

**MİNERAL, KİMYASAL KATKILI VE  
POLİPROPİLEN FİBER TAKVİYELİ TAZE  
BETONUN BASINÇ ALTINDAKİ  
DAVRANIŞININ BELİRLENMESİ**

**Hüseyin Hakan İNCE**

**Yüksek Lisans Tezi**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ISPARTA 2005**

**T.C.  
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MİNERAL, KİMYASAL KATKILI VE POLİPROPİLEN FİBER  
TAKVİYELİ TAZE BETONUN BASINÇ ALTINDAKİ DAVRANIŞININ  
BELİRLENMESİ**

**HÜSEYİN HAKAN İNCE**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ISPARTA, 2005**

**İÇİNDEKİLER**

	Sayfa
İÇİNDEKİLER .....	i
ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK BİLGİSİ .....	6
2.1. Taze Betonun İşlenebilirliği ve Kıvamı .....	6
2.2. Beton Katkı Maddeleri.....	11
2.2.1. Kimyasal Katkı Maddeleri.....	11
2.2.2. Mineral Katkı Maddeleri .....	15
2.2.3. Fiber Katkı Maddeleri .....	21
2.3. Pompa Betonları.....	23
3. MATERYAL VE METOT.....	32
3.1. Materyal .....	32
3.1.1. Deneylerde kullanılan agregalar .....	32
3.1.1.1. Kum .....	32
3.1.1.2. Kırmataş tozu.....	32
3.1.1.3. Çakıl I ve II.....	32
3.1.1.4. Kırmataş II.....	33
3.1.1.5. Çimento .....	34
3.1.1.6. Kimyasal Katkı.....	34
3.1.1.7. Uçucu Küller .....	34
3.1.1.8. Silis Dumanı .....	36
3.1.1.9. Fiber Katkı.....	37
3.2. Metot .....	37
3.2.1. Beton Karışımlarının Saptanması .....	37
3.2.2. Yapılan Deneyler .....	41

3.2.2.1. Çökme (Slump) Deneyi.....	41
3.2.2.2. Çökme Yayılması Deneyi.....	41
3.2.2.3. Birim Ağırlık Deneyi.....	41
3.2.2.4. Terleme Deneyi .....	42
3.2.2.5. Basınç Altında Terleme Deneyi .....	42
3.2.2.6. Basınç Dayanımı Deneyi.....	43
4. BULGULAR .....	44
4.1. Üretilen Betonların Bileşimleri.....	44
4.2. Çökme, Yayılma, Birim Ağırlık ve Basınç Dayanımı Deney Sonuçları .....	45
4.3. Terleme Deneylerinin Sonuçları .....	46
4.4. Basınç Altında Terleme Deneyinin Sonuçları .....	55
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	63
6. KAYNAKLAR.....	66
ÖZGEÇMİŞ .....	71

**ÖZET****MİNERAL, KİMYASAL KATKILI VE POLİPROPİLEN FİBER  
TAKVİYELİ TAZE BETONUN BASINÇ ALTINDAKİ DAVRANIŞININ  
BELİRLENMESİ**

Betonun üretiminde taze betonun iletilmesi önemli bir aşamayı teşkil eder. Günümüzde kullanılan hazır betonun saha içinde iletilmesi beton pompaları kullanılarak yapılmaktadır. Son yıllarda beton teknolojisinde, mineral katkı (uçucu kül, silis dumanı vb.) ve kimyasal katkı maddelerinde sağlanan ilerlemeler pompalama tekniğinde de gelişmeler sağlamıştır. Yeni gelişmeler sonucunda beton karışımlarında farklılıklar, kullanılan ekipmanlarda değişimler olmuştur. Bu sebeple taze betonun basınç altındaki davranışının ve işlenebilirlik özelliğinin bilinmesine ihtiyaç duyulmaktadır. İşlenebilirlik yeteneği taze betonda gözlenen ve deneylerle değerlendirilebilen bir özelliktir. Pompa betonlarının işlenebilirliğine pompalanabilirlik adı verilir. Betonların işlenebilmesinin genel tanımında karıştırma ve yerleştirmenin minimum enerjiyle gerçekleşmesi, betonun homojenliğini yitirmeden karılması, taşınması, yerleştirilmesi ve kalıbını boşluksuz doldurması kavramları esas alınır. Buna karşılık pompalanabilirlik kavramıyla, boru içinde betonun minimum enerjiyle, kesintisiz ve niteliklerini yitirmeden iletilebilmesi tanımlanır. Betonların pompalanabilirliğinde iki özellik kriter kabul edilmiştir: betonun harekete başlaması için gerekli olan gücün veya itme kuvvetinin değeri ve üretilen betonun taze haldeki kohezyonu. Pompalanabilirliği ifade edilen bu iki kritere bağlamak yetersizdir; segregasyon basıncının değeri, harcın diffüzyon yeteneği, su tutma kapasitesi, çeperle olan sürtünmesi önemli parametrelerdir ve betonun boruda tıkanmadan ilerleyebilmesinde öncelikli ağırlığa sahiptirler. Pompalanabilirlik sorununu genel anlamda çözüme kavuşturmak için boru-çeper arasındaki sürtünme gerilmelerinin boyuna yöndeki basınç gradientinin fonksiyonu olarak saptanması, taze beton kompozitinde segregasyona yol açan basıncın tayini ve basınç altında betonda terleme deneyinin araştırılması gerekir.

Bu araştırmanın kapsamı, basınç altındaki taze betonların davranışlarının incelenmesine yöneliktir. Üretilen betonlara uçucu kül, silis dumanı ve polipropilen fiber eklenerek beton özelliklerine etkileri incelenmiştir. Segregasyon basınçlarının belirlenmesi amacıyla basınç altında terleme deney aleti geliştirilmiştir.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Fiber, kimyasal katkı, işlenebilirlik, pompalanabilirlik, segregasyon basıncı, silis dumanı, uçucu kül, taze beton

**ABSTRACT****DEFINITION OF FRESH CONCRETE BEHAVIOUR WITH MINERAL  
AND CHEMICAL ADMIXTURES AND POLYPROPYLENE FIBRES  
UNDER PRESSURE**

When producing concrete, transport of fresh concrete takes an important phase. Today, transport of ready made concrete at site is done by concrete pumps. In the last years, progress in the mineral admixtures (fly ash, silica fume etc.) and chemical admixtures resulted developments in pumping technique. New developments made differences in concrete mixtures and used equipments. Because of this, behavior of fresh concrete under pressure and workability properties has to be known. Workability is a property that can be seen at fresh concrete and can be appraised with experiments. Workability of pumping concrete is named as pumpability. Mainly, in the definition of workability of concrete, realization of mixing and placing with minimum energy, mixing of concrete without losing homogeneity, transportation, placement and filling its fold airlessly are aimed. But in the case of pumpability, transportation of concrete in the pipe with minimum energy, without intervals and without losing its properties is defined. Two criterions are accepted at pumpability of fresh concrete: Power or push force value that is needed for concrete to begin motion and cohesion of produced concrete in fresh state. It is not enough to relate pumpability to these two criterions; value of segregation pressure, diffusion ability of mortar, capacity of water retention, rubbing with the inner surface are important parameters and they are important for concrete to move forward in the pipe without blocking. In order to solve pumpability problem generally, determination of function of longitudinal pressure gradient of shear stress in between pipe-inner surface, determination of pressure value causing segregation at fresh concrete and perspiration experiment of concrete under pressure have to be examined.

Scope of this study is examination of behavior of fresh concrete under pressure. Effects of fly ash, silica fume and polypropylene fiber additives on properties of produced concrete specimens are examined. In order to determine segregation pressures, perspiration under pressure experimental apparatus is developed.

**KEYWORDS:** Fiber, chemical admixture, workability, pumpability, segregation pressure, silica fume, fly ash, fresh concrete

## TEŞEKKÜR

Sunulan bu tez ile ilgili çalıőmalarım süresince bilgi ve yardımlarından faydalandığım danışmanım Yrd. Doç. Dr. Kemal Tuőat Yücel'e, deneysel çalıőmalarım sırasında yardımları nedeniyle İnşaat Müh. Cenk Öcal'a, Ar. Gör. Cengiz Özel'e ve Yapı Teknik Öğr. Serkan Gülmez'e teőekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarda kullanılan malzemelerin sağlanmasında yardımcı olan Göltaş imento A.ő., Sika Yapı Kimyasalları A.ő., Antalya Etibank Ferrokrom Fabrikaları ve Çatalağzı, Çayırhan, Seyitömer, Tunçbilek Hidroelektrik Santralleri yetkililerine teőekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Tüm eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi yönden beni destekleyen aileme özellikle teőekkürlerimi sunarım.

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

- $\tau$  : Kayma gerilmesi
- $\frac{d\gamma}{dt} = \dot{\gamma}$ : Açısal şekil değiştirme hızı
- $\eta, \eta_{pl}$  : Plastik viskozite
- $\tau_0$  : Kayma eşiği, akma eşiği
- C : Çimento dozajı
- S/C : su/çimento
- uK : Uçucu kül
- SD : Silis dumanı
- YFC : Yüksek fırın cürufu
- SP : Süperplastifiyan (süper akışkanlaştırıcı) katkı

### Kullanılan karışımlar için kodlama:

- uK1: Çatalağzı uçucu külü
- uK2 : Seyitömer uçucu külü
- uK3 : Tunçbilek uçucu külü
- uK4 : Çayırhan uçucu külü
- A : Çimentonun, %10'u oranında uçucu kül ilave edilen karışım (%10 uK)
- B : Çimentonun, %20 si oranında uçucu kül ilave edilen karışım (%20 uK)
- C : Çimentonun, %10'u oranında uçucu kül + %10'u oranında silis dumanı eklenmiş karışım (%10 uK + %10 SD)
- D: Çimentonun, %10'u oranında uçucu kül + %10'u oranında silis dumanı + polipropilen fiber eklenmiş karışım
- Ç : iri agrega olarak Çakıl I + Çakıl II kullanılan karışım
- KT : iri agrega olarak Çakıl I + Kırmataş II kullanılan karışım

Örneğin uK1-B-Ç olarak isimlendirilen beton numunesinde, uçucu kül olarak çimentonun %20'si oranında Çatalağzı uçucu külü ilave edilmiş, iri agrega olarak da Çakıl I + Çakıl II karışımı kullanılmıştır.



**ŞEKİLLER DİZİNİ**

	Sayfa
Şekil 1.1. Beton özelliklerini etkileyen faktörler (Tattersal, 1991).....	2
Şekil 2.1. Newton sıvısı .....	9
Şekil 2.2. Bingham sıvısı .....	9
Şekil 2.3. Taze harç ve betonlar için kabul edilen Bingham cismi .....	10
Şekil 2.4. Uçucu küllerin betonda kuma miktarının azaltılmasına olan etkisi .....	20
Şekil 2.5. Silindirik tıkaç şeklinde betonun akışı.....	24
Şekil 2.6. Silindirik formlu beton tıkaçın hız profili.....	24
Şekil 2.7. Borudaki betonda su azalmasının etkisi.....	25
Şekil 2.8. Pompa betonunun doymuş ve doymamış konuma geçişinde su/çimento oranının etkisi .....	26
Şekil 2.9. Pompa betonu kumları için granülometri eğrileri .....	28
Şekil 2.10. Çimento ve boşluk içeriğinin pompalanabilirlik üzerindeki etkisi .....	31
Şekil 3.1. Agrega karışımlarının granülometri eğrileri .....	39
Şekil 3.2. Kum bölümü granülometri eğrisi.....	39
Şekil 3.3. Basınç altında terleme deney aleti .....	42
Şekil 4.1. Çatalağzı uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl olan betonların terleme miktarı – zaman grafiği.....	47
Şekil 4.2. Çatalağzı uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl+kırmataş olan betonların terleme miktarı – zaman grafiği .....	48
Şekil 4.3. Seyitömer uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl olan betonların terleme miktarı – zaman grafiği.....	49
Şekil 4.4. Seyitömer uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl+kırmataş olan betonların terleme miktarı – zaman grafiği .....	50
Şekil 4.5. Tunçbilek uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl olan betonların terleme miktarı – zaman grafiği.....	51
Şekil 4.6. Tunçbilek uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl+kırmataş olan betonların terleme miktarı – zaman grafiği .....	52
Şekil 4.7. Çayırhan uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl olan betonların terleme miktarı – zaman grafiği.....	53

Şekil 4.8. Çayırhan uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl+kırmataş olan betonların terleme miktarı – zaman grafiği .....	54
Şekil 4.9. Çatalağzı uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl olan betonların terleme miktarı – basınç grafiği.....	55
Şekil 4.10. Çatalağzı uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl+kırmataş olan betonların terleme miktarı – basınç grafiği .....	56
Şekil 4.11. Seyitömer uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl olan betonların terleme miktarı – basınç grafiği .....	57
Şekil 4.12. Seyitömer uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl+kırmataş olan betonların terleme miktarı – basınç grafiği .....	58
Şekil 4.13. Tunçbilek uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl olan betonların terleme miktarı – basınç grafiği .....	59
Şekil 4.14. Tunçbilek uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl+kırmataş olan betonların terleme miktarı – basınç grafiği .....	60
Şekil 4.15. Çayırhan uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl olan betonların terleme miktarı – basınç grafiği .....	61
Şekil 4.16. Çayırhan uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl+kırmataş olan betonların terleme miktarı – basınç grafiği.....	62

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Beton kıvam sınıfları için çökme değerleri.....	8
Çizelge 2.2. Mineral katkıların işlenebilirlik üzerindeki etkileri .....	16
Çizelge 2.3. Uçucu küllerin betonun çeşitli özelliklerine etkileri (Tokyay, 1990)....	19
Çizelge 2.4. Fiber tipleri ve bazı özellikleri (Daniel, 1998).....	22
Çizelge 2.5. Beton birim hacmindeki iri agrega mutlak hacmi (m <sup>3</sup> ) .....	28
Çizelge 3.1. Agregaların bazı fiziksel özellikleri.....	33
Çizelge 3.2. ASTM'e göre agrega granülometreleri.....	33
Çizelge 3.3. TS'ye göre agrega granülometreleri .....	33
Çizelge 3.4. Çimentoların kimyasal özellikleri.....	34
Çizelge 3.5. Çimentoların fiziksel ve mekanik özellikleri.....	34
Çizelge 3.6. Kimyasal katkının özellikleri.....	34
Çizelge 3.7. Uçucu küllerin kimyasal özellikleri ve özgül ağırlıkları.....	35
Çizelge 3.8. Silis dumanının kimyasal özellikleri.....	36
Çizelge 3.9. Agrega karışım oranları (%) .....	38
Çizelge 3.10. Referans eğrilerinin ve karışımların ordinatları, incelik modülleri .....	38
Çizelge 4.1. Karışımlara Giren Malzemelerin Miktarları .....	44
Çizelge 4.2. Betonların çökme, çökme yayılması, birim ağırlık ve basınç dayanımı değerleri .....	45
Çizelge 4.3. Çatalağzı uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl olan betonların terleme (ml) değerleri .....	47
Çizelge 4.4. Çatalağzı uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl+kırmataş olan betonların terleme (ml) değerleri .....	48
Çizelge 4.5. Seyitömer uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl olan betonların terleme (ml) değerleri .....	49
Çizelge 4.6. Seyitömer uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl+kırmataş olan betonların terleme (ml) değerleri .....	50
Çizelge 4.7. Tunçbilek uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl olan betonların terleme (ml) değerleri .....	51
Çizelge 4.8. Tunçbilek uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl+kırmataş olan betonların terleme (ml) değerleri .....	52

Çizelge 4.9. Çayırhan uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl olan betonların terleme (ml) değerleri .....	53
Çizelge 4.10. Çayırhan uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl+kırmataş olan betonların terleme (ml) değerleri .....	54
Çizelge 4.11. Çatalağzı uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl olan betonların basınç altındaki terleme (ml) değerleri ve segregasyon basınçları .....	55
Çizelge 4.12. Çatalağzı uçucu külü kullanılan ve iri agregası Ç+KT olan betonların basınç altındaki terleme (ml) değerleri ve segregasyon basınçları .....	56
Çizelge 4.13. Seyitömer uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl olan betonların basınç altındaki terleme (ml) değerleri ve segregasyon basınçları .....	57
Çizelge 4.14. Seyitömer uçucu külü kullanılan ve iri agregası Ç+KT olan betonların basınç altındaki terleme (ml) değerleri ve segregasyon basınçları .....	58
Çizelge 4.15. Tunçbilek uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl olan betonların basınç altındaki terleme (ml) değerleri ve segregasyon basınçları .....	59
Çizelge 4.16. Tunçbilek uçucu külü kullanılan ve iri agregası Ç+KT olan betonların basınç altındaki terleme (ml) değerleri ve segregasyon basınçları .....	60
Çizelge 4.17. Çayırhan uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl olan betonların basınç altındaki terleme (ml) değerleri ve segregasyon basınçları .....	61
Çizelge 4.18. Çayırhan uçucu külü kullanılan ve iri agregası Ç+KT olan betonların basınç altındaki terleme (ml) değerleri ve segregasyon basınçları .....	62

## 1. GİRİŞ

Beton çağdaş toplumların temelini oluşturan malzemelerin en önemlilerinden biridir. Günümüzde, dünyada her yıl yaklaşık 5.5 milyar ton beton üretilmektedir. Bu miktar dünya nüfusuna bölündüğünde kişi başına 1000 kg beton üretildiği ortaya çıkar. Ancak, bu kadar yaygın kullanılan bir malzeme olmasına karşın, çoğunlukla betonun öneminin farkına varılmaz. Betonun diğer birçok yapı malzemesine göre bu derece yaygın kullanılan bir yapı malzemesi yapan özellikleri şöyle sıralamak mümkündür :

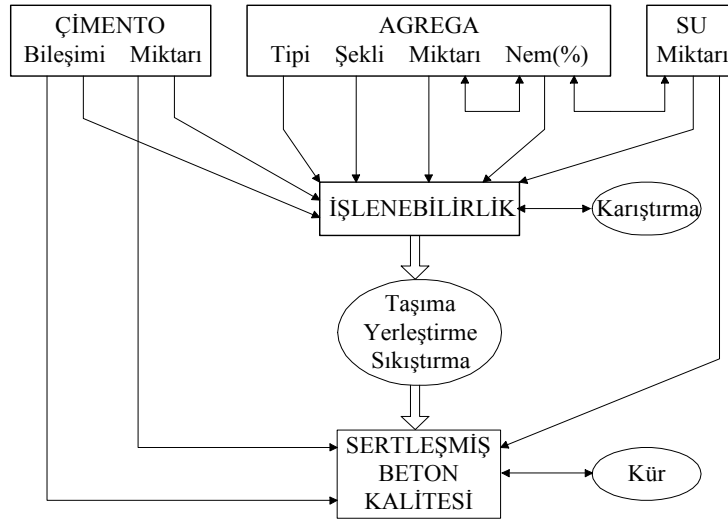
- Ekonomik olması,
- Bilgisayar kontrollü santraller, transmikserler, pompalar vb. ile üretim, taşıma ve yerleştirme aşamalarında büyük gelişmelerin sağlanmış olması,
- İşlenebilir olması, şekil verilebilme kolaylığı,
- Üretiminde daha az enerji tüketilmesi,
- Çelik donatı ve/veya fiber katkı teknolojisi kullanılarak çekme mukavemetinin yetersizliğinin dengelenmesi,
- Yüksek basınç dayanımlarına ulaşılması ve yüksek performanslı beton üretilmesi,
- Fiziksel ve kimyasal dış etkilere karşı dayanıklılığı (durabilite),
- Yüksek dayanım ve dayanıklılık parametrelerini sağlayan hafif beton olarak üretilmesidir.

Beton santrallerinde bilgisayar kontrolünde hazırlanan ve tüketiciye taze beton olarak teslim edilen betona hazır beton denir. Geleneksel yöntemlerle elde edilen betondan farkı, bilimsel ve kesin ölçülerle elde edilmesi ve beton kalitesinin standartlaştırılmasını sağlamasıdır. Hazır beton ilk olarak 1903 yılında Almanya'da ortaya çıkmış ve özellikle Amerika'da yaygınlaşmıştır. Birinci Dünya Savaşı sonrası pek çok hazır beton firması ortaya çıkmış ve bu endüstri büyük bir ivme kazanmıştır. Yüzyılın ikinci yarısıyla birlikte hazır beton temel inşaat malzemesi olarak benimsenmiştir. Günümüzde gelişmiş ülkelerde tüm betonarme inşaatlar hazır beton ile yapılmaktadır. Avrupa'da yılda 300 milyon m<sup>3</sup>, Amerika'da ise 200 milyon m<sup>3</sup> civarında hazır beton tüketilmektedir. 2000'li yıllarda beton teknolojisi, mikroskobik

seviyede kompozisyonların da önem kazandığı yüksek seviyeli bir teknoloji olma yolundadır.

Betonun taze haldeyken plastik bir kıvamda sahip olması, betona istenilen herhangi bir şeklin verilmesini sağlar. Diğer bir deyişle, taze beton sertleştiğinde içine konulduğu kalıbın şeklini almış olur. Böylece, kirişler, kolonlar, karmaşık şekilli hiperbolik kabuklar, döşemeler, kazıklar, kütle betonları vb. yapmak mümkün olur (Özkul vd., 1999).

Beton, çimento, su, agrega ve gerektiğinde kimyasal ve/veya mineral katkı maddelerinin homojen olarak karıştırılmasından oluşan, başlangıçta plastik kıvamda olup, şekil verilebilen, zamanla katılaşarak sertleşerek mukavemet kazanan kompozit bir malzemedir. İyi bir betonda tüm ince agrega tanelerinin çimento hamuruyla; tüm kaba agrega tanelerinin de harçla bütünüyle kaplanmış olması gerekir. Betonlardan, en genel anlamda beklenen üç ana nitelik; işlenebilme, dayanım ve dayanıklılıktır (durabilite) (Akman, 1987; Özkul vd., 1999). Bu özelliklerden dayanım ve dayanıklılık sertleşmiş beton için işlenebilme ise taze beton için geçerlidir. Şekil 1.1’de beton özelliklerini etkileyen faktörler gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Beton özelliklerini etkileyen faktörler (Tattersal, 1991)

Şekil 1.1'den, işlenebilmenin beton bileşenlerinin özelliklerine ve miktarına bağlı olduğu ve beton kalitesini direkt olarak etkilediği görülebilir. Betonların taze haldeki en önemli özelliği olan işlenebilme tanımındaki tüm nitelikleri bir arada değerlendiren tek bir test yöntemine kavuşturulamamıştır. Çökme (slump), yayılma (flow), sıkışma faktörü (compacting factor), vebe ve vb. işlenebilmeyi ifade eden standart deney aygıtlarının sayısı oldukça fazladır, buna karşılık uygulandıkları tür ve kıvamlar sınırlıdır. Bu açıdan betonların işlenebilirliğini ifade etmede reolojik malzeme sabitleriyle açıklamak daha doğru bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir (Yücel, 1997). Beton, yerine yerleştirilirken viskoz bir sıvı olduğundan, betonun akış (flow) özellikleri veya reolojisi yapı endüstrisi açısından önemlidir. Beton bileşiminin karmaşık yapısı nedeni ile, bileşenleri yolu ile betonun akışkanlığının tahmin edilmesine dönük belirgin bir yöntem maalesef bulunmamaktadır. Beton içinde, 1 µm çapındaki çimento taneciklerinden 30 mm çapındaki kaba agrega tanelerine kadar oldukça geniş bir aralıkta tanecik boyutu dağılımı bulunduğundan reolojik parametrelerin ölçümü dahi güçlkle yapılabilmektedir. Bu nedenle, üretilmiş bir betonun akıcılığı genellikle, malzemenin gerçek akışkanlık özelliklerinin kısmen ölçülmesine imkân sağlayan standart deney metodlarından birinin kullanılması ile yapılmaktadır (Ferraris, 1999).

Haimoni ve Hannant (1993) pompa betonunu kapalı bir boru içinde basınç gradienti altında hareket eden, iri katı daneli viskoz bir süspansiyon olarak tanımlamıştır. Bu beton boru içindeki hareketi sırasında homojenliğini yitirmeden minimum pompa enerjisiyle hareket edebilmelidir. Bunu sağlamak için boru-beton arasındaki sürtünme minimum düzeyde kalmalı ve gerekli itme gücü sürtünme nedeniyle artmamalıdır. Doğal olarak pompalamayla iletilen betonun sertleşmiş haldeki özellikleri normal yolla iletilen betonlardan farklı olamaz: yani dayanımının ve dayanıklılığının yeterli düzeyde olması şarttır. Şu halde pompa betonunun farklılığı taze beton özelliklerinde kendini gösterir. Bu betonlar diğerlerinin sahip olduğu işlenebilme özelliklerine ek olarak boru içindeki dinamik zorlamalar nedeniyle daha başka işlenebilme özelliklerine de sahip olmak zorundadır (Yücel, 1997).

