

104215

**YÜKSEK AKIŞKANLIĞA SAHİP BETONLARDA
(KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARDA) BİLEŞİMİN
TAZE VE SERTLEŞMİŞ BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

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

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Mutlu DEMİRTAŞ
501991227**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 11 Haziran 2001
Tezin Savunulduğu Tarih : 25 Haziran 2001**

Tez Danışmanı : Öğr. Gör. Dr. Osman Nuri OKTAR

Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Hulusi ÖZKUL

Prof.Dr. Turan ÖZTURAN (B.Ü.)

HAZİRAN 2001

104215

ÖNSÖZ

Beton dökme işlerinde taze betonun gerektirdiği işlenebilirlik inşaatın tipine, tercih edilen sıkıştırma ve yerleştirme metotlarına, beton dökülecek kalıbın şeklinin karmaşıklığına ve donatıların sıklık derecesine bağlıdır. Bugün pek çok betonarme inşaatta beton dökümü sırasında yerleştirme ve sıkıştırma açısından normal beton kullanımında sorunlar yaşanmakta ve daha akıcı betonlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple günümüzde beton teknolojisindeki en ilginç fikirlerden biri olan yüksek akışkanlığa sahip kendiliğinden yerleşen betonlar geliştirilmiştir. Kendiliğinden yerleşen beton kendi ağırlığı altında hareket ederek uygulandığı her şekildeki yapı kalıbında tüm köşelere ve dar bölgelere yayılarak yerleşmenin ve hareketin zor olduğu yoğun donatılı kısımlarda dahi vibratör gerektirmeden boşlukları doldurabilmektedir. Bununla beraber ayrışma ve terleme göstermemekte, homojen, düzgün yüzeyli, boşluksuz ve durabilitesi yüksek beton oluşumuna imkan vermektedir.

Bu çalışmada yüksek akışkanlığa sahip betonlarda (kendiliğinden yerleşen betonlar) bileşimin taze ve sertleşmiş beton özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla en büyük tane boyutu 16 mm. olmak üzere 4 ayrı granülometride birbirinden farklı toplam 24 parti beton üretilmiştir. Üretilen betonlarda su/çimento oranları 0,26 ile 0,42 arasında değerler almıştır. Bununla beraber betonlarda 50±4 cm. ve 70±5 cm.lik yayılma değerlerine karşı gelen iki ayrı kıvam kullanılmıştır. Bu yayılma değerleri daha önceden Ü. Anıl Doğan'ın yüksek lisans tez çalışması sırasında geliştirilmiş olan yeni yayılma aleti ile ölçülmüştür. Üretilen betonlarda gereken akışkanlık Sika-Deteks Yapı Kimyasalları firmasının ürünü olan ViscoCrete-5 adlı modifiye polikarboksilat sıvı solüsyonu süperakışkanlaştırıcı kullanılarak sağlanmıştır. Bu şekilde üretilen betonlar üzerinde çeşitli taze ve sertleşmiş beton deneyleri yapılmıştır.

Başta yüksek lisans tez çalışmam sırasında ilgi ve yardımlarını gördüğüm sayın hocam Öğr. Gör. Dr. Osman Nuri OKTAR olmak üzere tüm hocalarıma, deneyler sırasında tecrübelerinden faydalandığım arkadaşım İnş. Yük. Müh. Ü. Anıl DOĞAN'a, üretim aşamasında akışkanlaştırıcı katkının temin edilmesinde yardımcı olan Sika-Deteks Beton Laboratuvarı çalışanlarına ve tüm öğrenim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen fedakâr aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım

HAZİRAN 2001

Mutlu DEMİRTAŞ

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Taze Beton Özellikleri	2
1.1.1. Taze Beton Teknolojisinde Kullanılan Özellikler ve Terimler	4
1.1.1.1. İşlenebilirlik ve Kıvam	4
1.1.1.2. Hareketlilik ve Pompalanabilirlik	6
1.1.1.3. Kararlılık, Ayrışma, Terleme	8
1.1.1.4. Yerleşebilirlik (Sıkışabilirlik)	11
1.1.1.5. Perdahlanabilirlik	12
1.1.2. Reolojik Özellikler	13
1.1.2.1. Newton Akışı	14
1.1.2.2. Newton Akışına Uymayan Sıvılar ve Bingham Modeli	16
1.2. Kendiliğinden Yerleşen Betonlar	19
1.2.1. Tipik Kendiliğinden Yerleşen Beton Karışımları	24
1.2.2. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Malzeme Özellikleri	26
1.2.3. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Akıcılık ve İşlenebilirliğinin Ölçümü	27
1.2.3.1. Çökme Deneyi	27
1.2.3.2. Slump Yayılma Deneyi	28
1.2.3.3. K-Çökme Deneyi	29
1.2.3.4. U-Tipi Akma Deneyi	29
1.2.3.5. V-Hunisi Deneyi	30
1.2.3.6. Diğer Yöntemler	31
1.3. Süperakışkanlaştırıcı Katkılar	32
1.3.1. Süperakışkanlaştırıcıların Etki Mekanizması	34
1.3.2. İşlenebilirlik Kaybı	35
1.3.3. Süperakışkanlaştırıcı-Çimento İkilisinin Taze Betonda Uyumları	39
1.3.4. Süperakışkanlaştırıcıların Kimyasal ve Mineral Katkılarla Etkileşimi	40

2. DENEYSEL ÇALIŞMA	42
2.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler	42
2.1.1. Çimento	42
2.1.2. Agregası	42
2.1.3. Akışkanlaştırıcı	43
2.2. Üretilen Beton Karışımları Hakkında Genel Bilgiler	43
2.3. Yapılan Deneyler Hakkında Genel Bilgiler	46
2.3.1. Taze Beton Deneyleri	46
2.3.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri	48
3. DENEY SONUÇLARI	50
3.1. Taze Beton Deney Sonuçları	50
3.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları	51
4. DENEY SONUÇLARININ İNCELENMESİ	53
4.1. Taze Beton Özellikleri	53
4.1.1. Kıvamın ve Agregası Granülometrisinin Çimento Dozajına Etkisi	53
4.1.2. Kıvamın ve Agregası Granülometrisinin Su Miktarına Etkisi	54
4.1.3. Kıvamın ve Agregası Granülometrisinin Çimento Hamur Hacmine Etkisi	55
4.1.4. Yeni Aletle ve DIN 1048 Yayılma Konisi ile Ölçülen Yayılma Miktarları Arasındaki İlişki	56
4.1.5. En Büyük Yayılmayı Sağlayan Karıştırma Süresinin Saptanması	56
4.1.6. Tam Yerleşmeyen veya Ayrışma Eğilimi Gösteren Betonlar	57
4.2. Sertleşmiş Beton Özellikleri	57
4.2.1. Birim Ağırlık	57
4.2.2. Dayanımlar	58
4.2.3. Dayanımlarla C/E Oranı Arasındaki İlişkiler	58
4.2.4. Basınç ve Yarıлма-Çekme Dayanımları Arasındaki İlişki	59
4.2.5. Dayanımlarla Ultrases Hızları Arasındaki İlişki	59
5. SONUÇLAR	60
KAYNAKLAR	64
EK-A	67
ÖZGEÇMİŞ	94

KISALTMALAR

MAC	: Modern Advanced Concrete
Gra.	: Granölometri
B.A.	: Birim Ağırlık
SNF	: Sulfonat Naftalen Formaldehit
SMF	: Sulfonat Melamin Formaldehit



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Kullanılan agregaların elek analizleri ve özgül ağırlıkları	43
Tablo 2.2. Karışımlardaki agrega bileşim oranları	44
Tablo 3.1. 1. ve 2. granülometrilili betonlar için yayılma deneyi sonuçları	50
Tablo 3.2. 3. ve 4. granülometrilili betonlar için yayılma deneyi sonuçları	51
Tablo 3.3. 1. granülometrilili betonlarda maksimum yayılma için karıştırma süresi ile su/çimento oranı arasındaki ilişki	51
Tablo 3.4. Sertleşmiş beton deney sonuçları	52
Tablo 4.1. Su/çimento oranı ile çimento miktarı arasındaki bağıntılar	53
Tablo 4.2. Su/çimento oranı ile su miktarı arasındaki bağıntılar	54
Tablo 4.3. Su/çimento oranı ile çimento hamuru hacmi arasındaki bağıntılar	55
Tablo 4.4. 1. granülometrilili betonlarda maksimum yayılma için karıştırma süresi ile su/çimento oranı arasındaki ilişki	56
Tablo 4.5. Kalıplara kendiliklerinden yerleşmelerinde sorun çıkaran betonlar	57
Tablo 4.6. Çeşitli granülometrililerde “birim ağırlık-E/C” bağıntısı	57
Tablo 5.1. 1. granülometrilili betonlarda maksimum yayılma için karıştırma süresi ile su/çimento oranı arasındaki ilişki	61
Tablo 5.2. Kalıplara kendiliklerinden yerleşmelerinde sorun çıkaran betonlar	62

ŞEKİL LİSTESİ

		<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1	Taze betonun boru içindeki akışı	7
Şekil 1.2	İnce malzeme miktarı ve agregadaki boşluk oranının karışımın pompalanabilirliğine etkisi	8
Şekil 1.3	Terleme sırasında beton suyunun ayrışması ve birikmesi ...	11
Şekil 1.4	Laminer viskoz akış	15
Şekil 1.5	Newton sıvısının viskoz akışı	16
Şekil 1.6	Değişik tipte Newton olmayan sıvıların kayma gerilmesi- kayma oranı ilişkisi	17
Şekil 1.7	Newton ve Bingham sıvılarının boru içinde akışı sırasında oluşan gerilme dağılışı	18
Şekil 1.8	Çökme türleri	28
Şekil 1.9	U-tipi akma deney aleti	30
Şekil 1.10	V-hunisi deney aleti	31
Şekil 1.11	(a) L-tipi akma deney aleti, (b) Kajima dolum kutusu (c) Kap testi	32
Şekil 1.12	Süperakışkanlaştırıcıların etki mekanizması	36
Şekil 2.1	1. ve 2. granülometri eğrileri	44
Şekil 2.2	3. granülometri (kesikli granülometri) eğrisi	44
Şekil 2.3	4. granülometri (kesikli granülometri) eğrisi	45
Şekil 2.4	Yeni geliştirilen yayılma deney aleti (fotoğraf)	46
Şekil 2.5	DIN 1048 yayılma konisi	47
Şekil 2.6	Yeni geliştirilen yayılma aleti	47
Şekil A.1	1. granülometrilili betonlarda farklı su/çimento oranları için kıvamın çimento dozajına etkisi	65
Şekil A.2	2. granülometrilili betonlarda farklı su/çimento oranları için kıvamın çimento dozajına etkisi	65
Şekil A.3	3. granülometrilili betonlarda farklı su/çimento oranları için kıvamın çimento dozajına etkisi	66
Şekil A.4	4. granülometrilili betonlarda farklı su/çimento oranları için kıvamın çimento dozajına etkisi	66
Şekil A.5	50±4 cm. yayılma kıvamında farklı su/çimento oranları için agrega granülometrisinin çimento dozajına etkisi	67
Şekil A.6	70±5 cm. yayılma kıvamında farklı su/çimento oranları için agrega granülometrisinin çimento dozajına etkisi	67
Şekil A.7	1. granülometrilili betonlarda farklı su/çimento oranları için kıvamın su miktarına etkisi	68
Şekil A.8	2. granülometrilili betonlarda farklı su/çimento oranları için kıvamın su miktarına etkisi	68
Şekil A.9	3. granülometrilili betonlarda farklı su/çimento oranları için kıvamın su miktarına etkisi	69

Şekil A.10	4. granülometrilili betonlarda farklı su/çimento oranları için kıvamın su miktarına etkisi	69
Şekil A.11	50±4 cm. yayılma kıvamında farklı su/çimento oranları için agrega granülometrisinin su miktarına etkisi	70
Şekil A.12	70±5 cm. yayılma kıvamında farklı su/çimento oranları için agrega granülometrisinin su miktarına etkisi	70
Şekil A.13	1. granülometrilili betonlarda farklı su/çimento oranları için kıvamın çimento hamuru hacmine etkisi	71
Şekil A.14	2. granülometrilili betonlarda farklı su/çimento oranları için kıvamın çimento hamuru hacmine etkisi	71
Şekil A.15	3. granülometrilili betonlarda farklı su/çimento oranları için kıvamın çimento hamuru hacmine etkisi	72
Şekil A.16	4. granülometrilili betonlarda farklı su/çimento oranları için kıvamın çimento hamuru hacmine etkisi	72
Şekil A.17	50±4 cm. yayılma kıvamında farklı su/çimento oranları için agrega granülometrisinin çimento hamuru hacmine etkisi....	73
Şekil A.18	70±5 cm. yayılma kıvamında farklı su/çimento oranları için Agrega granülometrisinin çimento hamuru hacmine etkisi ...	73
Şekil A.19	Yeni aletle ve DIN 1048 yayılma konisi ile ölçülen yayılma miktarları arasındaki ilişki	74
Şekil A.20	1. granülometri için su/çimento oranının 0,26 olması halinde karıştırma süresi ile yayılma miktarı arasındaki ilişki	74
Şekil A.21	1. granülometri için su/çimento oranının 0,32 olması halinde karıştırma süresi ile yayılma miktarı arasındaki ilişki	75
Şekil A.22	1. granülometri için su/çimento oranının 0,38 olması halinde karıştırma süresi ile yayılma miktarı arasındaki ilişki	75
Şekil A.23	1. granülometrilili betonlarda her iki kıvam için farklı su/çim. oranları ile birim ağırlıklar arasındaki ilişki	76
Şekil A.24	2. granülometrilili betonlarda her iki kıvam için farklı su/çim. oranları ile birim ağırlıklar arasındaki ilişki	76
Şekil A.25	3. granülometrilili betonlarda her iki kıvam için farklı su/çim. oranları ile birim ağırlıklar arasındaki ilişki	77
Şekil A.26	4. granülometrilili betonlarda her iki kıvam için farklı su/çim. oranları ile birim ağırlıklar arasındaki ilişki	77
Şekil A.27	50±4 cm. yayılma kıvamında farklı su/çimento oranları için agrega granülometrisinin birim ağırlığa etkisi	78
Şekil A.28	70±5 cm. yayılma kıvamında farklı su/çimento oranları için agrega granülometrisinin birim ağırlığa etkisi	78
Şekil A.29	50±4 cm. yayılma kıvamında çimento dozajına bağlı olarak agrega granülometrisinin birim ağırlığa etkisi	79
Şekil A.30	70±5 cm. yayılma kıvamında çimento dozajına bağlı olarak agrega granülometrisinin birim ağırlığa etkisi	79
Şekil A.31	1. granülometrilili betonlarda farklı su/çimento oranları için kıvamın basınç dayanımına etkisi	80
Şekil A.32	2. granülometrilili betonlarda farklı su/çimento oranları için kıvamın basınç dayanımına etkisi	80
Şekil A.33	3. granülometrilili betonlarda farklı su/çimento oranları için kıvamın basınç dayanımına etkisi	81

Şekil A.34	4. granülometrilili betonlarda farklı su/çimento oranları için kıvamın basınç dayanımına etkisi	81
Şekil A.35	50±4 cm. yayılma kıvamında farklı su/çimento oranları için agrega granülometrisinin basınç dayanımına etkisi	82
Şekil A.36	70±5 cm. yayılma kıvamında farklı su/çimento oranları için Agrega granülometrisinin basınç dayanımına etkisi	82
Şekil A.37	50±4 cm. yayılma kıvamında çimento dozajına bağlı olarak agrega granülometrisinin basınç dayanımına etkisi	83
Şekil A.38	70±5 cm. yayılma kıvamında çimento dozajına bağlı olarak agrega granülometrisinin basınç dayanımına etkisi	83
Şekil A.39	1. granülometrilili betonlar için farklı su/çimento oranlarında kıvamın yarıлма-çekme dayanımına etkisi	84
Şekil A.40	2. granülometrilili betonlar için farklı su/çimento oranlarında kıvamın yarıлма-çekme dayanımına etkisi	84
Şekil A.41	3. granülometrilili betonlar için farklı su/çimento oranlarında kıvamın yarıлма-çekme dayanımına etkisi	85
Şekil A.42	4. granülometrilili betonlar için farklı su/çimento oranlarında kıvamın yarıлма-çekme dayanımına etkisi	85
Şekil A.43	50±4 cm. yayılma kıvamında farklı su/çimento oranları için agrega granülometrisinin yarıлма-çekme dayanımına etkisi..	86
Şekil A.44	70±5 cm. yayılma kıvamında farklı su/çimento oranları için agrega granülometrisinin yarıлма-çekme dayanımına etkisi..	86
Şekil A.45	50±4 cm. yayılma kıvamında çimento dozajına bağlı olarak agrega granülometrisinin yarıлма-çekme dayanımına etkisi..	87
Şekil A.46	70±5 cm. yayılma kıvamında çimento dozajına bağlı olarak agrega granülometrisinin yarıлма-çekme dayanımına etkisi..	87
Şekil A.47	Basınç dayanımları ile çimento/su oranları arasındaki ilişki..	88
Şekil A.48	Yarıлма-çekme dayanımları ile çim./su oranları arasındaki ilişki	88
Şekil A.49	Yarıлма-çekme dayanımı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki	89
Şekil A.50	Basınç dayanımları ile ultrases hızları arasındaki ilişki	89
Şekil A.51	Yarıлма-çekme dayanımları ile ultrases hızları arasındaki ilişki	90

SEMBOL LİSTESİ

η_p	: Plastik viskozite
τ_0	: Eşik kayma gerilmesi
γ	: Kayma oranı
C	: 1 m ³ yerleşmiş betonda çimento ağırlığı
E	: 1 m ³ yerleşmiş betonda su ağırlığı (hacmi)
Δ	: Sertleşmiş betonun birim ağırlığı
$f_{c,28}$	: 28 günlük küp numune basınç dayanımı
$T_{y,28}$	: 28 günlük silindir numune yarıлма-çekme dayanımı
u	: Ultrases hızı
R	: Korelasyon katsayısı
$D_{maks.}$	: Maksimum tane boyutu



YÜKSEK AKIŞKANLIĞA SAHİP BETONLARDA (KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLAR) BİLEŞİMİN TAZE VE SERTLEŞMİŞ BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

ÖZET

Bu çalışmada herhangi bir sıkıştırma işlemi gerektirmeden kalıplara kendiliğinden yerleşebilen yüksek akışkanlığa sahip betonlarda (kendiliğinden yerleşen betonlar) bileşimin taze ve sertleşmiş beton özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Üretilen betonlarda akışkanlığı sağlamak üzere Sika-Deteks Yapı Kimyasalları firmasının ürünü olan ViscoCrete-5 adlı modifiye polikarboksilat sıvı solüsyonu süperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Betonlar aşağıda belirtilen 4 granülometriye göre üretilmişlerdir:

1. granülometri: A-B eğrileri arasında, üstte kalan alanda
2. granülometri: B-C eğrileri arasında, orta veya üst bölgede
3. granülometri: 4-8 mm. arasındaki tanelerin bulunmadığı bir kesikli granülometri
4. granülometri: 2-8 mm. arasındaki tanelerin bulunmadığı bir kesikli granülometri

Üretimler sırasında maksimum agrega boyutu 16 mm. olarak seçilmiştir. Buna ilave olarak üretimler esnasında su/çim. oranları 0,26 ile 0,42 arasında değişmiş ve çimento dozajları da 481kg/m³ ile 670kg/m³ arasında değerler almıştır. Betonlarda iki farklı kıvam kullanılmıştır. Bunlar 50±4 cm. ve 70±5 cm. yayılma değerlerine karşı gelmektedir. Bu yayılma değerleri daha önceden İ.T.Ü. Yapı Malzemesi Laboratuvarı bünyesinde Ü. Anıl Doğan'ın yüksek lisans tez çalışması sırasında geliştirilmiş olan yeni yayılma aleti ile ölçülmüştür. Tüm çalışma süresince toplam 24 parti farklı tür beton üretilmiştir.

Üretilen betonlar üzerinde tüm sertleşmiş beton deneyleri 28. günde yapılmıştır. Bu amaçla her karışımdan toplam 5 adet 15*15*15 cm.lik küp numune alınmış ve bunlardan üçü üzerinde basınç dayanımı ve ultrases hızı ölçümleri yapılmış, diğer iki küp numune ise birim ağırlık ölçümü için kullanılmıştır. Bununla beraber her karışımdan üçer adet 15/30 cm.lik silindir numuneler alınmış ve bunların da yayılma-çekme dayanımları ölçülmüştür.

Bu çalışma kapsamında başlıca aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- 1-) Granülometri sabit kaldığında su/çimento oranı yükseldikçe aynı kıvamı elde etmek için gereken çimento miktarı azalmaktadır. Bu konuda elde edilen bağlantılar çalışmada verilmektedir.
- 2-) Su/çimento oranı sabit kaldığında 50 cm. yayılma yerine 70 cm. yayılma elde etmek için mevcut granülometrilere %3 ile %6 arasında daha fazla çimento kullanmak gerekmiştir.
- 3-) Belli bir kıvamı elde etmek için 2. granülometride 50 cm. yayılma için diğerlerinden ortalama olarak %8 fazla çimento, 70 cm. yayılma için ortalama olarak %6 fazla çimento kullanmak gerekmiştir.

4-) Su/çimento oranı yükseldikçe aynı kıvamı elde etmek için gereken su miktarı artmıştır. Buradan çimento tanelerinin de suyun yanında agrega tanelerinin birbirinin üzerinde kaymasını kolaylaştırdığı anlaşılmaktadır. Bu konuda elde edilen bağıntılar çalışmada verilmiştir.

5-) 50 cm. yayılma yerine 70 cm. yayılma elde etmek için mevcut granülometrilere %3 ile %6 arasında fazla su kullanmak gerekmiştir.

6-) 2 no.lu granülometriyi kullanmakla diğer granülometrilere göre; 50 cm. yayılma için ortalama olarak %8 fazla su, 70 cm. yayılma için ortalama olarak %6 fazla su kullanmak gerekmiştir.

7-) Granülometri sabit kaldığında su/çimento oranı yükseldikçe aynı kıvamı elde etmek için gereken çimento hamuru hacmi azalmaktadır. Bu konuda elde edilen bağıntılar çalışmada verilmiştir.

8-) 50 cm. yayılma yerine 70 cm. yayılma elde etmek için mevcut granülometrilere ortalama olarak %3 ile %6 arasında fazla çimento hamuru kullanmak gerekmiştir.

9-) Belli bir kıvamı elde etmek için 2. granülometride; 50 cm. yayılma için diğerlerinden yaklaşık olarak %8 fazla çimento hamuru, 70 cm. yayılma elde etmek için diğerlerinden yaklaşık olarak %6 fazla çimento hamuru kullanmak gerekmiştir.

10-) Yeni aletle ve DIN 1048 akma konisi ile ölçülen yayılma değerleri sonucunda aşağıdaki bağıntı elde edilmiştir.

$$y = 1,75x - 47,9 \quad (R = 0,886) \quad (1)$$

Burada “y” terimi yeni geliştirilen aletle ölçülen yayılma değerini, “x” terimi DIN 1048 akma konisi ile ölçülen değeri ifade etmektedir.

11-) En büyük yayılmayı elde etmek için gereken karıştırma süresi 1. granülometrilili üç farklı betonda Tablo 1.’deki gibi bulunmuştur.

Tablo 1. Maksimum yayılma için su/çim. oranı ile karıştırma süresi arasındaki ilişki

Su/çimento	Karıştırma süresi (dk.)
0,26	6
0,32	10
0,38	21

Buradan su/çimento oranının yükselmesiyle maksimum yayılmayı elde etmek için gereken sürenin arttığı anlaşılmaktadır.

12-) Aşağıda Tablo 2. de gösterilen iki betonun kalıplara kendiliklerinden yerleşmelerinde sorunlar gözlenmiştir. Bu yerleşme sorunları dayanımlarda da bir miktar düşüşe sebep olmuştur.

Tablo 2. Kendiliğinden yerleşmesinde sorun çıkaran betonlar

Granülometri	Yayılma (cm.)	Su/çimento	Sorun
1	50±4	0,26	İyi yerleşmedi
2	70±5	0,42	Ayrışma oldu

13-) Granülometri sabit kaldıkça sertleşmiş betonun “birim ağırlık-E/C” bağıntısı kıvamdan etkilenmemiştir.

14-) Aynı su/çimento oranında yayılmanın 50 veya 70 cm. olmasının basınç ve yarıлма-çekme dayanımlarının üzerinde belirgin bir etkisinin bulunmadığı görülmüştür.

15-) Kesikli granülometrili (3 ve 4 no.lu granülometriler) betonların basınç ve çekme dayanımlarının diğerlerinininkine eşit veya daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun yanında taze beton deneyleri sırasında kesikli granülometrili betonların aleyhine yorumlanabilecek bir durum gözlenmemiştir.

16-) Çalışmada üretilen tüm betonlar göz önüne alındığında aşağıdaki bağıntılar elde edilmiştir;

a-) Dayanımlarla C/E oranı arasında;

$$f_{c,28} = 14,086(C/E) + 16,656 \quad (R = 0,764) \quad (2)$$

$$T_{y,28} = 0,9124(C/E) + 1,6702 \quad (R = 0,619) \quad (3)$$

Burada $f_{c,28}$ (N/mm²) terimi küp numunelerin 28 günlük basınç dayanımlarını ve $T_{y,28}$ (N/mm²) terimi de 28 günlük silindir numune yarıлма-çekme dayanımını ifade etmektedir. “R” ise korelasyon katsayısıdır.

b-) Basınç ve yarıлма-çekme dayanımları arasında;

$$T_{y,28} = 0,49(f_{c,28})^{0,54} \quad (R = 0,521) \quad (4)$$

c-) Dayanımlarla ultrases hızı arasında;

$$f_{c,28} = 0,233(u)^{3,4378} \quad (R = 0,659) \quad (5)$$

$$T_{y,28} = 0,039(u)^{2,9235} \quad (R = 0,551) \quad (6)$$

Burada u (km/sn) terimi küp numuneler üzerinde ölçülen ölçülen ultrases hızını ifade etmektedir.

THE EFFECT OF THE COMPOSITION IN HIGH FLUIDITY CONCRETE (SELF COMPACTING CONCRETE) ON FRESH AND HARDENED CONCRETE PROPERTIES

SUMMARY

In this study the effect of the composition on the fresh and hardened concrete properties of high fluidity concrete (self compacting concrete) which do not involve any compaction operation during casting into the moulds was investigated. A product of Sika-Deteks Construction Chemicals Company modified polycarboxylate liquid solution superplasticizer named ViscoCrete-5 is used to obtain the fluidity in fresh concrete. All the mixtures classified into four groups according to the grading of aggregates are given below:

1st grading: The upper side of the region between A and B curves

2nd grading: Middle or upper side of the region between B and C curves.

3rd grading: Gap grading with no particles between 4-8 mm.

4th grading: Gap grading with no particles between 2-8 mm.

During production of concrete mixes max. aggregate size is chosen as 16 mm. Additionally water to cement (w/c) ratios ranged from 0,26 to 0,42 and cement dosages varied between 481 kg/m³ and 670 kg/m³. In concrete mixes two different consistencies were used. These are corresponding to 50±4 cm. and 70±5 cm. spread values. These spread values were measured by a new apparatus previously developed at I.T.U. Building Materials Laboratory during the post graduate thesis study of Ü. Anıl Doğan. Twentyfour different types of concrete mixes were produced throughout the experimental study.

All hardened concrete tests were performed at 28th day. For this purpose totally 5 cube specimens of 15*15*15 cm. were taken from each mix and three of them were used for compressive strength and ultrasound velocity measurements and the last two were used for unit weight measurements. Additionally three cylinder specimens of 15/30 cm. were also taken from every mix and used for splitting tensile strength tests.

In this study, essentially the following results were obtained:

- 1-) When the grading remained constant, as the water to cement (w/c) ratio increases the cement dosage required to obtain the same mix workability decreases.
- 2-) When water to cement (w/c) ratio remained constant, in existing gradings, more cement between 3 to 6 percent is required to obtain 70 cm. spread value instead of 50 cm.
- 3-) To obtain a certain consistency in the 2nd grading; for 50 cm. spread value 8 percent more cement and for 70 cm. spread 6 percent more cement is required on the average

4-) As water to cement (w/c) ratio increases, water required to obtain the same consistency also increases. From this point it may be deduced that not only water but also the cement grains help the aggregates slide on each other easier. The equations obtained about this topic is given in the study.

5-) In existing gradings 3 to 6 percent more water is required to obtain 70 cm. spread value instead of 50 cm.

6-) By using 2nd grading, for 50 cm. spread 8 percent and for 70 cm. spread 6 percent more water is required on the average when compared with other gradings.

7-) When the grading remained constant, as water to cement (w/c) ratio increases the cement paste volume required to obtain the same mix workability decreases. The related equations were given in the study.

8-) In existing gradings 3 to 6 percent more cement paste is required to obtain 70 cm. spread value instead of 50 cm.

9-) In the 2nd grading, to obtain a certain consistency for 50 cm. spread approximately 8 percent more cement paste and for 70 cm. spread approximately 6 percent more cement paste is required than in the other gradings.

10-) An equation given below is obtained from the spread values measured by the new apparatus and DIN 1048 flow apparatus;

$$y = 1.75x - 47,9 \quad (R = 0,886) \quad (1)$$

where "y" is the spread value measured by the new developed apparatus and "x" is the spread value measured by DIN 1048 flow apparatus.

11-) The required mixing time to obtain the max. spread in three different mixes having the first granulometry is found as shown in Table 1.

Table 1. Relations between the mixing time and w/c ratios to obtain max. spread

W/C	Mixing time (Min.)
0,26	6
0,32	10
0,38	21

These results indicate that as water to cement ratio (w/c) increases, the required mixing time to obtain the max. spread increases.

12-) Problems shown in Table 2. were occurred in two concretes during placing into the moulds by self compacting. These compacting problems also caused some loss in the strength of concretes.

Table 2. Concretes having self compacting problems

Granulometry	Spread (cm)	W/C	Problem
1	50±4	0,26	Poor compacting
2	70±5	0,42	Segregation

13-) As the grading remained constant, “unit weight-W/C” relation of hardened concrete was not effected by consistency.

14-) At the same water to cement (W/C) ratio, it is observed that spread whether 70 cm. or 50 cm. has no clear influence on the compressive and splitting tensile strengths.

15-) It was observed that the compressive and tensile strengths of concretes which have gap grading (3rd and 4th gradings) are equal or greater than that of other concretes. Moreover there was nothing negative observed against gap graded concretes in the fresh concrete tests.

16-) Equations below were obtained by considering all the concretes produced in the study:

a-) Relations between the strengths and C/W ratio;

$$f_{c,28} = 14,086(C/W) + 16,656 \quad (R = 0,764) \quad (2)$$

$$T_{y,28} = 0,9124(C/W) + 1,6702 \quad (R = 0,619) \quad (3)$$

where $f_{c,28}$ (N/mm²) is the compressive strength of the cube specimens at the age of 28 day and $T_{y,28}$ (N/mm²) is the splitting tensile strength of the cylinder specimens at the age of 28 day. “R” is the coefficient of corelation.

b-) Relations between compressive and splitting tensile strengths;

$$T_{y,28} = 0,49(f_{c,28})^{0,54} \quad (R = 0,521) \quad (4)$$

c-) Relations between the strength and ultrasound velocity;

$$f_{c,28} = 0,233(u)^{3,4378} \quad (R = 0,659) \quad (5)$$

$$T_{y,28} = 0,039(u)^{2,9235} \quad (R = 0,551) \quad (6)$$

where u (km/sn) is the ultrasound velocity measured on the cube specimens.

1. GİRİŞ

Portland çimentosundan imal edilen beton 130 yıldır tüm dünyada inşaat malzemesi olarak kullanılmakta ve her geçen süre kullanımı artmaktadır. Beton bir yapının durabilitesinin betonun su/çimento oranına bağlı olduğu da bilinmektedir. Bununla beraber durabiliteyi artırmak için su miktarını azaltmak betonun işlenebilirliğinin azalmasına neden olmaktadır. Eğer beton gerektiği gibi uygun şekilde sıkıştırılmazsa beton içinde boşluklar meydana gelmekte ve bu da betona zarar vermekte, özelliklerini bozmaktadır.

1974 yılında o ana gelinceye kadar birçok su azaltıcı katkı ve plastikleştiricinin taze betonun işlenebilirliğini artırmak, yerleştirilmesini ve konsolidasyonunu kolaylaştırmak amacıyla kullanıldığı bir ortamda süperakışkanlaştırıcılar ilk defa İtalya'da piyasaya sunulmuştur. Bundan sonra süperakışkanlaştırıcıların kullanımı MAC (Modern Advanced Concrete, Treviso İtalya) tarafından öne sürülen reoplastik beton konseptine bağlı olarak hızlı bir şekilde artmıştır. Reoplastik terimi ile aynı anda hem akıcı hem de plastik özellik gösteren, kohezif, ayrışma ve terleme meydana getirmeyen, yüksek işlenebilirlikli beton kastedilmektedir. Bu şekilde tüm dünyada inşaatlarda milyonlarca metreküp reoplastik beton kullanılmıştır. 80'li yılların başında reoplastik beton teknolojisi ile daha önceden tanışık olan Japon mühendisler ona bazı ekstra özellikler kazandırarak bugünkü bilinen haliyle kendiliğinden yerleşen betonu geliştirmişlerdir. [1] Bugün Japon inşaat sektöründe aktif olarak kullanılmakta olan kendiliğinden yerleşen beton aynı zamanda yüksek akışkanlıklı beton, yüksek işlenebilirlikli beton ve kendiliğinden sıkışan beton olarak da anılmaktadır.

Kendiliğinden yerleşen beton kendi ağırlığı altında hareket edip, uygulandığı her şekildeki yapı kalıbında tüm köşelere ve dar bölgelere yayılarak, yerleşmenin ve hareketin çok zor olduğu yoğun donatılı kısımlarda dahi vibratör gerektirmeden boşlukları doldurabilmektedir. [2] Kendiliğinden yerleşen beton döşeme ve kalıp

yerleştirme alanında önemli bir teknolojik ilerleme olmuş, bu tip beton kullanımı sadece iş süresini azaltmakla kalmayıp özellikle yoğun donatılı bölgelerdeki kompaksiyon için gerekli nitelikli işçilik ihtiyacını da önemli oranda azaltmış ve gerek işçileri, gerekse etraftaki insanları rahatsız edici vibratörle beton sıkıştırma gürültüsünden kurtarmıştır.

Kendiliğinden yerleşen betonlarda kullanılan katkılar başlıca yüksek oranda su azaltıcı süperakışkanlaştırıcılar, kireçtaşı tozu, uçucu kül gibi ince malzemeler ve viskozite artırıcı katkılar olup böylece betonun yüksek akışkanlığa sahip olmasının yanında ayrışma direncinin de fazla olması sağlanmaktadır.[3] Süperakışkanlaştırıcıların taze beton karışımına eklenmesinden birkaç dakika sonra taze beton kolayca akmaya başlamakta ve kendiliğinden yerleşen karaktere bürünmektedir. Bununla birlikte kohezif olup istenmeyen düzeyde ayrışma, terleme ve sertleştiğinde normal betona göre mukavemet kaybı göstermemektedir. Ayrıca kendiliğinden yerleşen betonlar yoğun donatılı kısımların arasından homojen şekilde yayılıp ilerleyebilmelerine yetecek derecede viskoziteye sahip olmaktadır. Bu tip yüksek akışkanlıklı betonlar elde etmek için karışımın bünyesine katılan ve genellikle çimento ağırlığına göre bir yüzdeyle ifade edilen bu katkıların gerekli dozajları her çimento tipi ve akışkanlaştırıcının türüne göre değişmektedir. Bununla beraber akışkanlıktaki artışın katkı dozajı artışına bağlı olarak sınırsız olmadığı ve bir optimum dozajın mevcut olduğu belirtilmektedir. [4]

Günümüzde kendiliğinden yerleşen beton kullanımının giderek artması kimyasal katkı üreticilerini bu konuda yeni ürünler geliştirmeye teşvik etmektedir.

1.1. Taze Beton Özellikleri

Taze beton çimento hamuru içinde dağılmış bulunan agrega ve diğer katı parçacıklardan oluşur. Hamurun kendisi çimento parçacıklarının su içinde süspansiyonu ile meydana gelir. Karışım aynı zamanda az miktarda hava da ihtiva eder. Taze beton içinde çimento hamurunun bağlayıcı görevini gördüğü çok fazlı bir kompozit malzeme olarak düşünülebilir. Çimento hamuru agrega parçacıklarının etrafını sararak taze halde iken agrega taneleri arasındaki sürtünmeyi azaltır ve böylece taze karışımın işlenebilirliğinde önemli rol oynar. Taze beton, karışımı oluşturan her bir malzemenin kendi asıl özellikleri ile sertleşmiş beton özellikleri arasında bir geçiş fazıdır. Çimento ile su birlikte karıştırılınca taze betonun

sertleşmesine öncülük eden hidrasyon işlemi başlar ve bunu izleyen süreçte taze hamur, harç ve beton oluşur.

Beton teknolojisindeki gelişmeler özellikle çok çeşitli kimyasal katkıların devreye girmesi ve ilave bağlayıcı veya cüruf türü malzemelerin kullanılabilirliğinin ortaya çıkmasıyla taze karışım özelliklerinin önemi artmıştır. Böylece taze betonun kısa dönem özelliklerini fazla önemsemeyen ve bunları betonun uzun süreli dayanım ve durabilite gibi özelliklerinin bir ölçüde tamamlayıcısı olarak kabul etmeyen eski düşünce tarzı zamanla değişmiştir. Eskiden yüksek işlenebilirlikli beton denilince hemen akla düşük mukavemetli ve durabiliteli beton gelmekteydi. Fakat son gelişmeler yüksek mukavemetli ve mükemmel durabiliteye sahip yüksek işlenebilirlikli beton üretimine imkan tanımıştır. Bu betonlar katkı malzemelerinin getirdiği ek maliyetler sebebiyle sıradan betonlara göre daha pahalıdır fakat uygulama aşamasında sağladığı avantajlar bu ek maliyeti yeterince telafi etmektedir.

Taze betonu taşıması gereken özellikler genel olarak şöyle özetlenebilir:

- a-) Beton kolay karıştırılmalıdır. Herhangi bir kimyasal katkı maddesi de dahil olmak üzere tüm bileşen malzemeler gerekli minimum enerji ile karışım içinde hızlı ve homojen şekilde dağılmalıdır. Bu homojen dağılım her parti beton için geçerli olmalıdır.
- b-) Karışım için gerektirdiği şekilde vibrasyon uygulanarak veya uygulanmadan döküldüğü kalıbı tam olarak doldurabilecek işlenebilirliğe sahip olmalıdır. Ayrıca karışımın taşınma sonucunda kıvamında ve diğer özelliklerinde kabul edilebilir değerlerin üzerinde kayıplar olmamalıdır.
- c-) Karışımın yerine yerleştirilmesi için fazla enerjiye ihtiyaç duyulmamalıdır.
- d-) Karışım için gerektirdiği şekilde perdahlanabilir olmalıdır.

Yukarıda belirtilen özelliklere üretim, taşıma, yerleştirme ve sıkıştırma gibi her aşamada ihtiyaç duyulmaktadır.

Taze betonun işlenebilirliği ona en önemli avantajlarından biri olan istenilen şekli alabilme serbestliğini kazandırmıştır. Bu sayede betonarme binalarda oldukça büyük oranda yapısal verim sağlanabilmekte ve ayrıntılı mimari özelliklere sahip yapılar kolayca inşa olunabilmektedir.

Taze karışımın özellikleri genellikle bir veya birkaç deney sonucuna bağlı olarak değerlendirilir. Deneylerin büyük bir kısmı standart hale getirilmiş yöntemleri

izler fakat standart hale getirilmiş bu deneyler ve bunların kesin yöntemleri ülkeden ülkeye değişmektedir. Verilen bir beton tipine göre uygun bir deney seçmek ve bu deneyden elde edilecek sonuçları yorumlamak araştırmacının kendi bilgisine dayanmaktadır.

Taze beton özelliklerini daha iyi anlamak amacıyla yaygın olarak taze betonun priz başlangıcı ve priz sonu süreleri tesbit edilmeye çalışılmaktadır. Bu amaçla ilk önce çimento hamurunun özellikleri sadece hamur üzerinde deneyler yapılarak elde edilmektedir. Ancak bu özellikler aynı çimento hamuru çevresi agregalarla sınırlanmış olarak beton karışımının bir parçası iken sahip olduğu özelliklerden farklıdır. Ortamda agregaların bulunması çimento hamurunun priz sürelerini değiştirmekte ve hamuru yalın halinden arayüzey haline getirerek ona farklı özellikler kazandırmaktadır. Beton içinde bulunan sertleşmiş çimento hamurunun özelliklerinde hidrasyon sırasında oluşan değişimler genel olarak bilinmektedir. Ancak sertleşmiş arayüz hamurunun özellikleri hakkında bilgi miktarı sınırlıdır. Bu yüzden çok fazla sayıda ve karmaşık etkenlerin bulunması nedeniyle taze ve sertleşmiş beton hakkında kesin tahminler yapılamamaktadır. [5]

1.1.1. Taze Beton Teknolojisinde Kullanılan Özellikler ve Terimler

1.1.1.1.İşlenebilirlik ve Kıvam

İşlenebilirlik ve kıvam taze beton, harç veya çimento hamuru söz konusu olduğunda en çok kullanılan iki terimdir. İşlenebilirlik terimi çimento hamuru içinde dağılmış halde her türlü agrega ihtiva eden taze beton ve harç için kullanılmaktadır. Kıvam terimi ise sadece çimento ve su karışımıyla meydana gelmiş, agrega içermeyen çimento için kullanılmaktadır. Çimento hamuru özellikleri doğrudan taze harç veya beton özellikleri ile ilişkilendirilemediğinden kıvam ile işlenebilirlik terimlerini ayırmanın uygulamada yararlı olduğu görülmüştür.

Kıvam terimi bir taraftan uniformluluk, düzgünlük veya uyumu, öteki taraftan da akıcılığı kapsamaktadır. Kıvam terimi başka endüstriyel işlemlerde yaygın olarak sıvılar ve katı asıltılı karışımlarda kullanılmaktadır. Bu gibi durumlardan dolayı kıvam terimi bir veya daha fazla bilimsel ve genellikle reolojik verilerle ifade edilmektedir. Bu değerlendirme çimento hamuruna uygulanmakta, betona uygulanabilmesi için de çalışılmaktadır. Kıvam terimi bazı hallerde taze betonun ıslaklık derecesini tarif etmek için de kullanılmaktadır. Bununla beraber aynı kıvama

sahip betonlar farklı işlenebilirlikte olabilmektedir. Taze beton durumunda yerleştirilebilme kolaylığı, karmaşık şekillerin içini doldurabilme kapasitesi, donatı etrafında akış ve kolay perdahlanabilirlik gibi özellikler dikkate alınmaktadır. Bu özellikler kıvam terimi ile açıklanamamaktadır. Ayrıca bu özellikler reolojik terimlerle ifade edilemeyen karışımdaki en büyük agrega boyutu gibi verilere de dayanmaktadır. [5]

Taze beton işlenebilirliği onun yerleştirilme şartlarına bağlıdır. İyi işlenebilirliğe sahip bir beton fazla terleme ve ayrışma göstermemelidir. Bu nedenle taze betonun işlenebilirliği akışkanlık, kolay perdahlanabilirlik, koheziflik ve sıkıştırılabilirlik kavramlarını da kapsamaktadır. Taze betonun işlenebilirliğine birçok faktör etki etmektedir. Bunların başlıcaları aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- a-) Karışımın su muhtevası
- b-) Karıştırma süresi
- c-) Agrega özellikleri (dane şekli, dane çapı dağılımı, porozite, yüzey dokusu)
- d-) Çimento özellikleri (agrega özelliklerine göre daha az etkilidir)
- e-) Çimento ile birlikte yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı kullanılması
- f-) Süperakışkanlaştırıcı, priz geciktirici veya hava sürükleyici katkı kullanımı
- g-) Karışımda lif kullanılması
- h-) Karışım bileşenlerinin bağıl oranları

Taze betonun işlenebilirliğini etkileyen bu faktörler birbirlerinden bağımsız olmayıp birbirleriyle etkileşim halindedir.

İşlenebilirliği belirlemek amacıyla birçok metod önerilmiş olmasına rağmen bunların hiçbirisi taze betonun bu özelliğini tam olarak ölçebilecek kapasitede değildir. Slump çökme deneyi, yayılma deneyi, sıkışma faktörü testi, küre penetrasyon testi, Vebe testi uygulanan yöntemlerden birkaçıdır. Bütün bu testler taze betonun işlenebilirlik özelliğini ölçmeye çalışmaktadır ve hiçbirisi birbiriyle mukayese edilememektedir. Bugüne kadar işlenebilirliği belirlemek için tam anlamıyla ideal bir test geliştirilememiştir. [6,7]

Birçok beton teknolojisi uzmanı perdahlanabilirlik gibi ölçülemeyen ve gözlemcinin yeteneklerine, tecrübesine ve kullandığı araç ve gereçlere bağlı olan taze

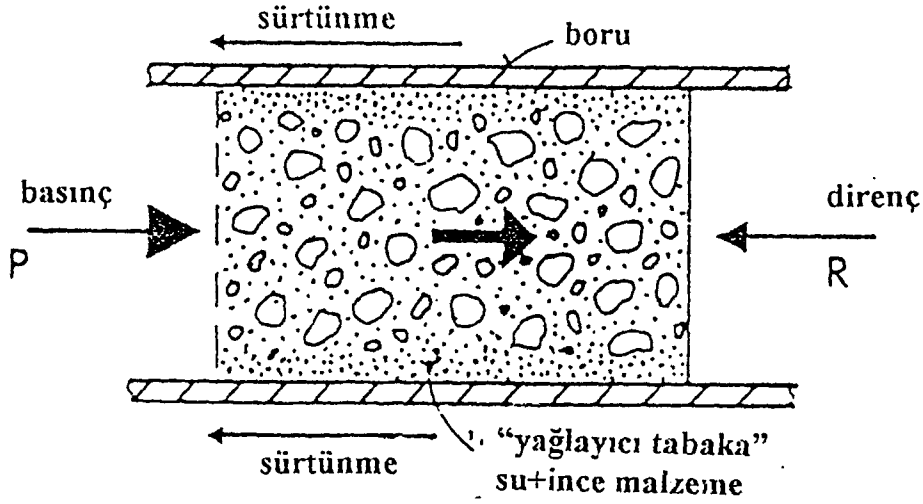
beton kalitesi hakkındaki öznel değerlendirmelerin işlenebilirlik tayininde de etkili olabildiğini kabul etmektedirler. Dolayısıyla pratikte işlenebilirlik hakkındaki değerlendirmeler hem deney sonuçlarına hem de öznel ve genellikle görsel yargıya dayanmaktadır. İşlenebilirlik genellikle iyi, kötü veya orta, taze karışımın görüntüsü ise kuru, koyu, katı, plastik, yumuşak, nemli, ıslak ve akıcı veya sıvı olarak ifade edilmektedir.

1.1.1.2. Hareketlilik ve Pompalanabilirlik

Taze betonun taşınması ve yerleştirilebilmesi karışımın minimum bir dış güç ile kolayca akabilmesi ve bu süreç içinde bileşiminde veya özelliklerinde belirli bir değişiklik olmadan nihai konumuna ulaşabilmesini gerektirir. Taze betonun karmaşık şeklindeki kalıpları tamamen doldurması ve daima karışımın donatılar arasından ve çevresinden kolayca akabilmesi beklenir. Ayrıca beton karışımının su altında veya derin hendeklerde akmasının gerektiği uygulamalar da vardır.

Bundan dolayı hareketlilik taze betonun akış kapasitesi olarak tanımlanır. Sarsma, titreşim ve yerçekimi etkisi altındaki hareketliliğin derecesini ölçmek amacıyla yayılma deneyi ve bazı akış deneyleri olsa da hareketliliğin doğrudan ölçümü için herhangi bir deney mevcut değildir.

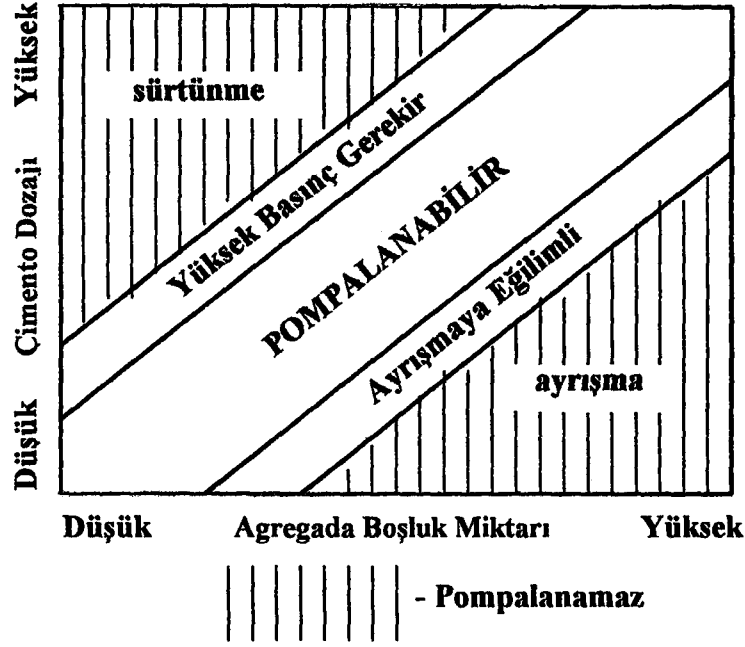
Taze betonun pompalanması şantiye sahasında taşımak ve yerleştirmek için oldukça yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Kolay pompalanma için betonun minimum basınç ile ve tıkanma tehlikesi olmadan boru içinde kütsel bir şekilde akması gereklidir (Şekil 1.1). Yeterli bir kararlılıkla desteklenmiş iyi derecede hareketlilik pompalanabilir bir karışım için temel gereksinimdir. Ayrıca bu kararlılık ve hareketliliğin karışımı boru içinde hareket ettirmek amacıyla dış basınç uygulandığında da sürekli olması gerekmektedir. Bu sebeple pompalanabilirlik çevresini saran boru içinde basınç altındaki betonun hareketlilik ve kararlılığı olarak açıklanabilir.



Şekil 1.1 Taze betonun boru içindeki akışı

Taze betonun boru içinde hareket etmesi için dışarıdan uygulanan basınç agreganın granülometrisinin önemini işaret eder. Agreganın parçacıklarının daha yoğun olarak düzenlenmesi sonucu agregalar arasındaki boşluk hacmi azalır ve böylece karışımın pompalanabilirlik ihtimali yükselir. Çimento de dahil olmak üzere ince malzeme ihtivası ile agregadaki boşluk oranı ilişkisinin karışımın pompalanabilirliğine etkisi Şekil 1.2’de görülmektedir. Çok yüksek oranda çimento ve ince malzeme miktarı sürtünmeyi kabul edilemeyecek seviyede artırabilir ve bu da gereken pompalama basıncını yükseltir. Böyle bir durumda su miktarı artırılarak, akışkanlaştırıcı katkı kullanarak veya çimento granülometrisi değiştirilip boşluk oranı yükseltilerek pompalanabilirlik geliştirilebilir.

Taze betonun pompalanabilirliğini belirlemek amacıyla bugüne kadar birçok gözlem ve çok çeşitli deneyler yapılmıştır. Bu değerlendirmeler ışığında aşırı terlemenin ayrışmayı artırdığı ve bunun da sürtünmeyi artırarak karışımın pompalanabilirliğini azalttığı kanısına varılmıştır. Ayrıca poroz ve hafif agregaların pompalanma sırasında fazladan su emerek pompalanabilirliği azalttığı belirtilmektedir. [5]



Şekil 1.2 İnce malzeme miktarı ve agregadaki boşluk oranının karışımın pompalanabilirliğine etkisi

1.1.1.3. Kararlılık, Ayrışma, Terleme

Bir karışımın işlenebilirliği önem kazandığında aynı anda o karışımın kararlılığı da hesaba katılmalıdır. Taze beton karıştırıcıdan ayrıldığı andan itibaren nihai konumu olan kalıba yerleştirilinceye kadar taşınması sırasında karışımın uniformluğunu ve homojenliğini etkileyebilecek olan çarpma yüklerine, basınç ve kaymaya maruz kalmaktadır. Kararlılık genellikle taze karışımın ilk andaki uniformluğunu tüm taşıma ve yerleştirme süresi boyunca koruyabilme kapasitesi olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca karışımın ayrışma ve terlemeye direnme yeteneği olarak da tanımlanmaktadır.

Taze betonun taşınması ve yerleştirilmesi sırasında iri agregalar karışımdan ayrılarak betonun uniformluğunun bozulmasına neden olabilir. Bu olay ayrışma olarak tanımlanır. Ayrışma, karışımdaki bileşenlerin dağılımının ilk andaki uniformluğu ve homojenliği azaldığı zaman görülür. Böylece ayrılan bileşenlerin beton kütlesi içinde bir bölgede yoğunluğu artarken diğer tarafta azalmaktadır. Ayrışma terimi iri agreganın dağılım düzeninin kaybı ile aynı anlamda kullanılmaktadır. Böyle bir durum meydana geldiğinde iri agregalar karışımın dibinde veya bir köşesinde birikir. Bunun sonucunda da taze betonun diğer özellikleri uniformluğunu kaybeder, karışımın hareketlilik veya yerleşebilirlik gibi

davranışları değişir. Ayırışma taze karışım sertleştiğinde beton bünyesinde çatlaklara, yarıklara ve bazen peteksi yapıda boşluklara neden olabilir.

Taze betonun kararlılığı çok arzu edilen bir özellik olmasına rağmen kararlılığın değerlendirilmesinde geniş kabul görmüş veya standartlaşmış deneyler henüz bulunmamaktadır. Bu nedenle taze beton kararlılığı hakkında dolaylı yorumlar yapılabilmekte ve bunlar da oldukça kişisel kalmaktadır.

Klasik çökme deneyinde kayma göçmeleri gözlemlendiğinde kararlılığın zayıf olduğu söylenebilir. Uygulamada bazen taze betonun kararlılığı çökme okuması yapıldıktan sonra çökmüş betona hafifçe vurularak tayin edilmeye çalışılır. Eğer beton kayar, dağılır veya devrilirse kararlılığın zayıf olduğu anlaşılır. Ancak orjinal şeklini bozmadan bir miktar daha çökerse beton için kararlı denebilir.

Yayılma deneyi aslında karışım numunesini sarsarak kararlılığını sınamaktadır. Karasız karışımların ayırışma ve terlemeye olan eğilimleri yayılma deneyi sonunda numunenin çevresini saran su veya çimento hamurundan anlaşılır.

Hiçbir beton taşınması ve yerleştirilmesi sırasında yanlış yöntemlere maruz kaldığında tamamen kararlı değildir. Kararlılığı etkileyen başlıca faktörler aşağıda sıralanmıştır.

Kararlılığı azaltıp, ayırışma riskini artıranlar:

- a-) Boşluklu granülometriye sahip veya en büyük tane boyutu 40mm. ve civarında olan agregalar.
- b-) Agregada karışımında ince agrega oranının yetersiz olması. Normal bir agrega karışımında kumun inceliğine bağlı olarak %30-%40 civarında kum bulunur.
- c-) Çimento hamuru miktarının yetersiz olması; özellikle ince agrega oranının az olduğu durumlarda
- d-) İri köşeli kırmataş agrega oranının fazla olması
- e-) İri agreganın yoğunluğunun çimento hamuru ve ince agreganınkinden çok farklı olması
- f-) Çok yüksek su/çimento oranı. Bu durumda çimento hamurunun viskozitesi azalır ve agreganın karışımında düzgün dağılımını sürdürecekt kadar kohezif olamaz.

- g-) Çok düşük su/çimento oranı. Bu durumda çimento hamuru akıcı davranamaz, kuru bir hal alır ve agrega parçalarına yapışamaz. Ayrıca taşınma ve yerleştirilme sırasında karışımın uniformluğunu sürdüremez.
- h-) Süperakışkanlaştırıcıların gerektiğinden fazla dozda kullanılması

Kararlılığı artırıp, ayrışma riskini azaltanlar:

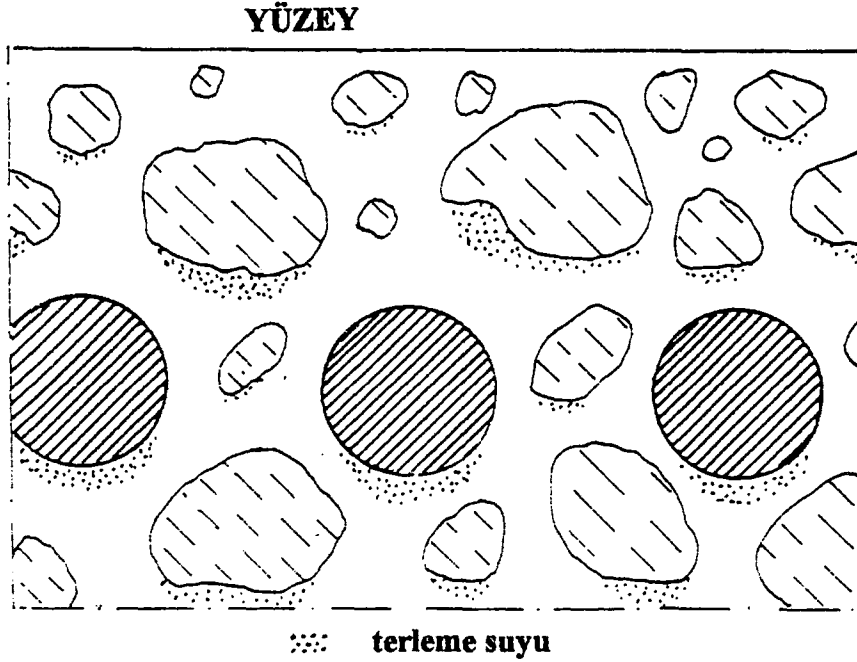
- a-) Agrega granülometrisinin sürekli olması, en büyük tane çapının küçük olması
- b-) Hava sürükleme
- c-) İnce malzeme miktarının artması (çimento ve yerine kullanılanlar dahil)
- d-) Optimum su/çimento oranı ve çimento miktarı
- e-) Karışımın sıvı fazını yoğunlaştırıcı katkıları

Çarpışma, yüksek işlenebilirlikli betonun vibrasyonu ve pompalama ayrışmaya en çok sebebiyet veren durumların başında gelmektedir. Taze beton aşırı yüksekte düşürülmemelidir. Uygulamada 1.50 m. nin üzerinde serbest düşüşlerden kaçınılmalıdır. Vibrasyon hamurun viskozitesini düşürmektedir. Eğer karışımın viskozitesi zaten düşükse (katkı, su) vibrasyon bunu geçici bir süre Newton sıvısına dönüştürür ve bu da agreganın karışım içinde uniform dağılması için gerekli kohezyonu azaltır. Ayrıca pompalama sırasında betona uygulanan basınç da ayrışmaya sebebiyet verebilmektedir.

Terleme suyun karışımından ayrılarak yüzeye çıktığı özel bir çeşit ayrışmadır. Genellikle karışımın titreşim yoluyla yerleştirilmesi sırasında agreganın çökmesi ile meydana gelir. Terleme uniform, toplam veya yerel olabilir. Su sıradan bir betonda en düşük yoğunluğa sahip bileşendir ve bundan dolayı taze karışımın üst yüzeyine çıkmaya çalışır. Ayrışmış su yüzeyde toplanır ve burada çok yüksek su/çimento oranına ve ters orantılı olarak zayıf dayanım ve dayanıklılığa sahip tabaka şeklinde çimento hamuru yüzeyini oluşturur. Yüzeyde biriken bu su tabakası plak ve döşeme yüzeylerinden veya diğer beton elemanların yüzeyinden, bunların üzerlerine yeni beton tabakaları dökülmeden ya da perdahlama işleminden önce uzaklaştırılmalıdır.

Rüzgarlı, kuru ve sıcak havalarda yerleştirilmiş taze betonun yüzeyine ulaşan su kısa sürede buharlaşır ve bu da plastik rötre ve çatlak oluşumu ihtimalini yükseltir. Su beton içinde yukarıya doğru yükselirken iri agrega parçacıklarının ve yatay donatıların altında birikebilir. Bu durum sertleşmiş beton içerisinde boşluklar

oluşmasına sebep olur ve betonun mukavemetini ve donatıyla arasındaki aderansı zayıflatır Bu şekilde beton suyunun birikmesi Şekil 1.3' de gösterilmiştir.



Şekil 1.3 Terleme sırasında beton suyunun ayrışması ve birikmesi

Yollar, kaplamalar ve döşemeler gibi yüzeyi yoğun sıkıştırma ve perdahlama gibi terlemeyi artırıcı işlemlere maruz kalacak betonların terlemeye iyi direnç gösterecek karışımlar olarak üretilmesi önemlidir. [5]

Genel olarak karışımdaki çimento dozajının artırılması veya daha ince çimento kullanılması, karışıma uçucu kül, silis dumanı gibi ince malzemeler katılması, su muhtevasının azaltılması ve betona hava sürükleyici katkı eklenmesi terlemeyi azaltmaktadır. [7]

1.1.1.4. Yerleşebilirlik (Sıkışabilirlik)

Sıradan bir betonun işlenebilirliği karışımın içine hapsolmuş havanın karıştırma ve yerleştirme sırasında yüzeye çıkarak kaçmasına müsade edecek kadar yeterli değildir. Hapsolmuş hava sertleşmiş betonun dayanım ve durabilitesinin her ikisini de önemli ölçüde düşürmektedir. Bu yüzden teknik ve ekonomik açıdan mümkün olduğu sürece hapsolmuş havayı büyük oranda çıkarmak gerekir. Hava boşlukları iyi bir yerleştirmeyele yok edilebilir. Sıradan bir beton iyi yerleştirildiğinde genellikle hapsolmuş hava %1-%2 mertebesine düşer. Bu mertebenin daha aşağılara çekilmesi veya sıfıra indirgenmesi ekonomik açıdan uygun olmamaktadır.

Yerleştirme süreci enerji girişı ve buna ek olarak emek ve denetim ihtiyacı gerektirir. Bu yüzden taze bir karışımın uygun biçimde sıkıştırılıp yerleştirilebilmesi için gerekli enerji ve sıkıştırma kuvvetini gösteren veriler uygulamada yararlı olmaktadır. Bahsedilen enerji ihtiyacı yerleşebilirliğin tanımlanmasında kullanılmaktadır. Yerleşebilirliğin ölçümü için birçok test ileri sürülmüş ve bunlardan iki tanesi standartlaşmıştır.

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

Sıkıştırma Deneyi (DIN 1048)

Sıkıştırma Faktörü Deneyi yerleşebilirliği; aynı karışımındaki kısmen yerleşmiş betonun yoğunluğunun tam olarak yerleşmiş kısmın yoğunluğuna oranı şeklinde değerlendirmektedir. Bu deney standart bir iş miktarı sonucu betonun yerleşme derecesini ölçer. Yine de kısmi yerleşme iki küçük serbest düşmenin numune üzerindeki darbe etkisi ile tanımlanır. Burada yerleştirme için sarfedilen güç uygulamada yerleştirme için kullanılan titreşim ile kıyaslandığında çok küçük kalmaktadır. Bu sebeple tam anlamıyla gerçeği yansıtmamaktadır. Alman Sıkıştırma Deneyi daha basit olup, amaca ve gerçeğe daha uygundur.

1.1.1.5. Perdahlanabilirlik

Perdahlanabilirlik işlenebilirliğin taze beton özellikleri ile çeşitli türlerdeki başarılı perdahlama uygulamaları arasındaki ilişkiyi de kapsaması amacıyla listeye eklenmektedir. Bu terimin tatmin edici bir tanımı bulunmamaktadır. Her çeşit perdah işinin kendine özgü işlenebilirlik derecesine ihtiyacı vardır. Bu yüzden iyi işlenebilirlik için terleme direnci ve yeterli kohezyonu da kapsayan uygun hareketlilik, yüksek kararlılıktan başka yeni kriterler tayin etmek imkansızdır. Perdahlanabilirlik esas olarak derin ve karmaşık şekilde uzanan kalıplarla karşılaşıldığında veya döşeme ve kaplama olarak taze beton dökümü gerektiğinde önem kazanır.

Uygulamada perdahlanabilirlik tayini bir veya daha fazla işlenebilirlik testine, ayrıca taze betonla ilgili genellikle görsel değerlendirmelere ve pratik perdah uygulamalarından edinilen tecrübelerle dayanır.

1.1.2. Reolojik Özellikler

En geniş anlamda reoloji maddenin deformasyonu ve akışı ile ilgilenen bir bilim dalı olarak kabul edilebilir. Özellikle mühendislik uygulamalarında reoloji terimi ideal, elastik katılara, basit akışkanlara ve gazlara ait akış ve deformasyon kurallarına uymayan malzemelerin davranışlarını incelemeye kullanılır. Davranışları ideal malzeme kanunlarına uyan malzemelerin özellikleri arasında rijit farklar yoktur. Uygulamalı reoloji tarafından incelenen malzemeler ise genellikle daha karmaşık davranışlar gösterirler.

Taze beton söz konusu olduğunda reolojik metotların uygulanmasında çok geniş bir faaliyet alanı mevcuttur. Her beton çimento ile suyun temas ettiği ve genellikle agrega ilavesiyle eş zamanlı olan ilk andan, ideal katı kurallarının uygulanması için yeterli olacak katılaşmaya ulaşınca kadar geçen süreyi geçirmek zorundadır. Taze beton terimi bu süreyi işaret eder. Taze beton en önemli bileşenlerinden biri olan taze çimento hamuru ile birlikte uygulamalı reolojinin faaliyet alanında incelenir.

Taze beton genellikle uygulamada çimento hamurunun sağladığı sıvı ortam içerisinde agreganın dağılımı olarak kabul edilir. Çimento hamurunun kendisi katı parçacıkların (çimento) sıvı ortamda (su) asılmalarından ibarettir ve bu sebeple taze betonu çok fazlı bir malzeme olarak kabul etmek daha uygun olacaktır.

Taze betonun temel reolojik özelliklerini ve parametrelerini belirleyen reolojik denklemler taze betonu çok fazlı bir malzeme olarak değerlendirmenin yanında taze betonun sürekli, homojen ve izotrop bir malzeme olduğu kabulüne dayanırlar. Fakat uygulamada taze beton bu üç kabulü aynı anda sağlamaktan uzaktır. Taze betonun bu kabullere uyum derecesi bir tip betondan diğerine çok farklılık göstermektedir. Ayrıca bu uyum betonun yapısının ne derece yakından incelendiğine de bağlıdır. Mesela beton mikro düzeyde ele alındığında sürekli olmaktan uzaktır.

Malzeme üzerinde reolojik ölçümler yapılırken malzemenin içinde bulunduğu koşullar da etkilidir. En çok kullanılan yöntem ölçüm yapılırken malzemenin sabit kayma gerilmesine maruz bırakılmasıdır. Pratikte ise böyle bir durumla pek karşılaşılmaz. Taze karışım pompalanırken, kalıplara yerleştirilirken veya transmikserlerle taşınırken çok farklı, dinamik ve değişken kayma gerilmeleri altında

kalır. Son zamanlardaki çalışmalarda bu durum gözönüne alınmakta ve deney koşulları gerçek beton üretim şartlarına uygun hale getirilmeye çalışılmaktadır. Taze beton gibi çok fazlı malzemelerde reolojik karakterler değerlendirilirken uygulanan kayma gerilmesi şiddeti de önem kazanmaktadır. Çünkü malzeme çok düşük gerilmelerde çok yüksek gerilmelerdeki davranışından farklı biçimde davranmaktadır.

Bunlardan dolayı temel reolojik verilerin ve özelliklerin anlaşılabilmesi için taze beton karışımlarının davranışları hakkındaki mevcut bilgilerin taranması öncelikle gereklidir.

Reolojik parametreler belirli bir gerilme uygulandığında oluşacak şekil değiştirme veya akış miktarını veya belirli bir şekil değiştirmenin sebep olduğu gerilme miktarını tahmin etmemizi sağlar. Bununla beraber taze beton gibi karmaşık bir malzemeye uygulandığında teorik ve pratik reolojideki sınırlamaların da farkında olmak önemlidir.

1.1.2.1. Newton Akışı

İdeal bir Newton sıvısına kayma gerilmesi uygulandığında bu gerilme sıvının şekil değiştirmesine neden olur ve ideal katılardaki durumun aksine gerilme uygulandığı müddetçe sıvı şekil değiştirmeye devam eder.

Birim zamandaki deformasyon oranı $\dot{\gamma}$ veya daha genel olarak deformasyon oranının zamana bağlı diferansiyeli aşağıdaki denklemde görüldüğü üzere kayma gerilmesi τ ile orantılıdır.

$$\tau = \eta \cdot d\gamma/dt = \eta \cdot \dot{\gamma} \quad (1.1)$$

Burada (1.1) bağıntısındaki “ η ” terimi viskozite katsayısı olarak ifade edilmektedir. Sıvılarda kayma genellikle biri diğerine göre bağıl olarak hareket eden iki paralel yüzey ile temsil edilir. Sürekli devam eden kayma deformasyon oranı hız (V) olarak tanımlanabilir. Şayet sıvı laminer (düzgün) harekette kalırsa aralarında y birim mesafesi bulunan hareketli yüzeylerin hız değişim oranıyla orantılı kayma gerilmelerinin etkidiği tabakalarda Newton akışı doğacaktır (Şekil 1.4). Kayma gerilmesi daha genel terimlerle tanımlanırsa;

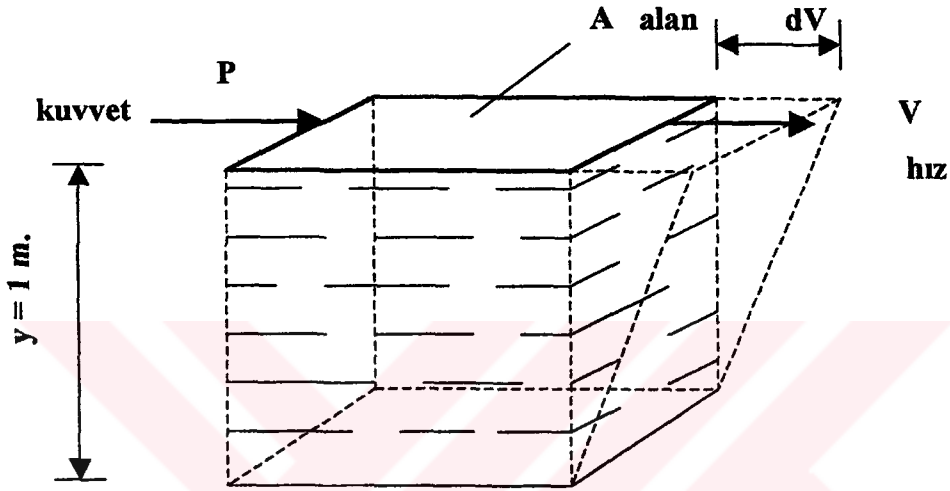
$$\tau = \eta \cdot dV/dy = \eta \cdot D \quad [D: \text{hız değişkeni } (dV/dy)] \quad (1.2)$$

Hız gradyanı zaman içinde kayma deformasyonunun değişme oranına eşitlendiğinde ($dV/dt = \gamma$) denklem şu şekilde yazılabilir:

$$\tau = \eta \cdot \gamma \quad (1.3)$$

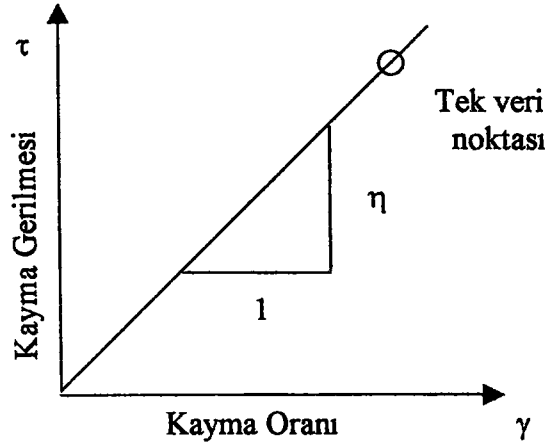
Düzgün akan Newton sıvısının temel reolojik özelliği “ η ” viskozitedir:

$$\begin{aligned} \eta &= \tau/\gamma = \text{Kayma gerilmesi} / \text{kayma oranı} \\ &= \text{Pa/sn}^{-1} = \text{Pa.sn} \end{aligned} \quad (1.4)$$



Şekil 1.4 Laminer viskoz akış

Newton sıvısının viskozitesi η uygulanan τ kayma gerilmesi ve γ kayma oranından bağımsızdır. Viskozite özellikle ilgili sıvının kendi doğasına ve karakterine bağlıdır ve o sıvının akışkanlığının ölçüsüdür. Bundan dolayı viskozite tek ölçüm neticesinde ve tek bir veri çifti ile çizilebilen Kayma gerilmesi / Kayma oranı diyagramından kolayca hesaplanabilir [5]. Viskozite tayini için tek bir ölçümün yeterli olması Şekil 1.5 üzerinde geometrik açıdan da görülebilmektedir. Yapılan tek bir ölçüm neticesinde elde edilen tek veri noktası ile orijinden doğaal olarak tek bir doğru geçebilmektedir. Bu doğrunun eğimi de o sıvıya ait viskoziteyi vermektedir. Böylece bir seri çeşitli sıvılar üzerinde bu şekilde deneyler yapıldığında her biri için eğimleri birbirinden farklı doğrular elde edilecektir.



Şekil 1.5 Newton sıvısının viskoz akışı

Buraya kadar anlatılan ve bağıntı (1.3) deki şekliyle ifade edilen ve Newton'un viskoz akış kanunu olarak anılan kanun taze betonun reolojisini açıklamada oldukça basit kalmaktadır. Bağıntı (1.3) de ifade edildiği şekliyle bir Newton sıvısı üzerine çok küçük bir kayma gerilmesi etkidiğinde dahi sıvı harekete geçmekte ve sıvıya etkiyen kayma gerilmesi ile sıvının kayma oranı arasında sabit bir orantı bulunduğu kabul edilmektedir. Bu durum Şekil 1.5'de kayma gerilmesi/kayma oranı grafiğinde orijinden geçen bir doğru ile temsil edilmektedir. Buna karşılık yapılan en gelişigüzel gözlemler bile bu kabullerin taze beton davranışı için doğru olamayacağını göstermektedir. Herşeyden önce taze betonu harekete geçirebilmek için önceden bir miktar kuvvet uygulanması gerektiği açıktır. Bu durum taze betonun bir akış direncine sahip olduğunu ve sonuç olarak akış eğrisinin orijinden geçmesinin mümkün olmadığını belirtmektedir. Bu nedenle taze betonun özelliklerini açıklamada tek bir sabitin yetersiz olduğu görülmektedir. [7]

1.1.2.2. Newton Akışına Uymayan Sıvılar ve Bingham Modeli

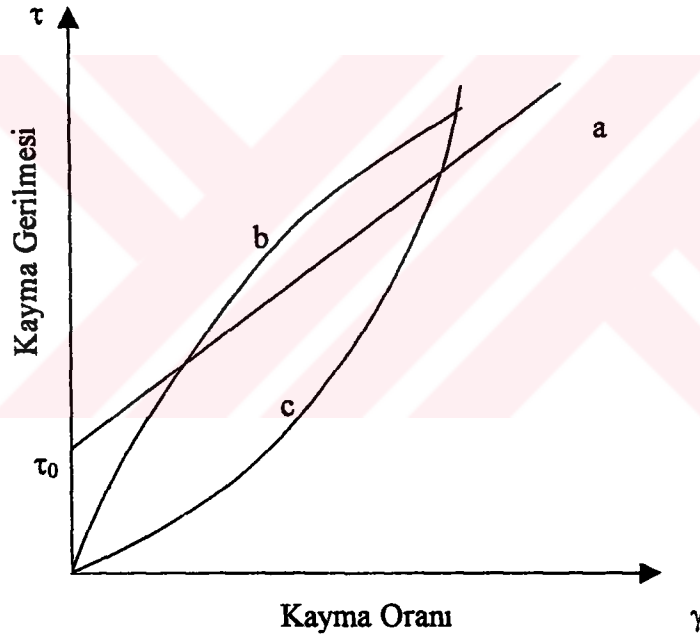
Birçok sıvının davranışları şimdiye kadar anlatılmış olan Newton sıvısının basit davranışına uymaz. Bunların karakteristikleri, yani viskoziteleri uygulanan kayma ve kayma deformasyon oranı şiddetinden bağımsız değildir. Ayrıca bu sıvılar kayma uygulandığı süre boyunca bu sürenin uzunluğuna bağlı olarak akışlarını değiştirebilirler. Kayma oranındaki değişiklikler de ayrıca etkilidir. Bazı sıvılar ise akışa geçebilmek için akma gerilmesi τ_0 (eşik kayma gerilmesi) denilen belirli bir seviyedeki kayma gerilmesine ihtiyaç duyarlar.

Şekil 1.5'de kayma gerilmesi τ ile kayma oranı γ arasındaki basit orantı ilişkisini gösteren düz çizgi Newton akışına uymayan sıvılarda değişerek doğrusal

olmayan hale gelebilir ve/veya sıvı eşik akma gerilmesi sergileyebilir. Şekil 1.6'da Newton akışına uymayan değişik tiplerdeki sıvıların davranışı değişik şekillerdeki eğrilerle gösterilmektedir.

Eşik akma gerilmesi göstermeyen Newton olmayan sıvılar genellikle sahte plastik sıvılar olarak sınıflandırılmaktadır. Kayma gerilmesi/kayma oranı diyagramının eğimi plastik viskoziteyi (η_p) vermektedir. Şekil 1.6'daki b eğrisi tipik bir sahte-plastik davranışı temsil etmektedir. Eğriden anlaşıldığı üzere kayma oranı arttıkça plastik viskozite azalmaktadır. Fakat söz konusu değişim doğrusal değildir. Bu olaya kayma incelmesi denmektedir.

c eğrisi ise bir çeşit kayma kalınlaşmasını temsil eder. Buna aynı zamanda genişleme de denir. Bazı malzemeler artan kayma gerilmesi etkisi altında kaldıklarında hacimlerinde artış meydana gelir ve bu olaya hacimsel genişleme denir.



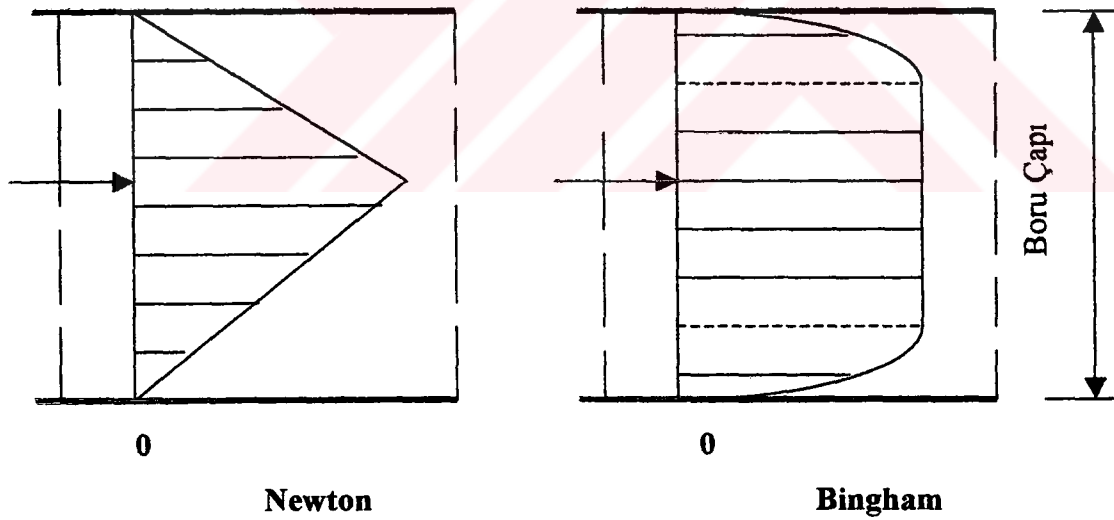
Şekil 1.6 Değişik tipte Newton olmayan sıvıların kayma gerilmesi-kayma oranı ilişkisi

Newton olmayan sıvılardan beton teknolojisini ilgilendirenler harekete başlayabilmek için önceden belli bir miktar kayma gerilmesi gerektiren, τ_0 eşik kayma gerilmesine sahip sıvılardır. Bu malzemelere Bingham sıvıları ya da plastikleri denir. Bingham sıvısının davranışı Şekil 1.6'daki a eğrisi ile temsil edilmektedir. Bir Bingham sıvısının temel ilişkisi şu şekilde ifade edilmektedir:

$$\tau = \tau_0 + \eta_p \cdot \gamma \quad \eta_p: \text{plastik viskozite} \quad (1.5)$$

Bu durumda sıvının davranışını karakterize etmek ve akış eğrisini çizebilmek için iki sabite (τ_0 , η_p) ihtiyaç duyulmakta ve bunları elde etmek için de en az iki deneysel veri gerekmektedir. Bu durum geometrik olarak da şöyle açıklanabilir. Tek bir deney sonucunda elde edilen bir veri noktasından kayma gerilmesi / kayma oranı diyagramında kayma gerilmesi eksenini kesen sonsuz doğru geçebilmektedir. Oysa iki deney sonucunda elde edilen iki veri noktasından aynı diyagramda sadece tek bir doğru geçmekte ve bu doğrunun kayma gerilmesi eksenini kestiği nokta sıvının eşik kayma gerilmesine tekabül etmektedir. Ayrıca doğrunun eğimi de sıvının plastik viskozitesini vermektedir.

Şekil 1.7’de ideal Newton ve Bingham sıvılarının boru içindeki akışı gösterilmiştir. Kayma gerilmesi boru çeperinde en yüksek değerinde olmakla beraber çeperden uzaklaştıkça azalmaktadır. Bu azalma Bingham sıvılarında en fazla eşik kayma gerilmesi değerine kadar olmaktadır. Eşik kayma gerilmesinin altındaki kayma gerilmesi şekil değiştirmeye sebep olmamakta ve borunun orta kısmındaki sıvı bir katı gibi hareket etmektedir.



Şekil 1.7 Newton ve Bingham sıvılarının boru içinde akışı sırasında oluşan gerilme dağılışı (Akımın laminar olduğu kabul edilmiştir.)

Bütün bu anlatılanlar neticesinde taze betonun akış özelliklerinin yaklaşık olarak Bingham modeline uyduğu konusunda herhangi bir şüphe yoktur. Ayrıca taze beton davranışı eşik kayma gerilmesi ve plastik viskozite gibi en az iki katsayı ile değerlendirilebilmektedir. Bu yorumlar ezici çoğunlukta deneysel kanıtlarla desteklenmektedir. Pratikte taze betonun işlenebilirliği ve davranışını inceleyen

Çalışmaların yukarıdaki yorumları hesaba katmadan başarıya ulaşma şansı oldukça azdır. [5, 7] τ_0 ve η_p değerleri taze betonlarda iki nokta işlenebilirlik aygıtı ile saptanabilmektedir. Harç ve hamurlarda ise klasik eşeksenli bir viskozimetreden yararlanmak mümkündür.

1.2. Kendiliğinden Yerleşen Betonlar

Beton dökme işlerinde taze betonun gerektirdiği işlenebilirlik inşaatın tipine, tercih edilen sıkıştırma ve yerleşirme yöntemlerine, beton dökülecek kalıbın şeklinin karmaşıklığına ve donatıların yerleştirilmesindeki sıkılık derecesine bağlıdır. Bugün pek çok betonarme inşaatta yerleştirilme ve sıkıştırılma açısından sıradan olanlara göre daha akıcı betonlara ihtiyaç duyulmaktadır. Sıradan betonların yerleştirilmesi ve sıkıştırılmasında vibrasyon uygulaması işin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Bu işlem zaman kaybına yol açmakta ve sıradan betonların yerleştirilmesinde çok etkili olamamaktadır. Bazı durumlarda vibrasyon uygulaması nitelikli işçilik ve sıkı kalite denetimi gerektirmekte, buna ilave olarak çevreye çok gürültü yaymaktadır. Ayrıca çok fazla vibrasyon taze betonda ayrışmaya, terlemeye ve hava boşluklarına sebep olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı normal betonların elik çubuklar arasından kolayca akıp yerleşemediği sıkı donatılı bölgelerde ve karmaşık kalıp şekillerinin bulunduğu durumlarda kendiliğinden yerleşen beton bir çözüm olabilmektedir. Kendiliğinden yerleşen betonlar sadece kendi ağırlıkları altında hareket ederek yayılabilmekte, çok iyi derecede akıcılık, işlenebilirlik ve koheziflik özelliklerinin yanında ayrışma ve terleme eğilimi göstermemektedirler.

Bugün beton teknolojisindeki en ilginç fikirlerden biri kendiliğinden yerleşen betonlardır. Bu tip betonlar ilk defa geliştirildikleri 1988 yılından itibaren yüksek durabiliteye sahip beton yapı inşası alanında giderek artan önem kazanmaktadır. Yeni gelişen birçok kimyasal katkıya bağlı olarak geliştirilen kendiliğinden yerleşen betonlar inşaat sektörüne birçok fayda sağlamaktadır. Bu tarz betonlar vibrasyon gerektirmeden kolay ve hızlı bir şekilde kalıp içine yayılarak yerleşmekte ve sıkı yerleştirilmiş donatıların arasını uygun şekilde doldurabilmektedir. Bu nedenle proje aşamasında donatıların detaylandırılmasında daha fazla esnekliğe imkan tanımaktadır. Bununla beraber ayrışma ve terleme göstermemekte, homojen, düzgün yüzeyli, boşluksuz ve durabilitesi yüksek beton oluşumuna imkan vermektedir. Ayrıca kendiliğinden yerleşen beton kullanımı beton dökümü ve yerleştirilmesi

sırasında gerekli nitelikli işçilik ve işçi sayısının azalmasını sağlamakta ve çevreyi vibrasyon gürültüsünden kurtarmaktadır. Yine bu tip beton kullanımı geniş kalıplar üzerinde beton döküm noktalarının seçilmesinde esneklik sağlamakta ve bu nedenle transmikserlerin sık manevra ihtiyacını azaltmaktadır. [8]

Kendiliğinden yerleşen betonlar aşağıda belirtildiği şekilde üç kategoride sınıflandırılmaktadır.

a-) Toz tipi kendiliğinden yerleşen betonlar: Bu tip betonlarda su/toz malzeme oranını azaltmak amacıyla ince malzeme miktarı artırılır ve bu sayede gerekli ayrışma direnci ve deformasyon kabiliyeti sağlanır. Toz tipi kendiliğinden yerleşen betonlarda esas olarak süperakışkanlaştırıcılar ve hava sürükleyici katkıları kullanılır. Taze beton hamurundaki toz muhteviyatı yükseldiğinde hamurun eşik kayma gerilmesi ve plastik viskozitesi önemli derecede artar. Bu durumda karışıma hava sürükleyici katkı ve yüksek oranda su azaltan akışkanlaştırıcı eklenir. Bunun sonucunda eşik kayma gerilmesi önemli ölçüde düşerken plastik viskozitede küçük bir azalma meydana gelir. Bu metod yüksek akışkanlığa sahip beton üretiminde en çok kullanılan yöntemdir. Yüksek akışkanlıklı bu betonun fazla miktarda toz ihtiva etmesi kütle beton yapılarında hidrasyon ısısından kaynaklanan termal çatlaklara sebep olabilmektedir. Bu yüzden bu tip beton genellikle yüksek fırın cürufu, uçucu kül ve kireçtaşı tozu ile kullanılır. Ayrıca yine bu konuda düşük hidrasyon ısıli çimentolar da kullanılmaktadır.

b-) Viskozite tipi kendiliğinden yerleşen betonlar: Bu tip betonlar ayrışma direnci ve yüksek deformasyon kabiliyeti göstermek üzere viskozite artırıcı katkıları, süperakışkanlaştırıcılar ve hava sürükleyiciler kullanılarak oranlanır. Bu tarz üretim yöntemi ayrışma dirençli su altı beton teknolojisinin bir uzantısıdır. Bu tür betonun özelliği düşük toz malzeme içeriğinde bile üretilebilmesidir. Selüloz ve akrilik veya akrilamid tip suda çözünür polimerler viskozite tipi kendiliğinden yerleşen betonun ana bileşenleridir.

c-) Kombinasyon tipi kendiliğinden yerleşen betonlar: Toz tipindeki kendiliğinden yerleşen betona viskozite artırıcı katkı eklenerek taze betonun; nem oranına ve agregaların derecelenmesine bağlı kalite dalgalanmaları azaltılır. Böylece betonun kalite kontrolü kolaylaşır. [1, 2]

Kendiliğinden yerleşen betonun yapıdaki yoğun donatılı bölümleri ve karmaşık şekilli veya dar kalıpları kolayca doldurup yayılabilmesi betonun kendi ağırlığı altında çeşitli engeller arasından akmasını ve bu esnada herhangi bir ayrışma veya akışta blokaj göstermemesini gerektirmektedir. Dökme beton kendiliğinden yerleşebilmeli ve dayanım ve durabilite kriterlerini yerine getirmelidir. Kendiliğinden yerleşen betonun başarılı bir şekilde dökülüp yerleştirilmesi için temel işlenebilirlik gereksinimleri; mükemmel deformasyon kabiliyeti, yüksek kararlılık ve düşük blokaj riski olarak özetlenebilir. Taze betonun deformasyonu akışını önleyebilecek engeller civarında dahi kendi ağırlığı altında akarak şekil değiştirebilme yeteneği olarak tarif edilebilir. Maksimum deformasyon maksimum akış değeri anlamına gelirken, deformasyon hızı deformasyon oranı ile alakalıdır. Mesela su altında dökülmek üzere tasarlanmış yüksek viskoziteye sahip bir beton 570 mm.lik bir slump yayılma değerine (yüksek deformasyon) 15 saniyede ulaşırken daha fazla su ihtiva eden kendiliğinden yerleşen karakterde bir beton aynı yayılma değerine 5 saniyede (yüksek deformasyon hızı) ulaşabilmektedir. Bu akış kavramları tabii ki betonun akma direnci ve viskozitesine bağlıdır.

Yüksek akışkanlık (düşük akma direnci) ve yine yüksek ayrışma direnci (yeterli viskozite) sağlamak çeşitli engeller arasından kolayca akarak boşlukları doldurabilecek kapasitede bir kendiliğinden yerleşen beton temin etmek için çok önemlidir. Taze betonun deformasyon kabiliyeti çimento hamuruyla yakından alakalı olup yüksek oranda su azaltan katkıların eklenmesiyle artmaktadır. Hem akma direnci, hem de viskoziteyi azaltan su arttırılması durumuna benzemeyerek yüksek oranda su azaltan katkı eklenmesi akma direncini önemli miktarda azaltmakta (daha iyi akıcılık) fakat viskozitede sınırlı bir düşüş sağlamaktadır. Bu sebeple yüksek akışkanlıklı bir beton kohezifliğinde önemli bir düşüş olmadan elde edilebilmektedir.

Su/toz malzeme oranındaki düşüş çimento hamurunun deformasyon kabiliyetini kısıtlayabilir. Bu yüzden su/toz malzeme oranındaki artış yüksek deformasyon kabiliyeti sağlarken diğer taraftan hamurun ve harcın kohezifliğini azaltabilmekte ve bu da ince ve iri agregaların ayrışmasına ve de akışta blokaja (tıkanmaya) neden olabilmektedir. Bu sebepten dolayı taze betonun kohezifliğinde önemli bir düşüş yaratmadan deformasyon kabiliyetini geliştirmek için yapılan su/toz malzeme oranı artışında bir denge gereklidir.

Taze betonun deformasyon kabiliyetini etkileyen bir diğer önemli parametre çeşitli katı parçacıklar (iri agregalar, kum ve toz malzemeler) arasındaki sürtünmedir. Bu katı parçacıklar arasındaki sürtünme akmaya karşı içsel direnci artırır, bu da taze betonun deformasyon kabiliyetini ve akış hızını sınırlamaktadır. Taze beton boşlukların az olduğu dar bölgelerden, çelik çubuklar arasından akarken parçacıklar arasındaki çarpışmalar artacağından sürtünme de artar. Bu durum viskozitenin artmasına neden olur ve neticede belirli bir deformasyon kapasitesi ve hızını sürdürebilmek için gereken kayma gerilmesi artar. Yüksek oranda su azaltıcı katkıları çimento tanelerini dağıtıp yayarak taneler arasındaki sürtünmeyi azaltırlar ve su miktarında azalmaya olanak tanırlarken aynı zamanda gerekli düzeyde akıcılık ve viskozitenin devamını sağlarlar.

Bunlardan başka iri agrega ve kum hacmini azaltıp hamur hacmini arttırmak da deformasyon kabiliyetini geliştirmek için başvurulan esaslı yöntemlerden biridir. Sürekli derecelenmiş çimento ve benzeri bağlayıcı malzeme ilavesi de taneler arası sürtünmeyi azaltabilmektedir. İki veya üç parçalı bağlayıcı malzeme kombinasyonları seçerken bu toz malzemelerin su ve katkıları yüzermede, işlenebilirlik kaybı ve sıcaklık yükselmesinde, betonun mühendislik özelliklerinin ve durabilitesinin gelişimindeki etkilerinin hesaba katılması gereklidir. Taze betonun deformasyon kabiliyetindeki azalma boşlukları doldurma kapasitesini ve kendiliğinden yerleşmesini kısıtlayacağından betondaki akıcılık kaybının yerleştirme işlemi sonuna kadar minimum düzeyde tutulması önemlidir.

Betonda kendiliğinden yerleşebilme özelliklerini sağlamak amacıyla gerekli bir diğer önemli parametre taze betonun kararlılığıdır. Şunu önemle belirtmek gereklidir ki üretildiği ilk anda yeterli kararlılık gösteren yüksek akışkanlıklı bir beton daha sonra pompalanması veya kalıba yayılması sırasında bir miktar ayrışmaya maruz kalabilir. Çünkü bu durumlardaki kayma gerilmeleri etkisinde taze betonun görünen viskozitesi diğer zamanlardakine göre önemli ölçüde düşüktür. Bu durum betonun sahte plastik karakterinin bir sonucudur. Beton çeşitli engeller etrafında akarken kayma gerilmeleri yerel olarak yükselebilir. Bu yüzden beton sıkı donatılı alanlar gibi sınırlı bölgelerden akarken katı parçacıkların uniform şekilde asılı kalmalarını sürdürecektir yeterlikte viskoziteye sahip olmasının sağlanması önemlidir. Kohezifliği düşük bir beton katı parçacıkların hamur içinde uygun şekilde asılı kalmalarını sürdüremediğinden bu beton engeller arasından akarken uniform

deformasyon gösteremez ve ayrışabilir. Taze beton sınırlandırılmış bir bölge etrafında akarken bu sırada bir kısım iri agregaya ayrılmaya başlayabilir ve bu da agreganın yoğunluğunun bu bölgelerde artmasına sebep olur ve neticede agregalarda pıhtılaşma ve kemerleşme oluşur, bunun sonucunda da akışta blokaj (tikanma) meydana gelir. Bu sebepten dolayı kararlılığın artırılması, iri agreganın muhteviyatının azaltılmasını ve agregalarda maksimum tane çapının düşürülmesini gerektirir. Ayrıca iri agreganın ile harç arasındaki bağ kuvvetlendirmek amacıyla karışımın kohezyonunu arttırmak da önemlidir. Böylece yeterli kohezyon ile her iki faz arasında uniform bir akış sağlanır.

Taze beton yerleştirilirken göstermesi gereken yeterli kararlılığı yeri sabitlendikten sonra sertleşinceye kadar sürdürmeli ve böylece serbest suyun yüzeye doğru hareket edip kaçmasına ve iri parçacıkların ayrışmasına engel olmalıdır. Bu olay sertleşmiş betonda homojen özellikler sağlamak için gereklidir. Betonda kararlılığın olmayışı agreganın ve çimento hamuru arasındaki arayüz bölgesini zayıflatır ve yerel mikro çatlak oluşumu eğilimini artırarak betonun geçirimsizliğinin artmasına ve mekanik özelliklerinin zayıflamasına sebebiyet verir. Ayrıca yatay yerleştirilmiş donatıların alt yüzünde biriken poroz çimento hamurunda ve düşey donatıların alt uçlarında terleme meydana gelebilir. Yeterli derecede kararlılığın sağlanması özellikle derin yapı elemanlarında yüksek akışkanlığa sahip betonun ayrışma, terleme ve yüzeysel yerleşme gösterebilmesi sebebiyle çok önemlidir. Çünkü bu olaylar betonun dayanımını, sertliğini, durabilitesini ve çelik çubuklarla arasındaki aderansı azaltmaktadır. Terlemenin azaltılabilmesi için su/toz malzeme oranı düşürülmek ve yüksek oranda su azaltan katkı eklemek suretiyle su muhtevası azaltılabilir, ayrıca viskozite artırıcı katkı kullanılabilir ve/veya serbest suyun bir kısmını bağlamak amacıyla yüksek miktarda çimento ve diğer bağlayıcı maddeler eklenebilir.

Taze betonun kendiliğinden yerleşebilme özelliğini geliştirmede diğer bir etkili yol betonun dar bölgelerden akması sırasında oluşan blokaj (tikanma) riskini azaltmaktır. Blokaj riski akış sırasında katı parçacıkların hamur içinde uygun şekilde asılı kalmalarını temin eden yeterli viskozitenin sağlanması ile azaltılabilir. Yeterli viskozitenin sağlanması katı parçacıklar arasındaki sürtünmeyi azaltabilirken diğer taraftan taze betonun deformasyon kabiliyetini ve kalıbın tamamını uygun şekilde doldurabilmesini kısıtlamaktadır. Taze betonun dar boşluklu engeller arasından

akarken blokajını önlemek için su/toz malzeme oranı azaltılarak ve/veya yeterli dozajda viskozite artırıcı katkıları ekleyerek betonun yeter derecede kohezif olması sağlanmalıdır. Kalıp içinde yoğun ve sıkı yerleştirilmiş donatılar ve dar bölümler sebebiyle boşlukların azaldığı durumlarda bu bölgelerde katı parçacıklar arasındaki sürtünmeyi ve akışta blokaj riskini azaltmak için iri agrega hacmi ve maksimum tane boyutu azaltılmalıdır. [9]

1.2.1. Tipik Kendiliğinden Yerleşen Beton Karışımları

Kendiliğinden yerleşen beton tasarımı betonun içine döküldüğü kalıbı gerektiği şekilde doldurabilmesi ve engeller arasından akarken blokaja uğramaması için mükemmel deformasyon kabiliyeti ve yeterli ayrışma direncine sahip olması amacıyla uygun malzeme seçimini ve yine bu malzemelerin uygun biçimde oranlanması gerektirir. Kendiliğinden yerleşen betonun yukarıda sözü edilen bu özellikleri iri agrega hacminde azalma, serbest su ihtivası gibi pek çok ölçüm gerektirir. İri agrega, kum ve toz malzeme arasındaki sürtünmeyi kısıtlamak için gerekli olan bu ölçümlerin tümü kendiliğinden yerleşen beton tasarımında hesaba katılmaktadır. Mesela kendiliğinden yerleşen beton için genel karışım metodlarından biri iri agrega hacmini iri agreganın görünen yoğunluğunun %50' si olarak sınırlandırmayı, kum hacmini de harç hacminin %40' ı olarak almayı tavsiye etmektedir. Çimentonun özelliklerine bağlı olarak hacimce su/toz malzeme oranı ilk etapta 0,90-1,0 şeklinde alınabilir. Betonun yüksek akışkanlığa sahip olup olmadığını ve sınırlandırılmış bölgelerdeki deformasyon kabiliyetini sınavan bir takım deneyden sonra yüksek oranda su azaltan katkı dozajı ve nihai su/toz malzeme oranı belirlenebilir. Beton gerekli akışkanlığı ve mekanik özellikleri gösterirse bunu sağlayan su/toz malzeme oranı uygun oran olarak kabul edilebilir.

Agrega muhteviyatındaki azalma daha fazla miktarda çimento kullanımı gerektirir ki bu da hidrasyon ısısının ve maliyetin artmasına sebep olur. Bu yüzden kendiliğinden yerleşen betonlarda gerek akışkanlığı ve kohezifliği arttırmak, gerekse üretim sırasındaki ısı artışını sınırlandırmak için genellikle çimento yerine yüksek miktarlarda uçucu kül, yüksek fırın cürufu, kireçtaşı tozu ve taş unu gibi malzemeler kullanılır. Bu gibi malzemeler çimentoya göre daha az reaktif olup çimentosu yüksek betonda akıcılık kaybına yol açan birçok problemi azaltabilirler. Karışıma bir veya daha fazla sayıda farklı morfolojiye ve tane çapı dağılımına sahip toz malzeme

eklenmesi birim hacim yoğunluğunu arttırabilir, taneler arası sürtünmeyi azaltarak viskozitenin azalmasına yol açarken diğer taraftan taze betonun deformasyon kabiliyetinin ve kendiliğinden yerleşme özelliğinin gelişmesinde ve kararlılığının artmasında rol oynar.

Hamurun kohezifliğini arttırmak için bir yöntem su/çimento oranını düşürmek suretiyle serbest su muhtevasını azaltmaktır. Bu yöntem gerekli deformasyon kabiliyetini elde edebilmek için biraz daha fazla miktarda yüksek oranda su azaltıcı katkı ilavesi gerektirebilmektedir. Bu yönteme alternatif olabilecek bir başka metod ise yeterli dayanım ve durabiliteyi sağlamak için gerekli su/çimento oranını sürdürerek buna ilave olarak taze betonun reolojik parametrelerini geliştirmek amacıyla viskozite arttırıcı katkı eklemektir. Viskozite arttırıcı katkının yüksek oranda su azaltan katkıyla beraber kullanımı taze betonda yüksek deformasyon kabiliyeti ve yeter derecede kararlılık sağlar ve neticede betonun kalıp içinde boşlukları yüksek oranda doldurabilme kapasitesi, betonun mekanik özelliklerinde uniformluk ve donatılarla iyi derecede aderans temin edilmiş olur. Viskozite arttırıcı katkılar taze betonun hem akma direncini hem de viskozitesini arttırırken, yüksek oranda su azaltan katkılar esas olarak akma direncini azaltmaktadır. Bu iki katkının kombinasyonu sonucunda betonun başarılı bir şekilde kendiliğinden yerleşebilmesine olanak sağlayacak nispeten düşük akma direnci ve yeterli düzeyde viskozite elde edilir.

Genel olarak kendiliğinden yerleşen betonun kararlılığına ve blokajına etki eden iri agrega hacmi özellikle agregada maksimum tane çapı büyükse ve agrega uzun ve yassı taneleri içeriyorsa düşük tutulur. İri agrega hacmindeki bu düşüş su/çimento oranındaki ve ince malzeme muhtevastaki artış neticesinde azalma gösterir. Bu olaya akabinde hamur hacminde artış ve hacimce kum/hamur oranında azalma eşlik eder. [9]

Kendiliğinden yerleşen betonlarda aynı anda hem yüksek akışkanlık, hem tam kohezyon, hem de blokaj eğilimi göstermeme isteği kendiliğinden yerleşen beton tasarımını kısıtlamaktadır. Buna rağmen dünya çapındaki tecrübeler bugüne kadar büyük miktarda kendiliğinden yerleşen betonun başarılı uygulamalarını göstermiştir. Bugüne kadar kendiliğinden yerleşen betonla ilgili birçok araştırma yapılmış, çok sayıda karışım rapor edilmiş ve birbiriyle kıyaslanmış, ayrıca kendiliğinden yerleşen betonun gereken taze ve sertleşmiş beton özelliklerinin elde edilmesi için birçok

yöntem denenmiş ve karşılaştırılmıştır. Kendiliğinden yerleşen beton tasarımında varılan genel fikir birliği bu tip betonların her birinin kendine özgü biçimde tasarlanması gerektiği yönündedir. Kendiliğinden yerleşen beton tasarımı konusunda yardımcı olabilecek bazı noktalar aşağıda belirtilmiştir. [1]

- Düşük iri agregası muhtevası	Yaklaşık olarak birim ağırlığının %50' si
- Toz muhtevası (0,1 mm.den ince malzemeler)*	500 - 600 kg/m ³
- Kum muhtevası (>0,1mm. ve <5mm.)	Harç hacminin %40' ı
- Maksimum agregası çapı	< 20mm.
- Hacimce su/toz malzeme oranı	0,9 - 1,2
- Katkılar	Süperakışkanlaştırıcılar(özellikle polikarboksilat eter), hava sürükleyiciler ve viskozite artırıcı katkıları
- Slump yayılması	60 – 70 cm.
- V-hunisi	8 - 12 sn. ($D_{maks.} = 15$ mm.) 11 - 15 sn. ($D_{maks.} = 20$ mm.)
- U- borusu	$h > 30$ cm.
- Kajima dolum kutusu	>%90 doluluk

* 0,1 mm.den ince malzemeler; çimento, uçucu kül, yüksek fırın cürufu, silis dumanı, kireçtaşı tozu veya kuvarz tozu, agregalar içindeki ince malzemeler vs.

1.2.2. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Malzeme Özellikleri

Sertleşmiş haldeki kendiliğinden yerleşen betonun malzeme özellikleri olarak basınç dayanımı, gerilme-şekil değiştirme ilişkisi, elastiklik modülü, sünme, rötire vb. sayılabilir. Bu özelliklerin bilinmesi uygulamada mühendisler açısından büyük önem taşımaktadır.

Kendiliğinden yerleşen beton ile normal betonun basınç dayanımlarının mukayese edildiği birçok araştırma sonucuna göre ilk günlerdeki dayanımlar her iki tip beton için çok farklı olmazken ilerleyen günlerde özellikle kendiliğinden yerleşen betonun bünyesindeki uçucu külün de etkisiyle her iki betonun dayanımları arasındaki fark kendiliğinden yerleşen beton lehine hızla artmaktadır. Ayrıca yapılan

araştırmalar neticesinde kr koşullarının kendiliğinden yerleşen betonun basınç dayanımına etkisinin normal betonunkine göre daha az olduğu görülmüştür. Kendiliğinden yerleşen betonla ilgili diğer bir grup incelemede bu tip betonla üretilmiş blokların üst ve alt kısımlarından alınan numunelerin basınç dayanımlarının birbirine oldukça yakın çıkmasıyla kendiliğinden yerleşen betonların çok iyi derecede homojenlik sağlayabildiği gösterilmiştir. Bunun sebebi kendiliğinden yerleşen betonun ayrışmaması ve kohezif oluşudur. Normal betonlar ise aynı derecede homojenlik başarısını gösterememektedir. Ayrıca yine bu tip betonlarla ilgili yapılan çekip çıkarma deneylerinde de üst ve alt donatılar arasında aderans ağıısından yakınlık gözlenmiştir. [8, 10,11]

Kendiliğinden yerleşen betonla normal betonun elastiklik modülleri karşılaştırıldığında önemli farklara rastlanmamaktadır. Ayrıca her iki tip betonun basınç gerilmesi-şekil değiştirme diyagramları da genelde birbirine benzemektedir. Bununla beraber kendiliğinden yerleşen betonlar normal betonlara göre daha fazla bağlayıcı karakterde ince malzeme içerdiğinden ve hacimce iri agrega oranları daha az olduğundan bunlarda snme miktarı sıradan betonlara göre biraz daha yüksek olmaktadır. Yine aynı şekilde kendiliğinden yerleşen betonların rötresi normal betonlara göre daha fazla olmaktadır. Bunun sebebi kendiliğinden yerleşen betonun normal betona göre daha fazla miktarda hamur ve buna karşılık daha az miktarda iri agrega ihtiva etmesi, ayrıca bünyesinde uçucu kül ve fazla oranda su azaltan katkı bulundurmasıdır. [11]

1.2.3. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Akıcılık ve İşlenebilirliğinin llmesi

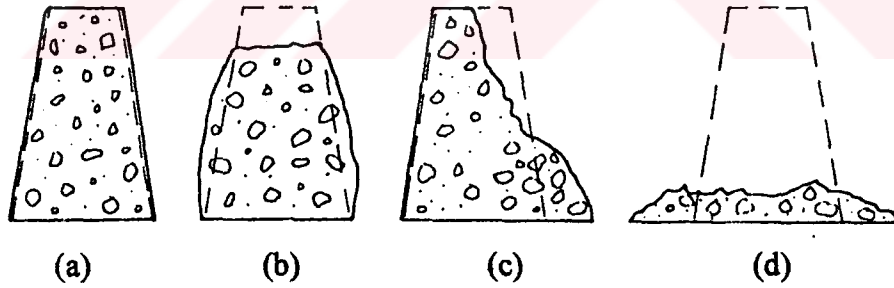
Taze betonun akıcılık ve işlenebilirliğinin tayini için bugüne kadar çökme deneyi, yayılma deneyi gibi birçok ölçüm yöntemi uygulanmıştır. Bununla beraber taze betonun deformasyon kabiliyeti, boşlukları doldurabilme kapasitesi ve kararlılığını içine alan kendiliğinden yerleşebilme özelliğini ölçmek amacıyla son yıllarda K-kme deneyi, V-hunisi deneyi, U-borusu, L tipi dolum kutusu gibi yeni deney yöntemleri geliştirilmiştir. Bunların uygulanış biçimleri aşağıda belirtilmiştir.

1.2.3.1.Çökme Deneyi

Çökme konisi testi taze betonun kıvrım ve işlenebilirlik tayininde kullanılan oldukça yaygın ve standart bir yöntemdir. Bu deneyde standart ölçüdeki bir koni içerisine doldurulan taze betonun koni kaldırıldıktan sonra kendi ağırlığı altında

çökmesi neticesinde ilk konumuna göre oluşan yükseklik farkı ölçülmektedir. Bu deney geçtiğimiz yüzyılın başında geliştirilmiş ve birçok yapı koduna dahil edilmiştir. Bununla beraber süperakışkanlaştırıcıların ortaya çıkmasıyla değişik su/çimento oranlarında oldukça yüksek akışkanlığa sahip beton üretebilmek mümkün olmuştur. Taze betona süperakışkanlaştırıcı eklendiğinde beton çökme konisi ile ölçülemeyecek derecede yüksek kıvamlar ve büyük çökme değerleri göstererek tabana yayılmaktadır. Bu gibi durumlarda çökme konisi ile sağlıklı okuma değerleri elde edilememektedir. Bu da çökme deneyini yüksek akışkanlığa sahip betonların kıvam ölçümünde etkisiz kılmaktadır. [12]

Şekil 1.8' de çökme deneyi sonucunda elde edilebilecek sonuçlar gösterilmiştir. Şekil 1.8 (a) taze betonda çökmenin olmadığı sıfır çökme durumunu gösterir. Çökme deneyinde taze betonun işlenebilirlik ve kıvamı hakkında anlamlı veriler ancak (b) türü düzgün çökme durumlarında edinilebilmektedir. (c) de kayma çökmesi durumu vardır ve taze beton hakkında sağlıklı sonuçlar vermez. (d) de ise taze beton çok fazla miktarda çökme göstererek tabana yayılmıştır. Böyle durumlara daha çok ihtiva ettiği süperakışkanlaştırıcılar nedeniyle yüksek akışkanlığa sahip betonlarda rastlanmaktadır. Şekil 1.8 (d) den anlaşıldığı üzere bu tip yüksek akışkanlıklı betonların işlenebilirlik ve kıvam tayini mevcut çökme deneyi ile yapılamamaktadır.[7]



Şekil 1.8 Çökme türleri

1.2.3.2. Slump Yayılma Deneyi

Bu deney uygulamasındaki kolaylık ve basitlik sebebiyle slump çökmesinin büyük değerler aldığı durumlarda (>24 cm.) taze betonun kıvam ölçümünde gerek laboratuvar, gerekse inşaat alanında en çok kullanılan yöntemdir. Yüksek akışkanlıklı betonun akıcılığı bu deneyle ölçülmektedir. Slump yayılması slump konisi kaldırıldıktan sonra tabana yayılan taze beton kütlesi üzerinde birbirine dik iki

ap lmnn ortalaması alınarak ifade edilmektedir. Daha nceki yapılan çalışmalardan edinilen tecrübelere dayanarak iyi derecede akışkanlığa sahip bir betonda slump yayılmasının ortalama olarak 60 ile 70 cm. arasında olduğu belirtilmektedir. Bununla birlikte bazı durumlarda betonun slump yayılma konisi kaldırıldığı ilk andan 50 cm. yayılma çapına ulaşıncaya kadar geçen süre de llmektedir. [2, 8]

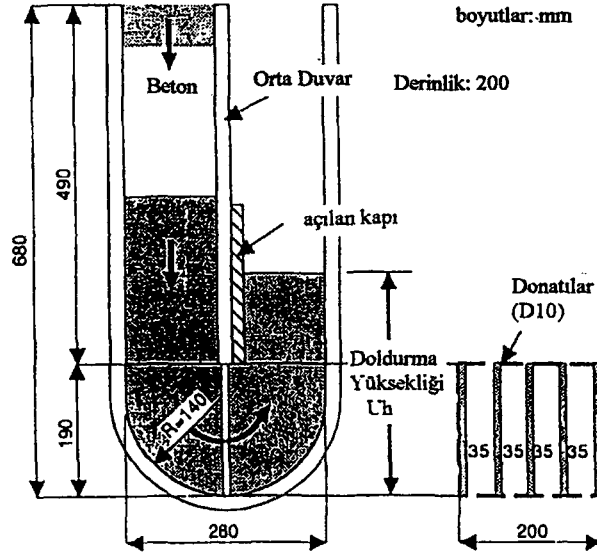
1.2.3.3. K-kme Deneyi

1970' li yıllarda Kanada' da geliştirilmiş olan deney orta veya yüksek işlenebilirlikli betonlar için uygundur. Deney; delikli bir tp olarak tanımlanabilen K-kme deney aleti içine belirli bir süre içinde akabilen harç veya imento hamurunun llmesi prensibine dayanmaktadır. Yaklaşık 170 mm. uzunluğunda ve bir ucu konik şekilde olan aletin ortasına kadar devam eden delikli kısmının bitiminde yüzdürücü levha bulunur. Aletin teki ucunda ise tp içinde hareket eden ölçekli bir çubuk vardır. Kuru karışımlar için uygun olmaması, birçok deney gibi güvenilirliğinin deneyin yapılışına bağlı oluşu ve sonuçların matematik bir modele uyarlanamayışı deneyin olumsuz yanlarıdır. Bununla beraber deneyin hızlı, kolay uygulanabilir, pratik ve basit olması K-kme deneyinin avantajları olarak sayılmaktadır. Deney henüz standartlaşmamış olmakla beraber daha çok kuzey Amerika' da kullanılmaktadır. [5]

1.2.3.4. U-Tipi Akma Deneyi

U-tipi akma deneyi kendiliğinden yerleşen betonun yoğun donatılı kısımlar arasından kendi ağırlığı altında akabilme kabiliyetini ölçen çeşitli dolum deneylerinden biridir. U şeklinde bir kap veya boruyu andıran deney aleti şekil 1.9' da gösterilmektedir. Aletin orta kısmında kabı iki eşit parçaya ayıran bir bölme kapısı ve tabanın ortasında ise eşit aralıklarla yerleştirilmiş 5 adet çubuk yer almaktadır. İlk etapta taze beton sol bölmeye doldurulmakta, daha sonra ortadaki kayan kapı yukarı doğru kaldırılarak taze betonun kendi ağırlığı altında akarak çubuklar arasından geçip sağ tarafı doldurabilmesine imkan verilmektedir. Bu sayede taze betonun sağ bölmede ulaştığı nihai yükseklik llerek betonun kendiliğinden yerleşebilme kapasitesi tayin edilmeye çalışılmaktadır. Edinilen deneyimler ışığında 30 cm.den fazla ykseklige ulaşan betonların kendiliğinden yerleşebilme özelliklerinin ve sıkı donatılar arasını uygun biçimde doldurabilme kapasitelerinin iyi olduğu

belirtilmektedir. Ölçüm işinin kolay ve basit oluşu U-tipi akma deneyinin avantajları olarak sayılabilir. [2, 8]

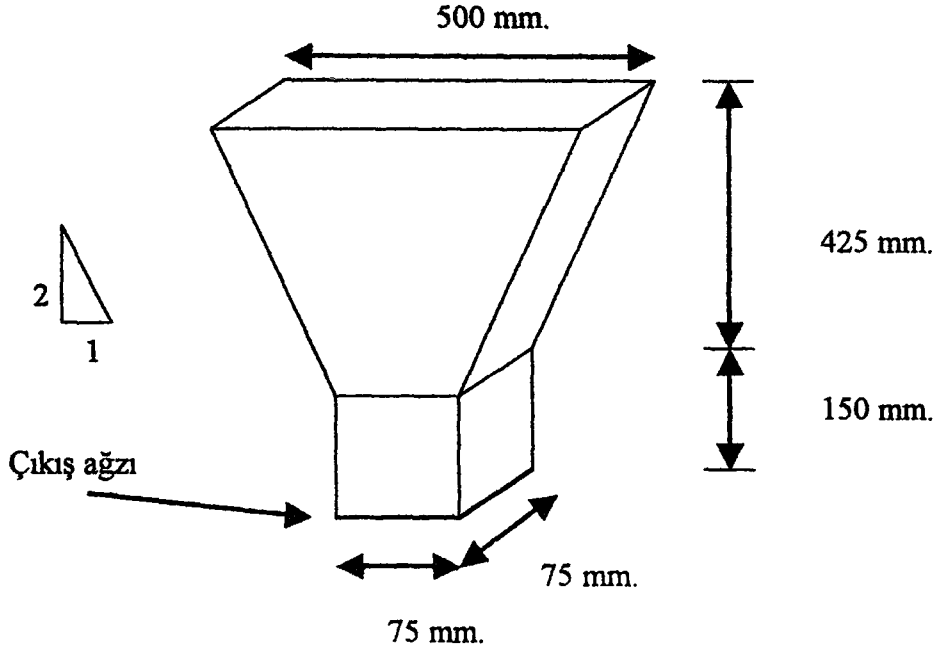


Şekil 1.9 U-tipi akma deney aleti

1.2.3.5. V-Hunisi Deneyi

Agrega ve harcın akarken gerektiğinde akış yönlerini değiştirebilmedeki rahatlıkları ile dar ve kısıtlı bölgelerde blokaja uğramadan yayılabilme kabiliyetleri Şekil 1.10' da gösterilen V-hunisi ile ölçülebilmektedir. Huni ilk önce tamamen taze betonla doldurulmakta, daha sonra alt kısmındaki çıkış ağzı açılarak taze betonun dışarıya akabilmesi sağlanmaktadır. Bu sırada taze betonun dışarıya akabilmesi için gereken süre ölçülmektedir. Bu deneyin uygulanmasındaki bir diğer yöntem ise akışı huninin üst ağzından izlemek ve huninin alt çıkış ağzının açılarak akışın başlamasından itibaren üstten bakıldığında huninin alt ucundan ilk ışığın gözlenebildiği ana kadar geçen süreyi ölçmektir. Yüksek akış süresi hamurun yüksek viskozitesine ya da parçacıklar arasındaki aşırı sürtünmeye bağlı düşük deformasyon kabiliyetiyle veya akıştaki blokajla ilişkilendirilmektedir. Yüksek akışkanlığa sahip bir betonda kısa akış süresi (mesela 20 saniye) o betonun harç ve agreganın uniform deformasyonunu sağlayabilecek yeterli kararlılığa sahip olmadığını göstermektedir. Harcın yeterli kohezyona sahip olmaması, iri agreganın huninin dar ucunda yoğunlaşmasına sebep olmaktadır. Bu da agregaların bu bölgede kemerleşerek betonun deformasyon oranının düşmesine yol açmaktadır. Taze betonun hem akıcı hem de kohezif olduğu durumlarda yüksek akış süresi elde edilmesi iri agreganın

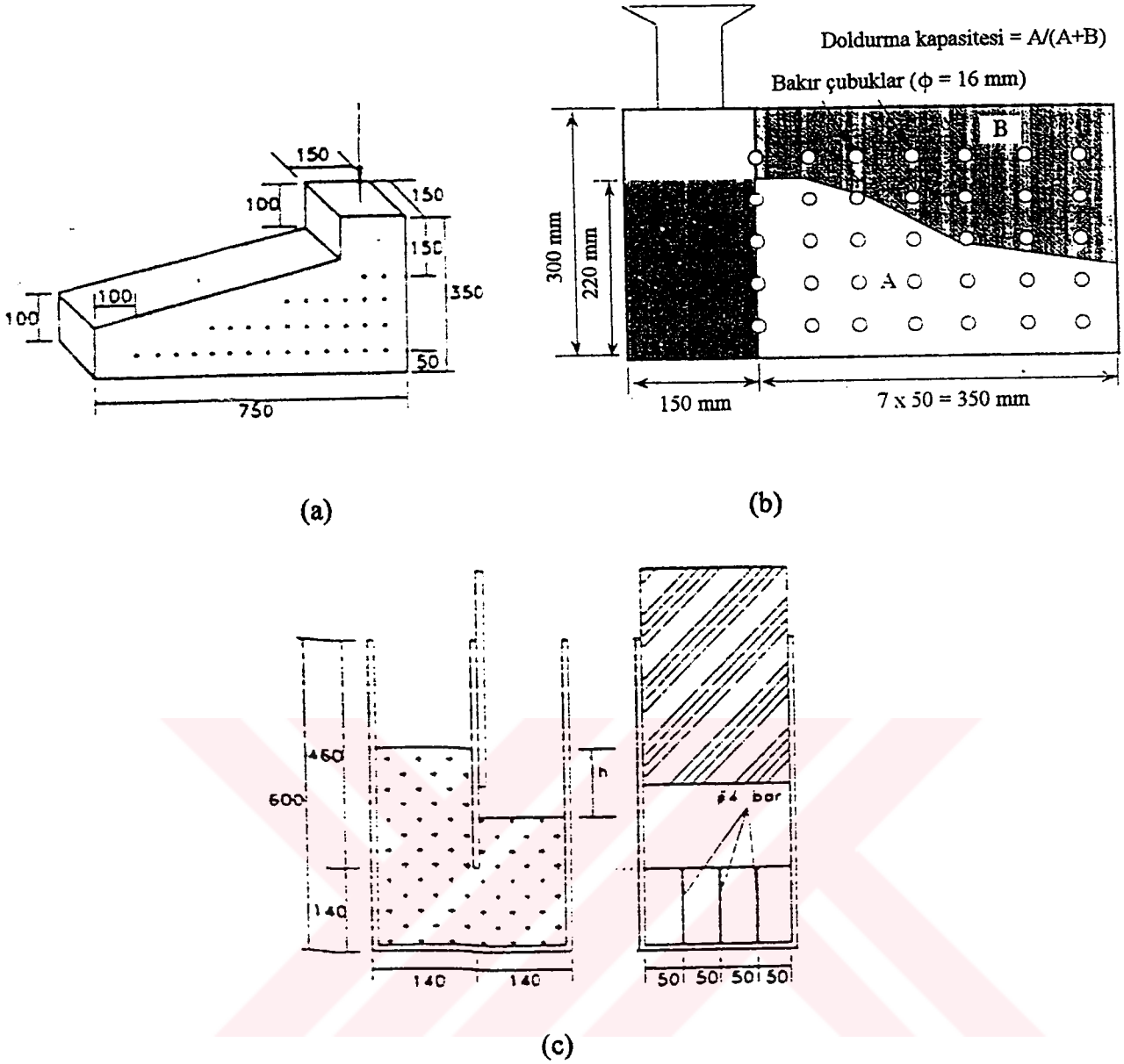
hacminin veya en büyük agrega çapının blokaj riskini düşürmek üzere azaltılması gerektiğini vurgulamaktadır. [9]



Şekil 1.10 V-hunisi deney aleti

1.2.3.6. Diğer Yöntemler

Yüksek akışkanlığa sahip betonun kendiliğinden yerleşebilme ve yoğun donatılı bölgelerde kendi ağırlığı altında kolayca akabilme kabiliyetini değerlendirmek üzere birçok deney yöntemi ve aleti geliştirilmektedir. Şekil 1.11-(a) da gösterilen L-tipi akma deney aleti ve Şekil 1.11-(b) de gösterilen Kajima dolum kutusu kendiliğinden yerleşen betonun sıkı yerleştirilmiş donatılar arasından akarak kolay hareket edebilme ve boşlukları doldurabilme yeteneklerini ölçmek amacıyla tasarlanmıştır. Şekil 1.11-(c) de gösterilen kap deneyi ise U-tipi akma deneyine benzeyerek taze betonun kendiliğinden yerleşebilme özelliğini test etmektedir. İlk önce sol bölmeye konan taze beton ortadaki bölme duvarının bir miktar yukarı kaldırılması ile taban ortasındaki çubuklar arasından geçerek sağ bölmeyi doldurmaktadır. Taze betonun akışı sona erdiğinde U-tipi akma deneyinden farklı olarak her iki bölmedeki taze betonun yükseklik farkı ölçülerek betonun kendiliğinden yerleşebilme kapasitesi sınanmaktadır. [11]



Şekil 1.11 (a) L-tipi akma deney aleti, (b) Kajima dolum kutusu, (c) Kap testi

1.3. Süperakışkanlaştırıcı Katkılar

Süperakışkanlaştırıcılar taze betona düşük su/çimento oranlarında dahi yeterli işlenebilirlik kazandıran ve bunu makul bir süre için sürdürebilen ve ayrıca betonun priz ve sertleşme davranışlarına önemli etkiler yapmayan kimyasal katkıdır. Süperakışkanlaştırıcılar taze betonda su gereksinimini %30 oranında azaltabilmektedirler. Bu sebeple kendilerinden önce piyasaya sunulmuş olan ve su indirgemedede daha az etkili olan akışkanlaştırıcılardan ayrılmaları için süperakışkanlaştırıcılar yüksek oranda su azaltıcılar olarak sınıflandırılmaktadırlar. Beton üretiminde süperakışkanlaştırıcıların kullanım amaçları aşağıdaki şekilde sıralanabilmektedir:

a-) Çok düşük su/çimento oranına sahip betonlar üretmek: Yüksek dayanımlı betonlar elde edebilmek için karışımın çimento muhtevası değişmemek kaydıyla su miktarı azaltılmaktadır. Bu durumda taze betonun azalan işlenebilirliği karışıma süperakışkanlaştırıcı katarak telafi edilmektedir. Bu yöntemle betonlarda %30 mertebesinde su azaltılabilmekte ve su/çimento oranı 0,28' e varan betonlar uygulamada kolayca yerine yerleştirilebilmektedir.

b-) Düşük çimento dozajlı betonlar üretmek: Süperakışkanlaştırıcılar çimento dozajının düşürüldüğü fakat su/çimento oranının sabit kaldığı beton üretiminde de kullanılmaktadır. (Mesela kütle betonlarında hidratasyon ısını düşürmek için çimento miktarının azaltılması durumunda) Çimento dozajının azalması sebebiyle taze betonda oluşan işlenebilirlik kaybı yine ilk yöntemde olduğu gibi karışıma süperakışkanlaştırıcı eklenmesiyle telafi edilmektedir.

c-) Yüksek akışkanlığa sahip beton üretmek: Süperakışkanlaştırıcılar kendiliğinden yerleşen, yüksek akışkanlığa sahip beton üretiminde kullanılmaktadır. Bu uygulamada gerek su/çimento oranı ve gerekse çimento muhtevasını azaltmak için herhangi bir girişimde bulunulmamaktadır. Burada amaç taze betonun 250 mm.ye varan çökme değerlerinde ayrışma göstermemesi ve bu sayede yoğun donatılı kısımlarda kolayca yerleştirilebilmesidir.

Süperakışkanlaştırıcı betonlar yoğun donatılı bölgelerle dar ve karmaşık şekilli kalıplara kolayca yerleşebilmektedirler. Süperakışkanlaştırıcı betonların vibrasyona gerek duymadan kolay ve hızlı yerleşebilmeleri onların taban ve temel döşemelerinde, köprülerde kullanılmalarını uygun kılmaktadır. Ayrıca süperakışkanlaştırıcılar taze betonun pompalanmasında da büyük kolaylık sağlamaktadır. Bununla birlikte süperakışkanlaştırıcı betonlar su altı beton dökümü uygulamalarında, tünel inşaatlarında ve püskürtme beton işlerinde, karmaşık, özel mimari şekillerin arzulandığı yapılarda ve prekast endüstrisinde başarıyla kullanılmaktadır. [6]

Süperakışkanlaştırıcı betonların kuruma rötresiyle ilgili yapılan araştırmalarda bu tip katkılı betonların kuruma rötresi değerlerinin sıradan betonlarınkiyle mukayese edilebilecek düzeyde veya bir miktar daha fazla olduğu gözlenmiştir. Yapılan muhtelif deneylerde aynı miktarda nem kaybı için süperakışkanlaştırıcı betonlar normal betonlara oranla daha fazla rötre göstermiştir.

Bu durum süperakışkanlaştırıcı betonlarda çimento tanelerinin sıradan betonlara göre daha iyi dağılmış olmasıyla ilişkilendirilebilmektedir.

Bugüne kadar süperakışkanlaştırıcı betonların sünme davranışıyla ilgili de birçok araştırma yapılmış ve çok çeşitli veriler sunulmuştur. Fakat sünmeyle ilgili bu mevcut deneylerin herbirinin değişik betonlar üzerinde ve farklı yükleme ve kür koşullarında yapılması süperakışkanlaştırıcı betonların sünme karakteriyle ilgili kesin yorumlar yapmayı zorlaştırmaktadır. Bununla beraber bu konudaki genel yorum süperakışkanlaştırıcı betonların tıpkı rötrede olduğu gibi sünmesinin de normal betonlara göre eşit veya daha fazla olduğu şeklindedir.

Yapılan muhtelif araştırmalarda karışıma süperakışkanlaştırıcı katılmasının hem normal, hem de hafif betonlarda çelik ile taze beton arasındaki adhezyonu arttırdığı görülmüştür. [3, 6, 11, 13]

Süperakışkanlaştırıcılar kimyasal yapılarına göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilirler: [14, 15]

- a-) Sülfonat melamin formaldehit (SMF)
- b-) Sülfonat naftalen formaldehit (SNF)
- c-) Modifiye edilmiş lignosülfonatlar
- d-) Yukarıdakilere çökme kaybını önleyici maddeler (örneğin fonksiyonel sülfonik grup ve karboksil grup ile oluşturulmuş kopolimerler) karıştırılarak üretilenler.

1.3.1. Süperakışkanlaştırıcıların Etki Mekanizması

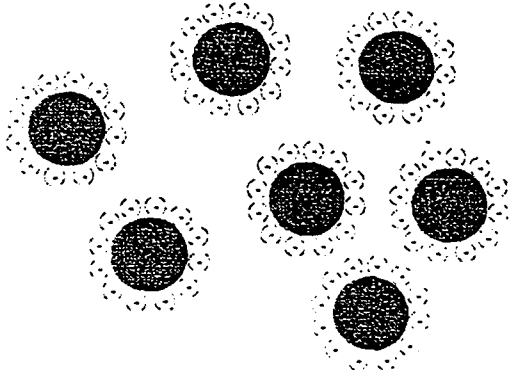
Yapılan ilk değerlendirmelerde süperakışkanlaştırıcıların betondaki su azaltma ve ona akıcılık kazandırma etkileri büyük ölçüde çimento tanelerini dağıtma tabiatlarına bağlanmıştır. Süperakışkanlaştırıcılar makro moleküllerden meydana gelen polikondansasyon polimerlerdir. Bu polimerlerin sülfonatlı kökleri iyonize olurlar ve çimento taneleri tarafından adsorplanarak hemen hemen tüm tekil çimento taneleri aynı elektriksel yükle (negatif) yüklenirler. Bu şekilde negatif yükle yüklenen taneler birbirlerini ittiklerinden süperakışkanlaştırıcıların dağıtıcı etkisi ortaya çıkar. Böylece tanelerin ayrık kalması ve çökmemesi sağlanır. Diğer taraftan süperakışkanlaştırıcılar çimento tanelerinin yüzeyini sararak tanelerin topaklaşmasını engeller ve aynı zamanda tanelerin birbiri üzerinde kaymalarını kolaylaştıran yağlayıcı etki göstererek betonun iç sürtünmesini azaltır ve betonun işlenebilme yeteneğinin artmasına neden olur.

Bugüne kadar yapılan birçok araştırma neticesinde süperakışkanlaştırıcıların performansı ve etki mekanizmaları hakkında çeşitli sonuçlara varılmıştır. Bunlar genel olarak; suyun yüzey gerilimini azaltmak, taneler arasında elektrostatik itki oluşturmak, çimento taneleri çevresinde yağlayıcı film tabakası oluşturmak, çimentonun yüzey hidrasyonunu engellemek, çimento tanelerinin birbiriyle temasını engelleyen sterik etki yaratmak ve hidrate ürünlerin morfolojisini değiştirmek şeklinde ifade edilebilir. Burada sayılan etki mekanizmalarından ikisi Şekil 1.12’ de gösterilmiştir.

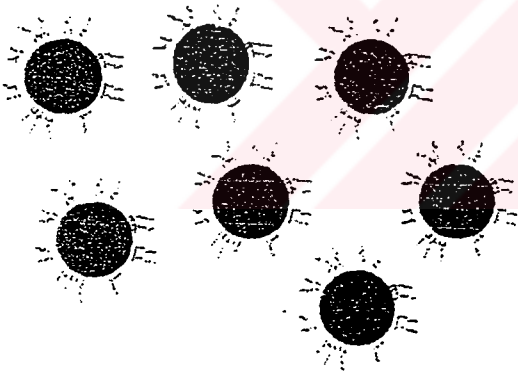
Etki mekanizmaları yukarıda sayılan süperakışkanlaştırıcıların çimento tipi bağlayıcı malzemeler üzerindeki performansı başlıca çimentonun inceliğine, çimentonun bileşimine, katkının kullanım tarzına, süperakışkanlaştırıcının kimyasal yapısına, ortamdaki iyonların moleküler ağırlıklarına ve moleküler ağırlık dağılımına, polimer yapısına, iyonik yük yoğunluğuna bağlıdır. [6, 15, 16]

1.3.2. İşlenebilirlik Kaybı

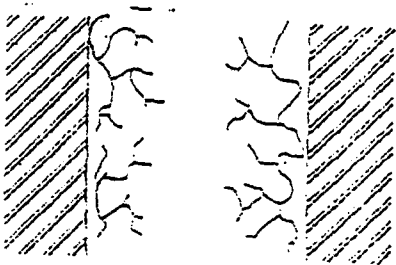
Süperakışkanlaştırıcı kullanılmasının giderek artmasıyla birlikte bu katkılarla üretilen yüksek dayanımlı betonlarda karşılaşılan başlıca sorun bu tip betonların süperakışkanlaştırıcılar tarafından sağlanan işlenebilirliklerinin akışkanlaştırıcının hidrate çimento hamuru tarafından tüketilmesine bağlı olarak hızla azalmasıdır. Bir beton karışımında süperakışkanlaştırıcı miktarı ne kadar fazla olursa karışımın ilk andaki çökme değeri ve işlenebilirliğini koruma süresi de o derece fazla olmaktadır. Karışımın su/çimento oranı azaldıkça belli bir işlenebilirliği elde etmek için gereken süperakışkanlaştırıcı dozajı artmaktadır. Bununla beraber eğer karışımın su/çimento oranı veya su muhtevası çok düşükse ve belli bir düzeyde işlenebilirliği sağlamak ve bunu yeterli süre devam ettirmek amacıyla karışıma katılan süperakışkanlaştırıcı dozajı uygulanabilir limitin üzerine çıkarılırsa bunun neticesinde betonun priz ve sertleşmesinde gecikme, ağır hava sürüklenme ve ayrışma ve/veya terleme gibi zararlı etkiler doğabilmektedir. Normal uygulamada süperakışkanlaştırıcılar betona ya imalat sırasında ya da inşaat sahasında döküm sırasında eklenebilmektedir. Süperakışkanlaştırıcının betona üretim aşamasında eklenmesi betonda oluşan ilk çökme değerinin standart olarak aynı yetkili kişi tarafından kontrol edilmesi avantajını sağlamaktadır. Bununla beraber uzak mesafeli taşımalar, uzun pompalama mesafesi ve sıcak hava genellikle döküm sahasında ilave katkı gerektirmektedir.



Elektrostatik etki



Sterik etki



Şekil 1.12 Süperakışkanlaştırıcıların etki mekanizması [6, 17]

Betonun işlenebilmesinde zamanla meydana gelen azalma çimentonun başlangıçtaki hidratasyonuna, suyun buharlaşmasına, agreganın su emmesine ve agreganın ufalanmasına bağlı olarak karışımdaki serbest suyun azalmasına bağlı olmaktadır.

Taze betonun işlenebilirliğini koruyabilmesi için başvuru yöntemlerinden biri karışıma sonradan tekrar katkı eklemektir (ilave dozaj). Karışıma sonradan eklenen ilave katkı dozajları karışıma üretim sırasında katılan ilk dozajla aynı olmakla beraber iki ilave dozajdan sonraki eklemelerin öncekilere göre daha az etkili olduğu görülmüştür. Yine bu konuda yapılan çalışmalarda dozaj ilavesi uygulamalarında çevre sıcaklığı arttıkça daha yüksek miktarlarda katkı kullanılmasına ihtiyaç duyulduğu sonucuna varılmıştır. Taze betonun işlenebilirliğinin belli bir süre korunması amacıyla uygulanan yanlış bir yöntem karışıma sonradan su ilave edilmesidir. Bu konuda yapılan incelemelerde kıvam kayıplarının karışıma yalnızca su ilave edilerek iyileştirilmesinin mukavemetleri düşürdüğü tesbit edilmiştir. Buna karşılık kıvam kayıplarının yalnız süperakışkanlaştırıcı ilavesi ile iyileştirilmesinin mukavemetleri arttırdığı görülmüştür. Bu mukavemet artışları süperakışkanlaştırıcılarla yapılan ilave dozajlar neticesinde betonun hava muhtevasının giderek azalmasının bir sonucudur. Bu tür ilave dozaj yöntemi özellikle ani kıvam kayıplarının meydana geldiği sıcak havalarda için uygundur.

Taze betonun işlenebilirliğinin korunması amacıyla uygulanan diğer bir metod karışıma süperakışkanlaştırıcı ile birlikte priz geciktirici bir katkı daha ilave etmektir. Priz geciktirici katkılar betonda çökme kayıplarını azaltmakla birlikte sıcak havalarda ve düşük su/çimento oranına sahip betonlarda bu katkılarla tatminkar sonuçlar alınamamaktadır. Bu gibi durumlarda bu katkılar betonun sertleşmesine ve mukavemetine zararlı etkiler yapabilmektedir.

Taze betonun işlenebilirliğinin korunması için başvuru diğer bir yöntem betona karışım esnasında çimento içindeki kalsiyum ve alüminyum iyonlarına bağlanarak çimentonun hidratasyonunu donduran özel bir katkı eklemektir. Beton inşaat sahasına ulaştırıldığında karışıma ikinci bir katkı eklenerek kalsiyum ve alüminyum iyonları serbest bırakılır ve hidratasyon işlemi başlatılır. Bu yöntemin betonda priz gecikmesi ve düşük erken dayanım gibi dezavantajları bulunmaktadır.

Bu öneriler dışında uygulamada kolaylıkla gerçekleştirilebilecek bir yaklaşım süperakışkanlaştırıcının karma suyuna karıştırılmadan geciktirilerek katılmasıdır. Böylece su moleküllerini hızla adsorbe eden karma oksit bileşenlerin negatif etkisi azaltılabilmektedir. Bu süre 5-15 dakika veya daha fazla olabilir. [6, 16, 18, 19]

Buraya kadar anlatılan taze betonun işlenebilirliğinin artırılması ve bunun makul bir süre korunabilmesi amacıyla uygulanan yöntemler dışında bizzat süperakışkanlaştırıcının türünün, dozajının ve katıldığı betonun su/çimento oranının da işlenebilirlik üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Yapılan araştırmalardan edinilen sonuçlar göstermiştir ki betonda su/çimento oranı arttıkça süperakışkanlaştırıcıların etkinliği azalmaktadır. Bununla beraber betonda aynı bir işlenebilirliği elde etmek için kullanılması gereken süperakışkanlaştırıcı su/çimento oranı yükseldikçe azalmakta ve su/çimento oranı düştükçe artmaktadır. Genel olarak süperakışkanlaştırıcı dozajları ile ilgili belli bir doygunluk seviyesi olduğu kabul edilmiştir. Bu seviyenin üzerindeki artışlarda süperakışkanlaştırıcılar istenilen düzeyde etkili olamamaktadır. Bu durumun aksine doygunluk derecesinin altında küçük dozaj artışları bile işlenebilirliğin geliştirilmesinde oldukça etkili olabilmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalar neticesinde süperakışkanlaştırıcı kullanırken betonun bileşenleri ve karışım oranları dikkate alınmadan doğrudan üretici firmaların tavsiye ettikleri dozajları uygulamanın her zaman pratik olmadığı görülmüştür. Çünkü optimum katkı dozajı sadece su/çimento oranına bağlı olmayıp bunun yanında, kullanılan çimento türüne ve hacmine, kullanılan kumun inceliğine ve ayrıca betonun bileşimindeki silis dumanı, uçucu kül, yüksek fırın cürufu gibi mineral katkılara da bağlıdır.

Betonun işlenebilirliğinin artırılmasında etkili bir diğer faktör de kullanılan süperakışkanlaştırıcıların tipidir. Bu konuda düşük su/çimento oranlarında yapılan testler neticesinde sabit bir dozaj için SNF türü süperakışkanlaştırıcıların işlenebilirliğin artırılmasında SMF türü süperakışkanlaştırıcılara göre daha etkili olduğu görülmüştür. Melamin esaslı süperakışkanlaştırıcılar nispeten daha hızlı çökme kaybetmektedirler.

Süperakışkanlaştırıcı katılımıyla artırılan işlenebilmede betonda esas olarak kayma eşiği (τ_0) düşer, bunun yanında plastik viskozitedeki (η_p) düşüş cüz'idir. [16, 20, 21]

1.3.3. Süperakışkanlaştırıcı-Çimento İkilisinin Taze Betonda Uyumları

Süperakışkanlaştırıcı katılımıyla işlenebilmede sağlanan artış miktarı ve artan işlenebilmenin uzun süre korunabilmesi süperakışkanlaştırıcı ve çimento türlerinin ve bunların etkileşimlerinin fonksiyonudur.

Süperakışkanlaştırıcıların kararlı ve sürekli etkisi trikalsiyum ve bikalsiyum silikat (C_3S ve C_2S) karma oksitleri üzerindedir. Ancak portland türü çimentoların diğer iki karma oksit bileşenleri olan trikalsiyum alüminat ve tetrakalsiyum alüminoferrit (C_3A ve C_4AF) su moleküllerini büyük bir hızla adsorbe ederler, bu adsorpsiyon sırasında suda çözülmüş olan süperakışkanlaştırıcı molekülleri de C_3A ve C_4AF tanecikleri tarafından tutulmuş olur. Böylece C_3S ve C_2S ' i etkileyebilecek akışkanlaştırıcı miktarı yetersiz kalır. Bunun neticesinde süperakışkanlaştırıcının etkinliği azalmış olur. Bu sebeple C_3A muhtevası yüksek olan çimentolarda süperakışkanlaştırıcıların çimento tanelerini dağıtıcı etkisi azalmaktadır. Bu konuyla ilgili iki farklı çimento birbiriyle kıyaslandığında aynı işlenebilirliği sağlamak için C_3A ihtivası yüksek olan çimento daha fazla akışkanlaştırıcıya ihtiyaç duymaktadır. Su moleküllerini hızla adsorbe eden çimentolar yüksek reolojik reaktiviteye sahip kabul edilirler. Bunlarla su/çimento oranları çok düşük ama yüksek çökme veren veya belli bir çökme değerini uzun süre koruyabilen betonlar üretilemez. Yüzeyleri kısa sürede parlaklaşan bu betonlara tekrar süperakışkanlaştırıcı ilavesiyle akıcılık kazandırmak oldukça güçtür. Çimentonun inceliğinin artması da bu negatif etkiyi arttıran bir faktördür.

C_3A ve C_4AF 'nin hidratasyonu ile oluşan ögeler liyofobik karakterdedir, hızla koagüle olurlar ve böylece ortamın viskozitesi yükselir, çökme kaybı meydana gelir. Klinker içindeki alkali sülfat miktarı ($CaSO_4$, Na_2SO_4) bu olayda ilginç bir faktördür. Bu miktarın optimum bir değeri vardır, optimum değerde koagülasyon azalır. Bu optimum değer aşıldıkça C_3S ve C_2S yüzeyindeki elektriksel çift tabaka sıkışır ve viskozite yine artar. [16, 22]

Süperakışkanlaştırıcıların normal ve kompoze tür portland çimentoları ile ve mineral katkılarla beraber kullanılmaları durumunda yüksek akışkanlığa sahip kendiliğinden yerleşen karakterde betonlar başarıyla üretilmektedir. Fakat aynı amaç için süperakışkanlaştırıcıların traşlı çimentolarla birlikte kullanılmalarında sorunlar çıkabilmektedir. [10]

1.3.4. Süperakışkanlaştırıcıların Kimyasal ve Mineral Katkılarla Etkileşimi

Süperakışkanlaştırıcı kullanılarak üretilen yüksek akışkanlıklı betonlar her ne kadar üstün özelliklere sahip iseler de bunların donmaya dayanıklılığını, pompalanabilmelerini, su altında dökülmelerini ve çeliği paslanmaktan korumalarını garantiye almak maksadıyla bir ikinci kimyasal katkı kullanılması yoluna gidilmektedir. Süperakışkanlaştırıcılarla birlikte kullanılan bu kimyasal katkılar; hava sürükleyiciler, pompalama katkıları, su altında beton dökümü için yıkanmayı önleyici katkılar ve korozyon inhibitörüdür. [16]

Yukarıda anlatılan kimyasal katkıların dışında silis dumanı, uçucu kül, yüksek fırın cürufu gibi ince taneli puzolanik mineral katkı maddeleri de son yıllarda beton teknolojisinde büyük ilgi çekmekte ve bunların yüksek performanslı betonlarda süperakışkanlaştırıcılarla birlikte kullanılmaları giderek yaygınlaşmaktadır. Bu maddeler ekonomik yararları yanında betonun dayanım ve dayanıklılık özelliklerini de iyileştirmektedir. Sertleşmiş beton aşamasındaki yararlarına karşılık taze beton aşamasında mineral katkıların süperakışkanlaştırıcılar ile uyumları açısından bazı sorunları da bulunmaktadır. Betonun bünyesine puzolanik madde eklenmesiyle karışımdaki ince malzeme yüzeyi artmaktadır. Buradan hareketle puzolanik maddeler C_3A ve C_4AF gibi, su moleküllerini hızla adsorbe ederlerse akışkanlaştırıcının etkinliği azaltabilmekte ve özellikle çökme kaybını hızlandırabilmektedirler. Ancak bu varsayımın doğruluğu henüz tartışmalıdır.

Mineral katkılarla ilgili yapılan çalışmalar neticesinde genel olarak silis dumanının taze betonun işlenebilirliğini azalttığı görülmüştür. Karışımdaki silis dumanı miktarı arttıkça betonun çökme kaybı da artmaktadır. Beton karışım hesaplarında akışkanlaştırıcı dozajı çimento ağırlığına göre belirlenmektedir. Mevcut karışıma silis dumanı eklendiğinde ortamdaki katı malzeme yüzeyi artmakta ve bunun sonucunda daha fazla süperakışkanlaştırıcı adsorplanmaktadır. Bu nedenle karışımda silis dumanı miktarındaki artış aynı zamanda süperakışkanlaştırıcının etkinliğini de azaltmaktadır. Bununla beraber uygun süperakışkanlaştırıcı türü ve dozajının seçilmesi silis dumanı ihtivasına rağmen karışımın işlenebilirliğini yeterli süre koruyabilmeye ve hatta bir miktar arttırmaya olanak sağlamaktadır.

Uçucu kül üzerinde yapılan araştırmalarda; çimentonun uçucu kül ile harmanlandığı betonlarda süperakışkanlaştırıcıların çimento tanelerini dağıtma

etkisinin azaldığı ve dolayısıyla taze betonun işlenebilirliğinin düştüğü görülmüştür. Uçucu külün inceliği işlenebilme üzerinde büyük etki oluşturmaktadır. Uçucu kül ile üretilen betonlarda külün inceliği arttıkça belli bir çökmeyi elde etmek için gereken süperakışkanlaştırıcı miktarı da artmaktadır. Buradan betona uçucu kül katılımının çökmenin ilk değerini azalttığı anlaşılmaktadır. Ancak bu negatif etki nispeten iri taneli kül kullanıldığında azalmaktadır. Uçucu küller işlenebilme değerini düşürmekte ancak kaybı da azaltmaktadır.

Süperakışkanlaştırıcı betonlarda kullanılan bir diğer mineral madde yüksek fırın cürufudur. Yüksek fırın cürufu betona uçucu külün tersi bir etki yapmakta ve işlenebilirliği arttırmaktadır. Ancak bunu uzun süre koruyamamakta ve çökme kaybının da artmasına neden olmaktadır.

Yukarıda sayılan bu mineral katkıların taze haldeki etkisi yüksek fırın cürufu dışında incelikleri ve geometrik şekillerinin fonksiyonudur. [16, 20, 21, 22]



2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

2.1.1. Çimento

Yapılan deneysel çalışmaların tümünde Akçansa çimento fabrikasında üretilmiş PÇ 42.5 paket çimento kullanılmıştır. Çimentonun TS 24 esaslarına göre ölçülmüş fiziksel ve mekanik özellikleri aşağıdaki gibidir.

Özgül ağırlık (gr/cm ³)	: 3,12
Özgül yüzey (Blaine) (cm ² /gr)	: 3550
200µ'luk elek üzerinde kalan (%)	: 0,6
90µ'luk elek üzerinde kalan (%)	: 2,85
Priz başlangıcı (saat:dakika)	: 2:47
Priz sonu (saat:dakika)	: 3:28
7 günlük eğilme dayanımı (N/mm ²)	: 7,316
7 günlük basınç dayanımı (N/mm ²)	: 32,260
28 günlük eğilme dayanımı (N/mm ²)	: 7,336
28 günlük basınç dayanımı (N/mm ²)	: 44,697
Çimentonun kimyasal yapısı ise aşağıdaki gibidir:	
SO ₃ (%)	: 2,51
MgO (%)	: 1,18
Kızdırma kaybı (%)	: 1,55
Çözünmeyen kalıntı (%)	: 0,32
Klor (%)	: 0,0439

2.1.2. Agreg

Agregaların TS 3530 standardına göre yapılmış elek analizi sonuçları ve TS 3526 standardına göre ölçülmüş özgül ağırlıkları Tablo 2.1'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Kullanılan agregaların elek analizleri ve özgül ağırlıkları

Elek açıklığı (mm)	Elekten Geçen (%)							Özgül ağırlık (gr/cm ³)
	16	8	4	2	1	0,5	0,25	
Kum	100	99,32	98,68	96,8	92,2	47,11	3,66	2,59
Kırmakum	100	100	97,56	60,49	42,64	27,56	13,5	2,70
Kırmataş I	100	68,22	26,27	7,79	5,22	3,92	2,78	2,72
Kırmataş II	100	3,39	1,83	1,16	1,08	0,97	0,77	2,72

Üretilen beton karışımlarında en büyük tane boyutunun 16 mm olmasını sağlamak amacıyla önce her bir agrega 16 mm'lik elekten elenmiş ve üstte kalanlar atılarak alta geçenlerle elek analizi yapılmıştır.

2.1.3. Akışkanlaştırıcı

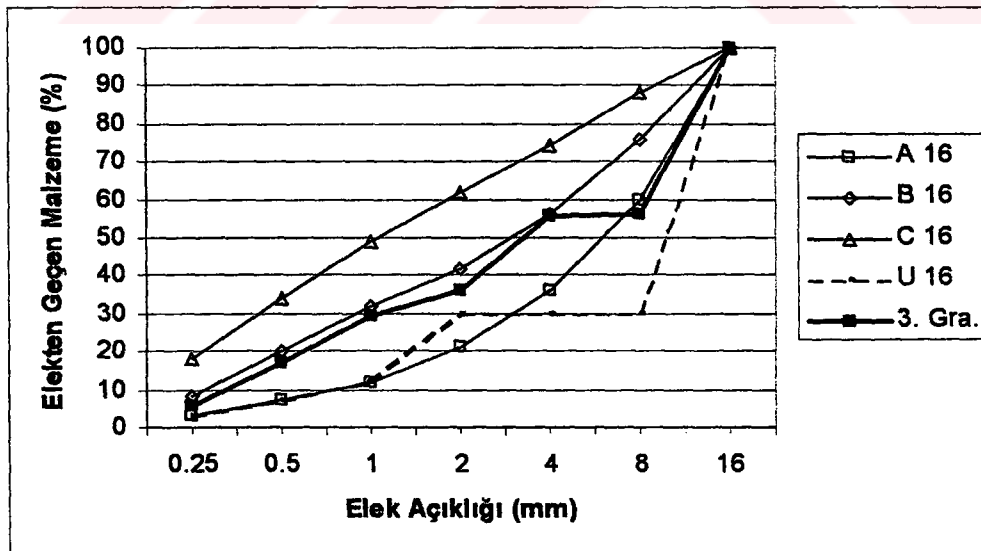
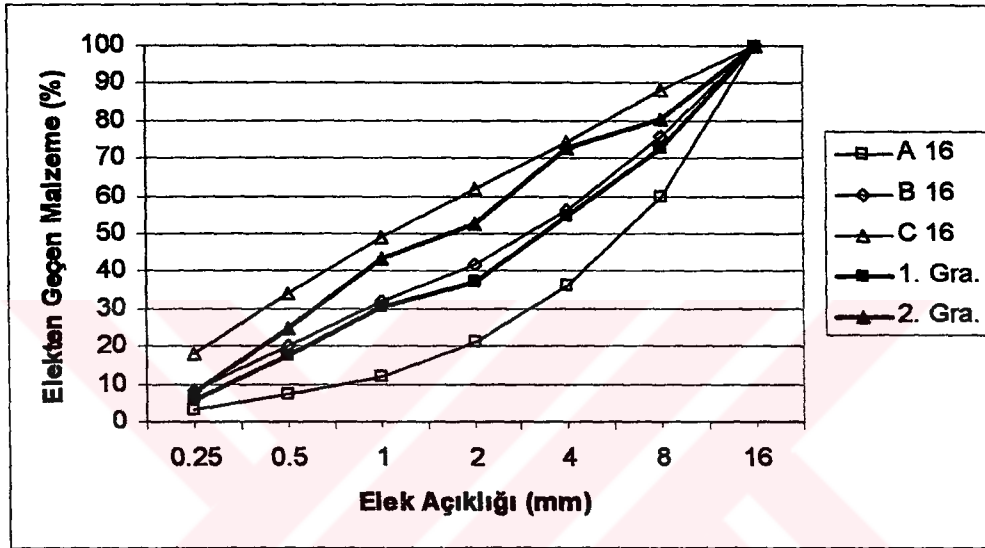
Üretilen betonların tümünde Sika-Deteks Yapı Kimyasalları A.Ş. ürünü modifiye polikarboksilat sıvı solüsyonu Viscocrete-5 adlı süperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır.

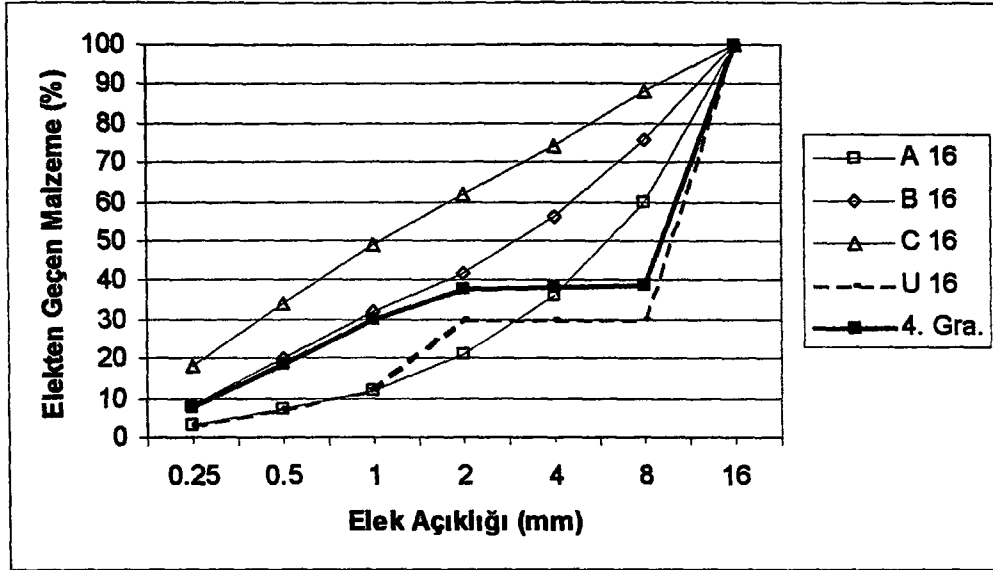
2.2. Üretilen Beton Karışımları Hakkında Genel Bilgiler

Yapılan deneyler sırasında üretilen betonlar granülometri açısından 4 ana gruba ayrılabilir. Buna göre 1. gruba giren betonların granülometri eğrisi A-B eğrileri arasında ve üstte kalan alanda yer almıştır (Şekil 2.1). 2. grup karışımların granülometri eğrisi ise B-C eğrileri arasında, orta-üst bölgede yer almıştır (Şekil 2.1). 3. ve 4. granülometreler TS 706' da [23] öngörüldüğü şekilde belirli elek çapları arasındaki tanelerin bulunmadığı bir kesikli granülometreler olarak düzenlenmiştir. Bu bakımdan 3. granülometriye göre üretilmiş karışımlarda 4-8 mm arasındaki taneler bulunmamaktadır (Şekil 2.2). 4. granülometride ise kesik aralığı artırılmış ve bu sefer 2-8 mm arasındaki taneler kullanılmamıştır (Şekil 2.3). Bu kesikli granülometrelerin hazırlanmasında 1. granülometri eğrisi referans olarak alınmıştır. Bu sebepten dolayı 3. granülometri eğrisinin başlangıç noktası ile kesik aralığı başlangıcı arası (0.25mm-4mm) ve aynı şekilde 4. granülometri eğrisinin başlangıç noktası ile kesik aralığı başlangıcı arasında kalan kısmı (0.25mm-2mm) 1. Granülometri eğrisinin bu aralıklara tekabül eden kısımlarına benzetilmiştir. Üretilen betonların granülometrelerinin hazırlanması amacıyla hesaplanan agrega bileşim oranları Tablo 2.2 de verilmiştir.

Tablo 2.2 Karışımlardaki agrega bileşim oranları

	1. Karışım	2. Karışım	3. Karışım	4. Karışım
Kum	0.18	0.25	0.18	0.14
Kırmakum	0.27	0.45	0.23	0.12
Kırmataş I	0.40	0.15	0.15	0.12
Kırmataş II	0.15	0.15	0.15	0.22





Şekil 2.3. 4. granülometri (kesikli granülometri) eğrisi

Kesikli granülometrilerin hesaplanması amacıyla üçüncü granülometride (Şekil 2.2) sadece kırmataş I in kesik aralığında (4-8 mm) kalan bölümü elenerek atılmış, dördüncü granülometride ise (Şekil 2.3) sadece kırmakum ve kırmataş I in ilgili kesik aralığında (2-8 mm) kalan kısmı elenip atılmıştır. Buna karşı bu karışımlardaki diğer agrega bileşenlerinin kesik aralığı içinde kalan tane miktarları çok az olduğundan bu miktarlar ihmal edilebilecek düzeydedir ve bu yüzden bu agregaların belirtilen çaplar arasında kalan kısımlarının elenip atılmasına gerek duyulmamıştır. Bu nedenle normal şartlarda yatay olması gereken kesikli granülometrilerin ilgili çaplar arasında kalan kısımları Şekil 2.2 ve 2.3 de çok az eğimlidir.

Deneyler sırasında üretilen ve granülometri açısından dört ana gruba ayrılan beton karışımları su/çimento oranları bakımından da çeşitlilik göstermektedir. Buna göre 1. karışım grubu betonlarda su/çimento oranları 0.26, 0.30, 0.34 ve 0.38 değerlerini almıştır. 2. karışım grubu betonlarda su/çimento oranları 0.30, 0.34, 0.38 ve 0.42 değerlerinde tutulmuştur. Kesikli granülometreli karışımlarda ise su/çimento oranları 0.26 ve 0.34 değerlerinde sabitlenmiştir.

Tezin konusu itibariyle yapılacak taze ve sertleşmiş beton deneyleri için üretilcek beton karışımlarının kıvam olarak yüksek akışkanlığa sahip, kendiliğinden yerleşen kıvamda olması istenmiştir. Bu nedenle üretilen betonlarda her su / çimento oranı için yeni yayılma aletiyle 50 ± 4 cm ve 70 ± 5 cm yayılma sağlayacak iki ayrı kıvam öngörülmüştür. Böylece buraya kadar anlatılan ve taze

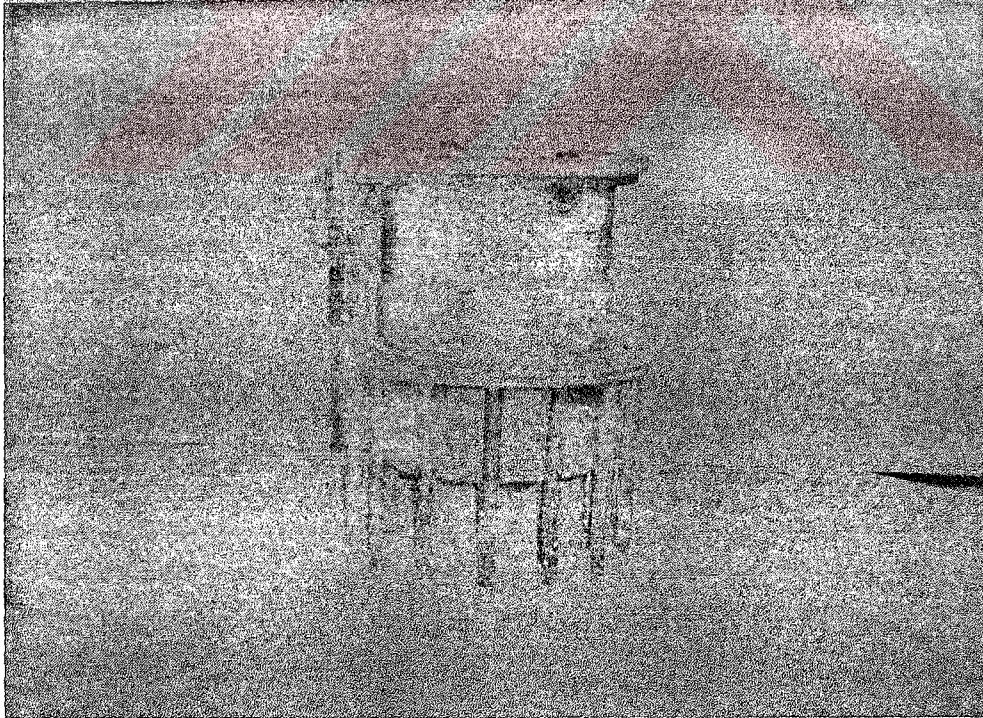
betonu sınıflandırmaya yönelik granülometri, su / çimento oranı ve kıvam gibi kriterler sonucunda toplam 24 adet farklı beton karışımı elde edilmiştir.

2.3. Yapılan Deneyler Hakkında Genel Bilgiler

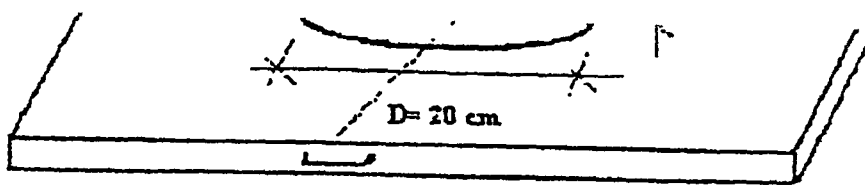
Yapılan tüm deneyleri iki ana gruba ayırmak mümkündür. Bunlardan birincisi taze beton deneyleri, ikincisi de sertleşmiş beton deneyleri olarak sınıflandırılabilir.

2.3.1. Taze Beton Deneyleri

Taze beton deneyleri olarak üretilen betonların daha önce sözü edilen kıvamlarının tesbiti için yayılmaları ölçülmüştür. Bu amaçla İ.T.Ü. Yapı Malzemesi Laboratuvarı bünyesinde daha önceki benzer çalışmalar için Ü. Anıl Doğan'ın yüksek lisans tez çalışması sırasında geliştirilmiş olan yeni yayılma aleti (Şekil 2.4) [17] kullanılmış, bununla beraber taze betonun serbest yayılmasını ölçmek amacıyla dünyanın birçok ülkesinde kabul görmüş olan DIN 1048 akma-yayılma konisi (Şekil 2.5) ile de ölçümler yapılarak sonuçların mukayese edilebilmesi sağlanmıştır.



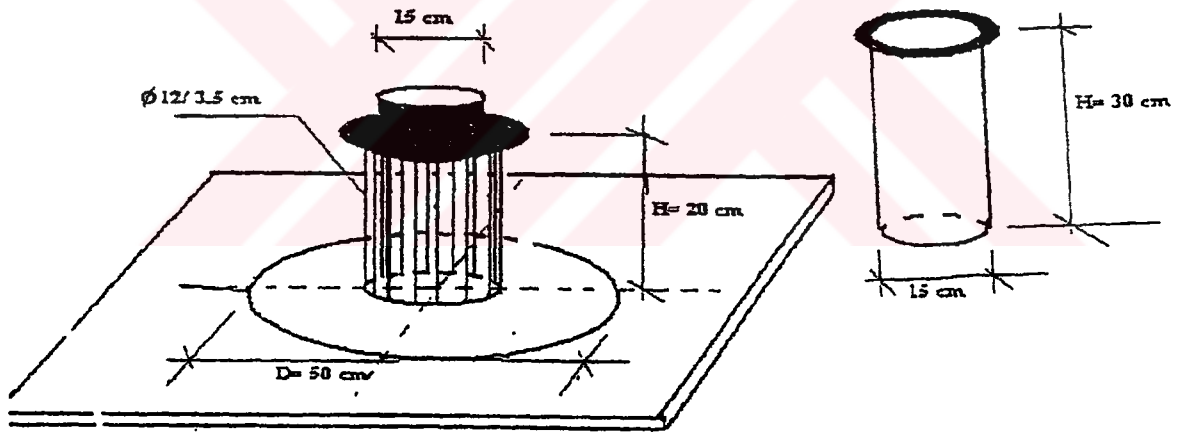
Şekil 2.4. Yeni geliştirilen yayılma deney aleti [17]



Şekil 2.5 DIN 1048 Yayılma Konisi [17]

Mevcut klasik deneylerle yeni kuşak süperakışkanlaştırıcılar ile üretilen betonun kıvam ölçümü yeterince sağlıklı yapılamamaktadır. Klasik deneyler ancak birbirine çok yakın viskoziteye sahip betonları ilişkilendirebilmeye ve mukayese etmeye olanak vermektedir. Bu nedenle yeni viskozite belirleyici deney aletlerinin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur.

Yeni geliştirilmiş yayılma aleti (Şekil 2.6) 15 cm. çapında, 30 cm. yüksekliğinde, düşey ekseninde hareketli içi boş bir silindirden ve bu silindiri çepeçevre saran, uygulamada beton yerleştirilen kalıp içindeki donatıları temsil eden $\phi 12$ ebadında 3.5 cm aralıklarla sabitlenmiş 14 adet demir çubuktan oluşmaktadır. İçine tek seferde doldurulan taze beton silindirin 10 cm. yukarı kaldırılıp sabitlenmesiyle çubuklar arasından akmakta ve neticede betonun nihai yayılma miktarı ölçülmektedir.



Şekil 2.6. Yeni geliştirilen yayılma aleti [17]

Su/çimento oranı sabit tutulmak kaydıyla üretilen 24 parti beton karışımının herbiri 36 lt. olarak tek seferde üretilmiştir. Yapılan üretimler sırasında kullanılan minimum ve maksimum çimento dozajları 481 kg/m^3 ve 670 kg/m^3 değerini almıştır. Su miktarı ise su/çimento oranı sabit kalmak koşuluyla yeni yayılma aletinde $50 \pm 4 \text{ cm.}$ ve $70 \pm 5 \text{ cm.}$ yayılma sağlayacak şekilde ayarlanmıştır. Süperakışkanlaştırıcı miktarı da tüm üretimlerde çimento ağırlığına göre % 2.5 oranında sabit tutulmuştur. Üretilen betonlar yüksek akışkanlığa sahip, kendiliğinden yerleşen karakterde olduğundan bunların gerek yayılma aletlerine, gerekse kalıplara yerleştirilmeleri sırasında vibrasyon, şişleme gibi işlemler uygulanmamıştır.

Buraya kadar anlatılan taze beton deneylerinden başka karıştırma süresi-yayılma ilişkisini belirlemek amacıyla da bir seri ilave deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde kullanılan betonlar birinci granülometriye göre üretilmiş olup su/çimento oranları 0.26, 0.32 ve 0.38 değerlerinde tutulmuştur. Burada her üç deneme betonu da 20 lt. olarak tek seferde üretilmiştir. Kronometre ile zaman tutularak karıştırma süresi 1dk.-3dk.-6dk.-10dk.-15dk. ... olarak artan şekilde düzenlenmiştir. Her süre sonunda karıştırma işlemine ara verilerek betonun yayılması ölçülmüş, daha sonra yayılması ölçülen beton tekrar kazana dökülerek karıştırma işlemine bir sonraki zaman kademesine kadar devam edilmiştir. Deney sırasında bu tarzda devam eden ölçümler yayılma artışı durana kadar sürdürülmüştür.

2.3.2 Sertleşmiş Beton Deneyleri

Üretilen betonlar üzerinde sertleşmiş beton deneyleri yapmak amacıyla her karışımdan 5 adet $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}$ 'lik küp numune, 3 adet $15/30 \text{ cm}$ silindir numune alınmış ve numuneler deney tarihinden iki gün öncesine kadar $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki su içinde, son iki gün ise sudan çıkarılarak havuzun yanında bekletilmiştir. Alınan küp numunelerden üçü üzerinde üretilen betonun 28 günlük basınç dayanımının belirlenmesi maksadıyla belirtilen tarihte basınç deneyi yapılmış, geriye kalan iki küp ise birim ağırlıkları ölçülmek üzere bırakılmıştır. Ayrıca basınç dayanımı belirlenecek küpler üzerinde deneyden önce betonun doluluğunu gösteren ultrases deneyi yapılmıştır. Birim ağırlıkları ölçülecek olan küpler sudan çıkarıldıktan sonra bir hafta kadar kuru bir odada kurumaya bırakılmış, daha sonra da $105 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki etüv içine konularak sabit ağırlığa ulaşmaya kadar (takriben 1 hafta) burada tutulmuştur. Bu süre sonunda iki küp numune etüvden alınmış ve herbirinin

ağırlıkları ve boyutları hassas bir şekilde ölçülerek birim ağırlıkları hesaplanmıştır. Alınan üç adet silindir numune üzerinde ise betonun 28 günlük yarıma-çekme dayanımını belirlemek üzere yarma deneyi yapılmıştır. Böylece bütün bu yapılan deneyler sonucunda üretilen betona ait sertleşmiş beton özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır.



3. DENEY SONUÇLARI

3.1. Taze Beton Deney Sonuçları

Deneylerde 4 farklı granülometrilili betonların çeşitli su/çimento oranlarında kıvamlarının tesbiti için yayılmaları ölçülmüştür. Kıvam olarak yeni yayılma aletinde 50 ± 4 cm. ve 70 ± 5 cm.lik değerler öngörülmüştür. Yayılmalar daha önceki benzer çalışmalar için İ.T.Ü. Yapı Malzemesi Laboratuvarı bünyesinde Ü. Anıl Doğan' ın yüksek lisans tez çalışması sırasında geliştirilmiş olan yeni yayılma aleti [17] ve bunun yanında DIN 1048 yayılma konisi ile ölçülmüştür. Ayrıca bunlara ek olarak karıştırma süresi ile yayılma miktarı arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla 1. granülometrilili betonlarda 3 farklı su/çimento oranında bir seri deneyler yapılmıştır. Tüm taze beton deney sonuçları aşağıda Tablo 3.1-3.3' de gösterilmiştir.

Tablo 3.1 1. ve 2. granülometrilili betonlar için yayılma deneyi sonuçları

	E/C	C (kg/m ³)	E (kg/m ³)	Yayılma* (cm.)	DIN 1048 (cm.)
1. Granülometri-%2,5 Akışkanlaştırıcı	0,26	651	169	73	66
		614	160	51,25	54,25
	0,30	593	178	70	67
		559	168	50,75	61
	0,34	548	186	71	64
		515	175	49,25	59,5
	0,38	511	194	70,5	70
		481	183	46,25	58,25
	0,3	618	185	75	66,5
		593	178	49,75	53,75
2. Granülometri-%2,5 Akışkanlaştırıcı	0,34	574	195	71,5	67,25
		557	189	52,75	60,25
	0,38	541	206	66,5	64
		527	200	49,5	58
	0,42	515	216	67,25	64,75
		507	213	50,5	55

(*): Yeni geliştirilen yayılma aletiyle ölçülen değerler

Tablo 3.2 3. ve 4. granülometrilili betonlar için yayılma deneyi sonuçları

	E/C	C (kg/m ³)	E (kg/m ³)	Yayılma* (cm.)	DIN 1048 (cm.)
3. Gra.-%2,5 Akışkanlaştır.	0,26	660	172	66,75	63,5
		632	164	55	61,25
	0,34	536	182	69,25	67
		511	174	48,5	54,5
4. Gra.-%2,5 Akışkanlaştır.	0,26	670	174	67,75	67,75
		654	170	50,25	52,75
	0,34	533	181	66,5	65,5
		513	174	50,5	59,5

(*): Yeni geliştirilen yayılma aletiyle ölçülen değerler

Tablo 3.3 1. granülometrilili betonlarda maksimum yayılma için karıştırma süresi ile su/çimento oranı arasındaki ilişki

Su/çimento oranı	Süre (dakika)
0,26	6
0,32	10
0,38	21

3.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

Üretilen betonlar üzerinde sertleşmiş beton deneyleri yapmak amacıyla her parti karışımdan üçer adet 15*15*15 cm.lik küp ve 15/30 cm.lik silindir numuneler alınmıştır. Üretimleri izleyen 28. günde küp numunelerin önce ultrases hızları, daha sonra da numuneler kırılarak basınç dayanımları ölçülmüştür. Aynı günde silindir numunelerin de yarılma-çekme dayanımları ölçülmüştür. Ayrıca herbir karışım için 2 adet küp numune birim ağırlık ölçümü için ayrılmıştır. Bunların birim ağırlıkları da havuzdan çıkarıldıktan 1 hafta sonra ölçülmüştür. Sertleşmiş beton deneylerinden elde olunan sonuçlar Tablo 3.4' de gösterilmiştir. Tablodaki tüm değerler ortalama değerlerdir.

Tablo 3.4 Sertleşmiş beton deney sonuçları

	E/C	C (kg/m ³)	E (kg/m ³)	Ultrases (km/sn)	Basınç (N/mm ²)	Yarılma (N/mm ²)	B.Ağırlık (kg/dm ³)
1. Granülometri (70cm.lik kıvam)	0,26	651	169	5,023	69,794	4,091	2,3795
	0,30	593	178	5,005	65,152	3,702	2,3935
	0,34	548	186	4,901	65,116	3,649	2,3575
	0,38	511	194	4,957	63,897	-	2,3460
1. Granülometri (50cm.lik kıvam)	0,26	614	160	4,849	-	-	-
	0,30	559	168	5,113	58,659	5,861	2,3970
	0,34	515	175	5,061	56,110	4,975	2,3735
	0,38	481	183	4,950	51,404	4,362	2,3180
2. Granülometri (70cm.lik kıvam)	0,30	618	185	4,828	55,728	5,310	2,3025
	0,34	574	195	4,875	53,171	4,142	2,2905
	0,38	541	206	4,822	53,073	4,188	2,3065
	0,42	515	216	4,828	-	3,829	2,2515
2. Granülometri (50cm.lik kıvam)	0,30	593	178	4,982	60,818	4,639	2,3245
	0,34	557	189	4,977	53,140	3,786	2,3020
	0,38	527	200	4,783	46,059	3,711	2,2790
	0,42	507	213	4,995	42,845	3,443	2,2405
3. Gra. (70cm)	0,26	660	172	5,134	73,956	5,674	2,3925
	0,34	536	182	5,107	61,908	4,549	2,361
3. Gra. (50cm)	0,26	632	164	5,161	72,362	5,119	2,3955
	0,34	511	174	5,111	60,803	4,697	2,372
4. Gra. (70cm)	0,26	670	174	5,291	68,254	4,966	2,3875
	0,34	533	181	5,219	65,500	4,248	2,3625
4. Gra. (50cm)	0,26	654	170	5,212	71,195	5,519	2,3565
	0,34	513	174	5,220	69,447	5,012	2,3715

Deney sonuçlarına göre çizilen grafiklerin tümü Ek-A' da gösterilmiştir.

4. DENEY SONUÇLARININ İNCELENMESİ

4.1. Taze Beton Özellikleri

4.1.1. Kıvamın ve Agrega Granülometrisinin Çimento Dozajına Etkisi

Bu konuda çizilen grafikler olan Şekil A.1-A.4' de başlıca şu hususlar dikkati çekmektedir. Granülometri sabit kaldığında;

- su/çimento oranı yükseldikçe aynı kıvamı elde etmek için gereken çimento miktarı azalmaktadır. Bu konuda elde edilen bağıntılar Tablo 4.1' de gösterilmiştir.

Tablo 4.1 su/çimento oranı ile çimento miktarı arasındaki bağıntılar

Granülometri	Yayılma (cm.)	Bağıntı
1	70±5	$C = -1162,5(E/C) + 947,75$ (kg/m ³)
1	50±4	$C = -1107,5(E/C) + 896,65$ (kg/m ³)
2	70±5	$C = -855(E/C) + 869,8$ (kg/m ³)
2	50±4	$C = -720(E/C) + 805,2$ (kg/m ³)
3	70±5	$C = -1550(E/C) + 1063$ (kg/m ³)
3	50±4	$C = -1512,5(E/C) + 1025,3$ (kg/m ³)
4	70±5	$C = -1712,5(E/C) + 1115,3$ (kg/m ³)
4	50±4	$C = -1762,5(E/C) + 1112,3$ (kg/m ³)

- 50 cm. yayılma yerine 70 cm. yayılma elde etmek için daha fazla çimento kullanmak gerekmektedir. Bu konuda elde edilen sonuçlar şöyledir:

1. granülometride: Ortalama olarak %6 fazla çimento
2. granülometride: Ortalama olarak %3 fazla çimento
3. granülometride: Ortalama olarak %5 fazla çimento
4. granülometride: Ortalama olarak %3 fazla çimento

Şekil A.5 ve A.6' da belli bir kıvamı elde etmek için 2. granülometride daha fazla çimento gerektiği görülmektedir. Buna karşı 1, 3 ve 4. granülometriler arasında bu konuda genellikle fark yoktur. Yalnız 50 cm. yayılmada E/C = 0,26 olması

durumunda 4. granülometri için biraz daha fazla çimento (40 kg. kadar) gerekmiştir. 2 no.lu granülometriyi kullanmakla çimento dozajının ne kadar artırılmasının gerektiği aşağıda belirtilmiştir.

50±4 cm. yayılma için ortalama olarak %8 fazla çimento

70±5 cm. yayılma için ortalama olarak %6 fazla çimento

4.1.2. Kıvamın ve Agreganın Granülometrisinin Su Miktarına Etkisi

Şekil A.7-A.10' da başlıca şu hususlar dikkati çekmektedir. Granülometri değişmeyip sabit kaldığında;

- su/çimento oranı yükseldikçe aynı kıvamı elde etmek için gereken su miktarı artmaktadır. Buradan çimento tanelerinin de suyun yanında agrega tanelerinin birbirinin üzerinde kaymasını kolaylaştırdığı anlaşılmaktadır. Bu konuda elde edilen bağıntılar Tablo 4.2' de gösterilmiştir.

Tablo 4.2 su/çimento oranı ile su miktarı arasındaki bağıntılar

Granülometri	Yayılma (cm.)	Bağıntı
1	70±5	$E = 207,5(E/C) + 115,35 \text{ (kg/m}^3\text{)}$
1	50±4	$E = 190(E/C) + 110,7 \text{ (kg/m}^3\text{)}$
2	70±5	$E = 260(E/C) + 106,9 \text{ (kg/m}^3\text{)}$
2	50±4	$E = 290(E/C) + 90,6 \text{ (kg/m}^3\text{)}$
3	70±5	$E = 125(E/C) + 139,5 \text{ (kg/m}^3\text{)}$
3	50±4	$E = 125(E/C) + 131,5 \text{ (kg/m}^3\text{)}$
4	70±5	$E = 87,5(E/C) + 151,25 \text{ (kg/m}^3\text{)}$
4	50±4	$E = 50(E/C) + 157 \text{ (kg/m}^3\text{)}$

- 50 cm. yayılma yerine 70 cm yayılma elde etmek için daha fazla su kullanmak gerekmektedir. Bu konuda elde edilen sonuçlar şöyledir:

1. granülometride: Ortalama olarak %6 fazla su
2. granülometride: Ortalama olarak %3 fazla su
3. granülometride: Ortalama olarak %5 fazla su
4. granülometride: Ortalama olarak %3 fazla su

Şekil A.11 ve A.12' de belli bir kıvamı elde etmek için 2. granülometride daha fazla su gerektiği görülmektedir. Buna karşı 1, 3 ve 4. granülometreler arasında bu konuda genellikle fark yoktur. Yalnız 50 cm. yayılmada $E/C = 0,26$ olması durumunda 4. granülometri için biraz daha fazla su (%5 kadar) gerekmiştir. 2 no.lu granülometriyi kullanmakla su miktarının ne kadar artırılması gerektiği aşağıda belirtilmiştir.

50±4 cm. yayılma için ortalama olarak %8 fazla su

70±5 cm. yayılma için ortalama olarak %6 fazla su

4.1.3. Kıvamın ve Agrega Granülometrisinin Çimento Hamuru Hacmine Etkisi

Şekil A.13-A.16' da başlıca şu hususlar dikkati çekmektedir. Granülometri sabit kaldığında;

- su/çimento oranı yükseldikçe aynı kıvamı elde etmek için gereken çimento hamuru hacmi azalmaktadır. Bu konuda elde edilen bağıntılar Tablo 4.3' de gösterilmiştir.

Tablo 4.3 su/çimento oranı ile çimento hamuru hacmi arasındaki bağıntılar

Granülometri	Yayılma (cm.)	Bağıntı
1	70±5	$c+e = -165(E/C) + 419,3 \quad (dm^3)$
1	50±4	$c+e = -167,5(E/C) + 398,85 \quad (dm^3)$
2	70±5	$c+e = -15(E/C) + 385,9 \quad (dm^3)$
2	50±4	$c+e = 62,5(E/C) + 347,75 \quad (dm^3)$
3	70±5	$c+e = -375(E/C) + 481,5 \quad (dm^3)$
3	50±4	$c+e = -362,5(E/C) + 461,25 \quad (dm^3)$
4	70±5	$c+e = -462,5(E/C) + 509,25 \quad (dm^3)$
4	50±4	$c+e = -525(E/C) + 516,5 \quad (dm^3)$

- 50 cm. yayılma yerine 70 cm. yayılma elde etmek için daha fazla çimento hamuru kullanmak gerekmektedir. Bu konuda elde edilen sonuçlar şöyledir:

1. granülometride: Ortalama olarak %6 fazla çimento hamuru
2. granülometride: Ortalama olarak %3 fazla çimento hamuru
3. granülometride: Ortalama olarak %5 fazla çimento hamuru
4. granülometride: Ortalama olarak %3 fazla çimento hamuru

Şekil A.17 ve A.18' de belli bir kıvamı elde etmek için 2. granülometride daha fazla çimento hamuru gerektiği görülmektedir. Buna karşı 1, 3 ve 4. granülometriler arasında bu konuda genellikle önemli farklar yoktur. Yalnız özellikle $E/C = 0,26$ olması durumunda 4. granülometri için biraz daha fazla çimento hamuru (%6 kadar) gerekmiştir. 2 no.lu granülometriyi kullanmakla çimento hamuru miktarının ne kadar artırılması gerektiği aşağıda belirtilmiştir.

50±4 cm. yayılma için ortalama olarak %8 fazla çimento hamuru

70±5 cm. yayılma için ortalama olarak %6 fazla çimento hamuru

4.1.4. Yeni Aletle ve DIN 1048 Yayılma Konisi İle Ölçülen Yayılma Miktarları Arasındaki İlişki

Bu iki yöntemle ölçülen yayılma miktarları arasındaki ilişki Şekil A.19' da gösterilmiştir. Bu konuda elde edilen bağıntı ve korelasyon katsayısı şu şekildedir:

$$y = 1,75x - 47,9 \quad R = 0,886 \quad (4.1)$$

Bu bağıntıda (y) değeri yeni aletle ölçülen yayılma miktarını, (x) değeri ise DIN 1048 yayılma konisi ile ölçülen yayılma miktarını ifade etmektedir.

4.1.5 En Büyük Yayılmayı Sağlayan Karıştırma Süresinin Saptanması

Bu süreyi belirlemek için 1. granülometriye sahip 0,26; 0,32 ve 0,38 su/çimento oranındaki herbiri 20 litre olarak üretilmiş 3 taze beton çeşitli sürelerde karıştırılarak yayılma miktarları ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar Şekil A.20-A.22' de görülmektedir. Buna göre en büyük yayılmayı elde etmek için aşağıda Tablo 4.4' deki karıştırma süreleri gerekmiştir.

Tablo 4.4 1. granülometrilili betonlarda maksimum yayılma için karıştırma süresi ile su/çimento oranı arasındaki ilişki

Su/çimento oranı	Süre (dakika)
0,26	6
0,32	10
0,38	21

Su/çimento oranının yükselmesiyle maksimum yayılmayı elde etmek için gereken sürenin arttığı görülmektedir.

4.1.6 Tam Yerleşmeyen veya Ayırışma Eğilimi Gösteren Betonlar

Kalıplara kendiliklerinden yerleşmelerinde sorun çıkaran betonlar gözlenen sorunla birlikte aşağıdaki Tablo 4.5’ de belirtilmiştir.

Tablo 4.5 Kalıplara kendiliklerinden yerleşmelerinde sorun çıkaran betonlar

Granülometri	Yayılma (cm.)	Su/çim. oranı	Sorun
1	50±4	0,26	İyi yerleşmedi
2	70±5	0,42	Ayırışma oldu

4.2. Sertleşmiş Beton Özellikleri

4.2.1. Birim Ağırlık

Şekil A.23-A.26’ da aşağıdaki hususlar dikkati çekmektedir:

- Granülometri sabit kaldıkça sertleşmiş betonun “birim ağırlık-E/C” bağıntısı kıvamdan etkilenmemektedir.
- Su/çimento oranı yükseldikçe birim ağırlık azalmaktadır.

Çeşitli granülometrilere elde edilen “birim ağırlık-E/C” (B.A.-E/C) bağıntıları aşağıdaki Tablo 4.6’ da gösterilmiştir.

Tablo 4.6 Çeşitli granülometrilere “birim ağırlık-E/C” bağıntısı

Granülometri	Bağıntı
1	$B.A. = -0,5137(E/C) + 2,5352 \text{ (kg/dm}^3\text{)}$
2	$B.A. = -0,5150(E/C) + 2,4725 \text{ (kg/dm}^3\text{)}$
3	$B.A. = -0,3449(E/C) + 2,4838 \text{ (kg/dm}^3\text{)}$
4	$B.A. = -0,0625(E/C) + 2,3883 \text{ (kg/dm}^3\text{)}$

Şekil A.27 ve A.28’ de su/çimento oranı yükseldikçe birim ağırlığın azaldığı görülmektedir. Diğer taraftan aynı su/çimento oranı için 2 no.lu granülometriye ait birim ağırlıklar her iki yayılma değeri için de diğer granülometrelerinkine göre %3 kadar daha düşüktür.

Şekil 3.29 ve 3.30' da çimento dozajının yükselmesiyle birim ağırlığın arttığı izlenmektedir. 2 no.lu granülometrilili betonların birim ağırlıklarının daha düşük olduğu bu grafiklerde de görülmektedir.

4.2.2. Dayanımlar

Şekil A.31' de 1. granülometrilili betonlarda 70 cm. yayılmalı karışımların basınç dayanımlarının 50 cm. yayılmalı olanlara göre daha yüksek olduğu görülmekle birlikte Şekil A.39' da yarıлма-çekme dayanımları için bunun zıttı bir durum görülmektedir. Diğer taraftan Şekil A.32,33 ve 34' de basınç dayanımları için, Şekil A.40, 41 ve 42' de de yarıлма-çekme dayanımları için iki kıvrama ait değerlerde önemli ve sistemli bir fark gözlenmemektedir. Bu durumda aynı su/çimento oranında yayılmanın 50 veya 70 cm. olmasının dayanımlar üzerinde belirgin bir etkisinin bulunmadığını söylemek yerinde olur.

Şekil A.37' de (50 cm. yayılmalı betonlar) aynı çimento dozajı için 3 ve 4 numaralı granülometrilere (kesikli granülometrililer) ait basınç dayanımlarının 1 ve 2 numaralı granülometrilere ait dayanımlardan %25 mertebesinde daha yüksek olduğu görülmektedir. Şekil A.38' de de (70 cm. yayılmalı betonlar) kesikli granülometrilili betonların ve 1. granülometrilili betonların basınç dayanımlarının 2. granülometrilili betonlarınkine göre yine yaklaşık %20 mertebesinde daha fazla olduğu gözlenmektedir. Diğer taraftan Şekil A.45 ve A.46' da kesikli granülometrilili betonların yarıлма-çekme dayanımlarının da diğerlerine göre genellikle iyi durumda olduğu görülmektedir. Diğer taraftan Şekil A.35, 36 ve Şekil A.43 ve 44' de de kesikli granülometrilili betonlara ait basınç ve çekme dayanımlarının diğerlerininkine eşit veya diğerlerininkinden daha yüksek olduğu izlenmektedir. Bütün bunlar kendiliğinden yerleşen betonlarda kesikli granülometrililerin sağladığı yerleşme kolaylığından yararlanmanın uygun olacağını göstermektedir. Ancak bu tür betonların ayrışmaya daha fazla eğilimli oldukları unutulmamalıdır. Bununla beraber bu çalışmada kesikli granülometrililerle dökülen numunelerde önemli ayrışma gözlenmemiştir.

4.2.3. Dayanımlarla C/E Oranı Arasındaki İlişkiler

Bu ilişkiler Şekil A.47 ve 48' de görülmektedir. Elde edilen bağıntılar ve korelasyon katsayıları aşağıda gösterilmiştir. Basınç dayanımları 15 cm.lik küplerde, yarıлма-çekme dayanımları ise 15/30 cm.lik silindirlerde ölçülmüştür.

$$f_{c,28} = 14,086(C/E) + 16,656 \quad R = 0,764 \quad (4.2)$$

$$T_{y,28} = 0,9124(C/E) + 1,6702 \quad R = 0,619 \quad (4.3)$$

Burada $f_{c,28}$ (N/mm²) küp numunelerin 28 günlük basınç dayanımını, $T_{y,28}$ (N/mm²) de silindir numunelerin 28 günlük yarıma-çekme dayanımlarını ifade etmektedir. “R” ise korelasyon katsayısıdır. “C” 1 m³ yerleşmiş betonda çimento ağırlığını, “E” de yine 1 m³ yerleşmiş betondaki su ağırlığını göstermektedir.

4.2.4. Basınç ve Yarıma-Çekme Dayanımları Arasındaki İlişki

Bu ilişki Şekil A.49’ da görülmektedir. Elde edilen bağıntı ve korelasyon katsayısı şöyledir:

$$T_{y,28} = 0,49(f_{c,28})^{0,54} \quad R = 0,521 \quad (4.4)$$

4.2.5. Dayanımlarla Ultrases Hızları Arasındaki İlişki

Bu ilişkiler Şekil A.50 ve 51’ de görülmektedir. Ultrases hızları 15 cm.lik küplerle döküm doğrultusuna dik doğrultuda ölçülmüştür. Elde edilen bağıntılar ve korelasyon katsayıları şöyledir:

$$f_{c,28} = 0,233(u)^{3,4378} \quad R = 0,659 \quad (4.5)$$

$$T_{y,28} = 0,039(u)^{2,9235} \quad R = 0,551 \quad (4.6)$$

Burada u (km/sn) küp numuneler üzerinde ölçülen ultrases hızlarını ifade etmektedir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmanın sınırları içinde elde edilen başlıca sonuçlar şunlardır.

- 1- Granülometri sabit kaldığında su/çimento oranı yükseldikçe, aynı kıvamı elde etmek için gereken çimento miktarı azalmaktadır. Bu konuda elde edilen bağıntılar çalışmada verilmiştir.
- 2- Su/çimento oranı sabit kaldığında 50cm. yayılma yerine 70 cm. yayılma elde etmek için çeşitli granülometrilere %3 ile %6 arasında daha fazla çimento kullanmak gerekmiştir.
- 3- Belli bir kıvamı elde etmek için 2. granülometride;
50 cm. yayılma için diğerlerinden ortalama %8 fazla çimento
70 cm. yayılma için diğerlerinden ortalama %6 fazla çimento
kullanmak gerekmiştir.
- 4- Su/çimento oranı yükseldikçe aynı kıvamı elde etmek için gereken su miktarı artmıştır. Buradan; çimento tanelerinin de suyun yanında, agrega tanelerinin birbirinin üzerinde kaymasını kolaylaştırdığı anlaşılmaktadır. Bu konuda elde edilen bağıntılar çalışmada verilmiştir.
- 5- 50 cm. yayılma yerine 70 cm. yayılma elde etmek için;
1. granülometride ortalama olarak %6 fazla su
2. granülometride ortalama olarak %3 fazla su
3. granülometride ortalama olarak %5 fazla su
4. granülometride ortalama olarak %3 fazla su
gerekmiştir.
- 6- 2 no.lu granülometriyi kullanmakla diğer granülometrilere göre ;
50 cm. yayılma için ortalama olarak %8 fazla su
70 cm. yayılma için ortalama olarak %6 fazla su
kullanmak gerekmiştir.

7- Granülometri sabit kaldığında su/çimento oranı yükseldikçe aynı kıvamı elde etmek için gereken çimento hamuru hacmi azalmaktadır. Bu konuda elde edilen bağıntılar çalışmada verilmiştir.

8- 50 cm. yayılma yerine 70 cm. yayılma elde etmek için;

1. granülometrilili betonlarda ortalama olarak %6 fazla çimento hamuru
2. granülometrilili betonlarda ortalama olarak %3 fazla çimento hamuru
3. granülometrilili betonlarda ortalama olarak %5 fazla çimento hamuru
4. granülometrilili betonlarda ortalama olarak %3 fazla çimento hamuru kullanmak gerekmiştir.

9- Belli bir kıvamı elde etmek için 2. granülometride;

50 cm. yayılma için diğerlerinden ortalama olarak %8 fazla çimento hamuru

70 cm. yayılma için diğerlerinden ortalama olarak %6 fazla çimento hamuru kullanmak gerekmiştir.

10- Yeni yayılma aletiyle ve klasik DIN 1048 yayılma konisi ile ölçülen yayılma değerleri arasında;

$$y = 1,75x - 47,9 \quad R = 0,886 \quad (5.1)$$

bağıntısı elde edilmiştir. Burada “y” terimi yeni aletle ölçülen yayılma miktarını, “x” terimi de DIN 1048 yayılma konisi ile ölçülen miktarı ifade etmektedir.

11- En büyük yayılmayı elde etmek için gereken karıştırma süresi 1. granülometriye sahip 3 betonda Tablo 5.1’ deki gibi bulunmuştur.

Tablo 5.1 1. granülometrilili betonlarda maksimum yayılma için karıştırma süresi ile su/çimento oranı arasındaki ilişki

Su/çimento oranı	Süre (dakika)
0,26	6
0,32	10
0,38	21

Buradan su/çimento oranının yükselmesiyle maksimum yayılmayı elde etmek için gereken sürenin arttığı anlaşılmaktadır.

12- 2 betonun kalıplara kendiliklerinden yerleşmesinde aşağıdaki Tablo 5.2' de belirtilen sorunlar çıkmıştır. Bu yerleşme sorunları dayanımlarda da bir miktar düşüşe sebep olmuştur.

Tablo 5.2 Kalıplara kendiliklerinden yerleşmelerinde sorun çıkaran betonlar

Granülometri	Yayılma	Su/çim. oranı	Sorun
1	50±4 cm.	0,26	İyi yerleşmedi
2	70±5 cm.	0,42	Ayrışma oldu

13- Granülometri sabit kaldıkça sertleşmiş betonun “birim ağırlık-E/C” bağıntısı kıvamdan etkilenmemiştir.

14- Aynı su/çimento oranında yayılmanın 50 veya 70 cm. olmasının basınç ve yarıma-çekme dayanımlarının üzerinde belirgin bir etkisinin bulunmadığı görülmüştür.

15- Kesikli granülometrili (3 ve 4 no.lu granülometriler) betonların basınç ve çekme dayanımlarının diğerlerinininkine eşit veya diğerlerinininkinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Taze beton üzerindeki incelemelerde de kesikli granülometrili betonların aleyhine yorumlanabilecek bir durum gözlenmemiştir.

16- Çalışmada üretilen tüm betonlar bir arada gözönüne alınarak aşağıdaki bağıntılar elde edilmiştir:

a-) Dayanımlarla C/E oranı arasında;

$$f_{c,28} = 14,086(C/E) + 16,656 \quad R = 0,764 \quad (5.2)$$

$$T_{y,28} = 0,9124(C/E) + 1,6702 \quad R = 0,619 \quad (5.3)$$

Burada $f_{c,28}$ (N/mm²) terimi küp numunelerin 28 günlük basınç dayanımlarını, $T_{y,28}$ (N/mm²) terimi de 28 günlük silindir numune yarıma-çekme dayanımını ifade etmektedir. “R” ise korelasyon katsayısıdır. “C” 1 m³ yerleşmiş betonda çimento ağırlığını, “E” de yine 1 m³ yerleşmiş betonda su ağırlığını göstermektedir.

b-) Basınç ve yarıma-çekme dayanımları arasında;

$$T_{y,28} = 0,49(f_{c,28})^{0,54} \quad R = 0,521 \quad (5.4)$$

c-) Dayanımlarla ultrases hızları arasında;

$$f_{c,28} = 0,233(u)^{3,4378} \quad R = 0,659 \quad (5.5)$$

$$T_{y,28} = 0,039(u)^{2,9235} \quad R = 0,551 \quad (5.6)$$

Burada u (km/sn) terimi küp numuneler üzerinde ölçülen ultrases hızını ifade etmektedir.



KAYNAKLAR

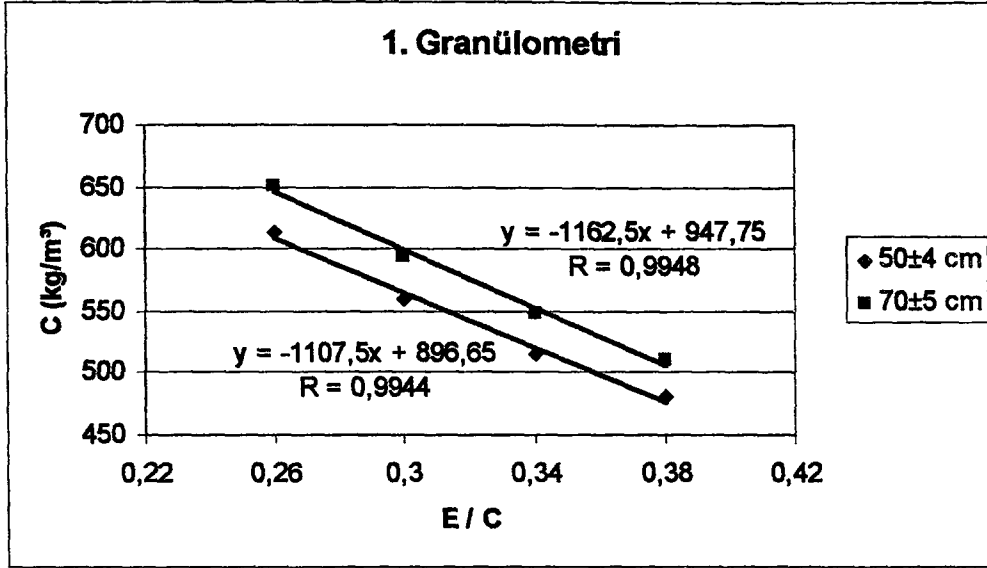
- [1] **Khurana, R., Topçu, O.**, 2000. Role of Superplasticizers in the Development of Self Compacting Concrete, *Proceedings of the Cement and Concrete Technology in the 2000 s Second International Symposium*, 6-10 September 2000, İstanbul, Turkey, Volume 1, s. 473-484
- [2] **Nagataki, S.**, 2000. Advanced Technology for High Fluidity Concrete, *Proceedings of the Cement and Concrete Technology in the 2000 s Second International Symposium*, 6-10 September 2000, İstanbul, Turkey, Volume 1, s. 87-102
- [3] **Rols, S., Ambroise, J. and Pera, J.**, 1997. Development of an Admixture for Self-Leveling Concrete, *International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete*, Rome, Italy, s. 493-501
- [4] **Venugopal, C. N., Prasad, S. K., Nagaraj, T. S.**, 2000. Superplasticizer-Its Optimal Dosage in Cement Based Composites, *Proceedings of the Cement and Concrete Technology in the 2000 s Second International Symposium*, 6-10 September 2000, İstanbul, Turkey, Volume 1, s. 443-452 .
- [5] **Bartos, P.**, 1992 Fresh Concrete Properties and Tests, Elsevier, Amsterdam .
- [6] **Ramachandran, V. S., Malhotra, V. M., Jolicoeur, C. and Spiratos, N.**, 1998 Superplasticizers: Properties and Applications in Concrete, CANMET publ., MTK 97-14 (TR), Ottawa, Canada
- [7] **Tattersal, G. H.**, 1991 Workability and Quality Control of Concrete, E&F, N. Spon Ed., London

- [8] **Topçu, O., Sağlık, A., Çil, İ., İnal, M., Polat, S., Üste, A.,** 2000. Application of Self-Compacting Concrete in Common Building Structure-A Case Study, *Proceedings of the Cement and Concrete Technology in the 2000 s Second International Symposium*, 6-10 September 2000, İstanbul, Turkey, Volume 1, 483-492
- [9] **Khayat, K. H.,** 1999. Workability, Testing, and Performance of Self-Consolidating Concrete, *ACI Materials Journal*, V. 96, No. 3, May-June 1999, 346-353
- [10] **Özkul, H. M., Doğan, Ü. A., Çavdar, Z., Sağlam, R. A. and Parlak, N.,** 2000. Effects of Self Compacting Concrete Admixtures on Fresh and Hardened Concrete Properties, *Proceedings of the Cement and Concrete Technology in the 2000 s Second International Symposium*, 6-10 September 2000, İstanbul, Turkey, Volume 1, 493-501
- [11] **Kim, Jin-Keun, Han, S. H., Park, Y. D., Noh, J. H.,** 1998. Material Properties of Self Flowing Concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 10, No. 4, November, 1998, 244-249
- [12] **Al-Manaseer, A. A., Albert, A. J.,** 1995. Measuring the Consistency and Workability of Superplasticized Concrete, *ACI Materials Journal*, V. 92, No. 3, May-June 1995, 286-290
- [13] **Brooks, J. J.,** 1989. Influence of Mix Proportions, Plasticizers and Superplasticizers on Creep and Drying Shrinkage of Concrete, *Magazine of Concrete Research*, 1989, 41, No. 148, September, 145-153
- [14] **Akman, M. S.,** 1990. Yapı Malzemeleri, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul
- [15] **Yıldırım, H., Yorulmazel, V., Ardic, E.,** 1996. Süper ve Normal Akışkanlaştırıcı Katkıların Çimento ile Uyuşumu, *Beton Teknolojisinde Mineral ve Kimyasal Katkılar 4. Ulusal Beton Kongresi*, 30-31 Ekim-1 Kasım 1996, İstanbul, Türkiye, 25-30

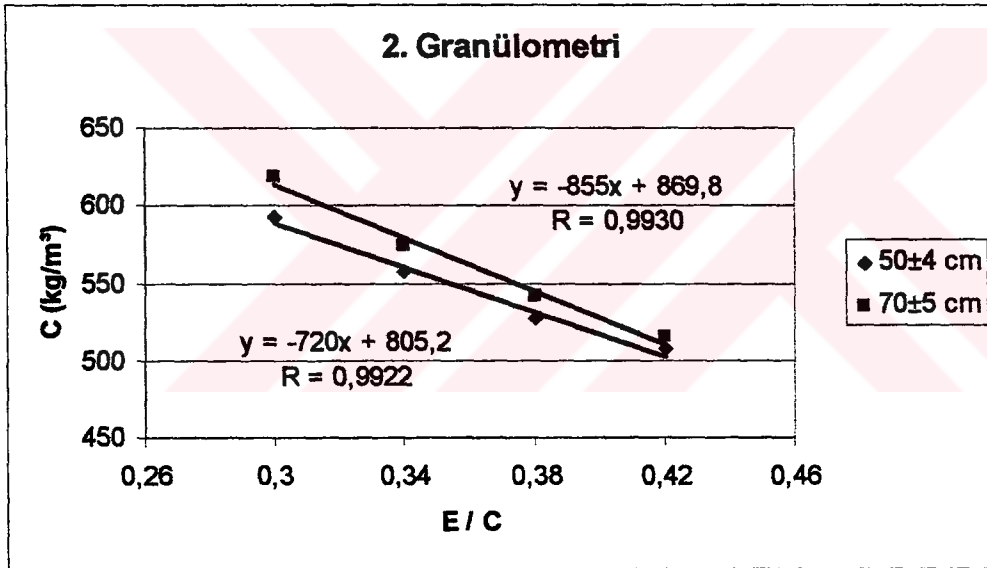
- [16] Akman, M. S., 1996. Süperakışkanlaştırıcı Katkıların Taze Beton İşlenebilmesindeki Sorunları, *Beton Teknolojisinde Mineral ve Kimyasal Katkılar 4. Ulusal Beton Kongresi*, 30-31 Ekim-1 Kasım 1996, İstanbul, Türkiye, 55-71
- [17] Doğan, Ü. A., 2000. Yeni Kuşak Süperakışkanlaştırıcıların Harç ve Beton Özelliklerine Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [18] Aydın, K. K., Uyan, M., Baş, S., 1996. Betonda Kıvam Kaybının Süperakışkanlaştırıcı Katkılarla İyileştirilmesi, *Beton Teknolojisinde Mineral ve Kimyasal Katkılar 4. Ulusal Beton Kongresi*, 30-31 Ekim-1 Kasım 1996, İstanbul, Türkiye, 73-80
- [19] Chan, S. Y. N., Feng, N. Q. and Tsang, M. K. C., 1996. Workability Retention of High Strength /Superplasticized Concrete, *Magazine of Concrete Research*, 1996, 48, No. 177, Dec., 301-309
- [20] Punkki, J., Golaszewski, J., and Gjorv, O. E., 1996. Workability Loss of High Strength Concrete, *ACI Materials Journal*, V. 93, No. 5, September-October 1996, 427-431
- [21] Faroug, F., Szwabowski, J. and Wild, S., 1999. Influence of Superplasticizers on Workability of Concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering*, May 1999, 151-157
- [22] Krishna, R. N., 1996. Dispersing Action of a Superplasticizer with Different Grades of Cements and Fly Ash, *ACI Materials Journal*, V. 93, No. 4, July-August 1996, 351-355
- [23] TS-706, Aralık 1980, Beton Agregaları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara

EK - A

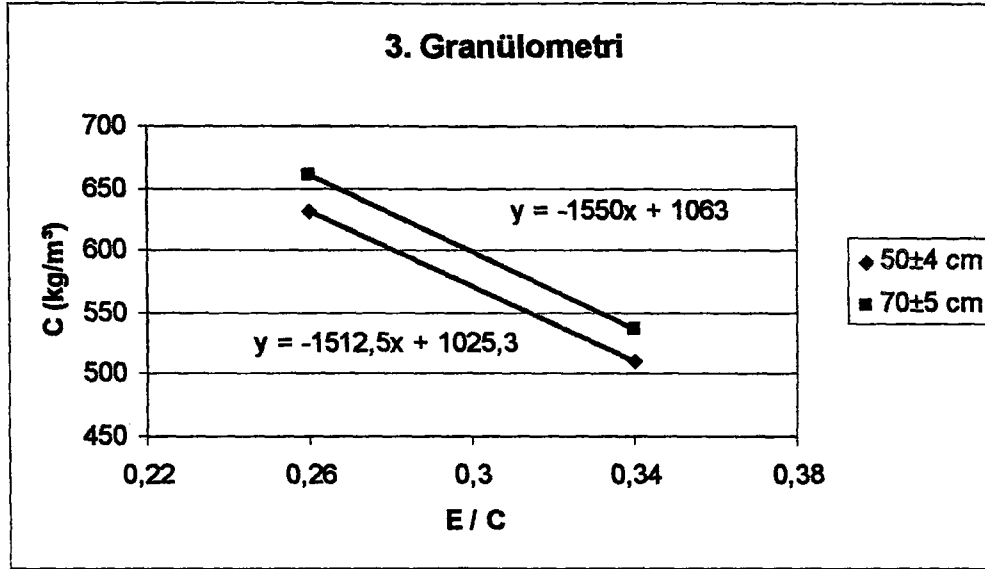




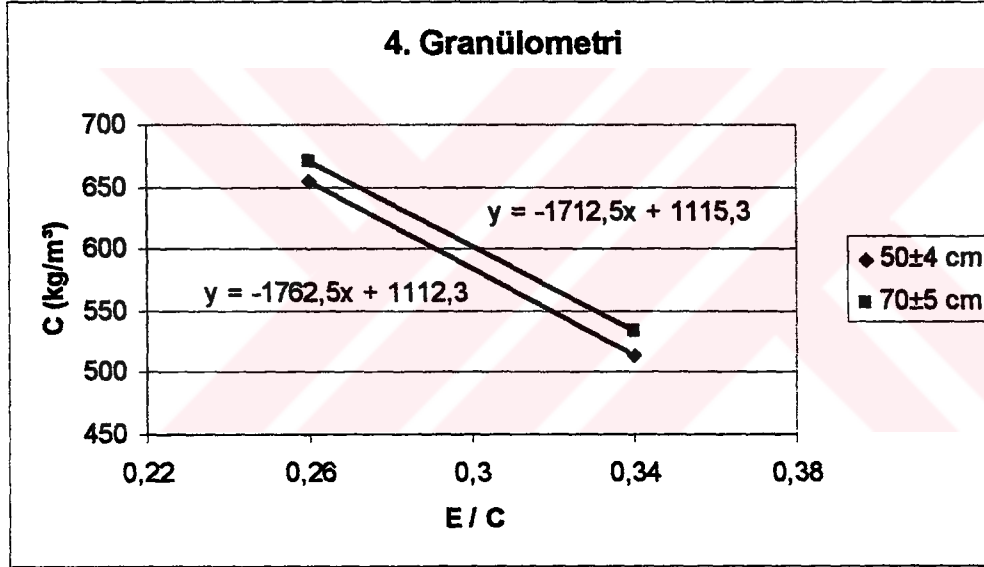
Şekil A.1. 1. granülometrilili betonlarda farklı su/çimento oranları için kıvamın çimento dozajına etkisi



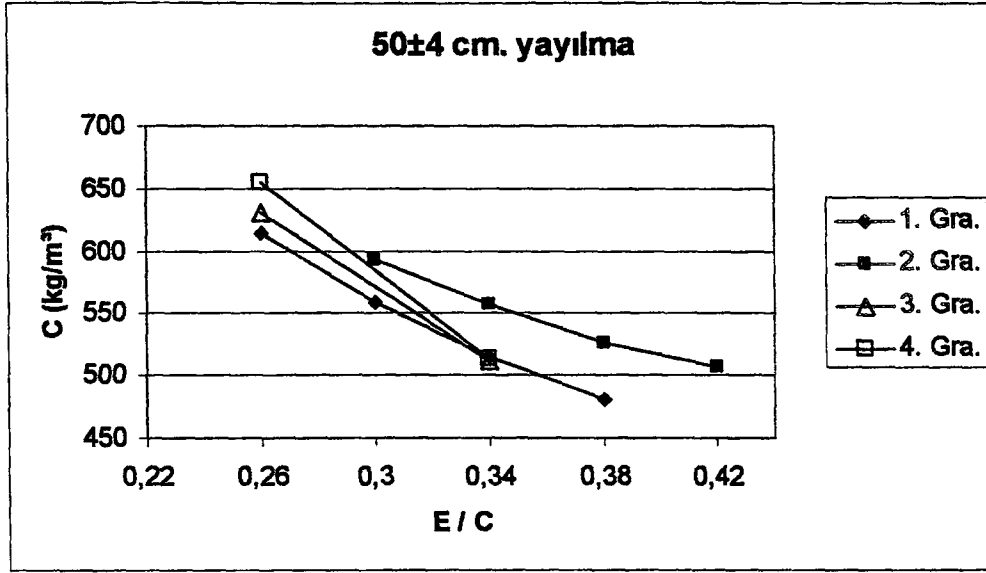
Şekil A.2. 2. granülometrilili betonlarda farklı su/çimento oranları için kıvamın çimento dozajına etkisi



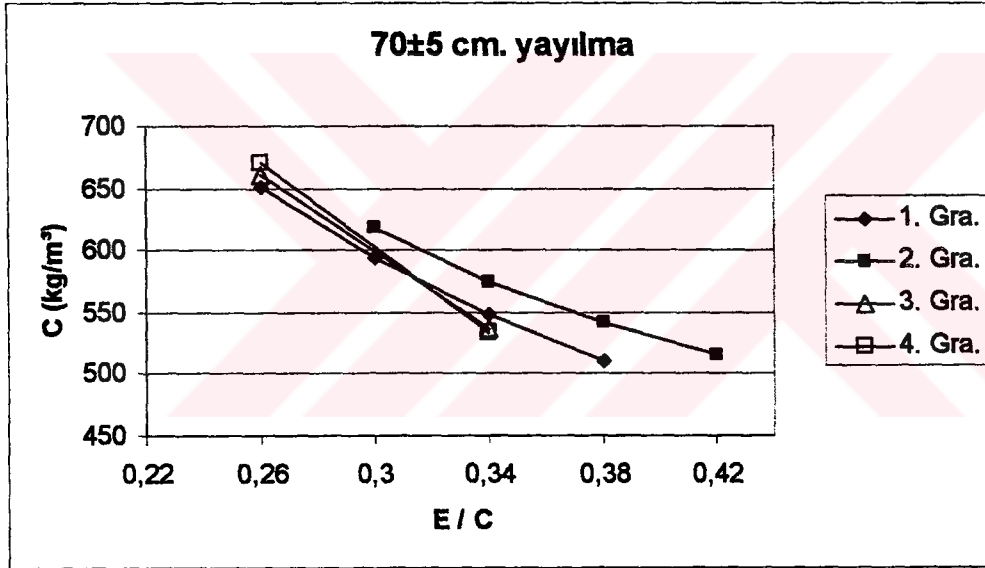
Şekil A.3. 3. granülometrilili betonlarda farklı su/çimento oranları için kıvamın çimento dozajına etkisi



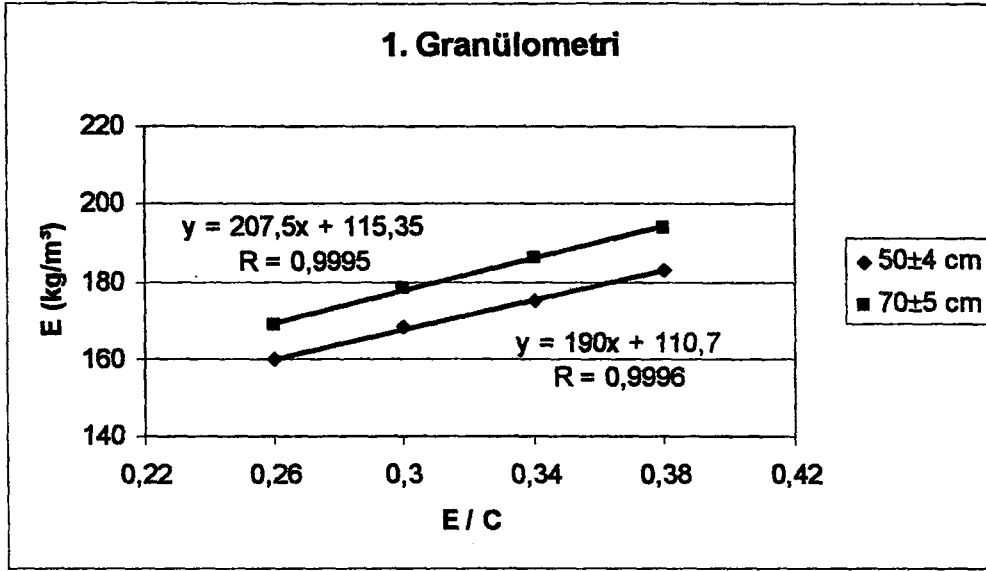
Şekil A.4. 4. granülometrilili betonlarda farklı su/çimento oranları için kıvamın çimento dozajına etkisi



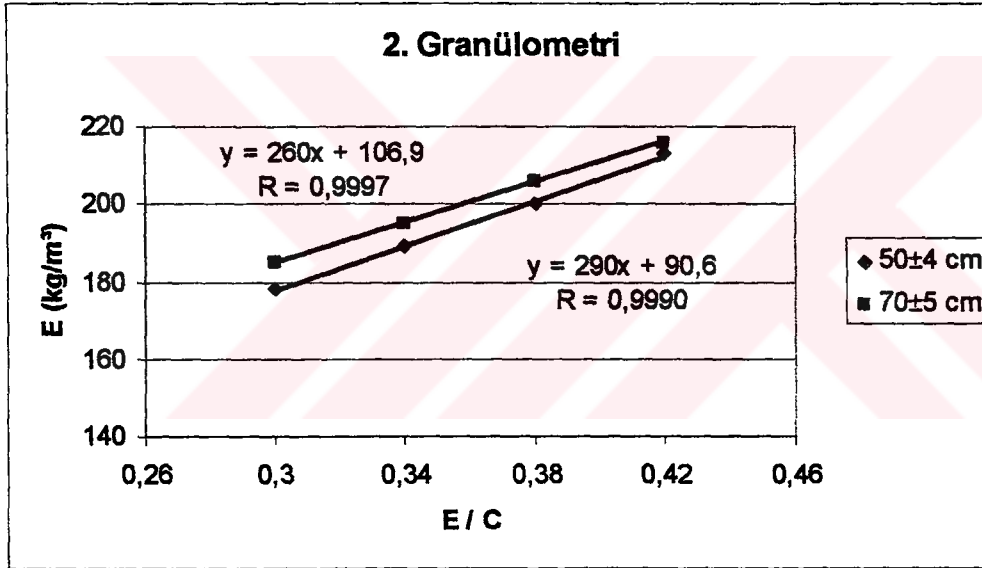
Şekil A.5. 50±4 cm. yayılma kıvamında farklı su/çimento oranları için agrega granülometrisinin çimento dozajına etkisi



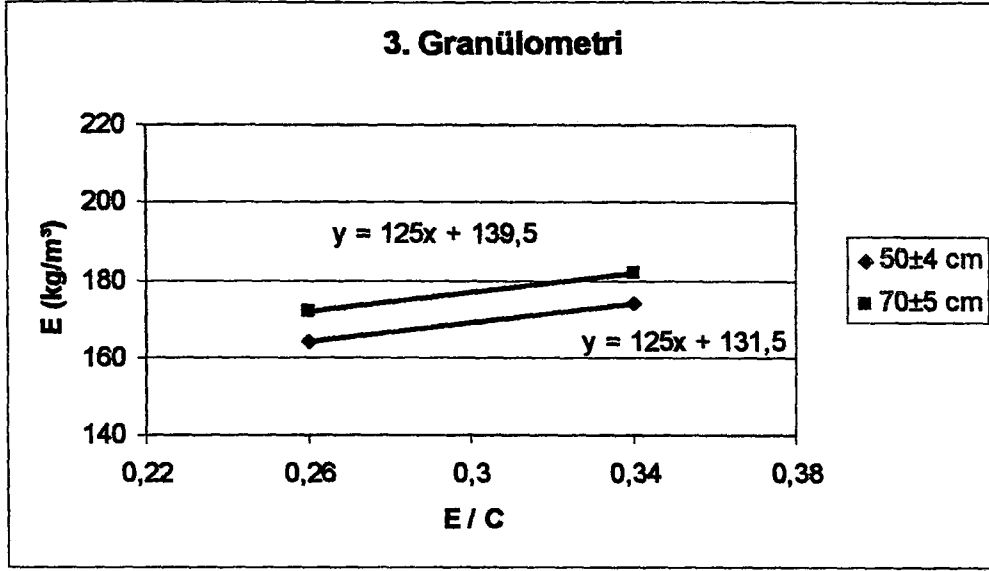
Şekil A.6. 70±5 cm. yayılma kıvamında farklı su/çimento oranları için agrega granülometrisinin çimento dozajına etkisi



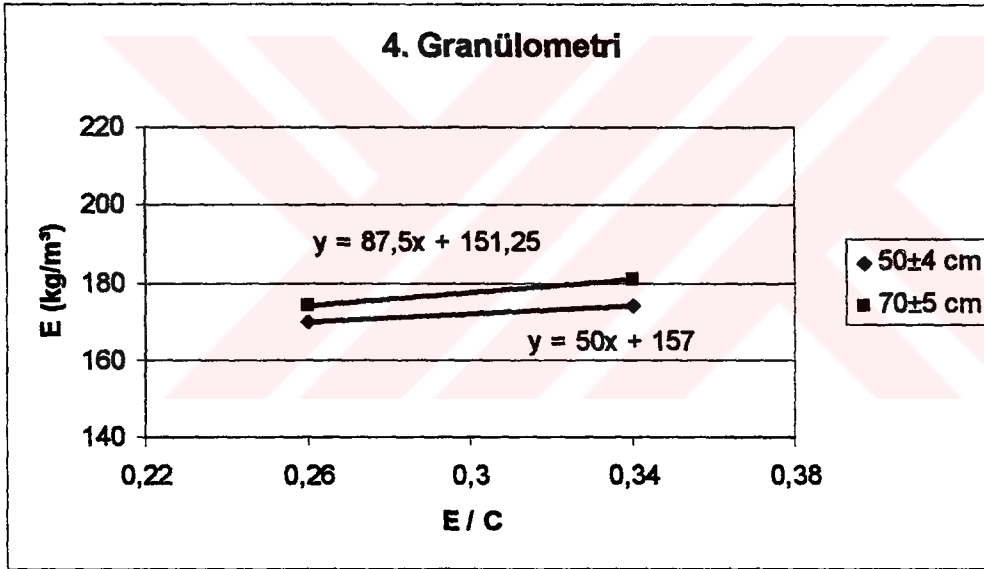
Şekil A.7. 1. granülometrilili betonlarda farklı su/çimento oranları için kıvamın su miktarına etkisi



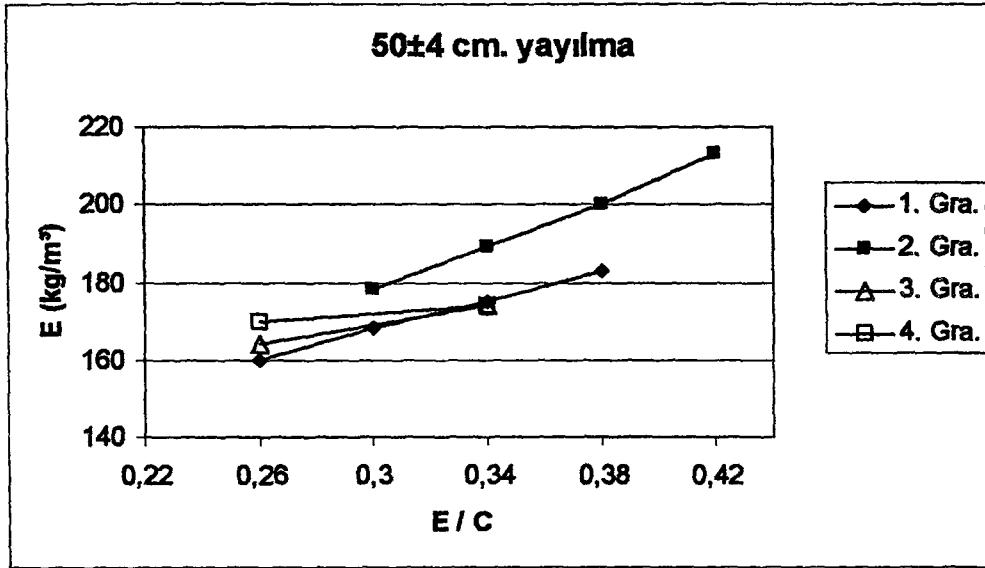
Şekil A.8. 2. granülometrilili betonlarda farklı su/çimento oranları için kıvamın su miktarına etkisi



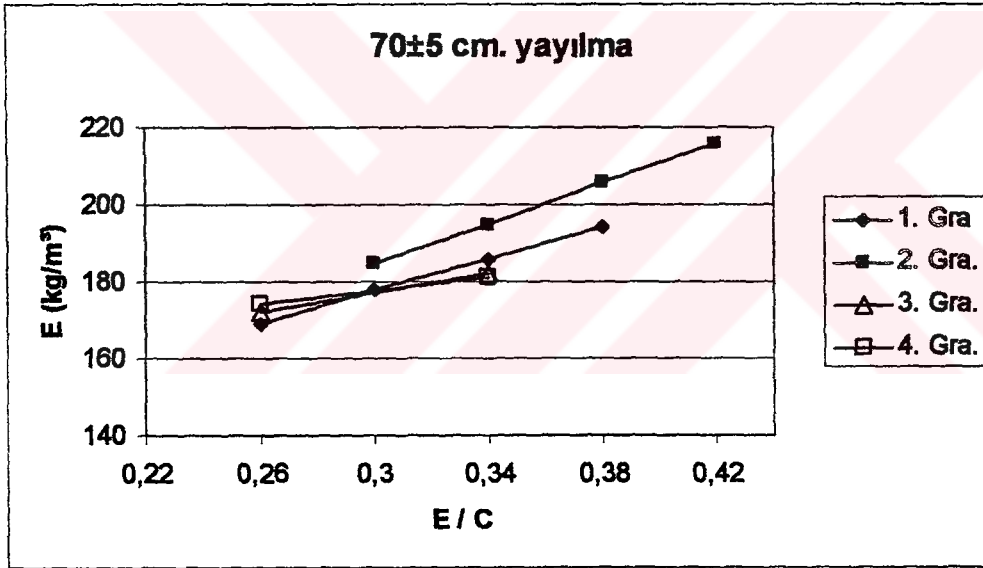
Şekil A.9. 3. granülometrilili betonlarda farklı su/çimento oranları için kıvamın su miktarına etkisi



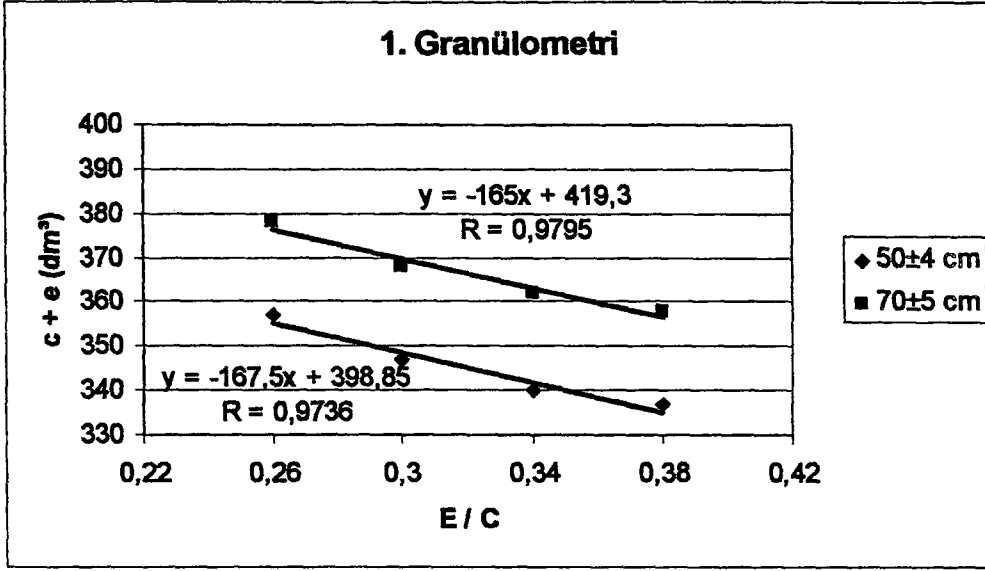
Şekil A.10. 4. granülometrilili betonlarda farklı su/çimento oranları için kıvamın su miktarına etkisi



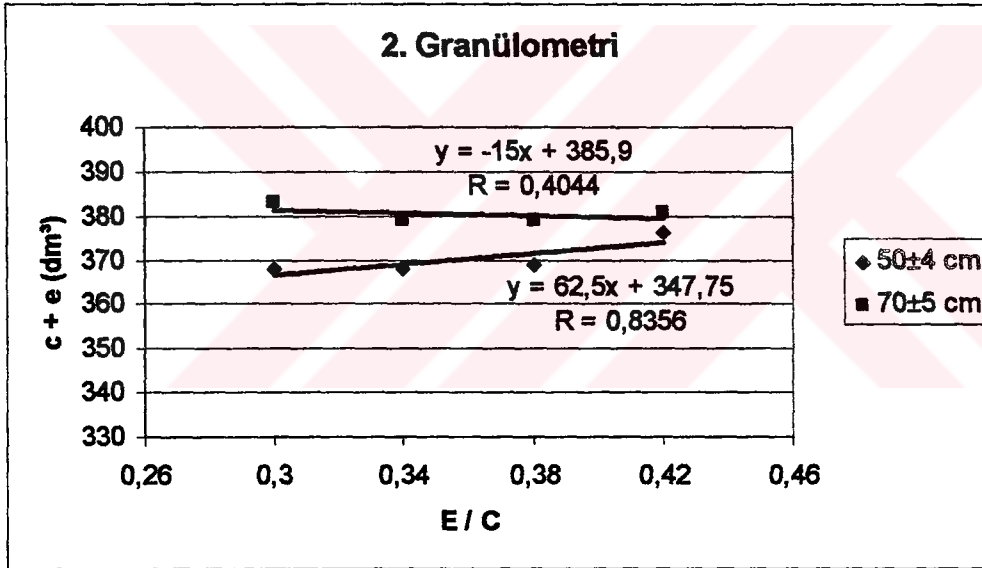
Şekil A.11. 50±4 cm. yayılma kıvamında farklı su/çimento oranları için agrega granülometrisinin betonun su miktarına etkisi



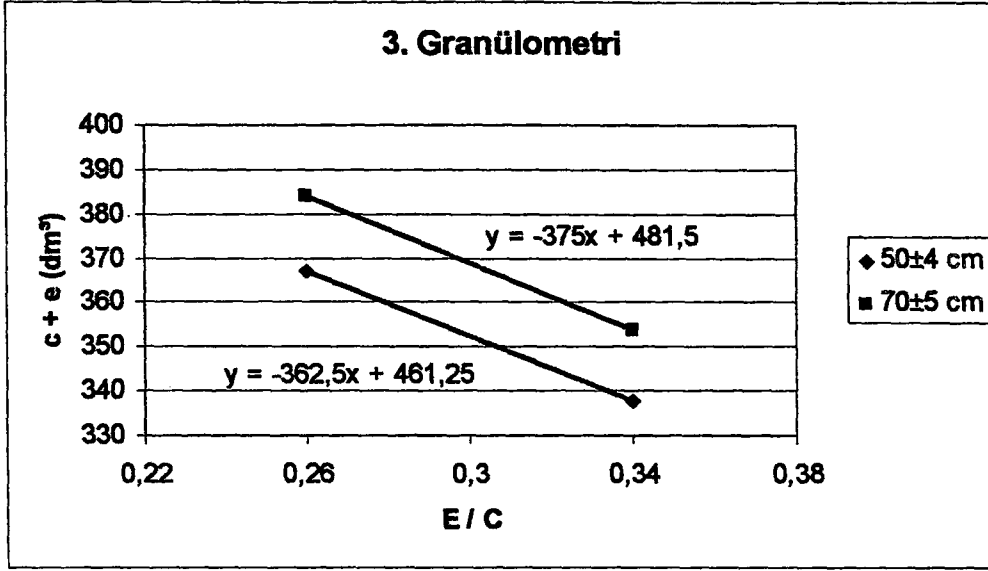
Şekil A.12. 70±5 cm. yayılma kıvamında farklı su/çimento oranları için agrega granülometrisinin betonun su miktarına etkisi



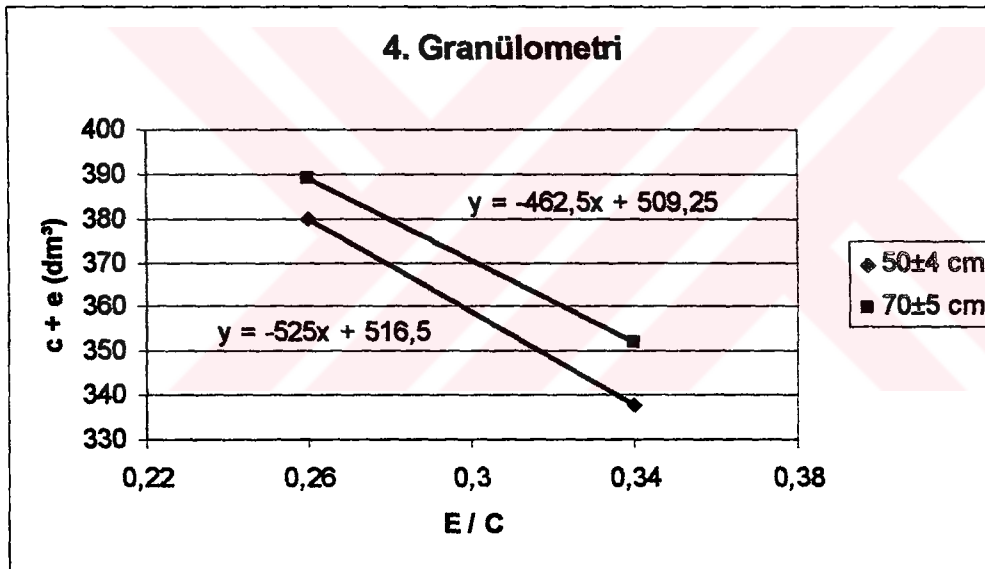
Şekil A.13. 1. granülometrilili betonlarda farklı su/çimento oranları için kıvamın çimento hamuru hacmine etkisi



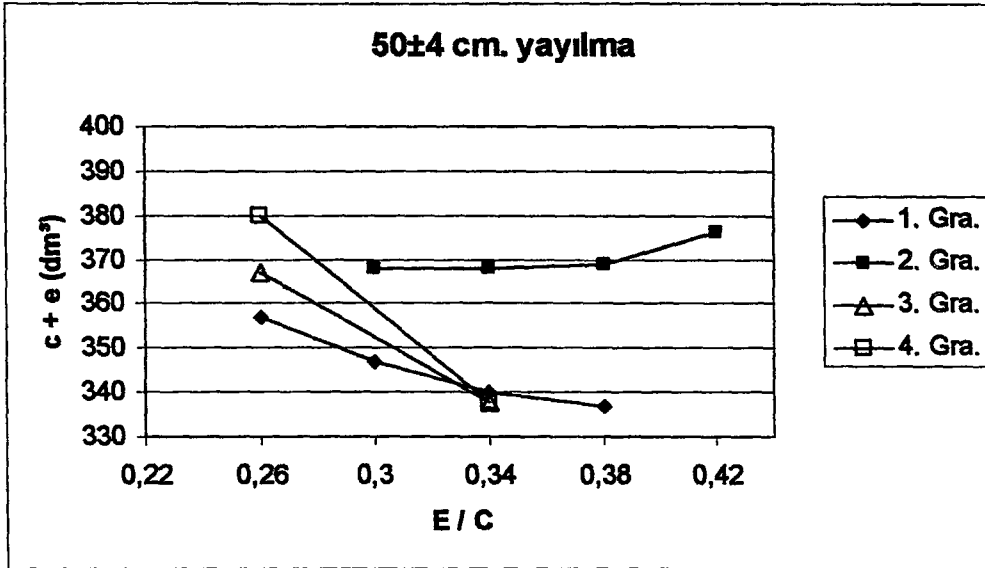
Şekil A.14. 2. granülometrilili betonlarda farklı su/çimento oranları için kıvamın çimento hamuru hacmine etkisi



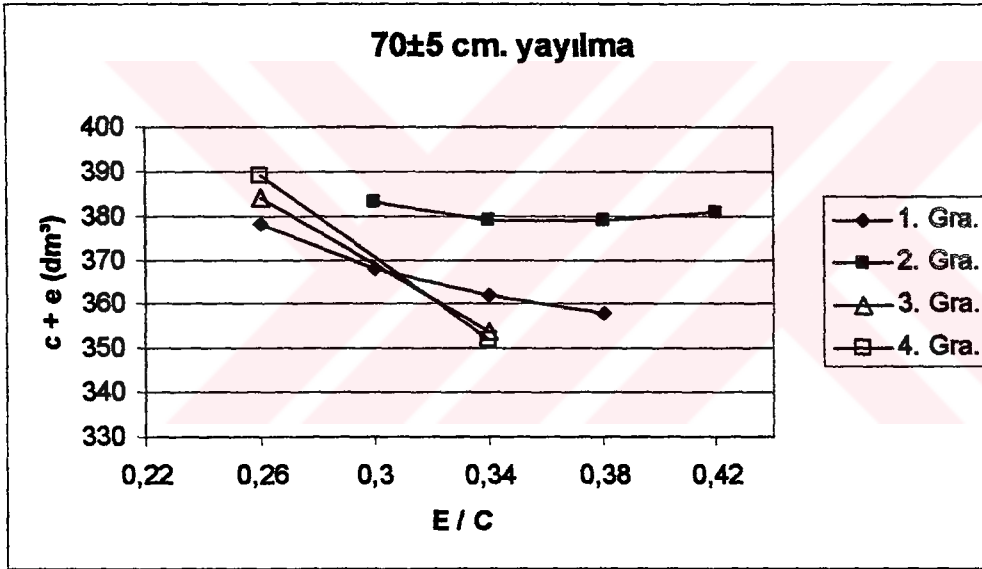
Şekil A.15. 3. granülometrilili betonlarda farklı su/çimento oranları için kıvamın çimento hamuru hacmine etkisi



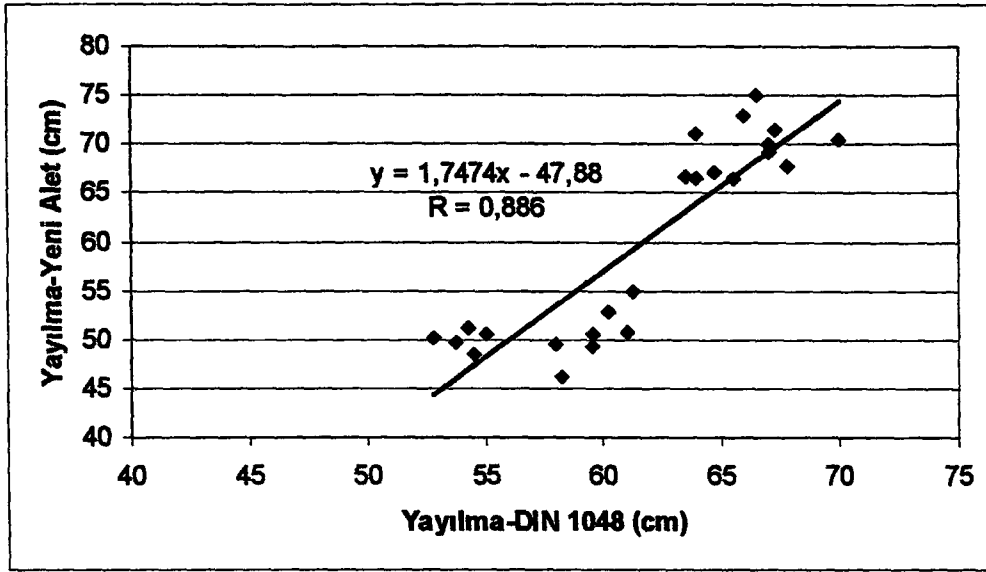
Şekil A.16. 4. granülometrilili betonlarda farklı su/çimento oranları için kıvamın çimento hamuru hacmine etkisi



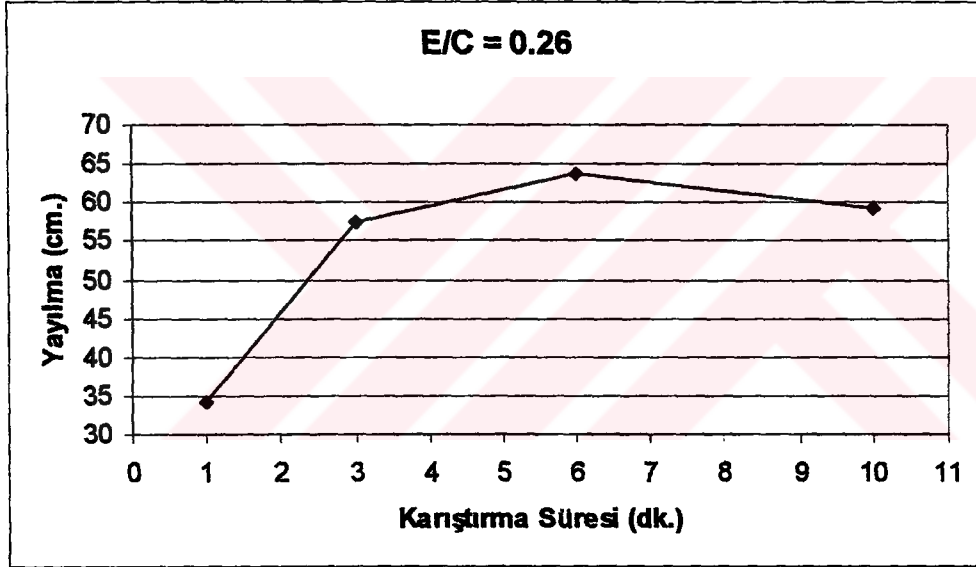
Şekil A.17. 50±4 cm. yayılma kıvamında farklı su/çimento oranları için agrega granülometrisinin çimento hamuru hacmine etkisi



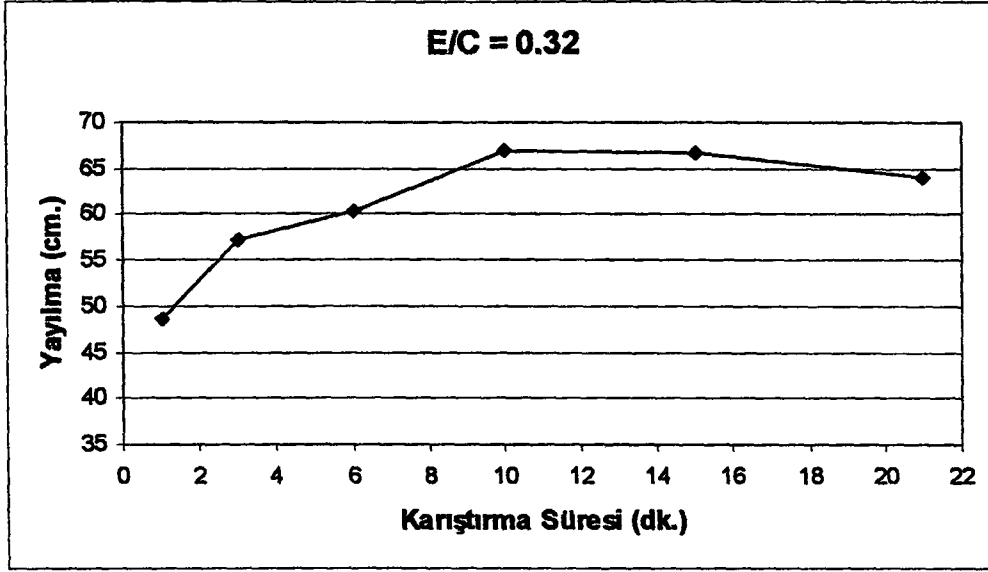
Şekil A.18. 70±5 cm. yayılma kıvamında farklı su/çimento oranları için agrega granülometrisinin çimento hamuru hacmine etkisi



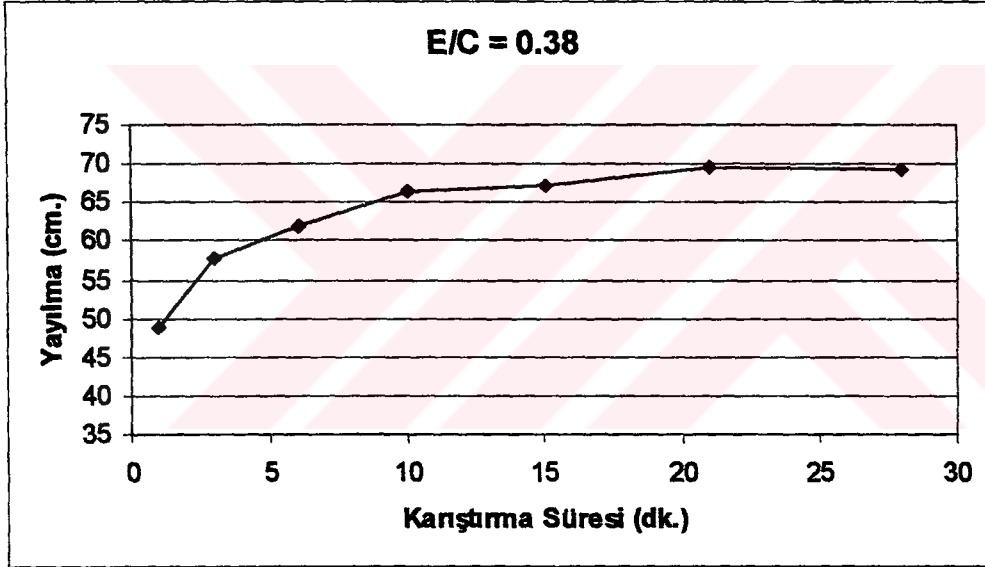
Şekil A.19. Yeni aletle ve DIN 1048 yayılma konisi ile ölçülen yayılma miktarları arasındaki ilişki



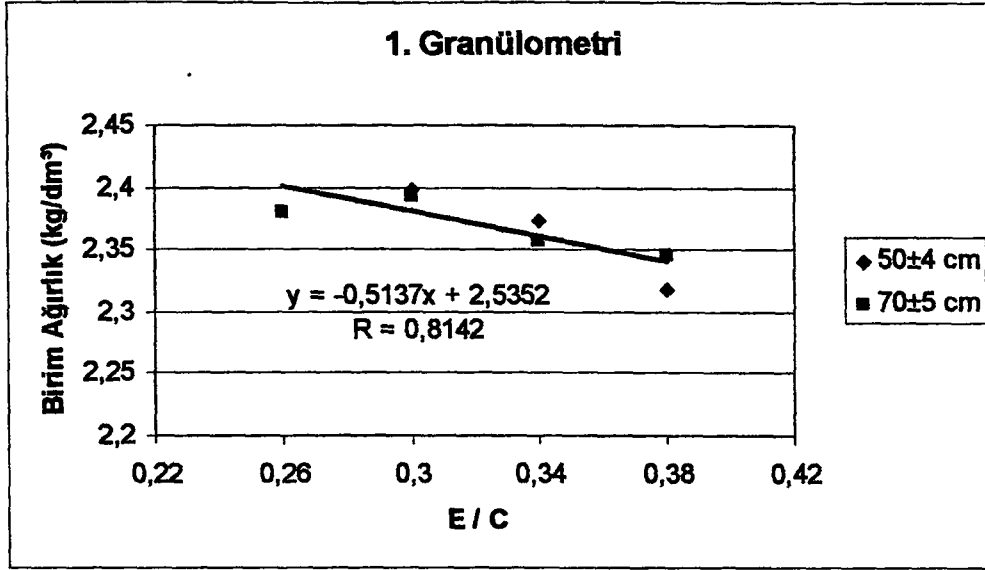
Şekil A.20. 1. granülometri için su/çimento oranının 0,26 olması halinde karıştırma süresi ile yayılma miktarı arasındaki ilişki



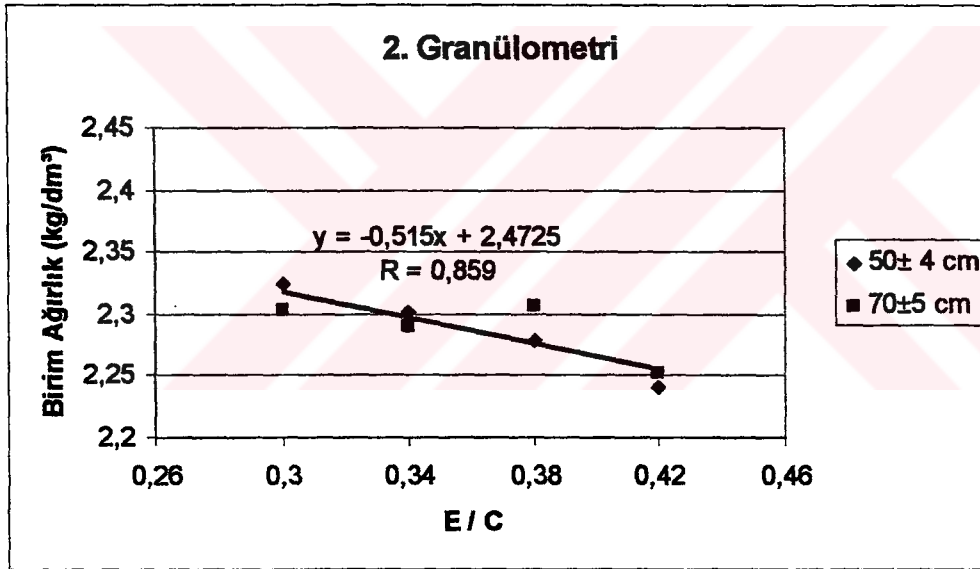
Şekil A.21. 1. granülometri için su/çimento oranının 0,32 olması halinde karıştırma süresi ile yayılma miktarı arasındaki ilişki



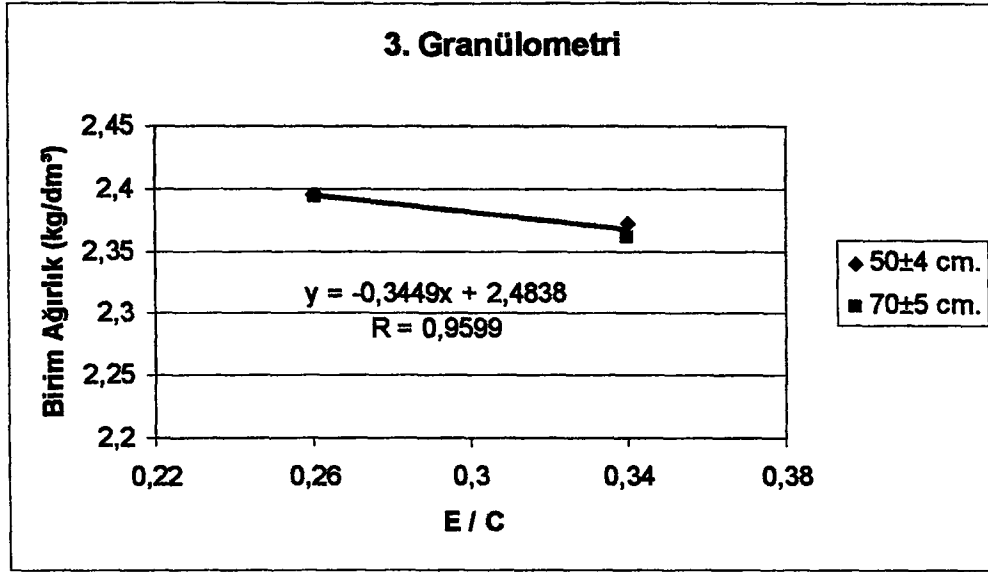
Şekil A.22. 1. granülometri için su/çimento oranının 0,38 olması halinde karıştırma süresi ile yayılma miktarı arasındaki ilişki



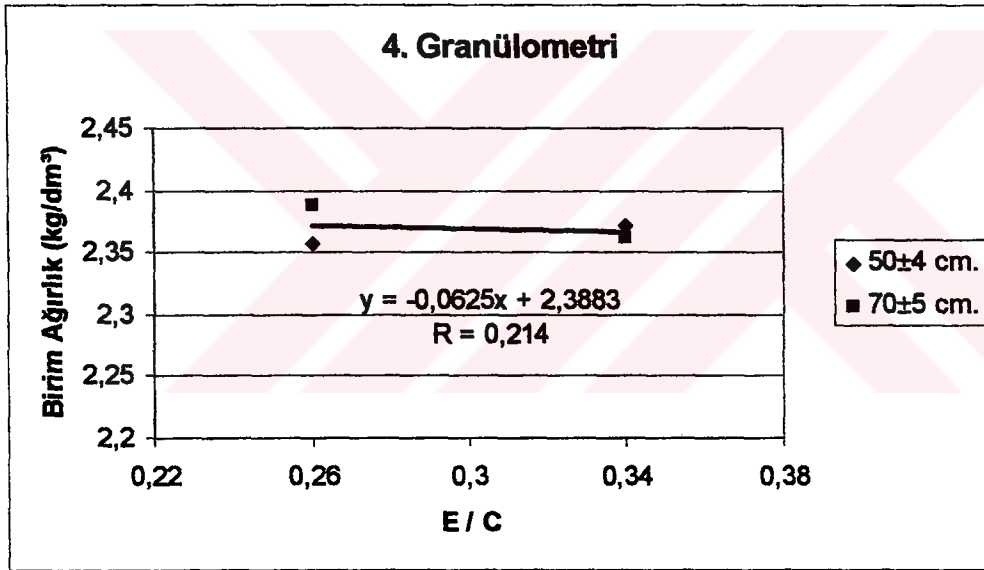
Şekil A.23. 1. granülometrilili betonlarda her iki kıvam için, farklı su/çimento oranları ile birim ağırlıklar arasındaki ilişki



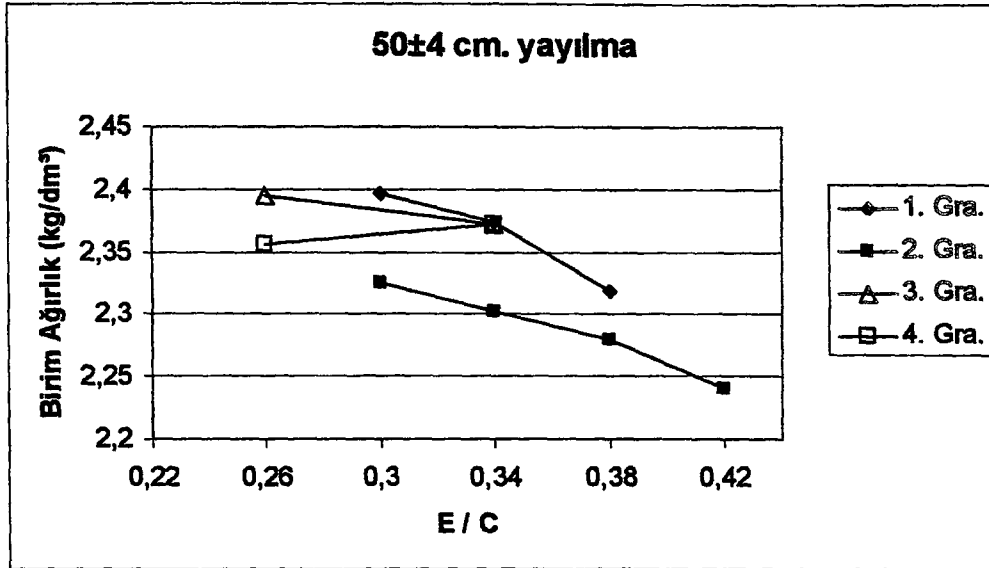
Şekil A.24. 1. granülometrilili betonlarda her iki kıvam için farklı su/çimento oranları ile birim ağırlıklar arasındaki ilişki



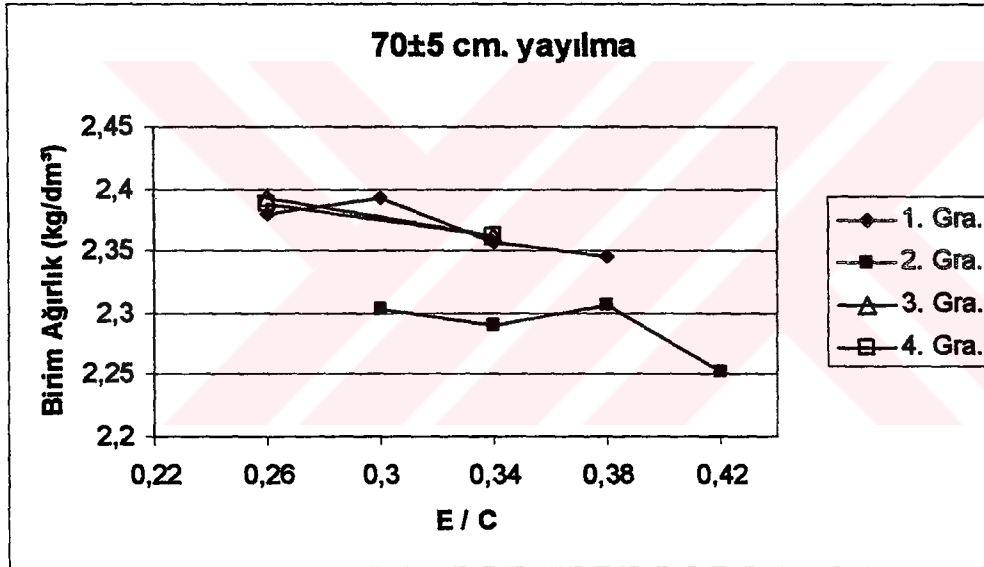
Şekil A.25. 3. granülometrilili betonlarda her iki kıvam için, farklı su/çimento oranları ile birim ağırlıklar arasındaki ilişki



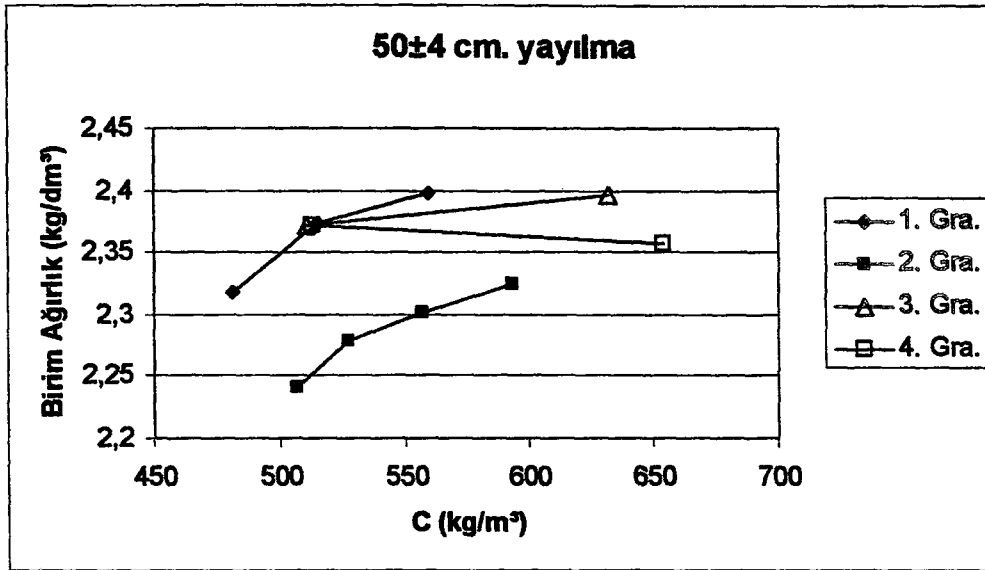
Şekil A.26. 4. granülometrilili betonlarda her iki kıvam için, farklı su/çimento oranları ile birim ağırlıklar arasındaki ilişki



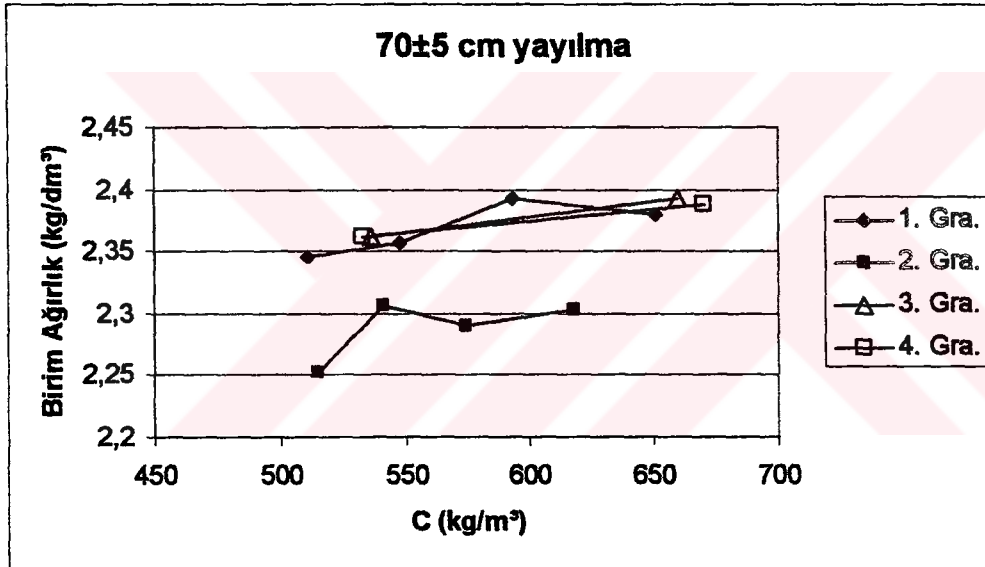
Şekil A.27. 50±4 cm. yayılma kıvamında farklı su/çimento oranları için agrega granülometrisinin betonun birim ağırlığına etkisi



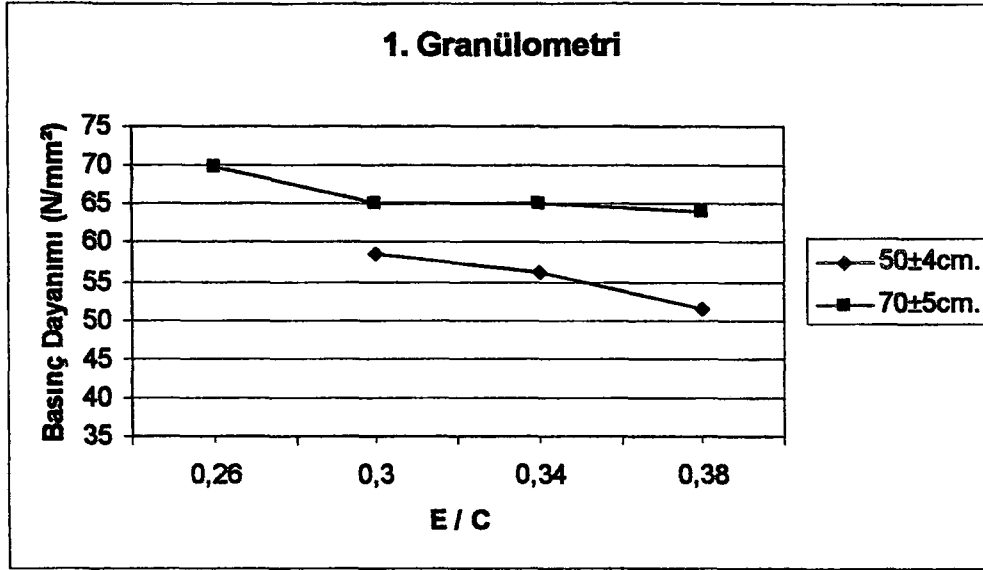
Şekil A.28. 70±5 cm. yayılma kıvamında farklı su/çimento oranları için agrega granülometrisinin betonun birim ağırlığına etkisi



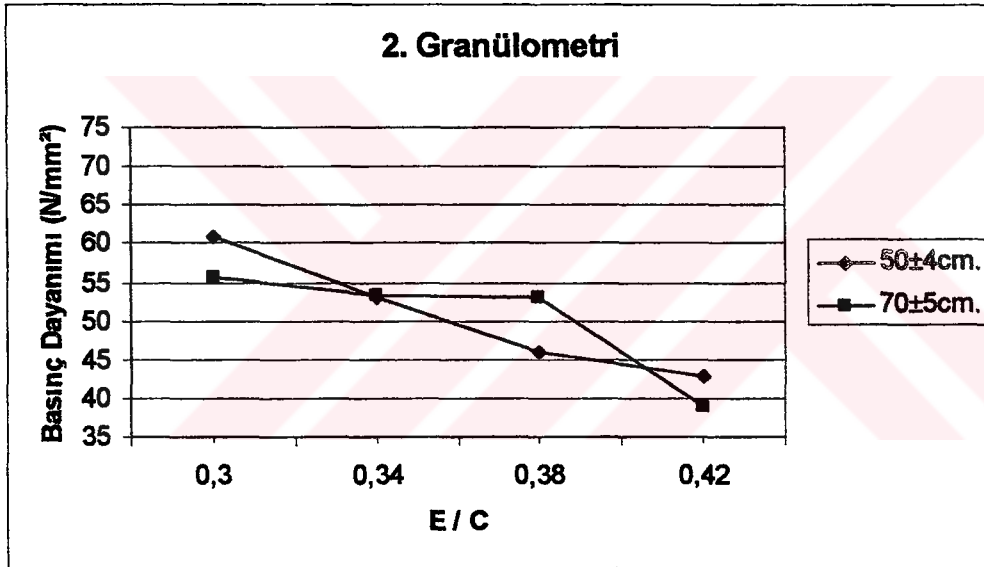
Şekil A.29. 50±4 cm. yayılma kıvamında çimento dozajına bağlı olarak agrega granülometrisinin betonun birim ağırlığına etkisi



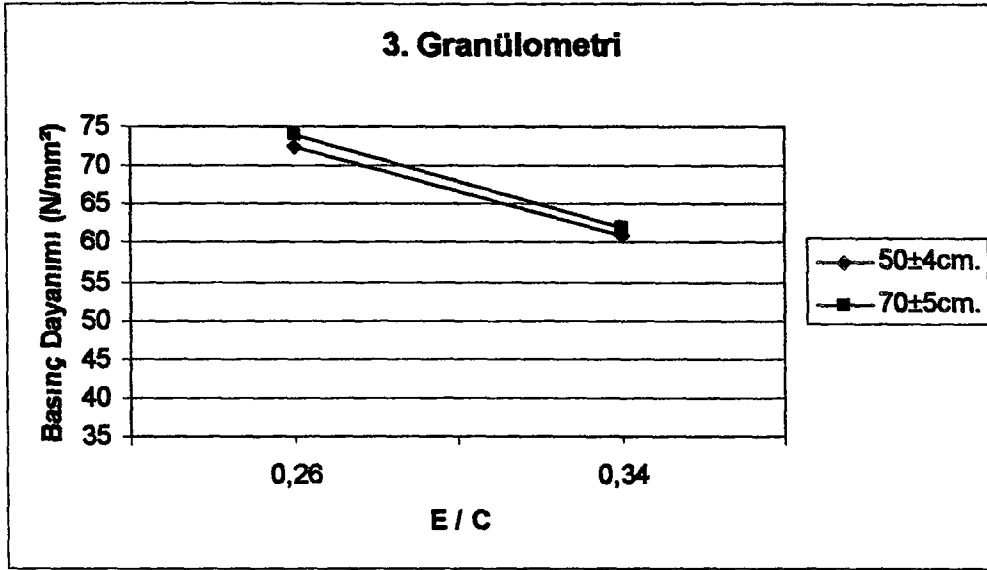
Şekil A.30. 70±5 cm. yayılma kıvamında çimento dozajına bağlı olarak agrega granülometrisinin betonun birim ağırlığına etkisi



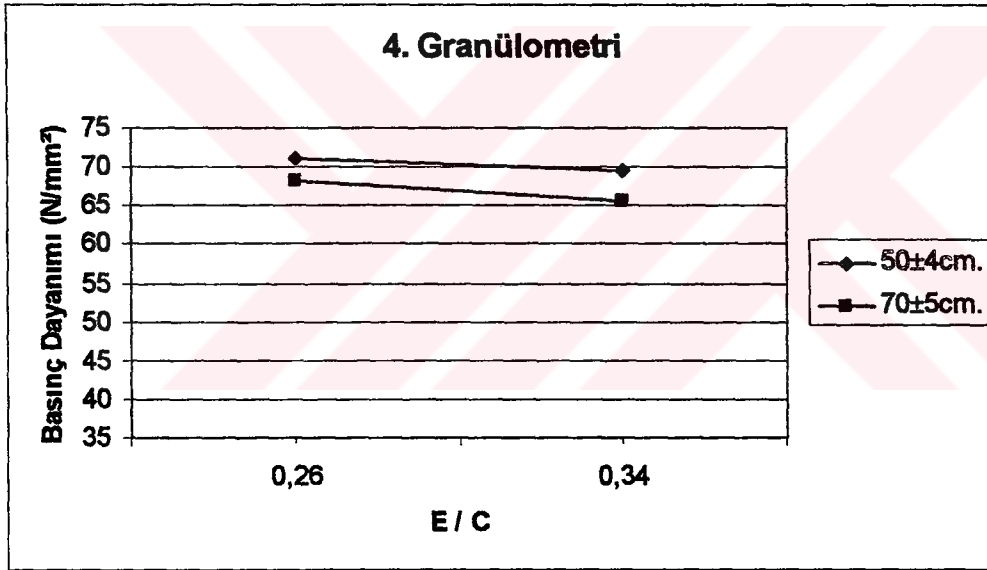
Şekil A.31. 1. granülometrilili betonlarda farklı su/çimento oranları için kıvamın betonun basınç dayanımına etkisi



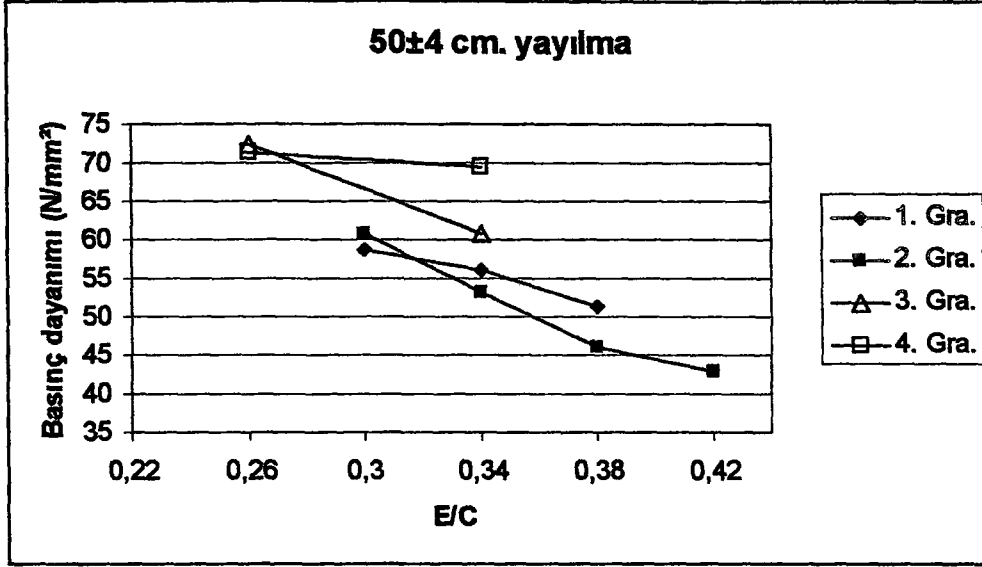
Şekil A.32. 2. granülometrilili betonlarda farklı su/çimento oranları için kıvamın betonun basınç dayanımına etkisi



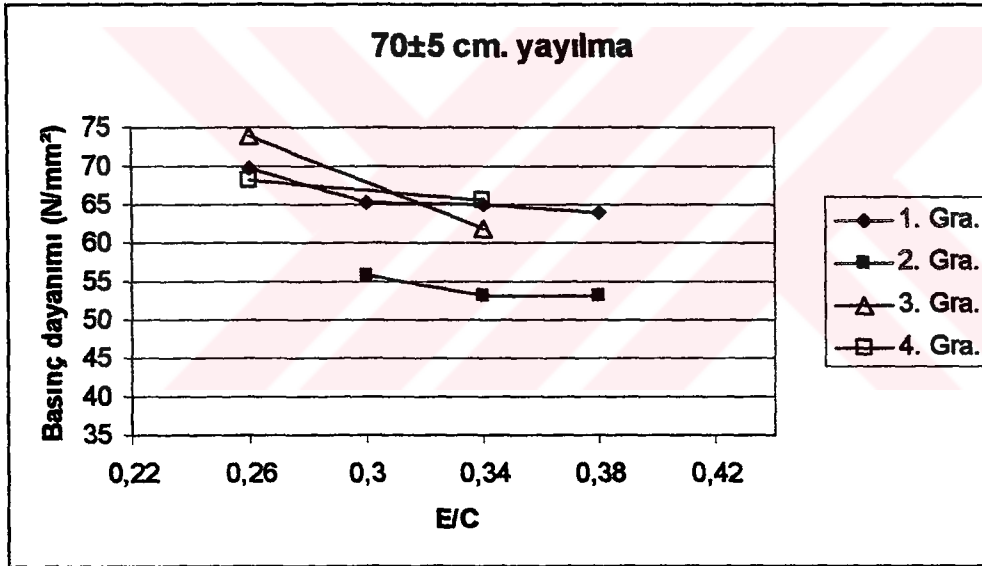
Şekil A.33. 3. granülometrilili betonlarda farklı su/çimento oranları için kıvamın betonun basınç dayanımına etkisi



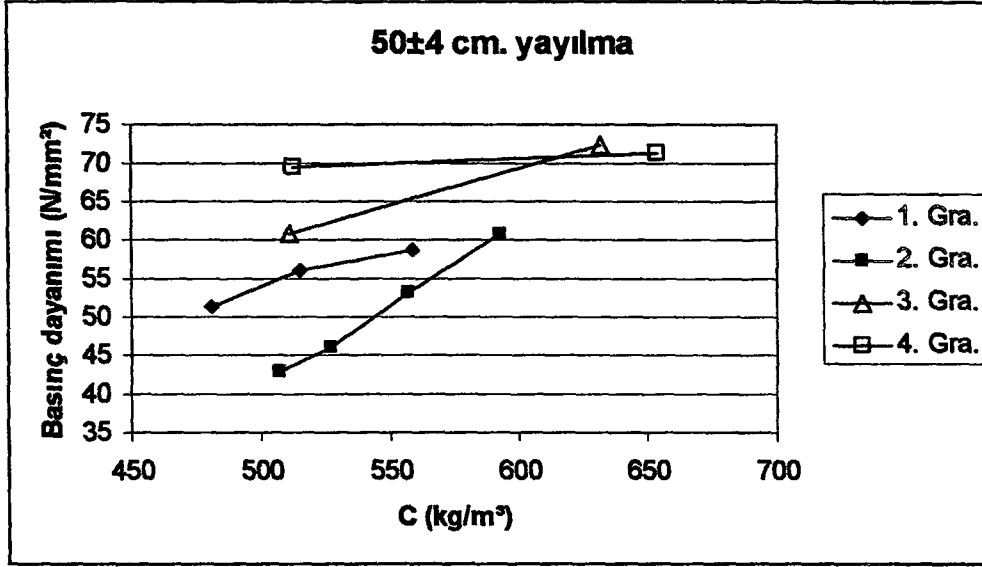
Şekil A.34. 4. granülometrilili betonlarda farklı su/çimento oranları için kıvamın betonun basınç dayanımına etkisi



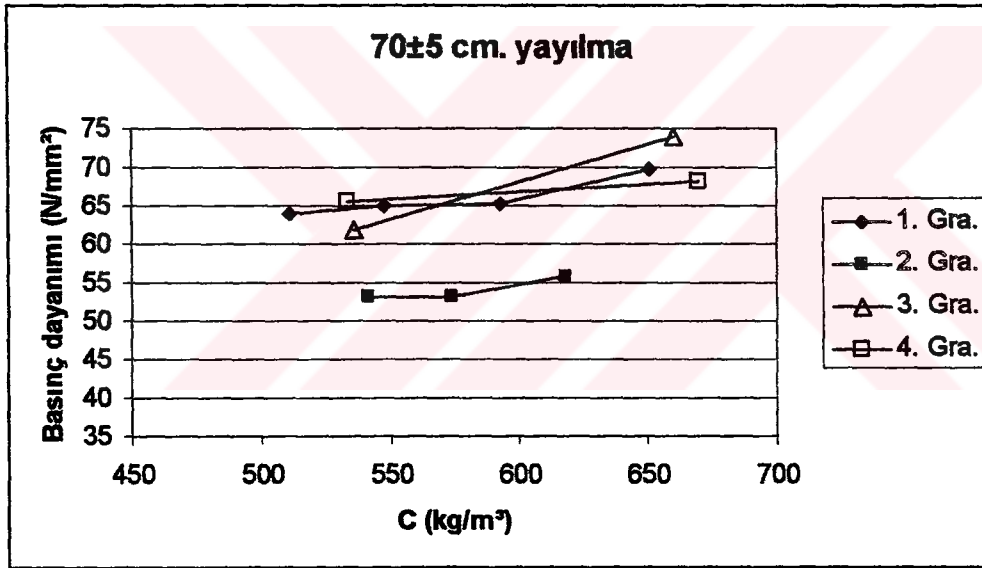
Şekil A.35. 50±4 cm. yayılma kıvamında farklı su/çimento oranları için agrega granülometrisinin betonun basınç dayanımına etkisi



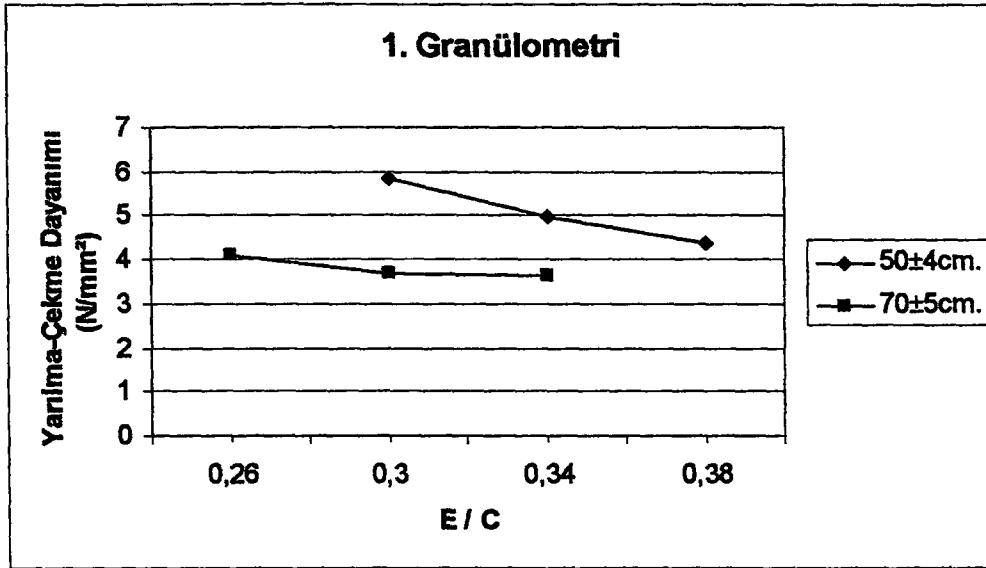
Şekil A.36. 70±5 cm. yayılma kıvamında farklı su/çimento oranları için agrega granülometrisinin betonun basınç dayanımına etkisi



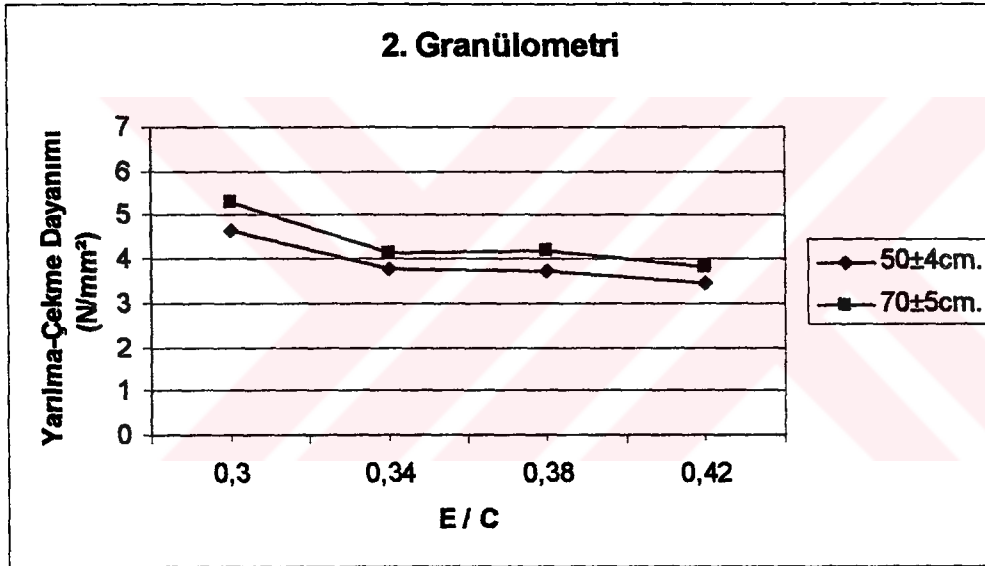
Şekil A.37. 50±4 cm. yayılma kıvamında çimento dozajlarına bağlı olarak agrega granülometrisinin betonun basınç dayanımına etkisi



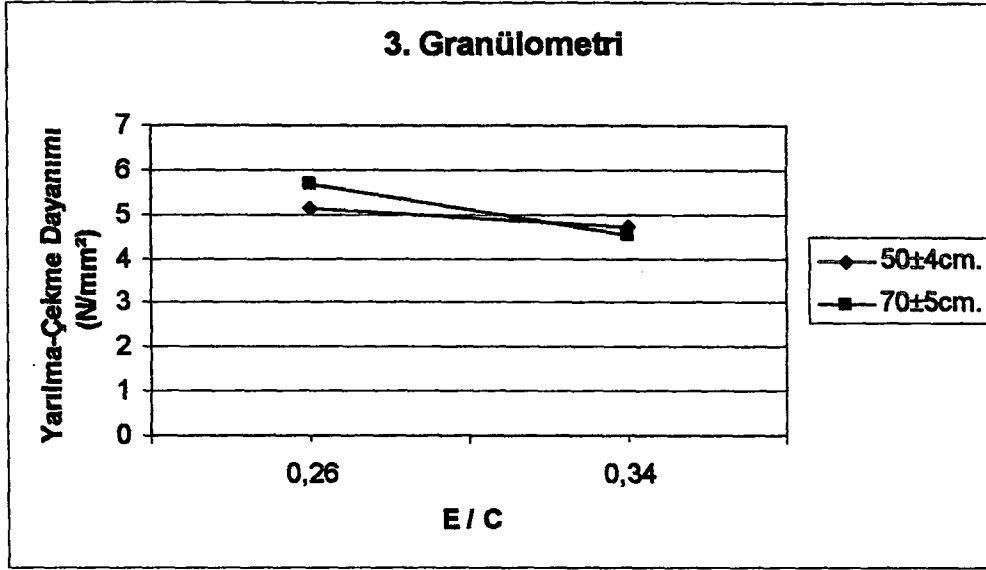
Şekil A.38. 70±5 cm. yayılma kıvamında çimento dozajlarına bağlı olarak agrega granülometrisinin betonun basınç dayanımına etkisi



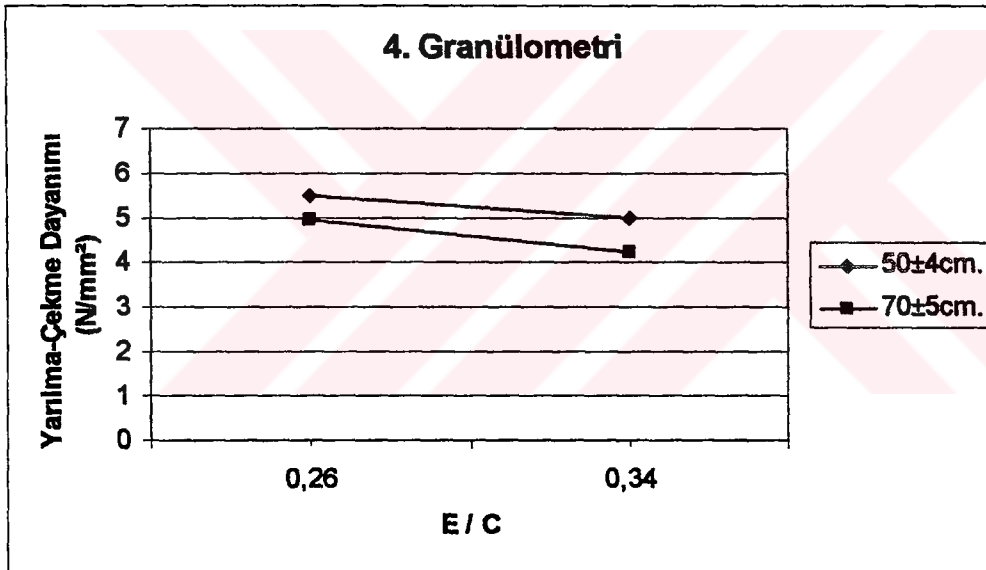
Şekil A.39. 1. granülometrilili betonlar için farklı su/çimento oranlarında kıvamın betonun yarılma-çekme dayanımına etkisi



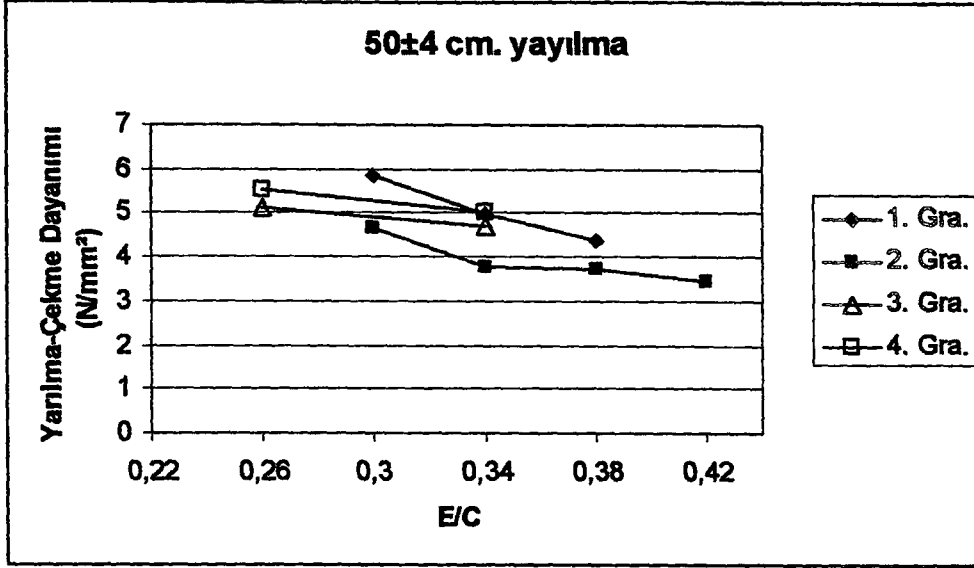
Şekil A.40. 2. granülometrilili betonlar için farklı su/çimento oranlarında kıvamın betonun yarılma-çekme dayanımına etkisi



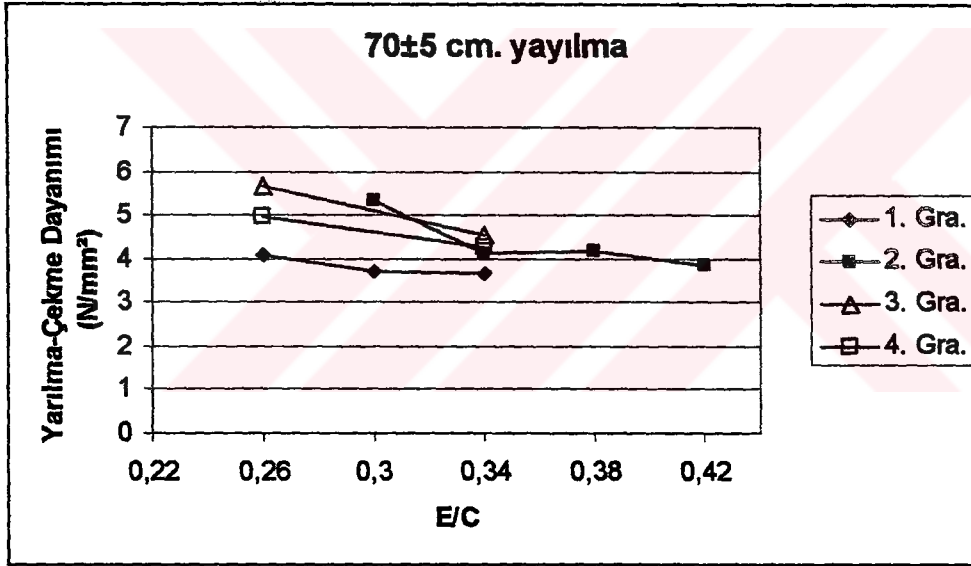
Şekil A.41. 3. granülometrilili betonlar için farklı su/çimento oranlarında kıvamın betonun yarılma-çekme dayanımına etkisi



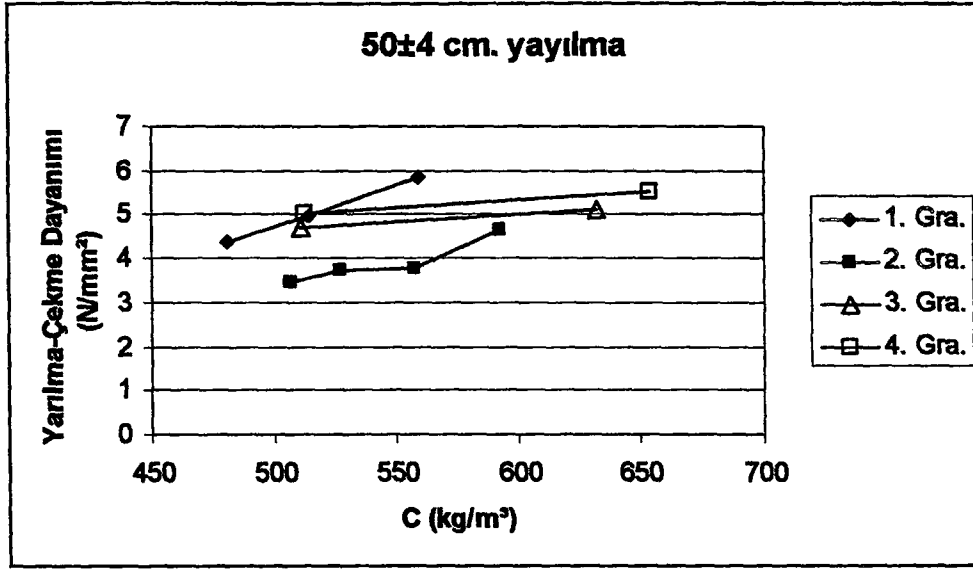
Şekil A.42. 4. granülometrilili betonlar için farklı su/çimento oranlarında kıvamın betonun yarılma-çekme dayanımına etkisi



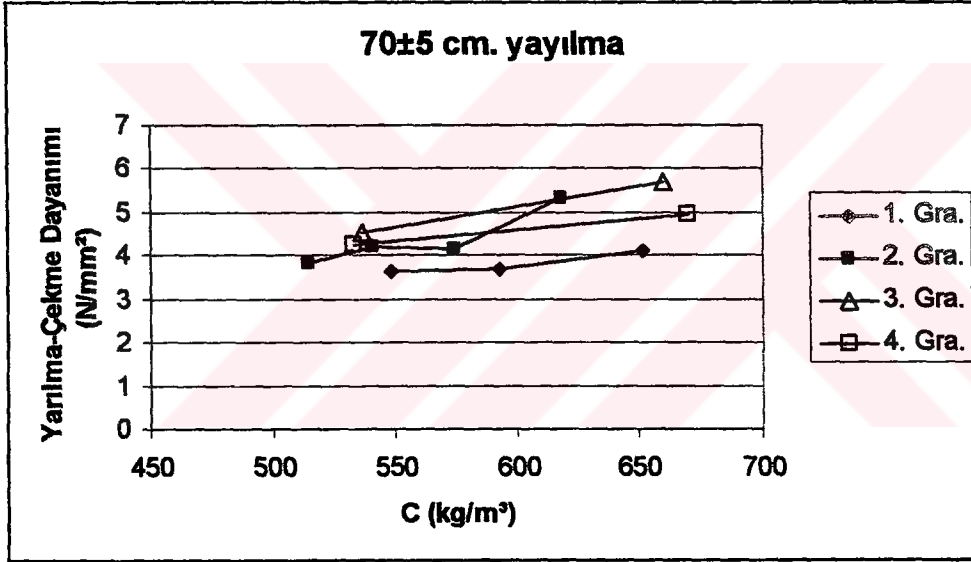
Şekil A.43. 50±4 cm. yayılma kıvamında farklı su/çimento oranları için agrega granülometrisinin yarılma-çekme dayanımına etkisi



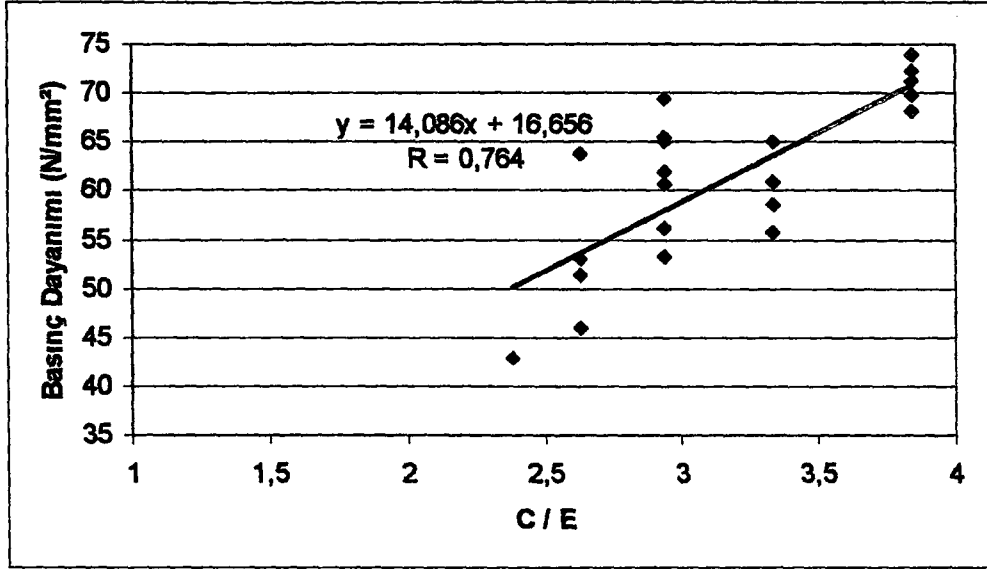
Şekil A.44. 70±5 cm. yayılma kıvamında farklı su/çimento oranları için agrega granülometrisinin betonun yarılma-çekme dayanımına etkisi



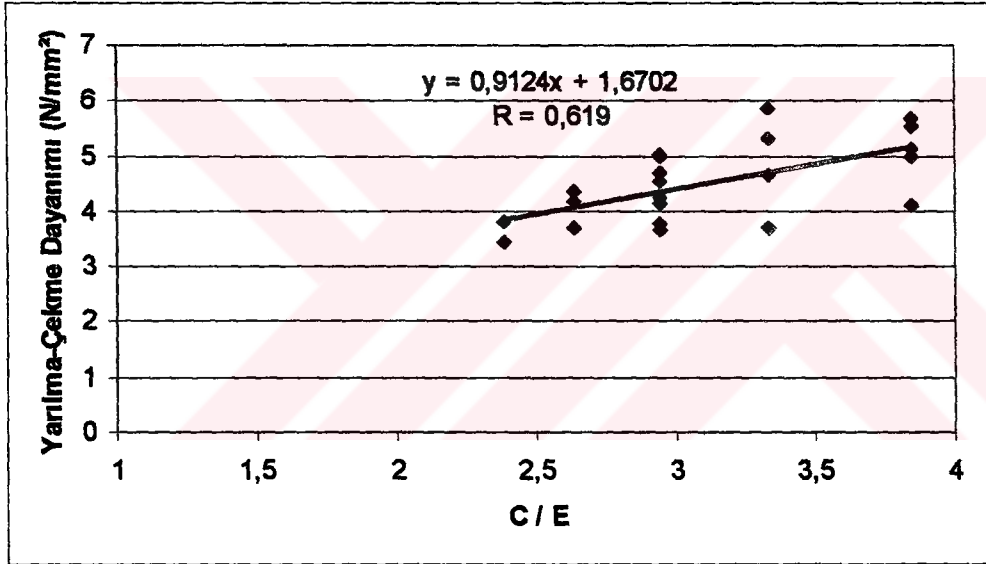
Şekil A.45. 50±4 cm. yayılma kıvamında çimento dozajına bağlı olarak agrega granülometrisinin betonun yarılma-çekme dayanımına etkisi



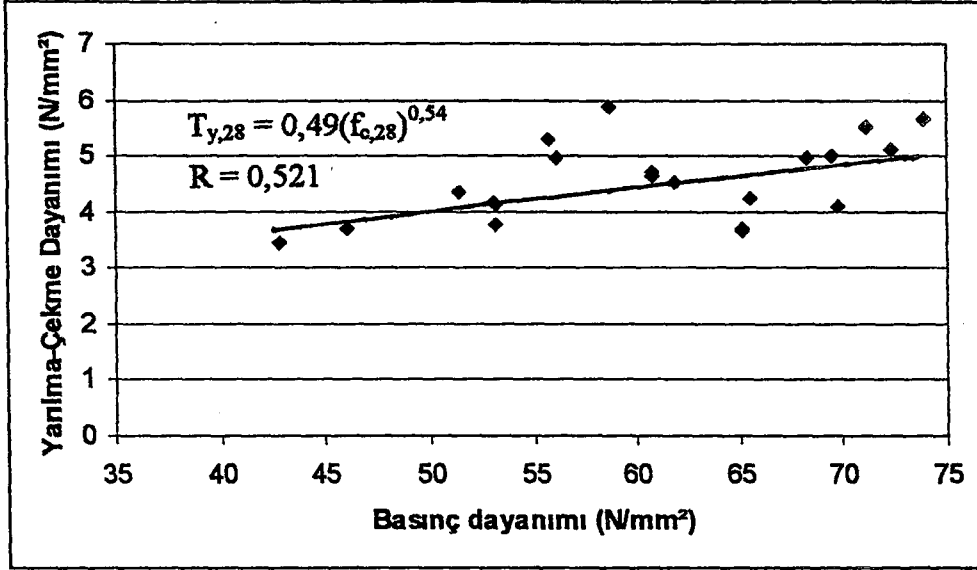
Şekil A.46. 70±5 cm. yayılma kıvamında çimento dozajına bağlı olarak agrega granülometrisinin betonun yarılma-çekme dayanımına etkisi



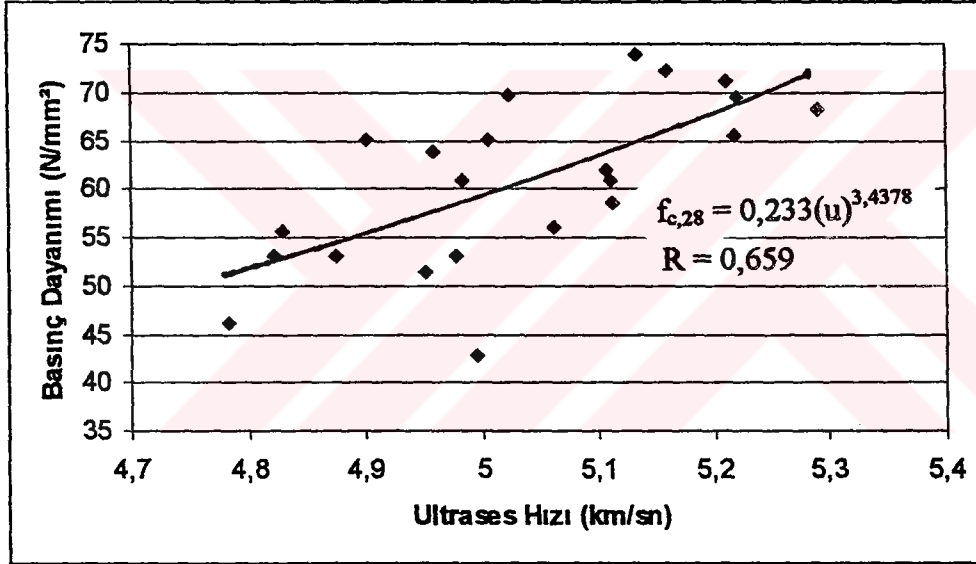
Şekil A.47. Çimento/su oranı ile betonun basınç dayanımı arasındaki ilişki



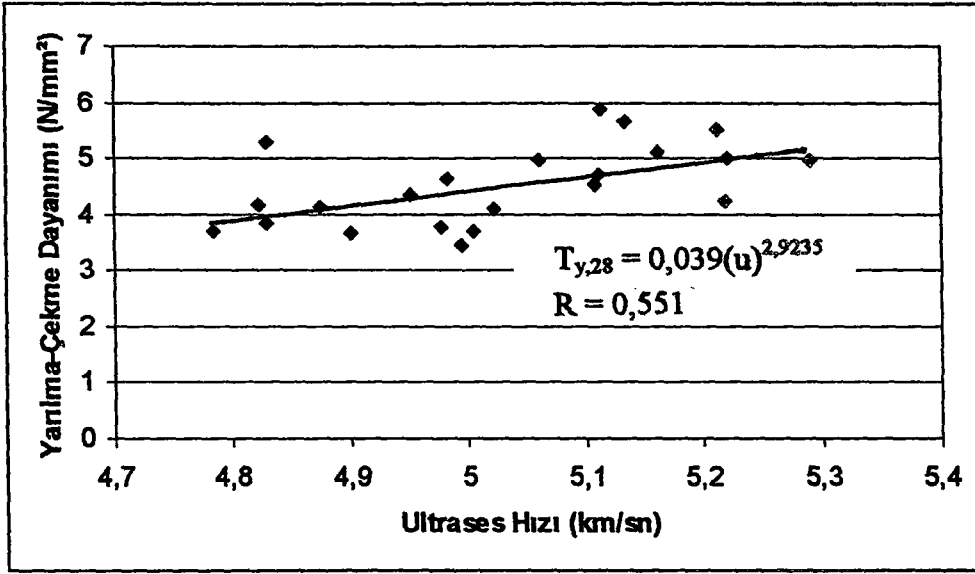
Şekil A.48. Çimento/su oranı ile yarılma-çekme dayanımı arasındaki ilişki



Şekil A.49. Yarılma-çekme dayanımı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki



Şekil A.50. Basınç dayanımı ile ultras ses hızı arasındaki ilişki



Şekil A.51. Yarılma-çekme dayanımı ile ultrases hızı arasındaki ilişki