İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN ŞAPLARIN TAZE VE SERTLEŞMİŞ HALDEKİ ÖZELLİKLERİ VE ÜRETİM SÜRECİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ali Emre ORMANCI

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı Mühendisliği

HAZİRAN 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN ŞAPLARIN TAZE VE SERTLEŞMİŞ HALDEKİ ÖZELLİKLERİ VE ÜRETİM SÜRECİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ali Emre ORMANCI
(501051011)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04 Mayıs 2009
Tezin Savunulduğu Tarih : 02 Haziran 2009

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Yılmaz AKKAYA (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Mehmet Ali TAŞDEMİR (İTÜ)
Prof. Dr. Fevziye AKÖZ (YTÜ)

HAZİRAN 2009

ÖNSÖZ

Değerli bilgi ve yardımlarıyla bu çalışmaya yön veren sayın hocam Doç. Dr. Yılmaz Akkaya'ya,

Deneysel çalışmaların yürütülmesinde verdikleri destek ve yardımlar için SİKA Teknik Departman Müdürü Dr. Ali Raif Sağlam ve AR-GE müdürü Nazmiye Parlak başta olmak üzere tüm SİKA çalışanlarına,

Hayatımın her anında yanımda olan, karşılaştığım bütün problemlerde varlığından güç aldığım, hayat arkadaşım İnş. Yük. Müh. Delal Doğru'ya,

Bütün hayatım boyunca sevgi ve güven, ilgi ve desteklerini esirgemeyen aileme, teşekkür ederim.

Mayıs 2009

Ali Emre Ormancı

İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KISALTMALAR v
ÇİZELGE LİSTESİ vi
ŞEKİL LİSTESİ vii
ÖZET viii
SUMMARY ix
1. GİRİŞ 1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI 3
2.1 Taze Beton Özellikleri 3
2.1.1 İşlenebilirlik ve kıvam 3
2.1.2 Hareketlilik ve pompalanabilirlik 5
2.1.3 Kararlılık, ayrışma ve terleme 6
2.2 Kendiliğinden Yerleşen Beton 9
2.2.1 Kendiliğinden yerleşen betonlarda kullanılan malzemelerin özellikleri 10
2.2.1.1 Çimento ve diğer ince malzemeler 11
2.2.1.2 Agregalar 12
2.2.1.3 Katkılar 13
2.2.1.4 Lifler 13
2.2.2 Kendiliğinden yerleşen betonların taze haldeki özellikleri 13
2.2.2.1 Doldurma yeteneği 13
2.2.2.2 Ayrışmaya karşı direnç 14
2.2.2.3 Geçiş yeteneği 14
2.3 Kendiliğinden Yerleşen Betonlar ve Şaplarda Katkı Kullanımı 14
2.3.1 Süperakışkanlaştırıcı katkılar 15
2.3.1.1 Süperakışkanlaştırıcı katkıların etki mekanizması 16
2.3.1.2 Süperakışkanlaştırıcı katkıların taze ve sertleşmiş beton özelliklerine etkileri 17
2.3.1.3 Polikarboksilat esaslı süperakışkanlaştırıcılar 19
2.3.2 Priz geciktirici katkılar 21
2.3.3 Hava sürükleyici katkılar 22
2.4 Erken Yaş Şekil Değiştirmeleri ve Rötre 23
2.4.1 Rötre olayı 24
2.4.2 Rötre çeşitleri 24
2.4.2.1 Plastik rötre 24
2.4.2.2 Otojen rötre 25
2.4.2.3 Kuruma rötresi 26
2.4.2.4 Karbonatlaşma rötresi 26
2.4.3 Rötre azaltıcı katkılar 27
2.4.4 Lif kullanımı ve rötre üzerine etkileri 28
2.4.4.1 Polipropilen lifler 31

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR 35
3.1 Deneylerde Kullanılan Malzemelerin Tanımlanması 35
3.1.1 Agregalar 35
3.1.1.1 Kum eşdeğeri tayini 35
3.1.1.2 Metilen mavisi deneyi 36
3.1.2 Çimento 38
3.1.3 Cüruf 38
3.1.4 Polipropilen lif 39
3.1.5 Katkılar 40
3.2 Şap Karışımları 43
3.3 Üretimde İzlenen Sıra 43
3.4 Numune Boyutları ve Şekilleri 44
3.5 Üretim Süreci 45
3.6 Taze Şap Deneyleri ve Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi 51
3.6.1 Yayılma deneyi 51
3.6.2 Hava miktarının tayini deneyi 52
3.7 Sertleşmiş Şap Deneyleri ve Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi 54
3.7.1 Basınç ve eğilme dayanımı deneyleri 54
3.7.2 Büzülme oranı (rötre) deneyi 55
3.7.3 Saha uygulamaları ve çatlak kontrolü 56
3.7.4 Sürtünme ile aşınma kaybı deneyi (Böhme metodu) 57
4. GENEL SONUÇLAR VE İLERİDE YAPILACAK ÇALIŞMALAR İÇİN ÖNERİLER 59
KAYNAKLAR 61
EKLER 65
ÖZGEÇMİŞ 71

KISALTMALAR

KYB	**:** Kendiliğinden Yerleşen Beton
YFC	**:** Yüksek Fırın Cürufu
SA	**:** Süper Akışkanlaştırıcı
SKK	**:** Su Kesici Katkı
YPB	**:** Yüksek Performanslı Beton
S/Ç	**:** Su/Çimento
S/B	**:** Su/Bağlayıcı
PESA	**:** Polikarboksilat Esaslı Süperakışkanlaştırıcı
PGK	**:** Priz Geciktirici Katkı
YOSA	**:** Yüksek Oranda Su Azaltıcı Katkı
SRA	**:** Rötre Azaltıcı Katkı
MPa	**:** Mega Pascal
GPa	**:** Giga Pascal
TS	**:** Türk Standartları
BS	**:** British Standards
SE	**:** Kum Eşdeğeri
MB	**:** Metilen Mavisi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Betonun terlemesini etkileyen faktörler. 9
Çizelge 2.2 : Geciktirici katkı kullanımının betonun genel özelliklerine etkisi. 21
Çizelge 2.3 : Erken yaş hacim değişiklikleri. 23
Çizelge 2.4 : Sentetik liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri. 31
Çizelge 3.1 : Agregaların özellikleri ve elek analizi sonuçları. 37
Çizelge 3.2 : Çimento fiziksel, kimyasal, mekanik özellikleri. 38
Çizelge 3.3 : Cürufun fiziksel ve kimyasal özellikleri. 39
Çizelge 3.4 : Polipropilen lif özellikleri. 39
Çizelge 3.5 : Polikarboksilat esaslı polimer çözeltilerinin özellikleri. 40
Çizelge 3.6 : Üretimde kullanılan diğer katkılar. 41
Çizelge 3.7 : Kendiliğinden yerleşen şap üretimi sırasında geliştirilen katkılar. 42
Çizelge 3.8 : SRA olarak kullanılan Control 40 katkısının teknik özellikleri. 43
Çizelge 3.9 : Kendiliğinden yerleşen şapların bileşimleri, taze ve sertleşmiş haldeki özellikleri-1. 46
Çizelge 3.10 : Kendiliğinden yerleşen şapların bileşimleri, taze ve sertleşmiş haldeki özellikleri-2. 47
Çizelge 3.11 : Kendiliğinden yerleşen şapların bileşimleri, taze ve sertleşmiş haldeki özellikleri-3. 48
Çizelge 3.12 : Kendiliğinden yerleşen şapların bileşimleri, taze ve sertleşmiş haldeki özellikleri-4. 49
Çizelge 3.13 : Kendiliğinden yerleşen şapların bileşimleri, taze ve sertleşmiş haldeki özellikleri-5. 50
Çizelge 3.14 : Saha uygulamaları için üretilen şapların karışım oranları 57
Çizelge 3.15 : Böhme yüzey aşınma kaybı değerleri 58
Çizelge A.1 : Şapların basınç ve eğilme dayanımları 66
Çizelge A.2 : Rötre numuneleri ölçüm sonuçları 66
Çizelge A.1 : Böhme yüzey aşınma kaybı deneyi ölçüm sonuçları 66

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Taze betonun boru içindeki akışı..... 6
Şekil 2.2 : Betonun reolojik özellikleri..... 11
Şekil 2.3 : Kimyasal katkılarda yüzey absorbsiyonu, elektrostatik ve sterik etkinin şematik gösterimi. 16
Şekil 2.4 : Çeşitli SA katkılar kullanılan betonlarda rötre-bağıl nem ilişkisi..... 19
Şekil 2.5 : Geleneksel akışkanlaştırıcı katkıların ve polikarboksilat esaslı katkıların çimento taneciklerini elektrostatik ve fiziksel itki kuvvetleri ile birbirinden uzaklaştırması. 20
Şekil 2.6 : Betonun bağıl nem etkisiyle boy değişimi. 27
Şekil 2.7 : Liflerin gerilme kuvvetlerini bir köprü gibi aktarması..... 29
Şekil 2.8 : Çatlak köprülenmesine farklı tel boyutlarının etkisi. 30
Şekil 2.9 : Lif miktarı ve boyunun kıvam üzerine etkisi. 32
Şekil 2.10 : Plastik betonda oluşan gerilmeler..... 33
Şekil 3.1 : Numune boyutları ve şekilleri 44
Şekil 3.2 : Yayılma konisi ve boyutları 51
Şekil 3.3 : Şapların ani yayılma değerleri..... 52
Şekil 3.4 : Şapların üretimden 150 dakika sonraki yayılma değerleri 52
Şekil 3.5 : Hava miktarı tayini deney cihazı..... 53
Şekil 3.6 : Hacimsel hava yüzdelerinin karşılaştırılması..... 54
Şekil 3.7 : Basınç dayanımı değerleri 55
Şekil 3.8 : Eğilme dayanımı değerleri 55
Şekil 3.9 : Rötre değerlerinin karşılaştırılması 56
Şekil 3.10 : Böhme yüzey aşındırma deney düzeneği. 58
Şekil A.1 : Saha uygulamaları 1. Gün fotoğrafları 67
Şekil A.2 : Saha uygulamaları 7. Gün fotoğrafları 68
Şekil A.3 : Saha uygulamaları 28. Gün fotoğrafları 69

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN ŞAPLARIN TAZE VE SERTLEŞMİŞ HALDEKİ ÖZELLİKLERİ VE ÜRETİM SÜRECİ

ÖZET

İnşaat sektöründeki hızlı büyüme ve imalat hızının her zamankinden daha fazla önem kazanması, mühendislik açısından birçok sorunu da beraberinde getirmiştir. Büyüme hızındaki büyük artışa karşın, nitelikli işçi sayısında yeterli artış sağlanamamaktadır. Bu durum imalat kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Yapılarda insan faktörünü mümkün olduğu kadar azaltmak amacıyla yapılan araştırmalar sonucunda kendiliğinden yerleşebilen betonun geliştirilmesi sağlanmıştır. Bu çalışmada da benzer amaçlarla yola çıkılarak kendiliğinden yerleşen şap üretimi hedeflenmektedir.

Genel olarak şaplar 3 ana amaçla kullanılırlar. Bunlar, herhangi bir zemin üzerinde istenilen kotta bir yüzey oluşturmak, son yüzey kaplamasını taşıyıcı zemin oluşturmak, son yüzey olarak aşınma tabakası oluşturmaktır. Şaplar için kendiliğinden yerleşebilirlik, kendi haliyle yayılarak bir kalıp dahilinde, düz ve yatay bir form oluşturabilmek olarak tanımlanabilir. Çalışmada kendiliğinden yerleşebilirliği sağlamak amacıyla 18 farklı katkı üretilmiştir. Bu katkıların üretiminde 4 çeşit polikarboksilat esaslı polimer çözeltisi kullanılmıştır. Bu polimerlere eklenen hava sürükleyici, geciktirici v.b gibi katkıların farklı oranlardaki karışımları denenmiştir. Çalışma boyunca taze halde görünüm, yayılma miktarı, kıvam koruma özelliği, hava miktarı gibi verilerle; sertleşmiş halde de basınç ve eğilme dayanımı, rötre değerleri gibi verilere dayanarak en uygun katkı karışımının elde edilmesi amaçlanmıştır.

Taze halde 200-280 mm arasında yayılma hedeflenmiş, bu değerin 150 dakika boyunca belirtilen aralığın altına düşmemesi sağlanmıştır. Çalışmada hava miktarının hacmen %4-12 aralığında olması hedeflenmiştir. Taze halde istenen özellikler sağlandıktan sonra belirlenen karışımlara 300gr/m^3 oranında polipropilen lif ve bağlayıcı ağırlığının %1'i ve %2'si oranında rötre azaltıcı Sika Control 40 katkısı eklenmiştir. Bu karışımlar arasında rötre ve çatlak kontrolü karşılaştırmaları yapılmıştır. Yapılan ölçümlere göre rötre azaltıcı katkı eklenmiş kendiliğinden yerleşen şap, normal şapa göre %35 oranında daha düşük rötre göstermiştir. 28 gün süren gözlemlerde kayda değer nitelikte çatlak oluşumuyla karşılaşılmamıştır. Üretilen bütün şaplar hedeflenen 20 MPa basınç dayanımı değerinin üzerinde dayanımlar almışlardır. Eğilme dayanımları da hedeflenen 3MPa değerinin üzerindedir. Şapların aşınma direncini ölçmek amacıyla yapılan testlerde kendiliğinden yerleşen şapın, normal şaplara göre %45 oranında daha az aşındığı görülmüştür.

FRESH AND HARDENED PROPERTIES OF SELF-LEVELLING SCREED AND PRODUCTION PROCESS

SUMMARY

Rapid growth of the construction sector and increasing importance of the construction speed, bring along several engineering problems engineering. Despite the great increase in the rate of growth, sufficient number of the skilled labor could not been employed. This situation affects the construction quality negatively. In consequence of the researches to minimize the quality problems based on human factors, the development of self-compacting concrete has been provided. In this research, starting with the similar purposes, producing a self-levelling screed is aimed.

Screeds are generally used for 3 purposes. These are to obtain a defined level; to carry the final flooring; to provide a wearing surface. Self-levelling of screeds can be defined as to spread out naturally in a formwork to form a flat and horizontal surface. In this research to obtain the self-levelling ability of the screed, 18 different admixtures are produced. 4 alternatives of polycarboxylate based polymer solutions are used in production. Different air-entraining admixtures, retarders etc. are tried out with these solutions. During this research, based on the data like, spreading rate, consistency, appearance of fresh screed; shrinkage measurements, compressive and flexural strengths of hardened screed, it is aimed to obtain optimum combination of the admixtures.

A value between 200mm and 280mm was targeted for spreading and this value was conserved for 150 minutes. Air content was aimed to be between %4-12 of total volume. After fresh screed properties were obtained, 300gr/m^3 polypropylene fiber and shrinkage reducing admixture of %1 and %2 of total binder weight are added to fresh mixes. Shrinkage measurements and shrinkage cracks observations are compared between different mixes. According to these measurements, SRA added self-levelling screed had %35 less shrinkage than normal screed. No remarkable cracking occured during observations which are continued 28 days. In this work, 20 MPa compressive strength was targeted and every screed produced during the work had greater strength values than the target value. Flexural strength values were also bigger than the target 3 MPa value. Resistance to surface abrasion tests showed that self-levelling screed had %45 less abrasion than normal screed.

1. GİRİŞ

Verilen bir mühendislik problemi için en uygun malzemenin seçimi, seçilen malzemenin en uygun bir şekilde kullanılması, malzemelerin en uygun bir şekilde kullanılabilmesinde yeni yöntemlerin geliştirilmesi ve hatta şartlara daha uygun yeni malzemelerin imali, hep mühendisin direkt sorumluluğu altında olan hususlardır. Burada, inşaat mühendisi olarak gerektiğinde daha uygun yeni malzemeler imal edilmesi konusunda biraz durmakta fayda vardır. İnşaat mühendisleri bu konuda genellikle çevrelerinde mevcut olanı kullanmak gibi kolay bir yolu benimsemektedirler. Yapıdan istenen şartları yerine getirecek şekilde en uygun malzeme seçimini yaparken, mühendis hem yeni malzemeleri ve hem de eski malzemelerin yeni kullanılış şekillerini düşünmelidir. İnşaat mühendisi olarak karşılaşılan problemler için uygun bir malzemenin ne gibi özelliklere sahip olması gerektiği düşünülse ve bu ihtiyaçlar malzeme imaliyle uğraşan meslek gruplarına duyurulsa ve onlarla işbirliği yapılabilse, birçok diğer mühendislik alanlarında olduğu gibi inşaat mühendisliğinde de yeni ve daha elverişli malzemelerin ortaya çıkabileceği ümit edilebilir.

Malzeme seçiminde, özelliklerin yapının yerine getirmesi istenen şartlara uygunluğu dışında ekonomi ve temin edilebilme imkanları da önemli faktörlerdir. Bazen pahalı bir malzeme, tesis masraflarının yüksekliğine rağmen, dayanıklılığı veya işletme masraflarında sağladığı ekonomi dolayısıyla avantajlı olabilir [1].

Günümüzde inşaat sektörü, özellikle ülkemizde olmak üzere hızla büyümektedir ve bu büyümeyle birlikte hız faktörü de büyük önem kazanmıştır. Sektörün yüksek büyüme hızına karşın, nitelikli işçi sayısı yeterli olmamakta ve hız faktörünün de etkisiyle kalitede önemli düşüşler yaşanmaktadır. Yakın zamanda geliştirilen kendiliğinden yerleşen betonlar, yapıda insan faktörünü minimize etmek açısından önemli bir boşluğu doldurmuş, sıkıştırma ve yerleştirme işlemlerine bağlı mukavemet ve durabilite problemlerini ortadan kaldırmıştır.

Yapılarda yoğun olarak kullanılan bir başka çimento esaslı malzeme de şaplardır. TS EN 13318'e [2] göre şaplar;

- Herhangi bir zemin üzerinde istenilen kotta bir yüzey oluşturmak
- Son yüzey kaplamasını taşıyıcı zemin oluşturmak
- Son yüzey olarak aşınma tabakası oluşturmak

amaçlarından en az birini gerçekleştirmek için; tabaka veya tabakalar halinde; zemine bağlı ya da zeminden ayrı olarak, bir ayırıcı tabaka veya yalıtım tabakası üzerine serilen malzemeler olarak tariflenmektedir.

Bu çalışmada da, insan faktörünün azaltılması ve imalat hızının arttırılması gibi amaçlarla, BS EN 13813'e [3] göre bir şap malzemesin sahip olması gereken özellikler olan yeterli basınç ve eğilme dayanımı, yüzey sertliği, aşınma ve darbe direnci ve yüksek yapışma dayanımına sahip, aynı zamanda da kendiliğinden yerleşebilme özelliği gösteren şap üretimi hedeflenmiştir.

Kendiliğinden yerleşen şapların, katkı maddelerinin ve yüksek bağlayıcı oranının getirdiği ek maliyetlerden dolayı kaçınılmaz olarak diğer şaplardan daha pahalı olacağı; ancak yapım aşamasında uygulama süresi ve işçilik miktarı ile ilgili getireceği avantajların bu ek maliyetleri telafi edecek oranlara ulaşacağı öngörülmektedir.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

2.1 Taze Beton Özellikleri

Betonun taze hali, yapımında kullanılan bütün malzemelerin ilk kez bir araya getirilip karıştırılmaya başlandığı andan, sertleşmiş beton oluşana kadar geçen kısa süredeki halidir.

Taze betonu tanımlarken kullanılan en yaygın yaklaşım priz başlangıç ve bitiş zamanlarının tespitine dayanır. Priz başlangıç zamanı, hidratasyon halindeki çimento hamurunun mikro-yapısal gelişiminin betonu uygun şekilde dökülemeyecek ve sıkıştırılamayacak kadar katılaştırdığı an olarak kabul edilir. Priz bitiş zamanıysa katılaşmanın karışımın minimum ölçülebilir dayanımı verecek kadar ilerlediği süreyle ifade edilir [4].

2.1.1 İşlenebilirlik ve kıvam

Taze beton, harç veya çimento hamuru söz konusu olduğunda en sık kullanılan terimler işlenebilirlik ve kıvamdır. İşlenebilirlik, betonun karıştırma ve yerleştirme işleminin minimum enerji ile ve homojenliğini yitirmeden, ayrışmadan yapılması ve kalıbını boşluksuz doldurabilmesiyle ilgili bir özelliktir [5]. Kıvam, betonun akıcılığıyla veya kendi ağırlığıyla hareket edebilme kabiliyetiyle ilgili bir kavramdır [6]. İşlenebilirlik, çimento hamuru içinde herhangi bir şekilde dağılmış agregaya sahip her türlü taze beton ve harç karışımlarının değerlendirilmesinde kullanılırken, kıvam terimine ise agrega bulundurmayan, çimento ve su ile meydana gelmiş çimento hamurunun yorumlanmasında ihtiyaç duyulmuştur.

İşlenebilirlik ile kıvam arasındaki ayırımın pratikte yararlı olduğu görülmüştür çünkü taze çimento hamuru özellikleri doğrudan taze harç veya beton özelliklerine çevrilememektedir [4].

Kıvam terimi bir taraftan homojenlik, düzenlilik veya uygunluk bir taraftan da akıcılığı kapsamaktadır. Kıvam, başka endüstriyel işlemlerde de akışkanları ve

süspansiyonları tanımlamakta kullanılmaktadır. Birçok benzer durumda kıvam, bir veya daha fazla bilimsel ve genellikle reolojik verilerle tanımlanmaktadır.

Taze betonda ise yerleştirilebilme kolaylığı, karmaşık şekilleri doldurabilme kapasitesi, donatı çevresindeki akış ve perdahlanabilirlik gibi belirli bakış açıları tanımlanabilir. Ancak, bu özellikler tamamen kıvam terimi ile açıklanamaz, aynı zamanda karışımdaki en büyük agrega boyutu gibi reolojik özelliklerle açıklanamayacak verilere de bağlıdırlar.

Geçmişte işlenebilirliği tanımlama amaçlı birçok farklı öneride bulunulmuştur. Bu önerilerde bulunanların ortak noktası, işlenebilirliğin karmaşık ve genel bir terim olduğu ve tek bir test yöntemiyle ölçülemeyeceğidir. İşlenebilirliği birkaç tane daha temel veri ve özellikle tanımlayabilmek için denemeler yapılagelmektedir. Bunların içinde viskozite, akma gerilmesi, hareket kabiliyeti, içsel sürtünme, pompalanabilirlik, stabilite, kohezyon, ayrışma, terleme, sıkıştırılabilme ve perdahlanabilirlik bulunmaktadır. Bu özelliklerden bazıları yerleşmiş reolojik yöntemlerle tanımlanabilecek bilimsel verilerdir. Diğerleri için ya sadece ampirik değerlendirmelere güvenmek ya da daha bilimsel yaklaşımları mümkün kılabilmek amacıyla bir takım alt parçalara bölerek incelemek gerekir. Bununla birlikte bu özelliklerin seçimi, yazardan yazara, ülkeden ülkeye ve hatta bir şantiyeden diğerine değişmektedir. Günümüzde, taze betonun işlenebilirliğini tanımlayan dünyaca kabul görmüş bir karakteristik grubu yoktur [4].

