

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇİMENTO ESASLI KOMPOZİTLERİN ERKEN
YAŞTAKİ BOYUTSAL KARARLILIĞININ
İNCELENMESİ

Fatih YAVUZ

Ekim, 2011
İZMİR

**ÇİMENTO ESASLI KOMPOZİTLERİN ERKEN
YAŞTAKİ BOYUTSAL KARARLILIĞININ
İNCELENMESİ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Malzemesi Anabilim Dalı**

Fatih YAVUZ


**Ekim, 2011
İZMİR**

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

FATİH YAVUZ, tarafından PROF.DR. BÜLENT BARADAN yönetiminde hazırlanan “ÇİMENTO ESASLI KOMPOZİTLERİN ERKEN YAŞTAKİ BOYUTSAL KARARLILIĞININ İNCELENMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.


Prof.Dr. Bülent BARADAN

Yönetici


Yrd. Doç. Dr. Burak Felekoglu

Jüri Üyesi


Prof. Dr. Ali Aydın Göktaş

Jüri Üyesi


Prof.Dr. Mustafa SABUNÇU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitimim süresince bana her konuda göstermiş olduğu destek, ilgi ve hoşgörü için değerli hocam Sayın Prof. Dr. Bülent BARADAN'a sonsuz teşekkürü bir borç bilirim. Tezim süresince değerli görüşlerini ve bilgilerini paylaşan, her zaman yakın ilgi gösteren Sn. Yrd. Doç Dr. Burak FELEKOĞLU ve Sn. Yrd. Doç. Dr. Kamile TOSUN FELEKOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca akışkanlaştırıcı kimyasal katkıların temininde INKA Kimya Sanayi firmasına, çimento temininde Denizli Çimento fabrikasına teşekkür ederim.

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen sevgili babam İnşaat Mühendisi Mehmet YAVUZ ve sevgili annem Eczacı Nermin YAVUZ'a gösterdiği destek, sevgi, anlayış ve sabır için sonsuz teşekkür ederim. Aynı zamanda bu çalışma boyunca ilgi ve desteğini esirgemeyen sevgili kardeşim Araştırma Görevlisi Özlem YAVUZ'a çok teşekkür ederim.

Fatih YAVUZ

ÇİMENTO ESASLI KOMPOZİTLERİN ERKEN YAŞTAKİ BOYUTSAL KARARLILIĞININ İNCELENMESİ

ÖZ

Bu çalışmada çimento esaslı kompozitlerin erken yaş boyutsal kararlılığının incelenmesi için gerekli literatür taraması yapılmıştır. Bunun yanında çalışmada kullanılacak değişik tip kimyasal akışkanlaştırıcı katkıları için 0,35-0,60 su/çimento (s/ç) aralığında ön deneyler yapılmıştır. Yapılan ön deneyler sonucunda belirli bir yayılma değeri hedeflenerek incelemede kullanılacak katkı yüzdelerine ve s/ç oranlarına karar verilmeye çalışılmıştır. Üç farklı tip akışkanlaştırıcı kullanılarak hazırlanan harç örneklerinin mekanik özellikleri de bu çalışma kapsamında incelenmiştir. Ardından 20 derece sıcaklık ve yüzde yüz bağıl nem durumunda (otojen durumda) çimento hamuru üzerinde bu üç farklı akışkanlaştırıcı kullanılarak hazırlanan karışımların büzülme değerleri lazer sensörlerin kullanıldığı ölçüm yöntemiyle ölçülmüş, farklı tip akışkanlaştırıcıların büzülme üzerine etkisi araştırılmıştır. Bunların yanında farklı tip akışkanlaştırıcı katkıların çimento hamurunun reolojik özelliklerine etkisi de incelenmiştir.

Anahtar sözcükler: akışkanlaştırıcı katkıları, boyutsal stabilite, mekanik özellikler, yayılma, büzülme, reoloji

INVESTIGATION OF EARLY AGE DIMENSIONAL STABILITY OF CEMENT-BASED COMPOSITES

ABSTRACT

Early age dimensional stability of cement based composites developed by different researchers has been examined within the scope of this research. Also, preliminary tests were performed using different types of chemical plasticizer admixtures in various cement paste mixtures with water/cement (w/c) ratios between 0.35 – 0.60. The admixture dosages and water/cement ratios that are used in the mixtures have been chosen based on the results of preliminary tests. The mechanical properties of mortar samples which were prepared with different types of plasticizers were also determined in this research. Finally, in case of 20 degree temperature and hundred percent relative humidity (autogenous situation) early shrinkage values of the mixtures prepared by using three different plasticizers were measured by using laser sensor measurement method. And the effect of different types of plasticizers on the early shrinkage behavior of cement pastes have been discussed. In addition to these studies, the effects of different types of plasticizing admixtures on cement paste properties have been investigated.

Keywords: plasticizer admixture, dimensional stability, mechanical properties, shrinkage, rheology

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU Error! Bookmark not defined.	
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	v
BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....	1
BÖLÜM İKİ - BOYUTSAL STABİLİTE	3
2.1 Çimento Esaslı Kompozitlerde Boyutsal Stabilite	3
2.2 Büzülme Mekanizmaları	4
2.2.1 Hidrolik Büzülme	4
2.2.2 Termik Büzülme	8
2.2.3 Bünyesel (Otojen) Büzülme	8
2.2.4 Plastik Büzülme	11
2.2.5 Karbonatlaşma Büzülmesi	12
2.3 Çimento Esaslı Kompozitlerde Büzülme Miktarının Ölçülmesi.....	13
2.3.1 Kısa Süreli (Erken Yaş) Ölçüm Yöntemleri.....	13
2.3.2 Uzun Süreli Ölçüm Yöntemleri	16
BÖLÜM ÜÇ - MALZEMELERİN TANITIMI	18
3.1 Portland Çimentosu ve Özellikleri	18
3.1.1 Çimentonun Priz Alma Süreleri	22
3.1.2 Türkiye'deki Çimento Tipleri.....	23
3.2 Akışkanlaştırıcı Katkılar ve Özellikleri.....	26
3.2.1 Normal Akışkanlaştırıcı Katkılar.....	28
3.2.2 Süper Akışkanlaştırıcı Katkılar	28
3.2.3 Hiper Akışkanlaştırıcı Katkılar.....	29

3.2.4 Akışkanlaştırıcı Katkıların Etkileri.....	29
3.2.5 Akışkanlaştırıcı Katkıların Üretimi	30
3.2.6 Akışkanlaştırıcı Katkıların Etki Mekanizması.....	31
3.2.6.1 Elektrostatik Etki	31
3.2.6.2 Stearik Etki	31
BÖLÜM DÖRT - DENEYSEL ÇALIŞMA	33
4.1 Karışım Dizaynı ve Kullanılan Malzemeler.....	33
4.1.1 Akışkanlaştırıcı Katkılar	34
4.1.2 Çimento.....	34
4.1.3 Agrega.....	35
4.2 Ön Deneyle.....	35
4.2.1 Taze Hal Testleri.....	35
4.2.2 Sert Hal Testleri	42
BÖLÜM BEŞ - DENEY VERİLERİ	46
5.1 Cihaz ve Yöntemin Tanıtılması.....	46
5.2 Harç Ölçümleri	49
5.3 Hamur Ölçümleri.....	50
5.4 Yorumlar	53
BÖLÜM ALTI - REOLOJİ	55
6.1 Cihaz ve Yöntemin Tanıtılması.....	55
6.2 Reolojik Ölçümler	56
6.3 Yorumlar	61
BÖLÜM YEDİ - SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	62
KAYNAKLAR	64

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Tanım olarak kompozit malzemeler, dizayn amacına uygun olarak (mekanik, fiziksel, ısı vb.) birbiri içinde çözünmeyen bir veya daha fazla bileşenin bir araya getirilmesiyle oluşturulan; istenen özellikleri baskın, istenmeyen özelliklerinin en aza indirilmesini sağlayan malzemelere verilen genel addır.

Her kompozitte genellikle iki tip madde bulunur. Bunlar matris (bağlayıcı) ve takviye malzemeleridir. Birbirinden farklı fiziksel özelliklere sahip bu malzemelerin bir araya getirilmesiyle oluşan kompozit malzeme her ikisinden farklı özelliklere sahip olur. Genel olarak takviye malzemesi mekanik özellikleri arttırıcı, taşıyıcı görev üstlenir ve etrafında bulunan matris faz ise onu bir arada tutmaya ve desteklemeye yarar.

Çimento esaslı kompozitler, İnşaat Mühendisliği'nde gün geçtikçe daha çok kullanılan yapı malzemeleri arasındadır. Çimento esaslı kompozitlerde hidrasyon adı verilen su ile çimentonun birleşmesiyle fiziksel ve kimyasal değişiklikler oluşmaya başlar. Bu reaksiyonlar esnasında kompozit başlangıçta plastik kıvamda bulunurken daha sonra yarı plastik ve rijit kıvama geçer. Kompozitin yapısında meydana gelen bu değişiklikler sırasında hacminde de değişiklikler oluşmaktadır. Reaksiyonlar sırasında dış etkiler ve kompoziti oluşturan malzemelerin özellikleri, hacimce değişiklik diğer bir deyişle "boyutsal kararlılığı" açısından etkili olur.

Çimento esaslı kompozitlerde boyutsal stabilite, hidrasyon reaksiyonlarının yapısı ve suyun fazla bünyeyi terketmesi sebebiyle genellikle büzülme yönünde oluşmaktadır (Esping, 2008). Yüksek büzülme değerleri şekil değişimlerinin engellendiği durumlarda, çatlama riskini arttıracığından boyutsal stabilite açısından istenen bir özellik değildir. Bu boyutsal stabilite problemi, kompozitte çatlama ve performans kaybına neden olabilir.

Bu çalışma kapsamında çimento bazlı kompozitlerin boyutsal kararlılık sorunu incelenmiş, değişik tip akışkanlaştırıcı katkıların erken yaş boyutsal kararlılığa etkisi değerlendirilerek, büzülme sorununu azaltmaya yönelik alternatifler araştırılmıştır. Araştırma kapsamında akışkanlaştırıcı katkı olarak; lignosulfonat, naftalen formaldehit ve polikarboksilat esaslı olmak üzere normal, süper ve hiper akışkanlaştırıcı sınıfından 3 farklı tip akışkanlaştırıcı kullanılmıştır.

Bu 3 farklı akışkanlaştırıcı katkının kullanıldığı çimento esaslı kompozitler üzerinde minimum, orta ve maksimum katkı dozajında öncelikle ön deneyler yapılarak çalışılabilir aralıklar bulunmuş daha sonra büzülme potansiyelleri lazer sensörlerin kullanıldığı yeni bir yöntemle incelenmiştir. Lazer sensörler sayesinde erken yaşta, ilk 24 saatteki boyutsal değişiklikler sürekli ve hassas bir şekilde ölçülebilmektedir.

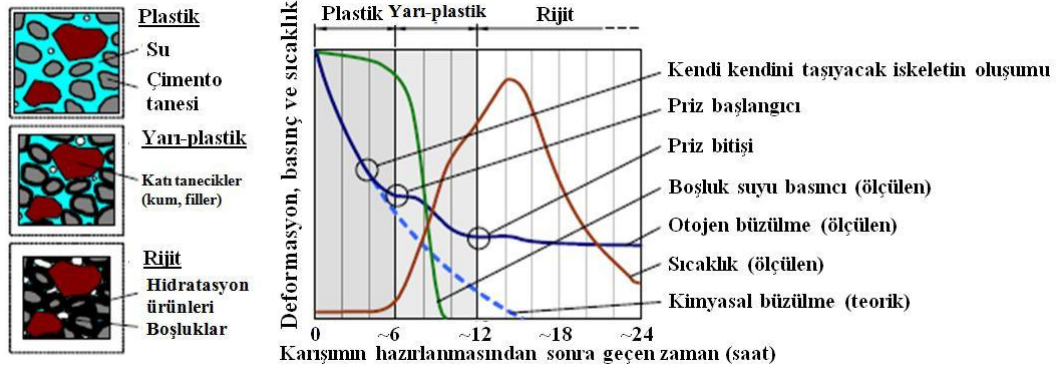
Çimento esaslı malzemelerin erken yaşlardaki büzülmesini etkileyen pek çok parametre bulunmaktadır. Bunlar agrega miktarı ve tane boyu dağılımı, çimento dozajı, su/çimento oranı, diğer bileşenlerin miktarları gibi iç parametreler ve ortam sıcaklığı, nem durumu, örnek şekli-deney koşulu gibi dış parametreler olarak gruplandırılabilir. Bu çalışmada erken yaş boyutsal kararlılık ölçümleri için değişken parametre olarak karışım içindeki akışkanlaştırıcı tipi ve dozajı incelenmiş, diğer parametreler sabit tutulmuştur.

BÖLÜM İKİ

BOYUTSAL STABİLİTE

2.1 Çimento Esaslı Kompozitlerde Boyutsal Stabilité

Çimento esaslı kompozitlerde, su ile çimentonun bir araya gelmesinden hemen sonra, gelişen reaksiyonlar nedeniyle kompozit zaman içinde plastik, yarı-plastik ve rijit olarak adlandırılacak üç farklı fazda bulunur. Fazlar arası geçişler çok net olmayıp pek çok malzeme parametresinden ve dış koşullardan etkilenmektedir. Şekil 2.1'de S/Ç oranı 0,45 olan kendiliğinden yerleşen beton karışımı için faz geçiş süreleri verilmiştir (Esping, 2008).



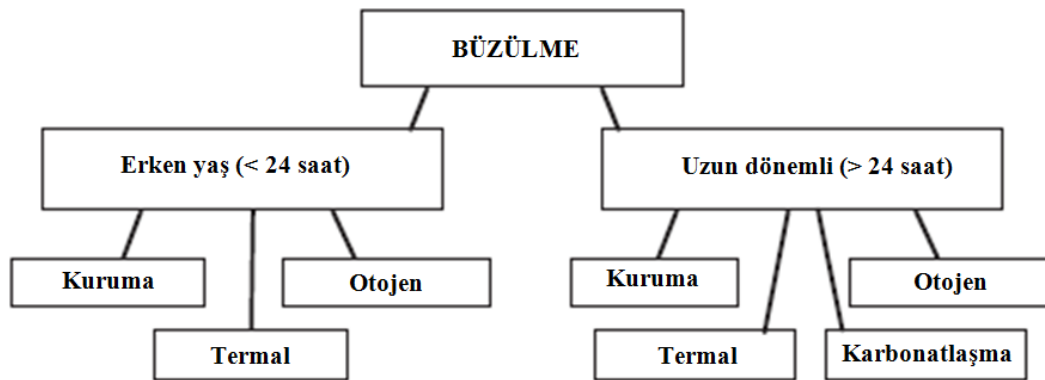
Şekil 2.1 S/Ç oranı 0,45 olan kendiliğinden yerleşen beton için faz değişimi geçiş süreleri ve otojen büzülme (Esping, 2008).

Bu faz geçişleri arasında, yapısında önemli değişiklikler meydana gelen kompozitin, hacminde de değişiklikler meydana gelmektedir. Çimento esaslı kompozitlerde, hidrasyon reaksiyonlarının yapısı gereği ve su kaybı nedeniyle hacim değişimi genelde büzülme karakterlidir. Yüksek büzülme değerleri şekil değişimlerinin engellendiği durumlarda, çatlama riskini arttıracığından boyutsal stabilite açısından istenen bir özellik değildir (Esping, 2008).

Büzülmenin oluşum mekanizmaları beş ana grupta toplanabilir:

- Hidrolik (Kuruma) Büzülme,
- Termik Büzülme,
- Bünyesel (Otojen) Büzülme,
- Erken Plastik Büzülme,
- Karbonatlaşma Büzülmesi (Baradan, 2010) .

Çimento esaslı kompozitlerin büzülmesi sırasında zamana bağlı olarak birkaç mekanizma aynı anda etkili olabilmektedir. Büzülme ilk 24 saatte ve sonrasında Şekil 2.2'deki gibi gruplandırılabilir (Holt, 2005).



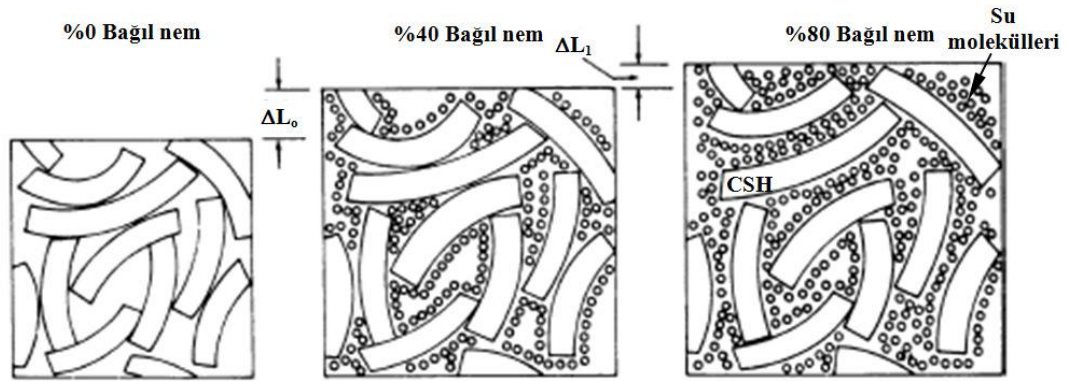
Şekil 2.2 İlk 24 saatte ve sonrasında etkili olan büzülme mekanizmalarının gruplandırılması.

2.2 Büzülme Mekanizmaları

2.2.1 Hidrolik Büzülme

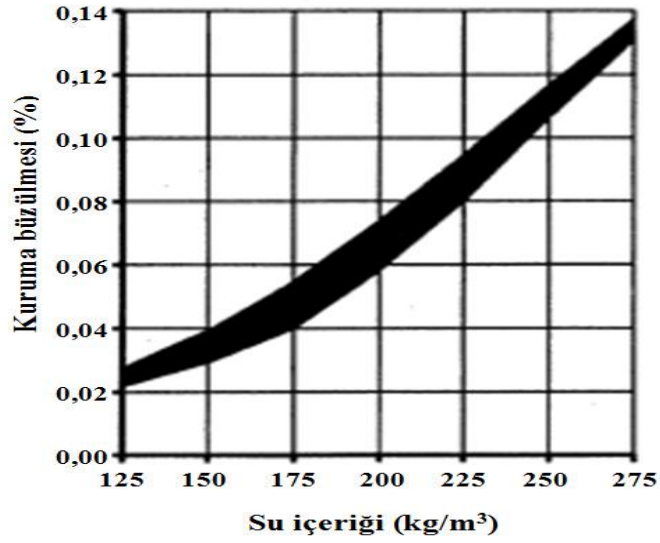
Hidrolik (kuruma) büzülmesi, betondan nem kaybı nedeniyle gerçekleşen büzülme olarak tanımlanmaktadır (ACI 116R). Geçmiş yıllarda kuruma büzülmesi terimi hem bünyesel hem de kuruma büzülmesi için birlikte kullanılmaktaydı. Bunun en önemli nedeni geçmişte yüksek dayanımlı ve düşük S/Ç oranlı betonların sıklıkla kullanılmamasıdır. Kullanılan betonlarda bünyesel büzülme ihmal edilebilecek kadar düşük mertebelere sahiptir. Geleneksel beton açısından, büzülme mekanizmalarından en önemlisi kuruma büzülmesidir (Felekoğlu, 2009).