Bu çalışmada, pompa betonlarının taze beton özellikleri ve basınç altındaki davranışı konu alınmıştır. Konunun çok değişik yönleri bulunmaktadır. Pompa betonlarının

işlenebilirliğine pompalanabilirlik denir. Betonların işlenebilmesinin genel tanımında karıştırma ve yerleştirmenin minimum enerjiyle gerçekleşmesi, betonun homojenliğini yitirmeden karılması, taşınması, yerleştirilmesi ve kalıbını boşluksuz doldurması kavramları esas alınır. Buna karşılık pompalanabilirlik kavramıyla, boru içinde betonun minimum enerjiyle, kesintisiz ve niteliklerini yitirmeden iletilebilmesi tanımlanır.

Pompalanabilirliği ölçen, sayısallaştıran bir deney yöntemi henüz geliştirilememiştir. Aslında taze haldeki betonun kıvam özelliklerini veren standart testlerde (çökme, yayılma, sıkışma faktörü, vebe vb.) işlenebilirliği tam olarak ifade etmekten uzaktırlar. Beton kıvamlarının belirli bölgelerinde güvenilirlik ve anlam taşıyan bu standart testlerin, boru içinde dinamik zorlamalar etkisinde kalan betonun pompalanabilirliğini belirleyeceklerini varsaymak aşırı iyimserliktir.

Pompa betonlarına yönelik standart bulunmamakla beraber pompa betonların normal betonlardan olan farklılıklarını vurgulayan tavsiyeler bulunmaktadır. ACI 304-2R sayılı “Pompalama yöntemleri ile betonun yerleştirilmesi” konulu komite raporunda da pompa betonların birleşimleri hakkında geniş bilgi mevcuttur. Bu tavsiyeler boru içindeki betonun iletilmesini kolaylaştıran temel bilgilerdir. Fakat bunlar pompalanabilirliği açıklamakta yeterli olamazlar. Bir boru içindeki betonun işlenebilirliğini incelemek için boru içinde basınç etkisiyle hareket eden kütlelin hidrodinamiğinin incelenmesi oldukça güç ve karmaşıktır. Buna rağmen boru içindeki betonun hareketi Binghamien cisim kabul edilmesi ve ortadaki akışın tıkaç şeklinde bir akış olduğunun bilinmesi problemin çözümüne kolaylık sağlamaktadır. Yapılan araştırma ve incelemelerde bu kriterler göz önüne alınmıştır.

Pompa betonların üzerinde yapılan araştırmalarda esas pompayı simüle edici model pompalar geliştirilmeye çalışılmıştır. Bunlar, pompa kriterlerini belirlemek veya pompalanabilir karışımın bileşenlerinin pompa gücüne etkisini gözlemlemek amacıyla geliştirilmiştir. Öte yandan bu çalışmalar sırasında taze betonun kontrolü ise sadece standart deney yöntemleri ile incelenebilmiştir (Yücel, 1997).



Pompalanabilirlik sorununu genel anlamda çözüme kavuşturmak için, boru-çeper arasındaki sürtünme gerilmelerinin boyuna yöndeki basınç gradientinin fonksiyonu olarak saptanması, taze beton kompozitinde segregasyona yol açan basıncın tayini ve basınç altında betonda terleme deneyinin araştırılması gerekir. Bunlar doğrudan doğruya prototip üzerinde yapılabilecek deneylerdir ve bu araştırmanın kapsamı, basınç altındaki betonların davranışlarının incelenmesine yöneliktir. Bu çalışmada segregasyon basınçlarının belirlenmesi amacıyla basınç altında terleme deney aleti geliştirilmiştir.

## 2. KAYNAK BİLGİSİ

### 2.1. Taze Betonun İşlenebilirliği ve Kıvamı

İşlenebilirlik, betonun karıştırma ve yerleştirme işleminin minimum enerji ile ve homojenliğini yitirmeden, ayrışmadan yapılması ve kalıbına kolaylıkla yayılarak en az boşluk bırakacak şekilde doldurabilmesi ile ilgili bir taze beton özelliğidir (Akman, 1987; Baradan, 1998).

İşlenebilir bir betonun niteliklerinin başında kohezyon gelir. Kohezyonu iyi olan taze betonun içindeki iri agrega taneleri; karıştırma, taşıma ve yerleştirme işlemleri sırasında kütlede ayrılmazlar. İri agrega tanelerinin bu işlemler sırasında dağılım düzeninin kaybolarak beton külesinden ayrılması olayına ayrışma (segregasyon) adı verilir (Baradan; 1998). Segregasyon ya iri agregaların eğik düzlem boyunca ince agregalardan daha çabuk yol almaları şeklinde, yada özellikle sulu karışımlarda iri agregaların çökmesi biçiminde meydana gelmektedir. Eğer betonun yerleştirileceği yere kısa mesafede taşınması mümkün olabilirse, segregasyon tehlikesi azalır. Betonun oldukça yüksek yerden düşürmek, oluktan geçirmek, iletim yönünde değişiklikler yapmak, bir engelle karşılaştırmak segregasyonu artırır. Böyle durumlarda kendini tutabilen kohezyonlu beton kullanılmalıdır. Betonun iyi bir şekilde üretilmesi, ulaştırılması ve yerleştirilmesi segregasyonu önemli ölçüde azaltır. Vibrasyon işlemi betonun iyi bir şekilde sıkıştırılmasını sağlar, fakat yanlış kullanımı ve uzun süre işleme tabi tutulması, kaba malzemenin aşağıda, çimento hamurunun ise yüzeyde toplanmasına, dolayısıyla betonun zayıf olmasına neden olur. Hava sürükleyici katkı maddesi içeren betonda segregasyonun azalacağı unutulmamalıdır (Ağar vd., 1998).

Kohezyonla paralellik gösteren bir diğer özellik taze betonun kararlılığıdır (stabilite). Taze haldeki betonun üniformluğunu tüm karıştırma, taşıma ve yerleştirme işlemleri boyunca ve yerleştirme sonrasında koruyabilmesi, karışımın ayrışmaya ve terlemeye karşı direnebilme yeteneğine kararlılık (stabilite) denilmektedir (Akman, 1996; 2000). Kararlı bir betonda su taze beton külesinden ayrılmaz. Beton karışımındaki

suyun kütleden ayrılarak yüzeye çıkmasına terleme (kusma) adı verilir. Beton yerleştirildiğinde karışım içindeki malzemenin suyu tutamaması sonucu meydana gelir; agreganın çökmesi ile bağlantılıdır. İri taneler dibe çökünce su yüzeye çıkar. Terleme sonucu yüzey çok ıslak hale gelir ve bu su kaybı betona su ilave edilerek giderilmeye çalışılırsa boşluklu, zayıf, dayanıksız beton ortaya çıkar. Eğer terleme suyu, üst yüzeyin bitirilmesi sırasında tekrar karıştırılırsa zayıf taşıyıcı bir yüzey oluşacaktır. Buna engel olmak için, terleme suyu tamamen buharlaşınca kadar yüzeyde herhangi bir düzeltme yapılmamalı, master veya mala ile yüzey üzerinde fazla çalışılmamalıdır. Beton yüzeyindeki buharlaşma hızı, terleme oranının gelişme hızından daha fazla ise, plastik büzülme (rötire) çatlakları meydana gelir. Yüzeyde başlangıçta oluşabilecek kılcal çatlakları önlemek için, taze betonun yüzeyinin korunması ve yeniden masterlanması gerekebilir. Terleme eğilimi büyük çapta çimento özelliklerine bağlıdır. Çimento inceliği artırılarak terleme azaltılabilir. Çimentoda  $C_3A$  bileşeninin oranı yükseldikçe terleme azalır. Betona kalsiyum klorürlü katkı maddesi eklenmesi terleme olayının geriletir. Beton döküm ortamındaki yüksek ısı terleme oranını artırır. İnce agreganın özellikle 150 mikron eleğin altında kalan kısmı su tutarak terlemeyi etkiler. Çimentoca zengin karışımlar terlemeye, zayıf karışımlardan daha az eğilimlidir. Puzolan, alüminyum tozu ve hava sürükleyici katkıları terlemeyi azaltır. Terleme, çimento hamuru yeterince sertleşerek, çökme işleminin sona ermesine kadar devam eder (Ağar vd., 1998).

İşlenebilme özelliğinin betonun kıvamı ile karıştırılmaması gerekir. Genellikle sıvılar için kullanılan “kıvam” deyimini taze betonun akıcılığını nitelendirmekte kullanılır. Kıvam, betonun akıcılığıyla veya kendi ağırlığı altında hareket etme kabiliyetiyle ilgilidir. İşlenebilme özelliği ise beton agregasının granülometrisi, boyutu, biçimi ve miktarı ve çimento miktarı gibi diğer faktörlere de bağlıdır. Betondaki kıvam kavramı işlenebilirlik yeteneği ile birlikte düşünülmelidir. Kıvamlarına göre taze betonlar:

- Kuru (Nemli toprak görünümde)
- Plastik
- Akıcı

olmak üzere üç ana grupta sınıflandırılırlar. Bu sınıflandırmada betonun su içeriği önemli derecede rol oynar. Agreganın cinsi ve jeolojik kökenli, ayrıca yüzey özelliği de kıvam derecesini etkiler. Örnek olarak, dere kumu, çakıl, kırmataş, kırma kum gibi farklı agregalarda aynı kıvamı tutturabilmek için farklı miktarlarda karma suyu katılması gerektiği bilinmektedir (Ağar vd., 1998). Kıvam; betonun kullanım yerine, işlenilmesine ve şantiyede döküm yerine iletim şekline (pompa, kova,..) bağlı olarak özenle seçilmesi gereken bir özelliktir. Kıvam değeri sabit tutulduğu sürece su/çimento oranı kontrol edilmiş olur. Beton Standardı TS EN 206-1'de, S1, S2, S3, S4 ve S5 sembolleri ile tanımlanan 5 kıvam sınıfı, çökme (slump) konisi deneyi ile ölçülmektedir. Çizelge 2.1'de TS EN 206-1'e göre beton kıvam sınıfları ve çökme değerleri verilmiştir.

**Açıklama [H.H.İ.1]:** TS EN206-1, 2002. Beton – Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk. Türk Standartları Enstitüsü, 64s, Ankara.

Çizelge 2.1. Beton kıvam sınıfları için çökme değerleri

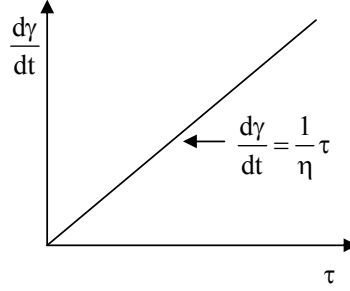
KIVAM SINIFLARI	
SINIF	ÇÖKME (mm)
S1	10 – 40
S2	50 – 90
S3	100 – 150
S4	160 – 210
S5	≥ 220

Betonların işlenebilirliğini ifade etmede reolojik malzeme sabitleriyle açıklamanın daha doğru bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir. Taze harcın ve betonun reolojik sabitleri: kayma eşiği ( $\tau_0$ ) ve plastik viskozite ( $\eta_{pl}$ ) akış bilimi olarak tanımlayabileceğimiz reoloji bilimi ile açıklanır. Plastik viskozite ( $\eta_{pl}$ ), akıcılığın tersidir, yani plastik viskozite ( $\eta_{pl}$ ) değeri küçük olan bir beton akıcı olacak ve daha kolay yerleştirilebilecektir. Reoloji, sıvı veya katı cisimlerin gerilme-deformasyon ilişkilerini zaman değişkenini de dikkate alarak, yani gerilme ve deformasyonun zamana göre türevlerini de hesaplayarak inceler. Bu incelemeyi kolaylaştıran yapısal modeller mevcuttur (Banfill, 1991; Tattersal, 1991; Bartos, 1992). Taze beton, viskoz bir sıvı varsayılarak incelenir. Bu simülasyon çok kuru betonlar için doğal olarak anlam taşımaz. Viskoz sıvılar, uygulanan kayma gerilmeleri etkisiyle aşısal

deformasyonlar yaparlar. Reolojide en basit viskoz sıvı modeli Newton sıvısıdır; kayma gerilmesi ( $\tau$ ), açılmal şekil değıştirme hızı  $\left(\frac{d\gamma}{dt} = \dot{\gamma}\right)$  ile orantılıdır ve orantı katsayısı viskozite katsayısı ( $\eta$ ) olarak tanımlanır.

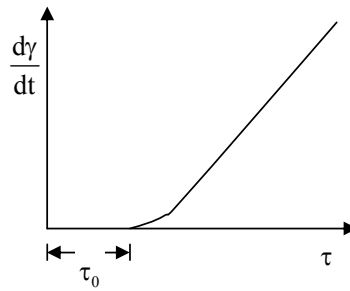
$$\tau = \eta \frac{d\gamma}{dt} \quad (2.1)$$

(2.1) denkleml Newton sıvısının bünye denklemlidir. Şekil 2.1.'de Newton sıvısının diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Newton sıvısı

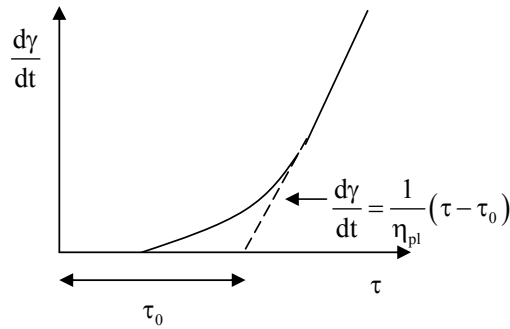
Betonun davranışı Newton sıvısından farklıdır. Ortamda ilk dönme hareketinin başlaması için uygulanan kayma gerilmesinin belirli bir değere varması gerekir, bu sınır değere kayma eşiğı ( $\tau_0$ ) adı verilmiştir; ayrıca  $\frac{d\gamma}{dt}$  ve  $\tau$  arasındaki bağıntı başlangıçta doğrusal değildir, artan şekil değıştirme hızı ile azalan bir kayma direnci gösteren (tikotropik) bir eğri formundadır. Bu davranışa uyan cisimlere reoloji biliminin kurucusu olan Bingham'ın adı verilmiştir. Şekil 2.2.'de Bingham sıvısının diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Bingham sıvısı

Bingham modeli ile birlikte çimento ve harç karışımları üzerinde incelenmiş matematik ifadelerde mevcuttur. Fakat Bingham modeli dışında bu matematik ifadelerin beton teknolojisinde uygulanması kolay değildir. Bingham sıvısı Şekil 2.3.'de görüleceği gibi basitleştirilerek ve eğrinin doğrusal bölümü uzatılarak bağıntı tümüyle doğrusal hale getirilmiştir. Bu durumda viskozitede tek bir değere indirgenmekte ve plastik viskozite adını almaktadır. Bingham cisminin bünye denklemi böylece aşağıdaki forma sahip olur (Yücel, 1997).

$$\tau = \tau_0 + \eta_{pl} \frac{d\gamma}{dt} \quad (2.2)$$



Şekil 2.3. Taze harç ve betonlar için kabul edilen Bingham cismi

Modern beton döküm teknolojisinde sıkça kullanılmakta olan pompa betonlarında da işlenebilirlik yeteneğinin çok iyi irdelenmesi gerekir. Pompa betonlarının işlenebilirliğine özel ad verilir: pompalanabilirlik. Betonun boru içerisinde minimum enerji ile kesintisiz ve niteliklerini yitirmeden iletilmesine pompalanabilirlik denilmektedir. Yani pompalanabilirlik boru içerisinde basınç altındaki betonun akıcılığı ve kararlılığıdır (Bartos, 1992; Yücel, 1997). Taze betonun kolay pompalanabilmesi için minimum basınç ile ve tıkanma etkisi (blokaj) olmadan boru içinde kütleli bir şekilde akması gerekir. Gerçekten de pompa betonlarında fazla akıcı betonların kullanılması segregasyon tehlikesi nedeniyle sakınca yaratmaktadır. Pompa uygulamasına yönelik betonun kıvamı, akıcıdan çok plastik olmalı, pompa ağzını terk eden karışım, 25-30 cm kopmadan iletilebilecek kıvamda bulunmalıdır. Bu olgunun yüksek kohezyonla sağlanabileceği, yüksek kohezyonun da ince

malzeme ve filler kullanılarak elde edilebileceği unutulmamalıdır. Pompa betonlarında aşılması gereken ikinci bir zorluk da, boru çeperi ile beton arasındaki dış sürtünmenin kaçınılmaz varlığıdır. Verimli çalışma ve minimum enerji tüketimi için dış sürtünmenin en düşük düzeyde tutulması zorunludur. Dış sürtünme agregata tane çapının küçültülmesi, doğal ve yuvarlak agregata kullanılarak yüzey pürüzlülüğünün azaltılması ve akıcılığın yeterli düzeyde tutulmasıyla sağlanabilir.

Pompa betonlarında akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmak suretiyle kohezyon ve akıcılık gibi birbirine ters iki etkinin bağdaştırılması mümkün olabilmektedir (Ağar vd., 1998).

## 2.2. Beton Katkı Maddeleri

Depremler sırasında saptanan en önemli bulgulardan biri, yapının taşıyıcılığını ortadan kaldıran beton dayanımı ve dayanıklılığının düşüklüğüdür. Betonun düşük dayanımı ve dayanıklılığı bileşenlerinin uygunsuz tasarımı ve yanlış uygulanmasından kaynaklanır. Bununla birlikte, beton taşıyıcı özelliğini dışsal etkiler nedeniyle zaman içerisinde yitirir. Betonu salt belirli bir dayanıma sahip yapı malzemesi olarak gören anlayışın çökmesi ve dayanım kadar dayanıklılığın (durabilite) da önemli olduğunun anlaşılması ile beton ve harçlarda katkı maddelerinin kullanımı bir zorunluluk haline gelmiştir. Beton katkı maddeleri, kimyasal katkılar, mineral katkılar ve fiber katkılar olarak üç ana başlıkta incelenebilir.

### 2.2.1. Kimyasal Katkı Maddeleri

ASTM C 125, katkı maddesini, betonun geleneksel bileşenleri olan su, çimento ve agregata dışında hemen karıştırma öncesi veya karıştırma sırasında beton harmanına ilave edilen maddeler olarak tanımlamaktadır. Bu maddeler organik ya da inorganik esaslı olup beton bileşimine ağırlıkça toplam bağlayıcının %5'ini aşmayacak oranlarda katılan maddelerdir. Genellikle sıvı halde olan bu maddeler literatürde

**Açıklama [H.H.İ.2]:** ASTM C 125, 1994. Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates, Annual Book of ASTM Standards.

“kimyasal katkı maddeleri” olarak bilinirler. TS EN 934-2 ise beton kimyasal katkısını, betonun taze ve/veya sertleşmiş haldeki özelliklerini değiştirmek için karıştırma işlemi sırasında betona, çimento kütleinin % 5’ini geçmemek üzere eklenen madde olarak tanımlamaktadır.

**Açıklama [H.H.İ.3]:** TS EN 934-2, 2002. Kimyasal katkılar - Beton, harç ve şerbet için - Bölüm 2 : Beton katkıları - Tarifler, özellikler, uygunluk, işaretleme ve etiketleme, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 18 s.

Kimyasal katkı maddelerinin betonda kullanımı genellikle taze ve sertleşmiş haldeki betonun bir ya da birden fazla özelliğini iyileştirme amacına yöneliktir. Kimyasal katkı maddelerinin kullanımıyla taze beton özelliklerinde sağlanan iyileştirmeler:

- Su miktarını arttırmaksızın işlenebilirliğini arttırmak,
- Belli bir işlenebilirlik için su ihtiyacını azaltmak,
- Priz süresini uzatmak ya da kısaltmak,
- Su kusmayı önlemek,
- Ayırışmayı (segregasyon) azaltmak,
- Pompalanabilirliği iyileştirmek,
- Kıvam kaybı hızını azaltmak

olarak sıralanabilir.

Kimyasal katkı maddeleri kullanmak suretiyle sertleşmiş betonda sağlanan iyileştirmeler de:

- Hidratasyon ısını erken yaşlarda azaltmak ya da hidratasyonu geciktirmek,
- Dayanım gelişimini erken yaşlarda hızlandırmak,
- Dayanımı arttırmak,
- Zararlı çevresel etkilere karşı dayanıklılığı (durabiliteyi) arttırmak,
- Geçirimsizliği azaltmak,
- Alkali – agrega reaksiyonunu kontrol etmek,
- Donatı – beton aderansını güçlendirmek,
- Betonun dayanımı yanında, pek çok diğer mekanik özelliklerini iyileştirmek,



- Donatı korozyonunu bastırmak veya engellemek,
- Ekonomi temin etmek

şeklinde özetlenebilir (Erdoğan, 1997).

**Açıklama [H.H.İ.4]:** Erdoğan, T.Y., 1997. Admixures for Concrete, Middle East Technical University, 188 s Ankara.

Literatürde bileşimleri ve dolayısıyla işlevleri birbirinden farklı çok sayıda beton kimyasal katkısı vardır. (Akman, 1996). TS EN 934-2 standardına göre bu katkılar:

**Açıklama [H.H.İ.5]:** Akman, M.S., 1996. Kimyasal Katkıların Betona Uygulanması. 4. Ulusal Beton Kongresi. (TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası), 1-11, Maya Basın Yayın, İstanbul.

- Su azaltıcı / akışkanlaştırıcı katkılar
- Yüksek oranda su azaltıcı / süper akışkanlaştırıcı katkılar
- Su tutucu (terlemeyi önleyen) katkılar
- Hava sürükleyici katkılar
- Priz hızlandırıcı katkılar
- Sertleşmeyi hızlandırıcı katkılar
- Priz geciktirici katkılar
- Su geçirimsizlik katkıları
- Çok işlevli katkılar

olarak sınıflandırılmıştır.

Akışkanlaştırıcılar kimyasal katkılar içerisinde uygulamada en çok kullanılan ve en çok bilinen katkılar grubunu oluştururlar. Son yıllarda yüksek performanslı betonlar genelde süper akışkanlaştırıcı katkılar kullanılarak üretilmektedirler. Beton üretiminde kullanılan süper akışkanlaştırıcıların kimyasal içerikleri ise melamin formaldehid sülfonatlar, modifiye edilmiş lignosülfonatlar, naftalin sülfonatlarıdır. Akışkanlaştırıcılar hava sürükleyerek, çimento tanelerinin topaklaşmasını önleyerek ve taneleri beton içine dağıtarak etkili olurlar (Akman, 1996; Uyan vd., 1996; Erdoğan, 1997). Böylece çimento tanelerinin bütünüyle hidrate olmasına sebep olurlar ve suyun yüzey gerilimi azaltır ıslatma gücünü artırır. Betoniyerde çeperele yapışma olmaz, betonda agrega tanelerinin ayrışması minimum düzeye iner. Çimento hamuru ve agrega bağlantısı düzelir (Akman, 1996). Bu katkılar, taze betonda çimento taneleri-su arayüzeyinde varolan fiziksel ve kimyasal kuvvetlerin etkisinin değişmesine yol açarlar. Bunun nedeni, çimento tanelerini kaplayan yüzey-aktif maddelerin, çimento tanelerinin negatif elektrikle yüklenmesini ve birbirlerini

**Açıklama [H.H.İ.6]:** Uyan, M., Yıldırım, H., Süvari, Y., 1996. Akışkanlaştırıcı Katkıların Etkinliği. 4. Ulusal Beton Kongresi. (TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası), 13-23, Maya Basın Yayın, İstanbul.

iterek taze beton içinde kolayca yayılmalarını sağlamalarıdır. Çimento taneleri arasındaki bu negatif elektrik yükü çimento tanelerinin bir su tabakasıyla kaplanmasını sağlar ve böylece bu oluşum beton karışımında çimento tanelerinin homojen dağılmasına neden olur. Çimento tanelerinin bu şekildeki hareketi, taze betonun işlenebilirliğinde önemli bir iyileşmeyle sonuçlanır (Uchikawa vd., 1997; Erdoğan ve Kurbetci, 2003)

Akışkanlaştırıcılar genelde üç amaç için kullanılırlar (Neville ve Brooks, 1987; Yıldırım vd., 1996; Erdoğan, 1997; Yazıcı, 2003; Yıldırım ve Uyan, 2005):

- Katkısız betonla aynı işlenebilmede olmak şartıyla su/çimento oranını azaltıp daha yüksek dayanımlı beton elde etmek,
- Kütle betonlarda hidrasyon ısısını düşürmek için çimento miktarının azaltılması durumunda aynı işlenebilirliği kazanmak (Katkının bu şekilde diğer beton türleri içinde kullanılması aynı zamanda daha ekonomik bir beton üretimi sağlaması anlamına gelmektedir),
- Kolay yerleşmeyi sağlamak için (özellikle ulaşılamayan köşelerde) işlenebilmeyi arttırmak,

Süper akışkanlaştırıcıların genel olarak betondaki;

Olumlu etkileri:

- Su azaltıcı olarak kullanımda, sabit işlenebilmede % 12-16'dan fazla su azaltma, basınç dayanımında %15'i aşan artış, daha sıkı bir beton elde ederek donma-çözölmeye, dış ortam şartlarına karşı dayanıklılık artar, geçirimsizlik sağlanır, yüzey görünümü düzelir. Süper akışkanlaştırıcı olarak kullanımında işlenebilmede büyük artış sağlanır.

Olumsuz etkileri:

- İşlenebilme kaybı, sıcaklığın bu kayıpta etkili oluşu, hidrolik rötrede artış, bazı hava sürükleyici katkılarla uyumsuzluk, segregasyona yol açma (Akman, 1996).

**Açıklama [H.H.İ.7]:** Uchikawa, H., Hanehara, S., Sawaki, D., 1997. The Role of Steric Repulsive Force in the Dispersion of Cement Particles in Fresh Paste Prepared with Organic Admixture. Cement and Concrete Research, 27, 37-50.

**Açıklama [H.H.İ.8]:** Erdoğan, Ş., Kurbetci, Ş., 2003. Farklı Firma Ürünü Su İndirgeyici Katkı Maddelerinin Normal Dayanımlı Beton Üretiminde Etkin Kullanımı. Çimento ve Beton Dünnyası, Yıl:7, Sayı:42, 40-47, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara.

**Açıklama [H.H.İ.9]:** Neville, A.M., Brooks, J.J., 1987. Concrete Technology, Longman Scientific and Technical, 155p.

**Açıklama [H.H.İ.10]:** Yıldırım, H., Yorulmazel, V., Ardaç, E., 1996. Akışkanlaştırıcı Katkıların Etkinliği. 4. Ulusal Beton Kongresi. (TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası), 25-33, Maya Basın Yayın, İstanbul.

**Açıklama [H.H.İ.11]:** Yazıcı, Ş., 2003. Süper Akışkanlaştırıcıların Betondaki Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklere Etkileri. DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt:5, Sayı:1, 103-114.

**Açıklama [H.H.İ.12]:** Yıldırım, H., Uyan, M., 2005. Betonda Akışkanlaştırıcı Katkı Kullanımında İstenen Şartlar ve Türkiye'deki Durum. Yapılarda Kimyasal Katkıları Sempozyumu ve Sergisi. (TMMOB Kimya Mühendisleri ve İnşaat Mühendisleri Odası), 157-168, Ankara.

Süper akışkanlaştırıcı katkıların yanı sıra son yıllarda ülkemizde de ticari olarak pazarlanan kendiliğinden yerleşen beton uygulamalarında hiper akışkanlaştırıcı katkıları kullanılmaktadır. Polikarboksilik eter bazlı “yeni kuşak hiper akışkanlaştırıcılar” olarak adlandırılan bu katkılarda yüksek akışkanlık ve yüksek segregasyon direnci bulunduğu, ayrıca işlenebilmeyi daha uzun süre devam ettirerek kıvam kaybını azalttığı görülmektedir. Karışım suyunu %35’e varan oranda azaltan bu katkıların, özellikle çimento ve mineral katkıca zengin, maksimum tane boyutunun küçük olduğu, ince agregalı karışımlarda kullanıldığında oldukça başarılı sonuçlar verdiği belirtilmektedir (Yılmaz, 2002).

**Açıklama [H.H.İ.13]:** Yılmaz, K., 2002. Normal ve Süper Akışkanlaştırıcıların Betona Kazandırdıkları. Hazır Beton Dergisi, Yıl:9, Sayı:50, 54-59, Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul.

Yeni yüksek performanslı hiper akışkanlaştırıcılar, düşük çimento dozlarına rağmen, çok düşük su/çimento (S/C) oranlarını (<0.4) ve çok akıcı kıvamları (22 cm’den yüksek çökmeli) mümkün kılar (Yılmaz, 2003).

**Açıklama [H.H.İ.14]:** Yılmaz, A.D., 2003. Yeni Kuşak Hiper Akışkanlaştırıcı Beton Katkıları. Türkiye Mühendislik Haberleri, Yıl:48/2003-4, Sayı:426, 125-129

### 2.2.2. Mineral Katkı Maddeleri

ASTM C 219’da “mineral katkı maddeleri” tanımlanmaktadır. Bu maddeler çok ince öğütülmek suretiyle bazen çimento ile sınırlı oranda karıştırılarak bazen de üretim sırasında betona belli oranda ilave edilerek kullanılan çimentomsu, yani bağlayıcı özelliği olan maddelerdir. Uçucu kül (uK), silis dumanı (SD) ve yüksek fırın cürufu (YFC) gibi ince taneli puzolanik mineral katkı maddeleri beton teknolojisinde büyük ilgi çekmekte, çok sayıda araştırmaya konu olarak giderek artan düzeyde kullanılmaktadır.

**Açıklama [H.H.İ.15]:** ASTM C 219, 1993. Standard Terminology Relating to Hydraulic Cement, Annual Book of ASTM Standards.

Bu maddeler ekonomik yararları yanında betonun dayanım ve dayanıklılık özelliklerini de iyileştirmektedirler. Artık günümüz standartlarında bunlar için mineral katkı terimi terk edilerek “bağlayıcı maddeler” (cementitious materials) adı kullanılmaktadır. Bu mineral katkıların beton üretiminde değerlendirildiklerinde, işlenebilirlik sorunlarının aşılması için kimyasal katkılarla beraber kullanılmaları kaçınılmaz olmaktadır.

Mineral katkıların yüksek performanslı betonlarda süper akışkanlaştırıcılarla (süperplastifiyan, SP) kullanılmaları doğaldır ve aslında bu birliktelik sayesinde çok

yüksek performanslı betonlar üretilebilmektedir. Sertleşmiş beton aşamasındaki yararlarına karşılık taze beton aşamasında mineral katkıların SP ile uyumları açısından sorunları bulunmaktadır. Süperplastifiye betonların segregasyon olasılığı düşünüldüğünde ilk akla gelen önlem, beton karışımında ince tane miktarını arttırarak kohezyonu geliştirmektir. İnce taneli malzeme eylemsiz taş unu olabileceği gibi sertleşmiş halde betona ek nitelikler kazandıracak puzolanik maddeler de olabilir ve doğal olarak bu ikinci çözüm daha doğru ve yararlıdır. Ancak puzolanik maddeler, C<sub>3</sub>A ve C<sub>4</sub>AF gibi su moleküllerini hızla absorbe ederlerse, SP'nin etkinliğini azaltabilir ve özellikle çökme kaybını hızlandırabilirler. Bu varsayımın doğruluğu tartışmalıdır, zira puzolanik etki uzun süre sonunda ortaya çıkar ve mineral katkıların taze haldeki etkisi, YFC dışında incelikleri ve geometrik şekillerinin fonksiyonudur.

Malhotra (1983), Joshi vd. (1986), Akman ve Yücel (1996)'in SD, uK ve YFC içeren süperplastifiye betonların işlenebilirlik ve işlenebilirlik kayıpları üzerine yaptıkları araştırma sonuçları Çizelge 2.2.'de özetlenmektedir (Akman, 1996; Yücel, 1997):

Çizelge 2.2. Mineral katkıların işlenebilirlik üzerindeki etkileri

SD	İşlenebilirliği artırır (+ pozitif etki)	İşlenebilirlik kaybını azaltır (+ etki)
uK	İşlenebilirliği azaltır (- negatif etki)	İşlenebilirlik kaybını azaltır (+ etki)
YFC	İşlenebilirliği artırır (+ pozitif etki)	İşlenebilirlik kaybını artırır (- etki)

Yalnız bu çizelge ihtiyatla kabul edilmelidir. Mineral katkı kalitesi ve miktarı, SP ve çimento ile uyumları bu etkileri farklı kılar.

Uçucu kül, kömürle çalışan termik elektrik santrallerinde pulverize kömürün yanması sonucu meydana gelen baca gazları ile taşınarak siklon veya elektrofiltrelerde toplanan önemli bir yan üründür. Kömürün yüksek sıcaklıklarda yanması sonucu meydana gelen ergimiş malzeme soğuyarak, gaz akışı ile kısmen veya tamamen küresel şekilli kül taneciklerine dönüşmektedir. Bu kül tanecikleri çok ince (0.5 – 150 mikron) olup, baca gazları ile sürüklenmeleri nedeniyle “uçucu kül”

**Açıklama [H.H.İ.16]:** Malhotra, V.M., 1983. Strength and Durability Characteristics of Concrete Incorporating a Pelletized Blast Furnace Slag. ACI SP-79, V2, 891-921.

**Açıklama [H.H.İ.17]:** Joshi, R.C., Day, R.L., Langan, B.W., Ward, M.A., 1986. Engineering Properties of Concrete Containing High Proportions of Fly Ash and Other Mineral Admixtures. 2<sup>nd</sup> CANMET/ACI International Conference Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Suppl. Papers, 20, Madrid.

**Açıklama [H.H.İ.18]:** Akman, M.S., Yücel, K.T., 1996. Effects of Cement – High Range Water Reducer – Fly Ash Ternary System on Concrete Workability. 4<sup>th</sup> International Conference on Concrete Technology for Developing Countries, Gazimagusa.

olarak adlandırılmaktadır. Termik santrallerde çok ince öğütülerek yakılan kömürden üç farklı külün elde edilmesi mümkündür:

- Göreceli olarak iri taneli olup baca gazları ile taşınamayan ve kazan tabanına düşen “taban külü”
- Siklon tipi ocaklarda yakılan kömürün suda soğutularak uzaklaştırılması ile elde edilen “ham kül”
- Çok ince taneli olup baca gazları ile taşınan “uçucu kül”.

Her endüstriyel atık gibi uçucu külden de yararlanma olasılıkları araştırılmıştır. Bunların başında çimento ve betonda katkı maddesi olarak kullanılması gelir.

Uçucu külün özellikleri kömürün özelliklerine ve yakılma yöntemine bağlı olarak farklılıklar gösterir. Genellikle silisli ve alüminli olan bileşimi dolayısıyla puzolanik özellik göstererek çimento ve betonda katkı maddesi olarak yararlı olur. İnce ve küresel taneleri dolayısı ile taze betonda işlenebilmeyi artırır, ayrıca hidrasyon ısısını azaltır. Çimento hidrasyonu sonucu oluşan kireçle reaksiyona girerek ilave bağlayıcı jel oluşturur, çimento hamurundaki boşlukları doldurur ve betona dayanıklılık kazandırır. Linyit kömürü yakılması ile elde edilen uçucu külde kireç oranı genellikle yüksek olup bu tür küller aynı zamanda hidrolik yani bağlayıcılık özelliği gösterirler.

Uçucu külde bulunan başlıca bileşenler  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ve  $\text{CaO}$  olup bunların miktarları uçucu kül tipine göre değişmektedir. Ayrıca  $\text{MgO}$ ,  $\text{SO}_3$  ve alkali oksitlerde minör bileşen olarak bulunmaktadır. Uçucu küldeki temel oksitlerden  $\text{SiO}_2$  % 25-60,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  % 10-30,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  % 1-15 ve  $\text{CaO}$  % 1-40 oranlarında bulunmaktadır. Bu farklı aralıklardaki değerler uçucu külün tipini karakterize etmektedir (Türker vd., 2003).

Uçucu küllerin sınıflandırılmasında, kimyasal bileşen yüzdesine göre esas olarak ASTM C 618 ve TS EN 197-1 standartları baz alınmaktadır.

ASTM C 618 standardına göre uçucu küller F ve C sınıflarına ayrılırlar:

**Açıklama [H.H.İ.19]:** Türker, P., Erdoğan, B., Katnaş, F., Yeğinobalı, A., 2003. Türkiye’deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, 76s, Ankara.

**Açıklama [H.H.İ.20]:** ASTM C 618, 1998. Standard Specification for Use as a Mineral Admixture in Concrete. Annual Book of ASTM Standards, No:4.

- a) F sınıfına, bitümlü kömürden üretilen ve toplam  $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$  yüzdesi %70'den fazla olan uçucu küller girmektedir. Aynı zamanda bu küllerde CaO yüzdesi %10'un altında olduğu için düşük kireçli olarak da adlandırılırlar. F sınıfı uçucu küller, puzolanik özelliğe sahiptirler.
- b) C sınıfı uçucu küller ise, linyit veya yarı-bitümlü kömürden üretilen ve toplam  $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$  miktarı %50'den fazla olan küllerdir. Aynı zamanda, C sınıfı uçucu küllerde  $\text{CaO} > \% 10$  olduğu için bu küller yüksek kireçli uçucu kül olarak da adlandırılırlar. C sınıfı uçucu küller, puzolanik özelliğin yanı sıra bağlayıcı özelliğe de sahiptirler.

TS EN 197-1'e göre sınıflandırmada uçucu küller silissi (V) ve kalkersi (W) olmak üzere iki gruba ayrılırlar:

- a) V sınıfı uçucu küller, çoğunluğu puzolanik özelliklere sahip küresel taneciklerden meydana gelen ince bir toz olup; esas olarak reaktif silisyum dioksit ( $\text{SiO}_2$ ) ve alüminyum oksitden ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) oluşan; geri kalanı demir oksit ve diğer bileşenleri içeren küllerdir. Bu küllerde, reaktif kireç (CaO) oranının %10'dan az, reaktif silis miktarının %25'den fazla olması gerekmektedir.
- b) W sınıfı küller ise, hidrolik ve/veya puzolanik özellikleri olan ince bir toz olup; esas olarak reaktif kireç (CaO), reaktif  $\text{SiO}_2$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 'den oluşan; geri kalanı demir oksit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) ve diğer bileşenleri içeren küllerdir. Bu küllerde, reaktif kireç (CaO) oranının % 10'dan fazla, reaktif sil is miktarının da %25'den fazla olması gerekmektedir.

Uçucu külün katkı maddesi olarak çimento ve beton özelliklerine etkileri katılan kül miktarı, külün ve çimentonun özellikleri, külün çimento yerine veya çimentoya ilaveten katılması gibi faktörlere bağlıdır. İlaveten, kül katkısının katkısız karışımdaki kıvamı veya su ihtiyacını etkileyişi de dikkate alınmalıdır (Türker vd., 2003). Uçucu küllerin betonun çeşitli özelliklerine etkileri Çizelge 2.3.'de gösterilmiştir.

**Açıklama [H.H.İ.21]:** TS EN 197-1, 2002. Çimento – Bölüm 1: Genel Çimentolar – Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Çizelge 2.3. Uçucu küllerin betonun çeşitli özelliklerine etkileri (Tokyay, 1990)

ÖZELLİK	ETKİ
Su ihtiyacı	Azaltır
İşlenebilirlik	Arttırır
Segregasyon	Azaltır
Kusma	Azaltır
Priz süresi	Uzatar
Hidratasyon ısısı	Azaltır
Erken dayanım	Azaltır
Geç dayanım	Arttırır
Geçirgenlik	Azaltır
Alkali – agrega reaksiyonu	Azaltır
Sülfat direnci	Arttırır
Donma – çözülme direnci	Azaltır

Davis vd. (1937) uçucu küllerin, belirli bir işlenebilirlik için betonun su ihtiyacında azalmaya neden olduğu ve bu özelliği ile diğer puzolanlardan farklı olduğunu yıllar önce belirtmişlerdir. Ancak, daha sonraki yıllarda yapılan araştırmalar bu konuda uçucu kül miktarının, inceliğinin ve karbon yüzdesinin etkili olduğunu ortaya çıkarmıştır. Ravina (1981)'ya göre kaba uçucu küller su ihtiyacında artmaya neden olurlarken, ince tanelilerde aksine bir durum gözlenmiştir. Minnick vd. (1971)'nin çalışmasında, uçucu küllü betonların su ihtiyacının belirlenmesi için iki parametrelili bir faktörün (kızdırma kaybı x No 325 elek üstünde kalan) kullanılması önerilmiştir. Bu faktörün değeri 100'den az ise su ihtiyacı PÇ betonunkine göre az, 100'den fazla ise çok olacağı saptanmıştır (Tokyay, 1990).

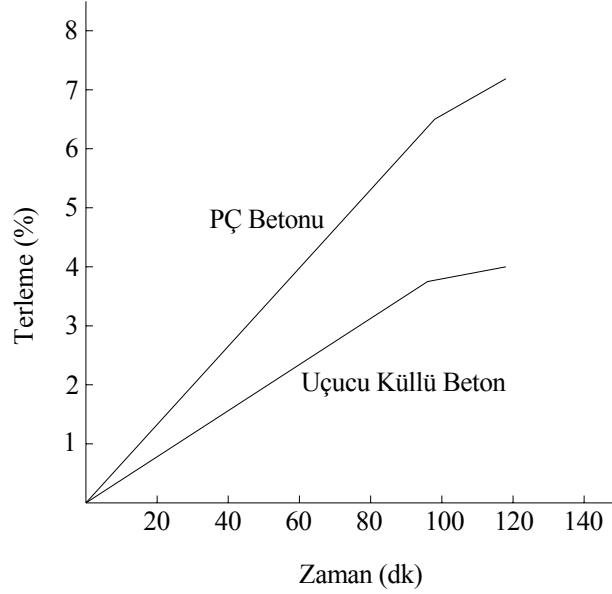
Terleme ve segregasyon betonda uçucu kül kullanılarak azaltılabilir. Agregalar arasına yerleşen uçucu kül tanecikleri kusma kanallarının daralmasına neden olarak bu etkiyi yaratırlar. Ancak burada priz süresinin ve dolayısıyla kusma süresinin etkisi unutulmamalıdır. Uçucu küllü betondaki kusma miktarı ile PÇ betonundakinin karşılaştırması Şekil 2.4.'de gösterilmiştir.

**Açıklama [H.H.İ.22]:** Davis, R.E., Carlson, R.W., Kelly, O.W., Davis, N.E., 1937. Properties of Cements and Concretes Containing Fly Ash. ACI Journal, Proceedings, V.33, No:5, 557-612.

**Açıklama [H.H.İ.23]:** Ravina, D., 1981. Efficient Utilization Coarse and Fine Fly Ash in Precast Concrete by Incorporating Thermal Curing. ACI Journal, Proceedings, V.77, No:3, 194-200.

**Açıklama [H.H.İ.24]:** Minnick, I.J., Webster, W.C., Purdy, E.J., 1971. Predictions of the Effect of Fly Ash in Portland Cement Mortar and Concrete. Journal of Materials, Vol.6, No:1, 163-187.

**Açıklama [H.H.İ.25]:** Tokyay, M., 1990. Uçucu Küllerin Beton Malzemesi Olarak Kullanılması Üzerine Yapılan Araştırmaların Gözden Geçirilmesi. Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı:348, 4-10.



Şekil 2.4. Uçucu küllerin betonda kuma miktarının azaltılmasına olan etkisi (Tokyay, 1990)

Son yıllarda beton üretiminde yaygın bir biçimde kullanılan başka bir mineral katkı maddesi de silis dumanıdır. Silis dumanı (SD) silisyum ve ferrosilisyum üretiminde elektrik ark fırınlarında kömür ile yüksek saflıktaki kuvarsitin indirgenmesi sonucu baca tozu olarak meydana gelir. Ortaya çıkan SiO gazı fırının üst bölümlerinde okside olup hızla soğuyarak amorf silis haline gelir ve SD bileşiminin büyük bölümünü oluşturur. Baca tozu olarak özel filtrelerde tutulup toplanan SD'nin çoğunlukla küresel olan tanelerinin ortalama çapları 0.1 mikron'dur. Çimento taneciklerinin çapının ortalama 10 mikron olduğu düşünülürse silis dumanının çimentodan 100 kez daha ince olduğu görülür. Yüksek oranda amorf silis içermesi ve çimento ile uçucu küllerden çok daha ince oluşu sebebiyle SD çok aktif puzolanik bir maddedir. Betonda granülometriyi bir miktar iyileştirmesine rağmen katkı miktarına bağlı olarak artan toplam tane yüzey alanı belirli bir kıvam için gerekli su miktarını da artırır. Bu nedenle SD'nin beton teknolojisinde kullanımı ancak süper akışkanlaştırıcı beton katkı maddelerinin geliştirilmesinden sonra yaygınlaşmıştır (Ekinci ve Yeğinobalı, 1996).

**Açıklama [H.H.İ.26]:** Ekinci, C.E., Yeğinobalı, A., 1996. Silis Dumanı Katkılı Betonların Çarpma Dayanımı. 4. Ulusal Beton Kongresi. (TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası), 25-33, Maya Basın Yayın, İstanbul.



Silis dumanının beton içindeki davranışı fiziko-kimyasaldır. Bu davranışın fiziksel kısmı çimento hamuru matrisindeki, özellikle de agrega – çimento ara yüzeyindeki, boşluk sisteminin boyutunun küçültülmesidir. Kimyasal kısım ise zayıf kalsiyum hidroksit (kireç) kristallerini kalsiyum silikat hidrateye dönüştüren pozolanik reaksiyondan oluşmaktadır. Tautanji ve Bayasi (1999) bu davranış sonucunda silis dumanının beton basınç ve çekme dayanımını arttırmanın yanı sıra durabilite ve geçirimsizlikte de oldukça önemli iyileştirmeler sağladığını belirlemiştir.

**Açıklama [H.H.İ.27]:** Tautanji, A.H., Bayasi, Z., 1999. Effect of Curing Procedures on Properties of Silica Fume Concrete. Cement and Concrete Research, 29 (4) 1999, 497-501.

Aköz vd. (1995) ve Türker vd. (1997) silis dumanının beton içinde kullanılması, betonun asit ve sülfat saldırılarına karşı durabilitesini arttırdığını, boşluk oranını ve geçirimsizliğini ise azalttığını söylemişlerdir. Silis dumanı kullanılması betonun aşınmaya karşı direncini arttırmakta, alkali-silis reaksiyonundan oluşacak genleşmeyi azaltmaktadır. Silis dumanı kullanımı halinde taze betonda işlenebilirlik düşmekte, işlenebilirliği belirli bir seviyede tutmak üzere akışkanlaştırıcı katkı kullanma zorunluluğu oluşmaktadır (Atiş vd., 2003).

**Açıklama [H.H.İ.28]:** Aköz, F., Koral, S., Yüzer, N., Türker, F., 1995. Effects of Sodium Sulfate Concentration on the Sulfate Resistance of Mortars with and without Silica Fume. Cement and Concrete Research, 25 (6) 1995, 1360-1368.

**Açıklama [H.H.İ.29]:** Türker, F., Aköz, F., Koral, S., Yüzer, N., 1997. Effects of Magnesium Sulfate Concentration on the Sulfate Resistance of Mortars with and without Silica Fume. Cement and Concrete Research, 27 (2) 1997, 205-214.

Silis dumanı (SD) içeren betonların özelliklerini göz önüne alarak SD'nin iki şekilde kullanıldığını akılda tutmak gerekir:

**Açıklama [H.H.İ.30]:** Atiş, C.D., Özcan, F., Karahan, O., Bilim, C., Sevim, U.K., Demir, A., 2003. Silis Dumanı Kullanımının Beton Basınç Dayanımı Üzerindeki Etkileri. Türkiye Mühendislik Haberleri, Yıl:48/2003-4, Sayı:426, 121-124.

- Dayanıklılığın (durabilite) yükseltilmesi ve hidrasyon hızının azaltılması gibi nedenlerle çimento miktarında bir miktar azalma yaparak, çimento ile yer değiştiren bir malzeme olarak kullanılması,
- Hem taze ve hem de sertleşmiş halde beton özelliklerini geliştirmek için mineral katkı olarak kullanılmasıdır (Taşdemir vd., 2003).

**Açıklama [H.H.İ.31]:** Taşdemir, M.A., Bayramov, F., Yerlikaya, M., 2003. Geleneksel ve Yüksek Performanslı Çelik Donatılı Betonlar. Türkiye Mühendislik Haberleri, Yıl:48/2003-4, Sayı:426, 76-84.

