

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONUN
REOLOJİK ÖZELLİKLERİNE BİLEŞİM
PARAMETRELERİNİN ETKİSİ**

139097

**DOKTORA TEZİ
Y. Müh. Ali Raif SAĞLAM**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

ARALIK 2003

**KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONUN REOLOJİK
ÖZELLİKLERİNE BİLEŞİM PARAMETRELERİNİN
ETKİSİ**

139091
DOKTORA TEZİ
Y. Müh. Ali Raif SAĞLAM
(501952012)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 3 Mayıs 2003
Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Aralık 2003

Tez Danışmanı :

Prof.Dr. M. Hulusi ÖZKUL

Diğer Jüri Üyeleri

Prof.Dr. Mehmet UYAN (İ.T.Ü.)

Prof.Dr. M.Ali TAŞDEMİR (İ.T.Ü.)

Prof.Dr. Abdurrahman GÜNER (T.Ü.)

Prof.Dr. Turan ÖZTURAN (B.Ü.)

ARALIK 2003

ÖNSÖZ

Gerek yüksek lisans gerekse doktora öğrenimim sırasında bana rehberlik eden, tez çalışmasının her aşamasında yakın ilgisini, yardımını ve zamanını esirgemeyen değerli hocam Sn. Prof. Dr. Hulusi ÖZKUL' a mesleki anlamda gelişmeye olanak sağladığı için teşekkür ederim.

Araştırma sırasında kullanılan malzemelerin sağlanması ve çalışmanın deneysel kısmının hayata geçirilmesi büyük ölçüde Sika Yapı Kimyasalları A.Ş. olanakları ile gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar imkanlarını sağladığı ve çeşitli vesilelerle destek olduğu için Sika Yapı Kimyasalları A.Ş. genel müdürü Sn. İnş.Yük.Müh. Murat BELEN'e, deneylerin yapılmasında emek ve destekleri ile yanımda olan, değişik projelerde birlikte bir çok konuyu araştırmanın ve öğrenmenin hazzını paylaştığımız çalışma arkadaşlarım Sn. Gürkan ÖZGÜN, Erol KANTOS, Bayram ÇOLAK, Kemalettin BİRCAN'a, uzun yıllar birlikte çalıştığımız ve kendini geliştirmeyi ortak hedef seçtiğimiz arkadaşım Sn. Kimya Müh. Nazmiye PARLAK'a ve çeşitli aşamalarda bize destek olan Sn. Sunay GÜZEL 'e ve Sn. Koray ÖZDER'e teşekkür ederim.

Aynı zamanda bir TÜBİTAK projesi olan çalışmanın hayata geçirilmesindeki katkılarından dolayı TÜBİTAK-İNTAG Grup Üyelerine ve Yürütme Komitesi Sekreteri Sn. Y. Müh. M. Ender Arkun'a ve proje kapsamında yürütülen çalışmalar sırasında yaptığı yönlendirmeler ve değerli katkıları nedeni ile Sayın Prof. Dr. M. Süheyl Akman' a içten teşekkürlerimi sunarım.

Sayın Kimya Müh. Murat Yeniyurt şahsında, geliştirilen beton viskozimetre aletinin yapımını gerçekleştiren Yeniyurt Makine Dişli San. Ve Tic. Ltd. Şti çalışanlarına emeklerinden dolayı teşekkür ederim.

İstatistik değerlendirmelerdeki katkılarından dolayı Marmara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi öğretim üyesi Sn. Prof. Dr. Murat Türkoğlu ve A.B.D. Missouri Üniversitesi'nden Araş. Gör. Mahmut Ekenel'e teşekkür ederim.

Çalışmanın çeşitli aşamalarında bilgi ve emekleri ile katkıda bulunan sevgili dostum, kardeşim ve meslektaşım Sn. Araş.Gör. Anıl DOĞAN'a ve desteklerinden dolayı Sn. Araş.Gör. Dr. Hakan ATAHAHAN'a teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında kendilerini ihmal ettiğim canım eşim, yol arkadaşım Selma SAĞLAM'a ve oğluma, öğrenim hayatım boyunca maddi, manevi varlıkları ile daima yanımda olan annem ve rahmetli babama teşekkür ederim.

NİSAN 2003

Ali Raif SAĞLAM

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
2. TAZE BETONUN REOLOJİSİ	4
2.1 Temel Reolojik Özellikler	4
2.1.1. Newton Akışı	4
2.1.2. Newtonien olmayan sıvılar ve katı süspansiyonlar	9
2.1.2.1. Non Newtonien ve zamana bağlı olmayan sıvılar	9
2.1.2.2. Newtonien olmayan zamana bağlı sıvılar	10
2.1.2.3. Katı Süspansiyonlar	11
2.2 Taze Beton Reolojisi	13
2.2.1 İşlenebilmenin reolojik sabitlerle tanımlanması	15
2.2.2 Reolojik sabitlerin taze beton ve harçlarda ölçülmesi	16
2.3 İşlenebilme	16
2.3.1 Taze betonun işlenebilirliğine kimyasal katkıların etkileri	18
2.3.2 Taze betonun işlenebilirliğine mineral katkıların etkileri	22
3. KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARIN ÖZELLİKLERİ	24
3.1. Giriş	24
3.2 KYB'ların Taze Haldeki Özellikleri	25
3.2.1 KYB'nun reolojisi	25
3.2.2. İşlenebilme	26
3.2.2.1. Doldurma yeteneği	26
3.2.2.2. Ayrışmaya direnç	29
3.2.2.3. Nüfuz etme – engellerin arasından geçme yeteneği	30
3.3 KYB Bileşenlerinin Belirlenmesinde Önemli Parametreler	32
3.3.1. KYB'larda süperakışkanlaştırıcı (SA) seçimi	32
3.3.2 Viskozite artırıcı katkıların (VAK) kendiliğinden sıkışabilirliğe etkisi	33
4. BETONDA İŞLENEBİLME ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ	35
4.1. Normal Betonlarda Uygulanan Yöntemler	35
4.1.1 Çökme (Slump) deneyi	35
4.1.2. Sarsma tablası (Flow Table) deneyi	37

4.1.3. Biçim değiştirme (Remoulding) deneyi	38
4.1.4. Vebe deneyi	38
4.1.5. K Çökme deneyi	38
4.1.6. Sıkışma faktörü (Compacting Factor) deneyi	39
4.1.7. Batırma direnci (Kelly Ball Penetrasyon) deneyi	41
4.1.8. Walz deneyi	42
4.2. Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Uygulanan Deney Yöntemleri	42
4.2.1 U Şekilli ve Kutu U tipi deney aletleri	42
4.2.2. L Şekilli deney aleti	44
4.2.3. Japon çökme yayılma deneyi	46
4.2.4. Donatılı yayılma deneyi	48
4.3. İki Nokta Deney Aletleri (Beton Viskozimetresi)	49
4.3.1. İki nokta deney aletinin modifikasyonları	52
4.4. Mevcut Deney Yöntemlerinin Değerlendirilmesi ve Sonuçlar	54
5.DENEYSEL ÇALIŞMA	56
5.1. Deney Programının İstatistiksel Tasarımı ve Sonuçların İstatistiksel Değerlendirilmesinde Uygulanan Yaklaşım	56
5.1.1 Deney Tasarımı	56
5.1.2. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	59
5.2. Deneylerde Kullanılan Karışımlar ve Deney Serilerinin Belirlenmesi	60
5.3. Deneylerde Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	65
5.3.1. Çimento ve Mineral Katkılar	65
5.3.2. Kimyasal Katkılar	68
5.3.3. Agregalar	69
5.4. Yapılan Deneylerde Kullanılan Aletler ve Deney Yöntemleri	69
5.4.1. Çimento Pastası Deneyleri	70
5.4.2. Harç Deneyleri	74
5.4.3. Beton Deneyleri	75
5.4.3.1 Beton Viskozimetresinin Geliştirilmesi	78
5.3.3.2. Deney Aletinin Kullanımı ve Deneyin Yapılması	82
6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	84
6.1. Sonuçların Değerlendirmesinde Kullanılan Programda Yapılan Kabuller	84
6.2. İstatistik Programında Yapılan Analiz Sonuçları	86
6.2.1. Çimento hamurunda yapılan deneylerin sonuçları	88
6.2.2. Harçlarda yapılan deneylerin sonuçları	89
6.2.3. Beton deney sonuçları	94
6.3. Toplam yayılmanın zaman ve karışımlara bağlı olarak değişmesi	95
7. SONUÇLAR	99
7.1. Çimento Hamuru Harç ve Beton Deneyleri	99
7.2. Çimento Hamuru Deneyleri	99
7.3. Harç Deneyleri	102
7.3.1 Harç Deneylerinde Çimento Cinsinin Etkisi	104
7.3.2 Harç Deneylerinde Katkı Cinsinin Etkisi	104
7.4. Beton Deneyleri	108

8. KAYNAKLAR

110

9. EKLER

114



KISALTMALAR

KYB	: Kendiliğinden Yerleşen Beton
SA	: Süperakışkanlaştırıcı
VAK	: Viskozite Artırıcı Katkı
YFC	: Yüksek fırın cürufu
UK	: Uçucu kül
SD	: Silis dumanı
SNF	: Sülfone naftalen formaldehit kondansesi
SMF	: Sülfone melamin formaldehit kondansesi
DLVO	: Derjaguin, Landau, Verweck, Overbeck
PC	: Polikarboksilat
JSCE	: Japanese Society of Civil Engineering



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 4.1. Bazı Standart Beton Deneylerinin Kullanıldıkları Aralık ve Geçerli Olduğu Beton Tipleri	54
Tablo 4.2. Ritchie' nin Deney Sonuçları	55
Tablo 5.1. 2 ³ Faktöriyel Deney Tasarımı.....	58
Tablo 5.2. Yıldız Gösterimi Tasarımı.....	59
Tablo 5.3. Deney Serilerinde Kullanılan Malzemeler Ve Deney Serilerinin Kodları.....	61
Tablo 5.4. Genelde Betonlarda Kullanılan Mineral Katkı Miktarları	62
Tablo 5.5. Çimento Pastası Deney Serileri	65
Tablo 5.6. Deneylerde Kullanılan Çimentoların Kimyasal, Fiziksel ve Mekanik Özellikleri.....	66
Tablo 5.7. Kullanılan Katkıların Kimyasal Özellikleri.....	69
Tablo 5.8. Kullanılan Agregaların Özellikleri.....	69
Tablo 5.9. Çimento Pastası ve Harç Karışımlarının Üretim Aşamaları.....	70
Tablo 5.10. Beton Karışımlarının Üretim Aşamaları	77
Tablo 5.11. Beton Viskozimetresinin Devir Kalibrasyonu.....	81
Tablo 5.12. Beton Viskozimetresinin Tork Kalibrasyonu.....	82
Tablo 6.1. Çimento Hamuru, Harç ve Beton Deneylerindeki Değişkenler.....	84
Tablo 6.2. Çimento Hamuru Deneylerinde Ölçülen Değerler.....	85
Tablo 6.3. Harç Deneylerinde Ölçülen Değerler.....	85
Tablo 6.4. Beton Deneylerinde Ölçülen Değerler.....	85
Tablo 6.5. Beton Deneylerinde Çökme Değeri Kabulleri.....	86
Tablo 6.6. Çimento Hamurlarında Yapılan Deneylerde Dönüş Eğrisi Kullanılarak Yapılan İstatistiksel Değerlendirme Sonuçları.....	87

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : A alanı üzerine etkiyen P kayma kuvveti ve kayma deformasyonu	5
Şekil 2.2 : İdeal elastik katılarda G kayma modülü	5
Şekil 2.3 : Laminer viskoz akış.....	6
Şekil 2.4 : Newton sıvısının viskoz akışı	8
Şekil 2.5 : Newtonien olmayan değişik tiplerdeki sıvıların kayma gerilmesi ve kayma hızları arasındaki ilişkiler	9
Şekil 2.6 : Tikotropik sıvıların akış eğrileri	11
Şekil 2.7 : Boru içinde akan ideal Newtonien ve Bingham sıvılarının gerilme dağılımı.....	12
Şekil 2.8 : Bingham Sıvısı	15
Şekil 2.9 : Doğrusal hale getirilmiş Bingham cismi	15
Şekil 2.10: Kimyasal katkılarda elektriksel etkinin şematik gösterilimi.....	19
Şekil 2.11: Kimyasal katkılarda sterik etkinin şematik gösterilimi	20
Şekil 3.1 : Tıkanmanın Mekanizması	31
Şekil 4.1 : Çökme Deneyi	36
Şekil 4.2 : Sarsma Tablası Deney Aleti	37
Şekil 4.3 : Vebe Deney Aleti	39
Şekil 4.4 : K Slump Aleti	40
Şekil 4.5 : Sıkışma Faktörü Deney Aleti	41
Şekil 4.6 : Batırma Direnci Deney Aleti	42
Şekil 4.7 : U Şekilli Deney Aleti	44
Şekil 4.8 : Kutu Tipi Deney Aleti	44
Şekil 4.9 : L Şekilli Deney Aletinin Temel Gösterilimi	46
Şekil 4.10: Çökme Yayılma Deney Aleti	47
Şekil 4.11: Donatılı Yayılma Deney Aleti.....	49
Şekil 4.12: İki Nokta İşlenebilme Deney Aletinin Şematik Olarak Gösterilimi....	52
Şekil 5.1 : Değişken A (Faktör 2^3) Faktoriyel Gösterimi.....	57
Şekil 5.2 : Yıldız Gösterimi.....	58
Şekil 5.3 : Orhaneli ve Tunçbilek U. K ve Silis Dumanının SEM fotoğrafları.....	68
Şekil 5.4 : Mettler RM 180 Rheomat Viskozimetre Deney Aleti.....	72
Şekil 5.5 : Mettler RM 180 Rheomat Viskozimetre Deney Aleti Parçaları.....	73
Şekil 5.6 : Kantro Mini Slump Konisi.....	74
Şekil 5.7 : Harç Deneylerinde Kullanılan Yayılma Konisi.....	75
Şekil 5.8 : Çökme Yayılma (Slump Flow) Deneyinin Yapılması.....	75
Şekil 5.9 : Beton Viskozimetresinin Genel Görünüşü	79
Şekil 5.10 : Beton Viskozimetresi İç Silindir Parçaları ve Dış Silindir.....	79
Şekil 6.1 : Harçlarda Yayılma Alanı Oranlarının Bileşime Bağlı Değişimi Üzerine Çimento Cinsinin Etkisi.....	91
Şekil 6.2 : N Çimentosu ile Yapılan Harçlarda Bileşenlerin Yayılma Alanı Oranına Etkisi	92

Şekil 6.3 : Çimento Hamuru, Harç, Beton Deneylerinde Yayılma Alanının Zamana bağlı değişimi	97
Şekil 6.4 : Çimento Hamuru, Harç, Beton Deneylerinde Yayılma Alanlarının her deney grubunda zamana bağlı değişimi.....	98
Şekil 7.1 : Su/Bağlayıcı Oranının Çimento Hamuru, Harç ve Betonlar Üzerine Etkisi.....	100
Şekil 7.2 : Çimento Hamurlarında Viskozite ve Kayma Eşiğinin YAO ile Değişimi.....	101
Şekil 7.3 : Harçlarda Viskozite ve Kayma Eşiğinin YAO ile Değişimi	103
Şekil 7.4 : Harçlarda A ve N Çimentoları için Viskozite ve Kayma Eşiğinin YAO ile Değişimi	105
Şekil 7.5 : Harçlarda Viscocrete I ve II için Viskozite ve Kayma Eşiğinin YAO ile Değişimi	106
Şekil 7.6 : Çimento Hamuru ve Harçlarda için Viskozite ve Kayma Eşiğinin YAO ile Değişimi.....	107
Şekil 7.7 : Beton Deneylerinde Viskozite ve Kayma Eşiğinin YAO ile Değişimi ..	109



SEMBOL LİSTESİ

A	: Sıvının kıvamına bağlı katsayı
B	: Bağlayıcı
C_v	: Taneciklerin hacimsel oranı
C₃A	: Tri kalsiyum alüminat
C₄AF	: Tetra kalsiyum alümina ferit
C₃S	: Tri kalsiyum silikat
C₂S	: Di kalsiyum silikat
dy/dτ	: Kayma deformasyon hızı
dev	: Devir
e	: Mesafe
F	: Alan
φ	: Donatı çapı
g	: Kayma eşiğine bağlı bir katsayı
G	: Kayma modülü
γ	: Kayma şekil değiştirmesi
h	: Yükseklik
h	: Plastik viskoziteye bağlı bir katsayı
η	: Viskozite katsayısı
η_{pl}	: Plastik viskozite
η_s	: Süspansiyonun viskozitesi
η_o	: Ortamın viskozitesi
MA	: Mineral Katkı
n	: Akış indeksi
N	: Newton
N	: Dönme hızı
P	: Kayma kuvveti
Pa	: Paskal
S	: Kum
S	: Çökme miktarı
s	: Saniye
SP	: Kimyasal katkı
T	: Tork
τ	: Kayma gerilmesi
τ_o	: Kayma eşiği
v	: Akış hızı
W	: Su

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONUN REOLOJİK ÖZELLİKLERİNE BİLEŞİM PARAMETRELERİNİN ETKİSİ

ÖZET

Betonlardan, en genel anlamda beklenen üç ana nitelik ; dayanım, işlenebilme ve dayanıklılıktır. Bu özellikleri sağlayan beton üretimini gerçekleştirmek için, beton bileşenlerinin analiz edilerek karışım bilgilerinin oluşturulması, betonun üretilmesi, taşınması, yerine yerleştirilmesi ve bakımı gibi bir çok aşamanın tam anlamı ile başarılmasını gerektirir.

Beton teknolojisinde çeşitli mineral ve kimyasal katkıların kullanılmaya başlanması ile dayanım ve dayanıklılıktan taviz verilmeksizin işlenebilir beton üretimi mümkün olmuştur. Özellikle yakın zamanlarda, geniş açıklıklı ve öngermeli beton köprüleri, yüksek açık deniz petrol platformları, yüksek çok katlı binalar gibi bir çok beton yapının inşaatı ve bu faaliyetlerde kullanmaya dönük olarak pek çok yeni beton tipi gündeme gelmiştir. Su altında beton dökümü amacı ile yapılan çalışmalarda yola çıkılarak ilk olarak 1980'li yıllarda Japonya'da geliştirilen kendiliğinden yerleşen beton (Self Compacting Concrete), (KYB), yoğun donatılı ve dar kesitlere, homojenliğini koruyarak (ayrışmaksızın) kendi ağırlığı ile yayılabilen yüksek akıcılıktaki betonlara denilmektedir.

KYB' nin gerek bileşenlerinin seçimi gerekse karışımının belirlenmesi klasik betonlara göre daha fazla deneyim ve birikim gerektirmektedir. Yeni bir teknoloji gerektirmesi, kullanılan malzemelerin maliyeti nedeni ile KYB' nun kullanımı henüz çok yaygın değildir. Ancak yapı teknolojisindeki gelişmeler doğrultusunda, betondan beklentilerin artması ile kullanımının yaygınlaşacağı tahmin edilmektedir.

KYB'larda akıcılık, betonun su miktarını arttırmaksızın süperakışkanlaştırıcı (SA) katkıları kullanılarak sağlanır. Betonun yeterli ayrışma direncine sahip (veya homojen) olması ise viskozite düzenleyici katkı kullanılması veya karışımında kullanılan çimento veya mineral katkı (silis dumanı, uçucu kül, yüksek fırın cürufu, toz kalker vb) miktarının artırılması, böylelikle su/çimento oranının azaltılması yolu ile sağlanır. Ayrışma direncinin artırılması için bazen, bahsedilen her iki yöntemde kullanılabilir.

İşlenebilirlik, betonun karıştırma ve yerleştirme işleminin minimum enerji ile ve homojenliğini yitirmeden, ayrışmadan yapılması ve kalıbını boşluksuz doldurabilmesi ile ilgili bir taze beton özelliğidir . Taze betonun işlenebilmesini ölçmek amacı ile geliştirilmiş çok sayıda araç ve yöntem vardır. Günümüzde taze betonlar için kullanılan deneylerde elde edilen ölçüm değerleri taze betonun özelliklerinden sadece biri (kayma eşiği veya viskozite) hakkında yaklaşık bir değerlendirme sağlamaktadır. Beton reolojisinin iki nokta deney aleti ile incelenmesi,

Üretim ncesi daha gerçekçi bir bileşim ve katkı türünün saptanması açısından yararlı bir laboratuvar yöntemidir.

Betonun reolojik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan ilk ve en yaygın deney aleti Tattersal' in 1973 yılında geliştirmiş olduğu iki nokta deney aletidir. Alette testi yapılacak olan beton bir kap içinde bulunur. Karıştırıcı palet dönmeye başladığında, palete karşı malzemenin oluşturduğu dönme momenti (tork) llr. Paletin artan dönme hızları için, dönme momenti ile dönme hızının değişim eğrisi kaydedilir. Elde edilen grafik lineer olduğundan, hızın sıfır olduğu dönme momenti değerinden eik kayma gerilmesi hesaplanır. Eğrinin eğimi viskozite ile ilişkilidir.

Bu çalışmanın amacı faktöriyel analiz yöntemi kullanılarak imento pastası, harç ve beton bileşenlerinin reolojik özelliklere etkilerinin araştırılmasıdır. Su/bağlayıcı, mineral katkı/bağlayıcı, kimyasal katkı/bağlayıcı ve kum/bağlayıcı oranları değişken olarak seçilmiştir. Reolojik parametreler olarak, çökme-yayılma,viskozite (beton için rölatif tork) ve kayma eşiği (beton için rölatif akma tork) değerleri ve bu özelliklerin 90. dakikaya kadar olan değişimleri ölçülmüştür. Uçucu kül ve silis dumanı, normal Portland imentosu ile yer değiştirerek, ince malzeme olarak kullanılmıştır.Deney sonuçlarına göre, sperakıkanlatırıcı katkılı imento pastası ve harç karışımlarının Bingham cismi gibi davranmasına rağmen, beton karışımlarında kayma eşiğinin sıfıra yakın değerler aldığı ve yaklaık olarak Newton cismi gibi davrandığı grlmtr.



EFFECTS OF COMPONENT PARAMETERS ON RHEOLOGICAL PROPERTIES OF SELF COMPACTING CONCRETE

SUMMARY

Strength, workability and durability are the three main properties of concrete. Analyzing the components, preparing the mix proportions, producing, transportation, placement and curing of the concrete are stages that should be properly done.

Producing flowing concrete with high strength and good durability became possible as soon as chemical and mineral admixtures were available. In recent years, there has been increase in the constructions of large concrete structures such as pre-stressed concrete bridges with long spans or high-rise off-shore towers and many new types of concrete have been developed to meet these needs. Research and development of the concrete materials to achieve high quality concrete has already been adopted in practise in Japan in 1980's based on concepts of concrete that can be placed without vibration. Self compacting concrete (SCC) that would not require being vibrated but would consolidate under its own weight is one such new type of concrete.

As SCC needs more experience than conventional concrete because of high cost and need of high technology, it is not widely used. Following progress in construction technology it is expected to become wide spread.

The SCC often incorporate several admixtures, in particular a superplasticizer (SP) and a viscosity modifying admixture (VMA). The SP is used to ensure high fluidity and reduce the water / binder (w/p) ratio. The VMA is incorporated to enhance the yield value and the viscosity of the fluid mix and cause less segregation and reduce bleeding and settlement. Another way to enhance deformability and stability is to increase the volume of the cementitious (silica fume, fly ash, blast furnace slag, limestone powder etc.) paste, thus reducing the relative volume of the aggregate.

Workability is property of concrete that allows for mixing and placement of concrete with little energy without segregation and loss of homogeneity. There are a number of instruments and methods for measuring the workability of fresh concrete. Today we can obtain approximate evaluation about only one of the properties (yield value or viscosity) of fresh concrete by the standardized tests. Investigation of the rheology of concrete with the two point test instrument makes it possible to design and produce more realistic mixtures.

In 1973 Tattersal developed the first and widespread two point test instrument to evaluate the flow properties of fresh concrete. This instrument has a bowl for concrete and a spindle which is immersed into it. When the spindle begins to turn

resistance of the concrete against spindle is measured as torque. A curve between torque and speed of spindle is obtained when the speed of spindle increases step by step. A trend line is drawn and this line is extrapolated to find the threshold value of shear strength. The slope of the trend line is related to viscosity.

A factorial analysis method was applied to investigate the effects of constituent materials on rheological properties in cement paste, mortar and concrete. Water/binder, mineral admixture/total binder, chemical admixture/binder and sand/binder ratios were chosen as variables and slump flow, viscosity (relative torque viscosity for concrete) and yield shear (relative yield torque for concrete) were rheological parameters and their variations by time up to 90 minutes were measured. A fly ash and a silica fume were used as fine materials for partial substitution of the ordinary Portland cement. Test results showed that, although the cement paste and mortar prepared with self-compacting superplasticizer, act as Bingham materials, the yield torque for the concrete approaches to zero indicating an approximately Newtonian material behaviour.



1. GİRİŞ

Beton teknolojisinde çeşitli mineral ve kimyasal katkıların kullanılmaya başlanması ile, dayanım ve dayanıklılıktan taviz verilmeden işlenebilir beton üretimi mümkün olmuştur. Özellikle yakın zamanlarda, geniş açıklıklı ve öngermeli beton köprüleri, açık deniz petrol platformları, çok katlı yüksek binalar gibi bir çok beton yapının inşası ve bu faaliyetlerde kullanıma dönük olarak pek çok yeni beton tipi gündeme gelmiştir. Su altında beton dökümü amacı ile yapılan çalışmalardan yola çıkılarak ilk olarak 1980'li yıllarda Japonya'da Tokyo Üniversitesi'nde geliştirilen kendiliğinden yerleşen beton (Self Compacting Concrete), (KYB), yoğun donatılı ve dar kesitlere, homojenliğini koruyarak (ayrışmaksızın) kendi ağırlığı ile yayılabilen yüksek akıcılıktaki betonlara denilmektedir [1]. Bu tip betonlarda katkı kullanımının bir sonucu olarak, su/bağlayıcı oranının önemli derecede azaltılması, betonun yerleştirilmesi sırasında homojenliğinin korunması ve sertleşmiş betonun dayanım ve dayanıklılığının iyileştirilmesi de sağlanmaktadır. Bu betonlar, vibrasyon kullanılarak üretilen betonların kullanıldığı çoğu yerlerde, gerek prefabrike (hazır) olarak, gerek şantiyede yerinde imal edilebilmektedir.

KYB'nin bileşenlerinin seçimi ve karışımının belirlenmesi, klasik betonlara göre daha fazla deneyim ve birikim gerektirmektedir. Ayrıca betondan beklenen özellikler, üretim sırasındaki çevre koşulları, tartım hataları, malzeme bileşimindeki değişimleri içeren betonun kalite kontrolünden önemli derecede etkilenir. Özellikle kumun yüzey nemindeki düzensiz değişimler, kendiliğinden yerleşebilirliğe dikkate değer şekilde etkiyebilir [2]. Gerek bu yönleri ile yeni bir teknoloji gerektirmesi, gerekse kullanılan malzemelerin maliyeti nedeni ile KYB'nin kullanımı henüz çok yaygın değildir. Ancak yapı teknolojisindeki gelişmeler doğrultusunda, betondan beklentilerin artması ile kullanımının yaygınlaşacağı tahmin edilmektedir.

Bu tip betonlarda akıcılık, betonun su miktarını arttırmaksızın SA katkıları kullanılarak sağlanır. Betonun yeterli ayrışma direncine sahip (veya homojen) olması

ise viskozite arttırıcı katkı kullanılması veya karışımda kullanılan çimento veya mineral katkı (silis dumanı, uçucu kül, yüksek fırın cürufu, toz kalker vb) miktarının arttırılması, böylelikle su/çimento oranının azaltılması yolu ile sağlanır. Ayırışma direncinin arttırılması için bazen bahsedilen her iki yöntem de kullanılabilir.[3]

İşlenebilirlik, betonun karıştırma ve yerleştirme işleminin minimum enerji ile ve homojenliğini yitirmeden, ayırışmadan yapılması ve kalıbını boşluksuz doldurabilmesi ile ilgili bir taze beton özelliğidir [4,5]. Taze betonun işlenebilmesini ölçmek amacı ile geliştirilmiş çok sayıda araç ve yöntem vardır. Buna karşılık bu deneylerin uygulandıkları beton tür ve kıvamları sınırlıdır. Taze betonlar için kullanılan standart deneylerde elde edilen ölçüm değerleri, taze betonun özelliklerinden sadece biri (kayma eşiği veya viskozite) hakkında yaklaşık bir değerlendirme sağlamaktadır. Beton reolojisinin iki nokta deney aleti ile incelenmesi, üretim öncesi daha gerçekçi bir bileşim ve katkı türünün saptanması açısından yararlı bir laboratuvar yöntemidir.

KYB'lerin işlenebilmesinin tespitinde klasik işlenebilme deneyleri yetersiz kalmaktadırlar. Bu nedenle henüz çoğu standartlaşmamış bir çok yeni yöntem önerilmektedir. Bu çalışmada üretilen KYB'ler yeni geliştirilen beton viskozimetresi deney aleti ile denenmişlerdir. KYB'nin kullanımı yaygınlaştıkça yeni deney yöntemlerine daha fazla ihtiyaç duyulacağı ve daha da yeni deney yöntemleri geliştirileceği düşünülmektedir.

Reolojik sabitlerden kayma eşiğini ölçmek için çeşitli dönme hızlarına karşı gelen kayma gerilmelerinin ölçülmesi ve açısal şekil değiştirme hızı ile kayma gerilmesi grafiğinin çizilmesi gerekir. Bu grafiğin çizilebilmesi için en az iki noktaya ihtiyaç olduğundan bu tip araçlara iki nokta işlenebilme test araçları denilmektedir [6].

Betonun akış özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan ilk ve en yaygın deney aleti Tattersal'in 1973 yılında geliştirmiş olduğu iki nokta deney aletidir. Alette denenecek olan beton bir kap içinde bulunur. Karıştırıcı uç dönmeye başladığında, uca karşı malzemenin oluşturduğu ve tork olarak adlandırılan direnç ölçülür. Ucun dönme hızı arttığında tork ile hızın değişim eğrisi kaydedilir. Elde edilen grafiğin lineer olduğu varsayımıyla tork sıfır dönme hızına extrapole edilerek bulunan tork, kap ve ucun

boyutlarından kayma dayanımı veya kayma eşiği adı verilen kayma gerilmesi hesaplanır. Doğrusal dönme hızı tork bağıntısının eğimi viskozite ile ilişkilidir.

Bu çalışmada, son yıllarda beton teknolojisinde bir devrim olarak nitelendirilen ve giderek kullanımının yaygınlaşacağı tahmin edilen kendiliğinden yerleşen betonların reolojik özelliklerine, bileşenlerinin etkisi araştırılmıştır. Bu tür betonların davranışları, diğer betonlar için geliştirilen işlenebilme deney aletleri ile incelenemediğinden, çalışma kapsamında üretilen KYB karışımlarının işlenebilme özelliklerinin tespit edilmesi için, yapımı gerçekleştirilen iki nokta deney aleti kullanılmıştır. Deneylerde kullanılacak bileşen özellikleri ve bunun sonucu olarak ortaya çıkan değişken sayısının fazlalığı nedeni ile deney karışımlarının belirlenmesinde Box-Hunter Yıldız yöntemi temel alınmıştır. Deney sonuçlarının değerlendirilmesi, hazır istatistik paket programı yardımı ile yapılmıştır.

Çalışmanın giriş kısmını takip eden 2. bölümde, temel reolojik özellikler ve taze beton reolojisi hakkında bilgiler derlenmiş ve bu konudaki temel kavramlar ele alınmıştır. 3. Bölümde, KYB'lerin özelliklerine değinilmiş, bu tür betonların bileşenlerinin belirlenmesinde önemli olan etkenler anlatılmıştır. 4. Bölümde, normal ve KYB'lerin işlenebilme özelliklerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan mevcut işlenebilme deney aletleri çeşitli yönleri ile irdelenmiş, iki nokta deney aletinin özelliklerinden bahsedilmiştir. Deneysel çalışmanın anlatıldığı 5.bölümde, deney programının belirlenmesinde seçilen deney tasarım yöntemi, kullanılan deney alet ve metotları ile malzeme özellikleri hakkında bilgi verilmiştir. Bu kısımda ayrıca, yapımı gerçekleştirilen iki nokta test aletinin özellikleri ve yapılan deneyler anlatılmıştır. 6. Bölümde deney sonuçlarının değerlendirilmesinde kullanılan istatistik programından bahsedilmiş ve deney sonuçları değerlendirilmiş, 7.bölümde ise genel bir değerlendirme yapılmıştır.

2 . TAZE BETONUN REOLOJİSİ

2.1. Temel Reolojik Özellikler

Reoloji, maddenin deformasyon ve akış bilimi olarak tanımlanmaktadır [7]. Burada madde, elastik katıdan sıvıya kadar her durumda olabilir. Reoloji, kuvvet, deformasyon ve zaman arasındaki ilişkiyi incelediğinden, sıvı veya katı cisimlerin gerilme şekil değiştirme ilişkilerini zaman değişkenini de dikkate alarak inceleyen bilim dalı olarak tanımlanabilir. Reoloji kelimesi köken olarak, Yunanca her şey akar kelimelerinden gelmektedir [7] .

Bütün betonlar için, çimento, su ve çoğunlukla eş zamanlı olarak agreganın eklenerek karıştırılmasından, ideal katıların kurallarının uygulanabileceği derecede sertleşmesine kadar, birbirine göre daha kısa veya uzun zaman alan bir süreç vardır. Taze beton deyiimi bu süreci ifade etmektedir. Taze beton ve onun temel bileşenlerinden olan çimento pastası (hamuru), pratik reolojinin konusu içindedir.[7]

Bu bölümde, taze beton reolojisi hakkındaki konuları ele almadan önce reolojinin bazı temel kavramlarına değinilecektir.

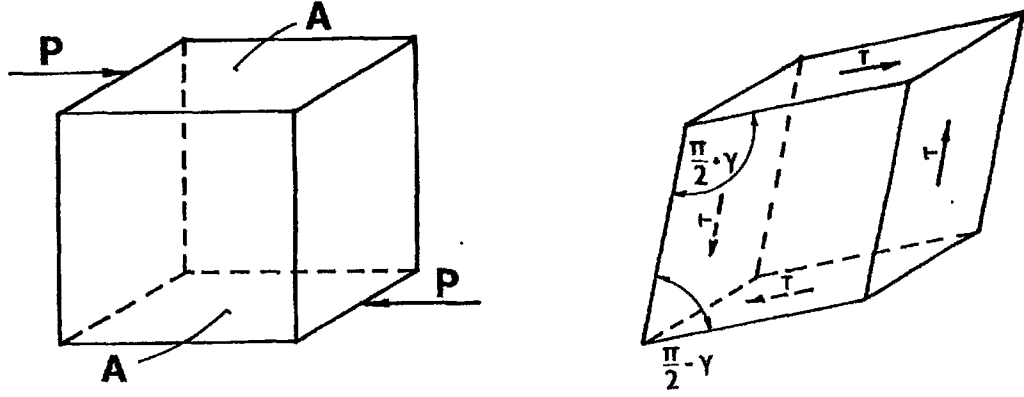
2.1.1. Newton Akışı

İdeal elastik bir katıya yük uygulandığında, deformasyon oluşacaktır. Bu tür bir katı cisim Hooke kanununa uyar: yük tarafından oluşturulan gerilme, gerilme miktarı ile doğru orantılı, malzemenin rijitliği, elastisite modülü ile ters orantılı olarak şekil değiştirme oluşturur. Bu durumda, yükün uygulanması zamanla değişmeyecek ani bir deformasyon oluşturur. Yük kaldırıldığında, deformasyon geri dönecek ve cisim ilk biçimini alacaktır.

Bu ilişki, bir τ kayma gerilmesi, ideal elastik bir katıya etkidiğinde de geçerlidir. Kayma şekil değiştirmesi γ , kayma gerilmesi ile orantılıdır. Orantı

katsayısına ise kayma modülü G denilir (Şekil 2.1). Bu ilişki şu denklemle anlatılır [7].

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

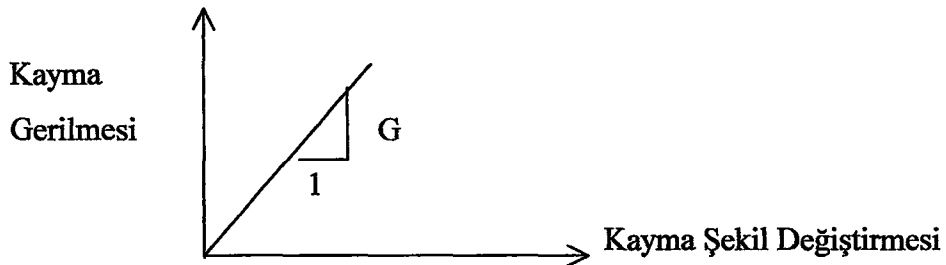


Şekil 2.1 . A alanı üzerine etkiyen P kayma kuvveti ve kayma deformasyonu

Viskoz bir sıvı için ise birim zamandaki şekil değiştirme ($\dot{\gamma} = \frac{\partial \gamma}{\partial t}$), veya şekil değiştirme hızı, τ kayma gerilmesi ile orantılıdır (Şekil 2.2).

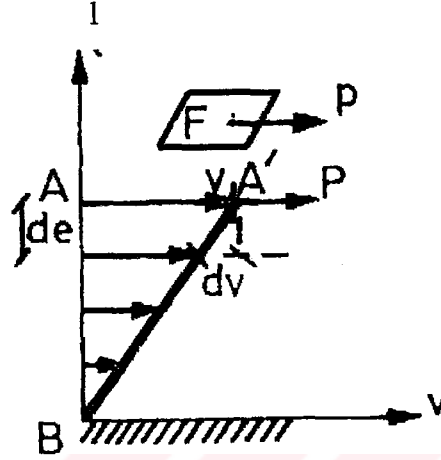
$$\tau = \eta \cdot \left(\frac{\partial \gamma}{\partial t} \right) = \eta \cdot \dot{\gamma} \quad (2.2)$$

Bu durumda, kayma modülü G , viskozite katsayısı η ile yer değiştirilmiştir [7]. Sıvılarda kayma genellikle, biri diğerine göre hareket eden birbirine paralel iki düzlemle temsil edilir.



Şekil 2.2. İdeal Elastik Katılarda G Kayma Modülü

Kayma gerilmesi, ideal Newtonien bir sıvıya etkirse, sıvının deformasyonuna neden olur ve ideal katılardakinden farklı olarak, gerilme uygulandığı sürece sıvı deformasyona devam eder [7]. Deformasyon veya akış hızı, sıvının molekülleri arasındaki aderansın meydana getirdiği ve sıvıya has viskozite özelliğinin bir fonksiyonudur [8].



Şekil 2.3 . Laminer Viskoz Akış [8]

Laminer bir akış halinde, yani sıvı elemanlarının birbirine karışmayan paralel yörüngeler izlemesi halinde, bulunduğumuzu varsayalım. Sıvının yüzey alanı F olan AA' serbest yüzeyine bir P kayma kuvveti uygulandığında, bu kuvvetin etkisi ile sıvının akışı başlar. Akış hızının maksimum değeri A yüzeyinde olur ve A dan uzaklaştıkça azalan bir değişim gösterir. Akış hızı v , sıvının temas ettiği B yüzeyinde hiç hareket olmadığından sıfır değerini alır. (Şekil 2.3) Hızın sıvı molekülünün serbest yüzeye olan e mesafesine göre lineer bir şekilde değiştiği kabul edilirse, hızın değişimi $A'B$ doğrusundan ibaret olur. A noktasından de kadar uzaklaşıldığında hızdaki azalma dv ise birim azalma miktarı dv/de dir. Kuvvet uygulanmadan önce belirli bir düzlemde bulunan sıvı molekülleri kuvvet uygulandıktan sonra aynı düzlemde kalabiliyor ise, bu kuvvet ve dv/de arasında aşağıdaki bağıntı kurulabilir [8].

$$P = F \cdot \eta \cdot (dv/de) \quad (2.3)$$

P/F kayma gerilmesi olduğundan bağıntı aşağıdaki hali alır.

$$\tau = \eta \cdot (dv/de) \quad (2.4)$$

Bu denklemde yer alan ve iki değişken arasındaki oranı gösteren η , o sıvının viskozite katsayısıdır. (2.4) denklemini sağlayan sıvılara Newton sıvısı adı verilir [8].

Hız gradyanı (dv/de), kayma deformasyonunun değişme hızına eşit yazılarak ($dv/de = \dot{\gamma}$), (2.4) numaralı denklem aşağıdaki gibi yazılabilir. [7]

$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma} \quad (2.5)$$

Newton sıvısının laminar akışının temel reolojik karakteristiği olan viskozite katsayısı η , aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir.

$$\eta = \tau / \dot{\gamma} = \text{Kayma Gerilmesi} / \text{Kayma Deformasyon Hızı} \quad (2.6)$$

Bu denklemdeki η 'nın birimi Pa/s^{-1} (Pa.s) dir.

Her sıvının önemli bir karakteristiği olan viskozite katsayısının birimi “Poise” dır. Bir kenarı 1 cm olan ve alt yüzü tespit edilmiş bulunan küp şeklindeki bir eleman ele alındığında, cismin üst yüzeyine 1 dyn’lik bir kuvvet etkilirse, kuvvet etkilenen yüzeydeki moleküller 1 cm/s hızla hareket ediyor ise bu sıvının viskozitesi 1 Poise’dir. Buna göre 1 Poise, $1\text{dyn/cm}^2 \cdot \text{s}$ olur. Bir alt birim olarak suyun oda sıcaklığındaki viskozitesine yaklaşık eşit olan ve Poise’in 1/100 ‘ü mertebesindeki centipoise kullanılır. Viskozite katsayısı ne kadar büyükse, o sıvının akma veya hareket etme kabiliyeti o kadar azdır [8].

$$1\text{Poise} = 1 (\text{dyne} / \text{cm}^2) \cdot \text{s} = (10^{-5} \text{N} / 10^{-4} \text{m}^2) \cdot \text{s} = 0,1 \text{N.m}^{-2} \text{s}$$

$$1\text{Poise} = 0,1 \text{Pa.s} = 1/100 \text{centipoise}$$

$$(1\text{N/m}^2=1\text{Pa ve } 1\text{dyn} = 10^{-5}\text{N})$$

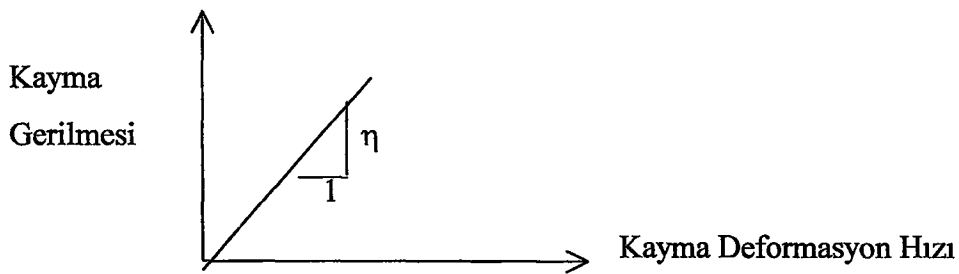
Newton sıvılarının viskozitesi büyük oranda sıcaklığa, daha az oranda da basınca bağlıdır. Bu nedenle sonuçlar değerlendirilirken bu özellikler dikkate alınmalıdır [7].

Viskozite katsayısı sıvılarda sıcaklık arttıkça önemli derecede azalır. Suyun dışındaki sıvıların viskozitesi basınçla birlikte hızlı bir artış gösterir.

Viskozite katsayısının ölçülmesi için kullanılan alete viskozimetre denilmektedir. Kullanılan başlıca viskozimetreler, kılcal tüpler, dönen eş eksenli silindirler, düşen küreler vb değişik deney yöntemlerine dayanmaktadır. [7,8]

Döner silindirik viskozimetrelerde ise aynı düşey eksene sahip birbirinin içine geçmiş iki silindir arasına sıvı doldurulur. İç silindiri belirli bir hızla döndürmek için belirli bir burulma momenti uygulanarak sıvı bir kayma gerilmesinin etkisine maruz bırakılır. İç silindirin dönme hızı, iç silindir ile temas eden sıvı elemanlarının çizgisel hızını verir. Bu durumda (3) denklemindeki τ ve dv/de belirli olduğundan viskozite katsayısı hesaplanır. Bu ilkeye göre çalışan viskozimetrelere Couette ve Hatschek'in geliştirmiş oldukları viskozimetreler örnek gösterilebilir [8].

Newton sıvısında viskozite η , uygulanan τ kayma gerilmesi ve $\dot{\gamma}$ kayma şekil değiştirme hızından bağımsızdır. Bundan dolayı, tek ölçüm ile kayma gerilmesi – kayma deformasyon hızı diyagramı çizilebilir. Bütün Newtonien sıvılar, orijinden geçen bir doğru ile temsil edilirler. Doğrunun eğimi viskoziteyi verir. Düzgün (üniform) akan Newton sıvısının temel reolojik özelliği viskozitedir [7].



Şekil 2.4. Newton Sıvısının Viskoz Akışı

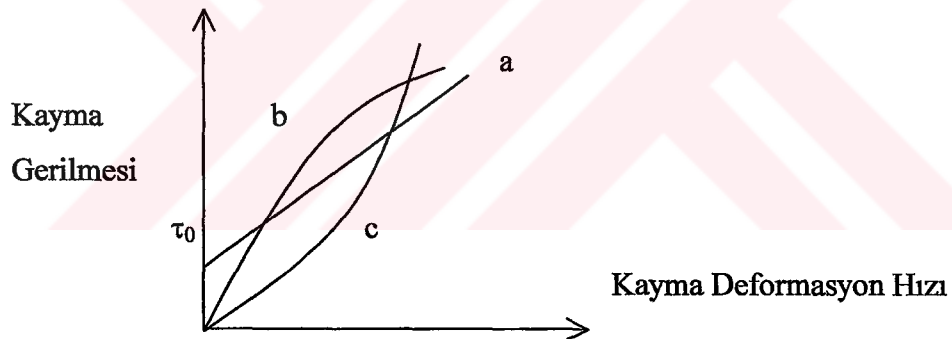
2.1.2. Newtonien Olmayan (Non - Newtonien) Sıvılar ve Katı Süspansiyonlar

Newton sıvısının temel davranış biçimine uymayan bir çok sıvı vardır. Bu sıvıları zamana bağlı olan ve zamandan bağımsız non –Newtonien sıvılar olarak ayırmak mümkündür.

2.1.2.1. Non - Newtonien ve Zamana Bağlı Olmayan Sıvılar

Bu sıvıların viskoziteleri, uygulanan kayma deformasyon hızına bağlıdır. Viskozitenin kayma deformasyon hızına bağlı olması malzemenin sabit bir viskozitesinin olmaması anlamına gelir. Bu sıvılar, kayma uygulandığı süre boyunca akışkanlıklarını bir çok kez değiştirirler. Bazı sıvılar eşik kayma gerilmesi τ_0 , denilen belirli bir minimum seviyede kayma gerilmesi aşılnca akmaya başlarlar.

Şekil 2.4'deki kayma gerilmesi ve kayma hızı arasındaki ilişkinin orantılığını gösteren doğrusal çizgi, bu sıvılarda doğrusal olamayan hale gelebilir veya sıvı kayma eşiği sergileyebilir. Şekil 2.5'de Newton sıvısı olmayan değişik tiplerdeki sıvıların kayma gerilmesi – kayma deformasyon hızı eğrileri görülmektedir [7].



Şekil 2.5 Newtonien olmayan değişik tiplerdeki sıvıların kayma gerilmesi - kayma deformasyon hızları arasındaki ilişkiler [7]

Şekil 2.5'de verilen a eğrisi, kayma eşiğine sahip Bingham davranışına örnektir.

Kayma eşiğine sahip olmayan Newtonien olmayan sıvılar genellikle yalancı plastik (pseudoplastic) olarak sınıflandırılır. Bu tür malzemelerde kayma gerilmesi - kayma hızı diyagramının eğimi η_p plastik viskoziteyi gösterir.

Şekil 2.5'deki b eğrisinde, kayma deformasyon hızı arttıkça plastik viskozitenin azaldığı, fakat bu azalmanın doğrusal olmadığı, tipik yalancı plastik (pseudoplastic) davranış görülmektedir. Bu olaya kayma incilmesi (shear-thinning) denilir.

Şekil 2.5'deki c eğrisinde, kayma kalınlaşması (shear-thickening) veya genişleme (dilatancy) görülmektedir. Bazı malzemeler, artan kayma gerilmesine maruz kaldıklarında hacimlerinde artış meydana gelir. Bu olaya hacimsel genişleme (dilatancy) denilir.

Yalancı plastik sıvılar için kayma gerilmesi ve kayma hızı arasındaki ilişki genellikle üstel bir fonksiyonla tanımlanır [7] .

$$\tau = A \cdot \dot{\gamma}^n \quad (2.7)$$

A : Sıvının kıvamına bağlı bir katsayı,

n : akış indeksi ; n <1 ise kayma incilmesi davranışı

n >1 ise kayma kalınlaşması davranışı

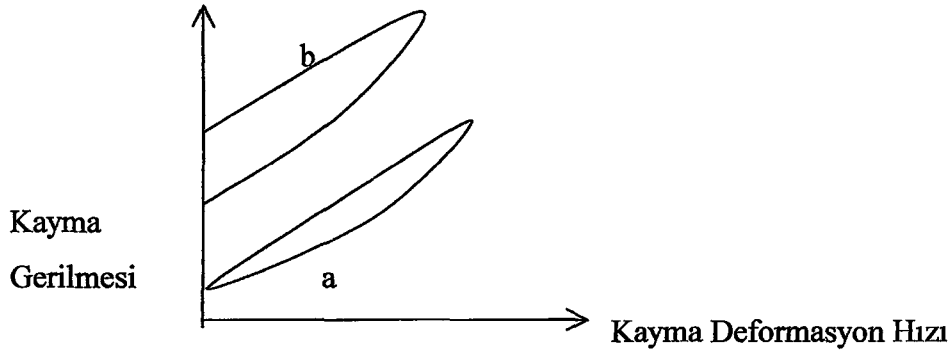
2.1.2.2. Newtonien Olmayan Zamana Bağlı Sıvılar

Newtonien olmayan sıvılar zamana bağlı davranışına göre, tiksotropik ve anti tiksotropik (reopektik) olmak üzere iki tipte tanımlanmaktadır.

Tiksotropik Sıvılar: Sabit kayma deformasyon hızı altında, tiksotropik sıvıların görünen viskozitelerinde zamana bağlı olarak azalma meydana gelmektedir. Aynı etki, kayma gerilmesi ölçümlerinde azalma oluşturur. Kayma gerilmesi, aynı kayma hızında zamanla küçülür. Kayma deformasyon hızı sıfıra geri geldiğinde, tiksotropik malzemelerin çoğu toparlanmaya başlar ve belirli bir süre sonra aynı test sonuçları tekrar elde edilebilir. Şekil 2.6'da a eğrisi tiksotropik davranış gösteren sıvıların akış eğrileri görülmektedir.

Tiksotropik Olmayan Sıvılar: Kayma deformasyon hızının artması ve azalması çoğu kez farklı kayma gerilmelerine neden olur ve diyagramda histeresis çevrimi şeklinde gösterilirler. Eğer çevrimin başlangıç ve bitiş noktaları çakışıyorsa, (Şekil 2.6'daki a eğrisi) malzeme tam olarak tiksotropiktir. Tiksotropik olmayan sıvıların davranışı ise tiksotropik sıvıların tersinedir. Malzemenin çevriminin başlangıç ve

bitiş noktaları arasında fark varsa ve kayma deformasyon hızı sıfıra geri geldiğinde malzeme toparlanmıyorsa bu tip malzemelere yalancı tiksotropik (pseudo-tiksotropik) denilir (Şekil 2.6 b) [7].