Çimentolu malzemedeki kuruma büzülmesi esas olarak, sertleşmiş çimento hamurundaki hidrate kalsiyum silikat (CSH) jelinin nemini kaybederek birbirine yaklaşması ile oluşur. Suya doymun çimento hamuru, doymunluğunun altındaki nem oranına sahip çevre koşullarında boyutsal olarak stabil kalmaz. Şekil 2.3'te görüldüğü gibi, CSH jeli nem azalınca fiziksel olarak absorbe ettiği suyu kaybeder ve bu durum büzülmeye yol açar (Kovler ve Zhutovsky, 2006). Çimento hamurunun kuruması sonucu, önce kılcal boşluklardaki su buharlaşmakta, bu boşluklara jel suyu akımı başlamakta ve daha sonra bu su da kısmen buharlaşmaktadır. Sonuçta absorbe su tabakası incelerek ve taneler yaklaşarak hacim büzülmeaktadır. Farklı bağıl nem derecelerinde farklı kuruma mekanizmaları kuruma büzülmesinin gelişiminde rol oynar (Ramyar, 2002).



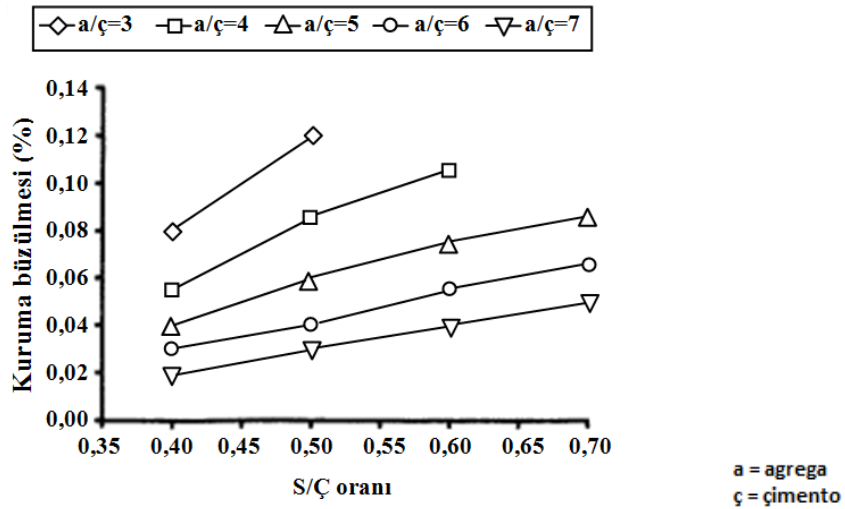
Şekil 2.3 Hidrate kalsiyum silikat (CSH) jelinin farklı nem koşullarında nemini kaybederek birbirine yaklaşması ile büzülme (Kovler ve Zhutovsky, 2006).

Kuruma büzülmesinde en etkili malzeme parametreleri S/Ç oranı, karışım suyu miktarı ve karışımdaki agrega oranıdır. Şekil 2.4 ve şekil 2.5'te verilen deney sonuçlarında görüldüğü gibi, S/Ç oranı ve karışım suyu miktarı arttıkça kapiler boşluk oranı artacağı için kuruma büzülmesi de artar (D'Souza, 2000).



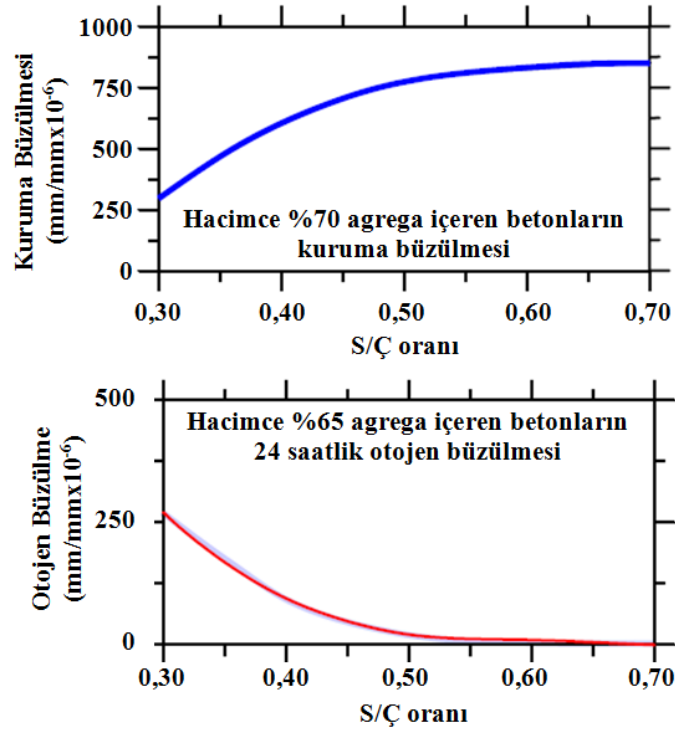
Şekil 2.4 Karışım suyu miktarının kuruma büzülmesine etkisi (D'Souza, 2000).

Agreganın büzülmeyi kısıtlayıcı etkisi, farklı S/Ç oranındaki betonlar için Şekil 2.5'te verilmiştir (D'Souza, 2000; Banthia ve Gupta). Agreganın miktarını arttırmak hem kısıtlayıcı etkisi, hem de çimento hamuru hacmini azaltıcı etkisi nedeniyle kuruma büzülmesini büyük ölçüde azaltır (Eguchi ve Teranishi, 2005). Kısıtlı durumdaki betonda ise, agreganın çatlak ilerlemesini önler ve hem yüzeyde hem de derinlik boyunca çatlak yayıcı vazife görerek, kuruma büzülmesi çatlaklarını engellemekte etkilidir (Shitani, Bisschop ve Van-Mier, 2003).



Şekil 2.5 s/ç oranı ve agreganın miktarının kuruma büzülmesine etkisi.

Şekil 2.6'da verilen grafiklerde benzer ince agrega/iri agrega oranına sahip karışımların, S/Ç oranı değişimi ile kuruma büzülmesi ve bünyesel büzülme değerlerinin değişimi görülmektedir. Kuruma büzülmesi S/Ç oranının artışı ile artarken, bünyesel büzülme azalmaktadır. Toplam büzülme dikkate alındığında, en uygun S/Ç oranının 0,50-0,55 olduğu görülmektedir (Pease, 2005).



Şekil 2.6 Benzer ince agrega/iri agrega oranına sahip karışımların S/Ç oranı değişimi ile kuruma büzülmesi ve bünyesel büzülme değerleri.

Kuruma büzülmesinin şiddetini etkileyen diğer bir parametre de çimento bazlı kompozit elemanın boyut ve şekil özellikleridir. Elemanın yüzey alanı/hacim oranının fazlalığı, malzemeden su kaybını ve dolayısıyla kuruma büzülmesini hızlandırır (Felekoğlu, 2009).

2.2.2 Termik Büzülme

Termik büzülme, çimento esaslı malzemeler sertleşmiş veya taze halde iken ortaya çıkabilir. Termik büzülme miktarı malzemenin termik genleşme katsayısı ile ilişkilidir.

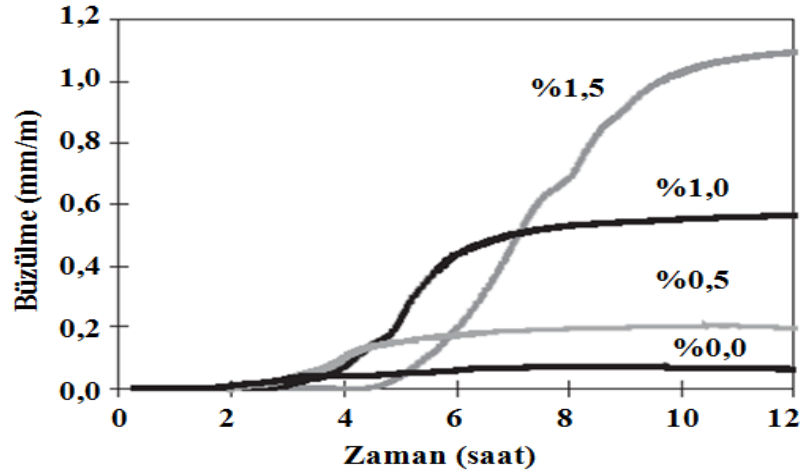
Çimento esaslı malzeme taze halde iken büzülme çimentonun hidrasyon ısısı ile ilişkilidir. Prizi sona eren ve sertleşmeye başlayan betonda, hidrasyon ısısının tüm kütleyle ısıtmaya yetecek şekilde artmaması sonucu kütle soğumakta ve termik büzülme adı verilen olay meydana gelmektedir. Bir iki gün içinde ortaya çıkan bu olay özellikle baraj gibi kütle betonlarında önemli sorunlar çıkarmaktadır. İç kısımdaki beton yavaş, dış kısımdaki beton hızlı soğur. Çekirdek bölgesinden, dış yüzeye doğru bir sıcaklık gradyeni oluşur. Bu sıcaklık gradyeninin mertebesi; ortam koşulları, çimento tipi ve inceliği gibi birçok faktöre bağlıdır. Sonuçta dış kısımdaki betonun büzülmesi önlenmiş olur, bu önleme ise çekme gerilmeleri doğurup, betonun çatlamasına yol açar (Baradan, 2000).

2.2.3 Bünyesel (Otojen) Büzülme

Bünyesel büzülme çimento esaslı kompozitler için kaçınılmaz bir olaydır. ACI 116R'de bünyesel büzülme dış ortamla nem alışverişi olmaksızın ve ortam sıcaklığının değişmediği durumda, çimento-su reaksiyonu ile oluşan ürünlerin yarattığı hacim değişimi” olarak tanımlanmaktadır. Bazı araştırmacılar bünyesel büzülmeyi, kimyasal büzülme olarak da adlandırmaktadır. Çünkü bünyesel büzülmenin kaynağı büyük oranda çimento hidrasyon reaksiyonlarıdır (Holt, 2005).

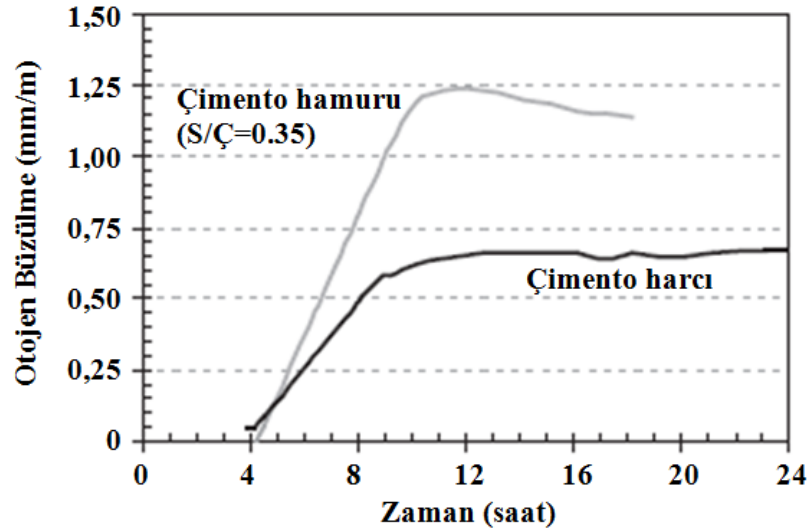
Çimento dozajı yüksek veya çimento hamuru oranı fazla olan karışımlar daha çok bünyesel büzülme yapar. Çimentonun karma oksitlerinin tümünün su ile reaksiyonu sonucu oluşan ürünlerin hacmi, başlangıçta reaksiyona girenlerden farklı mertebelerde daha küçüktür (Holt, 2005). Bünyesel büzülme, hidrasyon reaksiyonunun hızı ile ilişkili olduğu için, çimento inceliğinin artması veya

çimentonun matraste dağılımının homojenleşmesi bünyesel büzülmeyi artırır (Bentz ve Jensen, 2004; Holt, 2005). Bu açıdan akışkanlaştırıcı katkıların dolaylı olarak bünyesel büzülmeyi arttırmabilecekleri öngörülebilir (Holt ve Leivo, 2004). Şekil 2.7’de verilen deney sonuçları akışkanlaştırıcı katkıların bünyesel büzülmeyi arttırıcı etkilerini kanıtlamaktadır.



Şekil 2.7 Süper akışkanlaştırıcı katkı dozajının erken yaşlarda bünyesel büzülmeye etkisi.

Agreganın erken yaşlarda bünyesel büzülmeyi azaltmadaki rolü Şekil 2.8’de görülmektedir (Holt, 2005; Larson, 2006). Agreganın sistemde olması aynı zamanda ekzotermik hidrasyon reaksiyonlarından kaynaklanan şekil değişimlerini de sınırlamaktadır.



Şekil 2.8 Agreganın erken yaşlarda bünyesel büzülme önleyici etkisi.

Bünyesel büzülme normal dayanım sınıflarında ve S/Ç oranı 0,50'nin üzerindeki betonlarda ihmal edilebilecek kadar azdır. Yapılan araştırmalar normal dayanım sınıfındaki betonlar için 1 aylık ve 5 yıllık bünyesel büzülmenin sırasıyla 40×10^{-6} ve 100×10^{-6} mertebelerinde olduğunu göstermiştir (Pease, 2005). Bu değerler kuruma büzülmesi yanında ihmal edilecek kadar düşüktür (Zhang, Tam ve Leow, 2003). Diğer taraftan bünyesel büzülme ise, düşük S/Ç (0,30-0,40) oranına sahip yüksek performanslı betonlarda önem kazanır (Burrows, Kepler, Hurcomb, Schaffer ve Sellers, 2004; Pease, 2005). Özellikle S/Ç oranının 0,42'nin altına indirilmesi bünyesel büzülmenin etkisini hızla arttırmaktadır. Çok düşük S/Ç oranlarında ($\sim 0,17$), 700×10^{-6} değerinde bünyesel büzülme ölçüldüğü rapor edilmiştir (Zhang, Tam ve Leow, 2003).

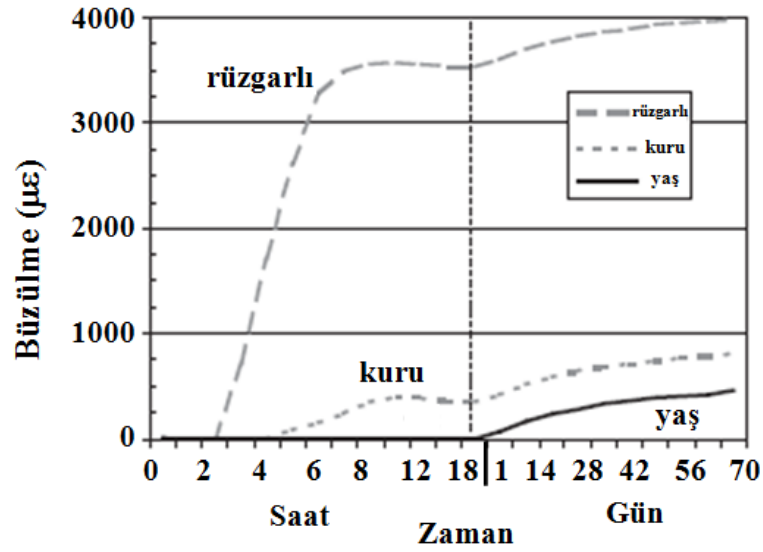
Yüksek performanslı betonlarda özellikle erken yaşlarda çatlak hassasiyeti de artmaktadır. Bu betonlarda hidrate çimento hamurunda bol miktarda çok küçük boyutlu kapiler boşluklar meydana gelir. Bu boşluklara, iri kapiler boşluklardaki suyun hareketi ile dış ortama bir su çıkışı olmaksızın kendi kendine büzülme (self-dessication) meydana gelir. İri kapiler boşluklardaki su klasik kuruma etkisinde olduğu gibi dış ortama değil, daha küçük kapiler boşluklara geçer. Böylece iri kapiler boşluklar boşalarak büzülür. Eğer dış ortamdan özellikle erken yaşlarda nem desteği

yapılırsa (kür) yüksek dayanımlı betonlarda otojen büzülmenin etkisi hafifletilmiş olacaktır (Collepari, Borsoi, Collepari, Olagot ve Troli, 2005).

2.2.4 Plastik Büzülme

Plastik büzülme, çimento esaslı kompozitlerde, erken yaşta ortaya çıkan fiziksel kökenli bir büzülme mekanizmasıdır. Yapı elemanının bulunduğu ortamın nem ve sıcaklık koşulları, güneş, rüzgâr etkisi gibi parametreler, yüzeyden kaybedilen su miktarını arttırırsa plastik büzülme riski artar. Plastik büzülmenin meydana gelmesi için buharlaşan su miktarının, terleme yoluyla yüzeye çıkan su miktarını aşması gerekir. Betonun dış yüzeyindeki kuruma, yüzeyde çekme gerilmeleri yaratarak yüzeysel çatlaklara neden olur. Kompozit açısından terleme hızını etkileyen temel faktör taze betonun kompasitesidir. Düşük S/Ç oranlı ve kaliteli betonların kompasitesi yüksek olduğundan, bünye suyunun yüzeye çıkması zorlaşır. Bu nedenle, uygun kür koşulları sağlanamadığı takdirde, kalitesi yüksek betonlarda plastik büzülme olayına S/Ç oranı yüksek olan betonlara kıyasla daha sık rastlanır. Plastik büzülme, tanımı gereği dış ortam koşullarının zorlaması ile meydana gelen bir büzülme tipidir. Ancak ilk 24 saatteki hidrasyon reaksiyonlarının yarattığı hacimsel değişiklikler de ister istemez plastik büzülme değerine ilave olmaktadır (Felekoğlu,2009).

Erken yaşlarda yüksek sıcaklık, düşük nem, güneş ışığı veya rüzgar gibi olumsuz etkilere maruz kalan bir beton için ilk saatlerdeki büzülme çok yüksek mertebelere ulaşabilir. Şekil 2,9'da erken yaşlarda %40 bağıl nem etkisinde kurutulan, 2 m/s'lik rüzgar etkisinde kalan ve ıslak kürle korunan üç farklı örneğin serbest büzülme değerleri görülmektedir (Holt, 2005).



Şekil 2.9 Farklı kür koşullarında erken yaşlarda ve uzun vadede büzülme, rüzgar: 2 m/s, kuruma: bağıl nem %40, yaş kür: bağıl nem %100.

Plastik büzülmeye ve plastik büzülme çatlaklarına yol açabilecek bir başka nedende, beton kütesindeki suyun bir miktarının betonun altında yer alan taban malzemesi tarafından veya kalıplar tarafından emilmesidir. Böyle bir durumda, betonun üst kısımlardaki ve yüzeyindeki su, içerisindeki suyun bir miktarını kaybetmiş olan alttaki kütleye doğru yönelmekte ve beton yüzeyi kuru hale gelerek büzülme göstermektedir.

