçin Genel Sonuçlar;

7 ve 28 günlük sonuçlar birlikte irdelendiğinde, aderans değerleri için, silis dumanı kullanımı gözle görülür bir atış sağlamamıştır. Çelik donatı çubuğunun sıyrılma yükleri dikkate alınarak değerlendirme yapılırsa, sıyrılma yükleri arasında, silis dumanı kullanımının herhangi bir yük artışına sebep olmadığı gözlemlenmiştir.

Pekleşme sınırı ve kopma sınır değerleri dikkate alınır, 7 ve 28 günlük sonuçlar için, çelik çubukta meydana gelen deplasman miktarı 50 mm ile 60 mm arasında değişkenlik göstermiştir.

Sadece 7 günlük numunelerde %15 silis dumanı kullanılan durumda deplasman miktarı 32 – 33 mm civarında görülmüştür. Tek sette görülen bu deplasman miktarının, genel değerlendirme için kullanılması mümkün olmayacaktır.

Aderans değerleri silis dumanı kullanımı ile büyük bir artış göstermemiştir. Bu çalışma ile silis dumanı kullanımının, beton basınç dayanımı üzerinde etkili olduğu gözlemlenmiştir. Bu oranın, çimento miktarının %15'i kadar olduğu tespit edilmiştir. Optimum silis dumanı oranı %15'dir.

5.2. Öneriler

Özel betonlar sınıfında yer alan kendiliğinden yerleşen betonlar, içerik ve kullanılan katkı maddeleri bakımından, her yönüyle özel bilgi, birikim ve araştıma gerektiren beton türüdür.

Beton özelliklerini sağlayabilmek, uygulamada kolaylık sağlayabilmek için, kendiliğinden yerleşen beton üretimi yapılan santrallerde, mutlaka beton üretimini gerçekleştiren teknik personelin, kullanılacak katkı maddeleri hakkında bilgi ve birikim sahibi olması gerekmektedir.

Mineral ve kimyasal katkılar hakkında mutlaka ön çalışma yapılmalı, kullanılacak katkı maddesi miktarları mutlaka önceden deneysel çalışmalar ile belirlenmelidir. Katkı maddelerinin beton ile uyumu ve birden fazla katkı maddesi kullanılacaksa, kendi içlerinde birbirleri ile uyumları mutlaka gözlemlenmelidir.

Gelişen ve sürekli kendisini yenileyen inşaat sektöründe, kendiliğinden yerleşen beton kullanımına daha fazla yer verilmeli, katkı maddesi kullanımı ve geri dönüşümü mutlaka sağlanmalıdır. Atık maddelerden elde edilen silis dumanı, fırın cürufu gibi katkıların geri dönüşümü ve olumlu yönde kullanımı sağlanmalıdır.

Beton özelliklerini iyileştirici her türlü kimyasal ve mineral katkı kullanımı gerçekleştirilirken, betonun özelliklerini olumsuz etkileyeceği gerçeğini de unutmamak gerekir. Laboratuvar şartlarında, kullanılacak kimyasal ve mineral katkıların oranları mutlaka önceden belirlenmeli ve beton karışımları bu oranlar doğrultusunda hazırlanmalıdır.

Mümkün olduğunca, kullanılacak kimyasal ve mineral katkı oranları belirlenirken, deney süreleri uzun tutulmalıdır. Bazı durumlar için, 7 ve 28 günlük deneyler sağlıklı sonuçlar vermeyebilir.