Şekil 2.6 Tiksotropik sıvıların akış eğrileri [7]

2.1.2.3. Katı Süspansiyonlar

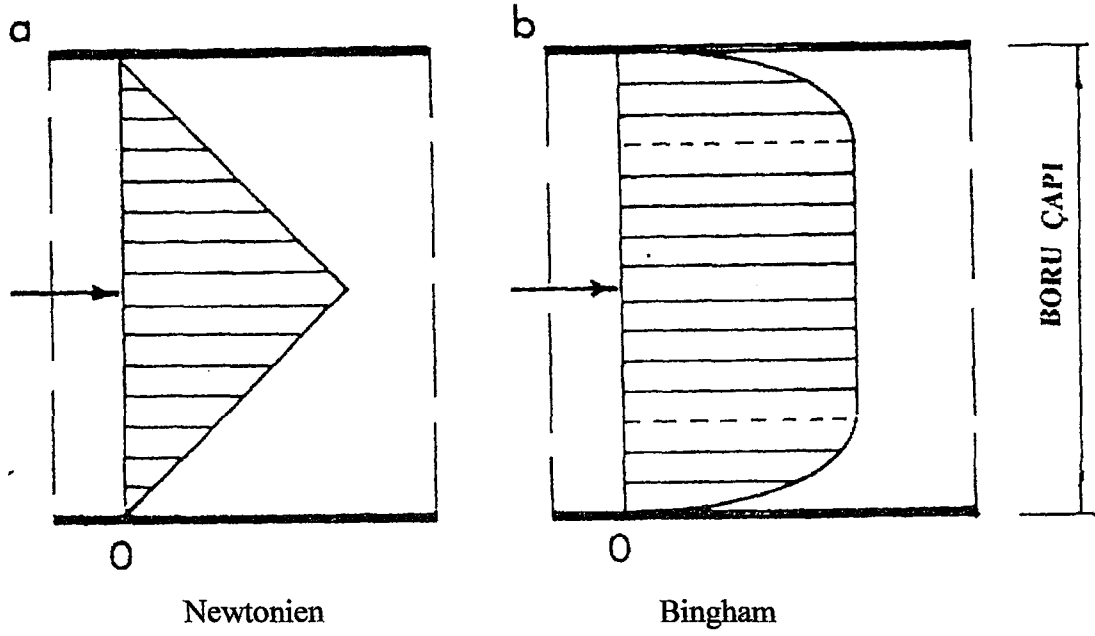
Beton teknolojisi bağlamında özel ilgi uyandıran Newtonien olmayan malzeme grubu, şekil değiştirmeye başlamadan önce belirli bir minimum düzeyde kayma gerilmesine, (kayma eşiği, τ_0) gereksinim duyan sıvılar veya plastik cisimlerdir. Bu tip malzemeler Bingham cisimleri veya plastikleri olarak tanımlanır.

Şekil 2.6'deki a eğrisi Bingham cisminin davranışını temsil eder. Bingham cisminin temel denklemi aşağıdadır.

$$\tau = \tau_0 + \eta_p \dot{\gamma} \quad (2.8)$$

İdeal Newtonien ve Bingham sıvılarının boru içindeki akışı Şekil 2.7 de gösterilmiştir. Kayma gerilmesi, borunun yüzeyinde en büyük değerine ulaşır ve boru yüzeyinden uzaklaştıkça azalır. Azalma, Bingham sıvısında kayma eşiğine kadardır.

Kayma eşiğinin altındaki kayma gerilmeleri herhangi bir akmaya neden olmaz. Borunun orta kısmındaki sıvı, tıkaç akışı (plug flow) olarak adlandırılan biçimde bir katı gibi hareket eder.



Şekil 2.7. Boru içinde akan ideal Newtonien (a) ve Bingham (b) sıvılarının gerilme dağılımı (Laminer akım varsayılmıştır) [7]

Gerçek sıvıların çoğu normal şartlar altında Newtonien akış davranışı gösterirler. Askıdaki katı madde konsantrasyonunun düşük veya çok ince ve uniform olarak dağılmış süspansiyonlar için benzer bir kabul yapıldığında, katı maddenin temel etkisi süspansiyonun viskozitesini artırmaktır. Bu etki, Einstein denklemi ile yaklaşık olarak hesap edilebilir.

$$\eta_s = \eta_o (1 + 2,5 C_V) \quad (2.9)$$

η_s = Süspansiyonun Viskozitesi

η_o = Likit Ortamın Viskozitesi

C_V = Taneciklerin Hacimsel Oranı

Einstein bağıntısı, oldukça seyreltik konsantrasyonlardaki küresel rijit taneciklerin süspansiyonunun viskozitesini tahmin eder. Asılı taneciklerin arasında etkileşim olduğunda bu bağıntı kullanılamaz. Etkileşim değişik biçimler alabilir. Tanecikler arasında itme ve çekme oluşabilir veya taneciklerin şekilleri akış sırasında birbirine bağlanmasına (kilitlenmesine) yol açabilir. Asılı taneciklerin (örneğin lifler) şekli ve yönü değişebilir ve lifler gibi anizometrik tanecikler muhtemelen asal gerilmeler doğrultusunda yönlendirilir.

Gerilme ve deformasyon oranının gradyanları askıdaki madde dağılımını etkileyebilir. Taneciklerin konsantrasyonu çok yüksek olduğunda, sıvı çoğunlukla kompozit bir malzeme olarak düşünülür ve viskozite yerine kayma modülü hesaplanır.

Einstein bağıntısına uymayan süspansiyonlar, likit fazları Newtonien olsa da olmasa da, non-Newtonien sıvı gibi davranırlar. Davranış, akışın tipine bağlıdır. Newtonien davranış, düzensiz şekillerde olsalar da tanecikler arası tek yönlü kararlı akım olması ve taneciklerin yönlendirilmiş ve aralarındaki çekim azaltılmış olması durumunda yüksek konsantrasyonlara ulaşır. Yeterli konsantrasyonda katı fazı olan basit bir Newtonien sıvı, kayma eşiği ve değişik tiplerde non Newtonien davranış gösterebilir [7].

Test sırasındaki kayma gerilmesi ve deformasyon oranı, askıdaki katı madde taneciklerinin dağılımını etkileyebileceğinden, konsantre süspansiyonların reolojik parametrelerini ölçmek zordur.

Newtonien ve Newtonien olmayan süspansiyonların reolojik davranışı hakkında teorik modeller önerilmiştir. Bu modeller, katı maddenin tanecik dağılımını, boyutunu ve şeklini hesaba katarlar ve çoğu modeller belirli testlerden elde edilen eğrilere modellerin uydurulması sonucu elde edilen parametrelere dayanırlar. Sıvının yapısı ile reolojik davranış arasında korelasyon kurmak çok zordur. Örnek olarak kayma eşiğinin varlığının, katı taneciklerin mekanik olarak kilitlemesi veya tanecikler arası çekim nedeni ile olup olmadığının belirlenmesini verebiliriz [7].

2.2. Taze Beton Reolojisi

Betonun reolojik davranışı, çimento pastasının plastisite ve visko-elastisitesi gibi reolojik davranışları ile ilişkilidir [9]. Taze betonu, çimento pastası ile temsil edilen likit ortamdaki agrega dispersiyonu olarak varsaymak uygulamada yaygındır. Çimento pastasının kendisi, sıvı ortamdaki (su), katı taneciklerin (çimento) süspansiyonu olduğundan, taze betonu çok fazlı bir malzeme olarak varsaymak daha uygundur [7].

Taze betonun temel reolojik parametrelerinin ve özelliklerinin hesaplanmasında kullanılan reolojik eşitlikler, bir takım kabullere dayanmaktadır.

- a) Süreklilik : Malzemenin herhangi iki noktası arasında hiçbir kesikliği olmamalıdır.
- b) Homojen karışım : Malzeme tümüyle uniform bileşimdedir
- c) İzotropik malzeme : Malzemenin bütün doğrultulardaki özellikleri aynıdır [7].

Uygulamada taze betonun bahsedilen bu üç kabulü aynı anda sağlaması muhtemel değildir. Bahsedilen kabullere uyma derecesi bir beton karışımından diğerine değişebilmektedir. Ayrıca, betonun yapısının mikro ölçekte sürekli olması muhtemel değildir [7].

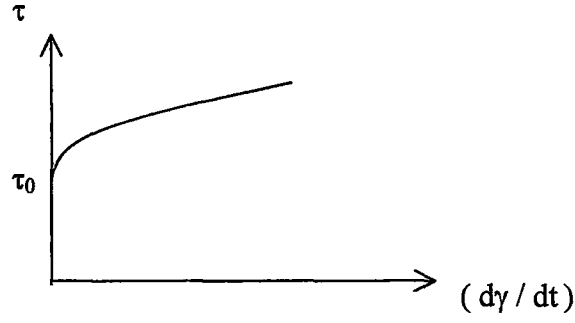
Reolojik ölçümlerin yapıldığı malzemenin durumu da önemlidir. En yaygın olan basit kayma durumudur. Uygulamada ise bu durumla nadiren karşılaşılır. Taze beton karışımı pompalandığında, yerleştirilirken veya taşınırken, kayma dinamik ve değişkendir.

Taze beton gibi çok fazlı bir malzemenin reolojik karakteristikleri belirlenirken, uygulanan kayma şekil değiştirmesinin şiddeti de önemlidir. Çok küçük şekil değiştirmeler (strain) büyük şekil değiştirmelerden farklı temel parametreler üreteceklerdir. Her iki şekil değiştirme arasında oldukça geniş bir değişim alanı vardır.

Reolojik parametreler, bir gerilme verildiği veya uygulandığı zaman, oluşacak olan akış veya deformasyonun miktarını veya tersine olarak belirli bir deformasyon miktarına neden olan gerilmeyi tahmin etmemizi olanaklı kılar [7].

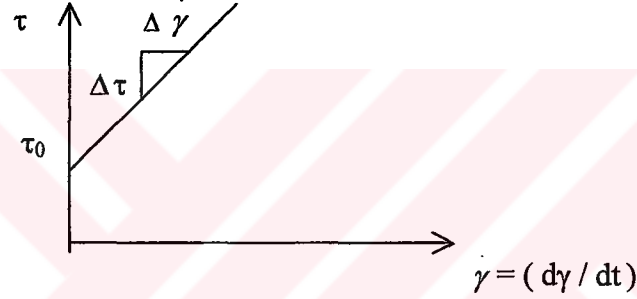
Taze beton reolojik olarak viskoz bir sıvı varsayılarak incelenir. Viskoz sıvılar, uygulanan kayma gerilmesi etkisi ile açısal deformasyonlar yaparlar.

Reolojik olarak en basit viskoz sıvı modeli Newton sıvısıdır. Oysa beton ve harcın davranışı daha çok Bingham sıvısı modeline uymaktadır (Şekil 2.8) ; ancak başlangıçtaki ilişki doğrusal olmaktan uzaktır.



Şekil 2.8. Bingham Sıvısı

Şekil 2.9 da görüldüğü gibi, Bingham cismi basitleştirilerek ve eğrinin doğrusal kısmı uzatılarak, bağıntı tamamen doğrusal hale getirilebilir. Böylelikle, viskozite tek bir değere indirgenmekte ve plastik viskozite adını almaktadır.



Şekil 2.9. Doğrusal Hale Getirilmiş Bingham Cismi

Böylelikle Bingham cisminin bünye denklemi aşağıdaki hali alır.

$$\tau = \tau_0 + \eta_{pl} \left(\frac{dy}{dt} \right) \quad (2.10)$$

2.2.1. İşlenebilmenin Reolojik Sabitlerle Tanımlanması

Açık olarak tanımlanması çok güç, karmaşık bir teknolojik özellik olan işlenebilmenin malzemeye özgü ve uygulamada önem taşıyan iki ana niteliği akıcılığı ve stabilitesidir. Akıcılık, betonun kolay ve az enerji ile karılması, yerleştirilmesi, kalıba boşluksuz doldurulmasıdır. Stabilitate ise betonun bu işlemler sırasında suyunu ve iri agregasını kaybetmeden homojen kalabilmesidir. Birbiri ile çelişen bu iki özelliği bir optimumda birleştirmek amaçlanan çözümdür [10].

Akıcılık ve stabilite (sıvı ve katı cisimlerin gerilme deformasyon ilişkilerinin zaman değişkenini de göz önüne alarak inceleyen reoloji bilimine başvurularak ve) taze betonun iri katı parçacıklar içeren bir süspansiyon ve bu süspansiyonun şekil değiştirme hızı altındaki davranışını Binghamien varsayarak kayma eşiği (τ_0) ve plastik viskozite (η_{pl}) olarak iki sabitle ifade edilir [7, 11, 12, 13]. Plastik viskozite değeri düşük olan beton akıcı ve daha kolay yerleştirilebilir özellikte olduğundan plastik viskozite, akıcılık ile ters ilişkilidir. Standart çökme değerinin kayma eşiğinden etkilendiği ve onunla lineer olarak ters orantılı değiştiği, plastik viskozitenin çökme deneyinde etkili olmadığı gözlenmiştir. Çökmeleri eşit olan betonların akıcılıklarının eşit olmayabileceği, aynı çökmeyi gösteren betonlardan plastik viskozitesi küçük olanın daha akışkan bir beton olacağı, kayma eşikleri, çökmeleri eşit betonlardan plastik viskozitesi yüksek olanının kararlılığının daha iyi olacağı söylenebilir [10].

2.2.2. Reolojik Sabitlerin Taze Beton ve Harçlarda Ölçülmesi

Reolojik sabitler olan kayma eşiğinin (τ_0) ve plastik viskozitenin (η_{pl}) çimento hamurunda veya harçlarda ölçülmesi için klasik koaksiyal viskozimetreler kullanılabilmektedir. Betonlarda ise süspansiyon içindeki tanelerin iri ve ayrışma ihtimali yüksek olduğundan, silindirler arası daha açık daha güçlü ko-aksiyal veya dış silindir içinde konsantrik veya planater olarak dönen bir karıştırıcısı olan viskozimetreler gerekir [14].

Kayma eşiğini ölçmek için çeşitli dönme hızlarına karşı gelen kayma gerilmelerinin ölçülmesi ve açısal şekil değiştirme hızı ile kayma gerilmesi grafiğinin çizilmesi gerekir. Bunun için iki noktaya ihtiyaç olduğundan bu tip araçlara iki nokta işlenebilme deney araçları denilmektedir [11]. Reolojik sabitlerin betonda ölçülmesinde kullanılan beton viskozimetresi 4. bölümde daha detaylı olarak anlatılmıştır.

2.3.İşlenebilme

Betonlardan en genel anlamda beklenen üç ana nitelik; dayanım, işlenebilme ve dayanıklılıktır [4]. Beton, yerine yerleştirilirken plastik formda olduğundan, betonun

akış (flow) özellikleri veya reolojisi yapı endüstrisi açısından oldukça önemlidir. Bu önem, beton reolojisi konusunda oldukça fazla sayıda literatürün varlığından da anlaşılmaktadır. Beton bileşiminin karmaşık yapısı nedeni ile, bileşenlerin özelliklerinden betonun akışkanlığının tahmin edilmesine dönük belirgin bir yöntem maalesef bulunmamaktadır. Beton içinde, 1 µm çapındaki çimento taneciklerinden 30 mm çapındaki kaba agreg tanelerine kadar oldukça geniş bir aralıkta tanecik boyutu dağılımı bulunduğundan reolojik parametrelerin ölçümü dahi güçlkle yapılabilmektedir. Bu nedenle, üretilmiş bir betonun akıcılığı genellikle, malzemenin gerçek akışkanlık özelliklerinin kısmen ölçülmesine imkan sağlayan standart test metotlarından birinin kullanılması ile ölçülmektedir [14,15].

Taze betonun işlenebilmesini ölçmek amacı ile geliştirilmiş çok sayıda araç ve yöntem vardır. Bunlardan bazıları Bölüm 4.'de anlatılacaktır.

İşlenebilirlik, betonun karıştırma ve yerleştirme işleminin minimum enerji ile ve homojenliğini yitirmeden, ayrışmadan yapılması ve kalıbını boşluksuz doldurabilmesi ile ilgili bir taze beton özelliğidir [4, 14]. İşlenebilmenin daha iyi anlaşılabilmesi için gerekli kavramlar aşağıda sıralanmıştır.

İri agreg tanelerinin karıştırma, taşıma ve yerleştirme işlemleri sırasında kütleden ayrılıp saçılmasına engel olan beton **kohezyonlu** (kohezif) betondur [4, 16, 17].

Taze haldeki betonun uniformluğunu tüm karıştırma, taşıma ve yerleştirme işlemleri boyunca ve yerleştirme sonrasında koruyabilmesi ve karışımın ayrışmaya ve terlemeye karşı direnebilme yeteneği göstermesine **kararlılık** (stabilite) denilmektedir [16, 17].

İri agreg tanelerinin dağılım düzeninin kaybolarak, taze betonun kütleinden ayrılması olayı **ayrışma** olarak adlandırılmaktadır [4, 16, 17].

Terleme ise beton karışımındaki suyun kütleden ayrılarak yüzeye çıkması ile oluşan özel bir ayrışma çeşitidir [16, 17].

Betonun kolay ve az enerji ile karılması, yerleştirilebilmesi ve kalıbı boşluksuz doldurabilmesi özelliğine **akıcılık** denilmektedir [10, 16].

Betonun basınç altındaki akıcılık ve kararlılığı, minimum enerji ile kesintisiz ve niteliklerinin bozulmadan iletilmesine **pompalanabilirlik** denilmektedir. Taze betonun kolay pompalanabilmesi için minimum basınç ile ve tıkanma etkisi (blokaj) olmadan boru içinde kütleli bir şekilde akması gerekir [16, 17].

2.3.1. Taze Betonun İşlenebilirliğine Kimyasal Katkıların Etkileri

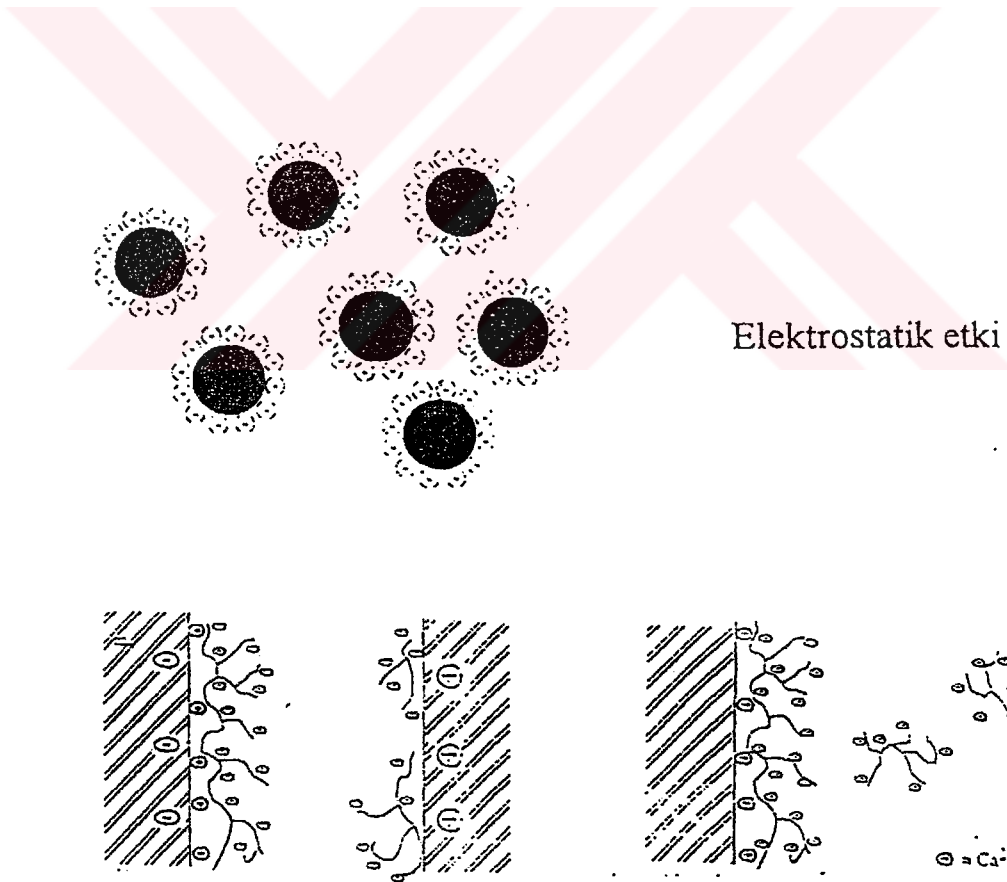
Kimyasal katkıları, betonun taze veya sertleşmiş haldeki özelliklerini iyileştirmek amacı ile su agrega ve çimento gibi diğer bileşenlerinin dışında betona karışım suyu ile birlikte veya daha sonra katılarak kullanılan kimyasallardır. Betonlardan temel olarak beklenen dayanım, dayanıklılık ve işlenebilirlik özelliklerinin geliştirilmesi için betonun su/çimento oranı düşürülmeli ve kalıbına ayrışma ve boşluk oluşturmada, kolayca yerleştirilebilmelidir. İstenen bu iki koşulun sağlanabilmesi süperakışkanlaştırıcı (yüksek oranda su azaltıcı, SA) katkı maddelerinin geliştirilmesi ile başarılabilmektedir. SA'lar, organik polielektrolit ve polimerik dağıtıcılardır (dispersant) ve kimyasal yapılarına göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilirler [16].

- 1) Sülfone edilmiş sentetik polimerler
- 2) Karboksile edilmiş sentetik polimerler
- 3) Karma işlevli sentetik polimerler

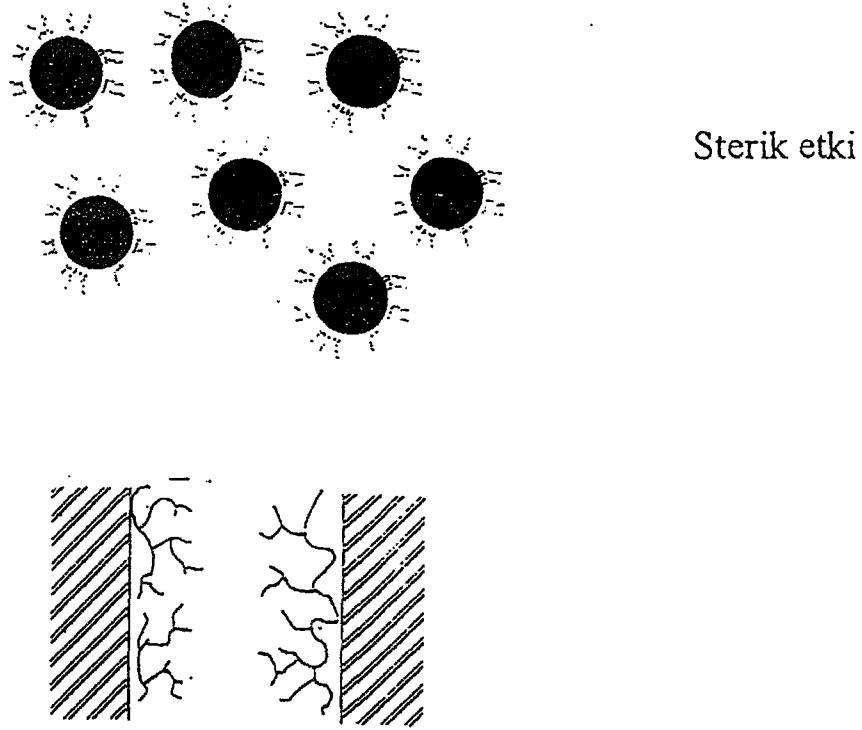
Sülfone edilmiş sentetik polimerlerin en önemli tipleri, sülfone naftalen formaldehit kondansesi (SNF), sülfone melamin formaldehit kondansesi (SMF)'dir. Shiba ve arkadaşları [16] polikarbonatlar olarak adlandırılan ikinci grup SA'lar, polikarboksilat polimerler ve özellikle poliakrilatlardan meydana gelmişlerdir. Üçüncü grup SA'lar kimyasal yapılarında farklı anodik ve polar fonksiyonlara sahiptirler. Aminosülfat ve modifiye lignosülfonatlar bu gruba verilebilecek örneklerdir.

Jeknovarian ve arkadaşları bazı polikarboksil kökenli SA'ların teknik özelliklerinin daha üstün olduğunu belirtmişlerdir [16]. Üçüncü kuşak veya yeni kuşak SA olarak tabir edilen özellikle kendiliğinden yerleşen (yayılan) beton üretimi ile birlikte gittikçe daha geniş uygulama alanı bulmaktadırlar.

SA'ların akışkanlaştırıcılık özelliği, yüksek dağıtıcılık özellikleri göstererek çimento taneciklerini birbirinden uzaklaştırmalarından kaynaklanmaktadır. Dağılma olayı SA moleküllerinin bağlayıcı tanecikler tarafından adsorbe edilmesi ile oluşur. Çimento taneciklerinin dağılma sonrası kararlı kalması da önemlidir. Dağılma ve dağılmanın kararlılığı farklı teoriler ile açıklanmaktadır. Derjaguin, Landau, Verweck, Overbeck tarafından önerilen DLVO teorisinde, SA'lar çimento taneciklerini negatif elektrik yükü ile yükleyerek tanecikler arasında elektrostatik bir itme yaratmaktadırlar (Şekil 2.10). Bu itme SMF ve SNF gibi sülfone sentetik polimerlerin çimento taneciklerini birbirinden uzaklaştırmasındaki ana nedendir. İkinci teori olan, sterik etki teorisine göre, ikinci grupta yer alan karboksile sentetik polimerler ve özellikle poliakrilatların uzun ana molekülleri, polieter yan bağlarla daha geniş hacim kaplamakta ve bu yapı çimento taneciklerinin birbirine yaklaşmasını önlemektedir (Şekil 2.11). Dağılımın nedenlerini açıklayan diğer teoriler, boşalma (depletion) ve sürtünme (tribology) teorileridir [16].



Şekil 2. 10. Kimyasal katkılarda elektriksel etkinin şematik gösterilimi [9,18]



Şekil 2. 11. Kimyasal katkılarda sterik etkinin şematik gösterilimi [9,18]

SA'ların dispersiyon yetenekleri, yüksek moleküler ağırlığa sahip polimerlerde, ileri derecede adsorpsiyon düzeyleri dolayısı ile daha fazladır. Ancak moleküler ağırlığın çok artmış olması, dispersiyon yeteneğini azaltmaktadır.

SA'ların betona eklenmesi ile, betonun reolojik özelliklerinden kayma eşiğinde azalma görülür. Plastik viskozitenin ise azalacağı veya artacağı ileri sürülmektedir [16]. Karışıma işlenebilmeyi arttırmak amacı ile sadece su eklenmesi durumunda ise hem kayma eşiği hem de plastik viskozite düşecektir. Bu gözlemler taze betonun kararlılığı açısından önem arz etmektedirler. Pompa betonlarında, kayma eşiğinin azalması ile betonun pompalanmaya başlaması için gerekli ilk basınç azalırken, plastik viskozitenin azalması sayesinde de boru çeperindeki sürtünmeler azalacak ve beton daha düşük bir güçle pompalanabilecektir. Plastik viskozitenin aşırı azalması borularda betonun ayrışması ve boruların tıkanması tehlikesi oluşacaktır.

Bağlayıcı tanecikler tarafından adsorbe edilen SA ile elde edilen ilk yüksek işlenebilirlik belirli bir süre sonra (15-30 dakika) kaybolmaktadır. Bazı hidratların erken oluşumu ve çimento taneciklerinin ani topaklanması (koagülasyonu) sıvı fazı koyulaştırır ve viskozite artar. $C_3 A$, $C_4 AF$, $CaSO_4 \cdot 1/2 H_2 O$ gibi çimento bileşenleri

hidratasyon başlangıcında su moleküllerini hızla adsorbe ederek hidratlara dönüştür. Bunun sonucunda, SA moleküllerinin önemli bir bölümü bu hidratların etkisi altında hapsolurlar ve dispersiyon yeteneklerini kaybederler. Kararlı ve uzun süreli bir dispersiyon için SA moleküllerinin C_3S ve C_2S tanecikleri tarafından adsorplanmaları gerekmektedir. Bundan dolayı eğer çimentoda su moleküllerini hızla adsorbe eden tanecikler (örn. C_3A) var ise, C_3S ve C_2S tanecikleri adsorbe edecek yeterli miktarda SA molekülü bulamaz ve akışkanlaştırıcı etkisi azalır. Bu tip çimentolar ile SA'ların uyumu iyi değildir. Çimentonun inceliği de başka bir olumsuz faktördür [16]. Çimentolar ile daha iyi işlenebilme ve kıvam koruma sergileyecek SA'ların tespiti için, çimentoların inceliği, C_3A , C_4AF içerikleri, $C_3A/CaSO_4$ oranı araştırılmalı ve topaklaşma (floculation) testleri yapılmalıdır [16].

Luke ve Aitcin [16], kıvam kaybını boşluk sıvısında hidratasyon başlangıcında oluşan bazı organo mineral bileşenlerin kimyasına bağlamaktadır. Bu bileşenler, daha sonra alüminyum fazının hızlı serleşmesini düzenleyen etrenjitin oluşumu için gerekli çözünmüş kalsiyum sülfatı tespit ederek katılaşmanın hızlanmasına yol açmaktadır. Benzer durum çözünen kalsiyum sülfatın çok fazla olmasında da gözlemlenmektedir. SMF ve SNF kullanımında, yüksek iyon konsantrasyonuna bağlı olarak gelişen iyonik bağ türü mukavemet artışı çökme kaybını hızlandırmaktadır.

Klinker içindeki $CaSO_4$, Na_2SO_4 'ın viskozitenin iyi sonuç vermesi için optimum değerinin olması gerektiğine dair tespitler [16], çimentodaki çözünür alkali sülfat içeriğinin de betonun viskozitesini etkileyeceği düşüncesini kuvvetlendirmektedir. Optimum değer aşılması, C_3S ve C_2S yüzeyindeki çift elektriksel tabakanın sıkışmasına ve tanelerin birbirine yaklaşarak viskoziteyi artırmasına yol açmaktadır.

Coppola ve arkadaşları [16], poliakrilik tip SA kullanılması ile kıvam kaybı sorununun aşılabileceğini belirtmişlerdir. Sakai ve arkadaşları [16] ise poliakrilik tip SA' larda da yüzey aktif madde katmayı önermektedirler.

Uygulamada işlenebilme kaybını önlemek için, SA'nın şantiyede veya kademeli katılması, SA'nın betona karıştırma sırasında geç ilave edilmesi, geciktirici tip katkı kullanılması önerilmektedir.

2.3.2. Taze Betonun İşlenebilirliğine Mineral Katkıların Etkileri

Uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu gibi mineral bağlayıcı katkıların beton üretiminde kullanılması günümüzde giderek daha çok önem kazanmaktadır. Bu katkılar, mekanik dayanım, işlenebilme ve dayanıklılık gibi betondan beklenen temel özellikleri geliştirebilmektedirler. Bu katkılar puzolan özelliğine sahip olduklarından dayanım üzerinde olumlu etkileri vardır. İşlenebilmeye etkileri ise inceliklerine ve tane geometrilerine bağlıdır [16].

SA'lı betona uçucu kül katılması, çökmeyi azaltır ve Vebe zamanını kısaltır. Silis dumanı ise, çökmeyi artırır ve Vebe zamanını kısaltır. Çökme deneyinin viskozite ile, Vebe deneyi, akma sınırı ile ilişkilidir. Brown'a göre, uçucu kül kullanılması, akma sınırını düşürerek olumlu etki yaparken, viskoziteyi azaltır.

Mineral katkı miktarı arttıkça yayılma değerindeki azalma, uçucu küle göre silis dumanında daha fazla olur.

Akman ve Yücel [19], farklı yörelerden temin edilen C tipi uçucu küllerle çimento içeriğinin %30'una kadarını ikame ederek yaptıkları çalışmada, çökme kayıplarının anlamlı bir şekilde iyileştiğini tespit etmişleridir.

YFC genellikle portland çimentosu klinkerine ilave edilerek katkılı cürüf çimentoları üretilmesi ve betonda bu tip çimentoların kullanılması yolu ile beton bileşimine girmektedir. Çimentonun %85'ine kadar YFC ikame edilen bir çalışmada, ilk önce hava sürükleyici bir katkı, 60 dakika sonra ise SA katılmıştır. Oldukça hızla çökme kaybı gözlemlenmiştir.

Mineral ve kimyasal katkının tipine ve miktarına, katma süresine ve deney şartlarına göre SA'ların mineral katkılar ile birlikte kullanılması durumunda bazı genellemeler yapılabilir. Uçucu kül çökme üzerinde olumlu etki yaparlar ancak çökme kaybını azaltmaz. Silis dumanı ise, hem çökme hem de çökme kaybına olumlu etki eder. YFC hem çökmeyi hem de çökme kaybını artırır .

Kendiliğinden yerleşen betonlarda, SA kullanılması ile sağlanan yüksek viskoziteye rağmen çökme riski vardır. Bu durumu önlemek için uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu veya aktif olmayan mineral tozlar eklenmesi ile çok ince malzeme miktarını artırılabilir. Kendiliğinden yerleşen beton kullanılarak

dökülen bir kolonun farklı yüksekliklerinden çıkartılan numunelerin basınç dayanım farkı %20'ler mertebesinde olmuştur [16].



3. KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARIN ÖZELLİKLERİ

3.1. Giriş

İlk olarak 1980’li yıllarda Japonya’da Tokyo Üniversitesi’nde geliştirilen, yoğun donatılı ve dar kesitlere, homojenliğini koruyarak (ayrışmaksızın) kendi ağırlığı ile yayılabilen yüksek akıcılıktaki betonlara “kendiliğinden yerleşen beton” (KYB) (Self Compacting Concrete) denilmektedir. Bu özellik, betonun uygun reolojik özelliklere sahip olacak şekilde tasarlanması ile başılır. Dökümü sırasında vibratör, şişleme vb herhangi bir dıştan gelen enerjiye gereksinim olmadığından, kendiliğinden yerleşen beton olarak tanımlanmaktadır [20]. Bu betonlar, vibrasyon uygulanarak üretilen betonların kullanıldığı çoğu yerlerde, gerek prefabrike olarak, gerek şantiyede yerinde imal edilmekte ve uygulamada giderek yaygınlaşmaktadır.

Yerleştirme esnasında vibrasyon uygulanmasının azaltılması veya tamamen ortadan kaldırılması ile, inşaat yapımı hız kazanmakta ve buna bağlı olarak maliyetler azalarak verimlilik artmaktadır. Ayrıca beyaz parmak (white finger) olarak bilinen ve vibratör kullanan kişilerde görülen kan dolaşım rahatsızlığı riski ortadan kalkmaktadır. KYB kullanımının çevre sağlığı açısından getirisi ise vibratörlerden kaynaklanan gürültü kirliliğinden kurtulunmasıdır.

Bu tip betonlarda katkı kullanımının bir sonucu olarak, su/bağlayıcı oranının önemli derecede azaltılması ve betonun yerine yerleştirilmesi esnasındaki homojenliğinin korunması, betonun dayanım ve dayanıklılığının (dürabilitesinin) iyileştirilmesi de sağlanmaktadır.

Yerleştirme ve sıkıştırma işlemleri ile ilgili olarak karşılaşılan ana problemlerden biri de, pek çok yapıda, fazla sayıda ve sıklıkta donatı kullanılması sonucu, betonun döküleceği kalıp içindeki kesitlerde oluşan kafes yapıya betonun dökümünün ve sıkıştırılması işleminin oldukça zor olmasıdır. Artan yapısal performans, donatı

oranının artmasına yol açmıştır. Ayrıca, çatlamayı sınırlandırmak amacı ile, donatı çaplarının daha düşük kullanılması eğilimi vardır. Donatıların oluşturduğu kafeste veya donatı ile kalıp arasında vibratör kullanmaya olanak sağlayacak yeterli boşluk her zaman bulunamamaktadır.

Çok yükseklerle yapılan dökümler ve iki taraflı kalıplarla çevrilmiş kapalı alanlara beton dökülmesi gibi vibratör kullanımının oldukça zor olduğu ve alışlagelmiş betonlarla yeterli sıkışmanın sağlanmasının mümkün olmadığı çeşitli durumlar mevcuttur.

Betonun kalıp içinde büyük yatay ve düşey hareketler yapabilmesi, malzemenin doğal akış özelliklerinin bulunması ile mümkündür.

3.2 Kendiliğinden Yerleşen Betonların Taze Haldeki Özellikleri

Alışlagelmiş normal betonlara kıyasla, KYB'lerin taze haldeki değişik özellikleri, kendiliğinden yerleşme davranışı ile ilişkilidir. Bu özellik, pratikte işlenebilme ile alakalı olarak ele alınan taze betonun reolojisine bağlı faktörlerle ilgilidir.

3.2.1 Kendiliğinden Yerleşen Betonun Reolojisi

Taze betonun dökülmesi ve sıkıştırılmasında davranışını etkileyen temel özelliği betonun reolojisidir. Taze betonun, harcın ve çimento pastasının reolojileri, davranışı anlamada ve optimizasyon sürecinde değerli parametrelerdir.

Taze beton, geniş bir aralıkta dağılan tanecik yapısına ve kimyasal reaksiyonların olduğu zamana bağlı davranışına rağmen, katı süspansiyonu olarak tanımlanabilir. Süspansiyon yaklaşımında, taneciklerin ve sıvı fazın tanımlanması geniş tane boyutu dağılımı nedeni ile değişebilmektedir. Bu tanım örneğin, kaba tanenin sıvı harç içinde olması (fazın su, çimento ve ince taneciklerden oluşması) veya kum taneciklerinin sıvı pasta içinde olması (sürekli fazın su, çimento ve toz boyutundaki diğer taneciklerden oluşması) şeklinde yapılabilir [20].

Taze betonun reolojisine etkiyen ana faktörler, tanecik dağılımına ve yüzey gerilimine bağlı olarak, serbest su içeriği ve tanecikler arası sürtünmedir. Bunlar, sırası ile uygun SA kullanımı ve çimentoyu da içerecek şekilde ince tanelerin dengeli boyut dağılımı (balanced packing) ile geliştirilebilir. Bunlara ek olarak, aslında plastik viskoziteyi geliştirmek için viskozite düzenleyici katkıları da kullanılabilir [20].

KYB'ler için hedeflenen reolojik özellikler, yeterli plastik viskozite ile birlikte çok düşük kayma eşiğidir. Plastik viskozite, kullanılan malzemeye, döküm tekniğine ve tipine ve inşa edilen elemanın şekline bağlıdır. Taze beton, harç ve çimento pastasının reolojik özelliklerini elde edilmesinde değişik tip aletler mevcuttur. Örneğin, BML ve BTREOM vb. Bu aletler, değişik ölçüm prensipleri ile çalıştıklarından, alınan ölçümlerin sonuçları kolaylıkla kıyaslanamaz.

3.2.2. İşlenebilme

Kendiliğinden yerleşme, pompa hortumundan boşalan betonun akma yeteneği veya kendi ağırlığı ile uniform kalarak ve sıfır hata ile kalıbı doldurmasıdır [20]. KYB'lerin işlenebilmesinin tespitinde klasik işlenebilme deneyleri yetersiz kalmaktadırlar. Bu nedenle bir çok yeni yöntem önerilmektedir. Bunlardan bazılarını Bölüm 4'te değinilecektir. Taze haldeki KYB' nin işlevsel olarak ana karakteristikleri, doldurma yeteneği (filling ability), ayrışmaya direnç ve engellerin arasından geçebilme - nüfuz etme - yeteneğidir (passing ability) [20].

3.2.2.1. Doldurma Yeteneği

KYB kendi ağırlığı ile şeklini çok iyi değiştirebilmelidir. Doldurma yeteneği, betonun ne kadar uzağa akabildiğine bağlı olarak (deformasyon kapasitesi) akış ve akış hızı (deformasyonun hızı) kavramlarını içerir. Deformasyon kapasitesi, 4. Bölümde anlatılan çökme yayılma deneyinde betonun deformasyonunun tamamen durduktan sonraki çapının ölçülmesi ile elde edilir. Deformasyonun hızı ise, aynı deneyde betonun belirli bir deformasyona ulaşması için geçen süre olarak bulunabilir.

Doldurma yeteneğinin iyileşmesini sağlamak için, deformasyon hızı ile deformasyon kapasitesi arasında iyi bir denge olmalıdır. Örneğin, fazla miktarda SA içeren çok düşük su/çimento oranına sahip yüksek performanslı bir betonun, deformasyon kapasitesi önemli derecede yüksek iken, deformasyon hızı düşük; yani vibratörle sıkışma gerektirecek kadar viskozdur. Bu durumda pompa ile iletimde, betonun boşaldığı noktalarda yığılmalar oluşacaktır.

Doldurma yeteneğinin iyileşmesi için betonun sahip olması gereken özellikler aşağıda verilmiştir.

Tanecikler arası sürtünmelerin küçülmesi :

Kaba agregası, ince agregası ve toz malzemelerin tüm tiplerini içeren katı taneciklerin arasındaki sürtünmenin azaltılması, betonun iyi deforme olabilmesi için faydalıdır.

Agregalar arası sürtünmenin azaltılması için agregası taneleri arası teması azaltmak gereklidir. Bunu başarabilmenin tek yolu, agregası içeriğinin azaltılarak veya bir başka deyişle pasta içeriğini artırarak, agregası tanecikleri arasındaki mesafenin artırılmasıdır.

Toz malzemeler arasındaki sürtünmenin azaltılması, pastanın su içeriğinin artırılması ve böylelikle taneciklerin arasındaki mesafenin artırılması ile mümkün değildir. Pastanın kendisi, SA'lar gibi yüzey aktif maddelerin kullanılması ile ince taneciklerin disperse edilerek üstün deformasyon yapabilme yeteneğine kavuşabilir. Çok fazla su kullanılması, taze betonun ayrışmasına ve dayanıklılık ve dayanım gibi sertleşmiş beton özelliklerinde istenmeyen performans düşüklüklerine neden olur. Toz taneciklerin şekli, su ve SA ihtiyacını belirlemede etki sahibidir. Uçucu kül gibi küresel tanecikli puzolanların kullanılmasının bu amaç için etkili olduğu düşünülmektedir [20].

Agregası ve toz tanecikleri arasındaki sürtünmenin azaltılması, ayrışmaya direncin azaltılmasına yol açmaktadır. Pastanın ve bir bütün olarak betonun deforme olma yeteneğini artırmadan, pastanın viskozitesini artırmak daha etkili olabilmektedir.

Pastanın üstün deforme olma yeteneği :

Kendiliğinden yerleşebilmeyi başarmak için, sadece katı fazın tanecikleri arasındaki sürtünmenin azaltılması yeterli değildir. Aynı zamanda pasta da iyi deforme olabilmelidir. Çeşitli engellerin etrafından kolayca akan ve iyi doldurma kapasitesi olan bir KYB elde etmek için, iyi akıcılık (düşük kayma eşiği) ve ayrılmaya yüksek direnç (makul viskozite) özelliklerinin her ikisini de sağlamak önemlidir. Betonun deforme olabilme yeteneği, pastanın deforme olabilme yeteneği ile yakından ilgilidir ve SA kullanımı ile artırılabilir. Kayma eşiği ve viskozitede azalmaya neden olan su eklenmesinden farklı olarak, SA katılması çoğunlukla kayma eşiğinin azalması (daha iyi akıcılık) ile ilgilidir ve viskozitede çok sınırlı azalmaya yol açar. Bu nedenle, kohezyonunda önemli azalma olmaksızın çok akıcı betonlar elde edilebilmektedir. Su / toz oranının azalması, çimento pastasının deforme olma yeteneğini azaltır. Su/toz oranı, çok küçük veya büyük olması durumunda da deforme olma yeteneğinde azalmaya yol açtığından kontrol altında tutulmalıdır. SA kullanılan ve su/toz oranı çok küçük olan pasta, yüksek deformasyon kapasitesine fakat düşük deformasyon hızına sahip olma eğilimindedir. Çeşitli filler ve bağlayıcı nitelikli maddeler (cementitious) de içeren toz maddeler, yeterli deforme olma yeteneğinin ve deformasyon hızını elde etmek için su/toz oranının dengelenmesinde kullanılırlar [20] .

Yeterli doldurma yeteneğinin elde edilmesi için aşağıdaki konular ele alınmalıdır.

Pastanın deforme olma yeteneğinin artırılması :

- SA katkı
- Dengelenmiş su/toz oranı

Tanecikler arası sürtünmenin azaltılması :

- Düşük kaba agrega hacmi (yüksek pasta içeriği)
- Kullanılan çimento ve agregaya bağlı olarak kullanılan çeşitli filler ve bağlayıcı nitelikli maddelerin optimizasyonu

3.2.2.2. Ayrışmaya Direnç

Taze betonun ayrışması, bileşenlerinin dağılımının homojen kalmaması ile tanımlanır. Beton, belirli koşullar altında hareket ettiğinde ayrışmaya eğilimli olmasa da, donatıların fazla bulunduğu kesitlerden geçmesi sırasında (olduğu gibi değişik koşullarda) ayrışabilir.

KYB, durağan veya akma durumlarının her ikisinde de aşağıda belirtilen tiplerde ayrışmamalıdır.

- Terleme (su ve katı arasında ayrışma)
- Pasta ve agreganın ayrışması
- Tıkanmaya yol açacak kaba agreganın ayrışması
- Hava kabarcığı dağılımının homojen olmaması

Terlemeden kaçınmak için, karışımdaki hareket edebilen suyun azaltılması zorunludur. Hareket edebilen su (movable water) terimi ile, katı tanecikler ile bağlanmayan ve karışımda katılardan bağımsız olarak hareket edebilen su kastedilmektedir. Hareket edebilen suyun azaltılması, su içeriğinin ve su/ toz oranının düşürülmesi ile mümkündür. Yüzey alanı fazla olan toz malzemelerin yüzeyinde daha çok su tutulacağından, yüzey alanı fazla olan toz malzemeler kullanmak da mümkündür. Su ve katı arasındaki ayrışma direnci, viskoziteyi denetleyen katkıları kullanarak suyun viskozitesinin artırılması yolu ile iyileştirilebilir [20] .

Ayrışmanın diğer sınıfları, hava ve agrega taneciklerini görelî olarak en küçük fazlar arası deplasmana (displacement) izin vererek taşıyabilen bir pasta ile çözülebilir. Bu, fazlar arası etkileşim kuvvetlerine sahip olunması ile yapılabilir. Bu kuvvetin sürtünme ve kohezyondan oluştuğu düşünülmektedir. Tanecikler arası fazla sürtünme deformasyon yeteneğini ters olarak etkileyeceği ve tıkanma ihtimalini artıracığından, fazlar arası sürtünmenin artması ile, ayrışmaya direncin artırılmasının KYB' nin toplam performansı için iyi olmayacağı düşünülmektedir. Fazlar arası kohezyonu arttırmak daha yararlıdır. Fazlar arası kohezyonun artırılması için su/ toz oranı düşük bir pasta kullanmak daha uygundur. Bazen bu amaçla viskozite katkıları kullanılır.

Dört ayrışma tipi arasında, kaba agreganın ayrışması, donatıların yoğun olarak bulunduğu kesitlerin doldurması sırasında kendiliğinden sıkışabilirlik için kesin etmen olarak görünmektedir.

Yeterli ayrışma direncinin kazanılması için aşağıdaki konular göz önünde bulundurulmalıdır.

Katıların ayrılmasının azaltılması

- Agreganın içeriği sınırlandırılması
- Agreganın en büyük tane boyutu azaltılması
- Su/toz oranı azaltılması
- Viskoziteyi denetleyen katkıları kullanılması

Terlemenin (serbest suyun) minimize edilmesi

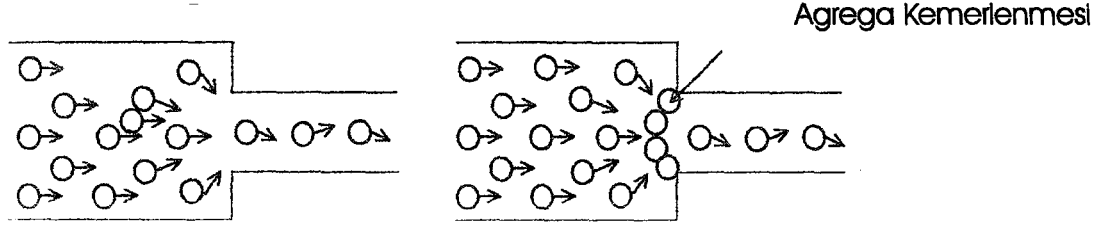
- Su içeriğinin azaltılması
- Su/ toz oranının azaltılması
- Yüzey alanı fazla olan tozları kullanılması
- Viskoziteyi denetleyen katkıları kullanılması

3.2.2.3. Nüfuz Etme- Engellerin Arasından Geçebilme Yeteneği

KYB, yeterli akıcılığa ve aynı zamanda yeterli ayrışma direncine sahip olmalıdır. Kalıpta donatıların yoğun olduğu dar açıklıklar olması durumunda, katı agregaların birbirlerini destekleyerek kemerlenme (bridging) sonucu bloke olmasını önlemek için yerine getirilmesi gereken ilave bir gereksinim ortaya çıkmaktadır. KYB'daki büyük katı taneciklerinin miktar ve boyutları ile, betonun akması gereken kalıpla donatı arasındaki temiz açıklığın birbirleri ile uyumlu olması gerekir. Tıkanmanın mekanizması, betonun bir delikten aktığı iki boyutlu bir modelle açıklanabilir (Şekil 3.1)

Betonun delikten akabilmesi için, delik etrafındaki agreganın taneciklerinin akış yollarını değiştirmeleri gereklidir. Sonuç olarak, agreganın tanecikleri arasındaki çarpışmanın artması, delik etrafında agreganın taneciklerinin arasında pek çok ani teması neden olmaktadır. Bu agreganın temasları sırasında, bazı agreganın taneciklerinin betonun kalanının akmasını engelleyecek kararlı bir kemer oluşturmaları ihtimali

vardır. Kemer oluşumu, agregâ boyutu büyük ve agregâ içeriğinin de fazla olması durumunda daha kolay gelişir. Agregâ boyutunun küçültülmesi durumunda, kemer oluşumu yüksek agregâ içeriğinde oluşabilir. Bununla birlikte, eğer katı tanecikleri delik boyutlarına kıyasla çok küçük ise kemer oluşumu gerçekleşmez.



Şekil 3.1. Tıkanmanın Mekanizması [20]

İyi yerleşme ve ayrışmaya direnç özelliği gösteren KYB'larda tıkanma aşağıdaki koşullarda oluşur.

- Agreganın en büyük tane boyutunun fazla olması
- Büyük boyutlu agregâ (large sized aggregate) içeriğinin fazla olması

Tıkanma eğilimi, kaba agregâ tanelerinin ayrışmasına meyilli betonlarda artmaktadır. Bu durumda, en büyük tane çapı aşırı büyük olmasa da tıkanma oluşabilir. Belirli bir en büyük agregâ boyutu ve büyük boyutlu agregâ bileşimi olan KYB ele alındığında, büyük çaplı donatılar kemer oluşumu için daha etkin bir destek oluşturduğundan, donatılar arası açıklık aynı olsa bile, daha büyük boyutlu donatıların kullanılması tıkanmaya daha çok neden olmaktadır.

Uygun geçme yeteneğinin sağlanması için aşağıdaki konular göz önünde bulundurulmalıdır.

Agregâ ayrışmasını azaltmak için kohezyonu artırmak

- Düşük su/toz oranı
- Viskoziteyi denetleyen katkıları kullanılması

Uygun temiz açıklık ve kaba agregâ karakteristikleri

- Düşük kaba agregâ hacmi
- En büyük tane boyutunun küçültülmesi

3.3 Kendiliğinden Yerleşen Beton Bileşenlerinin Belirlenmesinde Önemli Parametreler

KYB'nin bileşenlerinin belirlenmesi, klasik betonlara göre daha fazla deneyim ve bilgi ve veri birikimi gerektirmektedir. Örneğin, çok akıcı KYB, iyi şekil değiştirmeyi (deformability) sağlamak için göreceli olarak düşük kayma değerine (yield value) sahip olmalı; fakat sertleşme başlayıncaya kadar terlemeye ve ayrışmaya yeterince dirençli olmalıdır. Su/bağlayıcı oranını arttırmak, yüksek şekil değiştirmeyi sağlayabilir, ancak kohezyonu azaltarak betonun akışının tıkanmasına neden olabilecek agreganın ayrışmasına neden olabilir. Kaba agregası, kum ve ince malzeme arasındaki tanecikler arasındaki iç sürtünme, akışa karşı iç direnci artırır, bundan dolayı taze betonun akış hızını ve şekil değiştirmesini sınırlar. Bu sürtünme, viskoziteyi arttıran çeşitli katı tanecikleri arasında etkileşimin daha büyük olduğu dar alanlara betonun akması sırasında özellikle yüksektir. Viskozite açısından zayıf sistemlerde agregası yoğunluğunda bölgesel artışlar koagülasyona yol açarak, betonun dar alanlara hareket etmesine engel olmaktadır.

Bu tip betonlarda akıcılık, betonun su miktarını arttırmaksızın SA katkıları kullanılarak sağlanır. Betonun yeterli ayrışma direncine sahip (veya homojen) olması ise viskozite artırıcı katkı kullanılması veya karışımda kullanılan çimento veya mineral katkı (silis dumanı, uçucu kül, yüksek fırın cürufu, toz kalker vb) miktarının artırılması, böylelikle su/çimento oranının azaltılması yolu ile sağlanır. Ayrışma direncinin artırılması için bazen, bahsedilen her iki yöntem de kullanılabilir [3].