Plastik büzülmenin ve çatlakların oluşmasını önlemek veya azaltabilmek için taze betonun yüzeyindeki suyun çok hızlı buharlaşmasını ve taze betonun içerisindeki suyun kalıplar veya betonun tabanındaki malzeme tarafından emilmesini azaltacak önlemlerin alınması gerekmektedir.

2.2.5 Karbonatlaşma Büzülmesi

Karbonatlaşma büzülmesinin oluşumu hakkında kesin bir neden belirtilmemekle birlikte değişik nedenleri olabileceği öne sürülmektedir. Bunlardan birine göre, çimentonun hidratasyonu sonucu oluşan Ca(OH)_2 'in ortamda mevcut olan CO_2 ile

reaksiyonu ile oluşan su, buharlaşarak ortamı terk etmektedir. Bu olay sonucu büzülme oluşmaktadır.



Diğer bir görüşe göre; priz ve sertleşme aşamasında ortamdaki mevcut CO₂ beton bünyesine difüzyon yapmamakta; iç yapıda bazı karbo-alüminatların oluşmasıyla büzülme meydana gelmektedir.

Karbonatlaşmaya uğramış beton, su kaybederek büzülür. Büzülme ve nem kaybı arasındaki ilişki, normal kurumada gözlenen ilişkiye benzer. CSH'nin karbonatlaşması bağlayıcılık özelliğini değiştirir ve karbonatlaşma büzülmesi tamamen geri dönüşsüzdür.

2.3 Çimento Esaslı Kompozitlerde Büzülme Miktarının Ölçülmesi

Çimento esaslı kompozitlerde büzülme miktarı ölçüm yöntemleri kısa süreli (erken yaş, ilk 24 saat) ve uzun dönem olmak üzere iki farklı zaman aralığında gruplandırılabilir.

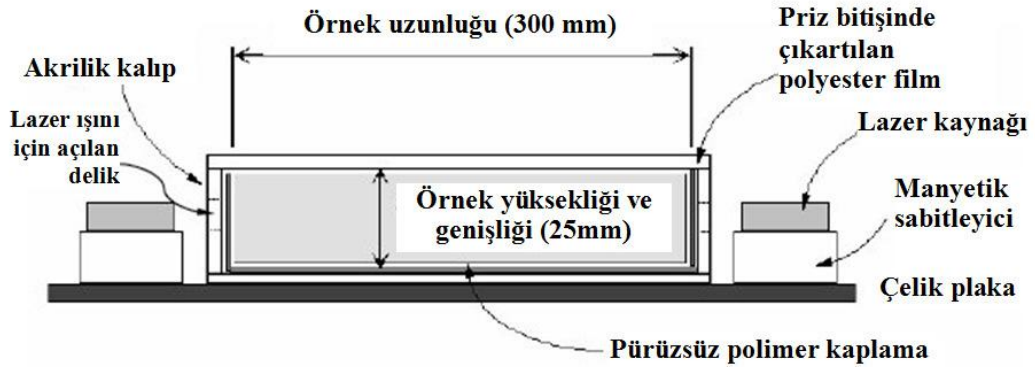
2.3.1 Kısa Süreli (Erken Yaş) Ölçüm Yöntemleri

Erken yaş (ilk 24 saat) büzülme ölçümü için standartlaşmış bir yöntem bulunmamaktadır. Erken yaştaki büzülmenin kalıp içinde ölçümü son yıllarda üzerinde yoğun çalışmaların yapıldığı bir araştırma konusudur (Lura, Durand ve Jensen, 2006; Loukili, Chopin, Khelidj ve Touzo, 2000; Mounanga, Baroghel-Bouny, Loukili ve Khelidj, 2006).

Erken yaş büzülme ölçümlerinde nem alışverişi olacak şekilde ölçüm yapılırsa; ortam nemine, sıcaklık ve büzülme durumuna göre elde edilen sonuç, plastik büzülme ve erken bünyesel büzülme ile ilişkilendirilebilir. Nem alışverişi yoksa elde

edilecek sonuç erken bünyesel büzülme miktarı olacaktır (Burlion, Bourgeois, Shao, 2005).

Ölçüm yöntemi çoğunlukla Sekil 2.10 'da görüldüğü gibi, kalıp içinde taze örneğe gömülü bir pim hareketinin LVDT ile ölçülmesi ile yapılmaktadır.



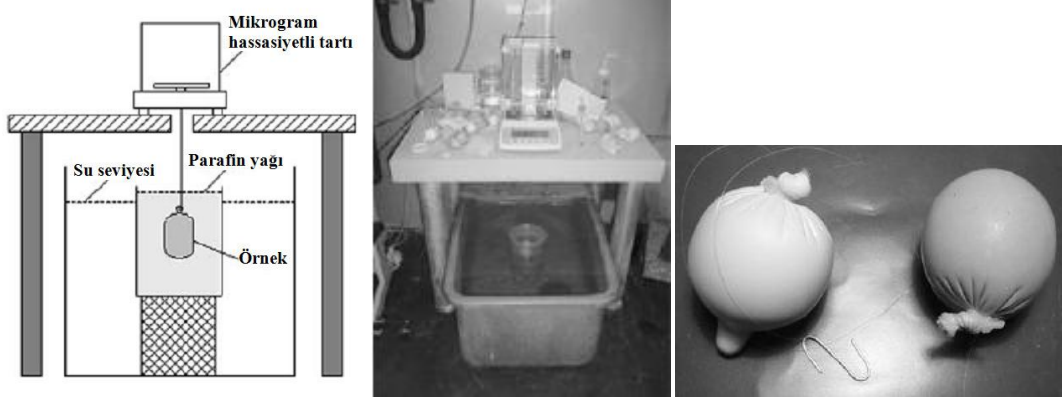
Sekil 2.10 İlk 24 saatteki büzülmenin kalıp içinde temaslı ölçümünde kullanılan yarı ankastre sistem.

Erken yaş büzülme ölçümleri yapılırken plastik kıvamda olan bir malzeme için uygulanan her türlü temas, malzemenin yapacağı doğal hareketi de etkilemektedir. Bu sorunu çözmek için, temas olmaksızın lazer sensörler yardımıyla erken yaş büzülme ölçümü üzerine çalışmalar yapılmıştır (Pease, 2005; Newlands ve diğer., 2008).

Değişik araştırmacılar tarafından çalışma sistemi benzer olmakla birlikte sürtünmeyi azaltmak amacıyla kalıp yüzeyini kaplama, kalıp yüzeyini azaltmak amacıyla kalıp kesitini değiştirme, kalıbın içindeki taze örneğin kolay şekil değiştirebilmesi için kalıbı kıvrımlı plastikten üretme gibi yöntemler kullanılmaktadır (Felekoğlu, 2009).

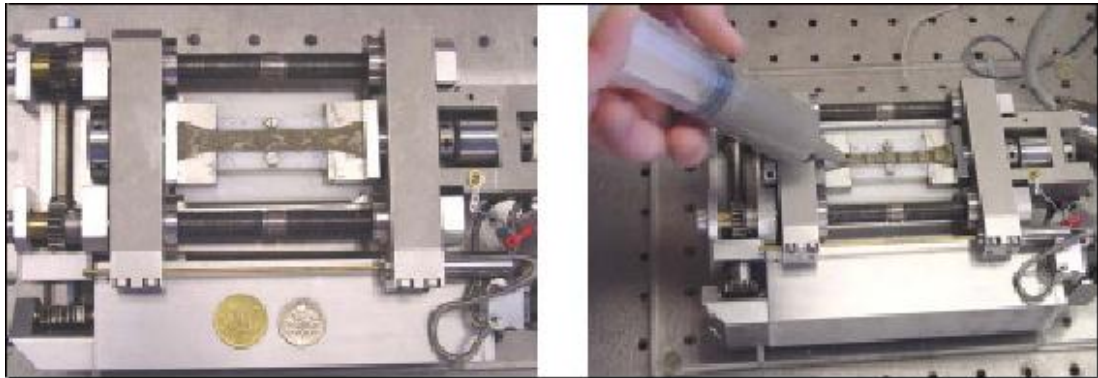
Lazer ölçüm sisteminin yanında, erken yaştaki bünyesel şekil değişiminin ölçümünde hacimsel yöntemler de kullanılmaktadır. Bu amaçla şekil 2.11'de görüldüğü gibi çimento hamuru lateks balonlara doldurulup su içinde tartılarak,

hacimsel büzülme, Arimet terazisi kullanılarak zamana bağlı olarak hacim değişimini takip etme yoluyla ölçülmektedir.



Sekil 2.11 Hacimsel büzülme ölçümünde kullanılan ölçüm düzeneği (Lura ve Jensen, 2007).

Çimento esaslı kompozitlerin bünyesinde kısıtlı durumda oluşan gerilmelerin ölçüldüğü yöntemler de son yıllarda gelişmektedir (Bouasker, Mounanga, Turcry, Loukili ve Khelidj, 2007). Bu amaçla geliştirilmiş bir deney aparatı Sekil 2.12'de verilmistir. Hem serbest halde büzülme, hem de kısıtlı durumda meydana gelen gerilme bu aparat yardımı ile zamana bağlı olarak ölçülebilmektedir.



Sekil 2.12 Serbest büzülme ve kısıtlı durumda gerilme ölçülen aparat (Bouasker ve diğer., 2007).

Kısıtlı durumda gerilme ölçümü için bir diğer alternatif de halka deneyleridir. Bu deneylerde imento hamurunun doldurulduğu halka formundaki kalıbın iç kısmındaki elik halkada meydana gelen deformasyon ölçülmektedir. Halka formundaki imento hamuru büzüldükçe, elik kalıbı sıkıtırdığı için kalıbın i

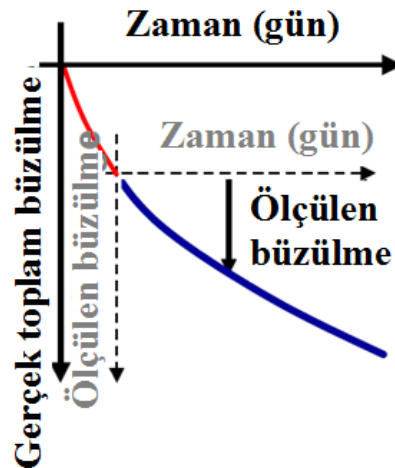
kısımında deformasyon artmaktadır. Halka örnek çatlayıncaya kadar ölçüme devam edilmekte, daha sonra çatlak genişliği ölçümü yapılarak sonuçlar yorumlanmaktadır (He, Zhou ve Li, 2004; Ma ve Hooton, 2006; Barluenga ve Olivares, 2007).

2.3.2 Uzun Süreli Ölçüm Yöntemleri

Uzun süreli ölçümler, standart boyutlardaki prizma örneklerinin dökülerek, 24 saat sonra kalıptan çıkarılması ve standart koşullarda muhafaza edilen örneklerdeki boy değişimlerinin ölçülmesiyle yapılır. Örnek uçlarına döküm sırasında çubuklar ankre edilir ve bu çubuklar yardımıyla, komparatör kullanılarak boy ölçümü yapılır. Ölçümlerde ilk 24 saatteki büzülme dikkate alınmamaktadır (Pease, 2005).

ASTM C490 standardına göre, 25*25*285 mm ayrıtlı örnek ilk 1 gün nem kaybı engellenecek şekilde korunduktan sonra, kalıptan çıkartılır ve ilk ölçümü alınıp $23\pm 1^{\circ}\text{C}$ 'de $\%50\pm 4$ bağıl nemde 28 ve 90 günlük büzülme değerleri ölçülür (Mokarem, Weyers ve Lane, 2005)

Sekil 2.13'te görüldüğü gibi, elde edilen büzülme değerleri, toplam büzülme (kuruma+24 saatten sonraki bünyesel büzülme toplamı) olarak adlandırılabilir.



Sekil 2.13 ASTM C490 standardına göre büzülme ölçümünde başlangıç noktası (Pease, 2005).

Beton için uzun dönemli kuruma büzülmesinin tahmini amacıyla da pek çok model geliştirilmiştir. Bu modeller zamanın fonksiyonu olarak büzülme gelişimini vermektedir. Bazı modellerde ortam koşulları, örnek boyutları vb. parametreler belli katsayılarla modellere yansıtılmaktadır. En çok kabul görenleri; ACI 209 Code Modeli, CEB90 Code Modeli, Bazant B3 Modeli, Gardner/Lockman Modeli ve Sakata Modeli olarak söylenebilir (Mokarem ve diğer., 2005).

BÖLÜM ÜÇ

MALZEMELERİN TANITIMI

3.1 Portland Çimentosu ve Özellikleri

Çimentonun ilkel maddeleri kalker ve kildir. Kalkerli malzemeler olarak, kireçtaşı ve marn, killi malzemeler olarak bol silisli kil, şeyl, şist gibi hammadde kaynakları kullanılır. Çimento yapımında bu maddeler belirli oranda karıştırılır ve yüksek sıcaklıklarda pişirilir. Yüksek sıcaklıklarda kalkerin ayrışması sonunda CaO, kilin ayrışması sonunda silis (SiO₂), Alümin (Al₂O₃) ve demir oksit (Fe₂O₃) oluşur (Baradan, 2000).

Portland çimentosu hammaddeleri olan kireç (CaO), silika (SiO₂), alümin (Al₂O₃), ve demir oksit (Fe₂O₃) döner fırında yüksek sıcaklıkta (1350-1450 °C) kendi aralarında birleşerek daha kompleks ürünler meydana getirirler (Baradan vd, 2010). Bu ürünlerin silisin kireçle birleşmesi sonucu oluşanları kalsiyum silikatlar, alüminin yine kireçle birleşmesi neticesinde oluşanları ise kalsiyum alüminatlardır (Baradan, 2000).

Karma oksit adı verilen ve çimentonun birçok özelliğini belirleyen bu bileşenlerden en önemlileri Trikalsiyum silikat (3CaO.SiO₂:C₃S), Dikalsiyum silikat (2CaO.SiO₂:C₂S), Trikalsiyum alüminat (3CaO.Al₂O₃:C₃A), Tetrakalsiyum alüminoferrit (4CaO.Al₂O₃.Fe₂O₃:C₄AF) olmaktadır (Baradan ve diğer., 2010).

Tipik bir Portland çimentosu klinkeri ağırlıkça %45-60 oranında C₃S, %15-30 oranında C₂S, %6-12 oranında C₃A ve %6-8 oranında C₄AF içerir. Ancak kalsiyum silikatlar az miktarda safsızlıklarda içerebilir. Safsızlıkların kalsiyum silikat hidrateler üzerinde önemli etkileri vardır (Baradan ve diğer., 2010).

Portland çimentosu toz gibi ince tanelidir, tanelerin boyutları 1-200 mikron arasında değişmektedir. Özgül ağırlığı 3,10-3,15 gr/cm³ kadardır (Erdoğan, 2003).

Çimento ve suyun birleştirildiği andan itibaren bu iki malzeme arasında ‘hidratasyon’ olarak adlandırılan kimyasal reaksiyonlar başlamakta ve devam etmektedir. Önceleri, yumuşak plastik durumda olan çimento hamur, zaman ilerledikçe daha az plastik duruma gelmekte ve katılaşır, sertleşmektedir. Çimento hamurunun katılaşma göstererek şekil verilemez bir duruma gelmesine priz alma denilmektedir (Erdoğan, 2003).

Aşağıda çimentonun ana bileşenleri ve suyla reaksiyonları ile ilgili kısaca bilgi verilmiştir:

C₃S ve C₂S

C₃S ve C₂S’nin su ile yaptığı reaksiyonlar aşağıdaki denklemlerle gösterilmektedir:



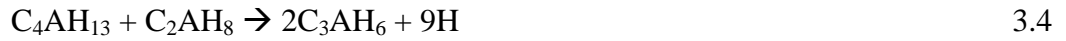
Formül 3.1 ve 3.2’de “H” suyu (H₂O); “CH” ise sönmüş kireci (Ca(OH)₂) simgelemektedir. “C₃S₂H₃”, “tobermorit” olarak adlandırılmakla beraber son yıllarda C-S-H (kalsiyum – silika – hidrat) jeli olarak anılmaktadır ve sistemdeki asıl bağlayıcılık özelliği bu ürün tarafından sağlanır. Gerek C₃S, gerekse C₂S’in hidratasyonu sonucu oluşan ürünlerin türü aynıdır (Erdoğan, 2003).

Bunlardan C₃S çimentonun prizini çabuklaştırmasına ve hızlı dayanım kazanmasına, C₂S ise çimentonun yavaş sertleşip, bir haftadan sonra dayanım kazanmasına neden olur (Baradan, 2000).

C₃A

C₃A, hidratasyonun ilk zamanlarındaki reaksiyonları önemli ölçüde etkiler (Ramachandran, 1995).

Formül 3.3’de görüldüğü gibi C_3A ’nın suyla reaksiyona girmesiyle birlikte termodinamik açıdan kararsız, hekzagonal yapıdaki C_2AH_8 ve C_4AH_{13} oluşur. Bunlar kısa süre sonra, formül 3.4 teki kararlı kübik yapıdaki C_3AH_6 ’ya dönüşür. Bu yapı $80^\circ C$ ve üzerindeki sıcaklıklarda formül 3.5’de görülen doğrudan C_3A ’nın hidrate olmasıyla da oluşabilir (Ramachandran, 1995).

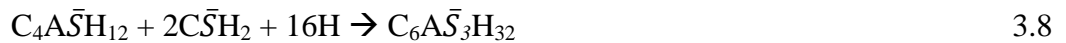


C_3A ’nın su ile yaptığı reaksiyonlar çok büyük miktarda ısı açığa çıkartacak tarzda ve çok hızlı gerçekleştiğinden çimento hamurunun “ani priz” yapmasına yol açmaktadır. Ani priz sonucunda çimento hamuru derhal katılaşma gösterdiği gibi, önemli sayılabilecek bir dayanım da kazanmaz (Erdoğan, 2003).

Çimentonun ani priz yapmasını önlemek amacıyla, çimento üretimi esnasında, klinkere bir miktar (%3-6) alçıtaşı ($C\bar{S}H_2$) katılmakta ve bu iki malzeme birlikte öğütülmektedir. Formül 3.6 ve 3.7’de görüldüğü gibi çimentonun yapısında yer alan alçıtaşı, C_3A ve su ile birlikte reaksiyona girmekte, böylece reaksiyon hızını yavaşlatmaktadır (Erdoğan, 2003).



$C_4A\bar{S}H_{12}$ (kalsiyum alümina monosülfohidrat-monosülfat) ürünü yarı kararlı özelliktedir ve daha fazla sülfatın bulunduğu bir ortamda $C_6A\bar{S}_3H_{32}$ durumuna dönüşebilmektedir (Erdoğan, 2003).



$C_6A\bar{S}_3H_{32}$, “etrenjit” olarak da bilinir.