KAYNAKLAR

- Altan, F., 2013, Betona sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajların eksenel çekme etkileri altında mekanik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon, 2013.
- Appa Rao, G., 2007, Pandurangan, K., and Sultana, F., Studies on the pull-out strength of ribbed bars in high-strength concrete, *Indian Institute of Technology Madras*.
- Atiş, C., D., ve Arkd., 2003, Silis dumanı kullanımının beton basınç dayanımı üzerindeki etkisi, *Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi*, Sayı 426, 2003/4, 121-124.
- Baradan, B., ve Arkd., 2004, Kendiliğinden yerleşen beton (bölüm 2) potansiyel avantaj ve dezavantajları, *İMO İzmir Şubesi Dergisi*, Sayı 120, Aralık 2004.
- Benli, A., Calayır, Y., ve Yadollahi, M., 2016, Numerical and experimental investigation of bond strength of reinforcing steel in self-compacting and conventional concrete, *International Conference on Natural Science and Engineering (ICNASE'16)*, Kilis, 2016.
- Benli, A., Türk, K., ve Calayır, Y., 2008, Kendiliğinden yerleşen betondan üretilmiş kirişlerin aderans dayanımının deneysel ve sayısal olarak incelenmesi, *Fırat Üniversitesi Fen ve Müh. Bil. Dergisi*, 20(4), 599-607, 2008.
- Beton katkıları standardı, *TS EN 934-2/Mart 2002*.
- Beton tasarımında silis dumanı kullanımı, *Çimento Araştırma ve Uygulama Merkezi, ÇİMSA*.
- Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları, *TS500, Şubat 2000*.
- Beycioğlu, A., Aruntaş, Y., 2014, Bazalt lifli donatının yüksek dayanımlı betondaki aderans performansı, *Journal of Engineering and Technological Sciences*, (2014/1), Sayfa 83-96.
- Bingöl, A.,F., Gül, R., 2009, Donatı-beton aderansı, yüksek sıcaklıkların beton dayanımına ve aderansa etkileri konusunda bir derleme, *Türk Bilim Araştırma Vakfı Bilim Dergisi*, Cilt 2, Sayı 2, Sayfa 211-230, 2009.
- Coşkun, A., Tanyıldız, H., ve Yazıcıoğlu, S., 2007, Mineral katkılı betonun aderans dayanımına 800 °C'nin etkisi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt13, Sayı 3, Sayfa 347-351.
- Demirel, B., Yazıcıoğlu, S., 2007, Silis dumanının karbon fiber takviyeli hafif betonun mekanik özelliklerine etkisi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Isparta, 11-1 (2007), 103-109.
- Dinç, A., 2007, Kendiliğinden yerleşen çelik lif donatılı betonların mekanik davranışına su/ince malzeme oranı ve lif dayanımının etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Döndüren, M.,S., Çöğürçü M.,T., ve Altın, M., 2006, Betonla donatı arasındaki aderans davranışının deneysel incelenmesi, *Selçuk Üniversitesi Müh.Mim.Fak. Dergisi*, Konya, Cilt 21, s. 3-4, 58-68, 2006.
- Durmuş, A., Arslan, M.,E., ve Öztürk, H.,T., Eğilmede hafif beton-donatı aderansının incelenmesi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Müh. Bölümü*.
- Durmuş, A., Dahil, H., ve Arslan, M.,E., 2006, Yüksek başarımlı beton-donatı aderansının karşılaştırmalı olarak incelenmesi, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, Sayı 441-2006/1.
- Erdoğan, S., ve Arkd., Marmaray projesinde kendiliğinden yerleşen beton kullanımı.
- Gürdal, H., Yüceer, Z., Türkiye ve dünyada kendiliğinden yerleşen beton uygulamaları, *Akçansa Çimento San. Ve Tic. A.Ş.*, İstanbul.