3.3.1. Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda SA Seçimi

KYB üretimi, naftalen sülfonat formaldehit, melamin sülfonat formaldehit polikondanseleri, vinil kopolimer ve polikarboksilik asit bazlı katkıları kullanılarak denenmiştir. Ancak polikarboksilik asit bazlı katılara göre diğer katkıların kullanıldıkları betonların su ihtiyaçlarının göreceli olarak fazla olması, bu tip betonlar için istenilen akıcılıkta beton üretilmemesine yol açabilmektedir. Bu nedenle daha çok polikarboksilik asit bazlı katkıları tercih edilmektedir [21].

Yeni kuşak SA'lar olarak da isimlendirilen polikarboksilik asit bazlı katkıları kullanıldığında, çimento taneciklerinin beton içerisindeki dispersiyonu yalnızca elektriksel itki (electirical repulsion) ile değil, aynı zamanda uzun yan dallar içeren polimer zincirlerinin çimento tanecikleri çevresinde birbirini iten fiziksel bir itki (steric hindrance) oluşturmaları ile de sağlanır. Bu sayede beton, hem yüksek oranda su azaltma özelliği kazanmakta, hem de uzun süre kendiliğinden yerleşme özelliğini koruyabilmektedir [22].

J. Ambroise ve J. Pera [23], yaptıkları çalışmada sülfone melamin formaldehit kondensatı (SMF), sülfone naftalen formaldehit kondensatı (SNF), poliakrilat (PA) ve iki tip polikarboksilat (PC) olmak üzere beş çeşit SA katkının, KYB'ların taze ve sertleşmiş haldeki özelliklerine etkilerini incelemiş ve polkarboksilat tipi SA katkının diğerlerine göre daha başarılı sonuç verdiğini bulmuşlardır.

3.3.2 Viskozite Artırıcı Katkıların (VAK) Kendiliğinden Sıkışabilirliğe Etkisi

Kendiliğinden sıkışabilirlik, üretim sırasındaki çevre koşulları, tartım hataları, malzeme bileşimindeki değişimleri içeren betonun kalite kontrolünden önemli derecede etkilenir. Özellikle kumun yüzey nemindeki düzensiz değişimler, kendiliğinden yerleşebilirliğe dikkate değer şekilde etkir. VAK'lar genellikle, taze betonun yerleştirme ve üretilmeleri sırasında kalitelerindeki dalgalanmaları kararlı hale getirmek (stabilize etmek) amacı ile kullanılırlar [2].

VAK'lar çoğunlukla sellüloz türevleridir. Bunların molekülleri, çimento tanecikleri arasında köprüleşme oluşturarak boşluklar arasındaki hacmi doldururlar. Dolayısı ile, bunlar yalnız viskoziteyi arttırmakla kalmazlar, süperakışkanlaştırıcı moleküllerinin adsorpsiyonlarını kısıtlayarak akıcılığı da azaltırlar. Mamafih, adsorplanmaz nitelikteki bir VAK olarak önerilen polietilen glikol türevi olan katkının akıcılığı azaltmadığı öne sürülmektedir [16].

K. H. Khayat ve M. Saric-Coric, VAK kullanımı ile akıcılıkta meydana gelen kayıpların, uygun süperakışkanlaştırıcı dozajının kombinezonu ile stabilize ve kohezyonda önemli etkiler olmaksızın yeniden kazanılabileceğini ifade etmektedirler [24].

“Curdlan” olarak adlandırılan, β -1.3 Glukan, fermentasyon süreci ile üretilen bir polisakkarittir ve VAK olarak önerilmektedir. Bu katkının da çok akıcı bir betonun plastik viskozitesini arttırdığı, ancak kayma eşliğini düşürmediği ifade edilmektedir [16].

Ayrıca, nişasta yan ürünü olan “Welan gum” gibi çeşitli VAK’lar araştırılmaktadır.



4. BETONDA İŞLENEBİLME ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

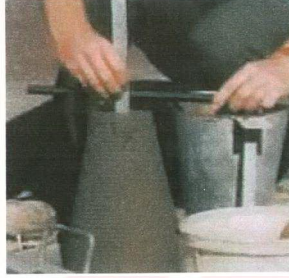
En önemli taze beton özelliklerinden olan işlenebilmenin deneyle belirlenmesine dönük temel yaklaşımlar oluşturabilmek amacı ile çok sayıda çalışma yapılmıştır [5, 25-27]. Bunların çoğu sadece prototip düzeyinde kalan aletlerin geliştirilmesi ile sonuçlanmıştır. İşlenebilme, tanımındaki nitelikleri bir arada değerlendiren tek bir deney yöntemi ile ölçülememektedir [4]. Günümüzde yaygın olarak taze betonlar üzerinde yapılan kalite kontrol deneyleri olan çökme (slump), sarsma tablası (flow), sıkışma faktörü (compacting factor), Vebe vb. işlenebilmeyi ifade eden standart deney aygıtlarının ve yöntemlerinin sayısının fazlalığına karşılık uygulandıkları beton tür ve kıvamları sınırlıdır [14]. Bu deneyler ile üretimde kullanılan su miktarındaki farklılıklar çabuk bir biçimde tespit edilebilmekle birlikte, elde edilen ölçüm değerlerinin betonun viskozite ve kayma eşiği gibi reolojik özelliklerini vermekten uzak olduğu ve deney aleti tipi ile, kullanan operatörün becerisine bağlı olarak değişebildiği hatırdan çıkartılmamalıdır. Öte yandan son yıllarda geliştirilen kendiliğinden yerleşen betonların işlenebilirliğini ölçmek amacı ile yeni yöntemler önerilmektedir. Bu yöntemlerin bazıları normal betonlarda kullanılanların modifiye edilmiş şekli iken (flow) bazıları da yeni geliştirilmiştir. Bu bölümde, bazı önemli işlenebilme deney alet ve yöntemleri irdelenecektir.

4.1 Normal Betonlarda Uygulanan Yöntemler

4.1.1 Çökme (Slump) Deneyi [28-33]

Abrams çökme konisi olarak isimlendirilen aletle yapılan bu deneyde, ölçüleri belirli kesik koni şeklindeki metal bir kalıp içine eşit üç tabaka halinde ve her tabakası 25 kez özel bir çubukla şişlenerek standart olarak doldurulan taze betonun, kalıbına eşit olan ilk yüksekliği ile kap kaldırıldıktan sonraki yüksekliği arasındaki farkın ölçülmesi esas alınmıştır. Çökme deneyi sonunda, betonun konik formunu bozmadan

deforme olması, koni kaldırıldıktan sonra yanlara doğru kaymaması (shear slump), yıkılmaması ve ayrışacak kadar yayılmaması (collapse) doğru bir çökme değerinin ölçümü için gereklidir [14].



Şekil 4.1. Çökme Deneyi

Çökme deneyinde gerilmeler, birim alandaki betonun kendi ağırlığı ile oluşmaktadır. Beton ancak kayma gerilmesi aşıldığında hareket etmeye veya çökmeye başlar (Şekil 4.1). Ağırlıktan doğan kayma gerilmesi çökme sonucu azalınca çökme de durur. Bu nedenle çökme deneyi taze betonun kayma dayanımı ile bağlantılıdır [15]. Bazı araştırmacılar, betonun Bingham kanununa uygun davrandığını varsayarak, sonlu elemanlar yöntemi ile çökmesinin zamanla değişiminin resimlerini üretebilmişlerdir [32].

Çökme değeri, işlenebilmenin tanımlanmasındaki tek değer olmadığından, değişik agregalara özellikle farklı ince agrega içeriğine sahip ve iri agreganın yuvarlak ve köşeli oluşuna göre, aynı çökme değeri farklı işlenebilmeleri gösterebilmektedir. Çökme deneyi betonun sıkıştırılma kolaylığı hakkında bir fikir veremez ve betonun vibrasyon, bitirme işlemi, pompalama ve tremi borusunda hareket gibi dinamik koşullar altında davranışını yansıtamaz [33].

Çökme deneyi, şantiye koşullarında, agrega rutubetlerinde meydana gelebilecek olası artışların gözlemlenmesi amacı ile, beton karışımının uniformluğundaki değişkenliklerin takibinde oldukça kullanışlı olmasına rağmen tek başına betonun işlenebilmesini belirlemek için yeterli değildir [33].

4.1.2 Sarsma Tablası (Flow Table) Deneyi [34]

Bu deney akıcı ve çok akıcı beton karışımlarının işlenebilme özelliklerinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Deneyin ilk aşamasında ölçüleri belirli tepesi kesik koni şeklindeki bir kalıp içine, iki eşit tabaka halinde ve her tabakası 15 kez özel bir çubukla şişlenerek standart olarak taze beton doldurulur. Kap kaldırıldıktan sonra bir kenarı menteşeli diğer kenarı ancak 4 cm yüksekliğe kalkmasına izin verilen tabla 15 kez düşürülür. Bu şekilde yayılan betonun çapı ölçülür. Deneyin 400 ila 600 mm yayılma veren betonlar için uygun olduğu düşünülmektedir [34] .



Şekil 4.2. Sarsma Tablası Deney Aleti

Yapılan laboratuvar çalışmaları [35] yayılma ve çökme değerleri arasında lineer ilişki olduğunu göstermiştir. Gerçekte, her iki deney aynı fiziksel olayları ölçmediğinden, karışımdaki granülometri, agrega şekli veya ince malzemenin içeriğindeki değişimlerin, her iki deney arasında tek bir bağıntı ile ifade edilmesini bekleyecek bir neden bulunmamaktadır [33].

Deneyde düşürülen tabla (Şekil 4.2), betona uygulanan kayma gerilmesini arttırdığı için, yayılma deneyi kayma gerilmesi yerine kayma gerilmesinin zamanla değişimi, yani viskozite ile ilişkilidir [15]. Yayılma deneyinin, aşırı çökme gösteren yüksek işlenebilirlikteki akışkan betonlar için kullanımı uygun olduğundan, son zamanlarda deneyin kullanımı yaygınlaşmıştır.

4.1.3 Biçim Değiştirme (Remoulding) Deneyi

Powers tarafından geliştirilmiştir [36]. Sarsma tablası kullanılması ile beton numunesinin şeklinin değiştirilmesi temeline dayanır. Sarsma tablası ile yapılan bu deney günümüzde artık kullanılmamaktadır. Onun yerine vibrasyon tablası kullanılarak yapılan Vebe deneyi geliştirilmiştir.

4.1.4 Vebe Deneyi [37, 38]

Genellikle, koyu kıvama sahip betonlar için kullanılan bu deneyde, daha geniş bir kap içindeki çökme konisi kaldırıldıktan sonra titreşim uygulanarak kabın tam olarak beton ile doldurulma süresi şeffaf bir plaka üzerinden gözlemlenir ve bu süre ölçülür. Böylelikle aynı miktardaki betonun kalıp içine yerleştirilmesi için gerekli enerji dolaylı olarak ölçülmüş olunur (Şekil 4.3).

Biçim değiştirmenin, cam başlığın tamamen beton yüzeyini kaplaması ve beton yüzeyindeki tüm boşlukların kaybolması ile tamamlanacağı kabul edilir. Deneyin bitim noktasının tespit edilmesindeki zorluk ve buna görsel olarak karar verilmesi hataların ana nedenidir. Bu zorluğu yenmek için, zamana karşı başlığın hareketini kaydeden otomatik bir aygıt kullanılabilir [33] .

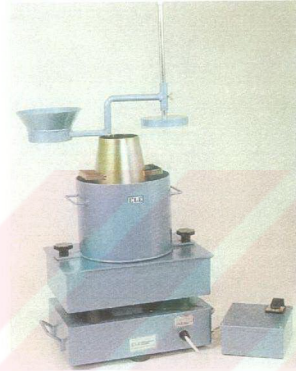
Sıkıştırma için gerekli olan enerji miktarının, süre ile orantılı olduğu varsayılarak, biçim değiştirme için gerekli olan saniye cinsinden zamanla (Vebe zamanı) ölçüt alınır [33].

Vebe deneyi Vebe zamanı 3 ila 30 saniye olan karışımlar için uygundur. Akıcı kıvamdaki betonlar için herhangi bir sınıflandırıcı etkisi olmamasına rağmen, çok kuru karışımlar için önemli bir deneydir.

4.1.5 K-Çökme (K-Slump) Deneyi [39]

Nasser tarafından geliştirilen, delikli bir tüp içine belirli bir süre içinde akabilen harç veya çimento hamurunun ölçülmesi prensibine dayalı olan deney, sadece orta ve yüksek işlenebilirlikli karışımlara uygulanabilmektedir. Yaklaşık 170 mm uzunluğundaki bir ucu sivri olan aletin ortasına kadar devam eden delikli kısmının bitiminde fazla batmayı önleyen yüzdürücü levha vardır. Tüp içine dolan akıcı harç

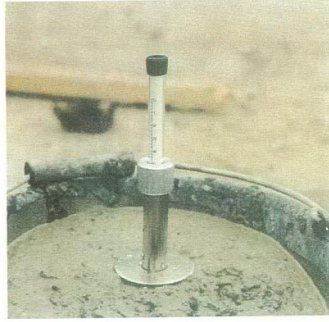
veya çimento pastası miktarı t p içinde hareket eden ölçekli bir çubuk ile ölçülür ( ekil 4.4). Deney aleti, şantiyede ölçüm yapılacak betonun içine düşey olarak daldırılır. Bir dakika sonunda tüpteki harcın yüksekliği ve ucun çıkartılmasından sonraki kalıcı yükseklik ölçülür [33]. Uç üzerinde yapılan okumaların, karışımdaki sürtünme kuvvetleri, yapışma (adhesion) ve kohezyondan etkilendiğinden, betonun işlenebilirlik ve kıvamının ölçüsü olduğu iddia edilmektedir [40].



Şekil 4.3. Vebe Deney Aleti

4.1.6 Sıkışma Faktörü (Compacting Factor) Deneyi [38, 41, 42]

Tam sıkışma için gerekli olan iç direkt olarak ölçebilen genel olarak kabul edilmiş bir metot yoktur. Henüz yapılabilen, standart iç uygulayarak başarılan sıkışma derecesinin hesaplanması gibi tersine bir yaklaşımı kullanmaktır. Sıkışmanın derecesi olarak adlandırılan sıkışma faktörü, test yapılarak sıkıştırılmış betonun yoğunluğunun, aynı betonun tamamen sıkıştırılması ile elde edilen betonun yoğunluğuna oranı ile ölçülür. Deney, maksimum agreg a boyutu 40 mm ye kadar olan agregalarla üretilen betonlar için geçerlidir.



Şekil 4.4 .K Slump Aleti

Deney aleti temel olarak aynı düşey eksen üzerinde, farklı yüksekliklerde teşkil edilmiş, alt kapakları açılabilen konik şekilli üst üste iki kova ve en altta bir silindirden oluşur. Kovaların iç yüzeyleri sürtünmeyi azaltacak şekilde cilalanmıştır. Ayrıca kovaların altlarında menteşeli bir düzenek vardır (Şekil 4.5).

Beton, en üstteki kovaya, sıkıştırma olmaksızın serbestçe doldurulur. Koninin altındaki kapak açılarak betonun kendiliğinden bir alttaki kovaya düşmesi sağlanır. Altta bulunan kova üsttekinden daha küçük olduğundan nerede ise taşacak kadar dolar. Böylelikle daima bu kovada standart olarak yaklaşık aynı hacimde beton bulunur. Bu durum en üstte bulunan kovanın doldurulması sırasında insan faktörünün etkisini azaltır. Alttaki kovanın kapağı açıldığında beton kendiliğinden alttaki silindire dolar. Silindirden taşan beton temizlenerek atılır. Silindirdeki betonun birim hacim ağırlığı hesaplanır. Aynı silindire sıkıştırılarak doldurulan betonun ağırlığı da tartılır. Sıkıştırma faktörü, deney sonucunda kısmen sıkıştırılmış betonun ağırlığının, tamamen sıkıştırılarak doldurulmuş betonun ağırlığına oranlanması yolu ile hesap edilir. Deneyde, malzemenin sıkışma yeteneğinin ölçülmesi amaçlanmaktadır [33].

Sıkışma faktörü 1 değerine ne kadar yakınsa, betonun işlenebilirliği o kadar iyidir [43].



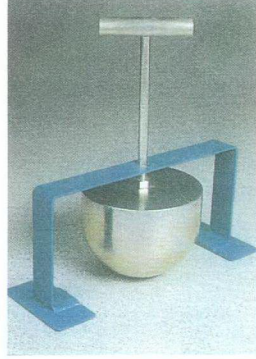
Şekil 4.5 Sıkışma Faktörü Deney Aleti

4.1.7 Batırma Direnci - Kelly Topu [Kelly Ball Penetrasyon] Deneyi [44]

Çapı 152 mm, ağırlığı 13.6 kg olan metal yarıkürenin kendi ağırlığı ile taze betona batma derinliğinin ölçülmesi temeline dayanan basit bir saha deneyidir. Aletin tasarlanması ve geliştirilmesi J. W. Kelly tarafından yapılmıştır (Şekil 4.6).

Deney aletinin kullanımı, pratikte çökme deneyine benzer olarak, karışımda agrega rutubetlerindeki değişimden dolayı oluşan kıvam farklılıkların rutin olarak kontrolünü amaçlamaktadır. Kullanımı genel olarak Amerika B.D.'de yaygın olmasına rağmen çökme deneyine alternatif olarak düşünülebilir. Yapılması daha basit ve hızlıdır. Kalıpta yerleştirilmiş betona da uygulanabilir. Sınır etkilerini yok etmek için denenen betonun derinliğinin 200 mm'den az olmaması, yanal boyutunun ise en az 460 mm olması istenmektedir [33].

Penetrasyon ile çökme arasında basit bir korelasyon bulunmamaktadır. Bu korelasyon ancak şantiyede belirli bir karışım kullanıldığında sadece bu karışım için kurulabilmektedir [33].



Şekil 4.6. Batırma Direnci Deney Aleti (Kelly Ball)

4.1.8 Walz Deneyi

Kare prizma şeklindeki kabın içine beton sıkıştırılmadan doldurulur. Sonra dalıcı vibratör kabın dibine kadar yavaşça daldırılır ve çıkartılır. S çökme miktarı (cm) ölçülür. Walz Sıkışma Oranı $40 / (40 - S)$ formülü ile hesaplanır. Sıkışma oranları 1,014 ile 1,45 arasında değişebilmekte olup, kuru kıvamlılarda bu değer büyük olmaktadır.

4.2 Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Uygulanan Deney Yöntemleri

KYB' lerin işlenebilmesinin tespitinde klasik işlenebilme deneyleri yetersiz kalmaktadırlar. Bu nedenle bir çok yeni yöntem önerilmektedir.

4.2.1 U Şekilli ve Kutu Tipi Deney Aletleri

Her iki yöntem de yüksek akıcılıktaki taze betonun, üst kısımdaki betonun oluşturduğu belirli bir basınç altında, dar bir aralıktan geçebilmesini değerlendirmek için tasarlanmıştır. Bu aletler, KYB'nin doldurma ve geçme yeteneğini tanımlarlar.

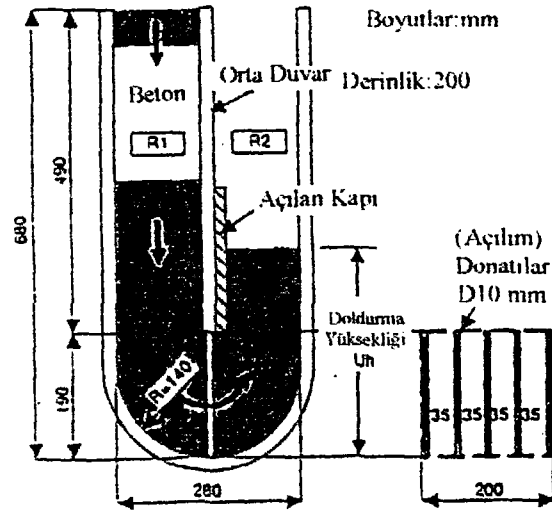
Öncelikle U şekilli deney aleti, daha sonra köşeli yapısı nedeni ile daha yüksek akış direnci olan kutu tipi alet geliştirilmiştir (Şekil 4.7 - 8).

Her iki alette iki bölüme ayrılmıştır. Taze beton bir bölüme konulur. Betonun bölümler arasında geçişini sağlamak için, aletin alt tarafında donatı alanını temsilen çeşitli sayıda donatıların da olduğu bir çıkış ağzı vardır. Deneye başlarken taze betonun aletin bir bölümüne doldurulması sırasında, diğer bölüme kaçmasını önlemek amacı ile ayırıcı bir bölme kapısı vardır. Bu kapı açıldığında, tamamen doldurulan ilk bölmedeki beton, donatıların olduğu çıkış ağzından geçerek aletin diğer bölmesine akacaktır. Akış durduğunda, ikinci bölmedeki betonun üst yüzünün, aletin altından olan yüksekliği ölçülür. Doldurma yüksekliği, denenen betonun dar bir aralıktan geçiş yeteneğinin değerlendirilmesinde kullanılır [20].

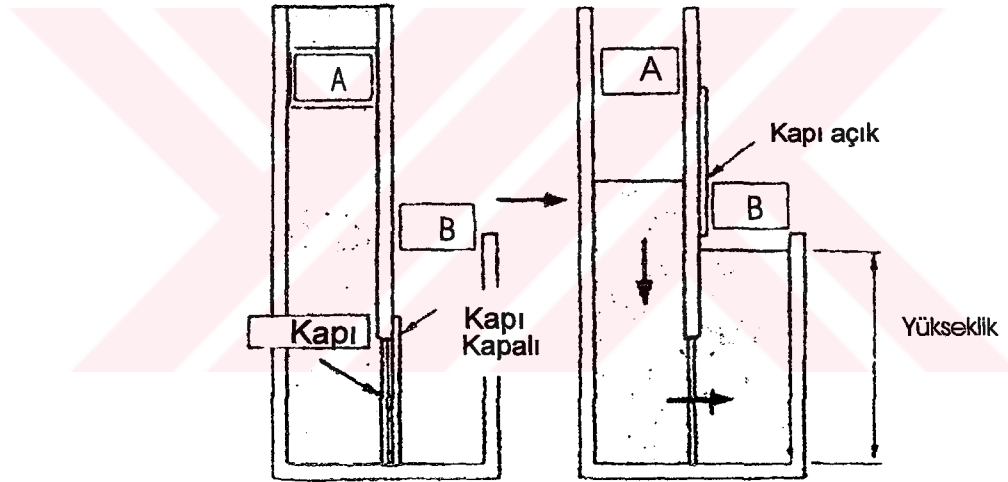
Doldurma yüksekliği fazla olan betonun genellikle dar bir aralıktan geçiş yeteneğinin daha iyi olduğu varsayılmaktadır. Bunlara ek olarak, betonun akması sırasında geçen süre ölçülerek karışımın viskozitesinin değerlendirilmesinde kullanılır [20].

U Şekilli ve kutu tipi deney aletlerinin her ikisinin de belirleyici özelliği, donatı alanını temsilen birkaç dar aralık oluşturmak amacı ile donatıların yerleştirilmiş olmasıdır. JSCE 'nin U tipi alette kullanılması için seçilecek donatı çapları hakkındaki tavsiyesi, 1.derece için 10 mm çapında 5 adet donatı, 2.derece için 13 mm çapında 3 adet donatı kullanılması şeklindedir. Donatı kullanılmaması durumu 3.derece olarak adlandırılmaktadır. [3]

Betonun doldurma ve geçme yeteneğinin elde edilmesinde kullanılan her iki alette de, beton kendi ağırlığı ile çeşitli zorluk derecelerini temsil eden farklı sayıda ve çapta donatılar arasından geçmeye çalışmakta ve betonun aletin öbür kolunda 30cm ve daha fazla yükselmesinin iyi geçiş ve doldurma yeteneğine sahip olduğuna işaret ettiği kabul edilmektedir.



Şekil 4.7. U Şekilli Deney Aleti [20]



Şekil 4.8. Kutu Tipi Deney Aleti [20]

4.2.2 L Şekilli Deney Aleti

Test edilecek betonun akacağı yolun önünde çeşitli engellerin olmadığı veya donatılarla engeller oluşturarak, numune betonun geçeceği dar aralıklar oluşturulduğu çeşitli L şekilli deney aletleri vardır. Burada donatılı olarak kullanılan tipteki alet ele

alınacaktır (Şekil 4.9). L şekilli aletlerin çalışması U ve kutu tipi aletlerle aynı ilkeye dayanır.

Test için hazırlanan beton 12,7 litre hacmindeki dikey kısma konulur ve 1 dakika boyunca dinlenmesi için bırakılır. Bu süre zarfında betonun kararlı olup olmadığı gözlemlenir. Ayırıcı bölme kaldırılarak betonun aletin dikey kısımdan yatay kısma doğru akışı sağlanır. Bu sırada beton donatıların arasından geçmek zorundadır. Donatılar arası 34 mm'dir, ancak bu aralık değiştirilebilir. Ayırıcı bölme kaldırıldıktan sonra, betonun aletin yatay kısmında 200 ve 400 mm'ye yayılma süresi ölçülür. Beton durduktan sonra, H_1 ve H_2 yükseklikleri ölçülür. İsveç'te yapılan deneylerde, tıkanma oranı olarak adlandırılan kabul edilebilir H_2/H_1 değerinin 0,80-0,85 olduğu tespit edilmiştir [20].

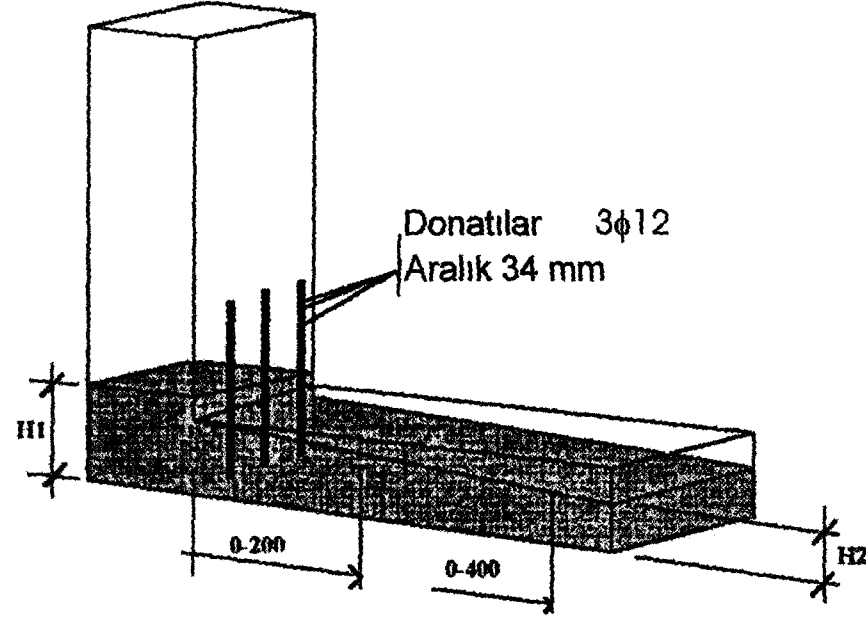
Deneyde tıkanma ve betonun kararlılığı gözle ortaya çıkartılır. Beton eğer donatıların arkasında tümsek oluşturuyorsa, tıkanır veya ayrışır. Genellikle tıkanmayı, donatılar arasında bir araya gelmiş kaba agrega taneleri oluşturur. Kaba agregalar, yatay kısımda bulunan betonun bütün yüzeyinde dağılmış ise, betonun kararlı olduğuna hükmedilir.

İstisnai durumlar haricinde, deformasyon kapasitesi açısından, donatılı tip L şekilli aletin deney sonuçları, çökme yayılma aletinin deney sonuçları ile uyumludur. Numunenin üst yüzeyinin çökmesi, çökme değeri ile (çökme veya çökme yayılma deneyindeki üst ucun çökmesi ile) benzer fiziksel anlamdadır. Çökme yayılma deneyi, numune betonun serbest koşullar altında 2 boyutlu akıcılığını belirlerken, L şekilli deney aleti, yön olarak kısıtlanmış koşullar altında 1 boyutlu akıcılığı belirler.

Karışımındaki kaba agrega miktarının görece fazla olması ve/veya numune betonun ayrılmaya eğilimli olması durumunda, aletin geçiş kapısında tıkanma ile betonun akışı durabilir. Bu durumda L şekilli deney aletinin sonuçları ile, çökme - yayılma deney sonuçları uyumlu değildir.

L şekilli deney aleti, deforme olma yeteneğini ve dar aralıklardan geçiş yeteneğini tek bir alette aynı anda belirler. Belirli mesafelere (200 ve 400 mm) betonun akış süresi, deformasyon hızının tayininde kullanılır. Donatılı alandan geçtikten sonraki ve önceki yüksekliklerin farkı, tıkanma oranı olarak tanımlanır ve deformasyon

kapasitesi ve tıkanma özelliğini içeren dar aralıktan geçiş kabiliyetinin belirlenmesinde kullanılır.



Şekil 4.9 L Şekilli Deney Aletinin Temel Gösterilimi [20]

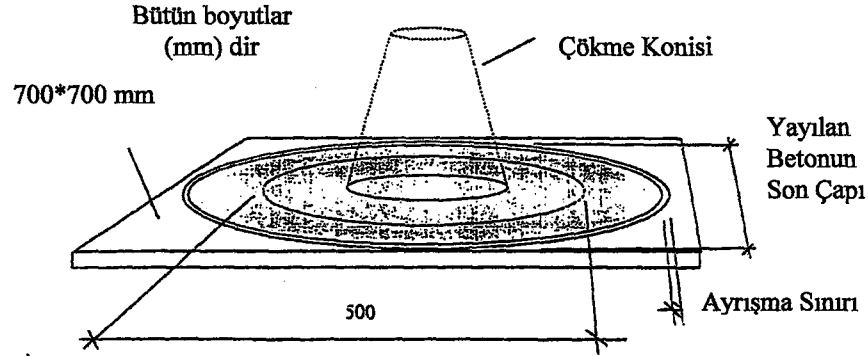
4.2.3 Japon Çökme Yayılma

Kendiliğinden yerleşen betonlarda akıcılık, genel olarak Abrams konisinin kaldırılması sonucu yayılan betonun, yayılma çapının ölçülmesi temeline dayanan Japon çökme-yayılma deneyi ile denenir (Şekil 4.10). Bu deneyde, aynı zamanda koninin kaldırılmasından, betonun 50 cm yayılma yapmasına kadar geçen süre de ölçülür [3]. Yapılan çalışmalar, çökme yayılma deneyinde elde edilen ortalama 60-70 cm yayılma çapının, iyi bir akıcılığı ifade ettiğini göstermiştir.

Çökme yayılma deneyi ile kendi ağırlığı ile şekil değiştiren numunenin yayılma çapı ve şekil değiştirme hızının gözlemlenmesi yolu ile kendiliğinden yerleşen taze betonun şekil değiştirme yeteneği tayin edilir. En büyük tane boyutu 40 mm' den fazla olan agregalarla üretilen betonlarda bu yöntem kullanılmaz. [20]

Deneyde, ISO 4109'da tariflenen çökme konisi kullanılır. Deney, en az 2 mm kalınlığında yeterince su geçirmez ve sağlam çelikten yapılmış bir plaka üzerinde yapılır. Plakanın boyutlarının bazı kaynaklarda 70 cm * 70 cm, bazı kaynaklarda ise 80 cm * 80 cm'den büyük olması tavsiye edilmektedir. Plakanın yüzey yapısının

yeterince düz olması istenmektedir. Plaka üzerinde 50 cm çapında bir dairenin çizilmiş olması 50 cm çapında daireye yayılma zamanının ölçülebilmesi için gereklidir. Deneyde ayrıca metre ve 1/10 saniyeyi ölçebilen bir kronometre kullanılır.



Şekil 4.10. Çökme Yayılma Deney Aleti [20]

Islak bir bez yardımı ile çökme konisinin iç yüzeyi ve plakanın üst yüzeyi nemlendirilir. Çökme konisi düz ve sağlam bir zemin üzerine yerleştirilmiş olan plakanın üzerine konulur.

Betondan alınan numune, çökme konisine bir sürahi yardımı ile ara vermeksizin doldurulur. Şişlenmez ve vibratörle sıkıştırılmaz; kendi ağırlığı ile sıkışması sağlanır. Doldurulan betonun üstü koninin kenarı ile seviyelendirilir. Bu işlemler 2 dakika içinde tamamlanmalıdır.

Koniye yerleştirilen betonun üstü düzeltildikten hemen sonra, koni dikkatlice ve ara vermeksizin dikey doğrultuda kaldırılır. Betonun yayılmasının 50 cm çapındaki bir daire sınırlarına ulaştığı zaman ve yayılmanın tamamen durduğu zaman ölçülür. Betonun hareketi durduktan sonra, yayılmış betonun birbirine dik iki doğrultudaki çapları ölçülür. Bu değerlerin ortalaması çökme yayılma deney sonucunu verir. [20]

Alet ve deneyin yapılışı diğer alet ve metodlara göre daha kolay ve basit olduğundan, KYB'lerin özelliklerinin test edilmesinde kullanılan en yaygın deneydir. Deney doldurma yeteneğini gösterir. Ayrışmaya direnç, belirli bir dereceye kadar gözle muayene edilir, ancak geçme yeteneği ile ilgili herhangi bir veri gözlenemez.

Deneyden veri olarak, yayılmanın toplam çapı, 50 cm çapındaki bir daireye yayılma süresi, toplam yayılma süresi ve gözle ayrışma derecesi elde edilir. [20]

Çökme yayılma değeri KYB'nin deformasyon kapasitesinin tayininde kullanışlı bir göstergedir.

50 cm'lik çapa akış zamanı ve toplam yayılma süresi, yaygın olarak yüksek akıcılıktaki taze betonun viskozitesinin tayininde kullanılır. Toplam yayılma zamanı, toplam yayılma değerinden etkilenir ve 50 cm çapa yayılma zamanının ölçülmesinden çok daha öznelidir. Bu nedenle, 50 cm çapa yayılma zamanı karışımın viskozitesinin belirlenmesinde daha kullanışlıdır. Bununla birlikte, 50 cm'e yayılma zamanı da çökme yayılma değerinden (deformasyon kapasitesi) etkilenir. Örneğin, karışımın viskozitesi sabit olduğunda, çökme yayılması büyük olan betonların 50 cm çapa yayılma süresi daha kısa olacaktır. Bir başka deyişle, karışımın viskozitesi, potansiyel deformasyon kapasitesinden bağımsız olarak tahmin edilemez.

Ana ilke olarak, taze betonun viskozitesinin fiziksel anlamı, Bingham sıvısında kayma eşiğinden bağımsız olan plastik viskozite olarak tanımlanır. 50 cm'e yayılma zamanı karışımın kayma eşiğinin temsil ettiği çökme yayılma değerine daima bağlıdır. Bu nedenle, 50 cm'e yayılma akış zamanı, tek başına taze betonun viskozitesi olarak ele alınamaz ancak test edilen karışımların deformasyon kapasitesi yani çökme yayılma değeri sabit olduğunda, taze betonun göreceli viskozitesinin belirlenmesinde kullanılabilir.

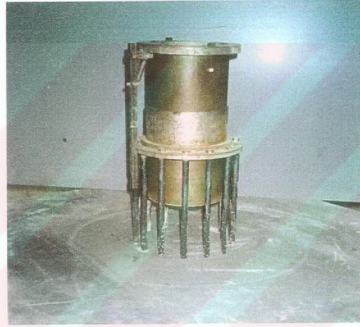
Çökme yayılma deneyinde, betonun ayrışmaya direnci yeterli değil ise, kaba agregalar merkezde kalma eğilimindedirler.

4.2.4. Donatılı Yayılma Deneyi

Kendiliğinden yerleşen betonların hem akıcılığını hem de ayrışma direncini ölçmek amacı ile yeni geliştirilen bu alet, 30 cm yüksekliğinde 15 cm çapında içi boş, iki ucu açık bir silindir ve bunu çepeçevre saran 3,5 cm aralıklarla dizilmiş 14 adet 12 mm çapında demir çubuklardan oluşmuştur [17]. Şekil 4.11 de resmi görülen deney

aletinin içine tek defada doldurulan beton, silindirin 10 cm kaldırılması ile çubukların arasından akarak yayılmaktadır. Bu sırada betonun 50 cm çapındaki daire sınırlarına ulaşma süresi, duruncaya kadar olan toplam yayılma süresi ve nihai yayılma çapı ayrı ayrı ölçülebilmektedir.

Özkul ve arkadaşlarınca donatılı yayılma ve Japon çökme yayılma aleti kullanılarak ile yapılan deneylerde KYB'nun işlenebilirlik özellikleri karşılaştırmalı olarak araştırılmış ve donatılı yayılma deneyi ile betonların kendiliğinden yerleşebilme ve ayrışma direncinin belirlenmesinde olumlu sonuçlar alındığı raporlanmıştır [17, 45, 46].



Şekil 4.11. Donatılı Yayılma Deney Aleti

4.3. İki Nokta Deney Aletleri (Beton Viskozimetresi)

Günümüzde taze betonlar üzerinde kalite kontrol deneyleri yaygın olarak çökme, yayılma gibi standart deneyler kullanılarak yapılmaktadır. Bu deneyler ile üretimde kullanılan su miktarının değişip değişmediği çabuk bir biçimde tespit edilebilmekle birlikte, elde edilen ölçüm değerlerinin taze betonun yapısal niteliklerinden sadece biri (kayma eşiği veya viskozite) hakkında yaklaşık bir değerlendirme sağladığı ve deney aleti tipi ile, kullanan operatörün becerisine bağlı olarak değişebildiği bilinmektedir. Beton reolojisinin viskozimetre deneyleri ile incelenmesi, üretim

öncesi daha gerçekçi bir bileşim ve katkı türünün saptanması açısından yararlı bir laboratuvar yöntemidir [14] .

Reolojik sabitler olan plastik viskozite ve kayma eşiği değerleri betonlarda, iki nokta işlenebilme aygıtı ile saptanır [11, 14, 17]. Betonlarda süspansiyon içindeki tanelerin iriliği ve ayrışma ihtimali yüksek olduğundan, silindirler arası harçlarda kullanılan viskozimetrelere göre daha açık ko-aksiyal veya dış silindir içinde konsantrik veya planater olarak dönen bir karıştırıcısı olan viskozitemetreler gerekir.

Reolojik sabitlerden kayma eşiğini ölçmek için çeşitli dönme hızlarına karşı gelen kayma gerilmelerinin ölçülmesi ve açısal şekil değiştirme hızı ile kayma gerilmesi grafiğinin çizilmesi gerekir. Bu grafiğin çizilebilmesi için iki noktaya ihtiyaç olduğundan bu tip araçlara iki nokta işlenebilme deney araçları denilmektedir [11].

Betonun akış özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan ilk ve en yaygın deney aleti Tattersal' in 1973 yılında geliştirmiş olduğu iki nokta deney aletidir (Şekil 4.12). Alette testi yapılacak olan beton bir kap içinde bulunur. Karıştırıcı palet dönmeye başladığında, palete karşı malzemenin oluşturduğu dönme momenti (tork) ölçülür. Paletin artan dönme hızları için, dönme momenti ile dönme hızının değişim eğrisi kaydedilir. Elde edilen grafik lineer olduğundan, hızın sıfır olduğu dönme momenti değerinden eşik kayma gerilmesi hesaplanır. Eğrinin eğimi viskozite ile ilişkilidir.

Tattersal, Bingham cisminin denkleminde, açısal şekil değiştirme hızı ($d\gamma / dt$) yerine, dönme hızı N ; kayma gerilmesi (τ) yerine, tork burulma momenti T değerlerinin koyarak problemi pratik hale getirmiştir. Bingham cisminin Tattersal tarafından önerilen denklemi aşağıdadır.

$$T = g + h * N \quad (4.1)$$

Taze beton içinde dönen karıştırıcı ucun değişik hızlarda dönmesinin oluşturduğu tork ölçülmektedir. Daha sonra da g ve h değerleri hesaplanmaktadır. Betonun harekete başlaması için gerekli olan kuvvetin ölçülmesi ile g ile gösterilen parametre; artan hızlardaki betonun direncinin ölçülmesi ile h ile gösterilen parametre, belirli bir beton karışımının işlenebilirliğini tanımlar.

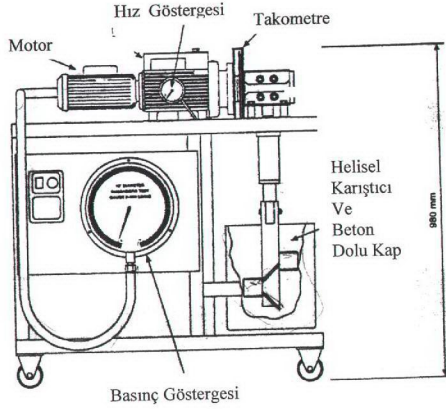
Burada g kayma eşiğinin, h ise plastik viskozitenin ölçüsüdür. (4.1) Nolu denklemdeki g ve h, ölçüm sistemine ve beton özelliklerine bağlıdır. Farklı karışımlar bir önceki baz alınarak değerlendirilir.

Dönen ucun özel biçimi numuneye göre belirlenmiştir. Çökmesi 10 mm yi aşan karışımlarda helis şeklindeki karıştırıcı kullanılmaktadır. Daha düşük işlenebilirlikteki karışımlarda, helisel karıştırıcı yeterli karıştırma işlemini gerçekleştiremeyeceğinden, H şeklindeki ve beton konulan kabın içinde ikinci bir eksen etrafında dönerek gezebilecek biçimde tertibatlandırılmış karıştırıcı uç kullanılır.

Beton içindeki akış rejimi kayma eşiğinin ve plastik viskozitenin direkt olarak hesaplanabilmesi için oldukça karmaşıktır. Fakat Metener - Otto yaklaşımı ile özellikleri bilinen sıvılar kullanılarak kalibrasyon yapılması bu parametrelerin elde edilmesini mümkün kılar.[47]

Tattersal 'ın geliştirmiş olduğu aletin özellikleri [47]:

- Karıştırıcı değişken hızları olan motor ünitesi yolu ile çalışmaktadır. Tork, kendisi ile doğrusal orantılı olan yağ basıncından indirekt olarak ölçülmektedir.Yağ basıncı basınç göstergesinden gözlenmektedir.
- Testin yapılması için, beton kaba konulmakta, basınç (dolayısı ile tork) farklı (tipik olarak yedi) hızda ölçülmekte, böylelikle akış eğrisi güvenilir bir şekilde tanımlanmaktadır. Kaba tanelerin birbirine dolaşması basınçta düzensiz değişimlere yol açar. Fakat meydana gelen piklerin her hız değeri için gözle takdir edilerek elenmesi ile yeterince duyarlı ortalama değerleri elde edilir. Okumaların alınması için yaklaşık beş dakika yeterlidir.
- Hem orta ve yüksek akışkan (MH) hem de orta düşük akışkanlıktaki (ML) betonlar için farklı karıştırıcı hızlarının sağlanması amacı ile değişik vites kutuları gereklidir.Bunların deney programı sırasında değiştirilmelerinin gerekli oluşu kullanım zorluğu yaratmaktadır.



şekil 4.12 . İki Nokta İşlenebilme Deney Aletinin şematik Olarak Göşterilimi

Tattersal 'ın geliştirmiş olduğu aletin kullanımı :

Test sırasında orijinal aletin hidrolik iletim sistemindeki yağın basıncı, basıncı ölçerden ölçülür. Bir çok araştırıcı, ortaya çıkan torkun agrega takılmaları nedeni ile basıncıölçerin iğnesinde oluşturduğu büyük düzensiz değişimleri ve okuma zorluklarını deneyimlemişlerdir.

Zaman içinde alınan basıncı kaydında görülen düzensiz değişimler, operatörün karar vereceği ölçmelerin olduğunu göstermektedir. Her bir ölçüm 4-6 dakika sürmektedir. Bu süre betonun homojen kalabilmesi için yetersizdir.

Deney aletinin karıştırıcısı 30 dakika boyunca 0.65 dev/s hızında çalıştırılarak deney aletinin ısınması sağlanmalıdır.

Kalibrasyon sırasında kalibrasyon katsayılarının sıcaklığa bağımlı oldukları unutulmamalıdır.

4.3.1. İki Nokta Deney Aletinin Modifikasyonları

Tattersal'in geliştirmiş olduğu alette çeşitli tarihlerde farklı amaçlarla değişiklikler yapılarak, deney sırasında karşılaşılan çeşitli zorluklar aşılmaya çalışılmıştır.

Tattersal'in orijinal sistemine 1982 yılında ilk modifikasyon yapılmıştır. Hidrolik hata basınç ileticinin dahil edilmesi ile, test sırasında yağ basıncının kaydının alınması mümkün olmuştur.

Cabrera ve Hopkins [48] karıştırıcı miline transducer ekleyerek torku direkt olarak ölçmüşlerdir.

Wimpenney ve Ellis [49] basınçölçerdeki gözle takdir ederek yapılan okumalardaki özneliği azaltma amacı ile değerleri bilgisayarla veya yazıcı ile kayıt etmeye yarayan transduceri kullanmışlardır.

Wallevik ve Gjorv [50], karıştırıcı hızını ve yağ basıncını analizlerde kullanmak amacı ile kayıt etmek için elektronik takometre kullanmışlardır.

Yakın zamanda Beaupre [51], Tattersal'in orta - düşük akışkanlıktaki betonlar için kullandığı karıştırıcı ile strain gauge - slip ring sistemini torku ölçmek için beraber kullanmıştır. Bu sistem ile yüksek performanslı püskürtme betonların reolojisini ölçmüştür.

Wallevik ve Gjorv [50] yapmış oldukları deneylere istinaden geliştirilmiş olan test metodunda genel olarak problemlili ve güvenilmez olan iki nokta gözlemlenmişlerdir.

- 1) Test sırasında beton ayrışabilmektedir. Ayrışma problemini azaltmak için gerekli olan sürenin tercihan iki dakikanın altına indirilmesi hedeflenmiştir.
- 2) Ekipmanın kullanılması sırasında varolan zorluklardan dolayı hatalar artmaktadır. Test aletinin daha kolay kullanılması için, operatörün hüküm vermesi gereken noktaların azaltılması istenmektedir.

BML viskozimetresi olarak adlandırılan ko-aksiyal silindir sistem viskozimetreler Norveç'te geliştirilmiştir. Dönebilen dış silindir 200 mm, iç silindir 100 mm yarı çapındadır. Böylelikle silindirler arasında bir boşluk oluşmuş olur. Her iki silindir de betonun kaymasını önlemek için çubuklarla yivlendirilmiştir. Hu ve arkadaşları [52] 10 mm' den düşük, Mork [53] ise 50 mm den düşük çökmeli betonlarda anlamlı sonuçlar alınamadığını öne sürmüşlerdir.

4.4 Mevcut Deney Yöntemlerinin Değerlendirilmesi Ve Sonuçlar

1) Standart deney yöntemleri, ancak sınırlı kıvamlar bölgesinde kalan betonlar için güvenilir ve geçerlidirler.Bkz. Tablo 4.1

Tablo 4.1. Bazı Standart Beton Deneylerinin Kullanıldıkları Aralık ve Geçerli Olduğu Beton Tipleri [4]

	Çökme (cm)	Yayılma (cm)	VeBe (s)	Walz	Sıkışma Faktörü
Kuru	2-6	-	12-6	1.16-1.45	< 0.80
Plastik	7-12	28-40	5-2.5	1.11-1.15	0.80 - 0.90
Akıcı	>13	41-50	2-0	1.00-1.10	0.90 - 0.95
Geçerli Olduğu Beton Tipi	Akıcıya yakın Plastik	Akıcı	Kuru	Kuru	Kuru
Kullanıldığı Aralık	5-17.5	> 28	>2.5	>1.15	<0.90

2) Standart deney yöntemleri ile aynı tür ve aynı kıvamda yapılan betonlar kendi aralarında da kıyaslamak güç olabilmektedir. Bazı durumlarda beton karışımına eklenen çok az miktardaki su ile çökme deneyi ölçümleri kayma çökmesi veya aşırı çökmeli (collapse) olarak adlandırılan tipte olabilmektedirler.

3)Standart deneyler sıfır çökmeli veya yüksek çökmeli betonların karşılaştırılmasında yetersizdirler.

4) Betonun akış özelliklerini ölçmek amacı ile kullanılan pek çok deney yöntemi ile elde edilen sonuçlar, viskozite veya kayma eşiği ile ilişkili sadece bir değer vermektedir. Deney sonucu, deney aleti tipi ve operatörün becerisine bağlı olarak değişebilmektedirler.

5) Standart deneyler betonun kıvamı hakkında fikir verebilirler. Fakat taze betonun işlenebilirliğini tam olarak açıklayamazlar. Tablo 4.2. de Ritchie'nin deney sonuçları yer almaktadır [14]. Burada su/çimento oranı artarken, çimento dozajı ve su miktarı azalmıştır (A' dan C'ye). Suyun akışkanlaştırıcılığı, çimentonun agrega tanelerini

yağlayıcı ve kohezyonu artırıcı etkileri düşünüldüğünde Tablo 4.2'deki betonlar için deney sonuçlarının uyumlu olduğu söylenemez.

Tablo 4.2. Ritchie' nin deney sonuçları [14]

Karışım	Su/Çim	Çimento (kg/m ³)	Su (kg/m ³)	Çökme (mm)	Sıkışma Faktörü	Ve-Be (s)
A	0.45	520	234	80	0.85	3.5
B	0.55	385	212	50	0.92	6.5
C	0.69	270	186	55	0.95	2.5

Standart deney sonuçlarına göre betonun kıvamındaki artışın deney tipine bağlı olarak değiştiği görülmektedir :

Çökme : B<C<A

Sıkışma Faktörü : A<B<C

Ve-Be : B<A<C

6) Standart deney yöntemlerinin kullanımları, üretimler arasındaki değişimin şartnamelere uygunluğunun kalite kontrol ile tespiti amacıyla dönük olarak sınırlandırılmalıdır. Biri kayma eşiği diğeri viskoziteyle ilişkili iki testin kombinezonu betonun akışını daha iyi tanımlayacaktır. Pek çok test tek bir parametre hakkında fikir verdiği halde kolay uygulanabilir ve ucuz testler olduklarından oldukça yaygındırlar.

Beton reolojisinin iki temel parametresi olan kayma eşiği ve viskozitenin ölçümü için daha önemli yaklaşımlar geliştirilmelidir.

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

Çalışmada deney programının oluşturulmasına dönük bilgiler, gerçekleştirilen deneylerde kullanılan alet, malzemeler ve izlenen yol hakkında bilgiler bu bölümde verilecektir. Çeşitli değişkenlerin (farklı kimyasal ve mineral katkıları, farklı tip çimentolar), çimento pastası, harç ve betonların reolojik özelliklerine etkilerinin tespiti için belirlenen karışımlar üzerinde, farklı kesitli koniler ile yayılma deneyleri yapılmış, daha sonra çimento pastası ve harç deneylerinde Mettler Rheomat 180 viskozimetresi, beton deneylerinde ise yeni geliştirilen beton viskozimetresi kullanılarak çeşitli dönme hızlarında kayma gerilmesi değerleri okunmuştur. Malzemelerin reolojik sabitlerinin elde edilmesi için kayma gerilmesi – kayma deformasyon hızı arasındaki bağıntılar grafik olarak bilgisayarda hesaplanmıştır.

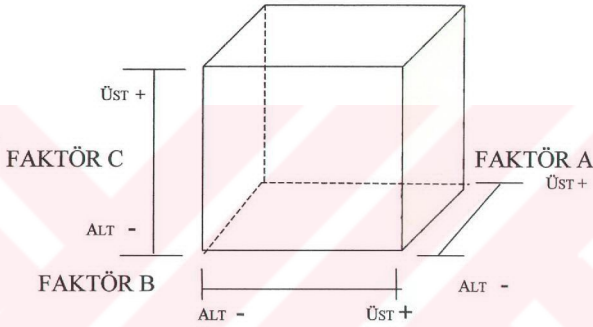
Deney sonuçlarının değerlendirilmesi Bölüm 6'da yapılmıştır. Bu bölümde öncelikle deney programının oluşturulmasına dönük bilgiler, oluşturulan deney serileri ve seriler oluşturulurken göz önünde bulundurulacak noktalar ve yeni geliştirilen beton viskozimetresinin özelliklerinden bahsedilecek daha sonra deneylerde kullanılan malzeme bilgileri ve çimento pastası, harç ve beton deneyleri yapılırken izlenen yöntemler anlatılacaktır.

5.1. Deney Programının İstatistiksel Tasarımı ve Sonuçların İstatistiksel Değerlendirilmesinde Uygulanan Yaklaşım

5.1.1 Deney Tasarımı

Faktoriyel analiz yönteminde değişken sayısı k olmak üzere ve değişkenlerin iki farklı düzeyde değere sahip olması durumunda deney sayısı 2^k dır. Bu çalışmada çimento pastası için su miktarı/bağlayıcı, mineral katkı miktarı/bağlayıcı, kimyasal katkı miktarı/bağlayıcı; harçlar için su miktarı/bağlayıcı, mineral katkı

miktarı/bağlayıcı, kum miktarı/bağlayıcı; betonlar için ise su miktarı/bağlayıcı, kimyasal katkı miktarı/bağlayıcı ve kum miktarı/bağlayıcı olmak üzere her bir seri için 3 ayrı bileşim değişkeni seçilmiştir; bu nedenle çalışmanın her bir bölümünde $2^k=2^3=8$ ayrı deney gerekmektedir. 2^3 faktoriyel analiz genellikle bir küp şeklinde gösterilir ve kübün her bir köşesinde bir değişken yer alır (Şekil 5.1). Kübün bir köşesinde (sol alt köşe) eksen takımının (xyz) merkezi yerleştirilmiş ve bu köşede herbir değişkenin alt (küçük) değerleri yer almıştır. Değişkenler iki farklı düzeye (alt-üst) sahip oldukları için üst değerleri karşı köşelerde bulunmaktadır.