### 2.2.3. Fiber Katkı Maddeleri

Son yıllarda, beton teknolojisinde büyük ilerlemeler olmuştur. Bunun en çarpıcı göstergesi betonların basınç dayanımlarının çok yüksek boyutlara varmasıdır. Betonlar sınıflandırılırken kullanılan özellik, en kolay deneyle saptanabilen basınç dayanımıdır. Ancak günümüzde bu aşırı basitleştirmenin yetersizliği kabul

edilmektedir. Sınıflandırmada dayanımla birlikte dayanıklılık (durabilite) kriteri de ele alınmaya başlamıştır. Ancak yüksek dayanım ve dayanıklılık gösteren yüksek performanslı betonlarda ortaya çıkan diğer bir sakıncanın da dikkate alınması zorunludur. Bu sakınca betonun gevrek (kırılgan) bir davranış göstermesidir. Gevreklik nedeniyle betonun enerji emme yeteneği azalmakta, yangına karşı dayanıksızlığı artmaktadır. Yüksek performanslı betonların bu olumsuz özelliklerini yok etmek için betona çeşitli miktar ve tiplerde lif (fiber katkı maddeleri) katılması yoluna gidilmiştir (Ekincioglu, 2002). Çizelge 2.4.'de çeşitli fiber tipleri ve bazı özellikleri verilmiştir.

**Açıklama [H.H.İ.32]:** Ekincioglu, Ö., 2002. Karma Lif İçeren Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışlarının İncelenmesi. Sika Teknik Bülten, Yıl:5, Sayı:2002/3, 10-17.

**Açıklama [H.H.İ.33]:** Daniel, J.L., 1998. Types of Fiber Reinforced Concrete. Fiber Reinforced Concrete. (Portland Cement Association), 2-3, Illinois.

Çizelge 2.4. Fiber tipleri ve bazı özellikleri (Daniel, 1998)

Fiber Tipi	Çap 0.001 in.	Özgül ağırlık	Esneklik katsayısı, ksi*	Çekme dayanımı, ksi*
<b>Çelik</b>				
Yüksek çekme	4.0-40.0	7.80	29000	50-250
Paslanmaz	0.4-13.0	7.80	23200	300
<b>Cam</b>				
E	0.4	2.50	10440	500
Alkali dayanımı	0.5	2.70	11600	360
<b>Polimer</b>				
Polipropilen				
Teklifli	4.0-8.0	0.90	725	65
Çoklifli	20.0-160.0	0.90	500	80-110
Polietilen	1.0-40.0	0.96	725-25000	29-435
Polyester	0.4-3.0	1.38	1450-2500	80-170
Akrilik	0.2-0.7	1.18	2600	30-145
Aramid				
Kevlar 29	0.47	1.44	9000	525
Kevlar 49	0.40	1.44	17000	525
<b>Asbest</b>				
Krokidolit	0.004-0.8	3.40	28400	29-260
Zebercet	0.0008-1.2	2.60	23800	500
<b>Karbon</b>				
I (esn. kats. yüksek)	0.30	1.90	55100	260
II (çekme day. yüksek)	0.35	1.90	33400	380
<b>Doğal</b>				
Selülöz	0.8-4.7	1.50	1450-5800	44-131
Sisal keneviri	<8.0	-	1890-3770	41-82
Hindistancevizi lifi	4.0-16.0	1.12-1.15	2760-3770	17-29
Bambu	2.0-16.0	1.50	4790-5800	51-73
Hintkeneviri elyafı	4.0-8.0	1.02-1.04	3770-4640	36-51
Akwara	40.0-160.0	0.96	76-464	-
Fil çimi	17.0	-	716	26

\*1 ksi = 6.895 MPa

Taşdemir (2003)'e göre yüksek performanslı fiber katkılı betonlar hem fiziksel hem de kimyasal etkilere karşı normal betonlara kıyasla daha iyi bir dayanıklılığa sahiptir.

**Açıklama [H.H.İ.34]:** Taşdemir, M.A., Bayramov, F., Yerlikaya, M., 2003. Geleneksel ve Yüksek Performanslı Çelik Donatılı Betonlar. Türkiye Mühendislik Haberleri, Yıl:48/2003-4, Sayı:426, 76-84.

Cam ve polipropilen fiber katkılı betonlar üzerinde yapılan araştırmalar sonucunda bu fiberler hakkında şu sonuçlar elde edilmiştir (Daniel, 1998; Daniel vd., 1998; Liang vd., 2002; Puertas vd., 2003; Ünal vd., 2003)

**Açıklama [H.H.İ.35]:** Daniel, J.I., 1998. Glass Fiber Reinforced Concrete. Fiber Reinforced Concrete. (Portland Cement Association), 11-20, Illinois.

**Açıklama [H.H.İ.36]:** Daniel, J.I., Roller, J.J., Anderson, E.D., 1998. Polymeric Fiber Reinforced Concrete. Fiber Reinforced Concrete. (Portland Cement Association), 22-33, Illinois.

**Açıklama [H.H.İ.37]:** Liang, W., Cheng, J., Hu, Y., Luo, H., 2002. Improved Properties of GRC Composites Using Commercial E-glass Fibers with New Coatings. Materials Research Bulletin, 37 (2002), 641-646.

**Açıklama [H.H.İ.38]:** Puertas, F., Amat, T., Fernandez-Jimenez, A., Vazquez, T., 2003. Mechanical and Durable Behaviour of Alkaline Cement Mortars Reinforced with Polypropylene Fibres. Cement and Concrete Research, 33 (2003), 2031-2036.

**Açıklama [H.H.İ.39]:** Ünal, B., Köksal, F., Eyyubov, C., 2003. Polipropilen ve Çelik Liflerin Yol Kaplama Betonlarının Mekanik ve Dürabilite Özelliklerine Etkisi. Türkiye İnşaat Mühendisliği On Yedinci Teknik Kongre ve Sergisi, İstanbul.

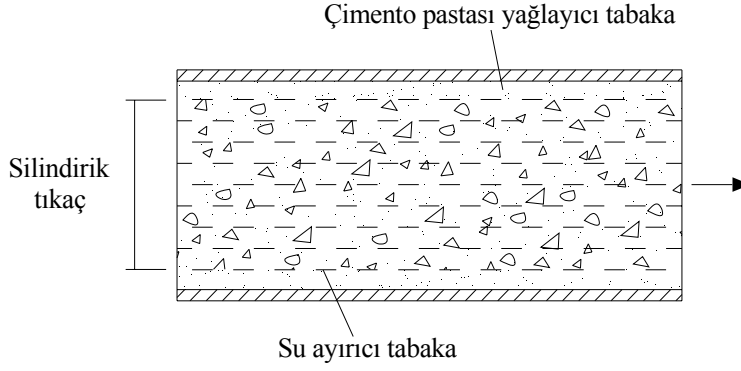
- Lif tipi ve lif içeriğinin beton basınç dayanımı üzerine önemli bir katkısı olmadığı saptanmıştır
- Betonun terleme miktarını azaltmışlardır
- Betonun işlenebilirlik özelliği fiberlerin 5 kg/m<sup>3</sup>'e kadar eklenmesi durumunda çok fazla etkilenmezken, daha yüksek ekleme oranlarında etkilenmiştir.
- Her iki fiber katkıda betondaki rötre ve büzülme çatlaklarında genel olarak azalmalara sebep olmuştur.
- Betonun aşınma direncini arttırmışlardır
- Betonun darbe direncini arttırmışlardır
- Betonun çekmeye dayanıklılığını, eğilme mukavemetini, ilk çatlak mukavemetini ve ilk çatlak oluşumunda çekme dayanıklılığını arttırmışlardır.

Beton içinde liflerin homojen dağılımının sağlanması ve topaklanmanın önlenmesi de liflerin betonun özellikleri üzerinde yapması beklenen iyileştirmeleri doğrudan etkiler.

### 2.3. Pompa Betonları

Pompa betonlarının taze haldeki nitelikleri, pompalanabilirlik açısından büyük önem taşır. Problem, boru içinde bir basınç gradienti altında hız kazanan, iri katı taneli bir süspansiyonun boruyu tıkamadan, karışımın homojenliğini yitirmeden ve minimum beslenme enerjisiyle iletilmesidir.

Bir boru hattındaki betonun akışına ilişkin fiziksel görünümü Şekil 2.5.'deki gibidir.

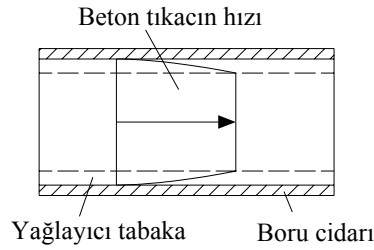


Şekil 2.5. Silindirik tıkaç şeklinde betonun akışı

Pompalanan beton, kayganlığı arttıran çimento şerbeti tabakası tarafından boru cidarından ayrılmış bir şekilde boru hattı içinde hareket eder. Cidara yakın çimento şerbetindeki su, hidrolik olarak iç kısımdaki ara kütlelin suyu ile bağlantılıdır. Hidrolik teoriye göre, borunun ortasında, silindirik bir kütle şeklinde akan (plug flow) betonun hızı sabittir ve agrega daneleri arasında nispi bir hız farkı yoktur .

Boru cidarına doğru bu hız farkı sıfıra düşer. Akış direnci boru boyunca sabittir ve beton basıncı yatayda lineer olarak azalır. Bu hidrolik durum ancak tam olarak doymuş betonla sağlanabilir. Yani bu, betonun boşlukları dolduracak miktardan daha fazla su ihtiva etmesi anlamına gelir (Özsöylev, 1996). Silindirik formülü beton tıkaçın hız profili Şekil 2.6. 'da gösterilmiştir.

**Açıklama [H.H.İ.40]:** Özsöylev, T., 1996. Beton İletiminde Çağdaş Yöntem: Beton Pompalamak. 200s.



Şekil 2.6. Silindirik formülü beton tıkaçın hız profili

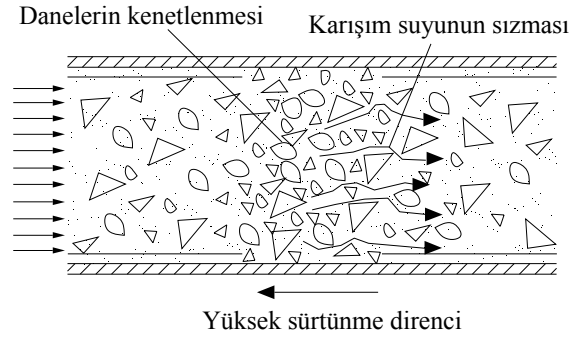
Pompa betonlarının işlenebilme özelliği, normal koşullarda taşınan ve yerleştirilen betonlarınkinden oldukça farklıdır. Zira bunların iletimi, zorlamalı (cebri ) bir akışla

oluşur; beton yüksek bir basınç gradienti etkisindedir, itici pistonun yön değiştirmesi sonucu basınçtaki süreklilik de mükemmel değildir, boru ile beton arasında ve betonun bileşenleri arasında oluşan kayma ve sürtünme gerilmeleri, yerleştirilen betonun kalıbıyla sürtünmesi sonucu oluşan gerilmelerden farklıdır. Pompa betonlarının işlenebilmesini incelemek için boru içinde basınç etkisiyle hareket eden kütlelerin hidrodinamiğinin de ele alınması zorunludur.

Boru içinde süspansiyon akışı iki ana türde gelişir: Suya doymun (saturated ) ve suya doymamış (unsaturated) akış. Pompa betonlarında da bu iki tür akışın olması doğaldır.

Suya doymun bir süspansiyonda taneler arası boşlukları doldurmaya yeterli sudan fazla miktarda su mevcuttur. Bu durumda esas taşıyıcı sudur ve akış diğer konuma oranla daha kolay olarak gelişir. Ancak suyun fazla olması durumunda betonun kohezyonu bozulur ve kütle homojenliğini kaybeder. Suya doymamış akımda ise hız düşer, iletim için gerekli debiyi sağlamak dileğiyle basınç artırılır. Bu durumda zaten az olan su, kütleden kaçar (basınç altında su salma, bleeding), iri katı taneler kenetlenerek iletim durur (Crepas, 1985; Yücel 1997). Bu durum Şekil 2.7.'de gösterilmiştir.

**Açıklama [H.H.İ.41]:** Crepas, R.A., 1985. Pumping Concrete Techniques and Applications. Concrete Construction Publications Inc., Chapter 2, 1-15.



Şekil 2.7. Borudaki betonda su azalmasının etkisi

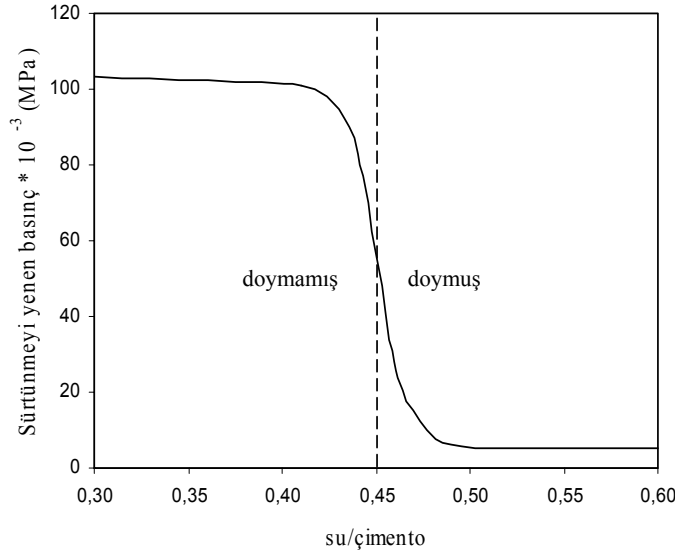
Borunun içindeki betonda bir akış direnci vardır, bu direnç boru - beton sürtünmesinden kaynaklanır ve akış hızının da fonksiyonudur. Hız arttıkça bu direnç

de artar. Direnç, borudaki yük kaybının (loss of head) nedenidir. Doygun durumda direnç hızla lineer, doymamış durumda eksponansiyel değişir. Örneğin 10 cm çapında ve ilk basıncı 35 Atü olan bir boruda doymuş durumda 250 m yatay beton pompalamak mümkün iken doymamış hale geçildiğinde bu mesafenin 1.1 m'ye indiği ifade edilmektedir (Akman, 1996).

Doymuş akımın doymamış akıma dönüşmesi basıncın ve hızın etkisiyle meydana geldiği gibi karışımdaki su içeriğinin ve ince tane miktarının yani bir diğer deyişle su/çimento oranının da fonksiyonudur. Ede (1957)'nin bu konuda hazırladığı eğri standartlara da geçmiştir (Browne ve Bamforth, 1977). Şekil 2.8.'de bu eğri gösterilmiştir.

**Açıklama [H.H.İ.42]:** Ede, A.N., 1957. The Resistance of Concrete Pumped Through Pipelines. Magazine of Concrete Research, V.9, No.27, 129-140.

**Açıklama [H.H.İ.43]:** Browne, D.B., Bamforth, P.B., 1977. Test to Establish Concrete Pumpability. ACI Journal, Title No. 74-19, 193-202.



Şekil 2.8. Pompa betonunun doymuş ve doymamış konuma geçişinde su/çimento oranının etkisi

Belirli bir karışıma sahip betonun doymuş halden doymamış hale geçmesine yol açan bir basınç değeri vardır. Bu basınç değeri iri tanelerin ayrılmasına ve borunun tıkanmasına sebep olur, ve çok önemli bir malzeme sabitidir. Bu basınç değerine segregasyon basıncı adı verilir. Betonun su içeriği; su/çimento oranı, ince tane miktarı, boşluk yapısının fonksiyonu olan bu basınç, pompalama ekipmanının

tasarımı, gerekli debinin belirlenmesi ile de bağımlıdır. Segregasyon basıncı için bir optimum değer vardır: Segregasyon basıncı iletim için gerekli ve uygulanan basınçtan çok düşükse segregasyon meydana gelir ve boru tıkanır, segregasyon basıncı çok yüksek olunca da su ve ince malzeme sızması gelişemez ve çepere yağlayacak tabaka oluşmaz ve sürtünmenin artması sonucu iletim basıncı yetersiz kalır, beton basılamaz. Şu halde optimum segregasyon basıncı iletim için gerekli basınca yakın fakat ondan bir miktar fazla olmalıdır (Yücel, 1997).

Pompa betonlarına özgü standart geliştirildiği söylenemez, fakat bu betonların normal betonlardan olan farklılıklarını vurgulayan tavsiyeler (recommendations) mevcuttur. Aslında sertleşmiş pompa betonlarının dayanıklılık (durabilite) ve dayanım niteliklerinin normal betonlarınkilerden farklı olmaması doğaldır; farklılık sadece taze betonlarda bahis konusudur.

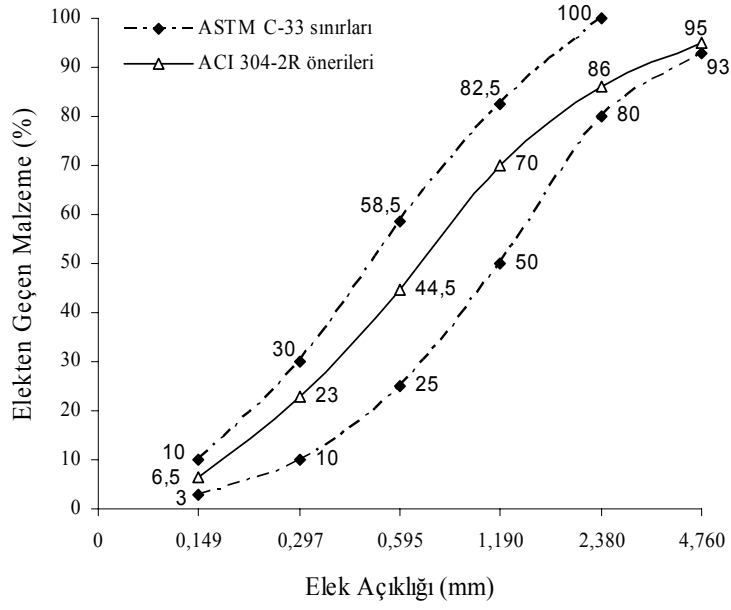
Amerikan Beton Enstitüsünün **ACI 304-2R** sayılı “Pompalama yöntemleri ile betonun yerleştirilmesi” adlı komite raporu, normal ve hafif agregalı pompa betonlarının birleşimleri hakkında bilgiler vermektedir.

**Açıklama [H.H.İ.44]:** ACI, Manual of Concrete Practice Part2, 1986. ACI 304-2R:71, Placing Concrete by Pumping Methods, Chapter 4.

304 - 2R’de en büyük ağırlık, 4.76 mm elek göz boyutlu 4 No elekten geçen ince agrega (kum) bölümüne verilmiştir. ASTM C 33’de kumlar için öngörülen sınır eğrilerinin ortasından geçen bir kum granülometrisi tavsiye edilmekle beraber, boru çapının 152mm’den küçük olması durumunda kumun %15-30’unun 50 No (0.297mm) ve %5 - 10’unun 100 No (0.149mm) eleklerden geçmesi önerilmektedir. Kumun granülometrisi Şekil 2.9’da gösterilmiştir.

ASTM C 33 tarafından verilen sınır eğrilerindeki Abrams incelik modülleri 2.13 ve 3.37 arasındadır. 304 - 2R’in tavsiyesinde bu modülün 2.40 ve 3.00 arasında olması uygun görülmektedir.

İri agregaların beton içindeki mutlak hacimleri için, kullanılan kumun incelik modülüne göre bazı değerler çizelge halinde verilmiştir (Çizelge 2.5). Bu çizelge normal betonlar için önerilmiştir. Pompa betonlarının tek farkı bu hacimlerin %10 oranında azaltılabileceği ve bunun yerine tabiatı ile kumun ikâme edilebileceğidir



Şekil 2.9. Pompa betonu kumları için granülometri eğrileri

Çizelge 2.5. Beton birim hacmindeki iri agrega mutlak hacmi (m<sup>3</sup>)

Maksimum tane boyutu (mm)	Kumun Abrams incelik modülü			
	2.40	2.60	2.80	3.00
10	0.50	0.48	0.46	0.44
13	0.59	0.57	0.55	0.53
19	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
38	0.75	0.73	0.71	0.69
51	0.78	0.76	0.74	0.72

Çizelgeden görüldüğü üzere kum irileştikçe ve iri agrega maksimum tane çapı küçüldükçe karışımdaki iri agrega miktarı azalmaktadır. Bilindiği gibi iri agrega



miktarının artması ekonomi ve mukavemet açısından olumludur. Pompa betonlarında bu yararın pek sağlanamadığı söylenebilir.

Agrega biçim ve yüzey özellikleri de üzerinde durulan bir husustur. İri kırmataş veya yuvarlak agregaların kullanılmaları mümkündür, ancak kırmataş durumunda sürtünme, su miktarı ve harç fazlalığı gibi sorunlar olacağı unutulmamalıdır. Mamafih kırmataş ve yuvarlak iri agregaların birlikte kullanılmaları daha iyi sonuçlara götürmektedir. Kumun ise muhakkak yuvarlak doğal dere kumu olması gerekir.

Pompa betonlarında çimento dozajının yüksek tutulması, su miktarının yüksekliği ve yüksek çökme istenmesi nedeniyle gerekli olur. Ekonomik olmayan bu çözümün kum cinsi ve miktarı değiştirilmesi daha uygundur.

ACI 304 - 2R standart tavsiyesinde su miktarı üzerindeki öneriler, çökme değerlerine ve agregaların su emme kapasitelerine göre yapılmaktadır. Çökmelerin 5 cm ve 15 cm arasında kalması ve çökmenin su katılmadan artırılma yollarının aranması vurgulanmaktadır. Fazla suyun aşırı terlemeye (bleeding) ve çökmeye yol açacağı hatırlatılmaktadır. Su emme kapasiteleri yüksek hafif agregalı pompa betonlarında önce emdirilen suyla, sonradan katılan 'aktif' suyun farklı oldukları, aktif suyun normal agregalı betonların karma suyuna eşdeğer olduğu belirtilmektedir.

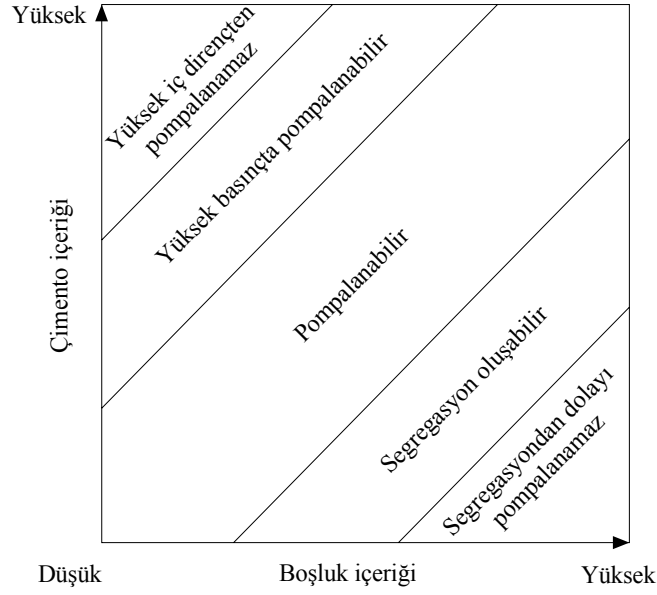
Katkı maddeleri normal su indirgeyiciler, hava sürükleyiciler, ince taneli mineral katkılar (puzolanik veya eylemsiz) olarak gruplandırılmıştır. Mamafih bu gruplara girmeyen, suda çözünebilen polimer katkılar da standartta zikredilmektedir. Selüloz deriveleri olan bu katkıların bir m<sup>3</sup>'e 60 - 150g. katıldığı, suyun viskozitelerini yükselttikleri, terlemeyi ve boru- beton sürtünmesini azalttıkları belirtiliyor. Hava sürükleyici katkıların akışı kolaylaştırdığı, terlemeyi önlediği anlatılıyor ve hava oranının %3 - 5 arasında kalmasının gerektiği, daha yüksek hava miktarlarında betonun sıkışabilir hale gelerek boruyu tıkayabileceği öne sürülüyor.

Pompa betonlarının laboratuvar testleri için bir alet geliştirilemediği raporda vurgulanıyor. Nitekim bu betonların işlenebilmelerinin denetimi, çökme, yayılma vb. standart deneylerle sürdürülmektedir.

Bu değerlendirmelere ilave olarak pompa betonları ile ilgili **Murdock vd. (1991)** İngiltere’de yapılmış çalışmalardan, bu betonların bileşenleri hakkındaki bilgileri ve önerileri şu şekilde özetlemişlerdir (Yücel, 1997) .

**Açıklama [H.H.İ.45]:** Murdock, L.J., Brook, K.M., Dewar, J.D., 1991. Concrete Materials and Practice. Edward Arnold, 152-174.

