




**SÜPERAKIŞKANLAŞTIRICI VE MİNERAL KATKILI
TAZE ÇİMENTO HAMURU VE HARÇLARIN
REOLOJİK ÖZELLİKLERİ**

727756

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Fethi İŞSEVER
(501981083)**

**TC YÜKSEK ÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13 Mayıs 2002
Tezin Savunulduğu Tarih : 31 Mayıs 2002**

Tez Danışmanı : Prof.Dr. M. Hulusi ÖZKUL 
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Mehmet UYAN 
Prof.Dr. Turan ÖZTURAN (B.Ü.) 

MAYIS 2002

127756

ÖNSÖZ

Yüzyılın en önemli yapı malzemesi olan betonun dayanım, dayanıklılık ve işlenebilirlik özelliklerine sahip olması her zaman istenmiştir. Özellikle yüksek performanslı betonlarda (High Performance Concrete) bu özelliklerin geliştirilmesi çalışmaları devam etmektedir. Bu nedenle yüksek performanslı beton elde etmek için ilk koşul üretim aşamasında su/çimento oranını mümkün olan en alt düzeye düşürmektir. İkinci koşul ise beton kıvamı iyi ayarlanarak, ayrışma oluşmaksızın betonun yerleştirilebilmesi ve betonda boşluk oluşmamasıdır. Bu iki koşul için yıllardan beri beton teknolojisinde çalışmalar yapılsa da en büyük gelişme süperakışkanlaştırıcıların kullanılmasıyla elde edilmiştir. Süperakışkanlaştırıcılarla birlikte kullanılan mineral katkıları da kıvam ve işlenebilirliğin artırılmasında büyük yararlar sağlamıştır.

Bu çalışmada yeni kuşak süperakışkanlaştırıcı katkıları ve mineral katkıların çimento hamuru ve harçların reolojik özellikleri olan eşik kayma gerilmesi ve viskoziteye etkileri incelenmiştir. Bu inceleme viskozimetre deney aleti ile gerçekleştirilmiş ayrıca yayılma deneyleri yapılarak veriler karşılaştırılmıştır. Böylece yüksek akıcılıkta ayrışma direncine (kohezyon) sahip beton üretiminin yapılabilmesi araştırılmıştır.

Tez çalışmamda ve onu tamamlayan diğer çalışmalarımızda bilgi ve yönlendirmelerinden dolayı Hocam Prof. Dr. Hulusi ÖZKUL'a teşekkürlerimi sunarım.

Bütün eğitim hayatım süresince büyük fedakarlıklarda bulunan başta anne ve babam olmak üzere Aileme, yüksek lisansımı bitirebilmemde büyük yardımlarını gördüğüm DSİ Edirne XI. Bölge Müdürümüz Sayın Bahri EGE'ye, kullanılan tüm yapı malzemelerinin temini ve oluşturulan laboratuvar ortamı için Sika Beton laboratuvarı şefi Sayın Ali Raif Sağlam'a, deneyleri yaparken yardımlarını esirgemeyen Sika beton laboratuvarı personeline, tezi yazmamda büyük yardımlarını gördüğüm Nuri Demirel'e ve Oğuzhan AVCIATA'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

MAYIS 2002

Fethi İŞSEVER

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Beton	1
1.2. Betonda Temel Özellikler	2
1.3. Taze Beton Özellikleri	3
1.4. Taze Beton Teknolojisinde Kullanılan Terimler	6
1.4.1. İşlenebilirlik ve Kıvam	6
1.4.2. Hareketlilik, Pompalanabilirlik	8
1.4.2.1. Taze Betonun Pompa ile İletimi ve Beton-Boru Sürtünmesi	9
1.4.3. Kararlılık, Ayrışma, Terleme	11
1.4.3.1. Kararlılığı Düşürüp Ayrışma Riskini Arttıran Etkenler	12
1.4.3.2. Kararlılığı Artırıp, Ayrışma Riskini Azaltanlar	13
1.4.4. Yerleşebilirlik	14
1.4.5. Perdahlanabilirlik	15
1.5. Ölçüm Yöntemleri	15
1.5.1. Çökme Deneyi	17
1.5.2. Ve Be Deneyi	18
1.5.3. Yayılma Deneyi	18
1.5.4. K - Çökme Deneyi	20
1.5.5. Viskozite Deneyi	21
2. TAZE BETON REOLOJİSİ	23
2.1. Çimento Hamuru, Harç ve Betonda Reolojik Özellikler	23
2.1.1. Newton Akış Modeli	24
2.1.2. Newtoniyen Olmayan ve İri Askıda Olanlar	28
2.2. Süperakışkanlaştırıcı Katkılar	35
2.2.1. Süperakışkanlaştırıcıların Etki Mekanizması	37
2.2.2. İşlenebilirlik Kaybı	39
2.2.3. Bağlayıcı Maddelerin (Mineral Katkılar) Etki Mekanizması	41
3. DENEYSEL ÇALIŞMA	43
3.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler	43
3.1.1. Çimento ve Diğer Bağlayıcılar	43
3.1.2. Süperakışkanlaştırıcı Katkı	44
3.1.3. Kum	46
3.2. Yapılan Deneyler Hakkında Genel Bilgiler	47
3.2.1. Taze Çimento Hamuru Deneyleri	47
3.2.2. Taze Harç Deneyleri	51

3.3. Deney Yöntemleri	52
3.3.1. Taze Çimento Hamuru Deneyleri	52
3.3.2. Taze Harç Deneyleri	53
4. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ	55
4.1. Taze Çimento Hamuru Deney Sonuçları	55
4.1.1. EKG Üzerindeki Etkiler	55
4.1.1.1 Süperakışkanlaştırıcı Etkisi	55
4.1.1.2. Su Etkisi	57
4.1.1.3. Mineral Katkı Etkileri	59
4.1.2. Viskozite Üzerindeki Etkiler	59
4.1.2.1. Süperakışkanlaştırıcı Etkisi	60
4.1.2.2 Su Etkisi	61
4.1.2.3 Mineral Bağlayıcı Etkisi	62
4.2. Taze Harç Deney Sonuçları	63
4.2.1. MS'lı Karışımlarda Katkılarının EKG Üzerindeki Etkileri	64
4.2.2. UK'li Karışımlarda Katkılarının EKG Üzerindeki Etkileri	65
4.2.3. Harçlarda Viskozite	66
4.3. Harçlarda Yayılma	67
5.SONUÇLAR	68
KAYNAKLAR	69
EK A	73
ÖZGEÇMİŞ	85

KISALTMALAR

ÇH	: Çimento Hamuru
Ç	: Çimento
H	: Harç
S/Ç	: Su/Çimento oranı
S	: Su ve sıvı süperakışkanlaştırıcının toplam miktarı
B	: Çimento, uçucukül, mikrosilika gibi bağlayıcıların genel adı
S/B	: Su/Bağlayıcı oranı
SA	: Süperakışkanlaştırıcı
AK	: Akışkanlaştırıcı katkı
V1	: Viscocrete 1
MS	: Mikrosilika (silika dumanı)
UK	: Uçucukül
MK	: Mineral Katkı
YFC	: Yüksek fırın cürufu
K	: Kum (toplam miktar)
Kum1	: Dere kumu
Kum2	: Kırma kum
K/B	: Kum/Bağlayıcı oranı
EKG	: Eşik Kayma Gerilmesi
EKGA	: İleri okuma eşik kayma gerilmesi
EKGB	: Geri okuma eşik kayma gerilmesi
VisA	: İleri okuma viskozitesi
İnc. Mod.	: İncelik Modülü
Y.K.S.D. Öz. Ağ.	: Yüzey kuru suya doygun özgül ağırlık
m	: Metre
cm	: Santimetre
mm	: Milimetre
dev/dak	: devir/dakika
FTM	: Faktoriyel Tasarım Metodu

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Kıvam için Ritchie'nin Standart deney sonuçları.....	6
Tablo 3.1. Deneylerde kullanılan çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri	43
Tablo 3.2. Deneylerde kullanılan orhaneli uçucukülünün kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	44
Tablo 3.3. Kullanılan kumun elek analizleri ve özgül ağırlıkları.....	46
Tablo A.1.-A.2. Çimento hamuru viskozite deneyleri reolojik ölçüm deney listesi.....	73
Tablo A.3.-A.4. Harç viskozite deneyleri reolojik ölçüm deney listesi.....	75
Tablo A.5. ÇH1 deneyi viskozimetre okumaları.....	77
Tablo A.6. ÇH deneyleri mini-slump yayılma deneyi değerleri.....	78
Tablo A.7. Harç deneyleri yayılma değerleri.....	80

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1	: Boru içinde taze beton akışı..... 8
Şekil 1.2	: Basınç altında boru içinde hareket eden Newton sıvısında hız dağılımı ve bir süspansiyon lamine akımın hız dağılımı..... 9
Şekil 1.3	: Bağlayıcı, ince malzeme (Ç, UK, MS, YFC) miktarı ve boşluk içeriğinin pompalanabilirlik üzerindeki etkisi..... 11
Şekil 1.4	: Terleme ile beton suyunun ayrışması ve agrega altında birikmesi..... 13
Şekil 1.5	: Çökme konisi ve çökme deneyi..... 17
Şekil 1.6	: Yayılma deney aleti..... 18
Şekil 1.7	: Yayılma ve çökme deneyleri arasındaki ilişki..... 19
Şekil 1.8	: L-tipi akma ve U-tipi akma deney aletleri 20
Şekil 2.1	: İdeal katı cisimde A alanı üzerine etkiyen P kayma kuvveti ve kayma şekil değiştirmesi..... 25
Şekil 2.2	: İdeal katılarda G kayma modülü..... 26
Şekil 2.3	: Newton sıvısının viskoz akışı..... 27
Şekil 2.4	: Newton sıvısı..... 28
Şekil 2.5	: Bingham sıvısı..... 29
Şekil 2.6	: Taze harç ve betonlarda Bingham cismi..... 30
Şekil 2.7	: Newton olmayan değişik sıvılar için kayma gerilmesi ve kayma oranı arasındaki ilişki 31
Şekil 2.8	: Tikotropik sıvının akış eğrileri..... 32
Şekil 2.9	: Boru içinde akan ideal Newton ve bingham sıvılarındaki gerilme dağılımı. Düzgün akım olduğu varsayılmıştır..... 33
Şekil 2.10.	: Süperakışkanlaştırıcı katkıların etki mekanizması..... 38
Şekil 3.1	: Mini-slump yayılma konisi..... 48
Şekil 3.2	: <i>Mettler RM 180 Rheomat</i> viskozimetre deney aleti..... 49
Şekil 3.3	: <i>Mettler RM 180 Rheomat</i> viskozimetre deney aleti aparatları..... 50
Şekil 3.4	: Taze harç yayılma konisi..... 51
Şekil 3.5	: Faktoriyel Tasarım Metodu..... 53
Şekil 4.1	: ÇH'de SA etkisiyle oluşan EKG değişimleri..... 57
Şekil 4.2	: ÇH'de Su etkisiyle oluşan EKG değişimleri..... 58
Şekil 4.3	: ÇH'de MK etkisiyle EKG'de değişim..... 59
Şekil 4.4	: ÇH'de SA'nın viskozite üzerindeki etkileri..... 61
Şekil 4.5	: ÇH'de Suyun viskozite üzerindeki etkileri..... 62
Şekil 4.6	: ÇH'de MK'nın viskozite üzerindeki etkileri 63
Şekil 4.7	: MS'li H'lerde farklı katkıları sonucu EKG'de oluşan değişimler. 65
Şekil 4.8	: UK'li H'lerde farklı katkıları sonucu EKG'de oluşan değişimler. 66
Şekil 4.9	: H'lerde farklı katkıları sonucu viskozitede oluşan değişimler 67
Şekil A.1	: Viskozimetre ileri okuma eğrileri..... 81
Şekil A.2	: Viskozimetre geri okuma eğrileri..... 83

SEMBOL LİSTESİ

τ	: Kayma gerilmesi (MPa)
τ_0	: Eşik kayma gerilmesi (MPa)
$\eta=\eta_p$: Plastik viskozite (Pa.s)
T	: Tork, burulma momenti (Nm, MN.m)
N	: Viskozimetre dönme hızı (1/s)
g	: Akma eşiği değeri (Viskozimetre, Nm)
h	: Plastik viskozite değeri (viskozimetre, Nm.s)
γ	: Açısal şekil değiştirme
$\dot{\gamma}$: $\frac{d\gamma}{dt}$ Açısal şekil değiştirme hızı (1/s)
G	: Kayma Modülü
CaSO₄	: Kalsiyum Sülfat
NaSO₄	: Sodyum Sülfat
CaO	: Kalsiyum Oksit
K₂O	: Potasyum Oksit
SiO	: Silisyum di Oksit
C₃S	: Trikalsiyum Silikat (3CaO.SiO ₂)
C₂S	: Dikalsiyum Silikat (2CaO.SiO ₂)
C₃A	: Dikalsiyum Silikat (3CaO.Al ₂ O ₃)
C₄AF	: Tetrakalsiyum Alüminü Ferrit (4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃)

SÜPERAKIŞKANLAŞTIRICI VE MİNERAL KATKILI ÇİMENTO HAMURU VE HARÇLARIN REOLOJİSİ

ÖZET

Gelişen beton teknolojisi sonucunda şantiyelerde beton hazırlanması azalmış, bunun yerine beton fabrikalarında hazırlanan betonlar taze halde şantiye sahasına taşınır hale gelmiştir. Bunun için de taze betonun işlenebilirliği ve kıvamının ayarlanması büyük önem kazanmıştır. Betonun reolojisini incelerken çimento hamuru ve harcın reolojisini bilmek gerekmektedir. Beton, viskoz bir sıvı cisim kabul edilen çimento hamuru içinde dağılmış agregadan oluşur. Süperakışkanlaştırıcılar betonun reolojik özelliklerini geliştirmek için beton teknolojisinde uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. Üçüncü nesil veya yeni kuşak süperakışkanlaştırıcılar akışkanlık özelliğini artırmakla kalmayıp bu özelliğin ve işlenebilirliğin daha uzun süre korunmasına imkan sağlamışlardır. Ayrıca bu süperakışkanlaştırıcılar, işlenebilirlik ve kıvamın ayarlanmasında uçucukül, silika dumanı veya yüksek fırın cürufu olarak bilinen mineral katkılarla birlikte kullanıldığında daha etkili olmaktadır.

Bu çalışmada kendiliğinden yerleşen beton süperakışkanlaştırıcı katkısı, Orhaneli uçucukülü ve mikrosilika (silis dumanı) kullanılmıştır. Çimento hamuru ve harçlar olmak üzere iki tür deney serisi uygulanmış olup bu serilerde süperakışkanlaştırıcı, uçucukül ve mikrosilikanın (mineral katkılar) farklı dozajları kullanılarak en uygun işlenebilirlik ve kıvama sahip karışımlar elde edilmeye çalışılmıştır. Eşik kayma gerilmesi ve viskozite, eş-eksenli (koaksiyal) bir viskozimetre kullanılarak ölçülmüş, klasik deneylerden yayılma deneyi ile de çimento hamuru ve harçların yayılma miktarları bulunmuştur. Daha sonra, eşik kayma gerilmesi, viskozite ve yayılma gibi reolojik özellikler arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Çalışma sonunda elde edilen bütün veriler tablolar halinde gösterilip grafikler haline getirilerek karşılaştırmalar yapılmıştır.

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

THE RHEOLOGY OF FRESH CEMENT PASTE AND MORTAR THAT COMPOSED OF SUPERPLASTICIZERS AND MINERAL ADMIXTURES

SUMMARY

Due to the development in concrete technology, producing concrete at a site has been decreased. Instead of this, fresh concrete is transported to the site from the ready-mixed concrete factories. For this reason, the importance of workability and consistency of fresh concrete became more important. While investigating of the rheology of fresh concrete, it must be known also rheologies of cement paste and mortar. Concrete is composed of dispersed aggregates spread in the cement paste. In order to improve the rheological properties of concrete superplasticizers have been used in the concrete technology for many years. New generation superplasticizers exhibit flowing properties as well as retention of these properties for a longer time. These superplasticizers used for improving the workability and consistency of fresh concrete are more effective with fly ash, micro-silica, or high blast furnace.

In this study a self compacting superplasticizer, Orhaneli fly ash and microsilica (silica fume) were used. Two kind of experimental series were applied. One of them was carried out on the cement paste and the other was on the mortar. In these experiments, different dosages of superplasticisers, fly ash, and micro-silica for determining the most suitable workability and consistency of fresh cement paste and mortar were tested the shear stress and viscosity were measured by using a co-axial viscosimeter. Spread distance of cement paste and mortar were found by classical slump flow experiments. The relationship between the rheological properties obtained by the viscosimeter and by the slump flow test were investigated. The comparisons have been made by plotting curves and preparing tables.

1. GİRİŞ

Bu bölümde çimento hamuru (pastası), harç, beton, bunları oluşturan ana bileşenler ve yardımcı bileşenler anlatılacaktır. Ayrıca bu bileşenlerin yukarıda belirtilen yapı malzemelerinden çimento hamuru ve harçların reolojik özellikleri ve davranışları, bunların kıvamına ve işlenebilirliklerine etki eden faktörler, deney metodları ile bunların değerlendirilmeleri incelenecektir.

1.1. Beton

Betonu son yüzyıllık zaman zarfında inşaat mühendisliği açısından en önemli yapı malzemesi saymak yerinde bir davranış olacaktır. Beton basitçe önceden şekil verilebilen bir yapay taş olarak tanımlanabilir. Doğal taşların birbirleriyle birleştirilerek yapı elemanlarını oluşturmalarına karşılık beton sürekli bir biçimde, birleştirme işlemine ihtiyaç duyulmadan üretilir ve yapı elemanlarını oluşturur.

Beton, agregada adı verilen kum, çakıl, mıcır gibi taneli mineral malzemenin onları birbirine yapıştıran çimento ve su ile karıştırılması sonucu meydana gelir. [1]. Belirtildiği gibi agregada ve çimento hamurundan meydana gelen beton, kompozit bir malzemedir. Agregada genellikle bu karışımın hacimce yaklaşık olarak %70'ini meydana getirir. Çimento hamuru ise agregada parçacıklarının etrafını sarar ve bu parçacıkların aralarındaki boşlukları doldurur, henüz taze iken taneler arasındaki sürtünmeyi azaltarak yağlayıcı madde görevi görür ve böylece taze karışımın işlenebilirliğinde önemli rol oynar. Sertleştiğinde ise agregada parçacıklarını birbirine bağlar ve genellikle sertleşmiş betonun dayanım ve dayanıklılığında en önemli belirleyicidir.

Betondaki bütün bileşenlerin oranları ile özellikleri bilinip karışım kuralları ve bu bileşenlerin aralarındaki bağ dayanımı yaklaşık olarak tahmin edilebilirse, kompozit malzemelerin temel özellikleri belirlenebilir. Ancak karışım kuralları ve bağlar için gösterilen yaklaşıklık beton özelliklerinin tahmin edilmesinde yeterli değildir. Bu kısmen betonun karmaşık kompozit yapıda olmasından, kısmen de çimento hamurunun özellikleri ve agregada ile bağı yüzündendir. Çimento hamurunun özellikleri sadece çimento hamuru üzerinde deneyler yapılarak elde edilebilir. Ancak

bu özellikler, aynı çimento hamuru çevresindeki agregalar tarafından sınırlanmış olarak beton karışımının bir parçası iken sahip olduğu özelliklerden farklıdır [2].

Çok fazla sayıda ve karmaşık olan etkenlerin bulunması yüzünden taze ve sertleşmiş beton hakkında kesin tahminler yapılamamaktadır.

Beton içinde bulunan sertleşmiş çimento hamurunun özelliklerindeki hidratasyon sırasında oluşan değişimler genel olarak bilinmektedir. Agregalar parçacıkları çevresindeki arayüz bölgesi de dahil olmak üzere sertleşmiş çimento hamurunun mikroyapısı daha önce incelenmiştir. Ancak yine de sertleşmiş arayüz hamurunun özellikleri hakkındaki bilgi miktarı sınırlıdır.

Bu çalışmada betonun daha çok taze haldeki özellikleri üzerinde durulmuştur.

1.2 Betonda Temel Özellikler

Betonlarda mutlaka olması istenen üç temel özellik vardır. Bunlar betonun üretim amacından bağımsız, her zaman istenilen niteliklerdir:

- **İşlenebilirlik:** Bu taze beton özelliklerindedir. Taze beton kolay karıştırılabilir, kolay yerleştirilmeli, bununla beraber taşınırken ve yerleştirilirken ayrılmayıp, homojenliğini kaybetmemelidir.[3]
- **Dayanım (Mukavemet):**Sertleşmiş beton özelliği olup betonun taşıyıcı bir malzeme olması sebebiyle projede belirtilen dayanımı güvenli bir şekilde sağlamalıdır.
- **Dayanıklılık (Dürabilite):** Dış etkilere dayanıklılık yine sertleşmiş bir beton özelliğidir. Hava, su, veya kimyasal çevre etkileriyle, donma-çözülme, ıslanma-kuruma, gibi fiziksel etkilerle bunun yanı sıra mikroyapıda yani betonun içyapısında agregalar ve çimento arasında oluşan reaksiyonlar sonucu beton niteliklerini kaybedebilir. beton bu tür bozulmalara direnç göstermelidir.

1.3 Taze Beton Özellikleri

Betonun taze haldeki en önemli özelliği olan işlenebilme tanımındaki tüm nitelikleri birarada değerlendirecek deneyleri tek bir kerede yapabilen bir test metoduna ulaşamamıştır. Çökme, yayılma, sıkışma faktörü, VeBe vs. İşlenebilmeyi ölçmeye yarayan, standart deney aletlerinin sayısı çok fazla olmakla beraber uygulandıkları beton tür ve kıvamları sınırlıdır. Örnek olarak yayılma akıcı kıvamlı betonlarda çökme plastik kıvamlılarda, VeBe kuru vibrasyon betonları hakkında fikir sahibi olunmasında yararlı olurlar. Bununla birlikte yanlış bilinen bir yargı da çökme değeri yüksek bir betonun her zaman iyi işlenebilir bir beton olduğudur. Bu açıdan betonun işlenebilirliğini ifade etmek için reolojik malzeme sabitlerini kullanmak daha doğru bir yaklaşım tarzı olur. [4,5,6]

Taze beton konusu ve beton ile ilgili birçok araştırma, dergi ve kitapta bu konu hakkında bilgilere ulaşmak mümkündür. Fakat bu çalışmaların çoğunda temel reolojik özellikler veya başka detaylar incelikle araştırılmayıp, görülen özelliklerin beton teknolojisini temsil ettiği düşünülduğünden çok açıklayıcı olunamamıştır.

Uygulamada giderek daha çok kullanılmaya başlanan özel karışım betonların öncelikle taze ve sertleşmiş haldeki özellikleri incelenmektedir. Bunların davranışının sıradan beton davranışına göre oldukça farklı olduğu gözlenmiş, bu nedenle özel deneyler için farklı deney araçları ve süreçler geliştirilmiştir.

Beton teknolojisindeki gelişmeler, özellikle çok çeşitli kimyasal katkıların işin içine girmesi ve mineral bağlayıcı katkıların kullanılabilmesi taze karışım özelliklerinin önemini arttırmıştır. Eskiden yüksek işlenebilir beton elde edebilmek için su miktarını artırmak tek seçenek idi. Bu durumda oluşan düşük dayanım ve dayanıklılığın önüne ise sadece çimento dozajı artırılarak geçinebiliyordu. Bu ise yüksek maliyetlere sebep olmaktaydı. Son yıllardaki gelişmeler sonucu bu durum ortadan kalkmış, çok iyi işlenebilen betonların yüksek dayanım ve dayanıklılığa sahip olabilmesi sağlanmıştır. Bu betonlar katkı maddelerinin getirdiği ek maliyetler yüzünden düşük kalitedeki betonlara oranla bir miktar daha pahalıdır ancak yapım aşamasında sahip olduğu avantajlar bu ek maliyeti fazlasıyla telafi etmektedir. Bununla birlikte beton kalitesi de garanti altına alınabilmektedir.

Son yıllarda düşük işlenebilirlikli kuru karışımlara olan ihtiyaç giderek azalmıştır çünkü bu karışımların yerleştirme zorluğu yüksek maliyetli enerji ihtiyacı doğurmaktadır. Tam olarak iyi yerleştirilemediği durumda ise betonun yüksek

dayanımının ve dayanıklılığının olması söz konusu olamaz. Kuru karışımlar sadece prefabrik yapı elemanlarının betonları için uygundur. Bu sebeple son zamanlarda beton imalatında, özellikle şantiye dökümlerinde kuru karışım kabul görmemektedir.

Betonun temel özellikleri arasında sayılan taze betonun taşınması gereken genel özellikler aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Beton kolay karıştırılabilmelidir. Herhangi bir kimyasal katkı maddesi de dahil olmak üzere tüm bileşen malzemeler karışım içinde etkin ve homojen olarak dağılmalıdır. Betonun tümü için kabul edilebilir homojenlik geçerli olmalıdır.
- Beton karışımı, işin gerektirdiği şekilde; titreşim uygulansın uygulanmasın, tam anlamıyla yerleştirilebilmesi için yeterli işlenebilirlikte olmalıdır. Ayrıca taşınma sonucunda kabul edilebilir sınırların üzerinde kıvam kaybı ile karşılaşılmalıdır.
- Beton karışımını istendiği yere yerleştirebilmek için çok fazla enerjiye ihtiyaç duyulmamalıdır.
- Sayılmış bulunan tüm bu işlemler sırasında beton ayrışmamalıdır.

Yukarıda belirtilen şartlara üretim, taşıma, yerleştirme ve sıkıştırma gibi her bir aşama boyunca ihtiyaç vardır.

Bilindiği gibi beton ya tamamen şantiye sahasında üretilmekte, ya da dışarıdan beton santrallerinden satın alınarak taze halde şantiyeye getirilmektedir (Hazır beton). Bu yanı sıra diğer yapı malzemelerinden farklılık gösterir. Diğer yapı malzemelerinin neredeyse tamamı üretimi tamamlanmış olarak ele alınır. Yani şantiyeye geldiklerinde son durumları olan temel özellikleri sabit ve zamanla değişmeyeceği düşünülerek kullanılmaktadırlar. Uygulamada bu malzemelerin özellikleri garanti altına alınmıştır.

Bu tür yapı malzemelerine verilebilecek ilk örnek olarak çelik gösterilebilir. Çelik, teknolojik olarak kontrol altında üretilmiş, son özelliklerine ulaşmış halde şantiye sahasına ulaştırılıp, burada sadece kesilme ve bağlanma işlemlerine tabi tutulmaktadır. Çeliğin özelliklerinin şantiyede bozunma potansiyeli betonunkine oranla çok daha azdır. Bundan dolayı bir projenin başarıyla tamamlanması için gerekli olan bilgi ihtiyacı betona göre daha düşüktür. Kiremit, tuğla gibi malzemelerin de aynı şekilde, üretimden sonra zaman içinde (yapı imalatı süresinde) olumsuz olarak etkilenmeyeceği kabul edilmektedir. Ahşap özellikleri ise saha

mühendisinin sorumluluğu altında olan basit sınıflandırma işlemleri sonucu seçilen numunelere bağlıdır. Beton ve diğer malzemeler arasındaki bu karşılaştırmalar, imalat sürecinin temel özelliklere etkisini göstermektedir.

Taze betonun işlenebilirliği, temel kazanımlarından biri olan istenilen şekle sokulabilme özelliğini sağlamaktadır. Bu sayede betonarme binalarda oldukça büyük oranda yapısal verim sağlanabilmektedir, çünkü yekpare denebilecek elemanlar üretilebilmektedir.

Taze karışımın özellikleri genellikle bir veya birkaç deney sonucuna bağlı olarak değerlendirilir. Deneylerin büyük bir kısmı standard hale getirilmiş yöntemleri izler fakat standard hale getirilmiş deneyler ve bunların kesin yöntemleri ülkeden ülkeye değişir. Standard deneylerin ayrıntıları deney yöntemlerine kılavuzluk eder, ve sonuçların nasıl elde edildiği, kesin sonuçların ne olduğu belirlenebilir. Ayrıca bu deneyleri yapanların deneyi yapma kabiliyetleri, deney yapımı sırasında gösterilen hassasiyet, deneyin yapıldığı ortam vs. gibi durumlara bağlı olarak da deney sonuçlarında farklılıklar gözlemlenebilmektedir. Standard test değerleri, belirgin kıvam değerlerine göre farklı test koşullarında yapılan tek nokta ölçümleri ifade ederler. Fakat aynı tür ve kıvamda yapılan betonları kendi aralarında standart deney yöntemleriyle kıyaslamak da güç olmaktadır. Bazı durumlarda çökme deneyi ölçümleri kesme (shear) veya göçme (collapse) olarak adlandırılan hatalı sonuçlar verebilirler, Bunun yanı sıra bu deneyler çökme olmayan veya yüksek çökme veren betonların karşılaştırmasında yetersizdirler. Sıkışma faktörü deneyinde de kohezyon özelliği yüksek, özellikle hava sürüklenmiş betonlarda kalıpların yüzeyine yapışarak alınacak ölçümün doğruluğunda yanlışlığı oluşabilir.[5,7]

Yukarıdaki açıklamalara örnek olarak aynı betonlar üzerinde standart yöntemlerle yapılmış olan Ritchie'nin deney sonuçları Tablo 1.1'de verilmiştir.

TC YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANİTASYON MERKEZİ

Tablo 1.1 Standart deney sonuçları

Karışım	S/Ç	Çimento	Çökme	cf(*)	VeBe
	-	Kg/m ³	mm	-	sn
A	0,45	520	80	0,85	3,5
B	0,55	385	50	0,92	6,5
C	0,69	270	55	0,95	2,5

Standard deneylerin sonuçlarına göre incelenen betonun kıvamındaki artış:

Çökme :B < C < A

Sıkışma faktörü :A < B < C

Vebe :B < A < C

olarak değişmektedir. Bu deneyde elde edilen sonuçların seçilen deney yöntemine bağlı olarak değiştiği anlaşılmaktadır.