Şekil 5.1 Değişken A (Faktör 2^3) Faktoriyel Gösterimi

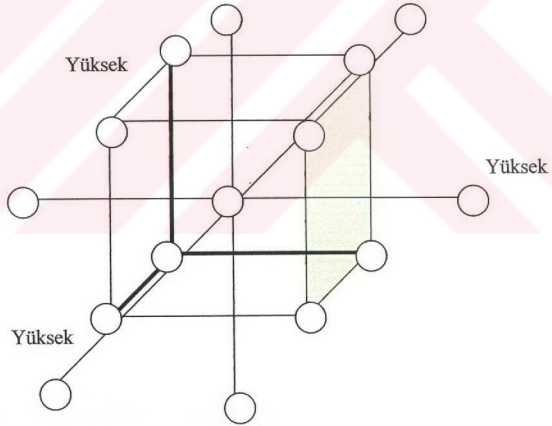
Her bir değişkenin üst değeri (+) ve alt değeri (-) işareti ile gösterilirse 2^3 faktoriyel analiz Tablo 5.1 de verilen deney programını verir.

Her bir değişkende değişim aralığı arttığında deney sayısı da artmaktadır. Örneğin 5 farklı düzey söz konusu olduğunda, 3 değişken için deney sayısı $5^3=125$ 'e çıkmaktadır. Bu nedenle deney sayısını azaltıcı yöntemler aranmıştır; Box-Hunter Yıldız Yöntemi bu çözümlerden birisidir [54]. Bu yöntem de küp gösterimi ile açıklanabilir. Köşelerde her bir değişkenin alt ve üst değerleri yer alır. Küpün merkezinde ise orta değerler bulunmaktadır (Şekil 5.2). Küpün merkezinden eksen takımına paraleller çizilerek bu eksenler üzerinde alt değerden daha küçük ve üst değerden daha büyük değerler gösterilmiştir. Böylece her bir değişken için bir orta

değer, bir alt ve bir üst değerler ve bir dış alt ve bir dış üst olmak üzere toplam 5 farklı düzey bulunmaktadır.

Tablo 5.1 2^3 Faktöriyel Deney Tasarımı

Deney No	A	B	C
1	-	-	-
2	+	-	-
3	-	+	-
4	+	+	-
5	-	-	+
6	+	-	+
7	-	+	+
8	+	+	+



Şekil 5.2 Yıldız Gösterimi

Yukarıda belirtildiği gibi 5^3 faktöriyel tasarım 125 deney gerektirir. Oysa Yıldız Yönteminde alt ve üst değerlerin oluşturduğu 2^3 faktöriyel tasarım yine aynen tekrarlanır ve bu tasarım 8 deney gerektirir. Orta değerlerden iki değişkene ait olanı

ile bir dış alt veya dış üst değeri eklenerek 6 deney daha ortaya çıkar. Ayrıca değişkenlerin orta değerleri 3 kez tekrarlanarak hem orta değer işe katılmış olur, hem de tekrarlanabilirlik özelliği sınanmış olur. Bu durumda toplam deney sayısı $8+6+3=17$ 'e ulaşır (Tablo 5.2).

Tablo 5.2 Yıldız Gösterimi Tasarımı

Deney No	A	B	C
1	-1	-1	-1
2	+1	-1	-1
3	-1	+1	-1
4	+1	+1	-1
5	-1	-1	+1
6	+1	-1	+1
7	-1	+1	+1
8	+1	+1	+1
9	0	0	-2
10	0	0	+2
11	0	-2	0
12	0	+2	0
13	-2	0	0
14	+2	0	0
15	0	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0

Tabloda şu notasyon kullanılmıştır:

Orta değerler: 0

Alt ve üst değerler: -1, +1

Dış alt ve dış üst değerler: -2, +2

5.1.2. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Deney tasarımı gerçekleştirildikten sonra, bu tasarıma uygun olarak yapılan deneylerden elde edilen sonuçların (response) oluşturduğu polinomların tanımlanması gerekir. Bu amaçla doğrusal (1. dereceden);

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (5.1)$$

Ya da 2. dereceden (kuadratik);

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_i \sum_j \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (5.2)$$

polinomlar kullanılabilir. Burada x'ler değişkenleri (tasarım faktörlerini) ve β 'lar katsayıları gösterir. Katsayılar en küçük kareler yöntemi uygulanarak regresyon analizi ile belirlenir. ε ise hatayı göstermektedir. Hesaplanan yüzey denkleminin deney sonuçları ile uyum başarısı korelasyon katsayısı ile değerlendirilebilir. Ayrıca herhangi bir terimin anlamlılığı (significance), yani sonuca etkisi de hesaplanabilir. Bu konu ile ilgili bağıntılar istatistik kitaplarında bulunabilir [54], ancak tüm bu işlemleri yapabilen hazır paket programlar da mevcuttur.

3 değişkenli bir tasarım için 2. dereceden polinom aşağıdaki şekli alır:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{33} x_3^2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{23} x_2 x_3 + \beta_{13} x_1 x_3 \quad (5.3)$$

Bu polinom, değişkenlerden birisinin sabit bir değeri için diğer iki değişkene bağlı olarak 3 boyutlu çizilebilir. Bu yüzeylerin topografik görünümleri elde edilerek optimum değerleri (maksimum veya minimum) bulunabilir.

5.2. Deneylerde Kullanılan Karışımlar ve Deney Serilerinin Belirlenmesi

Çimento pastasında yapılan deneylerde, Nuh PÇ 42,5 çimentosu, Orhaneli ve Tunçbilek uçucu külleri, silis dumanı ve Viscocrete I katkısı kullanılarak oluşturulan seriler denenmiştir. Harç deneylerinde çimento pastasında kullanılan Nuh PÇ 42,5 çimentosu, Orhaneli ve Tunçbilek uçucu külleri, silis dumanı ve Viscocrete I deney grubuna, Aslan PÇ 42,5 çimentosu ile Orhaneli ve Tunçbilek uçucu külleri, silis dumanı ve Viscocrete I katkısı ile oluşturulan seriler de dahil edilmiştir. Yine Nuh PÇ 42,5 çimentosu, Orhaneli uçucu külü ve Viscocrete II katkısı ile oluşturulan ve farklı kimyasal katkı kullanımını gösteren bir başka deney serisi de harç grubunda

denenmiştir. Beton deneylerinde çimento pastası grubunda olduğu gibi Nuh PÇ 42,5 çimentosu, Orhaneli ve Tunçbilek uçucu külleri, silis dumanı ve Viscocrete I katkısı ile oluşturulan deney serisi kullanılmıştır. Deney serilerinde kullanılan malzeme grupları ve deney kodları aşağıdaki tabloda görülebilir.

Tablo 5.3. Deney Serilerinde Kullanılan Malzemeler ve Deney Serilerinin Kodları

	Çimento	Viscocrete I		Viscocrete II	
		Uçucu Kül		Silis Dumanı	Uçucu Kül
		Orhaneli	Tunçbilek		Orhaneli
Çimento Pastası	Nuh PÇ 42,5	CNOI	CNTI	CNMI	-
Harç	Nuh PÇ 42,5	HNOI	HNTI	HNMI	HNOII
	Aslan PÇ 42,5	HAOI	HATI	HAMI	-
Beton	Nuh PÇ 42,5	BNOI	BNTI	BNMI	-

Tablo 5.3 de gösterilen deney kodlarında C: Çimento pastasında yapılan deneyleri, H : Harç deneylerini, B : Beton deneylerini göstermektedir. N : Nuh PÇ 42.5, A: Aslan PÇ 42.5 çimentolarını, O : Orhaneli uçucu külünü, T : Tunçbilek uçucu külünü, M : Silis dumanını ifade etmektedir. I : Viscocrete I katkısını, II : Viscocrete II katkısını sembolize etmektedir.

Çimento pastası, harç ve beton deneyleri olmak üzere üç ayrı grupta yapılan deneylerde N çimentosu, O uçucu külü ve I katkısı ana malzeme grubu olarak seçilmişlerdir. Yapılan ön deneylerde öncelikle KYB üretimine olanak sağlayan çimento ve dozu tespit edilmiştir. Ön deney sonuçlarına göre, betonlarda toplam bağlayıcı miktarının 550 kg/m^3 ve I katkısı için katkı dozunun bağlayıcı ağırlığının %0,9'u olması durumunda istenen KYB özelliklerini sağladığı görülmüştür. Daha sonra toplam bağlayıcı miktarı 550 kg/m^3 olarak sabit kalacak şekilde çimentonun bir bölümü ikame (replacement) yöntemi kullanılarak mineral katkılarla yer değiştirilmiştir. N çimentosu, O uçucu külü ve I katkısı (Bağlayıcı ağırlığının %0,9'u) ile yapılan ön beton deneylerinde uçucu kül ikame oranının 200 kg/m^3 'e çıkartılabildiği ve hala istenen KYB özelliklerinin sağlandığı görülmüştür. Bu

nedenle Box Hunter yöntemine göre seçilecek uçucu kül ikame oranının (MA/B) orta değeri olarak 200 kg/m^3 'e karşı gelen %36,4'ün ikame değeri alınması yoluna gidilmiştir. Yine kimyasal katkı / bağlayıcı oranının (SP/B) orta değeri olarak %0,9 alınması kararlaştırılmıştır. M'lı karışımların ikame oranının (MA/B) orta değeri olarak ise $37,5 \text{ kg/m}^3$ 'e karşı gelen % 6,82 ikame değeri olarak seçilmiştir (Tablo 5.4.)

Tablo 5.4. Genelde Betonlarda Kullanılan Mineral Katkı Miktarları

Binder (kg/m^3)	Çimento (kg/m^3)	U.Kül (kg/m^3)	M.silika (kg/m^3)	Binder (%)	Çimento (%)	U.Kül (%)	M.silika (%)	K.Katkı (%B)
550	550	0	0	100	100	0	0	
550	397	153	0	100	72.1	27.9	0	
550	350	200	0	100	63.6	36.4	0	0.9
550	300	250	0	100	54.49	45.51	0	
550	250	300	0	100	45.45	54.55	0	
550	550	0	0	100	100	0	0	
550	525	0	25	100	95.45	0	4.55	
550	512	0	38	100	93.18	0	6.82	0.9
550	500	0	50	100	90.91	0	9.09	
550	487	0	63	100	88.62	0	11.38	

Deney serilerinin oluşturulmasında Bölüm 5.1' de bahsedilen Box-Hunter Yıldız yöntemden yararlanılmıştır. Her deney grubunda 3 değişken bulunmaktadır. Bu değişkenlerin ön deneylerle seçilen orta değerlerinin altında ve üstünde iki değer daha seçilerek bir değişim aralığı tanımlanmıştır. Daha sonra orta değerinin bir alt ve bir üstünden seçilen değerlerle alt üst ikili gruplar oluşturulmuş böylelikle 8 farklı deney ortaya çıkmıştır. Orta değerlerin iki tane değişkeni sabit tutularak diğer uçlar değiştirilmiş buradan da 6 farklı deney belirlenmiştir. Orta değeri oluşturan değişkenlerle aynı deneyin 3 kere tekrarlanması yolu ile de 3 deney daha tanımlanarak toplam 17 deney içeren bir serinin belirlenmesi mümkün olmuştur. Çimento pastası, harç ve beton deneylerinin hepsinde her bir malzemenin değişiminde anlatılan yöntemle elde edilen seriler oluşturulmuştur. Serilerdeki orta değerlerin olabildiğince olumlu özellikler taşıyacak şekilde seçilebilmesi, alt ve üst olarak seçilen değerlerin ise o serinin alt ve üst uçlarını temsil edebilmesini sağlamak için ön deneyler yapılmıştır.

Çimento pastası, harç ve beton deneylerinin hepsinde ortak değişken su / bağlayıcı oranı (W/B) dır. Yapılan deneylerde kullanılan malzemelerin (çimento pastası deneylerinde yalnız çimento, su, kimyasal ve mineral katkı kullanılırken, harç deneylerinde kumun, beton deneylerinde ise kaba agreganın ilave malzeme olarak devreye girmesi) ve her deneyin içerdiği malzeme tipinin farklılığı (A yerine N çimentosu kullanılması v.b.) nedenleri ile karışımların ölçüm alınabilecek kıvama gelmeleri için ihtiyaç duyduğu su oranları değişiklik göstermiştir. Bu nedenle çimento pastası, harç ve beton deneylerinin her birinde ve her bir grubun kendi içinde aynı su / bağlayıcı oranı kullanılması mümkün olamamıştır.

Çimento pastasında yapılan deneylerde değişken olarak mineral katkı / bağlayıcı oranı (MA/B), kimyasal katkı / bağlayıcı oranı (SP/B), su / bağlayıcı oranı (W/B) seçilmiştir. Kullanılan viskozimetre aleti ile ölçüm alınabilecek kıvamın eldesinde kullanılacak su miktarının belirlenmesi için her bir malzeme grubu için ön deneyler yapılmıştır. Malzemenin kıvamının yüksek olması, çimento ve harç deneylerinde kullanılan viskozimetre aletinin kapanmasına yol açtığından veya fazla su konulan karışımlarda aşırı derecede ayrışma gözlemlendiğinden, kullanılacak su miktarının tespitinde ön deneyler tüm seriler için tekrarlanmıştır. Bu deneylerde özellikle her bir grubun orta değerini temsil edecek olan karışımın viskozimetrede yapılacak ölçümlerde hatalı okuma alınmasına neden olacak şekilde ayrışma, çökelme yapmamasına ve aletin okuma yapmasını engelleyerek kapanmasına yol açmayacak şekilde koyu kıvamlı olmamasını sağlayacak oranlar tespit edilmiştir. Uç değerleri temsil eden karışımlarda ise hangi su oranının bahsedilen uç özellikleri (ayrışma yapacak kadar sulu veya ölçüm alınamayacak kadar koyu kıvam) verdiği araştırılmıştır. Bu deney sonuçlarına göre mineral katkı / bağlayıcı oranı (MA/B) için uçucu küllü karışımlarda %36,4, silis dumanı içeren karışımlarda %6,82 orta değer olarak alınmıştır. Tüm serilerde kimyasal katkı / bağlayıcı oranının (SP/B) orta değeri olarak %0,9, su / bağlayıcı oranının (W/B) orta değeri olarak % 26 orta değer olarak seçilmiştir.

Harç deneylerinde, mineral katkı / bağlayıcı oranı (MA/B), kum / bağlayıcı oranı (S/B), su / bağlayıcı oranı (W/B) değişken olarak seçilmiştir. Çimento pastası deneylerinde, kimyasal katkı / bağlayıcı oranı (SP/B) oranının orta değeri olarak seçilen kimyasal katkı oranı (Bağlayıcıya göre %0,9) sabit tutulmuştur. Harç serisi

deneylerinde kullanılacak olan kum / bağlayıcı oranının (S/B) orta değerinin tespiti için, harç viskozimetresinin sağlıklı olarak ölçüm alabileceği kum miktarı, yapılan ön deneylerde %1,13 olarak bulunmuştur. Yapılan ön deneylere göre mineral katkı / bağlayıcı oranı (MA/B) için uçucu küllü karışımlarda %36,4, silis dumanı içeren karışımlarda %6,82 orta değer olarak alınmıştır. Tüm serilerde kum / bağlayıcı oranının (S/B) orta değeri olarak %1.13 seçilmiş, su / bağlayıcı oranının (W/B) orta değeri olarak O uçucu küllünde %26, T uçucu küllü ve silis dumanında %32 orta değer olarak seçilmiştir.

Beton deneylerinde ise, kum / bağlayıcı oranı (S/B), kimyasal katkı / bağlayıcı oranı (SP/B), su / bağlayıcı oranı (W/B) değişken olarak seçilmiştir. Harç deneylerinde S/B oranının orta değeri olan %1.13, beton deneylerinde de orta değer olarak alınmaya çalışılmış, ancak yapılan ön beton deneylerinin sonucunda S/B'nin %1,86 seçilmesi kararlaştırılmıştır. Bu oran, harç deney serilerinin hepsinde kum / bağlayıcı oranı (S/B) alt uç değeri olan %1,83'e yakın olması nedeni ile de tercih edilmiştir. Beton deneylerinde mineral katkı / bağlayıcı oranı sabit tutulmuştur. Mineral katkı / bağlayıcı oranının tespitinde çimento pastası ve harç deneylerinde MA/B oranı olarak seçilen orta değerler göz önünde bulundurulmuş ve uçucu küllü betonlarda MA/B = %36,4, silis dumanı içeren betonlarda MA/B = %6,82 olarak seçilmiştir. Kimyasal katkı / bağlayıcı oranı (SP/B) seçiminde çimento pastasında orta değer olarak seçilen %0,9 oranı uçucu küllü betonlar için de orta değer olarak alınmıştır. Ancak silis dumanı içeren betonlarda SP/B'nin orta değeri olarak %0,9 alınmasının KYB üretimine olanak vermediği yapılan ön beton deneylerinde görüldüğünden bu oran artırılarak %1,1 değeri silis dumanlı betonlarda SP/B'nin orta değeri olarak seçilmiştir.

Beton deneylerinde üretilecek karışımlarda KYB üretiminde genel olarak tercih edildiği gibi, en büyük tane boyutu 14 mm olan iri agregası kullanılmıştır. Karışımlarda kaba agreganın bir başka değişken olarak deney programına dahil edilmemesi için, yapılan ön deneyler değerlendirilerek kaba agregası hacmi 250 dm³ olacak şekilde seçilmiştir.

Bahsedilen yöntemle hazırlanan deney serilerinden bir tanesi (CNOI), Tablo 5.5'de gösterilmiştir. Diğer seriler, Ek A. 'da verilmiştir. Tablolarda MA/B: Mineral katkı/

Bağlayıcı, SP/B : Kimyasal katkı/ Bağlayıcı, W/B :Su/Bağlayıcı, S/B :Kum/ Bağlayıcı oranını göstermektedir.

Tablo 5.5. Çimento Pastası Deney Serileri (CNOI)

Sınırlar

	ALT UÇ	ALT	ORTA	ÜST	ÜST UÇ
M A/ B	0	27.29	36.4	45.51	54.55
SP / B	0.7	0.8	0.9	1	1.1
W / B	0.24	0.25	0.26	0.27	0.3

Deney Serileri

ALT ÜST İKİLİ	CNOI 1	CNOI 02	CNOI 03	CNOI 04	CNOI 05	CNOI 06	CNOI 07	CNOI 08
MA / B	27.29	27.29	27.29	27.29	45.51	45.51	45.51	45.51
SP / B	0.8	0.8	1	1	0.8	0.8	1	1
W / B	0.25	0.27	0.25	0.27	0.25	0.27	0.25	0.27
2 ORTA+ 1 UÇ	CNOI 09	CNOI 10	CNOI 11	CNOI 12	CNOI 13	CNOI 14		
MA/ B	36.40	36.40	36.40	36.40	0.00	54.55		
SP/ B	0.90	0.90	0.70	1.10	0.90	0.90		
W / B	0.24	0.3	0.26	0.26	0.26	0.26		
ORTA 3 TEKRAR	CNOI 15	CNOI 16	CNOI 17					
MA / B	36.4	36.4	36.4					
SP / B	0.9	0.9	0.9					
W / B	0.26	0.26	0.26					

5.3. Deneylerde Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

5.3.1. Çimento ve Mineral Katkılar

Deneylerde Aslan ve Nuh çimento fabrikalarında üretilmiş PÇ 42,5 tipi dökme çimentosundan alınan numuneler kullanılmıştır. Çimentoların kimyasal ve minerolojik bileşimleri, fiziksel özellikleri ve TS 24'e göre belirlenen mekanik özellikleri Tablo 5.6 da gösterilmiştir. Deneylerde Orhaneli ve Tunçbilek termik santrallerinden temin edilen uçucu küller ve Etibank Antalya Elektrometalurji Sanayi Tesislerinden elde edilen silis dumanı kullanılmıştır.

Tablo 5.6. Deneylerde Kullanılan Çimentoların Kimyasal, Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Kimyasal Birleşim (% , ağırlık)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	SO ₃
AslanPÇ 42,5	21,84	5,24	3,06	61,63	1,87	0,72	3,21
Nuh PÇ 42,5	20,74	4,19	3,78	63,16	1,22	0,62	3,04
Orhaneli U.K.	43,79	16,98	8,59	17,90	4,01	1,66	3,55
Tunçbilek U.K.	56,92	18,09	10,79	4,51	4,74	1,84	0,70
Silis Dumanı	82,68	0,85	0,83	1,48	3,67	3,40	0,22

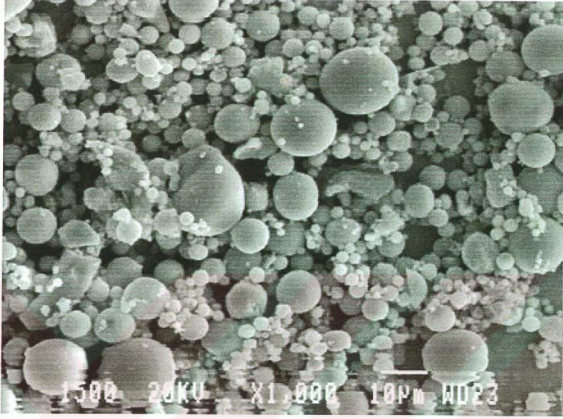
Minerolojik Birleşim (% , ağırlık)

	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	Kızdırma Kaybı	Serbest CaO
AslanPÇ 42,5	42,94	30,22	8,71	9,32	0,83	0,59
Nuh PÇ 42,5	58,77	15,12	4,72	11,51	2,80	1,76
Orhaneli U.K.	-	-	-	-	3,46	-
Tunçbilek U.K.	-	-	-	-	1,32	-
Silis Dumanı	-	-	-	-	0,79	-

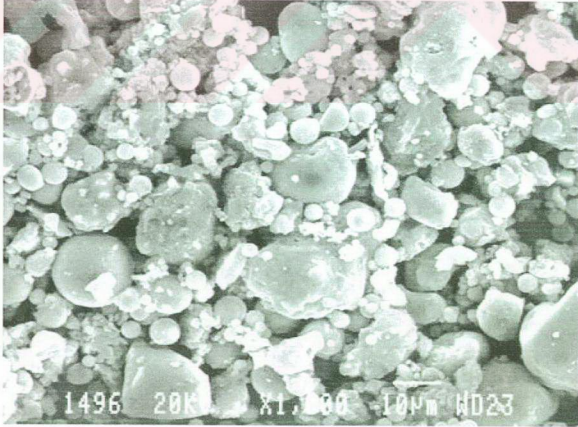
Fiziksel ve Mekanik Özellikler

	Özgül Ağırlık	Blaine İncelik	Le Chatelier	Priz Başı	Priz Sonu	Basınç Dayanımı (MPa)	
	(kg/m ³)	(m ² /kg)	(mm)	(s)	(s)	(7Gün)	(28Gün)
AslanPÇ 42,5	3,15	310,5	2	142	173	39,3	57,0
Nuh PÇ 42,5	3,15	328,7	3	211	298	46,5	60,5
Orhaneli U.K.	2,45	413,6					
Tunçbilek U.K.	2,17	389,0					
Silis Dumanı	2,27	-					

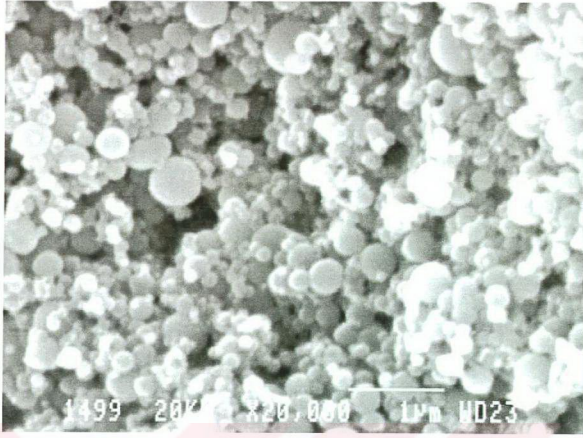
Mineral katkıların tane yapılarını görmek amacı ile SEM ile çekilen fotoğraflar Şekil 5.3. a-b-c' de verilmiştir. Ayrıca mineral katkılar üzerinde Mastersizer aleti ile tane dağılımı analizleri yaptırılmış ve sonuçlar Ek B de verilmiştir.



(a) Orhaneli Uçucu Külü



(b) Tunçbilek Uçucu Külü



(c) Silis Dumanı

Şekil 5.3 Orhaneli Uçucu Külü (a), Tunçbilek Uçucu Külü (b) ve Silis Dumanı (c)'nin SEM fotoğrafları

5.3.2. Kimyasal Katkılar

Deneylerde, polikarboksilat eter polimeri Sika Viscocrete I ve poliglikol eter ve polikarboksilat karışımından oluşan Sika Viscocrete II adlı iki farklı yeni kuşak süperakışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Katkıların fiziksel özellikleri Tablo 5.7 de gösterilmiştir. Her iki polimerde pozitif yüklü çimento tanecikleri (katodik yüzey) dispersiyonunda sterik ve iyonik olarak iki farklı etki mekanizmasına sahiptir. Burada polikarboksilat ana zincirindeki anyonik karboksilat molekülleri pozitif yüklü çimento partikülleri üzerine adsorbe olup dispersiyon sağlarken, non iyonik polietilenoksit molekülleri sterik itme adı verilen ikinci bir itme sağlamakta ve sonuç olarak geleneksel akışkanlaştırıcılardan daha kuvvetli bir akışkanlık elde edilmektedir. Viscocrete II polimerinde daha uzun yan zincirler elde edildiği için daha uzun slump ömrü sağlanmaktadır. Her iki katkının da ana zincirleri aniyonik, yan zincirleri noniyoniktir.

Tablo 5.7 . Kullanılan Katkıların Fiziksel Özellikleri

	Viscocrete I	Viscocrete II
Yoğunluk,(20 ⁰ C, g/cm ³)	1,1044	1,0865
Katı Madde (%)	33,88	39
Molekül Ağırlığı (g/mol)	25500	20700

5.3.3. Agregalar

Deneylerde kullanılan ince ve kaba agreganın elek analizi, su emmesi ve özgül ağırlıkları belirlenmiş ve Tablo 5.8 de verilmiştir. Kullanılan ince agregalardan kum Sakarya'dan temin edilen dere kumudur. Kırma kum ise Gebze taş ocaklarından çıkartılan agregalardan elde edilmektedir. Kaba agrega olarak kullanılan kırmataş yine Gebze taş ocaklarından çıkartılarak üretilmektedir.

Tablo 5.8 . Kullanılan Agregaların Özellikleri

Elek Boyutu (mm)	Elekten Geçen (%)		
	Kum	Kırma Kum	Kaba Agregası No1
20	100	100	100
14	100	100	100
10	100	100	80
5	100	97	10
2,36	100	50	1
1,18	96	22	0
0,6	77	9	0
0,3	19	4	0
0,15	0	1	0
Özgül Ağırlık(kg/m ³)	2630	2660	2690
Su emme (%)	1,28	1,57	0,55

5.4. Yapılan Deneylerde Kullanılan Aletler ve Deney Yöntemleri

Deneyler, çimento pastası, harç ve beton olmak üzere üç ayrı grupta yapılmıştır. Her üç grupta da malzemelerin reolojik sabitlerinin bulunması için viskozite aletleri ile ölçümler yapılmıştır. Çimento pastası ve harç deneylerinde Mettler RM 180 Rheomat adlı viskozimetre beton deneylerinde ise geliştirilen beton viskozimetresi kullanılmıştır. Ayrıca reolojik deneylere paralel olarak, üretilen karışımlar için her

grupta farklı deney metodları kullanılarak yayılma özellikleri incelenmiştir. Yayılma değerleri çimento pastasında yapılan deneylerde minislump konisi, harçta yapılan deneylerde yayılma konisi, beton deneylerinde ise Japon çökme- yayılma yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Yayılma deneylerinde tüm karışımların toplam yayılma çapları ve süreleri ölçülmüştür. Ayrıca çimento pastasında yapılan deneylerde malzemenin 100 mm çapında, harç deneylerinde 200 mm çapında, beton deneylerinde ise 500 mm çapında bir daireye yayılma süresi ölçülmüştür. Deneylerde kullanılan malzemelerin üretim veya eldesinden kaynaklanabilecek değişiklikleri önlemek amacı ile tüm deneylerde kullanılacak malzeme ayrılarak uygun koşullarda depolanmıştır. Karışımların üretiminde, çimento pastası ve harç grubu deneylerinde harç karıştırma makinası, beton grubu deneylerinde beton mikseri kullanılmıştır.

5.4.1. Çimento Pastası Deneyleri

Karıştırma ve bekleme süreleri aşağıdaki tabloda verilen akışa her bir deney için sadık kalınarak üretilen çimento pastası karışımlarının özellikleri aşağıda anlatılacak olan viskozimetre yardımı ile kayma eşiği gerilmeleri ve viskozite değerleri elde edilmiş, mini slump deneyi yapılmıştır.

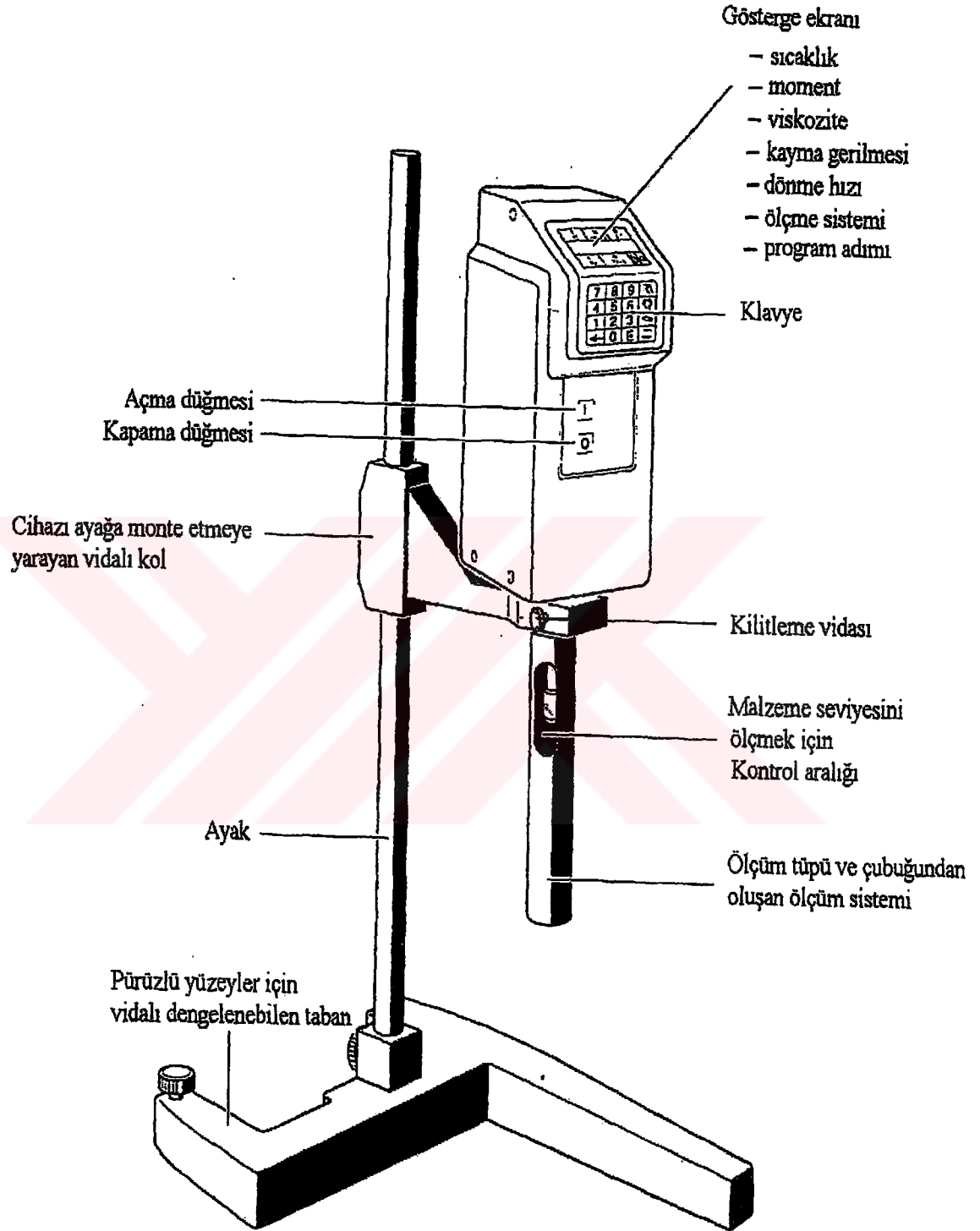
Tablo 5.9. Çimento Pastası ve Harç Karışımlarının Üretim Aşamaları

Aşama	Her Bir Adımda Geçen Zaman (s)	Başlangıçtan İtibaren Geçen Zaman (dak)
Su + Katkı karışımına Toz Malzemenin (Çimento veya Çimento+Kum)Eklenmesi	0	0
Yavaş Devirde Otomatik Karıştırma	60	1
Hızlı Devirde Otomatik Karıştırma	30	1,5
Kap Kenarlarının Sıyırılması ve Bekleme	90	3
Hızlı Devirde Otomatik Karıştırma	60	4
Bekleme	30	4,5

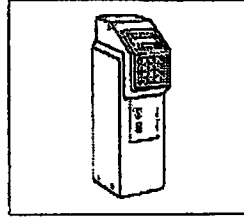
Çimento pastası ve harç karışımlarının reolojik değerlerinin tespitinde Mettler RM 180 Rheomat viskozimetre deney aleti (Şekil 5.4 ve Şekil 5.5) kullanılmıştır. Eş eksenel (ko-aksiyal) bir viskozimetre olan Rheomat 180’de ölçülen tork değerleri 0,25 – 7,5 mN.m arasında değişebilmektedir. Deney sırasındaki sıcaklık 0,1 C duyarlılıkla tayin edilebilmektedir. Aletin farklı çapta 3 adet dönen dalıcısı (bob) ve 3 adet kabı (tube) vardır. Çimento pastasında yapılan deneylerde 32,54 mm çaplı kap ve 30 mm çaplı dalıcı uç, harç deneylerinde ise 32,54 mm çaplı kap ve 14 mm çaplı dalıcı uç kullanılmıştır. Aletin göstergesinden Tork, devir hızı, τ , η değerleri doğrudan okunabilmektedir. Ayrıca SWR 17 software kullanılarak sonuçların bilgisayara aktarılması mümkündür. Ancak bu software olmadığından, değerler göstergeden okunarak not alınmıştır. Alet ölçüm öncesi 10 ila 150 devir/s. dönme hızları aralığında çalışması için programlanmıştır. Alet bu aralığı otomatik olarak 8 eşit parçaya bölmüştür. Böylelikle makine çalıştırıldıktan sonra, makinanın karşılaştığı direnç miktarı aletin alt ve üst limitlerinin dışına çıkmadığı sürece sırası ile 10, 30, 50, 70, 90, 110, 130 ve 150 devir/s dönme hızlarının her bir adımında çalışması için alet programlanmış olmaktadır. Yukarıda belirtilen her bir dönme hızında, malzemenin aletin karıştırıcı ucunun dönmesine göstermiş olduğu maksimum ve minimum direnci gösteren tork değerleri deney esnasında aletin göstergesinden okunarak kaydedilmiştir. Viskozimetre 150 devir/s dönme hızına ulaştıktan sonra durmaksızın bu sefer azalan adımlarla çalışmaya devam etmiş, böylelikle direnci aletin en yüksek dönme hızında kırılmış malzemenin, aletin karıştırıcı ucunun dönmesine göstermiş olduğu direnç yeniden ölçülmüştür. Viskozimetrede ölçümleri yapılan malzeme bekletme kabına boşaltılmış, üstü örtülerek yeniden ölçüm alınacağı zamana kadar bekletilmiştir. İlk ölçümü takiben malzeme 90. dakikaya kadar bekletilerek özelliklerinin zamanla değişimi gözlemlenmiştir. Ara ölçüm alma süresi olarak 30 dakikalık adımlar seçilmiş, böylelikle her bir karışım için 4 defa bahsedilen deneyler tekrarlanmıştır. Ara deneylere başlanmadan önce malzeme 30 s süre ile bir spatula yardımı ile elle karıştırılmıştır.

Aletten artan ve azalan çeşitli dönme hızları için alınan maksimum ve minimum tork değerlerinin ortalamaları alınarak her bir dönme hızı için ortalama tork değerleri elde edilmiştir. Daha sonra bu değerler kullanılarak dönme hızı - tork grafiği çizilmiştir.

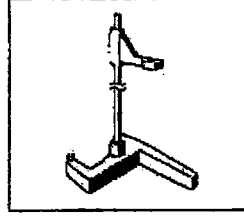
Gidiş ve dönüş dönme hızlarına karşı gelen tork değerleri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir. Alınan okumalara, yapılan ortalama tork hesabına ve çizilen gidiş ve dönüş eğri grafiklerine bir örnek Ek C, Tablo C1 ve C2’de gösterilmiştir.



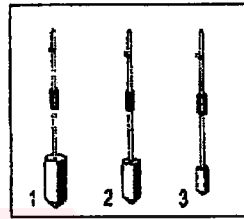
Şekil 5.4 Mettler RM 180 Rheomat Viskozimetre Deney Aleti



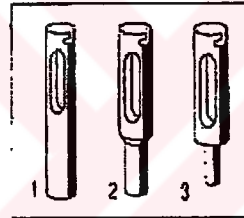
Ölçme Aleti



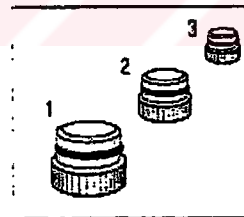
- Düzlemi ayarlayabilen vidalı Taban
- Ayak
- Tutma kolu



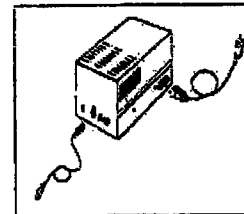
- Ölçme Bobu 1 ($\varnothing$ 30 mm, l = 45 mm)
- Ölçme Bobu 2 ($\varnothing$ 24 mm, l = 36 mm)
- Ölçme Bobu 3 ($\varnothing$ 14 mm, l = 21 mm)



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



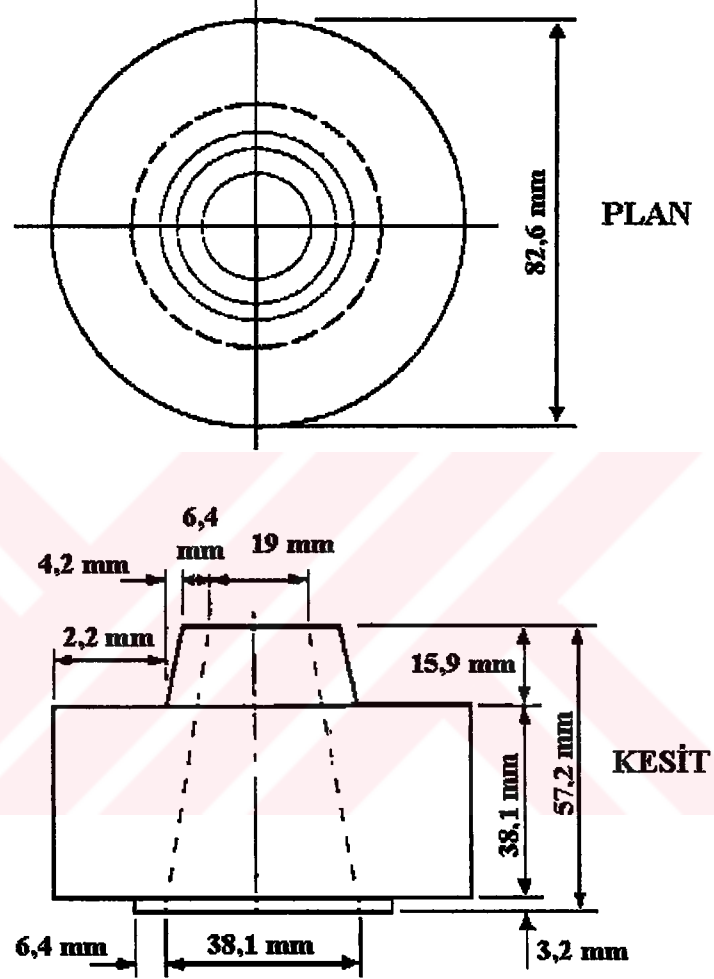
- Kapak 1
- Kapak 2
- Kapak 3



Güç desteği ve şarj ünitesi

Şekil 5.5 Mettler RM 180 Rheomat Viskozimetre Deney Aleti Parçaları

Üretilen çimento pastası karışımları üzerinde boyutları Şekil 5.6 da verilen Kantro mini slump konisi yardımı ile yayılma deneyleri yapılmıştır. Bu deneyde malzemenin toplam yayılma çapı ve 10 cm'lik bir çapa yayılma süresi bir kronometre ile ölçülmüştür.



Şekil 5.6 Kantro Mini Slump Konisi

5.4.2. Harç Deneyleri

Harç deneylerinde denenecek olan karışımın üretilmesi sırasında uyulan karıştırma ve bekleme süreleri Tablo 5.9'da verilen ve çimento pastası deneylerinde olduğu gibi seçilmiştir. Harç deneylerinde karışımda bulunan kum ve kırma kum çimento birlikte önceden bir naylon torba içine tartılmış, daha sonra torbanın ağzı kapatılarak

malzemelerin deneye başlamadan önce kuru olarak karışımları sağlanmıştır. Çimento ve kumların karışımında oluşan malzeme, çimento pastasında yapılan deneylerde çimentonun konulduğu gibi, karıştırıcıya önceden konulmuş, daha sonra Tablo 5.9’da belirtilen şekilde üzerine su + katkı karışımı ilave edilerek karıştırılmaya başlanmıştır. Harç deneylerinde kumların birbirlerine göre oranları, beton karışımlarında kullanılan oranlara göre seçilmiştir. Viskozimetrenin kabı ile karıştırıcısı arasında kum tanelerinin sıkışarak deneyin sağlıklı olmasını önlememesi için kumlar 2,36 mm elekten elenmişlerdir. Üretilen harç karışımının deneyleri, Mettler RM 180 Rheomat viskozimetresinde çimento pastası için belirlenen dönme hızları kullanılarak yapılmıştır. Yine çimento pastasında yapıldığı gibi, artan ve azalan devir hızlarında aletten okunan maksimum ve minimum tork değerleri kaydedilmiştir. Harç karışımlarında da çimento pastasında kullanılan ölçüm süreleri esas alınmış ani, 30, 60, 90. dakikalarda deneyler tekrarlanmış, bu süre zarfında malzeme üstü örtülerek kap içinde bekletilmiştir. Ara deneylere başlanmadan önce malzeme 30 s süre ile bir spatula yardımı ile elle karıştırılmıştır.

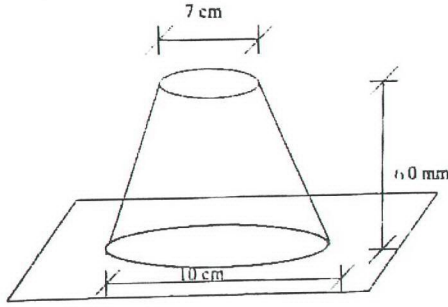
Çimento pastası deneylerinde anlatılan şekilde ortalamaları alınan maksimum ve minimum tork değerlerinin, dönme hızına karşı gelen değişimleri grafik olarak elde edilmiştir. Bu grafikler yardımı ile kayma eşiği ve viskozite değerleri elde edilmiştir.

Üretilen çimento pastası karışımları üzerinde boyutları aşağıda verilen harç konisi yardımı ile yayılma deneyleri yapılmıştır. Deney mini slump konisine benzer olarak cam bir plaka üzerinde yapılmış ancak harçların flow table deneyleri için kullanılan ve Şekil 5.7 de boyutları görülen koni kullanılmıştır. Ayrıca bu deneyde malzemenin toplam yayılma çapı ve 20 cm’lik bir çapa yayılma süresi bir kronometre ile ölçülmüştür. Yayılma deneyleri Viskozimetre ölçümlerine paralel olacak şekilde 5 (ani) , 30, 60, 90’ıncı dakikalarda tekrarlanmıştır.

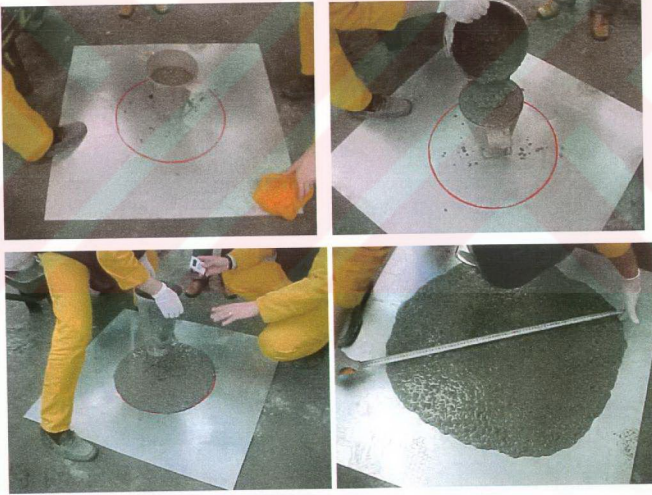
5.4.3 Beton Deneyleri

Beton karışımlarında denenecek olan karışımlar Tablo 5.10’da verilen üretim adımları ve karıştırma süreleri kullanılarak hazırlanmışlardır. Üretilen betonlar üzerinde öncelikle çökme – yayılma (slump - flow) deneyi yapılarak 50 cm çapındaki bir daireye betonun yayılma süresi, betonun toplam yayılma çapı ve bu yayılmanın

gerçekleşmesi için geçen zaman ölçülmüştür. Şekil 5.8 da resimlerle deneyin yapılması gösterilmiştir.



Şekil 5.7 Harç Deneylerinde Kullanılan Yayılma Konisi



Şekil 5.8 Çökme Yayılma (Slump Flow) Deneyinin Yapılması

Çökme yayılma deneyi yapılan beton mikserle konularak 5 saniye karıştırılmış, daha sonra beton viskozimetresinin kabına doldurulan beton numunesinin, 0.6, 0.5, 0.4,

0.3, 0.2, 0.1 devir/s dönme hızlarında aletin dalıcı aletine karşı gösterdiği direnci ifade eden kayma gerilmesi okumaları alınmıştır. Beton viskozimetresi ile deneyin yapılması sırasında üretilen taze betonun birim ağırlığı tespit edilmiştir. Beton viskozimetresinde yapılan okumaların bitmesini takiben aletin kabı beton mikserine geri boşaltılmış ve üstü örtülerek yeniden ölçüm alınacağı zamana kadar bekletilmiştir. İlk ölçümü takiben üretilen beton 90. dakikaya kadar bekletilmiş ve böylelikle özelliklerinin zamanla değişimi gözlemlenmiştir. Ara ölçüm alma süresi olarak, çimento pastası ve harç deney serileri ile paralellik sağlayacak şekilde, 30 dakikalık adımlar seçilmiş, böylelikle her bir karışım için 4 defa bahsedilen deneyler tekrarlanmıştır. Ara deneylere başlanmadan önce beton 1 dakika. süre ile mikserde karıştırılmıştır.

Tablo 5.10. Beton Karışımlarının Üretim Aşamaları

Aşama	Her Bir Adımda Geçen Zaman (s)	Başlangıçtan İtibaren Geçen Zaman (dak)
Agreganın Kuru Karıştırılması	120	2
Çimentonun Katılması + Karıştırma	60	3
Suyun Yarisının Katılması + Karıştırma	60	4
Suyun Kalan Kısım+Katkının Eklenmesi Karıştırma	60	5
Karıştırma	60	6

Beton karışımlarından bazılarının, deney takip süresinin sonu olarak öngörülen 90. dakikaya ulaşmadan önce çökme yayılma deneyi yapılamayacak kadar kıvam kaybına uğradıkları tespit edilmiş ve bu karışımlara çökme deneyi yapılmıştır. 8 cm çökme değerinin altında olan beton karışımlarının hem KYB tanımının dışına çıktıklarından dolayı hem de oluşabilecek herhangi bir zorlanma nedeni ile beton viskozimetresinin zarar görmesini engellemek amacı ile beton viskozimetre aletinde okumaları alınmamıştır. Çökme deneyi yapılan ancak çökmesi 8 cm'in üzerinde olan karışımların beton viskozimetresinde deneylerinin yapılması için viskozimetre kabı yaklaşık 3 eşit tabaka halinde ve her tabaka 50 defa şişlenerek doldurulmuştur. Diğer tüm karışımlar tek tabaka olarak ve şişlenmeden doldurulmuştur.

5.4.3.1 Beton Viskozimetresinin Geliştirilmesi

Beton viskozimetresi, iri katı parçacıklar içeren süspansiyon olarak kabul edilen betonun reolojik özelliklerini ölçmeye yarayan eş eksenli silindirik bir viskozimetredir.

Beton viskozimetresinin çalışma prensibi, reolojik parametreleri ölçülecek olan betonun konulduğu kabın (dış silindir) belirli devir hızlarında döndürülmesi esnasında, kaba daldırılmış olan uca (iç silindir) betonun göstermiş olduğu zorlanmanın (uyguladığı torkun) ölçülmesine dayanmaktadır.

Dönebilen dış silindirin iç çapı 290mm, iç silindirin dış çapı 200mm olduğundan, silindirler arasında 45mm kadar bir aralık oluşmaktadır. Dış silindir düşey doğrultuda kanatlarla yivlendirilerek dönme esnasında betonun metal yüzeylerde kaymasının önlenmesi amaçlanmış, böylelikle kaymanın yine beton kütlesi içinde meydana gelmesi sağlanmıştır. İç silindir de yine bu amaçla kanatlı olarak tasarlanmıştır.

Yapım süreci öncelikle aletin mekanik olarak inşaatı ve alet için düşünülen bilgisayar yazılımının oluşturulması şeklinde iki bölümde gerçekleştirilmiştir.

a) Aletin Teknik Özellikleri

Dış silindirin (numune betonun konulduğu kabın) döndürülmesi ve zorlanmaya maruz kalacak olan ucun (iç silindirin) betona daldırılması için gerekli düzenekler iki ayrı motor ile tahrik edilmektedir. Şekil 5.9’da aletin genel görünüşü yer almaktadır. Aletin iç ve dış silindirlerinin yarıçaplarının oranı yaklaşık olarak 1.45’tür.

Devir Hızı:

Hız ölçümü tahrik motoruna akuple takometre yardımı ile yapılmaktadır. Hız kontrol ünitesi 4kVA frekans kontrollü AC Invertör ile gerçekleştirilmiştir. Hız bilgisayardan iletilen sinyallerle kontrol edilir.

Tork Aralığı:

Her bir devirde 50 tork değeri okunmaktadır. Devir değişimi esnasında 1.5 saniye tork okuması yapılmamakta, böylelikle her bir devir değişiminde tork okumalarında oluşabilecek sapma önlenmektedir. Tork değerleri bilgisayara voltaj değişimleri olarak aktarılarak kayıt edilmektedir.



Şekil 5.9. Beton Viskozimetresinin Genel Görünüşü

Dış Silindir (Numune Betonun Konulduğu Kap) :

28 dm³ hacminde ve paslanmaz çelikten yapılmıştır. Tork ölçümü esnasındaki sapmaları önlemek için dış silindir, yüksekliği boyunca eni 20 mm olan 16 adet kanatla donatılarak, yivlendirilmiştir. Bu kanatlar kabın üst kenarından 40 mm aşağıda başlamakta ve kap alt yüzeyine kadar kesintisiz devam etmektedirler.



Şekil 5.10 Beton Viskozimetresi İç Silindir Parçaları ve Dış Silindir

Dış çember

İç silindirin üstüne monte edilmiştir. Bu parçanın görevi, dış silindirde bulunan beton numunesine iç silindirin sabit bir yükseklikte kalmasını temin etmektir. Dış çember aynı zamanda iç silindirin üst kısmında yüzey gerilmesinin neden olacağı ilave kaymaları en aza indirir. Dış çember, iç ve dış silindirler betonda bulunan çimentodan kaynaklanacak olan bazik ortama dayanması için paslanmaz çelikten imal edilmişlerdir.