Bu çalışmalarda, pompalanabilmenin önemi dikkate alınarak özellikle agrega bahsi üzerinde durulmuştur. Pompa boru hattında kaydırıcı tabakanın oluşmasına yardımcı olan ince agreganın (300 µm altı) azlığı betonun terlemesine ve beton kütesinin kuru, sert bir tıkaca dönüşerek boruyu tıkamasına neden olacağı vurgulanmakta, öte yandan çok fazla ince malzeme boru hattında içsel direncin artmasına ve böylece betonun daha büyük kuvvetlerle iletilmesine neden olacağı ifade edilmektedir. Bu nedenle pompalanacak betonun kum oranı % 3-5 daha yüksek tutulması ve ince malzeme aralığının 300 µm’lik elek için % 15-20’yi ve 150 µm elek için % 3’ü aşması tavsiye edilmekte. Kırmataş tozu önerilmiyor fakat eşit oranlarda kum ile kullanılırsa iyi neticeler elde edilebileceği bildirilmekte.. Kullanılacak iri agregaların özellikle yuvarlak ve deniz çakılları olması isteniyor bunun yanında kırmataş agregalarda ise problemlerin doğabileceği, ama bunun yüksek oranda ve uygun ölçüde kum ile kullanılması halinde başarılı sonuçlar alınabileceği ifade edilmekte. Agregaların granülometri eğrilerinin sürekli olması, süreksiz olmaması isteniyor. Pompa betonların kıvam kontrollerinde, çökme deneyinin yaygın kullanıldığı, uygun pompalanabilme içinse 100 mm üzerindeki çökme değerleri tavsiye edilmektedir. Yine pompalanabilir betonlar üzerinde denetim amacıyla toplam agrega boşluğunun belirlenmesi önerilmektedir. Toplam agrega boşluğunu ölçen bir aletin geliştirildiği bildiriliyor. Agregada boşluklarını dolduracak malzeme, su ve imento esaslı karışımlardır. Bu imento esaslı malzemenin miktarı, boşlukların yeterli dolması açısından önemli olacaktır. Beton içerisinde uygun pompalanabilmeyi sağlayacak minimum çimentolu malzeme 300 kg/m<sup>3</sup> veya ince içerikli çimentolu malzeme 350 kg/m<sup>3</sup> tavsiye edilmektedir (ince içerik: 300µm altı). Yüksek imento içeriğinden sakınılması gerektiği çünkü bu durumun yüksek kohezite vererek (yapışmaya neden olur) boru hattındaki sürtünmeyi artıracaağı (ince kum içeriğindeki gibi) ve bunun da pompalanabilmeyi olumsuz etkileyeceği bahsedilmektedir. şekil 2.10.’da, bir beton karışımının pompalama karakteristikleri üzerinde imento içeriği ve agrega boşluğunun birleştirilmiş etkisi gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Çimento ve boşluk içeriğinin pompalanabilirlik üzerindeki etkisi

Burada pompalanabilir karışımı veren merkez bantta, minimum boşluk minimum çimento dozajına, maksimum boşluk ise yüksek çimento dozajına karşı gelmektedir. Merkez bandın sınırları verilirken katkı kullanımı düşünülmüştür. Burada kullanılan katkıların özellikle akışkanlaştırıcıların, beton karışımların üretiminde kıvam ile ilgili zorlukların aşılmasında, akıcı kıvamlı betonların üretilmesindeki kolaylıkları bahsedilmekte, bununla beraber bu tip karışımların hava sürükleyerek, segregasyona sebep olabilecekleri unutulmaması bildirilmekte ve bu yönde problemlili betonlarda su tutuculuğu artıran ve pompalanabilirliği kolaylaştıran katkıların kullanılması, segregasyonu önleyerek pompalanabilirliği iyi yönde etkileyeceği tavsiye olunmaktadır (Yücel, 1997).

### **3. MATERYAL VE METOT**

#### **3.1. Materyal**

##### **3.1.1. Deneylerde kullanılan agregalar**

Üretilen beton numunelerinde beş çeşit agrega kullanıldı. Bunlar; doğal yuvarlak dere kumu, kırmataş tozu (KT tozu), çakıl II (ÇII), çakıl I (ÇI) ve kırmataş II (KTII) olup maksimum dane çapı 25 mm'dir. Kullanılan agregaların diğer özellikleri aşağıdaki paragraflarda verilmiştir.

###### **3.1.1.1. Kum**

Çalışmalarda, Antalya Karaöz beldesinde bulunan çakıl ocağından sağlanan, 4 mm'den ince doğal dere kumu kullanıldı. Üretilen betonlarda kullanılan bu kum üzerinde, özgül ağırlık ve su emme deneyleri ile elek analizleri yapılmıştır. Bunlardan özgül ağırlık ve su emme deneylerine ait sonuçlar Çizelge 3.1.'de görülmektedir. Elek analizi sonuçları ise Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'de verilmiştir.

###### **3.1.1.2. Kırmataş tozu**

Üretilen betonlarda Antalya Kepez'de bulunan tesisten sağlanan, 2 mm'den ince kırmataş tozu kullanıldı. Malzeme üzerinde yapılan deneylerin sonuçları Çizelge 3.1, Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'de verilmiştir.

###### **3.1.1.3. Çakıl I ve II**

Üretilen betonlarda doğal iri agrega olarak Antalya Karaöz beldesinde bulunan çakıl ocağından sağlanan çakıl I ve çakıl II kullanıldı. Bu malzemeler üzerinde özgül ağırlık, su emme ve elek analizi deneyleri yapıldı. Sonuçlar Çizelge 3.1, Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'de verilmiştir..

### 3.1.1.4. Kırmataş II

Üretilen betonların bir bölümünde GÖLTAŞ'ın Isparta'daki tesislerinden sağlanan kalker kırmataş II kullanıldı. Malzeme üzerinde yapılan deneylerin sonuçları Çizelge 3.1, Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Agregaların bazı fiziksel özellikleri

	Kum	KT tozu	ÇI	ÇII	KTII
Özgül ağırlık (kg/dm <sup>3</sup> )	2.65	2.70	2.67	2.68	2.69
Su emme (%)	1.0	1.3	0.6	0.4	0.3

Çizelge 3.2. ASTM'e göre agrega granülometrileri

Agrega türü Elek açıklığı	Elekten Geçen Malzeme (%)'leri									
	(mm)	25.4	19.1	9.52	4.76	2.38	1.19	0.59	0.279	0.149
Kırmataş II	100	98	0	0	0	0	0	0	0	0
Çakıl II	98	50	0	0	0	0	0	0	0	0
Çakıl I	100	100	46	2	0	0	0	0	0	0
Kum	100	100	100	98	78	48	31	15	6	
KT tozu	100	100	100	100	88	46	31	21	14	

Çizelge 3.3. TS'ye göre agrega granülometrileri

Agrega türü Elek açıklığı	Elekten Geçen Malzeme (%)'leri									
	(mm)	31.5	16	8	4	2	1	0.5	0.25	0.125
Kırmataş II	100	49	0	0	0	0	0	0	0	0
Çakıl II	100	13	0	0	0	0	0	0	0	0
Çakıl I	100	99	34	0	0	0	0	0	0	0
Kum	100	100	100	93	72	51	31	14	4	
KT tozu	100	100	100	100	78	47	31	20	6	

### 3.1.1.5. Çimento

Beton üretiminde kullanılan çimento PÇ 42.5 niteliğindedir. Çimentolar, 50 kg'lık torbalar halinde temin edilmiştir. Çimentolar, hava almayacak şekilde poşetlenerek stoklanmıştır. Çimentoların kimyasal özellikleri Çizelge 3.4.'de, fiziksel ve mekanik özellikleri ise Çizelge 3.5.'de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Çimentoların kimyasal özellikleri

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K.K	Ç.K	S.CaO	Cl <sup>-</sup>
19.24	3.92	3.40	64.98	1.93	2.82	2.47	0.32	1.66	0.006

Çizelge 3.5. Çimentoların fiziksel ve mekanik özellikleri

Blaine cm <sup>2</sup> /gr	Özgül Ağ. gr/cm <sup>3</sup>	Priz Baş.	Priz Son.	Genleşme	Basınc Davanımları (MPa)		
					2 gün	7 gün	28 gün
3015	3.10	2s 50dk	3s 50dk	1	25.1	39.9	52.7

### 3.1.1.6. Kimyasal Katkı

Üretilen betonların hepsinde melamin sülfonat polimeri esaslı süper akışkanlaştırıcı beton katkısı kullanılmıştır. Kullanılan katkı, ASTM C 494-81 tip F ve TS EN 934-2 standartlarına uygundur. Katkının özellikleri Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Kimyasal katkının özellikleri

Katkı cinsi	Özgül ağırlık (kg/dm <sup>3</sup> )	Katı madde oranı
Süper akışkanlaştırıcı	1.21	% 39

### 3.1.1.7. Uçucu Küller

Çalışmalarda uçucu kül olarak Çatalağzı, Seyitömer, Tunçbilek ve Çayırhan Termik Santralleri'nden sağlanan dört farklı kül kullanılmıştır. Uçucu küllerin kimyasal özellikleri ve özgül ağırlıkları Çizelge 3.7.'de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Uçucu küllerin kimyasal özellikleri ve özgül ağırlıkları

Oksit (%)	TS EN 450	TS EN 197-1		TS 639	ASTM C 618		Çatalağzı (uK1)	Seyitömer (uK2)	Tunçbilek (uK3)	Çayırhan (uK4)
		V	W		F	C				
SiO <sub>2</sub>							58.63	54.38	57.98	50.18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							26.03	20.60	19.87	13.30
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							6.12	11.16	10.14	8.77
S+A+F				> 70.0	> 70.0	> 50.0	90.78	86.14	87.99	72.26
CaO							1.17	2.92	2.26	12.84
MgO				< 5.0			2.50	4.13	4.76	5.37
SO <sub>3</sub>	< 3.00			< 5.0	< 5.0	< 5.0	0.19	0.59	0.41	3.34
K <sub>2</sub> O							4.75	3.15	1.78	2.16
Na <sub>2</sub> O							0.47	0.79	0.32	2.99
KK	< 5.00	< 5.0	< 5.0	< 10.0	< 6.0	< 6.0	1.10	3.01	2.117	0.83
Cl <sup>-</sup>	< 0.10						0.016	0.006	0.002	0.015
Serb. CaO	< 1.00						0.14	0.26	0.17	0.55
Reak. SiO <sub>2</sub>	> 25.0	> 25.0	> 25.0				34.16	39.08	40.11	40.83
Reak. CaO		< 10.0	> 10.0				0.63	2.47	1.03	8.77
Özgül ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )							2.00	2.13	2.25	2.36

Çizelge 3.7.'deki verilere bakılarak kullanılan uçucu küllerle ilgili şunlar söylenebilir:

- 1) TS EN 197-1 standardına göre, Tunçbilek, Çatalağzı, Seyitömer, Çayırhan uçucu külleri reaktif kireç miktarının % 10'un altında olması nedeniyle V sınıfına (silisli uçucu kül) girmektedir.
- 2) TS EN 197-1 standardında istenilen koşullar (reaktif silis, reaktif kireç ve kızdırma kaybı) dikkate alındığında, tüm küller reaktif silis için istenilen en az %25 olma gerekliliğini sağlamakta, sınıfları ile ilgili olarak TS EN 197-1'de istenilen koşullara uygundur.
- 3) TS 639 standardına göre, SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (S+A+F) > %70 koşulunu sağlamaktadır. SO<sub>3</sub> miktarı için < %5 koşulunu, Tunçbilek, Çatalağzı, Seyitömer sağlamakta; Çayırhan uçucu külü sınırın dışında kalmaktadır. Yine bu standartta getirilen MgO < %5 ve kızdırma kaybı < %10 koşuluna tüm küller uymaktadır.

4) ASTM C 618 standardına göre,  $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3 > \%70$  koşulu ve analitik CaO  $< \%10$  koşulunu gerçekleştiren Tunçbilek, Çatalağzı, Seyitömer uçucu külleri F sınıfına (düşük kireçli kül); S+A+F  $> \%50$  ve analitik CaO  $> \%10$  koşulunu sağlayan Çayırhan C sınıfına (yüksek kireçli uçucu kül) girmektedir. ASTM C 618 standardında, uçucu küller elde edildikleri kömürün niteliğine göre de sınıflandırıldığı için Türkiye’de taşkömürünün yakılması ile üretilen tek kömür Çatalağzı olup; bu kül F sınıfına girmektedir. Diğer santrallerde linyit ve benzeri kömür kullanıldığı için, diğer küller C sınıfına girmektedirler. Bu standartta  $SO_3$  için getirilen sınırlama (%5), TS 639 ile aynıdır. Yine bu standartta verilen kızdırma kaybı  $< \%6$  olmalı koşuluna tüm küller uymaktadır.

5) **TS EN 450** standardına göre Tunçbilek, Seyitömer, Çatalağzı, külleri hem  $SO_3$  ( $< 3.00$ ) hem de serbest kireç ( $< 1.00$ ) sınırlamalarına uygundur. Çayırhan uçucu külü, yüksek kireçli olduğundan serbest kireç yüzdesi %1’in üzerindedir.  $SO_3$  sınırlamasına gelince, yüksek kireçli küllerden, Çayırhan  $SO_3$  açısından standart dışında (% 3.34) kalmaktadır. Kızdırma kaybı ve klorür koşuluna tüm küller uymaktadır.

**Açıklama [H.H.I.46]:** TS EN 450, 2002. Uçucu kül-Betonda kullanılan-Tarifler, Özellikler ve Kalite Kontrol, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

6) Kimyasal bileşim açısından küller genel olarak karşılaştırılırsa standartlarda  $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$  miktarı, reaktif silis, reaktif kireç  $SO_3$ , MgO, serbest kireç, kızdırma kaybı ve Cl<sup>-</sup> için istenilen sınırlamalara, Çayırhan, Tunçbilek, Seyitömer, Çatalağzı uçucu külleri tamamen uymaktadır.

### 3.1.1.8. Silis Dumanı

Silis dumanı Antalya Etibank Ferrokrom fabrikalarından sağlanmıştır. Silis dumanının kimyasal özellikleri Çizelge 3.8.’de verilmiştir. Silis dumanının özgül ağırlığı  $2.30 \text{ gr/cm}^3$ ’tür.

Çizelge 3.8. Silis dumanının kimyasal özellikleri

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	S+A+F	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
77.06	0.84	1.28	79.17	0.73	5.70	0.21	5.16	0.32



### 3.1.1.9. Fiber Katkı

Çalışmalarda fiber katkı olarak Sika Fibre tipi polipropilen fiber kullanıldı. Polipropilen lifin boyu 12 mm ve çapı ise 18 mikron'dur.

## 3.2. Metot

Taze betonunun pompalanabilir olmasında ve basınç altında betonun davranış özelliklerinin etkisini belirlemeyi amaçlayan araştırmada, izlenen yol ve gerçekleştirilen deneylerin detayları bu bölümde açıklanmıştır. İlk çalışma, literatürlerdeki önerilere uygun pompa betonu karışımlarını tespit etmek olmuştur.

### 3.2.1. Beton Karışımlarının Saptanması

Sertleşmiş haldeki pompa betonunun normal betonlardan beklenen niteliklere sahip olması doğal olarak gereklidir. Bu niteliklerin başında yeterli mekanik (basınç) dayanımı ve dayanıklılık (durabilite) gelir. Bu iki özelliğin sağlanmasındaki ön koşul ise su/çimento (S/C) oranının mümkün mertebede düşük tutulmasıdır. Pompa betonlarının kıvamları akıcı plastiktir. Hem akıcı, hem de düşük su/çimento oranlı betonların üretimi süper akışkanlaştırıcı (süperplastifiyan, SP) kimyasal katkı kullanılarak sağlanabilmiştir. Bu araştırmada, polipropilen fiber malzemelerin etkileri de incelenmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmada günümüz teknolojisine uygun yüksek dayanımlı bir beton karışımı elde etmek üzere aşağıdaki kriterler kabul edilmiştir.

- Beton en az C 30 kalitesinde olacaktır.
- Çimento dozajı  $C = 350 \text{ kg/m}^3$  alınacaktır.
- su/çimento (S/C) oranı 0.42 değerini aşmayacaktır.
- Betonun çökmesi en az 10 cm olacaktır.

İri agrega olarak salt çakıl ve çakıl+kırmataş karışımı kullanılması düşünülmüş ve buna göre karışımlar düzenlenmiştir. İnce agrega olarak kum+KT tozu karışımı kullanılmıştır. Agrega karışım oranları Çizelge 3.9.'da gösterilmiştir.

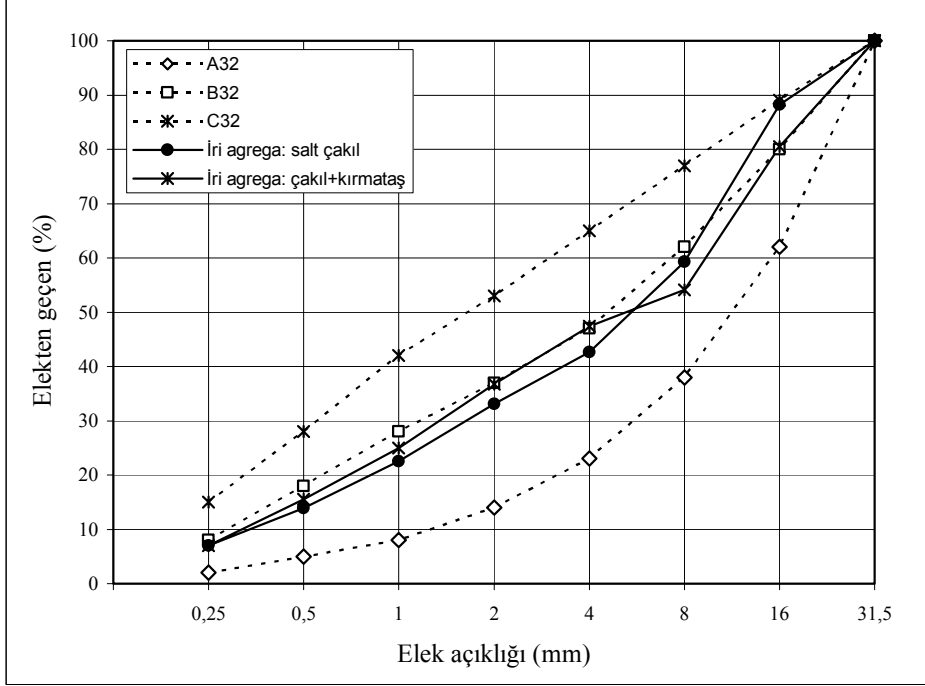
Çizelge 3.9. Agrega karışım oranları (%)

Agrega Türü	1. seri İri agrega: salt çakıl	2. seri İri agrega: çakıl+kırmataş
Çakıl II	13	-
Çakıl I	42	37
Kırmataş II	-	18
Kum	34	34
KT tozu	11	11

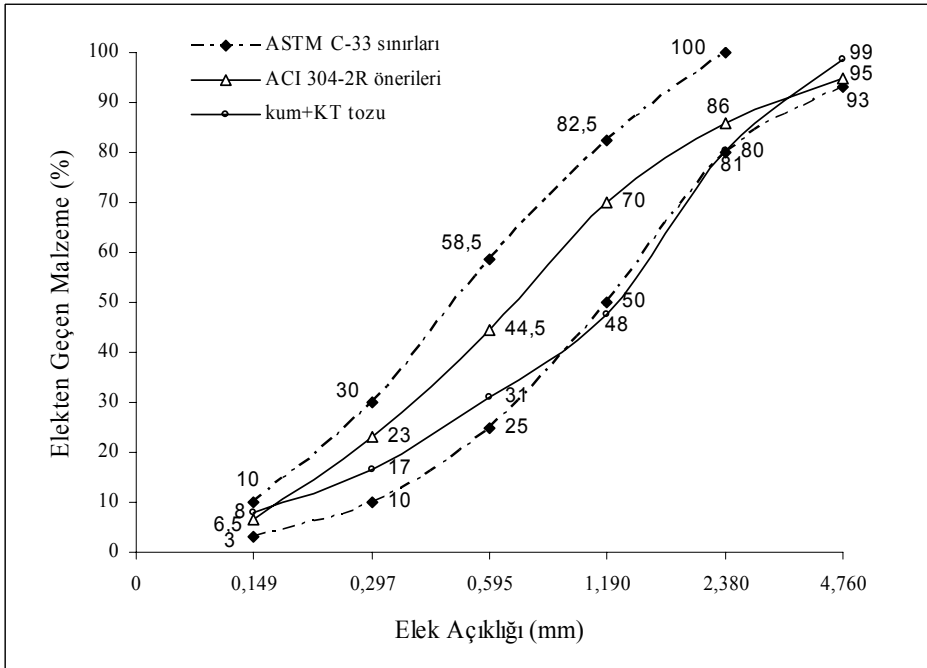
Deneylerde kullanılan agregaların karışım oranları Çizelge 3.10'da, agrega karışım granülometri eğrileri Şekil 3.1.'de ve kum bölümü granülometri eğrisi de Şekil 3.2.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.10. Referans eğrilerinin ve karışımların ordinatları, incelik modülleri

Elek çapı mm	Elekten Geçen Malzeme (%)'leri				
	A32	B32	C32	1. seri karışım	2. seri karışım
31.5	100	100	100	100	100
16	62	80	89	88	81
8	38	62	77	59	54
4	23	47	65	43	47
2	14	37	53	33	37
1	8	28	42	23	25
0.5	5	18	28	14	16
0.125	2	8	15	7	7
İncelik modülü	5.48	4.20	3.31	4.33	4.34



Şekil 3.1. Agregaların granülometri eğrileri



Şekil 3.2. Kum bölümü granülometri eğrisi

Üretilen tüm betonlarda istenilen çökme miktarını sağlamak için süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Şahit betonlar hariç tüm betonlara çimento miktarının %10'u ve %20'si oranlarında uçucu kül ilave edilmiştir. Bunun haricinde çimento miktarının %10'u oranında uçucu kül + %10'u oranında silis dumanı ve %10 UK + %10 SD + Polipropilen fiber ilave edilmiş karışımlar hazırlanmıştır. Bu karışım oranları için şu kısaltmalar kullanılmıştır:

uK1: Çatalağzı uçucu külü

uK2 : Seyitömer uçucu külü

uK3 : Tunçbilek uçucu külü

uK4 : Çayırhan uçucu külü

A : Çimentonun, %10'u oranında uçucu kül ilave edilen karışım (%10 uK)

B : Çimentonun, %20 si oranında uçucu kül ilave edilen karışım (%20 uK)

C : Çimentonun, %10'u oranında uçucu kül + %10'u oranında silis dumanı eklenmiş karışım (%10 uK + %10 SD)

D: Çimentonun, %10'u oranında uçucu kül + %10'u oranında silis dumanı + polipropilen fiber eklenmiş karışım

Ç : iri agregası olarak Çakıl I + Çakıl II kullanılan karışım

KT : iri agregası olarak Çakıl I + Kırmataş II kullanılan karışım

Örneğin uK1-B-Ç olarak isimlendirilen beton numunesinde, uçucu kül olarak çimentonun %20'si oranında Çatalağzı uçucu külü, iri agregası olarak da Çakıl I + Çakıl II karışımı kullanılmıştır.

Beton üretiminde 55 lt hacminde düşey paletli bir laboratuvar betoniyesi kullanıldı. Dökülen betonlarda, karışım hazırlandıktan sonra su eklendi ve 2 dakika karıştırıldıktan sonra süper akışkanlaştırıcı katkı ilave edildi. Süper akışkanlaştırıcının geciktirilerek ilavesi çimentonun aktif ögeleri (C<sub>3</sub>A ve C<sub>4</sub>AF) ile girişimini ve muhtemel çökme kaybını önlemek içindir. Daha sonra 5 dakika daha karıştırmaya devam edilmiştir, 8. dakikada betonun çökme, çökme yayılması, birim

ağırlık, terleme ve basınç altında terleme deneyleri yapılmıştır. Beton ayrıca basınç deneyleri için 15×15×15 cm boyutundaki 3 adet küp kalıba yerleştirilmiştir.

### **3.2.2. Yapılan Deneyler**

#### **3.2.2.1. Çökme (Slump) Deneyi**

Çalışmada üretilen her beton için TS EN 12350-2'ye göre çökme deneyi yapılmıştır. Taze beton, slump konisine üç tabaka halinde ve her tabaka koninin üçte birini dolduracak şekilde 25 kez şişlenerek yerleştirilmiştir. Beton yerleştirildikten sonra üst kısım mala ile düzeltilmiştir. Daha sonra doldurulan beton sarsılmadan koni yukarı doğru çekilerek alınmıştır. Beton kendi ağırlığıyla bir miktar çökmeye çökme miktarı ölçülmüştür.