Birçok beton teknolojisi uzmanı işlenebilirlik hakkında, perdahlanabilirlik gibi yetenek, deneyim ve uygulayıcının aletlerine bağlı verilerin ve taze beton kalitesi hakkında ölçüm yapılamadan ileri sürülen öznel değerlendirmelerin mevcut olduğunu kabul etmektedirler [4]. En kolay yol taze betonun işlenebilme özelliğine göz kararı hüküm vermektir. Karışımın hareket kabiliyeti gözetlenerek plastik ve akıcı kıvamlar ayırt edilir. Ayrıca kohezyon, yani iri danelerin harç tarafından iyi sarılı olup olmadığı, karışımdan ince harcın veya suyun ayrışıp ayrışmadığı gözetlenir. Bu gözetlemelere yerleştirme sırasındaki durumda eklenir. Mesela mala veya kürekle vurulduğu veya düzlendiği zamanki yüzeyin kapanma derecesi gibi [7]. Uygulamada işlenebilirlik hakkındaki değerlendirmeler deney sonuçları ve buna ek olarak öznel, genellikle görsel yargıya dayanmaktadır. İşlenebilirlik çoğunlukla iyi, kötü veya orta, taze karışımın görüntüsü ise kuru, koyu, plastik, yumuşak, nemli, ıslak, akıcı veya sıvı olarak belirlenmektedir.

Bir beton karışımının işlenebilirliği aşağıdakiler tarafından etkilenir.

- İlk karıştırma işleminin üzerinden geçen zaman;
- Agrega özellikleri, bilhassa, tane şekli ve granülometrisi, gözeneklilik ve yüzey dokusu;
- Çimento özellikleri, göreceli olarak agrega özelliklerine göre daha az önemli;
- Yüksek fırın cürufu, toz haline getirilmiş yakıt külü, silis dumanı gibi çimento ikamesi elemanların bulunması;
- Akışkanlaştırıcı, geciktirici veya hava sürükleyici gibi katkıların varlığı;
- Karışım bileşenlerinin bağıl oranları [8].

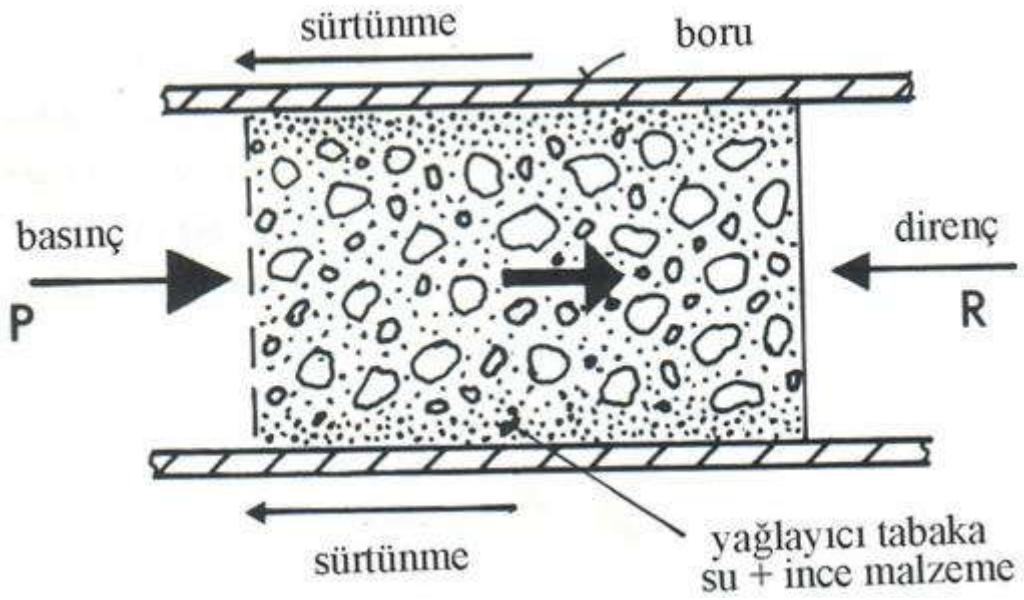
2.1.2 Hareketlilik ve pompalanabilirlik

Taze betonun taşınması ve yerleştirilmesi, karışımın minimum bir dış güç ile kolayca akabilmesi ve bu süreç içerisinde bileşiminde veya özelliklerinde belirli bir değişiklik olmadan nihai konumuna ulaşabilmesini gerektirir. Betonun karmaşık kalıpları tamamen doldurması ve her daim donatılar arasından ve çevresinden kolayca akabilmesi istenir. Beton karışımının su altında veya derin çukurlarda akmasının gerektiği uygulamalar da vardır.

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

Taze betonun pompalanması, şantiye sahasında taşımak ve yerleştirmek için oldukça yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Kolay pompalama için minimum basınç ile ve tıkanma tehlikesi olmadan boru içinde kütlesel bir şekilde akması eklidir. Yeterli bir kararlılıkla tamamlanmış iyi derecede hareketlilik, pompalanabilir bir karışım için istenilen bir özelliktir. Ayrıca taze karışımı boru içinde hareket ettirmek amacıyla dışarıdan basınç uygulandığında hareketlilik ve kararlılığın sürekli olması pompalanabilirlik için gerekli şartlardan biridir. Bu sebeple pompalanabilirlik, çevresini saran boru ile birlikte basınç altındaki betonun hareketlilik ve kararlılığı olarak açıklanabilir. Taze betonun boru içinde hareket etmesi için dışarıdan uygulanan basınç, agrega granülometrisinin önemini gösterir. Agrega parçacıklarının

daha yoğun olarak düzenlenmesi sonucu karışımdaki boşluk oranı azalır ve böylece pompalanabilirlik ihtimali çok daha fazla yükselir. Çimento da dahil olmak üzere ince parçacıklar ile agregadaki boşluk oranı arasındaki ilişkinin karışımın pompalanabilirliğine etkisi Şekil 2.1'de gösterilmektedir.



Şekil 2.1 : Taze betonun boru içindeki akışı [4]

İnce malzeme miktarı çok yüksek olursa sürtünme kabul edilemeyecek kadar artar ve pompalama basıncı yükselir. Böyle bir durumda su miktarı artırılarak, akışkanlaştıncı katkı kullanılarak veya çimento granülometrisi değiştirilip boşluk oranı yükseltilerek pompalanabilirlik geliştirilebilir. Agrega granülometrisi uygun olmayan karışımlarda meydana gelecek olumsuzluklar, betonun viskozitesini artıran yoğunlaştıncı katkılar ile aşılabilir.

2.1.3. Kararlılık, ayrışma ve terleme

Taze betonun kalıplara yerleştirilmeden önce doğal olarak taşınabilmesi ve yerleştirilebilmesi istenir. Çünkü karışımın karıştırıcıyı terk ettiği anda üniformluğunu ve homojenliğini etkileyebilecek olan çarpma yüklerine, basınç ve kaymaya maruz kalacağı düşünülmektedir.

Kararlılık, taze karışımın ilk andaki üniformluğunun tüm taşıma ve yerleştirme süresi boyunca korunabilme kapasitesi olarak tanımlanabilir. Ayrıca karışımın ayrışma ve terlemeye karşı direnebilme yeteneği olarak da tarif edilebilir. Yani kararlılık ayrışmama ve terlememeyi içermektedir.

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

Taze betonun kararlılığı önemli bir özellik olsa da değerlendirilmesinde zamanımızda bile geniş kabul görmüş veya standartlaşmış deneyler bulunmamaktadır. Bu sebeple taze beton kararlılığı hakkında dolaylı yorumlar yapılabilmekte ve bu yorumlar kişisel kalmaktadır. Klasik çökme deneyinde kayma göçmeleri gözlemlendiğinde kararlılığın zayıf olduğu söylenebilir. Kimi uygulamalarda çökme okuması yapıldıktan sonra çökmüş betona hafifçe vurarak kararlılık hakkında bir yargıya varıldığı bilinir. Eğer beton kayar, dağılır veya devrilirse kararlılığın zayıf olduğu anlaşılır. Ancak orijinal seklini bozmadan biraz daha çökerse beton için kararlı denilebilir. Yayılma deneyi karışım numunesini sarsarak kararlılığını sınamaktadır. Kararsız karışımların ayrışma ve terlemeye olan eğilimleri yayılma deneyi sonunda numunenin çevresini saran su veya çimento hamurundan anlaşılır. Sarsma sonucu su veya çimento hamuru kararsız davranarak agrega ile birlikte hareket etmemiş ve ayrılmıştır.

Orimet testi de yüksek işlenebilirlikte fakat kararsız yapıdaki karışımları tespitte kullanılabilir. Örneğin, su/çimento oranının sürekli artışı karışım kararlılığını kaybedene kadar yüksek işlenebilirlik ve daha kısa akış zamanları sağlayabilir. Bundan sonra karışımda ayrışma başlar ve akış zamanı artar, hatta akış tamamen durabilir [4].

Taze karışımların genellikle bir mala yardımıyla yapılan görsel muayenesi de kaba ve ince agrega miktarıyla ilgili bir bilgi verip karışımın ayrışma ihtimaliyle ilgili bir tayin imkanı sağlayabilir. Hiçbir beton karışımı tamamen kararlı ya da ayrışmaya karşı tamamen dirençli denilemez. Aşağıdaki faktörler taze betonun kararlılığının artış veya azalışında etkilidir.

Karışımın kararlılığını düşürüp, ayrışma riskini arttıran faktörler:

- Özellikle en büyük agrega boyutunun 40 mm ve üzerinde olduğu durumlarda süreksiz granülometri oluşması

- Karışımda yetersiz miktarda ince agrega bulunması. Normal bir karışımda kumun inceliğine bağlı olmakla birlikte toplam agrega miktarının %30 - %40 oranındaki bölümünü kum oluşturur.
- Çimento hamuru miktarının özellikle ince agrega ile birlikte yetersiz olması.
- Çok yüksek su/çimento oranı. Bu durumda çimento hamurunun kıvamı düşer ve agreganın düzgün dağılımını sağlayan kohezyon yetersizleşir.
- Çok düşük su/çimento oranı. Çimento hamuru akıcı davranmaz ve bir ana faz oluşturamayacak kadar kurudur ve agrega tanelerine yapışamaz. Karışımın homojenliğini sağlayamaz.
- Köşeli kırmataş agregasının çok fazla kullanılması.
- İri agreganın yoğunluğunun ince agreganınve çimento hamurunun yoğunluğundan çok farklı olması
- Aşırı miktarda süperakışkanlaştırıcı kullanılması.

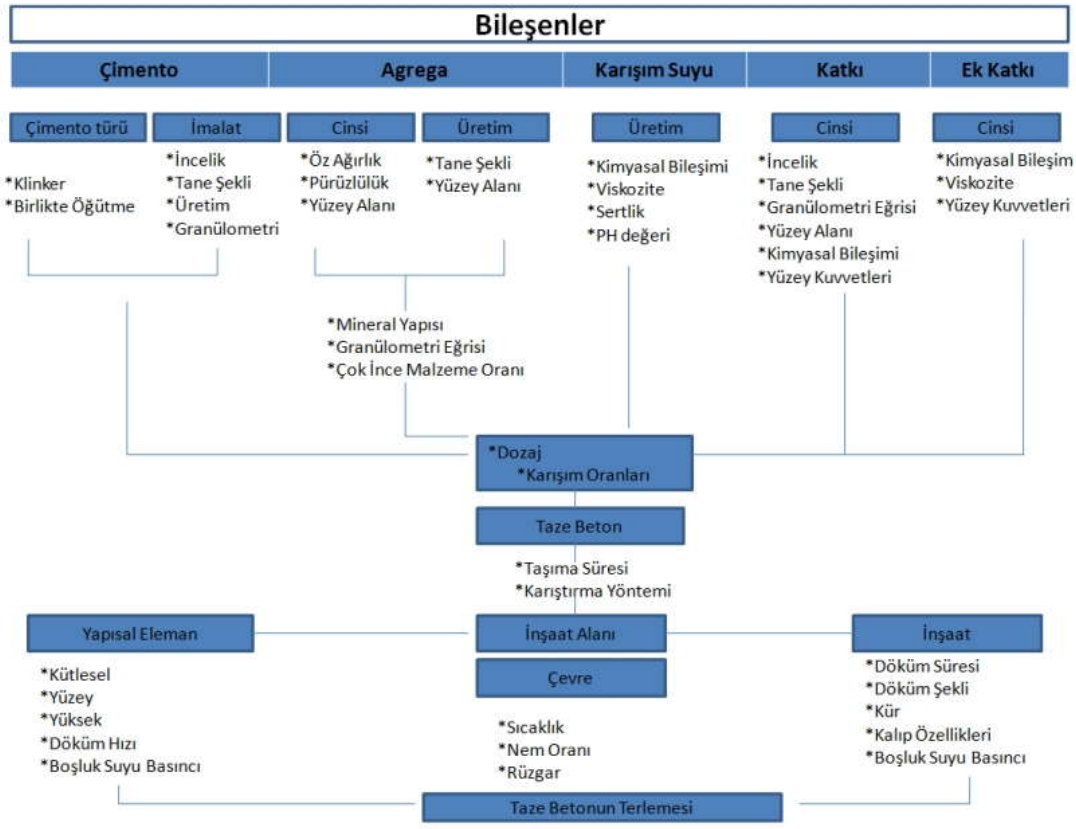
Karışımın kararlılığını arttırıp, ayrışma riskini azaltan faktörler:

- Agreganın sürekli granülometriye sahip olması ve en büyük tane boyutunun küçük tutulması
- Hava sürükleme
- Çimento ve yerine kullanılanlar da dahil olmak üzere ince malzeme miktarının arttırılması
- Optimum su/çimento oranı ve çimento hamuru miktarı
- Karışımın sıvı fazını koyulaştırıcı katkı

Terleme, suyun betondan ayrılarak yüzeye çıktığı özel bir çeşit ayrışmadır. Genellikle karışımın titreşim yoluyla yerleştirilmesi sırasında agreganın çökelmesi hemen yarım saat sonra beton yüzeyinde ince bir su filmi tabakası oluştuğu görülür. Terlemenin betonun uzun süreli dayanıklılığında büyük olumsuz rolü vardır, çünkü aşırı terleme çimento ana fazıyla agregaların alt yüzeyleri arasındaki bağları zayıflatır ve dayanım farklılığına neden olur [10]. Betonda en düşük yoğunluğa sahip bileşen sudur, bundan dolayı taze karışımın üst yüzeyine çıkmaya çalışır. Burada çok yüksek su/çimento oranına ve ters orantılı olarak zayıf dayanım ve dayanıklılığa sahip tabaka şeklinde çimento hamuru oluşturur. Rüzgarlı, kuru ve sıcak hava koşullarında yerleştirilmiş taze betonun yüzeyine ulaşan su kısa sürede buharlaşır. Bu

süreç sonunda plastik rötre oluşur ve çatlak oluşma ihtimali yükselir. Su beton içinde yüzeye doğru yükselirken iri agrega parçacıklarının ve yatay donatıların altında birikebilir. Böylece sertleşmiş betonda dayanımı ve aderansı düşürecek boşluklar meydana gelir. Yollar, kaplamalar, döşemeler ve şaplar gibi yüzeyi derinlemesine yerleştirme ve perdahlama gibi terlemeyi arttırıcı işlemlere maruz kalacak betonları terlemeye iyi direnç gösterecek karışımlar ile üretmek önemlidir. Uçucu kül, silis dumanı veya bunlar gibi çimento yerine kullanılabilecek ince malzemelerin betona eklenmesi terlemeyi azaltır. Başka bir seçenek ise betonun hava içeriğini hava sürükleyici katkı kullanarak arttırmaktır. Artan kuruma rötresinden dolayı beton çatlamaya karşı daha hassas olsa da çimento dozajının arttırılması veya daha ince çimento kullanılması terlemeyi düşürebilir [4]. Terlemenin oluşumundaki etkenler Çizelge 2.1'de ayrıntılı olarak gösterilmektedir.

Çizelge 2.1 : Betonun terlemesini etkileyen faktörler [9].



2.2 Kendiliğinden Yerleşen Betonlar

Betonun yeterli dayanım ve dayanıklılığı kazanması büyük oranda döküm sırasında düzgün yerleşmesine bağlıdır. Bu işlemin düzgün yapılamaması, beton içerisinde

boşlukların oluşmasına ve buna bağlı olarak da dayanım ve dayanıklılıkta azalmaya ve beton tarafından sarılan donatıların fiziksel ve kimyasal etkenlerden korunmasına engel olur. Sıradan betonlar genel olarak vibrasyonla sıkıştırılır ve sıkıştırma işleminin kalitesi de vibratörü kullanan işçiye bağlıdır. Bu vibrasyon işleminin yarattığı yoğun titreşimlerin işçi sağlığı açısından da olumsuzluklar ürettiği bilinmektedir [11].

1980'lerin ortalarında İngiltere, Amerika ve Japonya'da yıkanmaya karşı yüksek dirence sahip sualtı betonları üretmeye yönelik çalışmalar yapılmaktaydı. Bu çalışmalar 1988 yılında Japonya'nın Tokyo Üniversitesi'nde kendiliğinden yerleşen betonun (KYB) ilk örneğinin geliştirilmesinin başlangıç çalışmalarını oluşturmuşlardır. Çalışmaların bu doğrultuya kaymasının bir nedeni de Japon inşaat endüstrisinde çalışan nitelikli işçi sayısının giderek azalması ve bu durumun da yapıların dayanıklılığına etki eder hale gelmesi olmuştur [12].

Kendiliğinden yerleşen beton için, yüksek akıcılığa sahip ve aynı zamanda kararlı; kolayca yayılarak kalıbı dolduran ve bu esnada da dikkate değer bir ayrışma göstermeyen beton tanımı yapılabilir [13].

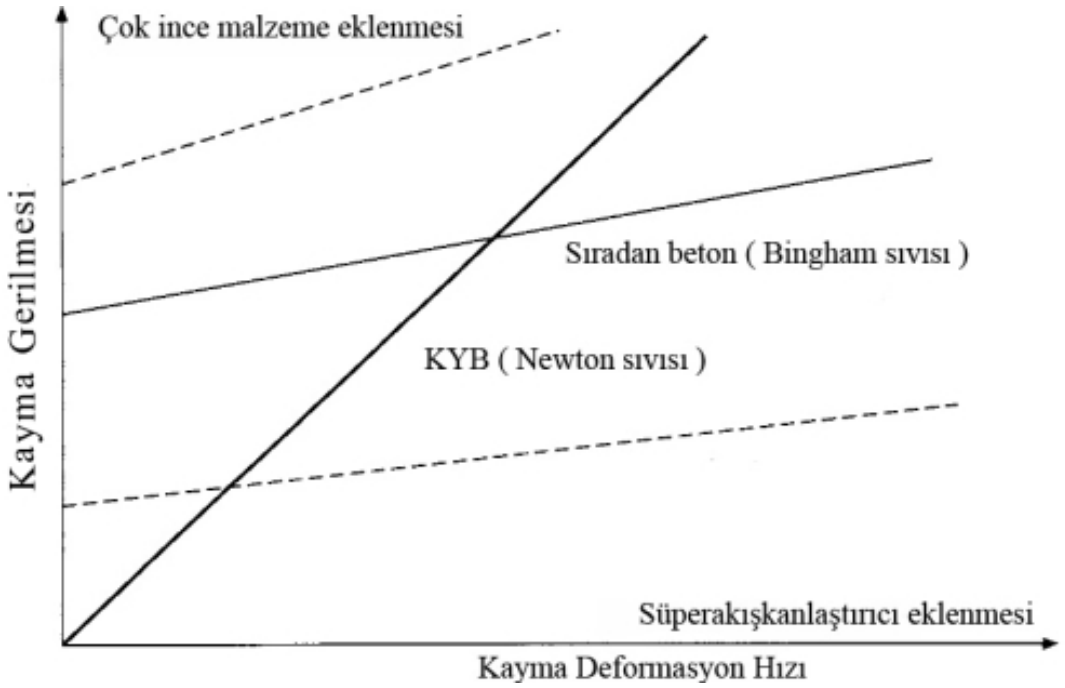
Bir yapının inşasında KYB kullanımı, sıradan betona göre aşağıdaki faydaları doğurur.

- İşgücü, teçhizat ve enerji tasarrufu yapılarak yapı maliyeti azaltılır.
- Üretim verimliliği arttırılarak inşaat süresi kısaltılır.
- Çalışma şartları iyileştirilerek, özellikle titreşime maruz kalan işçilerde oluşabilecek rahatsızlıklar engellenmiş olur.
- Nihai ürün kalitesinde performans artışı sağlanır.
- Yüzey kalitesinde artış sağlanır.
- Vibrasyonun neden olduğu ses kirliliğini ortadan kaldırır..
- Özel şekillere sahip yapı elemanları oluşturmada işlevsellik sağlayacağından, farklı tasarım seçeneklerine imkan sağlar [11,14,15].

2.2.1 Kendiliğinden yerleşen betonlarda kullanılan malzemelerin özellikleri

Bir KYB karışımı tasarlanmadan önce kendiliğinden yerleşebilirliğin özellikleri iyi anlaşılmalı ve bu özelliklere cevap verecek malzemelerin en etkin şekilde nasıl

kullanılabileceği düşünülmelidir. Bu malzemelerin seçiminde iki ana gereksinim göz önüne alınmalıdır. KYB'nin yüksek hareketliliğe sahip olması için düşük akma gerilmesine sahip malzeme; ayrışmaya karşı direnç gösterebilmesi için de yüksek viskoziteye sahip malzeme gereklidir. Karışıma su eklemek akma gerilmesini ve vizkoziteyi düşürür, süperakışkanlaştırıcı katkı eklenmesiyle de akma gerilmesi düşer ama viskozitede ki azalma çok sınırlı olur. Doğru üretim için bu iki değer arasında bir karışım oluşturmak esastır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 : Betonun reolojik özellikleri [16]

2.2.1.1 Çimento ve diğer ince malzemeler

EN 197-1:2000 standardına uyan bütün çimentolar KYB üretiminde kullanılabilir. Burada seçim üreticinin elindeki stoklara veya varsa uygulamanın gerektirdiği özel durumlara göre belirlenir [14]. KYB'lerin gösterdiği yüksek ince malzeme ihtiyacından dolayı kullanılan çimento miktarı da fazla olup, bu miktar metreküpte 450-500 kg arasında değişmektedir [11].

KYB'lerin taze özelliklerinden dolayı, kohezyonu ve ayrışma direncini arttırmak amacıyla çeşitli mineral katkılar kullanılmaktadır. Bu katkılar çimento miktarını ayarlayarak hidratasyon ısısından kaynaklanan rötreyi azaltmakta da faydalıdırlar. Mineral katkıların granülometrileri, tane şekilleri ve su emme kapasiteleri, karışımın su ihtiyacını etkileyeceğinden seçim aşamasında bu özelliklerine dikkat edilmelidir.

Kalsiyum karbonat esaslı mineral katkıların betonun reolojik özelliklerine çok olumlu etkileri vardır. Bunların özellikle 0.125mm çapından küçük boyutlarda olması veya 0.063mm'lik elekten % geçen değerinin 70'ten büyük olması, su ihtiyacı kontrolünde avantaj sağlar.

Uçucu küller, su miktarında oluşan değişikliklere olan duyarlılığı azaltır ve kohezyonu arttırırlar, fakat çok fazla miktarda kullanımları, hamurun aşırı kohezif olmasına sebep olarak akıcılığı olumsuz yönde etkileyebilir.

