

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONUN UÇAK
PİST ÇABUK ONARIM (PÇO) MALZEMESİ
OLARAK KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI**

Serhat ARSLAN

Temmuz,2005
İZMİR

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONUN UÇAK PİST ÇABUK ONARIM (PÇO) MALZEMESİ OLARAK KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

Dokuz Eylül Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Malzemesi Anabilim Dalı

Serhat ARSLAN

Temmuz,2005

İZMİR

Yüksek Lisans Tezi Sınav Sonuç Formu

SERHAT ARSLAN, tarafından DOÇ. DR. İ. AKIN ALTUN yönetiminde hazırlanan “KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONUN UÇAK PİST ÇABUK ONARIMIN (PÇO) MALZEMESİ OLARAK KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Yönetici

Jüri Üyesi

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Cahit HELVACI

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Bu çalışma sırasında bana büyük yardım ve destekte bulunan yüksek lisans tez danışmanım Sayın hocam Doç. Dr. İ. Akın ALTUN'a, çalışmanın yürütülmesinde büyük yardımları olan Yapı Malzemesi Ana Bilim Dalı Öğretim Üyesi Sayın Yrd.Doç.Dr Selçuk TÜRKEK, D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi Ana Bilim Dalı Başkanı Sayın Prof.Dr. Bülent BARADAN'a, literatür araştırmaları , deneysel çalışmaların programlanması, yürütülmesi safhalarındaki yönlendirici ve bilgilendirici desteklerinden dolayı Araştırma Görevlisi Burak FELEKOĞLU'na, kullanılan malzemelerin temininde yardımlarından ötürü POMZA EXPORT A.Ş. ve DELSAN A.Ş. 'ye, deneysel çalışma sırasındaki yardımlarından ötürü İnş. Müh. Hilmi AYTAÇ'a, tüm Yapı Malzemesi Laboratuvarı çalışanlarına ve son olarak da, sonsuz destek ve sabrından dolayı eşim Elif'e teşekkür bir borç bilirim. O olmasaydı bu çalışma olmazdı.

Serhat ARSLAN

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONUN UÇAK PİST ÇABUK ONARIMIN (PÇO) MALZEMESİ OLARAK KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

ÖZ

Hava kuvvetleri yapısı gereği sabit tesislere ihtiyaç duymaktadır. Günümüzde meydana gelebilecek savaşlarda hava meydanları düşman kuvvetlerinin ilk hedefi olacaktır. Bu nedenle, meydanların bir taaruzdan sonra mümkün olan en kısa sürede tekrar faal hale getirilmesi gereklidir. Bunun için, günümüzde Türkiye ve diğer NATO ülkelerinde kullanılmakta olan pist çabuk onarımı yönteminin geliştirilmesi ilk başta düşünülebilir. Pist çabuk onarımını geliştirilmesi de; getirdiği avantajlar sayesinde iki bilinen malzemenin birleştirilmesiyle mümkün olacaktır. Bunların birincisi, bu yüzyılın başında bulunan, hızlı priz ve mukavemet kazanma özelliğinden dolayı kalsiyum aluminat çimentosu, ikincisi ise işçilikte büyük avantaj sağlayan kendiliğinden yerleşen betondur.

Bu araştırmada, kalsiyum aluminat çimento, bazalt ve silis agregası, priz hızlandırıcı olarak kalsiyum klorür, sodyum alüminat ve lityum karbonat, akışkanlaştırıcı olarak polikarboksilat bazlı kimyasal katkı kullanılarak erken dayanımı yüksek ve kendiliğinden yerleşebilen pist çabuk onarım malzemesi geliştirilmeye çalışılmıştır. Çalışma kapsamında geliştirilen malzemenin, taze hal özellikleri ile eğilme ve basınç dayanımı gibi mekanik özellikleri incelenmiştir.

Anahtar sözcükler: Kalsiyum alüminat çimentosu, kendiliğinden yerleşen beton, pist çabuk onarımı

INVESTIGATION OF THE USE OF SELF COMPACTING CONCRETE IN RAPID DAMAGE REPAIR OF AIRFIELD RUNWAY

ABSTRACT

Turkish Air Force needs stationery installations as a prerequisite of its foundation principles. Today, air-fields play crucial roles as being the first targets for enemy forces in any possible warfare. Due to that reason, it is vitally important for a country to manage re-operating its air-fields soon after an attack. To succeed this goal, “rapid repair of air-fields” method, which is widely used by Turkey and NATO alliances, can be regarded as a solution. In order to improve this method, a combination of two specific materials will prove to be quite an advantage. The first material that constitutes this advantageous combination is calcium aluminate cement (CA) that was discovered at the turn of this century. CA cement has the distinguishing characteristics of strength development at very early ages. The second material is Self Compacting Concrete which brings with itself great advantages in workmanship.

In this study, so to improve the material that is used in rapid repair of air-fields method, CA cement, basalt and quartz aggregates, calcium chloride, sodium aluminate, and lithium carbonate as accelerating admixture, as a superplasticizer polycarboxylate based superplasticizer used for develeping a combination that has self- compacting and high early strength properties. In the scope of this work, the mechanical characteristics, such as fresh state features and compressive and flexural strength of this newly designated material have also been examined.

Keywords: Calcium aluminate cement, self compacting concrete, rapid repair of air-fields

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	v

BÖLÜM BİR – GİRİŞ.....	1
-------------------------------	----------

BÖLÜM İKİ – PİST ÇABUK ONARIMI YÖNTEMİ.....	3
--	----------

2.1 Pist Çabuk Onarım Yöntemi Ve Malzeme Durumu.....	3
2.1.1 Pist Çabuk Onarım Malzeme Durumu.....	3
2.1.2 Pist Çabuk Onarım Yöntemi.....	4
2.1.2.1 Krater Çevresinin Temizlenmesi.....	4
2.1.2.2 Krater Çevresinin Süpürülmesi.....	5
2.1.2.3 Geotekstil Kullanımı.....	5
2.1.2.4 Krater Çevresinin İşaretlenmesi.....	5
2.1.2.5 Kratere Kaba Agreganın Doldurulması.....	6
2.1.2.6 Krater Çevresinin Kesilmesi.....	7
2.1.2.7 Kesilen Kısımların Temizlenmesi.....	7
2.1.2.8 Krater Kenarlarının Tesviyesi.....	8
2.1.2.9 İnce Agreganın Doldurulması ve Tesviye edilmesi.....	8
2.1.2.10 Beton Plakaların Taşınması ve Yerleştirilmesi.....	8
2.1.2.11 Krater Çevresinin Son Temizliği.....	9

BÖLÜM ÜÇ – KALSİYUM ALÜMİNAT ÇİMENTOLARI	11
3.1 Kalsiyum Aluminat Çimentosu Üretiminde Kullanılan Hammaddeler	12
3.1.1. Boksit	12
3.1.2. Alumina	13
3.1.3. Kireçtaşı (Kalker)	13
3.2 Hammaddenin Uygunluğunda Faktör Belirleme	13
3.2.1. Hammaddenin Silika İçeriği	13
3.2.2. Hammaddelerin Demiroksit, Titanya ve Magnezya İçeriği	14
3.3 Kalsiyum Aluminat Çimentosu Üretiminde Yöntemler	14
3.3.1. Füzyon Yöntemi	14
3.3.2. Sinterleme Yöntemi	15
3.4. Kalsiyum Aluminat Çimentolarının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	17
3.4.1. Renk	17
3.4.2. Özgül Ağırlık	17
3.4.3. Tane Boyutu	18
3.4.4. Gevşek Hacim Yoğunluğu	18
3.4.5. Gözeneklilik ve Geçirgenlik	18
3.4.5. Basınç Dayanımı	19
3.4.6. Çekme Mukavemeti	20
3.4.7. Kimyasal Kompozisyon	21
3.5. Faz Bileşenleri	23
3.6. Kalite Sınıflandırması	25
3.7. Hidratasyon ve Dayanım Gelişimi	26
3.8. Ticari Üreticiler	30
 BÖLÜM DÖRT – KİMYASAL KATKILAR	 36
4.1 Akışkanlaştırıcı Katkılar	39
4.2 Priz Hızlandırıcı Katkı Maddeleri	46
4.2.1 Priz Hızlandırıcı Katkı Maddelerinin Kompozisyonu	47

4.2.2. Priz Hızlandırıcı Katkıların Etki Mekanizması.....	49
BÖLÜM BEŞ – KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON	51
5.1 Dizayn ve Üretim Teknikleri.....	52
5.2 Kendiliğinden Yerleşen Betonun Reolojisi.....	53
5.3 Kendiliğinden Yerleşen Betonun Mekanik Özellikleri.....	66
5.3.1 Kendiliğinden Yerleşen Betonun Mekanik Özellikleri.....	67
5.3.2 Serbest Basınç Dayanımı.....	68
5.3.3 Erken Dayanım ve Basınç Dayanımı Kazanma Hızı.....	70
5.3.4 KYB ile Donatı ve KYB ile Geleneksel Beton Arasındaki Aderans.....	71
5.3.5 Çekme Dayanımı.....	71
5.3.6 Kuruma Büzülmesi, Termal Büzülme ve Sünme.....	72
5.3.7 Boşluk Yapısı.....	75
5.3.8 Gerilme Birim Şekil Değiştirme İlişkisi ve Elastisite Modülü.....	78
5.3.9 Geçirimlilik.....	79
5.4 Kullanım Alanları.....	80
BÖLÜM ALTI – DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	82
6.1 Amaç.....	82
6.2 Kapsam.....	82
6.3 Deney Programı.....	83
6.4 Kullanılan Malzemeler Ve Özellikleri.....	84
6.4.1 Çimento.....	84
6.4.2 Agregalar.....	85
6.4.3 Su.....	86
6.4.4 Katkı.....	86
6.5 Deney Örneklerinin Hazırlanması.....	87
6.6 Örneklerin Tabi Tutulduğu Deneyler.....	91
6.6.1 Yayılma deneyi.....	91
6.6.2 Eğilme ve Basınç Deneyleri.....	93

BÖLÜM YEDİ – DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME.....	94
BÖLÜM SEKİZ – SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	114
KAYNAKLAR.....	117

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Günümüzde olabilecek savaşlarda, hava alanları düşman kuvvetlerinin ilk hedefi durumundadır. Uçaklar tarafından kullanılan alanlar ve hayati destek veren tesislerin hasar görmesi, hava hareketini ciddi boyutta aksatmakta ve hatta durdurabilmektedir. Bu nedenle; hava alanlarının, bir taarruzdan sonra mümkün olan en kısa sürede yeniden faal hale getirilmesi zorunluluğu ortaya çıkmaktadır.

Harekat sonrası hasar gören pistlerin betonunun hızlı bir şekilde onarımında kullanılacak malzemelerinin , beton üretim tekniklerinin ve onarım yönteminin seçilmesi büyük önem taşımaktadır. Örneğin beton üretiminde hızlı dayanım kazanan bir çimentonun kullanılması ve beton üretim tekniğinde kendiliğinden yerleşen beton gibi işçilik faktörünü en aza indirecek bir yöntemin kullanılması onarım süresini oldukça kısaltacaktır.

Yüksek alüminli çimentolar (HAC) portland çimentosunun sülfat etkisi altında ayrışması problemini ortadan kaldırmak amacıyla ilk olarak Fransa’da üretilmiş ve ilk patent 1909 yılında Bied tarafından alınmıştır. Kalsiyum alüminli çimentolar (CAC) olarak da adlandırılan yüksek alüminli çimentolar, bünyelerinde kalsiyum alüminat (CA) ve CA'nın diğer fazlarını bulundurlar. Bu çimentolar boksit veya diğer alüminyum ve demir materyali ile birlikte silikaca fakir kalsiyumca zengin klinkere % 40 Al_2O_3 ile kireç vererek ısıtılma işlemiyle üretilir (Scrivener,K.L. 2001).

Alüminli çimentoların en önemli özelliği çabuk priz almalarıdır.Bu çimentolar mukavemetlerinin %80 ini ilk 24 saat içerisinde alır.Hatta ilk 8 saat içerisinde beton, servise girecek derecede mukavemet kazanabilir.Normal atmosfer koşullarında 1 günlük

mukavemeti, Portland çimentosunun 8 aylık mukavemetine eşdeğerdir. Bu çimentoların çabuk priz alması ve sertleşmesine paralel olarak hidrasyon ısı miktarı ve çıkış hızı da yüksektir (Neville, 1995).

Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB), kendi ağırlığı ile sık donatılı dar ve derin kesitlere yerleşebilen, iç veya dış vibrasyon gerektirmeksizin kendiliğinden sıkışabilen, bu özelliklerini sağlarken ayrışma ve terleme gibi problemler yaratmayarak kohezyonunu (stabilitesini) koruyabilen, çok akıcı kıvamlı özel bir beton türüdür (Felekoğlu, 2003). Klasik beton dizaynından farklı olarak kendiliğinden yerleşen betonda; kimyasal katkı, viskozite arttırıcı katkı ve çok miktarda inert veya puzolanik mineral katkının tümünün veya bir kısmının kullanılması ihtiyacı doğmaktadır (Billberg, 2002).

Bu araştırmada, kalsiyum alüminat çimento, bazalt ve silis agregası, priz hızlandırıcı olarak kalsiyum klorür, sodyum alüminat ve lityum karbonat, akışkanlaştırıcı olarak polikarboksilat bazlı kimyasal katkı kullanılarak erken dayanımı yüksek ve kendiliğinden yerleşebilen pist çabuk onarım malzemesi geliştirilmeye çalışılmıştır. Çalışma kapsamında geliştirilen malzemenin, taze hal özellikleri ile eğilme ve basınç dayanımı gibi mekanik özellikleri incelenmiştir.

BÖLÜM İKİ

PİST ÇABUK ONARIMI

Bir taarruzdan sonra meydanın yeniden faal hale getirilmesi için gerekli süreyi azaltmak amacıyla onarım işleri, uçakların belirlenen “Asgari Uçuş Şeridi “ ile dağılma sahaları arasındaki ulaşım için gerekli olan yüzeylerin onarımıyla başlamaktadır.

Yüksek kalitedeki onarımlar, düşük kalitedeki onarımlara nazaran daha fazla insan gücü, malzeme ve en önemlisi daha uzun bir süre gerektirmektedir. Az kaliteli onarımlar yaparak kaynaklardan ve zamandan önemli miktarda kazanç sağlanabilir. Bu amaçla; yani zamandan kazanç sağlamak ve uçakların bir an evvel harekate katılması için, PİST ÇABUK ONARIM (PÇO) yöntemleri geliştirilmiştir (Ürer, 2002).

Pist Çabuk Onarımı, Asgari Uçuş Şeridi üzerindeki kraterin ve krater kenarındaki deformasyonların onarımı gerektirir. Krater onarımı: genellikle kırık ve kabartıların sökülmesi, krater kenarlarının kesilmesi, temelin pekiştirilmesi, kaba dolgu malzemesi eklenmesi, uygun bir yüzeyle kaplanması ve nihai olarak yüzey üzerindeki birikinti ve kalıntıların süpürülmesi aşamalarıdır.

2.1 Pist Çabuk Onarım Yöntemi Ve Malzeme Durumu

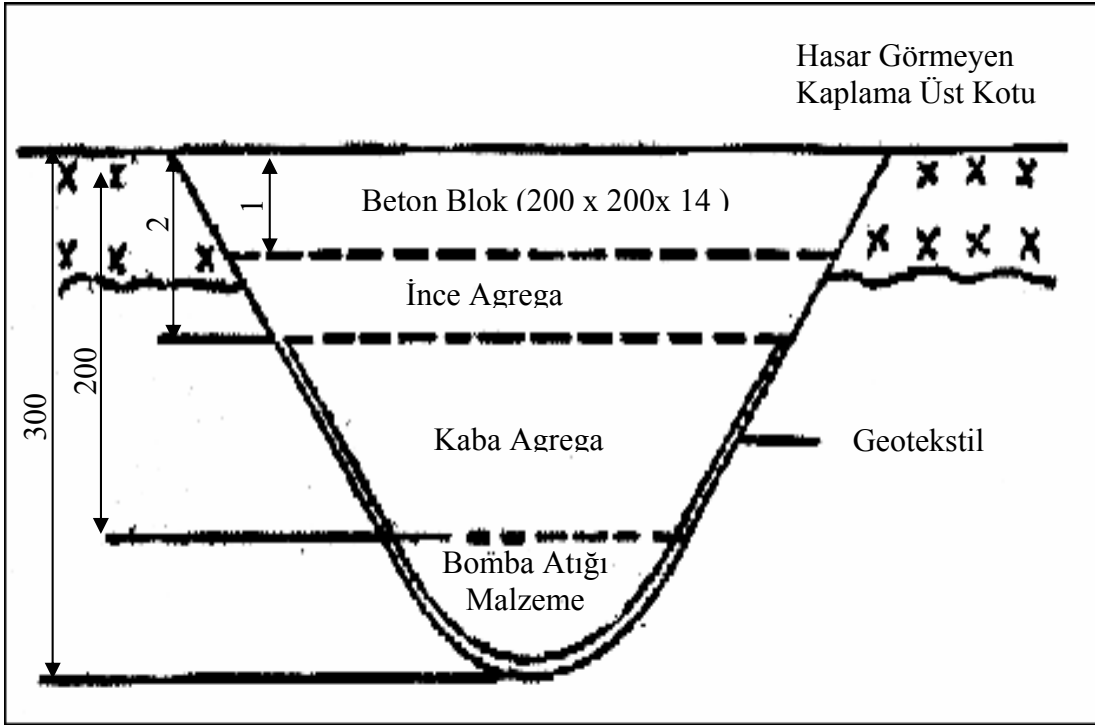
2.1.1 Pist Çabuk Onarım Malzeme Durumu

Malzeme durumu Şekil 2.1’de görüldüğü gibidir. Temel tabakasının üst kısmında kullanılan ince agreganın (6/16 mm.) limitleri içinde olması gerekir. En üste konan prefabrik beton bloklar ise 200 x 200 x 14 cm. ebadındadırlar (Şekil2.1) Temel tabasında kullanılan kaba agrega ise (40/60) mm. ebatlarındadır.

2.1.2 Pist Çabuk Onarım Yöntemi

2.1.2.1 Krater Çevresinin Temizlenmesi

Krater çevresindeki moloz ve bozuk kaplama, krater içindeki gerçek malzeme ve sıkıştırmayı engelleyecek büyük beton veya asfalt kaplama parçaları yönünden başlamalı ve molozları pistin her iki kenarındaki banketlere doğru nakletmelidir. Molozlar ve kaplama parçaları personelin, araçların ve mastarın hareketine izin verecek şekilde krater kenarından en az 10 m. uzağa toplanmalıdır. Krater içinde boşluk yaratarak sıkışmayı engelleyecek 40 cm. den büyük kaplama parçaları ekskavatör veya loderlerle dışarı alınmalıdır.



Şekil 2.1 pist çabuk onarım malzeme durumu

Beton blok yöntemiyle onarılacak 12 x 12 m boyutlu bir krater için :

- (1) 36 Adet prefabrik beton blok
- (2) 20 m³ ince agrega (6 – 16 mm)
- (3) 26 m³ kaba agrega (40 – 60 mm) kullanılacağı hesaplanmıştır.

2.1.2.2 Krater Çevresinin Süpürülmesi

Krater etrafındaki bozuk kaplamanın tetkiki, gerçek krater çapının tespiti ve mastarın hareketini kolaylaştırmak için krater çevresinin süpürülmesi gereklidir. Bu işlem süratle yapılarak, pist yüzeyinde kesilecek hatların işaretlenmesi ve kesme işleminin başlatılması sağlanır. Loderlerin krater çevresini temizlemesini müteakiben merdaneli süpürge görevine başlayacaktır. Zamandan tasarruf açısından temizleme, süpürme ve işaretleme görevlerinin bildirmeli olarak yapılmasına dikkat edilmelidir. Yağışlı havalarda zemine yapışan malzemeler kesik uçlu küreklerle temizlenmelidir.

2.1.2.3 Geotekstil Kullanımı

Kraterin çevresi ve içindeki moloz, sıkıştırmayı engelleyebilecek 40 cm den büyük kaplama parçalarının temizleme işlemleri sürerken tecrit amaçlı geotekstil malzeme krater kenarına getirilir. Geotekstil, takribi 100 m uzunluk ve 4,5 m genişlikte rulo olarak kullanıma hazır olmalıdır. Örneğin; görünen çapı 10 m olan bir kraterin tabanını kaplamak için her biri 15 m uzunluğunda 3 şerit geotekstil' e ihtiyaç vardır. Geotekstil kullanılarak krater kenarından kopma yolu ile krater içine dolacak veya krater içinde mevcut malzemenin dolgu malzemesi ile karışması önlenmiş olacaktır.

2.1.2.4 Krater Çevresinin İşaretlenmesi

Onarımda kullanılacak olan beton bloklar 2x2 m ebadında olduğundan krater çevresi 2 m' nin katlarına denk gelecek şekilde kare veya dikdörtgen olarak işaretlenir. İşaretlemede kolaylık açısından önce ana hat belirlenmeli ve her iki yöne doğru yapılacak işaretlemede, kesişme noktalarının 90°'lik açı yapmasına, 2 m ve katları şeklinde ölçüm yapılırken her iki baştan 5 cm lik bir tolerans açıklığı bırakılmasına dikkat edilmelidir. İşaretlemede 90°'lik bir gönyeden ve Pisagor Teoremi'nden istifade edilebilir. Ana hattın 2 m nin kaç katına tekabül ettiği ilk ölçümde belirlenmediğinden ona dik olarak her iki tarafa doğru yapılacak işaretlemelerin metrik olarak tespitini

müteakip her iki taraftan ona paralel hatlar çizilerek krater çevresinin işaretlemesi yapılır. Benzeri şekilde, önceden belirlenmiş iki dik kenarın karelerinin toplamının kareköküne tekabül eden ölçü (Hipotenüs) kadar açılacak bir şerit metre birinci köşeden diğer kenara kadar açılmış bir diğer şerit metre 2.nci köşeden tutularak çakışıkları nokta 3.ncü, bilahare 4.ncü köşeyi belirlemede kullanılabilir. Beton blok sayısı hesaplanabilir.

2.1.2.5 Kratere Kaba Agreganın Doldurulması

Damperli kamyonlarla taşınan kaba agrega (40/66 mm) krater çukuruna serilmiş geotekstil üzerine boşaltılırken ekskavatörün ters kepçesi veya loderle tesviye edilir. Doldurma işlemi sırasında pist yüzeyi ile kaba agreganın üst yüzeyi arasında bırakılması gerekli 29 cm lik mesafenin aşılmasına dikkat edilmelidir.(Şekil 2.2) 2 m den daha derin bomba kraterlerinde 2 m nin altını doldurmak için kraterden çıkan ve 45 cm den büyük parçalar ihtiva etmeyen artık malzeme kullanılabilir. Bu işlemler yapılırken krater etrafının işaretlenmesi ve kaplamanın kesilmesi işlemlerine başlanmalıdır. Yağışlı havalarda kesinlikle dolgu işlemi için kraterden çıkan eski malzeme kullanılmamalıdır.



Şekil 2.2 Kraterin kaba ve ince agregayla doldurulması

2.1.2.6 Krater Çevresinin Kesilmesi

İşaretleme sonucu tespit edilen hatlar beton kesme makinesi ile kesilir. Kesme süresi kaplamanın cinsine, kalınlığına ve bıçak çapına göre değişir. Bu sürat operatör tarafından ayarlanır. Kaplama kalınlığı fazla ise birden fazla geçiş yapmak suretiyle kesme işlemi yapılmalı ve döner bıçağın su ile soğutulmasına dikkat edilmelidir. Kesilen kenarlardaki büyük parçaları ayırmak için ekskavatörün ucuna takılan hidrolikle çalışan beton kırıcı kalemi kullanılır. İşlemin daha kısa sürede tamamlanabilmesi veya herhangi bir sebeple beton kesme makinesinin kullanılması halinde hidrolik ekskavatör ucuna takılacak kesici kalemle kesme işlemi yapılır. (Şekil 2.3)



Şekil 2.3 Krater etrafının kesilmesi

2.1.2.7 Kesilen Kısımların Temizlenmesi

Krater pist yüzeyinden 29 cm aşağısına kadar kaba agrega ile doldurulup tesviye edildikten sonra beton kesme makinesi ile kesilmiş kaplama loderle sökülerek krater

artıklarının yanına kaldırılır. Büyük parçalar ekskavatörün hidrolik çekici ile kırılır. Krater içine düşenler ekskavatörün ters kepçesi ile dışarı alınır. Büyük beton parçaların kırılması esnasında sağlam pist yüzeyinin bozulmamasına dikkat edilmelidir.

2.1.2.8 Krater Kenarlarının Tesviyesi

İş makinelerinin yapamayacağı köşe ve kenarlar tamir ekibi tarafından kabaca tesviye edilmelidir. Krater etrafından kesilip kaldırılan kısımların tesviyesinden sonra bu bölgelerde üst dolgu malzemesi (ince agrega 6/16 mm) için lüzumlu olan 15 cm lik derinliğin kontrol edilmesi gerekir.

2.1.2.9 İnce Agreganın Doldurulması ve Tesviye edilmesi

Krater çevresinin tesviyesinin yapılması sırasında üst dolgu malzemesi olarak kullanılan ince agrega (6/16 mm) damperli kamyonlarla getirilerek krater içine veya pist üzerine boşaltılır. Malzemenin kaba tesviyesi ekskavatör veya loderle yapılır. Hassas tesviye masterla yapılmalıdır. Masterın görev yapamayacağı yerlerde (köşe ve kenarlar) tesviye kürek vb. kullanılarak personelce yapılmalıdır. Masterla yapılan tesviye sırasında master bıçaklarının altında boşluk kalmamasına ve önünde biriken fazla malzemenin alınmasına dikkat edilmelidir. Tesviye sonunda dōşenecek beton plakalarla pist yüzeyinin aynı seviyede olmasını sağlamak için krater derinliğinin 14 cm olması gereklidir.

2.1.2.10 Beton Plakaların Taşınması ve Yerleştirilmesi

Beton plakaların taşınması esnasında, kaldırma kancalarının deliklerine rahatça takılıp çıkartılması için depolanırken plakalar arasına 2 x 5 cm ebadında çıtalar konulmalıdır. Kritik durumlarda plakalar treyler üzerinde sevke hazır bekletilmelidir. Krater keşfi ile birlikte onarım görevi başlar başlamaz loderler plakaları treylere yüklemeye başlar. Krater kenarına getirilen plakalar treyler üzerinde iken sapan takılan

iki adet loder plakaları 2 veya 3'er adet olarak tesviye edilmiş kratere yerleştirmeye başlanır.(Şekil 2.4) Plakalar yerleştirilirken her iki yöndeki derzler devamlı kontrol edilmeli ve derz aralarında ince agreganın boşluk yaratacak şekilde yığılması önlenmelidir. Plakaların yerleştirilmesi sırasında loderin fazla manevra yapmasını dolayısıyla zaman kaybını önlemek için manivela kullanılmalıdır.



Şekil 2.4 Beton plakaların krater üzerine yerleştirilmesi

2.1.2.11 Krater Çevresinin Son Temizliği

Onarım işi tamamlandıktan sonra krater ve çevresi merdaneli süpürge ve daha sonra vakumlu süpürge ile temizlenir.

Prefabrik beton blokla yapılan krater onarımında, yukarıda adım adım anlatılan tüm faaliyetlerin; Tablo2.1' deki zaman cetveline uygun olarak gerçekleştirilmesi esastır.

BÖLÜM 3

KALSIYUM ALUMİNAT ÇİMENTOSU

Kalsiyum aluminat çimentoları, yapılarında kalsiyum alüminat (CA) ve CA'nın diğer fazlarını bulunduran çimentolardır. Bu çimentolar kalsiyumca zengin, silikaca zayıf kireçtaşına, Al_2O_3 verilerek ısıtılarak işlem uygulanmasıyla üretilir. Kalsiyum aluminat çimentoları günümüzde, demirçelik, çimento, metalurji, madencilik, seramik sektörlerinde, kanalizasyon borularında, şöminelerde, çevresel uygulamalarda, yapı kimyasında, ısıya dirençli refrakter betonda ve gübreleme gibi alanlarda kullanılır. Kalsiyum aluminat çimentolarının yıllık üretimi Portland çimentosuna göre azdır ve daha pahalıdır. Ancak yukarıda bahsedilen alanlarda Portland çimentosunun performansı yetersiz olduğundan kalsiyum aluminat çimentosu tercih edilmektedir (Scrivener, K.L. 2001).

Kalsiyum aluminat çimentoları yüksek alüminalı çimento terimiyle de adlandırılır. Diğer Avrupa dillerinde örneğin Fransa'da "Ciment Alumineux" İspanya'da "Cemento Aluminoso" diye adlandırılır. İngilizce konuşulan ülkelerde hidrolik çimento nesilleri "Aluminous Cement", "High Alumina Cement (HAC)" veya "Calcium Aluminate (AC)" diye adlandırılır. Ana bileşeni genellikle mono-kalsiyum aluminatdır ($CaO - Al_2O_3$). "Aluminous Cement" terimi belki en popüler olmuştur ve diğer dillerde de kullanılır. Fransa'da "Ciment Alumineux", Almanya'da "Tonerdezement", İtalya'da "Cemento Aluminoso", Hollanda'da "Aluminium Cement", Çekoslovakya'da "Hlinitanovy Cement" ve Rusya'da "Cement Glinozemisty" gibi adlandırmalarda yapılır. Tamamen serbest olmamasına rağmen "HAC (High Alumina Cement)" İngiltere'de tercih edilen isimdir. Amerika'da "CAC (Calcium Aluminate Cement)" olarak temsil edilmektedir (Robson, T. D. 1962).

3.1 Kalsiyum Aluminat Çimentosu Üretiminde Kullanılan Hammaddeler

Tablo 3.1’de kalsiyum aluminat çimentosu üretiminde kullanılan hammaddelerin kimyasal bileşenleri verilmiştir. (Chakraborty, I.N. & Chattopadhyay, A.K. 2000)

Tablo.3.1 Hammaddelerin Tipik Kimyasal Analizleri [% Ağırlıkça]

Yüzde Analizi	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	TiO ₂	Kızdırma
Bayer Alumina	64	0,1	-	0,07	-	0,25	-	36
Kalsine Alumina	99,4	0,2	-	0,1	-	0,4	-	Eser
Fransız Boksiti	45-55	3,5-6	0,5-3	20-25	-	-	2,5-3,5	11,5-12,5
Yunan Boksiti	50-58	2-3,5	0,5-3	25-30	-	-	2,5-3,5	11-12,5
Yugoslav Boksiti	50-55	2-3	0,5-3	20-25	-	-	2,5-3,5	18-20
Karışık Boksit	56,1	3,5	-	14,1	-	-	2,4	23,9
Hidratlanmış Kireç	-	1,5-8	67-68	-	0,8	-	-	17-18
Kireçtaşı	0,7-0,8	0,2-0,3	54-55	-	0,6-07	-	-	42-44

3.1.1. Boksit

Boksit, diaspore (Al₂O₃.H₂O), olan kayadır. Böhmit ve hidrojilit (Al(OH)₃) minerallerinin bir karışımıdır. Boksit, ayrıca silis, demir-oksitler ve TiO₂ içerir. Rengi kirli beyazdan griye kadar değişir, demir miktarına bağlı olarak boksitin rengi sarı, kahverengi ve kırmızı da olabilir. Sertliği 1,3, özgül ağırlığı 2,5-3,5 arasındadır. Aynı kimyasal formülde olmalarına rağmen diaspore ve böhmit, kristal yapısı bakımından

farklılık gösterirler. Demir tenörü belirli bir sınırı aşan boksitlere laterit adı verilmektedir. Boksitin kalitesini etkileyen yan bileşenler, esas itibariyle silis, demir, kalsiyum ve titandan ibarettir. Ayrıca mineral olarak bakıldığında klorit, halloysit, allofan gibi mineraller de boksitlerin bileşimine girebilmektedir (Öney, N. 1999).

3.1.2. Alumina

Aluminyum hidroksitlerin ısıtılmasında oluşan fazların genel adı alumina olup 1000°C' nin altındakilere aktifleştirilmiş alumina ($Al_2O_3 \cdot n H_2O$), 1150°C'nin üzerinde ısıtılma görmüş olanlarına kalsine edilmiş α -alumina (korundum), 1000-1150°C arasındaki ısıtılma görmüş olanlar Na_2O içeriyorsa β -alumina olarak isimlendirilmektedir. Kalsine edilmiş α - aluminadan belirli işlemler uygulanarak kesme (tabular) alumina ve erimiş (fused) alumina elde edilmektedir (Madono, M. 1998).

3.1.3. Kireçtaşı (Kalker)

Kireçtaşı esas olarak kalsit minerallerinden oluşan ve en az %90 $CaCO_3$ içeren sedimenter kayadır. Kalkerin kendisi veya başka bir materyalin içinde olup olmadığı, hidroklorik veya diğer bir kuvvetli asit ile araştırılır.



Çıkan CO_2 maddeye damlatıldığı yerde kabarcıklanma ve köpürmeye yol açar. Böylece kalker varlığı anlaşılır (Robson, T.D, 1962).

3.2. Hammaddenin Uygunluğunda Faktör Belirleme

3.2.1. Hammaddenin Silika İçeriği

Yüksek dayanıklılık kapasitesine sahip kalsiyum aluminat çimentosu elde etmek için kırmızı boksit oranı klinker için yeteri kadar yüksek olmalı fakat SiO_2 %6'dan fazla olmamalıdır. Aynı sebepten kireç taşının silika içeriği %1'i aşmamalıdır. Kullanılan

yakıtın külündeki silika içeriği de düşük olmalıdır. Elektrik ocağında eritmek için benzin veya gaz yakıtı kullanmak klinkerde düşük düzeyde silika elde etmede yararlı olabilir (Robson, T.D, 1962).

3.2.2. Hammaddelerin Demiroksit, Titanya ve Magnezya İçeriği

Boksitlerin demiroksit içeriği silika içeriğinden daha az önemlidir. Kalsiyum aluminat çimentosu klinkerlerinin gelişiminde az bir katkıda bulunur. Bununla birlikte füzyonla üretimde yararlı ve sürekli değişen bir madde olarak davranır. Çimentonun oluşumunu düzenlemede yardımcı olur. Fakat boksitteki alümina/demiroksit oranı metalik demirin çıkarılmasıyla, aşırı derecede düşük olmamalıdır. Düşük demir içerikli veya beyaz boksitler kalsiyum aluminat çimentosu üretiminde “klinkerleşme” ve “sinterleme” işlemleri için son derece uygundur. Bir çok boksit %3 civarında titanoksit içerir. Fakat bazı boksitler (örneğin Hindistan boksiti) daha yüksek miktarda titanoksit içerir. Klinkerdeki titanoksit bileşiği hareketsizliğe neden olduğundan bir üst limit vardır. Kireçtaşı istenilen miktardan fazla olursa klinkerde, mukavemeti olumsuz etkileyebilir. %1’den fazla magnezya bulunmamalıdır. Yüksek silika içeren, sinterlenmiş çimentoların dayanımında magnezya oranı %1 ile %3 arasında olduğu zaman hızlı bir azalma olduğu belirlenmiştir(Robson, T.D, 1962).