#### **3.2.2.2. Çökme Yayılması Deneyi**

Çökme yayılması testi için klasik slump deneyinden sonra beton kütesinin yanal yayılması ölçülmüştür. Bu yayılmanın betonun plastik viskozitesi ile ters orantılı olduğu kabul edilmektedir, özellikle yüksek çökmeli ve çimento yönünden zengin karışımlarda çökme-yayılması salt çökmeye oranla daha anlamlı ve duyarlı sonuç vermektedir; örneğin 20-25 cm arasında çökme veren betonlarda çökme yayılması 30-55 cm arasında değişmektedir.

#### **3.2.2.3. Birim Ağırlık Deneyi**

Deney TS 2941'e uygun olarak yapılmıştır. Deneyde betoniyerde karılmış taze betonu iyi temsil edebilecek numune kullanılmasına dikkat edilmiştir. Deneyde kullanılan kaba, üç tabaka halinde beton doldurulmuştur. Her tabaka 25 kez şişlenmiş, her tabakanın şişlenmesinden sonra kabın kenarlarına 15 defa plastik çekiçle vurulmuştur. Sonrasında kabın üstü mala ile düzeltilmiş, kabın dışına taşan kısım temizlenmiştir. Numune tartıldıktan sonra, betonun net ağırlığının kabın hacmine bölünmesiyle taze betonun birim ağırlığı hesap edilmiştir.

### 3.2.2.4. Terleme Deneyi

ASTM C 232-71'e göre yapılan terleme deneyi için 25.4 cm çapında 29 cm yüksekliğinde 3 mm et kalınlığına sahip üst tarafı açık bir silindir yaptırıldı. Terleme ölçümü yapabilmek üzere standartta belirtildiği gibi üstten 1 cm boşluk kalacak şekilde beton dolduruldu. Terleme kabına beton yerleştirilirken 3 kademe halinde dolduruldu. Her bir kademe 75 defa şişlendi. Yerleşen betonun üzerinde biriken suyun buharlaşmaması için bir cam kap, bu suyun toplanması için bir pipet ve biriktirilmesi için 250 cl'lik bir cam kap kullanıldı.

**Açıklama [H.H.İ.47]:** ASTM C 232-71, 1977. Standard Test Method for Bleeding of Concrete. Annual Book of ASTM Standards, 178-183.

### 3.2.2.5. Basınç Altında Terleme Deneyi

Üretilen betonların, basınç altındaki terleme miktarlarının ve segregasyon basınçlarının belirlenmesi amacıyla basınç altında terleme deney aleti geliştirilmiştir. Deney aleti Şekil 3.3.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Basınç altında terleme deney aleti

Terleme deney aleti, 11.5 cm iç çapında bir honlanmış boru ile çıkarılabilir üst ve alt başlığa sahiptir. Üst başlıkta, ucunda kestamid takozdan bir piston bulunan bir hidrolik silindir vidalıdır. Bu hidrolik silindir bir el pompasına bağlıdır. Yükveren piston silindirinin üstüne vidalıdır ve bu sayede üst başlıktan kuvvet alarak piston yük verebilmektedir. Pistonun hareket kabiliyeti, sıkışmış haldeki betonun testin ardından hızlı bir şekilde çıkarılabilmesini mümkün kılmaktadır. Alt başlığın hemen üstüne, terleme suyuyla birlikte betondaki ince malzemelerin de gelmesini önlemek için iki adet süzgeç konmuştur. Honlanmış boruya, test edilen taze betona uygulanan basıncın belirlenebilmesi için bir basınç belirteci (transducer) monte edilmiştir. Basınç belirteciye, taze betona uygulanan basıncın okunabilmesi için dijital bir gösterge bağlanmıştır. Alt kısımda musluğu bulunan bir terleme deliği vardır. Terleme deliğinin içi deliğin tıkanmasını önlemek için no 50 nolu elek teli ile kaplıdır.

Alt başlığı takılı honlanmış borunun içi kestamid pistonun altına 1.5 cm kalacak şekilde betonla doldurulmuştur. Beton, honlanmış borunun tam olarak dolmasını sağlamak amacıyla iki eşit tabaka halinde şişlenerek silindire yerleştirilmiştir. Daha sonra üst başlık sabitlenmiş ve terleme musluğu kapalıyken beton 5 barlık bir basınca tabi tutulmuştur. Terleme musluğu açılarak basınç her 20 sn'de bir 5 bar olarak arttırılmıştır. Terleme musluğundan çıkan su miktarı belirli zaman aralıklarıyla ve basınçlarda ölçülmüştür.

### **3.2.2.6. Basınç Dayanımı Deneyi**

Üretilen her beton için 28 günlük basınç dayanım deneyleri 15×15×15 cm boyutundaki küp numuneler üzerinde yapılmıştır. Betonlar kalıplarından 24 saat sonra çıkarılarak 28. gün sonuna kadar 20 °C sıcaklıktaki kirece doymun suda bekletilmiş ve 28. gün sonunda basınç dayanım deneyleri yapılmıştır.

## 4. BULGULAR

### 4.1. Üretilen Betonların Bileşimleri

Üretilen betonlar için karışımlara giren malzemelerin miktarları Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Karışımlara Giren Malzemelerin Miktarları

Karışım tipi	Çimento (C)	uK	SD	Fiber	Süp.Ak. (SP)	Kum	KT tozu	ÇI	ÇII	KTII	Su (S)	S
												C + uK + SD
(Kg/m <sup>3</sup> )												-
Şahit-Ç	350	-	-	-	7	664	219	827	257	-	140	0.40
Şahit-KT	350	-	-	-	7	658	217	721	-	352	147	0.42
uK1-A-Ç	350	35	-	-	7.7	636	210	791	246	-	154	0.40
uK1-B-Ç	350	70	-	-	8.4	607	200	756	235	-	168	0.40
uK1-C-Ç	350	35	35	-	8.4	609	201	759	236	-	168	0.40
uK1-D-Ç	350	35	35	0.6	8.4	609	201	759	236	-	168	0.40
uK1-A-KT	350	35	-	-	7.7	629	207	690	-	337	162	0.42
uK1-B-KT	350	70	-	-	8.4	600	198	658	-	321	176	0.42
uK1-C-KT	350	35	35	-	8.4	602	198	660	-	322	176	0.42
uK1-D-KT	350	35	35	0.6	8.4	602	198	660	-	322	176	0.42
uK2-A-Ç	350	35	-	-	7.7	637	210	793	246	-	154	0.40
uK2-B-Ç	350	70	-	-	8.4	609	201	758	236	-	168	0.40
uK2-C-Ç	350	35	35	-	8.4	610	201	760	236	-	168	0.40
uK2-D-Ç	350	35	35	0.6	8.4	610	201	760	236	-	168	0.40
uK2-A-KT	350	35	-	-	7.7	630	208	691	-	337	162	0.42
uK2-B-KT	350	70	-	-	8.4	602	198	660	-	322	176	0.42
uK2-C-KT	350	35	35	-	8.4	603	199	661	-	322	176	0.42
uK2-D-KT	350	35	35	0.6	8.4	603	199	661	-	322	176	0.42
uK3-A-Ç	350	35	-	-	7.7	638	210	793	247	-	154	0.40
uK3-B-Ç	350	70	-	-	8.4	611	201	760	236	-	168	0.40
uK3-C-Ç	350	35	35	-	8.4	611	202	761	236	-	168	0.40
uK3-D-Ç	350	35	35	0.6	8.4	611	202	761	236	-	168	0.40
uK3-A-KT	350	35	-	-	7.7	631	208	691	-	338	162	0.42
uK3-B-KT	350	70	-	-	8.4	603	199	662	-	323	176	0.42
uK3-C-KT	350	35	35	-	8.4	604	199	662	-	323	176	0.42
uK3-D-KT	350	35	35	0.6	8.4	604	199	662	-	323	176	0.42



Çizelge 4.1. (devam)

Karışım tipi	Çimento (C)	uK	SD	Fiber	Süp.Ak. (SP)	Kum	KT tozu	ÇI	ÇII	KTII	Su (S)	$\frac{S}{C+uK+SD}$
	(Kg/m <sup>3</sup> )											
uK4-A-Ç	350	35	-	-	7.7	638	210	794	247	-	154	0.40
uK4-B-Ç	350	70	-	-	8.4	612	202	762	237	-	168	0.40
uK4-C-Ç	350	35	35	-	8.4	612	202	762	237	-	168	0.40
uK4-D-Ç	350	35	35	0.6	8.4	612	202	762	237	-	168	0.40
uK4-A-KT	350	35	-	-	7.7	631	208	692	-	338	162	0.42
uK4-B-KT	350	70	-	-	8.4	605	199	663	-	324	176	0.42
uK4-C-KT	350	35	35	-	8.4	604	199	663	-	324	176	0.42
uK4-D-KT	350	35	35	0.6	8.4	604	199	663	-	324	176	0.42

#### 4.2. Çökme, Yayılma, Birim Ağırlık ve Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

Çökme, çökme yayılması, birim ağırlık ve basınç dayanımı deneylerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Betonların çökme, çökme yayılması, birim ağırlık ve basınç dayanımı değerleri

Karışım Tipi	Çökme	Çökme yayılması	Birim ağırlık	28 günlük basınç muk.
	cm	cm	kg/m <sup>3</sup>	MPa
Şahit-Ç	19	28	2393	47.3
Şahit-KT	17	27	2380	50.0
uK1-A-Ç	17	30	2350	51.2
uK1-B-Ç	15	27	2325	50.3
uK1-C-Ç	22	41	2363	56.5
uK1-D-Ç	21	37	2358	60.0
uK1-A-KT	15.5	26	2343	53.6
uK1-B-KT	13	25	2329	51.0
uK1-C-KT	20	38	2350	61.8
uK1-D-KT	19.5	36	2347	62.3

Çizelge 4.2. (devam)

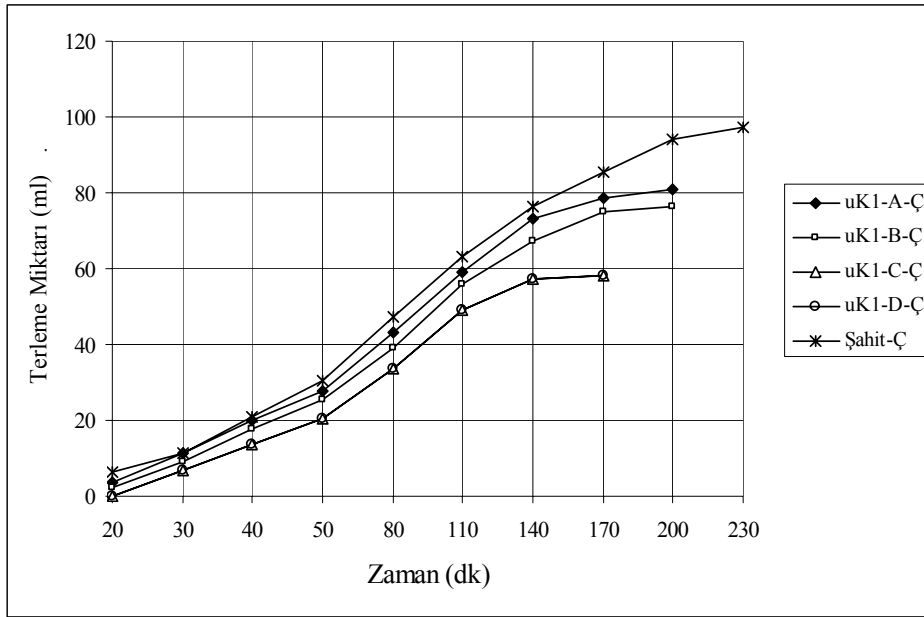
Karışım Tipi	Çökme	Çökme yayılması	Birim ağırlık	28 günlük basınç muk.
	cm	cm	kg/m <sup>3</sup>	MPa
uK2-A-Ç	17	31	2291	49.8
uK2-B-Ç	15	26	2290	47.0
uK2-C-Ç	20	40	2315	59.2
uK2-D-Ç	20	39	2326	58.5
uK2-A-KT	15	26	2302	51.1
uK2-B-KT	13.5	25	2283	50.3
uK2-C-KT	19	37	2314	61.0
uK2-D-KT	18.5	35	2328	61.8
uK3-A-Ç	16.5	28	2367	48.0
uK3-B-Ç	15	27	2358	45.3
uK3-C-Ç	22	40	2381	58.6
uK3-D-Ç	21	38	2376	59.1
uK3-A-KT	14.5	25	2370	49.6
uK3-B-KT	13	24	2353	46.8
uK3-C-KT	20	39	2380	60.0
uK3-D-KT	19	39	2377	61.1
uK4-A-Ç	15.5	25	2375	41.2
uK4-B-Ç	13	24	2360	40.6
uK4-C-Ç	20.5	40	2378	50.3
uK4-D-Ç	20	39	2330	49.2
uK4-A-KT	14.5	26	2372	43.6
uK4-B-KT	12	22	2356	38.3
uK4-C-KT	20	38	2374	51.8
uK4-D-KT	20	36	2361	52.3

### 4.3. Terleme Deneylerinin Sonuçları

Terleme deneylerinin sonuçları her uçucu kül için Çizelge 4.3.'den, terleme miktarı – zaman grafikleri ise Şekil 4.1.'den itibaren verilmiştir.

Çizelge 4.3. Çatalağzı uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl olan betonların terleme (ml) değerleri

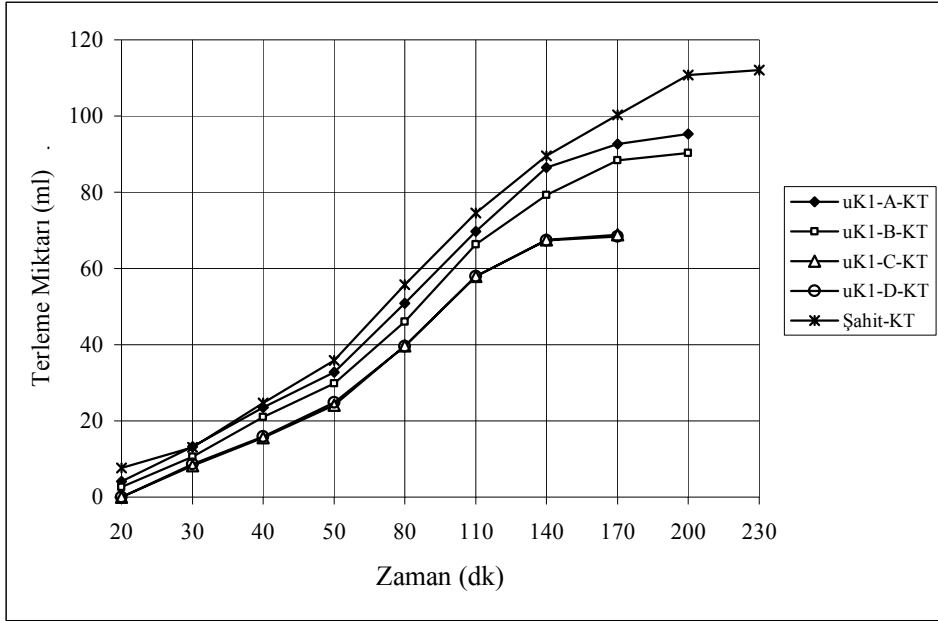
Süre (dk)	Terleme miktarı (ml)				
	uK1-A-Ç	uK1-B-Ç	uK1-C-Ç	uK1-D-Ç	Şahit-Ç
10					
20	3.5	2.3	0	0	6.5
30	11.2	9.0	6.8	6.7	11.2
40	20.0	17.8	13.6	13.6	21.0
50	27.8	25.3	20.5	20.3	30.6
80	43.2	39.0	33.7	33.6	47.4
110	59.2	56.1	49.1	49.2	63.4
140	73.4	67.1	57.3	57.1	76.2
170	78.6	74.8	58.4	58.0	85.4
200	80.9	76.4			94.3
230					97.1



Şekil 4.1. Çatalağzı uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl olan betonların terleme miktarı – zaman grafiği

Çizelge 4.4. Çatalağzı uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl+kırmataş olan betonların terleme (ml) değerleri

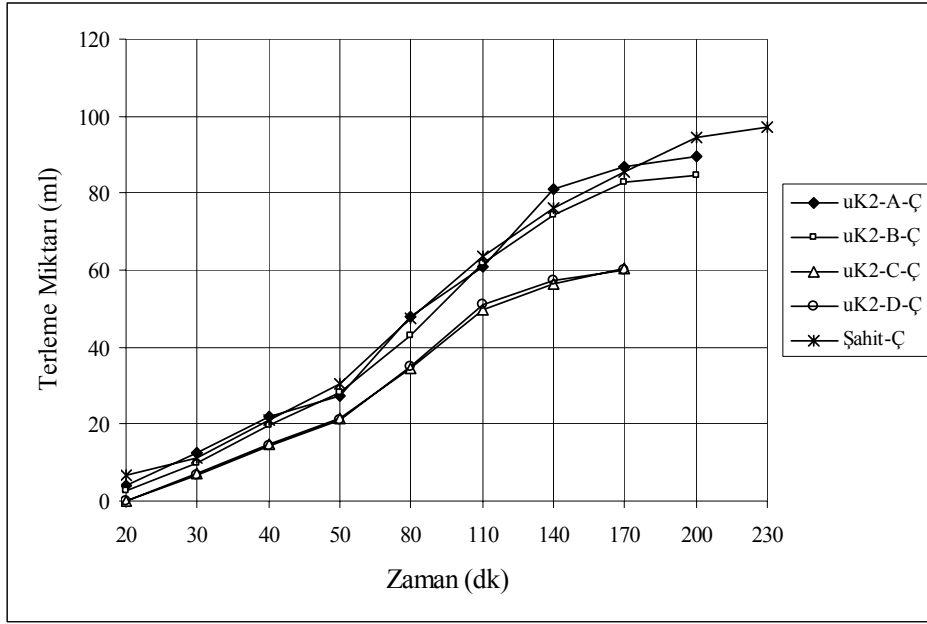
Süre (dk)	Terleme miktarı (ml)				
	uK1-A-KT	uK1-B-KT	uK1-C-KT	uK1-D-KT	Şahit-KT
10					
20	4.1	2.7	0	0	7.6
30	13.2	10.6	8.3	8.7	13.2
40	23.6	21.0	15.6	15.9	24.7
50	32.7	29.9	24.2	24.8	36.0
80	50.9	46.1	39.7	39.6	55.7
110	69.7	66.3	57.9	58.0	74.5
140	86.5	79.2	67.6	67.3	89.5
170	92.6	88.3	68.9	68.4	100.3
200	95.3	90.2			110.8
230					112.0



Şekil 4.2. Çatalağzı uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl+kırmataş olan betonların terleme miktarı – zaman grafiği

Çizelge 4.5. Seyitömer uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl olan betonların terleme (ml) değerleri

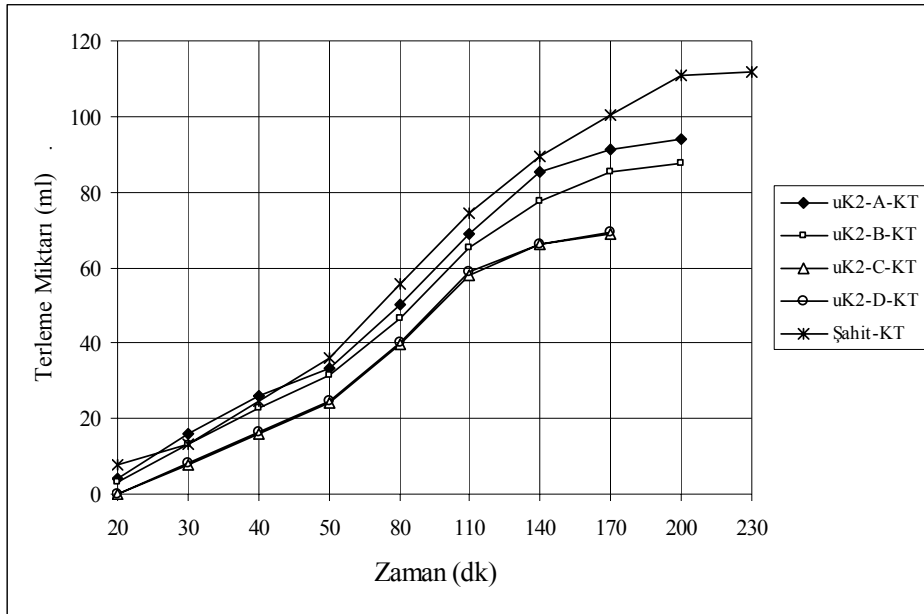
Süre (dk)	Terleme miktarı (ml)				
	uK2-A-Ç	uK2-B-Ç	uK2-C-Ç	uK2-D-Ç	Şahit-Ç
10					
20	3.9	2.5	0	0	6.5
30	12.4	9.9	7.2	6.9	11.2
40	22.1	19.7	14.8	14.2	21
50	27.4	28.3	21.3	21.1	30.6
80	47.7	43.1	34.5	34.7	47.4
110	61.0	62.0	49.7	50.8	63.4
140	81.1	74.1	56.2	57.2	76.2
170	86.9	82.7	60.3	59.9	85.4
200	89.4	84.4			94.3
230					97.1



Şekil 4.3. Seyitömer uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl olan betonların terleme miktarı – zaman grafiği

Çizelge 4.6. Seyitömer uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl+kırmataş olan betonların terleme (ml) değerleri

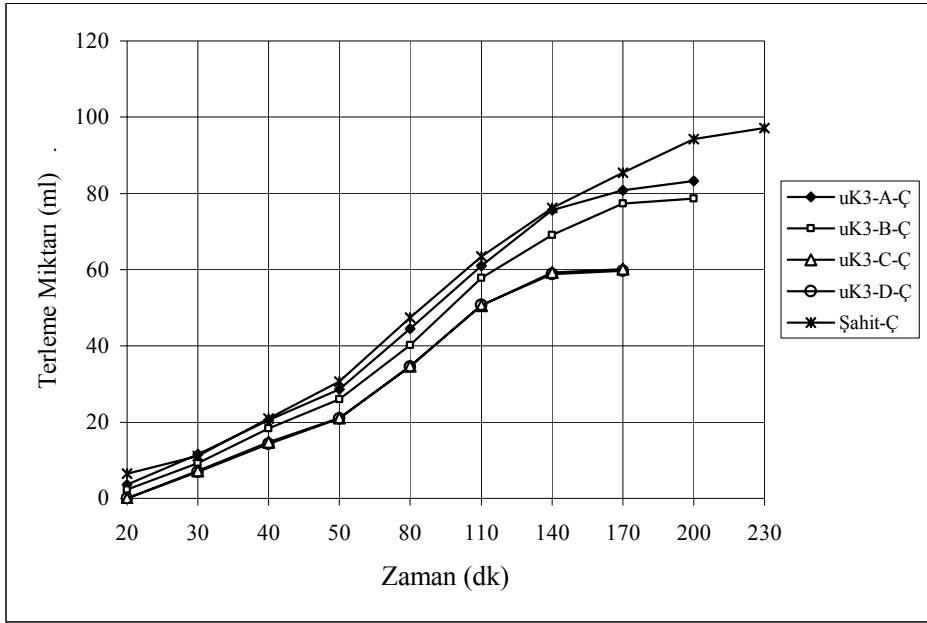
Süre (dk)	Terleme miktarı (ml)				
	uK2-A-KT	uK2-B-KT	uK2-C-KT	uK2-D-KT	Şahit-KT
10					
20	4.1	3.4	0	0	7.6
30	16.0	13.2	7.7	8.0	13.2
40	26.2	23.0	15.9	16.5	24.7
50	33.4	31.6	24.2	24.5	36.0
80	50.1	46.4	39.8	40.3	55.7
110	68.9	65.3	58.1	58.7	74.5
140	85.2	77.4	66.3	66.4	89.5
170	91.2	85.2	68.7	69.5	100.3
200	93.9	87.7			110.8
230					112.0



Şekil 4.4. Seyitömer uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl+kırmataş olan betonların terleme miktarı – zaman grafiği

Çizelge 4.7. Tunçbilek uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl olan betonların terleme (ml) değerleri