Çok yüksek oranda ince ve genel olarak küresel şekillere sahip tane dağılımından dolayı silis dumanı iyi kohezyon ve ayrışma direnci sağlar. Ancak, silis dumanının terlemeyi ciddi olarak azaltıcı etkisi, ani yüzey kabuklanmalarına sebep olabilir. Bu da beton dağıtımında bir yavaşlama olursa soğuk derz oluşumuna veya yüzey bozukluklarına sebep olur. Aynı şekilde yüzey bitirme işlemlerini de zorlaştırabilir.

Yüksek fırın cürufları (YFC) hidratasyon ısısını düşürmede etkilidir. Fazla miktarda kullanımı KYB'nin kararlılığını etkileyerek kıvam kontrolünü zorlaştırabilir.

Kullanımının bir amacı da güzel görünüm ve yüksek yüzey kalitesi oluşturmak olan KYB'lerde, mineral katkıların renk tutarlılığı bu özellikleri etkileyeceğinden seçimlerine dikkat edilmelidir [17].

2.2.1.2 Agregalar

KYB'lerde kullanılan agregalar EN 12620 standardına uygun ve EN 206-1 standardında tariflenen dayanıklılık gereksinimlerini karşılıyor olmalıdır. Agregaların tane şekli ve granilometrisi düzenli dağılımı ve boşluk miktarını önemli oranda etkiler. İri agregaların boyutları genellikle 12-20 mm aralığında seçilmekle beraber, en büyük agrega boyutunun minimum donatı aralığından küçük olması ölçütü geçerlidir. İri agregaların tane şekli ve boyut dağılımı akıcılığı ve geçiş yeteneğini doğrudan etkiler. Agrega taneleri ne kadar küresel olursa, içsel sürtünmeler o kadar azalacağından, geçiş yeteneği ve akıcılık aynı oranda artacaktır. İnce agregaların KYB'lerin taze haldeki özelliklerine etkisi, iri agregalara göre kayda değer derecede daha fazladır. 0.125mm'den küçük boyutlardaki ince agregalar çimento hamuru içeriğinde düşünülmeli ve su/toz malzeme oranı hesabına dahil edilmelidir [17].

2.2.1.3 Katkılar

EN 934-2 standardında tanımlanan özelliklere sahip süperakışkanlaştırıcı (SA) ve su kesici katkılar (SKK) KYB üretiminde zaruri niteliktedir. Viskozite düzenleyici katkılar aynı zamanda ayrışmayı azalmada faydalı olurlar. Hava sürükleyici, priz hızlandırıcı ve geciktirici katkılarda KYB'lerde sıklıkla kullanılır. KYB'lerde katkı kullanımı bölüm 2.3'te ayrıntılı olarak anlatılacaktır.

2.2.1.4 Lifler

Metalik ve Polimer lifler KYB'lerde sürekli kullanılmaktadırlar, fakat bunlar akıcılığı ve geçiş yeteneğini düşürebilirler. Bu sebepten taze ve sertleşmiş betonlarda istenilen niteliklere göre en uygun çeşit, miktar ve boy seçimi açısından sürekli denemeler yapılmalıdır. Polimer liflerin KYB'lerin kararlılığında olumlu etkileri vardır. Çökelmeyi ve plastik rötreden kaynaklanan çatlakları azaltırlar. Çelik veya uzun polimer lifler sertleşmiş betonun dayanıklılık ve tokluğunu arttırma amaçlı kullanılır. Bu liflerin boyları ve miktarları maksimum agrega boyutuna ve yapısal ihtiyaçlara göre seçilir. Eğer bu lifler donatı yerine kullanılıyorsa agrega blokaj riski ortadan kalkmıştır, fakat donatıyla birlikte kullanılıyorlarsa blokaj riski kayda değer oranda artar [17].

2.2.2 Kendiliğinden yerleşen betonların taze haldeki özellikleri

Taze haldeki KYB'ler için doldurma yeteneği, ayrışmaya karşı direnç ve geçiş yeteneği olarak isimlendiren üç ana özellik tanımlanmıştır [11,18].

2.2.2.1 Doldurma yeteneği

KYB'nin kendi ağırlığı altında şekil değiştirip istenilen kalıba vibrasyona gerek duyulmadan boşluksuz yerleşebilmesi çimento hamurunun akış yeteneğine ve taneler arası sürtünmeye bağlıdır. Sürtünmeyi azaltmak iki yolla mümkün olabilir.

- Süperakışkanlaştırıcı kullanarak yüzey gerilimini düşürmek
- Segregasyon düzenleyici katkı ya da filler kullanarak ince tanelerin etrafının en uygun şekilde sarılması sağlanabilir [11].

2.2.2.2 Ayrışmaya karşı direnç

KYB hareket halinde iken kararlı halde bulunmak zorundadır. Bundan dolayı iki koşula bakılmaktadır:

- İlk önce, terlemeyi önlemek için serbest su miktarı asgariye indirilmelidir. Bunu sağlamak için süperakışkanlaştırıcı kullanarak su ihtiyacı azaltılabilmektedir.
- İkinci olarak beton hareketli iken iri tanelerin süspansiyon içersinde kalmasını sağlamak için sıvı faz viskoz halde bulunmalıdır. Bunun için karışımdaki ince tane hacminin fazla olması ve/veya viskozite düzenleyici katkı kullanmak gerekmektedir [11].

2.2.2.3 Geçiş yeteneği

Geçiş yeteneği KYB'nin kalıp içerisinde bulunan donatı gibi sabit elemanların etrafından geçebilme özelliğidir. Donatı düzenleme açısından bu özelliğe ihtiyaç vardır. Bu konuda dikkate alınacak etkenler, iri agreganın şekil ve boyut seçimini etkileyecek olan donatılar arası mesafe ve harç hamurunun hacmi olacaktır. Donatı yoğunluğu arttıkça, iri agregaya kıyasla hamur hacminin daha fazla olması gerekir [11].

2.3 Kendiliğinden Yerleşen Betonlar ve Şaplarda Katkı Kullanımı

Beton veya harçlara, su, agrega, çimento ve lif dışında, karıştırma işleminden önce veya karıştırma işlemi sırasında ilave edilen malzemelere katkı denir. Kimyasal katkılar, katkıların önemli bir bölümünü oluşturan genellikle suda çözünebilen veya emülsiyon oluşturan malzemelerdir. Priz hızlandırıcılar, priz geciktiriciler, su kesiciler, süperakışkanlaştırıcılar ve geniş anlamda bakılırsa da hava sürükleyiciler, renklendiriciler v.b. kimyasal katkıları oluştururlar [19].

90'ların başında kimyasal katkı kullanımı oranı %20'yi bulmazken, bugün hazır betonda katkı kullanımı vazgeçilmez bir unsur haline gelmiştir. Günümüzde, özellikle hazır beton sektöründe akışkanlaştırıcı katkı kullanımı yaygınlaşmıştır [20].

Akışkanlaştırıcı katkılar, taze beton ya da harcın işlenebilirliğini değiştirerek reolojik özelliklerini etkilerken, su/çimento oranını düşürerek boşluk ve ayrışma olmaksızın daha iyi yerleşmenin sağlanmasıyla dayanım ve dayanıklılık özelliklerini etkileyen katkılardır. Akışkanlaştırıcılar etkinlik düzeylerine göre, normal akışkanlaştırıcılar, orta derecede su azaltıcı akışkanlaştırıcılar ve süperakışkanlaştırıcılar olmak üzere

sınıflandırılabilir. Akışkanlaştırıcıların bu etkileri gösterebilmeleri, hava sürüklemeleri, çimento taneleri tarafından absorbe edilmeleri ve prizi geciktirmelerinden kaynaklanmaktadır. Akışkanlaştırıcı kullanılmasıyla oluşan kapalı hava boşluklarının yüzeysel sürtünme kuvveti bulunmamaktadır. Böylece kararlı olan bu hava boşlukları, betonun içsel sürtünmesini azaltarak daha az su ile benzer işlenebilme yeteneğinin elde edilebilmesini sağlar [21].

2.3.1 Süperakışkanlaştırıcı katkılar

Yüksek performanslı betonlarda (YPB) betonun 3 temel özelliği olan dayanım, dayanıklılık ve işlenebilme öncelikle iyileştirilmektedir. YPB'nin ana hedefinin kısaca su/çimento (S/Ç) oranı veya su/bağlayıcı (S/B) oranını olabildiğince düşük tutmak olarak özetleyebiliriz. İkinci önemli hedef ise, betonu ayrışma ve boşluk olmadan kolayca yerleştirmektir. Bu iki istek klasik beton teknolojisindeki en önemli çelişkilerdir. Ancak yüksek oranda su azaltıcılar veya süperakışkanlaştırıcıların (SA) icat üretilmesiyle bu çelişki ortadan kalkmıştır [22]. Süperakışkanlaştırıcı katkılar ilk kez 1960'ların sonlarında Japonya'da ve 1970'lerin başlarında Almanya'da kullanılmaya başlanmıştır. Bunlar esasen su azaltıcı sınıfına giren fakat kimyasal olarak farklı yapıda olan ve yaklaşık %30 oranında su azaltma kabiliyetine sahip katkılardır [19].

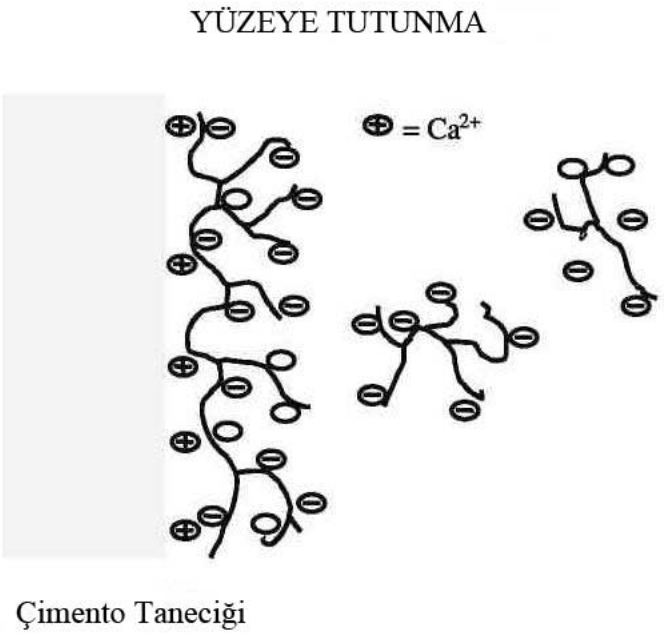
Bugün, dünyada genel olarak 6 farklı çeşit SA kullanılmaktadır:

- Naftalin Polisülfonatlar (polinaftalin)
- Melamin Polisülfonatlar (polimelamin)
- Linyosülfonatlar
- Polikarboksilatlar
- Poliakrilatlar
- Seyrek olarak da Polifosfonatlar

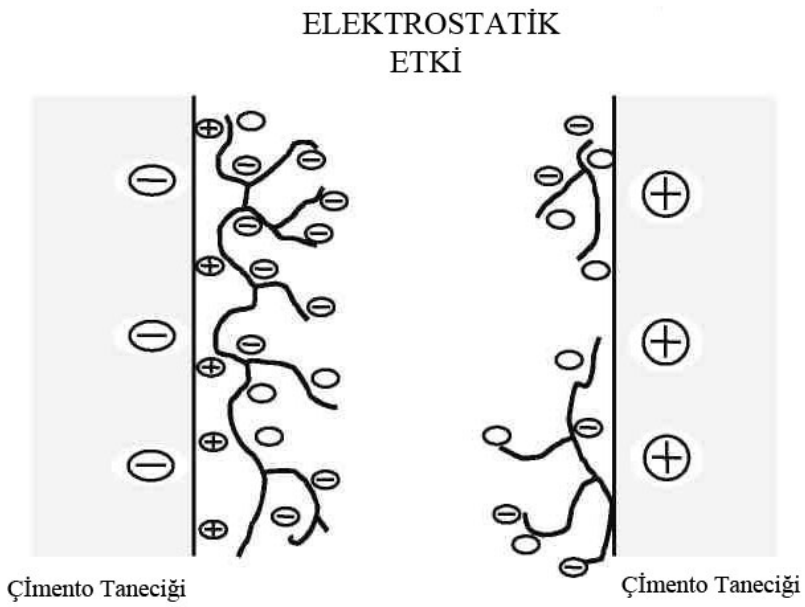
Polinaftalin ve polimelamin esaslılar, SA'ların çıkış noktası olsalarda, polikarboksilatlar yüksek fiyatlarına rağmen bugün çok daha sıklıkla kullanılmaya başlanmışlardır [23].

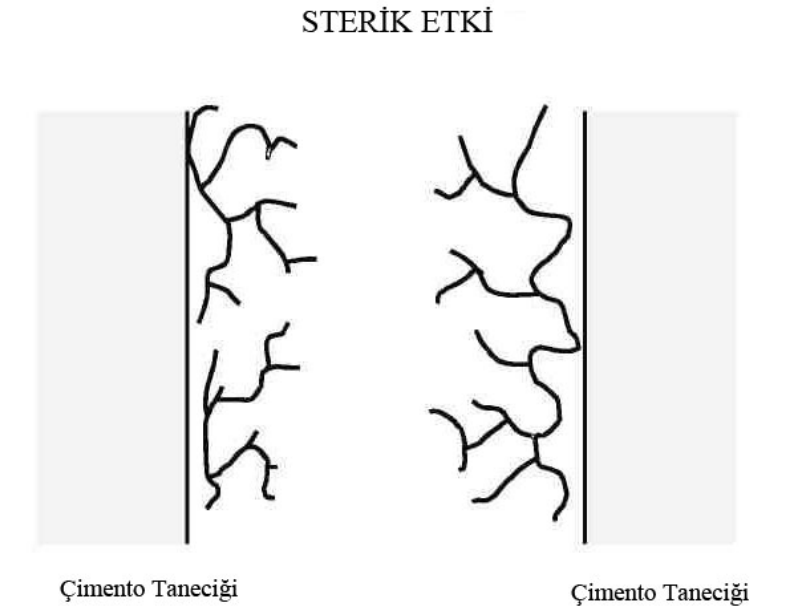
2.3.1.1 Süperakışkanlaştırıcı katkıların etki mekanizması

Geçmişten günümüze yapılan çalışmalar göstermiştir ki, eğer bir taze beton karışımında sadece su ve çimento kullanılacak ve su/çimento oranı 0.40'ın altında tutulacaksa böyle bir karışımın yayılma miktarının 100 mm üzerine çıkması neredeyse mümkün değildir. Fakat süperakışkanlaştırıcıların kullanılmasıyla su/bağlayıcı oranı 0.30'un altına düşürüldüğü halde 200 mm üzerinde yayılma değerleri alınabilmekte, hatta reaktif pudra betonlarında herhangi bir terleme veya ayrışma gözlenmeden bu oran 0.20'nin altına indirilebilmektedir [23]. Bu durumun sebebini açıklamak için yapılan ilk değerlendirmeler SA'ların çimento taneciklerini dağıtma yeteneklerine bağlanmıştır. Yalnız çimento taneciklerinin dağılımı sabit ve sürekli olmalıdır. Dağılım ve sürekliliği açıklayan teorilerden biri SA moleküllerinin çimento taneciklerini negatif yükle yükleyerek tanecikler arasında elektrostatik bir etki oluşturması, bir diğeri ise çimento taneciklerinin yüzeylerine tutunmuş, absorbe edilmiş SA moleküllerinin bir sterik etki yaratarak, itici bir potansiyel oluşturmalarıdır. SA moleküllerinin absorbe olması, çimento tanecikleriyle bunlar arasında bir köprü oluşturan Ca^{2+} iyonlarının varlığıyla mümkündür.



Şekil 2.3 : Kimyasal katkılarda yüzey absorbsiyonu, elektrostatik ve sterik etkinin şematik gösterimi [23].





Şekil 2.3 (devam) : Kimyasal katkılarda yüzey absorbsiyonu, elektrostatik ve sterik etkinin şematik gösterimi [23].

2.3.1.2 Süperakışkanlaştırıcı katkıların taze ve sertleşmiş beton özelliklerine etkileri

Beton üretiminde SA kullanımının genel olarak üç amacı vardır. Bunlar; çok düşük su/çimento oranına sahip yüksek dayanımlı beton üretmek; düşük çimento dozajlı betonlar üretmek ve yüksek akışkanlığa sahip beton üretmektir. Kendiliğinden yerleşen betonlarda SA kullanımının esas amacı yüksek akışkanlığa sahip beton üretmektir. Amaç, su/çimento oranını azaltmak veya çimento miktarını azaltmak

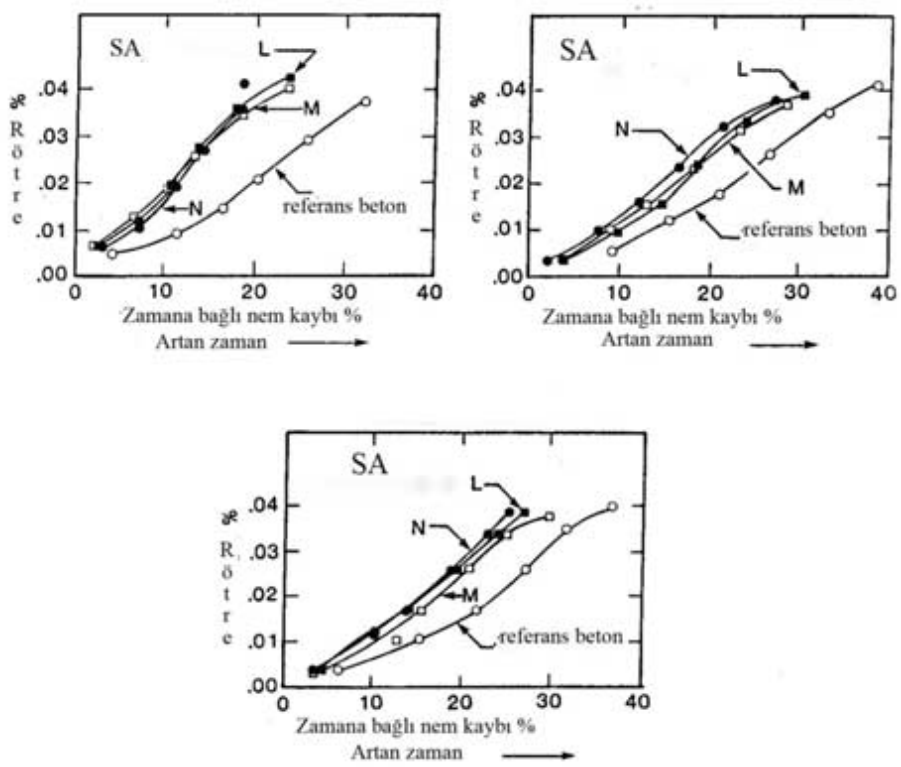
değil yüksek yayılma değerleri veren aynı zamanda ayrışma göstermeyen beton üretebilmektir.

Süperakışkanlaştırıcılar kimyasal yapıları gereği, betonların çökme-yayılma değerlerini arttırıcı etki gösterirler. Yalnız bu değerlerdeki artış miktarı, SA'nın sınıfı, dozajı, karışıma ekleniş zamanı, karışımın su/çimento oranı, çimento miktarı ve özellikleri, agrega özellikleri ve sıcaklık gibi birçok değişkene bağlıdır. Her halükarda katkı miktarı belirli bir dozajın üstüne çıkarıldığında artık yayılma değerlerinde artış gerçekleşmez. Araştırmalar SA'ların karıştırılma işleminin başlamasından birkaç dakika sonra eklendikleri takdirde daha yüksek yayılma değerleri sağladıklarını ancak bu aralığın 5-15 dakika üzerine çıkması durumunda değerlerde düşüş olduğunu göstermektedir.

Yapılan araştırmalarda, SA'ların farklı portland çimentolarıyla yapılan karışımların hepsinde su azaltıcı etki gösterdiği tesbit edilmiş, fakat azalma miktarının çimento cinsiyle değiştiği ve belirli bir katkı dojazının üstüne çıkıldığında daha fazla azalma olmayacağı gösterilmiştir.

Kendiliğinden yerleşen betonlarda karşılaşılan önemli sorunlardan biri ani işlenebilirlik kaybıdır. SA'ların hidrate çimento hamuru tarafından tüketilmesiyle oluşan bu durumun, SA dozajını arttırarak daha uzun sürelerde gerçekleşmesi sağlanabilir fakat dozajın aşırı arttırılması, priz süresinde gecikme, ayrışma ve terleme gibi olumsuz sonuçlar doğurabilir. Bu gibi kıvam kayıpları durumunda karışıma sonradan ilave katkı verilmesi çözüm oluşturabilir. Bu ilave katkı miktarı çevre sıcaklığıyla orantılı olarak arttırılabilir. Yalnız, bilinçsizce tekrarlı katkı verimi betonda terlemeye, segregasyona ve priz süresinde gecikmeye neden olacaktır [19].

Kasami [25], SA katkılı ve katkısız betonların pompalanabilirliğinin araştırıldığıbir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada toplam 14 farklı karışım üretilmiş, bu karışımlar 125mm çaplı boru kullanarak toplam 109 metre boyunca pompalanmıştır. SA katkılı betonlarda pompalama basıncında ve hattaki basınç değerlerinde %30 oranında azalma görülmüştür.



Şekil 2.4 : Çeşitli SA katkılar kullanılan betonlarda rötre - bağıl nem ilişkisi [19].

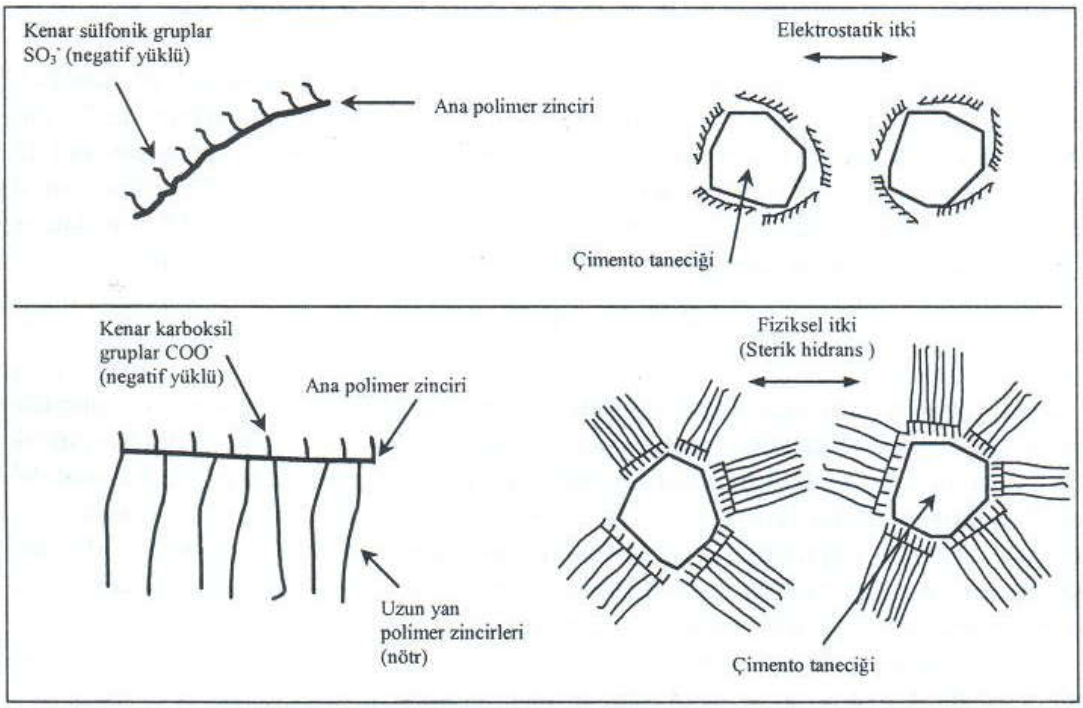
Genel olarak SA içeren betonların sünme ve rötre değerlerinin normal betonlara kıyasla çok da farklı olmadığı düşünülse de bunun aksini gösteren çalışmalar yapılmıştır. SA'ların rötre ve sünme değerlerine etkileri üzerine yapılan bir araştırmada, su azaltma amaçlı üretilen SA katkılı beton ve katkısız beton üzerinde karşılaştırma yapılmıştır. Araştırmada linyosülfonat, melamin ve naftalin esaslı 3 farklı katkının her biriyle 3 farklı çimento kullanılarak betonlar üretilmiştir. Şekil 2.4'te aynı miktarda nem kaybı için, süperakışkanlaştırıcı kullanılan betonlarda daha yüksek oranlarda rötre tesbit edildiği görülmektedir. [26].