Bünyesinde 32 molekül su bulunduran etrenjitin oluşması, sertleşmiş çimento hamurunun içinde çok büyük genleşmelerin oluşmasına yol açmaktadır (Erdoğan, 2003).

Ortamdaki alçıtaşı tükendiğinde sistemdeki C_3A henüz tükenmemişse, kalan C_3A etrenjitle reaksiyona girerek tekrar monosülfata dönüşür (Ramachandran, 1995).



C_3A , çimento içerisinde farklı polimorfik formlarda bulunabilir. Regourd (1978), C_3A 'nın içerisinde hapsolmuş bulunan Na^+ iyonlarının %2,4'den az olması halinde kübik, %2,4-5,3 arasında bulunması halinde ortorombik, %5,3'den fazla olması halinde ise monoklinik yapının oluştuğunu söylemiştir (Aİtcin, 2004).

Ticari çimentolardaki C_3A , genel olarak kübik ve ortorombik yapının karışımı olarak bulunmaktadır. C_3A 'nın kristal yapısı, süper akışkanlaştırıcının varlığında, özellikle düşük su/bağlayıcı oranına sahip karışımlarda reolojik açıdan büyük önem taşımaktadır (Aİtcin, 2004).

Kübik formda olan C_3A , sülfat iyonlarıyla hızlı bir şekilde reaksiyona girer ve üzerinde oluşan etrenjit tabakası sonraki hidratasyon sürecini yavaşlatır. Böylece, çimento hidratasyonunun durgunluk devresinde çok fazla kıvam kaybı gerçekleşmeden betonun taşınması ve yerleşmesi mümkün olur. Ortorombik yapıda olan C_3A ise, kübik forma göre biraz daha yavaş bir tepkime gösterir ve sürekli devam eden iğne şekilli etrenjit oluşumuna neden olur. Ancak bu etrenjit yapısı kübik formdaki durumun aksine sıkı bir tabaka değil, gevşek bir ağ şeklinde kendini gösterir (Aİtcin, 2004).

C₄AF

C_4AF bileşenin hidratasyonu, C_3A 'nın hidratasyonuna benzemektedir. C_3A 'nın hidratasyonundaki bir kısım alüminanın yerini demiroksit almaktadır. Ortaya çıkan

kalsiyum alümina sülfhidrat ürünleri, $C_4(A,F)\bar{S}H_{12}$ ve $C_6(A,F)\bar{S}_3H_{32}$ kompozisyonuna sahip olmaktadır (Erdoğan, 2003).

Çimento üretiminde alçıtaşı kullanılmadığı veya gereğinden az kullanıldığı takdirde, C_4AF anabileşenin göstereceği hidrasyon, C_3A ana bileşenin hidrasyonu kadar şiddetli olmasa bile oldukça hızlıdır ve açığa büyük miktarda enerji açığa çıkaran türdür ve ani prize yol açabilmektedir (Erdoğan, 2003).

3.1.1 Çimentonun Priz Alma Süreleri

Çimento ve suyun bir araya gelmesiyle başlayan reaksiyonlar sonucunda zaman ilerledikçe çimento hamuru plastikliğini yitirerek, katılaşp sertleşmeye başlar. Çimento hamurunun fiziksel değişiklik göstererek katılaşmaya başladığı ana priz başlama zamanıdır. Priz sona erme süresi de hamurun katılaşığı ana kadar geçen süredir.

Çimentonun priz süreleri şu faktörlerin etkisindedir:

- sıcaklık
- karıştırma suyu miktarı
- çimentonun bekletilme süresi (Baradan, 2000).

Çimentoların priz süreleri “Vicac iğnesi” aletiyle TS EN 196-3 te ve ASTM C 187 anlatılan yöntemlerle saptanır.

Hazırlanmış çimento harcı, standart bir kap içine düzgün bir şekilde yerleştirildikten sonra Vicac iğnesi belirli bir yükseklikten harcın üzerine düşürülür. Batma miktarı ölçülür. Bu işlem belirli zaman aralıklarında tekrarlanır. Önceleri çok batan iğne zamanla daha az batmaya ve belirli bir süre sonra batmamaya başlar. İğne batırıldığında ucunun kalıbın tabanından 3-5 mm uzaklıkta olması halinde priz başlamış demektir. İğne sadece 1mm battığı zamanda priz sona ermiştir (Baradan, 2000).

3.1.2 Türkiye'deki Çimento Tipleri

TS EN 197-1 nolu standarda göre Türkiye'de 27 tip çimento üretilebilmektedir. Bu standardın kapsamında farklı çimento tipleri aşağıda belirtilen beş ana grupta yer almaktadır.

CEM I Portland çimentosu

CEM II Portland – kompoze çimentosu

CEM III Yüksek fırın cürüflü çimento

CEM IV Puzolanlı çimento

CEM V Kompoze çimento

Tablo 3.1 Çimento tipleri ve bileşenleri

Ana Tipler	Çimento Tipleri ve İşaretleri		Bileşim (Kütlece % olarak)										Minör İlave Bileşen	
			Klinker K	Yüksek Fırın Cürufu S	Silis Dumanı D	Puzolan		Uçucu Kil		Pişmiş Şist T	Kalker			
						Doğal P	Doğal Kalsine Edilmiş Q	Silissi V	Kalkersi W		L	LL		
CEM I	Portland Çimento	CEM I	95 - 100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0 - 5	
CEM II	Portland - Cürufu	CEM II/A-S	80 - 94	6 - 20	-	-	-	-	-	-	-	-	0 - 5	
		CEM II/B-S	65 - 79	21 - 35	-	-	-	-	-	-	-	-	0 - 5	
	Portland - Silis Dumanlı Çimento	CEM II/A-D	90 - 94	-	6 - 10	-	-	-	-	-	-	-	0 - 5	
	Portland - Puzolanlı Çimento	CEM II/A-P	80 - 94	-	-	6 - 20	-	-	-	-	-	-	-	0 - 5
		CEM II/B-P	65 - 79	-	-	21 - 35	-	-	-	-	-	-	-	0 - 5
		CEM II/A-Q	80 - 94	-	-	-	6 - 20	-	-	-	-	-	-	0 - 5
		CEM II/B-Q	65 - 79	-	-	-	21 - 35	-	-	-	-	-	-	0 - 5
	Portland - Uçucu Küllü Çimento	CEM II/A-V	80 - 94	-	-	-	-	6 - 20	-	-	-	-	-	0 - 5
		CEM II/B-V	65 - 79	-	-	-	-	21 - 35	-	-	-	-	-	0 - 5
		CEM II/A-W	80 - 94	-	-	-	-	-	6 - 20	-	-	-	-	0 - 5
		CEM II/B-W	65 - 79	-	-	-	-	-	21 - 35	-	-	-	-	0 - 5
	Portland - Pişmiş Şistli	CEM II/A-T	80 - 94	-	-	-	-	-	-	-	6 - 20	-	-	0 - 5
		CEM II/B-T	65 - 79	-	-	-	-	-	-	-	21 - 35	-	-	0 - 5
	Portland - Kalkerli Çimento	CEM II/A-L	80 - 94	-	-	-	-	-	-	-	-	6 - 20	-	0 - 5
		CEM II/B-L	65 - 79	-	-	-	-	-	-	-	-	21 - 35	-	0 - 5
		CEM II/A-LL	80 - 94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6 - 20	0 - 5
		CEM II/B-LL	65 - 79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21 - 35	0 - 5
Portland - Kompoze	CEM II/A-M	80 - 94	←----- 6 - 20 -----→										0 - 5	
	CEM II/B-M	65 - 79	←----- 21 - 35 -----→										0 - 5	

Tablo 3.1'in devamı

Ana Tipler	Çimento Tipleri ve İşaretleri		Bileşim (Kütlece % olarak)										Minör İlave Bileşen
			Klinker K	Yüksek Fırın Cürufu S	Silis Dumanı D	Puzolan		Uçucu Kil		Pişmiş Şist T	Kalker		
						Doğal P	Doğal Kalsine Edilmiş Q	Silissi V	Kalkersi W		L	LL	
CEM III	Yüksek Fırın Cürufu Çimento	CEM III/A	35 - 64	36 - 65	-	-	-	-	-	-	-	-	0 - 5
		CEM III/B	20 - 34	66 - 80	-	-	-	-	-	-	-	-	0 - 5
		CEM III/C	5 - 19	81 - 95	-	-	-	-	-	-	-	-	0 - 5
CEM IV	Puzolanik Çimento	CEM IV/A	65 - 89	-	←-----11 - 35-----→					-	-	-	0 - 5
		CEM IV/B	45 - 64	-	←-----36 - 55-----→					-	-	-	0 - 5
CEM V	Kompoze Çimento	CEM V/A	40 - 64	18 - 30	-	←-----18 - 30-----→		-	-	-	-	-	0 - 5
		CEM V/B	20 - 38	31 - 50	-	←-----31 - 50-----→		-	-	-	-	-	0 - 5

TS EN 197-1 nolu standarta, dayanım için 3 sınıf belirtilmektedir. Bu sınıflar, çimentonun 28 günlük basınç dayanımının MPa cinsinden değeri olan 32,5, 42,5 ve 52,5 sınıfıdır.

Çimentoların dayanım ve prize başlama süresine dair özellikler Tablo 3.2 deki gibidir.

Tablo 3.2 Çimentonun dayanım ve priz başlama süresi özellikleri

Dayanım Sınıfı	Basınç Dayanımı (MPa)			Priz Başlama Süresi (dk)
	Erken Dayanım (MPa)		Standart dayanım (MPa)	
	2 günlük	7 günlük	28 günlük	
32,5 N	-	≥ 16	$\geq 32,5 - \leq 52,5$	≥ 75
32,5 R	≥ 10	-	$\geq 32,5 - \leq 52,5$	≥ 75
42,5 N	≥ 10	-	$\geq 42,5 - \leq 62,5$	≥ 60
42,5 R	≥ 10	-	$\geq 42,5 - \leq 62,5$	≥ 60
52,5 N	≥ 20	-	$\geq 52,5 - \dots$	≥ 45
52,5 R	≥ 30	-	$\geq 52,5 - \dots$	≥ 45

3.2 Akışkanlaştırıcı Katkılar ve Özellikleri

Yüksek performanslı betonlarda dayanım, dayanıklılık ve işlenebilirlik özelliklerinin normal betondan daha yüksek olması beklenmektedir. Yüksek performanslı beton üretiminde ana hedef kısaca, su/çimento (s/ç) oranı veya su/bağlayıcı (s/b) oranını üretim sırasında olabildiğince düşük tutmaya çalışmaktır. İkinci önemli hedef ise, betonu ayrışma ve boşluk olmadan kolayca yerine yerleştirmektir. Bu iki istek klasik beton teknolojisindeki en önemli çelişkidir (Akman, 1999).

Kimyasal katkıların betonun performansının belirli seviyelerin üzerine çıkarmak için olmazsa olmaz katkı maddeleridir.

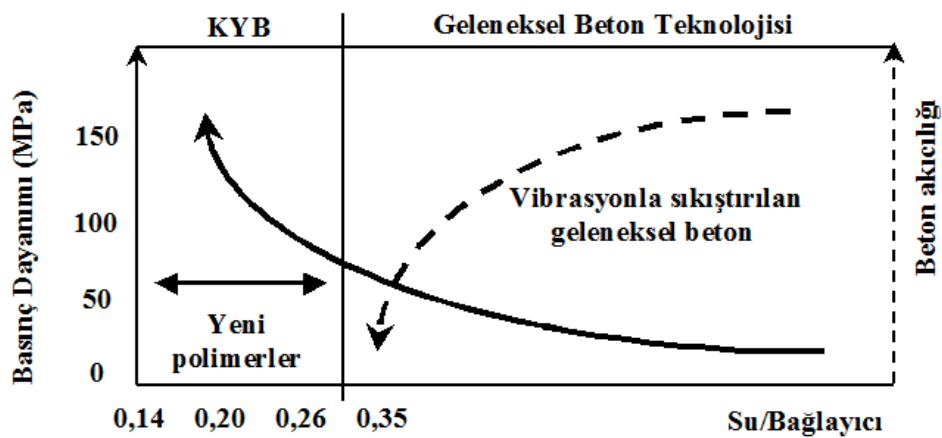
Kimyasal katkılar etki ve fonksiyonlarına göre aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Betonun işlenebilme özelliğini etkileyen katkılar
- Betonun prizini etkileyen katkılar
- Hava sürükleyici katkılar

Akışkanlaştırıcı katkı malzemeleri betonun işlenebilme özelliğini etkileyen katkılar sınıfına girmektedir, fakat aynı zamanda betonun priz süresini de etkilemektedirler.

Yüksek oranda su azaltıcılar veya diğer deyişle akışkanlaştırıcı katkı malzemeleri, yüksek performanslı beton elde etmek için üretim aşamasında s/ç oranını minimuma düşürmek ve betonun boşluksuz ve ayrışmadan yerleşmesini sağlamak amacıyla kullanılan katkı malzemeleridir. Bundan dolayı, yüksek performanslı betonların temel katkısının süper akışkanlaştırıcılar olduğu söylenebilir (Akman, 1999).

Son yıllarda beton teknolojisinde kullanılan etkili akışkanlaştırıcıların geliştirilmesi ile kendiliğinden yerleşebilirlik özelliğini düşük su/bağlayıcı oranlarında sağlamak mümkün olmuştur (Şekil 3.1). Özellikle polikarboksilat kökenli katkıların sağladığı, fiziksel itki mekanizması düşük s/b oranlarında akıcı kıvamda matrislerin oluşturulmasına olanak sağlamaktadır (Hanehara ve Yamada, 2008).



Şekil 3.1 Akışkanlaştırıcı katkıların etkinliği ve su/bağlayıcı – katkı dengesi.

Akışkanlaştırıcı katkılar taze beton ve harçların işlenebilirliğini, sertleşmiş beton ve harçların mukavemetini olumlu yönde etkiler. Akışkanlaştırıcı katkıların etkinlik derecelerine göre üç ana grupta toplanabilir.

3.2.1 Normal Akışkanlaştırıcı Katkılar

Kimyasal esasları bakımından linyosülfonik asit, asit tuzları ve bunların değişime uğramış türlerinden oluşmaktadır. Normal akışkanlaştırıcılar fonksiyonları gereği bir miktar havayı ufak kabarcıklar halinde beton içine sürükler. Normal akışkanlaştırıcı katkıların s/ç oranını düşürmek için yüksek miktarlarda kullanılmaları gerekmektedir, buda priz gecikmesi ve ayrışma gibi olumsuzluklara sebep vermektedir. Bu yüzden normal akışkanlaştırıcı katkıların çok yüksek performans beklenmeyen s/ç oranının daha yüksek olduğu durumlarda tercih edilirler. ASTM C494 standardına göre de su kesme yüzdesi %5 ile %12 arasında olan katkıların normal akışkanlaştırıcı, % 12'den daha fazla su kesen katkıların ise süper akışkanlaştırıcılar olarak tanımlanmaktadır.

3.2.2 Süper Akışkanlaştırıcı Katkılar

Süper akışkanlaştırıcı katkıların;

- Kimyasal kökenlerine göre,
- Melamin Formeldehit Sülfonat
- Naftelin Formeldehit Sülfonat
- Modifiye edilmiş Lignosülfonat olmak üzere üç gruba ayrılırlar.

Süper akışkanlaştırıcı katkıların beton performansına etkisi normal akışkanlaştırıcı katkıların göre daha az katkı yüzdesinde kullanılmasına rağmen işlenebilirlik ve mukavemete etkisi daha fazla olmaktadır. Bunun yanında işlenebilirlik süresi de normal akışkanlaştırıcılara göre daha uzundur.

3.2.3 Hiper Akışkanlaştırıcı Katkılar

Standartlarda tanımlı olmamakla beraber, modifiye naftelin veya melamin sülfone formeldehitler ve polikarboksilat türü 3.nesil akışkanlaştırıcılarıdır. Hiper akışkanlaştırıcılar betona yüksek oranda su azaltma özelliği kazandırır ve bunun yanında ayrışmadan ve titreşim gerektirmeden kendiliğinden yerleşen beton elde edilmesini sağlarlar.

3.2.4 Akışkanlaştırıcı Katkılarının Etkileri

Beton teknolojisinde kaydedilen en önemli ilerleme, süper akışkanlaştırıcı katkıların kullanılmasıdır. Akışkanlaştırıcı katkılar betonda priz süresine, mukavemete, büzülme ve sünmeye, geçirimsizliğe ve durabiliteye etki etmektedir.

Sabit bir işlenebilirlik değerinde, akışkanlaştırıcı katkıların su azaltıcı olarak kullanılması durumunda, s/ç oranının azalması dolayısıyla kapiler boşluklarda azalma meydana gelir ve bu sayede geçirimsizlik azalır. Böylece dayanım ve dayanıklılıkta artış sağlanır (Collepardi, 2005).

Akışkanlaştırıcı katkıları kullanıldığında, su ve çimento azaltılarak, dayanım ve işlenebilirlik özelliklerinde değişim olmaksızın çimento tasarrufu yapılabilir. Ayrıca çimentonun azaltılması sayesinde hidrasyon ısı azalır. Katkının bu amaçla kullanımı, özellikle sıcak iklimlerde ve kütle beton uygulamalarında oldukça yararlı olabilir. Ayrıca çimentonun ve suyun azalması ve dolaylı olarak, azalan hamur hacminin yerini agreganın alması sayesinde agrega/çimento oranı artar ve böylece büzülme azalır (Collepardi, 2005).

Genel olarak akışkanlaştırıcı katkıları, kontrol karışımına göre priz süresini uzatırlar. Bu durum katkıların varlığında ilk saatlerdeki hidrasyon oranının azalmasıyla açıklanmıştır (Ramachandran, 1995).

Akışkanlaştırıcı katkıların kullanımında yüksek dozajlar tercih edildiğinde bazı potansiyel olumsuzluklarda ortaya çıkabilmektedir. Bu olumsuzluklar, terlemenin fazla oluşu, çökme kaybının yüksek oluşu ve priz süresinin uzaması tarzında ortaya çıkabilir (Erdoğan, 2003). Dolayısıyla akışkanlaştırıcı katkıların üreticinin önerdiği dozaj aralığında kullanılmalıdır.

3.2.5 Akışkanlaştırıcı Katkıların Üretimi

Aynı kökene sahip olan katkıların birbirlerinden daha iyi ya da daha kötü performans gösterebilir. Bunun nedenini anlamak ve katkıların beton içerisinde nasıl bir mekanizmaya sahip olduğunu belirlemek amacıyla, bunların nasıl üretildiğinin bilinmesi gerekmektedir (AİTCİN, 2004).

Örnek olarak Polinaftalin sülfonatların üretim aşamaları aşağıdaki sıradaki gibidir.

- Sülfonasyon
- Kondensasyon (Polimerizasyon)
- Nötralizasyon
- Filtrasyon
- Sülfonasyon sırasında naftalin ve sülfürik asit, ısıtılan reaktörde uygun oranlarda karıştırılır. Asidik sülfonat grubu (HSO_3) naftalin molekülüne 2 farklı pozisyonda bağlanır.