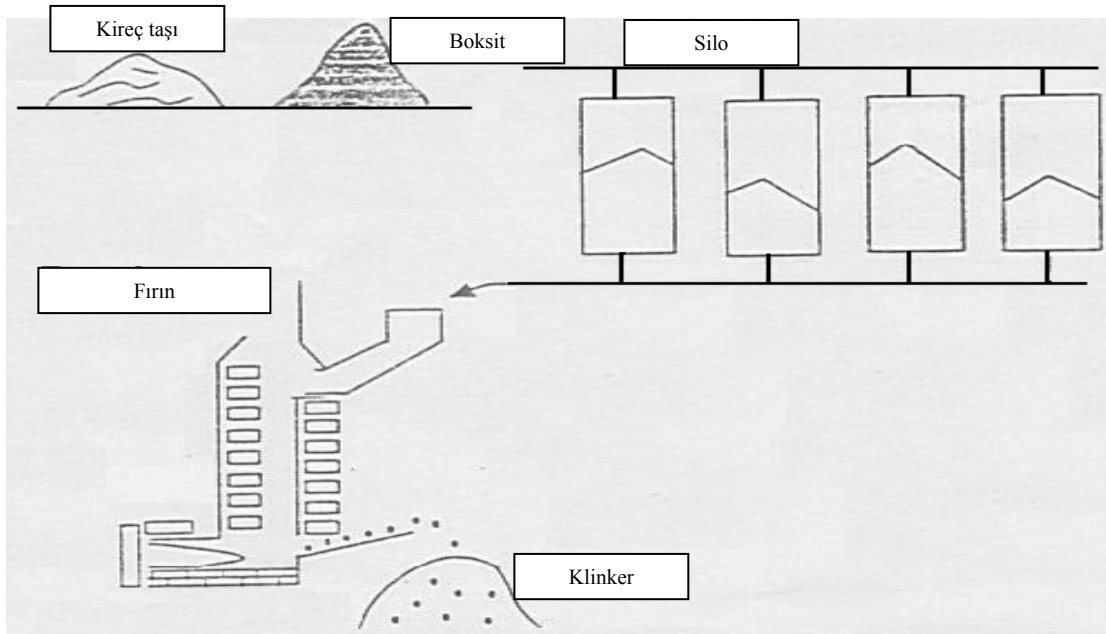
3.3 Kalsiyum Aluminat Çimentosu Üretiminde Yöntemler

Günümüzde Kalsiyum aluminat çimentosu üretiminde sinterleme ve füzyon metodu olmak üzere iki yöntem kullanılmaktadır.

3.3.1 Füzyon Yöntemi

Füzyon prosesinde, Şekil 3.1’de görüldüğü gibi (M. O’Driscoll, 2000) kireçtaşı ve boksitin uygun oranlardaki karışımı L-şekilli fırının üst bölümünden beslenilmesi ile gerçekleştirilir. Fırın içerisine verilen gazların yakılmasıyla ön ısıtma işlemi ile kalsine edilen hammaddeler daha sonra fırın yatay kısmına erimiş olarak akarlar ve burada

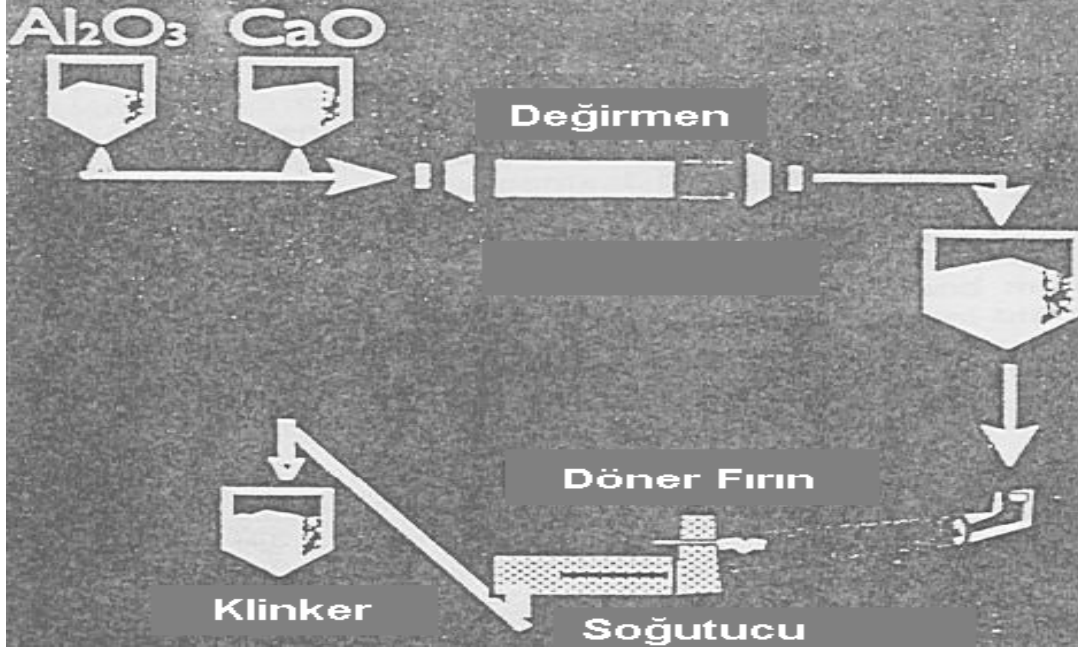
karışarak homojenize olurlar. Daha sonra eriyen hammadde karışımları bir konveyör sistemi yardımıyla sürekli olarak fırından dışarı alınarak kalsiyum alüminat klinkeri şeklinde soğutulur. Soğutma sonrasında şekilsiz parçalar haline gelen klinker ilk olarak kaba parçalara, daha sonrada bilyalı değirmenlerde istenilen inceliğe kadar öğütülür. Klinkerin öğütülmesi esnasında herhangi bir düzenleyici katkı klinkere ilave edilmemektedir. Sonuçta bu yöntemle, kalsiyum alüminat çimentosu klinkeri istenilen kalitede temiz hammaddeler temin edildikleri taktirde füzyon yöntemiyle kolayca üretilmektedir. (O' Driscoll, M. 2000).



Şekil 3.1. Füzyon Metoduyla Kalsiyum Alüminat Çimentosu Üretimi

3.3.2. Sinterleme Yöntemi

Kalsiyum alüminat çimentosu üretiminde kullanılan diğer yöntem ise sinterleme prosesidir. Şekil 3.2'de görüldüğü gibi (O'Driscoll, M. 2000) bu yöntemde, alümina ve kireç uygun karışım oranlarında harmanlanarak, bilyalı değirmende sinterleme verimini artırabilmek amacıyla arzu edilen inceliğe kadar birlikte öğütülmekte ve bir ara stok oluşturduktan sonra döner fırında sinterleme sonucunda üretilmektedir.



Şekil 3.2. Sinterleme Metoduyla Kalsiyum Aluminat Çimentosu Üretimi

Kalsiyum alüminat çimentolarının üretim prosesleri sonucunda bünyelerinde oluşturulan ana fazlar olan kalsiyum-aluminat fazlarının istenilen miktar ve kalitede oluşturulabilmesi için hammadde olarak CaO ve Al₂O₃ içeren temiz hammaddelerin kullanılma zorunluluğu vardır. Kalsiyum alüminat çimentolarında temel bileşenler, Portland çimentolarına benzerdir. Bu bileşenler kireç, silika, alumina ve demiroksittir. Fakat, kimyasal bileşenlerin oranı Portland çimentosu klinkerinden oldukça farklıdır. Bu farklılık hammaddeleri oluşturan kireçtaşı/boksit oranına bağlıdır. Portland çimentosu klinkerinde temel rolü kalsiyum silikatlar oynarken kalsiyum aluminat çimentosu klinkerinde temel rolü refrakter özellikleri ile dayanım özelliklerini geliştiren boksit oynamaktadır. Ancak, yukarıda verilen hammaddelerin sağlandığı hammadde kaynakları ve hammadde seçimi gerçekten üreticinin arzusuna ve üreteceği kalsiyum aluminat çimentosu klinkerinin kalitesine bağlıdır. Bu nedenle kaliteli kalsiyum aluminat çimentosu klinkerinin üretimi döner fırında kalsine prosesi geçirmiş kalsine alumina ve yüksek saflıktaki kireçtaşı ile sağlanabilir.

Dünyada hammadde açısından oldukça zayıf veya hammadde temin edilecek bölgelere uzak olan ülkeler, kalsiyum aluminat çimentosu klinkerlerini, sağlayabildikleri kadar yüksek kaliteli malzemelerden üretmeye çalışırlar. Örneğin ülkelerinde olmadığından düşük kalitede boksit kullanarak , yüksek miktarda demir içeren kalsiyum aluminat çimentosu klinker üretimi yapan birkaç şirket hammaddeyi Yunanistan'dan satın alırlar. Bu şirketler kalsiyum aluminat çimentosu klinkeri üretmek için gerekli olan kalsine üreten düşük kalitede demir de içeren materyalleri Çin'den alırlar. Aynı zamanda yüksek silika oranı olduğundan (%2 den daha fazla) kalsiyum aluminat çimentosu klinkeri gehlenit mineralinin varlığından dolayı refrakterlik özelliği azalır. Diğer hammadde kireçtaşı, düşük miktarda demir ve silika içermeli ve diğer safsızlıkları çok az olmalıdır. Hırvatistan'dan tedarik edilen kireç taşının kimyasal yapısı şöyledir:

CaO %55.1, MgO %0.11, SiO₂ %0.12, Al₂O₃ %0.10, Fe₂O₃ %0.06, Kızdırma Kaybı %43.8 (O'Driscoll, M. 2000).

3.4. Kalsiyum Aluminat Çimentolarının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

3.4.1. Renk

Dünya pazarlarında bulunan farklı kalsiyum aluminat çimentosu renkleri, imalat süreci, ya da hammadde olarak kullanılan boksitin cinsine göre büyük oranda değişiklik gösterir. Çimento tozunun rengini belirleyen başlıca faktörler arasında, var olan demir bileşenlerinin oksidasyonu ve miktarı vardır. Portland çimentosuna benzer olarak düşük demir çimentolarının rengi açıktır fakat büyük oranda demir oksit içerenlerin rengi oldukça koyudur. Diğer yandan hemen hemen bütün demirler kahverengi ya da paslı bir renk verirler. Kalsiyum aluminat çimentosunun rengi ve mukavemet özellikleri arasında bir ilişki yoktur (Robson, T.D, 1962).

3.4.2. Özgül Ağırlık

Çeşitli kalsiyum aluminat çimentolarının özgül ağırlığı 3 ile yaklaşık 3,25 arasında değişebilir. Demir bileşimlilerin özgül ağırlığı 3,7 - 4 gibidir, fakat alumina ve silisler

için ortalama 3 'ün altındadır. Bu nedenle bu çimentolarının özgül ağırlığı, demir içeriğiyle artar. Alman kalsiyum aluminat çimentosunun özgül ağırlığı 2,9 - 3 civarındadır. Ortalama demir içeriğine sahip Amerikan çimentosunda yaklaşık 3,1, Yugoslav, İspanyol, Fransız ve İngiliz çimentolarında ise genelde 3,2 - 3,2 civarındadır. Portland çimentolarının özgül ağırlıkları ise 2,9 – 3,2 arasındadır (Robson, T.D, 1962, Lamour V.H.R., 2001).

3.4.3 Tane Boyutu

Kalsiyum aluminat çimentosuların tane boyutunu inceltmek için Portland çimentosundan daha fazla enerji gereklidir. Ancak yinede, bu çimentoların tane boyutu modern Portland çimentosuyla çok büyük farklılıklar göstermemektedir. Piyasadaki standart kalsiyum aluminat çimentolarının standart sınıfları 2200 – 4500 cm²/g özgül yüzey alanına sahiptir (Robson, T.D, 1962, George C.M, 1990).

3.4.4 Gevşek Hacim Yoğunluğu

Sıkışma ve titreşim olmadan kalsiyum aluminat çimentosu bir ölçeğe seyrek şekilde doldurulduğu zaman, 40 cm³'ünün ağırlığı 30-39 kg civarındadır. Ancak ölçeğe sıkıştırılınca 40 cm³ için 54 kg olarak belirlenmiştir (Robson, T.D, 1962).

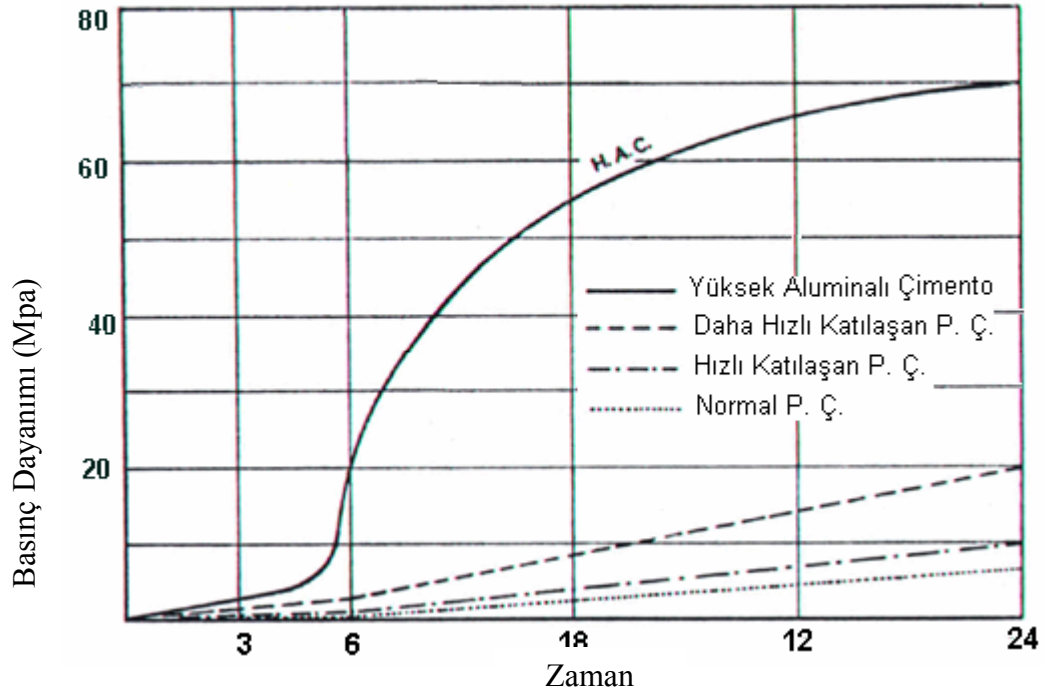
3.4.5 Gözeneklilik ve Geçirgenlik

Gözeneklilik oranının geleneksel yolla belirlenebilmesi için, yüzeyin kuru olduğu durumda ve bütün suyu aldığı zamanki beton ya da harcın hacmini bilmek gerekir. Geçirgenlik bir sıvının harç ya da beton arasından akış oranı ile ölçülür. Gözenekli bir yapı çok geçirgendir ancak yinede gözeneklerin yapısı ve dağılımı önemli rol oynar. Araştırmalar sonucunda su altında bir ay kalan betonun geçirgenliğinin düştüğü görülmüştür. Suyun beton yüzeyle temas halinde olması çok önemli değildir fakat sızan

su zamanla, önceden kalsiyum-silis yada kalsiyum aluminat olarak birleşen betondan ayrılmasına sebep olur. Bu şekilde sızma esnasında kalsiyum aluminat çimentosunun çözünürlüğü Portland çimentosundan daha fazladır (Robson, T.D., 1962 & Gouda R.G., Idorn G. M. 1975).

3.4.5. Basınç Dayanımı

Yüksek beton mukavemeti gerektiğinde öncelikle kalsiyum aluminat çimentosu kullanılır ve başka özel ya da zengin karışım kullanılmadan başarı elde edilebilir. Düşük su oranlı çimentoyla, bütün amaçlar için hazırlanmış betonlarda en iyi mukavemet 12 – 24 saat arasında elde edilir. Şekil 3.3 de (Robson, T.D., 1962) düşük silisli kalsiyum aluminat çimentosu, normal Portland çimentosu, hızlı katılaşı Portland çimentosu ve daha da hızlı katılaşı Portland çimentolarının basınç mukavemeti artışları karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.3 Kalsiyum Aluminat Çimentosunun Basınç Dayanımı Karşılaştırılması

Tablo 3.2’te fırın tipine göre kalsiyum aluminat çimentolarının tipik özellikleri verilmiştir. Bu araştırmaya göre döner fırında üretilen kalsiyum aluminat çimentosunun basınç mukavemeti, dikey fırında üretilene göre daha iyidir (Chakraborty, I.N. & Chattopadhyay, A.K., 2000)

Tablo 3.2. Fırın Tipine Göre Kalsiyum Aluminat Çimentolarının Tipik Özellikleri

	Dikey Fırın Üretimi	Döner Fırın Üretimi
Al_2O_3	49 – 50	49 – 50
SiO_2	5 – 6	5 – 6
Fe_2O_3	3-4,5	3-4,5
TiO_2	5-6	5-6
CaO	32-33	32-33
Priz Başlangıcı [dakika]	10	30-60
Priz Sonu [dakika]	20	180-220
Basınç Mukavemeti [MPa]		
1 gün sonra	35	45
3 gün sonra	44	55
Oluşan Fazlar	$CA, C_2AS, C_{12}A_7$	CA, C_2AS
Özgül Yüzey Alanı (Blaine)	200-2500	3200-3500

3.4.6. Çekme Mukavemeti

Portland çimentosu ve kalsiyum aluminat çimentosu ile üretilmiş betonun çekme mukavemeti nemli ortamda bir süre kaldığı zaman bozulurlar. Fakat bu durum kalsiyum aluminat çimentosu’ da daha çok görülmüştür. Kalsiyum aluminat çimentosunun çekme

mukavemetindeki düşüşünün suda, havadakine göre daha fazla olduğunu belirtilmiştir. Kalsiyum aluminat çimentosunun çekme mukavemeti harç ve betonlarda hızla sıkıştırıcı bir kuvvet şeklinde gelişir, ve bu ilk zamanlarda benzer portland çimento karışımındakinden daha da fazladır. Ancak portland çimentosunun harç ve betonlarının çekme mukavemeti daha da uzun bir zaman zarfında artmaya devam eder ve daha sonraki aşamalarda kalsiyum aluminat çimentosunun numunelerine eşit ve hatta ondan daha fazla hale gelir (Robson, T.D., 1962).

3.4.7. Kimyasal Kompozisyon

Çimento üretiminde, hammaddelerin sinterlenmesi sırasında yüksek sıcaklığın etkisiyle aluminanın kireç ile birleşmesi sonucu aşağıda formülleri verilen dört tür aluminat oluşmaktadır (Baradan, B., 1998).

$3\text{CaO} \cdot 5\text{Al}_2\text{O}_3$ (C_3A_5) Trikalsiyum penta aluminat

$\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (CA) Kalsiyum aluminat

$5\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$ (C_5A_3) Pentakalsiyum trialuminat

$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (C_3A) Trikalsiyum aluminat

Silisin kireçle birleşmesi sonucu oluşan kalsiyum silikatların kimyasal formülleri aşağıda verilmiştir (Baradan, B., 1998).

$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_3S) Trikalsiyum silikat

$2\text{CaO} \cdot 3\text{SiO}_2$ (C_2S) Dikalsiyum silikat

$\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (CS) Kalsiyum silikat

$3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$ (C_3S_2) Trikalsiyum disilikat

Kalsiyum aluminat çimentosu üretim aşamasında bileşimdeki oksit oranlarını belirlemek amacıyla pek çok araştırma yapılmıştır. Örneğin, Berl ve Löblein şu şekilde bir teori sunmuşlardır (Altun A., 2001, Robson, T.D., 1962);

Löblein;

% 0-12 SiO₂ , %45-70 Al₂O₃ , %28-47 CaO

Berl;

%5-10 SiO₂ , %35-55 Al₂O₃ , CaO %35-45 , %5-15 Fe₂O₃ , %1-3TiO₂

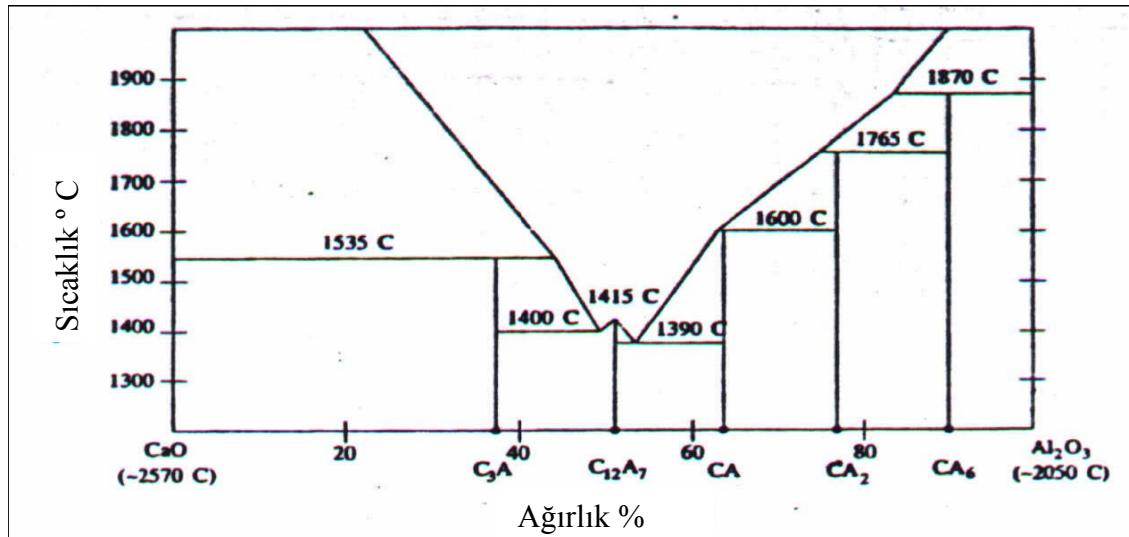
Richter ise SiO₂ ve Fe₂O₃ 'ün %6'yı geçmemesi sonucuna varmıştır (Robson, T.D. 1962).

Kimyasal açıdan kalsiyum aluminat çimentosunun bileşimini oluşturan öğelerin hesaplanmasında tam doğru ve de uygun bir yol bulunamamıştır. Eğer kalsiyum aluminat çimentosunu oluşturan elementler Portland çimentosuyla eşdeğer bir doğrulukta hesaplanacaksa, kimyasal kompozisyondaki demir bileşimleri hakkında daha çok bilgi gerekmektedir. Kalsiyum aluminat çimentosu üreticileri, bir kısmı teoriye bir kısmı da deneye dayanan metotlarla, hammaddeyi oranlar ve üretimi gerçekleştirirler. Pratikte % 5' ten daha az silis içeren kalsiyum aluminat çimentosular, % 60 CA, % 10 C₂S ve az miktarda da C₂AS içerebilir. Daha yüksek oranlarda silis içeren çimentolar, %15-25 C₂AS içerebilir ve genelde C₂S, üçlü CA-C₂AS-C₂S sisteminde bulunur. Bu çimentoların cam içerikleri büyük oranda değişiklik gösterir. Genelde Alman, Amerikan ve İspanyol ürünü olanlar en yüksek camsı faz oranına sahipken (%20 ye kadar çıkabilir) Yugoslavya , Fransa ve İngiltere çimentoları %5-10 içerir. Çeşitli kimyasal kompozisyonların bileşimleri, X ışınları ile ya da çimentonun küçük bir parçasının mikroskobik incelenmesiyle belirlenir. CA' nın bileşimini gösteren çözeltiler (dağlayıcılar) arasında kaynamış su, sodyum karbonat, potasyum-bromat, sıcak suda seyrelmiş sodyum hidroksit vardır. Sodyum floritin soğuk sudaki çözeltisi bu bileşime renk verir. C₂S' de alkolik nitrik asit de bulunabilir ve hidroflorik asit buharıyla renklendirilir. C₂AS sulandırılmış sodyum floritle ve sodyum fosfatın kaynamış suyla karışımı ile renklendirilir. Bu bileşeni daha gözle görülür kılmak için amonyum klorit kullanılır (Robson, T.D., 1962).

Kalsiyum alüminat çimentolarının standart sınıflarında yaklaşık olarak aynı miktarda kalsiyum ve alüminyum oksit (ağırlıkça % 36-42), % 20'nin üzerinde demir oksitler ve az miktarda silika vardır. Ayrıca % 2' nin üzerinde TiO_2 , % 2 dolaylarında erimez madde, genellikle % 1 veya daha az miktar MgO ve ağırlıkça % 5'ten daha az miktarda sülfat veya sülfat içerirler (Chakraborty, I.N. & Chattopadhyay, A.K., 2000).

3.5 Faz Bileşenleri

Bütün kalsiyum alüminat çimentoları ana faz olarak % 40'tan daha fazla monokalsiyum alüminat ($CaAl_2O_4$ -CA) içerir. Beyaz kalsiyum alüminat çimentoları çok düşük demir oksitli konsantrasyon SiO_2 ve diğer bileşikleri içerir, Şekil 2.4' de, CaO - Al_2O_3 sistemi görülmektedir (Chatterjee, A.K., 2000).



Şekil 3.4. $CaO - Al_2O_3$ Faz Diyagramı

Kalsiyum alüminat çimentolarındaki önemli fazlar şunlardır; CA, CA_2 , $C_{12}A_7$, C_3A_5 , C_2AS , C_6A_4S , C_4AF . Trikalsiyum alüminat (C_3A), kalsiyum alüminat çimentoların normal bileşeni değildir. (Robson, T.D., 1962).

Monokalsiyum alüminat (CA) fazı, monoklinik yapıya sahiptir. Endüstriyel çimento içinde katı eriyik olarak bulunur. Genellikle uygun ölçüde demirli saf bileşime sahip olduğundan, daha yüksek reaktivlik gösterir. Bu faz çimentonun hızlı dayanım kazanmasına neden olur. (Robson, T.D., 1962 & Baradan, B., 1998).

CA₂ fazı hakkında uzun süre hiçbir yorum yapılmamıştır. İlk olarak Rankin ve Wright bu fazda erime sıcaklığını 1720 °C olarak bulmuşlardır. Ancak daha sonra Tavasci 1789 °C' civarında olduğunu gösterdi (Chakraborty, I.N. & Chattopadhyay, A.K., 2000).

C₁₂A₇ fazı, kalsiyum alüminat çimentolarında oldukça düşük yüzdelerde bulunan bir fazdır. C₁₂A₇ uzun zaman C₅A₃ olarak yanlış isimlendirilmiştir. Bu faz, kübik yapıdadır ve sık sık mikroskopik kesitlerde üçgen morfolojiye sahiptir. Bu faz oldukça hızlı prizlenir fakat dayanım üzerinde bir katkısı yoktur. C₁₂A₇ nin daha büyük yüzde miktarlarının CA' nın yavaş prizlenme davranışları üzerinde çok büyük etkisi vardır. (Chatterjee, A.K., 2000).

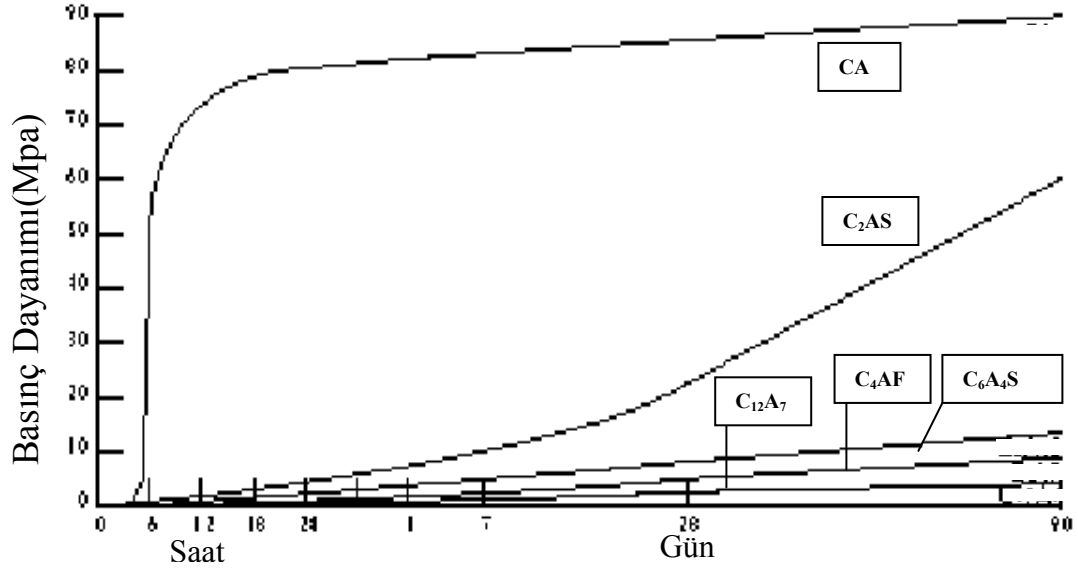
C₃A₅ fazı, çimentonun yavaş yavaş fakat sürekli dayanım kazanmasına neden olmaktadır (Baradan, B., 1998).

C₂AS (Gehlenit) fazı, oldukça düşük yüzde miktarlarında oluşur. Bu fazın oluşum miktarı hammadde bünyesinde bulunan SiO₂ oranının % 2'yi geçmesi halinde söz konusudur. Priz süresi yavaştır ve yalnızca belirli bir periyottan sonra dayanım üzerinde rol oynar (Chatterjee, A.K., 2000).

C₆A₄S (Pleochrite) oldukça küçük yüzdelerde oluşur. Prizlenmesi oldukça yavaştır ve oldukça nadir olarak dayanıma katkı sağlar (Chatterjee, A.K., 2000).

C₄AF, CAC klinkeri içerisindeki ikinci en önemli fazdır. Buna rağmen prizlenme ve basınç dayanımı üzerine bir etkisi yoktur (Chatterjee, A.K., 2000).

Şekil 3.5 de ise bu fazlardan bazılarının dayanıma katkıları gözükmektedir.
(Scrivener, K.L.,1999)



Şekil 3.5. Farklı Klinker Fazlarının Dayanım Gelişimine Katkıları

3.6. Kalite Sınıflandırması

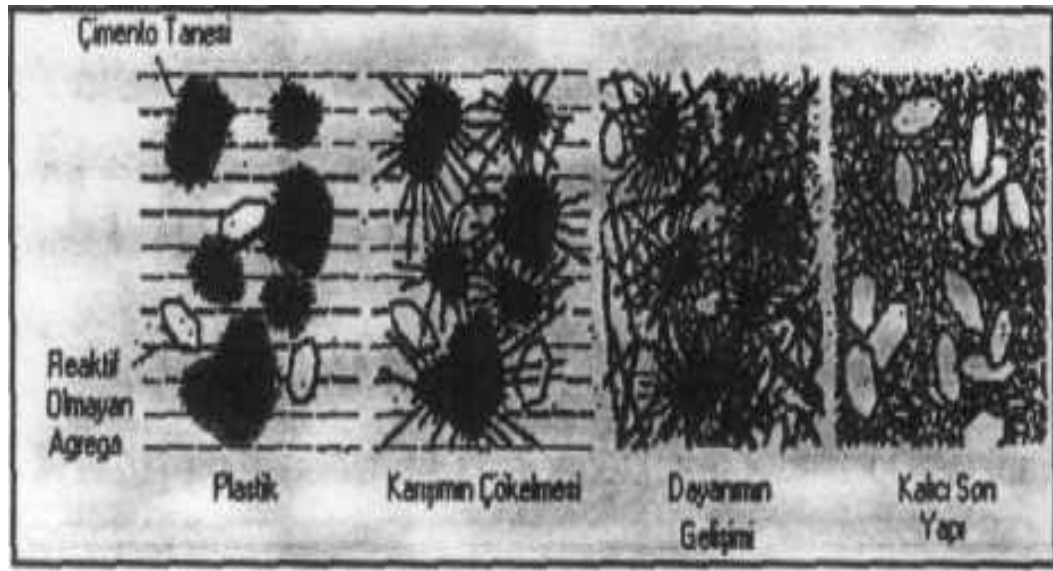
Yüksek alüminat çimentolarının özellikleri alumina içeriklerine göre belirlenmektedir. Ayrıca kullanılan hammaddelerin (alumina-kireçtaşı veya boksit-kireçtaşı) silika ve demir içerikleri çok önemlidir. Tablo 3.3’de klinker kalitesine göre kalsiyum alüminat çimentosuların kimyasal kompozisyonları verilmiştir. (O’Driscoll, M. 2000).

Tablo 3.3. Klinker Kalitesine Göre Kimyasal Kompozisyon [% ağırlıkça]

Tip	Sınıf	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Renk
YAÇ40	Düşük	37-42	36-40	11-17	3-8	Koyu gri
YAÇ50	Orta	49-52	39-42	1-1.5	5-8	Açık gri
YAÇ70-80	yüksek	68-80	17-20	0-0.5	0-0.5	Beyaz

3.7 Hidratasyon ve Dayanım Gelişimi

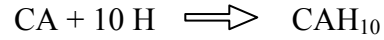
CA çimentolarında mineral fazların aktif hidratasyonu CaO içeriğine bağlıdır ve hidratasyon üç aşamada gerçekleşir. Çimento ve su birlikte karıştırıldığında ilk aşamada, sulu karışım içerisinde Ca^{++} ve $Al(OH)^{-4}$ iyonları çözünür, ilk katılaşma başlar. Bu süreçte açığa çıkan ısı miktarı çok azdır. Katılaşma hızı ise CA fazlarının miktarı tarafından kontrol edilir. CA miktarı ne kadar fazlaysa katılaşma o derecede hızlı gerçekleşir. İkinci aşama doygunluk aşamasıdır. Bu süreç, ilk aşamanın devamını teşkil eden 2 ya da 3 saatlik bir süreyi kapsayan uyuklama periyodudur. Üçüncü ve son aşama, ikinci aşamayı takip eden 24 saatlik zaman diliminde kalsiyum alüminat hidratların floküle hale gelerek çökeldiği kalıcı hale gelme aşamasıdır. Bu aşamada suyun hemen hemen tamamı reaksiyona girer. (Şekil 3.6) Ekzotermik reaksiyonlar bu süreçte başlar ve çok kısa sürede önemli miktarda ısı açığa çıkar. Bu aşamada artık çimento çalışılabilirliği tamamen azalır (Scrivener, L.K., 1999).



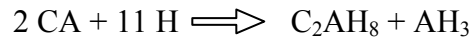
Şekil 3.6.Kalsiyum alüminat çimentosunun hidratasyon gelişimi

Su ile reaksiyon sonucu oluşan hidratasyon formları sıcaklığa bağlı olarak aşağıda gösterilmiştir.

$$T < 20^{\circ} \text{C}$$



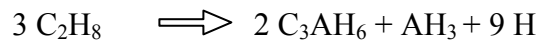
$$20^{\circ} < T < 60^{\circ} \text{C}$$



$$T > 60^{\circ} \text{C}$$



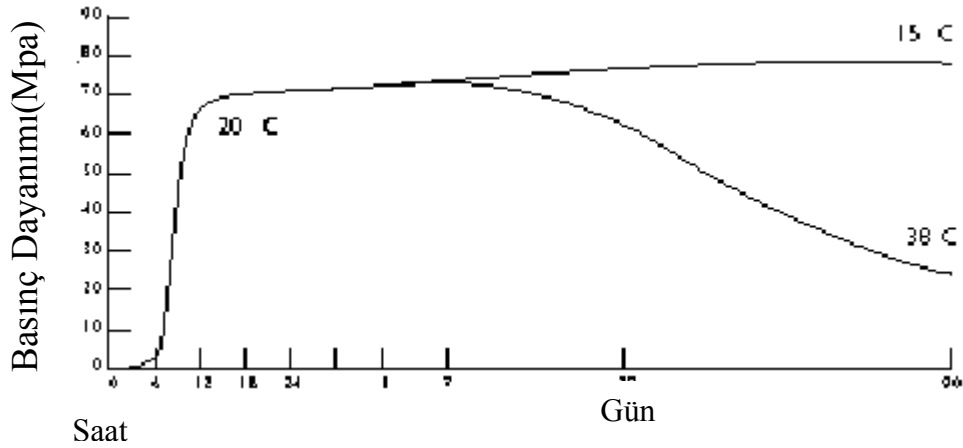
Oldukça güçlü ve yoğun bir katı matrix oluşumuna sebep olan hidratasyon ürünlerinin önemli bir bölümü 24 saat içerisinde oluşur. Ancak sıcaklık 20°C nin üzerindeyken monokalsiyum alüminat hidratlar(CAH_{10} ve C_2AH_8) kararlı durumda değildirler ve C_3AH_6 ya dönüşürler.



Sıcaklık ne kadar fazla olursa dönüşüm de o derece hızlı olur. Bu bileşiklerin, dönüşüm esnasında ortaya çıkardıkları su betonun iç yapısında önemli boşluklar meydana getirir ve dayanımın düşmesine neden olur.