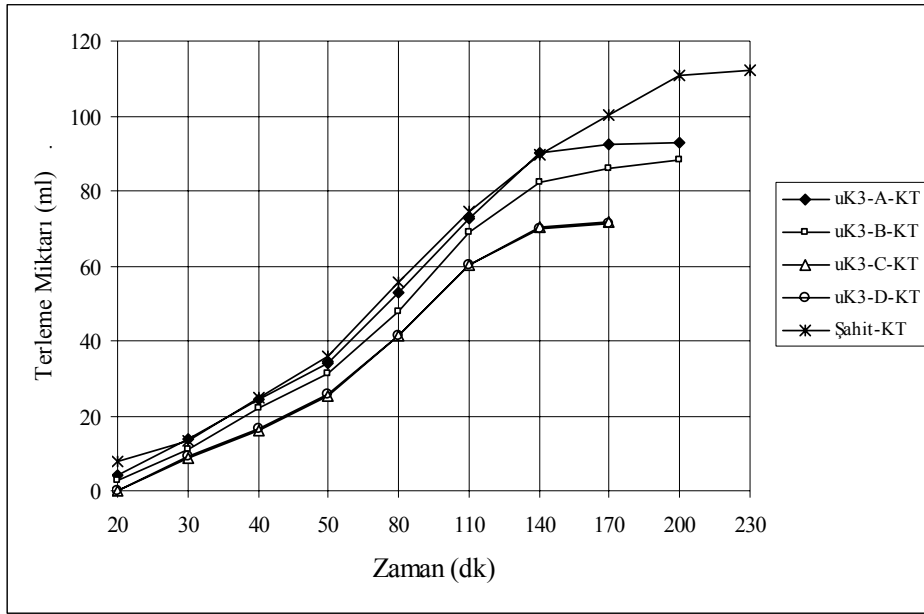
Süre (dk)	Terleme miktarı (ml)				
	uK3-A-Ç	uK3-B-Ç	uK3-C-Ç	uK3-D-Ç	Şahit-Ç
10					
20	3.6	2.4	0	0	6.5
30	11.5	9.3	7.3	6.9	11.2
40	20.6	18.3	14.8	14.3	21.0
50	28.6	26.1	21.1	20.9	30.6
80	44.5	40.2	34.7	34.6	47.4
110	61.0	57.8	50.6	50.7	63.4
140	75.6	69.1	59.3	58.8	76.2
170	80.8	77.3	60.2	59.7	85.4
200	83.3	78.7			94.3
230					97.1



Şekil 4.5. Tunçbilek uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl olan betonların terleme miktarı - zaman grafiği

Çizelge 4.8. Tunçbilek uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl+kırmataş olan betonların terleme (ml) değerleri

Süre (dk)	Terleme miktarı (ml)				
	uK3-A-KT	uK3-B-KT	uK3-C-KT	uK3-D-KT	Şahit-KT
10					
20	4.3	2.8	0	0	7.6
30	13.7	11.1	8.6	9.0	13.2
40	24.5	21.9	16.2	16.5	24.7
50	34.1	31.1	25.1	25.8	36.0
80	52.9	47.9	41.3	41.2	55.7
110	72.5	68.9	60.2	60.3	74.5
140	89.9	82.4	70.3	70.0	89.5
170	92.2	86.2	71.6	71.1	100.3
200	93.0	88.1			110.8
230					112.0

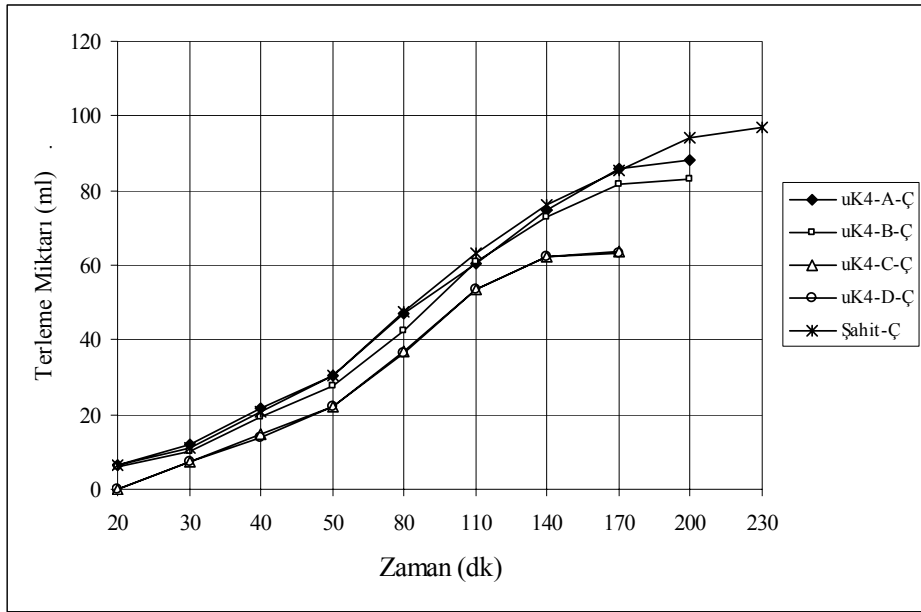


Şekil 4.6. Tunçbilek uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl+kırmataş olan betonların terleme miktarı – zaman grafiği



Çizelge 4.9. Çayırhan uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl olan betonların terleme (ml) değerleri

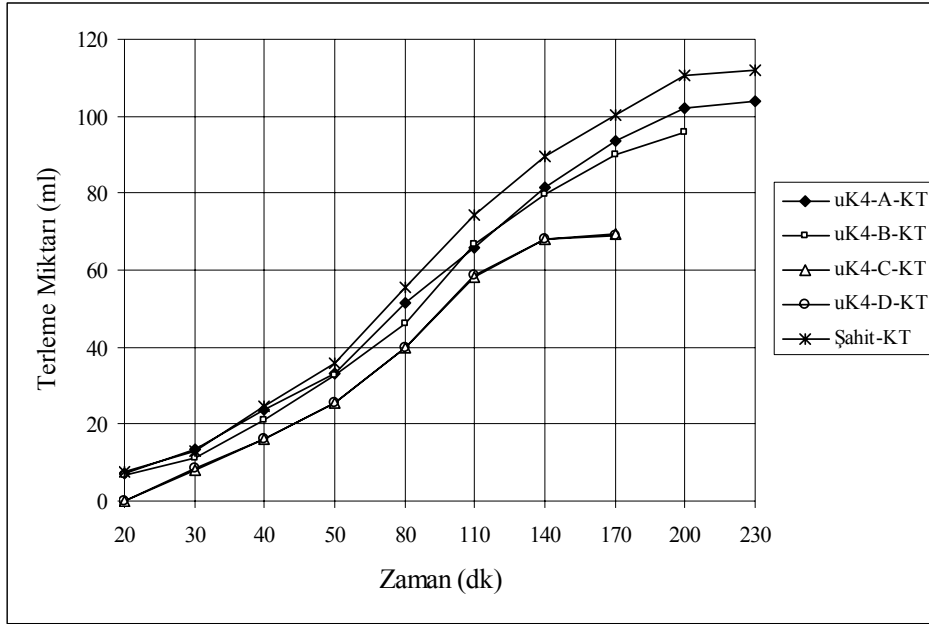
Süre (dk)	Terleme miktarı (ml)				
	uK4-A-Ç	uK4-B-Ç	uK4-C-Ç	uK4-D-Ç	Şahit-Ç
10					
20	6.6	6.0	0	0	6.5
30	12.2	10.3	7.4	7.3	11.2
40	21.8	19.4	14.8	13.7	21.0
50	30.3	27.6	22.3	22.1	30.6
80	47.1	42.5	36.7	36.6	47.4
110	60.3	61.1	53.5	53.6	63.4
140	74.8	73.1	62.5	62.2	76.2
170	85.7	81.5	63.7	63.2	85.4
200	88.2	83.3			94.3
230					97.1



Şekil 4.7. Çayırhan uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl olan betonların terleme miktarı – zaman grafiği

Çizelge 4.10. Çayırhan uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl+kırmataş olan betonların terleme (ml) değerleri

Süre (dk)	Terleme miktarı (ml)				
	uK4-A-KT	uK4-B-KT	uK4-C-KT	uK4-D-KT	Şahit-KT
10					
20	7.2	6.5	0	0	7.6
30	13.3	11.2	8.1	8.3	13.2
40	23.8	21.1	16.2	16.0	24.7
50	33.1	32.5	25.3	25.4	36.0
80	51.3	46.3	40.0	39.9	55.7
110	65.7	66.7	58.3	58.5	74.5
140	81.5	79.7	68.1	67.8	89.5
170	93.4	90.1	69.4	68.9	100.3
200	102.2	96.0			110.8
230	104.1				112.0



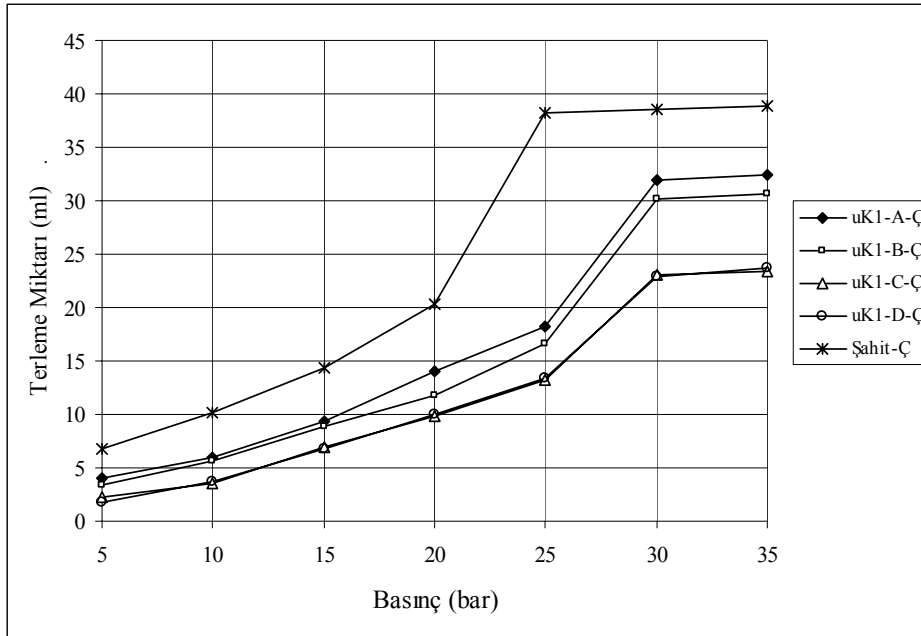
Şekil 4.8. Çayırhan uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl+kırmataş olan betonların terleme miktarı - zaman grafiği

#### 4.4. Basınç Altında Terleme Deneyinin Sonuçları

Basınç altında terleme deneyinden elde edilen sonuçlar her uçucu kül için Çizelge 4.11'den itibaren, terleme miktarı-basınç grafikleri Şekil 4.9'dan itibaren verilmiştir.

Çizelge 4.11. Çatalağzı uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl olan betonların basınç altındaki terleme (ml) değerleri ve segregasyon basınçları

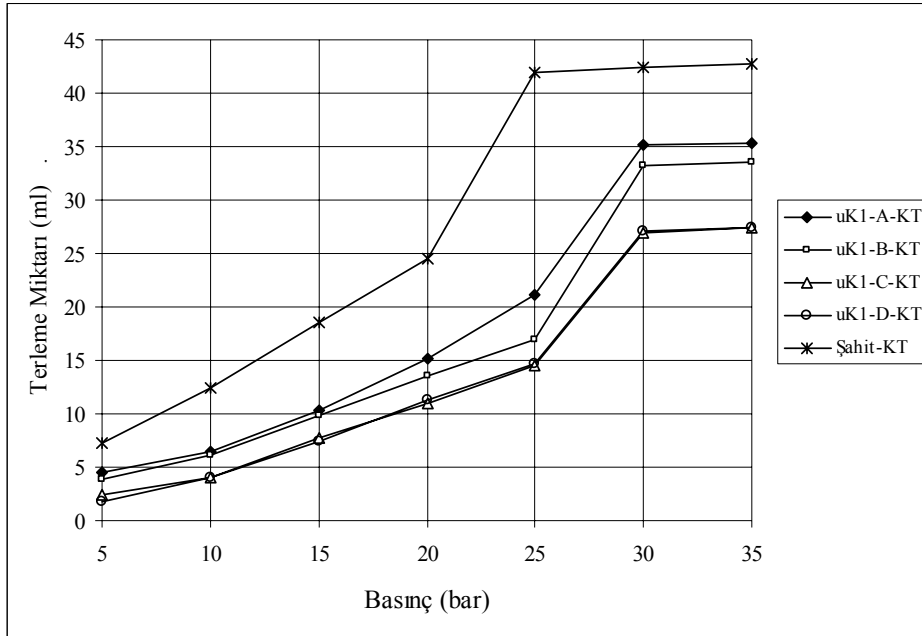
Uygulanan basınç (bar)	Terleme miktarı (ml)				
	uK1-A-Ç	uK1-B-Ç	uK1-C-Ç	uK1-D-Ç	Şahit-Ç
5	4.1	3.4	2.2	1.7	6.8
10	5.9	5.6	3.6	3.7	10.2
15	9.4	8.9	6.9	6.8	14.3
20	13.8	12.4	9.8	10.0	20.4
25	18.3	16.6	13.2	13.4	38.2
30	31.9	30.1	23.0	22.9	38.6
35	32.4	30.6	23.4	23.7	38.9
Segregasyon basıncı (bar)	26.5	27.1	29.7	29.8	24.6



Şekil 4.9. Çatalağzı uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl olan betonların terleme miktarı – basınç grafiği

Çizelge 4.12. Çatalağzı uçucu külü kullanılan ve iri agregası Ç+KT olan betonların basınç altındaki terleme (ml) değerleri ve segregasyon basınçları

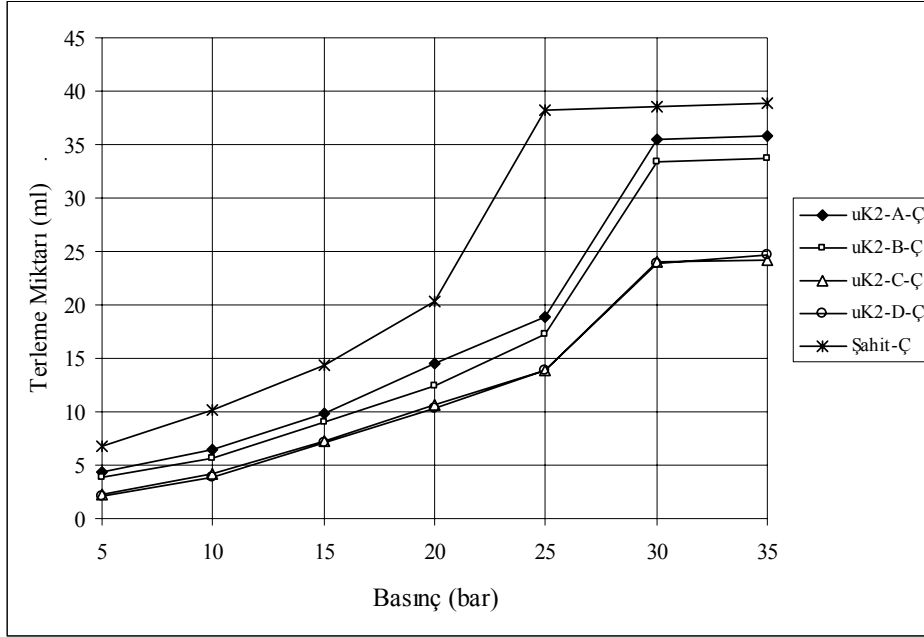
Uygulanan basınç (bar)	Terleme miktarı (ml)				
	uK1-A-KT	uK1-B-KT	uK1-C-KT	uK1-D-KT	Şahit-KT
5	4.5	3.8	2.5	1.8	7.3
10	6.5	6.2	4.1	4.0	12.5
15	10.3	9.8	7.7	7.5	18.6
20	15.1	13.6	10.9	11.3	24.5
25	20.1	18.2	14.5	14.7	42.0
30	35.1	33.2	27.0	27.1	42.4
35	35.4	33.6	27.5	27.4	42.8
Segregasyon basıncı (bar)	25.2	25.8	28.1	28.1	23.7



Şekil 4.10. Çatalağzı uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl+kırmataş olan betonların terleme miktarı – basınç grafiği

Çizelge 4.13. Seyitömer uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl olan betonların basınç altındaki terleme (ml) değerleri ve segregasyon basınçları

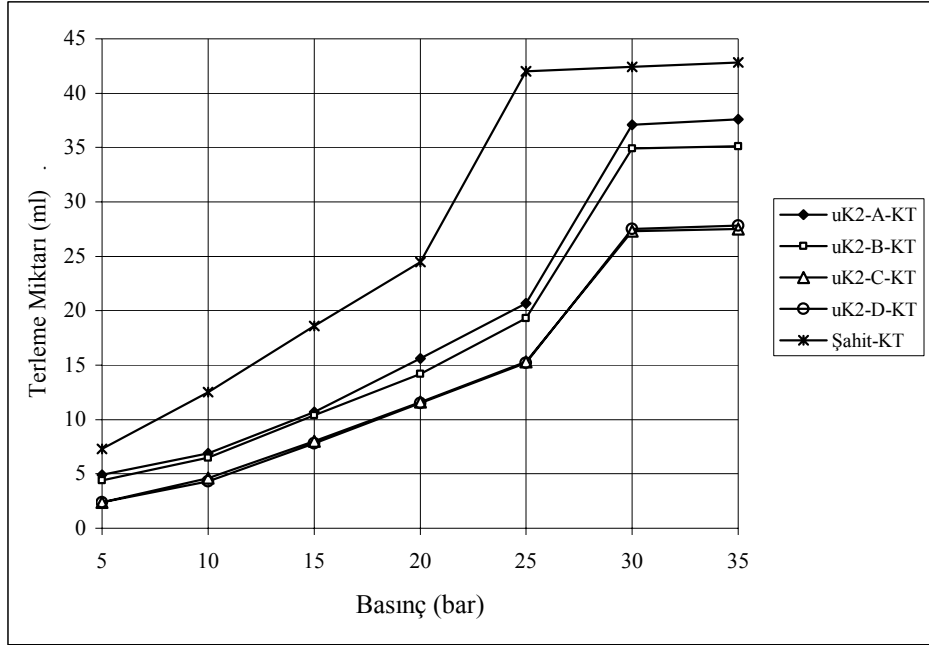
Uygulanan basınç (bar)	Terleme miktarı (ml)				
	uK2-A-Ç	uK2-B-Ç	uK2-C-Ç	uK2-D-Ç	Şahit-Ç
5	4.3	3.9	2.2	2.1	6.8
10	6.2	5.9	4.2	3.9	10.2
15	9.9	9.4	7.3	7.1	14.3
20	14.1	12.8	10.6	10.3	20.4
25	18.9	17.3	13.9	13.8	38.2
30	35.5	33.4	24	23.8	38.6
35	35.8	33.7	24.2	24.6	38.9
Segregasyon basıncı (bar)	26.2	26.9	29.4	29.3	24.6



Şekil 4.11. Seyitömer uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl olan betonların terleme miktarı – basınç grafiği

Çizelge 4.14. Seyitömer uçucu külü kullanılan ve iri agregası Ç+KT olan betonların basınç altındaki terleme (ml) değerleri ve segregasyon basınçları

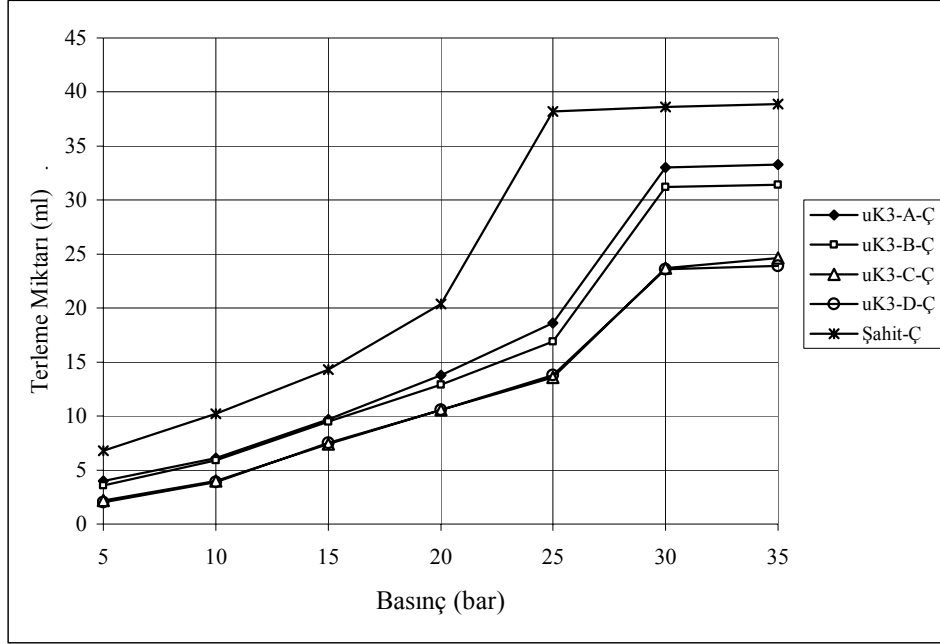
Uygulanan basınç (bar)	Terleme miktarı (ml)				
	uK2-A-KT	uK2-B-KT	uK2-C-KT	uK2-D-KT	Şahit-KT
5	4.9	4.4	2.4	2.4	7.3
10	6.9	6.5	4.6	4.3	12.5
15	10.7	10.4	8.0	7.8	18.6
20	15.6	14.2	11.6	11.5	24.5
25	20.7	19.3	15.3	15.2	42.0
30	37.1	34.9	27.3	27.5	42.4
35	37.6	35.1	27.5	27.8	42.8
Segregasyon basıncı (bar)	25.1	25.6	27.8	27.9	23.7



Şekil 4.12. Seyitömer uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl+kırmataş olan betonların terleme miktarı – basınç grafiği

Çizelge 4.15. Tunçbilek uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl olan betonların basınç altındaki terleme (ml) değerleri ve segregasyon basınçları

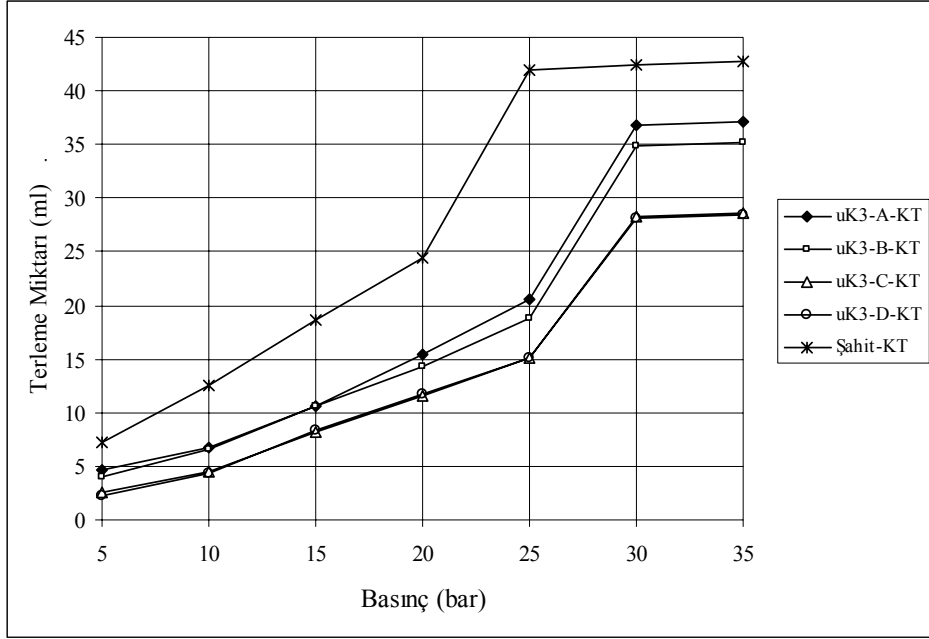
Uygulanan basınç (bar)	Terleme miktarı (ml)				
	uK3-A-Ç	uK3-B-Ç	uK3-C-Ç	uK3-D-Ç	Şahit-Ç
5	4.0	3.6	2.2	2.0	6.8
10	6.1	5.9	4.0	3.9	10.2
15	9.7	9.5	7.4	7.5	14.3
20	13.8	12.9	10.6	10.6	20.4
25	18.6	16.9	13.6	13.8	38.2
30	33.0	31.2	23.7	23.6	38.6
35	33.3	31.4	24.6	23.9	38.9
Segregasyon basıncı (bar)	26.5	27.1	29.5	29.5	24.6



Şekil 4.13. Tunçbilek uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl olan betonların terleme miktarı – basınç grafiği