Naftalin gruplarının polimerizasyonu 2 naftalin grubu ve 1 formaldehit molekülü arasındaki kondensasyon reaksiyonu ile gerçekleştirilir (AİTCİN, 2004).

Naftalin sülfonik asitin pH değeri 2-3 civarındadır ve bu değer yüksek pH değerine sahip bir çimento-su karışımı için oldukça düşük bir değerdir. Dolayısıyla sülfonik asit, bir baz kullanılarak nötralize edilmelidir. En çok kullanılan baz NaOH olmasına rağmen, zaman zaman Ca(OH)_2 de kullanılmaktadır. Bu işlem sonucunda sodyum ya da kalsiyum tuzları oluşur (AİTCİN, 2004).

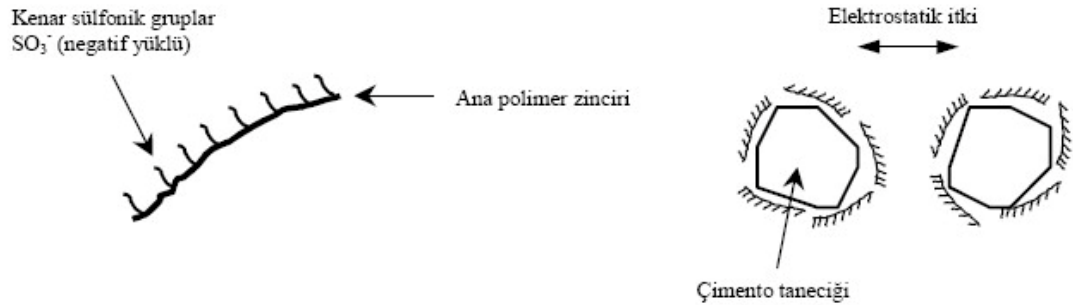
Filtrasyon işlemi de katkı molekülünün içinde aktif katı maddenin mümkün olduğu kadar çok miktarda olabilmesi için sülfatların sistemden çıkarılması işlemidir.

3.2.6 Akışkanlaştırıcı Katkuların Etki Mekanizması

Akışkanlaştırıcı katkılar çimento tanelerini birbirinden uzaklaştırıp dağıtarak etki gösterirler. Dağılma özelliği genel olarak “elektrostatik” ve “stearik” etki mekanizmasıyla açıklanır. Aşağıda bu iki etkiyle ilgili genel bilgiler verilmiştir.

3.2.6.1 Elektrostatik Etki

Akışkanlaştırıcılar, çimento taneleri üzerindeki dağıtma etkisi sayesinde topaklaşmayı önler. Bu etki sayesinde çimento hamurunun akışkanlığı artar. Çimento taneleri arasında topaklaşmaya neden olan çekim kuvvetleri, Şekil 3.2’de görüldüğü gibi negatif yüklü polimerlerin çimento tanesi üzerinde tutunması neticesinde nötr hale gelmekte ve böylece dağıtma etkisi gerçekleşmiş olmaktadır (Colleparidi, 2005).



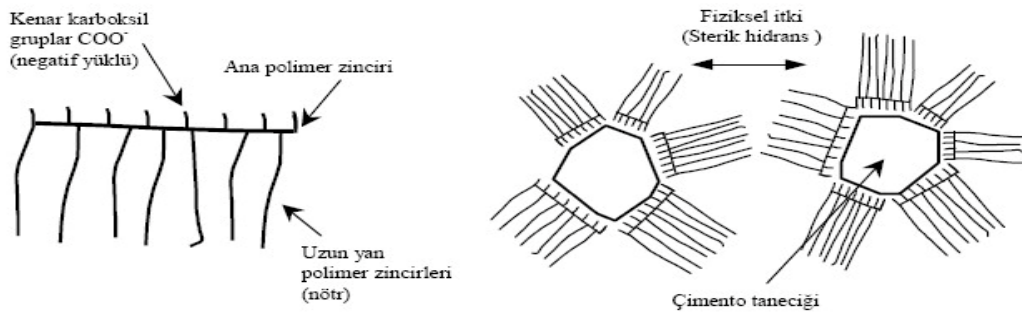
Şekil 3.2 Elektrostatik etki.

3.2.6.2 Stearik Etki

Sakai ve Diamon (1997), polikarboksilat esaslı (PC) katkıların sağladığı elektrostatik itkinin Polinaftalin sülfonatlar esaslı katkılara göre çok önemsiz

mertebede olduğunu, çimento tanelerini dağıtma etkisinin sadece elektrostatik itkiden kaynaklanmadığını söylemiştir (Collepari, 2005).

Polikarboksilat esaslı katkıların dağıtma etkisi elektrostatik itkiden çok, stearik (fiziksel- geometrisel) engelleme etkisi ile açıklanmaktadır. Polimer molekülündeki yan zincirler çimento taneleri arasında Şekil 3.3'te görüldüğü gibi fiziksel bir engel oluşturmakta ve topaklaşmayı önlemektedir (Collepari, 2005).



Şekil 3.3 Stearik etki.

Stearik itkinin en önemli avantajı, elektrostatik itkinin tam tersine, çimento kompozisyonundan kaynaklanan, çözeltideki iyon tipi ve yoğunluğundan çok daha az etkilenmesidir (Houst ve diğer., 1999).

BÖLÜM DÖRT

DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışma kapsamında çimento bazlı kompozitlerin boyutsal kararlılık sorunu incelenmiş, değişik tip akışkanlaştırıcı katkıların erken yaş boyutsal kararlılığa etkisi değerlendirilerek, büzülme sorununu azaltmaya yönelik alternatifler araştırılmıştır. Araştırma kapsamında akışkanlaştırıcı katkı olarak; ligno sülfonat, naftalen formaşdehit ve polikarboksilat esaslı olmak üzere normal, süper ve hiper akışkanlaştırıcı sınıftan 3 farklı tip akışkanlaştırıcı kullanılmıştır.

Bu 3 farklı akışkanlaştırıcı katkının kullanıldığı çimento esaslı kompozitler üzerinde minimum, orta ve maksimum katkı dozajında öncelikle ön deneyler yapılarak, çalışılabilir aralıklar bulunmuş daha sonra büzülme potansiyelleri lazer sensörlerin kullanıldığı bir yöntemle incelenmiştir. Lazer sensörler sayesinde erken yaşta, ilk 24 saatteki boyutsal değişiklikler sürekli ve hassas bir şekilde ölçülebilmektedir.

Çimento esaslı malzemelerin erken yaşlardaki büzülmesini etkileyen pek çok parametre bulunmaktadır. Bunlar iç parametreler (tasarımın tane boyu dağılımı, çimento dozajı, su/çimento oranı, diğer bileşenlerin miktarları vb.), dış parametreler (ortam sıcaklığı, nem durumu vb.) ve örnek şekli-deney koşulu ile ilgili parametreler (örnek kalınlığı, örneğin yüzey alanı/hacim oranı, örneğin kalıpla olan sürtünme derecesi vb.) olarak gruplandırılabilir. Bu çalışmada araştırılan ana değişken akışkanlaştırıcı katkı ve dozajı olduğundan diğer değişkenler sabit tutulmuştur. Büzülme ölçümleri 20 °C sıcaklık ve %100 nem oranında gerçekleştirilmiş olup otojen büzülme koşulları ölçülmüştür.

4.1 Karışım Oranları ve Kullanılan Malzemeler

Akışkanlaştırıcı katkı olarak İnka firmasından temin edilen lignosülfonat (BVMR), naftalen formaldehit (BS1000) ve polikarboksilat (BSC1000) esaslı olmak üzere 3 farklı tip akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Bunlardan BVMR orta, naftalen

esası olan BS1000 süper, polikarboksilat esaslı olan BSC1000 ise hiper akışkanlaştırıcı sınıfına girmektedir. Kullanılan akışkanlaştırıcıların üretivi firmadan alınan genel özellikleri Tablo 4.1’de verilmiştir.

4.1.1 Akışkanlaştırıcı Katkılar

Tablo 4.1 Akışkanlaştırıcı katkı genel özellikleri

	BS1000	BVMR	BSC 1000
Görünüm	kahverengi	kahverengi	açık kahverengi
Yoğunluk	1,20 (20 °C)	1,16	1,1
pH	6,0-8,0	5,0-8,0	5,0-8,0
Klorür	ihmal edilebilir	ihmal edilebilir	ihmal edilebilir

4.1.2 Çimento

Çalışmada üretici firmadan temin edilen analiz sonuçları Tablo 4.2 ve Tablo 4.3’te verilen Denizli Çimentodan temin edilen CEM I 42,5 R sınıfında Portland çimentosu kullanılmıştır.

Tablo 4.2 Kimyasal analiz sonuçları

Kimyasal Analiz	Analiz Değeri (%)	Kimyasal Analiz	Analiz Değeri (%)
SiO ₂	19,2	K ₂ O	0,66
Al ₂ O ₃	4,11	Na ₂ O+0,658K ₂ O	0,71
Fe ₂ O ₃	3,91	Serbest CaO	2,3
CaO	63,81	Klorür(Cl)	0,0044
MgO	1,47	C ₃ A	4,27
SO ₃	3,29	2C ₃ A+C ₄ AF	20,42
Kızdırma Kaybı	4,23	Toplam Katkı	5
Çözünmeyen Kalıntı	0,28	Klinker	95
Na ₂ O	0,28		

Tablo 4.3 Fiziksel ve mekanik analiz sonuçları

Fiziksel Analiz	Analiz Değeri
Özgöl Ağırlık gr/cm ³	3,12
Özgöl Yüzey cm ² /gr	3993
Priz Başlama zamanı dk	155
Hacim Genleşmesi	2
Basınç Dayanımı (2 gün)	28,4 MPa
Basınç Dayanımı (7 gün)	43,1 MPa
Basınç Dayanımı (28 gün)	52,6 MPa

4.1.3 Agrega

Harç örnekleri için 4mm elekten geçen Trakya Çimento Fabrikasında üretilen ve torbalanan TS EN 196-1 standart kumu kullanılmıştır.

4.2 Ön Deneyler

4.2.1 Taze Hal Testleri

İlk olarak akışkanlaştırıcı katkı kullanmadan 0,30 - 0,60 arasında değişen s/ç oranlarında harç örnekleri dökölüp bu örneklerin yayılma değerleri ölçölmüş ve yayılma şartlarını sağlayan karışımlardan 4x4x16 cm boyutunda 3 er adet örnek alınmıştır. Ardından her akışkanlaştırıcı katkı tipinden üretici firmanın öngördüğü maksimum minimum ve orta değerler kullanılarak, 0,30 - 0,60 s/ç aralığında tüm katkı dozaj ve tiplerinde aynı deneyler tekrarlanarak, örnekler alınmıştır. Harç karışımı hazırlanırken ağırlıkça 1 kısım çimento 3 kısım kum kullanılmıştır. Karıştırma işlemi prosedürü Tablo 4.4'te, yapılan taramada Tablo 4.5'te gösterilmiştir. Yerleştirme ve sıkıştırma işlemi 2 aşamada yapılmıştır, kalıplar önce yarı yüksekliğine kadar harç ile doldurulup 25 tokmak darbesiyle sıkıştırılmış, ardından tamamı doldurulup sıkıştırılıp perdahı yapılmıştır.

Tablo 4.4 Çimento harçlarının karıştırma prosedürü

Karıştırma Prosedürü	Süre (sn)	Kümülatif Süre (dk)	Hız
Çim+Su	30	00:30	yavaş
Kum alımı	30	01:00	yavaş
Çim+Su+Kum	30	01:30	hızlı
Bekleme Dip Kontrolü	60	02:30	
Son Karıştırma	60	03:30	hızlı
Akışkanlaştırıcı Katımı	10	03:40	
Son Karıştırma	60	04:40	hızlı

Taramaya göre hazırlanan tüm harç karışımlarının yayılma değerleri sarsma tablası kullanılarak ölçülmüştür. Değerler Tablo 4.6’te gösterilmiştir.

Tablo 4.5 Çimento harcı karışımlarının akışkanlaştırıcı dozajları ve s/ç oranları

S/Ç	Katkı Tipi									
	Katkısız Dizayn %	BVMR Katkı %	BVMR Katkı %	BVMR Katkı %	BS 1000 Katkı %	BS 1000 Katkı %	BS 1000 Katkı %	BSC 1000 Katkı %	BSC 1000 Katkı %	BSC 1000 Katkı %
0,3	0	0,5	1	1,5	0,8	1,65	2,5	0,5	1,25	2
0,35	0	0,5	1	1,5	0,8	1,65	2,5	0,5	1,25	2
0,4	0	0,5	1	1,5	0,8	1,65	2,5	0,5	1,25	2
0,45	0	0,5	1	1,5	0,8	1,65	2,5	0,5	1,25	2
0,5	0	0,5	1	1,5	0,8	1,65	2,5	0,5	1,25	2
0,55	0	0,5	1	1,5	0,8	1,65	2,5	0,5	1,25	2
0,6	0	0,5	1	1,5	0,8	1,65	2,5	0,5	1,25	2

Tablo 4.6 Çimento harç karışımlarının yayılma değerleri (mm)

S/C	Katkısız 0%	BVMR Katkı 0,50%	BVMR Katkı 1,00%	BVMR Katkı 1,50%	BS 1000 Katkı 0,80%	BS 1000 Katkı 1,65%	BS 1000 Katkı 2,50%	BSC 1000 Katkı 0,50%	BSC 1000 Katkı 1,25%	BSC 1000 Katkı 2,00%
0,30	kuru*	kuru	kuru	kuru	kuru	kuru	kuru	kuru	kuru	kuru
0,35	kuru	kuru	kuru	kuru	100,00	100,00	101,00	100,00	100,00	104,00
0,40	kuru	kuru	kuru	kuru	103,00	104,00	109,00	100,00	109,00	110,00
0,45	100	101,00	102,00	103,00	112,00	117,00	124,00	107,00	111,00	117,00
0,50	100	105,00	105,00	107,00	113,00	128,00	151,00	131,00	148,00	171,00
0,55	107	114,00	116,00	114,00	142,00	163,00	ayrışma**	145,00	185,00	218,00
0,60	110	118,00	135,00	138,00	161,00	250,00	ayrışma	ayrışma	ayrışma	ayrışma

*Harç oluşumu mümkün değil.

** Harç stabilitesini kaybetmiştir.

Yapılan harç örneklerinde katkısız karışımda 0,45 s/ç oranında yayılma değeri 100 mm olarak ölçülmüş (yayılma yok), daha düşük oranlarda karışımın kuru olduğu görüldüğü ve işlenemez kıvamda olması nedeniyle numune alımı yapılmamıştır. Normal akışkanlaştırıcı katkı sınıfına giren lignin esaslı BVMR katkısı da 0,45 s/ç oranında yayılmayı 1 – 3 mm arttırmıştır. Bu sonuca göre BVMR katkısının çok etkili bir katkı olmadığı, en fazla 0,45 s/ç oranında çalışabildiği görülmüştür. Naftalen esaslı BS1000 katkısı ve polikarboksilat esaslı BSC1000 katkısıyla 0,35 s/ç oranına kadar düşülebildiği, 0,55 s/ç oranından sonra ise ayrışma meydana geldiği görülmüştür.

Hedeflenen yayılma değeri 110 mm olduğundan, hedeflenen değeri sağlayan karışımlardan 4x4x16 numuneler alınıp bu numunelerin üzerinde basınç ve eğilme deneyleri yapılmıştır.

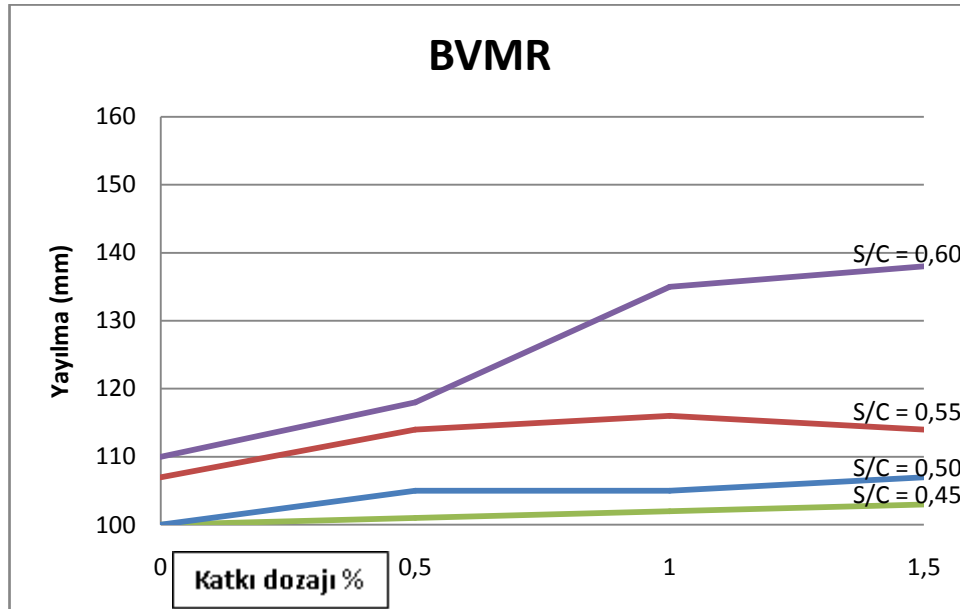
110 mm yayılma değerini sağlayan s/ç oranları iterasyon yapılarak belirlenirse, katkıların su azaltma değerlerini de hesaplayabiliriz. Hesap sonucunda BS1000 katkısının %1,65 katkı dozajında 110 mm yayılma değerini 0,42 s/ç oranında verdiği belirlenmiş, böylece su kesmesi de %30 olarak hesaplanmıştır. BSC1000 katkısı ise %2 katkı dozajında 110 mm yayılma değerini 0,40 s/ç oranında sağlamış, su kesmesi ise %33 olarak hesaplanmıştır.

Alınan numunelerin ertesi gün kalıp sökme işleminde bazı karışım dozajlarında üretilen harçların sertleşmediği görülmüştür. Bu da yüksek katkı dozajlarında katkıların prizi aşırı derecede geciktirdiğini göstermektedir. Gecikme süreleri Tablo 4.7'de verilmiştir.

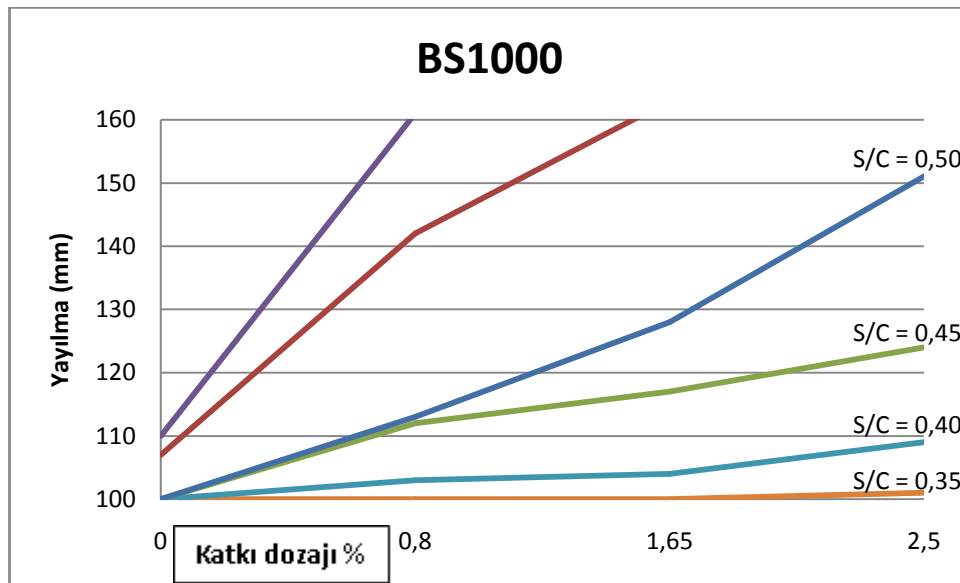
Tablo 4.7 Çimento harcı karışımlarının kalıp alma sürelerindeki gecikme

S/Ç	Katkısız % 0	BVMR Katkı % 0,50	BVMR Katkı % 1,00	BVMR Katkı % 1,50	BS 1000 Katkı % 0,80	BS 1000 Katkı % 1,65	BS 1000 Katkı %2,50	BS C 1000 Katkı % 0,50	BS C 1000 Katkı % 1,25	BS C 1000 Katkı % 2,00
0,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,35	-	-	-	-	yok	yok	yok	yok	yok	yok
0,40	-	-	-	-	yok	yok	yok	yok	yok	yok
0,45	yok	yok	yok	yok	yok	yok	2 gün	yok	yok	yok
0,50	yok	yok	3 gün	3 gün	yok	yok	2 gün	yok	1 gün	1 gün
0,55	yok	yok	2 gün	5 gün	yok	2 gün	-	yok	-	-
0,60	yok	yok	2 gün	5 gün	yok	-	-	-	-	-

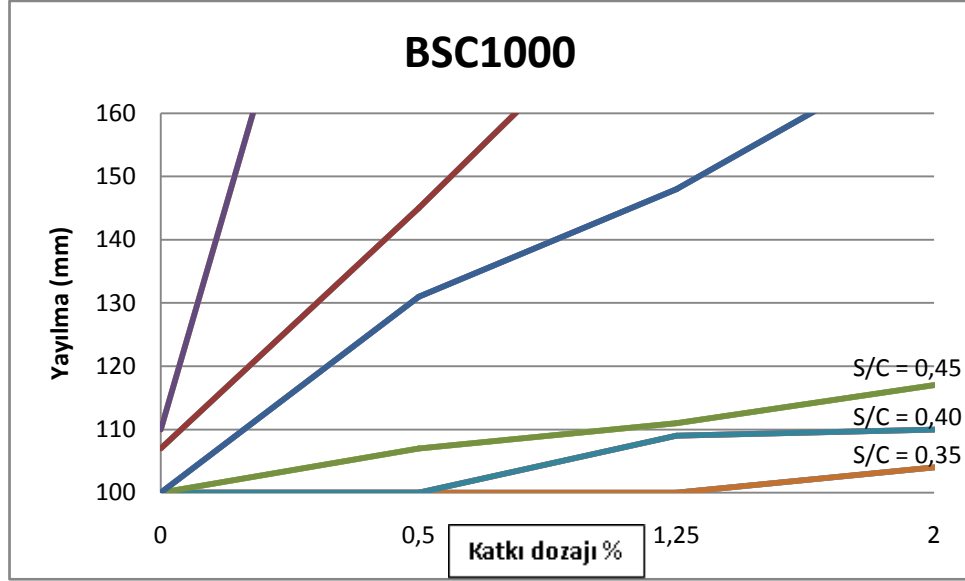
Her katkı için katkı dozajı ve yayılmanın değişim grafikleri Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 BVMR'nin yayılma – katkı dozajı grafiği.



Şekil 4.2 BS1000'in yayılma – katkı dozajı grafiği.



Şekil 4.3 BSC1000'in yayılma – katkı dozajı grafiği.

4.2.2 Sert Hal Testleri

Yayılma değerleri ölçülen karışımlardan 4x4x16 cm boyutlarında 3'er adet numune hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelere 28 gün suda bekletildikten sonra, önce eğilme ardından kırılma sonucu oluşan parçalara da basınç deneyleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.8 ve Tablo 4.9'de sunulmuştur.

Tablo 4.8 Eğilme deneyi sonuçları (MPa)

S/Ç	Katkısız 0%	BVMR min dozaj	BVMR ort dozaj	BVMR max dozaj	BS 1000 min dozaj	BS 1000 ort dozaj	BS 1000 max dozaj	BSC 1000 min dozaj	BSC 1000 ort dozaj	BSC 1000 max dozaj
0,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,9
0,40	-	-	-	-	9,9	9,7	9,7	-	10,9	10,5
0,45	-	-	-	3,4	9,8	10,1	8,2	9,7	9,8	9,8
0,50	8,8	9,1	9,7	9,9	9,9	9,2	7,7	8,3	9,7	9,0
0,55	9,2	9,3	10,3	10,3	8,9	7,2	-	8,3	8,5	-
0,60	8,0	9,2	8,8	8,7	8,6	-	-	7,8	-	-

Tablo 4.9 Basınç deneyi sonuçları (Mpa)

S/Ç	Katkısız 0%	BVMR min dozaj	BVMR ort dozaj	BVMR max dozaj	BS 1000 min dozaj	BS 1000 ort dozaj	BS 1000 max dozaj	BSC 1000 min dozaj	BSC 1000 ort dozaj	BSC 1000 max dozaj
0,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	63,9
0,40	-	-	-	-	60,6	54,2	58,9	-	67,5	63,7
0,45	-	-	-	37,4	54,8	61,1	47,8	60,7	61,9	58,9
0,50	54,2	62,4	54,8	60,5	58,0	51,9	41,0	56,8	59,9	58,1
0,55	51,4	56,3	57,7	58,6	49,5	37,6	-	51,1	50,9	-
0,60	44,6	55,9	50,2	51,0	44,2	-	-	43,2	-	-

Harç örnekleri üzerinde yayılma değeri olarak sarsma tablasında 110 mm değeri hedeflenmiştir. Yayılma değerleri ve priz gecikme süreleri dikkate alındığında, harç örnekler üzerinde yapılan tarama sonucunda kullanılabilir katkı dozajları ve s/ç aralıkları tablo 4.10’ da koyu renkle gösterilmiştir.

Tablo 4.10 Büzülme deneyi yapılacak karışımlar

S/C	Katkısız % 0	BVMR Katkı % 0,50	BVMR Katkı % 1,00	BVMR Katkı % 1,50	BS 1000 Katkı % 0,80	BS 1000 Katkı % 1,65	BS 1000 Katkı % 2,50	BSC 1000 Katkı % 0,50	BSC 1000 Katkı % 1,25	BSC 1000 Katkı % 2,00
0,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,35	-	-	-	-	100,00	100,00	101,00	100,00	100,00	104,00
0,40	-	-	-	-	103,00	104,00	109,00	100,00	109,00	110,00
0,45	100	101,00	102,00	103,00	112,00	117,00	124,00	107,00	111,00	117,00
0,50	100	105,00	105,00	107,00	113,00	128,00	151,00	131,00	148,00	171,00
0,55	107	114,00	116,00	114,00	142,00	163,00	-	145,00	185,00	218,00
0,60	110	118,00	135,00	138,00	161,00	250,00	-	-	-	-

Büzülme deneyi yapılacak karışımlardan ilk olarak BSC1000 % 2 katkılı 0,40 s/ç oranında olan harç karışımı hazırlanıp 24 saat otojen büzülme değerleri ölçülmüştür. Ölçüm sonucunda agregaların büzülme kısıtlayıcı etkisi sebebiyle değerlerin çok küçük mertebede kaldığı görülmüştür. Bu sebeple büzülme ölçümlerinin harç üzerinde değil, hamur üzerinde ölçülmesine karar verilmiştir. Harç üzerinde yapılan büzülme ölçüm sonuçları beşinci bölümde *Harç Ölçümleri* başlığı altında verilmiştir.

BÖLÜM BEŞ

DENEY VERİLERİ

Erken yaşlarda çimento esaslı kompozitlerde meydana gelen şekil değişimlerini hassas bir şekilde ölçmek ve kompozitin taze halden katı hale geçişini gözlemlemek, oldukça özel yöntemler gerektirmektedir. Çalışmada kullanılan cihaz lazer sensörler yardımıyla ölçüm yapan zamana bağlı olarak kayıt tutan bir alet olması sayesinde ölçümler hassas bir şekilde yapılmıştır. Çalışmada incelenecek ana parametre farklı akışkanlaştırıcı katkıların büzülme etkisi olduğundan, diğer parametreler sabit tutulmuştur. Deney 20 °C sabit sıcaklık ve %100 nem oranında yapılmış, s/ç oranı sabit tutularak büzülme ölçümleri yapılmıştır.

5.1 Cihaz ve Yöntemin Tanıtılması

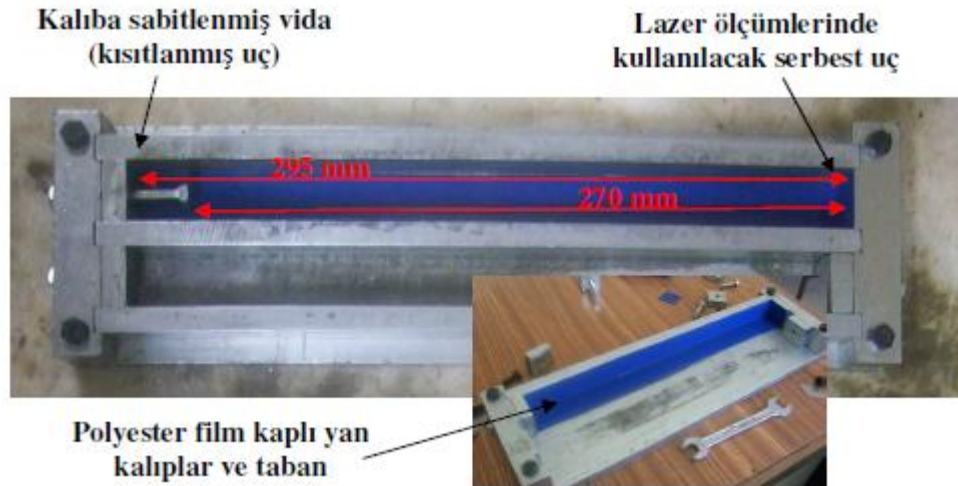
Sistem beş adet standart kalıp, beş adet BAUMER marka (OADM 12U6430/S35A) lazer mesafe ölçüm sensörü, iki adet sıcaklık ölçüm sensörü, bir adet bağıl nem sensörü, 8 adet sensör kablosu, 8 kanallı veri toplama sistemi (TDG-Aygıtgeçidi-USB) ve yazılım (TDGLab-S)'dan oluşmaktadır. Deneyler laboratuvar içinde sıcaklık kontrollü klimalı bir odada gerçekleştirilmiştir. Cihaz Şekil 5.1 de görülmektedir.



Şekil 5.1 Lazer ölçüm cihazı.

Örneğin boyunda zamanla meydana gelen kısalma, lazer kaynağından çıkan ışının toplayıcıya (CMOS) dönüş açısındaki değişim ile hesaplanmaktadır. Her lazer sensörünün ölçebileceği belli bir mesafe limiti ve kör bölgesi vardır. Lazer sensörlerin hassasiyeti bu limitleri etkilemektedir. Bu çalışmada kullanılan BAUMER marka (OADM 12U6430/S35A) lazer mesafe ölçüm sensörlerinin çalışma limitleri 10 mm (10000 mikron) olup, sensörün ışın çıkış yüzeyinden 16 mm uzaklıktan itibaren veri toplayabilmektedir. Örnek yüzeyi ile lazer sensör yüzeyi arası mesafenin 21 mm olduğu nokta, programa sıfır noktası olarak tanımlanmıştır. Böylece lazer sensörlerinin sıfır noktası yaklaşık olarak ± 5000 mikronluk bir boy değişimini ölçebilecek şekilde kalibre edilmiştir. Lazer sensörlerin çözünürlüğü 5 mikron olup, yazılım yardımıyla boy değişimi verileri 1 dakikalık aralıklarla 24 saat boyunca kaydedilmiştir.

Bu çalışmada boy değişimi örneğin tek tarafından ölçülmüştür. Şekil 5.2'de görüldüğü gibi, bir tarafı serbest kalacak şekilde kalıplanan örneğin diğer tarafı, taze harcın içine gömülü ve kalıba sabitlenmiş vida yardımıyla yarı ankastre hale getirilmiştir. Kalıbın tüm iç yüzeyleri polyester film tabakası ile kaplanmış ve yağlanmıştır. Sürtünmeyi azaltıcı bu işlemle ve uç sabitlenmesi ile örneğin tek taraflı olarak vidalı kısma doğru büzüleceği kabul edilmiştir.



Şekil 5.2 Kalıp sistemi.

Örnekler kalıplara yerleştirildikten sonra ne zaman ölçüme başlanması gerektiği belirlenmesi gereken en önemli parametredir. Bu yüzden döküm yapılırken eşzamanlı olarak vicat deneyi yardımıyla priz süreli incelenerek, kalıbın ucundaki pimlerin açılma zamanı tespit edilmiş, ölçümlere priz başlangıcından sonra başlanmıştır.

Kalıbın ucundaki pimlerin prizden önce ya da geç açılması ölçülen büzülme ya da şişme değerlerinin hatalı olmasına sebep vermektedir. Örnek olarak pimlerin prizden önce açılması halinde hamurda çökme gerçekleşebilmekte ve bu da başlangıçta genleşme olarak ölçüm yapılmasına neden olmaktadır. Diğer taraftan pimler prizden geç açılıp ölçüme başlanırsa, hamurun yaptığı büzülmenin bir kısmı ölçülememiş olur.

Deney cihazının ve yöntemin avantaj ve dezavantajları şu şekilde sıralanabilir (Felekoğlu, 2009):

Avantajlar :

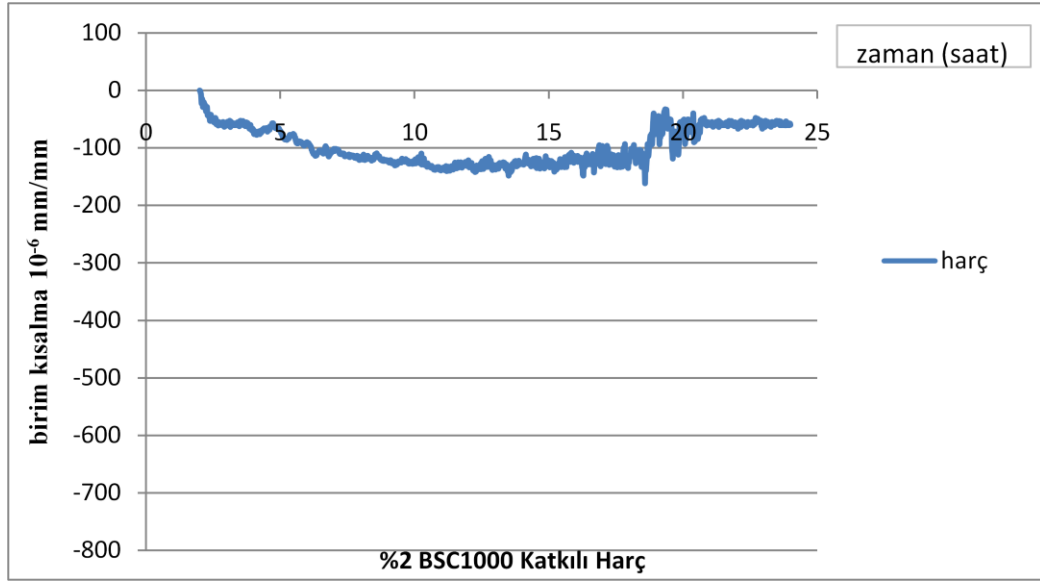
- Örneğe müdahale etmeden ve ölçüm yüzeyine zarar vermeden boy değişimi ölçümüne olanak sağlamaktadır.
- Aynı anda 5 örneğe kadar ölçüm yapabilme imkanı vermektedir. Böylece aynı karışımın performansı birkaç örnekten alınan verilerle incelenebilmektedir.
- Boy değişimi verileri ile eş zamanlı olarak sıcaklık ve nem değişimi takibine imkan sağlamaktadır. Sıcaklık ve nemin boy değişimine etkisi belirlenebilmektedir.

Dezavantajlar :

- Bu yöntemle örneğin boy değişimi henüz kendi kendini tutacak hale gelmeden ölçülememektedir.
- Çok yapışkan harç ve hamurlarda ölçümde sorunlar yaşamaktadır.

5.2 Harç Ölçümleri

Büzülme ölçümlerine önce harç örnekler üzerinde başlanmıştır. Deneme karışımı için polikarboksilat bazlı olan BSC1000 katkısından çimento ağırlığına göre % 2 oranında, s/ç oranı 0,40 olan harç karışımı hazırlanıp ilk 24 saat için otojen büzülme değerleri ölçülmüştür. Çimento harcının priz başlangıç süresi 2 saat olarak ölçülmüş, büzülme ölçümlere priz başlangıcından sonra başlanmıştır. Sonuçlar Şekil 5.3'te verilmiştir.



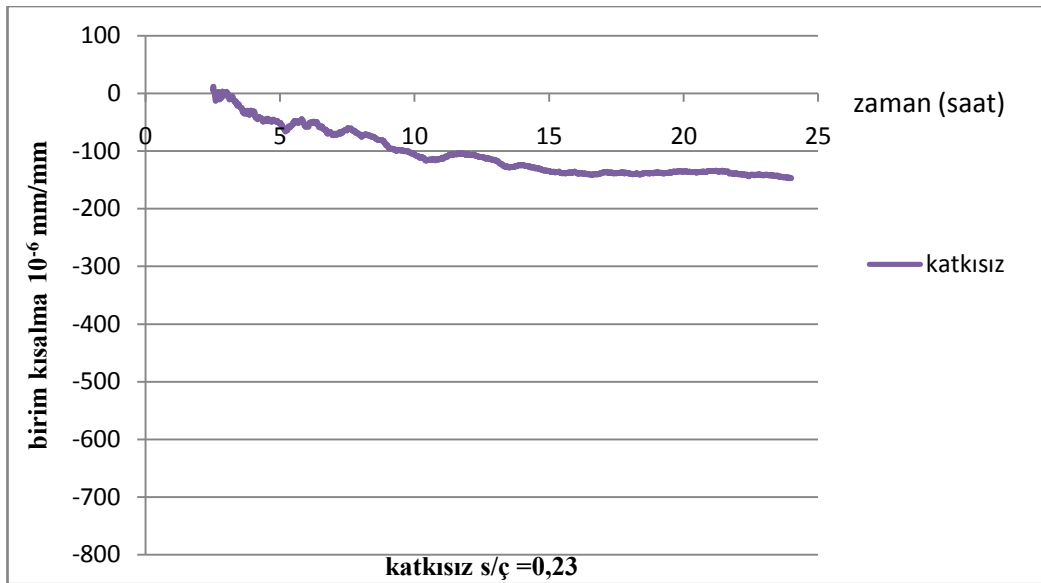
Şekil 5.3 %2 BSC1000 katkılı harç büzülme – zaman grafiği.