Bu deney sonuçlarına bakıldığında standart deneylerin taze betonun işlenebilirliğini tam olarak açıklayamadığı anlaşılmaktadır. Bunun yerine reolojik modeller kullanılarak (örneğin Bingham Modeli) betonun işlenebilirliği iki ayrı parametre (kayma eşiği, τ_0 ve plastik viskozite, η_{pl}) ile ifade etmek daha doğru olmuştur.[4,5,6]

1.4. Taze Beton Teknolojisinde Kullanılan Terimler

1.4.1. İşlenebilirlik ve Kıvam

Bu terimler taze beton, harç veya çimento hamuru için en önemli iki terimdir. İşlenebilirlik, çimento hamuru içinde herhangi bir şekilde dağılmış agregaya sahip her türlü taze beton ve harç karışımlarının değerlendirilmesinde kullanılırken, kıvam terimine ise agrega bulundurmayan, çimento ve su ile meydana gelmiş çimento hamurunun yorumlanmasında ihtiyaç duyulmuştur.

İncelenen bu iki terim; işlenebilirlik ile kıvam arasındaki farkın uygulamada yararlı olduğu gözlemlenmiştir çünkü çimento hamuru özellikleri doğrudan taze harç veya beton özellikleri ile ilişkilendirilememektedir [2].

* sıkışma faktörü deney değeri

Kıvam terimi hem homojenlik, üniformluk ve uyumu hem de akıcılığı kapsamaktadır. Başka endüstriyel süreçlerde kıvam terimi sıvılar ve katı asıtlı karışımlarda kullanılmaktadır. Bu gibi durumlardan dolayı kıvam, bir veya daha fazla bilimsel ve genellikle reolojik verilerle tanımlanmaktadır. Bu değerlendirme çimento hamuruna ve harcına, özellikle son yıllarda da betona uygulanmaya çalışılmaktadır.

Taze betonda ise yerleştirilebilme kolaylığı, karmaşık şekilleri doldurabilme kapasitesi, donatı çevresindeki akış ve kolay perdahlanabilirlik gibi belirli bakış açılarıyla tanımlanabilir. Bu özellikler detaylı bir şekilde incelenecektir fakat kıvam terimi bunları kapsamamaktadır. Ayrıca karışımdaki en büyük agrega boyutu gibi reolojik özelliklerle tanımlanamayacak veriler de taze beton açısından önemlidir.

Geçmişte işlenebilirlik hakkında birçok tanım yapılmıştır. Bugünkü tanımlamalar ile aralarındaki tek ortak nokta işlenebilirliğin genel, karmaşık, basitçe anlatılamayan ve tek bir deney yöntemi ile tam olarak ölçülemeyen bir terim olduğudur.

İşlenebilirliği birkaç tane daha temel veri ve özelliklerle tanımlayabilmek için denemeler yapılagelmektedir. Bu terimler; viskozite, akma gerilmesi, hareketlilik, içsel sürtünme, pompalanabilirlik, kararlılık, kohezyon, ayrışma, terleme, yerleşebilirlik, perdahlanabilirliktir.

Yukarıda bahsedilen özelliklerin bazıları bilinen reolojik yöntemlerle ölçülebilecek bilimsel verilerdir. Diğerleri için ya sadece ampirik değerlendirmelere güvenmek ya da daha bilimsel yaklaşımları mümkün kılabilmek amacıyla birtakım alt parçalara bölerek incelemek gerekir. Her nasılsa özelliklerin seçimi yazardan yazara, ülkeden ülkeye hatta bir şantiyeden diğerine değişmektedir. Taze beton işlenebilirliğinin tanımlanması için tüm dünyada ortak olarak kullanılan özellikler mevcut değildir.

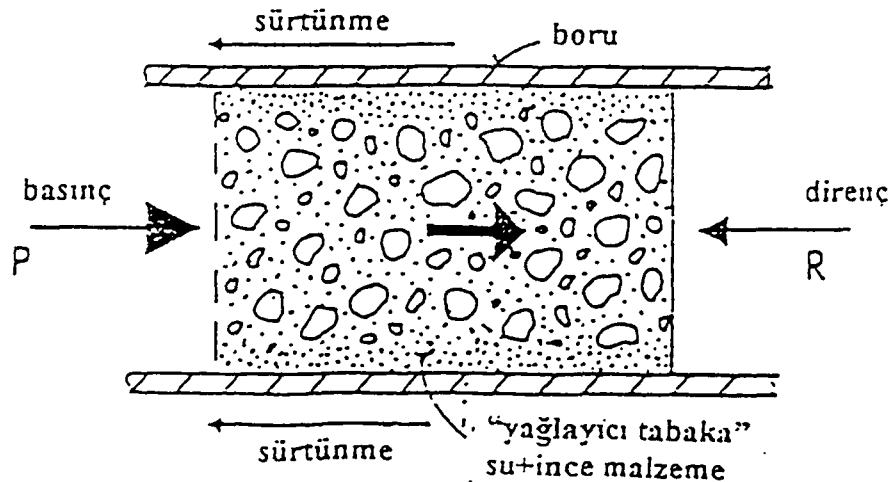
Birçok beton teknolojisi uzmanı işlenebilirlik hakkında, perdahlanabilirlik gibi yetenek, deneyim ve uygulayıcının aletlerine bağlı verilerin ve taze beton kalitesi hakkında ölçüm yapılamadan ileri sürülen öznel değerlendirmelerin mevcut olduğunu kabul etmektedirler. Uygulamada işlenebilirlik hakkındaki değerlendirmeler deney sonuçları ve buna ek olarak öznel, genellikle görsel yargıya dayanmaktadır. İşlenebilirlik çoğunlukla iyi, kötü veya orta, taze karışımın görüntüsü ise kuru, koyu, plastik, yumuşak, nemli, ıslak, akıcı veya sıvı olarak belirlenmektedir.

1.4.2. Hareketlilik, Pompalanabilirlik

Betonun taze halde iken taşınması istenen yere yerleştirilmesi, bu karışımın harcanması istenen en az bir dış güç ile ister oluk içinde isterse pompa ile kolayca akıtılabilmesi ve bu süreç içerisinde bileşiminde veya özelliklerinde belirli bir değişiklik olmadan son konumuna ulaşabilmesi gereklidir. Bu konu bir hidrodinamik problemidir ve zorlamalı bir boru içinde hareket eden süspansiyonun hidrodinamiğinin incelenmesi gerekir. Betonun karmaşık kalıpları tamamen doldurması beklenir ve kesintisiz olarak donatılar arasından ve çevresinden kolayca akabilmesi istenir. Beton karışımının köprü ayağı ve fore kazık gibi su altında veya derin çukurlarda akmasının gerektiği uygulamalar da vardır.

Bu nedenle hareketlilik, taze betonun akış kapasitesi olarak tanımlanır. Sırasıyla sarsma, titreşim ve yerçekimi etkisi altındaki hareketliliğin mertebesini ölçmek amacıyla yayılma deneyi ve bunun gibi "akış" deneyleri olsa da hareketliliğin doğrudan ölçümü için herhangi bir deney mevcut değildir.

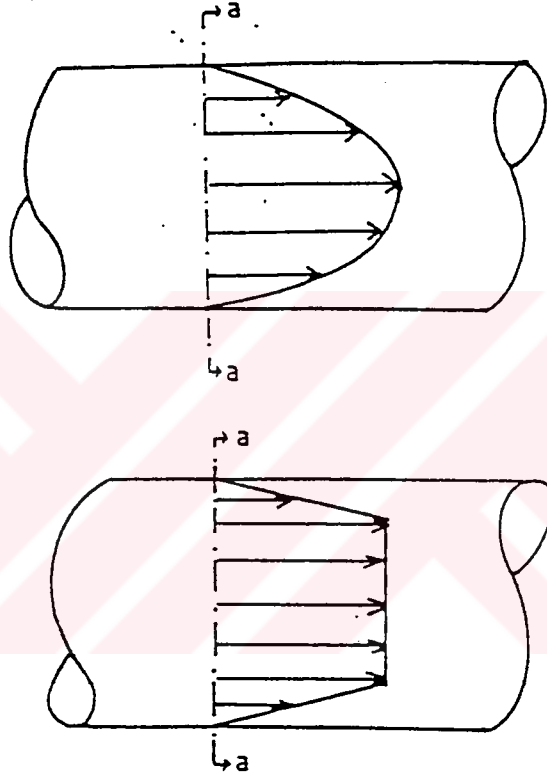
Şantiye sahasında taşımak ve yerleştirmek için taze betonun pompalanması oldukça yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Kolay bir pompalama için olabilecek en düşük miktardaki basınç ile ve tıkanma tehlikesi olmadan boru içinde kütleli bir şekilde akması gereklidir. Yeterli bir kararlılığa sahip bir betonun iyi derecede hareketlilik, pompalanabilirlik gibi özelliklere sahip olması istenir. Ayrıca taze karışımı boru içinde hareket ettirmek amacıyla dışarıdan basınç uygulandığında hareketlilik ve kararlılığın sürekli olması pompalanabilirlik için gerekli şartlardan biridir. Bu sebeple pompalanabilirlik, çevresini saran boru ile birlikte basınç altındaki betonun hareketlilik ve kararlılığı olarak açıklanabilir.



Şekil 1.1. Boru içinde taze beton akışı

1.4.2.1. Taze Betonun Pompa ile İletimi ve Beton-Boru Sürtünmesi

Şekil 1.2’de görülen süspansiyon tıkaç akımının oluşması için boru çeperinde kaygan bir tabakanın meydana gelmesi ve boru uzunluğunca bu tabakanın varlığını koruması gereklidir. Bu tabaka harcın ince taneleri, çimento ve sudan oluşur. Her ne kadar pompalama işlemine başlarken borudan önce bir harç kütlesi gönderilirse de, üretim süresince bu ilk tabakanın yerinde kalması mümkün değildir. Böylece daha sonra beton kütesinden sızan ince harç sayesinde yenilenir ve sürekliliğini korur.



Şekil 1.2. Basınç altında boru içinde hareket eden Newton sıvısında hız dağılımı ve bir süspansiyon lamine akımının hız dağılımı

Sürtünme direncinin düşük düzeyde kalmasını sağlayan bu harç fazın aşağıdaki niteliklere sahip olması gerekir.

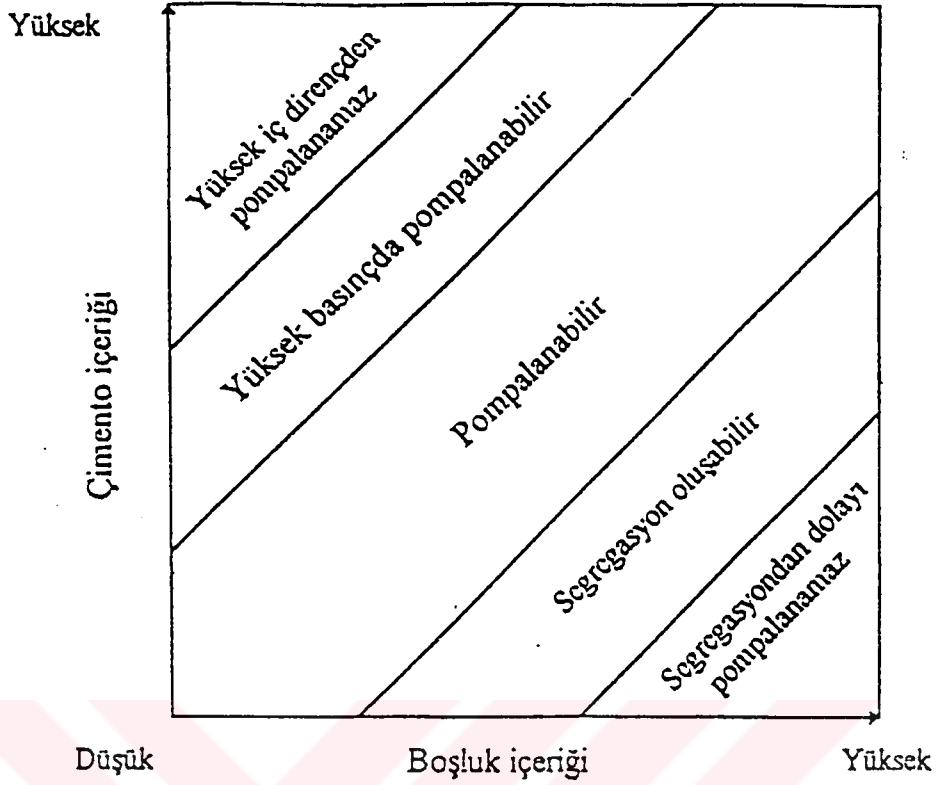
- Yağlayıcı nitelikli harç, uygulanan basınç nedeniyle esas beton kütesinden çepere doğru sızabilmelidir. Sızmayı sağlayan borudaki radyal basınçtır, bu ise borudaki boyuna istikametteki basınç sonucu meydana gelir. Bu iki basınç doymamış durumda hemen hemen eşit kabul edilebilir, ancak doymuş durumda radial gerilme boyuna gerilmenin %25’ine kadar inebilmektedir.[8]

- Yağlayıcı harç tabakası suyunu kaybetmemelidir. Bunun için taşınu ile veya hidratasyon başlangıcında puzolanik maddelerle veya viskoziteyi arttıran kimyasal katkılarla ince malzeme eksikliğini giderilmesi uygundur.[9,10,11]
- Yağlayıcı tabaka ve boru arasındaki sürtünme kuvveti düşük olmalıdır.

Taze betonun boru içinde hareket etmesi için dışarıdan uygulanan basınç, agrega granülometrisinin önemini işaret eder. Agrega parçacıklarının daha yoğun olarak düzenlenmesi sonucu karışımındaki boşluk muhteviyatı azalır ve böylece pompalanabilirlik ihtimali çok daha fazla yükselir. Çimento da dahil olmak üzere ince parçacıklar ile agregadaki boşluk oranı arasındaki ilişkinin karışımın pompalanabilirliğine etkisi Şekil 1.3'te gösterilmektedir.

Çimento miktarı da dahil olmak üzere toplam bağlayıcı ince malzeme miktarı çok yüksek olursa sürtünme kabul edilemeyecek kadar artar ve pompalama basıncı yükselir. Böyle bir durumda su miktarı artırılarak, akışkanlaştırıcı katkı kullanılarak veya çimento granülometrisi değiştirilip boşluk oranı yükseltilerek pompalanabilirlik geliştirilebilir.

Düşük çimento dozajlı betonlarda (grobeton gibi) veya agrega granülometrisi uygun olmayan karışımlarda oluşacak olumsuzluklar, betonun viskozitesini artıran “yoğunlaştırıcı” katkıları ile aşılabılır.



Şekil 1.3. Bağlayıcı (Ç,UK,MS) malzeme miktarı ve boşluk içeriğinin pompalanabilirlik üzerindeki etkisi

1.4.3 Kararlılık, Ayrışma, Terleme

Kararlılık, taze karışımın ilk andaki üniformluğunun tüm taşıma ve yerleştirme süresi boyunca korunabilme kapasitesi olarak tanımlanabilir. Bunun yanısıra karışımın ayrışma ve terlemeye karşı direnebilme yeteneği olarak da tarif edilebilir. Yani kararlılık ayrışmama ve terlememeyi içermektedir. Taze betonun kalıplara yerleştirilmeden önce elbette taşınabilmesi ve yerleştirilebilmesi istenir. Çünkü karışımın karıştırıcıyı terkettiği anda üniformluğu ve homojenliğini etkileyebilecek olan çarpma yüklerine, basınç ve kaymaya maruz kalacağı düşünülmektedir.

Ayrışma, karışımdaki bileşenlerin dağılımının ilk andaki üniformluğu ve homojenliği azaldığı zaman meydana gelir. Bunun sonucunda taze karışımın diğer özellikleri üniformluğunu kaybeder, hareketlilik veya yerleşebilirlik gibi davranışları da değişir. Ayrışma terimi iri agreganın dağılım düzeninin kaybı ile aynı anlamda kullanılmaktadır. Böyle bir durumda iri agreganın dibinde veya bir köşesinde birikir.

Taze betonun kararlılığı önemli bir özellik olsa da, değerlendirilmesinde zamanımızda bile geniş kabul görmüş veya standartlaşmış deneyler bulunmamaktadır. Bu sebeple taze beton kararlılığı hakkında dolaylı yorumlar yapılabilmekte ve bu yorumlar oldukça kişisel kalmaktadır.

Klasik çökme deneyinde kayma göçmeleri gözlemlendiğinde kararlılığın zayıf olduğu söylenebilir. Bunun kimi uygulamalarda çökme okuması yapıldıktan sonra çökmüş betona hafifçe vurarak kararlılık hakkında bir yargıya varıldığı bilinir. Eğer beton kayar, dağılır veya devrilirse kararlılığın zayıf olduğu anlaşılır. Ancak orijinal şeklini bozmadan biraz daha çökerse beton için kararlı denilebilir.

Yayıma deneyi, karışım numunesini sarsarak kararlılığını sınamaktadır. Kararsız karışımların ayrışma ve terlemeye olan eğilimleri yayılma deneyi sonunda numunenin çevresini saran su veya çimento hamurundan anlaşılır. Sarsma sonucu su veya çimento hamuru kararsız davranarak agrega ile birlikte hareket etmemiş ve ayrılmıştır.

Aşağıdaki etkenler taze beton kararlılığını değiştirirler.

1.4.3.1. Kararlılığı Düşürüp Ayrışma Riskini Arttıran Etkenler:

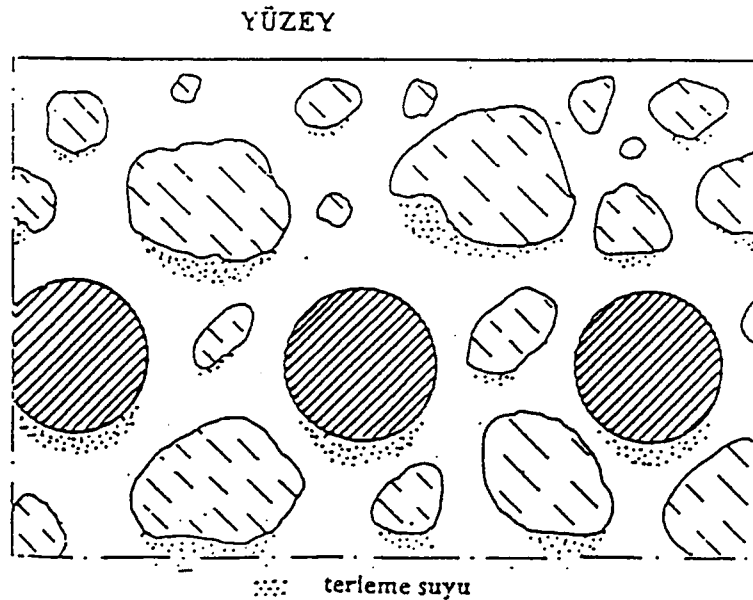
- Agrega granülometrisinde boşluk bulunması veya en büyük agrega boyutu 40 mm ve daha fazla olması.
- Çimento hamurunun özellikle ince agrega ile birlikte yetersiz olması.
- Karışımda yetersiz ince agrega oranı bulunması. Normal bir karışımda kumun inceliğine bağlı olmakla birlikte %30 - %40 civarında kum bulunur.
- İri, köşeli kırmataş agregasının çok fazla kullanılması.
- Çok yüksek su/çimento (S/Ç) oranı. Bu durumda çimento hamurunun kıvamı düşer ve agreganın düzgün dağılımını sağlayan kohezyon yetersizleşir.
- Çok düşük (S/Ç) Çimento hamuru akıcı davranmaz ve agreganın hareketini kolaylaştıracak ortamı meydana getirmekten uzak halde bulunur. İri agreganın yoğunluğunun çimento hamuru ve ince agreganınkinden çok farklı olması.
- Süper akışkanlaştırıcıların gerektiğinden çok fazla miktarda kullanılması.

1.4.3.2. Kararlılığı Artırıp, Ayrışma Riskini Azaltanlar :

- Agrega granülometrisinin uygun olması.
- Optimum su/çimento oranı ve çimento hamuru miktarı
- İnce malzeme miktarının artırılması (çimento ve yerine kullanılanlar da dahil olmak üzere).
- Karışımın sıvı fazını yoğunlaştırıcı katkıların kullanılması.
- Hava sürükleme.

Suyun betondan ayrılarak yüzeye çıktığı özel bir çeşit ayrışmaya terleme denir. Bu olay genellikle karışımın titreşim yoluyla yerleştirilmesi sırasında agreganın çökmesi ile meydana gelir. Katkısız bir betonda en düşük yoğunluğa sahip bileşen sudur, bundan dolayı su taze karışımın üst yüzeyine çıkmaya çalışır. Ayrışmış su yüzeyde toplanır, burada çok yüksek su/çimento oranına ve ters orantılı olarak zayıf dayanım ve dayanıklılığa sahip tabaka şeklinde çimento hamuru oluşturur.

Kuru, sıcak ve rüzgarlı hava koşullarında yerleştirilmiş taze betonun yüzeyine ulaşan su kısa sürede buharlaşır. Bu süreç sonunda plastik rötre oluşur ve çatlak oluşma ihtimali yükselir. Su beton içinde yüzeye doğru yükselirken iri agrega parçacıklarının ve yatay donatıların altında birikebilir. Böylece Şekil 1.4'te de görüldüğü gibi sertleşmiş betonda dayanımı ve aderansı düşürecek boşluklar meydana gelir.



Şekil 1.4. Terleme ile beton suyunun ayrışması ve agreganın altında birikmesi

İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
MİMARLIK FAKÜLTESİ
MİMARLIK BÖLÜMÜ
DOKÜMAN YÖNETİMİ

Bağlayıcı madde olarak bilinen mikrosilika (silika dumanı) uçucu kül, veya bunlar gibi çimento yerine kullanılacak ince malzemelerin betona eklenmesi terlemeyi azaltır. Başka bir seçenek ise betonun hava içeriğini hava sürükleyici katkı kullanarak arttırmaktır. Artan kuruma rötresinden dolayı beton çatlamaya karşı daha hassas olsa da çimento dozajının artırılması veya daha ince çimento kullanılması terlemeyi düşürebilir.

Döşemeler, kaplamalar ve yollar gibi yüzeyi derinlemesine yerleştirme ve perdelama gibi terlemeyi artırıcı işlemlere maruz kalacak betonları terlemeye iyi direnç gösterecek karışımlar ile üretmek önemlidir.

1.4.4. Yerleşebilirlik

Normal bir betonun işlenebilirliği, karışımın içine hapsolmuş havanın karıştırma ve yerleştirme sırasında yüzeye çıkarak kaçmasına izin verecek kadar yeterli değildir. Hapsedilmiş hava, mukavemet ve dayanıklılığın ikisini birden önemli ölçüde düşürmektedir. Bunun için teknik ve ekonomik olarak mümkün olduğu kadar hapsolmuş havayı mümkün olan en büyük oranda çıkarmak gereklidir. Hava boşlukları ancak iyi bir yerleştirme ile yok edilebilir. Sıradan bir beton iyi yerleştirildiğinde genellikle hapsolmuş hava %1 veya %2 mertebesine düşer. Bu mertebeyi daha da düşürmek veya sıfıra indirmek çok fazla ekonomik değildir.

Yerleştirme süreci enerji girişi ve buna ek olarak emek ve denetim ihtiyacı gerektirir. Verilerin gösterdiği enerji miktarı veya belirli bir taze beton karışımını en elverişli şekilde yerleştirmek için gerekli çaba uygulamada çok fazla iş yaramaktadır. Bahsedilen bu enerji ihtiyacı yerleşebilirliğin tanımlanmasında belirleyicidir.

Yerleşebilirlik ölçümü için kullanılan çeşitli deneylerden iki tanesi standartlaşmıştır. Bunlar:

Yerleşebilirlik Deneyi (DIN 1048)

Yerleştirme Faktörü Deneyi (BS 1881:Bölüm 103:1983)

Yerleştirme Faktörü Deneyi yerleşebilirliği aynı karışımdaki kısmen yerleşmiş betonun yoğunluğunun tam olarak yerleşmiş kısmına oranına göre değerlendirmektedir. Bu deney standart bir iş sonucu betonun yerleşme derecesini ölçer. Ancak kısmi yerleştirme iki küçük serbest düşmenin numune üzerindeki darbe

etkisi ile tamamlanır. Burada yerleştirmek için sarfedilen güç, uygulamada yerleştirme için kullanılan titreşim ile kıyaslandığında çok küçük kalmaktadır. Bu sebeple tam anlamıyla gerçeği yansıttığı söylenemez.

Alman Yerleşebilirlik Deneyi, Yerleştirme Faktörü Deneyi'ne göre daha basit olup, amacına ve gerçeğe uygundur.

1.4.5. Perdahlanabilirlik

Perdahlanabilirlik, işlenebilirliğin taze betonun özellikleri ile çeşitli türlerdeki perdahlanmanın başarılı uygulamaları arasındaki ilişkiyi de kapsamayı amacıyla listeye eklenmektedir. Bu terimin tatmin edici bir tanımı bulunmamaktadır. Her çeşit perdah işinin kendine özgü işlenebilirlik derecesine ihtiyaçı vardır. Bunun için uygun hareketlilik, yüksek kararlılık, iyi terleme direnci ve yeterli kohezyon gibi ölçütlerin dışında bir yenisini getirmek imkansızdır.

Perdahlanabilirlik esas olarak derin ve karmaşık şekilde uzanan kalıplarla karşılaşıldığında veya döşeme ve kaplama olarak taze beton dökümü gerektiğinde önem kazanır. uygulamada perdahlanabilirlik hakkında veya daha fazla genelgeçer işlenebilirlik deneylerinden çıkarımlar yapılır. Ancak genellikle pratik perdah uygulamalarından edinilen tecrübeler ve buna ek olarak karışımın görsel değerlendirmeleri kullanılır.

1.5. Ölçüm Yöntemleri

İşlenebilirlik, taze betonun en önemli özelliğidir. 19. Yüzyıl sonlarında betonun en önemli yapı malzemesi haline gelmesinden itibaren değişik özelliklerin değerlendirilebilmesi için çok sayıda deney metodu geliştirilmiştir. Bu deneylerin birçoğu ampiriktir. Buna mukabil son zamanlarda daha yaygın olan bazı deneyler, kuramsal modellere uyarlanmış deney yöntemlerinin yayınlanması amacıyla incelenmektedir ve böylece bu deneylerin sonuçları temel reolojik verilerle açıklanabilecektir. Taze betonun karmaşık, çok fazlı bir malzeme olduğu genel olarak kabul edilmiştir. Belirli bir beton karışımının işlenebilirliğinin reolojik terimler ile tek bir açıklamasının yapılabilmesi için birden fazla hatta birkaç tane özellik veya veri hakkında bilgi sahibi olunması gerekmektedir.

Çökme değeri, sıkıştırma faktörü, yayılma ve VeBe gibi standart, işlenebilirlik deneyleri sadece birbirine çok yakın kıvamlara sahip betonların karşılaştırılmasında ve değerlendirilmesinde kullanılabilir. İşlenebilirliği, viskoz malzemelerin karakteristik parametreleri ile değerlendirmek daha doğru ve daha gerçekçi olur. Reolojik yaklaşım için yapısal bir model belirlemek gereklidir. Çimento hamuru, harç ve beton için Bingham Modeli en uygun olandır. Bingham Modeli iki reolojik sabit olan plastik viskozite ve kayma değeri (kayma gerilmesi) ile açıklanabilir. Viskozimetre adı verilen iki noktalı işlenebilirlik aleti, iri agregalı betonun plastik viskozite ve kayma değeri sabitlerini açıklamak amacıyla Tattersal tarafından oluşturulmuştur [4]. Reolojik sabitlerin ölçülebilmesi için bir çok başka viskozimetreler de geliştirilmiştir. Klasik işlenebilirlik deney sonuçlarını reolojik parametrelerle ilişkilendirebilmek amacıyla çok fazla deneme yapılmıştır. Çökme değeri ile kayma gerilmesi arasındaki korelasyonun değerlendirilmesi tatmin edici olabilir ancak tüm bu diğer yaklaşımların hiçbiri tam olarak kayma gerilmesi ve plastik viskozite değerlerini verememektedir. Bundan dolayı viskozimetreler daha çok kullanılmalıdır fakat çökme, DIN1048 akma, Japon çökme-yayılma, K-çökme ve diğer klasik işlenebilirlik deneyleri gibi şantiyede kullanımının pratik olmaması sebebiyle birçok yerde uygulanamamakta ve mevcut deneyler yapılamamaktadır.

İhtiyaçlara karşılık gelen en ideal deneyler, laboratuvar deneyleriyle uyumlu ve eşit, şantiyede uygulamaya elverişli ve kullanışlı, anlamlı sonuçlar elde edebilenlerdir. Bir deneyin şantiye şartlarına uygun olduğuna karar verilmesi için gerekli olan ölçütler şu şekilde sıralanabilir.

- Doğruluk, hassaslık, verimlilik, tekrarlanabilirlik ve diğer temel, genel ölçütler.
- Basit, ucuz, kolay kurulabilir basit aletlerden oluşan ve önemli derecede ilave ekipmana ihtiyaç duyulmayacak olmalı. Ekipman şantiyede hasar görebilme ihtimaline karşı çok fazla hassas ve korunması zor olmamalı.
- Deney aletleri tekrarlı kullanımdan ve dış etkilerden fazla etkilenmemeli ve çok sık kalibrasyon ihtiyacı duyulmamalı. Şantiyede uygulanacak deneyler, karmaşık denklemler veya değerlendirmelere ihtiyaç duyulmadan, doğrudan sonuç üretebilmeli.

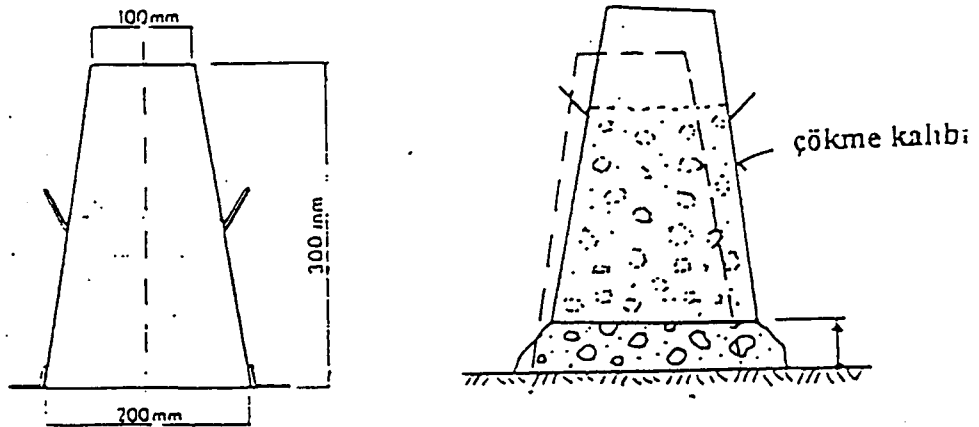
Bütün bu şartların tam olarak sağlanabilmesi oldukça zordur. Temel reolojik özellikler hakkında doğrudan sonuç veren mevcut laboratuvar deneylerinin hiçbiri

şantiye için gerekli olan tüm ihtiyaçları karşılamaz. Bundan dolayı deneylerin birçoğu laboratuvarlarda yapılmaktadır.