2.3.1.3 Polikarboksilat esaslı süperakışkanlaştırıcılar

Linyosülfonat, melamin ve neftalin esaslı katkılarda genel olarak çimento dispersiyonu elektrostatik itki kuvvetleri vasıtasıyla sağlanır. Polikarboksilat esaslı katkılarda ise elektrostatik itkiler yanında katkı performansını daha da arttıran sterik etkiler de gözlenmektedir (Şekil 2.5).

Polikarboksilat esaslı süperakışkanlaştırıcılarda (PESA) molekül zincirindeki uzun yan zincir betonun priz süresini arttırmadan akışkanlığını korumada etkilidir. Kısa ana zincir ise aynı dozajda daha yüksek akışkanlık sağlayarak prizi süresini geciktirir ve zamana bağlı kıvam kaybını da etkilemez. Polimere yüksek oranda sülfonik grup

bağlıysa aynı dozajda akıcılık artar ancak boşluk çözeltisinde çimento ve diğer bileşenlerden kaynaklı sülfat iyonu konsantrasyonu artarsa akıcılık azalır.



Şekil 2.5 : Geleneksel akışkanlaştırıcı katkıların ve polikarboksilat esaslı katkıların çimento taneciklerini elektrostatik ve fiziksel itki kuvvetleri ile birbirinden uzaklaştırması [27].

PESA'lar taze beton karışım suyunu yüksek oranda azaltma yetisine sahiptirler, ancak bu durumda betonda ani işlenebilirlik kayıpları gözlenebilir. Göreceli olarak daha az su kesildiğinde beton işlenebilirliğini daha uzun süre koruyabilir. PESA'lar kendi aralarında su kesme ve işlenebilirliği koruyabilme yetileri açısından farklılık gösterirler. Bu farklılıkların temel nedenleri, hammadde farklılıkları, katı madde oranları, katı molekülünü oluşturan ana zincir ve yan zincirin kimyasal yapısı ve molekül uzunluğudur. Bu gibi birçok değişken nedeniyle PESA'ların su kesme performansları ve işlenebilirliklerini koruma özellikleri, katkı dozajının bir fonksiyonu olarak deneysel çalışmalarla incelenmelidir [27].

İnan vd. polikarboksilat esaslı bir süperakışkanlaştırıcı katkının betonun su ihtiyacına ve 28 günlük basınç dayanımına etkisini inceledikleri çalışmada, katkının şartnamelere uygun oranlarda su eksilttiği ve basınç dayanımlarında artış sağladığını gözlemlemişlerdir. Bu çalışmaya göre, değişik çimento dozlarında ve değişik katkı içeriklerinde hazırlanan numunelerde, kontrol karışımına kıyasla, karışım suyu % 6 ile % 43 arasında azalmıştır. Katkı kullanımı, karışımın çimento ve katkı içeriğine

bağlı olarak, kontrol numunelerine nazaran basınç dayanımında % 12 ile % 109 arasında artışı sağlamıştır [28].

2.3.2 Priz geciktirici katkılar

Priz Geciktirici Katkılar (PGK), hidratasyon hızını azaltarak priz süresini geciktirip işlenebilirliğin daha uzun süre korunabilmesini sağlayan katkılardır. Hidratasyon süresindeki gecikmenin sebebi PGK'nın, çimento tanecikleri etrafında bir film oluşturarak, suyla etkileşimini yavaşlatmasıdır. Burada gecikmenin ölçüsünü bu film tabakasının kalınlığı belirler. Bir süre bu film tabakası ortadan kalkar vehidratasyon devam eder. Burada dikkat edilmesi gereken husus, aşırı dozda katkı kullanımıdır. Aşırı kullanım sonucunda çimento tanecikleri hidratasyona katılamaz ve priz gerçekleştirilemez [29].

PGK'lar genel olarak, su azaltıcı katkılarla aynı kategoride incelenirler. Bunun sebebi geciktiriciler ile su azaltıcı katkıların benzer içeriklere sahip olmalarıdır. Bu da PGK'ların çoğunun karışım suyunu azaltmada etkili olmasını sağlar.

Ramachandran [19] PGK'ların çökme kaybına olan etkisini araştırdığı çalışmasında, PGK eklenmiş betonun başlangıç çökme değerinin, kontrol betonuna göre daha fazla olduğunu tesbit etmiş, fakat çökme değerindeki zamana bağlı kayıp oransal olarak konrol betonuna göre çok daha fazla çıkmıştır. Buna karşın PGK'lı betonun 2 saat sonundaki çökme değeri, kontrol betonuna göre önemli oranda yüksek bulunmuştur (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2 : Geciktirici katkı kullanımının betonun genel özelliklerine etkisi [19].

Karışım	**Kontrol Karışımı**			**Geciktiricili Karışım**		
Sıcaklık, C° (F°)	5° (41°)	20° (68°)	35° (95°)	5° (41°)	20° (68°)	35° (95°)
Su/çimento	0.58	0.60	0.61	0.56	0.57	0.58
Priz süresi (saat:dk)						
Başlangıç	11:05	5:05	3:30	13:30 (+22%)	6:10 (+21%)	4:30 (+24%)
Bitiş	16:55	7:50	6:20	19:05 (+13%)	8:55 (+14%)	7:15 (+15%)
Basınç dayanımı (Mpa)						
3 günlük basınç dayanımı	8.2	15.55	18.3	7.4	16.1	19.1
28 günlük basınç dayanımı	35.0	35.3	34.1	40.7	43.3	41.2

2.3.3. Hava sürükleyici katkılar

Hava sürükleme işlemi 1930'ların sonlarında şans eseri bulunmuştur. Bu dönemde beton kaldırım taşlarının bazılarının donmaya karşı daha dayanıklı olduğu gözlemlenmiş ve bunların üretimiyle ilgili belgeler karşılaştırıldığında, dayanıklı betonların çimentolarında üretim farklılığı tespit edilmiştir. Bu çimentoların üretiminde öğütme işlemine yardımcı olması açısından balık yağı ve diğer hayvansal yağların kullanıldığı ve bunların da hava sürükleyici etki gösterdikleri anlaşılmıştır. Bugün betonun içerisinde küçük hava kabarcıkları oluşumunu sağlayan katkılara hava sürükleyici katkılar denilmektedir.

Hava sürükleyici katkılar betonun işlenebilirliği ve kıvamında iyileşme sağlarken, terleme ve ayrışma miktarında azaltıcı yönde katkı sağlarlar. Beton içerisindeki hava kabarcıkları sıkışabilirliklerinden dolayı, döküm ve yerleştirilme işleminde oluşacak güçler etkisinde yüksek deformasyon göstererek işlenebilirliği arttırırlar.

Hava boşlukları sayesinde betonun birim ağırlığında ciddi azalmalar sağlanır, buna karşın dayanım değerleri düşer. Betonun elastisite modülünde de dayanımla aynı oranda azalmalar görülür. Hava sürükleyici katkıların betonlarda kullanımının en önemli sebebi donma-çözünme etkisinin azaltılmasına olan katkısıdır. Hava sürükleyici katkılar beton bünyesinde homojen olarak dağılan mikro boşluklar yaratarak bünyede donan su nedeniyle oluşan buzun kaçacağı alanlar yaratmakta ve bu şekilde buzun genleşmesinin yarattığı içsel gerilmeyi düşürerek betonu donun zararlarından korumaktadır [19].

Struble vd. yaptıkları çalışmada; beton içerisindeki hava miktarının belirli miktarda katkıyla doyum noktasına ulaşacağını, bu noktanın üzerinde eklenecek katkının hava miktarında bir artış sağlamayacağını gözlemlemişlerdir. Aynı çalışmada Yüksek Oranda Su Azaltıcı katkı (YOSA) kullanılmış betonlarda, hava miktarı arttıkça akma gerilmesi ve viskozitenin arttığı; YOSA kullanılmamışsa, hava miktarı artışıyla, akma gerilmesinde artış olmasına karşın, viskozitede azalma olduğu tespit edilmiştir. Çalışmaya göre, hava miktarı arttıkça hamurun akışkanlığı artmakta, çökme ve akma gerilmesi arasında pozitif ilişki gözlemlenmektedir [30].

2.4 Erken Yaş Şekil Değiştirmeleri ve Rötre

Betonun erken yaş çatlakları, ilk kez 1930'larda baraj inşasıyla ilgili endişelerden kaynaklı araştırmalara konu olmak üzere ilgi görmüş ve günümüze kadar süre gelmiş önemli bir sorundur. Günümüzde, hızlı inşa teknolojisindeki ilerlemeler, yüksek erken dayanımlı betonların ve yeni çimento ve katkıların üretilmesi bu endişelerin yönünü değiştirmiştir. Betonun erken yaş davranışları henüz tam olarak anlaşılamamakla beraber yoğun araştırmalara konu olan bir alandır.

Erken yaştaki hacim değişiklikleri Çizelge 2.3'deki gibi 4 ana madde altında toplanabilir. Bunlar, termal genleşme, rötre, şişme ve sünmedir [31].

Termal deformasyonlar, betonun hidratasyonu sırasında ortaya çıkan ısı ve çevresel koşullara bağlıdırlar. Sıcaklık değişimlerini, betondaki birim şekil değiştirmeye dönüştürmek amacıyla ısıl genleşme katsayısı terimi kullanılmaktadır. Isıl genleşme katsayısı özellikle erken yaşlarda yüksek değerler alırken, 48 saat civarında minimuma inip 72. saat dolaylarına denge konumuna ulaşır. Bu değerlerde sürekli bir değişim söz konusu olduğundan, boyutsal değişimleri tanımlamak için sabit bir katsayı kolaylığı gösterememektedir [32].

Çizelge 2.3 : Erken yaş hacim değişiklikleri [31].



Sabit gerilme altında, malzemelerde zamanla oluşan şekil değiştirmeye sünme denir [33]. Taze halden, yük taşıyıcı katı haline dönüşen beton bu kısa süre içerisinde yüksek oranda sünme gösterir. Sünme, toplam şekil değiştirmeden, başlangıç elastik şekil değiştirmesi ve rötre miktarının çıkarılmasıyla bulunur. Genel olarak beton mukavemetinin yaklaşık %40'ına karşılık gelen gerilmelere kadar sünme deformasyonun uygulanan gerilmeyle lineer ilişkide olduğu varsayılır. Ortam ile nem alışverişi olmayan yük altındaki betonda görülen sünmeye temel sünme; dış ortama açık, nem alışverişi yapabilen yük altındaki betonda oluşan sünme değerinin, temel sünme değerinden çıkarılmasıyla elde edilen sünme değerine ise kuruma sünmesi denir [31].

Betonda erken hidratasyon sonucu su ihtiyacı ortaya çıkarsa, bu ihtiyaç agregalar arasındaki boşluk suyu ve terleme suyuyla karşılanacaktır. Terleme suyunun çimento jelleri tarafından emilmesi ve jel parçacıklarının arasına girmesiyle, bu parçacıkların kohezyonunu engelleyen bir kuvvet ve şişmeye yol açan bir basınç oluşur. Jel parçacıkları arasına giren bu su tabakası ne kadar kalınlaşırsa, şişme basıncı da o kadar artar [34].

2.4.1 Rötre olayı

Betondaki su miktarının, çimento hidratasyonu ve çevresel etkiler nedeniyle azalması sonucu çimento matrisinde iç gerilmeler oluşur ve beton büzülmeye karsı zorlanır. Betonda su kaybının neden olduğu bu hacimsel değişikliğe "Rötre" denir. Rötre, beton veya betonarme yapı elemanlarının hem görünüşlerini, hem de dayanımlarını olumsuz yönde etkiler.

2.4.2 Rötre çeşitleri

2.4.2.1 Plastik rötre

Taze beton yerleştirildikten sonra agrega dibe doğru çökelirken su, yüzeye doğru çıkmaya baslar. Yüzeydeki su, rüzgar veya günesin etkisiyle buharlaşırken beton içinde hidratasyon bünyedeki suyu kullanmaya devam eder. Bu aşamada yüzeydeki buharlaşma hızı, terleme hızından fazla olursa betonda "plastik rötre" meydana gelir. Bu olaya plastik rötre denilmesinin sebebi, büzülmenin betonun prizini tamamlamadığı ve hala bir miktar işlenebilirliğe sahip olduğu durumdayken gerçekleşmesindendir. Betonun göstereceği plastik rötre miktarı, büyük ölçüde,

betonun sıcaklığına, havanın sıcaklığına, rölatif nem miktarına ve rüzgâr hızına bağlıdır. Plastik rötreye yol açabilecek bir başka neden de beton kütlesindeki suyun bir miktarının, betonun altında yer alan taban malzemesi tarafından veya kalıplar tarafından emilmesidir.

Plastik rötrenin sonucu olarak beton yüzeyinde kapileriteden dolayı mikroskobik ölçekte hacim değişiklikleri olur. Bu hacim değişikliğinden dolayı beton yüzeyinde çatlaklar oluşması muhtemeldir. Beton içerisinde veya yüzeyinde kapileriteden dolayı olusan menisk hali betonda bir basınç etkisi oluşturur. Üst kısım büzülmeye zorlanırken, alt kısım sıkışmaya baslar. Bu basınç etkisi beton içindeki suyun, kılcal boşluklardan yukarı doğru çıkısını hızlandırır. Basınç etkisiyle kendisine daha kolay ve kalıcı bir yol açan su, betonun ilerleyen zamanlarda donatısının korozyona uğramasına neden olacak bu boşlukları da birleştirmiş ve betonun geçirimliliğini arttırmış olur.

Yüzeysel plastik rötreye ve oturmayla şiddeti artmış plastik rötreye karşı alınacak önlemlerin en önemlisi dış etkenleri ortadan kaldırmaktır. Rüzgarı kesecek perdeler oluşturmak, su jetleriyle havanın kuruluğunu gidermek gibi önlemler alınabilir. Dış etkenleri göz ardı ederek sadece beton karışımını ayarlayarak ve uygun bileşenler seçerek plastik rötreyi önlemek mümkün gözükmese de betonda da gerekli nitelikleri sağlamak şarttır. Beton terlemeli fakat suyunu kaybetmemeli ve de yüksek oturmalar göstermemelidir. Çimentonun inceliği fazla arttırılmamalı, dozajı aşırı yüksek olmamalıdır [32,35,36].

2.4.2.2 Otojen rötre

Otojen rötre, prizin başlamasından sonra bağlayıcı fazda meydana gelen makroskobik derecedeki hacim küçülmesidir. Bu rötre herhangi bir maddenin kaybına ya da sisteme girmesine bağlı değildir. Sıcaklık değişmesi veya mekanik bir zorlamanın etkisinde de değildir. Çimento, su ile temas ettiğinde hidratasyon işlemi baslar. Fakat hidratasyon sonucu oluşan çimento-su karışımı hacim olarak hidratasyona girmemiş çimento-su karışımı miktarından daha az olacağından bu aşamada betonda küçük bir hacimsel değisiklik olur. Otojen rötre hacim kaybı yüzdesi olarak ifade edilebildiği gibi tek boyutlu boy kısalma oranı olarak da ifade edilebilir. Henüz prize başlamamış betondaki hacim değişimleri çatlamaya yol

açmaz. Bu nedenle otojen rötrenin başlangıç zamanını priz başlangıç zamanı olarak almak yanlış değildir [35,37].

2.4.2.3. Kuruma rötresi

Genel olarak beton içerisindeki su, kimyasal olarak bağlanmış su, fiziksel olarak absorbe edilmiş su ve serbest haldeki su olmak üzere 3 kategoriye ayrılabilir. Kimyasal olarak bağlanmış su, çimento ile reaksiyona girerek, çimento jelinin bir parçası olmuştur. Fiziksel olarak absorbe olmuş su, jel boşluklarını doldurur ve jel parçacıklarının yüzeylerine tutunur. Serbest su ise kılcal boşlukları doldurur. Fiziksel olarak absorbe olmuş su ile serbest suyun toplamı, buharlaşabilir su miktarını verir. Eğer çevredeki ve özellikle yüzeydeki ısı, beton içerisindeki ısıdan az ise, betonda buharlaşma gözlenir. Bu durum nem oranı açısından da geçerli olup, çevredeki nem oranı betonunkinden az ise beton içerisindeki su buharlaşmaya başlar. Bu buharlaşmalar sonucunda, betonda sabit sıcaklık ve bağıl nem altında, su kaybı sebebiyle zamana bağlı olarak gerçekleşen şekil değiştirmeye kuruma rötresi denir [38].

Kuruma rötresinin betonun yüzeyinde ve alt bölgelerinde farklı miktarlarda olması özellikle plaka betonlarda kıvrılmaya neden olur. Bu da rötrenin neden olduğu çatlakların dışında, trafik yükü ve beton plağının kendi ağırlığının bükülmüş beton plağını zorlamasıyla ilave çatlaklar oluşacaktır [35].

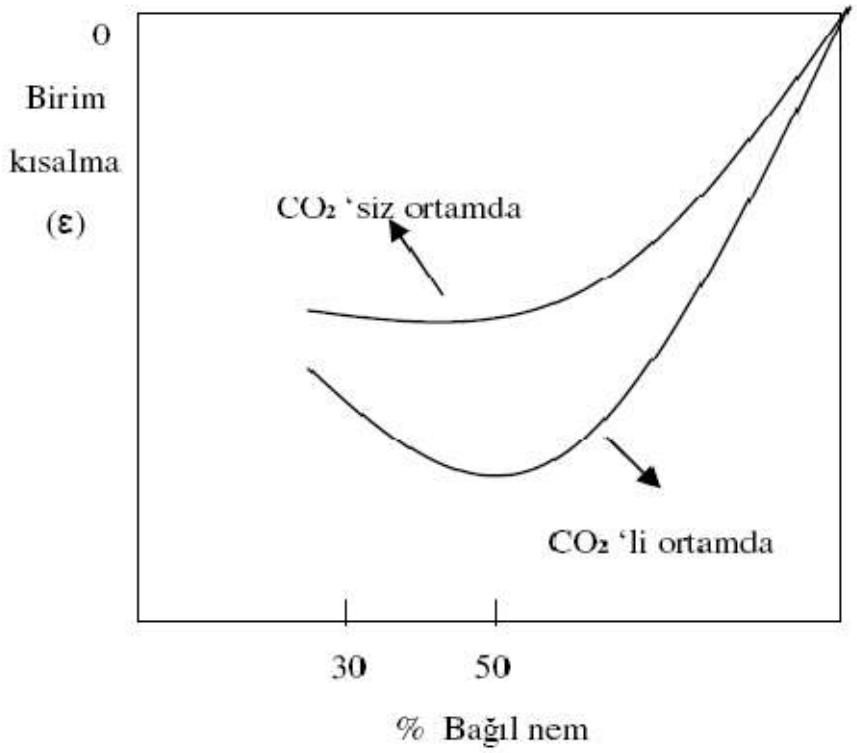
2.4.2.4 Karbonatlaşma rötresi

Çimento hamurunun atmosferdeki CO_2 ile tepkimeye girerek büzülmesine karbonatlaşma rötresi denir. Bu süreç içerisinde su veya ağırlık kaybı olmaz, hatta ağırlıkta bir miktar artış gözlenir.

Boşlukların tamamen su ile dolu olduğu ve CO_2 hamurdan içeri giremediği için yüksek nem oranlarında karbonatlaşma düşük olur. Düşük nem oranlarında ise su katmanlarının olmayışı karbonatlaşma hızını düşürmektedir. Karbonatlaşmayı oluşturan tepkimeler bağıl neme bağlıdır ve karbonatlaşma en büyük değerini bağıl nemin %50 civarında olduğu durumlarda alır (Şekil 2.6).

Karbonatlaşma, betonun mukavemetini arttırırken karbonatlaşma sonucu ortaya çıkan $CaCO_3$, hacmindeki artış dolayısıyla betonun boşluklarını azaltır. Böylece betonun geçirimliliği de azalmış olur. Ancak alkalite $CaCO_3$ sebebiyle azalır [39].

Karbonatlaşma, genellikle havayla doğrudan temas eden yüzeylere yakın bölgelerde oluşur.



Şekil 2.6 : Betonun bağıl nem etkisiyle birim boy değişimi [39].

2.4.3. Rötre azaltıcı katkılar

Rötre azaltıcı katkı (SRA) maddeleri ilk olarak 1982 yılında Japonya'da gelistirilerek 1985 yılında Amerika Birlesik Devletleri'nde patent aldı. Kimyasal olarak Neopentil glikol [$(CH_2)_2 - C - (CH_2\text{-}OH)_2$] veya propilen glikol [$(CH_3 - CH_2 - CH - (CH_2 - OH)_2$] iki grup SRA mevcuttur.

Rötre azaltıcı katkı maddeleri düşük viskoziteye sahip maddelerdir ve bu sebeple suya %1 oranında eklenmelerin de dahi yüzey gerilmelerinde %30 oranında azalma sağlarlar. Rötre azaltıcı katkılar düşük viskozite özellikleri sayesinde sudaki kapiler gerilmelerin oluşumunu azaltırlar ve böylece suyun dışarı çıkışı engellenmiş olur. Bu sayede sünmeye neden olacak gerilmeler azaldığı için sünme de azalır. Yüzey gerilimini düşüren bu moleküller zamanla hidratasyon ürünleri tarafından absorbe edildiği için rötre azaltıcı katkıların etkinlikleri zamanla azalabilir. SRA içeren betonların yerleşme sürelerinde bir miktar gecikme olabilir. Çünkü, SRA'nın suyun yüzey gerilimini düşürmesiyle, menisk formunun konsolide etkisinde bir azalma

olmuştur. Buna bağlı olarak betonun mekanik özelliklerini kazanma süresi de uzayacaktır.

SRA'lar beton karışımına çimento ağırlığının %1-2'si oranında doğrudan katılabilecegi gibi fırça ile beton yüzeye 100-300 ml/m² kadar sürülerek de uygulanabilirler. Ancak bu uygulama için beton prizini tam olarak almamış olmalı ve hava koşulları da uygun olmalıdır.

Rötre azaltıcı katkılar alışılmış tüm hava sürükleyici katkı maddeleri, orta düzey su azaltıcılar, süperakışkanlaştırıcılar, priz geciktiriciler, priz hızlandırıcılar, silis dumanı ve korozyon inhibitörü katkılarla uyumludur. Rötre azaltıcı katkı maddeleri, en çok kuruma rötresinden kaynaklanan çatlakların etkili olduğu yapılarda kullanılır.