Şekil5.3'te görüldüğü gibi harç üzerinde yapılan deneme karışımında büzülme değerleri oldukça küçük değerlerde kalmaktadır. Bunda agreganın büzülmeyi kısıtlayıcı etkisinin yüksek olduğu görülmüştür. Ölçümler harcın prize başladığı ikinci saatten itibaren başlamaktadır. On beşinci saat civarında $133 \cdot 10^{-6}$ değeri ölçülerek maksimum değerine ulaşmış sonra tekrar şişme göstererek 24 saatte $60 \cdot 10^{-6}$ değerini vermiştir. Harç üzerinde yapılan, polikarboksilat esaslı akışkanlaştırıcı katkının yüksek dozajında büzülme değerlerinin oldukça düşük mertebelerde kalışı, diğer katkı dozajları ve diğer katkı türlerinde yapılacak büzülme ölçümlerinin karşılaştırmasında yeterli farkları vermeyeceği için, büzülme ölçümlerine çimento hamuru üzerinde devam edilmesine karar verilmiştir.

5.3 Hamur Ölçümleri

İlk olarak harç ile çalışılabilir s/ç değerleri çimento hamuru üzerinde denenmiştir. Fakat bu s/ç oranları içinden agrega çıkartılmış olan çimento hamuru karışımlarında oldukça yüksek kalıp ayrışma meydana getirmiştir. Bu yüzden çalışılacak s/ç oranının belirlenmesi için katkısız çimento hamuru dizaynında 110 mm yayılma değerini veren s/ç oranı hedeflenmiş ve bu değer 0,23 olarak belirlenmiştir. Tüm büzülme ölçümleri 0,23 s/ç oranında katkısız karışım ve 3 farklı tip katkıının minimum, ortalama ve maksimum katkı dozajlarında olmak üzere toplam 10 deneyde ölçülmüştür. Her bir döküm esnasında büzülme ölçümüne başlanacak zamanı belirlemek için, eş zamanlı olarak Vicat deneyiyle priz başlangıç süreleri belirlenmiştir. Kalıpların ucundaki pimlerin çıkarılması ve deneyin başlaması belirlenen priz başlangıç zamanına göre yapılmıştır.

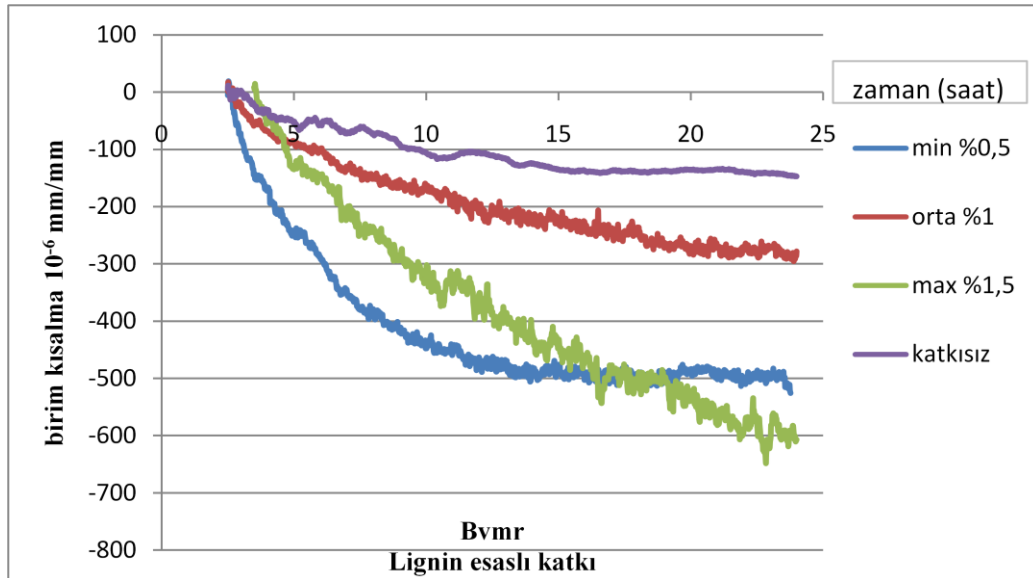
Ölçümlere ilk olarak s/ç oranı 0,23 olan katkısız karışım ile başlanmıştır. Katkısız karışımın priz başlangıç süresi 2,5 saat olarak ölçülmüştür. Büzülme ölçümleri priz başlangıcından sonra başlatılmıştır. 24 saat sonunda katkısız çimento hamurunun büzülme değeri $147 \cdot 10^{-6}$ olarak ölçülmüştür. Sonuçlar Şekil 5.4'te görülmektedir.



Şekil 5.4 S/Ç oranı 0,23 olan katkısız karışım büzülme – zaman grafiği.

BSC1000 katkısının %2,0 oranında kullanıldığı, s/ç oranı 0,40 olan harç karışımı ile s/ç oranı 0,23 olan katkısız çimento hamuru büzülme olarak kıyaslandığında, akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanılmayan hamur karışımında büzülmenin daha yüksek değerler verdiği görülmüştür. Bu sonuçla katkıların büzülme değerlerinin çimento hamuru üzerinde karşılaştırmanın doğru bir karar olduğu görülmektedir.

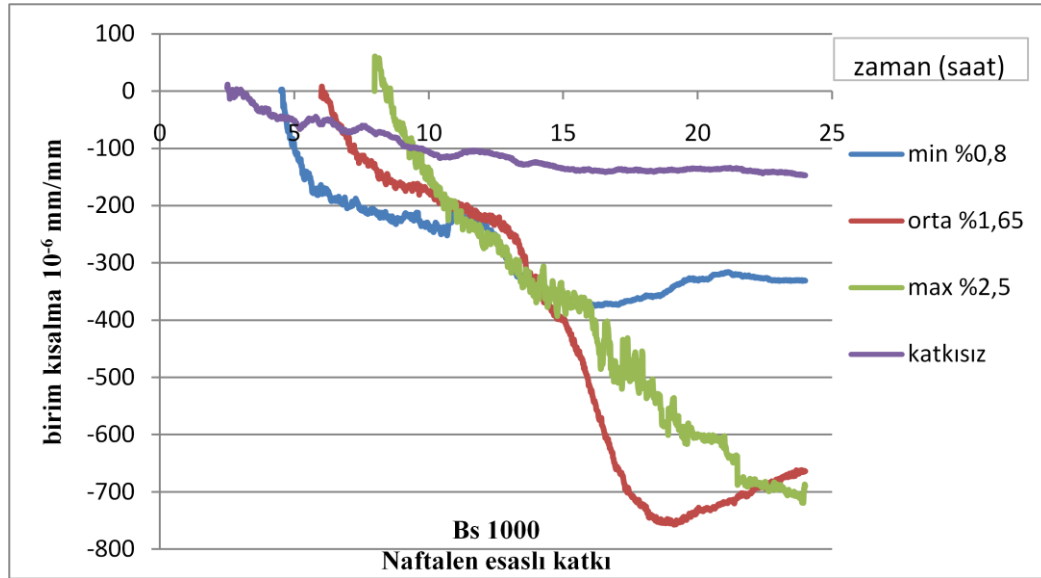
Lignin esaslı BVMR katkısında yapılan büzülme ölçümlerinde priz başlangıç süreleri %0,5 ve %1,0 kimyasal katkı oranı için 2,5 saat, %1,50 katkı oranı için 3,5 saat olarak ölçülmüştür. BVMR katkısında 24 saat sonunda %0,5 kimyasal katkı oranında ölçülen büzülme $525 \cdot 10^{-6}$, %1,0 katkı oranında $278 \cdot 10^{-6}$, %1,5 katkı oranında ise $607 \cdot 10^{-6}$ olarak ölçülmüştür. Sonuçlar Şekil 5.5'te görülmektedir.



Şekil 5.5 BVMR tipi katkının minimum – ortalama maksimum katkı oranlarında çimento hamuru büzülme – zaman grafiği.

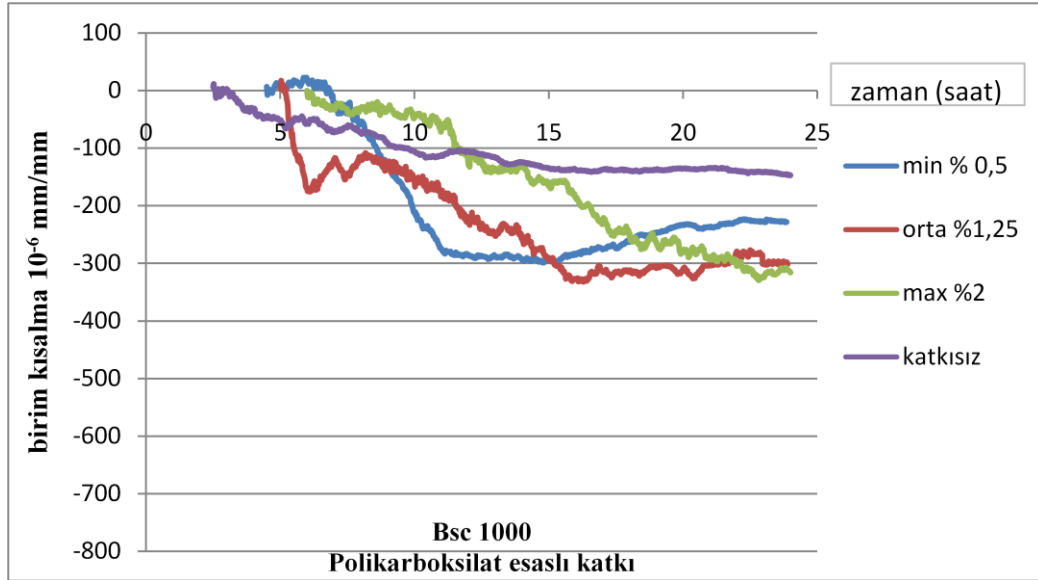
Elde edilen sonuçlara göre katkı dozajı arttığında büzülmede artar diye bir genelleme yapmak mümkün olmamaktadır. Bunun yanında lignin esaslı katkının katkısız karışıma göre büzülme değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu sayede lignin esaslı katkının ilk 24 saatteki otojen büzülmeyi arttırdığı sonucuna varılabilir.

Naftalen esaslı BS1000 katkısında yapılan büzülme ölçümlerinde priz başlangıç süreleri %0,8 kimyasal katkı oranı için 4,5 saat, %1,65 katkı oranı için 6 saat, %2,50 katkı oranı için 8 saat olarak ölçülmüştür. BS1000 katkısında 24 saat sonunda %0,8 kimyasal katkı oranında ölçülen büzülme $330 \cdot 10^{-6}$, %1,65 katkı oranında $660 \cdot 10^{-6}$, %2,5 katkı oranında ise $690 \cdot 10^{-6}$ olarak ölçülmüştür. Sonuçlar Şekil 5.6'da görülmektedir. Sonuçlara göre, naftalen katkısının 24 saat sonundaki büzülme değerleri dozaja göre artış gösteriyor fakat yine bir genelleme yapmak mümkün olmamaktadır. Lignin esaslı BVMR kakısına göre BS1000 katkısında büzülme değerlerinde bir miktar artış olduğu görülmektedir. Buda naftalen esaslı katkının lignine göre etkisinin yüksek olmasıyla açıklanabilir, fakat büzülmedeki etkisi yayılmadaki artışına göre çok daha azdır.



Şekil 5.6 BS1000 tipi katkının minimum – ortalama maksimum katkı oranlarında çimento hamuru büzülme – zaman grafiği.

Polikarboksilat esaslı BSC1000 katkısında yapılan büzülme ölçümlerinde priz başlangıç süreleri %0,5 kimyasal katkı oranı için 4,5 saat, %1,25 katkı oranı için 5 saat, %2,00 katkı oranı için 6 saat olarak ölçülmüştür. BSC1000 katkısında 24 saat sonunda %0,5 kimyasal katkı oranında ölçülen büzülme $229 \cdot 10^{-6}$, %1,25 katkı oranında $301 \cdot 10^{-6}$, %2,00 katkı oranında ise $315 \cdot 10^{-6}$ olarak ölçülmüştür. Sonuçlar Şekil 5.7'de görülmektedir.



Şekil 5.7 BSC1000 tipi katkıının minimum – ortalama maksimum katkı oranlarında çimento hamuru büzülme – zaman grafiği.

BSC1000 katkısının yaptığı büzülme beklenenin aksine diğer katkılarına göre daha düşük değerlerde kalmıştır.

5.4 Yorumlar

İncelenen s/ç oranında akışkanlaştırıcı kimyasal katkıları otojen büzülme türünden, dozajından bağımsız olarak arttırmıştır. Bunun sebebi dağınık olan çimento tanelerinin hidrasyonunun artıp böylece hidrasyon reaksiyonlarının kimyası gereği reaksiyona giren ve çıkan ürünlerin hacimde meydana gelen azalma olarak açıklanabilir. Çünkü katkıları elektrostatik ve sterik etki ile taneleri disperse etmektedir.

Polikarboksilat ve naftalen kökenli güçlü katkılarda dozaj arttıkça otojen büzülmede de bir artış görülmektedir fakat lignin esaslı katkıda bunu söylemek mümkün değildir. Bu yüzden katkı dozajının değişimi otojen büzülmeyi artırıp azalttığına dair net bir ilişki tespit edilememiştir. Otojen büzülmenin daha etkin olduğu durumlarda, mesela daha düşük s/ç oranlarında bu etki daha net görülebilir.

Katkı tipine göre otojen büzülme değerlerinin farklı olması katkıların etki mekanizmalarının farklı olmasının bir sonucudur. Fakat katkıların su azaltma etkinliğine göre de büzülmeyi arttıracadı yönünde bir genelleme yapmak mümkün değildir.

BÖLÜM ALTI

REOLOJİ

Bu bölümde büzülme deneylerinde incelen katkıların çimento hamurunun reolojik özelliklerine etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda reometre kullanılarak 0,23 s/ç oranına sahip çimento hamurlarının lignin, naftalen ve polikarboksilat bazlı üç farklı akışkanlaştırıcı kimyasal katkının minimum, orta ve maksimum dozajlarında reolojik özellikleri ölçülmüş ve karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

6.1 Cihaz ve Yöntemin Tanıtılması

Deneylerde Anton Paar firmasının ürettiği Şekil 6.1’de görülen Physica MCR 51 serisi reometre kullanılmıştır. Reometre sistemi değişik ölçüm sistemlerinin monte edilebildiği hassas bir ölçüm başlığı, bilgisayar, rheoplus yazılımı ve su banyosundan oluşmaktadır. Bu çalışmada ölçüm sistemi olarak bilyeli ölçüm düzeneği (Ball measuring system) kullanılmıştır. Bilye çapı 8 mm olup, bilye eksantrik bir kol vasıtası ile numune içinde döndürülmektedir.

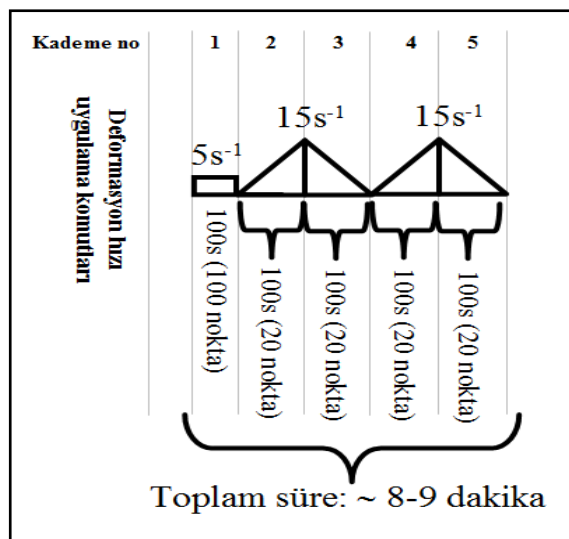


Şekil 6.1 Reometre ve su banyosu.

Tez kapsamında deformasyon kontrollü ölçümler yapılmıştır. Bunun yanında reometre gerilme kontrollü ölçümler yapmaya da izin vermektedir. Deformasyon kontrollü ölçümlerde karışımın içinde sürüklenen bilyenin istenen deformasyon hızlarında döndürülmesi için gerekli anlık moment değerleri reometre tarafından ölçülmektedir. Rheoplus yazılımı ile gerekli dönüşümler yapılarak deformasyon hızı – kayma gerilmesi ilişkisi çıkartılmaktadır. Böylece akma eğrileri elde edilebilmekte, malzemelerin reolojik büyüklükleri (eşik kayma gerilmesi, viskozite) belirlenebilmektedir. Karışımın durgun halden akıcı hale geçirmek için gerekli minimum gerilmeye de eşik kayma gerilmesi denir. Viskozite ise karışımın harekete geçtikten sonra, akmaya karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanabilir. Deneyleerin sabit sıcaklıkta yapılabilmesi için reometre ile koordineli olarak çalışan bir su banyosu kullanılmaktadır (Anton Paar Viscotemp 2 VT-2). Rheoplus yazılımı yardımıyla reometre haznesi tabanı sürekli sabit sıcaklıkta tutulacak şekilde programlanmaktadır ($20^{\circ}\text{C}\pm 1$).

6.2 Reolojik Ölçümler

Reolojik özellikleri belirlemek amacıyla akma eğrilerinin çıkartılması gereklidir. Bu kapsamda Rheoplus programında Şekil 6.2’de aşamaları görülen deney prosedürü ile karışımların eşik kayma gerilmesi ve plastik viskozite değerleri belirlenmiştir.



Şekil 6.2 Ölçümlerde kullanılan deney prosedürü.

İlk aşamada bilyenin çimento hamuru karışımı içinde sabit deformasyon hızında ($5s^{-1}$) dönmesi için gerekli kayma gerilmesi değeri saniyede 1 veri alınarak 100 saniye boyunca kaydedilmiştir. Bu kademedeki hamurların ilk karışımının sağlanması için tüm karışımlarda uygulanmıştır. İkinci aşamada deformasyon hızı doğrusal olarak 0'dan $15s^{-1}$ 'e çıkartılarak "çıkış akma eğrisi" elde edilmiştir. Akma eğrisi deformasyon hızı artışı ile kayma gerilmesindeki değişimi gösteren eğridir. Deformasyon hızı değiştirilirken 100 saniyelik sürede 20 veri alınmıştır. Üçüncü aşamada deformasyon hızı $15s^{-1}$ 'den sıfıra yine 100 saniye içinde 5 saniyede 1 veri alınarak indirilmiştir. Dördüncü ve beşinci aşamalarda aynı çıkış-iniş rampaları tekrarlanmıştır. Böylece karışımın akma eğrisinin çıkartılması için her karışımda 80 nokta elde edilmiştir.