C_3AH_6 , kalsiyum alüminat çimentosundaki fazların en yoğunudur ve hidrasyon derecesine bağlı olarak yüksek poroziteye sebep olur. Fakat C_3AH_6 oluşurken açığa su çıkar ve bu su hidrasyonunu devamı için önemlidir. (Scrivener, L.K., 1999).

Hidrasyon çok hızlı geliştiği için yüksek dayanım çok kısa bir süre içinde kazanılır, özellikle 3 ila 9 saat içerisinde önemli mertebede dayanım artışı gözlenir. 1 saatte 30 MPa, 9 saatte ise 45 MPa kadar dayanım elde etmek mümkündür. Ancak daha önce de belirtildiği gibi sıcaklık $20^\circ C$ nin üzerine çıktığında dayanımda düşüşler yaşanır. Sıcaklık bu seviyenin altında ise dayanım artışı devam eder. Özellikle $38^\circ C$ nin üzerinde dayanım çok hızlı bir şekilde azalır. (Şekil 3.7) Uygulamalarda bu durum mutlaka göz önüne alınmalıdır.

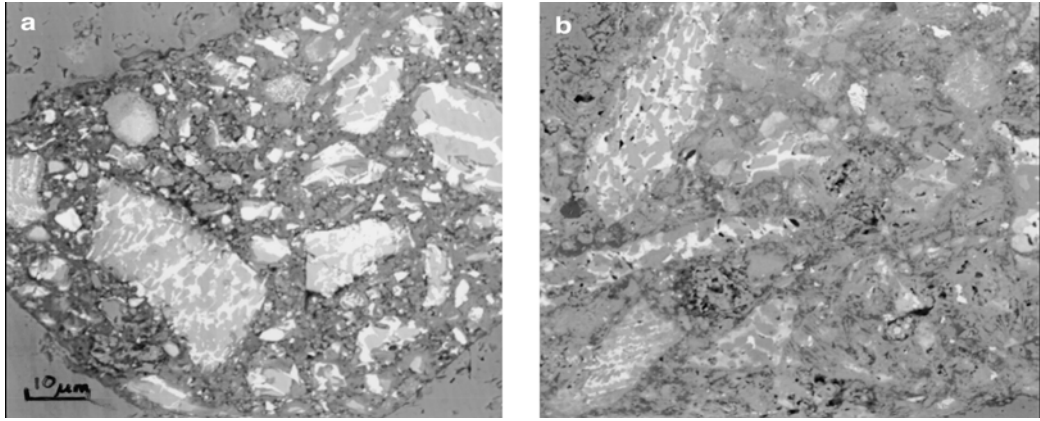


Şekil 3.7. Sıcaklığın dayanım gelişimine etkisi

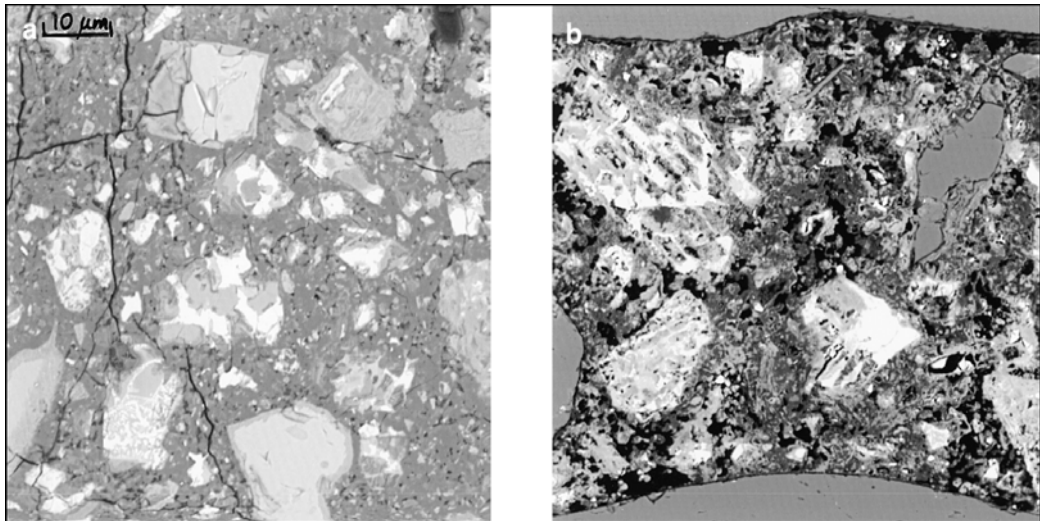
Hızlı hidrasyon reaksiyonu oluşmasından dolayı hidrasyonun erken dönemlerinde büyük ısı ortaya çıkacaktır. Yaklaşık 10 cm. lik kesitte kür sırasında $70^\circ C$

den fazla sıcaklık ortaya çıkabilmektedir. Bu reaksiyonların bir anda olması nedeniyle dayanım gelişim devam etmektedir. (Scrivener, L.K., 1999).

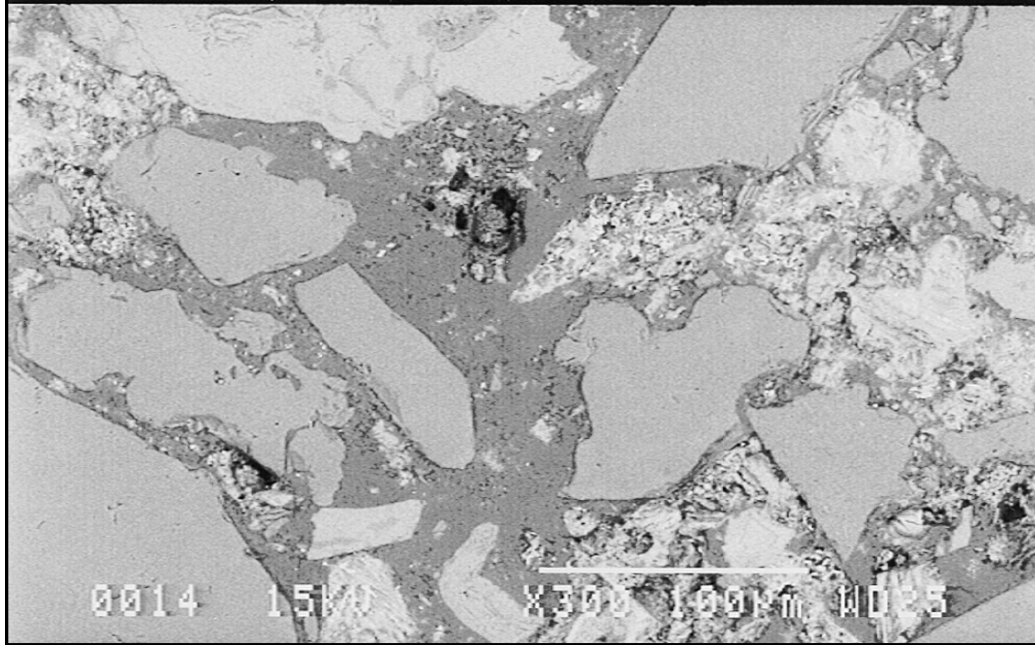
Su, çimento oranının etkisi ise şekil 3.8,3.9,3.10 da açıkça görülmektedir. 20 ° C deki hidratasyonda, su/ çimento oranları 0,3 ile 0,7 arasında olanlarda düşük poroziteye sahip yoğun bir mikroyapı mevcuttur. Ancak, 70 ° C deki hidratasyonda 0,4 su/ çimento oranına sahip olanlarda yoğun bir mikro yapı, su/ çimento oranları 0,7 olanlarda ise büyük boşluklu zayıf bir mikroyapı mevcuttur (D. Sorrentino, 1995, Scrivener, L.K., 1999,).



Şekil 3.8. su/çimento oranı 0,4 olan 7 gün (a) 20 ° C ve (b) 70 ° kürlenmiş örneklerin mikro yapıları



Şekil 3.9. su/çimento oranı 0,7 olan 7 gün (a) 20 ° C ve (b) 70 ° kürlenmiş örneklerin mikro yapıları



Şekil 3.10. Kalsiyum alüminat çimentosuyla yapılmış 30 yıllık kanalizasyon yapısının mikro yapısı

3.8. Ticari Üreticiler

İngiltere’de üretilen kalsiyum aluminat çimentosu için ticari marka “Ciment Fondu”dur. Ciment Fondu sadece bir kısım ürünün üretiminde değil, bütün kalsiyum aluminat çimentosunda temsilen kullanılır. Ancak diğer ülkelerde “Cemento Fundido” veya “Schmelzement” gibi isimler de kullanılmaktadır. Şu anda dünyada kalsiyum aluminat çimentoların ticari olarak, Amerika’da “Cumnite”, Almanya’da “Rolandshütte”, Yugoslavya’da “Istrabrend”, Macaristan ve Çekoslovakya’da da “Citadur”, İspanya’da “Fundido Electroland”, İskandinav ülkelerinde “All-cement Lafarge”, Fransa’da “Fondu Lafarge”, İngiltere’de “Lightning” ve “Ciment Fondu” isimleriyle, Rusya’da, İtalya’da ve Japonya’da da benzer isimlerle üretilmektedir. Türkiye’de ise bir çok sektörde tüketilmesine rağmen, sadece Çimsa tarafından üretilmektedir. (Robson, T. D. 1962).

Lafarge

Lafarge firması İngiltere’ de 5, Fransa’ da 3, Amerika’ da 1 ve Çin’ de de 2001 yılında hizmete girmiş tesisleriyle sinterleme ve füzyon metotlarıyla kalsiyum aluminat çimentosu üretimi yapan dünyanın en büyük kuruluşlarından biridir. Bu tesislere ek olarak Lafarge, Brezilya’ daki San Concalo, Rio De Jenerio ve Güney Afrika’ daki Richards Bay öğütme tesislerini de işletmektedir. Lafarge Firması Fransa’ da füzyon metodu ile Secar 41 ve Secar 51’ i sinterleme yolu ile Secar 71 ve Secar 60’ı, Amerika ve İngiltere’ de ise Secar 80’i üretmektedir. Bu ürünlerin üretilmesinde temel hammadde boksit ve kireçtaşıdır, ancak Secar 60 boksit ve kireçle sinterlenerek, Secar 70 ise saf alumina ve kireç sinterlenerek üretilmektedir (www.lafarge.com).

Alcoa

Alcoa firması alüminalı çimento ile birlikte kimyasal malzeme üretimi de yapmaktadır. Hollanda ve Amerika’ da bulunan iki tesisinde sinterleme projesiyle % 70 ve % 80 alümina içerikli kalsiyum aluminat çimentosu üretmektedir. Üretim kapasitesinin Hollanda’ da 50.000 ton/yıl Amerika da ise 40.000 ton/yıl dır. Üretilen ürünlerin tamamına yakını refrakter endüstrisinde tüketilmekle birlikte az bir kısım da yapı endüstrisinde kullanılmaktadır.

Alcoa firmasının kullandığı hammaddeler düşük kirlilik içeren kalsine edilmiş alümina ile yerel kaynaklardan sağladığı yüksek saflıktaki kireçtaşlarıdır. Bu hammaddeler döner fırınlarda sinterlenerek kalsiyum aluminat çimentosu klinkerine dönüştürülür. % 70 alümina içeren kalsiyum alüminat çimentosu tipini CA-14 ve CA-270 olarak (düşük ve süper incelikli çimento tipleri) piyasaya sunmuştur. CA-14 adıyla piyasaya sunduğu çimento tipi ise kendi arasında kış, orta ve yaz olmak üzere üç tipe ayrılır. Bu ayrım kalsiyum aluminat çimentosu tipinin iklim koşullarında performansını simgeler. CA-270 ise % 70 alümina içeren tipini ikincil jenerasyonu olarak tanımlanabilir. Bunun nedeni ise bu tipin oldukça düşük su içeriğiyle oldukça akışkan olabilmesi ve yüksek basınç dayanımına kısa sürede erişebilmesidir. %80 alümina

içerikli kalsiyum aluminat çimentosu ise piyasaya CA-25R ve CA-25C olarak sunulur. Bu iki %80 alümina içerikli kalsiyum aluminat çimentosu tamamen refrakter sanayiinde kullanılır. Bu tiplerin özelliği ise refrakter sanayii için orta sayılabilecek sıcaklıkta çok erken yüksek dayanımlara ulaşabilmesi ve hızlı bir şekilde prizlenmesidir.

Alcoa, firması son olarak 1999’ da CA-280 adında yeni bir CA çimentosu tipi geliştirmiştir. Bu tipin özelliği ise son derece yüksek dirençli, çok düşük su ile işlem yapabilen, yüksek saflığa sahip ve diğer % 80 alümina içerikli tipin aksine herhangi bir organik katkı içermeyen bir CA çimentosu tipi olmasıdır (www.alumina.alcoa.com).

Heidelberg Zement (HZ)

Heidelberg Çimento Şirketi 1990’ların sonuna kadar iki alt şirketiyle (Hindistan’da; Buffington’da Portland Çimento Şirketi ve Hırvatistan’da; Pula’da Cement International) kalsiyum aluminat çimentosu ürettiyordu. Fakat Hindistan’ daki firma 1988’de kapandı ve HZ’nin bütün üretimi Pula’da merkezlendi. 2000 yılının ilk aylarından bu yana HZ’in satış organizasyonu “Heidelberg Calcium Aluminates” ismiyle yapılmaktadır. Gemi taşıyıcılığına çok uygun Istra yarımadasında 1926 yılında Istra adlı bir firma kuruldu ve kalsiyum aluminat çimentosu üretimi için iki fırınıyla üretime başladı. 1928’de bunu 3 tanesi daha takip etti. 1938’de daha gelişmiş 4 fırın yapılmıştır. Her ocağın kapasitesi 40 ton/yıl’dır. Üretim II. Dünya Savaşı’ndan sonra 1958’de yıllık 130.000 ton/yıl üretimle (bütün çimento tipleri için) tekrar başladı. 1977’de beyaz çimento üretimi için bir ocak yapıldı. 1993’te HZ Istra’ nın hisselerinin %25’ini satın aldı 1996’da hisseleri %50.1 oldu. 1997’de beyaz çimento üretimi durduruldu ve bu yerleşimin aktiviteleri kalsiyum aluminat çimentosu üretimine odaklandı. 25 Mayıs 2000’de HZ Istra hisselerini %92.5’e kadar yükseltti. Şu anki üretimi 80-90.000 ton/yıl olmasına rağmen üretim kapasitesi yaklaşık 120.000 ton/yıl’dır. Istra; Istra40 ve Istra50 kalsiyum aluminat çimentosu, Refcon ve Lumnite, kalsiyum aluminat çimentosu diye adlandırılan ara malı (%58.5 Alcoa) üretir (www.hzag.com, www.heidelbergcement.com).

Cementos Molins (CM)

İspanya'da Barselona'da Cementos Molins SA of San Umcene dels Horts, Joaquin Molins Figueres tarafından 1928'de kurulmuştur. Şirket kireç ve çimento üretimine devam etmesine rağmen işletmenin odaklanması Lafarge'ın patentiyile olan Electroland diye adlandırılan kalsiyum aluminat çimentosu üretmektedir. İlk olarak 1929 ve 1930 yılında iki dikey fırın yapılmıştır. 1943'te Portland çimento üretimi için de 1 döner fırın yapılmıştır. 1955-1965 yıllarında CM özellikle Electroland kalsiyum aluminat çimentosu üretimi için olan fırınlarının sayısını 3'ten 6'ya yükseltmiştir. Günümüzde kalsiyum aluminat çimentosu toplam üretim kapasitesi 40.000 ton/yıl ve Portland çimento üretim kapasitesi ise 1.63 milyon ton/yıl'dur. CM tipik olarak %41 alumina içeren kireçtaşı ve boksitten elde edilen Electroland üretir. Aluminite olarak adlandırılan diğer ürünü Kalsiyum aluminat çimentosu'yu ısıya dayanıklı bir şekilde geliştirilmiştir. %45 Al_2O_3 içermektedir ve yaklaşık 1000 °C'ye kadar dayanıklı olabileceği belirtilmiştir (www.hasle-refractories.com, O'Driscoll, M. 2000).

China Great Wall

CGWAC şirketi 1982 yılında Zhengzhou Alüminyum fabrikası Zhengzhou hafif metal araştırmaları enstitüsü ve iştiraki olan Zhengzhou Alüminyum Maden şirketinin birleşmesiyle üretim ve araştırma kompleksi olarak Henan eyaletinde kurulmuştur. %45-85 Al_2O_3 derecelerinde değişen 120.000 ton/yıl kalsiyum aluminat çimentosu ve 450.000 ton/yıl portland çimento üretme kapasitesine sahiptir. Şirket yurtiçi kalsiyum aluminat çimentosu üretimini %40 oranında gerçekleştirmektedir. 10 ülkeye İspanya yoluyla ihracat yapmaktadır (www.china-alum.com, www.gwaccp.com).

Denka Japonya

1956'dan beri Denki Kagaku Kogyo Kabushiki Kaisha Kimyasal Ürünleri Bölümü Omata ve Fukuoka'da kalsiyum aluminat çimentosu üretmektedir. Denka Japan Firması'nın ürettiği kalsiyum aluminat çimentosu No1(Al_2O_3 %54-57) ve No2(%49), High(%73-80) ve Super(%79-80) olarak sınıflandırılmaktadır. (www.denka.on.arena.ne.jp, www.showroom.tpage.com/list.jsp).

Elfusa Brezilya

Elfusa Geralde Elet Rofu Sau Ltda. Sao Paulo'da kurulmuştur. Toplam 120.000 ton/yıl füzyon kapasitesiyle belki kahverengi, beyaz ve pembe eritilmiş; alumina mullite ve spinel olarak bilinen eritilmiş mineral ürünleri arasında en tanınmışıdır. Bununla birlikte Elfusa EL-60, EL-61, EL-70 ve EL-81 oranlarında 8000 ton/yıl kalsiyum aluminat çimentosuda üretmektedir (www.ceramicaindustrial.org.br).

Gorka Polonya

Gorka S.A. şirketi Polonya'nın güneyinde Krakov'un batısında 40km uzaklıkta Trzebinia'da kurulmuştur. 1912'de üretimine başladı yerleşimi çimento hammaddesine ve kömüre yakındı. Gorka, anonim şirket olan Bank Praemslowy'nin koruyuculuğu altında kurulmuştur.

Gorka 100.000 ton/yıl kapasitesiyle üç çeşit çimento üretmektedir. Gorkal 40, 1300 °C ısıya kadar dayanıklı refrakter yığınlarında betonlarda yarı tamamlanmış ürünlerde endüstriyel yapılarda bağlayıcı ve harcın yapımında ve tamir işlerinde kullanır. Gorkal 50 1300- 1450°C'ye kadar dayanıklı olup refrakter betonlarını hazırlamada yığınların yalıtımında bir değişken olarak kullanır. Gorkal 70 ise 1700°C'ye kadar dayanıklı olup harç, beton ve refrakter yapımında kullanılır.

1999'un sonunda 2000'in başında Gorka'nın kalsiyum aluminat çimentosu üretim Gorka- Cement SP'nin kontrolü altına girdi. Eylül 2000'de bir İtalyan zambak yapımı ve

kimyasal şirketi olarak Mapei SpA Gorka Cement' in tamamını satın almıştır (www.gorka.com.pl)

Union Corp. G.Kore

G.Kore kimyasal endüstrilerinin bir iştiraki olan Union şirketi 1964'te kurulmuştur ve özel çimentoda yurtiçi lideri olmuştur. Union beyaz Portland çimento gibi kiremit zamlı çimentosu ve beyaz eritilmiş alumina kadar iyi kalsiyum alüminat çimentosu üretmektedir. (O'Driscoll, M. 2000).

CRS Aluminates - G. Afrika

1998 yılı sonunda G.Afrika'da kuzeybatı bölgesinde Brits yakınlarında kiralanmış platinyum tasfiye fırını kompleksi ile CRS Alüminaları kalsiyum alüminat çimentosu üretimine başlamıştır. Tasfiye fırını kompleksi Barplats yatırımlar şirketinden kiralanmıştır. Yerel kireçtaşlarını ve ithal kalsine alumina ya da boksit kullanarak CRS kalsiyum alüminat çimentoları olan CRS 51, 21 ve 80'i geliştirmiştir. 1999'un ortalarında CRS üretimini %25 arttırmaya ve çıktılarının %80'ini yurtdışı piyasalarında satmayı hedefledi. Fakat son hesaplamalar CRS'nin ürünlerinin Avrupa'da veya başka bir yerde hemen hemen hiçbir Pazar büyümesi olmadığını gösterdi. Hatta önceleri naftalin üreten Crocodile River Mine 2000'in başında yeniden açılan tasfiye kompleksinin sahibi olan Barplats kiralama sözleşmesini iptal etti ve kalsiyum alüminat çimentolarının bütün üretimi bitmiştir (O'Driscoll, M. 2000).

BÖLÜM DÖRT

KİMYASAL KATKILAR

Kimyasal katkıları; akışkanlaştırıcı, viskozite arttırıcı, hava sürükleyici ve priz kontrol edici olmak üzere dört ana grupta toplanabilir.

Beton katkı maddeleri, taze ve sertleşmiş betonun bir çok özelliklerinde olumlu değişiklikler sağlamaktadır. Ancak katkı maddelerinin kullanımında bazı hususların bilincinde olmak çok önem taşımaktadır. Bunlar aşağıda sıralanmaktadır. (Erdoğan,T., 2003)

1. Katkı maddesi kötü bir beton karışımını veya kötü bir uygulamanın neden olduğu eksiklikleri gidermeye yeterli değildir. Katkı maddesi, beton karışımında yer alan malzeme türlerinin ve miktarların doğru seçilmiş olmasından veya betona uygulanacak taşıma, yerleştirme,sıkıştırma, kür gibi işlemlerin uygun tarzda yapılmamış olmasından kaynaklanan eksiklikleri ortadan kaldırmamaktadır.
2. Katkı maddesi, Standardlar da belirtilmiş olan değerlere uygun olmalıdır.Türk standartları, ASTM ve diğer ülke standartları, katkı maddesinin kullanılması durumunda beton performansında yer alması gereken değişikliklere dair bazı sınır değerler vermektedir. Katkı maddelerinin kullanılması halinde, standartlarda belirlenmiş olan performansın elde edilip edilemeyeceği, katkı maddesinin kabul veya reddedilir olması deneylerle araştırılmalıdır.
3. Katkı maddesi hakkında üretici firma tarafından belirtilmiş olan hükümlere dikkat edilmelidir. Bunlar;

- a. Katkı maddesinin, beton performansı üzerindeki ana etkisi
 - b. Katkı maddesinin, beton performansına yararlı ve zararlı yan etkileri
 - c. Katkı maddesinin fiziksel özellikleri ve içerdği aktif maddenin konsantrasyonu
 - d. Katkı maddesinin içerisinde betonda potansiyel hasar yaratabilecek klorür, şeker, sülfid gibi maddelerin bulunup bulunmadığı
 - e. Katkı maddesinin kullanılması gereken dozajı ve bu dozun altında ve üstünde kullanılması durumunda beton özelliklerine etkisi
 - f. Katkı maddesinin, etkisini kaybetmeden ne kadar , nasıl ve ne kadar süreyle saklanabileceğidir.
4. Katkı maddesinin ne dozda kullanılması gerektiğine dair üretici tarafından belirtilen değer, şantiyedeki malzemelerle ve şantiye koşullarında yapılacak betonlar üzerinde denenmeli, üreticinin belirtmiş olduğu değerın yeterli olup olmadığı kontrol edilmelidir.
5. Katkı maddesi betonun birden çok özelliğini etkileyebilmektedir. Katkı maddesi betonunun belirli bir özelliğini etkilemek üzere kullanıma sunulmaktadır. Ancak, aynı katkı maddesi, bu ana amacın dışında bazı beton özelliklerini de yararlı ve zararlı olarak etkileyebilmektedir. Bu nedenle, özellikle, betona zararlı olabilecek yan etkilerin bilinmesi gerekmektedir.
6. Katkı maddesinin betona katılmasına dair güvenilir bir yöntem belirlenmelidir. Hava sürükleyici katkı maddeleri gibi bazı katkı maddeleri çok az miktarda kullanılmaktadır. O nedenle katkı maddesinin ne miktarda ve nasıl bir yöntemle betona katılacağı önemli olmaktadır.
7. Katkı maddesinin etkisi, betonun içerisinde yer alacak malzemenin tipine ve miktarına göre değişiklik gösterebilmektedir. Katkı maddesinin beton performansına yapacağı etki şu faktörlere bağlıdır.

- a. Çimentonun kompozisyonu,
 - b. Agregada gradasyonu ve agreganın zararlı madde içerip içermediği,
 - c. Beton karışımındaki malzeme oranı,
 - d. Bir başka katkı maddesinin beton içerisinde ayrıca yer alıp almadığı,
 - e. Betonun karılma süresi,
 - f. Katkı maddesinin beton içerisine katılmasında takip edilen yöntem,
 - g. Betonun sıcaklığı ve kür koşulları
8. Katkı maddesi kullanımında, beton özelliklerinde sağlanacak iyileştirme, beton kullanımında elde edilecek kolaylık ve betonunu ekonomikliğı gibi faktörler göz önünde tutularak bir arada çok iyi değerlendirilmelidir.

Kimyasal katkı kullanımının sağladığı yararlar şu şekilde sıralanabilir:
(ACI 212 komitesi)

- 1. Betonun işlenebilirliğini, su içeriğini arttırmadan arttırmak,
- 2. Terleme ve ayrışmayı azaltmak,
- 3. Priz süresini ayarlamak,
- 4. Dayanım kazanma hızını erken yaşlarda arttırmak,
- 5. Hidratasyon ısısı artışını yavaşlatmak,

6. Yıpratıcı dış koşullara karşı dayanıklılığı arttırmak.

Bu bölümde akışkanlaştırıcı katkıları , bu katkıların kendiliğinden yerleşen beton özelliklerine etkileri ve priz hızlandırıcı katkıları hakkında bilgi verilecektir.

4.1 Akışkanlaştırıcı Katkılar

Kendiliğinden yerleşebilirlik özelliği için yüksek deformasyon yeteneği ve ayrılmaya karşı yüksek direnç gibi birbirinin tersi iki koşul bir arada sağlanmalıdır. Bu da ancak etkili bir akışkanlaştırıcı kimyasal kullanımıyla mümkün olabilir. Akışkanlaştırıcılardan beklenenler; su kesmede ve akışkanlık sağlamada etkinlik, istenen sürede akışkanlığını koruma ve diğer kimyasal katkılarıyla uyumluluk olarak üç grupta toplanabilir (Felekoğlu, 2003). Ramachandran ve Malhotra (1984)'ya göre akışkanlaştırıcılar üç amaç için kullanılabilirler;

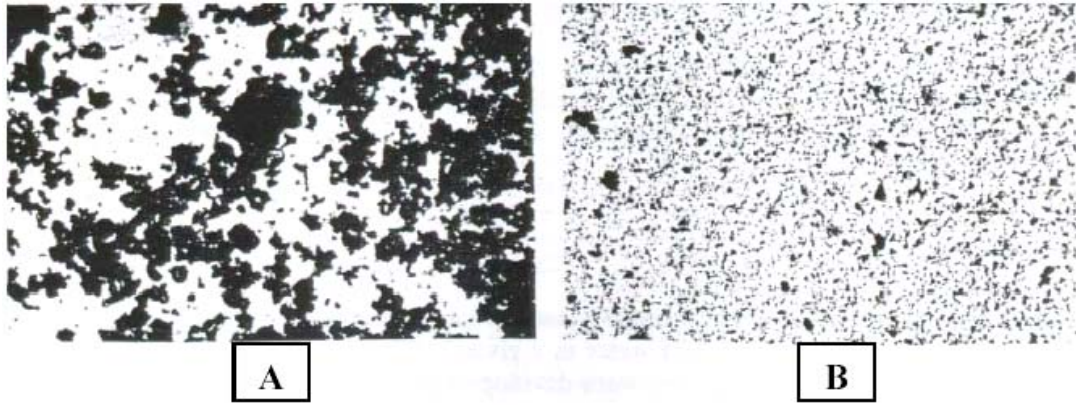
1. Katkısız kontrol betonu ile aynı çimento dozajı ve işlenebilirliğe sahip, düşük su/çimento oranı ile beton üretiminde su kesme amaçlı olarak kullanılabilirler. Böylece betonda dayanım artışı sağlarlar.

2. Hem su hem de çimento miktarını azaltarak katkısız kontrol betonu ile aynı işlenebilirlikte ve aynı dayanıma sahip beton üretiminde kullanılabilirler. Böylece çimentodan tasarruf edilmesini sağlarlar.

3. Katkısız kontrol betonu ile aynı bileşenlere sahip katkılı betonun işlenebilirliğini artırma amacıyla kullanılabilirler.

Kimyasal katkıları ile çimento arasındaki etkileşim fizikseldir. Kimyasal katkıları, çimento hamuru ile kimyasal bir tepkimeye girmemekte fakat dolaylı yoldan çimento hamurunun hidratasyonunda hızlandırıcı veya yavaşlatıcı etki gösterebilmektedir. Bu etkiler araştırmacılar tarafından farklı mekanizmalarla (çökelme, iyon konsantrasyonu

değişimi, ayrıştırma veya kümeleştirme, yüzey alanını kaplayarak hidrasyonu engelleme vs.) açıklanmaktadır (Türkel ve Felekoğlu, 2004). Katkısız çimento hamuru, karma oksitlerinin elektro-potansiyellikleri gereği, birbirlerini elektrostatik etkiyle çekerek kümelenir (Şekil 4.1-A). Çimentodaki karma oksitlerin oranı bu etkiyi artırır veya azaltır. C_3S ve C_2S negatif zeta potansiyeline sahipken, C_3A ve C_4AF pozitif zeta potansiyeline sahiptir. Bu da çimento taneciklerinin su veya nem ile temas ettiğinde topaklaşmasına neden olur. Katkı ilavesi ile tüm çimento karma oksitlerinin negatif zeta potansiyeline sahip olduğu deneysel olarak ortaya konulmuştur. Tüm bileşenlerin negatif yüklenmesi topaklaşmayı önler (Şekil 4.1-B).

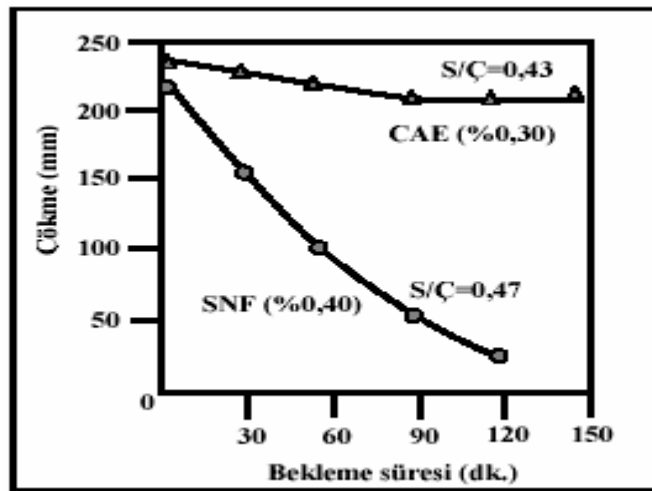


Şekil 4.1. A: Akışkanlaştırıcı katkısız çimento hamuru, B: Akışkanlaştırıcı katkılı çimento hamuru (siyah kısımlar sıkışık hava boşluklarıdır)

Akışkanlaştırıcı katkıları eşik kayma gerilmesini ve plastik viskoziteyi azaltırlar. Plastik viskoziteyi azaltıcı etkileri yüksek su/çimento oranlarında daha belirgindir. Yüksek su/çimento oranında çok küçük miktarda katkı ilavesi dahi viskoziteyi hızla düşürerek ayrılmaya neden olabilir. Düşük su/çimento oranlarında katkı ilavesinin akışkanlığı artırıcı etkisi daha yavaştır. Örneğin, su/çimento oranı 0,65 olan bir karışıma çimento ağırlığının %1'i kadar polimer bazlı bir kimyasal katkı ilavesi yapıldığında, karışımın viskozitesi yarı yarıya azalırken, su/çimento oranı 0,45 olan bir karışıma aynı katkı ilavesi viskoziteyi %10-15 oranında azaltır. Bu açıdan bakıldığında

akışkanlaştırıcılar düşük su/çimento oranlarında viskoziteyi çok azaltmadan eşik kayma gerilmesini azaltmakta etkilidir.

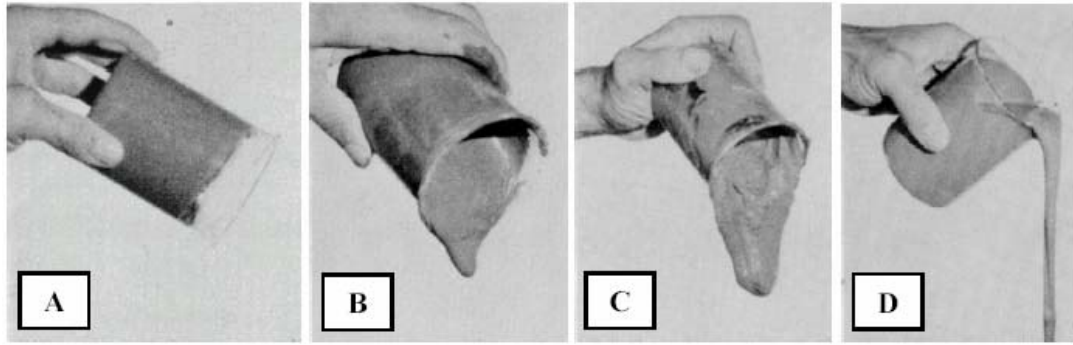
Son 30 yılda akışkanlık sağlama ve su kesme amaçlı en yaygın kullanılan kimyasal katkılar; melamin, naftalin formaldehit kondensatları, modifiye lignosulfonatlar ve suda çözülebilen sentetik polimerlerdir. Kendiliğinden yerleşen betonun gelişimine paralel olarak alternatif kimyasal katkılar da geliştirilmiştir. Bunların geliştirilmesinde amaç, mevcut katkıların bazı yetersizlik ve dezavantajlarını (hızlı işlenebilirlik kaybı, su kesme kapasitelerinin düşüklüğü) ortadan kaldırmaktır. İşlenebilirlik kaybı, geleneksel katkıların en büyük problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Sıcaklık, çimento tipi ve dozajından bağımsız olarak işlenebilirliğini uzun süre koruyan beton üretmek için akrilik polimer bazlı katkılar, geleneksel melamin ve naftalin sülfonat bazlı katkılara göre daha etkilidir. Melamin ve naftalin sülfonat bazlı katkılarda yaşanan işlenebilirlik kaybı sorunu, karıştırma sonrası katkı ilavesi ile çözülebilmekte fakat bu da ilave katkı maliyeti getirmektedir. Akrilik polimer bazlı katkıların kullanılması ile ek maliyet ortadan kalkar. Bu konuda yapılan çalışmanın sonuçları Şekil 4.2’de verilmiştir. Su/çimento oranı 0,43 olan akrilik polimer (CAE) bazlı bir akışkanlaştırıcı kullanılarak (dozaj %0,3) üretilen betonun çökme değeri 2 saat sonunda 24 cm’den 21 cm’e inerken, su/çimento oranı 0,47 olan naftalin sülfonat formaldehit (SNF) bazlı bir akışkanlaştırıcı kullanılarak (dozaj %0,4) üretilen betonun çökme değeri 2 saat sonunda 22 cm’den 3 cm’e inmiştir.



Şekil 4.2. Kimyasal katkı tipinin işlenebilirlik kaybına etkisi

Dizaynda kullanılan polikarboksilat bazlı katkı dozajının düşük olması (toplam toz miktarının ağırlıkça %1'inin altında), işlenebilirlik kaybının hızlanmasına neden olmaktadır. Uygun akışkanlaştırıcı ve filler kombinasyonu ile işlenebilirliğini koruyabilen, kendiliğinden yerleşen beton hazırlamak mümkündür.

Polikarboksilat bazlı katkıların, modifiye lignosulfonatlar, melamin ve naftalin formaldehit kondensatlarına göre akışkanlığı arttırma açısından da önemli üstünlükleri vardır. Şekil 4.3-C ve D'de görüldüğü gibi, aynı dozajda katkı kullanımında polikarboksilat bazlı katkılar akışkanlığı arttırmada daha etkilidirler. Şekil 4.3-B'de görülen lignosülfonat bazlı katkının dozajının %0,4'de tutulmasının nedeni daha yüksek dozajlarda bu katkının priz geciktirici özelliğinin bulunmasıdır.

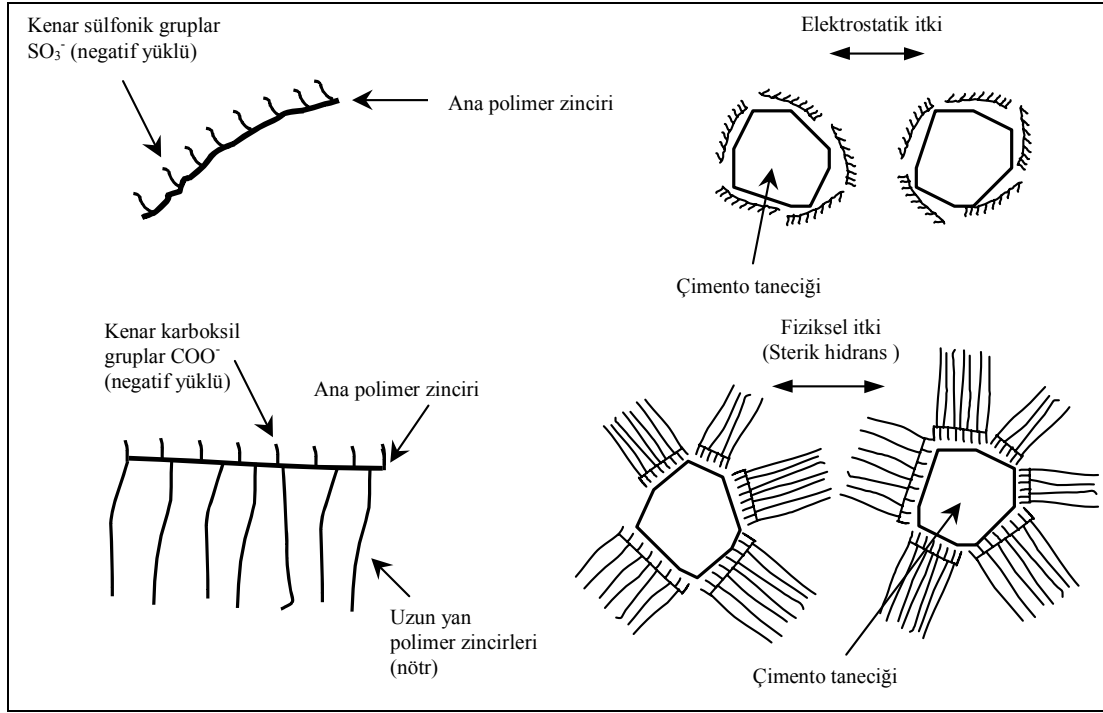


Şekil 4.3. Kimyasal katkı tipinin akışkanlık arttırıcı etkisi (A, B, C ve D'de görülen çimento hamuru karışımlarının tümünün su/çimento oranları eşittir. A: Sadece su ve çimento, B: Hamura %0,4 lignosülfonat ilavesi yapıldığında görülen akışkanlık, C: %0,8 melamin formaldehit bazlı katkı ilavesiyle görülen akışkanlık, D: %0,8 polikarboksilat bazlı katkı ilavesiyle görülen akışkanlık)

Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde, naftalin sülfonat formaldehit (SNF), melamin sülfonat formaldehit (SMF) polikondanseleri, vinil kopolimerler ve polikarboksilik asit bazlı katkılar kullanılabilir. Ancak polikarboksilik asit bazlı katkılara göre, diğer katkıların kullanıldığı betonların su ihtiyaçlarının göreceli olarak fazla olması, bu tip betonlar için istenilen akıcılıkta beton üretilmemesine yol

açabilmektedir. Bu nedenle daha çok polikarboksilik asit bazlı katkılar tercih edilmektedir.

Yeni nesil süper akışkanlaştırıcılar olarak da isimlendirilen polikarboksilik asit bazlı katkılar kullanıldığında, çimento taneciklerinin beton içerisindeki dispersiyonu (dağıtılması) yalnızca elektiriksel itki ile değil, aynı zamanda uzun yan dallar içeren polimer zincirlerinin çimento tanecikleri çevresinde birbirini iten fiziksel bir itki oluşturması ile de sağlanır. Gürol (1999), polikarboksilat bazlı katkıların çimentoya etkisini şöyle açıklamaktadır. Katkı, dispersiyon etkisi ile topaklaşmayı önler, hidratasyona giren çimento miktarı artar, topaklar arasına hapsolme potansiyeli olan su molekülleri serbest kalarak işlenebilirliği artırır ve hidratasyona katılır. Kim, Jiang, Jolicoeur ve Aitcin (2000)'e göre, polinaftalin bazlı akışkanlaştırıcıların etki mekanizması iki etkene bağlıdır. Bunlar, çimento tanecikleri tarafından emilerek oluşturduğu elektrostatik itki kuvvetleri ve emilen katkının molekül zincir yapısından kaynaklanan fiziksel (sterik) itki kuvvetleridir. Banfill, her iki etkininde eşit önemde olduğunu savunmaktadır. SNF ve SMF bazlı akışkanlaştırıcılarda elektrostatik itki, polikarboksilat bazlı akışkanlaştırıcılarda ise polimer zincirlerinin çimento tanesinin üzerine yapışarak oluşturduğu fiziksel itki baskındır (Şekil 4.4). Bazı araştırmacılar polimer bazlı katkıların molekül ağırlıklarının ilave kısa süreli fiziksel etki yaratmada etkili olduğunu savunmaktadır (Felekoğlu, 2003). Sterik itkinin derecesi polimer zincirinin uzunluğuna, molekül ağırlığına, yan zincir yapısına ve ortam koşullarına (sıcaklık, nem, ph, iyon konsantrasyonu) bağlıdır.



Şekil 4.4. Elektrostatik ve fiziksel itki modelleri

Özellikle polikarboksilat bazlı katkılarda stearik itki çimento dağılımını sağlayan temel faktördür. Ortamda aşırı miktarda katkı bulunması halinde çimento taneciklerinin yüzeyi tamamen sarılacağından bir miktar katkı açıkta kalacaktır. Artan katkının olumlu bir işlevselliği olmayacağından optimum miktar kullanılmalıdır. İşte bu kritik noktaya doyum noktası denir. Her katkıyı doyum noktasında kullanmak ekonomik avantaj sağlar. Doygunluk noktasını aşan dozajda katkı ilavesi çimento hamurunun viskozitesinin aşırı düşmesine yol açar, hamur katı parçacıkları süspansiyonda tutamaz ve beton stabilitesini kaybederek ayrışır. Bu nedenle katkı kullanırken üretici tavsiyesi olan üst sınırı aşmamakta yarar vardır (Türkel ve Felekoğlu, 2004).

Polimer bazlı katkıların kimyasal yapısını tanımlamak, uzun molekül zincirlerine yapılabilecek modifikasyonların çokluğu nedeniyle oldukça zordur. Bu modifikasyonlar katkının aynı anda birden çok özelliğini değiştirebilmektedir. Kullanılan akışkanlaştırıcıda polimer zinciri uzadıkça akışkanlığın arttığı, priz süresinin kısaldığı ve işlenebilirlik kaybının azaldığı tespit edilmiştir.

Kimyasal katkıların etkinliği özellikle çimentonun katkıyı absorbe etme kapasitesine de bağlıdır. Bu da zaman ve çimento tipinin bir fonksiyonudur. Yapısı gereği, C_3A ve C_4AF , diğer iki bileşen olan C_3S ve C_2S 'e göre çok daha fazla katkı absorbe ettiği için, çimento tipi işlenebilirlik açısından oldukça etkilidir. C_3A içeriği fazla olan çimentolar hızlı işlenebilirlik kaybederler.

Kim ve diğer. (2000), çimento tipi açısından bakıldığında eşdeğer alkali yüzdesi düşük olan çimentolarda (%0,3-0,4) kimyasal katkı absorbe etme yüzdesinin yüksek olduğunu ve bu çimentolarla hazırlanan harçların çok hızlı işlenebilirlik kaybettiklerini rapor etmişlerdir. Yüksek eşdeğer alkalili çimentolarda ise (%0,8-0,9) katkı absorpsiyonu daha düşük olmakta ve daha çok katkı serbest kalarak etkinliği korumaktadır.

Hidratasyon sırasında sürekli yeni yüzey alanları oluştuğundan, çimentonun mümkün olduğu kadar az katkı absorbe etmesi avantajlıdır. Her yeni yüzey oluşumu eski yüzey tarafından emilen katkıyı işlev dışı bırakacağından, ortamda yeni yüzeylerin absorbe edebileceği serbest katkının olması gerekir (Felekoğlu, 2003).

Kimyasal katkıların akışkanlaştırıcı etkisini daha iyi anlayabilmek için çimento hamuru hidratasyonunun ilk saatlerinde etkileşimlerinin araştırılması gerekmektedir. Farklı araştırmacılar bu konuda birbiri ile çelişen sonuçlar elde etmişlerdir. Ramachandran ve Malhotra (1984)'ya göre, çimento ile suyun karışmasından sonraki ilk birkaç dakika içinde eğer ortama katkı ilavesi yapılırsa C_3A ve alçı bu katkıyı hızla absorbe ederek etkisini azaltırlar. Bu nedenle katkının karışıma 5 ila 30 dk gecikmeli ilavesi katkı efektifliğini artırır. Böylece çimentonun daha sonra hidratasyon reaksiyonuna giren silikat bileşenleri için ortamda akışkanlaştırıcı katkı kalmış olur ve işlenebilirlik daha uzun süre korunur. Öte yandan Bürge (1999) akışkanlaştırıcı katkının erken kullanılmasını savunmaktadır. Bürge (1999)'ye göre, hidratasyonun ilk anlarında oluşan etrenjit henüz hidratasyona girmemiş çimento tanecikleri ile zıt zeta-

potansiyeline sahip olduğu için kümelenmeye sebep olur. Bu açıdan bakıldığında katkının karışıma mümkün olduğunca erken girip etrenjitin yarattığı kümelenmeyi engellemesi gerekmektedir.

Akışkanlaştırıcılar su kesme yeteneklerine göre normal (%10-15 arası su kesebilenler), süper (%15-30 arası su kesebilenler) ve hiper (%30'un üstünde su kesme özelliği olanlar) olarak sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma performansa dayalı bir sınıflandırma olduğundan katkının kimyasal özelliğini yansıtmaz. Ancak çoğunlukla lignosülfonat bazlı katkılardan normal, melamin ve naftalin sülfona formaldehit bazlılardan süper ve polikarboksilat bazlılardan hiper akışkanlaştırıcılar üretilmektedir. Bir lignosülfonat bazlı katkıdan tek başına hiper akışkanlaştırıcı performans beklemek mümkün değildir. Fakat bu katkılarda yapılacak modifikasyonlarla su kesme ve priz ayarlama gibi özellikleri değiştirilebilir. Bu nedenle pratikte, performansa dayalı bir sınıflandırma yapılması, kimyasal yapıya dayalı bir sınıflandırmadan daha uygundur (Türkel ve Felekoğlu, 2004).

4.2 Priz Hızlandırıcı Katkı Maddeleri

Priz hızlandırıcı katkı maddeleri kullanıldıkları betondaki katılaşmanın, katkısız betondakine kıyasla, daha hızlı oluşmasını sağlayan katkılardır.(Erdoğan, 2003)

Soğuk havada katkısız betonun priz süresi daha uzun olmakta, ilk zamanlarda kazanılan dayanım daha az olmakta ve buna bağlı olarak, kalıpların sökölme zamanı uzamakta, betonun kuru için daha uzun zaman gerekmektedir. Priz hızlandırıcı katkı maddelerinin kullanılması durumunda, bu gibi olumsuzlukları telafi etmek imkanı elde edilebilmektedir. Bu tür katkı maddeleri, betonda ilk zamanlarda yer alan hidrasyonun daha hızlı olmasını sağlamakta, daha hızlı dayanım kazanılmasına yol açmaktadır (Erdoğan, 2003).

ACI komitesi 212 soğuk havalarda priz hızlandırıcıların kullanım amaçlarını aşağıda gibi sıralamıştır:

1. Perdah işlemine geçiş süresini kısaltmak,
2. Koruyucu yalıtım uygulama süresini kısaltmak,
3. Erken dayanım kazanma hızını arttırmak, böylece erken kalıp alarak yapıyı servise daha erken sokmak,
4. Hidrolik basıncın kalıplara etki süresini kısaltmak

4.2.1 Priz Hızlandırıcı Katkı Maddelerinin Kompozisyonu

Priz hızlandırıcı katkı maddeleri suda çözünebilen organik veya inorganik tuzlardan elde edilebilmektedir.

Suda çözünebilen organik tuzlar arasında priz hızlandırıcı olarak en çok kullanılan triethanolamine ve kalsiyum formattır. Bunların bir miktar su azaltıcı etkileride olmaktadır. Diğer organik tuzlar olarak kalsiyum asetat, kalsiyum propionat, laktik asit, formaldehid gibi maddeler sıralanabilir(Erdoğan, 2003).

Klorürler, bromidler, floridler, karbonatlar, nitratlar ve alkali hidroksitler, suda eriyebilen inorganik tuzlardır. Priz hızlandırmada en etkili tuzlar kalsiyum tuzlarıdır. (Erdoğan, 2003).

Kalsiyum klorürün priz hızlandırıcı etkisi uzun bir zamandır bilinmektedir. Bu katkı maddesinin betonda kullanılmasına dair çok sayıda araştırma yapılmıştır. Ancak, araştırmacılar tarafından ortak bir görüşe ulaşılmamıştır. Çimento ağırlığının %2 sine

varan miktarlarda kalsiyum klorürün kullanılması halinde, betonun prizini hızlandığını ve kalsiyum klorürün betona olumsuz etkisinin olmadığı bildirilmektedir(Erdoğan, 2003).

Betonla ilgili tanınmış kurumlar, betonda klorür iyonunun bulunmasının betonarme ve öngerilmeli betonlardaki donatının korozyonuna yol açacağı belirtilmektedir. Örneğin Amerikan Beton Enstitüsü ACI / 201 ve ACI / 212 nolu komite raporlarında betonda bulunabilecek maksimum klorür iyonu miktarı, çimento ağırlığının yüzdesi olarak, şu şekilde belirtilmektedir.

Öngerilmeli betonlarda	%0,06
Nemli ortamdaki betonarme betonlarında	%0,1
Diğer betonlarda	%0,15

ACI / 222 nolu komite raporu ise, çimento ağırlığına oranla klorür iyonunun yer alabileceği maksimum miktarı, öngerilmeli betonlar için %0,08 ve betonarme betonları için %0,20 olarak vermektedir.

Priz hızlandırıcı katkı maddesi olarak kalsiyum nitritli katkı maddeleri kullanımı tercih edilmekte ve bu tür katkı maddeleri korozyona neden olmamaktadır(Erdoğan, 2003).

Alçı ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) zayıf baz ve kuvvetli asitin bir tuzudur. Sülfat iyonlarının çözülmesi çimentodaki kalsiyum iyonlarının çözülmesini engeller ve hidratasyonu yavaşlatır. Alçının dozajının artmasıyla priz geciktirici etkisi değişmez bunun en önemli sebebi alçının çözünürlüğünün düşük olmasıdır (20°C 'de 2g/litre) Alçının yerine çözünebilirliği yüksek sülfat içeren Paris plasteri veya hemihidrat ilavesi yapılırsa hem priz süresi hem de dayanım kazanma hızı artar.

Zayıf asidik yapıdaki düşük molekül ağırlıklı asitler ve bunların çözülebilen tuzları çimento bileşenlerinden kalsiyum iyonlarının çözünürlüğünü arttırdığı için priz hızlandırıcı olarak kullanılabilir.

Kalsiyum formate, formik asit ve HCOOH priz hızlandırıcı olarak kullanılabilir. Fakat diğer hidrokarbon zincirli asitler genelde priz geciktirici etki yapar.

Özellikle tünel vb. yapıların kaplama işlerinde, püskürtme beton uygulamalarında çok hızlı priz alması için betona yüksek oranda katılan kimyasal katkılardır. En yaygın kullanılanları kalsiyum formate ve sodyum aluminattır. Kullanım oranları %5'in üzerinde olup betonun birkaç saniyede prize başlamasına neden olurlar.

4.2.2 Priz Hızlandırıcı Katkıların Etki Mekanizması:

Hidratasyon öncesinde çimento bileşenleri sulu ortamda çözelti oluşturarak iyonize olur. Ardından hidratasyon reaksiyonları başlar ve hidratasyon ürünleri kristalize olur. Kristalize olan ürünler birleşerek çimento hamurunun sertleşmesini sağlar. Kimyasal katkıları bu iyonizasyon ve kristalizasyon olaylarını etkileyerek priz süresini ve erken dayanım kazanma hızını değiştirebilir.

Kimyasal katkıların suda iyonize olarak hidratasyonu yavaşlatma veya hızlandırma mekanizmaları farklılık gösterir. Çimento ve su biraraya gelince anyon (silikat ve alüminatlar) ve katyonlardan oluşan iyon çözeltisi oluşur. Herbir iyonun çözünürlüğü çözeltide bulunan asidik ve bazik iyon tip ve konsantrasyonuna göre değişir. Joisel'e (Lea, 1971) göre priz hızlandırma veya yavaşlatma mekanizmaları aşağıdaki gibi gruplandırılabilir:

1. Priz hızlandırıcı katkıları kalsiyum iyonları ve anyonların çimentodan çözünürlüğünü artırır. Bir çok anyon olduğundan etkili bir priz hızlandırıcıdan bu anyonların erken yaşlarda en az çözülme oranına sahip olanının (örneğin silikatlar) çözülme hızını arttırması istenir.

3. Çözeltide bazı monovalent katyonların bulunması durumunda (örn: Na^+, K^+) kalsiyum iyonlarının çözünürlüğü azalırken silikat ve alüminat iyonlarının çözünürlüğü artar. Düşük konsantrasyonlarda ilk etki daha baskınken, yüksek konsantrasyonlarda ikinci etki daha baskındır.

Güçlü asit ve zayıf bazların tuzları (örn: CaCl_2) veya güçlü baz ve zayıf asitlerin tuzları (örn: K_2CO_3) düşük konsantrasyonlarda (örn: Çimento miktarının ağırlıkça %0.1-0.3'ü) priz geciktirici etki yaratır. Bu etkide kalsiyum iyonlarının çözünürlüğünün azalması baskın olup toplam etki priz gecikmesi yaratır. Bahsi geçen tuzların yüksek konsantrasyonda kullanılması halinde (örn: Çimento miktarının ağırlıkça %1-3'ü), silikat ve alüminat çözünürlüklerini arttırıcı etki daha baskın olup toplam etki priz hızlanmasına yol açar. Görüldüğü gibi aynı tuzun iyon konsantrasyonuna göre priz hızlandırıcı veya geciktirici etki göstermesi mümkündür.

4. Çözeltide bazı monovalent anyonların bulunması durumunda (örn: $\text{Cl}^-, \text{NO}_3^-, \text{SO}_4^{2-}$) alüminat ve silikatların çözünürlüğü azalırken kalsiyum iyonlarının çözünürlüğü artar. Düşük konsantrasyonlarda ilk etki daha baskınken, yüksek konsantrasyonlarda ikinci etki daha baskındır.

Yukarıda söz edildiği gibi bir kimyasal katkı su-çimento karışımına eklendiğinde iyon tip ve konsantrasyonlarına bir dizi karmaşık etki yaratır. Hangi etkinin baskın olduğu iyon konsantrasyonlarının değişimi ile yakından ilgilidir.

BÖLÜM BEŞ

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON

1980’li yılların başında Japonya’da betonarme yapılarda kalıcılık sorunlarının çözümü amacıyla sıkıştırma enerjisine ihtiyaç olmadan kendi ağırlığı ile sıkışarak yerleşebilecek özel bir tip beton üretilmesi tasarlanmıştır (Okamura ve Ouchi, 1999).

Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB), kendi ağırlığı ile sık donatılı dar ve derin kesitlere yerleşebilen, iç veya dış vibrasyon gerektirmeksizin kendiliğinden sıkışabilen, bu özelliklerini sağlarken ayrışma ve terleme gibi problemler yaratmayarak kohezyonunu (stabilitesini) koruyabilen, çok akıcı kıvamlı özel bir beton türüdür (Şekil 5.1). Klasik beton dizaynından farklı olarak kendiliğinden yerleşen betonda; kimyasal katkı, viskozite arttırıcı katkı ve çok miktarda inert veya puzolanik mineral katkının tümünün veya bir kısmının kullanılması ihtiyacı doğmaktadır (Felekoğlu, 2003).



Şekil 5.1. Kendiliğinden yerleşen beton uygulaması

5.1 Dizayn ve Üretim Teknikleri

KYB'nin bileşenlerinin belirlenmesi, geleneksel betona göre daha fazla deneyim ve bilgi birikimi gerektirmektedir. Çünkü KYB'den sertleşinceye kadar beklenen performans, geleneksel betona göre daha farklıdır. Örneğin, akıcı özelliğe sahip kendiliğinden yerleşen beton, göreceli olarak düşük eşik kayma değerine sahip olmalı, fakat aynı zamanda sertleşme başlayıncaya kadar terlemeye ve ayrışmaya yeterince dirençli olmalıdır. Su/bağlayıcı oranını arttırmak, yüksek şekil değiştirmeyi sağlayabilir, ancak kohezyonu azaltarak betonun akışının tıkanması ile sonuçlanabilecek agrega ayrışmasına neden olabilir. Kaba agrega, kum ve ince malzeme tanecikleri arasındaki iç sürtünme, akışa karşı iç direnci artırır, bundan dolayı taze betonun akış hızı ve şekil değiştirme yeteneği azalır. Bu sürtünme, katı tanecikleri arasında etkileşimin daha büyük olduğu dar alanlarda betonun akması sırasında oldukça etkilidir. Viskozite açısından zayıf sistemlerde agrega yoğunluğunda bölgesel artışlar kümelenmeye yol açarak, betonun dar alanlarda hareket etmesini engelleyebilmektedir (Sağlam, 2000).

Kendiliğinden yerleşen betonlarda akıcılık, betonun su miktarını attırmaksızın akışkanlaştırıcı katkıları kullanılarak sağlanır. Betonun yeterli ayrışma direncine sahip olması ise viskozite artırıcı katkı kullanılması veya karışımda kullanılan çimento veya mineral katkı miktarının artırılması, böylelikle su/çimento oranının azaltılması yolu ile sağlanabilir. Ayrışma direncinin artırılması için bazen, her iki yöntem de kullanılabilir. Görüldüğü gibi, betondaki her bileşenin kendiliğinden yerleşebilirliğe farklı etkisi vardır. Etki, bileşenin cinsine, teknik özelliklerine, kullanım oranı ve yöntemine bağlıdır. Bu sebeple bileşenlerin seçiminde gerek teknik gerekse ekonomik açıdan doğru seçim yapmanın yolu, malzemeleri iyi tanımaktan geçer.

Kendiliğinden yerleşen beton için pek çok araştırmacı ve kuruluş farklı dizayn yöntemleri geliştirmiştir. Bu yöntemler genellikle klasik dizayn yöntemlerinden daha karmaşıktır ve özellikle malzeme kalite kontrolü açısından daha çok deneysel çalışma

gerektirmektedir. Japon İnşaat Mühendisleri Birliği (Tomosawa, 1999) dizayn yöntemlerini üç ana grupta toplamıştır:

1. Toz Tipi Metodu (Li ve Hwang, 2002)
2. Stabilizatör Tipi Metodu (Petersson, 1998)
3. Kombinasyon Metodu

Yukarıdaki sınıflandırma kendiliğinden yerleşen betonun viskozitesini ayarlamak amacıyla kullanılacak malzeme cinsine göre yapılmıştır.

Geleneksel beton üretiminde kalite kontrol safhasında pratikte en çok kullanılan iki parametre taze betonun çökme değeri ve betonun belirli yaştaki (genellikle 28 günlük) basınç dayanımıdır. Geleneksel beton basınç dayanımına göre sınıflandırılmaktadır. KYB’de ise durum farklıdır. Basınç dayanımından çok, taze haldeki özellikleri KYB’yi tanımlamada kullanılır (Perez vd., 2002). KYB kalite kontrolünde kullanılan deneyler (EFNARC, 2002):

- a) Çökme Sonrası Yayılma Deneyi
 - b) V-hunisi akış süresi deneyi
 - c) L-kutusu deneyi
 - d) U-kutusu deneyi
 - e) Görünür Stabilite İndeksi
- olarak sıralanabilir.

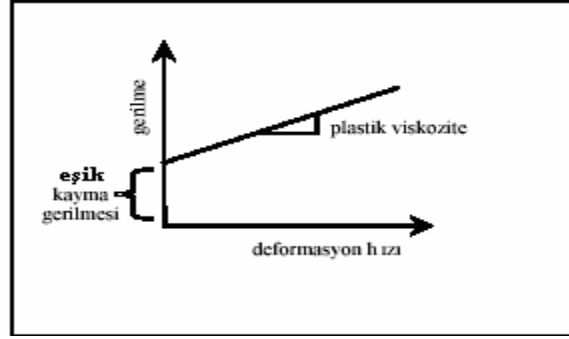
5.2 Kendiliğinden Yerleşen Betonun Reolojisi

Betonun reolojisini tanımlamada esas parametreler eşik kayma gerilmesi ve plastik viskozitedir. Eşik kayma gerilmesi, bir malzemenin akışa geçebilmesi (hareket edebilmesi) için gerekli minimum gerilmedir. Bir süspansiyon için bu değer kayma gerilmesi-deformasyon hızı grafiğindeki doğrunun gerilme eksenini kestiği noktaya

eşittir (Şekil 5.2). Plastik viskozite ise bu doğrunun eğimine eşittir. Genel olarak bu doğru denklemine uyan sıvıya “Bingham Sıvısı” denir. Taze beton için en uygun model olan Bingham Modeli aşağıdaki denklemle ifade edilir(Tang vd.,2000).

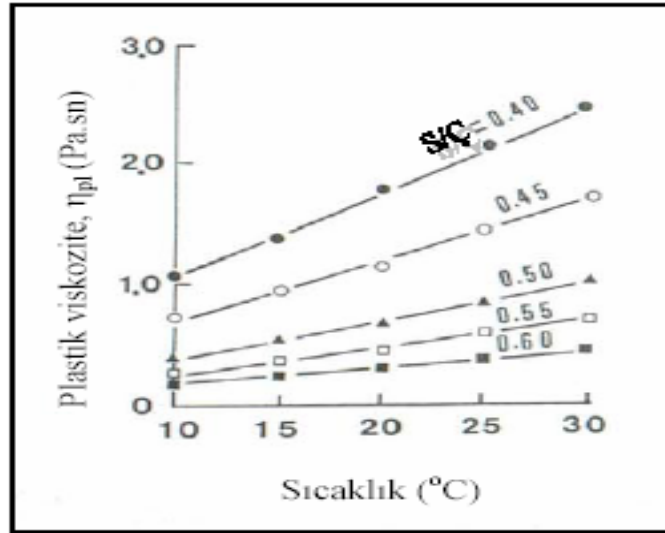
$$F/A = \tau = \tau_0 + \mu\gamma \quad (4.1)$$

Burada; F kayma gerilmesini oluşturan kesme kuvveti, A kayma gerilmesine maruz kalan alan, τ kayma gerilmesi, τ_0 eşik kayma gerilmesi, μ plastik viskozite ve γ deformasyon hızıdır.



Şekil 5.2 Taze beton için Bingham Modeli

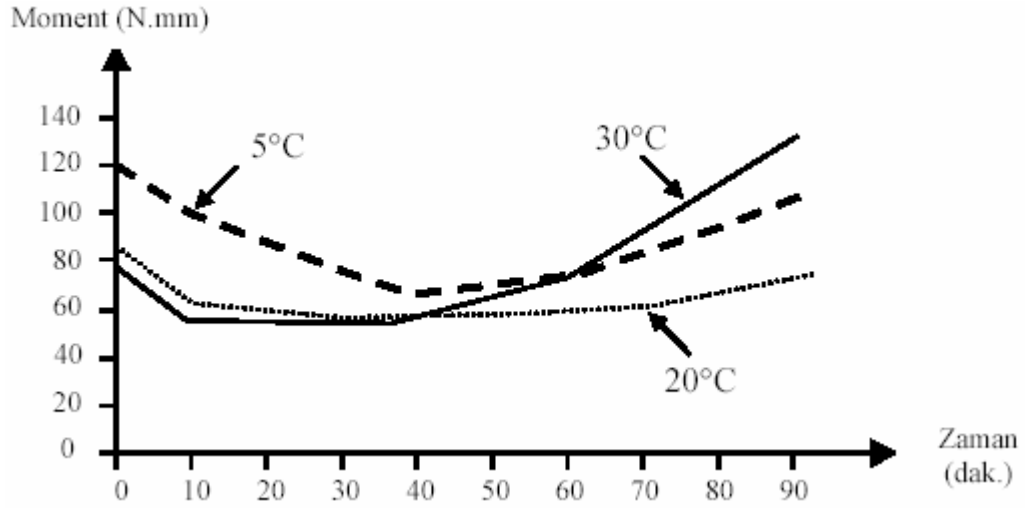
Çimento hamurunun viskozitesi daha önce maruz kaldığı kayma gerilmesinden etkilenir. Karıştırma enerjisi arttıkça plastik viskozite ve eşik kayma gerilmesi azalır. Williams ve arkadaşları (1999) yüksek deformasyon hızlarında viskozitenin dengelendiğini savunmaktadır. Tattersall’a göre belirli süre sabit deformasyon hızıyla karıştırıldığında taze beton viskozitesi dengeye ulaşmaktadır.



Şekil 5.3. Su/çimento oranı 0,40 ile 0,60 arasında değişen dizaynlarda sıcaklığın taze beton viskozitesine etkisi

Taze beton viskozitesini etkileyen önemli faktörlerden birisi de ortam sıcaklığıdır. Şekil 5.3’de ortam sıcaklığının farklı su/çimento (S/Ç) oranlarında hazırlanmış betonların plastik viskozitelerine etkisi görülmektedir. Su/çimento oranı arttıkça sıcaklığın plastik viskoziteyi artırıcı etkisi azalmaktadır. Düşük su/çimento oranlarında ortamdaki serbest suyun azlığı viskozite artışını sıcaklık artışıyla hızlandırmaktadır (Saak vd.,1999).

Ortam sıcaklığının taze beton reolojisine etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan bir başka çalışmada, üç farklı sıcaklıkta bir viskozimetre yardımıyla polikarboksilat bazlı bir akışkanlaştırıcı kullanılan çimento hamurunda, momentin (akma direnci) zamanla değişimi incelenmiştir (Şekil 5.4). Yüksek ve düşük sıcaklıklarda akışkanlık zamanla kaybolurken en iyi sonuç 20°C’de elde edilmiştir (Saak vd.,1999).

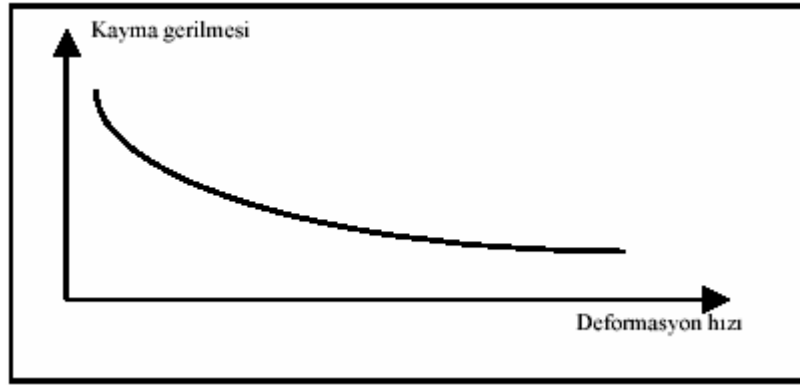


Şekil 5.4. Ortam sıcaklığının kendiliğinden yerleşen beton reolojisine etkisi

Bir taze beton veya harç karışımının kendiliğinden yerleşen özellikte olabilmesi için düşük eşik kayma gerilmesi değerine ve optimum viskoziteye sahip olması gereklidir. Kendiliğinden yerleşebilirlik için eşik kayma gerilmesinin mümkün olduğunca sıfıra yakın olması amaçlanmalıdır. Optimum viskozitenin belirlenmesi, malzeme parametreleri ve karışım oranlarıyla yakından ilişkilidir. Optimum viskozitenin altına inilirse malzemenin stabilitesi bozulacak ve ayrışma başlayacağından homojenlik yitilecektir. Optimum viskozitenin üstüne çıkılırsa kıvam aşırı artacağından yerleştirmede sıkıntılar yaşanır. Sıkışık hava boşluğu riski artar. Her iki durum da tehlikeli sonuçlar yaratmaktadır. Çözüm eşik kayma gerilmesini, karışım suyunu fazla arttırmadan akışkanlaştırıcı kullanarak azaltmaktır. Aynı zamanda ister istemez viskozitede de düşüş meydana gelir. Viskoziteyi optimum değere çekebilmek için viskozite arttırıcı malzemelerin kullanılması gerekir.

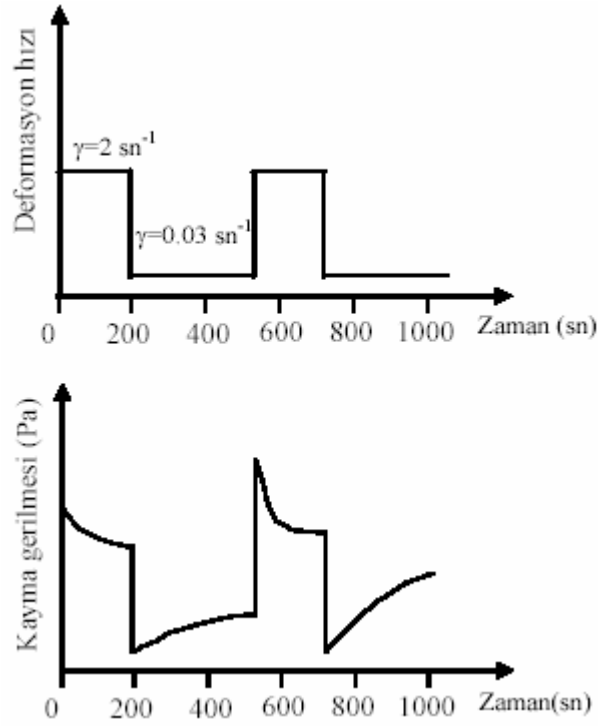
Kendiliğinden yerleşen beton jelimsi yapısı nedeniyle tiksotropik davranış gösterir. Karıştırma sırasında akıcı kıvamını korumasına rağmen, hareketsiz konumda hızla akıcılığını kaybeder. Bu durum mikroyapının zamanla akış yönünde doğrusal şekil almasıyla açıklanmaktadır.

Kendiliğinden yerleşen beton taze halde aynı zamanda psödoplastik davranış gösterir. Psödoplastik (yalancı plastik) sıvılar düşük deformasyon hızlarında yüksek, yüksek deformasyon hızlarında ise düşük viskoziteye sahiptir (Şekil 5.5). Kendiliğinden yerleşen betonun tiksotropik ve psödoplastik davranışı durgun halde ayrışmasını engeller. Bu davranışlardan dolayı, geleneksel betona kıyasla daha kolay pompalanır (Yahia vd.,2002).



Şekil 5.5. Psödoplastik davranış

Şekil 5.6'dan görüleceği gibi yüksek deformasyon hızlarında zamanla kayma gerilmesi azalmakta, düşük deformasyon hızlarında, yani hemen hemen durgun konumda iken kayma gerilmesi tekrar artmaktadır. Bu olaya “toparlanma” denilmektedir. Yüksek deformasyon hızlarında moleküller birbirinden ayrılarak yağlama etkisi yaratmakta, düşük deformasyon hızlarında ise tekrar kümelenerek akışa karşı direnç kazanmaktadırlar (Ghezai vd.,2002).



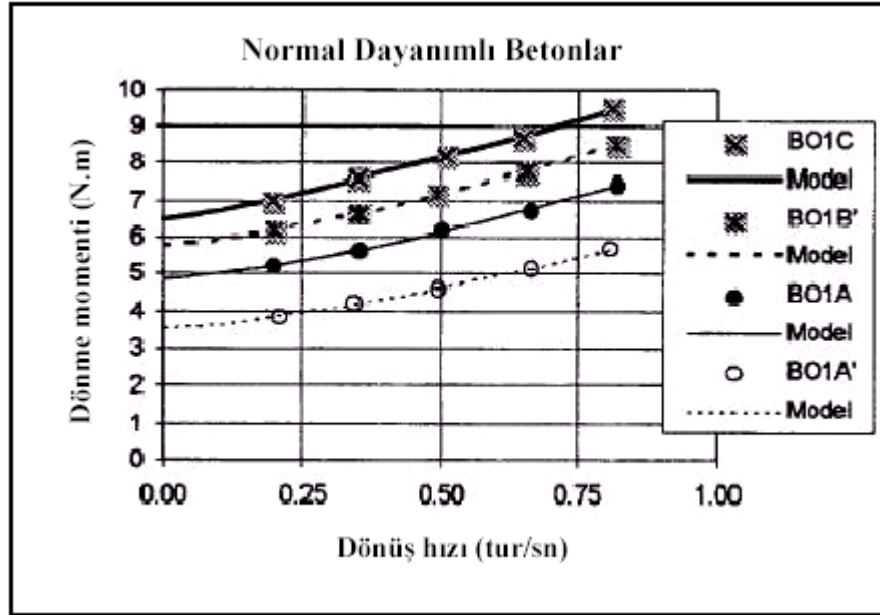
Şekil 5.6. Tiksotropik davranış

Kendiliğinden yerleşen betonun reolojisi; malzeme parametreleri dışında, karıştırıcı tipi (ne kadar hava sürükleneceğiyle ilgili), malzemelerin karışıma ilave edilme sırası (karışım prosedürü), karıştırma süresi ve sıcaklık gibi değişkenliklerden de etkilenir.

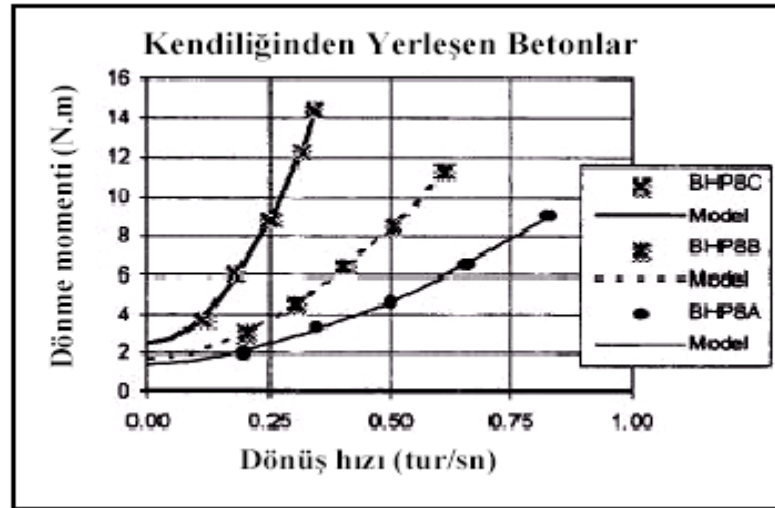
Kendiliğinden yerleşen betonun karıştırma süresi normal betona kıyasla iki-üç kat arttırılmalıdır. Bunun nedeni akışkanlaştırıcının performansına ve kendiliğinden yerleşen betonun reolojisine bağlanmaktadır. Kimyasal katkının ilave zamanlaması da önem taşımaktadır. Katkı ve karışım suyu ilavesi geciktirildikçe işlenebilirlik kaybı azalmaktadır. Katkı ilavesinin geciktirilmesi, hidrasyonla çimento taneleri üzerinde oluşan yeni yüzeylerin katkı ihtiyacının karşılanması açısından olumlu bir yöntemdir.

Klasik betonlar için reolojik parametrelerin belirlenmesinde Bingham Modeli deneysel sonuçlarla uyumluluk göstermektedir. Geleneksel betonlarda eşik kayma

gerilmesi, kendiliğinden yerleşen betona kıyasla yüksektir ve moment – deformasyon hızı ilişkisi doğrusaldır (Şekil 5.7) (EFNARC komitesi vd).



Şekil 5.7 Geleneksel betonlarda moment - deformasyon hızı ilişkisi



Şekil 5.8. Kendiliğinden yerleşen betonlarda moment - deformasyon hızı ilişkisi

Kendiliğinden yerleşen betonda moment – deformasyon hızı ilişkisi doğrusal değildir (Şekil 5.8). Ayrıca kendiliğinden yerleşen beton, çok düşük eşik kayma gerilmesi değerlerine sahip olduğu için Bingham Modeli uygulandığında, çoğu zaman ekstrapolasyon yoluyla elde edilen eşik kayma gerilmesi değeri negatif olarak hesaplanmaktadır. Böyle bir sonucun da fiziksel bir anlamı yoktur.

Kendiliğinden yerleşen beton için Herschel-Bulkley denkleminin, deneysel verilere daha yakın sonuç verdiği birçok araştırmacı tarafından kabul edilmektedir. Denklem (4.4)'de verilen Herschel-Bulkley denklemi üç parametre içermektedir. Bunlardan biri eşik kayma gerilmesi ve diğer ikisi ise fiziksel karşılıkları olmayan malzeme ve cihaz özelliklerini içeren katsayılarıdır. Ancak Herschel-Bulkley denklemi (4.4) ile plastik viskoziteyi belirlemek oldukça güçtür. Deformasyon hızı değiştikçe plastik viskozite değeri değişmektedir.

$$\tau = \tau_0 + a \cdot \gamma^b \quad (4.2)$$

$$\tau_0 = \frac{3\Gamma_0}{2\pi(R_2^3 - R_1^3)} \quad (4.3)$$

$$\mu = \frac{2h(\partial\Gamma / \partial\Omega)}{\pi(R_2^4 - R_1^4)} \quad (4.4)$$

Burada, τ_0 eşik kayma gerilmesi, a ve b malzeme ve aparat katsayıları, γ deformasyon hızı, μ plastik viskozite, R_1 ve R_2 iç ve dış silindir çapları, h kayma gerilmesi uygulanan hacmin yüksekliği, Γ uygulanan moment, Ω dönen diskin açısal hızı, Γ_0 ve $\partial\Gamma / \partial\Omega$ doğrusal fonksiyonun $\Gamma(\Omega)$ orijindeki ordinatı ve doğrunun eğimidir.

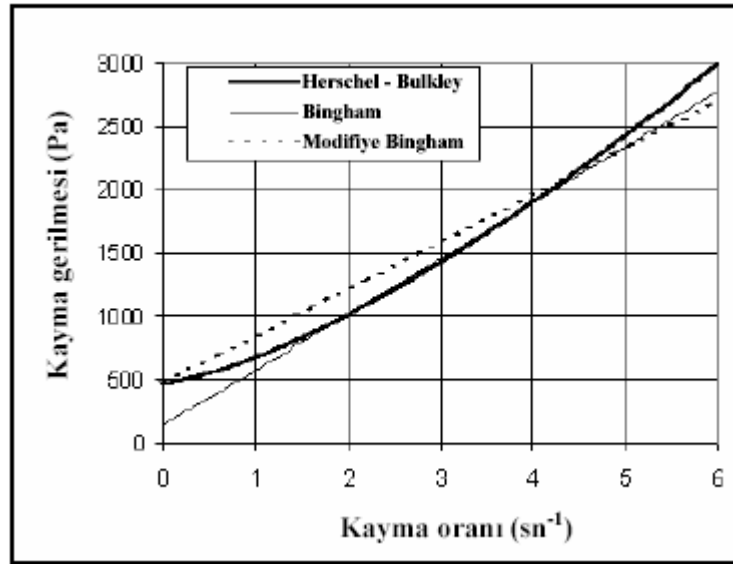
Hershel-Bulkley denklemi ile plastik viskoziteyi belirlemede Denklem (4.4)'de yaşanan sıkıntı bu denklemi Bingham Modeline benzetme yoluna gidilerek çözülmüştür.

Modifiye Bingham Modeli olarak adlandırılan bu modelde moment-deformasyon hızı ilişkisi, en küçük kareler yöntemi kullanılarak eğrisel yapıdan doğrusal yapıya çevrilmiştir. Modifiye Bingham Modeli için plastik viskozite denklemi (4.5)'te verilmiştir (Ferraris vd,2000).

$$\mu' = 3a(b+2)^{-1} \gamma_{\max}^{b-1} \quad (4.5)$$

Burada; μ' plastik viskozite, a ve b malzeme ve aparat katsayıları, $\gamma_{\max}$ ise deformasyon hızının ulaştığı en büyük değerdir.

Eşik kayma gerilmesi hesabında Hershel-Bulkley Modeli ile Modifiye Bingham Modeli arasında bir fark yoktur. Sadece plastik viskozite hesabının kolaylaşması için denklem doğrusallaştırılmıştır. Şekil 5.9'da tüm modeller bir arada görülmektedir.



Şekil 5.9. Kendiliğinden yerleşen beton için Bingham, Herschel – Bulkley ve Modifiye Bingham Modelleri

Kendiliğinden yerleşen betonlarda akıcılık, betonun su miktarını arttırmaksızın akışkanlaştırıcı katkıları kullanılarak sağlanır. Betonun yeterli ayrışma direncine sahip

olması ise viskozite arttırıcı katkı kullanılması veya karışımda kullanılan çimento veya mineral katkı miktarının arttırılması, böylelikle su/çimento oranının azaltılması yolu ile sağlanabilir. Ayırışma direncinin arttırılması için bazen, her iki yöntem de kullanılabilir. Görüldüğü gibi, malzemedeki her bileşenin kendiliğinden yerleşebilirliğe farklı etkisi vardır. Etki, bileşenin cinsine, teknik özelliklerine, kullanım oranı ve yöntemine bağlıdır. Bu nedenle bileşenlerin seçiminde gerek teknik gerekse ekonomik açıdan doğru seçim yapmanın yolu, malzemeleri iyi tanımaktan geçer.

Özellikle çimentonun C_3A oranı % 10'un üzerindeyse, kullanılmaması EFNARC Komitesi (the European Federation of Producers and Contractors of Specialist Products for Structures) (2002), tarafından tavsiye edilmektedir. Yüksek C_3A oranı, hızlı etrenjit oluşumu ve hidratasyon ısısı artışından kaynaklanan su buharlaşması nedenleriyle işlenebilirlik kaybına sebep olacağından, taşıma ve yerleştirme sırasında malzemenin kendiliğinden yerleşebilirlik özelliklerini hızla kaybetmesine neden olur. Çimentoda yüksek C_3A oranı aynı zamanda sabit işlenebilirlik için katkı ihtiyacını göreceli olarak arttıracığından maliyette de artışa sebep olacaktır. C_3A 'sı düşük çimentolar kullanarak akışkanlaştırıcıdan alınacak verim arttırılabilir. Ancak diğer yandan C_3A oranı yüksek çimento kullanımının az da olsa erken dayanımı arttırıcı etki gösterdiği de unutulmamalıdır.

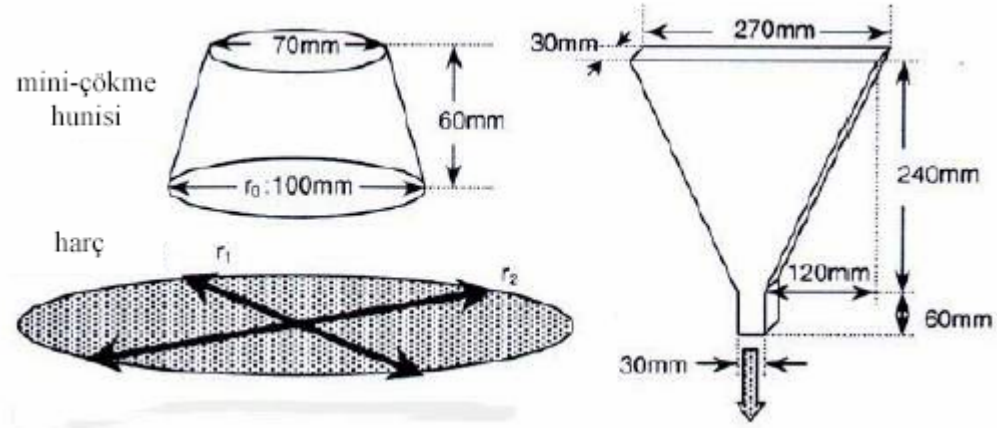
Çimento miktarı arttıkça plastik viskozite ve eşik kayma gerilmesi artacağından yüksek çimento dozajlarında akışkanlaştırıcı katkı ihtiyacı artar.

Kendiliğinden yerleşen harçlarda doğal kum, kırma kuma göre işlenebilirlik açısından daha avantajlıdır. Betonda agrega açısından kendiliğinden yerleşebilirliği etkileyen en önemli parametre iri agrega/kum oranıdır. İçsel sürtünme katsayısını azaltmak için bu oran mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır (Felekoğlu, 2003). Harçlarda iri agrega bulunmaması, kendiliğinden yerleşebilirlik açısından tamir harçlarını betona göre daha avantajlı kılmaktadır.

Toz maddeler, parçacık boyutu 125 mikronun altında her türlü inorganik madde olarak tanımlanabilir. Toz maddeler (kireçtaşı tozu gibi inert fillerler veya puzolanik özelliğe sahip uçucu kül, silis dumanı ve yüksek fırın curufu gibi mineral katkıları), kendiliğinden yerleşen betonda viskozite arttırmak amacıyla kullanılabilir. Parçacık boyutunun küçülmesi, parçacıklar arası etkileşimin artmasına neden olur ve bu etkileşim viskoziteyi artırır.

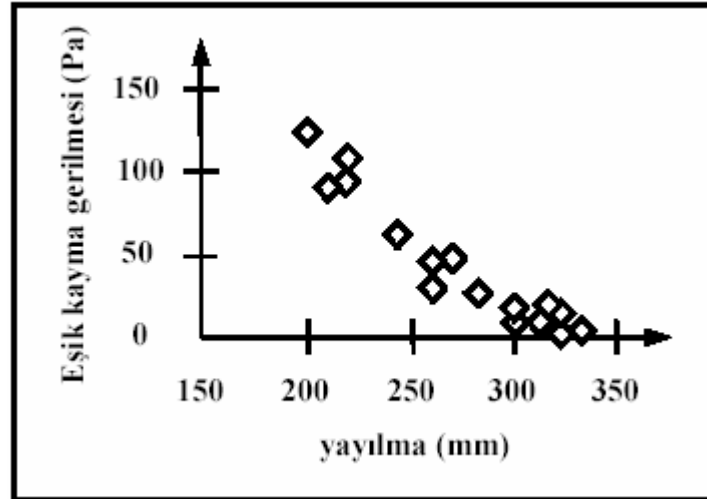
Taze beton süspansiyonunun reolojik özellikleri ancak eşik kayma gerilmesi ve plastik viskozitenin bilinmesiyle ortaya konulabilir. Eşik kayma gerilmesi ve plastik viskozitenin deneysel yollarla elde edilmesi mümkündür. Ancak mevcut deney yöntemlerinin çoğu (çökme sonrası yayılma deneyi, V-hunisi akış süresi deneyi, vb.) ile yalnızca bir faktör (ya plastik viskozite ya da eşik kayma gerilmesi) ölçülebilmekte veya ilişkilendirilebilmektedir. Her iki parametreyi birlikte ölçen deneyler (iki noktalı işlenebilirlik deneyi, BTRHEOM reometresi, vb.) de mevcuttur ancak bu deney aparatları çok karmaşık ve yüksek maliyetli olduğundan pratikte kullanımları kısıtlıdır (Felekoğlu, 2003). Taze beton ve harcın işlenebilirliğini ölçmekte kullanılan çok çeşitli deney yöntemleri olması nedeniyle bu yöntemlerin ayrıntılarına girilmeyecektir. Yalnızca bu çalışmanın konusuyla ilgili olması açısından kendiliğinden yerleşen harçlarda yaygın olarak kullanılan mini çökme hunisi ve V-kutusu deneylerine kısaca değinilecektir.

Harçta plastik viskozite 6-12 Pa.sn ve eşik kayma gerilmesi 20 ile 50 Paskal'dır. Bu parametreler, reometre olmadığı durumda, mini çökme konisi (yayılma hunisi) ve V-kutusu deneyleri ile dolaylı olarak karşılaştırma amaçlı belirlenir (Felekoğlu, 2003).



Şekil 5.10. Harç için kullanılan mini çökme hunisi ve V-kutusu aparatları

Mini çökme konisi ile yapılan yayılma deneyinde, kesik koni şeklindeki kalıp metal bir levha üzerine konur ve taze malzeme ile doldurulduktan sonra dikey yönde kaldırılır. Malzemenin yayılma çapı birbirine dik iki yönde ölçülür ve ortalama alınır (Felekoğlu ve Baradan, 2003). Domone ve Jin (1999), harçta yayılma çapı ile eşik kayma gerilmesi arasındaki ilişkiyi incelemiş ve güçlü bir korelasyon (Şekil 5.11) saptamıştır.



Şekil 5.11. Mini çökme yayılma çapı ile eşik kayma gerilmesi arasındaki ilişki

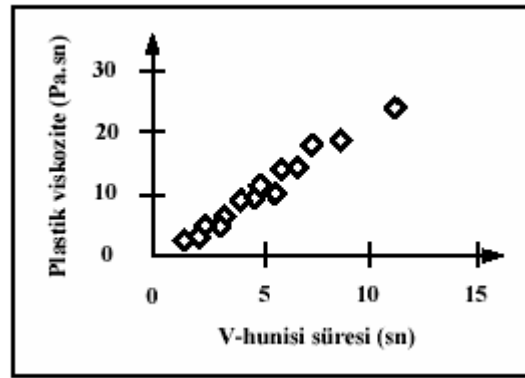
Bağıl yayılma değeri aşağıdaki denklemle hesaplanır. Denklemde Γ_p taze malzemenin bağıl yayılma değeri, d_1 ve d_2 birbirine dik yönde ölçülen yayılma çapları ve d_0 koninin taban çapıdır (sabit 100 mm).

$$\Gamma_P = (d_1 \times d_2 - d_0^2) / d_0^2 \quad (4.6)$$

V şekilli akış hunisi, viskoziteyi dolaylı yoldan ölçmek için kullanılır. Harç ve çimento hamuru için kullanılan V-hunisi, beton için kullanılanlardan daha küçük boyuttadır. Deneyde V-hunisi 1,1 litre harç ile doldurulur ve harcın orifisten çıkış süresi ölçülür. Harcın akış nedeni kendi ağırlığının eşik gerilmeyi aşması olduğundan, deney viskozite ile ilişkilendirilebilir (Felekoğlu, 2003). Akış süresi, orifisin açılmasıyla, huninin üstünden aşağı yönde dikey olarak bakıldığında gün ışığının ilk görülme anı arasında geçen periyottur. Bağlı akış hızı R_P aşağıdaki denklemle hesaplanır. Denklemden T , saniye cinsinden akış süresidir (Felekoğlu ve Baradan, 2003).

$$R_P = 10 / T \quad (4.7)$$

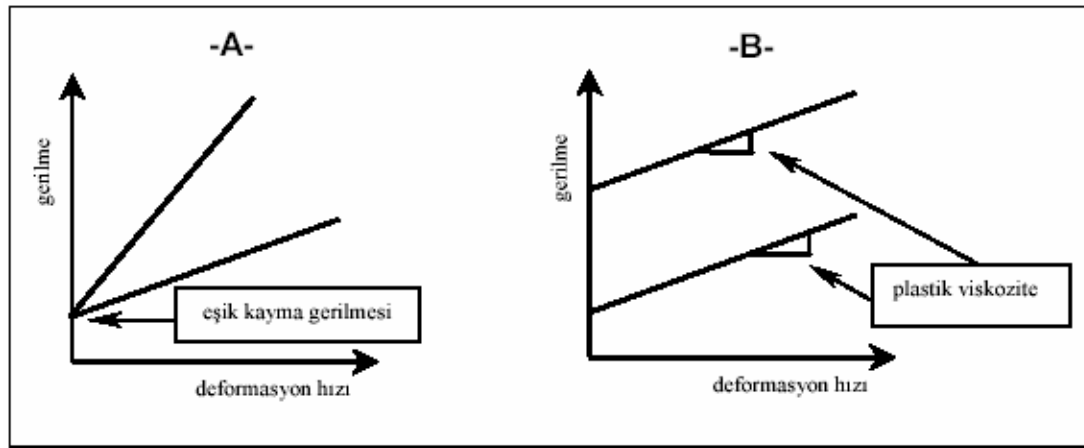
Domone ve Jin (1999), kendiliğinden yerleşen harçlarda yaptıkları çalışmada, V-hunisi süresi ile viskozite arasında korelasyon (Şekil 5.12) belirlemişlerdir (Felekoğlu, 2003).



Şekil 5.12. Harçta V-hunisi akış süresi – plastik viskozite ilişkisi

Domone ve Jin (1999), en yaygın olarak kullanılmakta olan, tek parametre ölçen deneylerden yayılma (mini çökme konisi) ve V-hunisi akış hızı deneylerinin büyük ölçüde Bingham denklemindeki eşik kayma gerilmesi ve plastik viskozite katsayılarına

bağlı olduğunu ve bu yüzden bu deneylerden herhangi birinin tek başına yapılmasının malzemenin performansı hakkında tatmin edici bir gösterge sağlamayacağını kanıtlamışlardır (Felekoğlu ve Baradan, 2003). Şekil 5.13’de iki ayrı karışımın tek parametreleri aynı, diğer parametreleri farklı olması durumundaki modelleri görülmektedir. Söz konusu iki karışım, kendiliğinden yerleşen betonda kullanılan çökme yayılma deneyi ile kıyaslandığında aynı yayılma değerini vereceğinden işlenebilirlik açısından aynı kabul edilmekte, ancak gerçekte çok farklı davranış göstermektedirler. Eğimi fazla olan doğrunun simgelediği karışım diğerine göre çok daha viskoz yapıdadır. Şekil 2.46-B’de ise viskoziteleri aynı fakat yayılma çapları farklı olan iki karışım verilmiştir. Bu karışımları kıyaslarken, V-hunisi sürelerinin eşit olması işlenebilirliklerinin aynı olduğu anlamına gelmez (Felekoğlu, 2003).



Şekil 5.13. Taze beton karışımları için farklı reolojik durumlar, A: Aynı eşik kayma gerilmesi, farklı viskozite B: Aynı viskozite, farklı eşik kayma gerilmesi

5.3 Kendiliğinden Yerleşen Betonun Mekanik Özellikleri

Kendiliğinden yerleşen betonun mekanik özellikleri büyük ölçüde dizayn parametreleri ve taze haldeki özelliklerine bağlıdır. Geleneksel betonun sınıflandırılması

çoğunlukla basınç dayanımına göre yapılırken, gelecekte KYB işlenebilirlik özelliklerine göre sınıflandırılacaktır (Perez vd., 2002).

5.3.1 Kendiliğinden Yerleşen Betonun Mekanik Özellikleri

KYB her ne kadar işlenebilirlik özelliklerine göre sınıflandırılrsa da belirli mekanik performans kriterlerini sağlaması gerekir. KYB'nin beklenen mekanik performansı vermesi aşağıdaki kriterlere bağlıdır:

1. Talep edilen performansa uygun malzeme tip ve oranlarının seçimi (karışım optimizasyonu),
2. Üretim safhasında malzeme tip ve oranlarındaki değişiminin minimizasyonu (homojen malzeme kullanımı, hammadde değişkenliğinden kaynaklanacak problemlerin azaltılması),
3. Ortam koşullarının KYB'ye etkisinin göz önüne alınması, bu koşullara uygun önlemlerin hem karışım dizaynında hem de üretim safhasında dikkate alınması,,
4. Üretim safhasında taze beton kalitesinin seçilen deneylerle sürekli kontrolü, istenen özelliği sağlamayan karışıma anında müdahale yapılması.

Yukarıdaki kriterlere uyulması halinde, KYB'den en yüksek mekanik performansı almak mümkün olacaktır. Uyulmayacak her kriter mekanik özelliklerde düşüşe sebep olur. Bu nedenle her KYB karışımından olumlu sonuç alınamayabilir. Geleneksel beton üretiminde de yukarıda söz edilen kriterlere uyulması performansı arttıracaktır. Ancak KYB'de bu kriterlere hassasiyet daha üst seviyededir.

5.3.2 Serbest Basınç Dayanımı

Günümüzde geleneksel beton üretiminde basınç dayanımı, betonun sınıflandırılması ve kalite kontrolünde kullanılan en önemli parametredir. Tüm karışım dizayn yöntemleri ve standartlar beton basınç dayanımının sağlanması esasına dayanır. KYB’de de basınç dayanımı talep edilen sınıfı sağlama açısından önemli bir parametredir. Fakat taze haldeki kendiliğinden yerleşebilirlik kriterleri de aynı derecede önem taşımaktadır.

Kendiliğinden yerleşen beton dizayn yöntemlerinde, basınç dayanımı faktörü ikinci derecede önem arz etmektedir. Örneğin Okamura yönteminde, basınç dayanımı ile ilgili herhangi bir su/çimento (S/Ç) oranı – basınç dayanımı ilişkisi verilmemiştir. Basınç dayanımı için S/Ç oranının belirlenmesinde, geleneksel beton dizayn yöntemlerindeki tabloların ilk yaklaşım için kullanılabileceği belirtilmiştir. KYB’de ilk yaklaşım olarak alınan su/çimento oranı genellikle istenen dayanımın üzerinde bir beton üretilmesine sebep olmaktadır. Bunun sebebi KYB karışımındaki ilave toz malzemenin karışım suyunu tutarak, aslında yüksek gibi görünen S/Ç oranını düşürmesinden ibarettir (Felekoğlu, 2003).

KYB’de kullanılan toz madde tipi de dayanım sınıfının değişmesine sebep olmaktadır. Aynı çimento dozajında farklı tipte toz maddelerin kullanılması, toz maddelerin puzolanik özellik gösterip göstermediğine göre dayanım sınıfı değişikliğine sebep olabilir. Bu değişkenlik diğer mekanik özellikleri de etkileyecektir (Felekoğlu, 2003).

Toz tipi metoduyla üretilmiş KYB için geleneksel beton gibi dayanım sınıfı su/çimento ilişkisi kurulması ancak sabit bir toz malzeme kullanılması halinde mümkündür. KYB üretiminde kullanılan toz tip ve miktarları çok değişken olduğundan (taş tozu, uçucu kül, doğal ve yapay cürufur, silis dumanı vb.) dayanım sınıfı - su/çimento ilişkisinin genellenmesi pratik değildir (Felekoğlu, 2003).

Xie vd. (2002), 300 - 350 kg/m³ çimento dozajı, 500 - 600 kg/m³ toplam toz dozajı (çimento ve uçucu kül) kullanarak, farklı su ve akışkanlaştırıcı katkı miktarları ile kendiliğinden yerleşebilirliğini sağladıkları betonlarda, 28 günde 60 - 80 MPa'lık basınç dayanımlarına ulaşılabilirdiğini rapor etmişlerdir.

Öte yandan toz kullanılmadan, viskozite arttırıcı kimyasal katkılarla üretilen KYB'lerde, geleneksel beton için hazırlanan dayanım sınıfı - su/çimento ilişkisi tablolarının kullanılması uygundur.

Özet olarak KYB'nin basınç dayanımı bileşen çeşitliliği nedeniyle, önceden öngörülemezdir. İlk yaklaşım olarak geleneksel beton için hazırlanan dayanım sınıfı su/çimento ilişkisi tabloları kullanılabilir. Özellikle toz tipi metodu kullanılarak üretilen KYB'lerde elde edilecek dayanım sınıfı büyük ihtimalle beklenen değerin üzerinde çıkacaktır (Bernabeu & Laborde, 2000).

Bernabeu & Laborde (2000) tarafından yürütülen proje kapsamında üç farklı inşaatta kullanılan KYB karışımlarından elde edilen basınç dayanımı değerleri Tablo 5.1'de görüldüğü gibi öngörülen değerlerden yüksektir.

Tablo 5.1. Öngörülen dayanım sınıfı ile elde edilen KYB dayanımları arası ilişki

Şantiye	Öngörülen dayanım sınıfı	Deney sonuçları (MPa)
Lyons	B*25	35
Qresund	B 50	70
Motala	B 50	75 - 80

* İsveç'te kullanılan beton sınıflandırma sisteminde silindir örnek basınç dayanımı (MPa)

KYB'nin basınç dayanımı üniform yapısı nedeniyle geleneksel betona kıyasla daha homojen bir dağılım gösterir. Li & Hwang'ın (2002) yaptığı çalışmada istatistiksel açıdan anlamlı olması açısından, 30'ar numuneli iki seri hazırlanmış ve bunların basınç

dayanımı değişkenlik katsayısının % 5'in altında olduğu belirlenmiştir. Bu da oldukça homojen bir üretim kalitesine işaret eder.

5.3.3 Erken Dayanım ve Basınç Dayanımı Kazanma Hızı

Literatürde KYB'de, hiperakışkanlaştırıcıların yüksek dozajlarda kullanımının erken dayanımı arttırdığı veya azalttığı durumlar rapor edilmiştir. Çelişen sonuçların en önemli nedeni hiperakışkanlaştırıcıların kimyasal yapılarının farklılığıdır. Her hiper akışkanlaştırıcıya kimyasal modifikasyonlarla, farklı işlevsellik kazandırılabilirdiğinden, farklı performans göstermeleri doğaldır. Bu durumda en doğru yöntem, ön denemeler yaparak katkı performansını deneysel yolla tespit etmektir.

Hiperakışkanlaştırıcılar, kendiliğinden yerleşebilirliği sağlamanın yanısıra, su kesme işlevi de gördükleri için, ortamdaki su miktarını azaltarak erken dayanımı arttırmırlar (Felekoğlu, 2003).

Toz tipi metodu ile üretilen KYB'lerde taş tozu kullanılması halinde, erken dayanım bir miktar yükselmektedir. Ramsburg & Neal (2002) taş tozu kullanılması halinde, kalıp alma sürelerinin kısaldığını rapor etmiştir. Prefabrike beton uygulamalarında da 14 - 18 saatte kalıptan alınabilen, taş tozlu KYB dizaynları rapor edilmiştir. Uçucu kül kullanılması halinde özellikle düşük sıcaklıklarda ve yüksek oranda akışkanlaştırıcı katkıyla birlikte kullanımda erken dayanımda düşüş beklenir (Khayat vd., 2002). Fakat 28 günlük basınç dayanımı aynı S/Ç oranı ve çimento dozajı kullanılarak üretilen taş tozlu karışımlara göre daha yüksektir (Petersson, 1999).

Silis dumanı ve polikarboksilat bazlı akışkanlaştırıcı katkıların birlikte kullanımı erken dayanımı arttırmaktadır (Sarp vd., 2002). Viskozite arttırıcı kimyasal katkıların (VAK) kullanılması halinde, KYB'nin dayanım kazanma hızı yavaşlar (Petersson, 1999). Benzer sonuçları Shi vd. (2002) 'de elde etmiştir. VAK'ların erken dayanımı geciktirmesinin iki sebebi vardır:

1. Beraberinde kullanılan akışkanlaştırıcı dozajını arttırmaları ile dolaylı yoldan dayanım kazanma hızının yavaşlaması.

2. Su tutma özelliğine sahip VAK'ların hidratasyon suyunu karışıma gecikmeli vermesi.

Shi vd. (2002) yaptıkları çalışmalarda, VAK kullanımının 7 günlük basınç dayanımını azaltırken, 28 günlük dayanımlarda bir değişiklik yaratmadığı sonucunu elde etmişlerdir.

5.3.4 KYB ile Donatı ve KYB ile Geleneksel Beton Arasındaki Aderans

Söderlind & Claeson (2000) yaptıkları deneysel araştırmalarda aynı dayanım sınıfındaki KYB ile normal beton arasındaki aderansın, iki normal beton arasındaki aderansa göre eşit veya daha iyi olduğu sonucunu elde etmişlerdir.

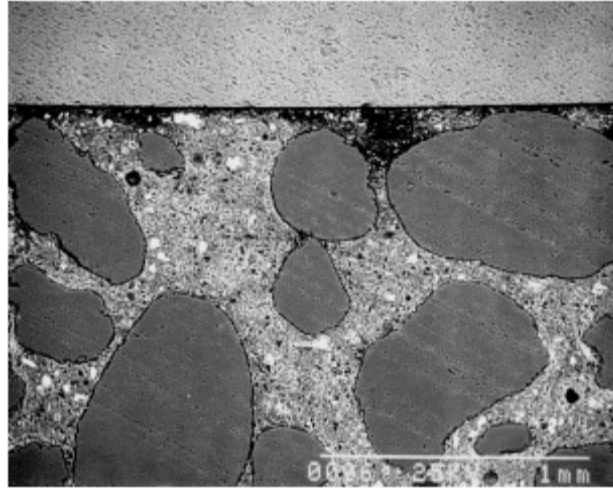
Tviksta'da (2000) KYB'nin donatı ile aderansının klasik betona kıyasla daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur.

Khayat (1998) sıyrılma deneyi ile KYB'de düşey homojenliğin standart betona kıyasla çok daha iyi olduğunu tespit etmiştir. Stabilitesi düşük, ayrışan standart betonun düşeyde mekanik özellikleri homojenlik göstermez. KYB'de ise düşeyde mekanik özelliklerdeki değişkenlik (top-bar effect) önemli ölçüde azalmaktadır (Khayat, 1997 – Özkul vd., 2000 – Daczko, 2002).

5.3.5 Çekme Dayanımı

Tviksta (2000) çekme dayanımı için aynı basınç dayanımına sahip geleneksel beton ile KYB karşılaştırıldığında önemli bir farklılık olmadığını rapor etmiştir. Turcry vd.

(2002) aynı dayanım sınıfında, KYB ile geleneksel betonun çekme dayanımı/basınç dayanımı oranlarını karşılaştırdığı çalışmada, KYB'nin çekme dayanımının geleneksel betona oranla daha yüksek olduğu sonucunu elde etmiştir. Bunun en önemli sebepleri KYB'deki boşluk yapısının daha homojen dağılmış olması ve sıkıştırma enerjisinden kaynaklanan mikroyapı kusurlarının ortadan kalkmasıdır. Geleneksel betonda aşırı vibrasyondan kaynaklanan terlemenin (kanama, su kuma) yarattığı yüzey görünümü Şekil 5.14'den izlenebilir.



Şekil 5.14. Aşırı vibrasyondan kaynaklanan kanamanın yarattığı olumsuz yüzey kalitesi

5.3.6 Kuruma Büzülmesi, Termal Büzülme ve Sünme

KYB yüksek toz oranı nedeniyle normal betona kıyasla daha çok plastik büzülme yapabileceğinden erken yaşlarda küre özen gösterilmelidir. Ayrıca sünme eğilimi de yüksektir (EFNARC Komitesi, 2002).

KYB dizaynında toz tipi metodu kullanılıyorsa, otojen kuruma büzülmesi açısından bakıldığında, taş tozu kullanmak uçucu kül kullanmaktan daha avantajlıdır. Çünkü uçucu kül puzolanik reaksiyona girdiği için, betonda kimyasal reaksiyondan kaynaklanan bir büzülmeye de sebep olmaktadır. Taş tozu kullanılması halinde ise

çimento ile belli oranda ikame edilerek kuruma büzülmesi azaltılabilir (Ambrosie & Pera, 2002 - Carbo vd., 2002).