Çizelge 4.16. Tunçbilek uçucu külü kullanılan ve iri agregası Ç+KT olan betonların basınç altındaki terleme (ml) değerleri ve segregasyon basınçları

Uygulanan basınç (bar)	Terleme miktarı (ml)				
	uK3-A-KT	uK3-B-KT	uK3-C-KT	uK3-D-KT	Şahit-KT
5	4.6	4.0	2.5	2.2	7.3
10	6.7	6.6	4.5	4.3	12.5
15	10.6	10.6	8.2	8.3	18.6
20	15.4	14.3	11.6	11.7	24.5
25	20.6	18.8	15.1	15.1	42
30	36.8	34.9	28.3	28.2	42.4
35	37.2	35.2	28.6	28.4	42.8
Segregasyon basıncı (bar)	25.2	25.8	28.2	28.1	23.7

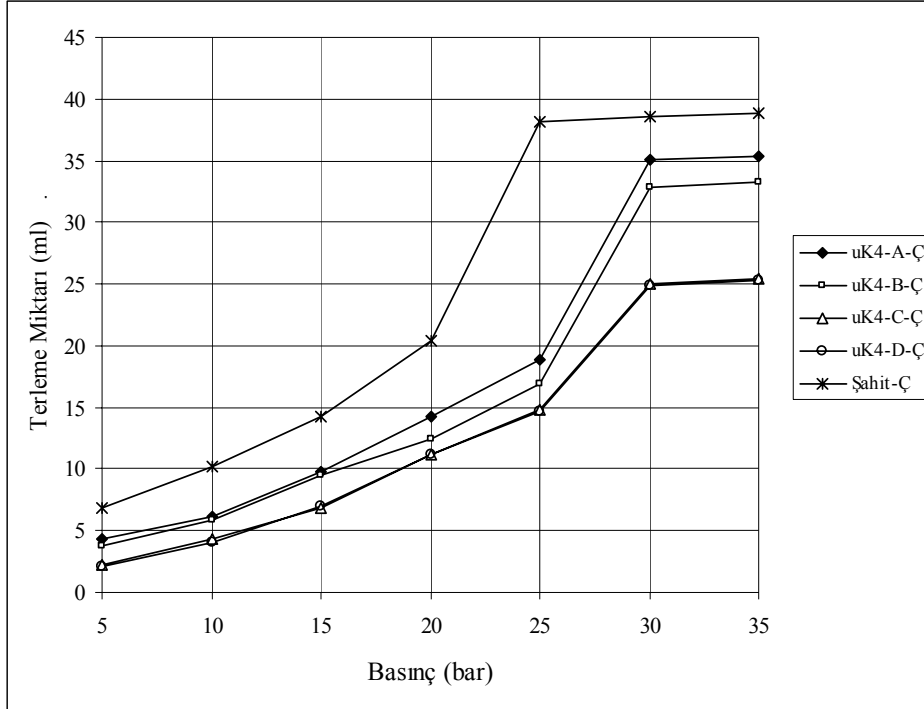


Şekil 4.14. Tunçbilek uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl+kırmataş olan betonların terleme miktarı – basınç grafiği



Çizelge 4.17. Çayırhan uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl olan betonların basınç altındaki terleme (ml) değerleri ve segregasyon basınçları

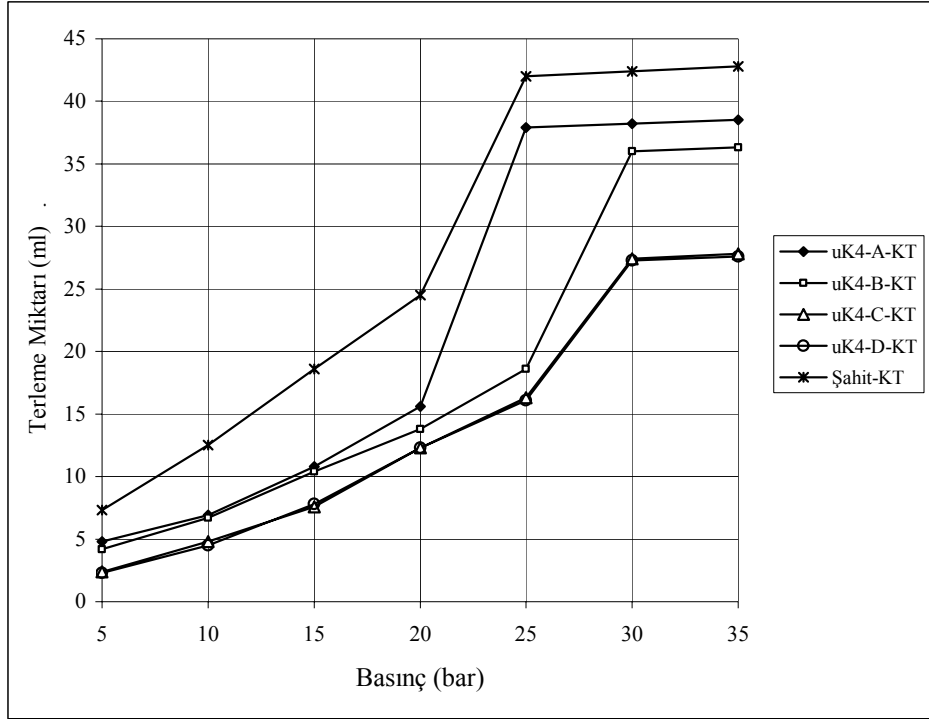
Uygulanan basınç (bar)	Terleme miktarı (ml)				
	uK4-A-Ç	uK4-B-Ç	uK4-C-Ç	uK4-D-Ç	Şahit-Ç
5	4.3	3.8	2.2	2.1	6.8
10	6.2	5.9	4.0	4.1	10.2
15	9.8	9.5	6.9	7.0	14.3
20	14.2	12.5	11.2	11.2	20.4
25	18.9	16.9	14.8	14.7	38.2
30	35.1	32.9	25.0	24.9	38.6
35	35.3	33.2	25.4	25.3	38.9
Segregasyon basıncı (bar)	26.1	26.8	28.5	28.6	24.6



Şekil 4.15. Çayırhan uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl olan betonların terleme miktarı – basınç grafiği

Çizelge 4.18. Çayırhan uçucu külü kullanılan ve iri agregası Ç+KT olan betonların basınç altındaki terleme (ml) değerleri ve segregasyon basınçları

Uygulanan basınç (bar)	Terleme miktarı (ml)				
	uK4-A-KT	uK4-B-KT	uK4-C-KT	uK4-D-KT	Şahit-KT
5	4.8	4.2	2.4	2.3	7.3
10	6.9	6.7	4.8	4.5	12.5
15	10.8	10.4	7.6	7.8	18.6
20	15.6	13.8	12.3	12.3	24.5
25	37.9	18.6	16.3	16.1	42.0
30	38.2	36.0	27.4	27.3	42.4
35	38.5	36.3	27.8	27.6	42.8
Segregasyon basıncı (bar)	24.7	25.2	27.1	27.1	23.7



Şekil 4.16. Çayırhan uçucu külü kullanılan ve iri agregası çakıl+kırmataş olan betonların terleme miktarı – basınç grafiği

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu deneysel çalışma, mineral, kimyasal katkı ve polipropilen fiber takviyeli pompa betonlarının taze beton özelliklerinin ve basınç altındaki davranışının belirlenmesi amacıyla yapıldı. Bu bağlamda üretilen betonlar üzerinde çökme, çökme yayılması, terleme ve basınç altında terleme deneyleri yapıldı. Ayrıca beton dayanımlarının belirlenebilmesi için basınç dayanım deneyleri de yapıldı.

Yapılan deneyler sonucunda bazı genellemeler yapılması mümkün olmaktadır.

Betona uçucu kül ilave etmek, betonun çökme miktarını ve çökme yayılması değerini dolayısıyla işlenebilirliğini azaltmıştır. Kullanılan her uçucu kül için aynı sonuç gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, Akman (1996)'ın ve Yücel (1997)'in yaptığı çalışmaları destekler niteliktedir. Fakat Tokyay (1990), betonda uçucu kül kullanımının işlenebilirliği arttırdığını belirtmiştir. Dolayısıyla bu görüş bulunan sonuçlarla çelişmektedir. Kullanılan uçucu kül miktarının, çimento miktarının %10'undan %20'sine çıkartılmasıyla çökme miktarında bir miktar daha azalma gözlemlenmiştir. Bu sonuca dayanarak betonda kullanılan uçucu kül miktarının artmasının çökmeyi azalttığı söylenebilir.

Uçucu kül kullanılarak üretilen betonlara silis dumanı ilave edilmesi çökme miktarını sadece uçucu külle üretilen betonlara nazaran oldukça artırırken, şahit betonlara göre az miktarda arttırmıştır. Dolayısıyla betona silis dumanı ilavesi betonun işlenebilirliğini arttırmaktadır. Bu sonuçları destekleyen yayınlar mevcuttur. Atiş vd. (2003) silis dumanı kullanımı halinde taze betonda işlenebilirliğin düştüğünü, fakat silis dumanının akışkanlaştırıcı katkılarla kullanılması halinde işlenebilirliği olumlu yönde etkilediğini söylemiştir. Uçucu kül ve silis dumanı ilave edilen betonlara, polipropilen fiber katılması işlenebilirliğe olumlu ya da olumsuz bir etkiye bulunmamıştır.

Çalışmalarda, iri agrega olarak çakıl yerine çakıl+kırırmaş kullanılarak üretilen betonlarda, Özdemir vd. (1996)'nin çalışmasında olduğu gibi çökme miktarları düşük çıkmıştır.

**Açıklama [H.H.İ.48]:** Özdemir, Ö., Kocabeyler, F., Sağlık, A., 1996. Yüksek Oranda Su Azaltıcı Katkı Kullanılmış Kırırmaş Agregalı Beton Dayanımının Doğal Şekillenmiş Agregalı Beton Dayanımı ile Kıyası. 4. Ulusal Beton Kongresi. (TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası), 105-120, Maya Basın Yayın, İstanbul.

Betona uçucu kül katılımının erken yaşlarda dayanımı önemli ölçüde düşürdüğü yargısı oldukça yaygındır. Üretilen betonlardan alınan küp numuneler üzerinde yapılan 28 günlük basınç dayanımı deneyi sonucunda Çayırhan uçucu külü kullanılarak üretilen betonların dayanımları, şahit betonlara göre düşük çıkarak bu yargıyı desteklerken, Çatalağzı, Seyitömer ve Tunçbilek uçucu külleriyle üretilen betonların dayanımları şahit betonlardan daha yüksek çıkmıştır. Bu sonuçlardan uçucu küllü betonların 28 günlük basınç dayanımlarının uçucu külsüz betonlarınkine göre değişiminin kullanılan uçucu küle bağlı olduğu sonucu çıkarılabilir. Kullanılan uçucu kül oranının %10'dan %20'ye çıkarılması, beton mukavemetlerini %10 oranında uçucu kül konulan betonlara nazaran bir miktar azaltmıştır.

Betona uçucu küle birlikte silis dumanı ilave edilmesi durumunda ise beton mukavemetleri sadece uçucu küle üretilen betonlara göre oldukça artmıştır. Silis dumanı ilavesi beton dayanımını olumlu yönde etkilemiştir. Çalışmalarda iri agrega olarak çakıl+kırmataş karışımı kullanmak beton mukavemetini sadece çakıl kullanılarak üretilen betonlara göre arttırmıştır. Karışımlara polipropilen fiber ilave edilmesinin betonların basınç dayanımları üzerinde önemli bir etkisi görülmemiştir.

Terleme deneyleri sonucunda betona uçucu kül ilave edilmesinin terleme miktarını azalttığı görülmüştür. Uçucu kül miktarını arttırmak terleme miktarını azaltmıştır. Betona uçucu küle birlikte silis dumanı ilavesi terleme miktarını daha da düşürerek olumlu bir etki yapmıştır. En iyi sonucu Çatalağzı uçucu külü ile birlikte silis dumanı kullanılan beton vermiştir. Polipropilen fiber ilave edilmesi terleme üzerinde de bir etki yapmamıştır. Çakıllı karışımlar çakıl+kırmataş kullanılan karışımlara göre daha az terleme göstermişlerdir.

Basınç altında suyunu çok çabuk kaybeden ve segregasyon basıncı düşük bir beton boruda tıkanmaya meyillidir. Basınç altında terleme deneyinde de betona uçucu kül ilavesinin kullanılan her uçucu kül için terleme miktarını azalttığı görülmüştür. Bu etki en fazla Çatalağzı uçucu külünde görülürken en az etkiyi Çayırhan uçucu külü göstermiştir. Uçucu kül miktarının artması terlemeyi bir miktar daha azaltmıştır. Kullanılan uçucu küle göre terleme miktarlarının değiştiği söylenebilir. Belirlenen

segregasyon basınçlarına göre uçucu kül ilavesinin segregasyon basıncını yükselttiği söylenebilir. Silis dumanı ilavesi terleme miktarlarını sadece uçucu kütle üretilen betonlara göre azaltırken segregasyon basınçlarını da arttırarak yine olumlu bir etki göstermiştir. Polipropilen fiber ilavesi basınç altında terleme deneyinde de önemli bir etkiye sahip değildir. İri agrega olarak çakıl kullanılan karışımlar, terleme deneyinde olduğu gibi basınç altında terleme deneyinde de iri agregası çakıl+kırmataş olan karışımlara nazaran terleme miktarlarını düşürmüşlerdir ve segregasyon basınçları daha yüksektir.

## 6. KAYNAKLAR

- ACI, Manuel of Concrete Practice Part2, 1986. ACI 304-2R:71, Placing Concrete by Pumping Methods, Chapter 4.
- Ağar, E., Öztaş, G., Sütaş, İ., 1998. Beton Yollar. İTÜ İnşaat Fakültesi yayını, 392s, İstanbul
- Akman, M.S., 1987. Yapı Malzemeleri. İTÜ İnşaat Fakültesi yayını, 161s, İstanbul
- Akman, M.S., 1996. Kimyasal Katkıların Betona Uygulanması. 4. Ulusal Beton Kongresi. (TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası), 1-11, Maya Basın Yayın, İstanbul.
- Akman, M.S., 1996. Süper akışkanlaştırıcı Katkıların Taze Beton İşlenebilmesindeki Sorunları. Dördüncü Ulusal Beton Kongresi. 55-71, Maya Basın Yayın, İstanbul
- Akman, M.S., 2000. Yüksek Performanslı Betonların Taze Haldeki Özellikleri Üzerine Katkı Maddelerinin Etkisi. Sika Teknik Bülten, sayı: 2000/1, 4-7, Sika Yapı Kimyasalları A.Ş., İstanbul
- Akman, M.S., Yücel, K.T., 1996. Effects of Cement – High Range Water Reducer – Fly Ash Ternary System on Concrete Workability. 4<sup>th</sup> International Conference on Concrete Technology for Developing Countries, Gazimagusa.
- Aköz, F., Koral, S., Yüzer, N., Türker, F., 1995. Effects of Sodium Sulfate Concentration on the Sulfate Resistance of Mortars with and without Silica Fume. Cement and Concrete Research, 25 (6) 1995, 1360-1368.
- ASTM C 125, 1994. Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates, Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM C 219, 1993. Standard Terminology Relating to Hydraulic Cement. Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM C 232-71, 1977. Standard Test Method for Bleeding of Concrete. Annual Book of ASTM Standards, 178-183.
- ASTM C 618, 1998. Standard Specification for Use as a Mineral Admixture in Concrete. Annual Book of ASTM Standards, No: 4.
- Atış, C.D., Özcan, F., Karahan, O., Bilim, C., Sevim, U.K., Demir, A., 2003. Silis Dumanı Kullanımının Beton Basınç Dayanımı Üzerindeki Etkileri. Türkiye Mühendislik Haberleri, Yıl:48/2003-4, Sayı:426, 121-124.
- Banfill, P.F.G., 1991. Rheology of Fresh Cement and Concrete. E.&F.N. Spon Publisher, 373s, London

- Baradan, B., 1998. Yapı Malzemesi II. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, No: 207, 222s, İzmir
- Bartos, P., 1992. Fresh Concrete Properties and Tests. Elsevier Science Publisher, 291s, Amsterdam
- Browne, D.B., Bamforth, P.B., 1977. Test to Establish Concrete Pumpability. ACI Journal, Title No. 74-19, 193-202.
- Crepas, R.A., 1985. Pumping Concrete Techniques and Applications. Concrete Construction Publications Inc., Chapter 2, 1-15.
- Daniel, J.I., 1998. Glass Fiber Reinforced Concrete. Fiber Reinforced Concrete. (Portland Cement Association), 11-20, Illinois.
- Daniel, J.I., 1998. Types of Fiber Reinforced Concrete. Fiber Reinforced Concrete. (Portland Cement Association), 2-3, Illinois.
- Daniel, J.I., Roller, J.J., Anderson, E.D., 1998. Polymeric Fiber Reinforced Concrete. Fiber Reinforced Concrete. (Portland Cement Association), 22-33, Illinois.
- Davis, R.E., Carlson, R.W., Kelly, O.W., Davis, N.E., 1937. Properties of Cements and Concretes Containing Fly Ash. ACI Journal, Proceedings, V.33, No:5, 557-612.
- Ede, A.N., 1957. The Resistance of Concrete Pumped Through Pipelines. Magazine of Concrete Research, V.9, No.27, 129-140.
- Ekinci, C.E., Yeğınobalı, A., 1996. Silis Dumanı Katkılı Betonların Çarpma Dayanımı. 4. Ulusal Beton Kongresi. (TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası), 25-33, Maya Basın Yayın, İstanbul.
- Ekinciöğlu, Ö., 2002. Karma Lif İçeren Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışlarının İncelenmesi. Sika Teknik Bülten, Yıl:5, Sayı:2002/3, 10-17.
- Erdoğan, T.Y., 1997. Admixtures for Concrete, Middle East Technical University, 188 s Ankara.
- Erdoğdu, Ş., Kurbetci, Ş., 2003. Farklı Firma Ürünü Su İndirgeyici Katkı Maddelerinin Normal Dayanımlı Beton Üretiminde Etkin Kullanımı. Çimento ve Beton Dünyası, Yıl:7, Sayı:42, 40-47, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara.
- Ferraris, C.F., 1999. Measurement of The Rheological Properties of High Performance Concrete. Journal of Research of The National Institute of Standards and Technology, Volume 104, Number 5, 461-478, Gaithersburg.

- Haimoni, A., Hannant, D.J., 1993. Hydraulic Transport of Solids in Pipes : A Simple Method for the Prediction of Pressure Drop. *Material and Structures, RILEM*, V.26, 144-151.
- Joshi, R.C., Day, R.L., Langan, B.W., Ward, M.A., 1986. Engineering Properties of Concrete Containing High Proportions of Fly Ash and Other Mineral Admixtures. 2<sup>nd</sup> CANMET/ACI International Conference Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Suppl. Papers, 20, Madrid.
- Liang, W., Cheng, J., Hu, Y., Luo, H., 2002. Improved Properties of GRC Composites Using Commercial E-glass Fibers with New Coatings. *Materials Research Bulletin*, 37 (2002), 641-646.
- Malhotra, V.M., 1983. Strength and Durability Characteristics of Concrete Incorporating a Pelletized Blast Furnace Slag. *ACI SP-79*, V2, 891-921.
- Minnick, I.J., Webster, W.C., Purdy, E.J., 1971. Predictions of the Effect of Fly Ash in Portland Cement Mortar and Concrete. *Journal of Materials*, Vol.6, No:1, 163-187.
- Murdock, L.J., Brook, K.M., Dewar, J.D., 1991. *Concrete Materials and Practice*. Edward Arnold, 152-174.
- Neville, A.M., Brooks, J.J., 1987. *Concrete Technology*, Longman Scientific and Technical, 155p.
- Özdemir, Ö., Kocabeyler, F., Sağlık, A., 1996. Yüksek Oranda Su Azaltıcı Katkı Kullanılmış Kırmataş Agregalı Beton Dayanımının Doğal Şekillenmiş Agregalı Beton Dayanımı ile Kıyası. 4. Ulusal Beton Kongresi. (TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası), 105-120, Maya Basım Yayın, İstanbul.
- Özkul H., Taşdemir M.A., Tokyay M., Uyan M., 1999. Her Yönüyle Beton. THBB yayını, İstanbul
- Özsöylev, T., 1996. Beton İletiminde Çağdaş Yöntem: Betonu Pompalamak. 200s.
- Puertas, F., Amat, T., Fernandez-Jimenez, A., Vazquez, T., 2003. Mechanical and Durable Behavior of Alkaline Cement Mortars Reinforced with Polypropylene Fibres. *Cement and Concrete Research*, 33 (2003), 2031–2036.
- Ravina, D., 1981. Efficient Utilization Coarse and Fire Fly Ash in Precast Concrete by Incorporating Thermal Curing. *ACI Journal, Proceedings*, V.77, No:3, 194-200.
- Taşdemir, M.A., Bayramov, F., Yerlikaya, M., 2003. Geleneksel ve Yüksek Performanslı Çelik Donatılı Betonlar. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, Yıl:48/2003-4, Sayı:426, 76-84.



- Tattersal, G.H., 1991. Rheology of Fresh Cement and Concrete. E.&F.N. Spon Publisher, 262s, London.
- Tautanji, A.H., Bayasi, Z., 1999. Effect of Curing Procedures on Properties of Silica Fume Concrete. Cement and Concrete Research, 29 (4) 1999, 497-501.
- Tokyay, M., 1990. Uçucu Küllerin Beton Malzemesi Olarak Kullanılması Üzerine Yapılan Araştırmaların Gözden Geçirilmesi. Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı:348, 4-10.
- TS EN 197-1, 2002. Çimento – Bölüm 1: Genel Çimentolar – Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 934-2, 2002. Kimyasal katkıları - Beton, harç ve şerbet için - Bölüm 2 : Beton katkıları -Tarifler, özellikler, uygunluk, işaretleme ve etiketleme, Türk Standartları Enstitüsü, 18 s, Ankara.
- TS EN 206-1, 2002. Beton – Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk. Türk Standartları Enstitüsü, 64s, Ankara.
- Türker, P., Erdoğan, B., Katnaş, F., Yeğınobalı, A., 2003. Türkiye’deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, 76s, Ankara.
- Uchikawa, H., Hanehara, S., Sawaki, D., 1997. The Role of Steric Repulsive Force in the Dispersion of Cement Particles in Fresh Paste Prepared with Organic Admixture. Cement and Concrete Research, 27, 37-50.
- Uyan, M., Yıldırım, H., Süvari, Y., 1996. Akışkanlaştırıcı Katkıların Etkinliği. 4. Ulusal Beton Kongresi. (TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası), 13-23, Maya Basın Yayın, İstanbul.
- Ünal, B., Köksal, F., Eyyubov, C., 2003. Polipropilen ve Çelik Liflerin Yol Kaplama Betonlarının Mekanik ve Dürabilite Özelliklerine Etkisi. Türkiye İnşaat Mühendisliği On Yedinci Teknik Kongre ve Sergisi, İstanbul.
- Yazıcı, Ş., 2003. Süper Akışkanlaştırıcıların Betondaki Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklere Etkileri. DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt:5, Sayı:1, 103-114.
- Yıldırım, H., Uyan, M., 2005. Betonda Akışkanlaştırıcı Katkı Kullanımında İstenen Şartlar ve Türkiye’deki Durum. Yapılarda Kimyasal Katkıları Sempozyumu ve Sergisi. (TMMOB Kimya-İnşaat Mühendisleri Odası), 157-168, Ankara.
- Yıldırım, H., Yorulmaz, V., Ardaç, E., 1996. Akışkanlaştırıcı Katkıların Etkinliği. 4. Ulusal Beton Kongresi. (TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası), 25-33, Maya Basın Yayın, İstanbul.

Yılmaz, K., 2002. Normal ve Süper Akışkanlaştırıcıların Betona Kazandırdıkları. Hazır Beton Dergisi, Yıl:9, Sayı:50, 54-59, Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul.

Yücel, K.T., 1997. Pompa Betonlarında İşlenebilirliğin Harç Fazının Reolojisine Dayanarak Belirlenmesi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 122s, İstanbul

**ÖZGEÇMİŞ**

Adı Soyadı: Hüseyin Hakan İnce

Doğum Yeri: Ankara

Doğum Yılı: 1979

Medeni Hali: Bekar

**Eğitim ve Akademik Durumu:**

Lise 1994-1997 Isparta Gürkan Lisesi

Lisans 1997-2001 Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi  
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yabancı Dil : İngilizce

**İş Deneyimi:**

2001-2002 Muna İnşaat A.Ş. Hotel Papillon Zeugma İnşaatı Saha Mühendisi