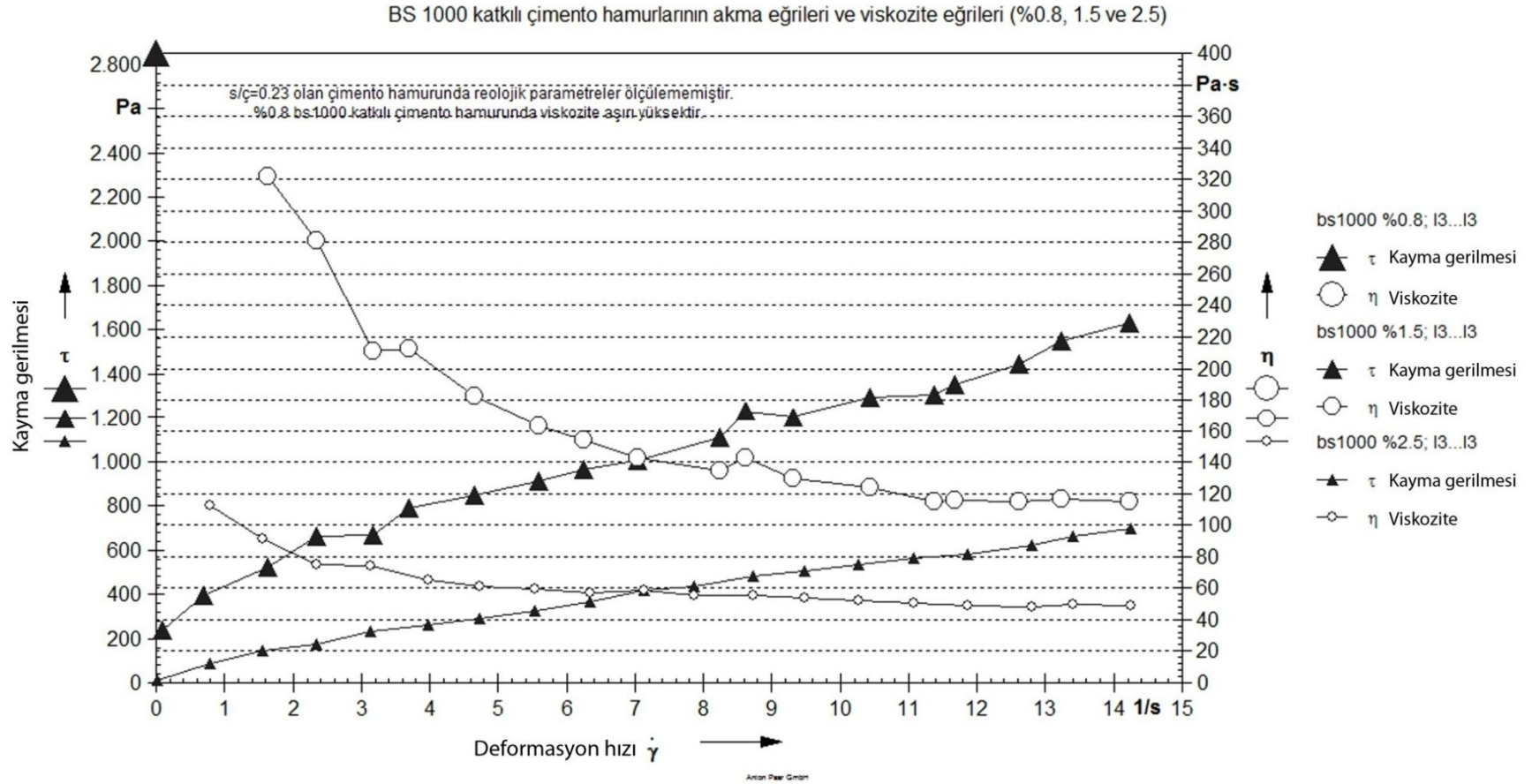
Akma eğrileri karışımlar sabit bir deformasyon hızında yumuşatıldıktan sonra elde edildiği için bu eğrinin y-eksenini kestiği nokta "*eşik kayma gerilmesi*" olarak adlandırılmıştır. "Plastik viskozite" ise anlık viskozite değerlerinin yaklaşık olarak sabitlendiği $15 s^{-1}$ 'lik deformasyon hızı değerinden okunmuştur. Reolojik modelleme yapılmamış, eşik kayma gerilmesi ve viskozite değerleri ham veriler kullanılarak deney prosedürünün 3. aşamadaki verilerden çizilen grafikler üzerinden belirlenmiştir.

İlk olarak katkısız s/ç oranı 0,23 olan çimento hamuru denenmiştir, fakat katkısız hamurda bilyenin karışım içinde dönebilmesi için gereken kuvvet, kullandığımız reometrenin uygulayabildiği kuvvetin üzerinde olduğundan bilye dönememiş bu yüzden akma eğrileri çıkarılamamış, reolojik parametreleri belirlenememiştir.

Aynı zamanda 0,23 s/ç oranında lignin esaslı BVMR katkısının % 0,5 - %1,0 - %1,5 katkı dozajlarında ve naftalen esaslı BS1000 katkısının %0,8 katkı dozajında hazırlanan çimento hamurlarında da bilye karışım içinde dönememiş ve reolojik parametreler ölçülememiştir.

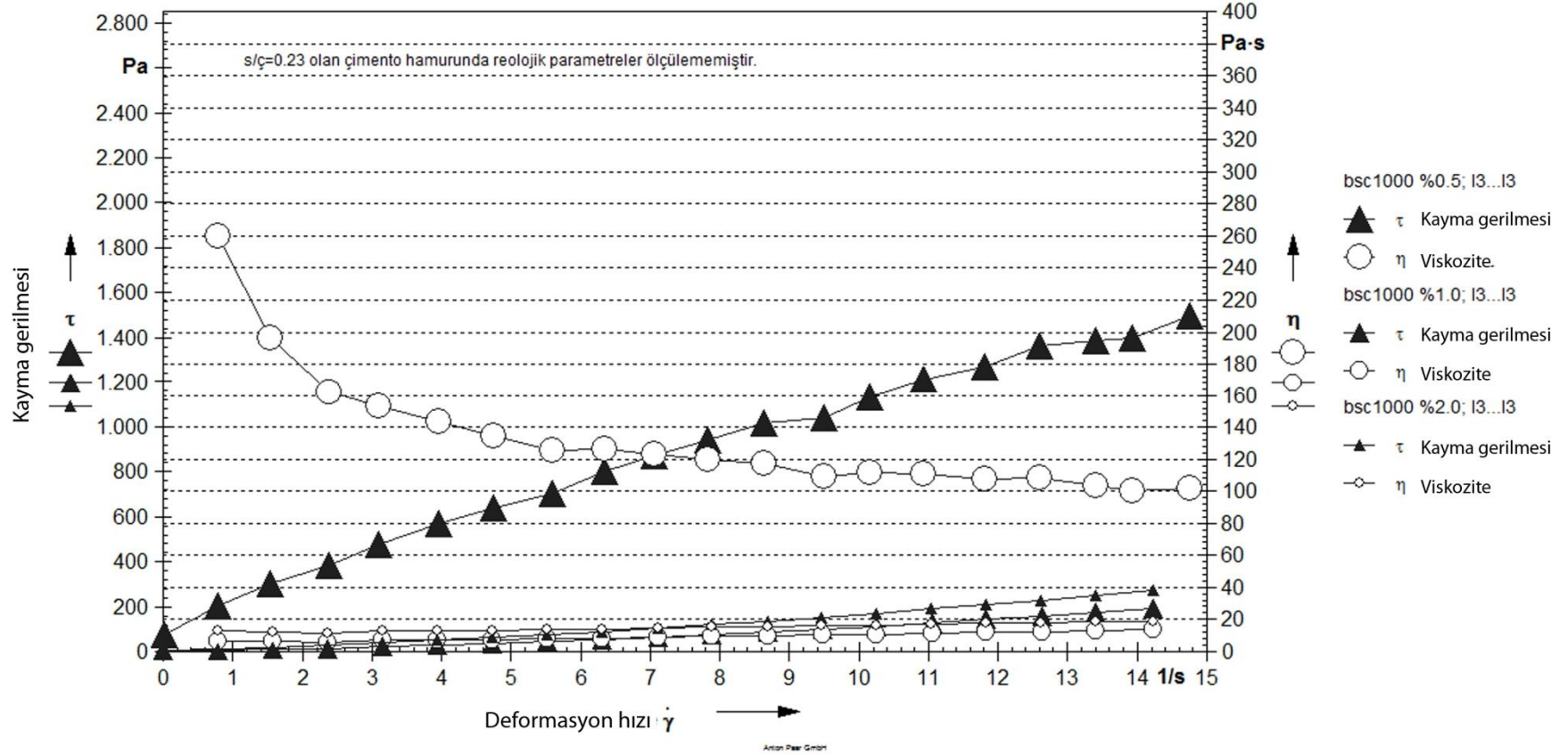
Naftalen esaslı BS1000 katkısının 0,23 s/ç oranında, % 1,65 ve %2,50 katkı oranında ve polikarboksilat esaslı BSC1000 katkısının 0,23 s/ç oranında, %0,5 -

%1,25 - %2,0 katkı dozajında hazırlanan çimento hamurlarında yapılan incelemeden elde edilen akma eğrileri ve viskozite grafikleri Şekil 6.3 ve Şekil6.4'te akışkanlaştırıcı kimyasal katkı türüne göre ayrılarak verilmiştir. Bu grafiklerde kayma gerilmesi sol düşey ekseninde, viskozite değeri ise sağ düşey ekseninde, deformasyon hızı ise yatay ekseninde verilmiştir. Deformasyon hızı değişimi ile kayma gerilme değerlerinin değişimi üçgen belirteçler takip edilerek gözlenebilir. Diğer taraftan daire şeklindeki belirteçler ise viskozitenin değişimini göstermektedir.



Şekil 6.3 BS1000 katkıli çimento hamurlarının %1,65 ve %2,5 katkı dozajlarında akma eğrileri ve viskozite eğrileri.

BSC 1000 katkılı çimento hamurlarının akma eğrileri ve viskozite eğrileri (%0.5, 1.0 ve 2.0)



Şekil 6.4 BSC1000 katkılı çimento hamurlarının %0,5- %1,25 - %2,5 katkı dozajlarında akma eğrileri ve viskozite eğrileri.

Bu grafik üzerinden yapılan eşik kayma gerilmesi ve plastik viskozite okumaları Tablo 6.1 ve Tablo 6.2’de listelenmiştir. Akışkanlaştırıcı kimyasal katkı ilavesi ile hem eşik kayma gerilmesi hem de plastik viskozite değerleri önemli ölçüde azalmıştır.

Tablo 6.1 BS1000 katkılı çimento hamuru eşik kayma gerilmesi ve plastik viskozitesi

BS1000 Katkısı			
Katkı Oranı (%)	%0,80	%1,65	%2,50
Eşik Kayma Gerilmesi (Pa)	-	230	10
Plastik Viskozite (Pa.s)	-	115	49

Tablo 6.2 BS1000 katkılı çimento hamuru eşik kayma gerilmesi ve plastik viskozitesi

BSC1000 Katkısı			
Katkı Oranı (%)	%0,5	%1,25	%2,0
Eşik Kayma Gerilmesi (Pa)	75	3	4
Plastik Viskozite (Pa.s)	102	14	19

6.3 Yorumlar

Ölçülen sonuçlara göre akışkanlaştırıcı katkı ilavesi çimento hamurunda hem eşik kayma gerilme değerini hem de plastik viskoziteyi düşürmektedir. Sonuçlardan da görüldüğü gibi Polikarboksilat esaslı olan BSC1000 katkısı düşük dozajlarında bile naftalen esaslı BS1000 katkısından çok daha etkili olmuştur. Harç örnekler üzerinde yapılan yayılma deneylerinde yapılan karşılaştırmada ve reolojik parametreler üzerindeki etkisinde BSC1000 tipi katkıda %2 maksimum dozajda, %1,25 orta dozaja göre çok etkili olmadığı görülmektedir.

BÖLÜM YEDİ

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Erken yaşta (ilk 24 saat) çimento esaslı kompozitlerde meydana gelen büzülme, lazer sensörler ve yarı ankastre kalıp sistemi kullanılarak ölçülebilmektedir. Ölçüm sırasında henüz plastik kıvamda olan örnek yüzeyine temas edilmeden ölçüm yapılması, erken yaştaki büzülmenin doğru bir şekilde ölçümü açısından yöntemin en önemli avantajıdır. Ölçüm sonuçlarının zamana bağlı olarak kaydedilmesi, örnekteki boy değişimini izleme olanağı sağlamaktadır. Büzülme ölçümlerine örneğin kendi kendini tutabildiği priz başlangıcında başlanması gerekmektedir. Bu yüzden ölçüme başlama zamanının tespiti büzülme ölçümlerinin sağlıklı yapılmasında önemli rol oynamaktadır.

Döküm yapılırken eşzamanlı olarak Vicat deneyi yardımıyla priz süreli incelenerek, kalıbın ucundaki pimlerin açılma zamanı tespit edilmiş, ölçümlere priz başlangıcından sonra başlanmıştır. Kalıbın ucundaki pimlerin prizden önce ya da geç açılması ölçülen büzülme ya da şişme değerlerinin hatalı olmasına neden olabilmektedir. Örnek olarak pimlerin prizden önce açılması halinde, hamurda çökme gerçekleşebilmekte ve bu da başlangıçta genleşme olarak ölçüm yapılmasına neden olmaktadır. Diğer taraftan pimler prizden geç açılıp ölçüme başlanırsa, örneklerin yaptığı büzülmenin bir kısmı ölçülememiş olur. Bu nedenle bazı deneyler tekrarlanmıştır.

Dikkat edilmesi gereken bir diğer konuda yapışkan özellikteki karışımlarda, kalıp yüzeyinin polyesterle kaplanıp yağlanmasına rağmen, karışımın kalıba yapışarak büzülme ölçümleri etkileyip etkilemediği kontrol edilmelidir.

İncelenen s/ç oranında akışkanlaştırıcı kimyasal katkıları otojen büzülme türünden, dozajından bağımsız olarak arttırmıştır. Bunun sebebi dağınık olan çimento tanelerinin hidrasyonunun artıp böylece hidrasyon reaksiyonlarının kimyası gereği reaksiyona giren ve çıkan ürünlerin hacimde meydana gelen azalma olarak açıklanabilir.

Polikarbolsilat ve naftalen kökenli etkili katkılarda dozaj arttıkça otojen büzülmede de bir artış görülmektedir fakat lignin esaslı katkıda bunu söylemek mümkün değildir. Bu yüzden katkı dozajının değişimi otojen büzülme arttırıp azalttığına dair net bir ilişki tespit edilememiştir. Otojen büzülmenin daha etkin olduğu durumlarda, mesela daha düşük s/ç oranlarında bu etki daha net görülebilir.

Katkı tipine göre otojen büzülme değerlerinin farklı olması katkıların etki mekanizmalarının farklı olmasının bir sonucudur. Fakat katkıların su azaltma etkinliğine göre de büzülme arttıracağı yönünde bir genelleme yapmak mümkün değildir.

Akışkanlaştırıcı katkı ilavesi çimento hamurunda hem eşik kayma gerilme değerini hem de plastik viskoziteyi düşürmektedir. Sonuçlardan da görüldüğü gibi Polikarboksilat esaslı olan BSC1000 katkısı düşük dozajlarında bile naftalen esaslı BS1000 katkısından çok daha etkili olduğu görülmektedir. Harç örnekler üzerinde yapılan yayılma deneylerinde yapılan karşılaştırmada ve reolojik parametreler üzerindeki etkisinde BSC1000 tipi katkıda %2 maksimum dozajda, %1,25 orta dozaja göre çok etkili olmadığı görülmektedir.

Bu çalışma kapsamında incelenmeyen daha düşük s/ç oranlı çimento hamurlarında akışkanlaştırıcı kimyasal katkıların büzülme etkileri incelenip karşılaştırılabilir. Daha düşük s/ç oranlarında büzülme etkileri daha net görülebilir. Bunun yanında akışkanlaştırıcı kimyasal katkıların kuruma büzülmesine etkisi deney düzeneğinde kuruma şartları oluşturularak incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Baradan, B. (2000). *Yapı malzemesi II* (6. Baskı). İzmir: D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Yayınları.
- Bentz, D. P. ve Jensen, O. M. (2004). Mitigation strategies for autogenous shrinkage cracking. *Cem Concr Comp*, 26 (6), 677-685.
- Burrows, R. W., Kepler, W. F., Hurcomb, D., Schaffer, J. ve Sellers, J. G. (2004). Three simple tests for selecting low-crack cement. *Cem Concr Comp* 26 (5), 509- 519.
- Collepari, M., Borsoi, A., Collepari, S., Olagot, J. J. O. ve Troli, R. (2005). Effects of shrinkage reducing admixture in shrinkage compensating concrete under non-wet curing conditions. *Cem Concr Comp*, 7 (6) 704-708.
- D'Souza, B. (2000). Shrinkage-reducing Admixtures. *Degussa Construction Chemicals*, Australia Pty Ltd, pp. 1 12.
- Esping, O. (2008). Effect of limestone filler BET(H₂O)-area on the fresh and hardened properties of self compacting concrete. *Cem Concr Res*, 38 (7), 938-944.
- Felekoğlu, B (2009). Yüksek performanslı mikro beton tasarımı, Doktora Tezi
- Holt, E. (2005). Contribution of mixture design to chemical and autogenous shrinkage of concrete at early ages. *Cem Concr Res*, 35 (3), 464-472.
- Holt, E. ve Leivo, M. (2004). Cracking risks associated with early age shrinkage. *Cem Concr Comp*, 26 (5), 521 530.
- Larson, K. H. (2006). *Evaluating the Time-Dependent Deformations and Bond Characteristics of a Self Consolidating Concrete Mix and the Implication for Pretensioned Bridge Applications*. PhD Thesis, Dep. of Civil Eng., College of Eng., Kansas State University, Manhattan, Kansas, 229p.

- Lura, P. ve Jensen, O. M. (2007). Measuring techniques for autogenous strain of cement paste. *Materials and Structures*, 40 (4), 431–440.
- Mokarem, D. W., Weyers, R. E. ve Lane, D. S. (2005). Development of a shrinkage performance specifications and prediction model analysis for supplemental cementitious material concrete mixtures. *Cem Concr Res*, 35 (5), 918-925.
- Pease, B. J. (2005). *The role of shrinkage reducing admixtures on shrinkage, stress development, and cracking*. MSc Thesis, Purdue University, May, 217p.
- Ramyar, K. (2000). *Dimensional Stability of Concrete. Lecture Notes*. Dokuz Eylul University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, unpublished.
- Zhang, J. ve Li, V. C. (2002). Monotonic and fatigue performance in bending of fiber-reinforced engineered cementitious composite in overlay system. *Cem Concr Res*, 32 (3), 415–423.