Persson (2001) ise KYB ile geleneksel beton arasında kuruma büzülmesi bakımından bir fark olmadığı sonucunu elde etmiştir.

Francy & Chopin (2001), uçucu kül kullanılması durumunda kuruma büzülmesinin yüksek olduğunu tespit etmiştir.

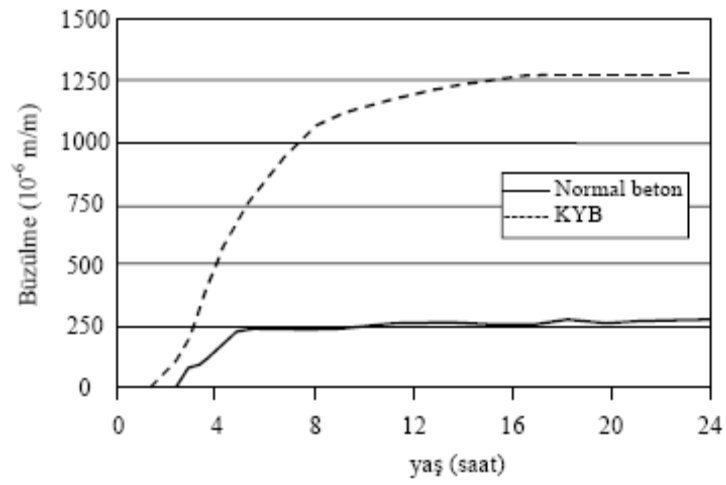
KYB’de agrega gradasyonu inceldikçe veya kum/iri agrega oranı arttıkça kuruma büzülmesi artar (Attiogbe vd., 2002 - Ambrosie & Pera, 2002).

Turcry vd.’nin (2002) KYB ve geleneksel betonun plastik büzülme ve kuruma büzülmesini karşılaştırdıkları çalışmada kullanılan dizaynlar, Tablo 4.2’de görülmektedir. Aynı basınç dayanımına sahip bu iki karışımda plastik büzülmenin KYB’de geleneksel betondan 4 kat fazla olduğu (Şekil 5.14), fakat kuruma büzülmelerinin aynı olduğu (Şekil 5.15) sonucu elde edilmiştir. KYB’de düşük su/toz oranı ve yüksek oranda akışkanlaştırıcı kullanılması plastik büzülme hassasiyetini arttırmaktadır. Bu sebeple KYB’de her hava koşulunda erken yaşlarda küre dikkat edilmelidir. Normal betona göre plastik büzülme çatlağı oluşma ihtimali daha yüksektir.

Kuruma büzülmesinin KYB’de daha az veya en azından geleneksel betonla aynı olduğunu savunan araştırmacılar, bunun sebebini düşük su/toz oranına bağlamaktadır. Düşük su/toz oranı beton sertleştikten sonra oluşan boşluk miktarını azalttığı için bu boşluklardan çıkan su miktarı da azalmakta böylece kuruma büzülmesi önlenmektedir (Hughes, 2002 – Raghavan vd., 2002).

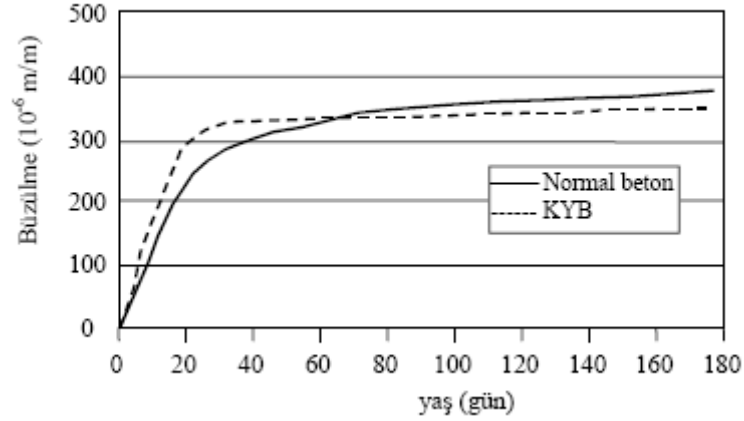
Tablo 5.2. Karışım dizaynı ve taze beton deney sonuçları.

Kg/m ³	çimento	Taştozu	Çakıl	Kum	Akışkanlaştırıcı	VAK	Yayılma Çökme	L kutusu oranı
KYB	350	150	790	860	5,39	3,43	65	0,80
NB	360	-	1070	780	0,95	-	10	-



Şekil 5.14. Plastik büzülme karşılaştırması

KYB'de sünme oranı 7 ile 28 gün arasında belirgin bir şekilde azalır (Raghavan vd., 2002).



Şekil 5.15. Kuruma büzülmesi karşılaştırması

5.3.7 Boşluk Yapısı

KYB'nin boşluk yapısı, taze haldeki reolojik özelliklerinden, kullanılan kimyasal katkı, döküm yöntemi, kalıp şekli ve donatı miktarından önemli ölçüde etkilenir.

Boel vd. (2002), yaptığı araştırmada mikro tomografi yöntemiyle KYB'nin boşluk yapısını standart beton ile karşılaştırmıştır. KYB'de boşluk çapının daha büyük ama bağlantısız (izole edilmiş boşluk yapısı) olduğu sonucunu elde etmiştir. Kapiler su emme deneylerinde aynı dayanım sınıfındaki KYB'de 24 saatte 2.9 cm, geleneksel betonda ise 4.4 cm kapiler yükselme meydana gelmiştir. Fakat su emme miktarları KYB için % 6.1, geleneksel beton için % 4.9'dur. KYB iç yapısında su boşluklar arasında geçiş yapamadığı için standart betondaki kadar yükselememiştir.

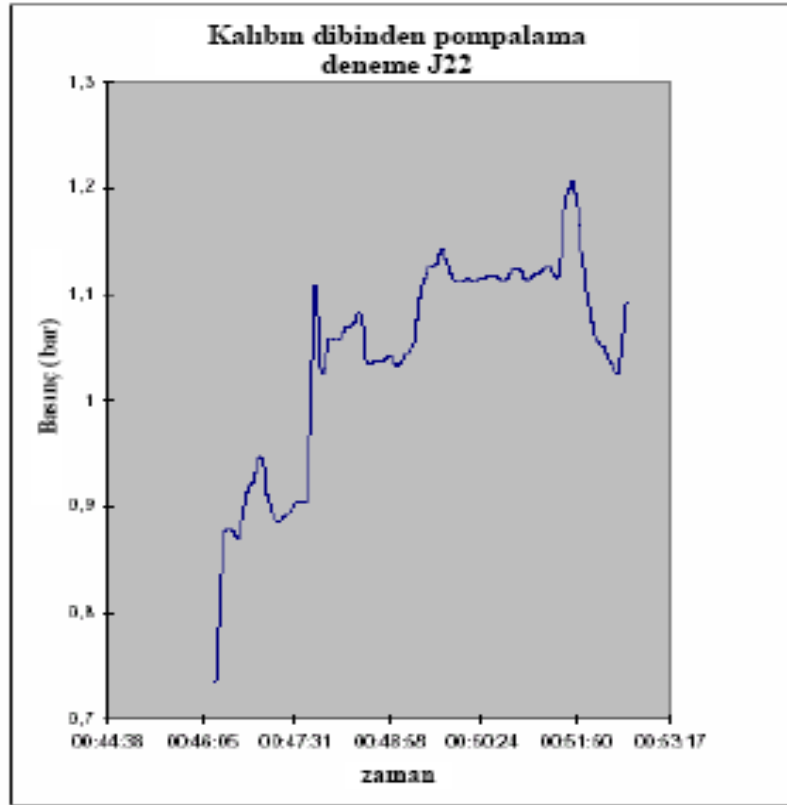
KYB daha önceki bölümlerde belirtildiği gibi, farklı reolojik özelliklere sahip olabilir. Viskozitesinin yüksek olması beton içinde sıkışık hava boşluğu kalmasına sebep olmakta ve bu sıkışık hava boşlukları, beton dayanım sınıfını sağlasa da yüzey kalitesini olumsuz etkilemektedir. Yüksek viskoziteli KYB karışımlarında, bu olumsuzluğun giderilmesi amacıyla, düşük frekanslı vibrasyon denenmiş fakat vibrasyonun uzun süreli yapılmasının ayrışmaya yol açtığı saptanmıştır.

Döküm hızının yüksek olması halinde sıkışık hava boşluğu miktarının arttığı görülmüştür. Pompanın taze beton içine gömülü iken (Şekil 5.16) betonun yerleştirilmesi halinde boşluk miktarının azaldığı sonucu elde edilmiştir (Söderlind & Claeson, 2000 – Bernabeu & Laborde, 2000 - Lessard vd., 2002). Fakat bu durumda kalıp, sürekli artan bir basınca maruz kalacağından, emniyetli kalıp dizaynına ihtiyaç duyulmaktadır (Şekil 5.17).

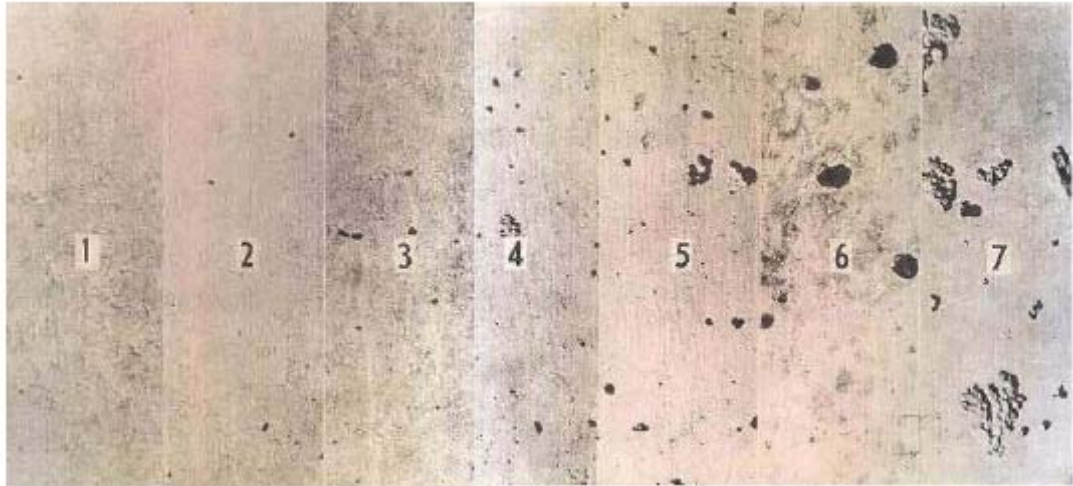


Şekil 5.16. KYB'nin kalıp içine aşağıdan pompalanması

Boşluk yapısının deneysel olarak tespiti pratik değildir. Yüzey görünümünden boşluk yapısı hakkında fikir elde edilebilir. Fransız Standardı P18-503'de yüzey boşluk yapısı, Şekil 5.18'da görülen 7 sınıfa ayrılmıştır. Bu şablon kullanılarak yüzey görünümü sınıflandırılması yapılmaktadır. İlk 4 sınıf kaliteli yüzey görünümü olarak kabul edilmektedir. Bal peteği görünümlü boşlukların bulunduğu 5, 6 ve 7. sınıflar KYB olarak kabul edilemez.



Şekil 5.17. KYB'nin kalıp içine aşağıdan pompalanması halinde kalıp iç basıncının zamanla değişimi (ölçülen nokta kalıbın en altıdır)



Şekil 5.18. Fransız standartlarına göre yüzey görünüm sınıflandırması

5.3.8 Gerilme Birim Şekil Değiştirme İlişkisi ve Elastisite Modülü

KYB'nin gerilme ve birim şekil değiştirme ilişkisi ve elastisite modülü, dizaynında viskozite artırıcı olarak toz veya kimyasal madde kullanılmasına göre değişmektedir. Aynı dayanım sınıfına sahip toz kullanılarak üretilmiş KYB ile geleneksel betonun elastisite modülleri karşılaştırıldığında, KYB'nin elastisite modülünün daha düşük olduğu tespit edilmiştir (Ambrosie & Pera, 2002). Toz tipi KYB dizaynında kullanılan yüksek hamur hacmi, elastisite modülünü azaltan etken olarak kabul edilmektedir. Tviksta (2002) ve Persson'a (2001); göre aynı dayanım sınıfında KYB ile geleneksel betonun elastisite modülleri arasında önemli bir fark yoktur. Tablo 5.3'de verilen kombinasyon metodu ile üretilmiş KYB ile geleneksel betonun elastisite modülleri karşılaştırıldığında KYB'nin elastisite modülünün oldukça düşük olduğu görülmüştür (Raghavan vd., 2002).

Tablo 5.3. KYB ile geleneksel betonun (GB) elastisite modülleri

	KYB	GB
Çimento	400 kg	450 kg
Uçucu kül	175 kg	-
Kum	830 kg	714 kg
İri agrega	735 kg	1072 kg
Su	180 lt	180 lt
Akışkanlaştırıcı (polikarboksilat bazlı)	2,20 lt	-
Akışkanlaştırıcı (Sülfona Naftalin formaldehit kondensatı)	-	2,50 lt
VAK	3 lt	-
Yayılma	67 cm	67 cm
Elastisite modülü (7g)	25 GPa	50 GPa
Elastisite modülü (28g)	33 GPa	50 GPa

5.3.9 Geçirimsizlik

Raghavan vd. (2002), hızlı klor iyonu penetrasyon deneyi ile aynı dayanım sınıfında geleneksel beton (GB) ile KYB’de aşağıdaki sonuçları elde etmiştir:

GB 4000 coulomb

KYB 1100 - 1500 coulomb

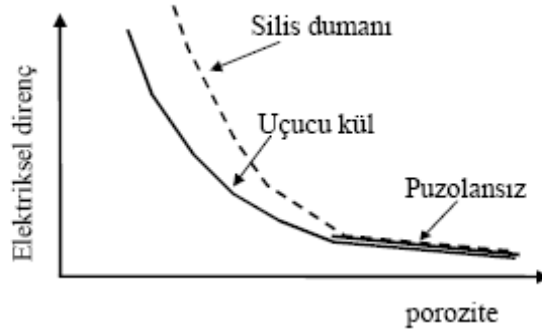
Yukarıdaki sonuçlara göre KYB, geleneksel betona kıyasla çok daha geçirimsiz bir yapıya sahiptir.

KYB’nin bu direncinin taş tozunun yoğunluk arttırıcı etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ramsburg & Neal’ın (2002) yaptığı aynı dayanım sınıfında geleneksel beton ile KYB karşılaştırmasında, geçirimsizlikte KYB lehine iki-üç kat azalma olduğunu rapor etmiştir.

KYB’de taş tozu kullanımı ile betonun boşluk yapısı klor iyon difüzyonuna dirençli hale getirilebilir (Petersson, 2002).

Carbo vd.’nin (2002) yaptığı kapiler su emme deneylerinde KYB’nin olumlu sonuçları rapor edilmiştir.

Hwang & Hung (2002), yaptıkları deneysel çalışmada puzolanların KYB’de geçirimsizliği azaltıcı etkilerini Şekil 5.19’deki gibi belirlemiştir. Silis dumanı bu açıdan en olumlu özelliğe sahip puzolandır.

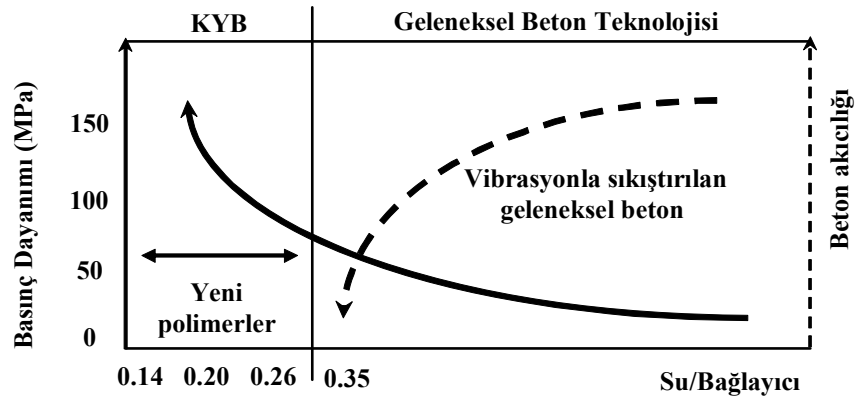


Şekil 5.19. Farklı puzolanların elektriksel direnç – porozite ilişkileri

5.4 Kullanım Alanları

KYB özel tip beton sınıfında sayılabilir. Büyük boyutlu inşaatlarda, dar kesitli ve sık donatılı, vibratörün girmesi mümkün olmayan perde tipi elemanlarda, onarım, bakım ve yenileme işlerinde, özel kalıp gerektiren işlerde kullanılan KYB henüz geleneksel beton kadar geniş kullanım alanına sahip değildir. Bunun sebebi KYB'nin maliyeti yüksek oluşu ve dizayn ve uygulama alanında yeni yöntemler gerektirmesidir. Prefabrike beton üretiminde KYB kullanımı da önemli teknik avantajlar sağlamaktadır (Felekoğlu, 2003)

KYB ile betonarme yapılarda geleneksel betona kıyasla mimari ve estetik açıdan çok daha kaliteli dış görünüş elde edilebilmektedir. Aynı zamanda boşluksuz yüzey betonarme elemanlar için geçirimsiz ve dolayısıyla durabil bir yapı anlamına gelir. Polimer teknolojisinin sürekli gelişimiyle gelecek yıllarda çok daha düşük su/toz oranına sahip, dayanım ve dayanıklılık bakımından yüksek performanslı KYB'ler üretilmesi beklenmektedir (Şekil 5.20).



Şekil 5.20. KYB'nin geleneksel betonla kıyaslanması (Danzinger vd., 2002)

BÖLÜM ALTI

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1 Amaç

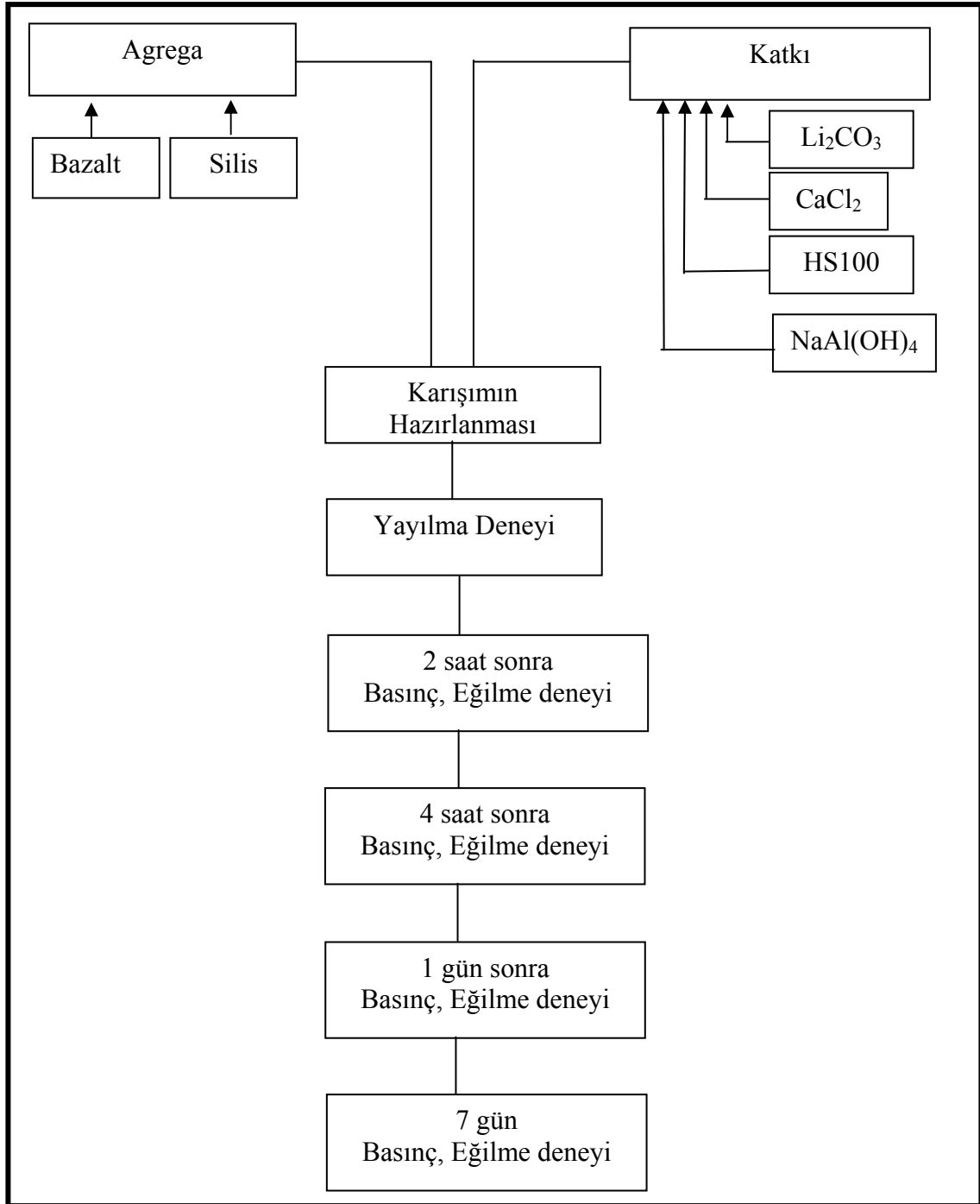
Bu çalışmada halen Türkiye ve diğer NATO ülkelerin de kullanılmakta olan Pist Çabuk Onarımı yönteminin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bölüm ikide anlatıldığı gibi, pist çabuk onarımının en son aşaması olan prefabrik blokların yerleştirme safhasının yerine, kendiliğinden yerleşen ve çok hızlı dayanım kazanan beton üretilmeye çalışılmıştır.

6.2 Kapsam

Bu çalışma, kendiliğinden yerleşebilme özelliğini sağlayan karışımlar üzerinde 2,4 saat ile 1 ve 7 günlük eğilme ve eğilme sonrası basınç dayanımı deneylerini kapsamaktadır. 2 saatlik sürede en az 20 MPa elde edilmesi hedeflenen karışımlardan, belirtilen her yaş durumu için ikişer adet 40x40x160 mm prizma örnekleri üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca çalışma kıyaslama için vibrasyonla sıkıştırılan örnekler üzerinde yapılan deneyleri de kapsamaktadır.

6.3 Deney Programı

Deney programı aşağıdaki şemada görüldüğü gibidir.



Şekil 6.1 Deney programı

6.4 Kullanılan Malzemeler Ve Özellikleri

6.4.1 Çimento

Bu çalışmada, ÇimSA’da üretilmekte olan ISIDAÇ 40, kalsiyum aluminatlı çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun üretici firmadan alınan fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri Tablo 6.1’de belirtilmiştir.

Tablo 6.1 ISIDAÇ 40 çimentosunun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri

Kimyasal Özellikler	(%)
Kızdırma Kaybı	0,0
SiO ₂	2,15
Al ₂ O ₃	40,39
Fe ₂ O ₃	16,98
CaO	37,87
MgO	0,85
K ₂ O	0,05
Na ₂ O	0,0
SO ₃	0,01
Fiziksel Özellikler	
Yoğunluk (g/cm ³)	3,29
Blaine İnceliği (cm ² /g)	3540
Priz Başlangıcı (Dakika)	245
Priz Sonu (Dakika)	260
Mekanik Özellikler (MPa)	
6 Saatlik Basınç Dayanımı	55,2
24 Saatlik Basınç Dayanımı	81,6
6 Saatlik Eğilme Dayanımı	6,0
24 Saatlik Eğilme Dayanımı	7,5

6.4.2 Agregalar

Çalışma kapsamında bazalt ve silis kumu kullanılmıştır. Bu agregaların kullanılmasının sebebi, yapılan ön deneylerde doğal kum ile yapılan numuneler yeterli dayanımı verememesidir. Ayrıca ön deneylerde çimento hamurunun çok hızlı dayanım kazandığı, yapılan eğilme ve basınç deneylerinde numunelerin hamurdan değil agregalardan kırıldığı görülmüştür. Böylece dayanımı daha fazla olan bazalt ve silis agregası kullanımı yoluna gidilmiştir.

Deneylerde kullanılan silis kumu POMZA EXPORT A.Ş tarafından , bazalt kumu ise Delsan A.Ş. tarafından sağlanmıştır. Kullanılan agregaların özgül ağırlıkları Tablo 6.2 de verilmiştir.

Tablo 6.2. Agreg a özgül ağırlıkları

Agrega tipi	Özgöl ağırlık
Bazalt kumu	3
Silis kumu	2,65

Silis kumu üretici tarafından 0,5-1, 1-3, 3-5 tane boyutu aralıklarından 25 kilogramlık paketler halinde verilmiştir. Ayrıca bu agreg a için elek analizi yapılmamıştır. Bazalt kumu ise 0,5, 1 , 2, 4 mm elek açıklığı olan eleklerden geçirilip silis kumuyla aynı gradasyona sahip olması sağlanmıştır. Kullanılan agreg a ağırlıkları ve yüzdeleri Tablo 6.3 ve 6.4’ de verilmiştir.

Tablo 6.3 Silis kumu tane boyutu, ağırlığı ve yüzdeleri

Tane boyutu	Ağırlık	Yüzde
0,5 – 1	404	35
1 – 3	462	40
3 - 5	269	25

Tablo 6.4 Bazalt kumu tane boyutu, ağırlığı ve yüzdeleri

Tane boyutu	Ağırlık	Yüzde
0,5 – 1	404	35
1 – 2	462	40
2 - 4	269	25

6.4.3 Su

Hazırlanan betonlarda karışım suyu olarak şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Bu suyun, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nde yapılan kimyasal analizi Tablo 6.5’de verilmiştir.

Tablo 6.5 Karışım suyunun kimyasal analizi

Özellik / Bileşen	Miktarı / Değeri
PH	6,90
İletkenlik	370
Tuzluluk (%)	0,18
Klorür (mg/lt)	124
T. sertlik (CaCO ₃ /lt)	158
Kalsiyum (mg/lt)	49
Magnezyum (mg/lt)	18
Sülfat (mg/lt)	26

6.4.4 Katkı

Bu çalışmada akışkanlaştırıcı ve priz hızlandırıcı olmak üzere iki tip katkı kullanılmıştır. Akışkanlaştırıcı olarak, Konsan Bilgi ve Teknoloji Üretim A.Ş. tarafından üretilen HS-100 (Smartflow) isimli polikarboksilat bazlı bir hiper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Priz hızlandırıcı olarak ise lityum karbonat, kalsiyum klorür ve sodyum alüminat olmak üzere üç farklı katkı kullanılmıştır. Lityum karbonat Dokuz Eylül

Üniversitesi Çevre Mühendisliği Laboratuvarından, diğer katkılar ise Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı Malzemesi Laboratuvarından temin edilmiştir. Kullanılan katkıların özgül ağırlıkları Tablo 6.6' da verilmiştir.

Tablo 6.6 Katkı özgül ağırlıkları

Katkı adı	Özgül ağırlık
Li_2CO_3	2,11
CaCl_2	2,15
$\text{NaAl}(\text{OH})_4$	1,48
HS -100	1,19

6.5 Deney Örneklerinin Hazırlanması

Deneilerin yapılışına, kullanılacak malzeme miktarlarının belirlenmesi ile başlanmıştır. Her bir karışımda 1155 gr agregası, 900 gr kalsiyum alüminat çimento, su kullanılmıştır. Su ve kimyasal katkı miktarları sırasıyla , yayılma değeri vibrasyonlu seri için 120 (± 10) mm, kendiliğinden yerleşen seri için 250 (± 10) mm olacak şekilde belirlenmiştir. Katkı ise çimento ağırlığının Tablo 6.7, 6.8, 6.9, 6.10, 6.11, 6.12 da verilen yüzdeler ile karışım suyuna eklenerek katılmıştır. Silis kumuyla yapılan örnekler S koduyla, bazalt kumuyla yapılan örnekler B koduyla adlandırılmıştır.

Tablo 6.7 Vibrasyonla sıkıştırılan ,silis kumlu seri karışım miktarları

Karışım No	Çimento	silis kumu	su	s/c	hızlandırıcı		yayılma
					cal. Clor.	sod. Al.	
					(g)	(g)	
S101	900	1155	270	0,3	-	-	138
S102	900	1155	270	0,3		9 (%1)	137
S103	900	1155	270	0,3		27 (%3)	125
S104	900	1155	270	0,3		45 (%5)	120
S105	900	1155	230	0,26	9 (%1)		120
S106	900	1155	210	0,23	27 (%3)		120
S107	900	1155	325	0,36	45 (%5)		120

Tablo 6.8 Vibrasyonla sıkıştırılan ,bazalt kumlu seri karışım miktarları

Karışım No	Çimento	Bazalt kumu	su	s/c	hızlandırıcı		yayılma
					cal. Clor.	sod. Al.	
					(g)	(g)	
B101	900	1155	270	0,3	-	-	120
B102	900	1155	270	0,3		9 (%1)	126
B103	900	1155	290	0,32		27 (%3)	116
B104	900	1155	305	0,34		45 (%5)	115
B105	900	1155	235	0,26	9 (%1)		125
B106	900	1155	235	0,26	27 (%3)		129
B107	900	1155	235	0,26	45 (%5)		113

Tablo 6.9 Kendiliğinden yerleşen ,silis kumlu seri karışım miktarları

Karışım No	Çimento	Silis kumu	su	s/c	Hızlandırıcı			Akışkanlaştırıcı	Yayılma
					Cal. Clor.	Sod. Al.	Li ₂ CO ₃	Hs 100	
					(g)	(g)	(g)	(g)	
S201	900	1155	270	0,3		9 (%1)		5,5	138
S202	900	1155	270	0,3		27 (%3)		7	137
S203	900	1155	270	0,3		45 (%5)		11,5	125
S204	900	1155	270	0,3			1 (%0,1)	3	120
S205	900	1155	270	0,3			2 (%0,2)	3	120
S206	900	1155	270	0,3			3 (%0,3)	3	120
S207	900	1155	250	0,28	9 (%1)			3	120
S208	900	1155	250	0,28	27 (%3)			3	121
S209	900	1155	250	0,28	45 (%5)			5	122

Tablo 6.10 Kendiliğinden yerleşen ,bazalt kumlu seri karışım miktarları

Karışım No	Çimento	Bazalt kumu	su	s/c	Hızlandırıcı			Akışkanlaştırıcı	Yayılma
					Cal. Clor.	Sod. Al.	Li ₂ CO ₃	Hs 100	
					(g)	(g)	(g)	(g)	
B201	900	1155	270	0,3		9 (%1)		5,5	138
B202	900	1155	270	0,3		27 (%3)		7	137
B203	900	1155	270	0,3		45 (%5)		11,5	125
B204	900	1155	270	0,3			1 (%0,1)	3	120
B205	900	1155	270	0,3			2 (%0,2)	3	120
B206	900	1155	270	0,3			3 (%0,3)	3	120
B207	900	1155	250	0,28	9 (%1)			3	120
B208	900	1155	250	0,28	27 (%3)			3	121
B209	900	1155	250	0,28	45 (%5)			5	122

Tablo 6.11 Kendiliğinden yerleşen ,silis kumlu seri karışım miktarları

Karışım No	Çimento	silis kumu	su	s/c	Hızlandırıcı	Akışkanlaştırıcı	yayılma (mm)	yayılma süresi (sn.)
	(g)	(g)	(g)		Li ₂ CO ₃	Hs 100		
	(g)	(g)	(g)		(g)	(g)		
S301	900	1155	270	0,3	1 (%0,1)	3	138	138
S302	900	1155	270	0,3	2 (%0,2)	3	137	137
S303	900	1155	270	0,3	3 (%0,3)	3	125	125
S304	900	1155	270	0,3	0,5 (%0,06)	5	267	19
S305	900	1155	270	0,3	0,25 (%0,03)	5	270	20
S306	900	1155	270	0,3	0,125 (%0,01)	5	268	20

Tablo 6.12 Kendiliğinden yerleşen ,bazalt kumlu seri karışım miktarları

Karışım No	Çimento	bazalt kumu	su	s/c	Hızlandırıcı	Akışkanlaştırıcı	yayılma (mm)	yayılma süresi (sn.)
	(g)	(g)	(g)		Li ₂ CO ₃	Hs 100		
	(g)	(g)	(g)		(g)	(g)		
B301	900	1155	270	0,3	1 (%0,1)	3	138	138
B302	900	1155	270	0,3	2 (%0,2)	3	137	137
B303	900	1155	270	0,3	3 (%0,3)	3	125	125
B304	900	1155	270	0,3	0,5 (%0,06)	5	260	17
B305	900	1155	270	0,3	0,25 (%0,03)	5	260	15
B306	900	1155	270	0,3	0,125(%0,01)	5	262	20

Harç karışımları, Şekil 6.2’de görülen Hobart mikser kullanılarak hazırlanmıştır. Homojen bir karışım elde etmek amacıyla, agrega ve bağlayıcılar kuru olarak 3 dakika karıştırılmıştır. Harcın hazırlanmasında esas alınan su miktarı, yayılma tablasında vibrasyonlu seri için 120 ± 10 , kendiliğinden yerleşen seri için ise 250 ± 10 mm yayılma elde edilecek şekilde ayarlanmıştır. Su ilavesinin ardından 3 dakika düşük devirde ve 2 dakika yüksek devirde karıştırma yapılarak karışım hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlar, 40x40x160 mm boyutlu prizma kalıplara iki tabaka halinde her tabaka 1 dakika sarsma tablasında sarsılarak ve aynı zamanda 25 tokmak darbesi ile sıkıştırılarak yerleştirilmiştir.



Şekil 6.2. Hobart mikseri

6.6 Örneklerin Tabi Tutulduğu Deneyler

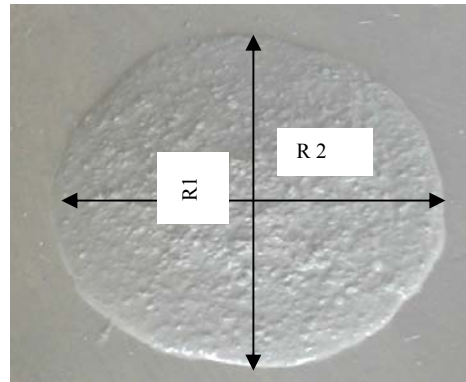
6.6.1 Yayılma deneyi

Karıştırma kabından tepsiye alınan harç, yayılma deneyi aletinin üzerindeki kalıba önce yarısı dolacak şekilde yerleştirilmiş tokmak ile 25 defa vurulduktan sonra kalıbın diğer yarısı doldurularak, tekrar 25 vuruş daha uygulanmıştır. Kalıbın üst yüzeyi mala

yardımı ile düzeltildikten sonra kalıp çekilerek alınmış ve yayılma deneyi aletinin kolu 3 sn'de 5 kez çevrilerek, yayılan örneğin çapı 2 farklı ekseninde kumpas yardımı ile ölçülmüş, bulunan değerlerin ortalaması kaydedilmiştir. Kendiliğinden yerleşen seri de ise mikserde alınan harç karışımı kalıba doldurulmuş ve kalıp çekilerek alındıktan sonra nihai yayılma, süre tutulup ölçülmüştür.(Şekil 6.3 ve 6.4)



Şekil 6.3 Kumpas yardımıyla çimento harcında yayılma değerinin ölçülmesi.



Şekil 6.4 Mini çökme hunisinin doldurulması ve yayılmanın ölçülmesi

6.6.2 Eğilme ve Basınç Deneyleri

Eğilme deneyleri, ASTM C348'e göre 120 mm mesnet açıklığı kullanılarak ve tek noktadan yükleme yapılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.5).



Şekil 6.5 Eğilme deneyi presi

Eğilme deneyi sonrası elde edilen iki parça üzerinde, Şekil 6.6'da görülen basınç presi vasıtası ile basınç deneyi yapılmıştır.