Kadıoğlu, rötre azaltıcı katkılar üzerine yaptığı çalışmasında aşağıdaki sonuçlara ulaşmıştır:

- SRA içeren beton ve harç numunelerde elde edilen rötre değerleri kontrol karışımlarına göre çok daha düşüktür.
- SRA içeren harçlarda ağırlık kaybı daha fazla gerçekleşmiştir. Düşük su/çimento oranlı harçlarda rötre azaltıcı katkı içeren ve içermeyen numuneler arasındaki ağırlık kayıpları belirgindir.
- SRA içeren betonların basınç dayanımları daha düşüktür. Dayanımdaki bu azalma % 25'e kadar ulaşmıştır.
- Su/Çimento oranının 0,33'den 0,53'e arttırılmasıyla katkısız betonlarda yaklaşık %35 oranında bir rötre artışı gözlenirken SRA kullanılmış numunelerde çimento oranının artısıyla kayda değer bir rötre artısı gözlenmemiştir [35].

2.4.4 Lif kullanımı ve rötre üzerine etkileri

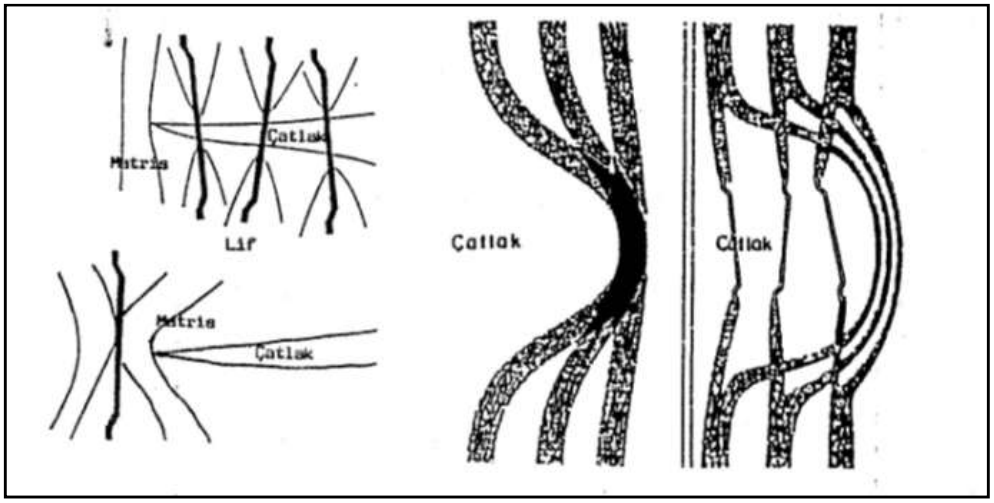
Liflerin malzemeleri sağlamlaştırmak amacıyla kullanımları çok eski zamanlara dayanmaktadır. 3500 yıl önce Bağdat'ta samanlarla güçlendirilmiş tuğlalarla yapılan 53 metre yüksekliğindeki bir tapınak bugün hala ayakta durmaktadır. Modern zamanlarda kullanımının ilk örneği 1900'lü yılların başında geliştirilen asbest çimentosudur [40]. Bu çalışmayı günümüzden 50 yıl kadar önce selülozik liflerin üretimi ve 30 yıl kadar önce de polipropilen ve cam liflerin üretimi takip etmiştir [41]. Bugün doğal kaynaklardan elde edilen ya da yapay yolla üretilen birçok farklı

çeşit lif, çimento hamuru içerisine eklenerek betonun mühendislik özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılmaktadır.

Özellikle donatılarla güçlendirilmemiş, şap ve kaplama betonu gibi çimento esaslı yapı elemanları düşük çekme dayanımı ve düşük çekme deformasyonu kapasitesine sahiptirler, yani bunlar, gevrek malzemelerdir. Bu sebepten bu malzemeler, yapıda kullanılmadan önce güçlendirilmelidirler. Lifler ise, eklendikleri karışımlarda süreksiz ve rastgele dağılım gösterirler. Bu nedenle çekme gerilmelerini karşılamada yeterli kapasiteye sahip değildirler. Diğer yandan, çelik donatılara oranla birbirilerine çok daha yakın oldukları için çatlak kontrolünde etkilidirler.

Liflerin gevrek matrisin mekanik performansı üzerindeki etkililiği, çimento matrisi ile olan etkileşimlerine bağlıdır. Bunları, fiziksel ve kimyasal adezyon, sürtünme ve lif yüzeyindeki deformasyonlara (pürüzlü lifler) veya lif geometrisine bağlı (çengelli lifler) ankrajlanma olarak sıralayabiliriz [40].

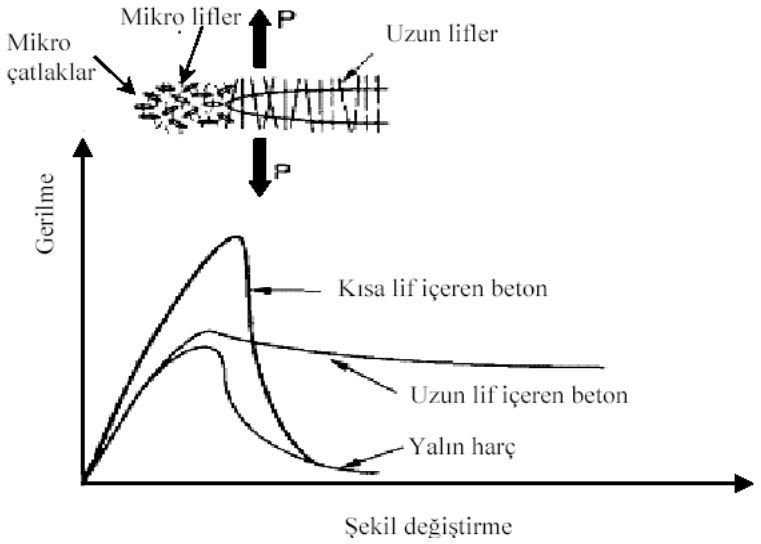
Matrisin yük altında en zayıf olduğu noktada taşıma kapasitesinin aşılması ile çatlak oluşmaya başlar. Aderansı sağlamak için yeterli miktarda lif varsa ve matris boşluksuz ve rijit bir yapıya sahipse, yük lifler tarafından taşınır. Böylelikle çatlakların önünde bir köprü oluşturup kontrol altında tutan lifler, ani kırılmaların önüne geçerek gevrek bir malzeme olan betonun sünek bir yapıya dönüşmesini sağlar [42]. Bu durum Şekil 2.7'de gösterilmektedir.



Şekil 2.7 : Liflerin gerilme kuvvetlerini bir köprü gibi aktarması [43].

Nasıl ki betonarme donatılarıyla birlikte lif kullanılarak çatlak kontrolünde fayda sağlamak mümkünse; lifleri de kendi içlerinde boyutlandırıp, çeşitlendirerek, mikro

düzeyden makro düzeye kadar çatlak oluşumunun engellenmesinde kullanmak mümkündür. Mikro lifler, sayıları ve boyutları sayesinde matris içinde daha geniş dağılım gösterip çatlakları büyümeden engellerler, böylelikle elastik bölgedeki davranışı pozitif yönde etkilerler. Makro lifler ise betonun elastisite modulü, çekme ve eğilme dayanımı gibi mekanik özelliklerini iyileştirerek büyük çatlakların kontrolünü sağlarlar. Bu şekilde birkaç farklı çeşit lifin bir arada kullanımına karma lif kullanımı denilmektedir. Karma lif kullanımının çatlak köprülenmesine etkisi Şekil 2.8'de gösterilmektedir.



Şekil 2.8 : Çatlak köprülenmesine farklı tel boyutlarının etkisi [44].

Lifler elde ediliş özelliklerine göre, doğal ve yapay lifler olarak sınıflandırılabilir. Doğal liflere örnek olarak, selüloz, asbest, şeker kamışı ve bambu verilebilir. Yapay lifler ise metal, cam ve sentetik (polietilen, polyester, polipropilen, naylon, carbon v.b) liflerdir.

Doğal liflerin, kolay bulunabilirlikleri ve işleme maliyetinin düşüklüğünden dolayı özellikle düşük maliyetli konut malzemeleri üretiminde kullanımı özendirilmektedir. Genellikle lif miktarı arttıkça, işlenebilirlikte azalma meydana gelir. Ancak, ince katmanlı elemanlar üretilmesi amacıyla, yine ince agregaların kullanıldığı harçlarda lif miktarı arttırılabilir.

Doğal lifler, nem oranındaki değişikliklere karşı hassastırlar ve bu durum hem mekanik özelliklerini hem de boyutlarını etkiler. Dolayısıyla bu liflerle üretilen elemanlar, normal betona göre rötreden daha fazla etkilenirler. Alkali reaksiyonları sonucu parçalanma ve biyolojik etkenlerden zarar görme ihtimalleri yüksektir.

Çelik lifli betonlar, genelde düz ve ince döşemelerde, kaldırım ve kaplamalarda, tünel kaplamalarında ve tamir uygulamalarında ikincil bir donatı kullanımını yerine, çatlak kontrolünü sağlamak amacıyla kullanılırlar. Bugün, ciddi yapısal imalatlarda, çelik donatılar yerine veya onlarla birlikte kullanımları yaygınlaşmaktadır. Çekme dayanımlarının ve elastisite modüllerinin yüksek olması nedeniyle betonun çekme ve eğilme dayanımını, diğer liflere göre daha fazla etkiler [40]. Shah vd. yaptıkları çalımayla, hacim olarak %0.5 çelik lif kullanılan betonda maksimum çatlak genişliğinin %80 oranında, ortalama çatlak genişliğinin ise %90 oranında azaldığını tesbit etmişlerdir [45].

2.4.4.1 Polipropilen lifler

Çimento esaslı malzemelerde polimer liflerin kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Polimer liflerin özellikleri, dayanım ve elastisite modülüne bağlı olarak değişir. Kompozit malzemelerin dayanımını arttırabilmek için, liflerin elastisite modüllerinin, çimento matrisinin elastisite modülünden büyük olması gerekir. Oysa, çimento esaslı malzemelerin elastisite modülleri 15 GPa ile 40 GPa arasında değişmektedir. Çizelge 2.4'te farklı sentetik liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri gösterilmektedir.

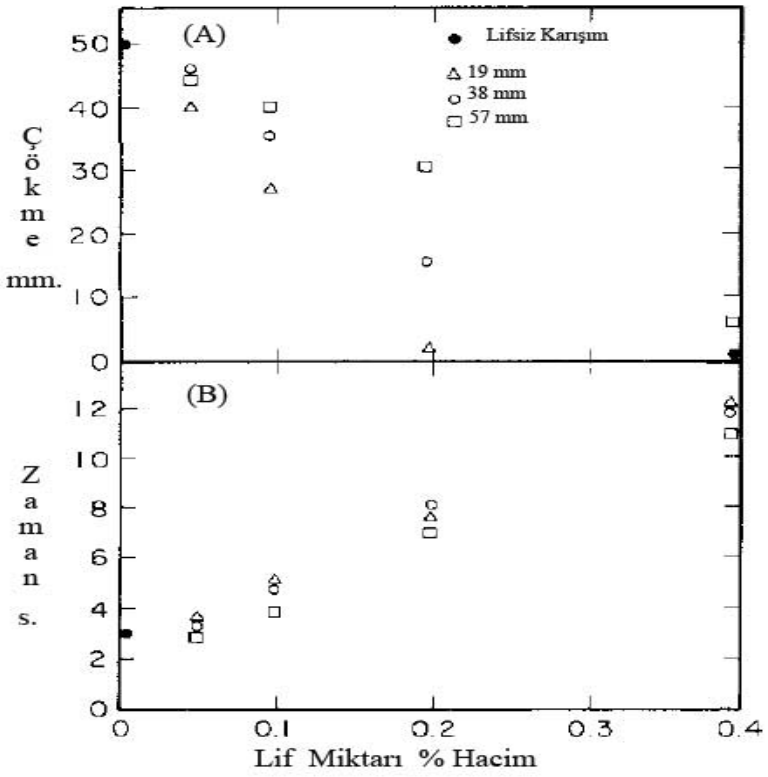
Çizelge 2.4 : Sentetik liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri [42].

Sentetik Lif Türü	Etkili Çap (mm)	Özgül Ağırlık (gr/cm³)	Çekme Gerilmesi (Mpa)	Elastiklik modulü (Mpa)	Nihai Uzama (%)	Erime sıcaklığı (°C)	Su Emme (%)
Akrilik	12,7-105	1,16-1,18	269-1000	13790-19306	7,5-50	238-253	1-2,5
Aramid I	11,9	1,44	2930	62055	4,4	500	4,3
Aramid II	10,1	1,44	2344	117215	2,5	500	1,2
Karbon	9,9-12,9	1,6-1,7	482-793	27580-34475	2,0-2,4	417	38901
Naylon	22,8	1,14	965	5171	20	217-238	2,8-5
Polyester	19,8	1,34-1,39	227-1103	17237	12-150	275	0,4
Polietilen	25,4-1016	0,92-0,96	76-586	5000	Mar.80	151	-
Polipropilen	--	0,9-0,91	138-689	3447-4826	15	183	-

Bu durum, sentetik polimerler için, yüksek elastisite modüllü sentetik lifler ve düşük elastisite modüllü sentetik lifler gibi bir ayrım yapılmasını gerekli kılar. Düşük elastisite modüllü sentetik lifler, çekme ve eğilme dayanımında önemli katkılar sağlayamasalar da, belki de çok daha önemli hususlar olan, şekil değiştirme kapasitesi, tokluk, darbe direnci ve çatlak kontrolü gibi konularda ciddi fayda sağlarlar.

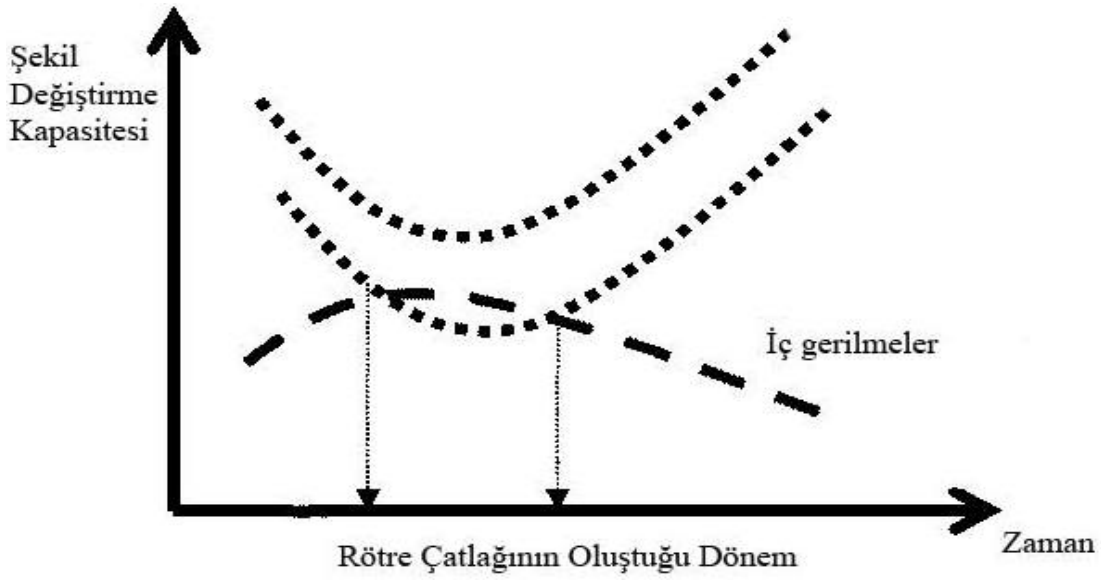
Düşük elastisite modülüne sahip liflerden olan polipropilen lifler, homopolimer polipropilen reçinelerden, farklı boyut, şekil ve özelliklerde üretilmektedirler. Göreceli olarak yüksek erime sıcaklığına (165 °C) sahip olmaları, alkalilere karşı dirençli olmaları ve düşük üretim maliyetine sahip olmaları önemli artılarıdır.

Çok ince telcikler halinde beton matrisine yayılmaları, taze beton özelliklerini, bilhassa plastik rötre çatlaklarını ve işlenebilirliği önemli derecede etkiler. Lif hacmindeki artış, kıvamda düşüşe sebep olur. Bu düşüş lif uzunluğu arttıkça göreceli olarak daha fazla olacaktır. Lif miktarı ve boyunun kıvam üzerine etkisi araştırılan bir çalışmada çökme ve VeBe testlerinde elde edilen sonuçlar Şekil 2.9'da gösterilmektedir [40].



Şekil 2.9 : Lif miktarı ve boyunun kıvam üzerine etkisi [40].

Plastik rötre çatlakları beton dökümünden itibaren ilk 15 dakika ila 3 saat arasında oluşur. Polipropilen lifler plastik betonun şekildeğiştirme kapasitesini arttırarak şekil değiştirme kapasitesi eğrisini yukarıya kaldırır (Şekil 2.10). Bu etki sayesinde lif tipine, miktarına, cinsine bağlı olarak, iç gerilme kuvvetleri taşınabilmekte ve plastik rötre çatlamaları azaltılabilmektedir.



Şekil 2.10 : Plastik betonda oluşan gerilmeler [46].

Erbaş [46], polipropilen liflerin betonun durabilitesi üzerine etkilerini araştırdığı çalışmasında, lif kullanılan betonlarda rötre çatlaklarının lifsiz betonlara göre %23 oranında azaldığını gözlemlemiştir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde üretimde kullanılan malzemeler, bu malzemelerin özellikleri ve yapılan taze ve sertleşmiş beton deneyleri ile bu deneylerden elde edilen sonuçlar verilmektedir.

3.1 Deneylerde Kullanılan Malzemelerin Tanımlanması

3.1.1 Agregalar

Çalışmada Akçansa Çimento Sanayi Ayazağa Tesisi'nden temin edilen kırma kum ve Mil-Ten Yeniköy Kömür İşletmeleri'nden temin edilen doğal kum kullanılmıştır. Çalışma çerçevesinde agregaların elek analizi, su emme, özgül ağırlık, metilen mavisi ve kum eşdeğerlik testleri yapılmıştır (Çizelge 3.1).

3.1.1.1 Kum eşdeğeri tayini

Kum eşdeğerlik deneyi TS EN 933-8'e uygun olarak yapılmıştır [47].

Formaldehit çözeltisinin hazırlanışı:

111gr. kristal kalsiyum klorür ($CaCl_2$) tartılır. 350 gr. damıtılmış su ilave edilerek karıştırılır. Karışım süzgeç kağıdından süzülür. Daha sonra bu karışımın içinden 12,5 gr. alınır. Formaldehit Çözeltisi için 480 gr. Gliserin ilave edilerek 1 litre damıtılmış suyla seyreltilir. Hazırlanan çözeltiden 125 gr. alınır ve üzerine 4875 gr. damıtılmış su ilave edilerek iyice karıştırılır. Bunun adı yıkama çözeltisidir.

Deneyin yapılışı:

Deney yapılacak malzemenin %0-2 oranında rutubetli olması gerekir. Eğer malzeme rutubetli değilse rutubetlendirilir. Yıkama çözeltisi her bir ölçülü silindire, alt işaret seviyesine kadar sifonlanarak boşaltılır. Huni kullanılarak deney numunesi silindirin içine boşaltılır. İçindeki hava kabarcıklarının çıkması için silindirin altına birkaç kez hafifçe vurulur. Daha sonra 10 ±1 dakika ıslanması için bekletilir. 10 dakika süresi sonunda lastik tapa kullanarak silindirlerden birinin ağzı kapatılır ve bu silindir sallama makinesi üzerine monte edilir. Silindir 30 ±1 saniyede 90 ±3 kez

sallanmalıdır. Sallama işlemi ikinci silindire malzeme konularak tekrarlanır. Sallama işlemi bittikten sonra lastik tapa çıkartılır ve silindir içerisine yıkama daldırma aparatı ile aşağıdan yukarıya doğru yıkama çözeltisi ile silindirin üst seviye çizgisine kadar yıkanır. Yıkama işlemi bittikten sonra malzeme dolu silindir 20 ±2 dakika süreyle çökelmeye bırakılır. Bu süre sonunda çökeltinin üst seviyesi ile ölçü silindirinin taban yüksekliği bir cetvel ile ölçülür (h1). Deney daldırma düzeneği uç parçası çökelti üzerine oturuncaya kadar silindir içerisine bırakılır. Bilezik silindirin üst kısmına doğru çekilerek daldırıcı çubuğa kilitlenir. Daldırıcı başlığın alt yüzü ile bileziğin üst yüzü arasındaki mesafe bir cetvel ile ölçülür. Çökelti yüksekliği (h2) tespit edilir.

Her bir silindir için h2/h1 oranı birinci ondalığına kadar hesaplanır. İki deney arasındaki fark 4' ten büyükse deney tekrarlanır. Kum eşdeğeri (SE) her bir silindir için yapılan ölçümlerin ortalaması alınarak kayıt altına alınır.

Çalışmada kullanılan doğal kum ve kırma kumun kum eşdeğerlik testi sonuçları Çizelge 3.1'de verilmektedir.

3.1.1.2 Metilen mavisi deneyi

Metilen mavisi çözeltisinin hazırlanması:

500 gr. saf su bir kaba koyulur, 10gr metilen tozu eklenip 40 dakika karıştırılır. Karıştırma işlemi bittikten sonra kaba 500 gr. saf su ilave edilip 5 dakika daha karıştırılır. Hazırlanan çözelti, saklama kabına köpüğünden arındırılarak koyulur. Solusyon karışırken sıcaklığı 40 dereceden fazla olmamalıdır.

Kaolen değerinin tespiti:

500 gr saf su bir kaba koyulur ve 30 gr kaolen ilave edilip 5 dakika karıştırılır. Bürete alınan metilen mavisi karışıma eklenmeye başlanır. 25-40 gr arasında metilen kullanıldığında haley halkası oluşacağı öngörülebilir. Halkanın oluştuğu ana kadar kullanılan metilen miktarı kaolen değeridir. Hazırlanan çözelti bitene kadar bu değer geçerlidir.

Deneyin yapılışı:

Deney yapılacak agrega etüv kurusu haline getirilir. Karıştırma kabına koyulan 500 gram saf su üzerine 200 gr. 2 mm elekten geçen malzeme eklenir. ve 5 dakika karıştırılır. 30 gr kaolen katılıp 1 dk karıştırdıktan sonra metilen verilmeye başlanır.

Kaolen değeri direkt olarak verilir, daha sonra 5'er gr aralıklarla haley halkası oluşumuna kadar metilen verilmeye devam edilir. Bu işlemlerin 5 dakika içerisinde tamamlanması gerekir.

Kaolen değeri hariç verdiğimiz metilen miktarı tespit edilir ve formüle uygulanır.

$$mb = \frac{V_1}{M_1} \times 10 \qquad \textbf{(3.1)}$$

mb: Agreganın mavi metilen değeri

M_1: Deney numunesinin ağırlığı (g)

V_1: İlave edilen boya çözeltisinin toplam hacmi (ml)

Test TS EN 933-9 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir [48]. Çalışmada kullanılan doğal kum ve kırma kumun metilen mavisi testi sonuçları Çizelge 3.1'de verilmektedir.

Çizelge 3.1 : Agregaların özellikleri ve elek analizi sonuçları.