Aletin Şasisi:

Kutu profillerle inşa edilmiş ve üzerine konulacak numune kabı dahil olmak üzere tüm yükleri taşıyabilecek kadar güçlendirilmiştir.

b) Aletin Yazılım Özellikleri

Bütün deney süreci yazılım ile kontrol edilmektedir. Bilgisayar yazılımının, aletin olabildiğince esnek çalışabilmesini sağlayacak biçimde olmasına dikkat edilmiştir. Bu anlamda, alette seçilecek devir hızlarının sayısı ve değerleri, her bir dönüş hızının değişimi sırasında tork kaydının alınacağı ve alınmayacağı süreler, her bir hız seviyesinde alınacak tork okumalarının sayısı değiştirilebilmektedir.

Bilgisayara veri olarak girilen her bir devir hızına karşılık, deney sırasında elde edilen tork değerlerinden yararlanarak, hız-tork grafiği çizilebilmekte ve en küçük kareler yöntemi ile bahsedilen grafikte bir doğru geçirilebilmektedir. Bu doğrunun eğimi plastik viskozite ile ilgili bir değeri (H), bu doğrunun Tork eksenini kestiği değer ise kayma eşiği ile ilgili bir değeri (G) vermektedir. G ve H değerleri lineer regresyon analizi kullanılarak hesaplanır.

Her bir deney için elde edilen veriler ve grafikler bilgisayarda farklı isimlerle kayıt edilebilmektedir.

c) Deney Aletinin Kalibrasyonu

Deney aletinin yapımını takiben kalibrasyonu için çalışmalara başlanmıştır. Beton viskozimetresinin kalibrasyonu, dönüş hızının, aletten okunan tork değerinin ve aletin sistem olarak kalibrasyonu olmak üzere 3 ara adımı içermektedir. Devir hızı ve tork kalibrasyonu sonucu iki kalibrasyon katsayısı tanımlanmaktadır. Aşağıda detaylı olarak anlatılan kalibrasyon teknikleri ile bulunan kalibrasyon sabitleri, alet

için geliştirilen bilgisayar yazılımında düzeltme çarpanı olarak yer almaktadır. Bu sabitler, bir çarpan olarak tüm deneylerde yazılım tarafından hesaba katılmaktadır. Böylelikle zaman zaman alette oluşacak olan değişimler, çeşitli zamanlarda yapılacak kalibrasyonlarla tespit edilebilir ve yazılımda her kalibrasyon katsayısı için tanımlanan kısma girilerek düzeltilir.

Dönüş Hızının Kalibrasyonu

Aletin dönüş hızının kalibrasyonu için seçilen hız değerlerinde aletin yaptığı dönüş sayısı kronometre yardımı ile belirlenmiştir. (Bkz. Tablo 5.11) Her hız değeri için toplam 10 deviri ne kadar sürede tamamladığı ölçülmüştür. Kalibrasyon verileri aşağıdaki gibidir.

Tablo 5.11. Beton Viskozimetresinin Devir Kalibrasyonu

Dönüş hızı		Gerçekleşen			Katsayı
(rps)	(rpm)	Süre (s)	Devir	(rpm)	
0,1	6	59	6	6,10	0,983
0,4	24	36	15	25,00	0,960
0,6	36	32	20	37,50	0,960
0,8	48	30	25	50,00	0,960
Katsayı (ort.)					0,966

rps : (revolutions per second) saniyedeki devir sayısı

rpm : (revolutions per minute) dakikadaki devir sayısı

Tork Kalibrasyonu

Tork kalibrasyonu, deneyde beton dolu olan dış silindirin dönmesi sonucu, betonun dönmeye gösterdiği zorlanmayı yük hücresine (load cell) ileten iç silindire, izlenebilirlikleri olan çeşitli ağırlıkların etkitilmesi prensibi ile yapılmıştır. Bu amaçla alet döndürülerek dikey konuma getirilmiş ve ağırlıklar tork okumalarının alınacağı uca asılmışlardır. Böylelikle elde edilen alınan okumalar Tablo 5.12 de gösterilmiştir.

Tablo 5.12. Beton Viskozimetresinin Tork Kalibrasyonu

Kalibrasyon Ağırlığı (kg)	Kalibrasyon Ağırlığı (N)	Merkezden Uzaklık (m)	Moment (Hesap) (Nm)	Alette Okunan	Katsayı
20	196,2	0,21	41,2	58	0,710
10	98,1	0,21	20,6	29,2	0,706
5	49,05	0,21	10,3	14,6	0,706
2	19,62	0,21	4,1	5,8	0,710
1	9,81	0,21	2,1	2,8	0,736
0,5	4,905	0,21	1,0	1,4	0,736
Katsayı (ort.)					0,717

5.4.3.2 Viskozimetre Deney Aletinin Kullanımı ve Deneyin Yapılması

Bütün deney süreci, deneyi sürdürmek için gerekli olan tüm bilgiyi sağlayan yazılım tarafından kontrol edilmektedir. Aşağıda çeşitli deney adımları kısaca özetlenmiştir.

1) Betonun karıştırıldığı karıştırıcıdan alete yerleştirilmesini kolaylaştırmak amacı ile tasarlanan küçük bir hareketli araca takılarak da taşınabilen dış silindir (beton kabı), yivlerin üst ucuna kadar beton ile doldurulur.

2) Beton kabı alette belirlenen konuma yerleştirilir.

3) Yazılımda bulunan “başla” tuşuna basılarak deneye başlanır. Test aşağıdaki aşamaları içerir. İç silindir, beton dolu kaba (dış silindire) seçilen bir hızla daldırılır. Dönme hızı, 0,6 dev/s’ye çıkartılır ve tork ölçülür. Ölçümler 0,5-0,4-0,3-0,2-0,1 devir/saniye olarak ayarlanan hızlarda yapılır. Belirlenen hızlar arasındaki değişim için gerekli olan zaman 2 saniyedir. Her bir hız ayarında aletin kalacağı süre programlanabilmektedir. Ayrıca, hız değişimleri sırasında tork okumalarında oluşabilecek olan dalgalanmaları önlemek için, her hız adımında tork okumalarının alınacağı süre seçilebilmektedir. Örneğin her hız adımında 5 saniye kalabilecek şekilde belirlenen deney sürecinde, hız değişimini takiben 1,5 saniye tork okuması alınmaksızın deney devam etmekte, daha sonra yine seçilen sayıda mesela 50 adet tork okuması kalan 3,5 saniye içinde alınabilmektedir.

Son ölçümün tamamlanmasından sonra, hız tekrar 0,6 dev/sn’ye yükselir ve daha sonra 0,4 dev/s’ye düşer. Burada yeni tork değeri okunur. Eğer elde edilen bu tork değeri bu hızda ilk gözlemde okunan tork değerinden farklı ise, beton ayrılmış demektir. Deneyin tekrarı gerekir.

Son olarak iç silindir ilk pozisyonuna gelecek şekilde yukarı kalkar. Beton kabı kaldırılır ve boşaltılır, temizlenerek yeniden deneye hazır hale getirilir.

Operatöre elde edilen datanın saklanıp saklanmayacağı sorulur. Eğer hayır denilirse, program başlangıç ekranına geri dönecektir. Eğer cevap evet ise daha sonraki sorular ekranda belirecektir. Operatöre sırası ile test serisinin adı, test numarası karışım oranlarının saklanıp saklanmayacağı sorulur.

Bütün deney süreci beton kabının doldurulmasından boşaltılmasına kadar genelde 3-4 dakika almaktadır. Yazılımdaki basit prosedür takip edilerek tork okuması alınacak dönme hızlarının sayısı, dönme hızı değişimleri arasındaki zaman ve her bir dönme hızında okuma alınacak zaman da değiştirilebilir.



6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bölüm 5’de anlatılan yöntemler kullanılarak oluşturulan serilerle yapılan deneylerden elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde, yine Bölüm 5 ‘de anlatılan istatistiksel yöntemlerden yararlanılmıştır. Veriler A.B.D.’den temin edilen Echip 6 adlı istatistik programına yüklenerek, sonuçlara etki eden değişkenler sorgulanmış, aşağıda anlatılan ölçütler kullanılarak değişkenlerin optimal değerleri çimento hamuru, harç ve beton olmak üzere her bir deney grubu için bulunmuştur.

Her bir deney grubu için yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Ek D’de hazırlanmış olan tablolardan görülebilir.

6.1 Sonuçların Değerlendirilmesinde Kullanılan Programda Yapılan Kabuller

Deneylerde elde edilen veriler ve istatistik programına yüklenen kodlamaları Tablo 6.1 - 4’de verilmiştir. Bu tablolarda, t_{10} : Çimento hamurunun 10 cm çaplı daireye yayılma süresini, t_{20} : Harcın 20 cm çaplı daireye yayılma süresini, t_{50} : Betonun 50 cm çaplı daireye yayılma süresini, D : Yayılma çapını, V : Viskoziteyi, KE : Kayma eşiğini göstermektedir. Ayrıca bu harflerin önündeki rakamlar, bu deneylerin üretiminden itibaren kaçınıcı dakikada yapıldığını belirtmektedir. Tablo 6.1’de MA: Mineral Katkı , B: Bağlayıcı (Çimento+ Mineral Katkı), SP :Süperakışkanlaştırıcı, W: Su, S : Kum ‘un kısa gösterilimidir.

Tablo 6.1 Çimento Hamuru, Harç ve Beton Deneylerindeki Değişkenler

Çimento Hamuru	MA/B	-	SP/B	W/B
Harç	MA/B	S/B	-	W/B
Beton	-	S/B	SP/B	W/B

Tablo 6.2 Çimento Hamuru Deneylerinde Ölçülen Değerler

t_{10}	D	V	KE
$0t_{10}$	0D	V0	KE0
$30t_{10}$	30D	V30	KE30
$60t_{10}$	60D	V60	KE60
$90t_{10}$	90D	V90	KE90

Tablo 6.3 Harç Deneylerinde Ölçülen Değerler

t_{20}	D	V	KE
$0t_{20}$	0D	V0	KE0
$30t_{20}$	30D	V30	KE30
$60t_{20}$	60D	V60	KE60
$90t_{20}$	90D	V90	KE90

Tablo 6.4 Beton Deneylerinde Ölçülen Değerler

t_{50}	D	V	KE
$0t_{50}$	0D	V0	KE0
$30t_{50}$	30D	V30	KE30
$60t_{50}$	60D	V60	KE60
$90t_{50}$	90D	V90	KE90

Çimento hamuru, harç ve beton deneylerinde, kayma eşiğinin negatif çıkan değerleri için sıfır değeri programa veri olarak girilmiştir.

İstatistik programının değerlendirme yapabilmesi için, T uçucu küllü ile yapılan seride yayılma alınamayan CNTI 9 deneyi için 10cm'lik daireye yayılma hızı, yayılma çapı viskozite değeri ve kayma eşiği diğer çimento hamurunda yapılan deneylerdeki yayılma hızları göz önünde bulundurularak seçilmiştir. Benzer durum HAMI 13 ve HNOII 13 numaralı harç deneyleri, BNOI 2, BNOI 10, BNOI 11, BNOI 13, BNTI 2, BNTI 6, BNTI 10, BNTI 11, BNTI 13, BNMI 2, BNMI 10 numaralı beton deneyleri için de geçerlidir.

Yukarıda karışım numaraları verilen beton deneylerinde çökme yayılma deneyleri 30. dakikadan sonra kıvamları nedeni ile yapılamadığından, çökme deneyleri yapılmıştır. Programda çökme değerlerinin girilmesi için aşağıdaki yaklaşım benimsenmiştir.

Tablo 6.5 Beton Deneylerinde Çökme Yayılma Değeri Kabulleri

Çökme Değeri	Girilen Çökme Yayılma Değeri
< 5 cm	20 cm
5-10 cm	25cm
10-15 cm	30cm
> 20 cm	35cm

6.2. İstatistik Programında Yapılan Analiz Sonuçları

İstatistik programında, her bir deney grubu için sonuçlara etki eden değişkenler sorgulanmıştır. Sonuçlar Ek E' de gösterilmiştir. Tablo 6.6'da ise bu tablolardan bir tanesi verilmiştir. Tablolarda 1,2 ve 3 ile gösterilen rakamlar incelenen değişkenin, araştırılan özelliğe etki derecesini göstermektedir. Rakam büyüdükçe değişkenin incelenen özelliğe etkisi artmaktadır.

Yapılan istatistiksel analiz sonuçlarına göre elde edilen sonuçlar Ek F de, istatistik programından elde edilen veriler ise Ek G de detaylı olarak verilmiştir. Bu tablolar, kuadratik yaklaşım ile elde edilen R^2 ve p gibi yüzey tepki yönteminin parametrelerini içermektedir. R^2 en küçük kareler yöntemi ile elde edilen korelasyon katsayısının karesini ve p ise bir değişkenin anlamlılık derecesini göstermektedir. Normal olarak $p < 0.05$ ise %95 güvenilirlikle değişkenin anlamlı bir etkisi olduğu kabul edilebilir. Değişkenin etki yönü, katsayının önündeki işarettten anlaşılmaktadır.

Tablo 6.6 Çimento Hamurlarında Yapılan Deneylerde Dönüş Eğrisi Kullanılarak Yapılan İstatistik Programı Değerlendirme Sonuçları

		0t ₁₀	30t ₁₀	60t ₁₀	90t ₁₀	0D	30D	60D	90D	V0	V30	V60	V90	KE0	KE30	KE60	KE90
MA/B	CNOI	-1			-1		2	3	2	-3	-3	-2	-3				
MA/B	CNTI									2	2	2	1				
MA/B	CNMI	1				-3	-2	-2	-2					1	1	2	1

		0t ₁₀	30t ₁₀	60t ₁₀	90t ₁₀	0D	30D	60D	90D	V0	V30	V60	V90	KE0	KE30	KE60	KE90
SP/B	CNOI							2									
SP/B	CNTI																
SP/B	CNMI																

		0t ₁₀	30t ₁₀	60t ₁₀	90t ₁₀	0D	30D	60D	90D	V0	V30	V60	V90	KE0	KE30	KE60	KE90
W/B	CNOI			-1						-2	-1	-1	-2				
W/B	CNTI	-1	-1	-1	-1	1											
W/B	CNMI	-3	-3	-2	-3				1	-3	-3	-3	-3	-1			

6.2.1 Çimento Hamurunda Yapılan Deneylerin Sonuçları

Çimento hamurları N çimentosu ile üretilmiş, mineral katkı olarak O ve T uçucu külleri ile silis dumanı kullanılmıştır. Kimyasal katkı olarak I katkısı kullanılmıştır. Çimento hamuru deney sonuçları üzerinde gerçekleştirilen ve istatistik programı ile yapılan değerlendirmelerin sonuçları aşağıda verilmiştir.

Yayılma Hızına Etki Eden Faktörler:

- 1) Karışımda kullanılan mineral katkı oranı (MA/B) sadece O uçucu küllü içeren karışımları etkilemiş, diğer iki mineral katkı kullanılarak üretilen karışımlar üzerinde herhangi bir etkisi gözlemlenmemiştir.
- 2) Kimyasal katkı oranının (SP/B) değişimi her üç mineral katkı kullanılarak çimento hamuru üzerinde yapılan deneylerin sonuçları üzerinde herhangi bir etki yapmamıştır.
- 3) Su/Bağlayıcı (W/B) oranı, T uçucu küllü ve silis dumanlı karışımları etkilerken, O uçucu küllü içeren karışımı sadece 60.dakikada ve zayıf bir şekilde etkilemiştir. Öte yandan su/bağlayıcı (W/B) oranının silis dumanı içeren karışımlar üzerinde etkisi T uçucu küllü karışımlara göre belirgindir.

Toplam Yayılmaya Etki Eden Faktörler:

- 1) T uçucu küllü karışımlarda seçilen değişkenlerin toplam yayılma üzerinde anlamlı bir etkisi gözlemlenmemiştir. Sadece su/bağlayıcı (W/B) oranının başlangıçtaki yayılma üzerine zayıf bir etkisi olduğu görülmüştür.
- 2) O uçucu küllü veya silis dumanı içeren karışımlarda toplam yayılma üzerinde mineral katkı oranının (MA/B) asıl etkileyici olduğu görülmüştür.

Viskozite Katsayısı Üzerine Etki Eden Faktörler:

Viskozite katsayısı iki şekilde hesaplanmıştır. İlk yöntemde kayma deformasyon hızı – kayma gerilmesi eksen takımında hızların artış yönünde olduğu gidiş eğrisinin eğimi temel alınırken, ikincisinde hızların azaldığı dönüş eğrisinin eğimi kullanılmıştır. Bulunan sonuçlar aşağıda belirtildiği gibidir.

- 1) Gidiş eğrilerinden elde edilen viskozite katsayıları kullanıldığında her üç mineral katkı için de mineral katkı/bağlayıcı (MA/B) oranının viskozite katsayısını anlamlı bir şekilde etkilediği görülmüştür. Ancak dönüş eğrileri esas alındığında silis dumanlı

karışımların mineral katkı oranının viskozite katsayısı üzerine etkisi gözlemlenmemektedir.

2) Her üç mineral katkı içinde kimyasal katkı oranının (SP/B) viskoziteyi anlamlı bir şekilde değiştirmedeği görülmüştür.

3) Su/bağlayıcı (W/B) oranının, O uçucu kül ve silis dumanlı karışımları anlamlı bir şekilde etkilerken, T uçucu külü içeren karışımlar üzerine bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

Kayma Eşiği Üzerine Etki Eden Faktörler:

1) O ve T uçucu küllü karışımlarda seçilen faktörlerin kayma eşiğini etkilemediği görülmüştür. Silis dumanlı karışımlarda ise kayma eşiği üzerinde sadece mineral katkı/bağlayıcı (MA/B) oranının etkili olduğu anlaşılmaktadır.

6.2.2. Harçlarda Yapılan Deneylerin Sonuçları

Harç deneylerinde iki cins çimento (N ve A) iki cins uçucu kül (O ve T), bir cins silis dumanı ve O uçucu külü ile birlikte iki ayrı cins kimyasal katkı (I ve II) kullanılmıştır. Ölçülen özellikleri etkileyen faktörler aşağıda verilmiştir.

Yayılma Hızına Etki Eden Faktörler:

1) Mineral katkı oranı her iki çimento cinsi için de O uçucu külü içeren harçlarda yayılma hızını anlamlı bir şekilde etkilemektedir. T uçucu kül içeren harçlarda ise mineral katkının etkisi 30 ve 60. dakikadan sonra belirginleşmektedir. Öte yandan silis dumanlı harçlarda mineral katkı oranının (MA/B) anlamlı bir etkisi görülmemektedir. O uçucu kül ve N çimentosu içeren karışımlarda kimyasal katkı türünün değişmesi anlamlılık düzeyini etkilememiş, her iki kimyasal katkı ile de benzer sonuçlar alınmıştır.

2) Kum/bağlayıcı (S/B) oranı genel olarak bütün karışımlar için yayılma hızını etkilemektedir. Bu etki O uçucu kül içeren karışımlarda A çimentosu için daha belirgin olurken, silis dumanlı karışımlarda N çimentosu için daha belirgin olarak değişmektedir. N çimentosu ve O uçucu kül içeren karışımlarda kimyasal katkı olarak II katkısının kullanımı, 0 ve 60. dakikalarda I katkısına göre daha anlamlı bir ilişki vermektedir.

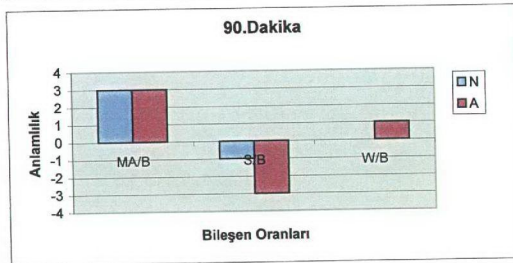
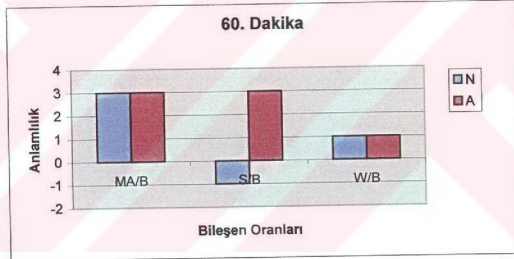
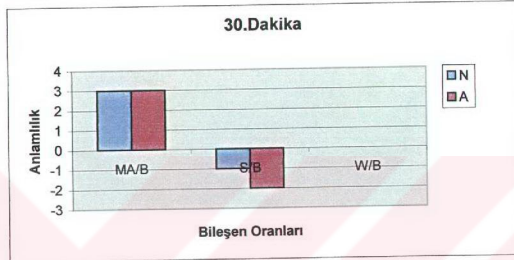
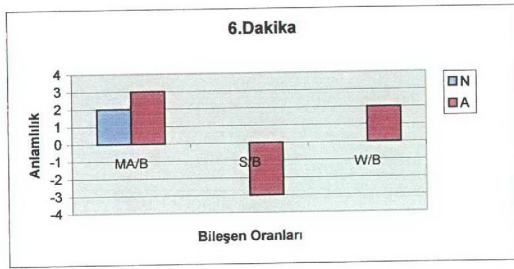
3) Su/bağlayıcı (W/B) oranının genel olarak bütün karışımlarda yayılma hızını etkilediği anlaşılmaktadır. Bu etki N çimentosu ve O uçucu kül içeren karışımlarda II katkısı kullanımında I katkısına göre daha belirginleşmektedir.

Toplam Yayılmaya Etki Eden Faktörler:

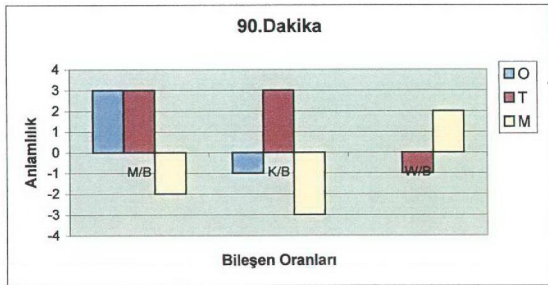
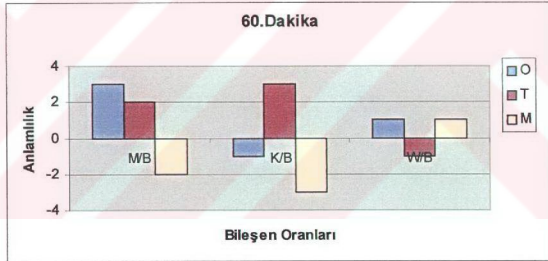
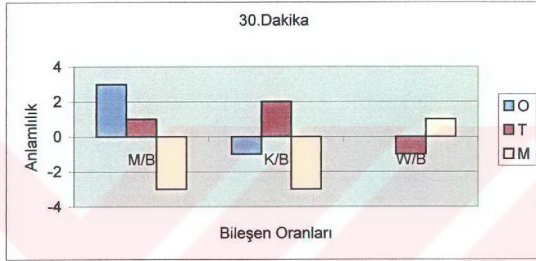
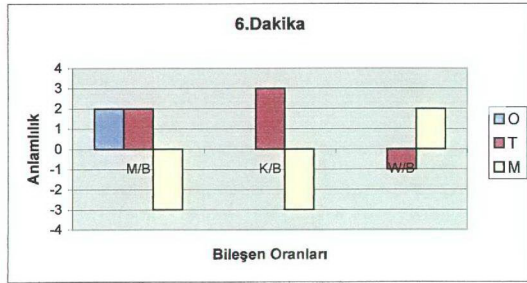
1) Mineral katkı/bağlayıcı oranı (MA/B), A çimentosu ve T uçucu külü dışında kalan tüm harçlarda yayılma üzerinde anlamlı bir etki yaparken, bu sözü edilen harçlarda herhangi bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Mineral katkı/bağlayıcı oranı her iki uçucu kül için toplam yayılma alanı oranını (deney sonunda ölçülen yayılma alanı / yayılma deneyi öncesi alan) pozitif yönde etkilerken silis dumanı azaltıcı yönde etkilemiştir. Bu durum 6 –90. dakika aralığı için geçerlidir. (Şekil 6.1)

2) Kum/bağlayıcı oranı (S/B) tüm karışımlarda toplam yayılma üzerine etkilidir. Ancak bu etki N çimentosu ve O uçucu külü karışımlarda diğerlerinden biraz daha zayıf kalmıştır. Etki O uçucu külü ve silis dumanı için negatif yönde iken T uçucu külü için pozitifdir. (Şekil 6.2)

3) Su/bağlayıcı oranı (W/B), N çimentosu ve O uçucu külü içeren harçlarda bir ilişki vermezken, N çimentolu ancak T uçucu külü harçlarda zayıf da olsa bir ilişki göstermektedir. Çimento cinsi A çimentosuna dönüştürüldüğünde O uçucu külü ile bir ilişki ortaya çıkarken, T uçucu külü anlamlı bir ilişki göstermemiştir. Her iki çimento cinsi için de silis dumanlı harçlar anlamlı bir ilişki vermiştir. N çimentosu ve O uçucu külü karışımlarda II katkısının kullanılmasının diğer katkıdan farklı olarak 90.dakikada bir ilişki göstermesine yol açtığı görülmüştür.



Şekil 6.1 Harçlarda Yayılma Alanı Oranlarının Bileşime Bağlı Değişimi Üzerine Çimento Cinsinin Etkisi



Şekil 6.2 N Çimentosu ile Yapılan Harçlarda Bileşenlerin Yayılma Alanı Oranına Etkisi

Viskozite Katsayısı Üzerine Etki Eden Faktörler:

Daha önce belirtildiği gibi viskozite katsayısı iki farklı şekilde hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıdadır.

1) Gidiş eğrisi temel alındığında N çimentolu karışımlarda MA/B oranının her üç mineral katkı için de viskozite katsayısını etkilediği görülmüştür. Ancak bu etkilenme O uçucu külü için biraz daha zayıftır. Öte yandan aynı uçucu kül (O) için A çimentosu ile anlamlı bir ilişki elde edilememiştir. Benzer şekilde A ve silis dumanı içeren harçlarda da anlamlı bir ilişki bulunamamıştır. N çimentosu ve O uçucu külü I katkısı ile zayıf bir ilişki verirken, II cinsi kimyasal katkı ile bu ilişki kuvvetlenmiştir. T uçucu külünün her iki çimento cinsi ile de benzer derecede anlamlı bir ilişki verdiği görülmektedir.

2) Viskozite katsayısının hesaplanmasında gidiş eğrisi yerine dönüş eğrisi esas alındığında N çimentosu ve silis dumanı içeren harçlarda elde edilmiş olan anlamlı ilişki ölçüm yapılan her dört süre (0, 30, 60, 90. dakikalar) için de ortadan kaybolmaktadır. Diğer etkilenmeler gidiş eğrisine benzerdir.

3) Kum/bağlayıcı oranının (S/B) hem gidiş hem de dönüş eğrileri temel alındığında A çimentosu ile yapılan O veya T uçucu kül içeren harçlarda anlamlı bir ilişki vermediği, bunun dışındaki karışımlar için benzer davrandığı söylenebilir.

4) Gidiş eğrileri temel alınarak yapılan değerlendirmede su/bağlayıcı (W/B) oranının A çimentosu ve T uçucu külü ile üretilen harçlar dışındaki tüm harçları etkilediği anlaşılmaktadır. Bu etkilenme, A çimentosu ve O uçucu kül içeren harç karışımlarında diğerlerine göre biraz daha zayıftır. Dönüş eğrileri temel alındığında, A çimentosu ve O uçucu kül içeren harç karışımları için elde edilen ilişki daha da zayıflamakta, diğer karışımlar için benzer eğilimler elde edilmektedir.

Kayma Eşiği Üzerine Etki Eden Faktörler:

1) Mineral katkı/bağlayıcı (MA/B) oranı N çimentosu ve T uçucu külü içeren harçlarda kayma eşiğini anlamlı bir şekilde etkilememiştir. Ancak aynı uçucu kül, A çimentosu ile kullanıldığında, mineral katkı oranını zayıf bir şekilde etkilediği görülmüştür. O uçucu külü içinse her iki çimento üzerinde mineral katkı oranının benzer şekilde etki yaptığı görülmüştür. Silis dumanlı harçlarda N çimentosu kullanılması durumunda mineral katkı oranının daha etkili olduğu söylenebilir. N

çimentosu ve O uçucu kül içeren karışımlarda ise II katkısının kullanılması I katkısına göre daha zayıf etki yapmaktadır.

2) O uçucu küllü harçlarda A çimentosu kullanımı durumunda S/B oranı ilk dakikalarda kayma eşiğini etkilerken, bu etki O uçucu külü için kaybolmuştur. T uçucu küllü harçlarda ise zayıf bir etkilenmeden söz edilebilir. Silis dumanının A çimentosu ile kullanımı N çimentosuna göre biraz daha anlamlı bir ilişki vermiştir.

3) Genel olarak kayma eşiğinin su/bağlayıcı (W/B) oranından orta düzeyde etkilendiği ancak silis dumanlı karışımlarda A çimentosunun kullanımının N çimentosuna göre biraz daha kuvvetli ilişki verdiği gözlenmektedir.

6.2.3. Beton Deneyleri Sonuçları

Beton deneylerinde MA/B oranı, uçucu küllü karışımlarda %36,4, silis dumanlı karışımlarda ise %6,82 değerinde sabit tutulurken kum/bağlayıcı (S/B) oranı su/bağlayıcı (W/B) ve kimyasal katkı/ bağlayıcı (SP/B) oranları değiştirilmiştir. Karışımlarda N çimentosu ile mineral katkı olarak 2 farklı kül ve silis dumanı kullanılmıştır. Kimyasal katkı olarak I katkısı ile deneyler yapılmıştır.

Bu değişkenlerin betonların reolojik özelliklerine etkileri aşağıda değerlendirilmiştir.

Yayılma Hızına Etki Eden Faktörler:

1) Kum/bağlayıcı (S/B) oranı bütün karışımların hızlarını genel olarak benzer şekilde etkilemiş ancak O uçucu külü için karışımlarda bu etkilenme 30.dakikadan sonra zayıflamıştır.

2) Kimyasal katkı (SP/B) oranı O uçucu külü içeren karışımlarda anlamlı bir etkilenme oluşturmazken, T uçucu küllü ve silis dumanlı karışımlarda 30 dakika ve sonrasında anlamlı bir etki oluşturmıştır. Önceki bölümde ele alındığı gibi kimyasal katkı oranı çimento hamurlarında hiçbir reolojik özelliği etkilememiştir. Ancak beton deneylerinde O uçucu kül içeren karışımlarda bu etki gözlemlenmiştir.

3) Su/bağlayıcı (W/B) oranı her üç beton karışımında da yaklaşık olarak benzer şekilde yayılma hızını etkilemiştir.

Toplam Yayılmaya Etki Eden Faktörler:

- 1) Kum/bağlayıcı (S/B) oranı toplam yayılma miktarını her üç karışım için de anlamlı bir şekilde etkilerken, bu etkilenme O uçucu külünde orta düzeyde, diğer iki mineral katkı da ise yüksek düzeyde olmuştur.
- 2) Kimyasal katkı (SP/B) oranının O uçucu küllü beton karışımlarını etkilemezken, T uçucu külü ve silis dumanı içeren beton karışımlarını anlamlı bir şekilde etkilemiştir. Aslında SA/B oranı O uçucu kül ile üretilen karışımlarda hiçbir reolojik özelliği etkilemediği görülmüştür.
- 3) Su/bağlayıcı (W/B) oranı her üç karışımı anlamlı bir şekilde etkilemiş ancak bu etkilenme O uçucu külünde daha zayıf kalmıştır.

Viskozite Katsayısı Üzerine Etki Eden Faktörler:

- 1) Kum/bağlayıcı (S/B) oranı her üç karışım da etkili olurken bu etkilenme silis dumanı içeren karışımlarda daha kuvvetlidir.
- 2) Kimyasal katkı (SP/B) oranının her üç karışım için de T uçucu külünün 60 ve 90. dakikaları hariç anlamlı bir etkisinin olmadığı söylenebilir.
- 3) Su/bağlayıcı (W/B) oranı her üç karışımı da yüksek düzeyde etkilemiştir.

Kayma Eşiği Üzerine Etki Eden Faktörler:

- 1) Kum/bağlayıcı (S/B) oranı silis dumanlı betonlarda yüksek derecede etkilidir. Bu etkilenme O ve T uçucu küllü karışımlarda sırası ile 30 ve 60.dakikalardan sonra ortaya çıkmış ve daha düşük düzeyde kalmıştır.
- 2) Kimyasal katkı (SP/B) oranının, O uçucu küllü karışımlarda bir etkisi görülmezken, diğer iki karışım da orta düzeyde bir etkilenme gözlenmiştir.
- 3) Su/bağlayıcı (W/B) oranı kayma eşiğini her üç karışım da zayıf bir şekilde etkilemektedir.

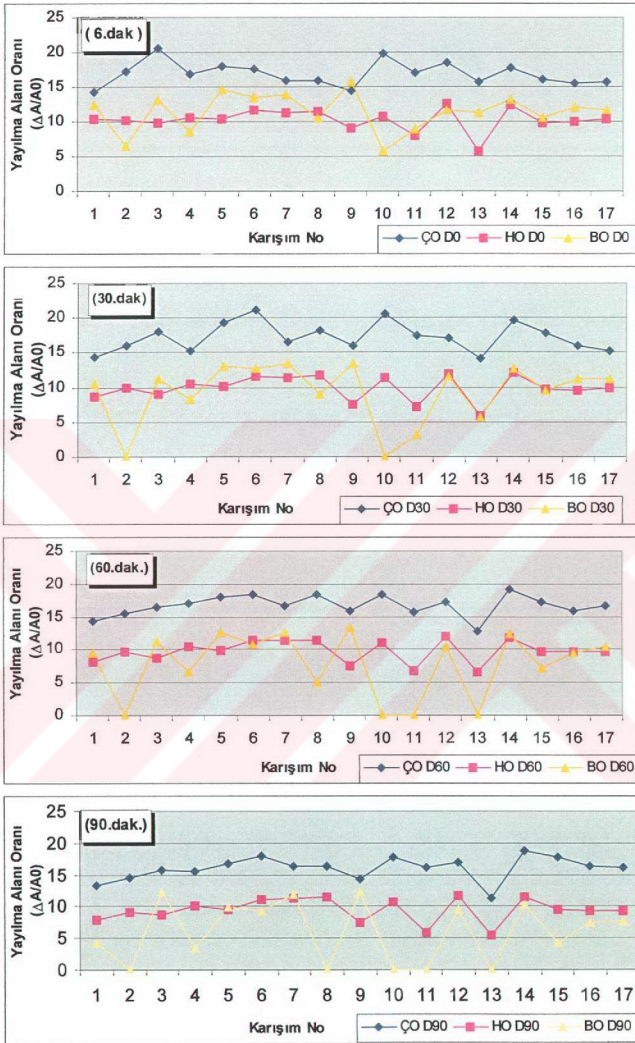
6.3. Toplam Yayılmanın Zaman ve Karışımlara Bağlı Olarak Değişimi

Toplam yayılmanın zaman ve karışımlara bağlı olarak değişimi N çimentosu, O uçucu külü ve I katkısı kullanılarak üretilen çimento hamuru, harç ve betonlar için incelenmiştir. Şekil 6.3 de sırası ile karıştırma sonrası 0, 30, 60 ve 90. dakikalarda ölçülen yayılma alanı oranlarının (deney sonunda ölçülen yayılma alanı / yayılma

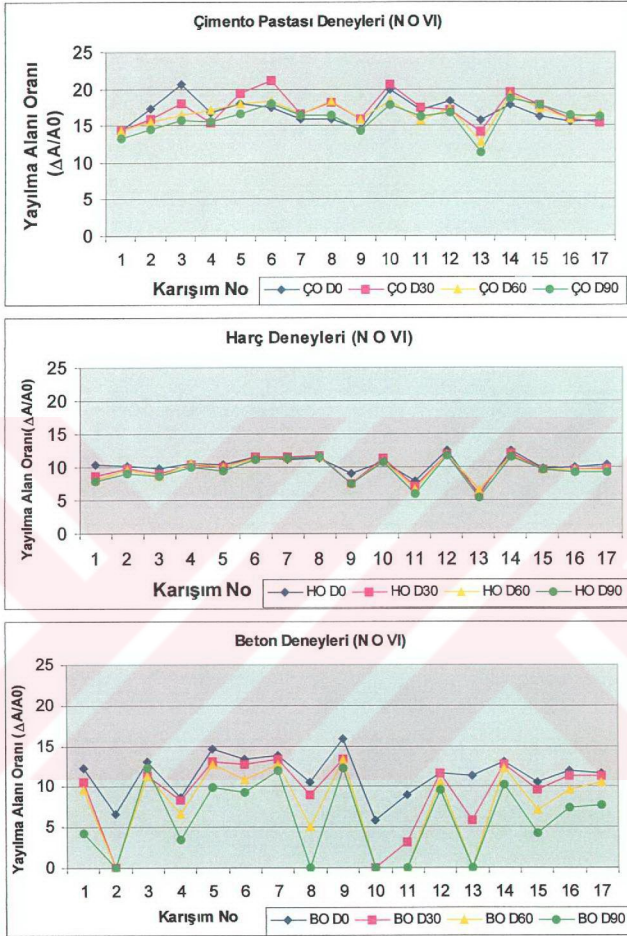
deneyi öncesi alan) değişimi, karışım numarasına bağlı olarak çimento hamuru, harç ve betonlar için birlikte gösterilmiştir. Her ölçüm zamanı için çimento hamuru ile harçların birbirleri ile uyumlu davrandıkları, yani yayılma alanlarının çimento hamuru deneylerine benzer şekilde harç deneylerinde de değiştiği gözlemlenmiştir.

Ancak beton deneylerinde elde edilen yayılma alan oranlarının büyük dalgalanmalar gösterdiği, 6.dakikada yapılan deneylerde, özellikle 3-8 ve 10-17. karışımlar arasında çimento hamuru deneylerinde elde edilen yayılma alanları ile uyumlu bir davranış gösterdiği görülmüştür.

Şekil 6.4 de ise çimento hamuru, harç ve beton deneylerinde yayılma alanı oranlarının her deney grubunda zamana bağlı değişimleri, N çimentosu – O uçucu külü ve I katkısı için bir arada gösterilmiştir. Buna göre harç deneylerinde elde edilen yayılma alanlarının zamanla daha az değişim gösterdiği, çimento hamurlarında yapılan yayılma deneylerinde bu değişimin biraz daha fazla olduğu, ancak en büyük değişimin beton deneylerinde olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 6.3 Ç. Hamuru, Harç ve Beton Deneylerinde Farklı Zamanlarda Elde Edilen Yayılma Alanı Oranlarının Karışımlara Göre Değişimi (N Çimentosu - O. U.Kül ve I Katkısı)



Şekil 6.4 Ç. Hamuru, Harç ve Beton Deneylerinde Farklı Zamanlarda Elde Edilen Yayıma Alanı Oranlarının Karışımlara Göre Toplu Değişimi (N Çimentosu - O. U.Kül ve I Katkısı için)

7.SONUÇLAR

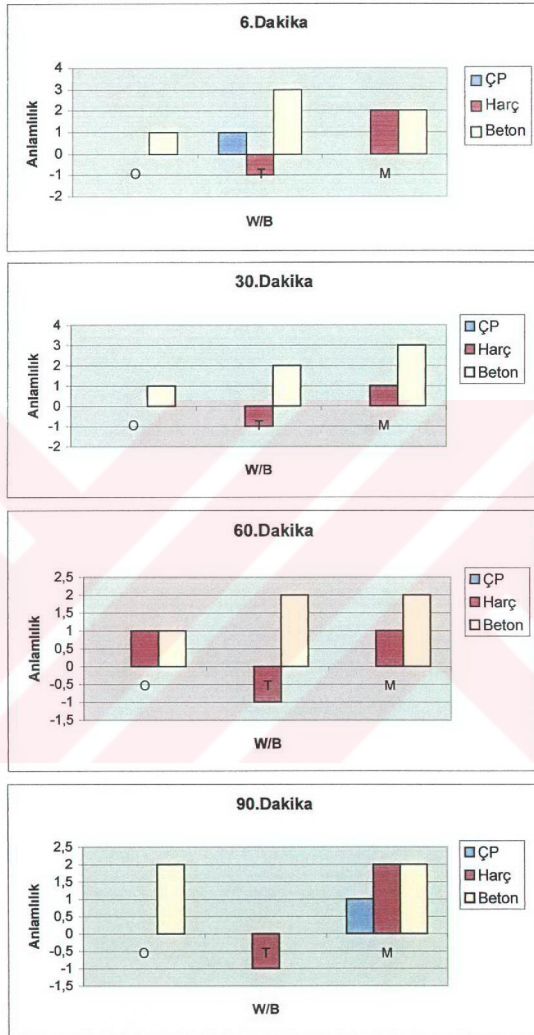
7.1. Çimento Hamuru Harç ve Beton Deneyleri

N çimentosu ve I katkısı ile O ve T uçucu külleri ve silis dumanı kullanılarak üretilen çimento hamuru, harç ve beton deneyleri ile ilgili sonuçlar Şekil 7.1’de yer almaktadır. O uçucu küllü ile yapılan betonlarda su/bağlayıcı oranı 60. dakikaya kadar sadece betonun yayılma özelliklerini etkilerken, 60.dakikada harçların da aynı özelliğini pozitif olarak etkilemiştir. Ancak 90.dakikada harçlar üzerine etkisi negatif olurken betonlarda yine pozitif kalmıştır.

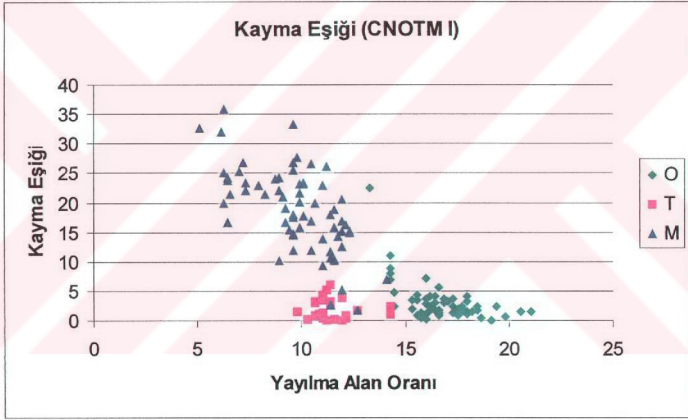
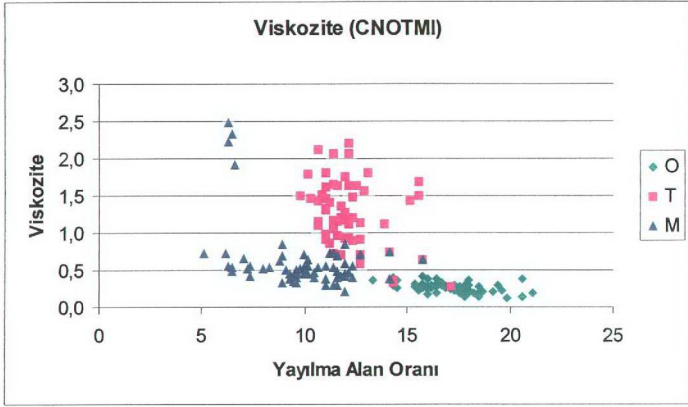
T uçucu küllü ile yapılan karışımlarda başlangıçta yayılma çimento hamuru ve betonda aynı pozitif yönde etkilenmiş, ancak harçta negatif etkilenme olmuştur. Daha ileri sürelerde hamur üzerine anlamlı etki ortadan kalkmıştır.

7.2 Çimento Hamuru Deneyleri

Mineral katkıların yayılma alanı oranı (YAO) üzerine etkileri karşılaştırıldığında, bu çalışmada denenen aralıklarda silis dumanlı çimento hamurlarının en düşük YAO’nı verdikleri bunları T uçucu küllü karışımların izlediği O uçucu küllü hamurların ise en büyük YAO’nı verdikleri görülmektedir. Uçucu küller kendi içlerinde karşılaştırıldığında, O uçucu küllünün daha fazla yayılmasına tanelerinin daha küresel olmasının (Şekil 5.3) etkili olduğu söylenebilir. Öte yandan silis dumanlı karışımların uçucu küllü karışımlardan daha düşük YAO’nı vermesi silis dumanının toplam yüzey alanının daha büyük olmasına (Ek B) bağlanabilir.



Şekil 7.1. Su/Bağlayıcı Oranının Çim. Hamuru, Harç ve Betonların Yayılma Alan Oranı Üzerine Etkisi



Şekil 7.2 Çimento hamurlarında Viskozite ve Kayma Eşiğinin YAO ile Değişimi

Çimento hamurlarında viskoziteler karşılaştırıldığında (Şekil 7.2), en büyük YAO'nı veren O uçucu küllünün en düşük viskoziteye neden olduğu, buna karşılık YAO'nı en düşük olan silis dumanlı karışımların T uçucu küllü çimento hamurundan daha düşük viskozite vermiştir. Askıda katı madde içeren sıvılarda (süspansiyon) karışımın viskozite katsayısı Einstein denklemine göre (Denklem 2.9) sadece katı madde konsantrasyonuna bağlıdır. Ele alınan her üç mineral katkı içeren çimento hamurunda

katı madde oranı yaklaşık aynı olmakla birlikte, viskozitelerindeki büyük farklılık tane yapısı ve tane dağılımının viskozite üzerine etkili olduğunu göstermektedir.

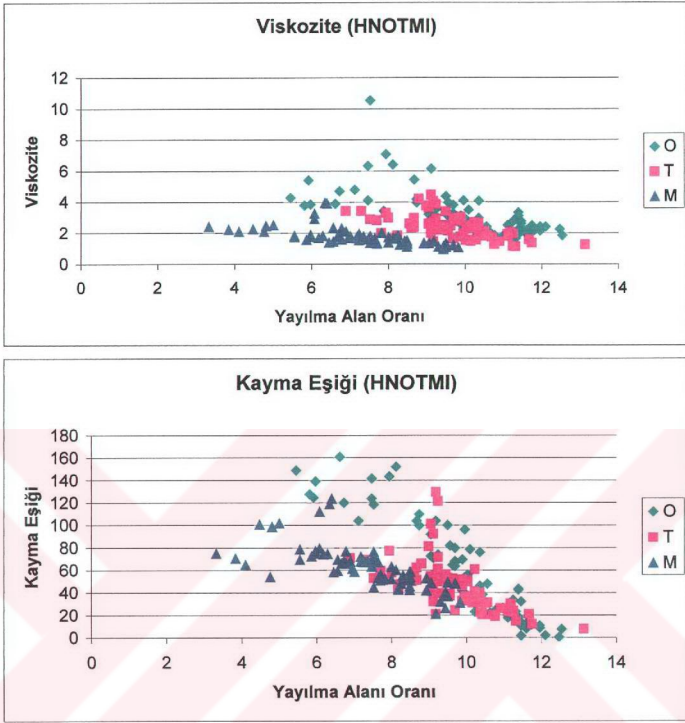
Çimento hamurlarının kayma eşikleri karşılaştırıldığında T ve O uçucu küllerinin kayma eşiklerinin aynı aralıkta kaldığı, buna karşılık silis dumanlı karışımların kayma eşiğinin uçucu küllü karışımlarınkinden belirgin şekilde yüksek olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 7.2). Bu durum ince tanelerden oluşan silis dumanının kayma eşiğini artırdığı, buna karşılık uçucu küllerdeki toplam yüzey alanı ve tane yapısındaki farklılığın kayma eşiğini fazla etkilemediği sonucu çıkartılabilir.

Denenen su/çimento aralığı T uçucu küllü hamurlar için düşük kalmıştır.

7.3. Harç Deneyleri

Çimento hamurlarında, T uçucu küllü karışımların denenen su/bağlayıcı aralığında (0,22-0,30) viskozite katsayılarının O uçucu küllü karışımlardan büyük ve YAO'larının küçük olması nedeni ile harçlar hazırlanırken T uçucu küllü karışımlarda su/bağlayıcı oranı 0,28-0,36 arasına çıkartılmıştır. O küllü içeren karışımlarda ise su/bağlayıcı oranı 0,22-0,30 arasında kalmıştır. Su/bağlayıcı oranı artırılan T uçucu küllü karışımlarının yayılmalarının arttığı ve viskozitelerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Buradan T uçucu külünün su ihtiyacının, O külünden daha fazla olduğu ve bunun T uçucu külünün köşeli tane yapısından ve tane dağılımı farkından ileri geldiği değerlendirilebilir.

Su/bağlayıcı oranı aralığı aynı olan T uçucu küllü ve silis dumanlı harçlar karşılaştırıldığında silis dumanlılarda yayılma alanı oranı düşük kalırken viskozitelerinin de daha küçük olduğu görülmektedir (Şekil 7.3). Bu durumda çimento hamurunda gözlenen T uçucu küllü karışımların silis dumanlılara göre daha yüksek viskozite ve YAO'na sahip olma özelliği harçlarda da korunmuştur.



Şekil 7.3 Harçlarda Viskozite ve Kayma Eşığının YAO ile Değişimi

Kayma eşikleri karşılaştırıldığında, yüksek yayılma oranları için her iki küllünde benzer davrandığı, ancak düşük yayılma oranlarında O uçucu küllü karışımların daha büyük kayma eşığına sahip oldukları görülmektedir (Şekil 7.3). Genel olarak silis dumanlı harçların kayma eşığı T uçucu küllü karışımlara benzemektedir.

Kayma eşğinde çimento hamuru ve harçlarda görülen fark, bu özellik üzerine su/bağlayıcı oranının etkili olduğunu göstermektedir. Önceki bölümlerde ele alınan istatistik değerlendirmede, su/bağlayıcı oranının kayma eşığını her üç mineral katkılı harçlar için de anlamlı şekilde etkilemesi de bu sonucu desteklemektedir.

7.3.1. Harç Deneylerinde Çimento Cinsinin Etkisi

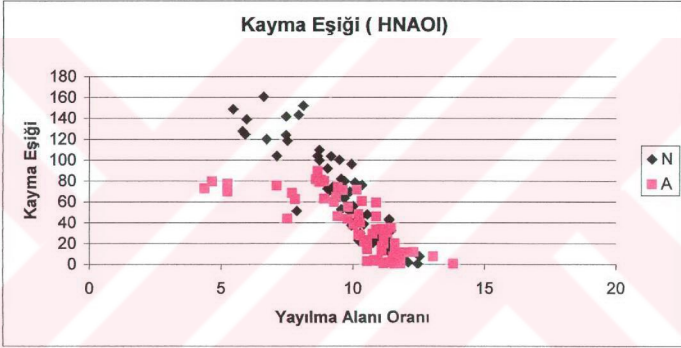
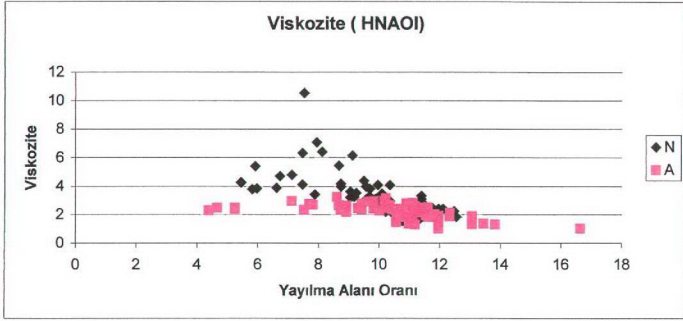
Denenen iki PÇ 42,5 cinsi çimento, farklı fabrikalardan sağlanmıştır. Şekil 7.4 den YAO'larının her iki çimento cinsi için benzer olduğu ve yüksek YAO'ları için, viskozite katsayısı ve kayma eşiğinin yakın değerler aldığı görülmektedir. Ancak yayılma oranının daha küçük değerler için N çimentosu ile yapılmış harçlarda viskozite ve kayma eşiği A çimentosu ile yapılanlara göre daha yüksek değerler almıştır. Betonların reolojik özellikleri üzerine çimentonun C_3A içeriğinin, inceliğinin, $CaSO_4$ tipi ve miktarının etkili olduğu bilinmektedir. [55,56]

Burada denenen iki çimento arasında N çimentosunun biraz daha ince olduğu ve C_3A miktarının daha az olduğu Tablo 5.6 da görülmektedir ancak bu veriler farkı açıklamaya yeterli görünmemektedir.