Şekil 6.6 Basınç deneyi presi

BÖLÜM YEDİ

DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Tablo 7.1, 7.2, 7.3, 7.4 , 7.5 ve 7.6 'da her karışım için yapılan yayılma deneyi sonuçları ayrı ayrı verilmiştir. Priz hızlandırıcı ve akışkanlaştırıcı kimyasal katkıları çimento ağırlığının yüzdesi olarak kullanılmıştır.

Tablo 7.1 Silis kumuyla yapılan vibrasyonlu seri yayılma değerleri

Karışım No	Priz hızlandırıcı		Yayılma
	Kalsiyum klorür (CaCl ₂)	Sodyum alüminat (NaAl(OH) ₄)	
	(g)	(g)	(mm)
S101	-	-	138
S102		9 (%1)	137
S103		27 (%3)	125
S104		45 (%5)	120
S105	9 (%1)		120
S106	27 (%3)		120
S107	45 (%5)		120

Tablo 7.2 Bazalt kumuyla yapılan vibrasyonlu seri yayılma değerleri

Karışım No	Priz hızlandırıcı		Yayılma
	Kalsiyum klorür (CaCl ₂)	Sodyum alüminat (NaAl(OH) ₄)	
	(g)	(g)	(mm)
B101	-	-	120
B102		9 (%1)	126
B103		27 (%3)	116
B104		45 (%5)	115
B105	9 (%1)		125
B106	27 (%3)		129
B107	45 (%5)		113

Tablo 7.3 Silis kumuyla yapılan kendiliğinden yerleşen seri yayılma değerleri

Karışım No	Priz Hızlandırıcı			Akışkanlaştırıcı	Yayılma (mm)	Yayılma süresi (sn.)
	CaCl ₂	NaAl(OH) ₄	Li ₂ CO ₃	Hs 100		
	(g)	(g)	(g)	(g)		
S201		9 (%1)		5,5	190	20
S202		27 (%3)		7	191	20
S203		45 (%5)		11,5	190	21
S204			1 (%0,1)	3	265	17
S205			2 (%0,2)	3	260	19
S206			3 (%0,3)	3	250	18
S207	9 (%1)			3	250	21
S208	27 (%3)			3	240	20
S209	45 (%5)			5	250	21

Tablo 7.4 Bazalt kumuyla yapılan kendiliğinden yerleşen seri yayılma değerleri

Karışım No	Priz Hızlandırıcı			Akışkanlaştırıcı	Yayılma (mm)	Yayılma süresi (sn.)
	CaCl ₂	NaAl(OH) ₄	Li ₂ CO ₃	Hs 100		
	(g)	(g)	(g)	(g)		
B201		9 (%1)		5,5	192	20
B202		27 (%3)		7	190	20
B203		45 (%5)		11,5	190	21
B204			1 (%0,1)	3	262	18
B205			2 (%0,2)	3	260	19
B206			3 (%0,3)	3	255	20
B207	9 (%1)			3	240	20
B208	27 (%3)			3	250	19
B209	45 (%5)			5	260	20

Tablo 7.5 Bazalt kumuyla yapılan kendiliğinden yerleşen seri yayılma değerleri

Karışım No	Priz Hızlandırıcı	Akışkanlaştırıcı	Yayılma (mm)	Yayılma Süresi
	Li ₂ CO ₃	Hs 100		(sn.)
	(g)	(g)		
B301	1 (%0,1)	3	262	18
B302	2 (%0,2)	3	260	19
B303	3 (%0,3)	3	255	20
B304	0,5 (%0,06)	5	260	17
B305	0,25 (%0,03)	5	260	15
B306	0,125 (%0,01)	5	262	20

Tablo 7.6 Silis kumuyla yapılan kendiliğinden yerleşen seri yayılma değerleri

Karışım No	Priz Hızlandırıcı	Akışkanlaştırıcı	Yayılma (mm)	Yayılma süresi
	Li ₂ CO ₃	Hs 100		(sn.)
	(g)	(g)		
S301	1 (%0,1)	3	265	17
S302	2 (%0,2)	3	260	19
S303	3 (%0,3)	3	125	18
S304	0,5 (%0,06)	5	267	19
S305	0,25 (%0,03)	5	270	20
S306	0,125 (%0,01)	5	268	20

Vibrasyonlu seride yayılma değerleri incelendiğinde; kalsiyum klorür ile yapılan karışımlarda su miktarının hedeflenen yayılma için oldukça azaltılabileceği görülmektedir. Bu sonuca göre, kalsiyum klorürün kalsiyum alüminat çimentosuyla kullanıldığında işlenebilirliğin arttığının söyleyebilmek mümkündür. Fakat sodyum alüminat ile yapılan karışımlarda su ihtiyacı kalsiyum klorüre göre oldukça yüksektir.

Kendiliğinden yerleşen seriler incelendiğinde ise; kendiliğinden yerleşebilirliği sağlayan en iyi katkının kalsiyum klorür ve lityum karbonat ile yapılan karışımların olduğu görülmüştür. Fakat kalsiyum klorürün vibrasyonlu seride olduğu gibi daha az suyla hedeflenen yayılmayı gerçekleştirdiği de yine eklenmelidir. Sodyum alüminatın ise kendiliğinden yerleşebilirlik açısından daha az etkili bir katkı olduğu söylenebilir.

Tablo 7.7, 7.8, 7.9 , 7.10 , 7.11 ve 7.12’de her karışım için yapılan eğilme ve eğilme sonrası basınç deneyi sonuçları ayrı ayrı verilmiştir. Tabloların bazı hücrelerindeki boş yerler o yaştaki örneklerin kalıptan alınamadığını ya da kalıptan alınsa bile yeterli dayanıma ulaşamadığını göstermektedir.

Tablo 7.7 Silis kumuyla yapılan vibrasyonlu seri basınç ve eğilme dayanımı sonuçları

NO	2 saat			4 saat			1 gün			7 gün		
	Eğilme dayanımı	Basınç dayanımı	Basınç dayanımı	Eğilme dayanımı	Basınç dayanımı	Basınç dayanımı	Eğilme dayanımı	Basınç dayanımı	Basınç dayanımı	Eğilme dayanımı	Basınç dayanımı	Basınç dayanımı
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
S101	-	-	-	2,0	9,2	10,4	12,1	75,9	79	13,6	95	90,3
							11,0	83,2	80,5	13,7	91,7	94,4
S102	-	-	-	6,8	56,5	54,6	9,8	74,4	76,8	12,7	80,3	81,5
							10,1	72,5	75,7	11,8	82,6	76,7
S103	1,7	13,2	13,1	5,6	44,1	42,9	9,0	56,7	52	11,9	68,3	67,1
							9,8	59,8	58	12,0	68,2	70,6
S104	2,1	18,1	15,9	4,3	33,1	32	9,8	46,6	33,4	6,2	40,9	36,83
							5,6	47,6	33,4	5,9	46,9	27,6
S105	-	-	-	-	-	-	11,5	65,5	68	12,7	90,3	91,4
							11,4	67	67,5	13,2	92,6	95,3
S106	-	-	-	-	-	-	11,3	58,8	57,9	12,2	94,4	90,1
							13,2	55,9	58,4	13,7	100	91,3
S107	-	-	-	-	-	-	3,4	13,1	13,7	9,6	48,2	41,8
							3,4	14,8	15,3	8,4	46,6	42,9

Tablo 7.8 Bazalt kumuyla yapılan vibrasyonlu seri basınç ve eğilme dayanımı sonuçları

NO	2 saat			4 saat			1 gün			7 gün		
	Eğilme dayanımı	Basınç dayanımı	Basınç dayanımı	Eğilme dayanımı	Basınç dayanımı	Basınç dayanımı	Eğilme dayanımı	Basınç dayanımı	Basınç dayanımı	Eğilme dayanımı	Basınç dayanımı	Basınç dayanımı
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
B101	-	-	-	1,9	47,9	49,6	4,3	63,7	67,1	10,74	89,4	80,4
				2,5	47,8	48,7	5,1	68,5	65,1			
B102	-	-	-	2,3	41,4	38,6	4,2	62,8	61,6	13,05	74,3	77,9
				2,0	43,2	46,2	3,4	61,3	56,9			
B103	1,2	22,8	21,9	2,3	36,6	38,8	3,9	49,7	49,7	10,52	66,5	67,1
				2,1	38,6	38,6	3,4	54,5	49,9			
B104	1,4	25,6	27,6	1,5	30,1	26,5	1,8	36,1	31,6	6,75	58,2	54,4
				1,4	29,4	20	2,0	33,2	30,9			
B105	-	-	-	-	-	-	4,2	72,3	72,2	15,86	107,1	97,8
							3,7	72,6	68,3			
B106	-	-	-	-	-	-	5,1	47,8	52,1	15,13	73,7	71,8
							5,1	53,2	49,8			
B107	0,2	12,8	13,2	0,6	15,7	15,7	3,4	54,6	30,5	14,12	88,9	91,8
				0,8	15,1	18,4	4,0	49,1	50,8			

Tablo 7.9 Silis kumuyla yapılan kendiliğinden yerleşen seri basınç ve eğilme dayanımı sonuçları

Karışım No	2 saat			4 saat			1 gün			7 gün		
	Eğilme dayanımı	Basınç dayanımı	Basınç dayanımı	Eğilme dayanımı	Basınç dayanımı	Basınç dayanımı	Eğilme dayanımı	Basınç dayanımı	Basınç dayanımı	Eğilme dayanımı	Basınç dayanımı	Basınç dayanımı
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
100S201	-	-	-	5,7	42	40,2	10,6	65,7	72	10,9	83,6	80,3
				5,1	42	43,4						
S202	-	-	-	5,6	35	38,2	9,1	60,9	60,7	11,3	69,7	71,2
				4,6	39,8	31						
S203	-	-	-	5,3	31	32,5	8,2	52,4	53,2	11,3	60,8	61,7
				4,8	28	29,8						
S204	6,5	25,5	24,8	6,2	28	28,3	10,1	35,2	36,9	12,0	53,5	49
	6,3	24,8	27,1	5,9	29,3	29						
S205	3,9	19,7	17	4,6	22,2	22,3	8,4	30,3	30,8	10,3	45,8	47
	5,3	19,7	16,5	5,1	22,9	18,5						
S206	4,6	12,6	11,9	4,8	17	17,4	7,0	31	30,9	7,3	31,7	36,9
	3,8	13	11,6	5,3	16,2	17,9						
S207	-	-	-	-	-	-	6,7	60,6	56,7	14,4	84,9	85,4
							6,1	57,4	54,6	13,4	93,3	95,2
S208	-	-	-	-	-	-	4,8	44,8	45,8	12,1	73,4	76,8
							6,4	42,9	39,5	13,7	82,6	81,1
S209	-	-	-	-	-	-	7,6	52,6	51,4	12,1	76,3	72,4
							6,5	50,5	51,7	12,6	86,6	80,6

Tablo 7.10 Bazalt kumuyla yapılan kendiliğinden yerleşen seri basınç ve eğilme dayanımı sonuçları

Karışım No	2 saat			4 saat			1 gün			7 gün		
	Eğilme dayanımı	Basınç dayanımı	Basınç dayanımı	Eğilme dayanımı	Basınç dayanımı	Basınç dayanımı	Eğilme dayanımı	Basınç dayanımı	Basınç dayanımı	Eğilme dayanımı	Basınç dayanımı	Basınç dayanımı
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
B201	-	-	-	-	-	-	8,6	70,7	71,7	12,9	91,3	87,1
B202	-	-	-	-	-	-	8,4	57,9	55,7	12,4	66,9	62,6
B203	3,6	21,6	24	3,7	31,1	27,4	7,5	47,1	47,9	10,2	68,9	72,8
B204	5,5	27,3	27,6	5,1	33,8	32,1	11,6	40,8	44,7	14,6	56,4	52,8
B205	5,5	20,8	20,9	4,5	25,3	24,3	8,0	31,7	29,6	10,2	40,9	21,3
B206	4,4	18,5	18,5	3,9	18,3	17,5	7,1	31,4	31,5	6,6	33,1	31,7
B207	-	-	-	-	-	-	11,2	73,6	74,4	14,6	93,4	92,3
B208	-	-	-	-	-	-	10,7	65,6	66,4	14,0	72,1	71,9
B209	-	-	-	-	-	-	10,2	55,8	56	5,6	76,3	77,1

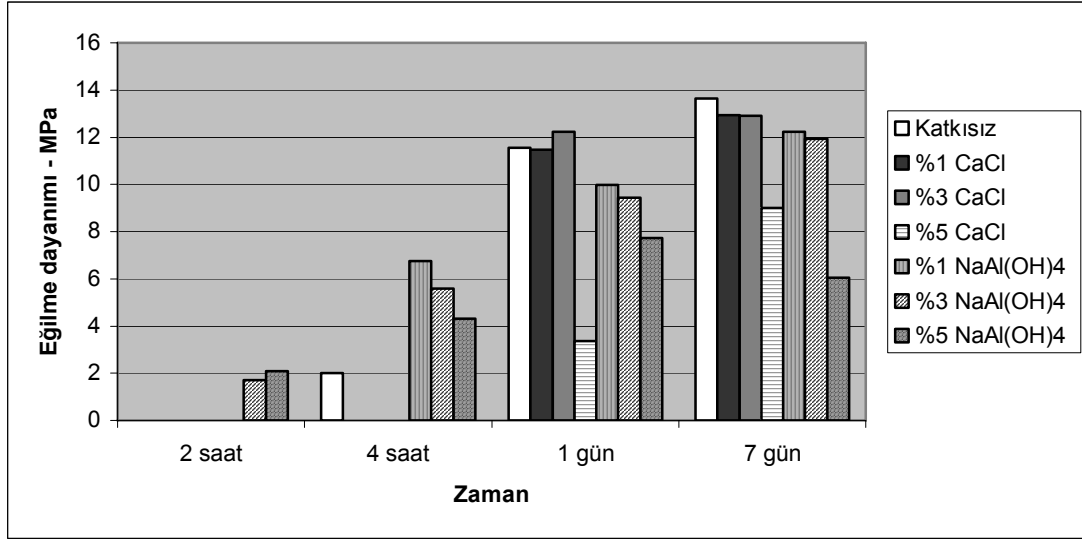
Tablo 7.11 Silis kumuyla yapılan kendiliğinden yerleşen seri basınç ve eğilme dayanımı sonuçları

Karışım No	2 saat			4 saat			1 gün			7 gün		
	Eğilme dayanımı	Basınç dayanımı	Basınç dayanımı	Eğilme dayanımı	Basınç dayanımı	Basınç dayanımı	Eğilme dayanımı	Basınç dayanımı	Basınç dayanımı	Eğilme dayanımı	Basınç dayanımı	Basınç dayanımı
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
S301	6,5	25,5	24,8	6,2	28	28,3	10,1	35,2	36,9	12,0	53,5	49
	6,3	24,8	27,1	5,9	29,3	29						
S302	3,9	19,7	17	4,6	22,2	22,3	8,4	30,3	30,8	10,3	45,8	47
	5,3	19,7	16,5	5,1	22,9	18,5						
S303	4,6	12,6	11,9	4,8	17	17,4	7,0	31	30,9	7,3	31,7	36,9
	3,8	13	11,6	5,3	16,2	17,9						
S304	4,8	29,9	29,9	5,6	34,9	35,5	8,2	61,5	58,4	9,6	54	58,3
				4,8	33,7	36	8,5	60,6	55,3			
S305	4,6	32,9	33,9	6,0	38,1	40,3	9,6	55,8	46,1	10,1	66,5	68,1
				5,1	40,3	39,8	8,2	54,7	45,2			
S306	2,1	11,8	11,7	4,0	40,1	35,3	11,0	40,4	42,1	11,9	75,6	76,1
				5,3	40,1	36,9	10,4	42,1	42,1			

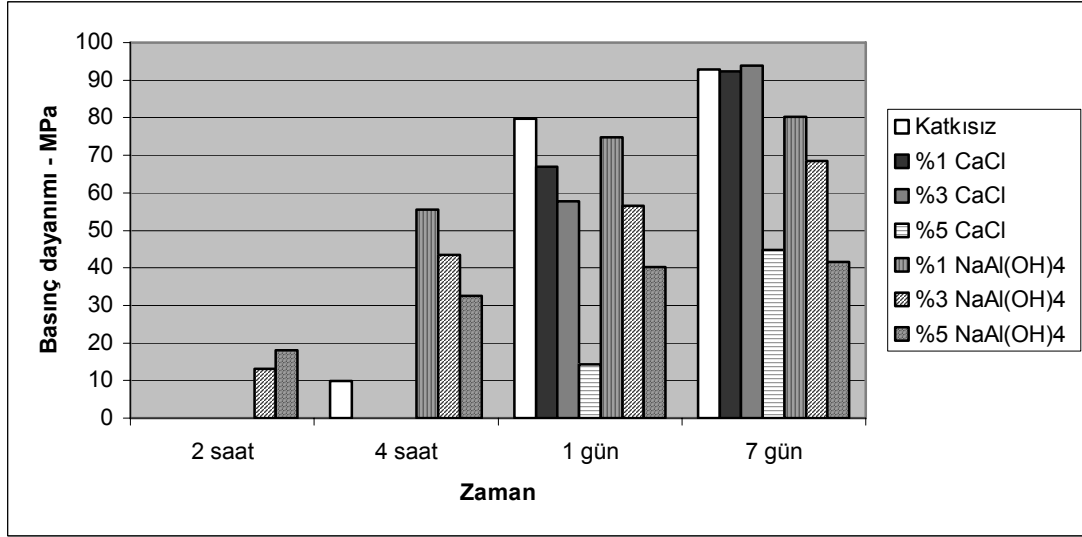
Tablo 7.12 Bazalt kumuyla yapılan kendiliğinden yerleşen seri basınç ve eğilme dayanımı sonuçları

Karışım No	2 saat			4 saat			1 gün			7 gün		
	Eğilme dayanımı	Basınç dayanımı	Basınç dayanımı	Eğilme dayanımı	Basınç dayanımı	Basınç dayanımı	Eğilme dayanımı	Basınç dayanımı	Basınç dayanımı	Eğilme dayanımı	Basınç dayanımı	Basınç dayanımı
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
B301	5,5	27,3	27,6	4,8	33,8	33,8	11,6	40,8	44,7	14,6	56,4	52,8
				5,3	31,3	32,1	10,1	40,7	38,6			
B302	5,5	20,8	20,9	4,5	25,3	24,3	8,0	31,7	29,6	10,2	40,9	21,3
B303	4,4	18,5	18,5	3,9	18,3	17,5	7,1	31,4	31,5	6,6	33,1	31,7
B304	1,7	9	9,9	6,2	38,5	40	11,3	54,9	49,2	14,2	59,9	65
				6,1	37,6	39,6	10,5	54	51,9			
B305	2,6	14,7	14,9	5,3	43,8	39,7	13,1	63,3	60,3	12,6	72,6	71,6
					43,3	39,4	13,4	61,2	60,9			
B306	1,7	9	9,5	5,6	38,2	39,7	13,4	62,3	55,4	15,1	71,8	70
				5,7	40,1	42,6	12,8	63,1	55,7			

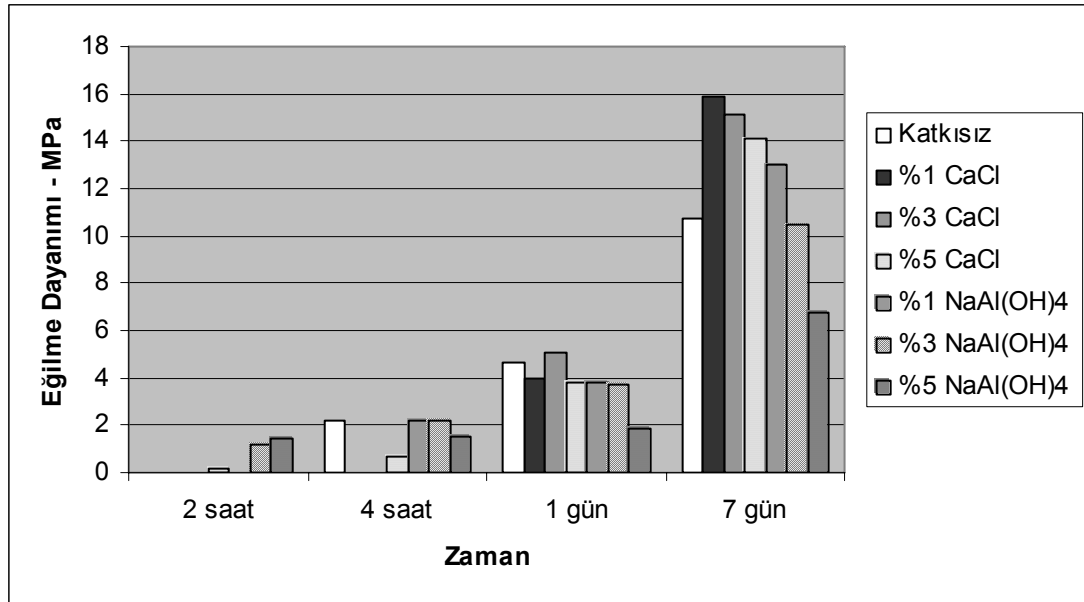
40 x 40 x 40 mm örnekler üzerinde yapılan eğilme ve eğilme sonrası basınç deneyi sonuçları Şekil 7.1'den 7.24'e kadar grafik olarak sunulmuştur.



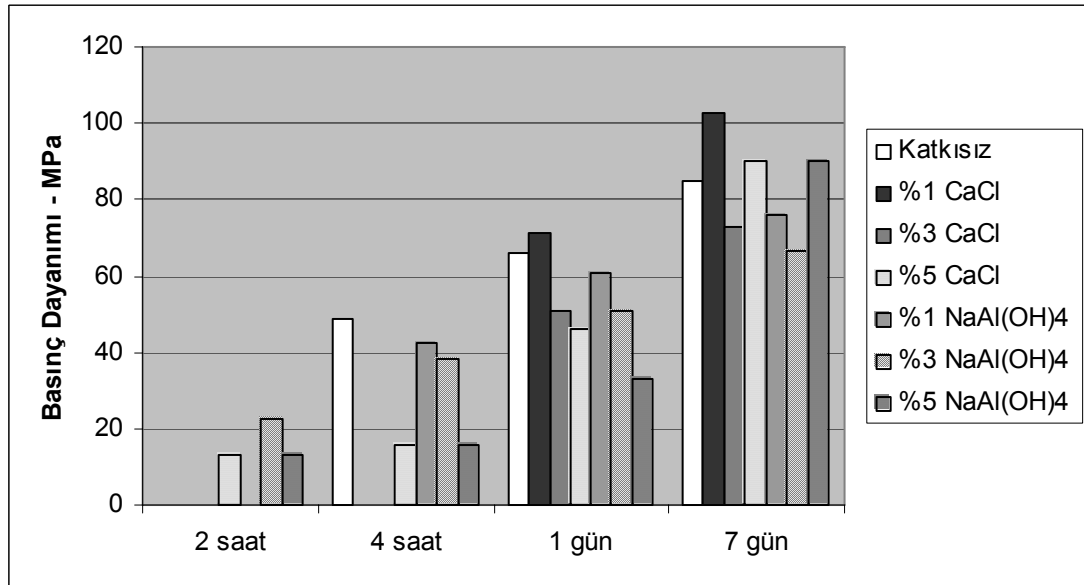
Şekil 7.1 Silis kumuyla yapılan vibrasyonlu seri eğilme dayanımı sonuçları



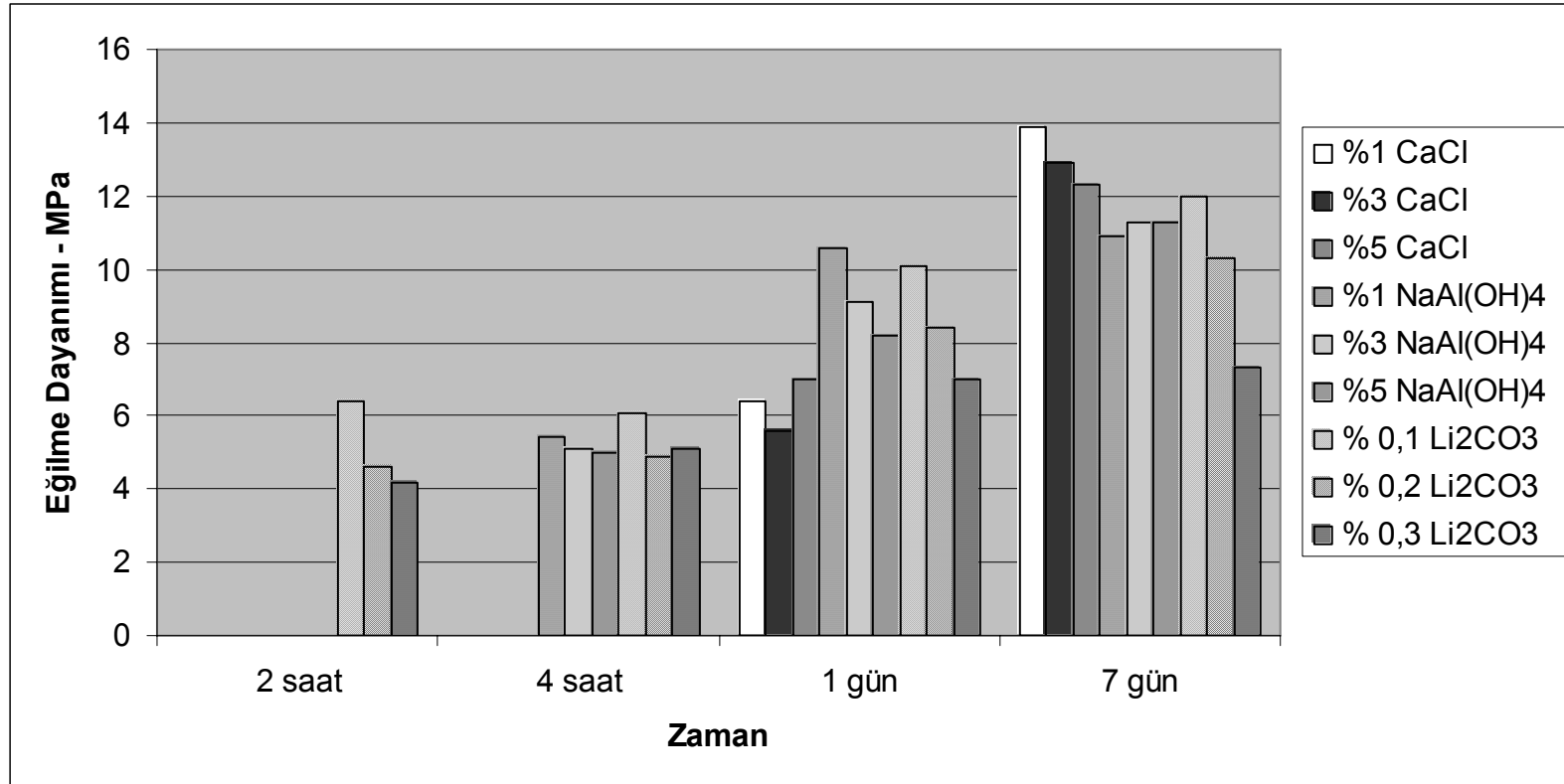
Şekil 7.2 Silis kumuyla yapılan vibrasyonlu seri basınç dayanımı sonuçları



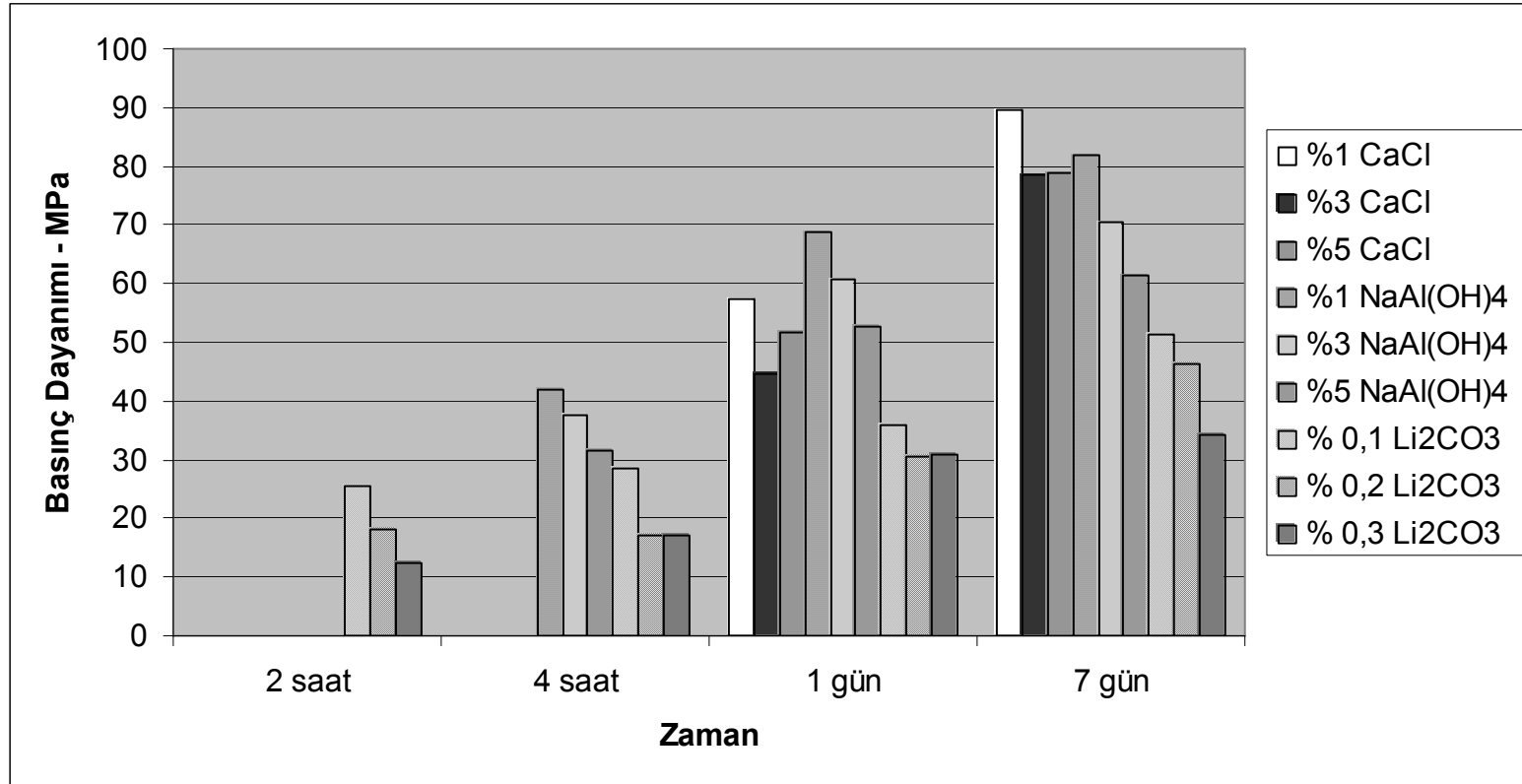
Şekil 7.3 Bazalt kumuyla yapılan vibrasyonlu seri eğilme dayanımı sonuçları



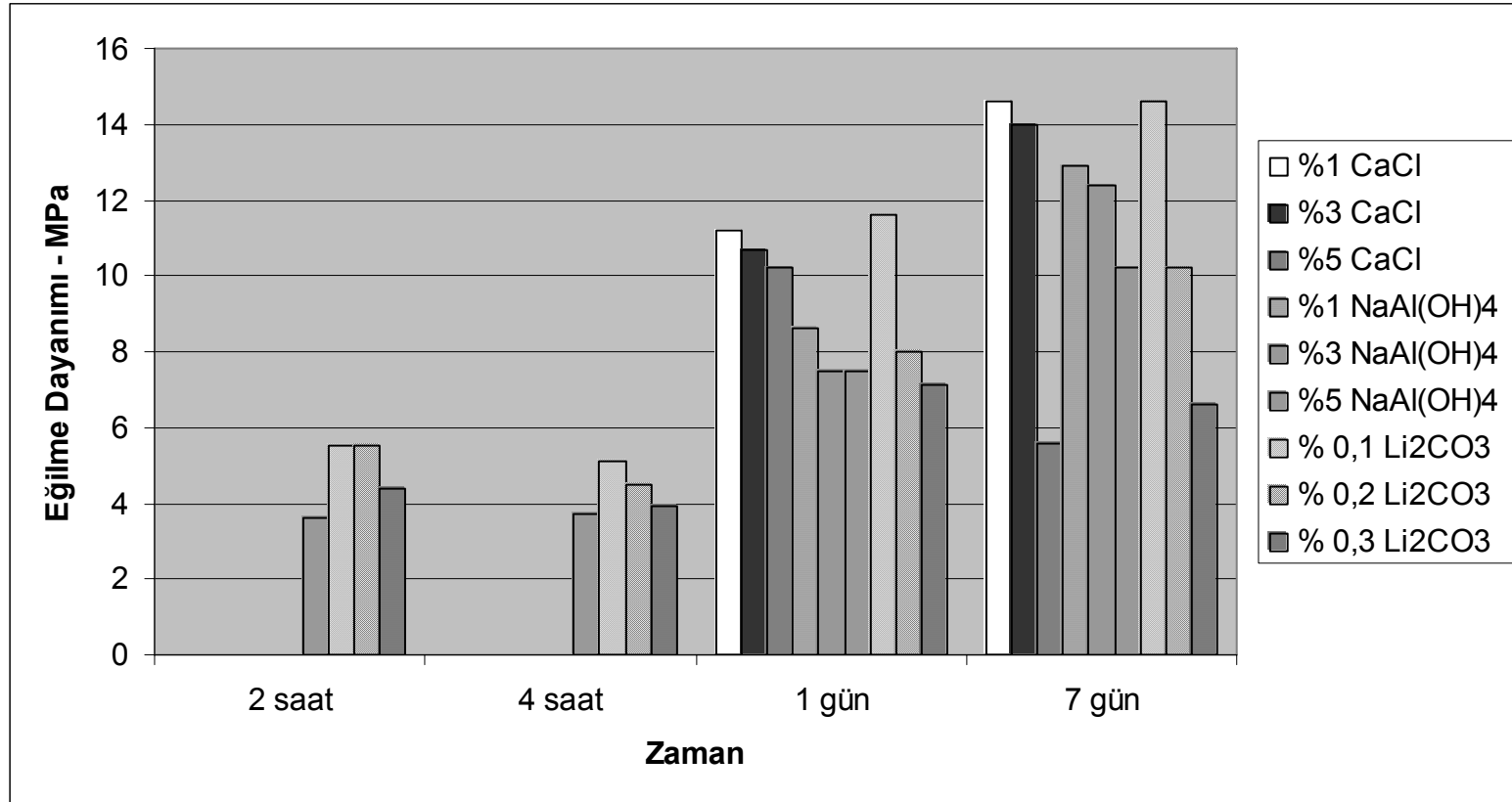
Şekil 7.4 Bazalt kumuyla yapılan vibrasyonlu seri basınç dayanımı sonuçları