Malzeme Adı		K.Kum	D.Kum
Elek Analizi (Geçen %)	31,5	100	100
	16	100	100
	8	100	100
	4	93	100
	2	65	100
	1	63	97
	0,5	40	87
	0,25	18	72
	0,125	11	2
	0,075	4	0,3
Özgül Ağırlık		2,55	2,6
Su Emme (%)		2,7	1,64
Metilen Mavisi		1,25	1,25
Kum Eşdeğer		46,5	69,1

3.1.2 Çimento

Şap üretimlerinde kullanılan çimento, Akçansa Çimento Sanayi Büyükçekmece Fabrikası'ndan temin edilmiş olup, CEM I 42,5 tipindedir. 30.10.2008 tarihinde alınan çimento numunelerinin fiziksel ve kimyasal özellikleriyle, basınç dayanımı değerleri Çizelge 3.2'de verilmektedir.

Çizelge 3.2 : Çimento fiziksel, kimyasal, mekanik özellikleri.

ÖZELLİK	DEĞERİ
Blaine özgül yüzeyi (cm^2/gr)	3630,00
Klorür (%)	0,041
SO_3 (%)	2,96
Çözünmez kalıntı (%)	0,34
Hacim genleşmesi (mm)	1,00
Kızdırma kaybı (%)	1,35
Özgül ağırlık (gr/cm^3)	3,14
45µm elek kalıntısı (%)	6,70
90µm elek kalıntısı (%)	0,20
2 günlük basınç dayanımı (MPa)	27,50
7 günlük basınç dayanımı (MPa)	40,40
28 günlük basınç dayanımı (MPa)	52,60
2/28 oranı	0,52
Priz başlangıcı (dakika)	128,00
Priz sonu (dakika)	177,00

3.1.3 Cüruf

Şap üretimlerinde kullanılan çimento, Akçansa Çimento Sanayi Büyükçekmece Fabrikası'ndan temin edilmiştir. 12.01.2009 tarihinde alınan cüruf numunelerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.3'de verilmektedir.

Çizelge 3.3 : Cürufun fiziksel ve kimyasal özellikleri.

ÖZELLİK	DEĞERİ
H_2O (%)	0,20
Klorür (%)	0,025
Çözünmez kalıntı (%)	0,00
Kızdırma kaybı (%)	0,00
SiO_2 (%)	44,32
Al_2O_3 (%)	9,29
Fe_2O_3 (%)	1,68
CaO (%)	35,97
MgO (%)	5,88
S (%)	0,29
Na_2O (%)	0,23
KO_2 (%)	1,15
$CaCO_3$+$MgCO_3$ (%)	0,00
Özgül ağırlık (gr/cm³)	2,92
Özgül yüzey (cm^2/gr)	4430,00
0,045 mm elekte kalıntı (%)	1,00
0,090 mm elekte kalıntı (%)	0,00
0,2000 mm elekte kalıntı (%)	0,00

3.1.4 Polipropilen lif

Çalışmada 6mm'lik polipropilen perlon lifler kullanılmıştır. Özellikleri Çizelge 3.4'te verilmektedir.

Çizelge 3.4 : Polipropilen lif özellikleri

Teknik Özellikler		
Kesit şekli	:	Dairesel
Lif yüzeyi	:	Düzgün
Özgül ağırlık (gr/cm^3)	:	0,91
Erime sıcaklığı (°C)	:	160-165
Renk	:	Transparan
Görünüm	:	Beyaz, Şeffaf
Kesim boyu (mm)	:	6
Lif çapı (µm)	:	18-35
Uzama oranı (%)	:	15 - 25
Elektriksel iletkenlik	:	Yalıtkan
Su emme oranı (%)	:	0

3.1.5 Katkılar

Kendiliğinden yerleşen şap üretimi sırasında 4 çeşit polikarboksilat esaslı polimer çözeltisi kullanılmış ve bu çözeltilere farklı oranlarda ve farklı çeşitlerde eklenen diğer katkı malzemeleriyle, ana katkılar oluşturulmuştur. Çalışma boyunca taze halde görünüm, yayılma miktarı, kıvam koruma özelliği, hava miktarı gibi verilerle; sertleşmiş halde de basınç ve eğilme dayanımı, rötre oranları gibi verilere dayanarak en uygun katkı karışımının elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma esnasında toplam 18 farklı katkı üretilmiştir. Çizelge 3.5'te polikarboksilat esaslı polimer çözeltilerinin özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.5 : Polikarboksilat esaslı polimer çözeltilerinin özellikleri.

Madde adı	Görünüm	Yoğunluk	pH	Katı oranı (%)	Suda çözünebilir klor yüzdesi	Kimyasal yapısı	Fonksiyon
P1	Sarı berrak likit	1,1045	3,76	50,00	0,0052	Sulu polikarboksilat bazlı polimer çözeltisi	Erken dayanımı yüksek polimer
P2	Sarı berrak likit	1,1075	5,12	50,00	0,0055	Sulu polikarboksilat bazlı polimer çözeltisi	Uzun slump ömürlü polimer
P3	Sarımsı berrak likit	1,1067	3,90	50,00	0,0086	Sulu polikarboksilat bazlı polimer çözeltisi	Çimento tiplerine uyumluluğu yüksek polimer
P4	Açık Kahverengi likit	1,1630	1,73	70,00	0,0070	Sulu polikarboksilat bazlı polimer çözeltisi	Su kesme özelliği yüksek polimer

Çalışmada, polikarboksilat esaslı polimer çözeltileri dışında, Çizelge 3.6'da özellikleri verilen, geciktirici, 5 farklı tip hava sürükleyici, köpük kesici, ayrışmayı önleyici kollaidal silika, rötre ayarlayıcı ve fermantasyon önleyici kullanılmıştır. Çizelge 3.7 ise üretilen 18 farklı katkının içeriği tanımlanmıştır. Üretilen bu katkılar, şap karışımında bağlayıcı ağırlığının %1.5 oranında kullanılmıştır. Bu katkılar dışında farklı karışımlarda bağlayıcı ağırlığının %1 ve %2'si oranında karışıma bağımsız olarak eklenmiş rötre azaltıcı katkı (SRA) bulunmaktadır. SRA olarak Çizelge 3.8'de özellikleri verilen Sika firmasına ait Control 40 katkısı kullanılmıştır. Teknik bilgi formunda çimento ağırlığının %2 oranında kullanılan Control 40'ın uzun süreli rötreyi %40 oranında azalttığı fakat rötre miktarındaki azalmanın beton

bileşenlerine, karışım dizaynına bağlı olduğu belirtilmektedir. Genellikle bu katkı yüksek dayanımlı betonlarda ve çatlak genişliğinin önemli olduğu durumlarda kullanılır. Rötre çatlağı oluşum riskini arttırmadan daha uzun aralıklarda döküme olanak verdiği ve genellikle karışımda kullanılan su miktarına ve betonun işlenebilirliğine etkisi olmadığı belirtilmektedir.

Çizelge 3.6 : Üretimde kullanılan diğer katkılar.

Madde adı	Görünüm	Yoğunluk	pH	Katı oranı (%)	Suda çözünebilir klor yüzdesi	Kimyasal yapısı	Fonksiyon
R	Beyaz kristalize toz	-	7,00	100,00	Max. 0,07	Glukonik asitin sodyum tuzu	Geciktirici
H1	Sarımsı bulanık likit	0,9980	12,00	11,50	0,0065	Doğal reçineden yapılmış potasyum sabunu	Hava Sürükleyici
H2	Renksiz berrak likit	1,0441	7,10	28,00	0,6224	Sodyum loril eter sülfat	Hava Sürükleyici
H3	Amber renkli temiz solusyon	1,1032	11,75	30,00	0,0060	Modifiye ve nötralize edilmiş reçine	Hava Sürükleyici
H4	Renksiz berrak likit	1,0370	8,72	27,71	0,0000	Kokamide	Hava Sürükleyici
H5	Sarı berrak likit	0,9710	9,36	98,23	0,0059	Sodyum loril eter sülfat	Hava Sürükleyici
D	Renksiz berrak likit	1,0219	7,01	99,58	0,0091	Propilenoksit tip köpük kesici	Köpük kesici
S	Renksiz berrak likit	1,0990	9,54	15,59	Max. 0,1	Kollaidal silika	Betonda ayrışmayı önler
ASA	Renksiz berrak likit	0,9997	10,87	0,82	Max. 0,1	Hidroksil bileşimi	Rötre Ayarlayıcı
B	Renksiz berrak likit	1,1900	7,05	2,46	0,0051	Su bazlı izotiazolinler ve glikol formaldehit	Fermantasyon önleyici

Çizelge 3.7 : Kendiliğinden yerleşen şap üretimi sırasında geliştirilen katkılar.

Madde adı	**VC1**	**VC2**	**VC3**	**VC4**	**VC5**	**VC6**	**VC7**	**VC8**	**VC9**	**VC10**	**VC11**	**VC12**	**VC13**	**VC14**	**VC15**	**VC16**	**VC17**	**VC18**
P1	+			+														
P2		+		+	+		+		+									
P3			+			+		+		+	+	+	+	+	+	+	+	+
P4			+			+		+		+	+	+	+	+	+	+	+	+
R					+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
H1							+	+	+	+	+	+	+	+				
H2															+			
H3																+	+	
H4																		+
H5																		+
D	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+			
S									+	+			+				+	
ASA																		
B	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Katı %	25	25	28,1	25	25	28,1	25	28,1	25	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1
Polimer Oranı %	25,2	25,2	28,3	25,2	29,2	32,3	29,25	32,35	29,7	32,8	32,25	32,3	32,75	32,15	32,5	32,4	32,85	33,35

Çizelge 3.8 : SRA olarak kullanılan Control 40 katkısının teknik özellikleri.

Teknik Özellikler		
Form	:	Sıvı hydroxy bileşimi
Renk	:	Kırmızı
Özgül ağırlık* (kg/lt)	:	1
pH değeri *	:	10.0 ± 1.0
Dozaj aralığı (%)	:	0.5 - 1.5
Klorür	:	0
TEA (triethanolamine)	:	0
Hava sürükleme	:	Karışıma bağlı etkili
Priz süresine etkisi	:	Düşük sıcaklıklarda geciktirebilir

* 20 °C için verilen değerlerdir.

3.2 Şap Karışımları

Çalışma boyunca şap karışımları 17 dm^3'lük partiler halinde üretilmiştir. Toplam bağlayıcı miktarı 550 kg/m^3'te sabit tutularak, çimento miktarının 350kg/m^3 ve 300 kg/m^3 olarak değiştirildiği iki tip karışım vardır. Üretilen katkılar çalışmanın büyük bölümünde bağlayıcı ağırlığının %1.5'i oranında kullanılmıştır. Polipropilen lif kullanılan karışımlarda lif miktarı 0,3 kg/m^3'tür. Karışımlarda su / toplam bağlayıcı oranı 0.45 olarak hedeflenmiştir. Ancak karıştırma işlemi esnasında, karışımların, katkıların değişmesinden kaynaklanan su ihtiyaçları gözlemlenmiş ve su/bağlayıcı oranında 0.40-0.50 aralığını geçmemek üzere değişiklikler yapılmıştır. Kendiliğinden yerleşen şapın başlangıç ve 150 dakika sonundaki yayılma miktarının, başlangıç ve son değerler arasında büyük farklar oluşmadan 200mm-280mm aralığında olması; hava miktarının da aynı şekilde hacimce %4-%12 aralığında değerler alması hedeflenmiştir.

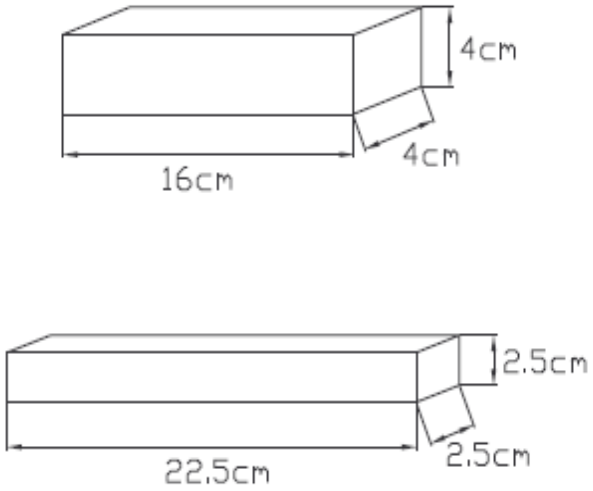
3.3 Üretimde İzlenen Sıra

- Kırma kum ve doğal kumun (polipropilen lifli karışımlarda lif de dahil olmak üzere) karışım suyunun bir kısmı eklenerek karıştırılması

- Karışımın 2 dakika üzeri örtülü bir şekilde bekletilmesi
- Çimento ve cürufun eklenmesi
- Karışım suyu ve katkı malzemeleri eklenerek karıştırılma işleminin yapılması
- Ani yayılma değerinin ölçülmesi
- Gerçek birim ağırlık deneyinin yapılması
- Hava miktarının ölçülmesi
- 150 dakika süreyle her 30 dakikada bir yayılma ölçümünün tekrarlanması
- 150 dakika sonundaki hava miktarının ölçülmesi
- Betonun kalıplara alınması

3.4 Numune Boyutları ve Şekilleri

Her karışımdan 3'ü 1 günlük dayanımları 3'ü de 28 günlük dayanımları incelemek amacıyla toplam 6 adet 4cmx4cmx16cm boyutlarında prizmatik numuneler alınmıştır. Rötre ölçümleri için karışımlarda 2.5cmx2.5cmx22.5cm boyutlarında 3'er adet numune alınmıştır. Numune şekil ve boyutları şekil 3.1'de görülmektedir.



Şekil 3.1 : Numune boyutları ve şekilleri.

3.5 Üretim Süreci

Üretim süreci boyunca şaplar 17 dm^3 karışımlar halinde hazırlanmıştır. Toplam bağlayıcı miktarı 550 kg/m^3'te sabit tutularak, çimento miktarının 350kg/m^3 ve 300 kg/m^3 olarak değiştirildiği iki tip karışım vardır. Buna göre cüruf çalışmanın ilk bölümündeki karışımlarda 200 kg/m^3, sonraki çalışmalarda 250kg/m^3 oranında kullanılmıştır. Karışımlarda hedef yayılma aralığı 200mm-280mm, hedef hava içeriğiyse hacimce %4-%12 aralığıdır.

Çalışmada toplam 34 parti şap hazırlanmıştır. Bunlardan bazıları tekrar karışımı niteliğindedir. İlk olarak karışımların görünümleri ve ani yayılma miktarlarına göre öngörülen karışım oranları değerlendirilmiştir (Çizelge 3.9).

Üretilen ilk karışımda (K1), su/bağlayıcı oranı 0,36 olarak hedeflenmiş ve karışımda VC1 katkısı bağlayıcı ağırlığının %1,4'ü oranında kullanılmıştır. Agrega miktarının %20'si doğal kum, %80'i kırma kum olarak seçilmiştir. Karıştırma esnasında yapılan gözlemlerde, karışımın su ihtiyacı saptanmış ve s/b oranı 0,43'e kadar arttırılmıştır. Buna karşın, karışımda ayrışma ve çökelme oluşmuş, istenilen ilk yayılma değerine de ulaşılamamıştır.

K2 karışımında VC1 katkı oranı %1,5'e çıkartılmış, doğal kum ve kırma kum oranları sırasıyla %30 ve %70 olarak seçilmiştir. Bu karışımda ayrışma gözlenmemiş fakat, su ihtiyacından dolayı s/b oranı 0,42'ye kadar arttırılmıştır. İlk yayılma değeri 163 mm olup, bu değer istenilenin çok altındadır. K3 ve K7 karışımlarında VC2 katkısı sırasıyla %1,5 ve %1,2 oranlarında denenmiş, %1,2 oranında denenen K7 karışımında s/b oranı karışım esnasında 0,50'ye kadar arttırılmıştır. Bu karışımda ani yayılma miktarı hedef değere ulaşsa da kısa sürede yayılma da %25 oranında kayıp olmuştur.

K4 ve K8 karışımlarında VC3 katkısı kullanılmıştır. Karışımlarda çökelme, ayrışma gibi problemler gözlenmemiştir. İlk yayılma değerleri hedeflenen aralık içerisinde olup sırasıyla 251mm ve 220mm'dir. Bu karışımlarda, 1 saat sonunda bir kıvam kaybı oluşmadığı gibi yayılma değerleri de artmıştır.

K5 karışımında VC4 katkısı kullanılmıştır. Karışımın görünümü iyi olup, ilk yayılma değerinin istenilen aralıkta olduğu tespit edilmiştir.

Deneysel çalışmaların buraya kadarki bölümünde, üretilen şapların görünümü ve ilk yayılma değerleri incelenmiştir. Buna göre çalışmanın bundan sonraki bölümünde;

- Katkıların, bağlayıcı ağırlığının %1,5'i oranında kullanılmasına
- Hedeflenen Su/Bağlayıcı oranının 0,45 olmasına
- Şaplardaki agrega ağırlığının %30'unun doğal kum ve %70'inin kırma kum olmasına karar verilmiştir.

Çizelge 3.9 : Kendiliğinden yerleşen şapların bileşimleri, taze ve sertleşmiş haldeki özellikleri-1.

Karışım No.		**K1**	**K5**	**K6**	**K7**	**K8**
K.Katkı Cinsi		**VC1**	**VC4**	**VC1**	**VC2**	**VC3**
Bileşim Özellikleri	Çimento	350	350	350	350	350
	Mineral Katkı	200	200	200	200	200
	Doğal k./kırma k.	20/80	30/70	30/70	30/70	30/70
	Su	235	263	250	279	250
	İlave Su (17 dm³ için)	+600gr	+318gr	-	+500gr	-
	Katkı Dozajı, (%,B)	1,4	1,5	1,2	1,2	1,5
	Hedef S/B	0,36	0,45	0,45	0,45	0,45
	Gerçekleşen S/B	0,43	0,48	0,45	0,50	0,45
Taze Özellikler	Yayılma, (mm), 0'	183	218	161	200	220
	Yayılma, (mm), 30'	-	207	128	187	256
	Yayılma, (mm), 60'	-	185	-	158	260
	Yayılma, (mm), 90'	-	-	-	147	-
	Hava (%)	-	1,7	1,8	1,2	1,5
	Birim ağırlık (kg/m³)	-	-	-	2226	2265
Sertleşmiş Özellikler	1 Gün E.Day.(MPa)	-	-	2,8	2,0	1,8
	28 Gün E.Day.(MPa)	-	-	4,8	4,8	5,1
	1 Gün B.Day.(MPa)	-	-	10,0	7,0	6,8
	28 Gün B.Day.,(MPa)	-	-	55,2	45,3	56,9

K9, K10, K11 ve K12 karışımlarında, sırasıyla VC1, VC2, VC3 ve VC4 katkıları kullanılmıştır (Çizelge 3.10). Bu karışımlarda 150 dakika boyunca, her 30 dakikada bir yayılma ölçümleri yapılmıştır. Buna göre sonraki katkı karışımlarına geciktirici eklenilmesine karar verilmiştir. VC3 katkılı karışımların kıvam koruma özelliğinin

diğerlerine oranla daha iyi olduğu, VC1 katkılı karışımlarda üretimden itibaren yayılma miktarında hızlı bir düşüş gerçekleştiği görülmüştür.

Çizelge 3.10 : Kendiliğinden yerleşen şapların bileşimleri, taze ve sertleşmiş haldeki özellikleri-2.

Karışım No.		**K9**	**K10**	**K11**	**K12**
K.Katkı Cinsi		**VC1**	**VC2**	**VC3**	**VC4**
Bileşim Özellikleri	Çimento	350	350	350	350
	Mineral Katkı	200	200	200	200
	Doğal k./kırma k.	30/70	30/70	30/70	30/70
	Su	239	258	231	264
	İlave Su (17 dm³ için)	-197gr	+150gr	-338gr	+250gr
	Katkı Dozajı, (%,B)	1,5	1,5	1,5	1,5
	Hedef S/B	0,45	0,45	0,45	0,45
	Gerçekleşen S/B	0,43	0,47	0,42	0,48
Taze Özellikler	Yayılma, (mm), 0'	283	225	216	221
	Yayılma, (mm), 30'	210	228	242	214
	Yayılma, (mm), 60'	180	218	244	208
	Yayılma, (mm), 90'	173	214	225	207
	Yayılma, (mm), 120'	160	198	218	192
	Yayılma, (mm), 150'	155	192	203	192
	Hava (%)	1,8	3,5	2,3	1,8
	Birim ağırlık (kg/m³)	2232	2208	2260	2272
Sertleşmiş Özellikler	1 Gün E.Day.(MPa)	3,3	2,3	3,1	2,2
	28 Gün E.Day.(MPa)	5,8	5,2	5,5	4,3
	1 Gün B.Day.(MPa)	11,0	7,5	10,6	7,1
	28 Gün B.Day.,(MPa)	56,8	50,8	60,9	50,2

Çizelge 3.11'de özellikleri verilen K13 ve K18 arasındaki karışımlar, katkı üretiminde kullanılan polikarboksilat esaslı polimer çözeltilerinin, ilk yayılma ve kıvam koruma kabiliyetlerinin ölçülmesi ve şaplarda kullanılacak polimer çözeltisinin seçimi amacıyla üretilmiştir. Çalışma sonucunda P3 ve P4 nolu polimer çözeltilerinin karışımlarından üretilmiş olan VC6 ve VC8 katkılarının en iyi ilk yayılma değerlerini verdikleri ve kıvam koruma özelliklerinin çok daha üstün olduğu gözlenmiştir. VC8 katkısında, VC6'dan farklı olarak H1 hava sürükleyicisi bulunmaktadır.

Bu verilere göre kendiliğinden yerleşen şap üretiminde kullanılacak katkıların ana maddelerinin P3 ve P4 çözeltilerinin karışımları olmasına karar verilmiştir. Çalışmanın bu bölümünden sonra P1 ve P2 çözeltileri kullanılmamıştır.

Çizelge 3.11 : Kendiliğinden yerleşen şapların bileşimleri, taze ve sertleşmiş haldeki özellikleri-3.