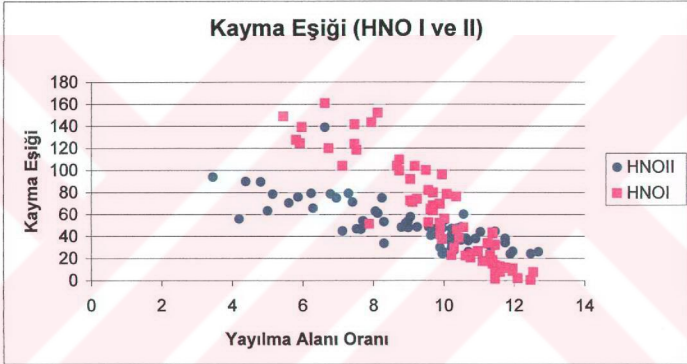
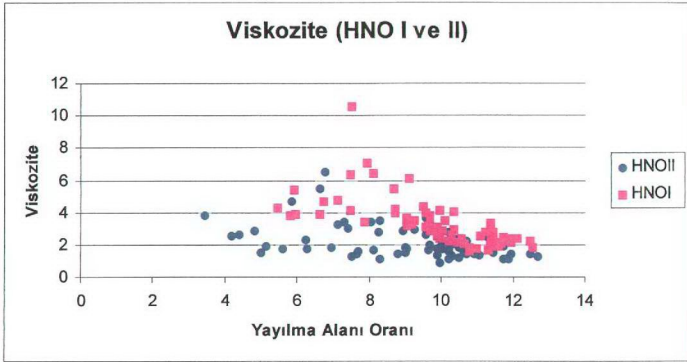
7.3.2. Harç Deneylerinde Katkı Cinsinin Etkisi

Şekil 7.5'den denenen her iki SP katkı için yayılma oranlarının yaklaşık eşit aralıkta kaldığı görülmektedir. Yüksek yayılma alanı oranları için her iki katkı da yaklaşık aynı viskozite katsayılarını verirken düşük yayılma oranlarında I katkılı karışımların viskoziteleri bir miktar daha yükselmiştir.

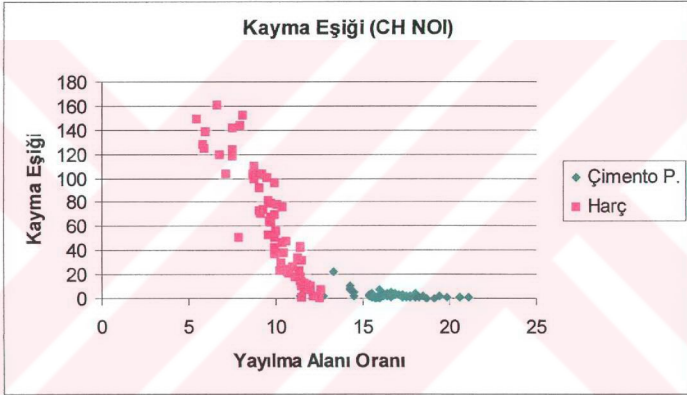
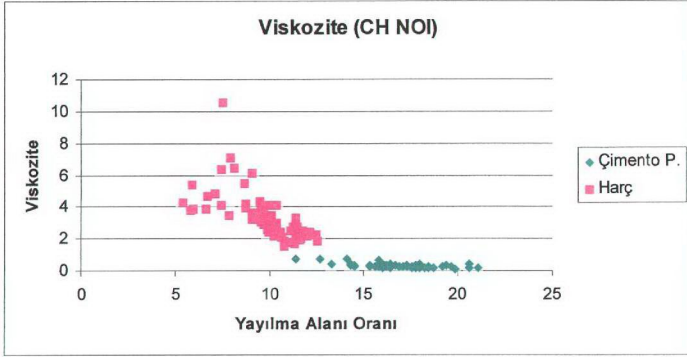
Kayma eşikleri karşılaştırıldığında YAO'ları için I katkılı harçlar, II katkılı harçlara göre daha küçük ya da eşit değerler verirken, YAO'nı daha düşük olduğu karışımlarda kayma eşiğinin I katkısı için arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum kendiliğinden büyük oranda yayılan harçlarda SA katkı cinsinin etkili olmadığı, ancak YAO düşük olan harçlarda etki gösterdiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 7.4 Harçlarda A ve N Çimentoları için Viskozite ve Kayma Eşiğinin YAO ile Değişimi



Şekil 7.5 Harçlarda I ve II Katkıları için Viskozite ve Kayma Eşiğinin YAO ile Değişimi



Şekil 7.6 Çimento Hamuru ve Harçlarda için Viskozite ve Kayma Eşiğinin YAO ile Değişimi

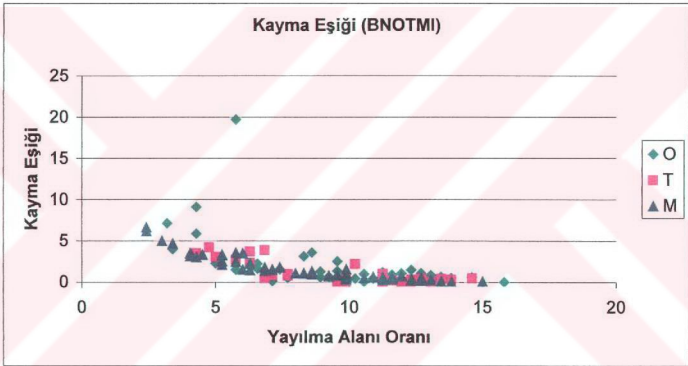
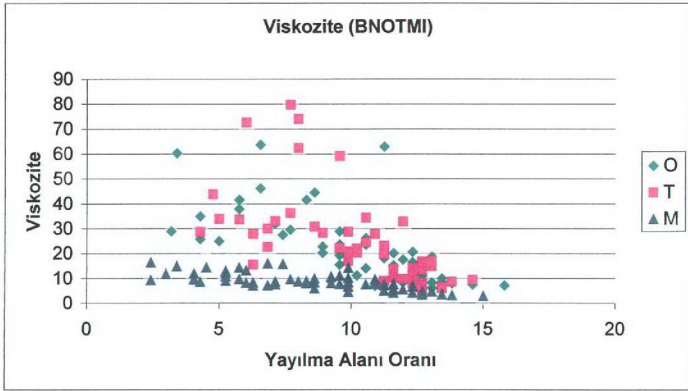
O uçucu küllü çimento hamuru ve harçların viskozite katsayıları ve kayma eşikleri Şekil 7.6'da görülmektedir. Su / bağlayıcı oranı bu iki karışımda birbirine yakın değerler arasında değişmesine rağmen, harçlarda YAO, çimento hamurundan daha düşüktür. Benzer şekilde harçların viskozite katsayıları ve kayma eşikleri çimento hamurundan daha büyüktür. Ancak harçlarda kayma eşiğindeki değişim viskozitedeki değişime göre daha fazladır. Bu durum harçlarda kumun karışıma girmesinden ve kumun ilave su gereksiniminin bulunmasından kaynaklanabilir. Öte yandan yayılma

oranındaki değişim çimento hamurlarının kayma eşiğini küçük oranda etkilerken, harçlarda daha sert bir değişim gözlemlenmektedir.

7.4. Beton Deneyleri

Betonlarda viskozite ve kayma eşiğinin YAO ile değişimi Şekil 7.7 de verilmiştir. Her üç mineral katkı için de YAO değişimi yaklaşık benzer kabul edilebilir. Ancak viskozite katsayısı silis dumanlı karışımlarda en düşük değerdedir. Uçucu küllü karışımlarda ise benzer kabul etmek mümkündür.

Bu karışımlarda O ve T uçucu küllerinin su gereksinimleri farklı olduğu için ilk külde su/bağlayıcı aralığı 0,23-0,30, ikinci külde ise 0,29-0,35 olarak seçilmiştir. Farklı su aralıklarında olmalarına rağmen her iki külle yapılan betonların viskoziteleri ve YAO 'ları yakın çıkmıştır. Silis dumanlı karışımlarda da su/bağlayıcı oranı T uçucu küllü karışımlar gibi 0,29-0,35 aralığında seçilmiş ve bunların YAO ları diğerleri ile aynı aralıklarda kalırken viskozitelerinde belirgin bir düşme elde edilmiştir. Öte yandan harçlar göz önüne alındığında, silis dumanlı karışımların en düşük viskozite katsayısına sahip oldukları ancak yayılma oranlarının da uçucu küllü karışımlardan daha düşük olduğu Şekil 7.3 den görölmektedir. Oysa beton söz konusu olduğunda, viskozite düşük kalırken yayılma alan oranları artmıştır. Bu durum karışıma iri agreg a girdiğinde silis dumanının yayılmayı artırıcı yönde etki yaptığı şeklinde yorumlanabilir. Şekil 7.7 de verilen kayma eşikleri göz önüne alındığında her üç mineral katkı için de sonuçların dağılmasının küçük olduğu görölmektedir. Ayrıca YAO'nın 10 dan büyük değerleri için her 3 mineral katkılı betonlar da kayma eşiği sıfıra çok yaklaşmakta, diğer bir deyişle düşük YAO'larında Bingham cismi gibi davranan betonların yüksek YAO'larında Newtonien davranışa sahip oldukları sonucu çıkmaktadır.



Şekil 7.7 Beton Deneylerinde Viskozite ve Kayma Eşiğinin YAO ile Değişimi

KAYNAKLAR

- [1] **Bürge, T.**, 1999. Viscocrete Technology, Self-Compacting Concrete, R&D Meeting Spain.
- [2] **Hibino, M.**, 2000. Effect of Viscosity Enhancing Agent on Self-Compactibility of Fresh Concrete, *Sixth CANMET/ACI International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete*, Nice.
- [3] **Nagataki, S.**, 2000. Advanced Technology for High Fluidity Concrete, *Cement and Concrete technology in the 2000's, II. International Symposium*, Istanbul-Turkey, September 6-10.
- [4] **Akman, M.S.**, 1987. Yapı Malzemeleri, İ.T.Ü Kütüphanesi, İstanbul.
- [5] **LeHermite, M.R.**, 1949. The Rheology of Fresh Concrete Under Vibration, *Cement and Concrete Association*, London, 9, 1-32. [17] Nolu kaynakta bahsedilmiştir.
- [6] **Banfill, P.F.G ve Tattersal, G.H.**, 1983. Rheology of Fresh Concrete, Pitman Ed., London.
- [7] **Bartos, P.**, 1992. Fresh Concrete Properties and Tests, Elsevier Publ, pp 7-187.
- [8] **Postacıoğlu, B.** 1981. Cisimlerin Yapısı ve Özellikleri, İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul.
- [9] **Ramachandran, V.S., Malhotra, V. M., Jolicoeur, C. and Spiratos, N.**, 1998. Superplasticizers : Properties and Applications in Concrete, CANMET.
- [10] **Akman, M.S.**, 1996. Süperakışkanlaştırıcı Katkıların Taze Betonların İşlenebilmesindeki Sorunları, *Dördüncü Ulusal Beton Kongresi*, İstanbul, Ekim-Kasım, s.55-71.
- [11] **Tattersal, G.H.**, 1991. Workability and Quality Control of Concrete, E&F.N Spon Publ., London.
- [12] **Banfill, P.F.G and Tattersal, G.H.**, 1983. Rheology of Fresh Concrete, Pitman Ed., London.
- [13] **Banfill, P.F.G (Editor)**, 1991. Rheology of Fresh Cement and Concrete, pp 215-303, E&F.N Spon Publ., London.

- [14] **Yücel, K.T.**, 1997. Pompa betonlarında işlenebilirliğin harç fazının reolojisine dayanarak belirlenmesi, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [15] **Ferraris, F.C.**, 1996. Measurement of the Rheological Properties of High Performance Concrete : State of the Art Report, **NISTIR 5869**, Building Fire Research Laboratory , Gaithersburg, Maryland 20899, July.
- [16] **Akman, S.**, 2000. Yüksek Performanslı Betonların Taze Haldeki Özellikleri Üzerine Katkı Maddelerinin Etkisi, *Sika Teknik Bülten*, Yıl 3, Sayı 2000/1 ve 2000/2.
- [17] **Doğan, Ü.A.**, 2000. Yeni kuşak süperakışkanlaştırıcıların harç ve beton özelliklerine etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [18] **Jeknavonian, A. A., Roberts, L.R., Jardine, L., Koyata, H. and Darwin, D. C.**, 1997. Condensed Polyacrylic Acid – Aminated Polyether Polymers as Superplasticizers for Concrete, *ACI, SP 173.*
- [19] **Akman, M.S. and Yücel K.T.**, 1996. Effects of Cement –High Range Water Reducer-Fly Ash Ternary System on Concrete Workability, *The 4th International Conference on Concrete Technology for Developing Countries*, G. Magusa, North Cyprus, 99-108.
- [20] **Skarendahl, A. and Peterson, Ö.**, 2000. Self Compacting Concrete, RILEM Publications, France.
- [21] **Sağlam, A.R.**, 2001. Süperakışkanlaştırıcı ve Viskozite Artırıcı Katkıların Kendiliğinden Yerleşen Beton Özelliklerine Etkisi, *Sika Teknik Bülten*, Yıl 4, Sayı 2001/1.
- [22] **Çavdar, Z. ve Sağlam, A.R.**, 1998. Kendiliğinden Yerleşen Beton Uygulaması, *Sika Teknik Bülten*, Yıl 1, Sayı 3.
- [23] **Ambrose, J. and Pera, J.**, 2000. Effect of Type of Superplasticizer on Loss of Workability of Self-Leveling Concrete, *Sixth CANMET/ACI, International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete*, Nice.
- [24] **Khayat, K.H. and Saric-Coric, M.**, 2000. Effect of Welan Gum-Superplasticizer Combinations on Properties of Cement Grouts, *Sixth CANMET/ACI, International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete*, Nice.
- [25] **Tassios, T.P.**, 1973. Plasticity and Cohesiveness of Fresh Concrete, *Proc. RILEM Seminar*, Leeds, [17] Nolu kaynakta bahsedilmiştir.

- [26] **Mizuguchi, H.** et al, 1974. Measurement of Plastic Viscosity and Yield Value of Fresh Concrete, Review of the 28 th General Meeting, Cement Association of Japan, pp.100-102 , [17] Nolu kaynakta bahsedilmiştir.
- [27] **Nishibayashi, S.** et al., 1981. Rheological Properties of Superplasticized Concrete Institute, Detroit, ACI, **SP-68**, pp.441-446, [17] Nolu kaynakta bahsedilmiştir.
- [28] **TS 2871**, Aralık,1971.Taze Beton Kıvam Deneyi (Çökme Hunisi Metodu ile), *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [29] **ASTM C 143-90a**, 1990. Test for Slump of Hydraulic Cement Concrete.
- [30] **BS 1881**, Part 102, 1983. Method for Determination of Slump, British Standart Institution, London.
- [31] **Sağlam, A.R. ve Mutlu, M.**, 2000. Taze Betonda İşlenebilmenin Ölçülmesi ve Deney Aletlerinin İrdelenmesi, *Sika Teknik Bülten*, Yıl 3, Sayı 2000/4.
- [32] **Mori, H. and Tanigawa, Y.**, 1992. Simulation Methods for Fluidity of Fresh Concrete, Memoirs of the School of Engineering, Nagoya University, **44**,1.
- [33] **Neville, A.M.**, 1996. Properties of Concrete, Fourth Edition, John Wiley & Sons, Inc.
- [34] **BS 1881**,Part 105,1984. Method for Determination of Flow, British Standart Institution, London.
- [35] **Mor, A. and Ravina, D.**, 1986. The DIN Flow Table, *Concrete International*, **8**, No12 , pp53-6 .
- [36] **Powers, T.C.**, 1932. Studies of Workability of Concrete, *J. American Ins.*, **28**, 419-448.
- [37] **BS 1881**,Part 104,1983. Method for Determination of Vebe Time, British Standart Institution, London.
- [38] **ACI 211.3-75** Revised 1987. Reapproved 1992.
- [39] **Nasser, K.W.**, 1976. New and Simple Tester for Slump of Concrete, *ACI Journal Proc.*, **73**, pp 561-565.
- [40] **Al-Manaseer, A.A., Nasser, K.W. and Haug, M.D.**, 1989.Consistency and Workability of Flowing Concrete, *Concrete International*, **11**, 40-44.
- [41] **TSE 2872**, Aralık 1977. Taze Beton Kıvam Deneyi (Sıkıştırma Faktörü Metodu), *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

- [42] **BS 1881**, Part 103,1993. Method for Determination of Compacting Factor, British Standart Institution, London.
- [43] **Mutlu, M.**, 1983. İşlenebilme özelliğinin eniyileştirilmesi yoluyla beton bileşiminin saptanması - Kişisel Çalışma Raporu, *Yüksek Lisans Tezi*, Karadeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [44] **ASTM - C 260-92**, 1992. Test for Ball Penetration in Freshly Mixed Hydraulic Cement Concrete.
- [45] **Ozkul, H., Doğan, A.U., Çavdar, Z.; Sağlam, A.R. and Parlak, N.**, 2000. Effects of Self Compacting Concrete Admixtures on Fresh and Hardened Concrete Properties, *Cement and Concrete Technology in the 2000's, I.International Symposium*, Istanbul-Turkey, September 6-10., vol 1, 493-502.
- [46] **Ozkul, H., Doğan, A.U., Çavdar, Z. and Sağlam, A.R.**, 1999. Properties of Fresh and Hardened Concretes Prepared by New Generation Superplasticizers, *Creating with Concrete, International Conf. On Modern Concrete Materials:Binders, Additives and Admixtures*, Dundee, İskoçya, 467- 474.
- [47] **Domone, P.L.J. ,Yongmo, Xu and Banfill, P.F.G.**,1999. Developments of the two-point Workability Test For High -Performance Concrete, *Magazine of Concrete Research*, 3, June, 171-179.
- [48] **Cabrera, J.G. and Hopkins, C.J.A.**, 1984. A modification of the Tattersal two-point test apparatus for Measuring Concrete Workability, *Magazine of Concrete Research*, 129, 237-240.
- [49] **Wimpenny, D.E. and Ellis, C.**, 1987.Oil Pressure Measurement in the two-point workability apparatus, *Magazine of Concrete Research* , 140, 169-174.
- [50] **Wallevik, O.H. and Grojv O.E.**,1990.Modification of the two-point workability apparatus, *Magazine of Concrete Research*, 152,135-142.
- [51] **Beaupre, D.**, Rheology of High Performance Shotcrete, *Ph.D. Thesis*,University of British Columbia. [14] Nolu kaynakta bahsedilmiştir.
- [52] **Hu, C.; De Larrard F. and Grojv O.E.**, 1995. Rheological Testing and Modeling of Fresh High Performance Concrete, *Materials and Structures*, 28,1-7. [14] Nolu kaynakta bahsedilmiştir.
- [53] **Mork, J.H.**, A Presentation of the BML Viscometer in Production Methods and Workability of Concrete (eds BARTOS, P.J.,MARRS).
- [54] **Caulcutt R.**, 1991. Statistics in Research and Development, Chapman & Hall, London.

EKLER

Ek [A]

- Tablo A.1. Çim. Pastası Deney Serileri (CNOI, N Çimentosu, O U.Külü ve I Katkısı)
- Tablo A.2. Çim. Pastası Deney Serileri (CNTİ, N Çimentosu, T U.Külü ve I Katkısı)
- Tablo A.3. Çim. Pastası Deney Serileri (CNMI, N Çim., S. Dumanı ve I Katkısı)
- Tablo A.4. Harç Deney Serileri (HNOI, N Çimentosu, O Uçucu Külü ve I Katkısı)
- Tablo A.5. Harç Deney Serileri (HNTİ, N Çimentosu, T Uçucu Külü ve I Katkısı)
- Tablo A.6. Harç Deney Serileri (HNMI, N Çimentosu, Silis Dumanı ve I Katkısı)
- Tablo A.7. Harç Deney Serileri (HAOI, A Çimentosu, O Uçucu Külü ve I Katkısı)
- Tablo A.8. Harç Deney Serileri (HATI, A Çimentosu, T Uçucu Külü ve I Katkısı)
- Tablo A.9. Harç Deney Serileri (HAMI, A Çimentosu, Silis Dumanı ve I Katkısı)
- Tablo A.10. Harç Deney Serileri (HNOII, N Çimentosu, O Uçucu Külü ve II Katkısı)
- Tablo A.11. Beton Deney Serileri (BNOI, N Çimentosu, O Uçucu Külü ve I Katkısı)
- Tablo A.12. Beton Deney Serileri (BNTİ, N Çimentosu, T U.Külü. Kül ve I Katkısı)
- Tablo A.13. Beton Deney Serileri (BNMI, N Çimentosu, Silis Dumanı ve I Katkısı)

Ek [B]

- Tablo B.1. Orhaneli Uçucu Külünün Dane Dağılımı
- Tablo B.2. Tunçbilek Uçucu Külünün Dane Dağılımı
- Tablo B.3. Silis Dumanının Dane Dağılımı

Ek [C]

- Tablo C.1.Çimento Pastası CM4 Deneyinin Viskozimetre Okumaları
- Tablo C.2.Çimento Pastası (CM4) Deneyinin Devir Hızı Kayma Gerilmesi Grafikleri

Ek [D]

- Tablo D.1. Çimento Pastası (N Çimentosu, O U.Külü ve I Katkısı) Deney Sonuçları
- Tablo D.2. Çimento Pastası (N Çimentosu, T U.Külü ve I Katkısı) Deney Sonuçları
- Tablo D.3. Çimento Pastası (N Çim., S. Dumanı ve I Katkısı) Deney Sonuçları
- Tablo D.4. Harç (N Çimentosu, O Uçucu Külü ve I Katkısı) Deney Sonuçları
- Tablo D.5. Harç (N Çimentosu, T Uçucu Külü ve I Katkısı) Deney Sonuçları
- Tablo D.6. Harç (N Çimentosu, Silis Dumanı ve I Katkısı) Deney Sonuçları
- Tablo D.7. Harç (A Çimentosu, O Uçucu Külü ve I Katkısı) Deney Sonuçları
- Tablo D.8. Harç (A Çimentosu, T Uçucu Külü ve I Katkısı) Deney Sonuçları
- Tablo D.9. Harç (A Çimentosu, Silis Dumanı ve I Katkısı) Deney Sonuçları
- Tablo D.10. Harç (N Çimentosu, O Uçucu Külü ve II Katkısı) Deney Sonuçları
- Tablo D.11. Beton (N Çimentosu, O Uçucu Külü ve I Katkısı) Deney Sonuçları
- Tablo D.12. Beton (N Çimentosu, T U.Külü. Kül ve I Katkısı) Deney Sonuçları
- Tablo D.13. Beton (N Çimentosu, Silis Dumanı ve I Katkısı) Deney Sonuçları

Ek [E]

Tablo E.1. Çimento Hamuru Deneylerinde Dönüş Eğrisi Kullanılarak Yapılan İstatistik Programı Değerlendirme Sonuçları

Tablo E.2. Çimento Hamuru Deneylerinde Gidiş Eğrisi Kullanılarak Yapılan İstatistik Programı Değerlendirme Sonuçları

Tablo E.3. Harç Deneylerinde Dönüş Eğrisi Kullanılarak Yapılan İstatistik Programı Değerlendirme Sonuçları

Tablo E.4. Harç Deneylerinde Gidiş Eğrisi Kullanılarak Yapılan İstatistik Programı Değerlendirme Sonuçları

Tablo E.5. Beton Deneylerinde Dönüş Eğrisi Kullanılarak Yapılan İstatistik Programı Değerlendirme Sonuçları

Ek [F]

Tablo F.1. CNOI için İstatistikler

Tablo F.2. CNTI için İstatistikler

Tablo F.3. CNMI için İstatistikler

Tablo F.4. HNOI için İstatistikler

Tablo F.5. HNTI için İstatistikler

Tablo F.6. HAOI için İstatistikler

Tablo F.7. HATI için İstatistikler

Tablo F.8. BNOI için İstatistikler

Tablo F.9. BNMI için İstatistikler

Ek [G]

Tablo G.1. Çim. Pastası (N Çimentosu, O U. Külü ve I Katkısı) İçin İstatistik Programı Analiz Sonuçları

Tablo G.2. Çim. Pastası (N Çimentosu, T U. Külü ve I Katkısı) İçin İstatistik Programı Analiz Sonuçları

Tablo G.3. Çim. Pastası (N Çimentosu, Silis Dumanı ve I Katkısı) İçin İstatistik Programı Analiz Sonuçları

Tablo G.4. Harç (N Çimentosu, O U. Külü ve I Katkısı) İçin İstatistik Programı Analiz Sonuçları

Tablo G.5. Harç (N Çimentosu, T U. Külü ve I Katkısı) İçin İstatistik Programı Analiz Sonuçları

Tablo G.6. Harç (N Çimentosu, Silis Dumanı ve I Katkısı) İçin İstatistik Programı Analiz Sonuçları

Tablo G.7. Harç (A Çimentosu, O U. Külü ve I Katkısı) İçin İstatistik Programı Analiz Sonuçları

Tablo G.8. Harç (A Çimentosu, T U. Külü ve I Katkısı) İçin İstatistik Programı Analiz Sonuçları

Tablo G.9. Harç (A Çimentosu, Silis Dumanı ve I Katkısı) İçin İstatistik Programı Analiz Sonuçları

Tablo G.10. Harç (N Çimentosu, O U. Külü ve II Katkısı) İçin İstatistik Programı Analiz Sonuçları

Tablo G.11. Beton (N Çimentosu, O U. Külü ve I Katkısı) İçin İstatistik Programı Analiz Sonuçları

Tablo G.12. Beton (N Çimentosu, T U. Külü. Kül ve I Katkısı) İçin İstatistik Programı Analiz Sonuçları

Tablo G.13. Beton (N Çimentosu, Silis Dumanı ve I Katkısı) İçin İstatistik Programı Analiz Sonuçları

- Tablo G.14. Çim. Pastası (N Çimentosu, O U. Külü ve I Katkısı) M Gidiş, T Gidiş İçin İstatistik Programı Analiz Sonuçları
- Tablo G.15. Çim. Pastası (N Çimentosu, T U. Külü ve I Katkısı) M Gidiş, T Gidiş İçin İstatistik Programı Analiz Sonuçları
- Tablo G.16. Çim. Pastası (N Çimentosu, Silis Dumanı ve I Katkısı) M Gidiş, T Gidiş İçin İstatistik Programı Analiz Sonuçları
- Tablo G.17. Harç (N Çimentosu, O U. Külü ve I Katkısı) M Gidiş, T Gidiş İçin İstatistik Programı Analiz Sonuçları
- Tablo G.18. Harç (N Çimentosu, T U. Külü ve I Katkısı) M Gidiş, T Gidiş İçin İstatistik Programı Analiz Sonuçları
- Tablo G.19. Harç (N Çimentosu, Silis Dumanı ve I Katkısı) M Gidiş, T Gidiş İçin İstatistik Programı Analiz Sonuçları
- Tablo G.20. Harç (A Çimentosu, O U. Külü ve I Katkısı) M Gidiş, T Gidiş İçin İstatistik Programı Analiz Sonuçları
- Tablo G.21. Harç (A Çimentosu, T U. Külü ve I Katkısı) M Gidiş, T Gidiş İçin İstatistik Programı Analiz Sonuçları
- Tablo G.22. Harç (A Çimentosu, Silis Dumanı ve I Katkısı) M Gidiş, T Gidiş İçin İstatistik Programı Analiz Sonuçları
- Tablo G.23. Harç (N Çimentosu, O U. Külü ve II Katkısı) M Gidiş, T Gidiş İçin İstatistik Programı Analiz Sonuçları



Tablo A.1. Çimento Pastası Deney Serileri (CNOI, N Çimentosu, O U. Külü ve I Katkısı)

Sınırlar

	ALT UÇ	ALT	ORTA	ÜST	ÜST UÇ
MA / B	0	27.29	36.4	45.51	54.55
SP / B	0.7	0.8	0.9	1	1.1
W / B	0.24	0.25	0.26	0.27	0.3

Deney Serileri

ALT ÜST İKİLİ	CNOI 1	CNOI 02	CNOI 03	CNOI 04	CNOI 05	CNOI 06	CNOI 07	CNOI 08
MA / B	27.29	27.29	27.29	27.29	45.51	45.51	45.51	45.51
SP / B	0.8	0.8	1	1	0.8	0.8	1	1
W / B	0.25	0.27	0.25	0.27	0.25	0.27	0.25	0.27
2 ORTA+ 1 UÇ	CNOI 09	CNOI 10	CNOI 11	CNOI 12	CNOI 13	CNOI 14		
MA/ B	36.40	36.40	36.40	36.40	0.00	54.55		
SP/ B	0.90	0.90	0.70	1.10	0.90	0.90		
W / B	0.24	0.3	0.26	0.26	0.26	0.26		
ORTA 3 TEKRAR	CNOI 15	CNOI 16	CNOI 17					
MA / B	36.4	36.4	36.4					
SP / B	0.9	0.9	0.9					
W / B	0.26	0.26	0.26					

Tablo A.2. Çim. Pastası Deney Serileri (CNTİ, N Çimentosu, T U. Külü ve I Katkısı)

Sınırlar

	ALT UÇ	ALT	ORTA	ÜST	ÜST UÇ
MA / B	0	27.29	36.4	45.51	54.55
SP / B	0.7	0.8	0.9	1	1.1
W / B	0.22	0.25	0.26	0.27	0.3

Deney Serileri

ALT ÜST İKİLİ	CNTİ 1	CNTİ 2	CNTİ 3	CNTİ 4	CNTİ 5	CNTİ 6	CNTİ 7	CNTİ 8
MA/ B	0	0	0	0	36.4	36.4	36.4	36.4
SP / B	0.7	0.7	0.9	0.9	0.7	0.7	0.9	0.9
W / B	0.22	0.26	0.22	0.26	0.22	0.26	0.22	0.26
2 ORTA+ 1 UÇ	CNTİ 9	CNTİ 10	CNTİ 11	CNTİ 12	CNTİ 13	CNTİ 14		
MA/ B	27.29	27.29	27.29	27.29	0.00	45.51		
SP / B	0.80	0.80	0.00	1.00	0.80	0.80		
W / B	0	0.27	0.25	0.25	0.25	0.25		
ORTA 3 TEKRAR	CNTİ 15	CNTİ 16	CNTİ 17					
MA/ B	27.29	27.29	27.29					
SP / B	0.8	0.8	0.8					
W / B	0.25	0.25	0.25					

Tablo A.3. Çim. Pastası Deney Serileri (CNMI, N Çimentosu, Silis Dumanı ve I Katkısı)

Sınırlar

	ALT UÇ	ALT	ORTA	ÜST	ÜST UÇ
MA / B	0	4.55	6.82	9.09	11.36
SP / B	0.7	0.8	0.9	1	1.1
W / B	0.22	0.25	0.26	0.27	0.3

Deney Serileri

ALT ÜST İKİLİ	CNMI 1	CNMI 2	CNMI 3	CNMI 4	CNMI 5	CNMI 6	CNMI 7	CNMI 8
MA / B	0	0	0	0	6.82	6.82	6.82	6.82
SP / B	0.7	0.7	0.9	0.9	0.7	0.7	0.9	0.9
W / B	0.22	0.26	0.22	0.26	0.22	0.26	0.22	0.26
2 ORTA+ 1 UÇ	CNMI 9	CNMI 10	CNMI 11	CNMI 12	CNMI 13	CNMI 14		
MA / B	4.55	4.55	4.55	4.55	0.00	9.09		
SP / B	0.80	0.80	0.00	1.00	0.80	0.80		
W / B	0	0.27	0.25	0.25	0.25	0.25		
ORTA 3 TEKRAR	CNMI 15	CNMI 16	CNMI 17					
MA / B	4.55	4.55	4.55					
SP / B	0.8	0.8	0.8					
W / B	0.25	0.25	0.25					

Tablo A.4. Harç Deney Serileri (HNOI, N Çimentosu, O U. Külü ve I Katkısı)

Sınırlar

	ALT UÇ	ALT	ORTA	ÜST	ÜST UÇ
MA / B	0	27.29	36.4	45.51	54.55
S / B	1.53	1.23	1.13	0.93	0.63
W / B	0.22	0.25	0.26	0.27	0.3

Deney Serileri

ALT ÜST İKİLİ	HNOI 1	HNOI 2	HNOI 3	HNOI 4	HNOI 5	HNOI 6	HNOI 7	HNOI 8
MA / B	27.29	27.29	27.29	27.29	45.51	45.51	45.51	45.51
S / B	1.23	1.23	0.93	0.93	1.23	1.23	0.93	0.93
W / B	0.25	0.27	0.25	0.27	0.25	0.27	0.25	0.27
2 ORTA+ 1 UÇ	HNOI 9	HNOI 10	HNOI 11	HNOI 12	HNOI 13	HNOI 14		
MA / B	36.40	36.40	36.40	36.40	0.00	54.55		
S / B	1.13	1.13	1.53	0.63	1.13	1.13		
W / B	0.22	0.3	0.26	0.26	0.26	0.26		
ORTA 3 TEKRAR	HNOI 15	HNOI 16	HNOI 17					
MA / B	36.4	36.4	36.4					
S / B	1.13	1.13	1.13					
W / B	0.26	0.26	0.26					

Tablo A.5. Harç Deney Serileri (HNTI, N Çimentosu, T U. Külü ve I Katkısı)

Sınırlar

	ALT UÇ	ALT	ORTA	ÜST	ÜST UÇ
MA / B	0	27.29	36.4	45.51	54.55
S / B	1.53	1.23	1.13	0.93	0.63
W / B	0.28	0.31	0.32	0.33	0.36

Deney Serileri

ALT ÜST İKİLİ	HNTI 1	HNTI 2	HNTI 3	HNTI 4	HNTI 5	HNTI 6	HNTI 7	HNTI 8
MA / B	27.29	27.29	27.29	27.29	45.51	45.51	45.51	45.51
S / B	1.23	1.23	0.93	0.93	1.23	1.23	0.93	0.93
W / B	0.31	0.33	0.31	0.33	0.31	0.33	0.31	0.33
2 ORTA+ 1 UÇ	HNTI 9	HNTI 10	HNTI 11	HNTI 12	HNTI 13	HNTI 14		
MA / B	36.40	36.40	36.40	36.40	0.00	54.55		
S / B	1.13	1.13	1.53	0.63	1.13	1.13		
W / B	0.28	0.36	0.32	0.32	0.32	0.32		
ORTA 3 TEKRAR	HNTI 15	HNTI 16	HNTI 17					
MA / B	36.4	36.4	36.4					
S / B	1.13	1.13	1.13					
W / B	0.32	0.32	0.32					

Tablo A.6. Harç Deney Serileri (HNMI, N Çimentosu, Silis Dumanı ve I Katkısı)

Sınırlar

	ALT UÇ	ALT	ORTA	ÜST	ÜST UÇ
MA / B	0	4.55	6.82	9.09	11.36
S / B	1.53	1.23	1.13	0.93	0.63
W / B	0.28	0.31	0.32	0.33	0.36

Deney Serileri

ALT ÜST İKİLİ	HNMI 1	HNMI 2	HNMI 3	HNMI 4	HNMI 5	HNMI 6	HNMI 7	HNMI 8
MA / B	4.55	4.55	4.55	4.55	9.09	9.09	9.09	9.09
S / B	1.23	1.23	0.93	0.93	1.23	1.23	0.93	0.93
W / B	0.31	0.33	0.31	0.33	0.31	0.33	0.31	0.33
2 ORTA+ 1 UÇ	HNMI 9	HNMI 10	HNMI 11	HNMI 12	HNMI 13	HNMI 14		
MA / B	6.82	6.82	6.82	6.82	0.00	11.36		
S / B	1.13	1.13	1.53	0.63	1.13	1.13		
W / B	0.28	0.36	0.32	0.32	0.32	0.32		
ORTA 3 TEKRAR	HNMI 15	HNMI 16	HNMI 17					
MA / B	6.82	6.82	6.82					
S / B	1.13	1.13	1.13					
W / B	0.32	0.32	0.32					

Tablo A.7. Harç Deney Serileri (HAOI, A Çimentosu, O U. Külü ve I Katkısı)

Sınırlar

	ALT UÇ	ALT	ORTA	ÜST	ÜST UÇ
MA / B	0	27.29	36.4	45.51	54.55
S / B	1.53	1.23	1.13	0.93	0.63
W / B	0.22	0.25	0.26	0.27	0.3

Deney Serileri

ALT ÜST İKİLİ	HAOI 1	HAOI 2	HAOI 3	HAOI 4	HAOI 5	HAOI 6	HAOI 7	HAOI 8
MA / B	27.29	27.29	27.29	27.29	45.51	45.51	45.51	45.51
S / B	1.23	1.23	0.93	0.93	1.23	1.23	0.93	0.93
W / B	0.25	0.27	0.25	0.27	0.25	0.27	0.25	0.27
2 ORTA+ 1 UÇ	HAOI 9	HAOI 10	HAOI 11	HAOI 12	HAOI 13	HAOI 14		
MA / B	36.40	36.40	36.40	36.40	0.00	54.55		
S / B	1.13	1.13	1.53	0.63	1.13	1.13		
W / B	0.22	0.3	0.26	0.26	0.26	0.26		
ORTA 3 TEKRAR	HAOI 15	HAOI 16	HAOI 17					
MA / B	36.4	36.4	36.4					
S / B	1.13	1.13	1.13					
W / B	0.26	0.26	0.26					

Tablo A.8. Harç Deney Serileri (HATI, A Çimentosu, T U. Külü ve I Katkısı)

Sınırlar

	ALT UÇ	ALT	ORTA	ÜST	ÜST UÇ
MA / B	0	27.29	36.4	45.51	54.55
S / B	1.53	1.23	1.13	0.93	0.63
W / B	0.26	0.29	0.3	0.31	0.34

Deney Serileri

ALT ÜST İKİLİ	HATI 1	HATI 2	HATI 3	HATI 4	HATI 5	HATI 6	HATI 7	HATI 8
MA / B	27.29	27.29	27.29	27.29	45.51	45.51	45.51	45.51
S / B	1.23	1.23	0.93	0.93	1.23	1.23	0.93	0.93
W / B	0.29	0.31	0.29	0.31	0.29	0.31	0.29	0.31
2 ORTA+ 1 UÇ	HATI 9	HATI 10	HATI 11	HATI 12	HATI 13	HATI 14		
MA / B	36.40	36.40	36.40	36.40	0.00	54.55		
S / B	1.13	1.13	1.53	0.63	1.13	1.13		
W / B	0.26	0.34	0.3	0.3	0.3	0.3		
ORTA 3 TEKRAR	HATI 15	HATI 16	HATI 17					
MA / B	36.4	36.4	36.4					
S / B	1.13	1.13	1.13					
W / B	0.3	0.3	0.3					

Tablo A.9. Harç Deney Serileri (HAMI, A Çimentosu, Silis Dumanı ve I Katkısı)

Sınırlar

	ALT UÇ	ALT	ORTA	ÜST	ÜST UÇ
MA / B	0	4.55	6.82	9.09	11.36
S / B	1.53	1.23	1.13	0.93	0.63
W / B	0.28	0.31	0.32	0.33	0.36

Deney Serileri

ALT ÜST İKİLİ	HAMI 1	HAMI 2	HAMI 3	HAMI 4	HAMI 5	HAMI 6	HAMI 7	HAMI 8
MA / B	4.55	4.55	4.55	4.55	9.09	9.09	9.09	9.09
S / B	1.23	1.23	0.93	0.93	1.23	1.23	0.93	0.93
W / B	0.31	0.33	0.31	0.33	0.31	0.33	0.31	0.33
2 ORTA+ 1 UÇ	HAMI 9	HAMI 10	HAMI 11	HAMI 12	HAMI 13	HAMI 14		
MA / B	6.82	6.82	6.82	6.82	0.00	11.36		
S / B	1.13	1.13	1.53	0.63	1.13	1.13		
W / B	0.28	0.36	0.32	0.32	0.32	0.32		
ORTA 3 TEKRAR	HAMI 15	HAMI 16	HAMI 17					
MA / B	6.82	6.82	6.82					
S / B	1.13	1.13	1.13					
W / B	0.32	0.32	0.32					

Tablo A.10 Harç Deney Serileri (HNOII, N Çimentosu, O U. Külü ve II Katkısı)

Sınırlar

	ALT UÇ	ALT	ORTA	ÜST	ÜST UÇ
MA / B	0	27.29	36.4	45.51	54.55
S / B	1.53	1.23	1.13	0.93	0.63
W / B	0.23	0.26	0.27	0.28	0.31

Deney Serileri

ALT ÜST İKİLİ	HNOİİ 1	HNOİİ 2	HNOİİ 3	HNOİİ 4	HNOİİ 05	HNOİİ 6	HNOİİ 7	HNOİİ 8
MA / B	27.29	27.29	27.29	27.29	45.51	45.51	45.51	45.51
S / B	1.23	1.23	0.93	0.93	1.23	1.23	0.93	0.93
W / B	0.26	0.28	0.26	0.28	0.26	0.28	0.26	0.28
2 ORTA+ 1 UÇ	HNOİİ 9	HNOİİ 10	HNOİİ 11	HNOİİ 12	HNOİİ 13	HNOİİ 14		
MA / B	36.40	36.40	36.40	36.40	0.00	54.55		
S / B	1.13	1.13	1.53	0.63	1.13	1.13		
W / B	0.23	0.31	0.27	0.27	0.27	0.27		
ORTA 3 TEKRAR	HNOİİ 15	HNOİİ 16	HNOİİ 17					
MA / B	36.4	36.4	36.4					
S / B	1.13	1.13	1.13					
W / B	0.27	0.27	0.27					

Tablo A.11. Beton Deney Serileri (BNOI, N Çimentosu, O U. Külü ve I Katkısı)

Sınırlar

	ALT UÇ	ALT	ORTA	ÜST	ÜST UÇ
W / B	0.23	0.245	0.26	0.275	0.3
SP / B	0.7	0.8	0.9	1	1.1
S / B	1.32	1.61	1.86	2.11	2.4

Deney Serileri

ALT ÜST İKİLİ	BNOI 1	BNOI 2	BNOI 3	BNOI 4	BNOI 5	BNOI 6	BNOI 7	BNOI 8
W / B	0.245	0.245	0.245	0.245	0.275	0.275	0.275	0.275
SP / B	0.8	0.8	1	1	0.8	0.8	1	1
S / B	1.61	2.11	1.61	2.11	1.61	2.11	1.61	2.11
2 ORTA+ 1 UÇ	BNOI 9	BNOI 10	BNOI 11	BNOI 12	BNOI 13	BNOI 14		
W / B	0.26	0.26	0.26	0.26	0.23	0.30		
SP / B	0.90	0.90	0.70	1.10	0.90	0.90		
S / B	1.32	2.4	1.86	1.86	1.86	1.86		
ORTA 3 TEKRAR	BNOI 15	BNOI 16	BNOI 17					
W / B	0.26	0.26	0.26					
SP / B	0.9	0.9	0.9					
S / B	1.86	1.86	1.86					

Tablo A.12. Beton Deney Serileri (BNTI, N Çimentosu, T U. Külü. Kül ve I Katkısı)

Sınırlar

	ALT UÇ	ALT	ORTA	ÜST	ÜST UÇ
W / B	0.29	0.305	0.32	0.335	0.35
SP / B	0.7	0.8	0.9	1	1.1
S / B	1.32	1.61	1.86	2.11	2.4

Deney Serileri

ALT ÜST İKİLİ	BNTI 1	BNTI 2	BNTI 3	BNTI 4	BNTI 5	BNTI 6	BNTI 7	BNTI 8
W / B	0.305	0.305	0.305	0.305	0.335	0.335	0.335	0.335
SP / B	0.8	0.8	1	1	0.8	0.8	1	1
S / B	1.61	2.11	1.61	2.11	1.61	2.11	1.61	2.11
2 ORTA+ 1 UÇ	BNTI 9	BNTI 10	BNTI 11	BNTI 12	BNTI 13	BNTI 14		
W / B	0.32	0.32	0.32	0.32	0.29	0.35		
SP / B	0.90	0.90	0.70	1.10	0.90	0.90		
S / B	1.32	2.4	1.86	1.86	1.86	1.86		
ORTA 3 TEKRAR	BNTI 15	BNTI 16	BNTI 17					
W / B	0.32	0.32	0.32					
SP / B	0.9	0.9	0.9					
S / B	1.86	1.86	1.86					

Tablo A.13. Beton Deney Serileri (BNMI, N Çimentosu, Silis Dumanı ve I Katkısı)

Sınırlar

	ALT UÇ	ALT	ORTA	ÜST	ÜST UÇ
W / B	0.29	0.305	0.32	0.335	0.35
SP / B	0.9	1	1.1	1.2	1.3
S / B	1.32	1.61	1.86	2.11	2.4

Deney Serileri

ALT ÜST İKİLİ	BNMI 1	BNMI 2	BNMI 3	BNMI 4	BNMI 5	BNMI 6	BNMI 7	BNMI 8		
W / B	0.305	0.305	0.305	0.305	0.335	0.335	0.335	0.335		
SP / B	1	1	1.2	1.2	1	1	1.2	1.2		
S / B	1.61	2.11	1.61	2.11	1.61	2.11	1.61	2.11		
2 ORTA+ 1 UÇ	BNMI 9	BNMI 10	BNMI 11	BNMI 12	BNMI 13	BNMI 14				
W / B	0.32	0.32	0.32	0.32	0.29	0.35				
SP / B	1.10	1.10	0.90	1.30	1.10	1.10				
S / B	1.32	2.4	1.86	1.86	1.86	1.86				
ORTA 3 TEKRAR	BNMI 15	BNMI 16	BNMI 17							
W / B	0.32	0.32	0.32							
SP / B	1.1	1.1	1.1							
S / B	1.86	1.86	1.86							

Tablo B.1.Orhaneli Uçucu Külünün Dane Dağılımı



MASTERSIZER

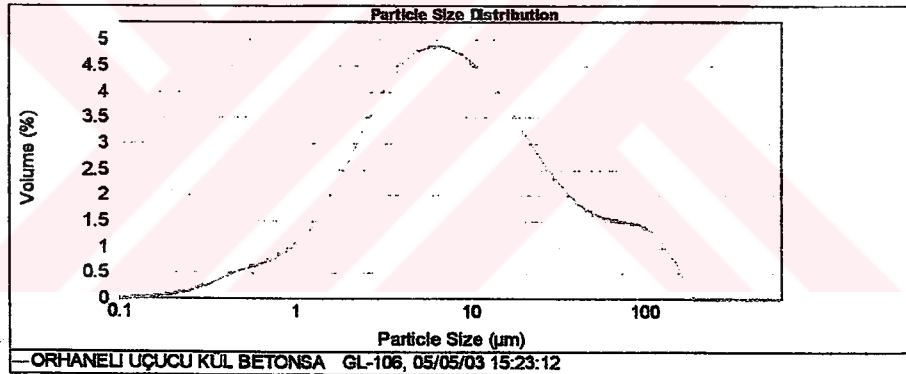


Result Analysis Report

Sample Name: ORHANELİ UÇUCU KÜL SOP Name: PÇ42.5 Measured: 05/05/03 15:23:12
Sample Source & type: Tarih: = 02052003 Measured by: MUSTAFADER Analysed: 05/05/03 15:23:13
Sample bulk lot ref: CAC03=24,50 Result Source: Measurement

Particle Name: PÇ Accessory Name: Scirocco 2000 (A) Obscuration: 2.69 %
Particle RI: 1.680 Absorption: 0.1 Analysis model: General purpose (fine)
Dispersant Name: Size range: 0.020 to 2000.000 um Weighted Residual: 0.393 %
Dispersant RI: 1.000 Result Emulation: Off

Concentration: 0.0003 %Vol Vol. Weighted Mean D[4,3]: 18.715 um Specific Surface Area: 0.539 m²/g
Span: 6.363 Uniformity: 1.92 Surface Weighted Mean D[3,2]: 3.546 um
Result units: Volume
d(0.1): 1.257 um d(0.5): 7.931 um d(0.9): 31.495 um



Size (um)	Vol Over %	Size (um)	Vol Over %	Size (um)	Vol Over %	Size (um)	Vol Over %	Size (um)	Vol Over %	Size (um)	Vol Over %
0.020	100.00	0.142	99.99	1.002	94.76	7.069	53.11	50.233	10.27	355.659	0.00
0.022	100.00	0.159	99.99	1.125	93.93	7.862	49.48	56.388	9.04	399.052	0.00
0.025	100.00	0.178	99.95	1.262	92.97	8.694	45.90	63.246	7.87	447.744	0.00
0.028	100.00	0.200	99.90	1.418	91.85	10.024	42.41	70.983	6.73	502.377	0.00
0.032	100.00	0.224	99.82	1.599	90.54	11.247	39.01	79.621	5.61	563.677	0.00
0.036	100.00	0.252	99.72	1.783	89.00	12.619	35.75	90.000	4.44	632.466	0.00
0.040	100.00	0.283	99.59	2.000	87.21	14.169	32.63	100.237	3.44	708.627	0.00
0.045	100.00	0.317	99.41	2.244	83.18	16.687	28.69	112.469	2.43	799.214	0.00
0.050	100.00	0.359	99.18	2.518	82.84	17.825	26.93	126.191	1.53	893.367	0.00
0.056	100.00	0.399	98.89	2.825	80.25	20.000	24.37	141.699	0.79	1002.574	0.00
0.063	100.00	0.448	98.55	3.170	77.40	22.440	22.01	158.868	0.25	1124.693	0.00
0.071	100.00	0.502	98.15	3.557	74.32	25.179	19.86	178.250	0.00	1261.915	0.00
0.080	100.00	0.564	97.71	3.991	71.04	28.251	17.88	200.000	0.00	1415.662	0.00
0.088	100.00	0.632	97.22	4.477	67.81	31.695	16.06	224.404	0.00	1598.655	0.00
0.100	100.00	0.710	96.69	5.024	64.09	35.695	14.45	251.785	0.00	1792.602	0.00
0.112	100.00	0.798	96.11	5.637	60.43	39.805	12.94	282.505	0.00	2000.000	0.00
0.125	100.00	0.899	95.47	6.325	56.77	45.000	11.60	316.976	0.00		

Operator notes:

shern Instruments Ltd.
shern, UK
t: +[44] (0) 1684-892458 Fax: +[44] (0) 1684-892789

Mastersizer 2000 Ver. 3.01 C:\Program Files\Malvern Instruments\Mastersizer 2000\Measurement Da...IMAYIS2003.r
Serial Number : 34403-55
08 May 2003 09:13

Tablo B.2. Tunçbilek Uçucu Külünün Dane Dağılımı

MASTERSIZER

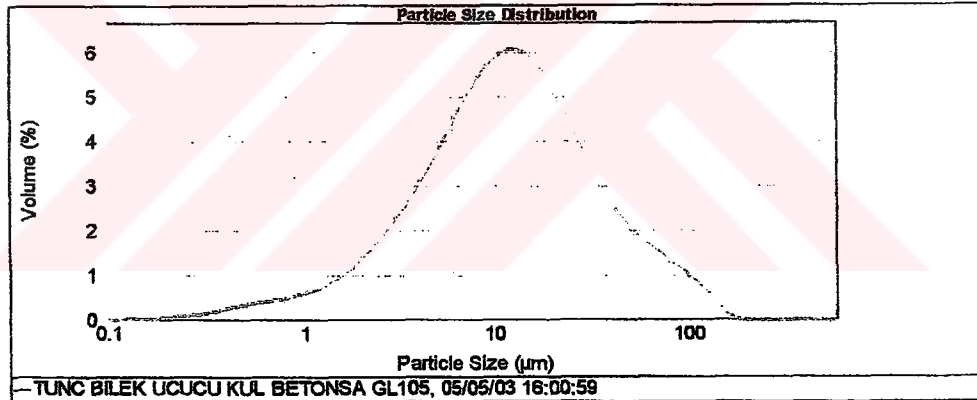


Result Analysis Report

Sample Name: TUNÇ BİLEK UÇUCU KÜL SOP Name: PÇ42.5 Measured: 05/05/03 16:00:59
 Sample Source & type: Tarih: = 02052003 Measured by: MUSTAFADER Analysed: 05/05/03 16:01:00
 Sample bulk lot ref: CaCO3:7,25 Result Source: Measurement

Particle Name: PÇ Accessory Name: Scirocco 2000 (A) Obscuration: 4.07 %
 Particle RI: 1.690 Absorption: 0.1 Analysis model: General purpose (fine)
 Dispersant Name: Size range: 0.020 to 2000.000 um Weighted Residual: 0.218 %
 Dispersant RI: 1.000 Result Emulation: Off

Concentration: 0.0006 %Vol Vol. Weighted Mean D[4,3]: 19.693 um Specific Surface Area: 0.363 m²/g
 Span: 3.687 Uniformity: 1.17 Surface Weighted Mean D[3,2]: 5.258 um
 Result units: Volume
 d(0.1): 2.557 um d(0.5): 11.929 um d(0.9): 46.277 um