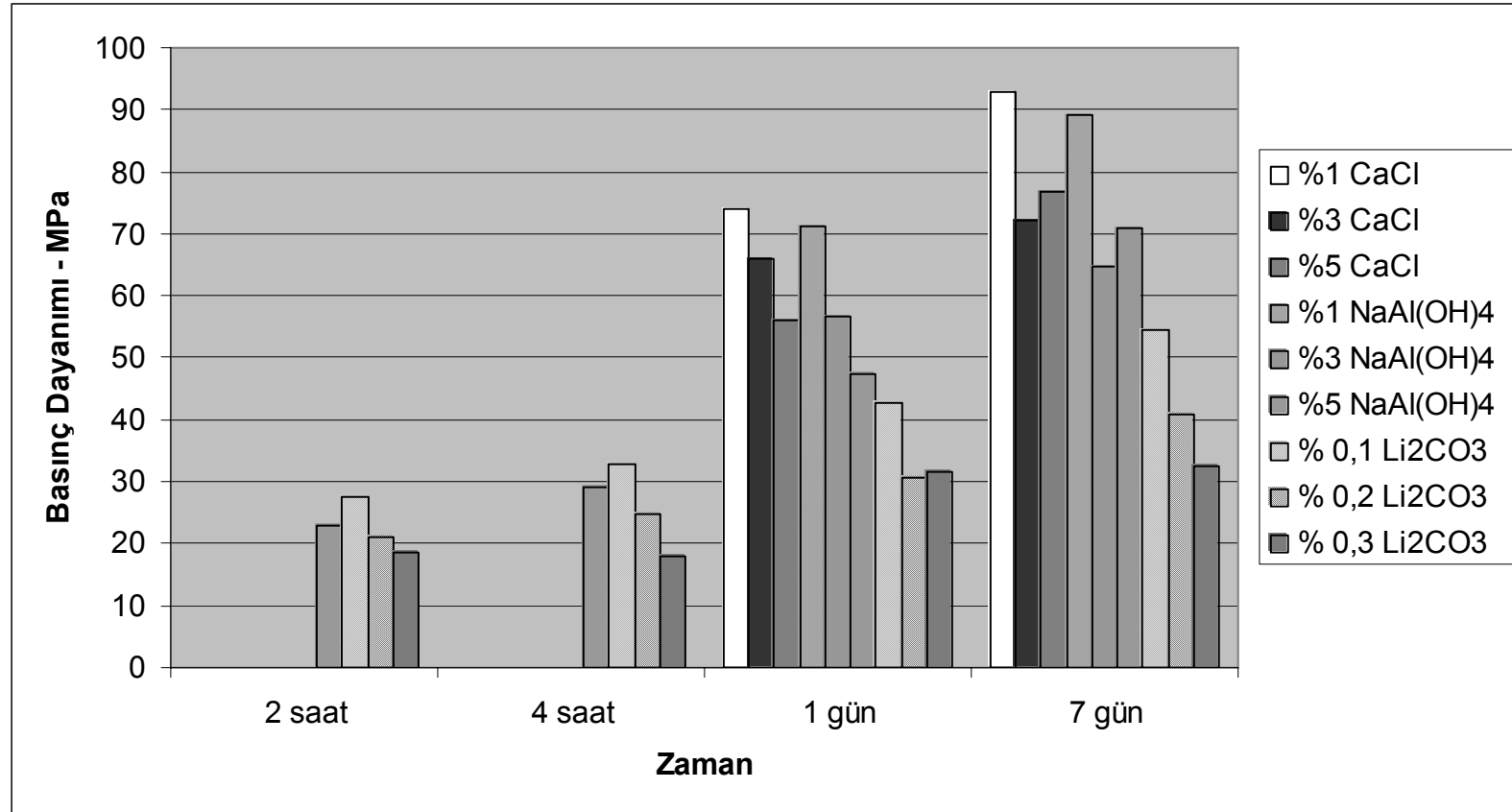
Şekil 7.5 Silis kumuyla yapılan kendiliğinden yerleşen seri eğilme dayanımı sonuçları



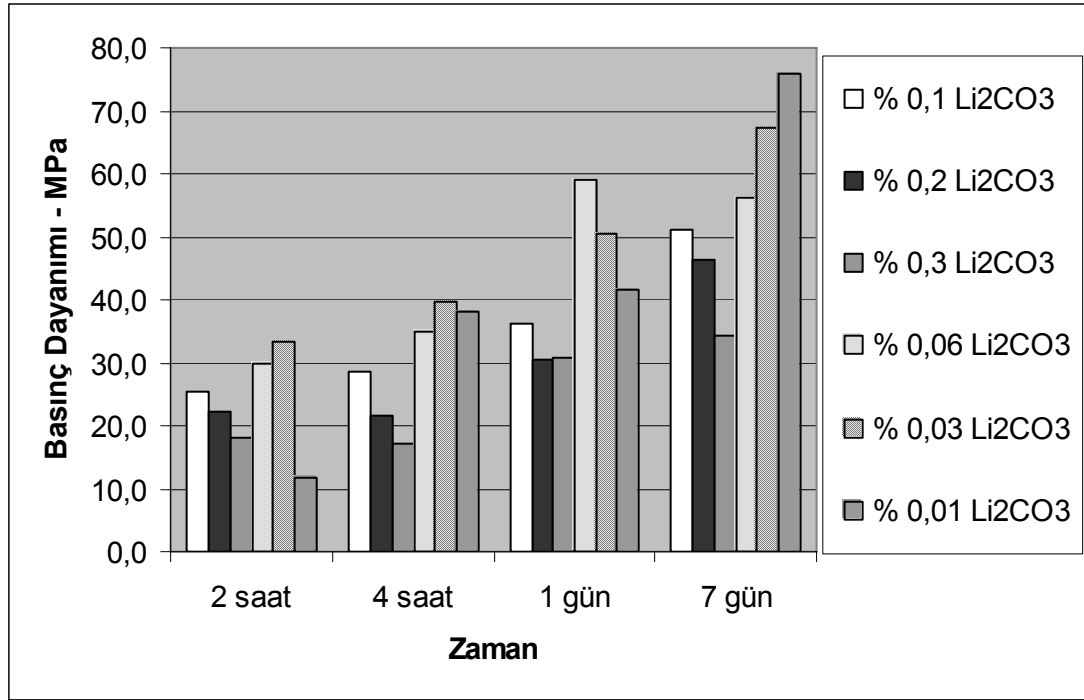
Şekil 7.6 Silis kumuyla yapılan kendiliğinden yerleşen seri basınç dayanımı sonuçları



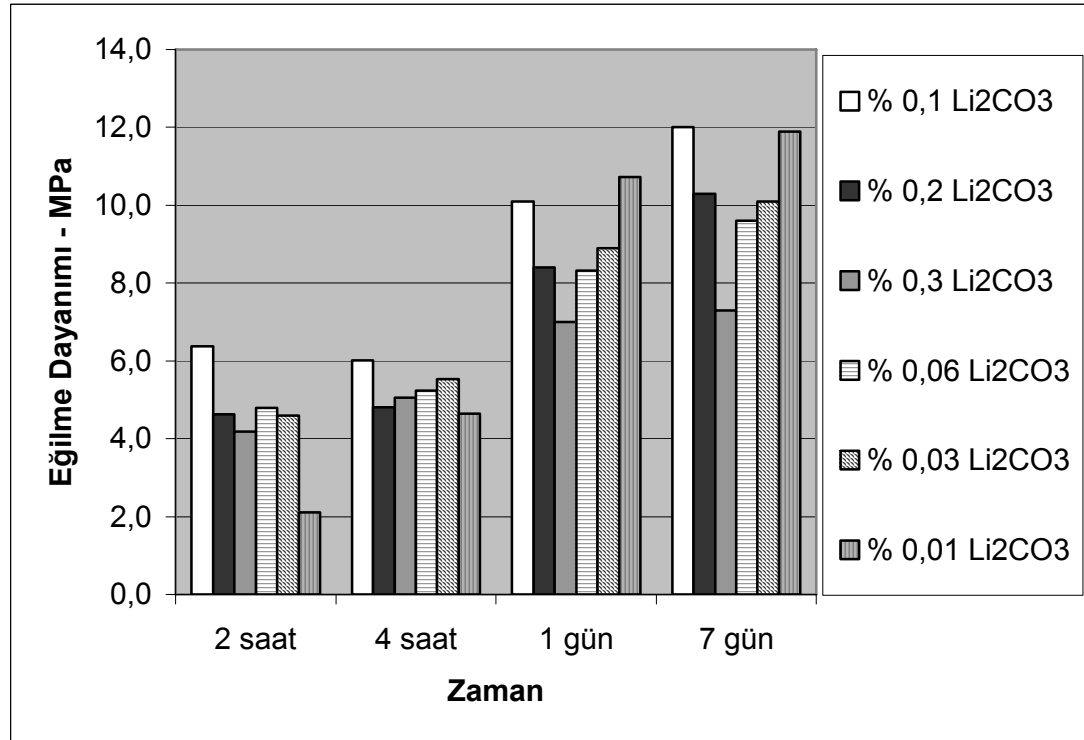
Şekil 7.7 Bazalt kumuyla yapılan kendiliğinden yerleşen seri eğilme dayanımı sonuçları



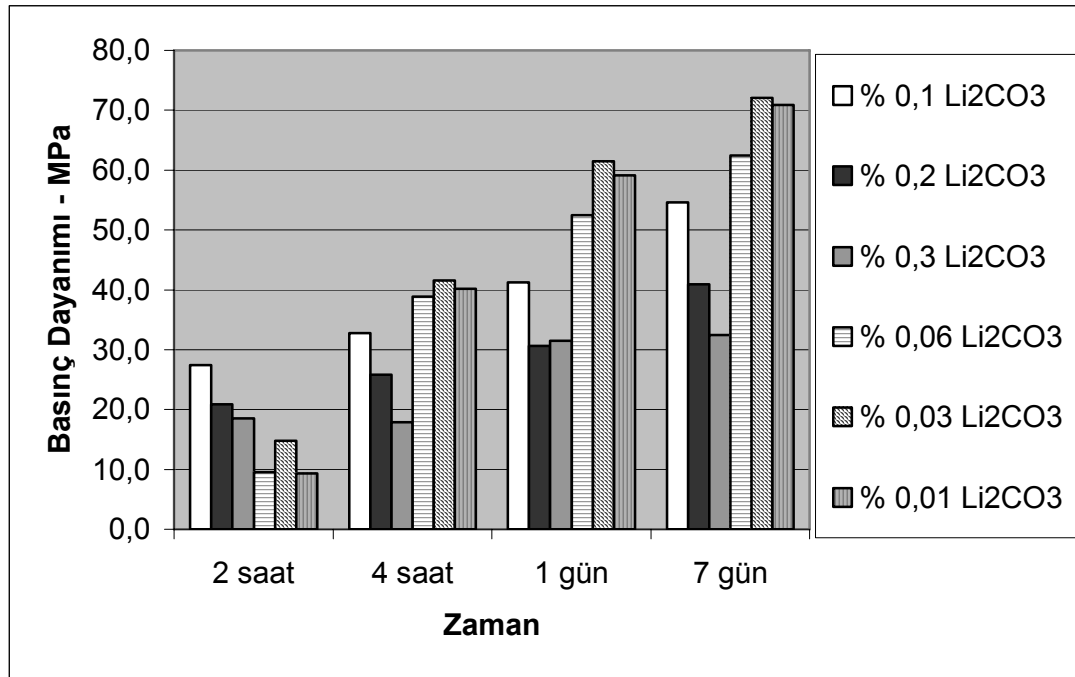
Şekil 7.8 Bazalt kumuyla yapılan kendiliğinden yerleşen seri basınç dayanımı sonuçları



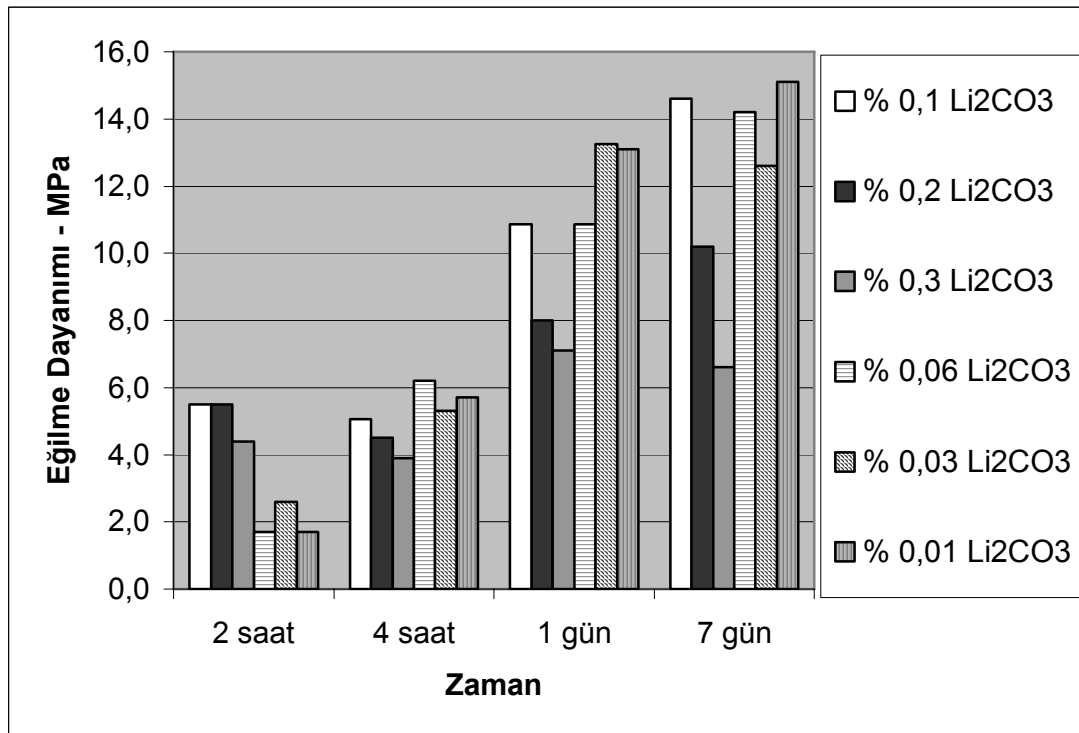
Şekil 7.9 Silis kumuyla yapılan kendiliğinden yerleşen seri basma dayanımı sonuçları



Şekil 7.10 Silis kumuyla yapılan kendiliğinden yerleşen seri eğilme dayanımı sonuçları

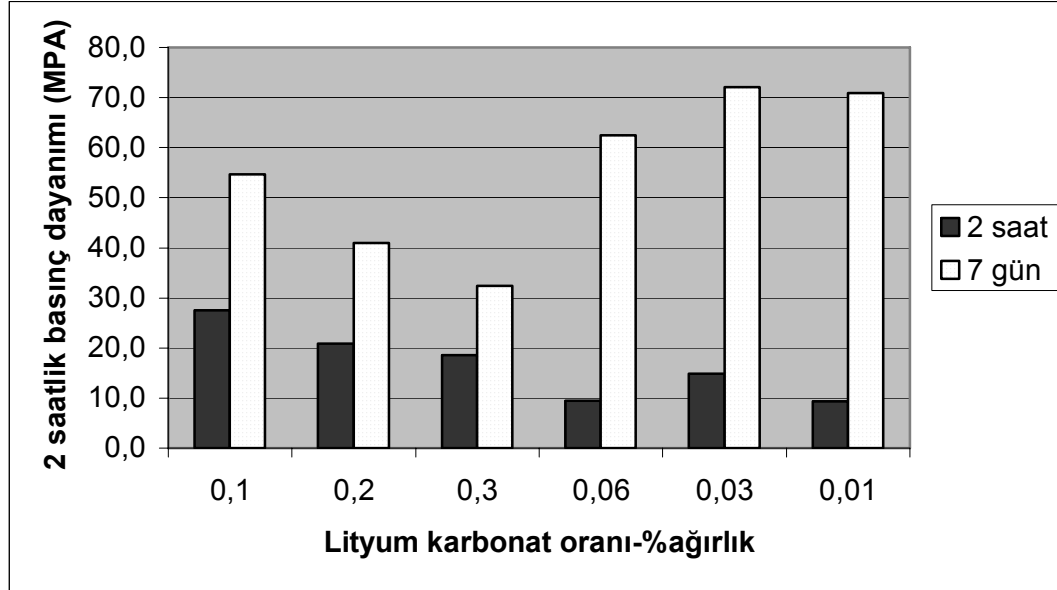


Şekil 7.11 Bazalt kumuyla yapılan kendiliğinden yerleşen seri basınç dayanımı sonuçları

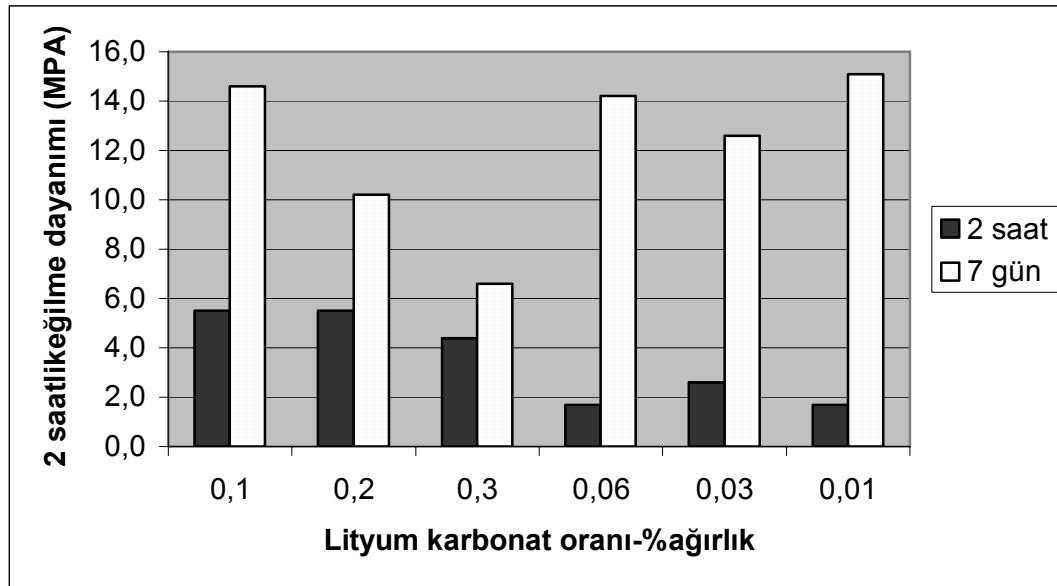


Şekil 7.12 Bazalt kumuyla yapılan kendiliğinden yerleşen seri eğilme dayanımı sonuçları

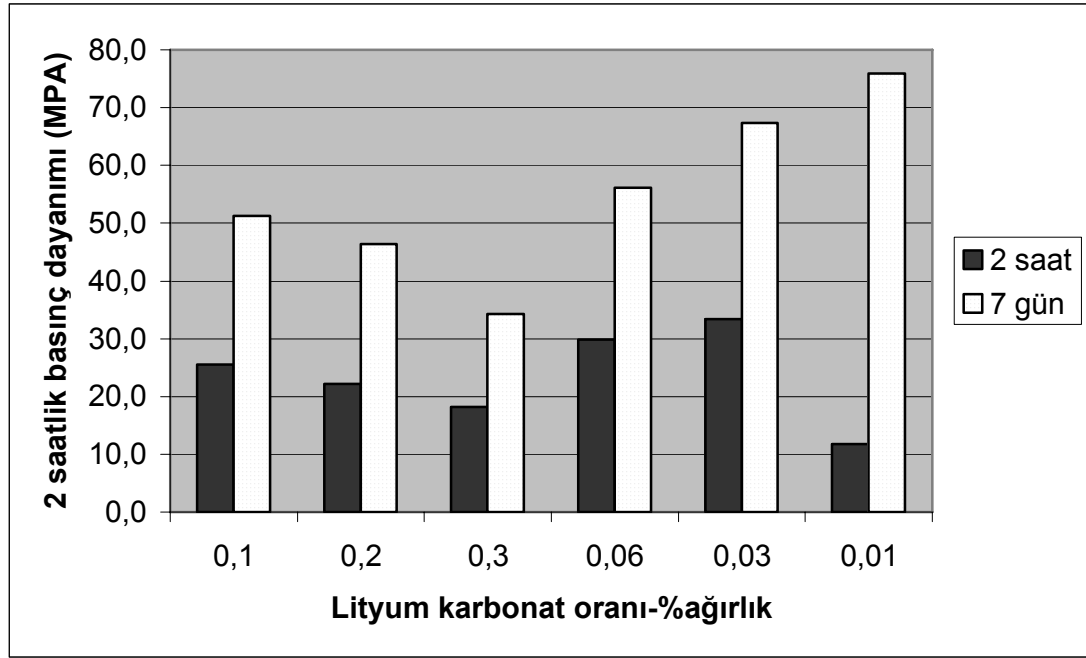
Şekil 7.9, 7.10, 7.11, 7.12’de görüldüğü gibi erken yaşta en yüksek dayanımları lityum karbonat katkısıyla yapılan karışımlardan elde edilmiştir. Şekil 7.13, 7.14, 7.15 ve 7.16’da ise 2 saatlik dayanım ile 7 günlük dayanım ilişkisi görülmektedir.



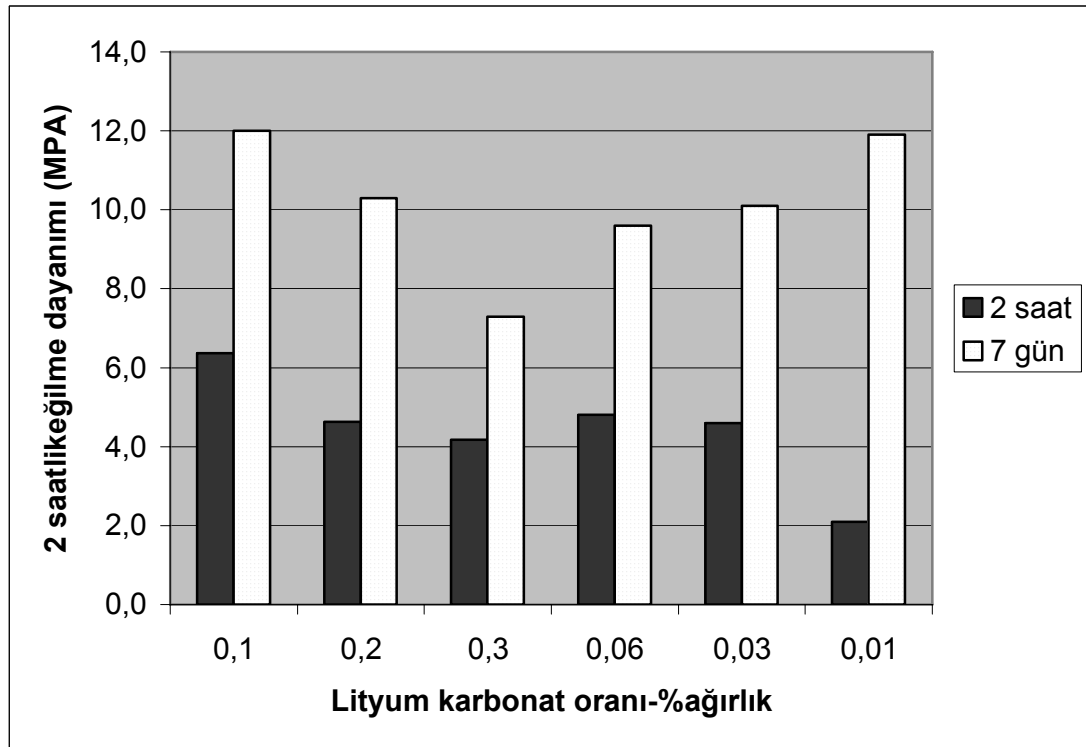
Şekil 7.13 Bazalt kumuyla yapılan kendiliğinden yerleşen seri 2 saatlik ve 7 günlük basınç dayanımı ilişkileri



Şekil 7.14 Bazalt kumuyla yapılan kendiliğinden yerleşen seri 2 saatlik ve 7 günlük eğilme dayanımı ilişkileri



Şekil 7.15 Silis kumuyla yapılan kendiliğinden yerleşen seri 2 saatlik ve 7 günlük basınç dayanımı ilişkileri



Şekil 7.16 Silis kumuyla yapılan kendiliğinden yerleşen seri 2 saatlik ve 7 günlük eğilme dayanımı ilişkileri

BÖLÜM SEKİZ

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan deneyler sonunda elde edilen bulgular genel olarak aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- Vibrasyonlu seride iki saatlik eğilme ve basınç dayanımlarına göre, hem silis hem de bazalt agregasıyla yapılan karışımlarda en başarılı karışımın sodyum alüminat katkısıyla yapılan karışımlar olduğu görülmüştür. Ancak sodyum alüminat katkısıyla yapılan karışımların işlenebilirliği çok çabuk(kalıba yerleştirmeden önce) kaybolmuştur.

- Vibrasyonlu seride; kalsiyum alüminat (CA) çimentosuyla, geleneksel betonda yaygın olarak kullanılan priz hızlandırıcı olan kalsiyum klorürün birbirlerine uyumsuz olduğu görülmüştür. Kalsiyum klorürün CA çimentosuyla birlikte kullanıldığında priz hızlandırıcı etkisi yerine, priz geciktirici etkisi yaptığı belirlenmiştir.

- Vibrasyonlu seride, iki saatlik performansı yüksek olan katkılı karışımların, 7 günlük dayanımının düşük olduğu görülmüştür. Çok hızlı dayanım kazanan hamur içindeki jellerin homojen olarak dağılmamasının bu duruma sebep olduğu söylenebilir.

- Eğilme ve basınç dayanımlarına göre; bazalt agregasıyla yapılan karışımlar, silis agregasıyla yapılan karışımlara göre daha yüksek dayanım vermiştir.

- Kendiliğinden yerleşen seride ise; kalsiyum klorürün vibrasyonlu seride olduğu gibi, priz geciktirici etkisi yaptığı görülmüştür. Ayrıca kalsiyum klorür, CA çimentosuyla ile yapılan karışımların işlenebilirliğini arttırmıştır. Sodyum alüminatla

yapılan karışımlara göre daha az akışkanlaştırıcıyla ayrışmadan, daha fazla yayılma elde edilmiştir.

- Kendiliğinden yerleşen seride sodyum alüminat miktarı arttıkça, hedeflenen yayılmayı elde etmek için akışkanlaştırıcı katkı miktarıda buna paralel olarak artmıştır. Ayrıca sodyum alüminatla yapılan karışımlar çok hızlı priz almasına rağmen mukavemet kazanma hızı oldukça yavaştır.

- Kendiliğinden yerleşen seride vibrasyonlu seride olduğu gibi bazalt agregası daha başarılı sonuçlar vermiştir.

- Tüm karışımlarda, istenilen amaca uygun olarak en iyi sonuçları lityum karbonat katkısıyla yapılan karışımlar vermiştir. Lityum karbonat katkısıyla yapılan karışımlarda hem istenilen yayılma elde edilmiş hem de iki saatte 30 MPa basınç, 6,5 MPa eğilme dayanımının üstüne çıkmıştır.

- İstenilen dayanımlara ulaşılmasına rağmen, bu dayanımlar birçok değişkene bağlıdır. Örneğin aynı karışımlarda %0,1 lityum karbonat ve silis agregasıyla yapılan karışımlar en iyi dayanımı verirken, aynı karışım bazalt agregasıyla başka sonuçlar vermiştir.

- Maliyet analizinde esas alınan malzeme birim fiyatları tablo 8.1’de verilmektedir.

Tablo 8.1 Malzeme maliyetleri

Çimento	800 YTL/Ton
Silis Agregası	900 YTL/Ton
Bazalt Agregası	600 YTL/Ton
Akışkanlaştırıcı Katkı (HS100)	2,08 YTL/litre
Hızlandırıcı Katkı (Li_2CO_3)	200000 YTL/Ton
Su	1 YTL/Ton

Yukarıdaki tablodaki fiyatlar esas alınarak, basınç ve eğilme dayanımı düşünülerek en iyi sonucu veren S 305 ve S 301 karışımlarının bir m³ içindeki miktarları ve maliyetleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 8.2 Bir metreküp içindeki malzeme miktarları

Malzeme	Kg/m ³	
	S 301	S 305
Çimento	954	954
Silis Agregası	1118	1118
Akışkanlaştırıcı Katkı (HS100)	3,18	5,3
Hızlandırıcı Katkı (Li ₂ CO ₃)	1,06	0,27
Su	286	286

Tablo 8.3 Karışımların maliyetleri

Örnek	Maliyet (YTL/m ³)
C 30 sınıfı beton	95 YTL/m ³
S 301	1125 YTL/m ³
S 305	969 YTL/m ³

- Bundan sonraki yapılan çalışmalarda, alümina miktarı yüksek kalsiyum alüminat çimentosu ve daha değişik katkılarla yapılacak karışımlar ve bunların zamanla dayanım kazanma mekanizması ve bulunacak karışımların dayanımı da (durabilitesi) incelenmesi daha detaylı bilgi edinmemizi sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

ACI Committee 212 Report, (1989). Chemical Admixtures for Concrete., *ACI Materials Journal*, Vo.86, No. 3, pp. 297-327.

Altun A, (2001), Effect of temperature the mechanical properties of self flowing low cement refractory concrete, *Cement and Concrete Research* ,31 ,1233-1237

Bier A.T., Parr C., (1996). Admixtures with Calcium Aluminate cements and CAC based Castables. *28th Annual South Africa Ceramic Society Symposium*, Johannesburg.

Banfill P.F.G, (1990). Baker N.C, *Properties Of Fresh Mortars Made With High Alumina Cement And Admixtures For The Marine Environment*, Liverpool University publishes, U.K,

Baradan, B. (2000). Yapı malzemesi II (6. Baskı). İzmir: D. E. Ü. Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi.

Calcium Alüminate Cement, (n.d.). 2005, Calcium Alüminate Cement, <http://www.lafarge.com>

Calcium Alüminate Cement, (n.d.). 2005 , Alüminate , <http://www.Alcoa.com/alumina>

Chakraborty I.N., Chattopadhyay A.K., (2001). *Manufacture Of High Alumina Cement An Indian Experience*. The Associated Cement Cos. Ltd. India.

Chatterjee A.K (2001). *An Update on the Binary Calcium aluminates appearing in aluminous Cements*, The Associated Cement Cos Ltd, India,

EFNARC, (2002). *Specifications and Guidelines for Self-Compacting Concrete*, EFNARC, Association House, 99 West Street, Farnham, UK, www.efnarc.org, ISBN 0 953973344, 32p.

Erdogan, T.Y. (2003). Beton. Ankara. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim Yayınları.

117

Felekoğlu, B. (2003). *Kendiliğinden yerleşen betonun fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması*. Yüksek lisans tezi, D. E. Ü.

Felekoğlu, B. & Baradan, B. (2003). Utilisation of limestone powder in self-levelling binders. In R. K. Dhir, M. D. Newlands & J. E. Halliday, (Ed.). *Proceedings of the international symposium on recycling and reuse of waste materials* (475-484). Scotland, UK: Thomas Telford.

Ferraris C.F., Brower L., Ozyildirim C., Daczko J., (2000). Workability of Self-Compacting Concrete, The Economical Solution for Durable Bridges and Transportation Structures, *Proceedings of International Symposium on High Performance Concrete*, Orlando, Florida, pp. 398-407.

Gessner W., (2001). Moehmel S., *Recent Researches on Calcium Aluminate*, Hydration Institute of Applied Chemistry, Berlin, Germany,

George C.M, (1990). *Manufacture and Performance of Aluminous Cement: A new perspective Lafarge Calcium Aluminates*, Virginia, USA,

Gürol G., (1999). Ekonomik beton için beton bileşenleri çimento/su/ince ve kaba agrega/kimyasal ve mineral katkılar. *Dizayn ve Konstrüksiyon Dergisi*, 1999/164 Haziran, s. 66-74.

High-performance concretes, (n.d.). 2005, <http://www.tfhr.gov/structur/hpc/hpc2/chap4.htm>.

Hughes J.J., (2002). Evaluation of Self-Consolidating Concrete – Summary Report, *First North American Conference on the Design and Use of Self- Consolidating Concrete*, pp. 287-294.

Khayat K.H., Bickley J., Lessard M., (2000). Performance of Self-Consolidating Concrete for Casting Basement and Foundation Walls, *ACI Materials Journal*, May-June, pp. 374-380.

Kim B.G., Jiang S., Jolicoeur C., Aitcin P.C., (2000). “The adsorption behavior of PNS superplasticizers and its relation to fluidity of cement paste”, *Cement and Concrete Research*, Vol: 30, pp. 887-893.

Lamour V.H.R., (2001). Monteiro P.J.M., Mechanical Properties of Calcium Aluminate Cement, *Concretes Department of Civil and Environmental Engineering University of California, USA*,

Lea, F.M., (1971) *The Chemistry of Cement and Concrete* , Chemical Publishing Company Inc., New York

Midgley, H.G., (1962). High Alumina Cement in Construction-a future based on experience. *Trans. Britian Ceramic Society*, Cambridge, UK.

Midgley H.G, Bhaskara P, (1977). Formation of Stratlingite, $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, In Relation To the Hydration Of High Alumina Cement, *Building Research Establishment*, Garston, Watford, U.K.

- M. Madono, (1999). *Alumina Raw Materials for the refractory Industry*. CN Special Refractories.
- O'Driscoll, M., (2000). Alumina Cements for Lining up Against Steel & Sewage *Industrial Materials*. December 2000.
- Oberste-Padtberg R., (2001).Pöllmann H. Manganese in High Alumina Cement ,*Martin Luther University Institute of Geological Sciences*, Germany,
- Okamura H., Ouchi M., (1999). Self-compacting concrete. Development, present use and future, *Proceedings of the First International RILEM Symposium*, Edited by A.Skarendahl and Ö. Petersson.
- Öney, N. (1999). Çimentonun kimyası, *Türkiye Çimento Müst. Birliği Eğitim Müdürlüğü Ders Notları*, Ankara
- Perez N., Hermida G., Romero H., Cuellar G., (2002). Self-Compacting Concrete, on the Search and Finding of an Optimized Design, *First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete*, pp. 105-112.
- Petersson Ö., (1996). Vibreringsfri betong-bättre kvalitet och arbetsmiljö, *Betong* 3/96, *Cement och Betong Institutet*, 9-13.
- Pöllmann, H. (2001). Mineralogy and crystal chemistry of Calcium Aluminate cement, *Martin Luther University Institute of Geological Sciences*, Germany.
- Ramachandran, V.S., Malhotra M. (1984). *Concrete Admixtures Handbook* .(4 th ed.). Noyes Publications

Revais C., Parr C., Bier A.T., (1998). Calcium Aluminate Cements for Refractory Gunning Applications. *Lafarge Technical paper*.

Robson T.D., (1962). *High alumina cements and concretes*. F.R.I.C, M. Ins., France.

Saak A.W., Jennings H.M., Shah S.P., (2001). “New Methodology for Designing Self Compacting Concrete”, *ACI Materials Journal*, November-December, pp. 429-439.

Sağlam A.R., (2000), Süperakışkanlaştırıcı ve viskozite arttırıcı katkıların kendiliğinden yerleşen beton özelliklerine etkisi, *Sika Teknik Bülten*, 2000/4, s. 9-16.

Sharp J.H, (1990). Bushnell-Watson, Payne D.R, Ward P.A *The Effect Of Admixtures On The Hydration Of Refractory Calcium Aluminate Cements*, University of Sheffield, U.K.

Scrivener K.L., (2001). II.Conference on Calcium Aluminate Cements, Edinburgh, UK. *Historical and Present Day Applications of Calcium Aluminate Cements*.

Scrivener K.L, Taylor H.F.W, Microstructural Development In Pastes of Calcium Aluminate Cement, *Department of Materials*, Imperial College, London, U.K, 1990.

Shi C., Wu Y., Shao Y., Riefler M., (2002). Comparison of Two Design Approaches for Self-Consolidating Concrete, *First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete*, pp. 349-354.

Tang C.-W., Yen T., Chen K.-H., (2000). The rheological behavior of medium strength high performance concrete, *Second International Symposium on Cement and Conc. Tech. in the 2000s*, Volume II, Istanbul, Turkey, pp. 50-57.

Türkel, S. ve Felekoğlu, B. (2004). Aşırı dozda akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanımının taze ve sertleşmiş betonun bazı özellikleri üzerine etkileri. *D. E. Ü. Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6 (1), 79-91.

Ürer, F. (2002). Savaş Hasar Onarımı. İzmir. Hv. Snf. Ok. Ve Tek. Eğt. Mrk. K.lığı Basımevi

Yahia A., Tanimura M., Shimabukuro A., Shimoyama Y., (1999). Effect of rheological parameters on self compactability of concrete containing various mineral admixtures, *Proceedings of the First International RILEM Symposium*, Edited by A.Skarendahl and Ö. Petersson, pp. 523-536.