- Hamalı, Y., 2007, Metakaolin ve silis dumanı içeren harç ve betonların özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2007.
- Işık, İ., E., 2005, Kendiliğinden yerleşen betonlarda viskozite düzenleyici katkı kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2005.
- İlter, E., 2007, Cem I 42,5 çimentolu yüksek dozajlı betonlarda silis dumanının etkinliği, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2007.
- Kadiroğlu, İ., Kendiliğinden yerleşen normal dayanımlı hafif beton üzerine deneysel bir çalışma, *Batiçim Batı Anadolu Çimento Sanayii A.Ş.*, İzmir.
- Keçeci, A., 2017, Impact of silica fume on compressive strength in self-compacting concrete, 2nd International Conference on Civil and Environmental Engineering, Nevşehir, 2017.
- Kendiliğinden yerleşen beton, *Çimento Araştırma ve Uygulama Merkezi*, ÇİMSA.
- Kurt, E., B., 2007, Silis dumanının betonun durabilite özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2007.
- Özdemir, E., 2006, PÇ ve mineral katkı maddelerinin ikili, üçlü ve dördü kombinasyonlarını içeren harç numunelerinin bazı özelliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 2006.
- Sancak, E., Şamandar, A., 2010, Sürdürülebilirlik bakımından kendiliğinden yerleşen beton kullanımının rolü, *International sustainable buildings symposium*, Ankara, 2010.
- Sungur, I., 2009, Çimento bazlı harçlarda aderans dayanımı ve durabiliteye ortam koşullarının etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2009.
- Şimşek, O., Dur, A., ve Yaprak, H., 2004, Silis dumanı ve süperakışkanlaştırıcı katkı harçların özellikleri, *Politeknik Dergisi*, Cilt 7, Sayı 2, Sayfa 169-178, 2004.
- Tanyıldızı, H., Yazıcıoğlu, S., 2006, Betonarme demiri ve beton arasındaki aderans dayanımına kür koşullarının etkisi, *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, Sayfa 11-14, 2006.
- Tezel, O., O., 2010, Farklı tiplerdeki çelik ve polipropilen liflerin kendiliğinden yerleşen betonlarda işlenebilirliğe ve mekanik davranışa etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2010.
- Tezel, O., ve Arkd., Kendiliğinden yerleşen beton deney metodları ve uygulama örnekleri.
- Tohumcu, İ., Bingöl, A.,F., 2013, Silis dumanı ve uçucu kül katkı kendiliğinden yerleşen betonların taze beton özellikleri ve basınç dayanımları, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, İzmir, Cilt 15, Sayı 2, Sayfa 31-44, 2013.
- Topçu, İ., B., Bilir, T., ve Baylavlı, H., 2008, Kendiliğinden yerleşen betonun özellikleri, *Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim.Fak. Dergisi*, Eskişehir, C.XXI, S.1,2008.
- Topçu, İ., B., Boğa, A.,R., 2008, Betonarmede donatı ve beton arasındaki aderansa korozyonun etkisi, *Osmangazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak. Dergisi*, Eskişehir, C.XXI, S.1, 2008.
- Topçu, İ., B., Canbaz, M., 2008, Silis dumanının betonda mekanik çatlak oluşumlarına etkisi, *Osmangazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak. Dergisi*, Eskişehir, C.XXI, S.2, 2008.

- Topçu, İ., B., Kaval, M., 2001, Betonda silis dumanı kullanımının ekonomik analizi, *Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim.Fak. dergisi*, Eskişehir, C.XIV, S. 1,2001.
- Topçu, İ.,B., ve Arkd., 2015, Betonarmede beton ve donatı arasındaki aderans dayanımına kür şartlarının etkisi, *2nd International sustainable buildings symposium*, Ankara, 2015.
- Türk, K., Karataş, M., ve Ulucan, Z., Ç., 2008, Farklı oranlarda silis dumanı ikameli kendiliğinden sıkışan betonun mühendislik özellikleri, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimi Dergisi*, 20 (1), 165-174, 2008.
- Uysal, M., Yılmaz, K., 2011, Mineral katkı kullanımının kendiliğinden yerleşen betonun elastisite modülüne etkisinin incelenmesi, *6th International Advanced Technologies Symposium*, Elazığ, 2011.
- Yeğınobalı, A., 2009, Silis dumanı ve çimento ile betonda kullanımı, *Türkiye Çimento Mühtahsilleri Birliği*, Ankara, TÇMB/AR-GE/Y01.01
- Yerlici, V., Özturan, T., 2002, Yüksek dayanımlı beton elemanlarda aderans dayanımı, *İMO Teknik Dergi*, 2002 2527-2554, Yazı 171.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ahmet KEÇECİ
Uyruğu : TÜRKİYE CUMHURİYETİ
Doğum Yeri ve Tarihi : KONYA, 03.02.1987
Telefon : 0505 704 4342
Faks :
e-mail : ahmet_4287@windowslive.com,
ahmetkececi4287@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Mehmet Akif Ersoy Anadolu Lisesi Selçuklu KONYA	2004
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi KONYA	2015
Yüksek Lisans	: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü KONYA	2015 -
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
Kasım 2015 -	42 Yapı Denetim LTD. ŞTİ. KONYA	İnşaat Mühendisi

UZMANLIK ALANI : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ / YAPI MEKANİĞİ

YABANCI DİLLER : İNGİLİZCE

YAYINLAR

Impact of silica fume on compressive strength in self-compacting concrete.

**2nd International Conference on Civil and Environmental Engineering
ICOCEE – CAPPADOCIA, Nevşehir TURKEY May 8 – 10 , 2017.**