Size (um)	Vol Over %	Size (um)	Vol Over %	Size (um)	Vol Over %	Size (um)	Vol Over %	Size (um)	Vol Over %	Size (um)	Vol Over %
0.020	100.00	0.142	100.00	1.002	97.03	7.066	98.73	50.238	8.94	355.656	0.00
0.025	100.00	0.159	99.99	1.125	96.67	7.932	98.68	55.398	7.39	389.052	0.00
0.028	100.00	0.178	99.97	1.252	96.05	8.894	98.77	60.249	6.03	447.744	0.00
0.032	100.00	0.200	99.94	1.418	95.49	10.024	98.49	70.963	4.83	502.377	0.00
0.036	100.00	0.224	99.90	1.589	94.77	11.247	97.99	79.621	3.75	563.677	0.00
0.040	100.00	0.252	99.85	1.783	93.96	12.619	97.44	90.000	2.73	632.456	0.00
0.045	100.00	0.283	99.77	2.000	93.03	14.159	92.90	100.237	1.65	709.627	0.00
0.050	100.00	0.317	99.68	2.244	91.85	15.897	93.43	112.498	1.23	799.214	0.00
0.056	100.00	0.359	99.59	2.518	90.69	17.823	94.13	128.191	0.89	893.367	0.00
0.063	100.00	0.399	99.40	2.825	89.25	20.000	93.08	141.599	0.28	1002.374	0.00
0.071	100.00	0.448	99.21	3.170	87.60	22.440	92.28	159.669	0.09	1124.683	0.00
0.080	100.00	0.502	98.98	3.657	85.73	25.179	92.82	178.250	0.00	1281.915	0.00
0.089	100.00	0.564	98.73	3.891	83.80	28.251	93.71	200.000	0.00	1415.692	0.00
0.100	100.00	0.632	98.45	4.477	81.21	31.886	93.95	224.404	0.00	1589.659	0.00
0.112	100.00	0.710	98.14	5.024	78.54	35.698	94.51	251.785	0.00	1782.502	0.00
0.125	100.00	0.798	97.81	5.637	75.57	39.905	92.37	282.508	0.00	2000.000	0.00
		0.883	97.44	6.325	72.30	45.000	90.42	318.679	0.00		

Operator notes:

Mahvern Instruments Ltd.
 Mahvern, UK
 Tel: +44 (0) 1884-892458 Fax: +44 (0) 1884-892779

Mastersizer 2000 Ver. 3.01 C:\Program Files\Mahvern Instruments\Mastersizer 2000\Measurement Data\WAYS
 Serial Number: 34403-53 09 May 200

Tablo B.3. Mikrosilikanın Dane Dağılımı

MASTERSIZER

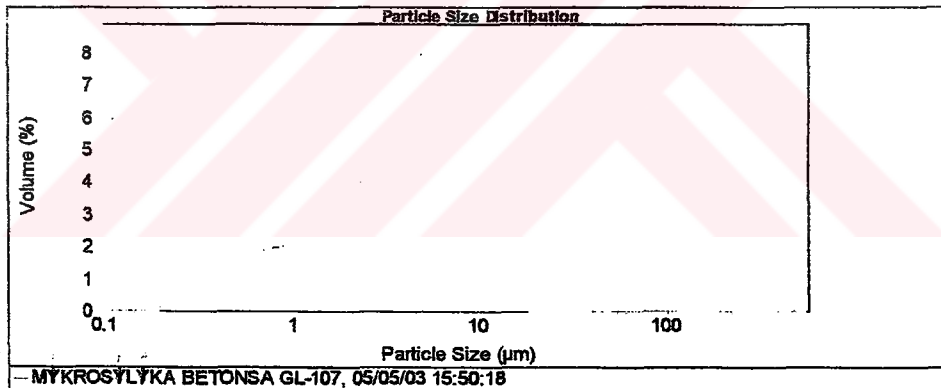


Result Analysis Report

Sample Name: MIKROSİLİKA BETONSA GL-107 SOP Name: PÇ42.5 Measured: 05/05/03 15:50:18
 Sample Source & type: Tarih: = 02052003 Measured by: MUSTAFADER Analysed: 05/05/03 15:50:19
 Sample bulk lot ref: CAC03=2.00 Result Source: Measurement

Particle Name: PÇ Accessory Name: Scirocco 2000 (A) Obscuration: 3.55 %
 Particle Rt: 1.680 Absorption: 0.1 Analysis model: General purpose (fine)
 Dispersant Name: Size range: 0.020 to 2000.000 um Weighted Residual: 0.538 %
 Dispersant Rt: 1.000 Result Emulation: Off

Concentration: 0.0002 %Vol Vol. Weighted Mean D[4,3]: 5.032 um Specific Surface Area: 0.914 m²/g
 Span: 2.093 Uniformity: 0.64 Surface Weighted Mean D[3,2]: 2.090 um
 Result units: Volume



Size (um)	Vol Over %	Size (um)	Vol Over %	Size (um)	Vol Over %	Size (um)	Vol Over %	Size (um)	Vol Over %	Size (um)	Vol Over %
0.020	100.00	0.142	100.00	1.002	87.47	7.038	25.68	50.238	0.00	355.659	0.00
0.022	100.00	0.159	100.00	1.125	85.93	7.992	19.99	55.308	0.00	389.052	0.00
0.025	100.00	0.178	100.00	1.252	84.32	8.934	14.80	63.248	0.00	447.744	0.00
0.028	100.00	0.200	100.00	1.418	82.62	10.024	10.29	70.993	0.00	502.377	0.00
0.032	100.00	0.224	99.90	1.589	80.80	11.247	8.58	79.621	0.00	563.677	0.00
0.036	100.00	0.252	99.88	1.783	78.81	12.619	3.67	90.000	0.00	632.458	0.00
0.040	100.00	0.283	99.37	2.000	76.69	14.159	1.59	100.237	0.00	709.627	0.00
0.045	100.00	0.317	98.94	2.244	74.07	15.887	0.38	112.488	0.00	795.214	0.00
0.050	100.00	0.358	98.39	2.518	71.18	17.825	0.01	128.191	0.00	893.397	0.00
0.056	100.00	0.399	97.62	2.825	67.86	20.000	0.00	141.589	0.00	1002.374	0.00
0.063	100.00	0.448	96.71	3.170	64.05	22.440	0.00	160.888	0.00	1124.683	0.00
0.071	100.00	0.502	95.65	3.557	59.73	25.176	0.00	178.250	0.00	1261.915	0.00
0.080	100.00	0.564	94.47	3.991	54.88	28.251	0.00	200.000	0.00	1416.882	0.00
0.088	100.00	0.632	93.20	4.477	49.54	31.688	0.00	221.404	0.00	1586.659	0.00
0.100	100.00	0.710	91.84	5.024	43.81	35.968	0.00	251.785	0.00	1782.502	0.00
0.112	100.00	0.798	90.43	5.637	37.80	39.905	0.00	282.506	0.00	2000.000	0.00
0.125	100.00	0.893	88.97	6.325	31.68	45.000	0.00	318.879	0.00		

Operator notes:

Melvern Instruments Ltd.
 10m, UK
 01461 876 1004/502456 E-mail: 1461 876 1004

Mastersizer 2000 Ver. 3.01 C:\Program Files\Melvern Instruments\Mastersizer 2000\Measurement Da. 1MAY152003.mes
 Serial Number: 34403-55 09 May 2003 09:18:42

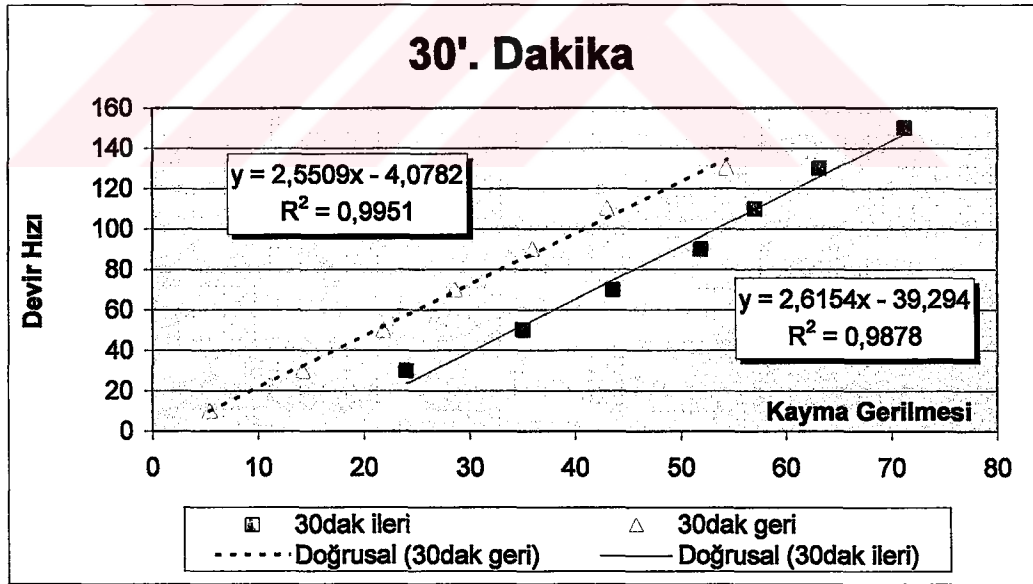
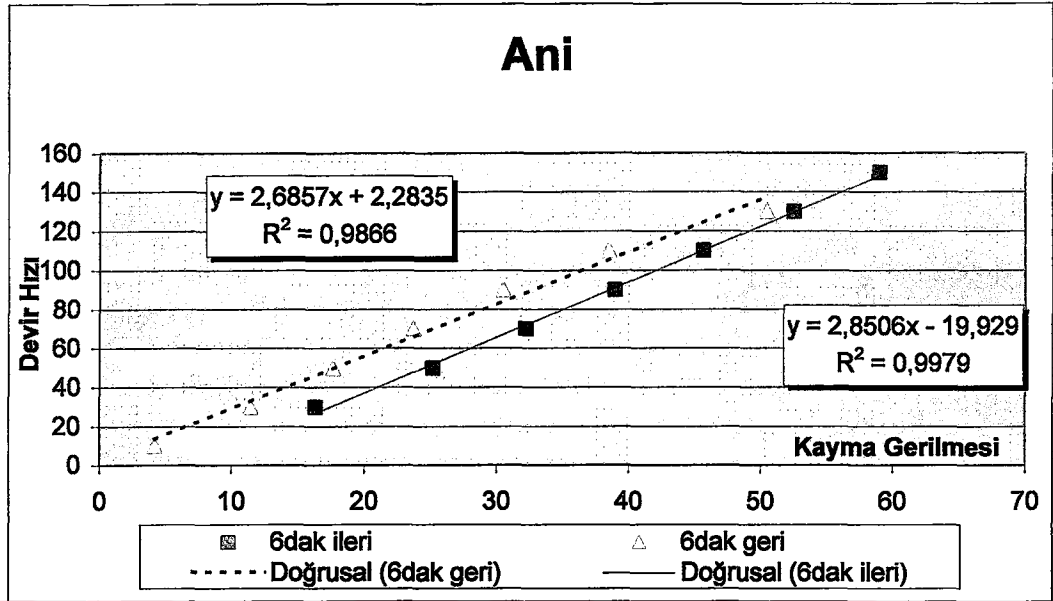
Tablo C.1.Çimento Pastası CM4 Deneyinin Viskozimetre Okumaları

Deney No	Çimento	S.Dumanı	Katkı	W/C
CM4	94,45	4,55	1	0,27

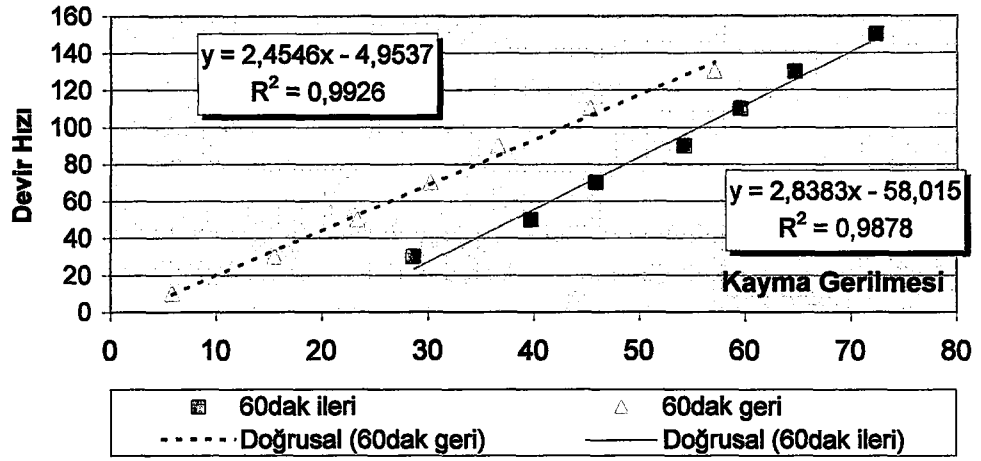
Deney			Okunan Kayma Gerilmesi Değerleri							
Zaman			6dak		30dak		60dak		90dak	
Dönme hızı	Adım		ileri	geri	ileri	geri	ileri	geri	ileri	geri
10	1	Min.	5,77	3,84	8,31	4,76	9,17	5,4	8,29	6,18
		Maks.	5,91	4,55	9,09	6,1	9,7	6,3	16,7	5,68
30	2	Min.	15,6	10,8	23,3	13,2	34,7	16,0	25,1	15,3
		Maks.	17,1	12,1	24,7	15,2	22,5	15,0	23,3	13,9
50	3	Min.	24,4	16,9	33,6	21,3	44,3	24,2	38,8	21,8
		Maks.	26,0	18,4	36,5	22,3	35,1	22,4	34,3	24,4
70	4	Min.	31,2	23,3	42,3	28,0	47,3	31,0	48,8	29,4
		Maks.	33,3	24,2	44,9	29,2	44,5	29,4	43,6	34,1
90	5	Min.	38,2	30,2	50,6	35,5	55,9	36,0	55,1	39,2
		Maks.	39,7	30,8	53,2	36,3	52,6	37,1	51,7	37,6
110	6	Min.	45,3	37,8	54,6	42,8	62,8	45,9	60,6	45,6
		Maks.	46,0	39,2	59,5	43,2	56,3	44,7	57,4	47,5
130	7	Min.	50,6	48,5	62,3	52,2	66,3	56,0	68,7	54,1
		Maks.	54,5	52,4	64,1	56,5	63,1	58,1	65,5	55,2
150	8	Min.	58,3		69,8		73,2		75,0	
		Maks.	59,7		72,7		71,5		66,5	

Deney			Okunan Kayma Gerilmesi Değerleri							
Zaman			6dak		30dak		60dak		90dak	
Dönme hızı	Adım		ileri	geri	ileri	geri	ileri	geri	ileri	geri
10	1			4,20		5,43		5,85		5,93
30	2		16,35	11,45	24,00	14,20	28,60	15,50	24,20	14,60
50	3		25,20	17,65	35,05	21,80	39,70	23,30	36,55	23,10
70	4		32,25	23,75	43,60	28,60	45,90	30,20	46,20	31,75
90	5		38,95	30,50	51,90	35,90	54,25	36,55	53,40	38,40
110	6		45,65	38,50	57,05	43,00	59,55	45,30	59,00	46,55
130	7		52,55	50,45	63,20	54,35	64,70	57,05	67,10	54,65
150	8		59,00		71,25		72,35		70,75	

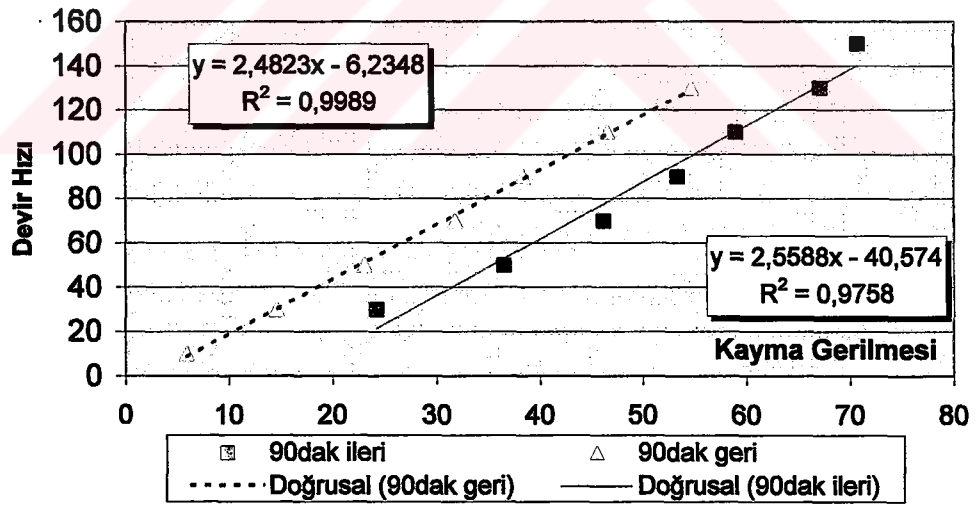
Tablo C.2.Çimento Pastası (CM4) Deneyinin Devir Hızı Kayma Gerilmesi Grafikleri



60'. Dakika



90'.Dakika



Tablo D.1 Çimento Pastası (N Çimentosu, U Uçucu Külü, I Kaktısı / Deney Sonuçları)

CNOI				T ₁₀₀ (sn)				Toplam Yayılma (mm)				Yayılma Alanı Oranı				η (Dönüş)				τ ₀ (Gidiş)			
M/B	SA/B	W/B		6'	30'	60'	90'	6'	30'	60'	90'	6'	30'	60'	90'	6'	30'	60'	90'	6'	30'	60'	90'
CNOI 1	27.29	0.8	0.25	1.05	1.62	2.81	1.72	149	149	149	144	14.3	14.3	14.3	13.3	0.301	0.312	0.347	0.365	8.822	6.902	8.004	22.423
CNOI 2	27.29	0.8	0.27	0.85	1.06	1.35	1.24	163	157	155	150	17.3	16.0	15.6	14.5	0.219	0.241	0.237	0.250	2.291	3.680	4.224	4.793
CNOI 3	27.29	1.0	0.25	1.31	1.82	1.96	1.94	177	166	159	156	20.6	18.0	16.4	15.8	0.372	0.363	0.373	0.409	2.882	1.137	4.191	0.999
CNOI 4	27.29	1.0	0.27	1.27	1.41	1.13	1.24	161	154	162	155	16.9	15.3	17.1	15.6	0.252	0.269	0.249	0.255	3.002	3.512	3.181	3.513
CNOI 5	45.51	0.8	0.25	1.31	1.55	1.59	1.44	166	172	166	160	18.0	19.4	18.0	16.6	0.224	0.288	0.295	0.296	4.093	2.318	3.186	1.381
CNOI 6	45.51	0.8	0.27	0.82	0.84	1.16	1.13	164	179	168	166	17.5	21.1	18.4	18.0	0.183	0.194	0.188	0.183	0.875	1.523	1.674	1.570
CNOI 7	45.51	1.0	0.25	1.58	1.66	1.73	1.64	157	160	160	159	16.0	16.6	16.6	16.4	0.279	0.289	0.334	0.303	1.006	1.755	0.832	4.095
CNOI 8	45.51	1.0	0.27	0.91	0.92	1.18	1.02	157	167	168	159	16.0	18.2	18.4	16.4	0.179	0.193	0.197	0.188	0.250	1.534	1.835	1.657
CNOI 9	36.4	0.9	0.24	1.59	2.16	1.62	2.75	150	157	157	149	14.5	16.0	16.0	14.3	0.354	0.387	0.375	0.404	2.363	1.035	7.047	10.981
CNOI 10	36.4	0.9	0.30	0.64	0.89	0.83	0.78	174	177	168	165	19.9	20.6	18.4	17.8	0.119	0.132	0.131	0.133	0.693	1.482	1.738	1.521
CNOI 11	36.4	0.7	0.26	1.33	1.82	1.80	1.45	162	164	156	158	17.1	17.5	15.8	16.2	0.249	0.270	0.312	0.271	-0.422	2.004	1.257	2.281
CNOI 12	36.4	1.1	0.26	132	1.42	1.36	1.34	168	162	163	161	18.4	17.1	17.3	16.9	0.275	0.274	0.275	0.276	2.357	3.257	3.653	3.747
CNOI 13	0.0	0.9	0.26	2.18	2.45	3.23	3.68	156	148	141	134	15.8	14.1	12.7	11.4	0.642	0.738	0.699	0.716	-6.720	-0.939	1.642	2.623
CNOI 14	54.55	0.9	0.26	1.30	0.77	0.89	0.85	165	173	171	169	17.8	19.6	19.1	18.7	0.225	0.221	0.202	0.199	1.485	-0.214	0.046	0.388
CNOI 15	36.4	0.9	0.26	1.19	1.96	1.90	1.77	158	165	163	165	16.2	17.8	17.3	17.8	0.258	0.292	0.287	0.282	1.724	1.911	1.326	2.385
CNOI 16	36.4	0.9	0.26	1.63	1.54	1.61	1.63	155	157	157	159	15.6	16.0	16.0	16.4	0.229	0.253	0.270	0.280	0.788	2.822	3.636	2.941
CNOI 17	36.4	0.9	0.26	1.31	1.31	1.71	1.38	156	154	160	158	15.8	15.3	16.6	16.2	0.264	0.304	0.309	0.296	0.356	2.001	5.556	4.075

Tablo D.2 Çimento Pastası (N Çimentosu, T Uçucu Külü, I Kaktısı) Deney Sonuçları

CNTİ	T ₁₀₀ (sn)				Toplam Yayılma (mm)				Yayılma Alanı Oranı				η (Dönüş)				τ ₀ (Gidis)							
	M/B	SA/B	W/B		6'	30'	60'	90'	6'	30'	60'	90'	6'	30'	60'	90'	6'	30'	60'	90'				
CNTİ 1	27,29	0,8	0,25		3,56	5,19	4,74	4,46	130	125	130	127	10,6	9,8	10,6	10,1	1,100	1,499	1,435	1,790	0,936	1,528	3,061	-3,975
CNTİ 2	27,29	0,8	0,27		2,39	4,10	4,01	4,27	136	132	134	130	11,7	11,0	11,4	10,6	0,705	0,991	1,074	1,162	-0,634	4,008	6,005	3,314
CNTİ 3	27,29	1,0	0,25		4,06	5,22	5,58	6,93	134	132	132	130	11,4	11,0	11,0	10,6	1,164	1,623	1,802	2,112	3,144	4,303	-0,100	-2,400
CNTİ 4	27,29	1,0	0,27		2,27	3,32	3,52	4,03	141	133	137	132	12,7	11,2	11,9	11,0	0,585	0,867	0,932	0,906	-0,245	5,136	3,819	3,412
CNTİ 5	45,51	0,8	0,25		5,35	7,67	7,64	9,81	132	141	141	133	11,0	12,7	12,7	11,2								
CNTİ 6	45,51	0,8	0,27		2,52	3,59		3,95	141	137		136	12,7	11,9		11,7	0,907	1,166	1,284	1,207	-2,803	-0,267	-0,312	-1,329
CNTİ 7	45,51	1,0	0,25		5,24	5,91	6,36	6,00	138	138	135	131	12,1	12,1	11,6	10,8	1,638	2,205			0,882	3,525		
CNTİ 8	45,51	1,0	0,27		2,96	3,66	4,39	4,06	139	135	132	137	12,3	11,6	11,0	11,9	0,900	1,154	1,311	1,280	-1,203	0,111	0,644	0,058
CNTİ 9	36,4	0,9	0,22														2,058				-3,650	-2,375		
CNTİ 10	36,4	0,9	0,30		1,09	1,88	2,30	2,06	162	149	149	149	17,1	14,3	14,3	14,3	0,279	0,330	0,343	0,363	-1,591	1,714	2,389	0,978
CNTİ 11	36,4	0,7	0,26		2,59	3,20	3,09	4,23	141	153	155	155	12,7	15,1	15,6	15,6	1,146	1,435	1,496	1,696	-2,656	-7,419	-9,689	-10,249
CNTİ 12	36,4	1,1	0,26		3,34	4,51	5,06	4,74	138	132	128	135	12,1	11,0	10,3	11,6	1,120	1,469	1,468	1,636	0,374	1,361	0,143	-0,007
CNTİ 13	0,0	0,9	0,26		2,18	2,45	3,23	3,68	156	148	141	134	15,8	14,1	12,7	11,4	0,642	0,738	0,699	0,716	-6,720	-0,939	1,642	2,623
CNTİ 14	54,55	0,9	0,26		4,79	4,84	4,21	4,57	140	137	143	138	12,5	11,9	13,1	12,1	1,642	1,754	1,815	2,062	-4,853	-6,900	-8,826	-9,425
CNTİ 15	36,4	0,9	0,26		2,27	4,70	4,65	5,06	138	139	136	139	12,1	12,3	11,7	12,3	0,939	1,209	1,360	1,487	-2,334	-0,093	-1,842	-2,343
CNTİ 16	36,4	0,9	0,26		2,96	4,70	4,74	5,01	147	133	142	134	13,9	11,2	12,9	11,4	1,113	1,406	1,566	1,657	-2,585	0,002	-0,179	-1,224
CNTİ 17	36,4	0,9	0,26		2,97	4,26	4,77	4,11	135	132	131	134	11,6	11,0	10,8	11,4	0,972	1,320	1,514	2,065	-1,309	0,415	0,986	-0,763

CNM1	T ₁₀₀ (sn)				Toplam Yayılma (mm)				Yayılma Alanı Oranı				η (Dönüş)				τ ₀ (Gidiş)			
	M/B	SA/B	W/B		6'	30'	60'	90'	6'	30'	60'	90'	6'	30'	60'	90'	6'	30'	60'	90'
CNM1	4.55	0.8	0.25		5.12	5.68	5.44	5.31	133	134	137	135	0.727	0.732	0.837	0.696	26,135	10,542	16,942	10,397
CNM2	4.55	0.8	0.27		2.95	3.73	3.28	3.41	124	123	137	139	0.402	0.346	0.457	0.548	11,873	15,276	15,056	15,131
CNM3	4.55	1.0	0.25		5.14	7.95	8.31	7.98	126	119	120	120	0.703	0.627	0.683	0.831	21,680	24,104	24,308	21,978
CM4	4.55	1.0	0.27		2.50	3.13	3.81	3.63	148	139	137	135	0.372	0.392	0.407	0.403	6,991	15,024	20,440	15,857
CNM5	9.09	0.8	0.25		9.74	11.38	19.59	17.24	104	103	94	102	0.481	0.551	0.720	0.725	23,835	25,180	32,700	32,064
CNM6	9.09	0.8	0.27		3.20	3.96	5.38	4.82	122	124	121	124	0.383	0.404	0.495	0.492	16,621	17,888	21,066	17,558
CNM7	9.09	1.0	0.25		4.90	5.62	5.36	5.15	120	124	132	129	0.333	0.331	0.387	0.463	10,135	14,476	13,775	11,991
CNM8	9.09	1.0	0.27		4.88	3.69	3.74	3.73	124	129	138	136	0.448	0.398	0.472	0.406	14,742	16,860	16,313	14,272
CNM9	6.82	0.9	0.22		17.75	22.81	25.88	32.31	105	103	104	103	1.910	2.488	2.330	2.220	21,476	35,949	16,726	19,798
CNM10	6.82	0.9	0.30		1.38	1.87	2.47	2.77	137	132	135	134	0.209	0.290	0.285	0.288	5,237	9,395	10,116	11,611
CNM11	6.82	0.7	0.26		4.39	5.17	6.22	7.20	126	116	110	108	0.455	0.527	0.554	0.654	15,887	21,482	22,053	25,235
CNM12	6.82	1.1	0.26		3.61	5.33	5.98	4.32	122	124	124	126	0.443	0.464	0.499	0.535	19,061	33,297	26,750	20,155
CNM13	0.00	0.9	0.26		2.18	2.45	3.23	3.68	156	148	141	134	0.642	0.738	0.699	0.716	-6,720	-0,939	1,642	2,623
CNM14	11.36	0.9	0.26		4.86	5.71	6.09	7.91	110	114	109	104	0.415	0.509	0.515	0.526	23,384	22,962	26,910	24,246
CNM15	6.82	0.9	0.26		3.70	5.12	4.23	3.62	125	127	134	137	0.510	0.640	0.534	0.592	27,735	23,217	17,946	12,344
CNM16	6.82	0.9	0.26		4.02	5.34	5.49	4.81	127	126	127	132	0.443	0.519	0.544	0.558	17,714	23,067	23,371	22,963
CNM17	6.82	0.9	0.26		4.36	4.81	4.99	4.54	124	129	130	135	0.499	0.469	0.531	0.485	25,587	26,688	19,996	18,856

Tablo D.4 Harç (N Çimentosu, O. Uçucu Küllü, I Katkısı) Deney Sonuçları

HNO1	T ₂₀₀ (sn)				Toplam Yayılma (mm)				Yayılma Alanı Oranı				η (Dönüş)				τ ₀ (Gidiş)			
	M/B	K/B	W/B		6'	30'	60'	90'	6'	30'	60'	90'	6'	30'	60'	90'	6'	30'	60'	90'
HNO 1	27.29	1.23	0.25		2.24	4.17	5.57	6.17	337	311	302	299	4.075	5.447	6.418	7.082	76,039	103,894	152,195	143,505
HNO 2	27.29	1.23	0.27		1.66	1.75	2.37	2.16	335	330	327	317	2.208	2.577	2.890	3.209	22,924	41,850	63,648	72,556
HNO 3	27.29	0.93	0.25		1.54	2.38	2.90	3.32	330	317	312	312	2.964	3.636	3.975	4.179	50,668	91,938	99,714	109,739
HNO 4	27.29	0.93	0.27		1.27	1.70	1.75	1.96	341	338	340	332	2.104	2.151	2.407	2.868	22,353	38,492	48,016	56,031
HNO 5	45.51	1.23	0.25		2.02	2.75	2.74	3.05	337	333	331	324	2.959	3.497	4.102	4.378	46,081	78,472	96,154	100,081
HNO 6	45.51	1.23	0.27		1.29	1.35	1.71	1.56	355	355	352	348	1.938	2.183	2.231	2.508	7,845	12,565	15,085	17,594
HNO 7	45.51	0.93	0.25		1.20	1.47	1.79	1.72	350	353	352	352	2.754	2.773	3.107	3.350	33,591	32,208	43,385	42,525
HNO 8	45.51	0.93	0.27		1.24	1.19	1.44	1.56	352	356	353	353	1.909	2.048	2.212	2.350	18,353	11,239	10,624	13,705
HNO 9	36.40	1.13	0.22		3.64	6.21	6.84	8.63	318	291	291	292	6.154	6.337	4.120	10.549	70,985	123,952	141,770	118,533
HNO 10	36.40	1.13	0.30		1.22	1.44	1.80	1.77	343	351	346	343	1.552	1.658	1.767	1.856	20,670	23,214	26,429	24,205
HNO 11	36.40	1.53	0.26		3.11	4.77	6.59	8.83	298	285	278	263	3.438	4.805	4.710	5.405	51,253	104,058	120,119	124,670
HNO 12	36.40	0.63	0.26		1.06	1.06	1.36	1.57	368	360	360	357	1.844	2.146	2.407	2.489	7,546	8,611	10,830	11,540
HNO 13	0.00	1.13	0.26		4.28	10.09	9.82	12.56	261	264	276	254	3.794	3.858	3.894	4.272	127,693	139,194	160,891	148,986
HNO 14	54.55	1.13	0.26		1.19	1.34	1.20	1.46	367	362	358	353	2.256	2.412	2.191	2.608	0,427	2,019	-0,480	1,551
HNO 15	36.40	1.13	0.26		2.25	2.98	2.81	2.81	330	327	327	325	3.124	3.280	3.820	3.976	69,599	68,137	66,565	81,957
HNO 16	36.40	1.13	0.26		2.04	2.34	2.74	2.84	331	325	327	319	2.413	3.078	3.181	3.256	37,355	52,739	79,736	103,767
HNO 17	36.40	1.13	0.26		1.90	2.06	2.63	2.81	336	330	326	320	2.603	2.993	3.179	3.556	29,646	52,023	64,731	74,067

HNHT1	M/B			K/B	W/B	T ₂₀₀ (sn)				Toplam Yayılma (mm)				Yayılma Alanı Oranı				η (Dönüş)				τ ₀ (Gidiş)			
	6'	30'	60'	90'	6'	30'	60'	90'	6'	30'	60'	90'	6'	30'	60'	90'	6	30	60	90	6	30	60	90	
HNT 1	27,29	1,23	0,31	1,88	3,05	3,30	4,23	318	300	295	299	9,1	8,0	7,7	7,9	2,294	2,984	2,822	3,301	32,084	57,854	59,431	77,260		
HNT 2	27,29	1,23	0,33	1,56	1,86	2,31	2,60	327	318	311	310	9,7	9,1	8,7	8,6	1,620	2,002	2,371	2,346	24,416	39,063	51,161	58,798		
HNT 3	27,29	0,93	0,31	1,57	1,91	1,99	2,00	342	325	321	320	10,7	9,6	9,3	9,2	1,747	2,141	2,421	2,644	20,669	39,035	51,445	61,287		
HNT 4	27,29	0,93	0,33	1,27	1,21	1,38	1,51	351	345	336	330	11,3	10,9	10,3	9,9	1,127	1,459	1,565	1,758	14,659	25,977	33,463	32,621		
HNT 5	45,51	1,23	0,31	2,32	2,79	3,53	4,14	332	311	316	317	10,0	8,7	9,0	9,0	2,413	2,964	3,784	3,635	50,009	62,291	81,157	101,261		
HNT 6	45,51	1,23	0,33	1,64	1,94	2,06	2,66	340	325	320	320	10,6	9,6	9,2	9,2	1,891	2,299	2,672	2,894	31,303	37,208	56,040	49,920		
HNT 7	45,51	0,93	0,31	1,70	2,12	2,15	2,60	349	337	335	330	11,2	10,4	10,2	9,9	2,055	2,650	2,693	3,049	30,301	39,923	60,686	51,684		
HNT 8	45,51	0,93	0,33	1,11	1,45	1,77	1,85	357	348	339	335	11,7	11,1	10,5	10,2	1,361	1,909	2,120	2,275	12,081	25,230	30,867	41,123		
HNT 9	36,40	1,13	0,28	3,70	5,67	6,41	7,01	313	318	320	319	8,8	9,1	9,2	9,2	4,209	4,474	3,871	4,054	65,995	92,301	121,584	129,717		
HNT 10	36,40	1,13	0,36	1,20	1,21	1,35	1,52	350	343	334	332	11,3	10,8	10,2	10,0	1,155	1,279	1,463	1,533	22,268	18,913	31,140	33,462		
HNT 11	36,40	1,53	0,32	2,31	3,64	4,67	5,66	309	292	288	281	8,5	7,5	7,3	6,9	2,603	2,886	3,420	3,422	50,351	53,136	69,289	70,874		
HNT 12	36,40	0,63	0,32	1,14	1,26	1,51	1,48	376	356	348	350	13,1	11,7	11,1	11,3	1,263	1,587	1,803	1,957	7,798	20,979	23,006	23,903		
HNT 13	0,00	1,13	0,32	1,44	1,56	1,62	2,02	319	303	304	297	9,2	8,2	8,2	7,8	1,446	1,629	1,836	1,991	21,085	42,651	47,797	51,872		
HNT 14	54,55	1,13	0,32	1,68	2,07	2,66	2,91	337	330	327	324	10,4	9,9	9,7	9,5	2,177	2,751	2,977	3,388	22,814	46,249	47,993	53,242		
HNT 15	36,40	1,13	0,32	1,70	1,81	2,33	2,37	331	332	323	317	10,0	10,0	9,4	9,0	1,968	2,508	2,518	2,585	37,235	50,642	56,286	54,692		
HNT 16	36,40	1,13	0,32	1,39	2,00	2,03	2,31	338	322	326	319	10,4	9,4	9,6	9,2	1,820	2,192	2,462	2,742	29,162	39,497	52,446	55,265		
HNT 17	36,40	1,13	0,32	1,47	1,91	2,51	2,53	338	318	320	320	10,4	9,1	9,2	9,2	1,816	2,632	2,665	2,913	20,747	46,905	59,926	71,655		

Tablo D.6 Harç (N Çimentosu, Silis Dumani, I Katkısı) Deney Sonuçları

HNMT	M/B			K/B			W/B			T ₂₀₀ (sn)				Toplam Yayılma (mm)				Yayılma Alanı Oranı				η (Dönüş)				τ ₀ (Gidiş)			
				6'	30'	60'	90'	6'	30'	60'	90'	6'	30'	60'	90'	6'	30'	60'	90'	6	30	60	90	6	30	60	90		
HMT1	4.55	1.23	0.31	2.61	3.43	3.48	4.27	283	281	279	275	7.0	6.9	6.8	6.6	1.783	2.094	2.299	2.338	58.583	67.639	76.741	69.283	44.701	61.285	66.162	68.119		
HMT2	4.55	1.23	0.33	1.83	2.70	2.75	3.09	292	282	277	278	7.5	7.0	6.7	6.7	1.370	1.666	1.757	1.860	41.656	58.614	59.983	63.057	31.882	45.484	50.887	52.643		
HMT3	4.55	0.93	0.31	1.60	1.92	2.09	2.24	315	308	302	300	8.9	8.5	8.1	8.0	1.307	1.512	1.636	1.723	78.495	100.758	98.553	101.770	58.249	72.459	74.070	74.620		
HMT4	4.55	0.93	0.33	1.48	1.58	1.64	1.79	321	308	308	307	9.3	8.5	8.5	8.4	1.096	1.281	1.380	1.482	50.902	67.098	76.343	72.116	42.259	55.410	53.886	52.593		
HMT5	9.09	1.23	0.31	3.07	4.87	4.91	5.17	256	234	241	245	5.6	4.5	4.8	5.0	1.827	2.237	2.458	2.507	79.471	112.160	123.834	119.011	25.788	36.959	36.560	39.816		
HMT6	9.09	1.23	0.33	1.78	2.38	2.94	2.94	273	262	268	270	6.5	5.9	6.2	6.3	1.384	1.560	1.682	1.803	54.031	64.855	70.407	74.910	30.810	47.891	48.918	48.502		
HMT7	9.09	0.93	0.31	1.69	2.13	2.18	2.50	295	287	292	292	7.7	7.2	7.5	7.5	1.316	1.532	1.613	1.781	21.085	42.651	47.797	51.872	59.503	69.260	76.875	74.976		
HMT8	9.09	0.93	0.33	1.39	1.53	1.63	1.76	308	305	308	315	8.5	8.3	8.5	8.9	1.102	1.228	1.294	1.355	51.859	63.266	67.265	67.188	53.030	67.641	67.745	68.020		
HMT9	6.82	1.13	0.28	3.78	6.30	6.17	5.55	266	266	272	271	6.1	6.1	6.4	6.3	2.914	3.249	3.912	3.943	74.971	112.160	123.834	119.011	25.788	36.959	36.560	39.816		
HMT10	6.82	1.13	0.36	1.20	1.26	1.50	1.42	323	323	324	323	9.4	9.4	9.5	9.4	0.945	1.017	1.085	1.141	54.031	64.855	70.407	74.910	30.810	47.891	48.918	48.502		
HMT11	6.82	1.53	0.32	4.16	8.70	9.29	9.59	240	226	220	208	4.8	4.1	3.8	3.3	2.089	2.090	2.218	2.401	21.085	42.651	47.797	51.872	59.503	69.260	76.875	74.976		
HMT12	6.82	0.63	0.32	1.12	1.29	1.39	1.31	329	327	324	317	9.8	9.7	9.5	9.0	1.060	1.194	1.322	1.328	30.810	47.891	48.918	48.502	59.503	69.260	76.875	74.976		
HMT13	0.00	1.13	0.32	1.44	1.56	1.62	2.02	319	303	304	297	9.2	8.2	8.2	7.8	1.446	1.629	1.836	1.987	21.085	42.651	47.797	51.872	59.503	69.260	76.875	74.976		
HMT14	11.36	1.13	0.32	1.75	2.65	2.80	2.85	275	256	264	264	6.6	5.6	6.0	6.0	1.447	1.725	1.745	1.871	51.859	63.266	67.265	67.188	53.030	67.641	67.745	68.020		
HMT15	6.82	1.13	0.32	1.94	2.45	2.58	2.59	300	291	294	292	8.0	7.5	7.6	7.5	1.374	1.591	1.657	1.801	51.859	63.266	67.265	67.188	53.030	67.641	67.745	68.020		
HMT16	6.82	1.13	0.32	1.98	2.29	2.62	2.75	294	286	289	287	7.6	7.2	7.4	7.2	1.467	1.657	1.781	1.945	53.030	67.641	67.745	68.020	53.030	67.641	67.745	68.020		
HMT17	6.82	1.13	0.32	1.93	2.54	2.57	2.55	295	279	288	286	7.7	6.8	7.3	7.2	1.360	1.578	1.667	1.762	55.851	65.719	67.026	71.971	55.851	65.719	67.026	71.971		

HAOI	T ₂₀₀ (sn)				Toplam Yayılma (mm)				Yayılma Alanı Oranı				η (Dönüş)				τ ₀ (Gidiş)			
	6'	30'	60'	90'	6'	30'	60'	90'	6'	30'	60'	90'	6	30	60	90	6	30	60	90
HAO 1	27,29	3,68	3,82	5,11	315	315	313	310	8,9	8,9	8,8	8,6	2,191	2,629	2,339	3,246	63,018	79,682	81,032	81,662
HAO 2	27,29	1,70	2,34	2,87	340	343	336	323	10,6	10,8	10,3	9,4	1,708	2,403	2,468	2,387	14,554	29,132	39,621	46,263
HAO 3	27,29	1,73	2,63	2,70	348	349	345	337	11,1	11,2	10,9	10,4	2,095	2,381	2,804	2,650	12,874	30,737	59,204	60,629
HAO 4	27,29	0,93	1,43	1,34	385	360	355	365	13,8	12,0	11,6	12,3	1,306	1,905	2,020	2,142	0,591	11,372	14,140	11,820
HAO 5	45,51	2,30	2,52	2,48	338	329	326	323	10,4	9,8	9,6	9,4	2,376	2,964	2,921	2,787	21,620	55,069	71,130	74,155
HAO 6	45,51	1,23	1,79	1,97	344	340	339	335	10,8	10,6	10,5	10,2	1,829	2,396	2,334	2,507	4,191	21,544	23,183	28,638
HAO 7	45,51	1,29	1,48	1,56	365	355	355	349	12,3	11,6	11,6	11,2	1,871	2,339	2,457	2,445	-2,888	8,655	10,643	19,737
HAO 8	45,51	1,07	1,21	1,51	375	360	358	355	13,1	12,0	11,8	11,6	1,384	1,627	1,835	1,852	-5,573	-0,098	2,474	0,635
HAO 9	36,40	3,51	5,41	5,93	321	322	312	311	9,3	9,4	8,7	8,7	2,453	2,461	2,366	2,656	59,861	64,756	79,053	89,462
HAO 10	36,40	1,18	1,37	1,53	360	349	346	340	12,0	11,2	11,0	10,6	1,030	1,319	1,364	1,474	-2,137	1,050	3,311	2,944
HAO 11	36,40	4,28	4,99	6,34	292	297	295	285	7,5	7,8	7,7	7,1	2,315	2,696	2,750	2,964	43,812	62,527	68,499	75,566
HAO 12	36,40	1,16	1,24	1,30	420	380	375	375	16,6	13,4	13,1	13,1	1,024	1,377	1,322	1,895	-6,230	-4,349	7,582	-3,266
HAO 13	0,00	8,62	10,06	13,64	232	250	250	238	4,4	5,3	5,3	4,7	2,296	2,474	2,388	2,487	72,875	77,222	69,894	79,344
HAO 14	54,55	1,74	1,85	1,68	354	351	349	348	11,5	11,3	11,2	11,1	1,950	2,484	2,543	2,822	7,599	30,218	24,198	33,836
HAO 15	36,40	1,85	1,86	2,07	348	353	332	329	11,1	11,5	10,0	9,8	1,722	2,155	2,289	2,425	17,411	35,025	38,072	43,646
HAO 16	36,40	1,68	1,84	2,32	352	336	345	334	11,4	10,3	10,9	10,2	2,137	2,618	2,762	2,990	1,923	27,492	45,899	71,538
HAO 17	36,40	1,66	1,90	2,49	358	355	345	335	11,8	11,6	10,9	10,2	2,030	2,503	2,662	3,160	0,742	20,167	33,215	48,036

Tablo D.8 Harç (A Çimentosu, T. Uçucu Külü, I Katkısı) Deney Sonuçları

HATI				T ₂₀₀ (sn)				Toplam Yayılma (mm)				Yayılma Alanı Oranı				η (Dönütl)				τ ₀ (Gidis)			
	M/B	K/B	W/B	6'	30'	60'	90'	6'	30'	60'	90'	6'	30'	60'	90'	6	30	60	90	6	30	60	90
HAT 1	27,29	1,23	0,29	2,42	2,32	4,19	4,37	325	317	317	310	9,6	9,0	9,0	8,6	1,731	1,755	2,245	2,472	33,801	37,909	50,498	57,257
HAT 2	27,29	1,23	0,31	1,88	1,99	2,63	3,59	332	331	330	325	10,0	10,0	9,9	9,6	1,618	1,799	1,768	2,068	22,603	28,681	36,685	48,438
HAT 3	27,29	0,93	0,29	1,57	1,97	2,26	2,24	366	367	350	349	12,4	12,5	11,3	11,2	1,786	2,279	2,387	2,882	5,668	23,684	39,161	54,638
HAT 4	27,29	0,93	0,31	0,97	1,40	1,81	2,06	371	361	354	355	12,8	12,0	11,5	11,6	1,377	1,690	1,930	2,336	2,298	12,016	19,302	30,497
HAT 5	45,51	1,23	0,29	2,70	4,11	4,71	4,64	324	307	310	329	9,5	8,4	8,6	9,8	2,232	2,640	2,779	3,237	43,662	53,160	62,000	57,779
HAT 6	45,51	1,23	0,31	1,27	2,16	2,78	3,16	342	338	331	335	10,7	10,4	10,0	10,2	2,050	2,339	2,469	2,989	25,400	42,085	54,812	67,241
HAT 7	45,51	0,93	0,29	2,52	3,16	3,82	5,09	357	362	348	340	11,7	12,1	11,1	10,6	2,581	2,668	2,268	2,447	36,656	41,997	50,073	72,309
HAT 8	45,51	0,93	0,31	0,90	1,51	1,95	2,46	350	361	335	336	11,3	12,0	10,2	10,3	1,655	2,090	2,509	2,588	-4,505	10,164	25,350	45,322
HAT 9	36,40	1,13	0,26	5,77	5,91	7,95	7,89	306	317	315	312	8,4	9,0	8,9	8,7	2,146	2,319	2,417	2,462	83,367	85,912	107,808	132,539
HAT 10	36,40	1,13	0,34	1,22	1,25	1,75	1,90	350	359	348	342	11,3	11,9	11,1	10,7	1,120	1,563	1,705	1,669	-3,740	6,708	7,323	12,319
HAT 11	36,40	1,53	0,30	3,62	4,33	5,40	6,00	307	297	297	293	8,4	7,8	7,8	7,6	2,487	2,679	2,812	3,399	50,885	50,886	51,514	62,224
HAT 12	36,40	0,63	0,30	1,14	1,25	1,40	2,06	389	359	355	358	14,1	11,9	11,6	11,8	1,481	1,895	2,215	2,414	-13,299	0,567	6,775	22,031
HAT 13	0,00	1,13	0,30	1,56	2,19	2,59	2,97	338	322	319	316	10,4	9,4	9,2	9,0	1,159	1,367	1,409	1,636	13,115	24,072	29,048	37,092
HAT 14	54,55	1,13	0,30	2,34	2,52	3,59	3,24	327	325	314	313	9,7	9,6	8,9	8,8	2,577	2,796	3,486	3,744	38,120	33,990	45,588	49,029
HAT 15	36,40	1,13	0,30	1,79	2,15	2,84	3,30	339	341	330	324	10,5	10,6	9,9	9,5	1,896	2,513	2,257	2,284	19,982	39,998	43,293	37,927
HAT 16	36,40	1,13	0,30	2,21	2,61	2,71	3,08	339	334	332	330	10,5	10,2	10,0	9,9	1,960	2,439	2,295	2,205	21,228	43,333	49,510	43,851
HAT 17	36,40	1,13	0,30	1,87	2,91	3,09	4,02	333	329	328	325	10,1	9,8	9,8	9,6	1,526	2,001	2,187	2,520	35,291	43,458	49,601	53,454

HAMİ	T ₂₀₀ (sn)				Toplam Yayılma (mm)				Yayılma Alanı Oranı				η (Dönüş)			τ ₀ (Gidiş)								
	6'	30'	60'	90'	6'	30'	60'	90'	6'	30'	60'	90'	6	30	60	90	6	30	60	90				
HAM 1	M/B	K/B	W/B		2.12	2.63	3.06	3.37	300	294	292	289	8,0	7,6	7,5	7,4	1,029	1,117	1,243	1,365	34,362	39,298	43,122	45,262
HAM 2	4.55	1.23	0.33		1.31	1.66	1.66	1.70	316	313	310	308	9,0	8,8	8,6	8,5	0,713	0,817	0,894	0,916	13,885	14,941	15,346	17,178
HAM 3	4.55	0.93	0.31		0.87	1.33	1.74	1.84	345	327	330	323	10,9	9,7	9,9	9,4	0,765	0,965	1,063	1,130	16,276	27,827	32,935	34,775
HAM 4	4.55	0.93	0.33		1.00	1.10	1.34	1.33	344	344	339	340	10,8	10,8	10,5	10,6	0,653	0,749	0,830	0,877	13,131	14,966	17,062	19,744
HAM 5	9.09	1.23	0.31		1.74	2.48	2.93	3.13	285	282	276	269	7,1	7,0	6,6	6,2	1,077	1,217	1,330	1,438	40,336	45,481	53,034	53,558
HAM 6	9.09	1.23	0.33		1.65	1.99	1.83	2.20	280	277	279	273	6,8	6,7	6,8	6,5	0,916	0,999	1,089	1,137	34,568	40,850	44,658	46,315
HAM 7	9.09	0.93	0.31		1.42	1.52	1.51	1.76	309	312	309	311	8,5	8,7	8,5	8,7	0,957	1,022	1,144	1,205	24,517	26,924	30,879	33,776
HAM 8	9.09	0.93	0.33		0.91	0.81	1.21	1.21	340	333	326	322	10,6	10,1	9,6	9,4	0,700	0,764	0,845	0,919	12,789	17,951	18,778	20,685
HAM 9	6.82	1.13	0.28		1.62	8.38	9.55	9.89	203	216	223	217	3,1	3,7	4,0	3,7	1,836	2,057	2,162	2,289	55,679	61,309	62,775	64,606
HAM 10	6.82	1.13	0.36		0.69	0.98	1.04	1.18	354	338	325	330	11,5	10,4	9,6	9,9	0,435	0,515	0,553	0,689	5,300	9,685	13,009	14,748
HAM 11	6.82	1.53	0.32		4.63	6.06	8.31	9.38	238	232	225	220	4,7	4,4	4,1	3,8	1,156	1,297	1,438	1,582	46,876	51,255	54,992	50,180
HAM 12	6.82	0.63	0.32		0.68	0.80	0.96	1.09	366	355	346	343	12,4	11,6	11,0	10,8	0,587	0,691	0,791	0,850	5,098	10,249	13,464	14,952
HAM 13	0.00	1.13	0.32		1.27	1.62	2.02	2.42	330	325	323	320	9,9	9,6	9,4	9,2	1,054	1,042	1,164	1,285	19,354	22,918	26,680	31,494
HAM 14	11.36	1.13	0.32		1.97	1.97	2.29	2.30	264	265	263	262	6,0	6,0	5,9	5,9	0,977	1,080	1,193	1,216	43,318	50,204	51,367	57,106
HAM 15	6.82	1.13	0.32		1.34	1.58	1.34	1.79	321	314	313	309	9,3	8,9	8,8	8,5	0,828	0,866	0,957	1,049	24,057	30,323	32,487	36,423
HAM 16	6.82	1.13	0.32		2.13	2.09	2.42	2.10	291	301	295	290	7,5	8,1	7,7	7,4	0,950	1,098	1,147	1,190	39,670	40,012	42,750	43,978
HAM 17	6.82	1.13	0.32		1.64	1.78	1.93	2.32	305	301	298	294	8,3	8,1	7,9	7,6	0,986	1,058	1,131	1,207	35,722	38,629	40,406	43,293

Tablo D.10 Harç (N Çimentosu, O. Uçucu Küllü, İl Katkısı) Deney Sonuçları

HNOII	T ₂₀₀ (sn)				Toplam Yayılma (mm)				Yayılma Alanı Oranı				η (Dönüş)				τ _n (Gidiş)				
	6'	30'	60'	90'	6'	30'	60'	90'	6'	30'	60'	90'	6	30	60	90	6	30	60	90	
HNOII 1	27,29	3,99	2,78	3,65	3,91	228	315	285	276	4,2	8,9	7,1	6,6	2,530	2,824	3,285	5,459	55,817	51,966	44,869	139,107
HNOII 2	27,29	3,36	2,27	2,52	2,78	245	313	317	316	5,0	8,8	9,0	9,0	1,523	1,418	1,716	1,839	63,290	48,268	57,632	53,913
HNOII 3	27,29	2,72	2,12	2,29	2,63	257	331	340	325	5,6	10,0	10,6	9,6	1,784	1,802	2,309	3,631	70,529	47,304	60,085	50,519
HNOII 4	27,29	2,36	1,92	1,66	1,88	294	336	342	332	7,6	10,3	10,7	10,0	1,465	1,313	1,438	1,761	46,488	27,339	26,116	25,343
HNOII 5	45,51	2,84	2,31	2,35	2,56	269	332	325	320	6,2	10,0	9,6	9,2	2,286	2,092	2,659	2,913	79,136	54,483	48,634	48,395
HNOII 6	45,51	2,09	2,1	1,99	2,14	295	316	335	335	7,7	9,0	10,2	10,2	1,616	1,487	1,556	1,929	54,283	47,890	41,090	34,627
HNOII 7	45,51	2,05	1,56	1,76	2,09	282	353	357	351	7,0	11,5	11,7	11,3	1,865	1,495	1,879	2,467	74,853	44,657	38,187	31,484
HNOII 8	45,51	1,52	1,42	1,44	1,32	339	359	359	360	10,5	11,9	11,9	12,0	1,156	1,095	1,190	1,467	36,693	24,124	23,999	26,480
HNOII 9	36,40	6,05	3,75	5,51	11,7	211	301	279	151	3,5	8,1	6,8	1,3	3,837	3,448	6,510		93,962	62,896	78,540	
HNOII 10	36,40	1,41	1,23	1,32	1,7	305	331	335	330	8,3	10,0	10,2	9,9	1,152	0,905	1,076	1,311	33,753	24,417	30,322	29,997
HNOII 11	36,40	4,74	3,24	4,34	4,31	232	304	288	290	4,4	8,2	7,3	7,4	2,626	2,775	3,444	3,052	89,879	74,880	79,129	71,138
HNOII 12	36,40	1,98	1,7	1,35	1,33	292	357	370	367	7,5	11,7	12,7	12,5	1,270	1,128	1,252	1,391	46,721	34,187	26,103	24,443
HNOII 13	0,00	4,9	3,88	6,02		241	305	262	136	4,8	8,3	5,9	0,8	2,853	3,500	4,724		89,478	53,257	75,834	
HNOII 14	54,55	1,42	1,56	1,69	1,88	336	347	345	341	10,3	11,0	10,9	10,6	1,308	1,343	1,438	1,517	37,490	44,100	37,880	38,226
HNOII 15	36,40	2,83	2,02	2,17	2,3	270	326	327	337	6,3	9,6	9,7	10,4	1,787	1,637	1,964	2,399	65,618	40,927	46,709	38,086
HNOII 16	36,40	3,11	2,1	2,32	2,27	248	330	337	335	5,2	9,9	10,4	10,2	1,886	1,779	2,106	2,809	78,376	46,682	47,084	46,928
HNOII 17	36,40	2,64	1,82	1,8	1,95	302	335	339	342	8,1	10,2	10,5	10,7	1,704	1,715	1,859	2,238	61,024	39,421	48,613	36,100

BNOI				T ₅₀₀ (sn)				Toplam Yayılma (mm)				Yayılma Alanı Oranı				η (Dönüş)				τ ₀ (Dönüş)			
	K/B	SA/B	W/B	6'	30'	60'	90'	6'	30'	60'	90'	6'	30'	60'	90'	6	30	60	90	6	30	60	90
BNOI 1	1,61	0,8	0,245	5	6	7	0	73	68	65	46	12,3	10,6	9,6	4,3	20,667	24,736	29,009	25,799	-0,158	-0,222	0,033	9,104
BNOI 2	2,11	0,8	0,245	15				55	S 10,5	S 0		6,6				63,717	58,752			2,220	28,549		
BNOI 3	1,61	1	0,245	5	6	6	6	75	70	70	73	13,1	11,3	11,3	12,3	18,730	22,018	18,142	16,493	-0,064	0,163	0,190	1,478
BNOI 4	2,11	1	0,245	12	14	48	0	62	61	55	42	8,6	8,3	6,6	3,4	44,578	41,653	46,253	60,335	3,585	3,131	1,629	3,981
BNOI 5	1,61	0,8	0,275	4	4	4	4	79	75	74	66	14,6	13,1	12,7	9,9	7,473	8,343	10,856	16,581	-0,588	0,850	1,087	0,572
BNOI 6	2,11	0,8	0,275	3	3	4	4	76	74	69	64	13,4	12,7	10,9	9,2	5,922	5,822	6,986	8,924	0,367	0,617	0,452	0,659
BNOI 7	1,61	1	0,275	3	3	4	4	77	76	74	72	13,8	13,4	12,7	12,0	7,955	7,763	9,416	8,441	0,505	0,642	0,273	0,341
BNOI 8	2,11	1	0,275	6	7	16		68	63	49	S 19	10,6	8,9	5,0		26,168	20,377	24,945	31,331	-0,646	0,588	2,276	10,766
BNOI 9	1,32	0,90	0,26	2	3	4	4	82	76	76	73	15,8	13,4	13,4	12,3	7,188	8,538	9,989	12,897	0,012	0,273	0,043	-0,137
BNOI 10	2,4	0,90	0,26	19			0	52	S 16	S 3,5		5,8				41,598	46,747			1,507	24,903		
BNOI 11	1,86	0,70	0,26	5	0			63	41	S 8		8,9	3,2			22,793	28,926	33,023		1,293	7,118	22,145	
BNOI 12	1,86	1,10	0,26	4	5	5	6	71	71	68	65	11,6	11,6	10,6	9,6	15,219	14,732	14,058	15,611	0,895	0,759	0,979	1,359
BNOI 13	1,86	0,90	0,23	10	18			70	52	S	S 2,5	11,3	5,8			62,997	37,946	71,240		1,213	19,708	21,513	
BNOI 14	1,86	0,90	0,30	3	4	4	5	75	74	73	67	13,1	12,7	12,3	10,2	6,208	8,146	9,406	11,248	0,502	0,509	0,376	0,451
BNOI 15	1,86	0,9	0,26	6	8	10	0	68	65	57	46	10,6	9,6	7,1	4,3	24,333	23,752	32,011	34,904	-0,791	0,649	0,123	5,869
BNOI 16	1,86	0,9	0,26	5	5	6	10	72	70	65	58	12,0	11,3	9,6	7,4	17,548	21,534	19,395	27,544	1,066	0,786	2,519	1,547
BNOI 17	1,86	0,9	0,26	6	6	7	10	71	70	68	59	11,6	11,3	10,6	7,7	20,168	19,887	23,570	29,587	-0,210	0,234	0,083	0,482

Tablo D.12 Beton (N Çimentosu, T. Uçucu Küllü, I Katkısı) Deney Sonuçları

BNTI				T ₅₀₀ (sn)				Toplam Yayılma (mm)				Yayılma Alanı Oranı				η (Dönüş)				τ _n (Dönüş)			
K/B		SA/B	W/B	6'	30'	60'	90'	6'	30'	60'	90'	6'	30'	60'	90'	6	30	60	90	6	30	60	90
BNTI 1	1,61	0,8	0,305	4	7	10		75	67	56	S 23	13,1	10,2	6,8		16,979	20,371	29,977	36,687	-0,086	-0,090	0,487	8,201
BNTI 2	2,11	0,8	0,305	12				60	S 11,5	S 0		8,0				62,358	52,459			-0,438	22,372		
BNTI 3	1,61	1	0,305	6	6	6	7	72	70	71	68	12,0	11,3	11,6	10,6	32,865	20,085	13,856	24,444	-1,648	-0,325	-1,281	-0,235
BNTI 4	2,11	1	0,305	17	25			59	53	S	S 11	7,7	6,0			79,657	72,639	76,464	51,954	0,782	-1,281	7,487	41,542
BNTI 5	1,61	0,8	0,335	3	3	5	8	79	75	66	54	14,6	13,1	9,9	6,3	9,406	14,936	17,081	15,520	0,476	-0,421	0,024	3,706
BNTI 6	2,11	0,8	0,335	4	10			67	57	S 20	S 7,5	10,2	7,1			22,013	33,076	37,482		-0,016	0,810	8,785	
BNTI 7	1,61	1	0,335	4	4	3	4	73	73	72	71	12,3	12,3	12,0	11,6	7,959	9,414	9,798	10,283	0,324	0,114	0,040	0,216
BNTI 8	2,11	1	0,335	4	6	12		75	70	56	46	13,1	11,3	6,8	4,3	16,393	20,172	22,701	28,637	0,028	0,009	3,881	3,523
BNTI 9	1,32	0,90	0,32	3	3	3	3	77	76	74	74	13,8	13,4	12,7	12,7	8,637	6,114	5,537	8,061	0,323	0,430	0,441	0,434
BNTI 10	2,4	0,90	0,32	12				59	48	S 9		7,7	4,8			36,282	43,869	30,624		1,021	4,235	21,175	
BNTI 11	1,86	0,70	0,32	6				68	S 21	S 7	S 4	10,6				34,444	42,254			-0,235	9,793		
BNTI 12	1,86	1,10	0,32	5	5	5	5	74	73	74	73	12,7	12,3	12,7	12,3	13,298	11,447	16,747	14,161	-0,076	0,052	-0,797	0,048
BNTI 13	1,86	0,90	0,29	10	13			65	60	S 21	S 3,5	9,6	8,0			59,163	74,012	69,312		-1,692	-1,848	12,604	
BNTI 14	1,86	0,90	0,35	3	4	4	5	76	74	73	70	13,4	12,7	12,3	11,3	6,506	7,863	9,704	9,018	-0,106	-0,007	0,068	1,031
BNTI 15	1,86	0,9	0,32	5	6	8	12	70	66	67	54	11,3	9,9	10,2	6,3	19,793	20,859	20,956	27,833	0,461	0,506	2,237	2,342
BNTI 16	1,86	0,9	0,32	5	6	8	15	70	65	63	52	11,3	9,6	8,9	5,8	23,187	22,218	28,332	33,587	-0,083	0,063	-0,006	2,718
BNTI 17	1,86	0,9	0,32	5	6	10		69	66	62	49	10,9	9,9	8,6	5,0	27,818	28,790	30,839	33,858	-0,534	-0,762	-0,048	3,078

Tablo D.13 Beton (N Çimentosu, Silis Dumani, I Katkısı) Deney Sonuçları

BNMI	T ₅₀₀ (sn)				Toplam Yayılma (mm)				Yayılma Alanı Oranı				η (Dönüş)				τ ₀ (Dönüş)			
	K/B	SA/B	W/B		6'	30'	60'	90'	6'	30'	60'	90'	6	30	60	90	6	30	60	90
BNMI 1	1,61	1	0,305		72	62	50	45	12,0	8,6	5,3	4,1	5,537	8,438	9,024	9,516	0,741	1,323	3,309	3,523
BNMI 2	2,11	1	0,305		50	S 17,5	S 11	S 6,5	5,3				13,014		18,038		3,248		13,521	
BNMI 3	1,61	1,2	0,305		71	69	66	64	11,6	10,9	9,9	9,2	7,663	9,608	10,179	10,767	0,492	0,636	1,547	0,793
BNMI 4	2,11	1,2	0,305		66	56	52	42	9,9	6,8	5,8	3,4	14,259	16,005	14,355	14,853	0,739	1,383	3,571	4,664
BNMI 5	1,61	1	0,335		74	70	66	56	12,7	11,3	9,9	6,8	4,565	5,032	6,696	7,181	0,169	0,513	0,698	1,775
BNMI 6	2,11	1	0,335		65	50	40	S 18,5	9,6	5,3	3,0		11,155	10,771	11,743	11,736	0,838	2,512	4,984	8,146
BNMI 7	1,61	1,2	0,335		76	74	74	71	13,4	12,7	12,7	11,6	3,500	3,361	4,176	4,230	0,084	0,397	0,324	0,652
BNMI 8	2,11	1,2	0,335		65	61	53	46	9,6	8,3	6,0	4,3	7,757	7,963	8,244	8,336	0,964	1,045	1,500	3,014
BNMI 9	1,32	1,10	0,32		80	77	73	66	15,0	13,8	12,3	9,9	2,910	3,206	4,176	4,361	0,079	0,011	0,224	0,350
BNMI 10	2,4	1,10	0,32		53	S 21	S 14	S 8	6,0				13,189	15,522	15,613		3,476	6,766	14,119	
BNMI 11	1,86	0,90	0,32		57	45	37	S 18	7,1	4,1	2,4		8,739	9,710	9,323	10,784	1,533	3,146	6,160	9,028
BNMI 12	1,86	1,30	0,32		73	68	66	60	12,3	10,6	9,9	8,0	6,700	7,574	8,449	8,737	0,317	0,498	0,579	1,074
BNMI 13	1,86	1,10	0,29		59	58	47	37	7,7	7,4	4,5	2,4	9,602	15,729	14,455	16,393	1,042	1,804	3,321	6,628
BNMI 14	1,86	1,10	0,35		75	71	62	54	13,1	11,6	8,6	6,3	4,657	5,722	5,918	7,081	0,282	0,366	0,948	1,424
BNMI 15	1,86	1,1	0,32		70	66	61	54	11,3	9,9	8,3	6,3	10,381	9,214	9,700	10,865	1,007	0,913	1,949	2,184
BNMI 16	1,86	1,1	0,32		70	64	57	52	11,3	9,2	7,1	5,8	7,277	8,057	7,569	9,612	0,506	0,715	1,520	2,455
BNMI 17	1,86	1,1	0,32		69	62	50	45	10,9	8,6	5,3	4,1	7,767	9,993	12,328	11,939	0,561	0,962	2,111	3,466

Not : Tablo D11, 12, 13'de S harfi, Slump'ı ifade etmektedir.

Tablo E.1 Çimento Hamurlarında Yapılan Deneylerde Dönüş Eğrisi Kullanılarak Yapılan Echip Değerlendirme Sonuçları

	0t ₁₀	30t ₁₀	60t ₁₀	90t ₁₀	0D	30D	60D	90D	V0	V30	V60	V90	KE0	KE30	KE60	KE90
MA/B	CNOI	-1		-1		2	3	2	-3	-3	-2	-3				
MA/B	CNTI								2	2	2	1				
MA/B	CNMI	1			-3	-2	-2	-2					1	1	2	1
SP/B	CNOI						2									
SP/B	CNTI															
SP/B	CNMI															
W/B	CNOI			-1					-2	-1	-1	-2				
W/B	CNTI	-1	-1	-1	1											
W/B	CNMI	-3	-3	-2	-3			1	-3	-3	-3	-3	-1			

Tablo E.2 Çimento Hamurlarında Yapılan Deneylerde Gidiş Eğrisi Kullanılarak Yapılan Echip Değerlendirme Sonuçları

	0t ₁₀	30t ₁₀	60t ₁₀	90t ₁₀	0D	30D	60D	90D	V0	V30	V60	V90	KE0	KE30	KE60	KE90
MA/B	CNOI	1		1		2	3	2	2	3	3	3				
MA/B	CNTI								2	1	1	1				
MA/B	CNMI	1			3	2	2	2		3	1	1	1	1	2	1
SP/B	CNOI						2									
SP/B	CNTI															
SP/B	CNMI															
W/B	CNOI			1					1	2	2	1				
W/B	CNTI	1	1	1	1											
W/B	CNMI	3	3	2	3			1	3	3	3	3	1			

Not: Tablo E.2 Etkinin yönü açısından değerlendirilmemiştir.

Tablo E.3 Harç Deneylerinde Dönüş Eğrisi Kullanılarak Yapılan Echip Değerlendirme Sonuçları

	$0t_{20}$	$30t_{20}$	$60t_{20}$	$90t_{20}$	OD	30D	60D	90D	V0	V30	V60	V90	KE0	KE30	KE60	KE90
MA/B	HNOI	-2	-3	-3	2	3	3	3	-2	-1		-1	-2	-3	-3	-2
MA/B	HNTI		1	2	2	1	2	3	3	3	2	3				
MA/B	HNMI				-3	-3	-2	-2					3	1	2	1
MA/B	HAOI	-3	-3	-3	3	3	3	3					-3	-2	-2	-1
MA/B	HATI		2	1					3	2	3	2	1		1	1
MA/B	HAMI				-1	-2	-2	-2						1	1	1
MA/B	HNOII	-3	-3	-3	2	2	3	3	-2	-3	-3	-3		-2	-2	
S/B	HNOI	1	1	2		-1	-1	-1	2	2		2			1	
S/B	HNTI	1	3	3	3	2	3	3	3	2	1	2		1	1	
S/B	HNMI	3	3	3	-3	-3	-3	-3	3	3	2	3	1		1	1
S/B	HAOI	3	2	3	-3	-2	3	-3	1				2	1		
S/B	HATI	2	1	3	3	-1	-3	-3					2	1	1	
S/B	HAMI	2	2	2	-2	-3	-3	-3	2	1	2	2	1	2	2	1
S/B	HNOII	2	1	3		-1	-3	-2	1	2	2	1		3		1
W/B	HNOI		-1	-2			1		-3	-3		-3		-1	-1	
W/B	HNTI	-2	-3	-3	-1	-1	-1	-1	-3	-3	-2	-3		-2	-1	
W/B	HNMI	-3	-1	-1	2	1	1	2	-3	-3	-3	-3	2	1	2	2
W/B	HAOI	-3	-2	-2	2		1	1	-2				-1	-1	-1	-1
W/B	HATI	-1	3	3										-1	-2	-1
W/B	HAMI	-1	2	2	1	3	2	3	-3	-3	-3	-3	-1	-3	-3	-1
W/B	HNOII	2	2	-3	-1		1	2	2	-3	-3	-3		-3	-1	-1

Tablo E.4 Harç Deneylerinde Gidiş Eğrisi Kullanılarak Yapılan Echip Değerlendirme Sonuçları

		$0t_{20}$	$30t_{20}$	$60t_{20}$	$90t_{20}$	0D	30D	60D	90D	V0	V30	V60	V90	KE0	KE30	KE60	KE90
MA/B	HNOI	2	3	3	3	2	3	3	3		1	1	2	2	3	3	2
MA/B	HNTI		1	1	2	2	1	2	3	3	3	2	3				
MA/B	HNMI					3	3	2	2	2	2	1	2	3	1	2	1
MA/B	HAOI	3	3	3	3	3	3	3	3					3	2	2	1
MA/B	HATI			2	1					3	3	3	3	1		1	1
MA/B	HAMI					1	2	2	2						1	1	1
MA/B	HNOII	3	3	3	3	2	2	3	3	2	3	3	3		2	2	
S/B	HNOI	1	1	2	2			1	1	2	2	1	1			1	
S/B	HNTI	1	3	3	3	3	2	3	3	3	2	1	2		1	1	
S/B	HNMI	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1		1	1
S/B	HAOI	3	2	3	3	3	2	3	3					2	1		
S/B	HATI	2	1	3	3	3	1	3	3					2	1	1	
S/B	HAMI	2	2	2	2	2	3	3	3	2	2	2	2	1	2	2	1
S/B	HNOII	2	1	3			1	3	2		2	2	1		3		1
W/B	HNOI		1	2	2			1		3	3	2	3		1	1	
W/B	HNTI	2	3	3	3	1	1	1	1	3	3	2	3		2	1	
W/B	HNMI	3	1	1	1	2	1	1	2	3	3	3	3	2	1	2	2
W/B	HAOI	3	2	3	2	2	1	1	1	2	1		1	1	1	1	1
W/B	HATI	1		3											1	2	1
W/B	HAMI	1	2	2	2	1	3	2	3	3	3	3	3	1	3	3	3
W/B	HNOII	2	2	3	1			1	2	2	3	3	3		3	1	1

Not: Tablo E.4 Elkinin yönü açısından değerlendirilmiştir.

Tablo E.5 Beton Deneylerinde Dönüş Eğrisi Kullanılarak Yapılan Echip Değerlendirme Sonuçları

	$0t_{e0}$	$30t_{e0}$	$60t_{e0}$	$90t_{e0}$	0D	30D	60D	90D	V0	V30	V60	V90	KE0	KE30	KE60	KE90
S/B																
BNOI	3	2	1		-2	-2	-2	-2	2	2	2	1		1	1	1
BNTI	3	2	3	3	-3	-3	-3	-3	2	2	2	3		2	3	3
BNI	2	3	3	3	-3	-3	-3	-3	3	3	3	3	2	3	3	3
SP/B																
BNOI																
BNTI		-1	-3	-2		3	2	2		-1	-3			-1	-2	-2
BNI		-3	-3	-2	2	3	3	3		-1			-1	-2	-2	-3
W/B																
BNOI	-2	-2	-1		1	1	1	2	-3	-3	-3	-2		-1	-1	-1
BNTI	-3	-1	-2	-2	3	2	2	2	-3	-3	-2	-3		-1	-1	-2
BNI	-1	-2	-2	-2	2	3	2	2	-3	-3	-3	-2		-1	-1	-2

Tablo F.1. CNOI için İstatistikler

	Zaman (dak.)	Terim	Katsayılar	p	R ²
Yayılma Hızı	6	MA/ B	-0,02677	0,0477	0,789
	60	W/B	-39,0308	0,0219	
	90	MA/B	-0,04000	0,0310	
Yayılma Alan Oranı	30	MA/ B	0,16719	0,0067	0,900
		MA/B*SP/B	-1,19374	0,0177	
	60	MA/ B	0,11673	0,0010	0,960
		SP / B	10,51030	0,0062	
		MA/B*SP/B	-0,68606	0,0084	
	90	MA/ B	0,13298	0,0077	0,913
Viskozite (beton için rölatif tork)	6	MA/ B	-0,00671	0,0002	0,985
		W / B	-4,51317	0,0011	
		MA/B*MA/B	0,00019	0,0001	
	30	MA / B	-0,00904	0,0006	0,969
		W / B	-3,68138	0,0320	
		MA/B*MA/B	0,00023	0,0006	
	60	MA/ B	-0,00824	0,0019	0,957
		W / B	-4,24646	0,0296	
		MA/B*MA/B	-0,000195	0,0029	
	90	MA/ B	-0,00824	0,0001	0,985
		W / B	-5,18082	0,0011	
		MA/B*MA/B	0,00018	0,0003	
Akma Torku	30	MA/B*MA/B	-0,00043	0,0311	0,665
	60	MA/B*MA/B	-0,00556	0,0236	0,736

Tablo F.2. CNTI için İstatistikler

	Zaman (dak.)	Terim	Katsayılar	p	R ²
Yayılma Hızı	6	W/ B	-332,356	0,0286	0,930
		W/B*W/B	9647,61	0,0007	
	30	W/ B	-322,681	0,0290	0,934
		W/B*W/B	9140,53	0,0008	
	60	W/ B	-330,187	0,0327	0,929
		W/B*W/B	9563,07	0,0008	
	90	W/ B	-327,653	0,0320	0,935
Yayılma Alan Oranı	6	W/B	142,561	0,0323	0,871
		W/B*W/B	9689,44	0,0007	
	30	W/B	142,561	0,0323	0,871
		W/B*W/B	9689,44	0,0007	
	60	W/B	142,561	0,0323	0,871
		W/B*W/B	9689,44	0,0007	
	90	W/B	142,561	0,0323	0,871
Viskozite (beton için rölatif tork)	6	MA/ B	0,02050	0,0077	0,900
	30	MA/ B	0,02137	0,0087	0,885
	60	MA/ B	0,02399	0,0038	0,898
	90	MA/ B	0,02437	0,0148	0,991
Akma Torku	60	MA/B*W/B	-125,026	0,0301	0,758
	90	MA/B*W/B	-132,64	0,0290	0,770

Tablo F.3. CNMI için İstatistikler

	Zaman (dak.)	Terim	Katsayılar	p	R ²
Yayılma Hızı	6	MA/ B	0,30363	0,0385	0,953
		W/B	-181,139	0,0004	
		W/B *W/ B	3352,49	0,0015	
	30	W/B	-233,504	0,0002	0,966
		W/B *W/ B	4471,1	0,0005	
	60	W/ B	-232,76	0,0070	0,923
		MA/ B*SP/B	-10,6112	0,0342	
		W/B*W/B	5578	0,0053	
	90	W/ B	-297,979	0,0008	0,959
		MA/ B*SP/B	-8,84912	0,0387	
		W/B*W/B	8086,74	0,0003	
Yayılma Alan Oranı	6	MA/B	-0,70806	0,0008	0,870
	30	MA/ B	-0,470769	0,0038	0,850
	60	MA/ B	-0,416237	0,0045	0,908
		MA/ B*SP/B	6,5804	0,0048	
	90	MA/ B	-0,319056	0,0098	0,919
		W/B	62,6014	0,0258	
		MA/ B*SP/B	5,413	0,0075	
		MA/B*MA/B	-0,08488	0,0117	
		SP/B*SP/B	-72,2367	0,0109	
		W/B*W/B	-1641,83	0,0139	
Viskozite (beton için rölatif tork)	6	W/B	-22,8323	0,0002	0,942
		W/B*W/B	367,217	0,0016	
	30	W/B	-27,1286	0,0009	0,926
		W/B*W/B	567,276	0,0014	
	60	W/B	-25,6792	0,0003	0,946
		W/B*W/B	491,76	0,0007	
	90	W/B	-23,4559	0,0003	0,948
		W/B*W/B	452,821	0,0007	
Akma Torku	6	MA/B	1,49494	0,0362	0,755
		W/B	-406,585	0,0239	
	30	MA/B	1,66891	0,0298	0,775
	60	MA/B	1,65764	0,0058	0,837
		MA/B*SP/B	-20,0595	0,0213	
	90	MA/B	1,51397	0,0186	0,759
		MA/B*SP/B	-19,6399	0,0432	

Tablo F.4. HNOI için İstatistikler

	Zaman (dak.)	Terim	Katsayılar	p	R ²
Yayılma Hızı	6	MA / B	-0,04676	0,0015	0,917
		S / B	2,66603	0,0419	
	30	MA / B	-0,142184	0,0000	0,968
		S / B	4,68096	0,0268	
		W / B	-68,6823	0,0296	
		MA/B*MA/B	0,003916	0,0009	
		W/B * W/B	1153,9	0,0097	
	60	MA / B	-0,137201	0,0000	0,980
		S / B	7,34909	0,011	
		W / B	-94,1173	0,0026	
		MA/B*MA/B	0,002836	0,0018	
		S/B * S/B	9,02449	0,0044	
		W/B * W/B	1190,95	0,0030	
	90	MA / B	-0,182623	0,0000	0,974
		S / B	8,6829	0,0042	
		W / B	-120,674	0,0063	
		MA/B*MA/B	0,00455	0,0013	
		S/B * S/B	15,6147	0,0022	
		W/B * W/B	1755	0,0035	
Yayılma Alanı Oranı	6	MA / B	0,10277	0,0018	0,858
	30	MA / B	0,10802	0,0001	0,948
		S / B	-4,2205	0,0361	
	60	MA / B	0,09424	0,0002	0,952
		S / B	-4,8946	0,0140	
		W / B	68,7397	0,0190	
	90	MA / B	0,11150	0,0001	0,960
		S/B	-5,25628	0,0103	
Viskozite (beton için rölatif tork)	6	MA / B	-0,02505	0,0034	0,977
		S / B	2,40874	0,0086	
		W / B	-64,6539	0,0004	
		MA/B*MA/B	748,255	0,0007	
	30	MA / B	-0,02613	0,0108	0,971
		S / B	3,82138	0,003	
		W / B	-87,1298	0,0003	
		MA/B*W/B	3,17782	0,0428	
		W/B*W/B	531,528	0,0173	
	90	MA / B	-0,03019	0,0107	0,986
		S / B	4,77419	0,0021	
		W / B	-125,133	0,0001	
		S/B*W/B	-277,633	0,0147	
		MA/B*MA/B	-0,00117	0,0294	
		W/B*W/B	1530,8	0,0001	
Akma Torku	6	MA / B	-1,83956	0,0041	0,842
	30	MA / B	-2,36887	0,0007	0,922
		W / B	-1790,64	0,0420	
	60	MA / B	-2,68519	0,0007	0,931
		S / B	130,659	0,0460	
		W / B	1971,9	0,0456	
	90	MA / B	-2,50761	0,0018	0,905

Tablo F.5. HNTI için İstatistikler

	Zaman (dak.)	Terim	Katsayılar	p	R ²
Yayılma Hızı	6	S/ B	0,901761	0,0308	0,982
		W/B	-20,7519	0,0044	
		W/B * W/B	551,602	0,0001	
	30	MA/B	0,010300	0,0168	0,993
		S/ B	3,02471	0,0001	
		W/B	-54,8494	0,0000	
		S/B*S/B	2,97986	0,0017	
		W/B*W/B	907,605	0,0000	
	60	MA/B	0,0170045	0,0147	0,986
		S/B	3,7557	0,0005	
		W/B	-50,2806	0,0009	
		S/B * W/B	-145,357	0,0270	
		S/B * S/B	4,72205	0,0018	
		W/B*W/B	977,436	0,0001	
	90	MA/ B	0,017963	0,0070	0,992
		S/B	5,3198	0,0000	
		W/B	-57,7426	0,0002	
		S/B	-166,378	0,0094	
		S/B * S/B	6,13535	0,0002	
		W/B*W/B	1048,44	0,0000	
Yayılma Alan Oranı	6	MA/B	0,009664	0,0006	0,993
		S/B	1,47940	0,0001	
		W/B	-33,2990	0,0000	
		W/B*W/B	301,5760	0,0001	
	30	MA/B	0,190364	0,0000	0,993
		S/B	2,08990	0,0010	
		W/B	-42,5653	0,0000	
		W/B*W/B	416,644	0,0001	
	60	MA/B	0,0197317	0,0011	0,975
		S/B	2,14295	0,0015	
		W/B	-41,2439	0,0004	
		W/B*W/B	244,99	0,0220	
	90	MA/B	0,02547	0,0035	0,945
		S/B	2,24520	0,0133	
		W/B	-38,9067	0,0068	
Viskozite (beton için rölatif tork)	6	MA/B	0,0128145	0,0007	0,992
		S/B	1,63111	0,0004	
		W/B	-37,7087	0,0000	
		W/B*W/B	525,207	0,0000	
	30	MA/B	0,217351	0,0004	0,983
		S/B	2,07045	0,0013	
		W/B	-42,0675	0,0002	
		W/B*W/B	292,601	0,0071	
	60	MA/B	0,0219809	0,0015	0,967
		S/B	1,67526	0,0130	
		W/B	-26,8938	0,0096	
	90	MA/B	0,024291	0,0002	0,980
		S/B	1,72883	0,0034	
		W/B	-38,2531	0,0004	
Akma Torku	6	W/B*W/B	10288,2	0,0162	0,922
	30	S/B	40,0469	0,0114	0,972
		W/B	-762,897	0,0035	
		W/B*W/B	7256,33	0,0160	
	60	S/B	44,1266	0,0243	0,971
		W/B	-784,839	0,0117	
		W/B*W/B	13550,5	0,0028	
	90	W/B*W/B	12754,7	0,0514	0,927

Tablo F.6. HAOI için İstatistikler

	Zaman (dak.)	Terim	Katsayılar	p	R ²
Yayılma Hızı	6	MA/ B	-0,097745	0,0000	0,996
		S / B	3,85243	0,0000	
		W/ B	-37,7117	0,0005	
		MA/B*S/B	-0,158937	0,0053	
		MA/B*W/B	1,86608	0,0188	
		S/B *W/B	-100,408	0,0261	
		MA/B*MA/B	0,00330149	0,0000	
		S/B*S*B	3,28097	0,0017	
		W/B *W/B	556,084	0,003	
	30	MA/ B	-0,112147	0,0000	0,985
		S / B	4,78359	0,0012	
		W / B	-51,2518	0,0074	
		MA/B*MA/B	0,00403909	0,0000	
		S/B*S*B	6,77407	0,0023	
	60	MA/ B	-0,140634	0,0000	0,995
		S / B	4,51652	0,0002	
		W / B	-68,0754	0,0002	
		MA/B* W/B	2,30516	0,0465	
		MA/B*MA/B	0,00458281	0,0000	
	90	S/B*S*B	7,81095	0,0001	0,992
		W/B * W/B	1030,42	0,0001	
		MA/ B	-0,193069	0,0000	
		S / B	7,88731	0,0002	
		W / B	-88,1646	0,0013	
		MA/B*K/B	-0,284003	0,0332	
		MA/B*W/B	4,17124	0,0397	
		MA/B*MA/B	0,00596714	0,0000	
Yayılma Alanı Oranı	6	S/B*S*B	10,3093	0,0007	0,983
		W/B * W/B	1075,26	0,0018	
		MA/ B	0,114092	0,0000	
		S / B	-10,8421	0,0001	
	30	W / B	87,2873	0,0040	0,956
		MA/B*MA/B	-0,00372619	0,0004	
		MA/ B	0,0950388	0,0002	
		S / B	-6,61972	0,0041	
	60	MA/B*MA/B	-0,00319433	0,0021	0,976
		MA/ B	0,0951384	0,0000	
		S / B	-6,32847	0,0008	
		W / B	40,9272	0,0480	
		MA/B*MA/B	-0,00269054	0,0008	
	90	W/B * W/B	-532,288	0,0477	0,972
		MA/ B	0,0948948	0,0001	
		S / B	-8,35778	0,0004	
		W / B	52,7176	0,0322	
		MA/B*MA/B	-0,00254403	0,0026	
Viskozite	6	S / B	1,06012	0,0470	0,940
		W / B	-24,4488	0,0078	
	30	S/B*S*B	-1,75702	0,0461	0,940
		W/B * W/B	-360,344	0,0050	
	60	S/B*S*B	-2,29506	0,0400	0,904
		W/B * W/B	-435,583	0,0060	
	90	W/B * W/B	-437,865	0,0275	0,822
		W/B * W/B	-437,865	0,0275	
Akma Torku	6	MA/ B	-1,14555	0,0008	0,945
		S / B	83,642	0,0092	
		W / B	-1187,26	0,0121	
		MA/B*MA/B	0,0247129	0,0425	
		W/B * W/B	12055,9	0,0340	
	30	MA/ B	-1,01619	0,0051	0,923
		S / B	76,4072	0,0349	
		W / B	-1132,46	0,0369	
	60	MA/ B	-1,04217	0,0085	0,909
		W / B	-1437,99	0,0239	
	90	MA/ B	-0,985796	0,0167	0,912
		W / B	-1493,57	0,0296	

Tablo F.7. HATI için İstatistikler

	Zaman (dak.)	Terim	Katsayılar	p	R ²
Yayılma Hızı	6	S / B	3,39959	0,0016	0,979
		W / B	-32,5321	0,0155	
		MA/B * W/B	-2,62074	0,0339	
		S / B * S / B	3,2212	0,0204	
		W/B * W/B	1028,56	0,0001	
	30	S / B	2,89994	0,0333	0,950
		W/B * W/B	761,282	0,0094	
	60	MA/ B	0,0234158	0,0019	0,993
		S / B	5,05996	0,0000	
		W / B	-50,2131	0,0006	
		MA/B * W/B	-2,45609	0,0201	
		S / B * S / B	3,33516	0,0071	
		W/B * W/B	1188	0,0000	
	90	MA/ B	0,0303193	0,0225	0,964
		S / B	7,14459	0,0006	
		MA/B * S/B	-0,343563	0,0199	
		MA/B * W/B	-4,32217	0,0439	
		W/B * W/B	907,339	0,0062	
Yayılma Alanı Oranı	6	S / B	-8,71825	0,0001	0,971
		MA/B * S/B	0,230228	0,0496	
	30	S / B	-6,04217	0,0158	0,891
	60	S / B	-5,43233	0,0006	0,957
		S / B * W / B	226,176	0,0232	
		MA/B * MA/B	-0,00140299	0,0087	
	90	S / B	-7,50963	0,0004	0,928
		MA/B * S/B	0,30021	0,0352	
Viskozite	6	MA/B	0,0247311	0,0010	0,917
	30	MA/B	0,0247604	0,0021	0,881
	60	MA/B	0,0263297	0,0009	0,913
	90	MA/B	0,0224558	0,0079	0,901
Akma Torku	6	MA/B	0,486879	0,0150	0,961
		S / B	72,931	0,0043	
		W / B * W / B	11233,3	0,0136	
	30	S / B	55,5106	0,0234	0,946
		W / B	-734,389	0,0388	
	60	MA/B	0,424259	0,0301	0,962
		S / B	47,2549	0,0346	
		W / B	-1234,55	0,0027	
		S / B * S / B	-70,1552	0,0445	
	90	W / B	-1623,22	0,0203	0,879

Tablo F.8. BNOI için İstatistikler

	Zaman (dak.)	Terim	Katsayılar	p	R ²
Yayılma Alan Oranı	6	S / B	-7,42172	0,0014	0,888
		W / B	56,7695	0,0307	
	30	S / B	-8,85109	0,0069	0,881
		W / B	109,746	0,0138	
		SP/B*W/B	-985	0,0974	
	60	S / B	-11,382	0,0074	0,849
		W / B	128,893	0,0218	
	90	S / B	-11,5035	0,0012	0,916
		W / B	120,378	0,0068	
		S/B*SP/B	-73,4	0,0402	
		SP/B*W/B	-1446,67	0,0208	
Viskozite (beton için rölatif tork)	6	S / B	28,1951	0,0033	0,953
		W / B	-760,438	0,0001	
		S/B*W/B	-1741,21	0,0183	
		SP/B*W/B	3483,73	0,0442	
		W/B*W/B	14076,5	0,0150	
	30	S / B	26,5004	0,0079	0,914
		W / B	-594,412	0,0007	
		S/B*W/B	-1451,95	0,0562	
	60	S / B	44,6094	0,0017	0,949
		W / B	-862,569	0,0003	
		S/B*W/B	-2248,08	0,0254	
		SP/B*W/B	5094,37	0,0373	
		S/B*S/B	68,855	0,0343	
	90	W/B*W/B	16529,2	0,0309	0,882
		S / B	48,6076	0,0191	
		W / B	-916,92	0,0053	
		S/B*W/B	-2927,02	0,0771	
Akma Torku	6	S/B*W/B	-217,703	0,0045	0,853
	30	S / B	14,1857	0,0189	0,906
		W / B	-222,884	0,0128	
		S/B*W/B	-1060,16	0,0367	
		S/B*S/B	40,387	0,0208	
		W/B*W/B	8358,39	0,0339	
	60	S / B	20,3054	0,0247	0,877
		W / B	-246,397	0,0471	
	90	S/B*S/B	56,411	0,0298	0,864
		S / B	26,2606	0,0252	
		W / B	-371,234	0,0269	

Tablo F.9. BNMI için İstatistikler

	Zaman (dak.)	Terim	Katsayılar	p	R ²
Yayılma Alan Oranı	6	S / B	-8,03794	0,0001	0,939
		SP / B	9,64375	0,0067	
		W / B	71,95830	0,0038	
	30	S / B	-10,89630	0,0000	0,990
		SP / B	15,85620	0,0000	
		W / B	76,12500	0,0001	
		S/B*SP/B	24,55000	0,0150	
		S/B*S/B	-4,55182	0,0313	
		SP/B*SP/B	49,7033	0,0050	
	60	S / B	-11,02790	0,0000	0,977
		SP / B	19,12500	0,0000	
		W / B	76,33330	0,0010	
	90	S / B	-10,19030	0,0000	0,975
		SP / B	18,68120	0,0000	
		W / B	62,54170	0,0028	
Viskozite (beton için rölatif tork)	6	S / B	10,87600	0,0000	0,961
		W / B	-97,44580	0,0007	
		SP/B*W/B	-652,783	0,0287	
	30	S / B	-11,74860	0,0000	0,989
		SP / B	-4,73381	0,0260	
		W / B	-178,91100	0,0000	
		S/B*W/B	-120,58300	0,0990	
		SP/B*W/B	-471,17500	0,0208	
	60	S / B	10,84920	0,0003	0,922
		W / B	-157,54600	0,0008	
	90	S / B	16,75130	0,0002	0,927
		W / B	-196,15900	0,0019	
Akma Torku	6	S / B	2,68690	0,0012	0,880
		SP / B	-3,21862	0,0476	
		S/B*S/B	4,56897	0,0298	
	30	S / B	5,69159	0,0002	0,936
		SP / B	-8,86735	0,0045	
		W / B	-40,62580	0,0253	
		S/B*SP/B	-36,41100	0,0202	
		SP/B*W/B	476,78300	0,0511	
		S/B*S/B	8,73180	0,0142	
	60	S / B	10,96560	0,0001	0,946
		SP / B	-16,58290	0,0028	
		W / B	-79,11630	0,0148	
		S/B*SP/B	-57,49050	0,0285	
		S/B*S/B	19,24910	0,0042	
	90	S / B	16,50760	0,0000	0,967
		SP / B	-25,14410	0,0005	
		W / B	-107,50400	0,0063	
		S/B*SP/B	-83,08050	0,0100	
		S/B*W/B	-387,13000	0,0443	
		SP/B*W/B	984,29100	0,0417	
		S/B*S/B	25,59410	0,0018	

Tablo G.2. Çim. Pastası (N Çimentosu, T U. Külü ve I Katkısı) İçin İstatistik Programı Analiz Sonuçları

[illegible][illegible]

Tablo G.4. Harç (N Çimentosu, O U. Külü ve I Katkısı) İçin İstatistik P
Analiz Sonuçları

PROJECT NAME: H N O SK2E.ECP
Created: Sun Mar 16 13:56:21 2003
Summary results

```

0t10
. 30t10
. . 60t10
. . . 90t10
. . . . 0D
. . . . . 30D
. . . . . 60D
. . . . . 90D
. . . . . V0
. . . . . V30
. . . . . V60
. . . . . V90
. . . . . KE0
. . . . . KE30
. . . . . KE60
. . . . . KE90

```

! a□ □

Tablo G.4. Harç (N Çimentosu, O U. Külü ve I Katkısı) İçin İstatistik P
Analiz Sonuçları

PROJECT NAME: H N O SK2E.ECP
Created: Sun Mar 16 13:56:21 2003
Summary results

```

0t20
. 30t20
. . 60t20
. . . 90t20
. . . . 0D
. . . . . 30D
. . . . . 60D
. . . . . 90D
. . . . . V0
. . . . . V30
. . . . . V60
. . . . . V90
. . . . . KE0
. . . . . KE30
. . . . . KE60
. . . . . KE90

```

1	M/B
2	K/B
3	W/B
4	M/B*K/B
5	M/B*W/B
6	K/B*W/B
7	M/B^2
8	K/B^2
9	W/B^2

PROJECT NAME: H A M SK2E.ECP
Created: Sun Mar 16 14:22:56 2003
Summary results

*** **

□

PROJECT NAME: H N O SK3.2E.ECP
Created: Sun Mar 16 14:42:22 2003
Summary results

LOF

LOF LOF

< 0 0

Tablo G.11. Beton (N Çimentosu, O U. Külü ve I Katkısı) İçin İstatistik Programı Analiz Sonuçları

PROJECT NAME: MDTG B N O A Serisi.ECP

Created: Sun Mar 16 16:19:54 2003

Summary results

```

Ot50
. 30t50
. . 60t50
. . . 90t50
. . . . OD
. . . . . 30D
. . . . . 60D
. . . . . 90D
. . . . . M1G
. . . . . M7G
. . . . . V0
. . . . . V30
. . . . . V60
. . . . . V90
. . . . . KE0
. . . . . KE30
. . . . . KE60
. . . . . KE90
-----
*** ** * . ** ** ** ** . ** ** ** * . * * * * 1 K/
** ** * . * * * * ** * . *** ** ** ** . * * * * 2 SA
. * * * . . . . . * . . . . . . . . . . . . 3 W/
. * * * . . . . . * . . . . . . . . . . . . 4 K/
. * * * . . . . . * . . . . . . . . . . . . 5 K/
. * * * . . . . . * . . . . . . . . . . . . 6 SA
. * * * . . . . . * . . . . . . . . . . . . 7 K/
. * * * . . . . . * . . . . . . . . . . . . 8 SA
. * * * . . . . . * . . . . . . . . . . . . 9 W/
LOF LOF LOF LOF LOF

```

Tablo G.12. Beton (N Çimentosu, T U. Külü. Kül ve I Katkısı) İçin İstatistik Programı Analiz Sonuçları

PROJECT NAME: MDTG B N T C Serisi.ECP

Created: Sun Mar 16 16:26:17 2003

Summary results

```

Ot50
. 30t50
. . 60t50
. . . 90t50
. . . . OD
. . . . . 30D
. . . . . 60D
. . . . . 90D
. . . . . M1G
. . . . . M7G
. . . . . V0
. . . . . V30
. . . . . V60
. . . . . V90
. . . . . KE0
. . . . . KE30
. . . . . KE60
. . . . . KE90
-----
*** ** *** ** ** ** ** ** ** . ** ** ** * . * * * * 1 K/
* * * * * ** ** ** * . * * * * 2 SA
*** * * * * ** ** ** * . * * * * 3 W/
. * * * . . . . . * . . . . . . . . . . . . 4 K/
** * . . . * . . . . . . . . . . . . . . . . 5 K/
. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 6 SA
. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 7 K/
. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 8 SA
. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 9 W/
LOF LOF LOF LOF LOF LOF LOF LOF LOF

```

Tablo G.14. Çim. Pastası (N Çimentosu, O U. Külü ve I Katkısı) M Gidiş,
İçin İstatistik Programı Analiz Sonuçları

PROJECT NAME: METG C N O SK2E.ECP
Created: Sun Mar 16 19:48:13 2003

[illegible]

```
PROJECT NAME: NETG C N O SK2E.ECP
Created: Sun Mar 16 18:48:13 2003

Summary results

0t10
. 30t10
. . 60t10
. . . 90t10
. . . . 0D
. . . . . 30D
. . . . . 60D
. . . . . 90D
. . . . . V0
. . . . . V30
```

[illegible]

Tablo G.15. Çim. Pastası (N Çimentosu, T U. Külü ve I Katkısı) M Gidiş, T Gidiş İçin İstatistik Programı Analiz Sonuçları

PROJECT NAME: MDTG C N T SK2E.ECP

Created: Sun Mar 16 18:52:36 2003

M_{CTC}

Summary results

```

0t10
.   30t10
.   .   60t10
.   .   .   90t10
.   .   .   .   0D
.   .   .   .   .   30D
.   .   .   .   .   .   60D
.   .   .   .   .   .   .   90D
.   .   .   .   .   .   .   .   V0
.   .   .   .   .   .   .   .   .   V30
.   .   .   .   .   .   .   .   .   .   V60
.   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   V90
.   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   KE0
.   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   KE30
.   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   KE60
.   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   KE90
-----
.   .   .   .   .   .   **   *   *   *   .   .   .   .   .
*   *   *   *   *   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .
.   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .
.   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .
.   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .
*** *** *** *** ***
LOF LOF LOF LOF          LOF LOF          LOF LOF      □
=#□ □

```

- 1 M/B
- 2 SA/B
- 3 W/B
- 4 M/B*SA/B
- 5 M/B*W/B
- 6 SA/B*W/B
- 7 M/B^2
- 8 SA/B^2
- 9 W/B^2

Tablo G.16. Çim. Pastası (N Çimentosu, Silis Dumanı ve I Katkısı) M Gidiş, T Gidiş İçin İstatistik Programı Analiz Sonuçları

PROJECT NAME: MDTG C N M SK2E.ECP

Created: Sun Mar 16 18:53:39 2003

MA 6.76

Summary results

```

0t10
. 30t10
. . 60t10
. . . 90t10
. . . . 0D
. . . . . 30D
. . . . . 60D
. . . . . 90D
. . . . . V0
. . . . . V30
. . . . . V60
. . . . . V90
. . . . . KE0
. . . . . KE30
. . . . . KE60
. . . . . KE90
-----
* . . . *** ** ** ** . *** * * * * *
*** ** ** ** . . . . * *** ** ** ** * . . .
. . . * * . . . ** ** . . . . . * .
. . . . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . . . .
** *** ** *** . . . * * * *** ** * . . .
LOF LOF LOF LOF LOF

```

- 1 M/B
- 2 SA/B
- 3 W/B
- 4 M/B*SA/B
- 5 M/B*W/B
- 6 SA/B*W/B
- 7 M/B²
- 8 SA/B²
- 9 W/B²

```

PROJECT NAME: H N O SK2E.ECP
Created: Sun Mar 16 18:57:04 2003          MAGTC1

Summary results

0t20
. 30t20
. . 60t20
. . . 90t20
. . . . 0D
. . . . . 30D
. . . . . 60D
. . . . . 90D
. . . . . V0
. . . . . V30
. . . . . V60
. . . . . V90
. . . . . KE0
. . . . . KE30
. . . . . KE60
. . . . . KE90
-----
** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** * * ** ** ** ** ** 1 M/B
* * ** ** . * * * ** * * . . * . 2 K/B
. * ** ** . . * * * ** ** ** * * . 3 W/B
. . . . . . . . . . . . . . 4 M/B*K/B
. . . . . . . . . . . . . . 5 M/B*W/B
. . . . . . . . . . . . . . 6 K/B*W/B
. *** ** ** . . . . . . . . 7 M/B^2
. . ** ** . . . . . . . . 8 K/B^2
. * * ** . . . . . . . . 9 W/B^2
LOF LOF LOF LOF

```

```

PROJECT NAME: H N T SK2E.ECP
Created: Sun Mar 16 13:58:53 2003

Summary results

0t20
. 30t20
. . 60t20
. . . 90t20
. . . . 0D
. . . . . 30D
. . . . . 60D
. . . . . 90D
. . . . . V0
. . . . . V30
. . . . . V60
. . . . . V90
. . . . . KE0
. . . . . KE30
. . . . . KE60
. . . . . KE90
-----
. * * ** ** * ** ** ** ** ** ** * * ** . . . . 1 M/B
. * ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** * * ** ** ** ** * * . * * . 2 K/B
** ** ** ** ** * * * * ** ** ** * * ** . ** * . 3 W/B
. . . . . . . . . . . . . . . 4 M/B*K/B
. . . * ** . . . . . . . . . 5 M/B*W/B
. . . . . . . . . . . . . . . 6 K/B*W/B
. . . . . . . . . . . . . . . 7 M/B^2
. ** ** ** . . . . . . . . . 8 K/B^2
*** ** ** ** . . . * ** ** . 9 W/B^2

```


[illegible]

```
PROJECT NAME: H A M SK2E.ECP
Created: Sun Mar 16 19:03:18 2003

Summary results

0t20
.   30t20
.   .   60t20
.   .   .   90t20
.   .   .   .   0D
.   .   .   .   .   30D
.   .   .   .   .   .   60D
.   .   .   .   .   .   .   90D
.   .   .   .   .   .   .   .   V0
.   .   .   .   .   .   .   .   .   V30
.   .   .   .   .   .   .   .   .   .   V60
.   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   V90
.   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   KE0
.   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   KE30
.   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   KE60
.   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   KE90
-----
.   .   .   .   *   **   **   **   .   .   .   .   .   .   .   .   *   *   *   *   1 M/B
.   .   **   **   **   **   ***   ***   ***   ***   .   .   .   .   .   .   .   .   *   *   *   *   2 K/B
.   .   *   **   **   **   *   ***   ***   ***   ***   ***   ***   ***   ***   *   ***   ***   ***   3 W/B
.   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   4 M/B*K/
.   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   5 M/B*W/
.   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   6 K/B*W/
.   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   7 M/B^2
.   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   8 K/B^2
**   **   **   **   .   .   *   *   *   *   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   9 W/B^2
```

Tablo G.23 Harç (N Çimentosu, O U. Külü ve II Katkısı) M Gidiş, T Gidiş İçin İstatistik Programı Analiz Sonuçları

PROJECT NAME: H N O SK3.2E.ECP

Created: Sun Mar 16 19:05:08 2003

Summary results

```

0t20
. 30t20
. 60t20
. 90t20
. 0D
. 30D
. 60D
. 90D
. V0
. V30
. V60
. V90
. KE0
. KE30
. KE60
. KE90
-----
** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** **   ** **   1 M/B
** * ** *   *   *   ** **   2 K/B
** ** ** *   .   .   * **   3 W/B
. . . . .   .   .   .   .   4 M/B*K/B
. . . . .   .   .   .   .   5 M/B*W/B
. . . . .   .   .   .   .   6 K/B*W/B
. * ** * **   *   *   *   .   7 M/B^2
* * * *   .   .   .   .   8 K/B^2
** * ** * **   .   ** **   9 W/B^2
LOF          LOF          LOF LOF
"□ □

```

ÖZGEÇMİŞ

Ali Raif SAĞLAM 1968 yılında Samsun'da doğdu. İlköğrenimini bu kentte tamamladı. 1984 yılında İstanbul Kabataş Erkek Lisesini bitirdi. Aynı yıl girdiği İTÜ İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünden, 1989 yılında inşaat mühendisi olarak mezun oldu. 1991 yılında başladığı İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalına bağlı olan Yapı Mühendisliği bölümündeki yüksek lisans öğrenimini, 1995 yılında tamamladı. Doktora öğrenimine aynı enstitüde 1995 yılında başladı. 1995 – 1996 yılları arasında TİM İnşaat San.Tic.A.Ş.de şantiye şefi olarak çalıştı. 1997 yılından bu yana Sika Yapı Kimyasalları A.Ş.'de Ar-Ge Kalite Kontrol Şefi olarak çalışmaktadır. İyi derecede İngilizce bilmektedir.