Karışım No.		**K13**	**K14**	**K15**	**K16**	**K17**	**K18**
K.Katkı Cinsi		**VC5**	**VC6**	**VC7**	**VC8**	**VC9**	**VC10**
Bileşim Özellikleri	Çimento	350	350	350	350	350	350
	Mineral Katkı	200	200	200	200	200	200
	Doğal k./kırma k.	30/70	30/70	30/70	30/70	30/70	30/70
	Su	264	244	267	240	264	234
	İlave Su (17 dm³ için)	+250gr	-110gr	+303gr	-175gr	+250gr	-282gr
	Katkı Dozajı, (%,B)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	Hedef S/B	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
	Gerçekleşen S/B	0,48	0,44	0,49	0,44	0,48	0,43
Taze Özellikler	Yayılma, (mm), 0'	216	246	222	262	223	252
	Yayılma, (mm), 30'	222	260	203	255	243	272
	Yayılma, (mm), 60'	220	274	201	260	242	282
	Yayılma, (mm), 90'	211	274	196	262	227	280
	Yayılma, (mm), 120'	207	263	192	255	219	280
	Yayılma, (mm), 150'	199	261	187	247	219	272
	Hava (%)	3,6	3,2	4,0	2,9	3,3	3,6
	Birim ağırlık (kg/m³)	2179	2238	2159	2259	2240	2251
Sertleşmiş Özellikler	1 Gün E.Day.(MPa)	1,6	-	1,5	1,8	1,4	1,1
	28 Gün E.Day.(MPa)	5,2	-	5,9	6,0	6,2	6,7
	1 Gün B.Day.(MPa)	5,2	-	5,5	6,3	3,7	4,2
	28 Gün B.Day.(MPa)	55,2	-	54,9	58,9	54,2	63,8

Çizelge 3.12'de özellikleri verilen K19 ve K25 arasındaki karışımlarda, hacimce %4-%12 oranında olması hedeflenen hava içeriğinin sağlanması amaçlanmıştır. Bu amaçla daha önce belirlenen P3 ve P4 polimer çözeltilerinin karışımlarına H1, H2, H3, H4 ve H5 olarak isimlendirilen 5 farklı çeşit hava sürükleyici çeşitli oranlarda ilave edilmiştir. Karışımların yayılma ölçümleri de karıştırma sürecinden itibaren 150 dakika sonuna kadar yapılmaya devam edilmiş, bütün karışımların istenilen

yayılma aralıklarını sağladıkları gözlenmiştir. 23 nolu karışımda ilk kez polipropilen lif kullanılmış, karışıma lif eklenmeden ve eklendikten sonra yapılan hava içeriği ölçümlerinin sonuçlarında bir farklılık gözlenmemiştir. Ölçümler sonucunda VC18 nolu katkıda kullanılan H4 ve H5 karışımının hava içeriği açısından en iyi sonuçları verdiği tespit edilmiştir. Hava miktarındaki artışla birlikte birim ağırlıklarda %10 oranında azalmalar gözlenmiştir. Bu artışla birlikte 28 günlük basınç dayanımlarında %10 ile %20 aralığında azalma gerçekleşmiştir. Bu azalmalara rağmen basınç dayanımları hedeflenen 20 MPa değerinin çok üzerindedir.

Çizelge 3.12 : Kendiliğinden yerleşen şapların bileşimleri, taze ve sertleşmiş haldeki özellikleri-4.

Karışım No.		**K19**	**K20**	**K21**	**K22**	**K23**	**K24**	**K25**
K.Katkı Cinsi		**VC11**	**VC12**	**VC14**	**VC16**	**VC16**	**VC16**	**VC18**
Bileşim Özellikleri	Çimento	350	350	350	350	350	350	350
	Mineral Katkı	200	200	200	200	200	200	200
	Doğal k./kırma k.	30/70	30/70	30/70	30/70	30/70	30/70	30/70
	Su	234	222	234	234	250	250	250
	İlave Su (17 dm³ için)	-285gr	-485gr	-280gr	-280gr	-	-	-
	Katkı Dozajı, (%,B)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	Hedef S/B	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
	Gerçekleşen S/B	0,43	0,40	0,43	0,43	0,45	0,45	0,45
Taze Özellikler	Yayılma, (mm), 0'	266	224	279	240	242	250	246
	Yayılma, (mm), 30'	242	222	-	250	258	260	223
	Yayılma, (mm), 60'	253	-	-	250	282	280	234
	Yayılma, (mm), 90'	-	-	-	224	284	282	225
	Yayılma, (mm), 120'	-	-	-	224	280	282	224
	Yayılma, (mm), 150'	-	-	-	206	278	279	222
	Hava (%)	5,0	5,0	5,0	9,0	3,0	5,9	7,1
	Birim ağırlık (kg/m³)	2198	2215	2215	2097	2228	2228	2146
Sertleşmiş Özellikler	1 Gün E.Day.(MPa)	-	-	-	2,0	2,1	1,8	2,0
	28 Gün E.Day.(MPa)	-	-	-	6,5	5,8	5,6	6,4
	1 Gün B.Day.(MPa)	-	-	-	6,9	7,5	6,5	7,5
	28 Gün B.Day.(MPa)	-	-	-	47,4	58,8	45,8	53,7

Çizelge 3.13'de K27 ile K34 arasındaki karışımların özellikleri verilmiştir. Bu karışımların tamamına polipropilen lif eklenmiştir.

Çizelge 3.13 : Kendiliğinden yerleşen şapların bileşimleri, taze ve sertleşmiş haldeki özellikleri-5.

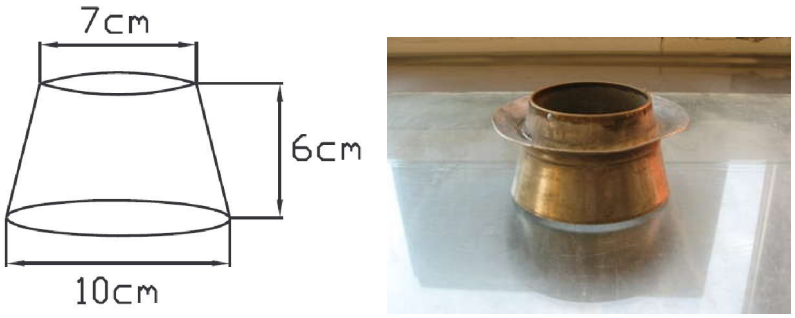
Karışım No.		**K27**	**K28**	**K29**	**K30**	**K31**	**K33**	**K34**
K.Katkı Cinsi		**VC18+** CONTROL 40	**VC18+** CONTROL 40	**VC18**	**VC18**	**VC18**	**VC18+** CONTROL 40	**VC18+** CONTROL 40
Bileşim Özellikleri	Çimento	350	350	350	300	300	300	300
	Mineral Katkı	200	200	200	250	250	250	250
	Doğal k./kırma k.	30/70	30/70	30/70	30/70	30/70	30/70	30/70
	Su	250	237	250	250	250	250	250
	İlave Su (17 dm³ için)	-	-235gr	-	-	-	-	-
	1.Katkı Dozajı, (%,B)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	2.Katkı Dozajı, (%,B)	1,0	2,0	-	-	-	1,0	2,0
	Hedef S/B	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
	Gerçekleşen S/B	0,45	0,43	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
Taze Özellikler	Yayılma, (mm), 0'	254	285	260	292	265	265	290
	Yayılma, (mm), 30'	280	286	242	275	270	275	292
	Yayılma, (mm), 60'	295	280	250	285	275	290	295
	Yayılma, (mm), 90'	272	283	256	280	272	287	295
	Yayılma, (mm), 120'	273	290	250	278	270	288	290
	Yayılma, (mm), 150'	268	285	243	275	270	280	287
	Hava (%) 0'	11,0	8,0	7,0	8,0	9,0	11,0	11,0
	Hava (%) 150'	-	-	6,8	6,5	7,8	10,2	10,4
	Birim ağırlık (kg/m³)	2013	2103	2106	2076	2100	1950	1970
Sertleşmiş Özellikler	1 Gün E.Day.,(MPa)	-	-	1,6	1,1	1,0	-	-
	28 Gün E.Day.,(MPa)	5,2	5,9	5,2	4,9	6,0	5,4	5,4
	1 Gün B.Day.,(MPa)	-	-	5,2	3,6	2,9	-	-
	28 Gün B.Day.,(MPa)	31,4	41,3	48,2	42,6	40,7	36,2	29,3

K30 nolu karışımdan itibaren, karışımlardaki çimento miktarı 300kg/m^3'e düşürülerek, cüruf miktarı 250 kg/m^3'e çıkartılmıştır. K27, K28, K33 ve K34 karışımlarına, rötre azaltıcı Sika Control 40 katkısı, üretilen katkıların dışında %1 ve %2 oranlarında ilave edilmiştir.

3.6 Taze Şap Deneyleri ve Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

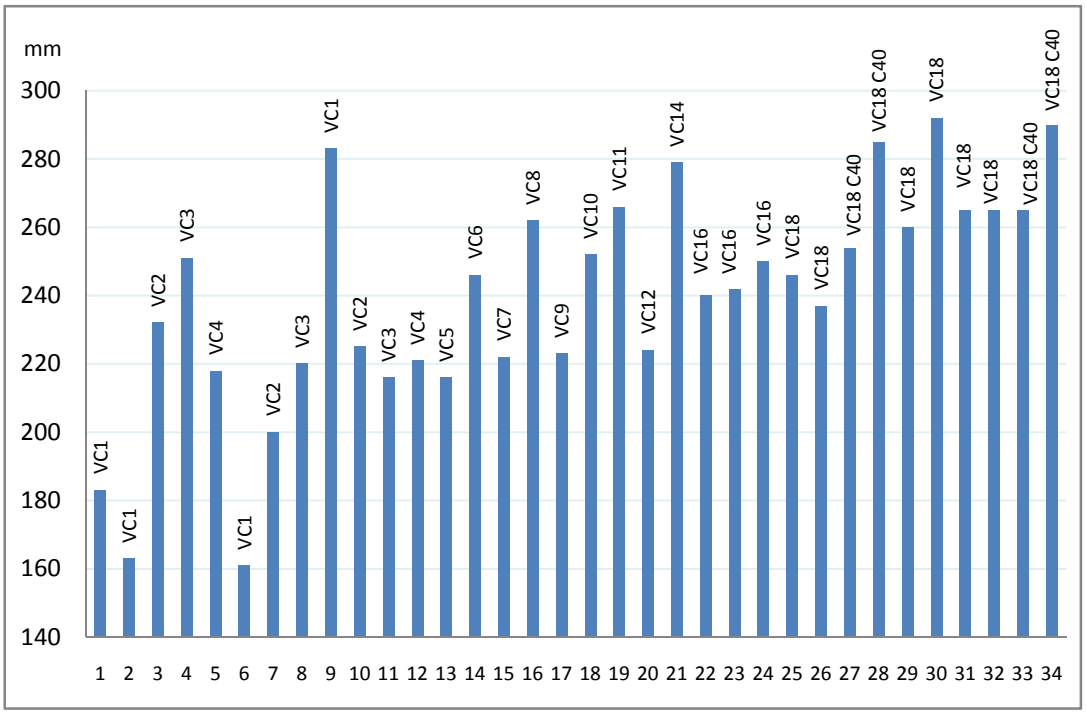
3.6.1 Yayılma deneyi

TS EN 1015-3'e göre taze şap numunesinin yayılma değeri, su emmez bir yüzey üzerinde, örneğin cam bir plaka, Şekil 3.2'de boyutları verilen kesik koni biçimindeki bir kalıba yerleştirilen numunenin, koni dik doğrultuda yukarıya çekilerek kaldırıldıktan sonra, plaka üzerinde yaptığı yayılma miktarıyla ifade edilir. Yayılma çapı birbirine dik iki doğrultuda ölçülerek bulunan değerlerin aritmetik ortalaması alınarak belirlenir. Ölçme sonuçları mm olarak ve en yakın milimetreye yuvarlatılarak verilir.

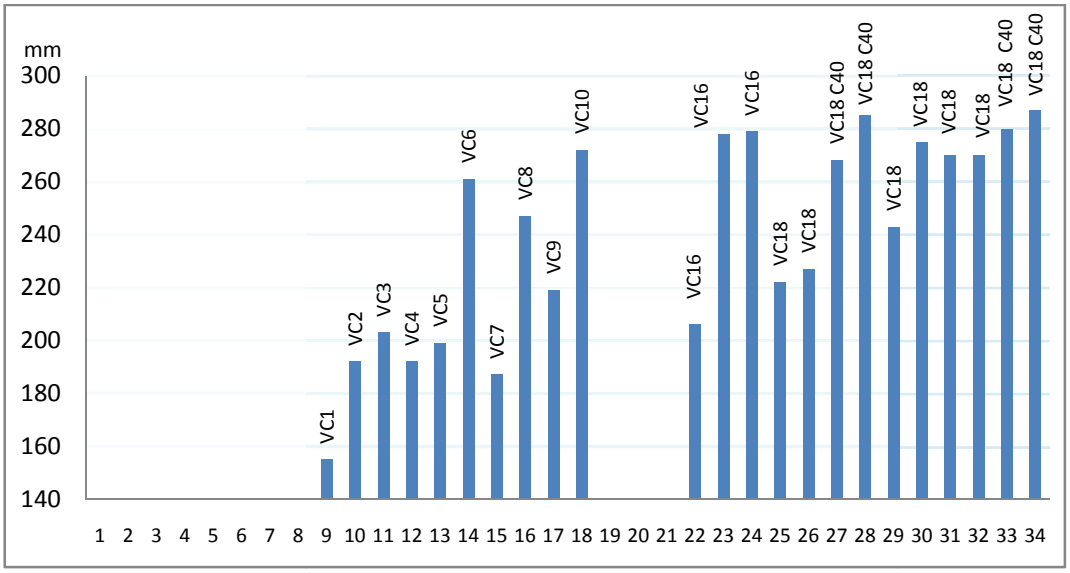


Şekil 3.2 : Yayılma konisi ve boyutları.

Çalışma boyunca üretilen 34 parti şap numunesinde 150 dakika boyunca her 30 dakikada bir yapılan yayılma deneylerine göre, polikarboksilat esaslı polimer çözeltilerinden P3 ve P4 kullanılarak hazırlanan katkıların ani yayılma miktarı ve kıvam koruma kabiliyeti açışından hedef değerler olan 200mm-280mm aralığı için en iyi sonuçları verdiği gözlemlenmiştir. Şapların ani yayılma değerleri Şekil 3.3'te, 150 dakika sonundaki yayılma değerleri ise Şekil 3.4'te gösterilmektedir.



Şekil 3.3 : Şapların ani yayılma değerleri.



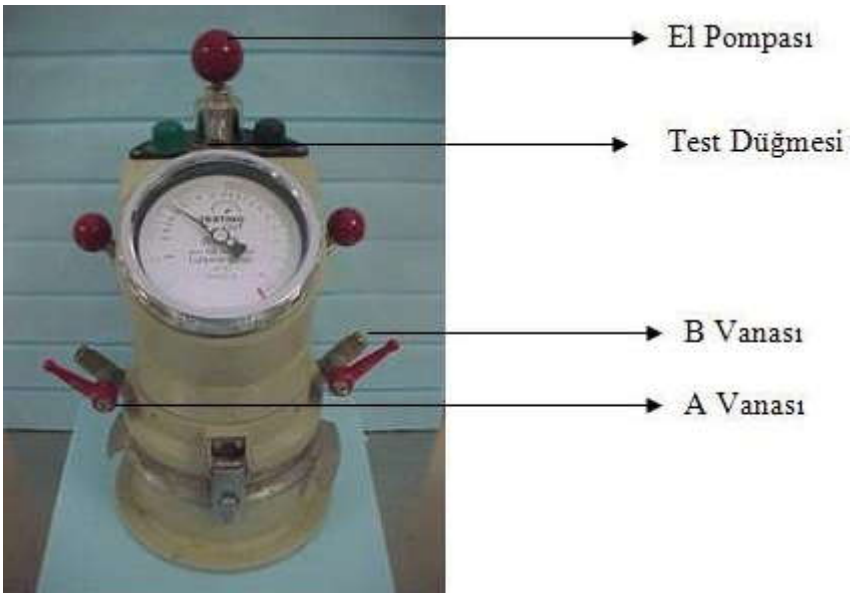
Şekil 3.4 : Şapların üretimden 150 dakika sonraki yayılma değerleri.

3.6.2 Hava miktarının tayini deneyi

TS 22-2 EN 413-2'ye göre taze harçta hava miktarı basınç uygulandığında, harç hacminde meydana gelen azalmanın tespiti yoluyla belirlenir.

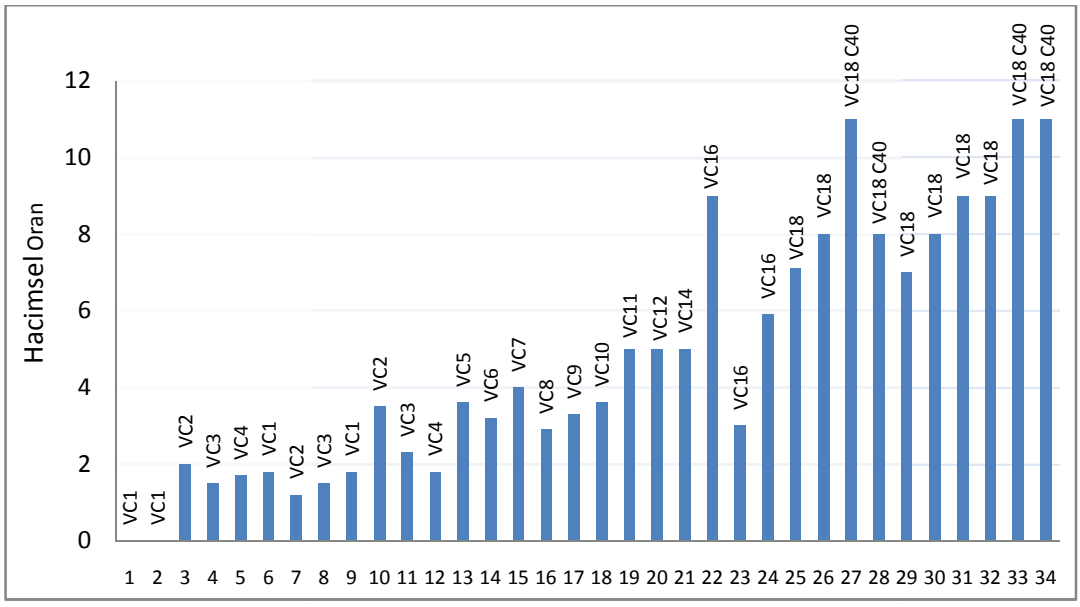
Deneyde, çimento hamurundan kısa sürede etkilenmeyen, çelik veya diğer rijit metalden yapılmış, hacmi 1 litre olan su geçirmez bir kap kullanılır. Kap taze harçla doldurulduktan sonra, üst kenar kısımları nemli bir bezle silinir ve kapak kısmı kap

ile arasında basınç kaçağı olmayacak şekilde yerleştirilir. A ve B vanaları açılır. Pipet kullanarak, vanalardan herhangi birinden verilerek diğer vanadan çıkıncaya kadar cihaz su ile doldurulur. Vanalar kapatılır ve manometre göstergesi başlangış kısmına gelinceye kadar hava basılır. Basınç göstergesinin işaret çizgisini geçmesi durumunda, ayar vanası açılarak gösterge işaret çizgisine gelinceye kadar basınç düşürülür. Test düğmesine basılır. Gösterge üzerine elle hafifçe birkaç defa vurularak ibrenin kararlı hale gelmesi sağlanır ve üzerindeki değer hava yüzdesi olarak okunur. Şekil 3.5'de deney cihazı gösterilmektedir.



Şekil 3.5 : Hava miktarı tayini deney cihazı.

Bu çalışmada hedeflenen hacimce %4-%12 hava oranına ulaşabilmek için H1, H2, H3, H4 ve H5 olarak isimlendirilen toplam 5 farklı hava sürükleyici katkı kullanılmıştır. Hava sürükleyici katkılar üretilen ana katkılara VC7 katkısından itibaren eklenmeye başlanmıştır. Hedeflenen aralık için en iyi sonuçları H4 ve H5 hava sürükleyicilerinin karışımının verdiği gözlenmiş, ayrıca bu karışımla üretilen şaplarda hava miktarının 150 dakika sonunda çok küçük oranlarda azalma gösterdiği tesbit edilmiştir. Çalışma boyunca üretilen şaplardaki hava yüzdesinin gelişimi Şekil 3.6'da gösterilmektedir.



Şekil 3.6 : Hacimsel hava yüzdelerinin karşılaştırılması.

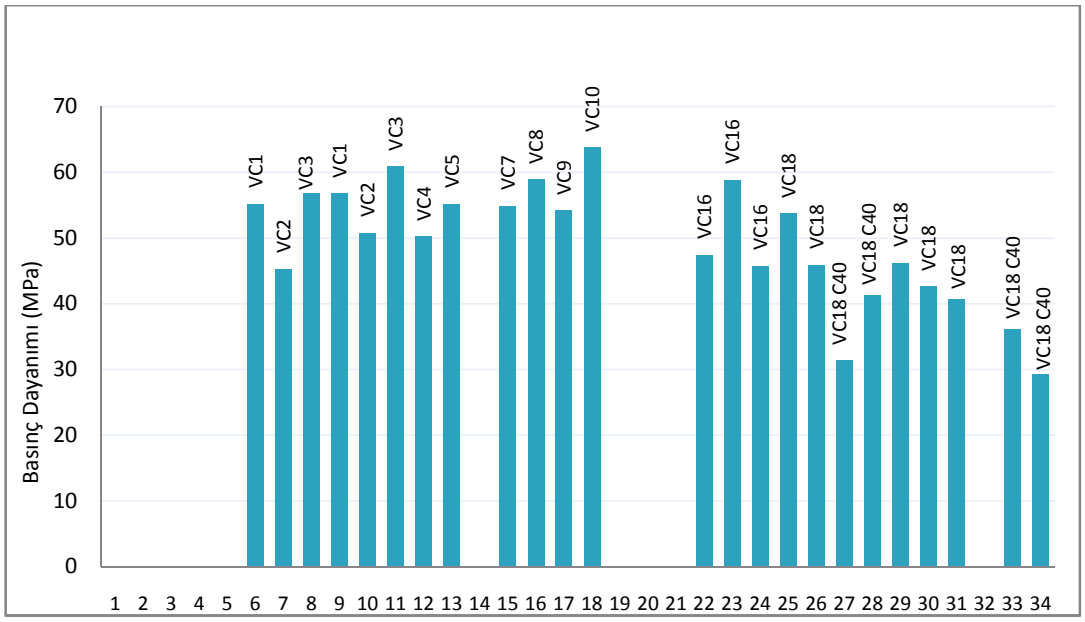
3.7 Sertleşmiş Şap Deneyleri ve Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Her karışımdan 3'ü 1 günlük dayanımları 3'ü de 28 günlük dayanımları incelemek amacıyla toplam 6 adet 4cmx4cmx16cm boyutlarında prizmatik numuneler alınmıştır. Rötre ölçümleri için karışımlardan 2.5cmx2.5cmx22.5cm boyutlarında 3'er adet numune alınmıştır.

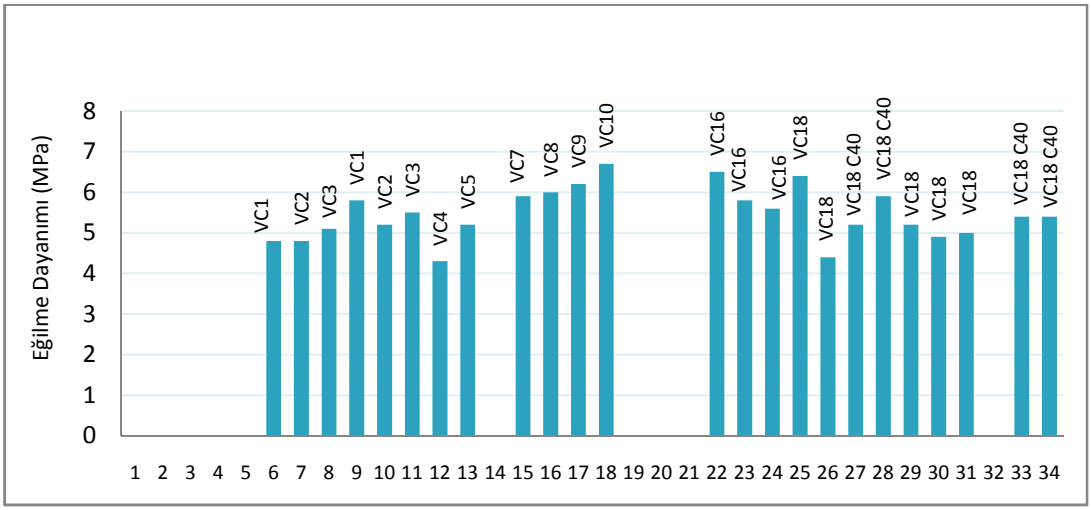
3.7.1 Basınç ve eğilme dayanımı deneyleri

Hazırlanan şaplar üzerinde yapılan basınç dayanımı ve eğilme dayanımı deneyleri, Tonitechnik marka, eğilme dayanımı ölçümü için 1kN-10kN, basınç dayanımı ölçümü için de 30kN-300kN kuvvet aralığında kullanılan test cihazı vasıtasıyla yapılmıştır. Deney numuneleri 28 gün boyunca kür havuzunda bekletilmiştir.