1.5.1. Çökme Deneyi

Küçük kayma şekil değiştirmelerinin etkisinde olan çökme deneyi büyük ölçüde yalnız kayma eşiği ile ilgilidir.[12,13] Nitekim standart işlenebilirlik testleri ile reolojik testler arasında korelasyon kurmaya çalışan araştırmalarda standart testlerin yetersizliği ortaya çıkmıştır. Bu nedenle büyük çökme veren bir betonda kohezyonun yeterli olmaması ihtimali mevcuttur. Tüm bunlara rağmen betonun reolojik sabitlerine dayanarak şantiyedeki kalite kontrolü sağlamak ekonomik ve pratik yönden mümkün olmamaktadır.

Çökme deneyi, kalıp içine doldurulan taze betonun yüksekliği ile kaldırıldıktan sonraki yüksekliği arasındaki farkın ölçülmesinden ibarettir. Sıradan beton karışımları için işlenebilirlik değerlendirilmesinde çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Çünkü üretilen taze betonun homojenliğinin ve işlenebilirliğinin çok hızlı ve pratik olarak ölçülebilmesini sağlamaktadır. Aşağıdaki şekilde boyutları verilen kalıp içine her defasında 20 kere şişlenmek şartı ile toplam üç seferde doldurulan betonun kalıbın kaldırılmasıyla yayılması gözlenir. Kayma, yıkılma, yığılma, devrilme olmaması istenir. Sonuç olarak ucuz, kolay, hızlı ve basit olmasına karşın yeterli değildir. Günümüzde hala çökme deneyi taze beton kalite kontrolündeki önemini kaybetmiş değildir. Çünkü bu deneyle üretimde kullanılan su miktarının değişip değişmediği çabuk ve güvenilir biçimde denetlenebilmektedir.



Şekil 1.5.Çökme konisi ve çökme deneyi

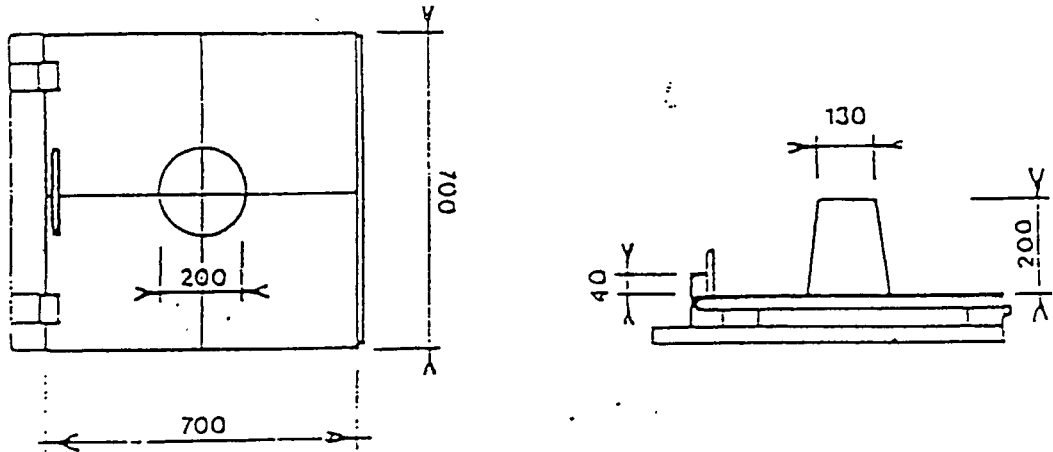
1.5.2 VeBe Deneyi

Koyu kıvama sahip taze betonlar için daha belirleyici olabilen VeBe deneyinde daha geniş bir kap içindeki çökme konisi kaldırıldıktan sonra titreşim uygulanarak kabın tam olarak beton ile doldurulma süresi esas alınır. Bunun için daha çok ön gerilmeli prefabrik elemanların beton kıvamının belirlenmesinde kullanılır. Deney sonuçları uygulamada sabit miktarda betonun kalıp içine yerleştirilebilmesi için gerekli enerji miktarının belirlenmesini sağlar.

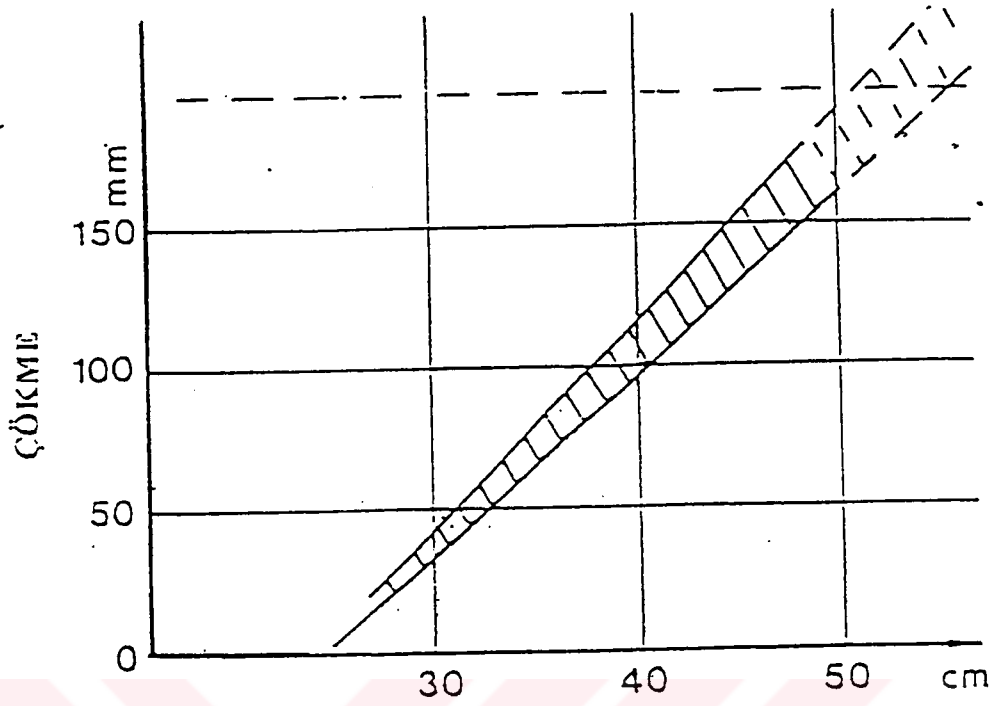
Bu deney ile sadece kum kıvamında betonların işlenebilirliği üzerinde çalışılabilmek hem avantaj hem dezavantajdır. Çünkü çok kuru kıvamlı betonları birbirinden ayırabilecek başka bir deney olmamasının yanısıra daha yumuşak kıvamlı betonlar için hiçbir sınıflandırıcı etkisi olmaması da söz konusudur.

1.5.3. Yayılma Deneyi

Almanya'da, 1930'lu yıllarda ortaya atılan yayılma deneyi ile aynı amaç için kullanılan birçok deney geliştirilmiştir. Sıradan beton karışımlarının yanısıra akıcı ve çok akıcı karışımların işlenebilirliklerinin değerlendirilmesi için de kullanılmaktadır. Boyutları Şekil 1.6.'da gösterildiği gibi kesik bir koni ve bir kare plaktan oluşmaktadır. Bir kenarı boyunca mesnetlenmiş olan plak, diğer kenarından belirli bir yüksekliğe kaldırılmakta ve kendi ağırlığı ile serbest düşürülmektedir. Bu işlem 15 defa tekrarlandıktan sonra oluşan yayılma halkasının çapı ölçülmektedir.



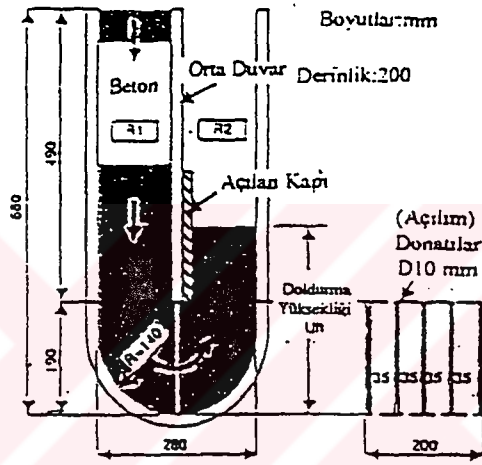
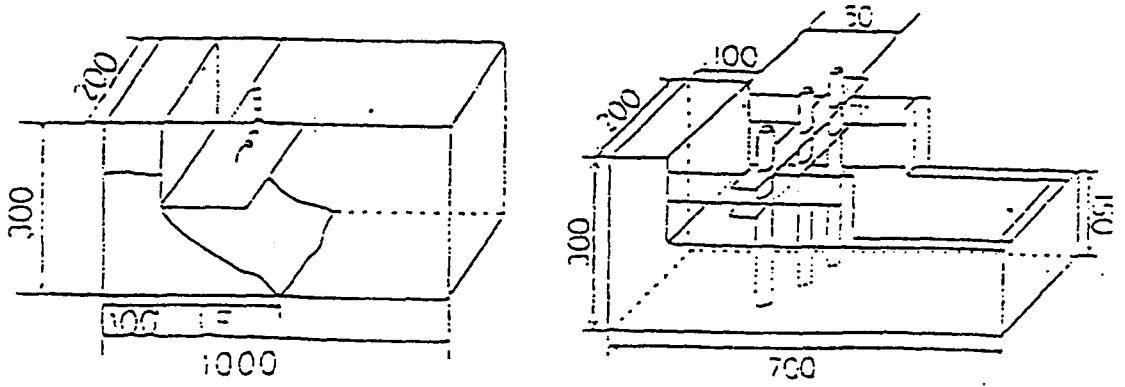
Şekil 1.6. Yayılma deney aleti (DIN 1048)



Şekil 1.7. Yayılma ve çökme deneyleri arasındaki ilişki

Güvenilirliği ve geçerliliği hakkında tam bir fikir birliğine varılamasa da yayılma ve çökme deney sonuçları arasında korelasyon yapılabilmektedir. Aynı korelasyon çeşitli yayılma deneyleri arasında da söz konusu olabilmektedir.

Uygulama belirli kurallara uyulduğu sürece son derece pratik olan yayılma deneyi ile karmaşık olmayan sonuçlar elde edilmesine karşın bu sonuçlar matematiksel bir modele uyarlanamamaktadır. Ayrıca şantiye şartlarındaki donatı faktörü yani düzgün yayılmanın donatılar tarafından engellenebilme ihtimali ya da ayrışma oluşabilme olasılığı dikkate alınmadığından henüz standartlaşmamış fakat gerçeği yansıtmaya daha yakın deney aletleri geliştirilmektedir. L-tipi yayılma ve U-tipi akma deney aletleri bunlardan bazılarıdır ve özellikle kendiliğinde yerleşen betonlarda kullanılmaktadır.[14,15,16]



Şekil 1.8. L-tipi akma ve U-tipi akma deney aletleri

1.5.4. K - Çökme Deneyi

Delikli bir tüp olarak tanımlanabilen K-Çökme deney aleti içine belirli bir süre içinde akabilen harç veya çimento hamurunun ölçülmesi prensibine dayalı olan deney sadece orta veya yüksek işlenebilirlikli karışımlara uygulanabilmektedir. Yaklaşık 170 mm uzunluğundaki aletin bir ucu sivri, aletin ortasına kadar devam eden delikli kısmının bitiminde yüzdürücü levha bulunur. Öteki ucunda ise tüp içinde hareket eden ölçekli bir çubuk vardır.

Henüz herhangi bir yerde standartlaşmamış olan deney daha çok Kuzey Amerika'da kullanılmaktadır. Kuru karışımlar için uygun olmamasının yanında diğer birçok deney gibi güvenilirliğinin deneyin yapılışına bağlı oluşu ve sonuçların matematik bir modele uyarlanamayışı olumsuzluk olarak sayılsa da hızlı, kolay, pratik ve basit olmasından dolayı tüm dünyada şantiye için yeterli bir işlenebilirlik deney aleti olarak kabul görmektedir.

1.5.5. Viskozite Deneyi

Reolojik sabitler olan; plastik viskozite ve kayma kerilmesi eşiğinin çimento hamuru ve harçlarda ölçülmesinde klasik reolojideneylerindeki benzer olan koaksiyal (eksendeş-eşeksenli) viskozizetreler kullanılır. İki noktalı deneyler olarak da adlandırılan bu deney 1970'ler ve 1980'ler arasında taze karışım değerlendirmelerini gerçekleştirebilmek için seferber olan Tattersal tarafından geliştirilmiştir. [17]. Bu sayede deney sonuçlarından ampirik özellikler yerine kesin reolojik özellikler elde edebilmeye başlanmıştır. Söz konusu yeni deneyin amacı, eşik kayma gerilmesi τ_0 ve plastik viskozite η_{pl} olarak adlandırılan iki reolojik özelliğin taze harç numunesini karıştırırken önceden belirlenmiş kayma oranına (γ) karşılık gelen kayma gerilmesinin ölçülmesiyle hesaplanmasıdır. Ancak şantiye mühendisleri için iki noktalı deney sonuçlarının, genel olarak kabul gören ve iyi işlenebilirliğin ölçüldüğü hesap edilen mevcut deneylerin sonuçları ile ilişkilendirmek oldukça güçtür.

Deney aleti, merkezleri aynı eksen üzerinde bulunan iki adet silindirden oluşmaktadır. İçerisine harç numunesi konulan dış silindir sabit kalmakta ve daha küçük çaptaki iç silindir önceden belirlenen hızlarda dönerek numunenin gösterdiği direnci moment cinsinden ölçmektedir. Elde edilen verilerle plastik viskoziteye ulaşılmaktadır.

Tek bir dönme hızına karşı gelen kayma kayma gerilmelerini verebilen dalıcı viskozizetreler sadece viskozite katsayısının bulunmasına imkan verirler ve bu katsayının plastik viskozite olması da tartışmalıdır. Kayma gerilmesi eşiğini de ölçebilmek için muhtelif dönme hızlarına karşılık gelen kayma gerilmelerinin ölçülmesi ve $(dy/dt \leftrightarrow \tau)$ grafiğinin çizilmesi şarttır. Bu tür araçlara iki nokta işlenebilme test aygıtları "two-point workability apparatus" adı verilmektedir. Çünkü $(dy/dt \leftrightarrow \tau)$ doğrusunu çizebilmek için en az iki noktaya ihtiyaç vardır.[4]

Bu deney aygıtını geliştiren Tattersal, (dy/dt) yerine 'N' dönme hızı ve τ yerine 'T' tork burulma momenti, değerini koyarak problemi daha pratik hale getirmiştir. SI birim sisteminde (dy/dt) , 1/sn ve τ , N/m² (=Pascal) birimindedirler. Buna karşılık dönme hızı, devir/sn, tork ise N.m birimindedir. Bingham cisminin Tattersal tarafından önerilen denklemi:

$$T = g + h.N$$

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
BOKÜ MANTASYON MERKEZİ
(1.1)**

şeklini alır, bu ifade de g kayma eşiğinin, h ise plastik viskozitenin ölçütüdürler. İki nokta işlenebilme aygıtları başka araştırmacılar tarafından da tasarlanmış veya geliştirilmiştir.[18-21]

Viskozimetrelerden sağlanan büyüklüklerin kesin değerler olduğunu kabul etmek zordur. Viskozimetrenin türü, kullanılan denel aparatları, ve seçilen ölçme programı, kullanılan deney malzemelerinin cinsleri ve birleşimleri, sıcaklık ve operatörün becerileri sonuçlar üzerinde çok etkilidir. Mesela iç silindiri dönen bir viskozimetrede dış çeperle çimento hamuru arasındaki kayma, iri tanelerin ayrışması veya kütleli rotasyon (tıkanma) oluşması ile bozulur. Dolayısıyla yanlış değerlendirmeye sebep olur. Bu nedenle tüm teknolojik deneylerde olduğu gibi burada da sadece aynı deney aygıtı ile yapılan deneylerin karşılaştırılması ile doğru değerlendirmelere imkan sağlanabilir.

Bu çalışma da çimento hamuru ve harçlar üzerinde, koaksiyal viskozimetreden yararlanılıp kayma gerilmesi eşiği ve plastik viskozite katsayıları belirlenmiş ve doğal olarak ($dy / dt \leftrightarrow \tau$) diyagramları elde edilmiştir.

Betonun kolay iletilmesi ve yerine yerleştirilmesi için kıvamının akıcı olması istenir. Akıcı bir betonun kayma eşiği ve plastik viskozitesi düşük değerler olacaktır. Diğer yandan işlenebilir bir betondan yalnızca akıcılık istenmez, bunun yanısıra aynı zamanda beton kararlı da olmalıdır. Kararlılık kohezyon ile eş anlamlıdır. Kohezyonlu bir beton ayrışmadan homojenliğini yitirmeden yerleşir. Akışkanlık ve kohezyon çelişen iki özelliktir. Problem bu ikisinin optimumunu bulmaktır.[22]. Bununla birlikte akışkanlık kayma eşiğinden etkilenmekte ise de daha ziyade plastik viskozitenin etkisi altındadır. Bu iki reolojik sabitin incelenmesi ve uygun değerlerin bulunması taze betonun işlenebilme problemini daha köklü bir şekilde çözümlenebilir.

Betonun reolojisinin viskozimetre deneyleri ile incelenmesi, üretim öncesi bileşimin ve katkı türünün saptanması açısından yararlı bir laboratuvar metodudur.

2.TAZE BETON REOLOJİSİ

2.1. Çimento Hamuru, Harç ve Betonda Reolojik Özellikler

Taze beton viskoz sıvı olarak incelenen bir yapı malzemesidir. Reoloji de maddenin deformasyonu ve akış davranışı ile ilgilenen bir bilim dalı olarak kabul edilir. Pratikte reolojinin incelediği malzemeler, ideal malzemelere göre çok daha karmaşık davranışlar gösterir ve malzeme özellikleri arasında rijit sınırlar bulunmaz..

Betonun hem taze hem de sertleşmiş haldeki davranışları için reolojik metodlar uygulanabilir. Sertleşmiş betonun elastik olmayan davranışının pratikte önemli olduğu durumlar da vardır. Bu durumlar sertleşmiş betona olabilecek en yüksek değere yakın gerilmeler uygulandığında oluşan plastik deformasyonlar veya uzun süreli yüklemeler sonucundaki sünme deformasyonları dikkate alındığında ortaya çıkar. Her durumdaki ideal katıların deformasyon kuralları birçok durumda sertleşmiş beton davranışını yeterli derecede tanımlar veya tahmin eder.

Taze beton söz konusu olduğunda reolojik metodların uygulanmasında çok daha geniş bir faaliyet alanı mevcuttur. Bütün betonlar çimento ile suyun temas ettiği ilk andan ideal katı kurallarının uygulanması için yeterli olacak katılaşmaya ulaşıncaya kadar geçen süreyi geçirmek zorundadır. “Taze Beton” terimi bu süreyi işaret eder. Taze beton, en önemli bileşenlerinden biri olan taze çimento hamuru ile birlikte pratik reolojinin faaliyet alanında incelenirler.

Taze beton genellikle uygulamada, sıvı ortam (çimento hamuru) içinde agreganın dağılımı olarak kabul edilir. Çimento hamurunun kendisi katı parçacıkların (çimento) sıvı ortamda (su) asılmalarından ibaret olmasından dolayı taze betonu çok fazlı bir malzeme olarak kabul etmek daha uygun olacaktır.

Malzeme üzerinde reolojik ölçümler yapılırken uygulanan yöntem önemlidir. En çok kullanılan sabit kayma gerilmesine maruz bırakılmasıdır. Pratikte ise bu duruma pek rastlanmaz. Taze karışım pompalanırken, kalıplara yerleştirilirken veya transmikserlerle taşınırken çok farklı, dinamik ve değişken kayma gerilmeleri altında kalır. Son zamanlardaki çalışmalarda bu durum gözönüne alınmakta ve deney koşulları gerçek beton üretim şartlarına uygun hale getirilmektedir.

Taze beton gibi çok fazlı bir malzemenin şayet reolojik özellikleri önceden değerlendirilmişse, uygulanan kayma gerilmesi şiddeti önemlidir. Çünkü malzeme

çok düşük gerilmelerde farklı, çok yüksek gerilmelerde farklı davranabilmektedir. Bundan dolayı önceden belirlenebilecek malzeme özelliklerine uygun aralıklarda ölçümler yapılmalıdır. [23].

Temel reolojik verilerin ve özelliklerin anlaşılabilmesi için, taze beton karışımlarının davranışları hakkındaki mevcut bilgilerin taranması öncelikle gereklidir.

Reolojik parametreler, belirli bir gerilme veya başka bir deyişle belirli miktardaki deformasyonun sebep olduğu gerilme uygulandığında oluşan akış yahut deformasyon miktarının tahmin edilmesini mümkün kılar. Teorik ve pratik reoloji taze beton kadar karmaşık bir malzemeye uygulandığında sınırlamaların farkında olmak da önemlidir.

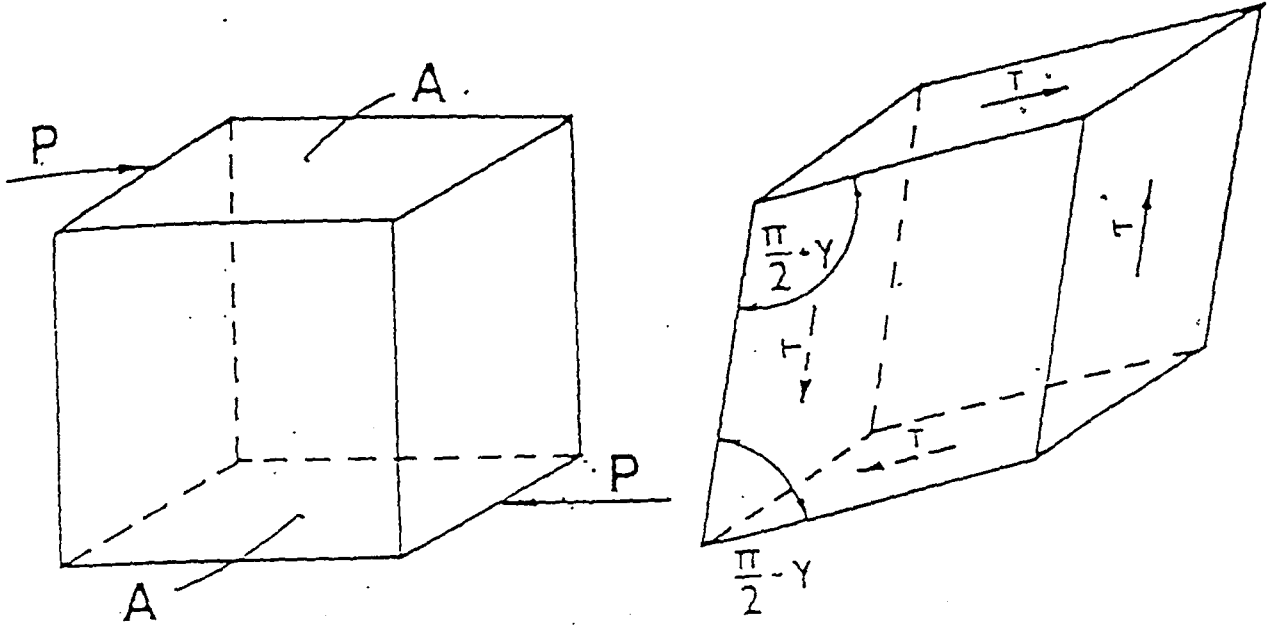
2.1.1. Newton Akış Modeli

Reolojide en basit viskoz sıvı modeli Newton sıvısıdır. Taze betonun viskoz bir sıvı olarak incelenebileceği kabul edilebilir bir varsayımdır. Bu malzeme türünde kayma gerilmesi ve viskozite katsayılarını bulmak için ideal katıların davranış tarzından yararlanılabilir. İdeal katıya yük uygulanması durumunda deformasyon oluşacaktır. Böyle katı bir madde Hooke yasasına uyar: “Yük ile meydana gelen gerilme, bu gerilmenin miktarı ile doğru orantılı ve malzemelerin rijitliği (elastisite modülü) ile ters orantılı olarak deformasyon oluşturur. Bu durumda yük uygulandığı anda zamanla değişmeyecek ani bir deformasyon oluşur. Yük kaldırıldığı anda ise yapı ilk şekline dönecek ve deformasyon (şekil değiştirme) ortadan kalkacaktır.

Aynı ilişki ideal katı üzerine τ kayma gerilmesi etkidiği zaman da geçerlidir. Kayma deformasyonu γ , kayma gerilmesi ile doğru orantılıdır. Bu oranın katsayısı ise kayma modülü G 'dir. İlişki ise aşağıdaki denklem ile tanımlanabilir.

$$\tau = G \cdot \gamma \quad (2.1)$$

Eğer kayma gerilmesi ideal Newton sıvısına uygulanırsa sıvının şekil değiştirmesine sebep olur ve ideal katıya benzemeyerek, Şekil 2.4'te görüldüğü gibi gerilme üzerinde kaldığı sürece sıvı şekil değiştirmeye devam eder.

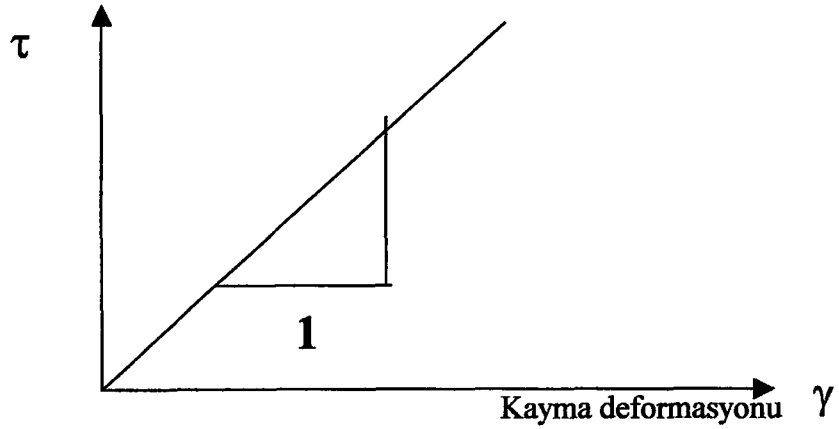


Şekil 2.1. A alanı üzerine etkiyen P kayma kuvveti ve kayma şekil değiştirmesi

Birim zamandaki deformasyon oranı veya daha genel olarak deformasyon oranının zamana bağlı diferansiyeli aşağıdaki denklemde görüldüğü üzere kayma gerilmesi τ ile orantılıdır.

$$\tau = \eta \cdot \frac{d\gamma}{dt} = \eta \cdot \dot{\gamma} \quad (2.2)$$

Burada, (1) bağıntısındaki kayma modülü G, viskozite katsayısı η ile yer değiştirmiş durumdadır. Sıvılarda kayma genellikle biri diğerine göre bağlı olarak hareket eden iki paralel yüzey ile temsil edilir.



Şekil 2.2. İdeal katılarda G kayma modülü

Sürekli devam eden kayma deformasyon oranı hız (V) olarak tanımlanabilir. Şayet sıvı laminar (düzgün) harekette kalırsa, aralarında y birim mesafesi bulunan hareketli yüzeylerin hız değişim oranının orantılı olduğu kayma gerilmesi Newton akışında oluşacaktır. Kayma gerilmesi daha genel terimlerle tanımlanırsa:

$$\tau = \eta \cdot \frac{dV}{dt} = \eta \cdot D \quad (2.3)$$

[D: hız değişkeni:(dV/dy)]

Hız gradyanı, zaman içindeki kayma deformasyonunun değişme oranına

($\frac{dV}{dt} = \gamma$) eşitlenebilirse denklem şu şekilde yazılabilir:

$$\tau = \eta \cdot \gamma \quad (2.4)$$

Düzgün akan Newton sıvısının temel reolojik özelliği viskozitedir.

TC YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
EĞİTİM TEKNOLOJİLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
EOKÜMANTASYON MERKEZİ

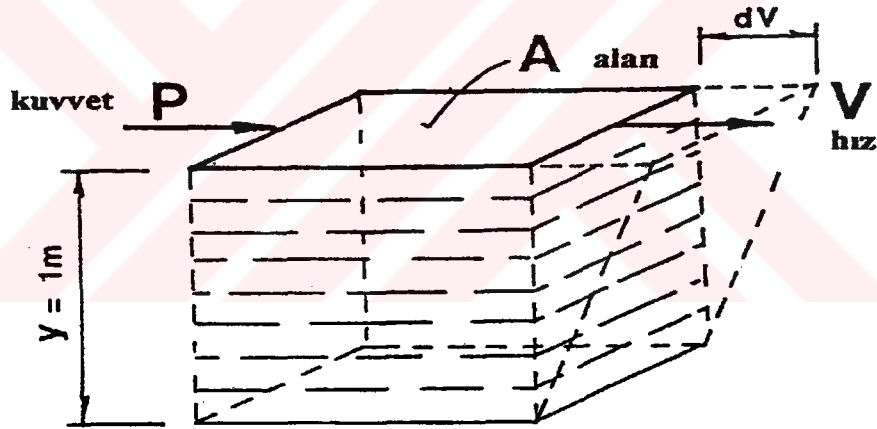
$$\eta = \frac{\tau}{\lambda} = \text{Kayma gerilmesi / Kayma oranı} \quad (2.5)$$

$$= \text{Pa/sn}^{-1} = \text{Pa} \cdot \text{sn}$$

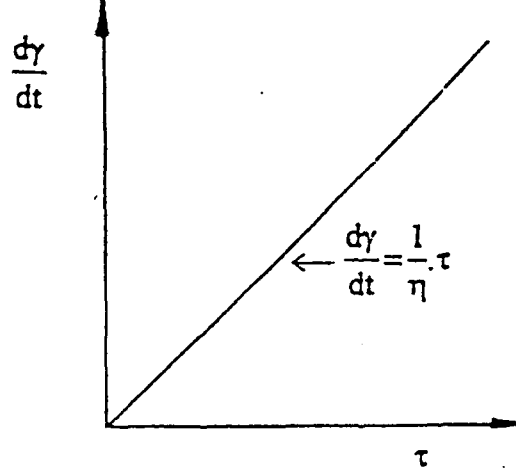
Newton sıvısında viskozite η , uygulanan kayma gerilmesi τ ve kayma oranından γ bağımsızdır. Bundan dolayı tek ölçüm ve bir çift veri ile Kayma gerilmesi/Kayma oranı diyagramı çizilebilir.

Newton sıvılarının viskozitesi çok büyük miktarda sıcaklığa, biraz daha az denebilecek kadar da basınca bağlıdır. Bundan dolayı söz konusu kavramlara dikkat edilmeli ve doğru sonuçlar elde edebilmek için uygun hale getirilmelidir.

Viskozitenin hesaplanmasında kılcal tüpler, dönen eşksenel silindirler, düşen küreler vb. deney aletlerine dayanan birçok yöntem mevcuttur. Ayrıca viskozite ölçümü başlığı altında oldukça fazla yayın yapılmıştır.



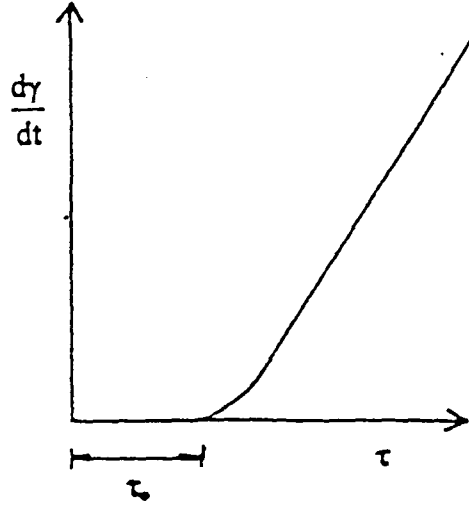
Şekil 2.3. Newton sıvısının viskoz akışı



Şekil 2.4 Newton sıvısı

2.1.2 Newtonien Olmayan ve İri Askıda Olanlar

Betonun ve harcın davranışı şimdiye kadar anlatılan Newton sıvısından farklıdır. Ayrıca Newton sıvılarının basit davranışını göstermeyen çok fazla miktarda sıvı vardır. Beton da dahil olmak üzere bunların özellikleri yani viskoziteleri, uygulanan kayma ve kayma deformasyon oranı şiddetinden bağımsız değildir. Bu sıvılar kayma uygulandığı süre boyunca bu sürenin uzunluğuna bağlı olarak akışlarını değiştirebilirler. Kayma oranındaki değişiklikler de etkilidir. Bazı viskoz sıvılarda ve betonda ise akışa geçebilmek için şekil 2.5'te de görüldüğü gibi akma gerilmesi τ_0 (eşik kayma gerilmesi) denilen belirli bir seviyedeki kayma gerilmesine ihtiyaç duyulur. Ayrıca $\frac{d\gamma}{dt}$ ve τ arasındaki bağıntı başlangıçta doğrusal değildir, artan şekil değiştirme hızı ile azalan bir kayma direnci gösteren (tikotropik) bir eğri formundadır. Bu davranışa uyan cisimlere reoloji biliminin kurucusu olan Bingham'ın adı verilmiştir. Şekil 2.5'te Bingham sıvısının diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Bingham sıvısı

Newtonien olmayan sıvılar için değişik bilim adamları Bingham modelinden ayrı çimento hamuru ve harçlar için incelemeler sonucunda farklı matematiksel ifadeler elde etmişlerdir. Aşağıda bunlardan bir bölümü verilmiştir.

Bingham : $\tau = \tau_0 + \eta \cdot \frac{d\gamma}{dt}$ (2.6)

Sisko : $\tau = a \cdot \frac{d\gamma}{dt} + b \cdot \left(\frac{d\gamma}{dt}\right)^c$, $c < 1$ (2.7)
a,b,c: katsayılar

Von Berg : $\tau = \tau_0 + b \cdot \sinh^{-1}\left(\frac{d\gamma}{dt} \cdot \frac{1}{c}\right)$ (2.8)
b,c: katsayılar

Eyring : $\tau = a \cdot \sinh^{-1}\left(b \frac{d\gamma}{dt}\right)$ (2.9)
a,b: katsayılar

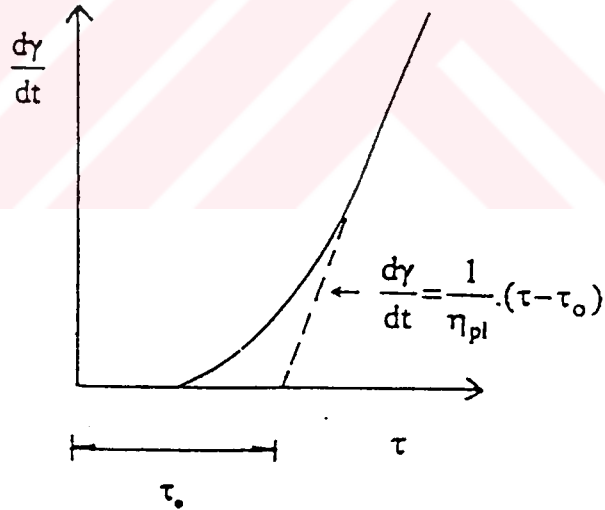
Herscell-Bulkley : $\tau = \tau_0 + K \cdot \left(\frac{d\gamma}{dt}\right)^n$ (2.10)
K:kıvam değeri, n:kuvvet

$$\text{Robertson-Stiff} \quad : \quad \tau = A\left(\frac{d\gamma}{dt} + B\right)^C \quad (2.11)$$

B:kıvam değeri, A,C:kuvvet

Yukarıdaki ifadelerden Robertson-Stiff ifadesinde $C=1$ değeri verilirse denklem Bingham ifadesine dönüşmekte ve $(\tau=A.B)$, diğer yandan $B=0$ için kuvvet kuralına uymakta, $B=0$ ve $C=1$ içinse Newtonien sıvılar için geçerli ifadeyi vermektedir. Dikkatli incelendiğinde bu ifadeler arasında kullanılan parametreler açısından büyük farklılıklar bulunmamaktadır. Bingham modeli dışında bu teorik formüllerin beton teknolojisinde kullanılmasının kolay olmadığı ve pratik bir yarar sağlayamayacağı açıktır. Bingham cismi Şekil 2.6'da görüldüğü gibi basitleştirilerek ve eğrinin doğrusal bölümü uzatılarak bağıntı, tamamen doğrusal hale getirilmiştir. Böylece viskozite de tek bir değere indirgenmektedir ve plastik viskozite adını almaktadır, Bingham cisminin bünye denklemi de aşağıdaki gibi olmaktadır.[24,25]

$$\tau = \tau_0 + \eta_{pl} \cdot \frac{d\gamma}{dt} = \tau_0 + \eta_{pl} \gamma \quad (2.12)$$

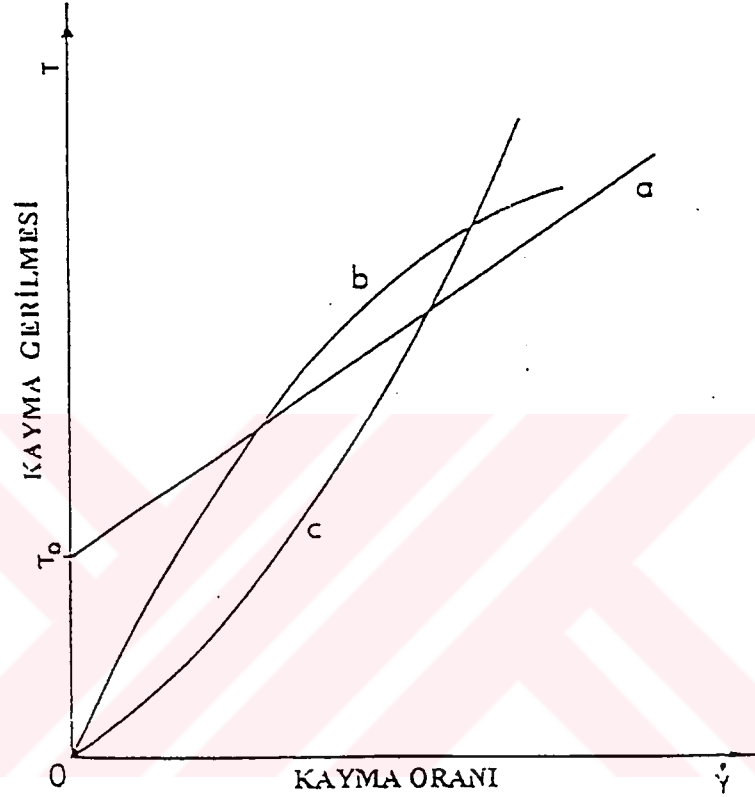


Şekil 2.6 Taze harç ve betonlar için kabul edilen Bingham cismi

Şekil 2.7.'deki düz çizgi, τ kayma gerilmesi ile γ kayma hızı arasındaki basit orantı ilişkisini göstermektedir. Burada sözü edilen ilişki doğrusal olmayan hale gelebilir ve/veya sıvı akma gerilmesi sergileyebilir. Şekil 2.7.'de Newton sıvısı olmayan değişik tiplerdeki sıvıların davranışı eğrilerin şekilleri ile gösterilmektedir.

Şekil 2.7.'deki b eğrisi tipik yalancı-plastik davranışı temsil etmektedir. Bu davranışa göre kayma oranı arttıkça plastik viskozite azalır fakat sözkonusu değişim doğrusal değildir. Bu olaya kayma incelmesi denir.

c eğrisi ise bir çeşit kayma kalınlaşmasını temsil eder. Buna aynı zamanda genişleme de denir. Bazı malzemelerin, artan kayma kuvveti etkisi altında kaldıklarında hacimlerinde artış olur ve bu olaya hacimsel genişleme denir.



Şekil 2.7. Newton olmayan değişik sıvılar için kayma gerilmesi ve kayma oranı arasındaki ilişki

Yalancı-plastik sıvılar için kayma gerilmesi ve kayma oranı arasındaki ilişki genellikle üstel bir fonksiyonla tanımlanır.

$$\tau = A \cdot \dot{\gamma}^n \quad (2.13)$$

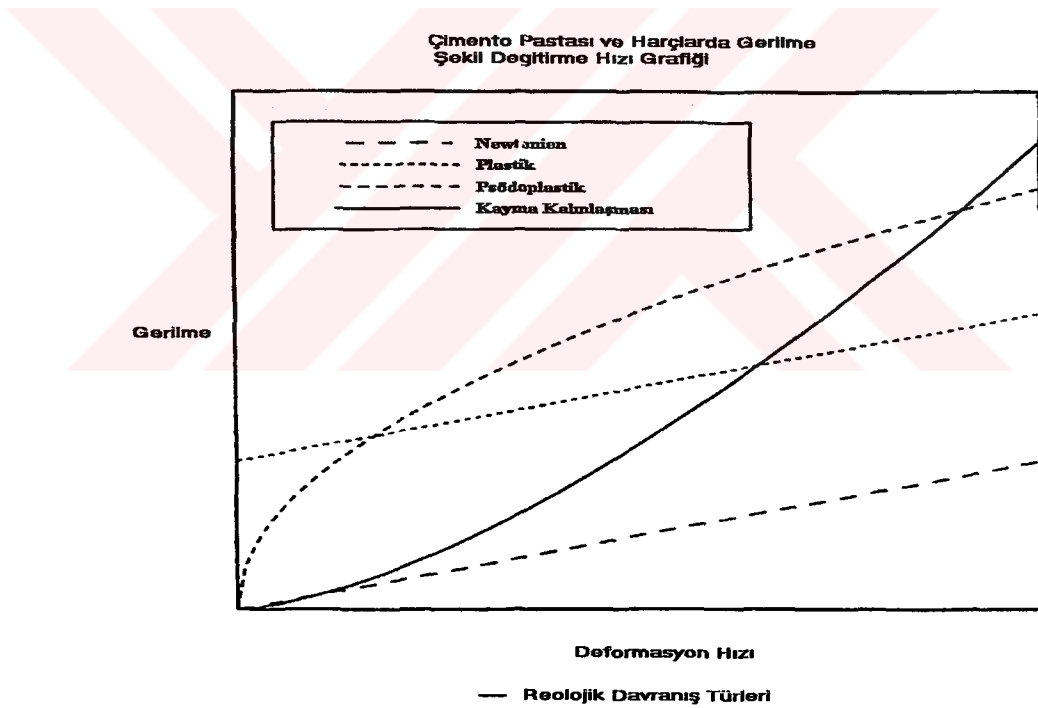
A: Sıvının kıvamına bağlı bir katsayı

n : Akış göstergesi n<1 için kayma-incelmesi

n>1 için kayma-kalınlaşması

Newton sıvısı olmayan malzemelerin birçoğu zamana bağılı davranış gösterir. Bu davranışa dayanarak Newton sıvısı olmayanların iki temel çeşidi tanımlanabilmektedir; bunlara tiksotropik ve anti-tiksotropik (repektik) adı verilmektedir.

Tiksotropik sıvılarda, sabit kayma oranı altında, zaman içinde, görünen viskozitede azalma meydana gelmektedir veya aynı etki ölçülen kayma gerilmesinde azalma oluşturarak da kendisini gösterebilmektedir. Zamanla kayma gerilmesindeki azalma oranı düşer. Kayma oranı sıfıra geldiğinde ise tiksotropik malzemelerin çoğunluğunda görülen geri kazanma başlar ve bir süre sonra aynı deney sonuçları yeniden elde edilebilecek hale gelir. Anti-tiksotropik sıvılar bunun tersi şekilde davranırlar. Şekil 2.8'de tiksotropik davranışı gösteren tipik akış eğrileri görülmektedir.



Şekil 2.8. Tiksotropik sıvının akış eğrileri

Kayma oranının hızlanması ve yavaşlaması genellikle farklı kayma gerilmelerine karşılık gelirler ve ölçüm noktalarının işaretlenmesi sonucunda histeresis çevrimi şeklinde olduğu yani sürekli bir direnç kaybının meydana geldiği görülür. Eğer başlangıç ve bitiş noktaları çakışıyorsa malzeme gerçekten tiksotropiktir; Şekil 2.8.'deki a eğrisi böyle bir davranış gösterir. Ama fark varsa ve kayma oranı sıfıra geldiği anda malzeme tam olarak geri dönmüyorsa, Şekil 2.8.'deki

b eğrisinde davranışı gösterilen bu malzemelere yalancı-tiksotropik malzemeler denir.

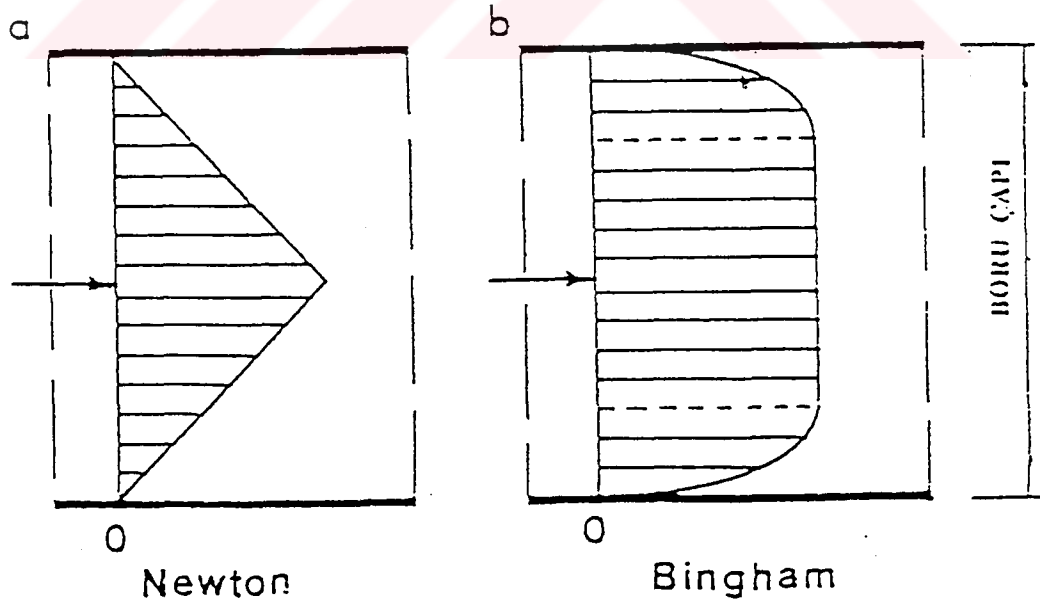
Beton teknolojisinde oldukça ilgilenilen ve Newton olmayan sıvıların bir grubunu oluşturan malzemeler vardır ki şekil değiştirmeye başlamadan önce belirli bir seviyede kayma gerilmesi, akma gerilmesi τ_0 , uygulanması gereklidir. Bu malzemelere Bingham sıvıları veya plastikleri denir.

Şekil 2.8'de görülen a eğrisi için Bingham sıvısı davranışını temsil eder diyebiliriz. Bir Bingham sıvısının temel ilişkisi şu şekildedir :

$$\tau = \tau_0 + \eta_{pl} \cdot \gamma \quad \eta_{pl}: \text{Plastik viskozite} \quad (2.6=2.12)$$

İdeal Newton ve Bingham sıvılarının boru içindeki akışı Şekil 2.9.'da gösterilmiştir. Kayma gerilmesi boru çeperinde en yüksek değerinde olmakla beraber çeperden uzaklaştıkça azalmaktadır. Tabii bu azalma Bingham sıvılarında maksimum akma gerilmesine kadar olabilir.

Akma değerinin altındaki kayma gerilmesi şekil değiştirmeyi sağlayamaz, borunun orta kısmındaki sıvı bir katı gibi hareket eder.



Şekil 2.9. Boru içinden akan ideal Newton ve Bingham sıvılarındaki gerilme dağılımı. Düzgün akım olduğu kabul edilmiştir.

Gerçek sıvıların çoğunluğu normal şartlar altında Newton sıvısı gibi davranır. Aynısı asıtlara uygulandığında davranış şekli, katı malzeme konsantrasyonuna veya maddenin inceliği ve düzgün dağılmasına göre değişir. Böyle durumlarda katı maddenin en önemli etkisi asıltının kıvamını arttırmasıdır. Bu etki Einstein'ın temel denklemi ile yaklaşık olarak hesaplanabilir;

$$\eta_s = \eta_o (1+2,5.C_v) \quad \eta = \text{Asıltının viskozitesi} \quad (2.13)$$

$\eta_o = \text{Ortamın viskozitesi}$

$C_v = \text{Parçacıkların hacimsel oranı}$
(konsantrasyonu)

Einstein'ın ilişkisi, oldukça seyreltik yoğunluklarda asılı olan rijit küresel parçacıkların viskozitesini tahmin eder. Asılı parçacıklar arasında etkileşim meydana geldiğinde ilişki kullanılamaz. Bu etkileşim birkaç değişik şekilde meydana gelebilir. Parçacıklar arasında çekim veya itki oluşabilir ya da parçacıkların şeklinden dolayı akış sırasında birbirine kenetlenme ile karşılaşılabilir. Asılı parçacıkların şekli ve yönü, örneğin lifler, değişebilir ve lifler gibi anizometrik parçacıklar genellikle asal gerilmeler doğrultusunda dizilirler. Bu davranış kararsız bir ortamda yapılan reolojik ölçümleri büyük oranda etkiler ve akışın başlangıcı ile bitişinde kendini gösterir. Asılı maddenin konsantrasyonunun artmasıyla bunun sıvı ortamda etkisinin ölçülmesi daha çok gerekli hale gelmektedir.

Einstein'ın ilişkisine uymayan asıtlar, sıvı ortamları Newton olsa bile Newton olmayan sıvılar gibi davranırlar. Davranış akış tipine bağlıdır. Newton davranışı ancak, parçacıklar düzensiz şekillerde olsalar da tek yönlü, kararlı akım sayesinde sıralanabilmiş ve etkileşimleri azalmış halde iken yüksek yoğunluklarda devam edebilir. Yani basit bir Newton sıvısı üzerinde önemli miktarda katı asılı mevcut ise faz akma gerilmesi değişik şekillerdeki Newton olmayan sıvıların reolojik davranışlarını gösterebilir.

Newton ve Newton olmayan asıtların reolojik davranışı hakkında teorik özelliklerine ulaşmak oldukça zordur. Örneğin bir akma gerilmesi ile karşılaşıldığında bunun katı parçacıklarının mekanik kenetlenmesinden mi yoksa sadece parçacık arasındaki etkileşimden mi meydana geldiğini kestirmek gibi.

2.2. Süperakışkanlaştırıcı Katkılar

Akışkanlaştırıcı katkılar betonun diğer ana bileşenlerine oranla çok az miktarda konulan kimyasallardır. Karışımda kullanılacak miktarı, çimento dozajına göre belirlenir. Akışkanlaştırıcı katkılar taze beton ve harçların işlenebilirliğini etkiler. Etkinlik derecelerine göre normal akışkanlaştırıcı (veya su azaltıcı), orta derecede su azaltıcı (mid-range) ve süperakışkanlaştırıcı (üstün akışkanlaştırıcı) olmak üzere 3 temel grupta toplanabilir. Süperakışkanlaştırıcılı akıcı ve doğru hesaplanmış, şekil verilmiş beton ile kolayca karmaşık kalıplar doldurulabilir, zor yüzeyler bitirilebilir.

Betonun üç temel özelliği olan dayanım, dayanıklılık ve işlenebilirlik yüksek performanslı betonlarda özellikle geliştirilmelidir. Bundan dolayı yüksek performanslı beton elde etmek için ilk koşul üretim aşamasında su/çimento oranını mümkün olan en düşük seviyeye düşürmektir. İkincil koşul ise betonun boşluk oluşmadan ve ayrışmaksızın kolayca yerleştirilebilmesidir. Bu iki koşul yıllardan beri klasik beton teknolojisi için geçerli olsalar da ancak süperakışkanlaştırıcıların bulunmasıyla uygulanabilmiştir.

Süperakışkanlaştırıcıların akıcılık kazandırma etkisi sıradan akışkanlaştırıcılarınkine benzer. Sadece polimer moleküllerinin çimento taneleri üzerine yapışması ve parçacıkların elektrostatik yüklerini değiştirmesi diğerlerinden farklıdır.

Mekanizma henüz tam olarak tanımlanamamıştır. Büyük bir ihtimalle karışımın kıvamını önemli ölçüde etkileyen elektrostatik yüklerden başka mekanizmalar da mevcuttur. Yapılmakta olan araştırmalardan çıkan değerlendirmeler deney sonuçlarını sağlamamaktadır.

Priz sürelerini fazla uzatmaması ve taze betonun sertleşmesini geciktirmemesi bakımından süperakışkanlaştırıcıların kimyasal bileşiminin sıradan akışkanlaştırıcılarınkinden farklı olduğu anlaşılmaktadır.

Süperakışkanlaştırıcılar kimyasal yapılarına göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılırlar. [26]:

- Sülfonatlı sentetik polimerler
- Karboksilatlı sentetik polimerler
- Fonksiyonel olarak karıştırılmış sentetik polimerler

Birinci grup sülfonatlı naftalin formaldehit (SNF) veya sülfonatlı melamin formaldehit (SMF) bileşiklerinden oluşur. İkinci grup ise bazı bilim adamları tarafından polikarbonat grubu olarak adlandırılırlar [27]. Bunlar polikarboksilat polimerler ve poliakrilatlardan meydana gelir. Üçüncü grup süperakışkanlaştırıcılar kimyasal yapılarında farklı anodik ve kutupsal fonksiyon gruplarına sahiptir. Aminösülfatlar ve modifiye edilmiş linyosülfatlar bu gruba örnek olabilir.

Birinci gruptakiler süperakışkanlaştırıcıların temelini oluşturur ve piyasada çoğunlukla bulunanlar bunlardır. Polikarboksilatlı süperakışkanlaştırıcılar üzerindeki yeni araştırmalar ekonomik ve teknik olarak daha avantajlı yeni bir neslin keşfedilmesini sağlamıştır [28].

Yeni kuşak süperakışkanlaştırıcılar, günümüzde geniş kullanım alanına sahip olan naftalin ve melamin esaslı süperakışkanlaştırıcılara göre betonda çok daha yüksek oranda su kesmekte ve yaklaşık 90 dakika süreyle işlenebilirliğini korumaktadır.

Bu katkılar, bileşenleri özel olarak seçilmiş bir betona çok akıcı bir kıvam ve kendiliğinden yerleşme özelliği kazandırır. Çimentonun beton içindeki dağılımı, bu katkılarla çalışıldığında klasik süperakışkanlaştırıcılarda olduğu gibi yalnızca elektriksel etki ile değil aynı zamanda uzun dallar içeren polimer zincirleri sayesinde çimento tanecikleri çevresinde birbirini iten fiziksel bir etki ile (sterik etki) ince tanecikleri dağılıp kararlı hale gelir. Bu şekilde betona hem yüksek oranda su kesme özelliği kazandırılır ve hem de uzun süre kendiliğinden en küçük detaylara dahi ayrılmadan ve titreşim gerektirmeden yerleşebilen betonlar elde etmek mümkün olabilir.

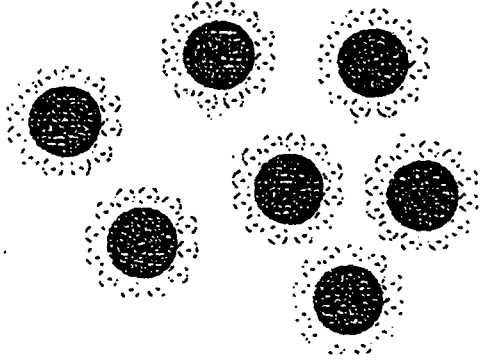
Yüksek performanslı betonların gelişimi için ilave özellikler veren başkaca kimyasal katkı ve bağlayıcı malzemeler bulunmaktadır. Süperakışkanlaştırıcılar ile birlikte kullanılan kimyasal katkılar; geciktiriciler, hava sürükleyiciler, viskozite arttırıcı bileşenler, pompalanabilirlik için yardımcı kimyasallar, su altı betonu üretiminde kullanılan katkılar ve korozyon önleyicilerdir. Ayrıca silis dumanı, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi mineral katkılar da kullanılmaktadır. Süperakışkanlaştırıcılar ile tüm bu mineral ve kimyasal katkıların uyumu, etkileşimleri (taze beton özellikleri üzerinde) halen incelenmektedir [29-31].

2.2.1 Süperakışkanlaştırıcıların Etki Mekanizması

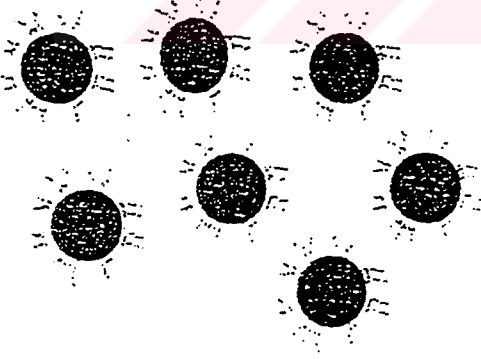
Süperakışkanlaştırıcıların akışkanlaştırıcı etkileri katı bağlayıcı malzemeleri dağıtma özelliğine bağlıdır. Dağılma, süperakışkanlaştırıcı moleküllerinin bağlayıcı toz parçacıkları tarafından adsorbe edilmesiyle oluşur. Çimento tanelerinin dağılılabirliği sabit olmalıdır. Dağılım ve sürekliliğin açıklanması farklı teorilere bağlı olarak yapılmaktadır. Birinci teori liyofob jelleri için olan DLVO teorisidir (Derjaguin, Landau, Verwey, Overbeck). Bu teoride adsorbe edilen süperakışkanlaştırıcı molekülleri katı çimento tanelerini negatif yükü yükleyerek taneler arasında elektrostatik bir itki oluşturur. SNF ve SMF gibi sülfonatlı sentetik polimerler kullanılması durumunda oluşan dağılımın sebebi bu elektrostatik itkidir. İkinci teori ise Sterik Etki Teorisi'dir. Esas kısmı uzun ve yandan ekli zincirleri olan adsorbe edilmiş molekül halindeki süperakışkanlaştırıcıların stereokimyasal yapıları itici bir potansiyel enerji yaratırlar. Bu dağılım özellikle poliakrilatlar gibi karboksilatlı sentetik polimerler ile etkilidir [32]. Diğer teoriler dağılımı, boşaltıcı etki ve tribolojik etki ile açıklar [33].

Süperakışkanlaştırıcı olarak kullanılan polimerlerin moleküler ağırlıkları dağılım yeteneğini etkiler. Yüksek moleküler ağırlıklara sahip olan polimerler çimento tanecikleri tarafından daha iyi adsorbe edilir ve daha yüksek dağılma özelliğine sahiptirler. Fakat moleküler ağırlıkları çok yüksek olursa yararlı bir nitelik olan yüksek dağılma yeteneği yok olur.

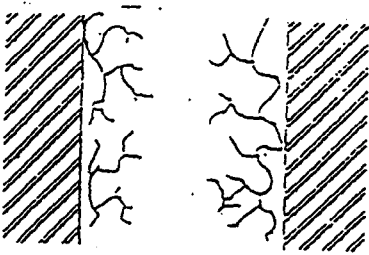
Süperakışkanlaştırıcıların betona ilave edilmesiyle reolojik özellikler üzerindeki etkisi kayma gerilmesinin düşmesi olarak ortaya çıkar. Bu ilave viskoziteyi düşürerek veya bazen yükselterek değiştirir. Karışıma sadece su ilave edilmesi durumunda reolojik sabitlerin tamamı düşer. Bu gözlem taze beton kararlılığı için önemlidir. Diğer bir yandan plastik viskozitenin düşmesi, sürtünmenin azalmasından dolayı, betonun boru ile transferini kolaylaştırır. Fakat plastik viskozitenin çok fazla düşmesi halinde ayrışma ve boruların tıkanması tehlikesi oluşur.



Elektrostatik etki



Sterik etki



Şekil 2.10. Süperakışkanlaştırıcı katkıların etki mekanizması [26,28]

2.2.2. İşlenebilirlik Kaybı

İlk kuşak diyebileceğimiz süperakışkanlaştırıcılarda görülen ani ve çabuk kıvam kaybının, katkıların öncekilere göre daha kısa sürede etkisini kaybetmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Ani ve erken işlenebilirlik kaybının azaltılması amacıyla bazen az miktarda saf linyosülfonat eklendiği bilinmektedir. Süperakışkanlaştırıcının etki süresi, zaman içinde karışımın genellikle çökme değeri cinsinden ölçülmesi ile belirlenmektedir.

Çimento tanecikleri üzerine yapışan süperakışkanlaştırıcıların etki süresi genellikle 15 ile 45 dakika arasında değişmektedir. Bu süre aynı zamanda çevre şartları ile bağlantılıdır. Hava sıcaklığındaki artış etki süresinin azalmasına yol açar.

Çimento parçacıkları yüzeyine yapışabilecek süperakışkanlaştırıcı miktarı sınırlıdır. Bu sebeple gerektiğinden daha fazla miktarda kullanılan süperakışkanlaştırıcı aynı oranda işlenebilirlik artışını sağlamadığı gibi birtakım istenmeyen yan etkilere de sebep olabilir. Yüksek işlenebilirlik ve uzun süreli etkinin elde edilebilmesi için katkının daha geç karışıma eklenmesi ve/veya sonradan dozajının artırılması gereklidir. Kimyasal katkıların sonradan karışıma eklenmesi veya dozajının artırılması yerine şantiye sahasına ulaşan taze karışımın işlenebilirliğinin yükseltilmesi için su eklenmesi maalesef oldukça yaygındır. Ülkemiz şartlarında bunun önüne tam anlamıyla geçilememiştir.

Betonda süperakışkanlaştırıcı kullanılması ya su miktarında büyük oranda azalma ya da işlenebilirlik özelliğinde aynı şekilde yükselme anlamına gelir. İstenilen işlenebilirliğe göre %20-%25 oranında su kesme özelliği söz konusudur. İşlenebilirliğin artması yani akıcı beton elde edilmesi durumunda hareketlilik ve yerleşebilirlik özellikleri de gelişir. Kararlılık ise – son zamanlardaki kıvam arttırıcı kimyasalları gözönüne almazsak – ya aynı kalır veya çok hafif azalır. Bu çalışmanın başında bahsedildiği üzere birçok Avrupa ülkesinde DIN1048 akma deneyi bu tip betonların akıcılığını belirlemek amacıyla ortak olarak kullanılmaktadır.

Süperakışkanlaştırıcılı akıcı betonun kararlılığı önemlidir. Dozaşımı durumunda çimento hamurunun agrega taneciklerinin dağılımını düzgün tutmaya yarayan viskozite ve kayma eşik gerilmesi değerleri çok fazla düşebilir. Bu da yerleştirme ve işleme işlemleri sırasında sorun çıkmasına sebep olur. Su / çimento oranının şantiyede eklenen su ile artması durumunda aynı etkiler görülebilir. İnce malzeme (çimento inceliğinde) miktarının azlığı veya yokluğu da kararlılığın düşük

olma sebeplerindedir. Süperakışkanlaştırıcı kullanıldığında da pompalanabilir beton için önerilen granülometrelerin kullanılması uygun olacaktır.

Kararlılığın bozulmasına sebep olan tüm etkenler terlemeye de sebep olur. Bu durumda beton yüzeyine çimento ve sudan oluşan bir şerbet çıkar ve aşağıda kalan kısım çabuk sertleşir.

Bazı hidratların erken oluşumu ve çimento taneciklerinin topaklanması sıvı fazı kalınlaştırır ve viskoziteyi artırır. C_3A , C_4AF , $CaSO_4 \cdot \frac{1}{2}H_2O$ gibi Portland çimentosundaki bazı mineral fazlar, hidratasyon başlangıcında su moleküllerini hemen adsorbe eder, sonra dağılma yeteneğini artıran süperakışkanlaştırıcı moleküllerinin bir kısmı, taneciklerin yüzeyleri üzerinde oluşmuş hidrate olmuş kabuk tarafından tutulur. Kararlı ve uzun süreli dağılım için süperakışkanlaştırıcı moleküllerinin C_3S ve C_2S tanecikleri tarafından adsorbe edilmesi gerekliliği genel olarak kabul edilmiştir. Bundan dolayı eğer çimentoda su moleküllerini çabucak adsorbe eden parçacıklar çok fazla varsa C_3S ve C_2S tanecikleri adsorbe edecek yeterli miktarda süperakışkanlaştırıcı molekül bulamaz ve akışkanlaştırıcı etkisi azalır. Bu tip çimentolar uygun değildir, yani süperakışkanlaştırıcılarla kullanılması verimli olmaz. Diğer taraftan çimento inceliği de başka bir negatif faktördür [34]. Karışıma daha iyi işlenebilirlik verilmesi ve kıvamın korunması amacıyla eklenen süperakışkanlaştırıcıların çimento ile uyumu, topakların ayrışması deneyi, çimentonun inceliği, C_3A ve C_4AF miktarı, $C_3A / CaSO_4$ oranının sınılanması ile değerlendirilir. [35].

Erken priz olayını açıklamak amacıyla yapılan son zamanlardaki araştırmalar süperakışkanlaştırıcı olarak sülfonatlı melamin formaldehit ve sülfonatlı naftalin formaldehit kullanılması halinde erken priz oluştuğunu ortaya çıkarmıştır. Çökme kaybı, hidratasyon başlangıcında bir miktar oluşan organo-mineral bileşenlerin boşluklu akıcı çözeltisinin kimyası ile ilişkilidir. Daha sonra alüminyum fazının sertleşmesiyle uyumu sağlamak için gerekli olan etrenjiti oluşturmada, boşluklu çözeltideki çözülmüş kalsiyum sülfat miktarı yetersiz kalır. Çözülmüş kalsiyum sülfat miktarının aşırı fazla olması durumunda da benzer davranışlar gözlemlenebilir. SMF ve SNF kullanılması halinde oluşan yüksek iyon konsantrasyonuna bağlı yüksek iyonik dayanım çökme kaybını hızlandırır. Çimentodaki alkali sülfat miktarı taze betonun viskozitesinde önemli rol oynamaktadır. Viskozitenin en iyi sonucu vermesi için klinkerdeki $CaSO_4$ veya $NaSO_4$ 'ün optimum miktarının mevcudiyeti

bilinmektedir. Bu miktarın üzerine çıkılması halinde C_3S ve C_2S yüzeylerindeki çift elektriksel katman sıkışır ve viskozite artar.

2.2.3. Bağlayıcı Maddelerin (Mineral Katkılar) Etki Mekanizması

Uçucukül (UK), silis dumanı (Mikrosilika=MS), veyüksek fırın cürufu (YFC) gibi ince taneli puzolanik mineral katkı maddelei beton teknolojisinde giderek artan oranda kullanılmakta ve çok sayıda araştırmaya konu olmaktadır.

Bu yapı malzemeleri sadece ekonomik yararlarının yanında betonun dayanım ve dayanıklılık özelliklerini de iyileştirmektedir. Günümüz standartlarında bunlar için artık mineral katkı terimi terkedilip “bağlayıcı maddeler” adı kullanılmaktadır. Bu mineral katkıların beton üretiminde değerlendirildiklerinde, işlenebilirlik ve kıvam sorunlarının aşılması için kimyasal katkılarla beraber kullanılmaları kaçınılmaz olmuştur.

Son yıllarda vibrasyonsuz ve herhangi bir sıkıştırma işlemi istemeyen kendiğinden yerleşebilen akıcı beton üretme çabaları gündeme getirilmekte, fakat bunlarla beraber çökme kaybı ve ayrışma problemleri yani işlenebilirlik ve kıvam problemleri çözüm beklemektedir.

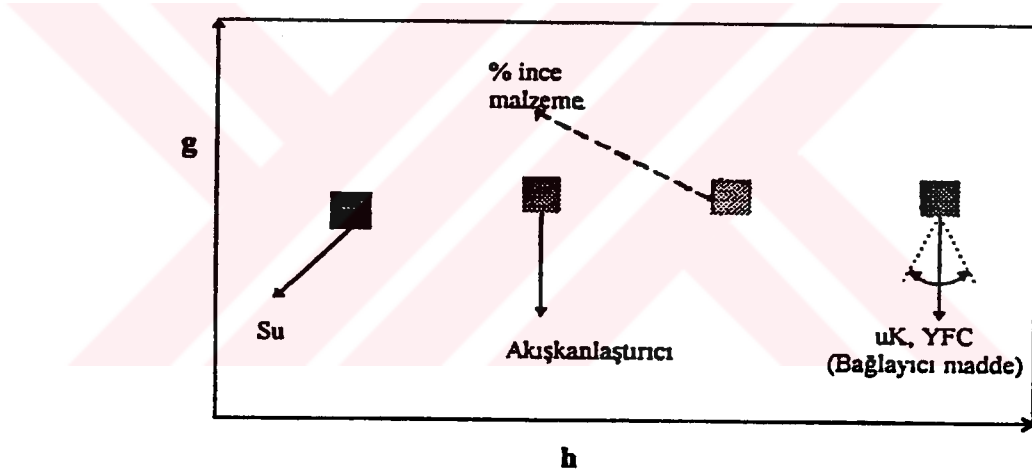
Süperakışkanlaştırıcı (süperplastifiyan, SA) kimyasal katkı kullanılarak üretilen betonların ayrışma problemini çözmek için ilk akla gelen tedbir; karışımdaki ince taneli malzeme miktarını arttırarak kohezyonu geliştirmekir. İnce taneli malzeme mikrosilika olabileceği gibi sertleşmiş halde betona ek nitelikler kazandıracak ince taneli puzolanik maddeler de olabilir. Doğal olarak bu çözüm daha doğru ve yararlıdır. Bu şekilde mineral katkıların süperakışkanlaştırıcılarla birlikte kullanılmaları neticesinde çok yüksek performanslı betonlar üretilebilmektedir. Sertleşmiş beton aşamasındaki yararlarına rağmen taze beton aşamasında mineral katkıların SA ile uyumları açısından problemler çıkabilmektedir.

Puzolanik maddeler C_3A ve C_4AF gibi su moleküllerini hızlı absorbe ederlerse, SA'nın etkinliği azalır. Özellikle Çökme kaybını hızlandırabilirler Yalnız bu varsayım tartışmalıdır, zira puzolanik etki uzun süre sonunda ortaya çıkar ve mineral katkıların taze haldeki etkisi YFC dışında inceliklerin ve geometrik şekillerin fonksiyonudur. Betonun reolojik sabitlerinin betonun bileşenleri ile uyumu için betonun mineral ve kimyasal katkılarla etkileşiminin açıklığa kavuşturulması gerekir. Tattersal'ın taze betonlar için ileri sürdüğü denklemden [1, 1]

TC YÜKSEK ÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON BİRİMİ

ve plastik viskozite, h reolojik sabitleri üzerinde betonun bileşenleri ve kullanılan kimyasal katkıların etkileri şekil [2.11]'de verilmiştir. Buradan şu değerlendirilmeler yapılabilir.

- Suyun artırılması ve diğer bileşenlerin sabit tutulması hem eşik kayma gerilmesini g hemde viskozite h değerlerini azaltır.
- Akışkanlaştırıcı veya süperakışkanlaştırıcı ilavesinde g azalır. SA'ların akma değeri üzerindeki etkisi oldukça çarpıcıdır. Plastik viskozite ve ve karışımın kohezyonu değişmezken akış özellikleri artar.
- İnce/Kaba agrega oranının artışı g 'nin artışına, h 'nin düşmesine etki edecektir. Bazı karışımlarda zıt etki görülebilir.
- Çimento ile UK veya YFC'nin yer değiştirmesi genelde g 'yi azaltabilir fakat h 'yi artırır veya azaltır., Bu karışımın oranlarına bağlı değişecektir.



Şekil 2.11 Beton bileşenlerinin EKG ve viskozite üzerindeki etkileri

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Deneyleerde Kullanılan Malzemeler

3.1.1. Çimento ve Diğer Bağlayıcılar

Deneyleerin tamamında Nuh çimento fabrikasında üretilmiş PÇ 42,5 dökme çimentosu kullanılmıştır. TS 24 esaslarına göre çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri aşağıdaki gibidir.

Tablo 3.1 Deneyleerde kullanılan çimentonun (PÇ 42,5) kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri

Kimyasal Birleşim (% , ağırlık)									
Toplam	Çözünen						Serbest		Ateşte
SiO ₂	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	MgO	CaO	K ₂ O	Kayıp
23,0	19,8	63,3	4,5	4,0	2,3	0,9	0,7	0,5	2,0
Karma oksit Bileşenleri (Bogue) (% , ağırlık)								Kireç	
C ₃ S		C ₂ S		C ₃ A		C ₄ AF		Standardı	
50,3		23,4		5,0		12,1		96,5	
Fiziksel ve Mekanik Özellikler						Basınç Dayanımları			
Özgül	Blaine	Le		Priz		Priz		7 Gün	28 Gün
Ağırlık	İncelik	Chatelier		Başlangıcı		Sonu		MPa	MPa
kg/m ³	m ² /kg	mm		2sa 45 dk		4sa 10 dk		42	51

Tablo 3.2 Deneyleerde kullanılan Orhaneli uçucukülünün (UK) kimyasal ve fiziksel özellikleri

Oksit bileşenler	SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃
% Ağırlık Olarak Birleşim	34,8	26,3	1,7	3,9	19,4	2,7	1,9	6,3
Blaine incelik (m ² /kg)	303							
10µm-40µm arası malzeme (%)	42,6							
Dmedian (µm)	29							
Özgül Ağırlık (kg/m ³)	2400							
Etkinlik Faktörü, Ef (C=350 kg/m ³) için	0,43							

3.1.2. Süperakışkanlaştırıcı Katkı

Çalışmada akışkanlaştırıcı katkı olarak polikarboksilat esaslı yeni kuşak süperakışkanlaştırıcı (SA) Sika Viscocrete-1 (V1) kullanılmıştır. Bu katkı beton ve harçlarda kullanılan üçüncü nesil süperakışkanlaştırıcı olarak tanımlanan bir SA'dır

Viscocrete-1'in kullanım yerler olarak, broşüründe aşağıdaki bilgiler verilmiştir.

- Hazır karıştırılmış betonlarda, özellikle yaz mevsimi.
- Beton mikserleriyle çok uzak mesafeye taşınması gereken yerler
- Betonun fazla yayılmasının istendiği durumlar
- Ekstrem yani çok miktarda su indirgenmesinin (yaklaşık %30) istendiği yerler.
- Mükemmel özellikler istenen yer betonları
- Optimum kohezyon ve en iyi yerleşme davranışının görülmek istendiği durumlar verilebilir. Bunlara bağlı olarak V-1'in avantajlarını anlamak açısından şu özelliklerine bakılabilir:
- Çok güçlü kendiliğinden yerleşebilme yeteneği ki bu özelliğin istendiği betonlar için çok önemlidir.
- Çok yüksek su indirgeme ile yüksek yoğunluk ve dayanım elde edilir.

- Mükemmel akışkanlık sayesinde istenilen sık donatılı yerlere harcın girebilmesi ve sıkıştırma enerjisinden kazanç elde edilir.

- Rötne ve sünme davranışlarında gelişim sağlar.

- Betondaki karbonatlaşma oranını azaltır.

V-1 çelikte korozyona sebep olacak klorür ve diğer elementleri içermez.

Ayrıca donatısız betonlarda da kullanılabilir bir SA'dır.

Teknik özellikleri:

- Suda çözünen modifiye bir polikarboksilat'tır.
- Yeşil renklidir.
- Yoğunluğu $\approx 1,10$ kg/l'dir.
- PH derecesi $6,8 \pm 0,6$ dir.
- Direk güneş ışınlarına maruz kalmayan yerlerde kendi orijinal kabında $+5$ °C ile $+35$ °C arasında saklanmalıdır.
- Dozaj olarak yumuşak plastik betonlarda çimento ağırlık olarak ağırlığının % 0,4-1,2'si, Kendiliğinden yerleşen betonlarda ise % 1,2-2,0 oranlarında kullanılmalıdır.

3.1.3 Kum

Deneyleerde kullanılan kumun, elek analizi sonuçları ve ölçülmüş özgül ağırlıkları Tablo 3.3'te gösterilmiştir.

Tablo 3.3 Kullanılan kumun elek analizleri ve özgül ağırlıkları

ELEK	ELEK ANALİZLERİ (%) GEÇEN				SONUÇ	TS 706 SINIRLARI		
	KUM	K.KUM	K+1	K+2		A	B	C
31,5	100	100	100	100	100	100	100	100
25	100	100	100	100	100	100	100	100
20	100	100	100	97	99	86	92	96
14	100	100	100	48	86	66	81	89
10	100	100	82	16	73	53	72	84
5	100	99	8	1	50	33	54	71
2,36	97	62	1	0	42	19	41	59
1,18	88	33	0	0	35	11	31	47
0,6	70	16	0	0	27	6	20	33
0,3	26	7	0	0	10	3	10	19
0,15	1	2	0	0	1			
PAN	0	0	0	0	0			
ORAN	35	13	26	26	100			
İNC. MOD	2,2	3,8	6,1	7,4	4.8	6,2	5,0	4,0
Y.K.S.D. Öz.Ağ	2,65	2,68	2,69	2,71				
Su Emme (%)	1,54	0,52	0,11	0,33				
Kirlilik	0	0	0	0				

3.2. Yapılan Deneyler Hakkında Genel Bilgiler

Yapılan tüm deneyler iki gruba ayrılmıştır. Bunlardan birincisi taze çimento hamuru deneyleri, ikincisi taze harç deneyleridir. Her iki grupta da hem viskozimetre aleti ile reolojik sabitleri bulmak için ölçümler yapılmış, hem de kesik koni yayılmalar ölçülmüştür. Yayılmalar çimento hamuru deneylerinde mini slump konisi ile harç deneylerinde ise yayılma konisi ile ölçülmüştür. Bu şekilde eşik kayma gerilmesi (EKG), viskozite ve yayılmalar arasında ilişkiler kurulmaya çalışılmıştır.

3.2.1. Taze Çimento Hamuru Deneyleri

Çimento hamuru fazının reolojik özellikleri olan işlenebilirlik ve kıvamlarını incelemeyi amaçlayan araştırmanın bu bölümünde izlenen yol, kullanılan deney aletleri ve gerçekleştirilen deneylerin detayları açıklanmıştır. İlk çalışmalara başlarken öncelikle çimento dozajı, türü, UK türü, MS (mikrosilika=silis dumanı) türleri arasından her biri ayrı ayrı uygun görülenler seçilmiş, ayrıca bu malzemelerden yapılacak tüm deneyler için yeterli miktarlarda depolanıp her malzeme türünün sonraki deneylerde değişmemesi için saklanmışlardır.

Malzeme seçimini takiben süperakışkanlaştırıcıların, taze harç reolojisi özellikleri üzerindeki etkisi eş-eksenli bir viskozimetre kullanılarak ölçülmüştür. Burada kullanılan çimento hamuru RILEM standartlarında tavsiye edilen harç karıştırma makinasında ve tavsiye edilen yöntemlerle hazırlanmıştır. Daha sonra ileride bahsedilecek şekilde programlanmış viskozimetrede (Şekil 3.2-3.3) eşik kayma gerilmeleri ve viskozite değerleri ölçülmüştür, farklı akışkanlaştırıcı ve mineral katkı oranlarında gösterdikleri davranış değişiklikleri değerlendirilmiştir. Bunun sonucunda betonun yerleştirilebilmesi ve ayrışma direnci ile ilişki kurulmaya çalışılmıştır.

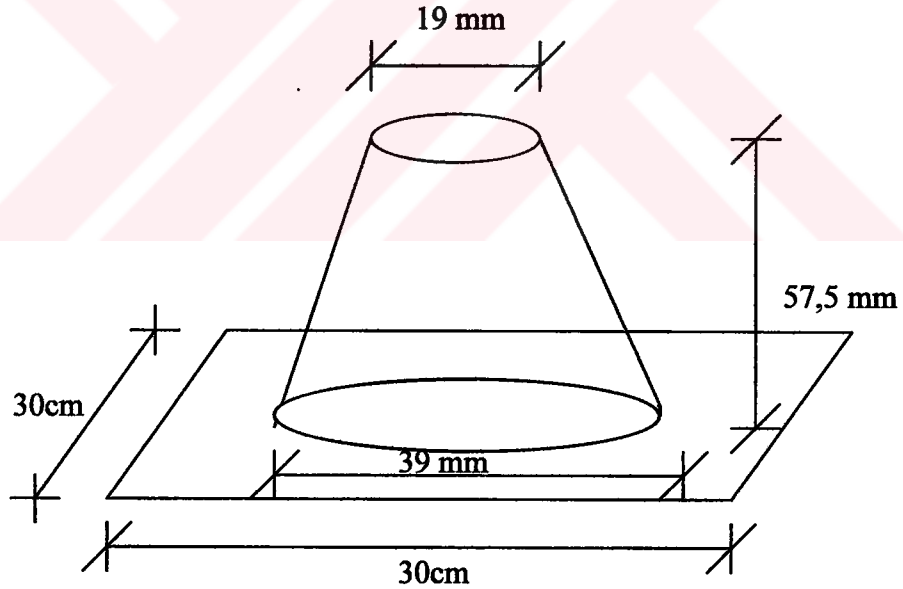
Çimento hamuru betonda agregayı bir arada tutan ana malzeme olduğundan dayanım ve dayanıklılığın yüksek olmasında birinci dereceden etkilidir. Bu bakımdan beton içinde sonradan bu iki özelliği düşürecek boşlukların oluşmaması için mümkün olduğu kadar S/B oranının düşük olması istenir. Hem kolay yerleşebilir, hem de sertleşmiş beton özellikleri yeterli olan bir beton üretilebilmesi için, günümüz beton teknolojisinde kendiliğinden yerleşebilen beton katkılarından

yararlanmak gerekir. Bu betonlarda vibrasyon kullanmadan yerleşmek esastır. Bunun yanısıra hazır betonun yaygınlaşmasıyla betonun kolay pompalanabilmesi için kıvamın akıcı plastik olması gerekmektedir. Bu nedenle hem akıcı hem de düşük S/B oranlı beton ancak SA kullanılarak elde edilebilmiştir.

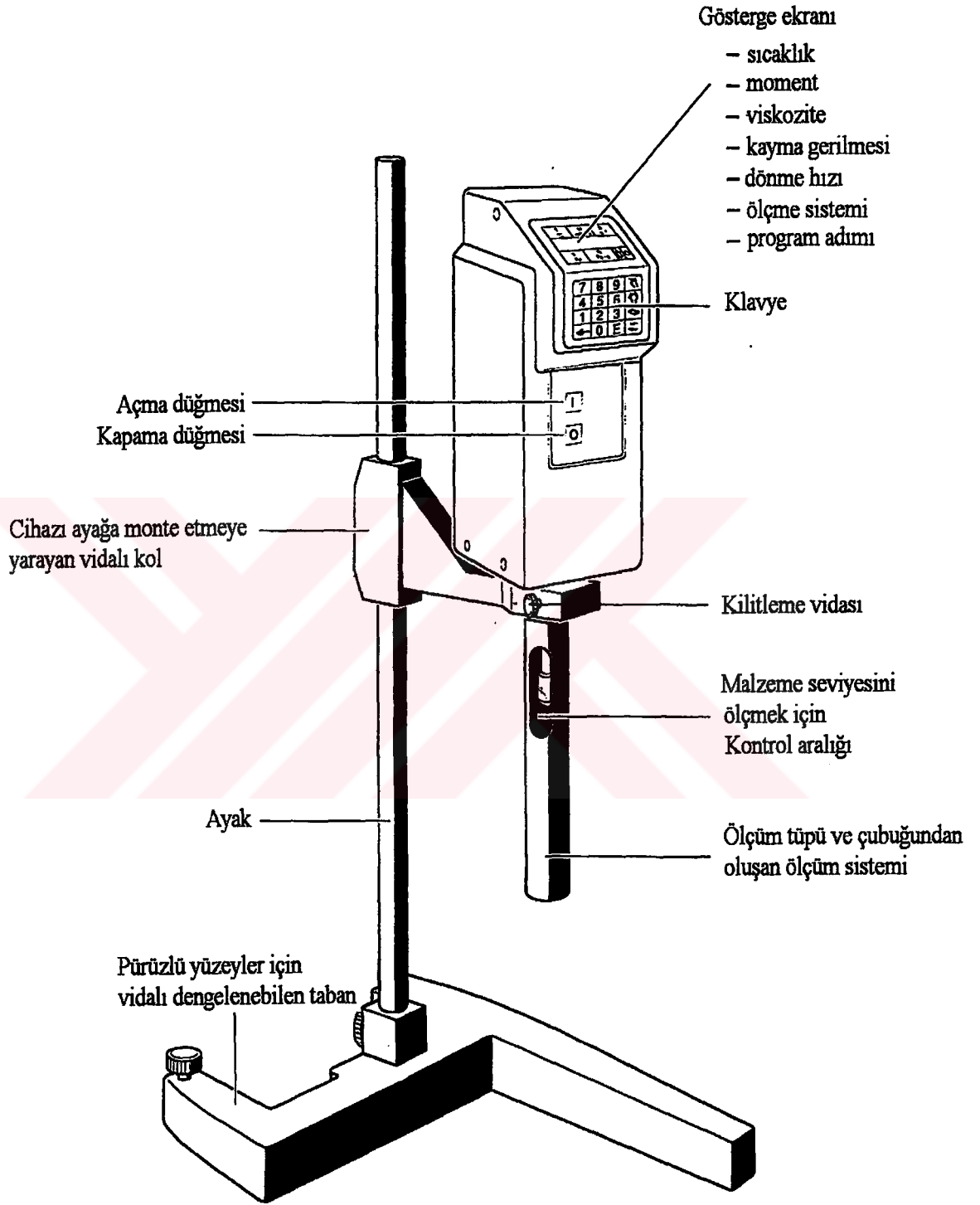
Kısaca uygun yüksek dayanımlı ve istenilen oranda akıcı kıvamlı beton üretimi için oluşturulmaya çalışılan çimento hamurunun aşağıdaki özelliklere sahip olması istenir:

- Ayrışma, çökelme olmayıp viskozimetrede yanlış değerler vermeyecek kadar akıcı bir kıvam.
- Çok koyu olup viskozimetrenin ölçmesini engellemeyecek kadar koyu bir kıvam.

Bu çalışmanın amacı üretilen çimento hamuru ve harçlar için yukarıdaki iki maddenin optimumunu bulmaktır.

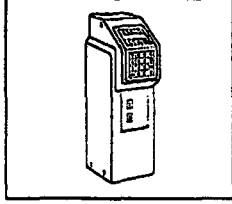


Şekil 3.1. Mini slump yayılma konisi

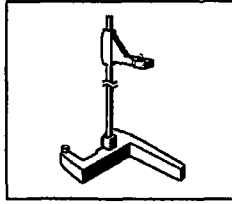


Şekil 3.2. Mettler RM180 Rheomat viskozimetre deney Aleti

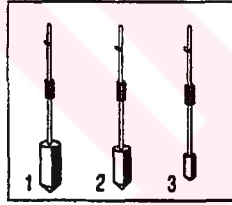
Viskozimetre Deney Aygıtı Parçaları



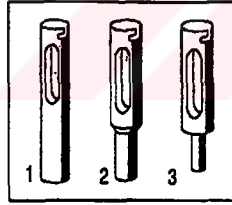
Ölçme Aleti



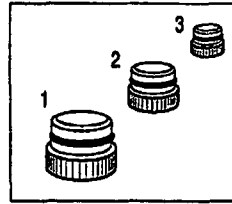
- Düzlemi ayarlayabilen vidalı Taban
- Ayak
- Tutma kolu



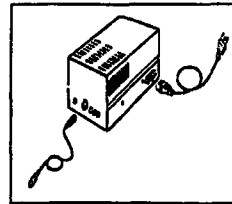
- Ölçme Bobu 1 (\varnothing 30 mm, l = 45 mm)
- Ölçme Bobu 2 (\varnothing 24 mm, l = 36 mm)
- Ölçme Bobu 3 (\varnothing 14 mm, l = 21 mm)



- Ölçme Tüpü 1 (\varnothing 32.54 mm)
- Ölçme Tüpü 2 (\varnothing 26.03 mm)
- Ölçme Tüpü 3 (\varnothing 15.18 mm)



- Kapak 1
- Kapak 2
- Kapak 3

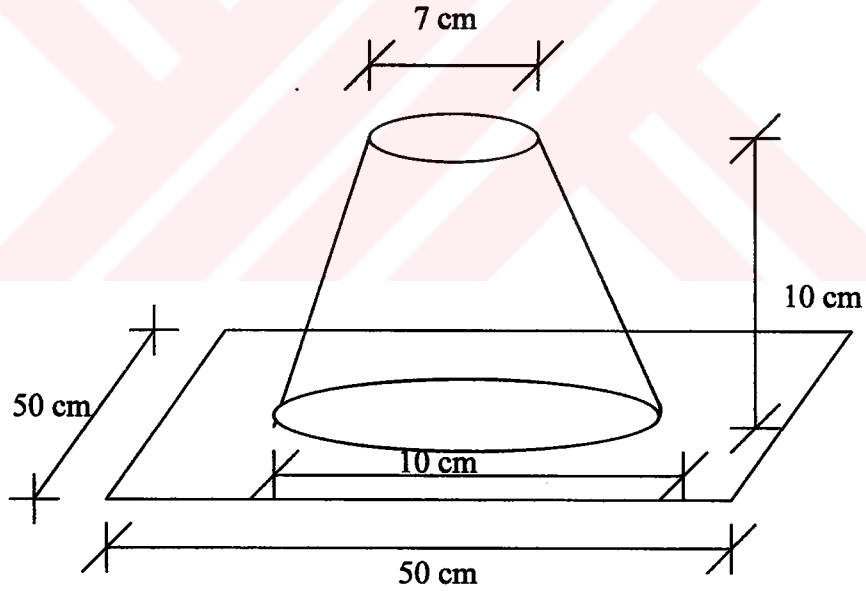


Güç desteği ve şarj ünitesi

Şekil 3.3. Mettler RM180 Rheomat viskozimetre deney aleti parçaları

3.2.2. Taze Harç Deneyleri

Yeni kuşak süper akışkanlaştırıcıların taze harç reolojik özellikleri üzerindeki etkisi, ÇH deneylerinin yapıldığı aynı eşksenli viskozimetre kullanılarak ölçülmüştür. Yalnız harçlarda ölçüm yapılırken deney aparatlarında değişiklik yapıp bir numaralı tüp ile iki numaralı karıştırma ucu veya kısaca bob denen kısım kullanılmıştır. Burada kullanılan harçlar RILEM standartlarında önerilen harç karıştırma makinesinde ve önerilen yöntemlerle hazırlanmıştır. Daha sonra ileride bahsedilecek şekilde programlanmış viskozimetrede kayma gerilmeleri ve viskozite değerleri ölçüldü, farklı katkı oranları farklı çimento dozajlarında gösterdikleri davranış değişiklikleri değerlendirildi. Betonun yerleştirilebilmesi ve ayrışma direnci ile ilişki kurulmaya çalışılmıştır. Taze harç deneylerinde yayılmaları ölçmek için kullanılan yayılma konisi boyutları şekil 3.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Taze Harç yayılma konisi

3.3. Deney Yöntemleri

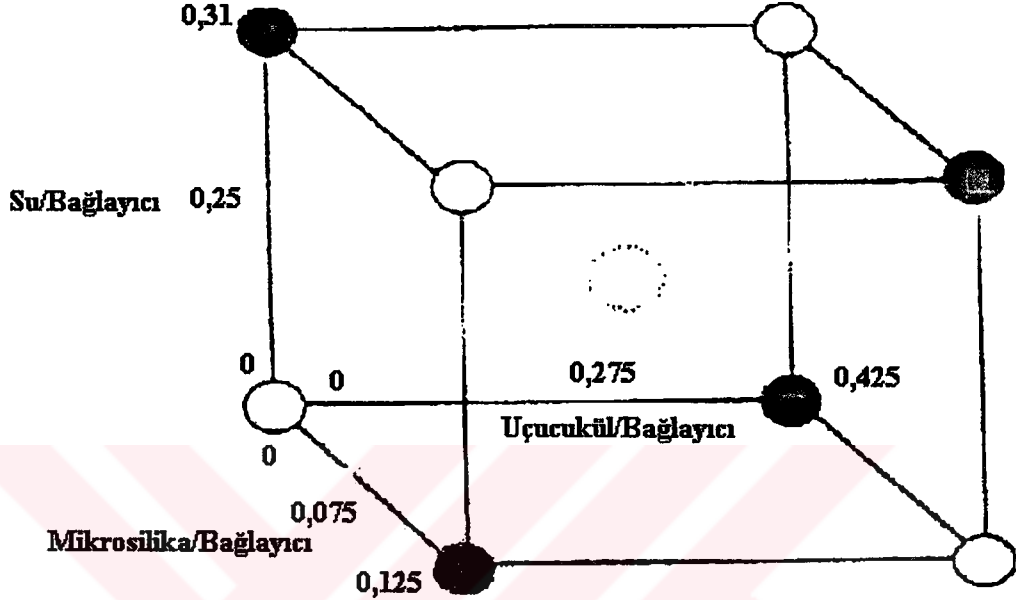
3.3.1. Taze Çimento Hamuru Deneyleri

Deneylere başlarken ilk olarak süperakışkanlaştırıcı (SA) ve mineral katkı (MK) eklenmeden normal kıvamlı bir karışım elde edilmek istenmiş, bunu sonucunda su/bağlayıcı (S/B) oranı olarak 0,50-0,55 arası bir oran bulunmuştur. Bu deneylerin hem SA hem de MK'lı hamurlarla mukayese edilemeyecek olması bakımından bunlar Tablo A1'de verilen deney tablosuna konulmamıştır. Daha sonra mineral katkısız sadece SA eklenerek kıvam bulma deneyleri yapılmıştır. Bunun için SA'nın belirtilmiş oranları arasında kalmaya çalışılmıştır. Bunun akabinde Tablo A1'de verilen oranlarda malzemeler kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneylerin başlangıcında % 1,2 oranında su kullanımına karar verilmişse de daha sonra ekstrem değerlerin daha kolay elde edilmesi açısından altıncı deneyden sonra bundan vaz geçilmiştir. Fakat mukayese açısından bunlar tabloya alınmıştır.

Tablo A1'deki deneyler yapıldıktan sonra son yıllarda deney sistematiği açısından oldukça fazla kullanılan faktöriyel tasarımı metodu kullanılmıştır (FTM).[36]. Bu sayede çok fazla sayıda deney yapmaya gerek kalmadan daha az deney malzemesi ve daha az zamanda optimum oranların yakalanması mümkün olmaktadır. Bu özel deney metodunda üç değişken kullanılmıştır. Bu metod yıldız metodu veya küp metodu olarak da adlandırılabilir. Metoda göre Şekil 3.1'deki küpün üç ayrı noktasına merkez değerler konulur. Bu noktalardan uzaklaştıkça malzeme oranı artar. Üç tane de orta noktalara değer konulur. Bu şekilde faktöriyel tasarım esasına göre $2^3=8$ tane olmak üzere ikili kombinasyonlar orta noktalardan uç noktalara seçim yapılarak $2 \times 3=6$ tane de uçdeğerler bulunur. Buna ilaveten orta değerler 3 kere tekrar edilerek deneylerin sağlanması yapılır. Çimento hamuru deneylerinde ilk bölümden ayrı olarak Tablo A2'deki deneyler de bu metoda uygun olarak yapılmıştır.

Bu deneyleri yaparken kullanılan programlanmış viskozimetrede kayma gerilmeleri ve viskozite değerleri ölçülmüştür, farklı katkı oranları farklı çimento dozajlarında gösterdikleri davranış değişiklikleri değerlendirilmiştir. Çimento hamurunun yayılması ve ayrışma direnci ile ilişki kurulmaya çalıştırılmıştır. ÇH karıştırılırken ilk olarak aşağıda özellikleri daha detaylı anlatılan harç makinasında 2 dakika yavaş karıştırılıp, sonra karıştırma kabı çeperinde çimento kalmaması için el

ile 15 saniye bunu müteakip makina ile 1 dakika hızlı karıştırıldıktan sonra 3 dakika beklenmiştir. En son makina ile 15 sn karıştırılıp ölçümler yapılmıştır. Deney sıralamasında önce viskozimetrede ölçüm yapıp sonra yayılma değerleri ölçülmüştür.



Şekil. 3.5. Çimento hamuru için Faktöriyel Tasarım Metodu (FTM)

3.3.2. Taze Harç Deneyleri

Herhangi bir taze karışımın malzeme özellikleri hakkında daha kesin ve tutarlı bilgi sahibi olabilmek için bir model seçilmesi gereklidir. Bu çalışmada Bingham modeli kullanılarak yeni kuşak süperakışkanlaştırıcılar ile üretilmiş çimento hamuru ve harç karışımlarının eşksenel bir viskozimetre yardımıyla reolojik parametreleri ölçülmüştür.

Kullanılan *Mettler RM180 Rheomat* viskozimetre deney aleti ölçüm öncesi 10 ile 150 dev./dak. dönme hızları aralığında çalışması için programlanmıştır ve alet bu aralığı otomatik olarak sekiz eşit parçaya bölmüştür. Yani makine çalıştırıldıktan sonra, karşılaştığı direnç miktarı makinanın alt ve üst limitleri dışına çıkmadığı müddetçe sırasıyla 10, 30, 50, 70, 90, 110, 130 ve 150 dev./dak. dönme hızlarının herbirinde karşılaştığı dirençleri ölçerek kayma eşik gerilmesi, kayma direnci ve viskozite değerlerini kaydetmek üzere programlanmış olmuştur. Yukarıda bahsedilen herbir dönme hızına karşılık gelen değerler tarafımızdan kaydedilmiş, 150 dev./dak.

dönme hızından sonra durmaksızın geriye doğru ölçümler yapılmaya devam edilmiş ve direnci en yüksek dönme hızında kırılmış malzemenin kayma gerilmesi ve viskozite değerleri yeniden ölçülmüştür. Harç viskozitede ölçüldükten sonra bekletme kabına geri konup üstü kapalı bir şekilde bekletilmiştir. İlk ölçüm 6. dakikada olmak üzere ölçümler 30 dakika arayla 120 dakika boyunca yapılmıştır. Herbir ölçüm için gidiş ve geliş değerleri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir. Şekil A.2. Bu deneylerden Tablo A.5'te ilk örnek olan ÇH1 deneyi için oluşturulan deney sonuçları verilmiş olup diğer tablolar ve şekiller CD'de EK Dosya Bingham Deneyler'de verilmiştir.

Harç karışımları hesaplanırken aynı SA dozajı harçlar için optimum dozaj olan % 1,25'te sabit tutulmuş MS ve UK için iki ayrı deney serisi gene FTM'ye uygun olarak oluşturulmuştur. Tablo. A.3 ve Tablo A.4'te bu deney serilerinin malzeme verileri gösterilmiştir. Bu serilerdeki amaç mineral bağlayıcılardan MS ve UK'ün miktarlarının değişimine, S/B oranına ve Kum/ Bağlayıcı (K/B) oranına bağlı olarak EKG, viskozite ve yayılma değişimlerini ve bu reolojik özellikler arasındaki korelasyonu bulmaktır. Deneylerde kullanılan kum; kırma kum ve dere kumundan oluşup bu kumların 2,36 mm açıklıklı elekten geçen kısmı üretimde kullanılmıştır.

4. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1. Taze Çimento Hamuru Deney Sonuçları

ÇH'larının plastik viskoziteleri ve eşik kayma gerilmeleri, Bingham cismi özelliklerini taşıdıkları düşünülerek ölçülmüştür. Bunun için tüm deney sonucu değerlendirmelerinde Bingham sabitleri olarak bilinen eşik kayma gerilmesi τ_0 ve viskozite η_{pl} verileri dikkate alınmıştır.

Taze harçların reolojik parametreleri olan plastik viskozite ve kayma gerilmeleri daha önce belirtilmiş program çerçevesinde ölçülmüş, tüm deney sonucu karşılaştırmaları grafikler halinde Ek A'da verilmiştir.

Çimento hamuru deneylerinde de harç deneylerinde de deneysel çalışmalar dört bölümde değerlendirilmiştir, bunlar ÇH için;

1. Viskocrete 1'in değişen oranlarına göre, süperakışkanlaştırıcı etkisi;
2. Su etkisi
3. Mineral katkı (Bağlayıcı) etkisi
4. İlk üç maddedeki özellikler arasındaki korelasyonlardır.

Bu değerlendirmelerde olayların nedenleri de tartışılmış ve rasyonel açıklamalar yapılmaya çalışılmıştır. Bu katkıların ÇH reolojik özelliklerinden EKG, viskozite ve yayılma üzerindeki etkileri rakamsal değerler olarak grafik şekilleri ile birlikte EK CD'de sonuçlar dosyasında gösterilmiştir. Değerlendirmelerde esas alınan EKG ve plastik viskozite büyüklükleri harç karıştırılmaya başladıktan sonra her 30 dakikada bir ölçülen deney sonuçlarıdır. Değerlendirmeler yapılırken altıncı dakika okumaları olan ilk okumalar Bingham davranışına aykırılık gösterip lineer kısmı bozduğundan bu değerler ihmal edilmiştir. Lineer kısmın eğiminden viskozite, eğrinin kayma eksenini kestiği noktadan ise EKG değerleri bulunmuştur.

4.1.1. EKG Üzerindeki Etkiler

4.1.1.1 Süperakışkanlaştırıcı Etkisi

Eklerde verilmiş tablo ve grafiklerden çıkardığımız sonuçlara göre şu veriler elde edilmiştir. Mineral katkısız ÇH'da SA miktarı artınca EKG değeri yaklaşık 10 kat düşmektedir. Şekil 4.1(a)

UK katkılı ÇH'larında SA artınca EKG düşmektedir. UK miktarının çok fazla olması durumunda ise EKG değerleri negatif değerler almaktadır bu da segregasyon olduğunu göstermektedir. Gerçekten deneyle ilgili gözlem notlarına bakıldığında bunun böyle olduğu anlaşılmaktadır. UK için uygun oranın yaklaşık %20 olduğu kanısına varılmıştır. Bu oranda UK kullanılırken SA %1,2 su oranı da %26 iken işlenebilirlik ve kıvam için optimum EKG değerleri elde edilebilmektedir. Şekil 4.1(b,c)

MS katkılı ÇH'da SA miktarı artınca azda olsa EKG değeri düşmüştür. Fakat MS oranı yüksek SA ve su oranları düşük olunca viskozite deney aletinin ölçüm yapamadığı gözlemlenmiştir. Bu MS'nın çok ince yapıda tanecikli olmasından dolayı ıslanmak için çok büyük oranlarda suya ihtiyaç duyduğunu göstermektedir. Şekil 4.1(d)

Ek CD'de karşılaştırma numaraları ve deneylerin içerikleri ayrıca grafik başında aşağıdaki gibi verilmiştir. Örneğin Şekil 4.1'deki grafiklerin elde edilmesinde kullanılan deneylerin karşılaştırma sıra numarası ve deney malzemeleri şöyledir.

A.1.1) Su/Bağlayıcı: S/B= 0,26 Çimento/Bağlayıcı: ÇH1=ÇH2=ÇH3 ç/B= %100

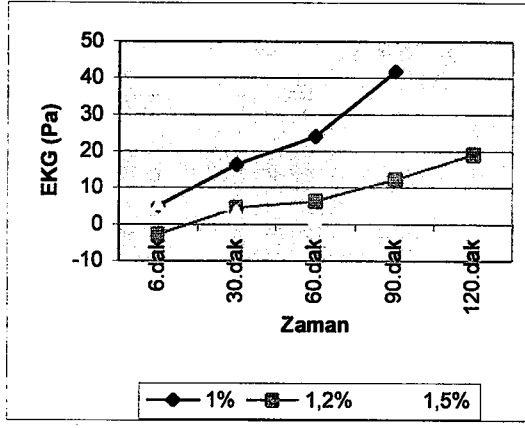
A.2.1) Su/Bağlayıcı: S/B= 0,26 Uçucukül/Bağlayıcı: ÇH4=ÇH6=ÇH8: UK/B= 0,20

A.5.2) Su/Bağlayıcı: S/B= 0,26 Çimento/Bağlayıcı: ÇH1=ÇH2=ÇH3 ç/B= %100

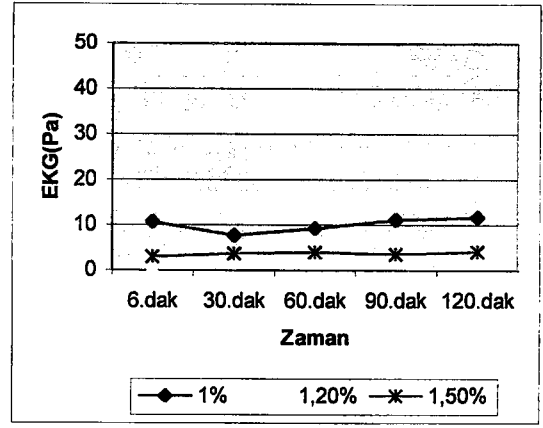
A.6.2) Su/Bağlayıcı: S/B= 0,26 Uçucukül/Bağlayıcı: ÇH4=ÇH6=ÇH8: UK/B= 0,20

Burada gösterilemeyen diğer bütün deney karşılaştırmaları Ek halinde CD'ye kayıtlı olarak verilmiştir.

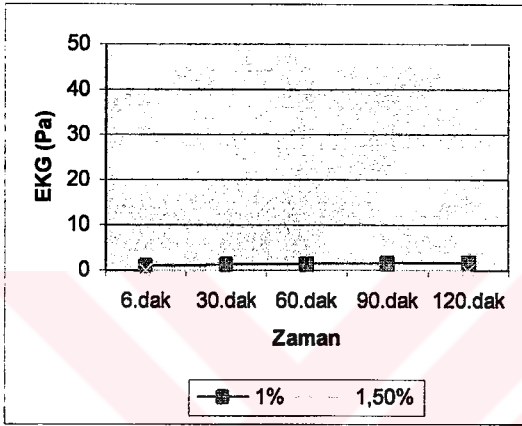
Not: Etkisi incelenen değişken malzeme oranları grafik içinde alt kısımda verilmiştir. Bu bölümde akışkanlaştırıcı katkı oranları belirtilmiştir.



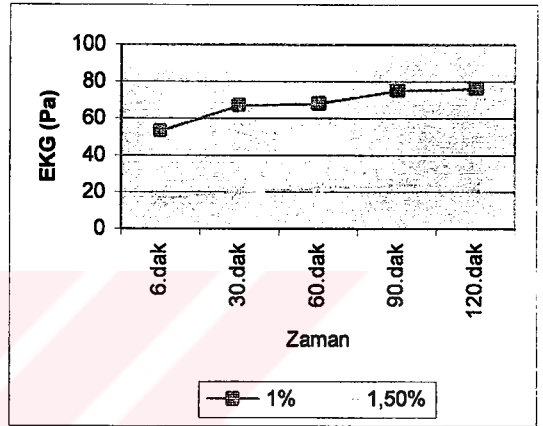
(a) A.1.1



(b) A.2.1



(c) A.5.2



(d) A.6.2

Şekil 4.1. ÇH'de SA etkisiyle oluşan EKG değişimleri

4.1.1.2. Su Etkisi

Mineral katkısız ÇH'da SA'nın değeri sabit tutulup S/B oranı artınca EKG değeri düşmüştür. Bu düşüş oranı yaklaşık 10 kat olmuştur. Yalnız SA oranı %1'den %1,5'e çıkınca suyu atırmanın anlamı kalmamıştır. Şekil 4.2. (a,b)

UK katkılı karışımlarda SA oranı düşük seviyede iken su miktarı fazla artırılınca EKG'de önemsiz bir düşme olmuştur. Yani suyu artırmakla istenilen oranda verim elde edilememiştir. Bunun yanısıra ÇH.19 deneyi gibi hem UK oranı fazla hemde SA oranı fazla ise ÇH'da segregasyon oluşup su kusması görülmüştür. Şekil 4.2. (c)

MS katkılı ÇH'da yüksek MS oranlı, düşük su ve SA katkılı deneylerde ölçüm yapılamayacak kadar yoğun bir kıvamın oluştuğu ve viskozite ve yayılma ölçümlerinin yapılamadığı gözlemlenmiştir. MS çok ince taneli yapıda olduğunda

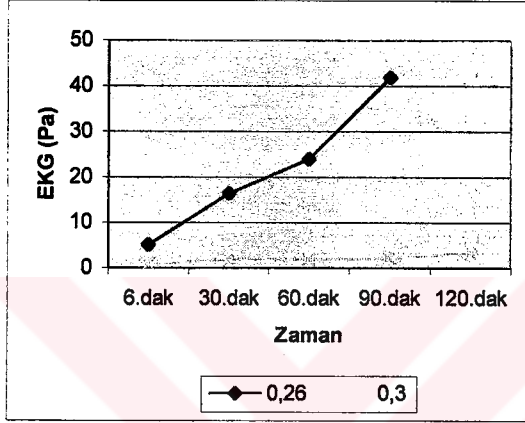
hem su hem de SA oranlarının mümkün olduğunca üst değerlerde olması fayda sağlamıştır. Şekil 4.2. (d) MS için uygun oranlar %5 MS/B , %30-32 S/B, %1,5-2 SA uygun olacaktır.

B.1.1) Mineral katkısız Ç/B= %100 SA/B: ÇH1=ÇH14=%1

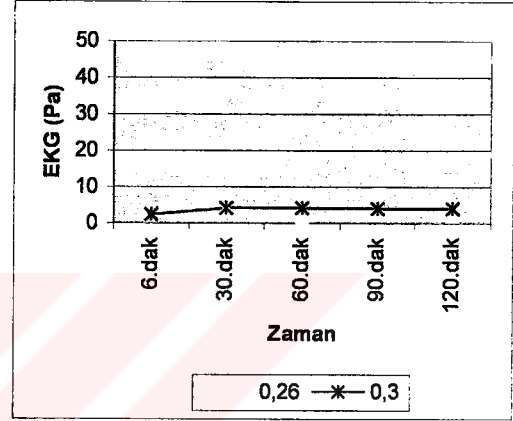
B.1.2) Mineral katkısız Ç/B= %100 SA/B: ÇH3=ÇH15=%1,5

B.2.1) UK/B: ÇH14=ÇH16=0,20 SA/B: ÇH14=ÇH16=%1

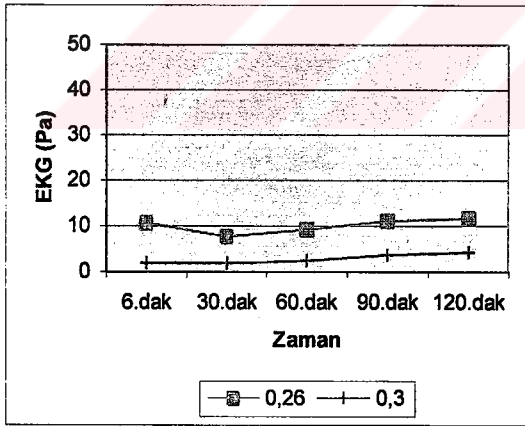
B.3.3) MS/B: ÇH12=ÇH22=0,05 SA/B: ÇH12=ÇH22=%1,5



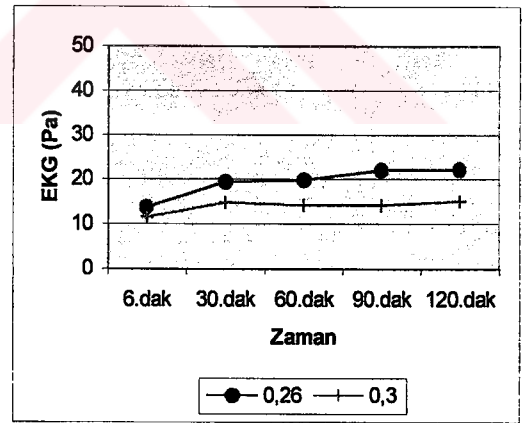
(a) B.1.1



(b) B.1.2



(c) B.2.1



(d) B.3.3

Şekil 4.2. ÇH'de Su etkisiyle oluşan EKG değişimleri

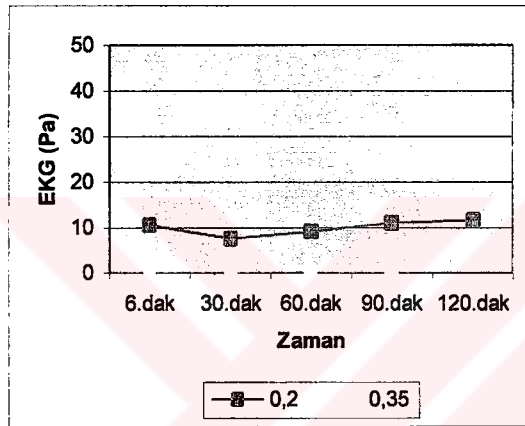
4.1.1.3. Mineral Katkı Etkileri

ÇH deneylerinde UK/B oranını artırınca genel olarak EKG'nin düştüğü görülmüştür. Şekil. 4.3 (a) ve (b), MS/B oranı arttığında ise EKG değeri yükselmekte hatta aynı miktarda SA ve su içeren UK'lerle aralarında UK'li karışımın EKG'sının ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu görülmüştür. Şekil 4.3. (c)

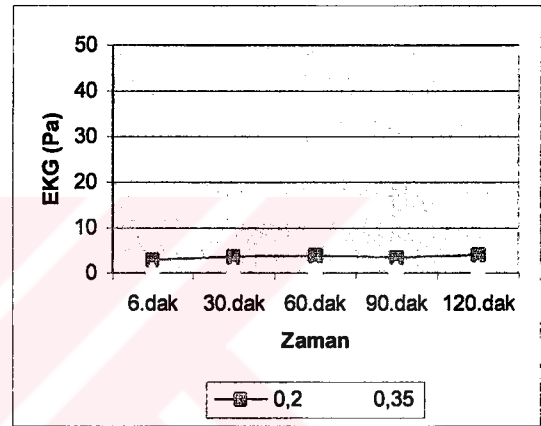
C.1.1) S/B: ÇH4=ÇH5=0,26 SA/B: ÇH4=ÇH5=%1

C.1.3) S/B: ÇH8=ÇH9=0,26 SA/B: ÇH8=ÇH9=%1,5

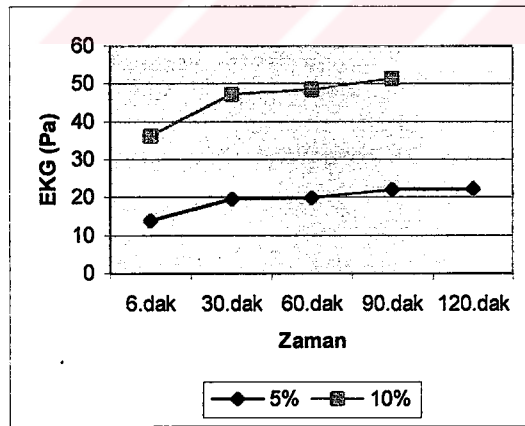
C.2.2) S/B: ÇH12=ÇH13=0,26 SA/B: ÇH12=ÇH13=%1,5



(a) C.1.1



(b) C.1.3



(c) C.2.2

Şekil 4.3. ÇH'de mineral katkı etkisiyle EKG'de değişim

4.1.2. Viskozite Üzerindeki Etkiler

Viskozite ÇH'nin dolayısıyla betonun homojenliğini belirleme de en önemli reolojik özelliktir. Bu nedenle viskozitenin belli bir oranın üstünde olması istenir.

Yapılmış olan deneylerde viskozite için SA'nın sudan daha iyi bir davranışı ÇH'ye kazandırdığı görülmüştür. Çünkü su EKG'yi azaltmada etkili olmasının yanı sıra viskoziteyi de istediğimiz değerlerin altına düşürdüğünden segregasyona ve homojenliğin bozulmasına neden olmuştur. SA'yı olması gereken dozdan fazla koyunca da ayrışmalar görülmüşse de SA/B oranı iyi tutturulduğunda mükemmel bir işlenebilme elde edilmiştir. Ayrıca ÇH'nin işlenebilme süresi de artmıştır.

4.1.2.1. Süperakışkanlaştırıcı Etkisi

Mineral katkısız ÇH deneylerinde SA oranı artınca viskozitenin de arttığı görülmüştür. Şekil 4.4. (a)

UK'li ÇH'de SA oranını artırmanın viskoziteyi iyileştirmediği görülmüş bilakis su oranıyla birlikte SA oranı artınca istenmeyen bir şekilde ayrışmanın olması kaçınılmaz olmuştur. Tabii olarak optimum değerlerde UK ve diğer katkıları kullanılıncsa ÇH'da çok iyi kıvam ve işlenebilirlik sağlanmaktadır.

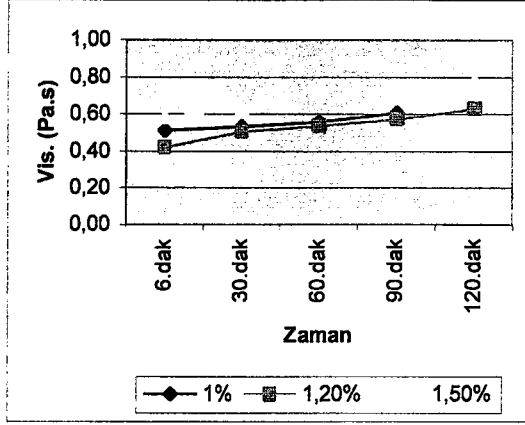
MS'li katkılarda ise AK oranı artınca viskozite de pek fazla bir değişiklik olmamıştır. Bu deneyler için bunun sebebi MS'nin zaten kendi başına oldukça fazla su ve SA isteyen yapıda bir malzeme olmasıdır. Şekil 4.4. (b,c,d)

A.1.1) S/B: 0,26 Ç/B : ÇH1=ÇH2=ÇH3 = %100

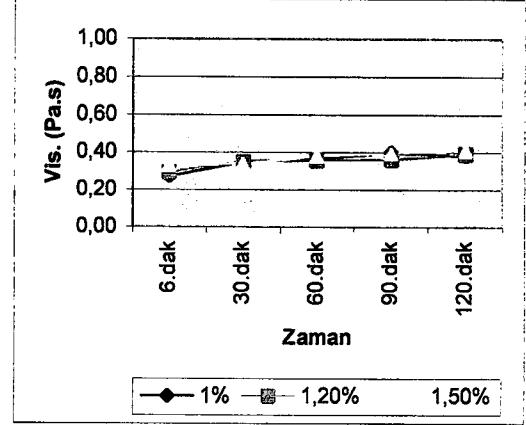
A.2.1) S/B: 0,26 UK/B : ÇH4=ÇH6=ÇH8 = 0,20

A.5.2) S/B: 0,26 Ç/B : ÇH1=ÇH2=ÇH3= %100

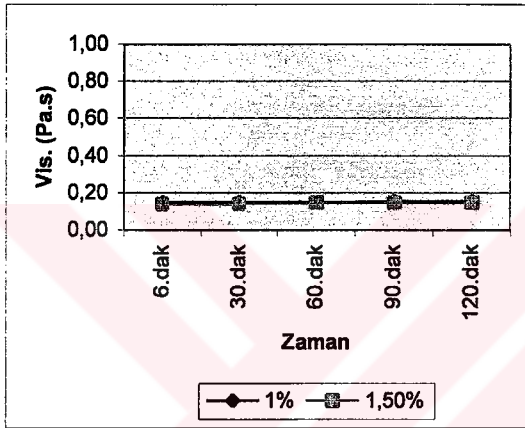
A.6.2) S/B: 0,26 UK/B : ÇH4=ÇH6=ÇH8= 0,20



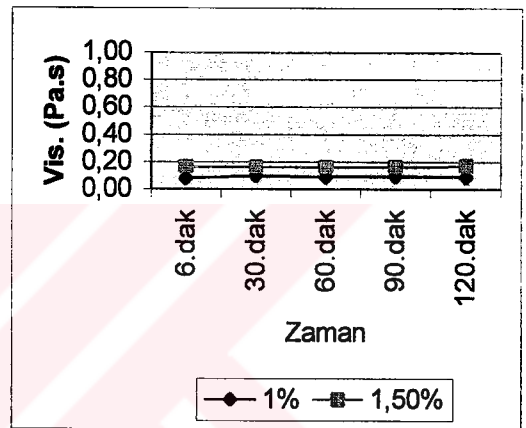
(a) A.1.1



(b) A.2.1



(c) A.5.2



(d) A.6.2

Şekil 4.4. ÇH'de SA'nın viskozite üzerindeki etkileri

4.1.2.2 Su Etkisi

Mineral katkısız ÇH'da su artınca viskozite astronomik düşmeler yapmaktadır. Denilebilir ki tüm bağlayıcılar içinde su ile en iyi etkileşim yapan malzeme çimentodur. Yalnız genel olarak suyun viskoziteyi düşürmesiyle beraber zamanla viskozite hızlı bir şekilde artmaktadır. Şekil 4.5. (a,b,c)

UK'lü ÇH karışımlarında zaten viskoziteyi düşürme yeteneği olan su bir de çimentoya göre daha iri taneli bir malzemeyle işleme girince viskozite düşmektedir.

MS'de ise su miktarını artırınca viskozitede düşme görülse de bu zamanla azalmamış ve değerini korumuştur. Şekil 4.5. (d)

B.1.1) Mineral katkısız Ç/B= %100

SA/B: ÇH1=ÇH14=%1

B.1.2) Mineral katkısız Ç/B= %100

SA/B: ÇH3=

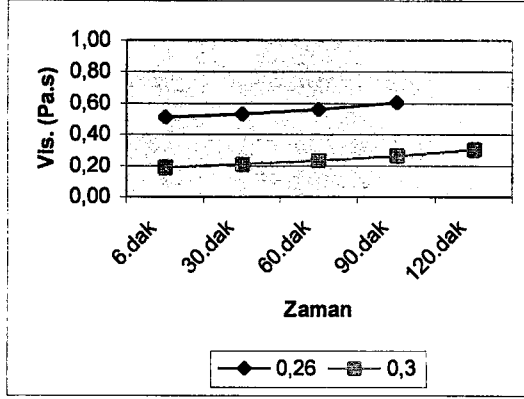
2023 YILININ EN İYİ YATIRIM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

B.2.1) UK/B: $\text{ÇH14}=\text{ÇH16}=0,20$

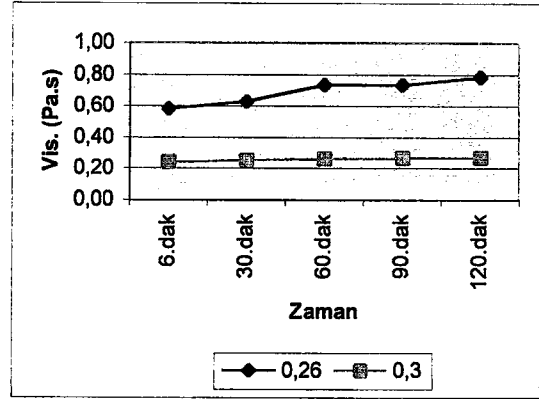
SA/B: $\text{ÇH14}=\text{ÇH16}=\%1$

B.3.3) MS/B: $\text{ÇH12}=\text{ÇH22}=0,05$

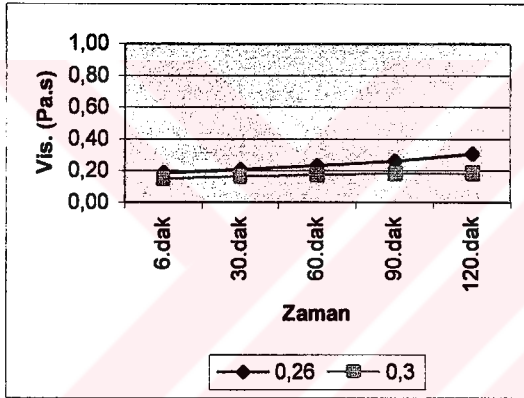
SA/B: $\text{ÇH12}=\text{ÇH22}=\%1,5$



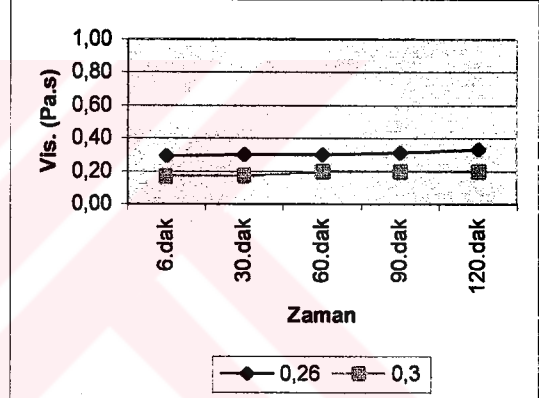
(a) B.1.1



(b) B.1.2



(c) B.2.1



(d) B.3.3

Şekil 4.5. ÇH'de su etkisinin viskozite üzerindeki etkisi

4.1.2.3 Mineral Bağlayıcı Etkisi

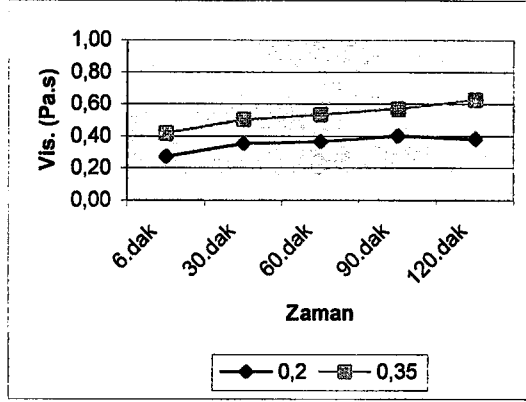
UK katkılı ÇH'da düşük su ve SA oranlarında viskozite UK miktarıyla beraber artarken yani istenen davranışı göstermişken yüksek su ve SA miktarlarına sahip karışımlarda UK artınca viskozite düşüyor. Şekil 4.6. (a,b)

Mikrosilika arttığında ise viskozitenin çok az düştüğü gözleniyor. Tüm değerlendirmeler belirtilen deneylerin diğer deneylerle yapılan karşılaştırmaları sonucu elde edilen değerlendirmelerdir. Viskozite hemen hemen tüm deneylerde zamanla karışımlardan bazılarının kendini toparlaması, bazılarının ise zaten normal kıvamlı ilk hale sahip olduğundan zamanla daha fazla yoğunlaşması yani viskoz hale doğru gitmesi sonucu viskozitenin 6. dakikadan 120, dakikaya kadar artmaktadır. Bu

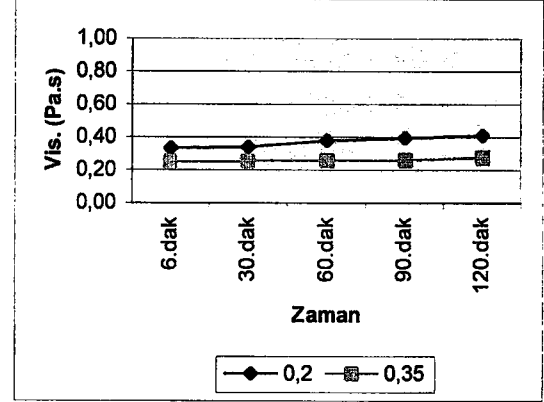
artış miktarı ise karışımdan karışıma değişmektedir. Yalnız zamanın viskozite için EKG kadar etkili olmadığı görülmüştür.

C.1.1) S/B: $\text{ÇH4}=\text{ÇH5}=0,26$ SA/B: $\text{ÇH4}=\text{ÇH5}=\%1$

C.1.3) S/B: $\text{ÇH8}=\text{ÇH9}=0,26$ SA/B: $\text{ÇH8}=\text{ÇH9}=\%1,5$



(a) C.1.1



(b) C.1.3

Şekil 4.6. ÇH'de MK'nın viskozite üzerindeki etkisi

4.2. Taze Harç Deney Sonuçları

Harçların da ÇH'da olduğu gibi plastik viskoziteleri ve eşik kayma gerilmeleri, Bingham cismi gibi düşünülmüş ve buna göre ölçülmüştür. Bunun için tüm deney sonuçları değerlendirmelerinde Bingham sabitleri olarak bilinen eşik kayma gerilmesi τ_0 ve viskozite η_{pl} verileri dikkate alınmıştır.

Taze harçların reolojik parametreleri olan plastik viskozite ve kayma gerilmeleri de belli bir program çerçevesinde ölçülmüş, deney sonuçlarının bir kısmı grafikler halinde şekil 4.7'den başlayarak aşağıda, tümü ise Ek CD'de verilmiştir.

Beklenildiği üzere su/çimento oranının artmasıyla malzemenin hem viskozitesi hem de eşik kayma gerilmesi azalmaktadır. Her çimento dozajına ait olan en küçük su/çimento oranını hesaba katmazsak 120 dakika boyunca viskozite ve eşik kayma gerilmelerinde meydana gelen artışın işlenebilirlik açısından önemli olmadığı söylenebilir. Hatta reolojik parametrelerin büyüklüklerinin dahi çok farklı olmamasından dolayı dayanım ve dayanıklılık açısından S/B oranının mümkün olduğu kadar küçük tutulması faydalı olacaktır. En küçük S/B oranlarında ise eşik kayma gerilmelerinin yaklaşık 60 dakikadan sonra hızla yükseldiği grafikler üzerinde

görülmektedir. Bundan dolayı zamanın eşik kayma gerilmeleri üzerindeki etkisinin viskoziteden daha fazla olduğunu belirtmek doğru olur.

Kullanılan çimento dozajları, S/B oranları ve katkı dozajları çerçevesinde ince malzeme miktarının fazla tutulmasının eşik kayma gerilmelerini büyük oranda düşürdüğünü ve viskozitesinden birşey kaybettirmeyip bu bakımdan avantaj sağladığı söylenebilir. Ayrıca zamanın eşik kayma gerilmelerinin davranışını viskoziteden daha fazla etkilediği yapılan deneyler sonucu ortaya çıkmıştır.

DeneySEL çalışma bölümünde de anlatıldığı gibi harç deneyleri yapılırken deneyler iki deney serisi halinde yapılmıştır. Bunlar MS'lı ve UK'li deney serileridir. Deneylerin tümünde SA'nın optimum değeri olan %1,25 değeri sabit tutulmuştur. Böylece FTM için gerekli olan üç değişken şartı sağlanmıştır. İlk önce EKG'ne katkıların ne tür etkiler yapıldığı sonra viskoziteye etkileri incelenecektir

4.2.1. MS'lı Karışımlarda Katkıların EKG Üzerindeki Etkileri

MS katkılı harçlarda tek bir parametreye bağlı olarak değerlendirme yapabilmek için diğer iki parametre sabit tutulmuştur. Bu parametreler; suyun değişen oranları için Kum/Bağlayıcı (K/B) oranı ve Mikrosilika/Bağlayıcı (MS/B) oranlarıdır. K/B oranı ve MS/B oranları sabit iken S/B oranı artınca EKG'nin düştüğü görülmüştür. Şekil 4.7. (a,b)

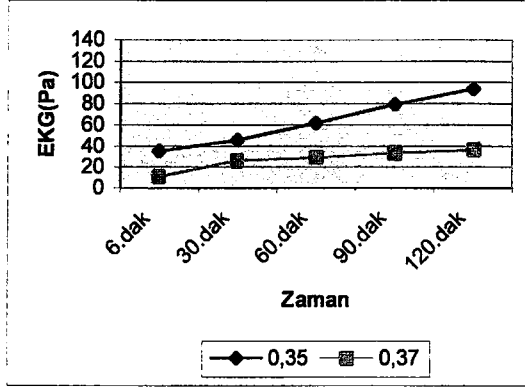
MS katkılı harçlarla yapılan deneylerde K/B oranı ve S/B oranı sabit tutulup mineral katkı olan MS miktarı artınca EKG'nin büyüklüğünün arttığı görülmüştür. Şekil 4.7. (c,d). Diğer iki değişken oranları sabit tutulduğunda K/B artınca EKG'nin de arttığı görülmüştür.

A.1.2) MS/B : H3=H4=%5 K/B: H3=H4=%1

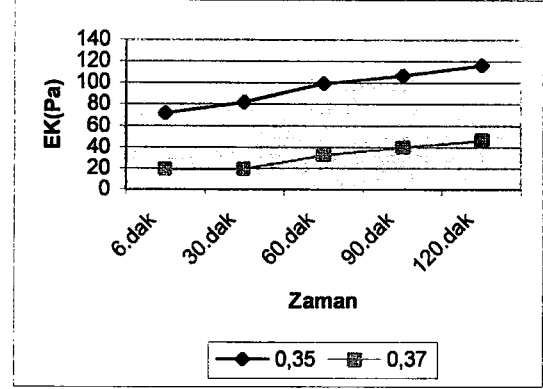
A.3.1) MS/B : H9=H10=%7,5 K/B: H9=H10=%1,4

B.1.1) S/B : H1=H5=0,35 K/B: H1=H5=%1,5

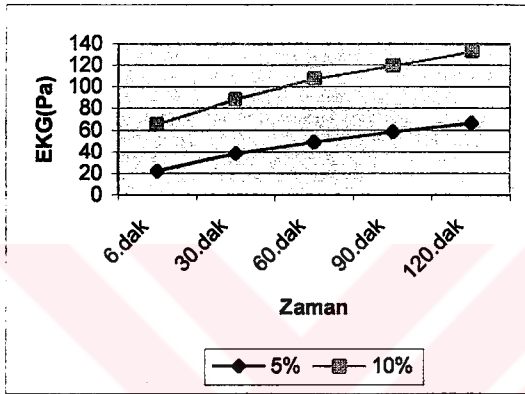
B.3.1) S/B : H13=H4=0,36 K/B: H13=H14=%1,4



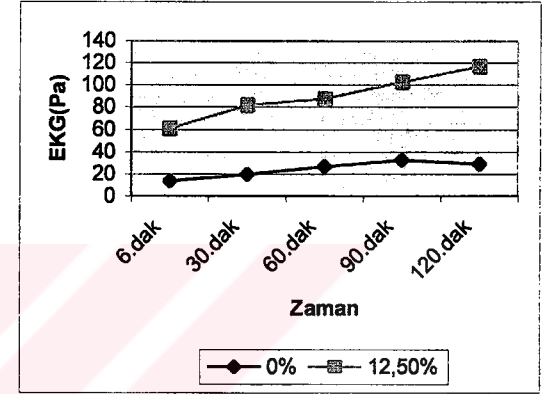
(a) A.1.2



(b) A.3.1



(c) B.1.1



(d) B.3.1

Şekil 4.7. MS'li H'lerde farklı katkıları sonucu EKG'de meydana gelen değişimler

4.2.2. UK'li Karışımlarda Katkıların EKG Üzerindeki Etkileri

Diğer iki oran sabit kalıp su miktarı artınca EKG'de düşme olmaktadır. Şekil 4.8. (a,b). UK miktarı ise EKG ile ters orantılıdır. Yani UK oranı artınca EKG değerinin düştüğü görülmüştür. Şekil 4.8 (c,d). K/B oranını artırmak EKG'yi büyütülmüştür. Şekil 4.8. (e,f)

D.1.1) UK/B: H18=H19=%20

K/B : H18=H19=%1,5

D.3.1) UK/B: H26=H27=%27,5

K/B : H26=H27=%1,4

E.1.1) S/B : H18=H22=0,32

K/B : H18=H22=%1,5

E.3.1) S/B : H30=H31=%27,5

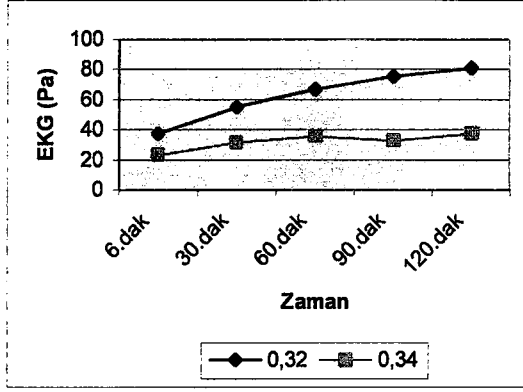
K/B : H30=H31=%1,4

F.1.1) S/B : H18=H20=0,32

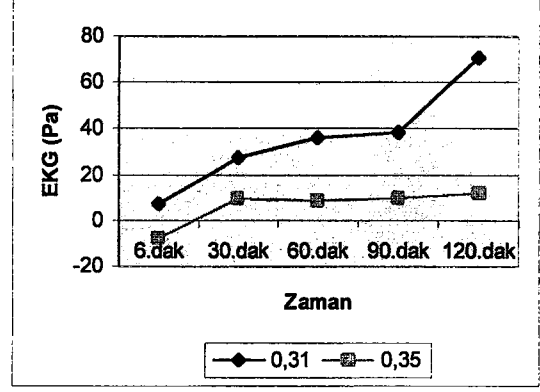
UK/B: H18=H20=%20

F.3.1) S/B : H28=H29=0,33

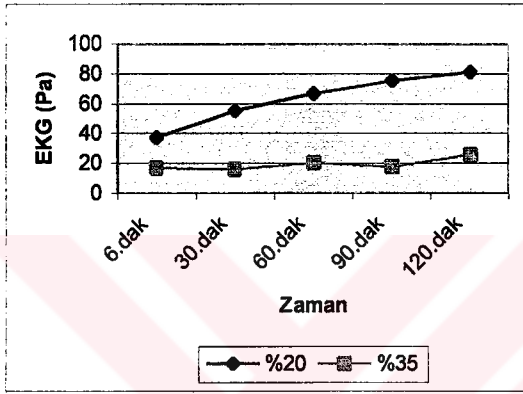
UK/B: H28=H29=%27,5



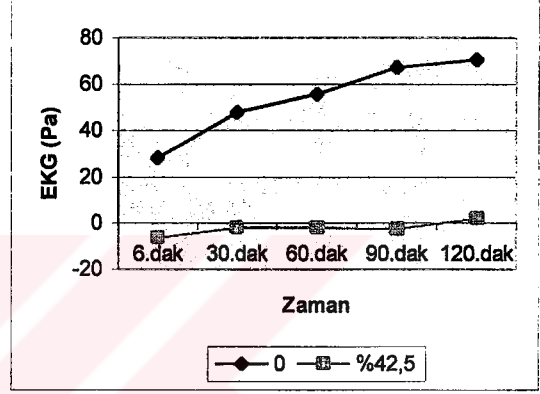
(a) D.1.1



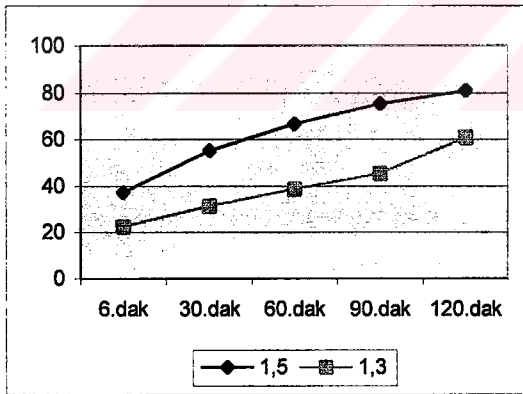
(b) D.3.1



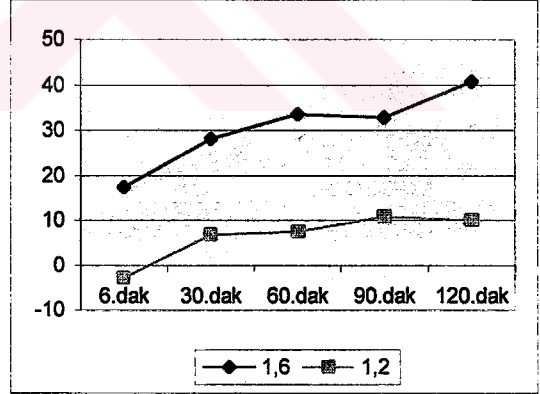
(c) E.1.1



(d) E.3.1



(e) F.1.1



(f) F.3.1

Şekil 4.8. UK'li H'lerde farklı katkıları sonucu EKG'de meydana gelen değişimler

4.2.3. Harçlarda Viskozite

Harçlarda ister UK isterse MS katkılı harç olsun S/B oranının artması viskoziteyi düşürmüştür. Şekil 4.9.(a). Mineral katkılarda MS'nın artması viskoziteyi artırmış, UK artması ise viskoziteyi azaltmıştır ama bu EKG değeri ile

karşılaştırıldığında daha küçük oranlı bir azalmadır. Şekil 4.9.(b). K/B oranının büyümesi de viskozite değerinin büyümesine neden olmuştur.

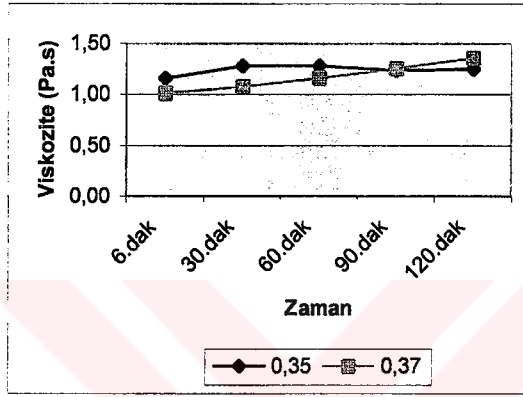
Şekil 4.9. (c,d)

D.3.1) UK/B: $\text{ÇH26}=\text{ÇH27}=\%27,5$ K/B : $\text{ÇH26}=\text{ÇH27}=1,4$

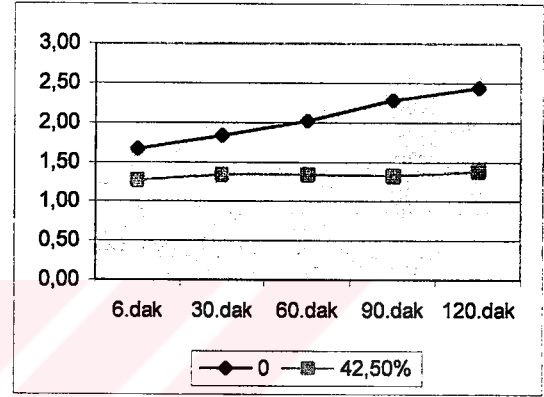
E.3.1) S/B : $H30=H31=0,33$ K/B : $H30=H31=1,4$

F.2.1) S/B : $H18=H20=0,32$ UK/B: $H18=H20=\%20$

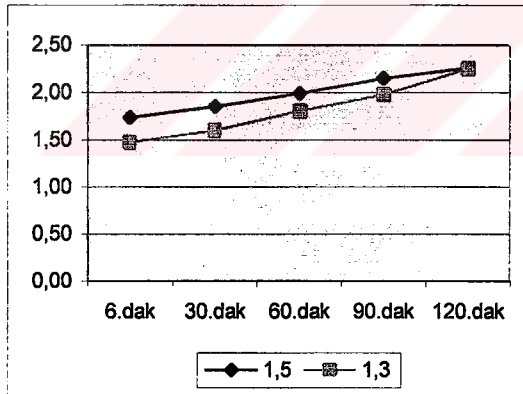
F.3.3) S/B : $H28=H29=0,33$ UK/B: $H28=H29=\%27,5$



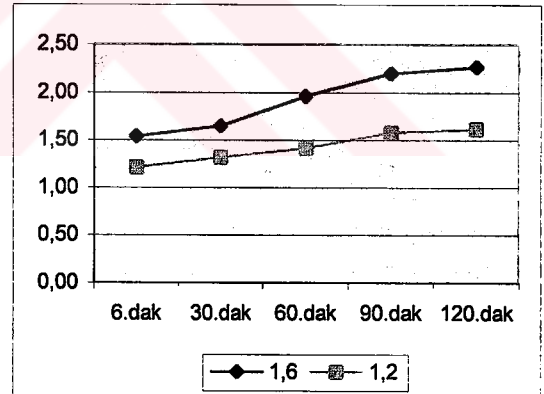
(a) D.3.1



(b) E.3.1



(c) F.2.1



(d) F.3.3

Şekil 4.9 H'lerde farklı katkıları sonucu viskozitede meydana gelen değişimler

4.3. Harçlarda Yayılma

Hem ÇH'da hem de harçlarda ölçülen yayılmaya deneylerinde doğal olarak süperakışkanlaştırıcı artırıldığında yayılma da artmıştır. Suyun artırılması da yayılma değerlerini artıran diğer bir faktördür. Yalnız SA etkisi sudan daha fazladır. Yayılma kusmanının gerçekleştiği deneylerde çok fazla olmuşsa da bunun bir yararı ve öneminin olmadığı görülmüştür. Asıl istenen ÇH veya harçlarda viskozitenin

düşmeden ve segregasyon oluşmadan yayılmanın iyi olmasıdır. Bu sonuçlar EK'lerde EKG ve viskozitelerle birlikte EK Cd'de grafikler halinde gösterilmiştir.

5.SONUÇLAR

- Gerek ÇH gerekse H deneylerinde süperakışkanlaştırıcı ve mineral katkıları aynı davranışları göstermişlerdir. Harçlarda ÇH'dan farklı olarak K/B oranının etkisi incelenmiştir.
- SA suya göre reolojik özelliklerde daha etkilidir.
- SA EKG'yi büyük oranda düşürürken viskozitenin değerinin değişmediği görülmüştür.
- Mineral katkı olarak MS'nın çimentodan daha ince taneli yapıda olması nedeniyle daha fazla su ve SA istediği belli olmuştur. Aynı görevi yapan UK ise çok daha az su ve SA ihtiyacı duymaktadır.
- İşlenebilirliği ve kıvam tutturulması en iyi malzeme olarak UK'nin seçilebileceği anlaşılmıştır.
- Çalışmalarda, geçen süre ve süperakışkanlaştırıcı miktarının kayma gerilmesini viskoziteden daha fazla etkilediği görülmüştür.
- Artan katkı oranları ile hazırlanan harç numunelerinde eşik kayma gerilmeleri düşmüş, viskozite yükselmiştir yani numune daha akıcı olmakla kalmayıp ayrışmaya karşı daha dirençli bir hale de gelmiştir.
- Bu çalışmada kullanılan süperakışkanlaştırıcı, akıcı ÇH ve H üretimini mümkün kılmış ve bu özelliği deneylerin büyük kısmında 2 saat koruyabildiği görülmüştür.
- Yayılmalar da kıvamların iyi ayarlandığı optimum miktarlara haiz karışımlarda iki saat boyunca arzu edililen bir değerde kalmıştır. Yalnız MS'lı deneylerde bazı çok koyu kıvamlı karışımlar için istenmeyecek kadar az yayılma görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] **Akman, M. S.**, 1987. Yapı Malzemeleri , İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [2] **Bartos, P.**, 1992. Fresh Concrete Properties and Tests, Elsevier, Amsterdam
- [3] **Ferraris, C. F., Gaidis, J. M.**, 1992. Connection Between the Rheology of Concrete and Rheology of Cemen Past, ACI Materials J., V89, N43 , July-August, pp. 388-393,
- [4] **Tattersall, G.H.**, 1991. Workability and Quality Control of Concrete, E& F.N. Spon Publ. London,
- [5] **Banfill, P. F. G., Tattersall, G.H.**, 1983. Rheology of Fresh Concrete, Pitman Ed., London,
- [6] **Banfill, P. F. G.**,1991. (Editor), Rheology of Fresh Cement and Concrete, E& F.N. Spon Publ. London,
- [7] **Murdock, L.J, Brook, K. M., Dewar, J. D.**,1991. Concrete. Materials and Practice, Edward Arnold, pp 152-174, Kent,
- [8] **Browne, R. D., Bamforth, P. B.**, 1977. Test to Establish Concre Pumpability, ACI Journal, V74, pp 193-202, May
- [9] **Joisel, A.**, 1951"Recherches sur les Pompes a Beton" Material de Chantier N:6, p 18, Anneles de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics,
- [10] **Anderson, W.G.**, 1977. Analyzing Concrete Mixtures for pumpability, ACI J. V.74, N.9 pp 447-451, September,
- [11] **Wallevik, O. H., Saasen, A., Gjorv, O. E.**, 1995. Effect of Filler Materials on on the Rheological Properties of Fresh Concrete, ACI Materials J.,V 42, pp. 524-528 September-October,
- [12] **Tanigawa, Y., Mori, H.**,1992. Viscosity Equation for Fresh Concrete ACI Materials J., V89, pp. 230-237,

- [13] **Parkinson, J. D.**, 1971. Workability and Flow Behaviour, Pumped Concrete, Concrete Rev. reprinted by PCCA, UK., December
- [14] **Yurugi, M., Sakata, N., Iwai, M., and Sakai.**, 1993. Mix Proportions for Highly Workable Concrete, Concrete 2000, pp 427- 443.
- [15] **Ambroisse, J., Chabannet, M., Rols, S. And Pera, J.**, 1999, Basic Properties and Effects of Starch on Self-Levelling Concrete. Proceeding of the international Symposium on The Role of Admixture in High Performance Concrete, Monterrey, Mexico, March 21-26 pp 377-386
- [16] **Nishibayashi, S., Inoue, S., Kuroda, T., and Kume, T.**, 1994 A Study on The flow of Highly Superplasticized Concrete ACI Materials J., V148, pp. 177-187,
- [17] **Baum, H. Abd Ben-bassat, M.**, 1999. Effect of Superplasticizers on Some properties of Fresh and Hardened Concrete Mixes, Proceeding of the international Symposium on The Role of Admixture in High Performance Monterrey, Mexico, March 21-26 pp 482-492
- [18] **Murata J., Kikukawa, H.,**, 1992. Viscosity Equation for Fresh Concrete ACI Materials Journ., V89, pp. 230-237,
- [19] **Cabrera, J. G., Hopkins, C. G.**, 1984. A Modification of The Tattersall Two Point Test Apparatus for Measuring Concrete Workability, Magazine of Concrete Res., Vol.36, N. 129 pp. 237-240
- [20] **Wallevik, O. H., Gjorv, O. E.**, 1990 Modification of Two-point Workability Apparatus, Mag. of Concret Res., V.42 pp. 135-142
- [21] **De Larrard. F., Sztikar, J.C., Hu, C. Joly, M.**, 1993 Design of a Rheomat for Fluid Concrete, RILEM Workshop on Special Mixes: Workability and Mixing, Paisley, UK
- [22] **Papadakis, M.**, 1962. "Controle Rheologique Des Mortiers d'Injection Utilies dans la Techique du Beton Precontraint" Rev. des Mat de Construction, N. 564, pp 233-239

- [23] **Farraris, C. F.**, 1999. Measurement of The Rheological Properties of Cement Paste A New Approach, Proceeding of the international Symposium on The Role of Admixture in High Performance Monterrey, Mexico, March 21-26 pp 333-342
- [24] **Banfill, P. F. G.**, 1981.Viscometric Study of Cement Pastes Containing Superplasticizers with a Note on Experimental Techniques, Mag. of. Concrete Res. V.33, N.114, March
- [25] **Banfill, P. F. G.**, 1991.The Rheology of Fresh Mortar Mag. of. Concrete Res. V.43, N.154, pp. 13-21 March
- [26] **Ramachandran, V. S., Malhotra, V. M., Jolicoeur, C. And Spiratos,N.**,1998 Superplasticizers Properties and Aplications in concrete, CANMET Publ., MTK 97-14(TR), Ottawa, Canada
- [27] **Shonaka, M. Kitagawa, K. Satoh, H., Izumi, T. and Mizunuma. T.**, 1997 Chemical Structures and Performance of New High Range Water Reducing and Air Entraining Agent, ACI, SP 173, pp. 559-614
- [28] **Jeknavonian, A. A., Roberts L.R., Jardine, L., Koyata, H. And Darwin D.**, 1997.Condenced Polyacrylic Acid-Aminated Polyether Polymers as Superplasticizers for Concrete, ACI, SP 173, pp. 55-81
- [29] **Okazawa, S., Umezawa, K. And Tanaka, Y.**, A New Polycarboxylate Based Polymer: Physical Properties of Concrete, Concrete 2000, pp 1813-1824
- [30] **Houst, Y. F., Flatt, R. J., Bowen, P., Hofman, H., Maeder, U., Widmer, J., Sulser, U. And Bürge, T. A.**, 199.Optimization of Superplasticizers : From Research to Application, , Proceeding of the international Symposium on The Role of Admixture in High Performance Monterrey, Mexico, March 21-26 pp 121-134
- [31] **Mitsui, K., Yonezawa, T., Kinoshita, M. And Shimono.**, 1994 Application of a New Superplasticizers for Ultra High-Strength Concrete, ACI sp 148, pp27-45
- [32] **Verwey, E. J. W. And Overbeck, J. T. G.**, 1948.Theory of Stability of Lyophobic Colloid, Elsevier, Amsterdam
- [33] **Ohta, A., Sugiyama, T. and Tanaka, Y.**, 1997 Fluidizing Mechanizm and Application of Polycarboxilate Based Superplasticiers, ACI SP173, pp. 359-378

[34] **Hanna, E., Luke K., Perraton, D. and Aitcin, P. C.**, 1989. Rheological Behaviour of Portland Cement in the Presence of a Superplasticizer, ACI SP119, pp. 171-188

[35] **Macias, A., Goni, S.**, 1997 Application of Deflocculated Test to Characterise the Admixture Plasticizer and Superplasticizers Effect in Different Cement. ACI SP173, pp. 807-833

[36] **Sajuan, M. A., Moragues, A.**, 1994 Model for Predicting Plastic Shrinkage of Polypropylene Reinforced Mortars. Journal of Materials Science 29 pp 2821-2825



Tablo A.1. ÇİMENTO HAMURU REOLOJİK ÖLÇÜM DENEY LİSTESİ

Çimento	Karıştırma	Mini silump koni
Uçucu Kül	: Nuh PÇ 42,5	deney aleti
Mikrosilika	: Antalya/Orhaneli % 20-35	boyutları: (mm)
Akışkanlaştırıcı	: % 0-5-10	Üst çap: 19
	: Viscocrete 1	Alt çap 39
		Yükseklik: 57,5
	: 1. Karışım Makine ile	
	: 2. Karışım Elle	
	Ölçüm Zamanları :06-30-60-90-120'inci dakikalar	
	Ölçüm Devirleri :10-30-50-70-90-110-130-150	

DENEY ADI	Nuh PÇ 42,5			Çimento			Mikrosilika			Viscocrete 1			Akışkanlaştırıcı Katkı		
	%		gr	%		gr	%		gr	%		gr	w=Su+katkı		
															gr
Deney ÇH1	100		1000									1	10	0,26	260
Deney ÇH2	100		1000									1,2	12	0,26	260
Deney ÇH3	100		1000									1,5	15	0,26	260
Deney ÇH4	80		800	20	200							1	10	0,26	260
Deney ÇH5	65		650	35	350							1	10	0,26	260
Deney ÇH6	80		800	20	200							1,2	12	0,26	260
Deney ÇH7	65		650	35	350							1,2	12	0,26	260
Deney ÇH8	80		800	20	200							1,5	15	0,26	260
Deney ÇH9	65		650	35	350							1,5	15	0,26	260
Deney ÇH10	95		950				5	50				1	10	0,26	260
Deney ÇH11	90		900				10	100				1	10	0,26	260
Deney ÇH12	95		950				5	50				1,5	15	0,26	260
Deney ÇH13	90		900				10	100				1,5	15	0,26	260
Deney ÇH14	100		1000									1	10	0,30	300
Deney ÇH15	100		1000									1,5	15	0,30	300
Deney ÇH16	80		800	20	200							1	10	0,30	300
Deney ÇH17	65		650	35	350							1	10	0,30	300
Deney ÇH18	80		800	20	200							1,5	15	0,30	300
Deney ÇH19	65		650	35	350							1,5	15	0,30	300
Deney ÇH20	95		950				5	50				1	10	0,30	300
Deney ÇH21	90		900				10	100				1	10	0,30	300
Deney ÇH22	95		950				5	50				1,5	15	0,30	300
Deney ÇH23	90		900				10	100				1,5	15	0,30	300

Tablo A.2. ÇİMENTO HAMURU REOLOJİK ÖLÇÜM DENEY LİSTESİ 2

Çimento	: Nuh PÇ 42,5	Karıştırma	: 1. Karışım Makine ile	Mini slump koni
Uçucu Kül	: Orhaneli % 0-27,5-42,5		: 2. Karışım Elle	deney aleti
Mikrosilika	: % 0-7,5-12,5	Ölçüm Zamanları	: 06-30-60-90-120'inci dakikalar	boyutları: (mm)
Akışkanlaştırıcı	: Viscocrete 1	Ölçüm Devirleri	: 10-30-50-70-90-110-130-150	Üst çap: 19
				Alt çap 39
				Yükseklik: 57,5

DENEY ADI	Nuh PÇ 42,5		Çimento		Mikrosilika		Viscocrete 1		Akışkanlaştırıcı Katkı	
	%	gr	Uçucu Kül		%	gr	%	gr	w=Su++katkı	
			%	gr					(w/c)	gr
Deney ÇHK1	72,5	725	27,5	275			1,25	12,5	0,25	250
Deney ÇHK2	72,5	725	27,5	275			1,25	12,5	0,31	310
Deney ÇHK3	72,5	725	27,5	275			0,75	7,5	0,28	280
Deney ÇHK4	72,5	725	27,5	275			1,75	17,5	0,28	280
Deney ÇHK5	100	1000	0	0			1,25	12,5	0,28	280
Deney ÇHK6	57,5	575	42,5	425			1,25	12,5	0,28	280
Deney ÇHK7	92,5	925			7,5	75	1,25	12,5	0,25	250
Deney ÇHK8	92,5	925			7,5	75	1,25	12,5	0,31	310
Deney ÇHK9	92,5	925			7,5	75	0,75	7,5	0,28	280
Deney ÇHK10	92,5	925			7,5	75	1,75	17,5	0,28	280
Deney ÇHK11	100	1000			0	0	1,25	12,5	0,28	280
Deney ÇHK12	87,5	875			12,5	125	1,25	12,5	0,28	280

Tablo A.3. HARÇ DENEYLERİ REOLOJİK ÖLÇÜM DENEY LİSTESİ

Çimento :Nuh PÇ 42,5
Uçucu Kül/Bağlayıcı :Antalya/Orhaneli % 20-35
Mikrosilika/Bağlayıcı :% 0-5-7,5-10-12,5
Süperakışkanlaştırıcı :Viscocrete 1=%1,25
Karıştırma
Ölçüm Zamanları :06-30-60-90-120'inci dakikalar
Ölçüm Devirleri :10-30-50-70-90-110-130-150

DENEY ADI	Nuh PÇ 42,5				Çimento		Mikrosilika		K/Binder oranı	Kum(K)		Viscocrete 1		Akışkanlaştırıcı Katkı	
	Doz	%	gr	%	Uçucu Kül %	gr	%	gr		Kum1 60%	Kum2 40%	%	gr	(S/B)	S=Su+SA
Deney H1	550	95	522,5			5	27,5	1,5	495	330	1,25	6,87	0,35	192,5	
Deney H2	550	95	522,5			5	27,5	1,5	495	330	1,25	6,87	0,37	203,5	
Deney H3	550	95	522,5			5	27,5	1,3	429	286	1,25	6,87	0,35	192,5	
Deney H4	550	95	522,5			5	27,5	1,3	429	286	1,25	6,87	0,37	203,5	
Deney H5	550	90	495			10	55	1,5	495	330	1,25	6,87	0,35	192,5	
Deney H6	550	90	495			10	55	1,5	495	330	1,25	6,87	0,37	203,5	
Deney H7	550	90	495			10	55	1,3	429	286	1,25	6,87	0,35	192,5	
Deney H8	550	90	495			10	55	1,3	429	286	1,25	6,87	0,37	203,5	
Deney H9	550	92,5	509			7,5	41	1,4	462	308	1,25	6,87	0,34	187	
Deney H10	550	92,5	509			7,5	41	1,4	462	308	1,25	6,87	0,38	209	
Deney H11	550	92,5	509			7,5	41	1,6	528	352	1,25	6,87	0,36	198	
Deney H12	550	92,5	509			7,5	41	1,2	396	264	1,25	6,87	0,36	198	
Deney H13	550	100	550			0	0	1,4	462	308	1,25	6,87	0,36	198	
Deney H14	550	87,5	481			12,5	68,75	1,4	462	308	1,25	6,87	0,36	198	
Deney H15	550	92,5	509			7,5	41	1,4	462	308	1,25	6,87	0,36	198	
Deney H16	550	92,5	509			7,5	41	1,4	462	308	1,25	6,87	0,36	198	
Deney H17	550	92,5	509			7,5	41	1,4	462	308	1,25	6,87	0,36	198	

Tablo A.4. HARÇ DENEYLERİ REOLOJİK ÖLÇÜM DENEY LİSTESİ

Çimento : Nuh PÇ 42,5
 Uçucu KÜ/Bağlayıcı : Orhanell % 0-20-27,5-35-42,5
 Mikrosilika/Bağlayıcı : % 0-5-10
 Süperakışkanlaştırıcı : Viscocrete 1=%1,25

Karıştırma : 1. Karışım Makine ile
 : 2. Karışım Elle
 Ölçüm Zamanları : 06-30-60-90-120'inci dakikalar
 Ölçüm Devirleri : 10-30-50-70-90-110-130-150

DENEY ADI	Çimento										Kum(K)				Akışkanlaştırıcı Katkı		
	Nuh PÇ 42,5		Uçucu Kül		Mikrosilika		K/Binder oranı	Kum1		Kum2 40%	Viscocrete 1		S=Su+SA	gr			
	Doz	%	gr	%	gr	%		gr	60%		40%	%			gr		
Deney H18	550	80	440	20	110	1,5	495	330	1,25	6,87	0,32	176					
Deney H19	550	80	440	20	110	1,5	495	330	1,25	6,87	0,34	187					
Deney H20	550	80	440	20	110	1,3	429	286	1,25	6,87	0,32	176					
Deney H21	550	80	440	20	110	1,3	429	286	1,25	6,87	0,34	187					
Deney H22	550	65	358	35	192	1,5	495	330	1,25	6,87	0,32	176					
Deney H23	550	65	358	35	192	1,5	495	330	1,25	6,87	0,34	187					
Deney H24	550	65	358	35	192	1,3	429	286	1,25	6,87	0,32	176					
Deney H25	550	65	358	35	192	1,3	429	286	1,25	6,87	0,34	187					
Deney H26	550	72,5	399	27,5	151	1,4	462	308	1,25	6,87	0,31	170,5					
Deney H27	550	72,5	399	27,5	151	1,4	462	308	1,25	6,87	0,35	192,5					
Deney H28	550	72,5	399	27,5	151	1,6	528	352	1,25	6,87	0,33	181,5					
Deney H29	550	72,5	399	27,5	151	1,2	396	264	1,25	6,87	0,33	181,5					
Deney H30	550	100	550	0	0	1,4	462	308	1,25	6,87	0,33	181,5					
Deney H31	550	57,5	316	42,5	234	1,4	462	308	1,25	6,87	0,33	181,5					
Deney H32	550	72,5	399	27,5	151	1,4	462	308	1,25	6,87	0,33	181,5					
Deney H33	550	72,5	399	27,5	151	1,4	462	308	1,25	6,87	0,33	181,5					
Deney H34	550	72,5	399	27,5	151	1,4	462	308	1,25	6,87	0,33	181,5					

Tablo A.5. Çimento Hamuru 1 (ÇH1) Deneyi Viskozimetre Değer Okumaları

DENEY ADI	Nuh PÇ 42,5		Bağlayıcı		Aksüanleştirici Katı		Su			
	%	gr	Uçucu Kül	Mikrosilika		Viscocrete 1		w+s+e.katrı		
				%	gr	%	gr			
Deney ÇH1	100	1000	-	-	-	1	10	0,26	260	
Okunan kayma gerilmesi değerleri										
zaman	6Dak		30 Dak		60Dak		90Dak		120Dak	
	ileri oku.	geri oku.	ileri oku.	geri oku.	ileri oku.	geri oku.	ileri oku.	geri oku.	ileri oku.	geri oku.
sıcaklık	24,5		22,9		21,6		21,4			
	ileri oku.	geri oku.	ileri oku.	geri oku.	ileri oku.	geri oku.	ileri oku.	geri oku.	ileri oku.	geri oku.
dönme hızı	min									
	max									
10	min	17,8	8,74	29,6	11,5	36,7	16,1	53,6	27	
	max	19,4	9,26	35,1	12,5	45,2	17,1	67,9	27,8	
30	min	28,8	17	41,9	21,8	49,1	28,1	66,7	46,8	
	max	37,2	17,7	49,7	22,8	56,1	28,7	75,3	47	
50	min	38,6	26,8	51,9	34,1	58,8	42,2	81	72	
	max	42,8	27,7	59,1	35,3	66,5	42,9	88,7	73,4	
70	min	50,1	37	64,5	49	71,9	57,6			
	max	52,7	38,5	67,9	49,4	75,6	58,1			
90	min	61,7	48,9	75,2	64,4	83,5	76,6			
	max	64,5	50,1	80,2	66	89,1	77,6			
110	min	70,3	63,3	85,9	82,9					
	max	73,3	64,3	90,1	84,2					
130	min	78,6	78,6							
	max	82,4	82,4							
150	min	80,5	80,5							
	max	80,5	80,5							
6Dak	ileri oku.	geri oku.								
	ort.	ort.								
30Dak	ileri oku.	geri oku.								
	ort.	ort.								
60Dak	ileri oku.	geri oku.								
	ort.	ort.								
90Dak	ileri oku.	geri oku.								
	ort.	ort.								
120Dak	ileri oku.	geri oku.								
	ort.	ort.								

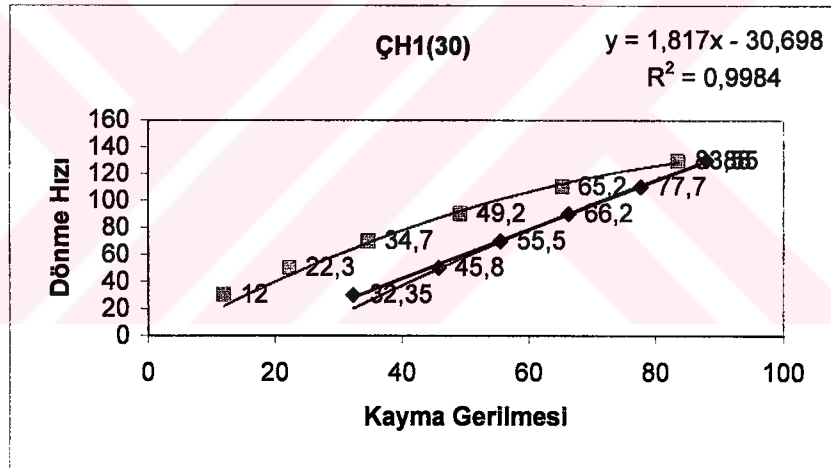
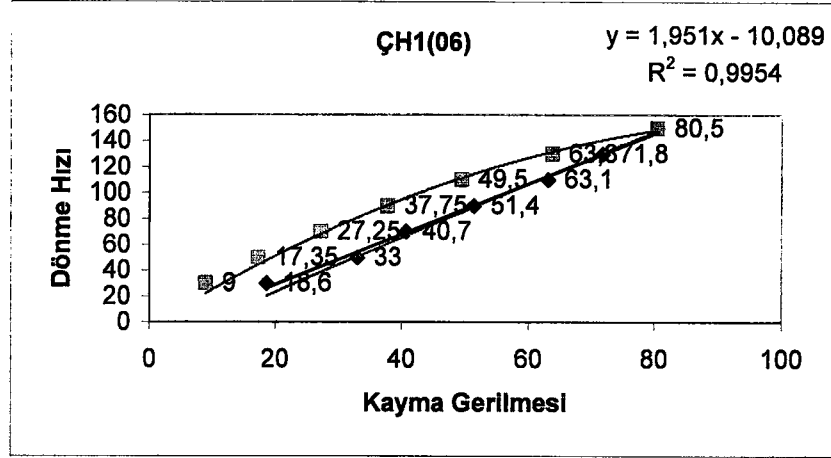
**Tablo A.6. Çimento Hamuru Deneyleri Yayılma Sonuçları:
10 cm yayılma çapına ulaşma süreleri:
Mini Slump Deneyi Değerleri**

		6.dak	30.dak	60.dak	90.dak	120.dak
Deney ÇH1	10 cm ulaşma	1,5	4	6,1		
	Nihai yayılma(mm)	137	110			
Deney ÇH2	10 cm ulaşma	1,4	3,5	3,7	4,5	7,1
	Nihai yayılma(mm)	172	169	154	137	122
Deney ÇH3	10 cm ulaşma	2,2	2,52	2,77	3,04	3,45
	Nihai yayılma	181	175	169	166	165
Deney ÇH4	10 cm ulaşma	1,89	2,2	2,35	2,38	2,63
	Nihai yayılma	159	156	153	155	152
Deney ÇH5	10 cm ulaşma	0,9	0,95	1,4	1,45	1,5
	Nihai yayılma	183	183	178	177	177
Deney ÇH6	10 cm ulaşma	1,04	1,51	1,54	1,6	1,7
	Nihai yayılma	179	180	181	177	179
Deney ÇH7	10 cm ulaşma	0,88	1,05	1,39	1,51	1,71
	Nihai yayılma	192	187	183	182	178
Deney ÇH8	10 cm ulaşma	1,44	1,54	1,7	1,87	1,9
	Nihai yayılma	179	179	168	168	164
Deney ÇH9	10 cm ulaşma	1,32	1,35	1,38	1,46	1,51
	Nihai yayılma	179	175	172	173	171
Deney ÇH10	10 cm ulaşma					
	Nihai yayılma	80	61			
Deney ÇH11	10 cm ulaşma					
	Nihai yayılma					
Deney ÇH12	10 cm ulaşma	2,18	2,32	2,84	3,02	4,4
	Nihai yayılma	133	133	132	132	131
Deney ÇH13	10 cm ulaşma					
	Nihai yayılma					
Deney ÇH14	10 cm ulaşma	1,11	1,21	1,29	1,27	1,67
	Nihai yayılma	181	177	168	167	165
Deney ÇH15	10 cm ulaşma	1	1,52	1,57	1,62	1,66
	Nihai yayılma	182	174	171	170	170
Deney ÇH16	10 cm ulaşma	0,93	1,31	1,32	1,41	1,41
	Nihai yayılma	170	168	168	168	168
Deney ÇH17	10 cm ulaşma	0,72	0,89	1	1,05	1,05
	Nihai yayılma	188	184	175	172	171
Deney ÇH18	10 cm ulaşma	0,94	1,02	1,25	1,31	1,41
	Nihai yayılma	189	186	186	186	186
Deney ÇH19	10 cm ulaşma	0,79	1,01	0,96	1	1,04
	Nihai yayılma	195	194	194	195	194
Deney ÇH20	10 cm ulaşma	4,82	5,39			
	Nihai yayılma	109	106			
Deney ÇH21	10cm ulaşma					
	Nihai yayılma					
Deney ÇH22	10 cm ulaşma	1,61	1,71	1,95	2,31	2,96
	Nihai yayılma	136	134	133	129	128
Deney ÇH23	10 cm ulaşma	4,2	7,97	7,9	9,13	
	Nihai yayılma	105	103	103	100	
Deney ÇHK1	10 cm ulaşma	1,52	2,65	3,25	3,3	3,38
	Nihai yayılma	170	168	164	161	156
Deney ÇHK2	10 cm ulaşma	1,07	1,1	1,13	1,15	1,2
	Nihai yayılma	202	197	192	191	183

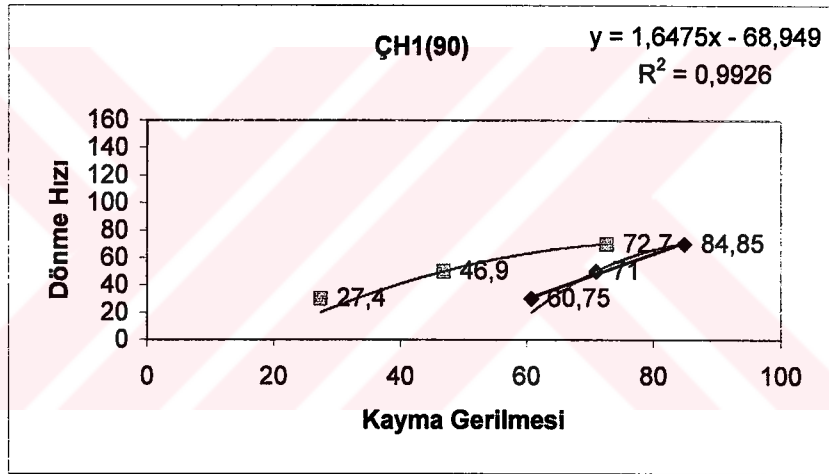
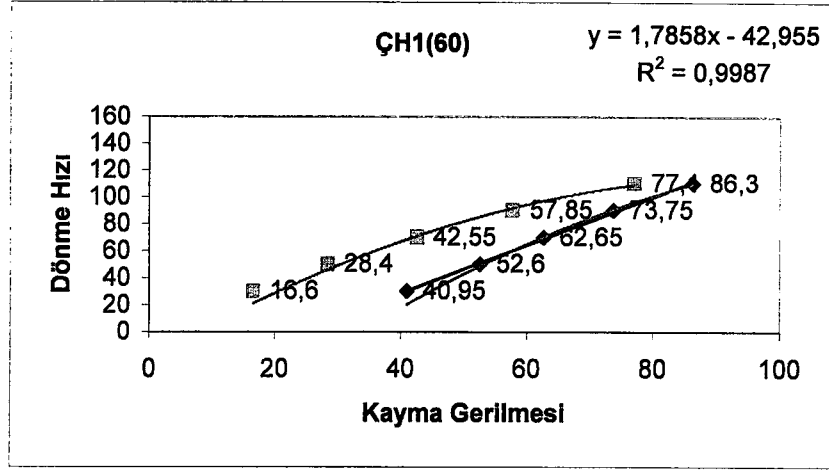
Deney ÇHK3	10 cm ulaşma	1,43	1,91	2,61	3,52	4,39
	Nihai yayılma	179	167	150	130	115
Deney ÇHK4	10 cm ulaşma	1,45	1,46	1,7	1,8	1,85
	Nihai yayılma	186	184	176	175	173
Deney ÇHK5	10 cm ulaşma	2,71	3,6	3,84	4,2	5,72
	Nihai yayılma	158	151	150	148	145
Deney ÇHK6	10 cm ulaşma	0,97	1,1	1,14	1,15	1,17
	Nihai yayılma	198	196	195	193	189
Deney ÇHK8	10 cm ulaşma	2,42	3,14	3,34	5,17	6,17
	Nihai yayılma	117	116	116	105	104
Deney ÇHK10	10 cm ulaşma	2,29	2,85	3	3,51	4
	Nihai yayılma	128	126	126	125	120

Tablo A.7. Harç Deneyleri Yayılma Miktarları

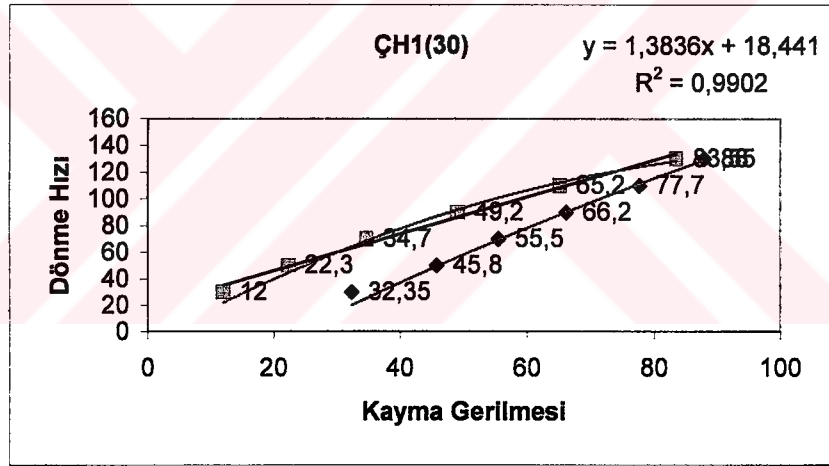
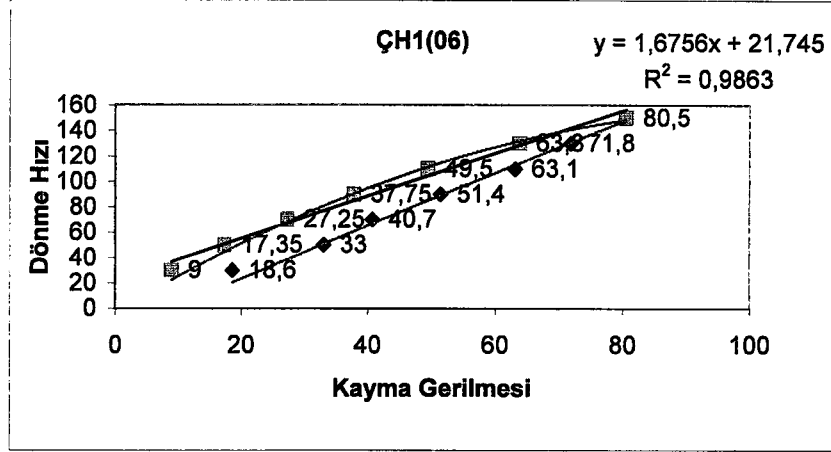
	6dak	30dak	60dak	90dak	120dak
Deney H1	298	286	270	264	244
Deney H2	278	275	270	268	265
Deney H3	272	265	258	240	223
Deney H4	309	304	300	294	288
Deney H5	233	221	210	194	178
Deney H6	201	195	179	165	140
Deney H7	212	202	192	172	155
Deney H8	229	219	212	206	194
Deney H9	219	216	211	201	180
Deney H10	274	272	268	250	240
Deney H11	235	220	205	174	148
Deney H12	276	275	270	267	258
Deney H13	342	328	318	315	304
Deney H14	194	179	171	157	139
Deney H15	211	200	186	173	155
Deney H16	217	208	193	174	157
Deney H17	233	222	212	200	190
Deney H18	310	300	295	290	285
Deney H19	325	317	317	310	300
Deney H20	332	330	320	313	312
Deney H21	342	340	335	330	328
Deney H22	340	335	332	325	315
Deney H23	353	340	335	327	320
Deney H24	352	351	345	343	338
Deney H25	360	360	358	359	357
Deney H26	330	321	312	310	297
Deney H27	347	345	345	336	335
Deney H28	322	316	312	312	397
Deney H29	355	352	350	348	349
Deney H30	325	312	308	300	286
Deney H31	350	347	345	352	340
Deney H32	342	335	325	318	320
Deney H33	341	332	330	325	313
Deney H34	340	333	326	320	315



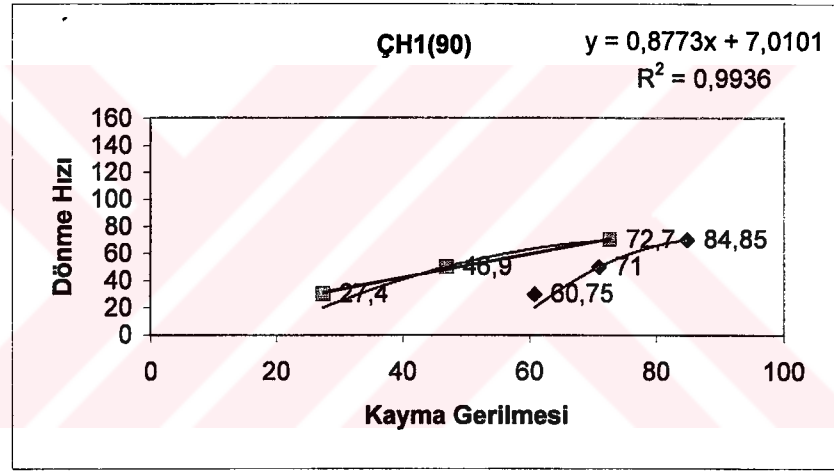
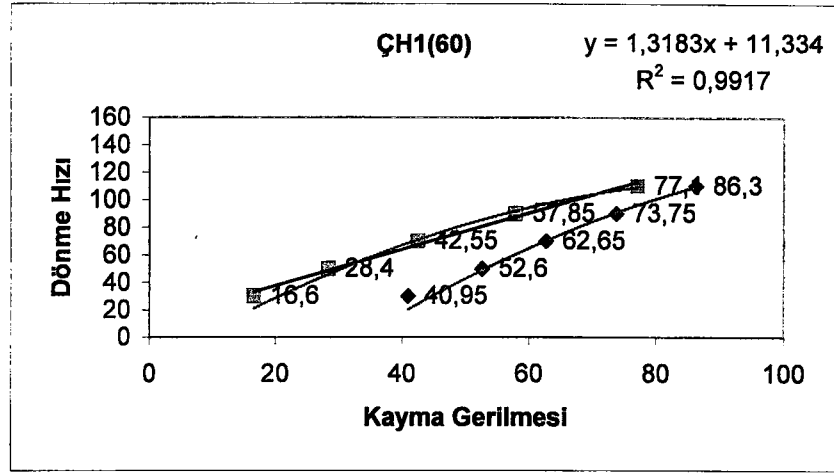
Şekil A.1.1 İleri okuma eğrileri



Şekil A.1.2 İleri okuma eğrileri



Şekil A.2.1 Geri okuma eğrileri



Şekil A.2.1 Geri okuma eğrileri

ÖZGEÇMİŞ

Fethi İŞSEVER 1975 yılında Elazığ'da doğdu. İlköğrenimini Atatürk İlkokulunda, ortaokul öğrenimini Elazığ Anadolu Lisesinde, lise öğrenimini Malatya Fen Lisesinde tamamladı. 1994 yılında öğrenimine başladığı İTÜ İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliğinden 1998 yılında mezun oldu. Aynı yıl yüksek lisans öğrenimine başladı. Yüksek lisans öğrenimiyle birlikte 1998 yılında Samsun-Sakarlı İçme Suyu Arıtma Tesisi İnşaatında, 2000 yılında Alsim-Alarko İzmit Atıksu Arıtma Tesisi İnşaatında çalıştı. Haziran 2000 yılından itibaren DSİ Edirne XI. Bölge Müdürlüğü'ne bağlı İpsala 114. Şube Müdürlüğünde kontrol mühendisi olarak görev yapmaktadır.