Bu çalışmada üretilen şaplar için basınç dayanımının 20MPa üzerinde olması hedeflenmiştir. Şaplardaki hava miktarlarının hacimce %10 dolaylarına ulaşmasıyla basınç dayanımlarında %20'lere varan azalmalar olmasına karşın, hedeflenen basınç dayanımı değerlerine ulaşılmıştır. Eğilme dayanımı değerleriyse ortalama 5MPa civarında bulunmuştur. Çalışma boyunca üretilen şapların basınç dayanımı değerleri Şekil 3.7'de, eğilme dayanımı değerleri ise Şekil 3.8'de karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.7 : Basınç dayanımı değerleri.



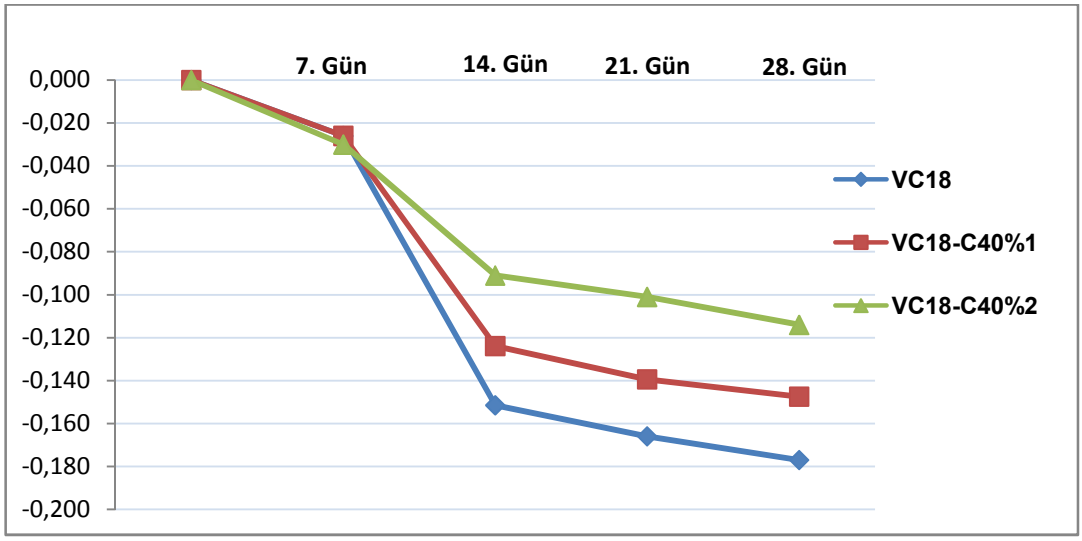
Şekil 3.8 : Eğilme dayanımı değerleri.

3.7.2 Büzülme oranı (rötre) deneyi

Doygun halden kurumaya geçişte oluşan büzülme oranının (rötre) belirlenmesi amacıyla, şaplardan 2.5cmx2.5cmx12.5cm boyutlarında her dökümden toplam 3 adet olmak üzere prizmatik numune alınmıştır. Numune alımı için şaplar kalıplara yerleştirilmeden önce, kalıplarda bulunan soketlere ölçü pimleri yerleştirilir. Ölçümler, bu ölçü pimleri yardımıyla komparatör ile yapılır. Bu çalışmada Mitutoyo Absolute marka komparatör kullanılmıştır.

Rötre ölçümü amacıyla VC18 ana katkısıyla hazırlanmış 3 farklı şap üretilmiştir. Şaplardan ikisine üretim esnasında ana katkıdan bağımsız olarak, sırasıyla bağlayıcı

ağırlığının %1 ve %2 oranlarında Sika Control 40 rötre azaltıcı katkısı eklenmiştir. Diğer şapa ise ana katkıdan bağımsız olarak bir katkı verilmemiştir. Bu şaplardan alınan numunelerde 7., 14. ve 28. günlerde rötre okumaları yapılmıştır. 28 gün sonunda yapılan ölçümlere göre %2 oranında SRA içeren şapta, SRA içermeyen şapa göre %35 dolaylarında, %1 oranında SRA içeren şapta da %15 dolaylarında daha az rötre gözlemlenmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 : Rötre değerlerinin karşılaştırılması.

3.7.3 Saha uygulamaları ve çatlak kontrolü

Bu çalışma sonucunda üretilen şapın görünümünü değerlendirmek ve çatlak kontrolleri yapmak amacıyla saha uygulamaları yapılmıştır. Saha uygulamaları için iki farklı kendiliğinden yerleşen şap ve performans karşılaştırması yapabilmek amacıyla da iki farklı normal şap üretilmiştir. Kendiliğinden yerleşen şapların tüm karışım oranları aynı olmakla beraber, birine bağlayıcı hacminin %2'si oranında rötre azaltıcı katkı eklenmiştir. Normal şaplardan birinde sadece doğal kum kullanılmış ve Normal 1 olarak isimlendirilmiş, diğerinde ise hem doğal kum hem de kırma kum kullanılmış ve Normal 2 olarak isimlendirilmiştir. Üretilen bu şaplar 60cmx120cm boyutlarındaki kalıplara 3cm ve 6cm yüksekliklerde olmak üzere yerleştirilmişlerdir. Böylelikle 4 farklı şapla üretilmiş 2 farklı yükseklikte toplam 8 adet uygulama yapılmıştır. Şapların karışım oranları Çizelge 3.14'te gösterilmektedir.

Çizelge 3.14 : Saha uygulamaları için üretilen şapların karışım oranları.

Kg/m³	KYŞ	Normal 1	Normal 2
Çimento	300	370	370
Cüruf	250	-	-
Su	250	287	207
Doğal Kum	407	1550	507
Kırma Kum	931	-	1160
S/B	0,45	0,68	0,56

Bu uygulamalarda dökümden itibaren 28 gün boyunca çatlak kontrolleri yapılmıştır. Kontroller sonucunda, her iki yükseklikte üretilmiş kendiliğinden yerleşen şapta da kayda değer nitelikte bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir.

3.7.4 Sürtünme ile aşınma kaybı deneyi (Böhme metodu)

Aşınma kaybı deneyinde, saha uygulamaları için hazırlanan kendiliğinden yerleşen şaplardan ve kırma kum ve doğal kum kullanılarak üretilmiş normal şaptan alınan 3'er adet numune kullanılmıştır.

Deneyde kullanılan Böhme yüzey aşındırma cihazı, döner bir aşındırma diski ile numunenin yerleştirildiği ve numuneyi dönen disk üzerine belirli bir basınç ile bastıracak donanımdan oluşmaktadır. Cihaz yaklaşık 750mm çapındaki diskin 30devir/dk. hızda dönmesini sağlar ve her 22 devirde bir durmasını sağlayacak bir düzeneğe sahiptir. Böhme yüzey aşındırma deneyi için kenar uzunlukları 71mm ±1,5mm (yüzey alanı 50cm^2 ± 2cm^2) olan küp biçiminde 5 deney numunesi, taş kesme testeresi ile ıslak kesilmek suretiyle hazırlanır. Böhme yüzey aşındırma deneyi deney sonucunda, deney numunelerinin kalınlıklarında veya hacimlerinde meydana gelen azalmanın ölçülmesi suretiyle yapılır. Şekil 3.10'da Böhme yüzey aşındırma deney düzeneği gösterilmektedir.



Şekil 3.10 : Böhme yüzey aşındırma deney düzeneği.

Çizelge 3.15'te deneyde kullanılan 3 farklı şapın Böhme yüzey aşınma kaybı değerleri verilmektedir. Buna göre SRA eklenmemiş kendiliğinden yerleşen şap, normal şapa göre yaklaşık %45 oranında daha az aşınmıştır. SRA eklenmiş şap ise normal şapa göre %10 oranında daha az aşınma göstermiştir. Her iki durumda da kendiliğinden yerleşen şaplar, aşınmaya karşı normal şapa göre çok daha olumlu sonuçlar vermektedirler.

Çizelge 3.15 : Böhme yüzey aşınma kaybı değerleri.

	KYŞ	KYŞ + SRA	Normal 2
Böhme yüzey aşınma kaybı ($cm/50cm^2$)	8,1	10,25	11,3

4. GENEL SONUÇLAR VE İLERİDE YAPILACAK ÇALIŞMALAR İÇİN ÖNERİLER

- Çalışmada kullanılan sulu polikarboksilat esaslı polimer çözeltilerinden P3 ve P4 çözeltileri karışımlarının ani yayılma ve kıvam koruma kabiliyeti açısından en etkili sonuçları verdikleri gözlemlenmiştir.
- Sodyum loril eter sülfat esaslı H5 hava sürükleyici katkısı ile kokamide esaslı H4 hava sürükleyici katkısının karışımı kullanılarak hazırlanan şaplarda hedeflenen hava miktarı olan hacimce %4-%12 aralığındaki değerlere ulaşılmıştır. Bu hava sürükleyicilerle üretilen şaplarda, 150 dakika sonunda dahi hava miktarında kayda değer azalmalar gözlemlenmemiş ve dengeli sonuçlar elde edilmiştir.
- Propilenoksit tipi köpük kesicinin, üretilen ana katkı malzemelerinin içeriğinden çıkarılmasının hava miktarının dengelenmesinde etkili olduğu gözlenmiştir.
- İçeriğinde P3 ve P4 polimer çözeltilerinin karışımı, H4 ve H5 hava sürükleyicilerinin karışımı, geciktirici ve fermantasyon önleyici bulunan VC18 katkısı; görünüm, ani yayılma miktarları, kıvam koruma kabiliyeti, hava içeriği ve hava içeriğini koruma kabiliyeti açısından en etkili sonuçları vermiştir.
- Üretilen şaplarda hava miktarının hacimce %10 dolaylarına ulaşması, basınç dayanımlarında hava sürükleme işlemi yapılmadan önceki değerlere göre %20'ye varan azalmalara sebep olsada, basınç dayanımları hedeflenen değerlerin üzerinde gerçekleşip 30 MPa seviyesinin altına inmemiştir.
- Çalışmada kullanılan rötre azaltıcı katkı (SRA), kendiliğinden yerleşen şap karışımlarına bağlayıcı ağırlığının %1'i oranında eklendiğinde rötre değerlerini %15, bağlayıcı ağırlığının %2'si oranında eklendiğinde de rötre değerlerini %35 oranlarında azaltmıştır.
- Yapılan saha uygulamalarında 60cm eninde ve 120cm boyundaki kalıplara, 3cm ve 6cm olmak üzere iki farklı kalınlıkta yerleştirilen şaplarda 28 gün

süren gözlemler sonucunda kayda değer nitelikte bir çatlak oluşumu tespit edilmemiştir.

- SRA eklenmemiş kendiliğinden yerleşen şap, normal şapa göre yaklaşık %45 oranında daha az aşınmıştır. SRA eklenmiş şap ise normal şapa göre %10 oranında daha az aşınma göstermiştir. Her iki durumda da kendiliğinden yerleşen şaplar, aşınmaya karşı normal şapa göre çok daha olumlu sonuçlar vermektedirler.
- İleride yapılacak çalışmalarda saha uygulamalarına devam edilmeli, geniş alanlara dökülecek kendiliğinden yerleşen şaplarda çatlak kontrolleri yapılmalıdır. SRA olarak kullanılan katkının aşınmaya olan etkisi gibi diğer mekanik özellikler de göz önüne alınarak rötre miktarını azaltmak için farklı katkıların kullanımı denenmeli veya yeni bir katkı geliştirme çalışması yapılmalıdır. SRA ile yapılan çalışmalarda, katkının priz süresine olan etkileri incelenmelidir. Kendiliğinden yerleşen şaplarla ilgili karşılaştırmalı bir maliyet çalışması yapılmasına ihtiyaç vardır.

KAYNAKLAR

[1] **Atan, Y.,** 1975. *Yapı Malzemesi Ders Notları : Katı Cisimlerin İç Yapısı, Mekanik özellikler, Teknolojik özellikler*, İTÜ, İstanbul.

[2] **TS EN 13318,** 2000. Şap malzemeleri ve Şap Uygulaması – Tarifler, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

[3] **BS EN 13813,** 2002. Screed Material and Floor Screeds – Screed Material – Properties and Requirements, *European Committee for Standardization,* Brussels.

[4] **Bartos, P.,** 1992. *Fresh Concrete Properties and Tests*, Elsevier, Amsterdam

[5] **Akman, M.S.,** 1987. *Yapı Malzemeleri*, İTÜ Kütüphanesi, İstanbul.

[6] **Postacıoğlu, B.,** 1987. *Beton, Cilt 2*., Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul.

[7] **Kocataşkın, F.,** 1973. *Yapı Malzemesi Dersleri : Beton, Kagir, Metal, Ahşap,* İTÜ, İstanbul.

[8] **Tattersall, G.H.,** 1991. *Workability and Quality Control of Concrete,* E & FN Spon Publisher, London.

[9] **Schiessl, P., Schmidt, R., Bleeding of Concrete,** 1990. *RILEM Properties of Fresh Concrete,* Hanover, 24-32.

[10] **Josserand, L., Coussy, O., Larrard, F.,** 2006. Bleeding of Concrete as an Ageing Concolidation Process, *Cement and Concrete Research*, **36**, 1603-1608.

[11] **Gaimster, R., Dixon, N.,** 2003. Self-compacting Concrete, *Advance Concrete Technology Set*, 1-23.

[12] **Okamura, H., Ouchi, M.,** 1999. Self-compacting Concrete: Development, Present Use and Future, *Proceedings of the First International RILEM Symposium*, Stockholm, 3-14.

[13] **Khayat, K.H., Ghezal, A., Hadriche, M.S.,** 1999. Factorial Design Models for Proportioning Selfconsolidating Concrete, *Materials and Structures*, **32**, 679-686.

[14] **Okamura, H., Ouchi, M.,** 2003. Applications of Self-compacting Concrete in Japan, *Proceedings of the Third International RILEM Symposium*, Reykjavik, 17-20 August, 3-5.

[15] **Skarendahl, A.,** 2003. The Present – The Future, *Proceedings of the Third International RILEM Symposium*, Reykjavik, 17-20 August, 6-14.

[16] **Skarendahl, A.,** 2000. State-of-the-art of Self-compacting Concrete, *Proceedings of Seminar of Selfcompacting Concrete*, Malmö, November, 10-14.

[17] **EFNARC,** 2005. The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification, Production and Use, April.

[18] **Skarendahl, A.,** 2005. Changing Concrete Construction Through Use of Self-compacting Concrete, *First International Symposium on Design, Performance and Use of Self-consolidating Concrete SCC'2005*, China, 26-28 May, 17-24.

[19] **Ramachandran, V. S.,** 1996. *Concrete Admixtures Handbook (Second Edition)*, Noyes Publications, USA.

[20] **Türkel, S., Felekoğlu, B.,** 2004. Aşırı Dozda Akışkanlaştırıcı Kimyasal Katkı Kullanımının Taze ve Sertleşmiş Betonun Bazı Özellikleri Üzerine Etkileri, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi,* Ocak, **1**, 79-91.

[21] **Işık, İ. E.,** 2005. Kendiliğinden Yerleşen Betonda Viskozite Düzenleyici Katkı Kullanımı, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

[22] **Akman, M. S.,** 2007. Yüksek Performanslı Betonların Taze Haldeki Özellikleri Üzerine Katkı Maddelerinin Etkisi, *Sika Teknik Bülten / Makaleler*, İstanbul.

[23] **Aitcin, P.C.,** 2008. *Binders for Durable and Sustainable Concrete*, Taylor & Francis, Oxon.

[24] **Jolicoeur, C., Nkinamubanzi, P. C., Simard, M. A., Piotte, M.** 1994. Progress in Understanding the Functional Properties of Superplasticizer in Fresh Concrete, *ACI*, **SP 148**, 63-88.

[25] **Kasami, H., Ikeda, T., and Yamana, S.,** 1978. Workability and Pumpability of Superplasticized Concrete-Experiences in Japan, *Proc. Internetional Symposium Superplasticizers in Concrete,* Ottawa, Canada, 103-132.

[26] **Ghosh, R. S., Malhotra, V. M.,** 1978. Use of Superplasticizers as Water Reducers, *CANMET Division Report*, Canada Energy Mines and Resources, Ottawa.

[27] **Felekoğlu, B., Baradan, B., Sarıkahya, H., Yüceer, L.,** 2005. Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda İşlenebilirlik Kaybının Azaltılmasında Polikarboksilat Bazlı Akışkanlaştırıcıların Kullanımı, *6. Ulusal Beton Kongresi*, İTÜ, İstanbul, 53-71.

[28] **İnan, G., Köseoğlu, O.E., Ramyar, K.,** 2004. Süper Akışkanlaştırıcı Katkının Betonun Su İhtiyacına ve Basınç Dayanımına Etkisi, *Beton 2004 Kongresi*, İstanbul, 10–12 Haziran, 674–681.

[29] **Young, J.F.,** 1972. A Review of the Mechanisms of Set-retardation in Portland Cement Pastes Containing Organic Admixtures, *Cement and Concrete Research*, Temmuz, **2**, 415-433.

[30] **Struble, L.J., Jiang, Q.,** 2004. Effects of Air Entrainment on Rheology, *ACI Materials Journal*, Kasım-Aralık, **101**, 448-456.

[31] **Bentur, A,.** 2003. Early Age Cracking in Cementitious Systems, Report of RILEM Technical Committee, France, **25.**

[32] **Ulukaya, S.,** 2008. Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Rötre ve Rötre Çatlaklarının İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

[33] **Onaran, K.,** 2000. *Malzeme Bilimi*, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul.

[34] **Soroka, I.,** 1993. *Concrete in Hot Environments*, E & FN Spon Publisher, London.

[35] **Kadıoğlu, T.,** 2006. Rötre Azaltıcı Katkı Maddeleri, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

[36] **Akman, M. S.,** 2007. Betonun Plastik Rötresi, *Sika Teknik Bülten / Makaleler*, İstanbul.

[37] **Akman, M.S.,** 2007. Yüksek Performanslı Betonlarda Otojen Rötre, *Sika Teknik Bülten / Makaleler*, İstanbul.

[38] **Bisschop, J.,** 2002. *Drying Shrinkage Microcracking in Cement-based Materials*, Published by DUP Science, Delft, Netherland.

[39] **Verbeck, G. J.,** 1968. Field and laboratory studies of the sulfate resistance of concrete. In Performance of concrete resistance of concrete to sulfate and other environmental conditions, *Thorvaldson Symposium*, University of Toronto Press, Toronto, 113-24.

[40] **Bentur, A., Mindess, S.**, 2007. *Fibre Reinforced Cementitious Composites (Secon Edition)*, published by Taylor & Francis, Oxon, England.

[41] **Hannant, D.J.,** 2003. Fibre-reinforced concrete, *Advanced Concrete Technology Set*, 1-17.

[42] **Sertbaş, B.,** 2006. Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Polipropilen Lif Kullanımının İşlenebilirliğe Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

[43] **Avar, D.,** 2006. Karma Lifli Betonların Mekanik Davranışına Buhar Kürü Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

[44] **Doğru, D.,** 2006. Yüksek Performanslı Çelik Tel Donatılı Betonların Mekanik Davranışına 200 °C Sıcaklıkta Kür Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

[45] **Shah, S.P., Sarigaphuti, M., Karagüler, M.E.,** 1994. Comparison of Shrinkage Crackin Performance of Different Types of Fibers and Wiremesh, *Fiber Reinforced Concrete – Development and Innovation*, Amercan Concrete Institute, Farmington Hills, **142**, 1-18.

[46] **Erbaş, M.,** 2003. Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda İşlenebilirlik Kaybının Azaltılmasında Polikarboksilat Bazlı Akışkanlaştırıcıların Kullanımı, *5. Ulusal Beton Kongresi*, Harbiye, İstanbul, 1-3 Ekim, 593-603.

[47] **TS EN 933-8,** 2001. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 8: İnce Tanelerin Tayini - Kum Eşdeğeri Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

[48] **TS EN 933-9,** 2001. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 9: İnce Tanelerin Tayini - Metilen Mavisi Deneyi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

EKLER

EK A : Basınç ve eğilme dayanımları, rötre ve aşınma kaybı ölçüm sonuçları
EK B : Saha uygulamalarına ait fotoğraflar

EK A

Çizelge A.1 : Şapların basınç ve eğilme dayanımları.

Karışım No.	**K6**	**K7**	**K8**	**K9**	**K10**	**K11**	**K12**	**K13**
Basınç Dayanımları (MPa)	55,2	45,3	56,9	56,8	50,8	60,9	50,2	55,2
Eğilme Dayanımları (Mpa)	4,8	4,8	5,1	5,8	5,2	5,5	4,3	5,2

Karışım No.	**K15**	**K16**	**K17**	**K18**	**K22**	**K23**	**K24**	**K25**
Basınç Dayanımları (MPa)	54,9	58,9	54,2	63,8	47,4	58,8	45,8	53,7
Eğilme Dayanımları (Mpa)	5,9	6,0	6,2	6,7	6,5	5,8	5,6	6,4

Karışım No.	**K27**	**K28**	**K29**	**K30**	**K31**	**K33**	**K34**
Basınç Dayanımları (MPa)	5,2	5,9	5,2	4,9	6,0	5,4	5,4
Eğilme Dayanımları (Mpa)	31,4	41,3	48,2	42,6	40,7	36,2	29,3

Çizelge A.2 : Rötre numuneleri ölçüm sonuçları.

		1.gün ilk boy	7.gün	14.gün	21.gün	28.gün
K.ÇUBUĞU		**3,401**	**3,400**	**3,396**	**3,398**	**3,392**
VC18 (%1,5)	1	2,237	2,198	2,087	2,070	2,059
	2	2,051	2,038	1,898	1,886	1,875
VC18 (%1,5) SRA (%1,0)	1	2,475	2,441	2,353	2,336	2,330
	2	-	-	-	-	-
VC18(%1,5) SRA (%2,0)	1	1,702	1,684	1,576	1,562	1,552
	2	2,428	2,398	2,337	2,327	2,314

Çizelge A.3 : Böhme yüzey aşınma kaybı deneyi ölçüm sonuçları.

	Numune No	Kalınlık kaybı (mm)
KYŞ	1	1,35
	2	1,23
	3	1,15
KYŞ +SRA	1	1,75
	2	2,55
	3	1,85
NORMAL 2	1	2,50
	2	2,43
	3	1,85

EK B



Şekil A.1 : Saha uygulamaları 1. Gün fotoğrafları.



Şekil A.2 : Saha uygulamaları 7. gün fotoğrafları.



Şekil A.3 : Saha uygulamaları 28. Gün fotoğrafları.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Ali Emre Ormancı

Doğum Yeri ve Tarihi: Uşak, 30.03.1981

Lise: Kabataş Erkek Lisesi

Lisans Üniversite: İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği