İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KLİNKERE KATILAN ALÇININ TİPİ VE ÖĞÜTÜM KOLAYLAŞTIRICILARININ ÇİMENTO ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ VE BAZI KİMYASAL KATKILARLA UYUMU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Bora YAĞLI

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

MAYIS 2003

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KLİNKERE KATILAN ALÇININ TİPİ VE ÖĞÜTÜM KOLAYLAŞTIRICILARININ ÇİMENTO ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ VE BAZI KİMYASAL KATKILARLA UYUMU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Bora YAĞLI
(501011055)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Mayıs 2003
Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Mayıs 2003

Tez Danışmanı : Prof.Dr. M. Hulusi ÖZKUL
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Mehmet Ali TAŞDEMİR
Prof.Dr. Turan ÖZTURAN (B.Ü.)

MAYIS 2003

ÖNSÖZ

Son yıllarda, kimyasal katkı üretimi ve kullanımı, gelişen çimento ve beton teknolojisiyle doğru orantılı olarak artış göstermektedir. Ancak; bazı kimyasal katkı ve çimentolar arasında uyumsuzluk problemleri oluşabilmektedır. Bu çalışmada, klinkere katılan alçı tipleri ve öğütüm kolaylaştırıcı katkıların bazı kimyasal katkılarla olan etkileşimleri araştırılmıştır.

Bu çalışmanın hazırlanışı sırasında, bilgisini ve zamanını benimle paylaşarak, desteğini esirgemeyen Hocam Sn. Prof.Dr. M.Hulusi ÖZKUL'a teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmalarının gerçekleştirilmesi için fabrikalarının tüm malzeme ve olanaklarını sunan, SET Çimento Trakya Fabrikası Direktörü Sn. İsmail ÇAKIR'a, yardım ve desteklerini hiçbirzaman esirgemeyerek tüm bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan İdari Müdür Sn. Ali ÇELİK'e, Kalite Kontrol Şefi Sn. Betül OSMANPAŞAOĞLU'na, Ankara Fabrikası Üretim Müdürü Sn. Suavi ÜMMETOĞLU'na ve deneylerin yapılışında yardımcı olan Sn. Çağlar ÖZBAY'a ve tüm laboratuvar çalışanlarına sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Sika Yapı Kimyasalları Beton Laboratuvarı Şefi Sn. Ali Raif SAĞLAM'a ve Kimya Laboratuvarı Şefi Sn. Nazmiye PARLAK'a, çalışma boyunca devam eden sınırsız yardımları ve göstermiş oldukları yakın ilgi için teşekkür etmek isterim.

Tüm hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini herzaman yanımda hissetmekten büyük güç aldığım, annem Matematik Öğretmeni Emine YAĞLI'ya, babam İş Bankası Müdürü Yılmaz YAĞLI'ya ve varlığıyla beni her zaman mutlu kılan kardeşim Onur YAĞLI'ya burdan teşekkürlerimi sunmaktan onur duyarım.

MAYIS 2003 Bora YAĞLI

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR **iv**
TABLO LİSTESİ **v**
ŞEKİL LİSTESİ **vı**
SEMBOL LİSTESİ **vıı**
ÖZET **vııı**
SUMMARY **ıx**

1. GİRİŞ **1**
1.1. Çimento ve Tarihçesi 1
1.2. Çimento Üretimi 2
1.3. Çimento Bileşenleri 4
1.4. Çimentoda Alçının İşlevi 6
1.5. Çimento Klinkeri Öğütüm Kolaylaştırıcıları 7
1.6. Çimento Kimyasal Katkı Uyumu 8

2. DENEYSEL ÇALIŞMA **10**
2.1. Malzemeler 10
2.1.1. Klinker 10
2.1.2. Alçıtaşı 11
2.1.3. Öğütüm Kolaylaştırıcılar 13
2.1.4. Çimentolar 14
2.1.5. Kimyasal Katkılar 17
2.2. Yöntemler 19
2.2.1. Klinkerin Öğütülmesi ve Değirmen ile İlgili Bilgiler 19
2.2.2. Alçının elde edilmesi 21
2.2.3. Priz sürelerinin ölçülmesi 23
2.2.4. Yayılma deneyi 24
2.2.5. Dayanım deneyi 25
2.2.6. Birim ağırlık tayini 26

3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞILMASI **27**
3.1. Öğütüm Kolaylaştırıcıların ve Alçı Tipinin Öğütüm Sürelerine Etkisi 27
3.2. Öğütüm Kolaylaştırıcı Katkıların Çimento Özelliklerine Etkisi 30
3.3. Alçı Tipinin Çimento Özelliklerine Etkisi 34
3.4. Çimento Katkı Uyumu 38
3.4.1. Öğütüm Kolaylaştırıcı Katkıların Etkisi 38
3.4.2. Alçı Tipinin Etkisi 48
3.4.3. Çimento Tipinin Etkisi 55

4. SONUÇLAR **63**

KAYNAKLAR **65**

EKLER **67**

ÖZGEÇMİŞ **71**

KISALTMALAR

CLS	: Kalsiyum Linyo Sülfonat
ÖĞT.KOL.	: Öğütüm Kolaylaştırıcı
A.TAŞI	: Alçıtaşı
ÇÖZ.	: Çözünebilir
DOĞ.	: Doğal
PÇ	: Portland Çimento
BPÇ	: Beyaz Portland Çimento
PKÇ	: Portland Kompoze Çimento
PLÇ	: Portland Kalkerli Çimento
SDÇ	: Sülfata Dayanıklı Çimento
DLVO	: Derjaguin Landau Verwey Overbeck
ASTM	: American Society for Testing and Materials

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 1.1.	Çimento ana bileşenlerinin özellikleri	5
Tablo 2.1.	Kullanılan klinkerin kimyasal analizi	11
Tablo 2.2.	Dihidrat alçı tipinin farklı sıcaklıklarda bulunan bağlı su miktarları	12
Tablo 2.3.	Kullanılan alçı tiplerinin teorik ve bulunan bağlı su miktarları	13
Tablo 2.4.	Laboratuvarda hazırlanan çimentoların alçı ve öğütüm kolaylaştırıcı katkı içerikleri	15
Tablo 2.5.	Üretilen ve kullanılan çimentoların kimyasal analizleri	16
Tablo 2.6.	Üretilen ve kullanılan çimentoların fiziksel analizleri	17
Tablo 2.7.	Öğütüm yapılan değirmenin fiziksel özellikleri	20
Tablo 2.8.	Değirmende kullanılan bilyaların boyutları ve şarj miktarları	20
Tablo 3.1.	Üretilen çimentoların öğütüm süreleri	27
Tablo 3.2.	Öğütüm kolaylaştırıcıların kıvam suyu ve priz sürelerine etkisi	30
Tablo 3.3.	Öğütüm kolaylaştırıcıların genleşmeye etkisi	31
Tablo 3.4.	Öğütüm kolaylaştırıcıların birim ağırlık ve hava içeriğine etkisi	32
Tablo 3.5.	Öğütüm kolaylaştırıcıların çimento harcının yayılma özelliğine etkisi	32
Tablo 3.6.	Öğütüm kolaylaştırıcıların dayanıma etkisi	33
Tablo 3.7.	Alçı tipinin kıvam suyu ve priz sürelerine etkisi	34
Tablo 3.8.	Alçı tipinin genleşmeye etkisi	34
Tablo 3.9.	Alçı tipinin birim ağırlık ve hava içeriğine etkisi	36
Tablo 3.10.	Alçı tipinin çimento harcı yayılma özelliğine etkisi	36
Tablo 3.11.	Alçı tipinin dayanıma etkisi	37
Tablo 3.12.	Öğütüm kolaylaştırıcıların geciktirici ile birlikte kıvam suyu ve priz sürelerine etkisi	39
Tablo 3.13.	Öğütüm kolaylaştırıcıların geciktirici ile birlikte genleşmeye etkisi	40
Tablo 3.14.	Öğütüm kolaylaştırıcıların geciktirici ile birlikte hava sürüklemeye etkisi	41
Tablo 3.15.	Tablo 3.16. Öğütüm kolaylaştırıcıların geciktirici ile birlikte yayılmaya etkisi	42
Tablo 3.16.	Öğütüm kolaylaştırıcıların geciktirici ile birlikte dayanıma etkisi	42
Tablo 3.17.	Öğütüm kolaylaştırıcıların %0,5 CLS ile birlikte kıvam suyu ve priz sürelerine etkisi	44
Tablo 3.18.	Öğütüm kolaylaştırıcıların %0,5 CLS ile birlikte genleşmeye etkisi	45
Tablo 3.19.	Öğütüm kolaylaştırıcıların %0,5 CLS ile birlikte hava sürükleme etkisi	46

Tablo 3.20. Öğütüm kolaylaştırıcıların %0,5 CLS ile birlikte yayılma etkisi..... 46
Tablo 3.21. Öğütüm kolaylaştırıcıların %0,5 CLS ile birlikte dayanıma etkisi.. 47
Tablo 3.22. Alçı tipinin geciktirici ile birlikte kıvam suyu ve priz sürelerine etkisi 48
Tablo 3.23. Alçı tipinin geciktirici ile birlikte genleşmeye etkisi 49
Tablo 3.24. Alçı tipinin geciktirici ile birlikte hava sürükleme etkisi..... 50
Tablo 3.25. Alçı tipinin geciktirici ile birlikte yayılma etkisi..... 50
Tablo 3.26. Alçı tipinin geciktirici ile birlikte dayanıma etkisi..... 51
Tablo 3.27. Alçı tipinin %0,5 CLS ile birlikte kıvam suyu ve priz sürelerine etkisi 53
Tablo 3.28. Alçı tipinin %0,5 CLS ile birlikte genleşmeye etkisi 53
Tablo 3.29. Alçı tipinin %0,5 CLS ile birlikte hava sürükleme etkisi..... 54
Tablo 3.30. Alçı tipinin %0,5 CLS ile birlikte yayılma etkisi..... 54
Tablo 3.31. Alçı tipinin %0,5 CLS ile birlikte dayanıma etkisi..... 54
Tablo 3.32. Çimento tipinin geciktirici ile birlikte kıvam suyu ve priz sürelerine etkisi 56
Tablo 3.33. Çimento tipinin geciktirici ile birlikte genleşmeye etkisi 57
Tablo 3.34. Çimento tipinin geciktirici ile birlikte hava sürükleme etkisi..... 57
Tablo 3.35. Çimento tipinin geciktirici ile birlikte yayılma etkisi..... 58
Tablo 3.36. Çimento tipinin geciktirici ile birlikte dayanıma etkisi..... 58
Tablo 3.37. Çimento tipinin %0,5 CLS ile birlikte kıvam suyu ve priz sürelerine etkisi..... 60
Tablo 3.38. Çimento tipinin %0,5 CLS ile birlikte genleşmeye etkisi 60
Tablo 3.39. Çimento tipinin %0,5 CLS ile birlikte hava sürükleme etkisi..... 60
Tablo 3.40. Çimento tipinin %0,5 CLS ile birlikte yayılma etkisi..... 61
Tablo 3.41. Çimento tipinin %0,5 CLS ile birlikte dayanıma etkisi..... 61

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 : Dihidrat alçı tipinin farklı sıcaklıklarda zamanla bağlı su değişimi..... 13

Şekil 2.2 : Deneylerde kullanılan hemihidratın ve çözünebilir anhidritin 130oC, 170oC sıcaklıklarda elde edilmesi..... 22

Şekil 2.3 : Taze harç yayılma konisi..... 24

Şekil 3.1 : Öğütüm kolaylaştırıcıların öğütüm sürelerine etkisi..... 28

Şekil 3.2 : Alçı tipinin öğütüm sürelerine etkisi..... 30

Şekil 3.3 : Öğütüm kolaylaştırıcıların penetrasyon derinliklerine etkisi..... 31

Şekil 3.4 : Öğütüm kolaylaştırıcı içeren çimentoların 2, 28 günlük basınç dayanımları..... 33

Şekil 3.5 : Alçı tipinin penetrasyon derinliklerine etkisi..... 35

Şekil 3.6 : Farklı alçı tipi içeren çimentoların 2, 28 günlük basınç dayanımları..... 37

Şekil 3.7 : Öğütüm kolaylaştırıcıların %1 geciktirici ile birlikte penetrasyon derinliklerine etkisi..... 39

Şekil 3.8 : Öğütüm kolaylaştırıcıların %2 geciktirici ile birlikte penetrasyon derinliklerine etkisi..... 40

Şekil 3.9 : Öğt. Kol. ve geciktirici içeren çimentoların 2, 7 günlük basınç dayanımları..... 43

Şekil 3.10 : Öğt. Kol. ve geciktirici içeren çimentoların 28 günlük basınç dayanımları..... 43

Şekil 3.11 : Öğütüm kolaylaştırıcıların %0,5 CLS ile birlikte penetrasyon derinliklerine etkisi..... 45

Şekil 3.12 : Öğt. Kol. ve CLS içeren çimentoların 2 günlük basınç dayanımları..... 47

Şekil 3.13 : Öğt. Kol. ve CLS içeren çimentoların 28 günlük basınç dayanımları..... 47

Şekil 3.14 : Alçı tipinin %1 geciktirici ile birlikte penetrasyon derinliklerine etkisi..... 48

Şekil 3.15 : Alçı tipinin %2 geciktirici ile birlikte penetrasyon derinliklerine etkisi..... 49

Şekil 3.16 : Farklı alçı tipi ve geciktirici içeren çimentoların 2, 7 günlük basınç dayanımları..... 52
Şekil 3.17 : Farklı alçı tipi ve geciktirici içeren çimentoların 28 günlük basınç dayanımları 52
Şekil 3.18 : Alçı tipinin %0,5 CLS ile birlikte penetrasyon derinliklerine etkisi..... 53
Şekil 3.19 : Farklı alçı tipi ve CLS içeren çimentoların 2 günlük basınç dayanımları..... 55
Şekil 3.20 : Farklı alçı tipi CLS içeren çimentoların 28 günlük basınç dayanımları..... 55
Şekil 3.21 : Farklı çimento tiplerinin geciktirici ile birlikte 2, 7 günlük basınç dayanımları..... 59
Şekil 3.22 : Farklı çimento tiplerinin geciktirici ile birlikte 28 günlük basınç dayanımları..... 59
Şekil 3.23 : Farklı çimento tiplerinin CLS ile birlikte 2 günlük basınç dayanımları..... 61
Şekil 3.24 : Farklı çimento tiplerinin CLS ile birlikte 28 günlük basınç dayanımları..... 62

SEMBOL LİSTESİ

C_3S	**:** Trikalsiyum silikat
C_2S	**:** Dikalsiyum silikat
C_3A	**:** Trikalsiyum alüminat
C_4AF	**:** Tetrakalsiyum alüminoferrit
$CaSO_4$	**:** Kalsiyum Sülfat
$3CaO.Al_2O_3.3CaSO_4.32H_2O$	**:** Etrenjit
µm	**:** Mikronmetre

KLİNKERE KATILAN ALÇININ TİPİ ve ÖĞÜTÜM KOLAYLAŞTIRICILARININ ÇİMENTO ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ ve BAZI KİMYASAL KATKILARLA UYUMU

ÖZET

Son yıllarda, kimyasal katkı üretimi ve kullanımı, gelişen çimento ve beton teknolojisiyle doğru orantılı olarak artmıştır. Ancak bazı kimyasal katkı ve çimentolar arasında uyumsuzluk problemleri doğmaktadır. Üretim esnasında, düşük olan verimi artırma amacı ile bazı öğütüm kolaylaştırıcılar kullanılmaktadır. Bu öğütüm kolaylaştırıcıların, betona katılan kimyasal katkılarla etkileşerek, uyumsuzluğa neden olabilecekleri düşünülebilir. Beklenmeyen etkiler yaratabilen bir diğer durum ise; öğütüm esnasında priz ayarlayıcı olarak klinkere katılan alçının, bünyesindeki bağlı suyu kaybetmesidir. Üretim, saklama veya taşıma ortamlarında bağlı suyunu kaybedebilen alçıtaşı, özellikle taze çimento harcı ve betonda, ani priz, yalancı priz, hızlı sertleşme, çökme kaybı gibi etkiler doğurabilmektedir.

Bu çalışmada, laboratuvar ortamında, 3 farklı öğütüm kolaylaştırıcı ve alçıtaşı, hemihidrat, anhidrit ve doğal anhidrit olmak üzere dört farklı alçı, çimento klinkeri ile birlikte öğütülerek farklı karışımlar hazırlanmıştır. Ayrıca endüstriyel üretimden değişik çimento tipleri alınarak araştırmada kullanılmıştır. Çalışmanın devamında, bu çimentoların, fosfat tuzları içerikli priz geciktirici ve linyosülfonat eseslı akışkanlaştırıcı kimyasal katkılarla olan uyumları incelenmiştir. Çimento hamuru ve harcı üzerinde, kıvam suyu ve priz süreleri, La Chatelier halkasında genleşme, hava sürükleme, yayılma ve dayanım deneyleri yapılarak, sonuçlar karşılaştırılmıştır.

THE EFFECT OF GYPSUM TYPE AND GRINDING AIDS ON THE CEMENT PROPERTIES AND COMPATIBILITY WITH SOME CHEMICAL ADMIXTURES

SUMMARY

In recent years, production and usage of chemical admixtures have increased parallel to developments in concrete and cement technology. However, there are incompatibility problems between some chemical admixtures and cement types. Some grinding aids have been used for increasing the capacity, during producing period. It can be considered that these grinding aids can also cause incompatibility with cements. Another unexpected condition is, dehydrating of gypsum stone during grinding, stocking or transportation in cement industry. The dehydrated gypsum can create flash set, false set, rapid stiffening and slump loss on the fresh concrete or mortar.

In this work, 3 different grinding aiding admixtures and four different types of gypsum such as gypsum stone, hemihydrate, anhydrite and natural anhydrite were mixed and ground together with the same clinker under laboratory conditions. Addition to this, some industrially processed cements were used in the experiments for comparision. Also, a phosphate salts based retarder and a lignosulfonate based plasticizer were used for the compatibility testing between admixture and cements. Water consistency, setting times, expansion, entrained air, flow table and strength tests were carried out the cement paste and mortar, and the test results are compared with each other.

1. GİRİŞ

1.1. Çimento ve Tarihçesi

Genel olarak, kil ve kalkerin belirli oranlarda karıştırılıp döner çimento fırınlarında pişirilip ve katılaşma zamanını ayarlamak içinde içine bir miktar jips ($CaSO_4.2H_2O$, %3-5 ağırlıkça) katılarak öğütülmesi ile elde edilen; su ile karıştırıldığında suda ve havada dayanım kazanan ve agrega tanelerini birbirine bağlayan gri, beyaz renkte toz halinde hidrolik ve inorganik bünyeli bağlayıcı maddeye çimento denir [1].

"Çimento" kelimesi, yontulmuş taş kırıntısı anlamındaki Latince "caementum" kelimesinden türetilmiştir. Daha sonra bu kelime bağlayıcı anlamında kullanılmaya başlanmıştır [2].

Arkeologlar tarafından eski eserler üzerinde yapılan araştırmalar, hidrolik bağlayıcı maddelere rastlanan en eski yapıların Girit, Yunan ve Roma devirlerine ait kalıntılar olduğunu göstermiştir.

1756 yılında John Smeathon adındaki İngiliz mühendisi Eddistone deniz fenerini yapmakla görevlendirildiği zaman tuzlu ve tatlı sularda erimeyen bir bağlayıcı elde edebilmek için çeşitli kireçler ve puzzolanlar ile deneyler yapmıştır. Bulduğu en önemli sonuç, saf olmayan yani bir miktar kil içeren kireçlerin en iyi hidrolik bağlayıcıyı verdikleri olmuştur. Bu kireç hakkında "Sertlik ve dayanıklılık bakımından piyasada mevcut en iyi Portland taşına denk bir bağlayıcı madde yaptığıma şüphem yoktu" diyerek yazdığı satırlar, bağlayıcı maddelerle ilgili olarak Portland isminin ilk kullanılışı olmuştur. Ancak bu icadı etrafta çok duyulmamış ve aynı icat başkaları tarafından da yapılmıştır [3].

1818'de Vicat adlı Fransız mühendis su kireçleri hakkında parçalı bilgileri topladı ve killi taşları kontrollü bir şekilde kalker taşları ile karıştırıp pişirmek sureti ile Roman çimentosuna benzer bir su kirecinin yapay olarak da elde edilebileceğini ispatladı. Adına tabii çimento dendi [3].

Smeathon'dan 68 yıl sonra, 1824'de Joseph Aspdin adlı bir İngiliz duvarcı İngiltere'nin Portland adasından elde edilen yapı taşlarını andırdığını görerek, elde ettiği bu bağlayıcı için 21.10.1824 tarihinde "Portland Çimentosu" adı altında patent almıştır. Bu bağlayıcı daha sonraki yıllarda büyük gelişmeler gösterse de "portland"

ismi aynen korunmuştur. 1825'de İlk Portland Çimentosu fabrikasını kurmuş ve sonra oğluna devretmiştir. Asdpinler, bilgilerini meslek sırrı olarak gizli tutmuşlar ve yaptıkları çimentodaki kalker ve kil oranlarını bildirmemişlerdir [2,3,4].

Aslında Joseph Aspdin tarafından üretilen bağlayıcı, üretim sırasında yeterince yüksek sıcaklıklarda pişirilmediği için bugünkü portland çimentosunun özelliklerine tamamen sahip olamamıştır. Yine de İngiltere Kirkgate İstasyonunun yanındaki halen ayakta olan "Wakefield Arms" binasının Joseph Aspdin'in yaptığı bağlayıcı ile yapıldığı belirlenmiştir [4].

1845'de I.C. Johnson, kayıtlı bilgi bulunmadığından pekçok deneme yapmak zorunda kalarak kendi çimentosunu üretmeye başlamıştır. O zamanlara ait hatıralardan anlaşıldığına göre Aspdin ve Johnson aynı ayarda ve rakip çimentolar üretmekteydiler [2,3].

Yüksek sıcaklıklarda pişirilmeleri gerektiği için Portland Çimentoları doğal çimentolardan pahalı idiler ve başlangıçta rekabet edemediler. Ancak 1885'de Frederic Ransome tarafından döner fırının icadı bu meseleyi çözmüştür. Bundan sonra Portland Çimentosu üretim devrimi geçirmiştir ve gelişimi günümüzde de devam etmektedir [3].

Türkiye'de de ilk çimento fabrikaları 1913-1914 yıllarında Darıca ve Eskihisar'da kurulmuştur [2].

1.2. Çimento Üretimi

Bilindiği gibi çimento üretimi çeşitli aşamalardan oluşmaktadır. Taş ocaklarından başlayıp silolara kadar uzanan bu üretim aşamaları hakkında bilgi verilmek istenmesindeki amaç; ilerleyen bölümlerde bahsedilecek olan bazı olumsuz koşulların oluşma nedenlerinin daha açık bir şekilde ortaya konulmasına yardımcı olmaktır.

Portland çimentolarının üretiminde, önce uygun miktarlarda kireç (CaO), silis(SiO_2), alümin(Al_2O_3) ve demir oksit(Fe_2O_3) içeren hammaddeler (genellikle kalker ve kil) belirli oranlarda karıştırılarak fırınlarda 1450^oC - 1650^oC'ye kadar pişirilirler. Fırından çıkan gri renkteki pürüzlü ve gözenekli yüzeye sahip 1-25 mm. çapındaki malzemeye "klinker" [TS 3441] denir. Klinker soğutulur daha sonra öğütülür. Öğütüm esnasında çimentonun priz sürelerini ayarlamak için klinkere %3-5

oranlarında alçı taşı ($CaSO_4.2H_2O$) ilave edilir. Sonuçta ortaya çıkan malzeme bağlayıcılık özelliğini kazanmış olan "Portland Çimentosu"dur [5].

Öğütme işlemi sırasında portland çimentosu klinkeri ve alçı taşına belli miktardaki puzolanlar eklenerek katkılı çimentolar elde edilebilmektedir.

Çimento üretimi 2 şekilde yapılabilmektedir.

1) Yaş yöntemde çimentonun üretilmesi:

Kuru yönteme göre yaş yöntem (suyu buharlaştırmak için daha fazla ısı enerjisine gereksinme olduğundan) daha pahalı bir sistemdir. Bugün gri çimento üretiminde kuru sistem tercih edilmektedir [1,6]. Yaş usulde, ocaktan alınan hammadde fabrikada konkasörlerde öğütülerek ağırlıkça %40-60 oranında su ile karışım silolarına iletilir ve bu silolarda istenilen karışım oranı sağlandıktan sonra rezerv silolarına iletilir ve bu silolardan yatay eksen etrafında dönen döner fırınlara iletilir. Aralarındaki fark, kuru yöntemde öğütülen kil ve kalkerin susuz pişirilmesi ve karışım silolarında karışımın önceden hazırlanmayıp hammaddesinin doğrudan öğütülüp toz halinde fırına sevk edilmesidir [1,4,6].

2) Kuru yöntemde çimentonun üretilmesi:

Taş ocaklarından çıkarılıp, kamyonlarla taşınan kalker ve kil, çekiçli kırıcıda ayrı ayrı kırılarak stoklanır. Stoklanan kalker ve kil belirlenen oranlarda farin değirmenlerine beslenir. Bu değirmenlerde öğütülen hammadde, değirmenleri terkettiğinde "farin" adını almaktadır [4,6].

Teknolojik gelişmeler sonucu ortaya çıkan bir sistem de prekalsinasyon üniteleridir. Bu sistemin geliştirilmesi ile klinker üretim kapasitelerinde çok ciddi bir artış gerçekleşmiştir. Farin, stok silolarından döner fırına girmeden önce ön ısıtıcı–siklon sistemine beslenerek bir önısıtma işlemine tabi tutulur. Siklonlarda, fırından ve prekalsinasyonda sağlanan enerji (Kömür yakılarak) ile meydana gelen ısı transferi sonucu farin, 1000–1100ºC'ye ulaşmış olarak döner fırına girer [6]. Döner fırının üst ucu düşük sıcaklığa sahiptir. Hammaddeler buradan konulur ve yatay fırının eğiminden ve dönmesinden dolayı yavaş yavaş aşağı uca doğru hareket ederler ve giderek daha yüksek sıcaklıkla karşılaşırlar. Kömür değirmenlerinin öğüttüğü kömürlerin yüksek devirli vantilatörler yardımı ve yüksek teknoloji ürünü olan Pillard alev borusu vasıtasıyla fırında yanmaları gerçekleşir. Böylece döner fırın

boyunca ilerleyen farin, sıcaklığa bağlı olarak meydana gelen kimyasal reaksiyonlara uğrar. Meydana gelen kimyasal reaksiyonlar aşağıda belirtildiği gibidir:

500 - 600^{o}C'de killi maddeler oksitlere ayrışır: $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$
600 - 700^{o}C'de $MgCO_3 = MgO + CO_2$'e ve
900^{o}C'de $CaCO_3 = CaO + CO_2$'e dönüşür.
900 - 1200^{o} C'de kireç, silis, alümin arasında reaksiyon başlar.
1250 - 1280 ^{o}C'de oksitler eriyik hale gelir.
1280^{o}C'den sonra çimento bileşenleri meydana gelir.
1350 - 1450^{o}C'de başlı başına değişik bir ürün olan klinker elde edilir.

Fırını terkeden klinker, ızgaralı soğutucu ünitesinden geçirilerek soğutulur ve döner fırını terkeden gri klinker stokholde stoklanır.

Ayrıca diğer çekiçli kırıcıda kırılan alçı taşı da stokholde stoklanır. Stoklanan klinker ve alçı çimento değirmenleri bunkerlerine ve buradan da, belirlenen oranlarda bilyalı sistemle öğütüm yapan yatay boru çimento değirmenlerine beslenir. Bu değirmenlerde öğütülen klinker, alçı, puzolanlar veya kalker değirmeni terkettiğinde "gri çimento" adını alır ve son mamul üründür. Üretilen gri çimentolar çimento silolarında stoklanır ve bu silolardan paketleme makinaları vasıtasıyla torbalanarak veya dökme dolum tesisleri vasıtasıyla silobaslara doldurularak piyasaya sevk edilir.

1.3. Çimento Bileşenleri

Standart tanımlamasına göre "Portland çimentosu" klinkere alçıdan başka bir madde katılmayan çimentodur [5]. İngiliz (BS12:1978) ve Amerikan Standartları'nın (ASTM C 150-84) Portland Çimentosu tanımlarında da alçı taşı, su ve öğütme yardımcısı maddeler dışında hiçbir maddenin katkı olarak kullanılamayacağı belirtilmiştir.

Eğer öğütme işlemi sırasında portland çimentosu klinkeri ve alçı taşına belli miktardaki katkı maddeleri (puzolanik katkılar) eklenirse farklı tiplerdeki katkılı çimentolar elde edilir. Ancak eski dönemlerden beri demir-çelik sektörünün proses atığı yüksek fırın cürufu, termik santrallerde kullanılan taşkömürlerinin yanması sonucu oluşan uçucu kül veya tras gibi endüstriyel veya doğal mineral katkıları

içeren çimentolar kullanılmaktadır. Teknolojik ve ekonomik yararlarına ek olarak çevre ile doğa kaynaklarının korunmasına da yardımcı olan katkılı çimentolar gittikçe yaygınlaşmaktadır [4,6].

Üretimde kullanılan ilkel maddeler kil ve kalkerdir. Kalkerli malzemeler; kireçtaşı, marn, killi malzemeler; içerisinde önemli miktarda silis bulunan kil, şeyl, şist, kum gibi malzemelerdir [3,4].

Farinin döner fırınlarda pişirilmesiyle meydana gelen klinker içindeki 4 ana bileşen aşağıdaki gibidir [3]:

C_3S : Trikalsiyum Silikat(Alit), $3CaO.SiO_2$

C_2S : Dikalsiyum Silikat(Belit), $2CaO.SiO_2$

C_3A : Trikalsiyum Alüminat, $3CaO.Al_2O_3$

C_4AF : Tetrakalsiyum Alüminoferrit, $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$

Tablo 1.1. Çimento ana bileşenlerinin özellikleri

Çimento Özellikleri	Bileşenlerin Özellikleri			
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
Reaksiyon Hızı	orta	yavaş	hızlı	orta
Hidratasyon Isısı	orta	az	çok	orta
Erken Dayanım	yüksek	düşük	düşük	düşük
Geç Dayanım	yüksek	yüksek	düşük	düşük

Çimento içinde bu bileşenleri farklı oranlarda bulundurmak sureti ile çeşitli maksatlara hizmet edecek farklı çimentolar elde etmek mümkündür. Tablodan da görülebildiği gibi çimentoların son bağlayıcılık değerini tayin eden bileşenler, C_3S ve C_2S'tir. C_3S ve C_2S'in bağlayıcılıktaki katkısından dolayı, bu iki bileşenin çimento içindeki toplamı %75'ten az olmamalıdır [7].

C_3A bileşeni, su ile birleştiğinde çok hızlı ve şiddetli bir reaksiyon göstermektedir. Bu bileşenin ani reaksiyon hızını yavaşlatmak amacı ile bilindiği gibi çimento öğütümü sırasında klinkere bir miktar alçıtaşı katılmaktadır. Ancak, C_3A, su ve alçıtaşı arasındaki reaksiyonlar C_3A'nın reaksiyonunu yavaşlatarak ani sertleşmeyi

önlemekle birlikte, aynı reaksiyonun beton sertleştikten sonra sülfatlı suların etkisi ile $3CaO.Al_2O_3.3CaSO_4.32H_2O$ (etrenjit) gibi genleşme yaratabilecek kalsiyum alümino sülfat ürünlerinin oluşmasına yol açmaktadır [8].

1.4. Çimentoda Alçının İşlevi

Klinkere öğütüm esnasında priz ayarlayıcı olarak bir miktar alçı katıldığı belirtilmiştir [9]. Döner fırınların icadından önce yapılmış çimentolarda prizi geciktirecek tedbirler alınmasına gerek yoktu. Çünkü onlar zaten yavaş priz yapıyorlardı. Ancak döner fırın ürünlerinin çabuk sertleşmeleri, prizin ayarlanması problemini ortaya çıkarmıştır. Önceleri klinker, fazla miktarda havaya maruz bırakılarak priz geciktiriliyordu. Daha sonra geciktirici olarak alçıtaşı kullanılmaya başlandı. Fakat alçıtaşını, her zaman geciktirici görevi üstlenmediği için bir geciktiriciden çok bir ayarlayıcı olarak tanımlamak gerekir [3].

Betonu birkaç saat işlenebilir yapma amacıyla çimentoda yer alan alçı çok önemli bir bileşendir. Sadece priz süresini düzenlemekle kalmaz, ayrıca üretim esnasında öğünebilirlik, stoklama hassasiyeti, hacim stabilitesi ve dayanım gibi diğer çimento özelliklerine de çok belirgin etkiler yapabilir. Miktarı ve tipi doğru ayarlanmayan alçı, olumsuz koşulları da beraberinde getirmektedir [9].

Ayrıca, son yıllarda kimyasal katkı kullanımının artmasıyla birlikte, portland çimentosu ve kimyasal katkılar arasında uyumsuzluk problemleri ortaya çıkmaya başlamıştır. Mimar ve mühendisler; betonda kimyasal katkı kullandıklarında çok değişik durumlarla karşılaştıklarını bildirmektedirler. Bunlar; ani priz, yalancı priz, priz sürelerinde düzensiz artışlar, kıvam suyunda belirsizlikler ve hızlı çökme kaybı olarak sıralanmaktadır [8]. Bugünün çimentolarında, alçı bir veya daha fazla formda bulunmaktadır:

$CaSO_4.2H_2O$: Dihidrat alçı (alçıtaşı)

Alçıtaşı ısıtıldığında hemihidrat alçıya dönüşür.

$CaSO_4.1/2H_2O$: Hemihidrat

Alçıtaşı yüksek sıcaklıkta ısıtıldığında ise çözünebilir anhidrit oluşur

$CaSO_4$: Çözünebilir anhidrit

Doğada da anhidrit, doğal halde bulunabilir. Bu tiplerin elde edilmesi ve çimento üzerindeki etkileri 2.2.2. bölümünde ele alınmıştır.

1.5. Çimento Klinkeri Öğütüm Kolaylaştırıcıları

Günümüzde tüm dünyada üretilen toplam elektrik enerjisinin %3-4 kadarı öğütme proseslerinde harcanmaktadır. Yalnızca çimento endüstrisi gözönüne alındığında bu rakam %2 civarında olmaktadır. Bilindiği gibi öğütme işlemi çok verimsiz bir işlem olup, değirmene giren toplam enerjinin %1'i kadarı yeni yüzey oluşumunda harcanmakta; geriye kalan kısım ise; ısı, ses, titreşim, sürtünme, vb. enerji türleri olarak kaybolmaktadır. Çimento endüstrisinde, üretimin en ağırlıklı işlemlerinden biri olan öğütmede kullanılan elektrik enerjisi, harcanan toplam elektrik enerjisinin %60'ından fazla olup, çimento üretim maliyetinin %30-40'ına karşı gelmektedir [7, 10].

Çimento üretimindeki ciddi sorunlardan birini teşkil eden problemi azaltmaya yönelik olarak çoğu çimento fabrikasında kullanılan yöntemlerden biri de öğütüm esnasında klinkere öğütüm kolaylaştırıcı katkı ilavesidir. Öğütüm sürelerini kısaltmak ve enerjideki kayıpları azaltmak amacıyla kullanılan bu katkıların bir diğer etkisi de; kuru halde stoklanan ve taşınan çimentonun akışkanlığına olan etkisidir.

Öğütüm esnasında oluşan yeni yüzeyler kimyasal olarak oldukça aktiftir. Krırlma esnasında oluşan yüzey enerjisi tanecikler arasında etkileşime yol açmakta ve tanecikler; birbirlerine, bilyalara ve değirmen cidarlarına yapışmaktadırlar. Öğütüm esnasında bu kuvvetler yabancı moleküllerin disperse edici etkileriyle, enerjiyi absorbe ederek azaltılabilmektedir [11].

Stoklanma süresince de; havadaki nem, CO_2 veya diğer elementler sebebiyle ara etkileşimler devam etmekte ve stok silolarının cidarlarıyla, birbirlerine yapışan bu tanecikler, çimentonun kuru haldeki işlenebilirliğini ve taşınabilirliğini etkilemektedirler [11,12].

Çoğu çimento üreticisi, yıllardır değirmen çıkış malzeme miktarını arttırmak ve topaklanma sorununu çözmek için çalışmaktadırlar. Birim zamanda öğütülen malzeme miktarı artışıyla birlikte çimentonun akşkanlığında da ciddi bir artış not edilmektedir [11]. Öğütüm prosesinde bu katkıların kullanılması, malzeme sertliğinin azalmasına liderlik etmekte, yüzey kuvvetlerini engellemekte ve kırılmanın ilerlemesine olanak sağlamaktadır. %0,1-%0,5 aralığında değişen düşük dozajlı kullanımlarda etki göstermektedirler. Ancak bu etki moleküler yapılarına ve içeriklerine göre değişmektedir [13].

Besleme bandı üzerinde ilerleyen klinkere, damlatma yoluyla katılan bu öğütüm kolaylaştırıcıların; homojen tanecik dağılımını arttırdığı, taneciklerin yüzey pürüzlülüğünü azalttığı da belirtilen diğer etkileri arasındadır [11,12]. Bu etkiyle birlikte tanecikler arası sürtünme de azalmakta ve işlenebilme kolaylaşmaktadır. Ancak, kimyasal katkılarla birlikte çimento ve beton özelliklerine yaptıkları etkilerde değişik sonuçlara rastlanmaktadır.

1.6. Çimento - Kimyasal Katkı Uyumu

Kimyasal katkı kullanımı hızlı bir artış içerisinde bulunmakta ve katkı üretici fabrika sayısı da benzer şekilde çoğalmaktadır. Bunlarla birlikte son yıllarda çimento ve kimyasal katkılar arasında uyumsuzluk problemlerinde de bir artış gözlenebilmekte ve beton üretiminde katkı kullanılması; ani priz, gecikme veya hızlı sertleşme gibi problemleri de sıkça yaşatmaktadır [14,15].

Kullanımı çok yaygın olan bir katkı cinsi de akışkanlaştırıcılardır. Modern betonun önemli bir parçası haline gelen bu katkıların kökleri Hindistan'a dayanmaktadır. İşte bu katkının çimento ve beton davranışına etkileri ilgi konusu olmaktadır. Bu davranışlardan biri olan priz sürelerinde gecikme konusu da birçok yayında belirtilmiştir. Yaygın kullanılan tipleri; naftalin esaslı akışkanlaştırıcılar, melamin esaslı akışkanlaştırıcılar, polimer esaslı akışkanlaştırıcılar ve linyosülfonat esaslı akışkanlaştırıcılar olarak belirtilebilir [14].

Akışkanlaştırıcıların akışkanlaştırıcı etkileri katı bağlayıcı malzemeleri dağıtma özelliğine bağlıdır. Dağılma, akışkanlaştırıcı molekülerin bağlayıcı toz parçacıkları tarafından adsorbe edilmesiyle oluşur. Dağılım ve sürekliliğin açıklanması farklı teorilere bağlı olarak yapılmaktadır. Birinci teori DLVO teorisidir. Bu teoride adsorbe edilen akışkanlaştırıcı molekülleri katı çimento tanelerini negatif yükle yükleyerek taneler arasında elektrostatik bir itki oluşturur. İkinci teori ise Sterik Etki Teorisi'dir. Esas kısmı uzun ve yandan ekli zincirleri olan adsorbe edilmiş molekül halindeki akışkanlaştırıcıların stereokiometrik yapıları itici bir potansiyel enerji yaratırlar. Ayrıca plastik viskozitenin düşmesine de etki eden akışkanlaştırıcılar, betonun boru ile transferini de kolaylaştırır [16]. Bu sterik etki daha çok

kendiliğinden yerleşen beton katkılarında sözkonusudur. Bu katkıların öğütüm kolaylaştırıcılarla girdikleri etkileşim değişik sonuçlara da yol açmakta ve aynı çimento tiplerinde bile farklı davranışlar gözlemlenebilmektedir [15].

Ortak gözlemlenen uyumsuzlukların nedenlerinden biri de çimentoye katılan alçının tipidir. Anhidrit içeren çimentoyla birlikte kullanılan kimyasal katkıların değişik sonuçlar doğurduğuna dair gözlemler birçok yayında bildirilmektedir. Örneğin CLS katkısıyla birlikte kullanılan doğal anhidiritin çözünürlüğü katkısız haline göre ciddi azalmalar gösterebilmektedir [8].

Basınç dayanımlarına da olumsuz etkiler yaratabilen CLS+Anhidrit içeriğinin, su azaltıcı olarak bilinen etkisinin tersine durumlar yaratabildiği ve ani çökme kayıplarına neden olabildiği de gözlemlenen sonuçlar arasındadır [17].

Bu olumsuzlukların ya da diğer bir deyişle uyumsuzlukların bağlı olduğu etkenler şu şekilde sıralanabilir [17]:

- Çimento kimyasal bileşenleri (özellikle C_3A ve alkali içeriği]
- Çimento inceliği
- Kullanılan alçı miktarı ve tipi
- Akışkanlaştırıcının kimyasal yapısı
- Akışkanlaştırıcı dozajı ve katılma metodu

Kullanılan diğer katkı türlerinden biri de priz geciktirici kimyasal katkılardır. Üretici firma tarafından, geniş hacimli beton dökümlerinde, uzun mesafe taşıma işlerinde, yerleştirme koşullarının zor olduğu yerlerde, yüksek sıcaklıklarda, vb. durumlarda kullanılabildiği belirtilen bu katkılar priz süresini dozaja bağlı olarak değiştirmektedir. Bazı durumlarda ise yine bir kimyasal katkı-çimento uyumsuzluk problemi olan priz sürelerinde ters etki oluşumunu yaratabilmektedir. C_3A kristalleri üzerine adsorbe olarak bunların aktivitesini yavaşlatma özellikleri, işleyişlerini açıklamakta yardımcı olmaktadır.

Belirli amaçlara yönelik olarak kullanılan kimyasal katkılar, bu amaçlarının tersi durumlara hizmet edebileceği gibi istenmeyen durumların oluşmasında da son derece etkili olabilmektedirler. Çimento tipi, dozajı, içeriği, vb. özelliklere bağlı olarak etkileşimleri değişebilen bu katkıların kullanımı dikkat ve özen gerektirmektedir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Malzemeler

2.1.1. Klinker

Laboratuvar değirmeninde yapılacak olan üretimler için kullanılacak olan kinkerin kimyasal yapısı hakkında bilgi edinmek amacıyla stok sahasından alınan ve 1,5 cm'den büyük parçalar içeren klinker önce kimyasal analize hazırlanmıştır.

Kullanılacak malzeme, önce büyük konkasörden geçirilerek dane çapı bakımından daha homojen bir hale getirilmiştir. 105°C'de sabit tartıma gelene dek kurutulan numune küçük konkasörden geçirilerek, tane boyutu 2,5 mm'nin altına düşürülmüştür. Azaltılan numune, halkalı öğütücüde öğütülürek tamamı, 90 μm gözlü elekten geçirilmiştir. Elekten geçmiş numune, kapalı bir kaba alınarak, etiketlendirilmiş ve analize alınacağı zaman yaklaşık 1 saat kadar 105°C sıcaklıkta etüvde tutularak, desikatörde soğutulduktan sonra , analize alınmıştır.

Cihaza dışarıdan manuel olarak girilen bilgi kızdırma kaybıdır. Kızdırma kaybı tayini de belli standartlara göre yapılmaktadır. Kullanılan klinker hakkında ulaşılacak analiz bilgileri önemli olduğu için, bu analizin tüm detaylarının çok dikkatli bir şekilde yapılması gerekmektedir.

TSE 687'ye göre, kızdırma kaybı tayini yapılacak numuneyi 125 μm gözlü elekten geçirmek ve 105°C sıcaklıktaki etüvde 12 saat bekletmek gerekmektedir. Daha sonra 1,00 gr. numune tartılarak, ağırlığı bilinen bir krozeye konulur ve 975±25°C sıcaklıktaki fırında 30 dakika bekletilir. Desikatörde soğutularak, tartılır. Kızdırma Kaybı = (W_{ilk}-W_{son})*100 olarak belirlenir.

Kızdırma kaybı tayininden sonra cihaza yerleştirilen numunenin kimyasal analizi yapılarak sonuçları alınmıştır (TSE 687). Kullanılan klinkerin kimyasal analiz sonuçları Tablo 2.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1 Kullanılan klinkerin kimyasal analizi

Kimyasal Birleşim	(%, ağırlık)
SiO_2	22,10
Al_2O_3	4,71
Fe_2O_3	4,02
CaO	65,98
MgO	1,11
K_2O	0,67
SO_3	0,55
Karma Oksit Bileşenleri (Bogue)	(%, ağırlık)
C_3S	59,38
C_2S	18,57
C_3A	5,69
C_4AF	12,24
Kız. Kaybı	0,13
Serbest CaO	0,94

2.1.2. Alçıtaşı

Üretim, stoklama ve taşıma sırasında, alçıtaşı-hemihidrat oranında kontrol edilemeyen bir oluşum gerçekleşebilmektedir. Bu değişim taze betonun işlenebilme özelliklerine olumsuz etkiler yapabilmektedir.

Klinker ve alçıtaşı öğütümü esnasında, göreceli olarak yüksek sıcaklıklar oluşmaktadır. Bu durum alçıtaşı-hemihidrat ya da çözünebilir anhidrit oranına azaltıcı yönde etki yapmaktadır. Bilindiği gibi alçıtaşı bünyesindeki bağlı suyun kaybıyla hemihidrat ve çözünebilir anhidrit oluşabilmektedir. Bu kayıp, alçıtaşının kalitesine ve çimentonun üretim sonrası oluşan stoklama ve taşınma şartlarına bağlıdır. Hemihidrat ve çözünebilir anhidritin çözünürlüğü, alçıtaşının çözünürlüğünden yaklaşık olarak 3 kat daha fazladır. Alçıtaşı-hemihidrat oranındaki kontrol dışı bir değişim, sistemin kimyasal reaktivitesini ve taze betonun işlenebilme özelliklerini etkilemektedir. Aynı şekilde, alçıtaşı-hemihidrat oranında gerçekleşebilen bu değişim, çimento ve süperakışkanlaştırıcı gibi kimyasal katkılar arasında uyumsuzluk problemi doğurabilmektedir. Bu uyumsuzluk, taze betonun yalancı priz ya da ani priz yapmasına neden olabilmektedir [18].

Hemihidrat ve çözünebilir anhidrit, çimento öğütüm değirmenindeki sıcaklığın artışıyla birlikte alçıtaşından türeyebilmektedir. Teorik olarak; alçıtaşı, hemihidrata 128^{o}C'de, çözünebilir anhidrite de 163^{o}C'de dönüşmektedir. Klinker ve alçıtaşının

170^{o}C'de birlikte öğütülmeleri halinde, alçıtaşının tamamı ya da bir kısmı çözünebilir anhidrite dönüşmektedir. Hemihidratın çözünebilir anhidrite dönüşümü, alçıtaşının hemihidrata dönüşümünden daha zor gerçekleşmektedir. Bununla birlikte, çözünebilir anhidritin göresel olarak daha yüksek sıcaklıklarda ısıtılmaya devam edilmesi durumunda, doğal anhidrite dönüştüğü de gözlemlenmektedir [8,19].

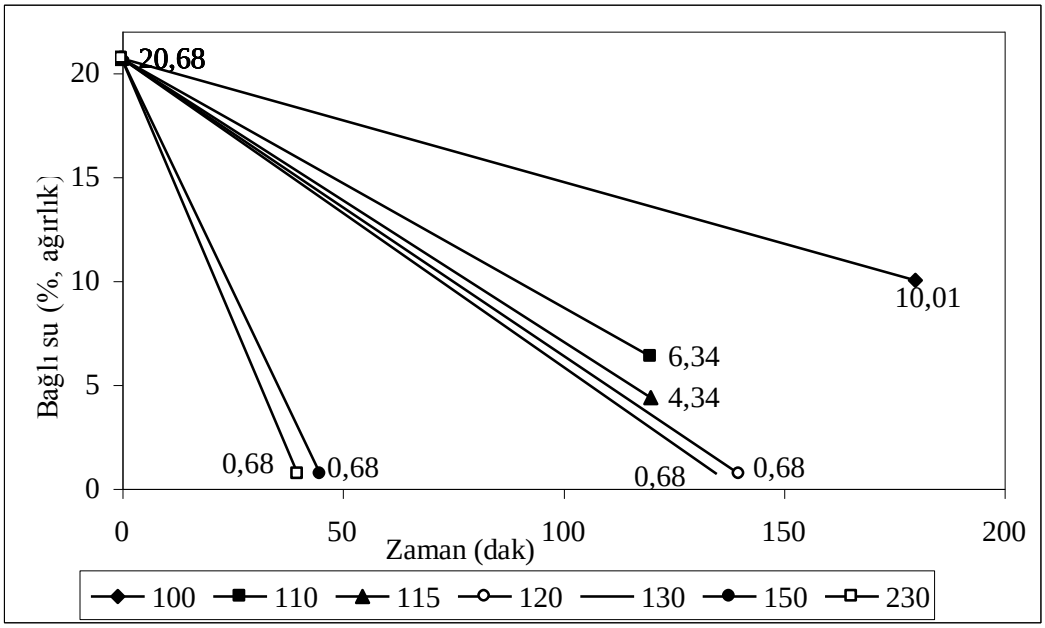
Öğütüm sıcaklığının 90^{o}C, 130 ^{o}C ve sonunda 170 ^{o}C'ye ulaşmasıyla birlikte iki saate kadarki hidratasyon sürecinde, etrenjit oluşumu da artış göstermektedir [19].

Bu çalışmada, çimentodaki alçı içeriğinin uğrayabileceği dönüşümlerin, çimento ve beton özelliklerine, katkısız ya da kimyasal katkılarla olan etkileri incelenmiştir. Bu dönüşümler için teorik olarak belirli sıcaklıklar kabul edilse de, uygulamada sabit bir sıcaklıktan söz etmenin çok zor olduğu söylenebilir. Üretimlerde, alçının dört farklı tipi kullanılcağı için öncelikle yapılması gereken işin, dihidrat alçının değişen sıcaklıklarda bağlı su kayıp miktarlarını tayin etmek olduğu düşünülmüştür.

Bu bağlamda yapılan çalışmalar sonucunda 3g dihidrat alçının farklı sıcaklıklarda bağlı su kayıp miktarları tespit edilmiştir. Tablo 2.4. ve Şekil 2.1.'den de anlaşılabileceği gibi alçıtaşı bağlı su kaybında kesin bir sıcaklık değeri vermek çok zordur.

Tablo 2.2. Dihidrat alçı tipinin farklı sıcaklıklarda bulunan bağlı su miktarları

Sıcaklık (^{o}C)	Zaman (dakika)	Bağlı Su (%, ağırlık)
40	48 saat	20,68
100	180	10,01
110	120	6,34
115	120	4,34
120	140	0,68
130	135	0,68
150	45	0,68
230	40	0,68



Şekil 2.1. Dihidrat alçı tipinin farklı sıcaklıklarda zamanla bağlı su değişimi

Çalışmanın devamında kullanılan alçı tiplerinin teorik ve bulunan bağlı su değerleri Tablo 2.5.'de belirtilmiştir. Bulunan bağlı su miktarlarının tespit edildiği sıcaklık ve süre bağıntılarına sonraki bölümlerde daha detaylı şekilde değinilecektir.

Tablo 2.3. Kullanılan alçı tiplerinin teorik ve bulunan bağlı su miktarları

Alçı Tipi	Bağlı Su (%, ağırlık)	
	Teorik	Bulunan
Dihidrat Alçı	20,90	20,68
Hemihidrat Alçı	6,20	6,15
Çözülebilir Anhidrit	0,00	0,22
Doğal Anhidrit	0,00	0,14

2.1.3. Öğütüm Kolaylaştırıcılar

Bu çalışmada 3 tip öğütüm kolaylaştırıcı katkı kullanılmıştır. Kullanılan bu katkıların üreticilerinden alınan bilgiler aşağıdaki gibidir:

Öğt.Kol.No:1

- Disperse edici malzemelerden oluşan bileşim.
- Kuru haldeki akışkanlığı arttırarak, silolarda ve taşınma esnasında işlenebilmeyi arttırır.

Öğt.Kol.No:2

- Poliamin tuzlarından oluşan bileşim.
- Yoğunluk: 1,09-1,1 g/ml
- Klor içermez
- Her tip çimento ile kullanılabilir
- Kuru haldeki akışkanlığı arttırarak, silolarda ve taşınma esnasında işlenebilmeyi arttırır.
- Klinkere, besleme bantı üstünde direkt olarak damlatılır.

Öğt.Kol.No:3

- Glukol ve disperse edici malzemelerden oluşan bileşim.
- Yoğunluk : 1,4-1,5 g/ml

Bu üç tip öğütüm kolaylaştırıcının, çimento hamuru ve harcı üzerindeki etkileri ve beton aşamasında katılan kimyasal katkılarla olan uyumları incelenmiştir. Bazı öğütüm kolaylaştırıcıların da bu kimyasal katkılarla birlikte kullanıldıklarında uyumsuzluk problemleri doğurabileceği yönündeki şüpheler üzerine yapılan bu çalışmada benzer uyumsuzluk sonuçlarıyla karşılaşılmıştır.

2.1.4. Çimentolar

Bu çalışmanın bir bölümünde aynı tip klinker, farklı alçı tipleri ve öğütüm kolaylaştırıcılar ile karıştırılarak birlikte öğütülmüş ve böylece farklı özellikte 7 adet PÇ 42.5 tipi çimento (klinker aynı) elde edilmiştir (Tablo 2.4). Diğer bölümde, bu klinkerden endüstriyel olarak üretilmiş 5 farklı çimento kullanılmıştır.Endüstriyel üretimden alınan ve laboratuvar şartlarında üretilen çimentoların kimyasal ve fiziksel analizleri Tablo 2.5. ve Tablo 2.6.'da gösterilmiştir. Bu çimentoların gösterebilecekleri davranışların sebepleri hakkında yorum yapabilme amacıyla yapılan bu analizler, birinci bölümde bahsi geçirilen ve deney sonuçlarıyla ortaya konulan bazı problemlere de ışık tutmaktadır.

Tablo 2.4. Laboratuvarda hazırlanan çimentoların alçı ve öğütüm kolaylaştırıcı katkı içerikleri

Öğütüm Sıra No	Klinker	Alçı Tipi			Öğütüm Kolaylaştırıcı Katkı		
		Dihidrat	Hemihidrat	Anhidrit	1	2	3
	(%, ağırlık)	(%, ağırlık)	(%, ağırlık)	(%, ağırlık)	(%, ağırlık)	(%, ağırlık)	(%, ağırlık)
1	95,5	4,5	-	-	-	-	-
	95,5	4,5	-	-	-	-	-
	95,5	4,5	-	-	-	-	-
2	95,5	-	4,5	-	-	-	-
	95,5	-	4,5	-	-	-	-
	95,5	-	4,5	-	-	-	-
3	95,5	-	-	4,5	-	-	-
	95,5	-	-	4,5	-	-	-
	95,5	-	-	4,5	-	-	-
4	95,5	-	-	4,5	-	-	-
	95,5	-	-	4,5	-	-	-
	95,5	-	-	4,5	-	-	-
5	95,45	4,5	-	-	0,05	-	-
	95,45	4,5	-	-	0,05	-	-
	95,45	4,5	-	-	0,05	-	-
6	95,45	4,5	-	-	-	0,05	-
	95,45	4,5	-	-	-	0,05	-
	95,45	4,5	-	-	-	0,05	-
7	95,45	4,5	-	-	-	-	0,05
	95,45	4,5	-	-	-	-	0,05
	95,45	4,5	-	-	-	-	0,05

Tablo 2.6.'de belirtilen değerler öğütümü yapılan ve endüstriyel üretimden alınan çimentoların fiziksel özelliklerini göstermektedir. Özgül ağırlık ve özgül yüzey (Blaine) değerleri TS 24'te belirtilen esaslar çerçevesinde tespit edilmiştir. Elek analizi ile elde edilen değerler de, çimentonun kuru halde akışkanlık, taşınabilirlik, vb. özellikleri hakkında fikir vermektedir. Örneğin, çözünebilir anhidrit içeren çimento taneciklerinin, birbirleriyle etkileşimi hakkında elek üzerinde kalan malzeme oranına bakarak fikir sahibi olabilmek mümkündür. 40 μm gözlü eleküstünde kalan malzeme miktarı, dihidrat alçı içeren numunenin aynı gözlü eleküstünde kalan miktarının iki katından fazla olmuştur.

Tablo 2.5. Üretilen ve kullanılan çimentoların kimyasal analizleri

Çimento İsmi	Kimyasal Birleşim (%, ağırlık)						
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	SO_3
A.Taşı İçeren	21,2	4,6	4	64,6	1,1	0,6	2,8
Hemihidrat İçeren	21,1	4,7	4	64,9	1,2	0,6	3,1
Çöz.Anhidrit İçeren	21,5	4,6	3,7	64,5	1,2	0,8	3,5
Doğ.Anhidrit İçeren	20,6	4,7	4	64	1,2	0,6	3,2
Öğt.Kol. No:1	21,2	4,6	4	65,1	1,1	0,7	2,8
Öğt.Kol. No:2	21,2	4,6	4	65	1,1	0,6	2,8
Öğt.Kol. No:3	21,3	4,7	4	65,3	1,1	0,7	2,8
BPÇ 32,5	21,8	6,5	0,3	64,5	0,4	0,3	2,9
PKÇ/B 32,5-R	28,7	6,1	3,5	50	1,4	1,1	2,4
PÇ 42,5	20,1	4,6	3,6	64,2	1,2	0,6	2,7
PLÇ/A 42,5-R	19	4,3	3,4	63,2	1,2	0,6	2,5
SDÇ 42.5	21,4	4,24	4,1	63,6	0,8	0,7	2,6

Çimento İsmi	Karma Oksit Bileşenleri (Bogue) (%, ağırlık)				Kızdırma Kaybı	Serbest Cao
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF		
A.Taşı İçeren	61,4	14,5	5,5	12	0,69	0,81
Hemihidrat İçeren	60,7	14,6	5,7	12	0,55	1,5
Çöz.Anhidrit İçeren	56,5	19,1	6,1	11	0,59	1,5
Doğ.Anhidrit İçeren	61	13	5,6	12	0,32	1,5
Öğt.Kol. No:1	63,2	13,2	5,5	12	0,59	0,95
Öğt.Kol. No:2	62,3	13,8	5,4	12	0,62	1,12
Öğt.Kol. No:3	62,9	13,6	5,6	12	0,62	0,98
BPÇ 32,5					4,23	2,7
PKÇ/B 32,5-R					5,51	1,5
PÇ 42,5	66,56	7,4	6,11	11	3,18	1,5
PLÇ/A 42,5-R					5,79	1,5
SDÇ 42.5	55,44	19,65	4,3	12,47	2,18	1,5

Tablo 2.6. Üretilen ve kullanılan çimentoların fiziksel analizleri

Çimento İsmi	Özgül ağırlık (g/cm^3)	Blaine incelik (cm^2/g)	200 μm Eleküstü (%, ağırlık)	90 μm Eleküstü (%, ağırlık)	40 μm Eleküstü (%, ağırlık)
A.Taşı İçeren	3,13	3485	0	0,3	10,3
Hemihidrat İçeren	3,15	3537	0	0,7	17,3
Çöz.Anhidrit İçeren	3,18	3490	0,1	5	23,5
Doğ.Anhidrit İçeren	3,17	3501	0	0,6	11,8
Öğt.Kol. No:1	3,17	3547	0	0,4	10,5
Öğt.Kol. No:2	3,15	3564	0	0,2	8,1
Öğt.Kol. No:3	3,15	3537	0	0,3	10,6
BPÇ 32,5	2,98	4482	0,1	1,7	16,4
PKÇ/B 32,5-R	2,92	4075	0	0	7,7
PÇ 42,5	3,12	3617	0,2	0,3	18,9
PLÇ/A 42,5-R	3,08	3587	0	0	6,3
SDÇ 42,5	3,1	3594	0,2	3	20,2

Çözünebilir anhidrit içeren çimento tanecikleri, birbirleriyle gösterdikleri yapışma nedeniyle elek gözlerinden geçememekte ve çimento üreticileri arasında topaklanma diye de tabir edilebilen olay gerçekleşmektedir.

2.1.5. Kimyasal Katkılar

Çalışmada geciktirici katkı olarak fosfat tuzları içerikli Sika® Retarder kullanılmıştır. Sika Retarder'ın broşüründe aşağıdaki bilgiler verilmiştir.

- Yüksek derecede geciktirici etkisi olan, aynı zamanda son dayanımı artıran akışkanlaştırıcı beton katkısı.
- ASTM C 494-81 Tip B Standardına uygun
- Kullanım Alanları
  - Geniş hacimli beton dökümlerinde,
  - Kalıpsız yapı derzlerinde,
  - Uzun mesafe taşıma işlerinde,
  - Yerleştirme koşullarının zor olduğu yerlerde,
  - Yüksek sıcaklıklarda,
  - Tekrar vibrasyona tabi tutulmuş betonlarda.

- Avantajları
  - Priz sürelerini kontrollü olarak uzatır,
  - Su miktarını arttırmaksızın çalışabilirliği sağlar,
  - Dayanımları yükseltir,
  - Rötre ve sünmeyi azaltır,
  - Donatıya yapışmayı arttırır,
  - Klor içermez, demire zararı yoktur.

- Geciktirme etkisi, direkt olarak dozaja bağlıdır. Aynı zamanda çimento ve agregaların kalitesi, su çimento oranı, sıcaklıklar da etkileyici faktörlerdir. Gerçek dozaj oranlarının bulunabilmesi için bir çok kereler deneme karışımlarının uygulanması tavsiye edilir. Sika-Retarder her tip Portland çimentosu ve Tip V çimento ile kullanılır.

- Sika-Retarder, karışım suyuna agregalar karıştırılmadan ilave edilerek kullanılır.

- Tip: Modifiye edilmiş Fosfatlar
  Renk : Sarımsı içeren sıvı
  Yoğunluk : 1,20 ± 0,02 kg/lt
  pH değeri : 8 ± 1

- Sika-Retarder dondan koruyucu malzemelerle birlikte kullanılamaz.

Son zamanlarda, tüketicilerden dozaj kullanımı üzerine alnan bilgiler üzerine bu çalışmada Sika-Retarder iki dozda kullanılmıştır. Çimento ağırlığının %1'i ve %2'si oranında olmak üzere seçilen bu iki dozajdaki davranışlar, 11 tip çimentonun tamamında araştırılmıştır.

Akışkanlaştırıcı katkı olarak CLS Plastiment®- BV 40 kullanılmıştır. Plastiment®- BV 40'ın broşüründe aşağıdaki bilgiler verilmiştir.

- Su Azaltıcı Beton Katkısı

- ASTM C 494-81 Tip A Standardına uygun

- Akışkanlaştırıcı özelliği ile aşağıdaki yerlerde kullanılabilir;
  - Düzgün bir yüzey istenen yerlerde,
  - Yüksek verimlilik arandığında,

- Betonu yerleştirmenin zor olması durumunda,
- Prefabrik elemanlar üretilirken,

- BS 14 - BS 30 sınıfı betonda tavsiye edilir.
- Su miktarını artırmaksızın çalışılabilirliği sağlar.
- Çalışılabilirliği azaltmaksızın su miktarını azaltır.
- Büzülme ve sünmeyi azaltır.
- Klorür içermez, donatıya zarar vermez.
- Çimento ağırlığının %0,2 - 0,5' i oranında (100 kg çimento için, 200-500 g) ve beton kalitesinin önemli olduğu durumda % 0,5 oranında kullanılır.

Çimento ağırlığının %0,5'i oranında seçilen dozajdaki davranışlar da, 11 tip çimentonun tamamında araştırılmıştır.

2.2. Yöntemler

2.2.1 Klinkerin Öğütülmesi ve Değirmen ile İlgili Bilgiler

Bu çalışmada kullanılan onbir adet çimento tipinin yedi adedi laboratuar değirmeninde PÇ 42.5 tipinde üretildiği belirtilmişti. Tüm üretimlerde, Bölüm 2.1.'de özellikleri belirtilen, aynı klinker kullanılmıştır. Aralarındaki farklar, katılan alçının tipi ve öğütüm kolaylaştırıcı çeşididir. Gereken klinker, silolardan temsili numune alma yöntemlerine uygun olarak alınarak laboratuvara getirilmiştir. Değirmene girecek olan soğutulmuş klinker, dane çapı açısından homojen hale getirilmesi için önce ufak konkasörden geçirilmiştir. D_{max} = 10 mm dane çapına ulaşan klinker daneleri daha da ufalmaları için ince kırıcıdan geçirilmiştir. D_{max} = 2mm boyutuna gelen saf klinker, plastik torbalarla paketlenerek nem almayacak şekilde öğütüm anına dek laboratuvar ortamında bekletilmiştir.

Öğütme işleminde kullanılan laboratuvar değirmeni, silindirik şekilli bir bilyalı değirmendir. Boyutları, mekanik özellikleri ve bilya şarjı Tablo 2.6. ve Tablo 2.7.'de gösterilmiştir.

Tablo 2.7. Öğütüm yapılan değirmenin fiziksel özellikleri

Kazan	İç Çap (mm)	260
	İç Uzunluk (mm)	227
	Hacim (lt)	12
Mil	Dönüş Hızı (rpm)	125
	Güç (HP)	0,33

Tablo 2.8. Değirmende kullanılan bilyaların boyutları ve şarj miktarları

Bilya Türü	Değirmen Şarzı		
	Çap (mm)	Ağırlık (g)	Toplam (kg)
Büyük Küre	30	106	2
Küçük Küre	20	31,41	3
Büyük Silpeps	22	76,19	5
Küçük Silpeps	16	26,76	14

Kullanılan bu değirmene maksimum malzeme şarjı 3 kg'dır. Belirlenen programa göre malzeme öğütme grupları aşağıdaki gibidir.

2865 g (%95.5) klinker, 135 g (%4.5)doğal dihidrat alçı
2865 g (%95.5) klinker, 135 g (%4.5)hemihidrat alçı
2865 g (%95.5) klinker, 135 g (%4.5)çözünebilir anhidrit
2865 g (%95.5) klinker, 135 g (%4.5)doğal anhidrit
2863,5g (%95.45)klinker, 135g (%4.5)doğal dihidrat alçı, 1.5g (%0.05)Öğt.Kol.No:1
2863,5g (%95.45)klinker, 135g (%4.5)doğal dihidrat alçı, 1.5g (%0.05)Öğt.Kol.No:2
2863,5g (%95.45)klinker, 135g (%4.5)doğal dihidrat alçı, 1.5g (%0.05)Öğt.Kol.No:3

Tüm öğütümler 3500 ± 25 cm^2/g özgül yüzey alan sınırına dayandırılmıştır. Bu sebeple, her 3kg'lık malzeme öğütümü sırasında, çeşitli zaman aralıklarında değirmenden alınan malzemenin özgül yüzey alan ölçümü yapılmıştır. Öğütümlerin sabit Blaine değeriyle sınırlandırılmasındaki amaçları şu şekilde tanımlayabiliriz.

- Verim arttırıcı olarak kullanılan öğütüm kolaylaştırıcıların, çimento üretimine birim zamanda yaptıkları katkıyı ve öğütümü kısaltma nedenlerini gözlemlemek.

- Çimento özelliklerine etkilerini ve kimyasal katkılarla olan uyumlarını incelemek maksadıyla, özgül yüzey parametresini sabit tutarak, oluşabilecek farklara neden olarak bu katkıları görmek.
- Çimentonun üretimi ve sonrasında, bilyalarla ve bulundukları ortamla olan etkileşimlerinin nedeni olarak gösterebileceğimiz alçı tipi etkisini görmek.

2.2.2 Alçının Elde Edilmesi

Bölüm 2.1.'de belirtilen çalışmalar sonucunda öğütümlerde kullanılacak hemihidrat ve çözünebilir anhidritin elde edilmesi için bir sıcaklık belirlemesi yoluna gidilmiştir. Hazırlanmış dihidrat alçı numunesinden 1,0000 g tartılarak, ağzı kapaklı kuvartz krozeye alınır. 230°C'de sabit tartıma gelene dek tutularak desikatörde soğutularak tartılır. Bünyesindeki bağlı su miktarının ağırlıkça %20,68 olduğu tespit edildikten sonra hemihidrat ve çözünebilir anhidrit elde edilmesine başlanmıştır.

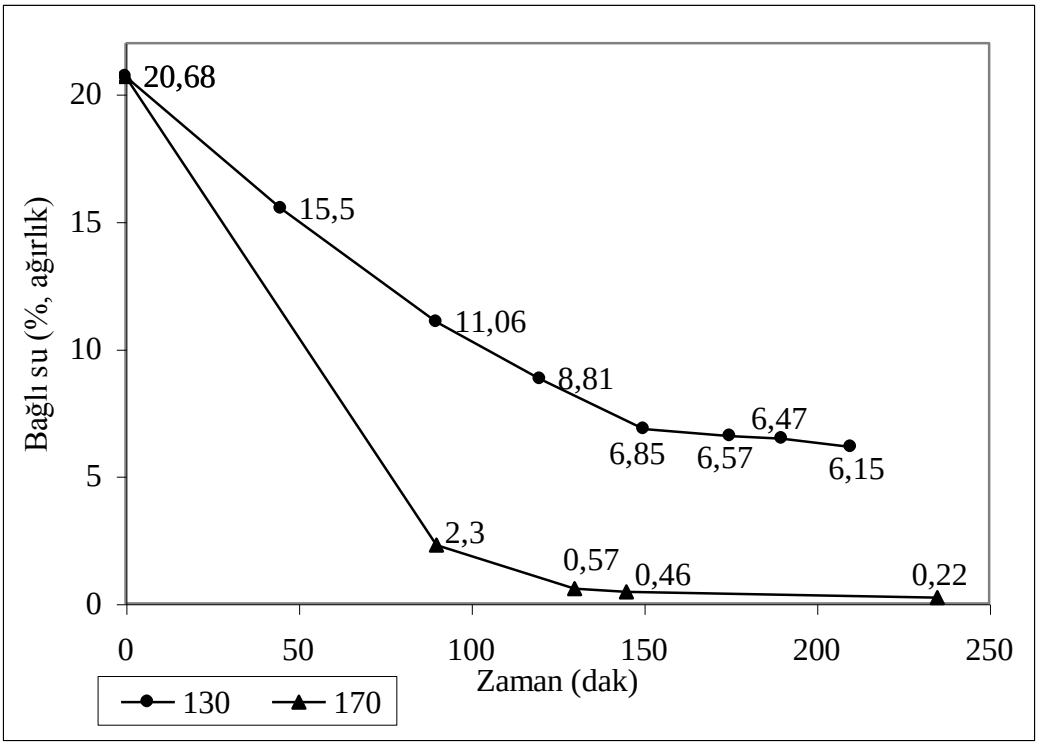
Hemihidrat alçı elde edilmesi için 500g dihidrat alçı, 210 dak. zaman dilimi boyunca 130^{o}C'ye sabitlenmiş etüvde bekletilmiştir. Belirli zaman aralıklarında etüvden alınarak önce desikatörde soğutulmuş sonra da bağlı su tayini için tartım alınmıştır. Bağlı su miktarı %6,15 değerine ulaştığında dihidrat alçı tipinin hemihidrat alçıya dönüştüğü kabul edilmiştir. %7 bağlı su değerinden sonra su moleküllerini koparmanın giderek zorlaşmaya başladığı görülmüştür.

Çözünebilir anhidrit elde edilmesi için 500g dihidrat alçı, 235 dak. zaman dilimi boyunca 170^{o}C'ye sabitlenmiş etüvde bekletilmiştir. Belirli zaman aralıklarında etüvden alınarak önce desikatörde soğutulmuş sonra da bağlı su tayini için tartım alınmıştır. Bağlı su miktarı %0,22 değerine ulaştığında dihidrat alçı tipinin çözünebilir anhidrite dönüştüğü kabul edilmiştir. Teorik olarak %0 olan bünye suyu değerine ulaşılamamıştır. 235 dakikadan daha uzun zaman dilimlerinde 170^{o}C sıcaklığa maruz bırakılmasına rağmen bu alçının bünye suyu oranı %0,22 değerinin altına inmemiştir. Isıtma işleminin 235 dakikada durdurulmasının bir diğer nedeni de; çözünebilir anhidritin ısıtımaya devam edilmesiyle doğal anhidrite dönüşebilme olasılığıdır.

Doğal anhidrit ise, Ankara Bala Taşocağı'ndan temin edilmiştir. Doğal anhidritin konkasörde gerçekleştirilen kırımında, alçıtaşından daha fazla zorluk yaşanmıştır.

Sertliği, alçıtaşından daha yüksek olan bu malzemenin fiziksel görünümünde alçıtaşına nazaran daha koyu, gri renkte damarlar bulunduğu da gözlemlenen bir diğer unsurdur.

Şekil 2.2.'de Belirlenen iki sıcaklık değerinde, hemihidrat ve çözünebilir anhidritin zaman-bağlı su grafiği görülmektedir. Hemihidrattan çözünebilir anhidrite geçişin, alçıtaşından hemihidrata geçişten çok daha zor gerçekleştiğini grafiğin eğiminden görülebilmektedir. Alçıtaşının bünyesinde içerdiği 2 mol bağlı suyun 1,5 molü zorlanmadan bünyeden koparılabilmekte, fakat geriye kalan 0,5 mol bağlı su bünyeden daha zor ayrılmaktadır. Bunun neticesinde varılabilen bir yorum da şu şekilde belirtilebilir; üretim, stoklama ve taşıma şartlarında alçıtaşının çözünebilir anhidrite dönüşümü her zaman o kadar kolay gerçekleşmeyebilir. Fakat, 70^{o}C'den itibaren her sıcaklıkta, ortam koşullarına da bağlı olarak, alçıtaşının hemihidrata dönüşümü gerçekleşebilir.



Şekil 2.2. Deneylerde kullanılan hemihidratın ve çözünebilir anhidritin 130^{o}C, 170^{o}C sıcaklıklarda elde edilmesi

2.2.3 Priz Sürelerinin Ölçülmesi

Bu bölüm de, çimentoda normal kıvamın ve prizin başlama ve bitiş sürelerinin tayin yolunun tanımlanmasıdır.

Bu testin yapıldığı oda 20±2 °C sıcaklıkta, %50-60 bağıl rutubette olmalıdır ve tüm malzemeler bu ortamda en az 12 saat bekletilmelidir. 0,1 g hassasiyetli terazide tartılan 300 g çimento metal bir kaba konur. Kabın içindeki çimentonun ortasına açılan bir çukura çimento kütlesinin %25-30'u kadar içilebilir su eklenerek, üç dakika süreyle el ile ve bir kaşık yardımı ile karıştırılır. Bundan sonra en çok 1 dakika içinde hamur Vicat halkası içine yerleştirilmelidir. Sert lastik ya da metalden yapılmış Vicat halkası yaklaşık olarak 12 cm*12 cm 'lik cam levha üzerine konur. Vicat halkasına konulan hamurun yüzeyi bir spatula ile düzeltilir ve hamur, halkanın üst kenarı seviyesinde bırakılır.

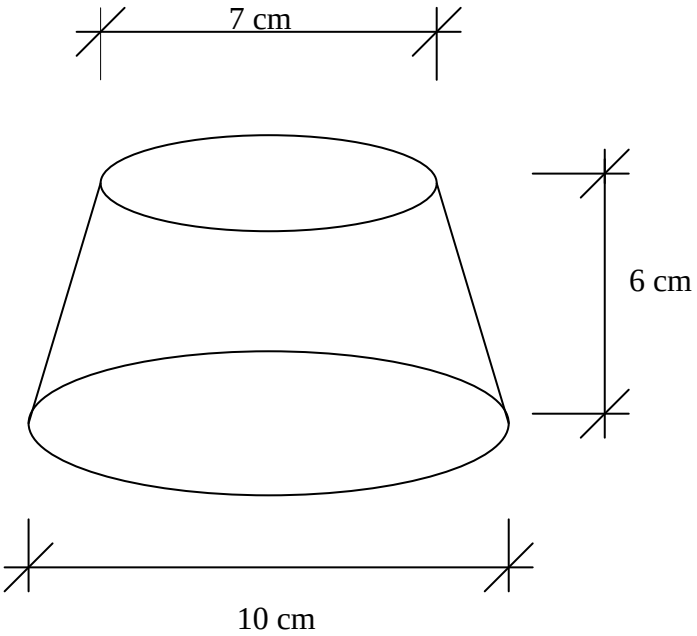
Vicat aletinin silindir şeklindeki sondası temizlenip kurulandıktan sonra, camın üzerine kadar indirilerek aletin göstergesi sıfıra getirilir. Sondanın ucu hazırlanmış olan Vicat halkasının ortasında hamur üst yüzeyine dokunacak kadar indirilir ve serbestçe bırakılır. Sonda kendi ağırlığı ile hamurun içine girer. Vicat sondası serbest bırakıldığı andan itibaren, yarım dakika içerisinde cam levhaya, 5 mm-7 mm kalıncaya kadar iner. Bu işlem muhtelif miktarlarda su ile tekrar edilerek çimento için gereken su tayin edilir.

Normal kıvamda hazırlanan çimento hamurunun priz sürelerini tayin etmek için Vicat aletine iğne takılır ve aletin üst tablasına 27,5 g'lık bir ağırlık konur. Hazırlanan çimento hamuru vicat halkasının içine yerleştirilir. Priz başlangıç süresinin tespiti için iğne her 5 dakikada bir hamura batırılmalıdır. İğnenin bir defa girmiş olduğu deliğe bir kez daha girmesi engellenir. Çimento hamuruna batan iğne, cam levhaya 3 mm-5 mm uzaklıkta kaldığı an, priz başlamış sayılır. Çimento ile suyun karıştırıldığı andan prizin başlangıç anına kadar geçen zaman, priz başlama süresini verir. İğnenin, hamura en çok 1mm girebildiği kıvam gerçekleşinceye kadar batırılışlara devam edilerek priz bitme süresi tayin edilir [20]. Bu işlemleri yapan otomatik aletler geliştirilmiştir ve bu çalışmada bu aletlerden birisi kullanılmıştır.

2.2.4 Yayılma Deneyi

Bu yöntem taze çimento harcının yayılma çapı ve yayılma alanının tayini için uygulanmaktadır. TS EN/196-1 esaslarına göre hazırlanan taze çimento harcının, sarsma tablası yardımıyla bulunan yayılma çapı değerleri, taze betonun işlenebilirlik özellikleri hakkında yorum yapabilmeye yardımcı olmuştur.

Bu deneyde sarsma tablası, Şekil 2.3.'te boyutları ve şekli verilen yayılma konisi, homojen yerleşme için de küt bir tokmak kullanılmalıdır.Hazırlanan taze harç sarsma tablası üzerindeki dairesel cam levhanın merkezine yerleştirilen koninin içine iki aşamada doldurulur. Her aşamada 15 kez tokmaklanan harcın düzgün bir şekilde yerleşmesi sağlandıktan sonra, koninin üst yüzeyi düzgün bir mala ile düzeltilir ve koni yavaşça kaldırılır. Sarsma tablasına, döner kol yardımıyla düşey ekseninde 15 kez düşme hareketi yaptırılarak üzerindeki harcın yayılması sağlanır. Bu işlemin sonunda kumpas yardımıyla tabla üzerindeki harcın yayılma çapı belirlenir. Ani yayılma değeri belirlendikten sonra tekrar karıştırma kabına konulan harç, okuma alınacak diğer zaman değerlerine kadar saklanır. İkinci, üçüncü ve takip eden okuma zamanlarından önce harcın tekrar karıştırılması gerekmektedir.



Şekil 2.3. Taze harç yayılma konisi

2.2.5 Dayanım Deneyi

Çimento harcının basınç dayanımını tayin etmek için gerçekleştirilen dayanım deneyi, TS EN 196-1'in şartlarına uygun olarak yapılmıştır.

Bu testte kullanılan tüm malzemeler laboratuvar sıcaklığında olmalıdır. Oranlar, kütlece bir kısım çimento, üç kısım standart kum (CEN Standart Kumu) ve yarım kısım içilebilir su şeklinde olmalıdır. Üç deney prizmasına yetecek her takım için her karışım 450±2 g çimento, 1350±5 g kum ve 225±1 g sudan ibaret olmalıdır. Karıştırma kabına su konulur ve çimento eklenir. Karıştırıcı hemen düşük hızda çalışmaya başlatlır. Sonra kum 30 s içinde sürekli olarak ilave edilir ve ardından karıştırıcı yüksek hızda 30 s daha çalıştırılır. Karıştırıcı 1 dakika 30 saniye sonra durdurulur. Kabın çeperlerine yapışan harçlar temizlenip kabın ortasına toplanır. Karıştırmaya yüksek hızda 60 s daha devam edilir.
Harcın hazırlanmasının ardından deney numuneleri, 40mm*40mm*160mm boyutlarındaki kalıplara iki kademe halinde yerleştirilir. Her kademede 60 sarsma ile sıkıştırılır. Harcın fazlası hemen hemen dik tutulan bir metal mastarla sıyrılır. Etrafı temizlendikten sonra kalıbın üzeri 210 mm* 185 mm ölçüsünde 6 mm kalınlığında cam plaka ile örtülerek rutubet odasına veya kabinine konur.

24 saat veya yeterli dayanımı kazanmamışsa 48 saat sonra kalıptan çıkarılan numuneler, 20±1°C'de su bulunan havuza yerleştirilir. Kırım günü gelen numuneler, deneyden en fazla 15 dakika önce havuzdan çıkarılarak yüzeylerindeki tortu temizlenir. Eğilme dayanımını bulmak için merkezi yükleme metodu kullanılır. Prizma, cihaza yan yüzeylerden biri üzerine ve uzunluğuna ekseni mesnet silindirlerinin eksenine dik olacak şekilde mesnet silindirleri üzerine yerleştirilir. Yük 50±10 N/s hızla prizma kırılıncaya kadar yüklenir. Eğilme dayanımı N/mm^2 cinsinden belirlenir.
Her yarım prizma, basınç cihazının plakaları arasına ± 5mm'den fazla taşmayacak şekilde merkezlenerek ve prizmanın arka yüzü plakadan veya yardımcı plakalardan 10 mm taşacak şekilde uzunlamasına yerleştirilir. Yük 2400±200 N/s hızda olmak üzere düzgün şekilde, prizma kırılana kadar artırılır. Basınç dayanımı N/mm^2 cinsinden belirlenir [21].

2.2.6. Birim Ağırlık Tayini

Bu çalışmanın amacı TS EN/196-1 esaslarına göre hazırlanan taze çimento harcının, birim hacim ağırlığının tayini ve devamında içerdiği hava miktarı ve yüzdesinin bulunmasıdır.

Kullanılacak hacim kabı, saf su ile kalibre edilerek hacmi belirlenmeli veya hacmi biliniyorsa kontrol edilmelidir. Önceden darası alınarak ağzına kadar su ile doldurulan kabın üzerine düz yüzeyli bir cam yerleştirilir. Burdaki amaç; kabın tamamının su ile dolması ve tam hacmin bulunmasıdır. Su dolu kabın üzerine yerleştirilen cam levha yavaşça kaldırılarak içindeki suyun dökülmesi engellenmelidir. Darası alınan kap tartılarak içerdiği saf suyun ağırlığı tespit edilir. Saf suyun özgül ağırlığı $1g/cm^3$ olduğundan, kabın içerdiği su ağırlığı bu değere bölünerek kabın cm^3 cinsinden hacmi tespit edilir. Kabın içindeki su dökülerek, iç yüzeyinin kurulanması gerekmektedir.

Hazırlanan taze harç, iki aşamada kaba doldurulur. Doldurulan harç, kabın içine homojen bir şekilde yerleşmesi için, her aşamada 25 kez olmak üzere ucu küt bir tokmak yardımıyla sıkıştırılır. Taşana kadar harçla doldurulan kabın ağız kısmındaki fazla malzeme düz bir mala ile düzeltilerek, taşan harçlarınir.

Darası önceden alınan aynı kap, tartılarak içerdiği harcın ağırlığı belirlenir. Ağırlığı ve hacmi belirlenen karışımın birim hacim ağırlığının tayini için, tartımda alınan değer kap hacmine bölünür.

Hazırlanan karışımın içinde; 450 g çimento, 1350 g standart kumu ve 225 g su bulunmaktadır. Toplamı 2025 g eden bu karışım, harcın özgül ağırlığına bölünürse, karışımın hacmi (V_{Kar}) bulunur. Her bir malzeme miktarı, ayrı ayrı kendi özgül ağırlıklarına bölünerek, çıkan sonuçlar toplandığında ise karışımın teorik hacmi (V_{Teo}) bulunur. Harcın içerdiği hava miktarı $V_{Hava}= V_{Kar} - V_{Teo}$ şeklinde bulunur. Çıkan hava içeriği sonucu, toplam hacme olan oranı cinsinden hesaplanır.

3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞILMASI

3.1. Öğütüm Kolaylaştırıcıların ve Alçı Tipinin Öğütüm Sürelerine Etkisi

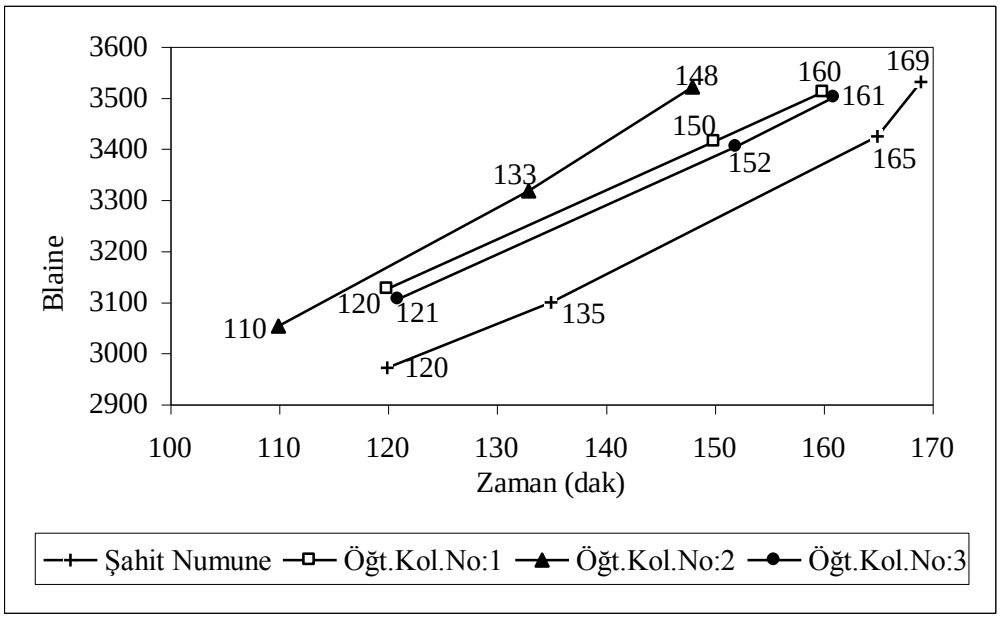
Bu çalışmada PÇ 42.5 tipinde üretilen yedi çimento tipi, öğütüm açısından iki grupta incelenmiştir. Üretimlerde, aynı klinker, iki farklı firmanın üretimi olan 3 adet öğütüm kolaylaştırıcı katkı ve farklı alçı tipleri kullanılmıştır. İlk üretim olan numune her iki gruba da şahitlik yapmaktadır. Bu çimentonun üretimi sırasında öğütüm kolaylaştırıcı kullanılmamıştır. Kullanılan alçı tipi dihidrat alçıdır (doğal alçıtaşı). Tablo 3.1.'de verilen değerler, yaklaşık 3500 cm^2/g Blaine incelik değeriyle sınırlandırılan üretimlerin, öğütüm periyodu boyunca ulaştıkları Blaine değerlerini göstermektedir. Her üretimde bir tek parametre farklı kılınmıştır. Alçı tipinin öğütüme etkisinin gözlemlenmesi amacıyla da, şahit olarak kabul edilen dihidrat alçı etkisi dışında üç tip alçı denenmiştir. Tüm çeşitlerden 9 kg. öğütüm yapılarak, öğütüm zamanı ve Blaine incelik değeri arasındaki ilişkiler gözlemlenmiştir.

Tablo 3.1. Üretilen çimentoların öğütüm süreleri

	Çimento İsmi	Zaman (dakika)	Blaine incelik (cm^2/g)
Öğütüm Kolaylaştırıcı İçermeyen Karışımlar	A.Taşı İçeren	120	2970
		135	3098
		165	3423
		169	3530
	Hemihidrat İçeren	154	2987
		214	3354
		240	3500
	Çöz.Anhidrit İçeren	251	2915
		360	3252
		451	3410
		496	3485
	Doğ.Anhidrit İçeren	203	2931
		285	3330
		315	3540
Öğütüm Kolaylaştırıcılı Karışımlar (Alçıtaşı İçeren)	Öğt.Kol. No:1	120	3124
		150	3413
		160	3510
	Öğt.Kol. No:2	110	3052
		133	3317
		148	3520
	Öğt.Kol. No:3	121	3104
		152	3403
		161	3500

Tüm öğütüm kolaylaştırıcılar %0,05 oranında kullanılmıştır. Teoreanu ve Guslicov optimum öğütüm kolaylaştırıcı katkı oranını %0,05 olarak belirtmektedirler [13]. Aynı şekilde bu katkıların üreticileri de bu oranı tavsiye etmektedir.

Şekil 3.1.'de yer alan grafik incelendiği zaman, öğütüm kolaylaştırıcıların, birim zamanda üretilen çimento miktarına ciddi katkılarda bulundukları gözlemlenmiştir. Öğütüm kolaylaştırıcı kullanılmadan yapılan üretim 3500 cm^2/g Blaine değerine 169 dakikada ulaşırken, aynı Blaine değerine 2 no'lu öğütüm kolaylaştırıcının 148 dakikada ulaştığı gözlemlenmiştir. 1 ve 3 no'lu katkılar birbirlerine benzer etkiler yaratmış ve 3500 cm^2/g Blaine değerine 160 dakikada ulaşmışlardır. Teoreanu ve Guslicov'un yapmış olduğu benzer çalışmada, öğütüm kolaylaştırıcı katkı içeren çimentoların üretiminde, eşzamanlı olarak özgül yüzey büyüme oranının %28-29 değerlerine ulaşabildiği belirtilmektedir. Yüzey aktif katkıların tanecik boyut dağılımına etkisi; öğütme ortamına olan aderanslarına ve değirmen cidarlarıyla etkileşmine de bağlıdır [13].



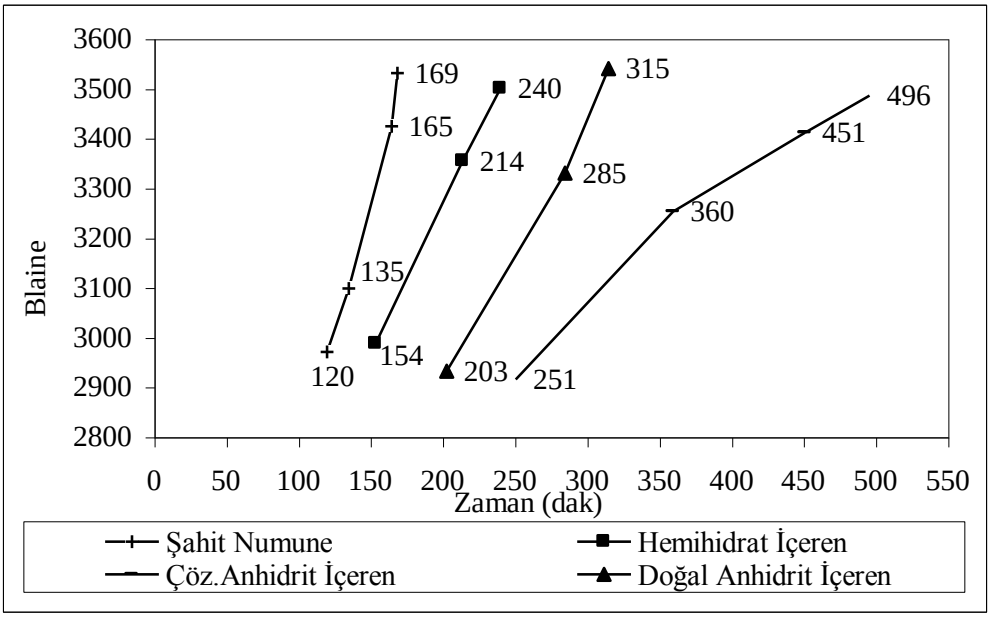
Şekil 3.1. Öğütüm kolaylaştırıcıların öğütüm sürelerine etkisi

Endüstriyel üretim şartları, laboratuvar şartlarına oranla bazı farklılıklar gösterse de, benzer kolaylıkların oralarda da yaşanabileceği düşünülmektedir. Yeni yüzeylerin oluşumu esnasında ortaya çıkan yüzey enerjisi nedeniyle, çimento taneciklerinin, bulundukları ortama veya birbirlerine olan çekim etkilerinin, öğütüm kolaylaştırıcıların disperse edici özellikleriyle ciddi şekilde azaldığı belirlenmiştir. Taneciklerin bilyalar üzerine yaptıkları yapışma ve sarmanın, öğütüm sürelerinin

uzamasındaki etkenlerin başında geldiği düşünülmektedir. Değirmen bilyaları üzerine yapışan bu tanecikler, zamanla kırılmanın gerçekleşmesi için, bilyalar yerine birbirlerine vurmakta ve yeni yüzey oluşumu gecikmektedir. Öğütüm esnasında yüklenen bu taneciklerin etkileşimi siloda da devam etmekte ve atmosfer rutubeti gibi etkenlerin katılmasıyla, çimentonun silolardan taşınması zorlaşmaktadır. Bilyalara yapışmayan taneciklerin kuru haldeki akışkanlığının da yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum çimentonun, değirmenden çıkışına yardımcı olmakta ve silolara aktarılması esnasında akıcılık doğurmaktadır.

Tanecikler arası etkileşimlerin daha da belirgin bir şekilde gözlemlendiği üretimler, alçı tipinin değiştirilerek yapıldığı üretimlerdir. Şekil 3.2.'de gösterilen dört üretim, bir önceki grupla karşılaştırıldığında durum bu kez tersine dönmüş ve en kısa süreyi dihidrat alçı içeren numune vermiştir. Öğütüm esnasında veya sonrasındaki oluşabilme şartları Bölüm 2'de belirtilen hemihidrat ve çözünebilir anhidritin bilyalarla girdikleri etkileşimin sonucu olarak öğütüm sürelerinde çok ciddi uzamalar meydana gelmiştir. Dihidrat alçının169 dakikada ulaştığı özgül yüzey değerine, hemihidrat içeren numune 240 dakikada, doğal anhidrit içeren numune 315 dakikada ve çözünebilir anhidrit içeren numune de 496 dakika gibi çok uzun bir sürede ulaşabilmiştir. Erdoğan Yüksel'in [9] belirttiği eşöğütme zamanlı bir çalışmada da; en kötü öğütüm zamanı değerini çözünebilir anhidrit vermektedir. %5 dihidrat alçı içeren numunenin 5750 cm^2/g Blaine inceliğine ulaştığı sürede, çözünebilir anhidrit içeren numune ancak 3570 cm^2/g Blaine inceliğine ulaşabilmiştir. Doğal anhidrit içeren numune ise, aynı sürede 4180 cm^2/g 'a ulaşabilmiştir. Sözü edilen çalışmada da alçıtaşının su kaybetmesiyle birlikte çimentonun akışkanlığında düşmeler gözlemlendiği belirtilmektedir.

Çözünebilir anhidrit içeren taneciklerin bilyalara yaptığı sarmanın etkisini azaltabilme düşüncesiyle sık aralıklarla yapılan bilya temizliğine rağmen, sonuç değişmemiş ve tekrar değirmene bırakılan tanecikler öğütümün ilk dakikalarından itibaren tekrar bilyalara ve birbirlerine ciddi şekilde yapışma göstermişlerdir.



Şekil 3.2. Alçı tipinin öğütüm sürelerine etkisi

3.2. Öğütüm Kolaylaştırıcı Katkıların Çimento Özelliklerine Etkisi

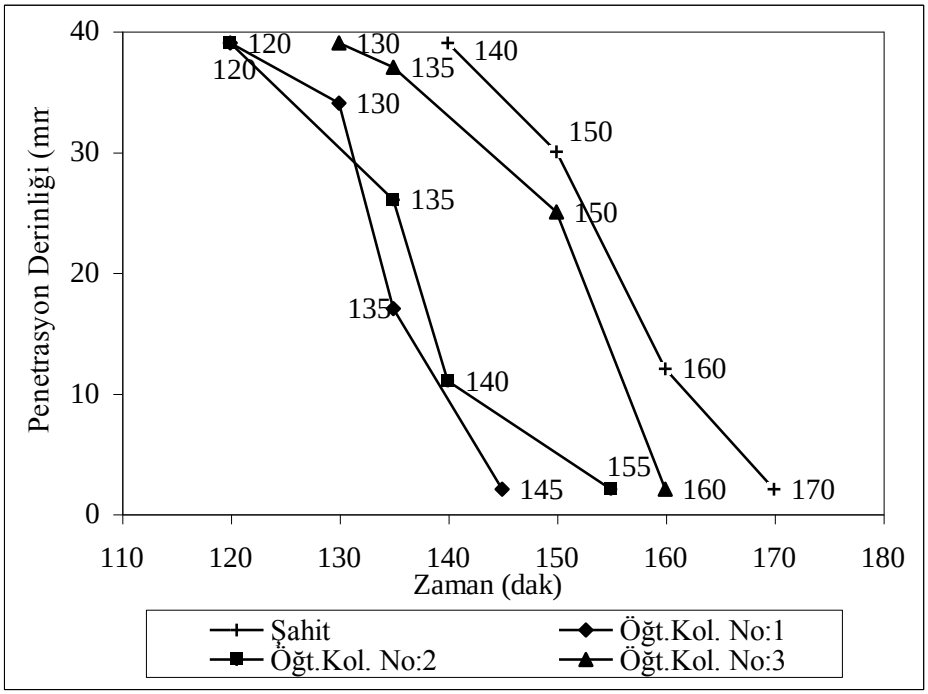
Çimento üretimine, öğütümü esnasında ve sonrasındaki aşamalarda kolaylaştırıcı etkiler yapan öğütüm kolaylaştırıcıların, çimento hamuru ve harcı üzerindeki etkilerinin de araştırılması amacıyla deneyler yapılmıştır.

Öğütüm kolaylaştırıcıların, priz başlangıç ve bitiş sürelerini bir miktar geriye çektikleri, fakat priz başı ve priz sonu arasındaki süreye fazla bir etki göstermedikleri görülmüştür. Normal kıvam suyu ve priz süreleri Tablo 3.2.' de belirtilmiştir.

Tablo 3.2. Öğütüm kolaylaştırıcıların kıvam suyu ve priz sürelerine etkisi

Çimento İsmi	Kıvam Suyu (%, çim.ağr.)	Priz Başı (dak)	Priz Sonu (dak)	Δt_{priz} (dak)
Şahit	25,1	140	170	30
Öğt.Kol. No:1	25,1	120	145	25
Öğt.Kol. No:2	26,0	120	155	35
Öğt.Kol. No:3	25,3	130	160	30

Priz süreleri boyunca penetrasyon derinlikleri incelendiğinde; tüm prizlerin başından sonuna kadar düzenli bir şekilde ilerlediği ve olumsuz priz özellikleri doğmadığı Şekil 3.3.'ten anlaşılmaktadır. Penetrasyon çizgileri birbirlerine yakın eğimlerle ilerlemişlerdir.



Şekil 3.3. Öğütüm kolaylaştırıcıların penetrasyon derinliklerine etkisi

LeChatelier hacim genleşmesi tayininde de olumsuz bir duruma rastlanmamış numunelerin hiçbiri açılma yapmamışlardır.

Tablo 3.3. Öğütüm kolaylaştırıcıların genleşmeye etkisi

Çimento İsmi	LeChatelier		
	Soğ.Açılma (mm)	Sıc.Açılma (mm)	ΔV (mm)
Şahit	0	0	0
Öğt.Kol. No:1	0	0	0
Öğt.Kol. No:2	0	0	0
Öğt.Kol. No:3	0	0	0

Öğütüm kolaylaştırıcıların, taze çimento harcının birim hacim ağırlığına ve içerdiği hava miktarına yaptıkları etkileri gözlemlemek amacıyla yapılan deney sonuçları Tablo 3.4.'te yer almaktadır. 1 no'lu öğütüm kolaylaştırıcı içeren harç, referans numunenin içerdiği hava miktarından, hacimce yaklaşık %24 daha fazla hava içeriği bulundurmaktadır. 2 ve 3 no'lu katkıların ise hava miktarında olumsuz bir etki yaratmadıkları tam tersine azalttıkları görülmektedir.

Tablo 3.4. Öğütüm kolaylaştırıcıların birim ağırlık ve hava içeriğine etkisi

Çimento İsmi	Birim Ağırlık (g/cm^3)	Hava	
		(cm^3)	%
Şahit	2,18	44,1	4,8
Öğt.Kol. No:1	2,16	54,5	5,8
Öğt.Kol. No:2	2,19	40,8	4,4
Öğt.Kol. No:3	2,20	36,6	4,0

Yayılma etkilerinin tespiti için de, sarsma tablası deneyi yapılmıştır. Hazırlanan harcın; ani, yarım saatlik ve bir saatlik yayılma değerleri tayin edilmiştir. Ani yayılma alanına göre hesaplanan kayıplar Tablo 3.5.'da gösterilmektedir. Öğütüm kolaylaştırıcı katkı içermeyen numune, ilk yarım saatin sonunda %6'lık bir yayılma kaybına uğramış ve bir saatin sonunda toplam kayıp %10 değerine varmıştır. Tüm öğütüm kolaylaştırıcı katkıların ani yayılmayı arttırdıkları fakat yarım saatin sonundaki kayıp miktarlarını da yukarılara çektiği gözlemlenmiştir. 2 no'lu öğütüm kolaylaştırıcının yayılma kayıpları düzgün gerçekleşirken, 1 ve 3 numara ilk yarım saatin sonunda, katkısız numunenin kayıp miktarının yaklaşık 3 katı bir yayılma alanı kaybına uğramışlar fakat bir saatin sonunda aynı etkileşimi göstermemişlerdir. Ancak tüm katkılar bütün okumalarda, katkısız numuneden daha yüksek bir akışkanlık özelliği göstermişlerdir.

Tablo 3.5. Öğütüm kolaylaştırıcıların çimento harcının yayılma özelliğine etkisi

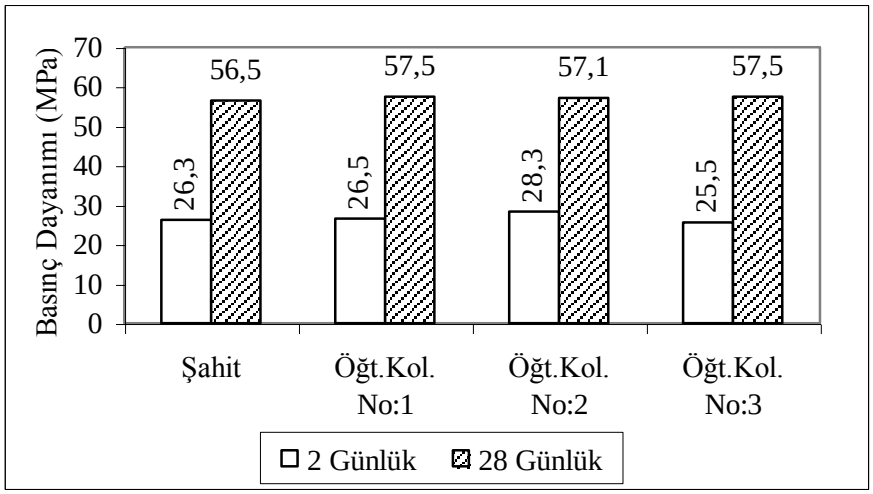
Çimento İsmi	A_{ilk} (cm^2)	0"		30"			60"		
		Flow (cm)	Alan (cm^2)	Flow (cm)	Alan (cm^2)	Kayıp (%, alan)	Flow (cm)	Alan (cm^2)	Kayıp (%, alan)
Şahit	78,5	13,9	152	13,5	143	6	13,2	137	10
Öğt.Kol. No:1	78,5	15,6	191	13,9	152	21	13,8	149	22
Öğt.Kol. No:2	78,5	15	177	14,1	156	12	13,4	141	20
Öğt.Kol. No:3	78,5	15,3	184	13,8	149	19	14,1	156	15

Öğütüm kolaylaştırıcıların eğilme ve basınç dayanımlarına yaptıkları etkilerin sonuçları Tablo 3.6. ve Şekil 3.4.'te gösterilmiştir.

Tablo 3.6. Öğütüm kolaylaştırıcıların dayanıma etkisi

Çimento İsmi	2 Gün (MPa)		28 Gün (MPa)	
	Eğilme	Basınç	Eğilme	Basınç
Şahit	4,8	26,3	7,4	56,5
Öğt.Kol. No:1	4,8	26,5	7,3	57,5
Öğt.Kol. No:2	5,4	28,3	8,5	57,1
Öğt.Kol. No:3	5,0	25,5	7,3	57,5

2 ve 28 günlük eğilme ve basınç dayanımlarına bakıldığında öğütüm kolaylaştırıcıların olumsuz bir etkisine rastlanmamıştır. 2 no'lu öğütüm kolaylaştırıcının 2 günlük basınç dayanımının şahit numuneden 2 MPa daha büyük bir basınç değerine ulaştığı, 28 günlük basınç dayanımlarında da tüm öğütüm kolaylaştırıcıların şahit numuneden yaklaşık 1 MPa daha büyük bir dayanım gösterdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 3.4. Öğütüm kolaylaştırıcı içeren çimentoların 2, 28 günlük basınç dayanımları

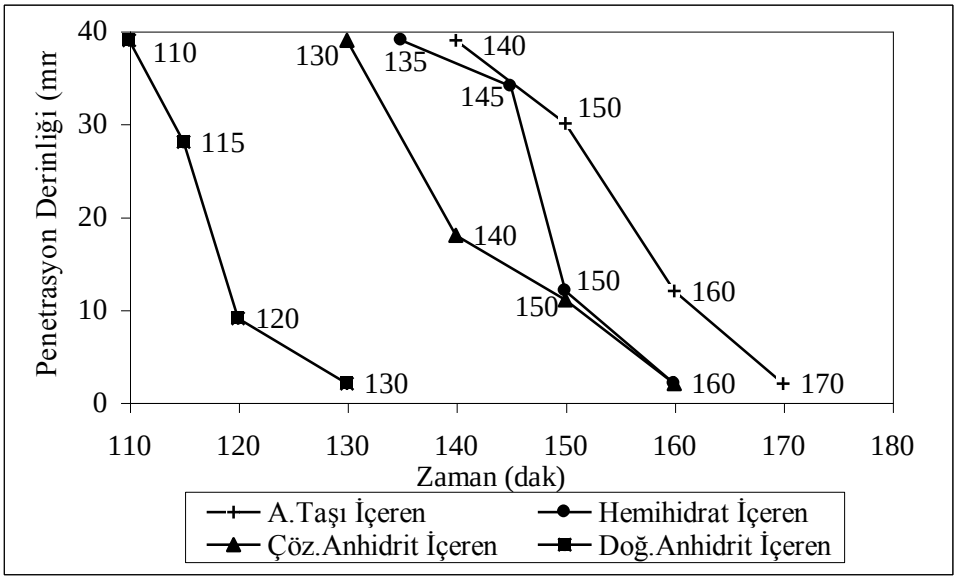
3.3. Alçı Tipinin Çimento Özelliklerine Etkisi

Alçının bünyesindeki bağlı su miktarı azaldıkça priz sürelerinin kısaldığı gözlemlenmiştir. Doğal anhidritin priz başlangıcını öne çektiği, dihidrat alçı priz başlangıç süresinden daha önce de, prizini tamamladığı görülmüştür. Çözünebilir anhidritin, dihidrat alçıdan %2 daha az normal kıvam suyuna ihtiyaç duyduğu özlemlenmiştir. John Bensted'in elde ettiği priz değerleriyle çok yakın sonuçlara rastlanmıştır. Öğütüm sıcaklığının artışıyla elde edilen çimento, dihidrat alçı içeren numuneden %0,25 daha az suya ihtiyaç duyarken [19], Tablo 3.7.'deki fark değeri %1,5 olarak gerçekleşmiştir.

Tablo 3.7. Alçı tipinin kıvam suyu ve priz sürelerine etkisi

Çimento İsmi	Kıvam Suyu (%, çim.ağr.)	Priz Başı (dak)	Priz Sonu (dak)	Δt_{priz} (dak)
Şahit	25,1	140	170	30
Hemihidrat İçeren	25,3	135	160	25
Çöz.Anhidrit İçeren	23,6	130	160	30
Doğ.Anhidrit İçeren	24,4	110	130	20

Priz süreleri boyunca penetrasyon derinlikleri incelendiğinde; bağlı su kaybıyla birlikte düzensizliklerin ve yalancı katılaşma etkilerinin görülmeye başlandığı Şekil 3.6.'dan anlaşılmaktadır. Hemihidrat içeren numune ilk 10 dakikada 5 mm'den daha az penetrasyon derinliğine ulaşmıştır. Fakat bunu takip eden 5 dakikalık periyotta yaklaşık 25 mm'lik bir derinliğe ulaşmaktadır. Sonraki 10 dakikada ise tekrar yavaşlayarak prizini tamamlamıştır. Doğal anhidrit etkisindeki çimento hamuru ise, priz başlangıcından itibaren ilk 5 dakika içerisinde yaklaşık 10 mm'lik bir azalma katetmiş, bunu takip eden 5 dakika içinde ise 20 mm'lik hızlı bir kayıp ortaya koymuştur. Zamanla değişen penetrasyon derinlikleri Şekil 3.5.'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Alçı tipinin penetrasyon derinliklerine etkisi

Alçı tipinin genleşme etkisine bakıldığında, çözünebilir anhidritin bir miktar da olsa genleşmeye neden olduğu Tablo 3.8.'de gösterilmiştir. Çözünebilir anhidritin ilk iki saate kadarki tüm hidratasyon zamanlarında etrenjit oluşumu daha hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir [19].

Tablo 3.8. Alçı tipinin genleşmeye etkisi

Çimento İsmi	LeChatelier		
	Soğ.Açılma (mm)	Sıc.Açılma (mm)	ΔV (mm)
Şahit	0	0	0
Hemihidrat İçeren	0	0	0
Çöz.Anhidrit İçeren	1	2	3
Doğ.Anhidrit İçeren	0	0	0

Birim ağırlık ve hava yüzdesi tayininde, çözünebilir anhidritin referans numuneden biraz daha fazla hava içeriğine neden olduğu Tablo 3.9.'da görülebilir. Hemihidrat ve doğal anhidrit içeren numunelerde ise birbirlerine çok yakın hava miktarları bulunmuştur ve bu miktarın dihidrat alçı içeren numunenin hava içeriğinden daha az olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 3.9. Alçı tipinin birim ağırlık ve hava içeriğine etkisi

Çimento İsmi	Birim Ağırlık (g/cm^3)	Hava	
		(cm^3)	%
Şahit	2,18	42,5	4,6
Hemihidrat İçeren	2,20	36,0	3,9
Çöz.Anhidrit İçeren	2,17	49,1	5,3
Doğ.Anhidrit İçeren	2,20	36,5	4,0

Sarsma tablasında yayılma deneyinde, farklı sonuçlar ortaya çıkmıştır. Doğal anhidrit içeren numunenin ani akışkanlığının, diğer tiplere oranla yüksek olduğu belirlenmiştir. Fakat ilerleyen dakikalarda bu alçı için yayılma kaybı da çok yüksek olmaktadır. Hemihidrat içeren numunede ise, yarım saat ve bir saat okumalarında, 12,2 cm ve 12,5 cm değerleri bulunmuştur. 80/20 hemihidrat-dihidrat alçı oranı içeren çimentoyla yapılan benzer bir çalışmada, taze betonun 17 cm olarak bulunan ani çökme değeri, 20/80 hemihidrat-dihidrat alçı oranı içeren numunede 15 cm olarak belirtilmiştir. 30 ve 50'nci dakikalar arası çökme kaybı, hemihidrat oranı yüksek olan numunede daha az olmuştur [18].

Tablo 3.10.'da gösterilen, çimento harcıyla yapılan deneyler sonucunda, benzer durum burda da ortaya çıkmıştır ve hemihidrat içeren numunede 30 ve 60'ncı dakikalar arasındaki yayılma değerleri çok yakın çıkmış hatta harcın kaybettiği akışkanlığı tekrar kazanabildiği gözlemlenmiştir.

Tablo 3.10. Alçı tipinin çimento harcı yayılma özelliğine etkisi

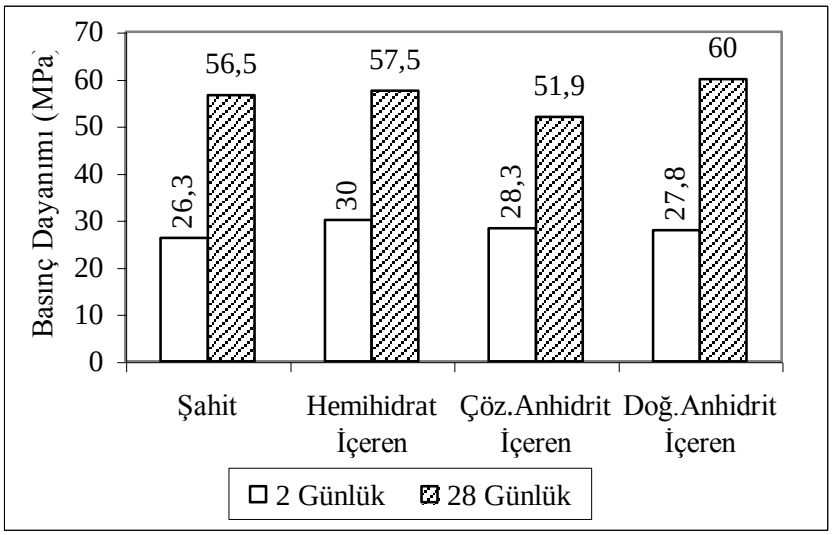
Çimento İsmi	A_{ilk} (cm^2)	0"		30"			60"		
		Flow (cm)	Alan (cm^2)	Flow (cm)	Alan (cm^2)	Kayıp (%, alan)	Flow (cm)	Alan (cm^2)	Kayıp (%, alan)
Şahit	78,5	13,9	152	13,5	143	6	13,2	137	10
Hemihidrat İçeren	78,5	12,7	127	12,2	117	8	12,5	123	3
Çöz.Anhidrit İçeren	78,5	13,1	135	12,5	123	9	12,2	117	13
Doğ.Anhidrit İçeren	78,5	15,4	186	14,3	161	14	13,4	141	24

Çimento üretiminde, öğütüm esnasında veya sonrasındaki saklama ya da taşıma koşulları nedeniyle oluşabilen hemihidrat ve çözünebilir anhidritin ve doğal anhidritin eğilme ve basınç dayanımlarına yaptıkları etkilerin sonuçları Tablo 3.11. ve Şekil 3.6.'da gösterilmiştir.

Tablo 3.11. Alçı tipinin dayanıma etkisi

Çimento İsmi	2 Gün (MPa)		28 Gün (MPa)	
	Eğilme	Basınç	Eğilme	Basınç
Şahit	4,8	26,3	7,4	56,5
Hemihidrat İçeren	4,9	30,0	7,8	57,5
Çöz.Anhidrit İçeren	4,6	28,3	7,4	51,9
Doğ.Anhidrit İçeren	5,1	27,8	7,7	60,0

Hemihidrat alçı içeren numunenin 2 günlük basınç dayanımı, dihidrat alçı içeren numuneden yaklaşık %15 daha büyük bir değer almaktadır. Aynı şekilde çözünebilir ve doğal anhidrit örnekleri de 2 günlük dayanımlarda %10'a yaklaşan artışlar sergilemişlerdir. 28 günlük dayanımlara bakıldığında bu durumda bazı değişikliklere rastlanmıştır. En yüksek sonucu doğal anhidrit verirken, çözünebilir anhidritin mukavemet kaybına neden olduğu söylenebilmektedir. 70^{o}C'nin üzerindeki stoklama sıcaklıklarında, alçı su kaybetmekte ve bekletildiği süreye de bağlı olmak kaydı ile dayanım kayıpları yaşanabilmektedir [9].



Şekil 3.6. Farklı alçı tipi içeren çimentoların 2, 28 günlük basınç dayanımları

3.4. Çimento Katkı Uyumu

3.4.1 Öğütüm Kolaylaştırıcı Katkıların Etkisi

Bu bölümde, çimento öğütüm kolaylaştırıcı katkıların, kimyasal katkılarla olan etkileşimleri incelenmeye çalışılmıştır. Öğütüm kolaylaştırıcı tipleri, priz geciktirici ve akışkanlaştırıcı katkılarla aynı ortamlarda farklı davranışlar sergilemişlerdir.
Kimyasal katkılar, beton özelliklerini geliştirmektedirler. Çimento ve kimyasal katkı kombinasyonu, katkı ekleme yöntemi, su/çimento oranı gibi faktörler taze betonun reolojik özelliklerini güçlü bir şekilde etkilemektedir. Büyük çökme kaybı değeri ve sertleşme gibi akışkanlık problemleri, çimento ve kimyasal katkının tanecik kombinasyonu nedeniyle sıkça oluşmaktadır.[15]

Bilindiği gibi priz geciktirici kimyasal katkılar, çimentonun priz süresini uzatmak ve betonu daha uzun süre işlenebilir halde tutmak amacıyla kullanılmaktadır. Ancak bu katkılar, kullanım oranları farklılaştığı vakit bazı durumlarda beklenenin aksi davranışlar gösterebilmektedir.

Bu amaçla yapılan deneylerde, priz geciktirici katkı, çimento ağırlığının %1'i ve %2'si olmak üzere iki oranda kullanılmıştır. "Alçıtaşı içeren" olarak adlandırılan numune, referans numunesidir ve herhangi bir öğütüm kolaylaştırıcı içermemektedir.

Normal kıvam suyu ve priz sürelerine olan etkilerin sonuçları Tablo 3.12.'de verilmiştir. %1 oranında geciktirici kullanımı, beklendiği gibi tüm priz sürelerini arttırmıştır. Çimento numuneleri arasındaki tek değişken olarak yeralan öğütüm kolaylaştırıcılar birbirlerinden farklı oranlarda priz sürelerini etkilemektedir. %1'lik geciktirici kullanımı, tüm ürünlerin priz başlangıcını arttırsa da, öğütüm kolaylaştırıcı içeriği, bu uzamanın referans numuneden daha kısa olmasına neden olmuştur. Referans numunenin priz başı 695 dakika olarak gerçekleşirken, 2 no'lu öğütüm kolaylaştırıcı bu süreyi 485 dakikaya çekmiştir. Priz sonu olarak yine 2 numara dışında tüm numuneler 845 dakika değerine ulaşmıştır.

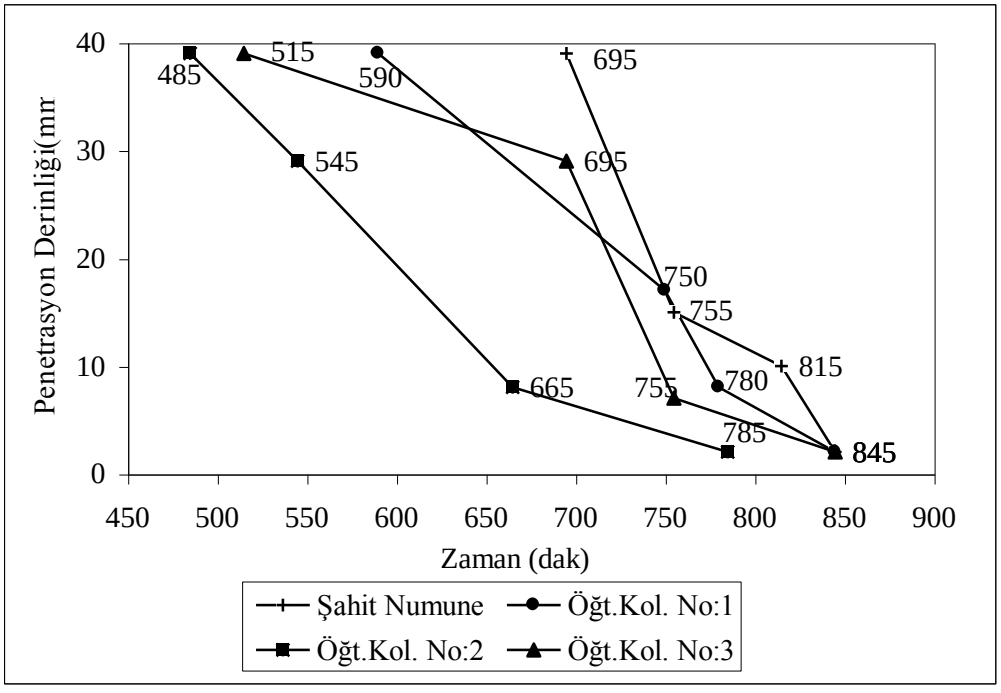
Kullanım oranı %2'ye çıkarıldığında ise aynı etkileşim daha da artarak devam etmiştir. Öğütüm kolaylaştırıcı içermeyen numune priz başını ve sonunu yine arttırmış fakat öğütüm kolaylaştırıcı içeriği priz sürelerini %1'lik kullanımdaki değerlerin altına çekmiştir. 2 no'lu öğütüm kolaylaştırıcı priz başını %1'lik kullanımdaki değerin hemen hemen yarısına indirmiştir.

Tablo 3.12. Öğütüm kolaylaştırıcıların geciktirici ile birlikte kıvam suyu ve priz sürelerine etkisi

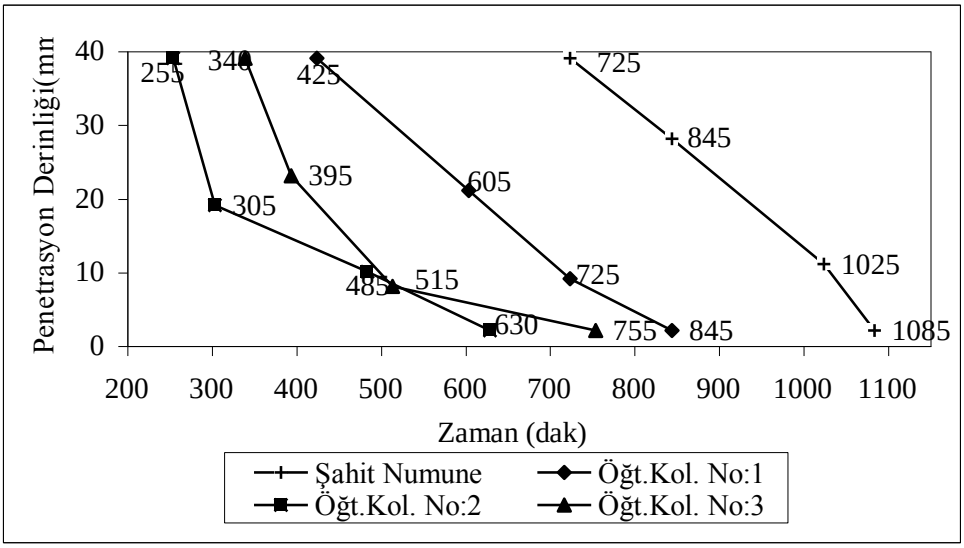
Çimento İsmi	Katkısız				Geciktirici Katkı: %1			
	Kıvam Suyu (%, çim.ağr.)	Priz Başı (dak)	Priz Sonu (dak)	Δt (dak)	Kıvam Suyu (%, çim.ağr.)	Priz Başı (dak)	Priz Sonu (dak)	Δt_{priz} (dak)
Şahit Numune	25,1	140	170	30	23,7	695	845	150
Öğt.Kol. No:1	25,1	120	145	25	23,6	590	845	255
Öğt.Kol. No:2	26,0	120	155	35	23,9	485	785	300
Öğt.Kol. No:3	25,3	130	160	30	22,9	515	845	330
Çimento İsmi	Katkısız				Geciktirici Katkı: %2			
	Kıvam Suyu (%, çim.ağr.)	Priz Başı (dak)	Priz Sonu (dak)	Δt (dak)	Kıvam Suyu (%, çim.ağr.)	Priz Başı (dak)	Priz Sonu (dak)	Δt_{priz} (dak)
Şahit Numune	25,1	140	170	30	24,2	725	1085	360
Öğt.Kol. No:1	25,1	120	145	25	23,7	425	845	420
Öğt.Kol. No:2	26,0	120	155	35	24,4	255	630	375
Öğt.Kol. No:3	25,3	130	160	30	23,6	340	755	415

Normal kıvam sularını ise %1'lik kullanım azaltmış, fakat oran %2 olduğunda su içeriği %1 oranındaki değere göre bir miktar artmıştır.

Öğütüm kolaylaştırıcıların %1 geciktirici içeriğiyle birlikte kullanıldıklarında, priz başlangıcını öne çekmelerine rağmen priz başı ve sonu arasındaki süreyi referans numuneye göre bir miktar uzattıkları, Şekil 3.7.'den de belli olmaktadır.



Şekil 3.7. Öğütüm kolaylaştırıcıların %1 geciktirici ile birlikte penetrasyon derinliklerine etkisi



Şekil 3.8. Öğütüm kolaylaştırıcıların %2 geciktirici ile birlikte penetrasyon derinliklerine etkisi

%2 geciktirici kullanımı ile birlikte, öğütüm kolaylaştırıcı içeren ve içermeyen numuneler arasındaki priz başlangıç süresi farkı Şekil 3.8.'de gösterildiği gibi daha da açılmıştır.

Genleşme etkileri incelendiğinde; %1 geciktirici kullanımı bir değişiklik yaratmamıştır. Öğütüm kolaylaştırıcı içeriğinin, %2 geciktiriciyle birlikte, referans numuneden daha az genleşme değerlerine neden olduğu Tablo 3.13.'te gösterilmektedir.

Tablo 3.13. Öğütüm kolaylaştırıcıların geciktirici ile birlikte genleşmeye etkisi

Çimento İsmi	Katkısız			Geciktirici Katkı: %1		
	LeChatelier			LeChatelier		
	Soğ.Açılma (mm)	Sıc.Açılma (mm)	ΔV (mm)	Soğ.Açılma (mm)	Sıc.Açılma (mm)	ΔV (mm)
Şahit Numune	0	0	0	4	1	5
Öğt.Kol. No:1	0	0	0	5	0	5
Öğt.Kol. No:2	0	0	0	5	0	5
Öğt.Kol. No:3	0	0	0	3	1	4
Çimento İsmi	Katkısız			Geciktirici Katkı: %2		
	LeChatelier			LeChatelier		
	Soğ.Açılma (mm)	Sıc.Açılma (mm)	ΔV (mm)	Soğ.Açılma (mm)	Sıc.Açılma (mm)	ΔV (mm)
Şahit Numune	0	0	0	9	-	9
Öğt.Kol. No:1	0	0	0	4	0	4
Öğt.Kol. No:2	0	0	0	6	1	7
Öğt.Kol. No:3	0	0	0	3	1	4

Taze çimento harcı üzerinde yapılan birim ağırlık ve hava içeriği tayini test sonuçları Tablo 3.14.'te yer almaktadır. %1 geciktirici içeriği, öğütüm kolaylaştırıcılarla birlikte yer aldığında, referans numunenin hava içeriği artışından daha fazla bir artış doğurmamıştır. Hatta öğütüm kolaylaştırıcılar %1 geciktirici ile birlikte hava miktarını daha az oranda artırmışlardır. %2 geciktirici kullanımında hava içeriği, %1'lik kullanımdaki değere eşit ya da daha az olmuştur.

Tablo 3.14. Öğütüm kolaylaştırıcıların geciktirici ile birlikte hava sürüklemeye etkisi

Çimento İsmi	Katkısız			Geciktirici Katkı: %1		
	Birim Ağırlık (cm^3)	Hava		Birim Ağırlık (cm^3)	Hava	
		(cm^3)	%		(cm^3)	%
Şahit Numune	2,18	42,5	4,6	2,14	62,2	6,6
Öğt.Kol. No:1	2,16	54,4	5,8	2,14	64,8	6,8
Öğt.Kol. No:2	2,19	40,6	4,4	2,19	40,0	4,3
Öğt.Kol. No:3	2,20	37,3	4,1	2,17	47,7	5,1
Çimento İsmi	Katkısız			Geciktirici Katkı: %2		
	Birim Ağırlık (cm^3)	Hava		Birim Ağırlık (cm^3)	Hava	
		(cm^3)	%		(cm^3)	%
Şahit Numune	2,18	42,5	4,6	2,17	47,9	5,1
Öğt.Kol. No:1	2,16	54,4	5,8	2,16	56,5	6,0
Öğt.Kol. No:2	2,19	40,6	4,4	2,19	41,4	4,5
Öğt.Kol. No:3	2,20	37,3	4,1	2,20	34,8	3,8

Taze çimento harcının işlenebilirliğine olan etkilerine bakıldığında ise, %1 geciktirici kullanımı tüm numunelerde yayılma değerini bir miktar arttırmıştır. 2 no'lu öğütüm kolaylaştırıcı içeriği, ilk yarım saat ve bir saatin sonunda yayılma alanı kaybını sırasıyla %5 ve %9 oranında artırmıştır. Tüm numunelerde su/çimento oranı 0,5'tir. (Tablo 3.15)

Geciktirici miktarı %2'ye çıkarıldığında bu kez 3 no'lu öğütüm kolaylaştırıcı referans numuneye oranla daha düşük yayılma değerine ulaşmaktadır. Fakat yayılma alanı kaybı oranı ise referans numuneden daha aşağıda bir değer almıştır. Diğer numunelerde ise yayılmalar katkısız değerlerine göre artmıştır. Hatta 1 no'lu öğütüm kolaylaştırıcının yayılma alanı kaybının, %1 geciktiricili haline göre daha düşük bir değere ulaştığı gözlemlenebilmektedir.

Tablo 3.15. Öğütüm kolaylaştırıcıların geciktirici ile birlikte yayılmaya etkisi

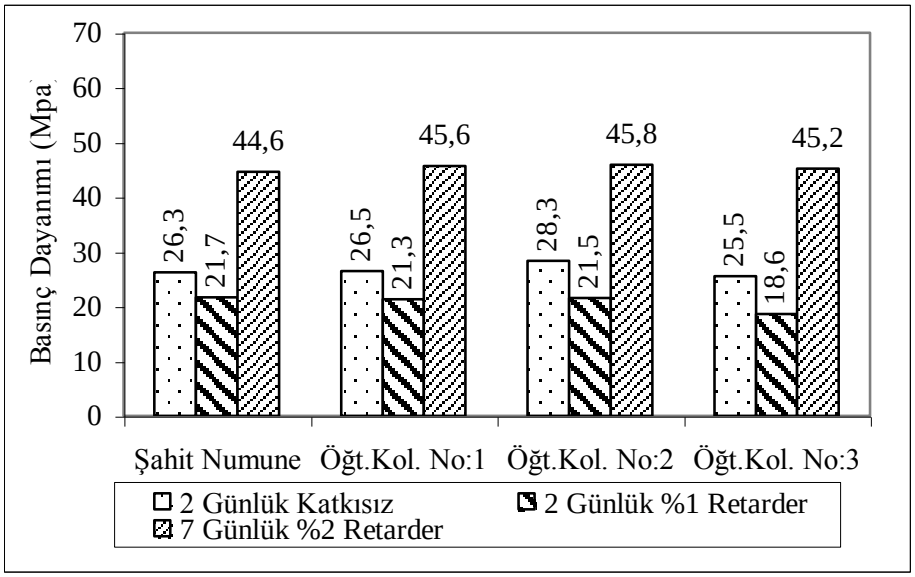
Çimento İsmi	Katkısız					Geciktirici Katkı: %1				
	0"	30"		60"		0"	30"		60"	
	Flow (cm)	Flow (cm)	Kayıp (%, alan)	Flow (cm)	Kayıp (%, alan)	Flow (cm)	Flow (cm)	Kayıp (%, alan)	Flow (cm)	Kayıp (%, alan)
Şahit Numune	13,9	13,5	6	13,2	10	16,2	14	25	13,6	30
Öğt.Kol. No:1	15,6	13,9	21	13,8	22	17,7	15,2	26	14	37
Öğt.Kol. No:2	15	14,1	12	13,4	20	17	14,2	30	13,3	39
Öğt.Kol. No:3	15,3	13,8	19	14,1	15	16,8	14,5	26	14,2	29
Çimento İsmi	Katkısız					Geciktirici Katkı: %2				
	0"	30"		60"		0"	30"		60"	
	Flow (cm)	Flow (cm)	Kayıp (%, alan)	Flow (cm)	Kayıp (%, alan)	Flow (cm)	Flow (cm)	Kayıp (%, alan)	Flow (cm)	Kayıp (%, alan)
Şahit Numune	13,9	13,5	6	13,2	10	17	15,3	19	14,4	28
Öğt.Kol. No:1	15,6	13,9	21	13,8	22	18	15,9	22	15,1	30
Öğt.Kol. No:2	15	14,1	12	13,4	20	17,6	14,9	28	13,7	39
Öğt.Kol. No:3	15,3	13,8	19	14,1	15	16	14,8	14	14	23

Eğilme ve basınç dayanımları üzerindeki priz geciktirici-öğütüm kolaylaştırıcı etkisi Tablo 3.16. , Şekil 3.9. ve Şekil 3.10.'da gösterilmiştir. Priz geciktirici katkı %2 oranında kullanıldığında, çimento harcı 48 saat sonunda istenen sertliğe ulaşamadığı için, bu oranda katkı içeren numunelerin, 7 ve 28 günlük dayanım testleri yapılmıştır. Geciktirici içermeyen ve %1 oranında geciktirici içeren numunelerin ise 2 ve 28 günlük dayanımları kontrol edilmiştir.

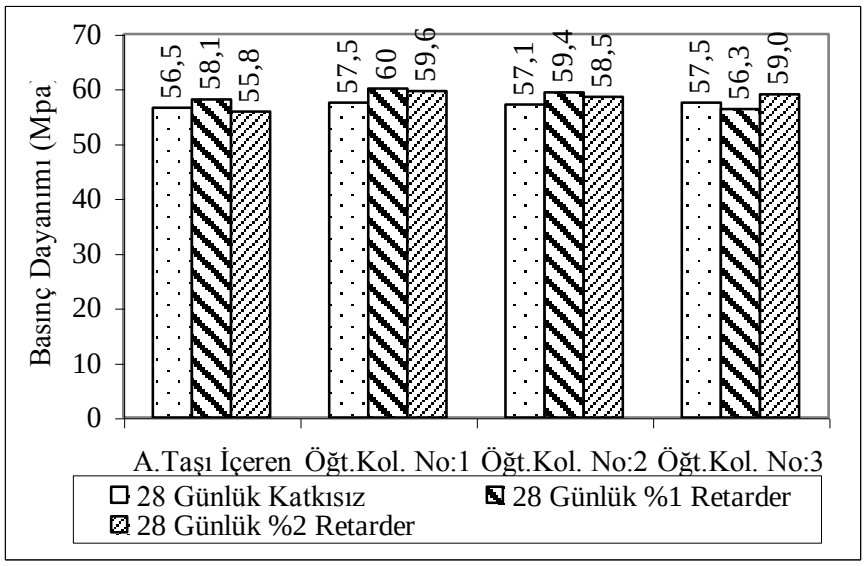
Tablo 3.16. Öğütüm kolaylaştırıcıların geciktirici ile birlikte dayanıma etkisi

Çimento İsmi	Katkısız				Geciktirici Katkı: %1			
	2 Gün (Mpa)		28 Gün (Mpa)		2 Gün (Mpa)		28 Gün (Mpa)	
	Eğilme	Basınç	Eğilme	Basınç	Eğilme	Basınç	Eğilme	Basınç
Şahit Numune	4,8	26,3	7,4	56,5	4,4	21,7	7,5	58,1
Öğt.Kol. No:1	4,8	26,5	7,3	57,5	4,0	21,3	7,7	60,0
Öğt.Kol. No:2	5,4	28,3	8,5	57,1	4,5	21,5	7,3	59,4
Öğt.Kol. No:3	5,0	25,5	7,3	57,5	3,8	18,6	7,7	56,3
Çimento İsmi	Katkısız				Geciktirici Katkı: %2			
	2 Gün (Mpa)		28 Gün (Mpa)		7 Gün (Mpa)		28 Gün (Mpa)	
	Eğilme	Basınç	Eğilme	Basınç	Eğilme	Basınç	Eğilme	Basınç
Şahit Numune	4,8	26,3	7,4	56,5	7,0	44,6	8,5	55,8
Öğt.Kol. No:1	4,8	26,5	7,3	57,5	6,7	45,6	8,6	59,6
Öğt.Kol. No:2	5,4	28,3	8,5	57,1	6,5	45,8	8,0	58,5
Öğt.Kol. No:3	5,0	25,5	7,3	57,5	7,3	45,2	7,7	59,0

Şekil 3.9.'da 2 ve 7 günlük, Şekil 3.10.'de ise 28 günlük basınç dayanımları yer almaktadır. %1 oranında kullanılan priz geciktirici, 2 günlük dayanımları düşürmüştür. % 2 oranında kullanıldığında ise 7 günlük basınç dayanımlarının, standartların 28 günde istediği değere ulaştığı ve hatta üzerine çıktığı görülmektedir. Öğütüm kolaylaştırıcılarla birlikte kullanılması, referans numuneden farklı bir durum ortaya koymamıştır.



Şekil 3.9. Öğt. Kol. ve geciktirici içeren çimentoların 2, 7 günlük basınç dayanımları



Şekil 3.10. Öğt. Kol. ve geciktirici içeren çimentoların 28 günlük basınç dayanımları

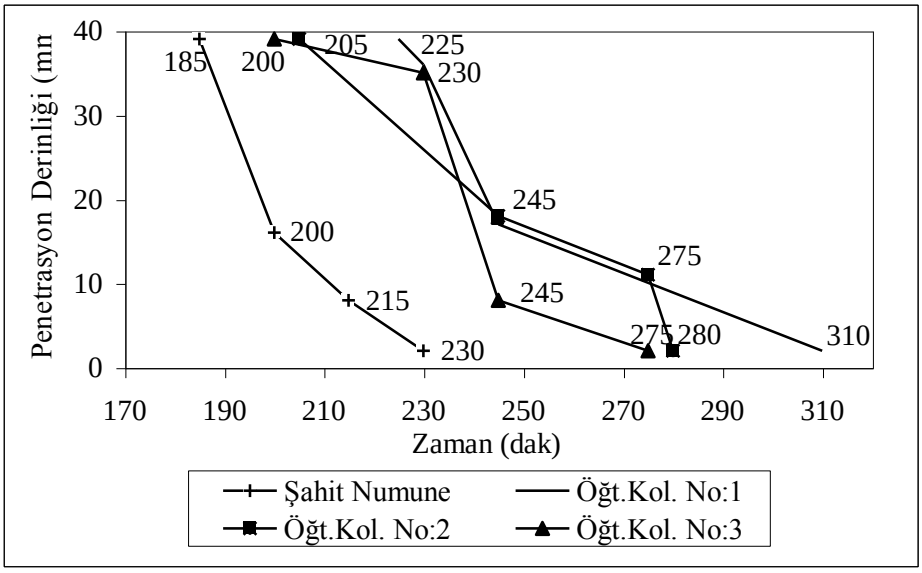
28 günlük dayanımlar, 1 ve 2 no'lu öğütüm kolaylaştırıcı ile birlikte kullanımda %4-%5 aralığında değişen dayanım artışları sergilemiştir. 3 no'lu öğütüm kolaylaştırıcı ile birlikte ise %1 geciktirici içeriği 1 Mpa'lık bir dayanım kaybına neden olmaktadır. Genel anlamda öğütüm kolaylaştırıcı ve priz geciktiricinin birlikte kullanımı, dayanımları olumsuz yönde etkilememiştir.

Son yıllarda çimento ve kimyasal katkılar arasındaki uyumsuzluğun artışa geçtiği belirtilmiştir [14]. Agarwal, Masood ve Malhotra yaptıkları benzer bir çalışmada değişik tiplerdeki akışkanlaştırıcıların, çimento katkı uyumsuzluğu üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Linyosülfonat içerikli süperakışkanlaştırıcıyı %0,5 oranında kullandıklarında priz başlangıcının 135 dakikadan 160 dakikaya, priz sonunun da 227 dakikadan 250 dakikaya ulaştığı görülmektedir. Farklı çimento tiplerinin, farklı akışkanlaştırıcı tipleriyle farklı dozajlardaki etkileşimleri incelendiğinde; 360 günlük basınç dayanımlarında, linyosülfonat esaslı süperakışkanlaştırıcının diğer tiplere oranla aynı artışı göstermediği gözlemlenmiştir [14]. Bu çalışmada ortaya çıkan benzer bir sonuç da, lignin esaslı akışkanlaştırıcının priz sürelerini artırdığı, basınç dayanımlarını da öğütüm kolaylaştırıcı cinsine bağlı olarak azaltabildiği gözükmektedir.

CLS'ın %0,5 kullanılması durumunda, priz başlangıç süresinde referans numune %32 gibi bir artış gösterirken, öğütüm kolaylaştırıcılar bu süreyi %70 %80'lere varan oranlarda uzatmışlardır. Bu durum CLS'ın öğütüm kolaylaştırıcı ile birlikte kullanılması durumunda bu katkı ile etkileşime girerek priz sürelerini daha fazla artırdığını göstermektedir. Akışkanlaştırıcı katkı normal kıvam suyunu; öğütüm kolaylaştırıcı içeriğinde %2 kadar azaltmıştır. Aynı oran referans numunede %1,2 olarak gerçekleşmiştir. (Tablo 3.17.)

Tablo 3.17. Öğütüm kolaylaştırıcıların %0,5 CLS ile birlikte kıvam suyu ve priz sürelerine etkisi

Çimento İsmi	Katkısız				Akışkanlaştırıcı Katkı: %0,5			
	Kıvam Suyu (%, çim.ağr.)	Priz Başı (dak)	Priz Sonu (dak)	Δt_{priz} (dak)	Kıvam Suyu (%, çim.ağr.)	Priz Başı (dak)	Priz Sonu (dak)	Δt_{priz} (dak)
Şahit Numune	25,1	140	170	30	23,9	185	230	45
Öğt.Kol. No:1	25,1	120	145	25	23,1	225	310	85
Öğt.Kol. No:2	26,0	120	155	35	24,0	205	280	75
Öğt.Kol. No:3	25,3	130	160	30	23,2	200	275	75



Şekil 3.11. Öğütüm kolaylaştırıcıların %0,5 CLS ile birlikte penetrasyon derinliklerine etkisi

Öğütüm kolaylaştırıcıların %0,5 CLS ile birlikte kullanılması durumunda LeChatelier halkasında gerçekleşen genleşme miktarları şahit numuneden daha düşük olmuştur. Bu iki katkının beraber kullanımının genleşme artırıcı bir etki göstermediği Tablo 3.18.'den anlaşımaktadır.

Tablo 3.18. Öğütüm kolaylaştırıcıların %0,5 CLS ile birlikte genleşmeye etkisi

Çimento İsmi	Katkısız			Akışkanlaştırıcı Katkı: %0,5		
	LeChatelier			LeChatelier		
	Soğ.Açılma (mm)	Sıc.Açılma (mm)	ΔV (mm)	Soğ.Açılma (mm)	Sıc.Açılma (mm)	ΔV (mm)
Şahit Numune	0	0	0	1	2	3
Öğt.Kol. No:1	0	0	0	1	1	2
Öğt.Kol. No:2	0	0	0	1	1	2
Öğt.Kol. No:3	0	0	0	0	2	2

%0,5 CLS kullanımıyla birlikte tüm numunelerde hava içeriği artışı gerçekleşmiştir. 1 no'lu öğütüm kolaylaştırıcı katkı, en yüksek hava içeriğine yol açmaktadır. 2 ve 3 no'lu öğütüm kolaylaştırıcılar ise, akışkanlaştırıcı kullanılmadan içerdikleri hava miktarlarını, akışkanlaştırıcı kullanımıyla birlikte yaklaşık 2 katına çıkarmışlardır. Şahit numunede de benzer artışlar gerçekleştiği için, CLS içeriğinin hava sürüklediği düşünülebilmektedir. Sonuçlar Tablo 3.19.'da yer almaktadır.

Tablo 3.19. Öğütüm kolaylaştırıcıların %0,5 CLS ile birlikte hava sürükleme etkisi

Çimento İsmi	Katkısız			Akışkanlaştırıcı Katkı: %0,5		
	Birim Ağırlık (cm^3)	Hava		Birim Ağırlık (cm^3)	Hava	
		(cm^3)	%		(cm^3)	%
Şahit Numune	2,18	42,5	4,6	2,09	83,6	8,6
Öğt.Kol. No:1	2,16	54,4	5,8	2,09	87,1	9,0
Öğt.Kol. No:2	2,19	40,6	4,4	2,09	83,9	8,7
Öğt.Kol. No:3	2,20	37,3	4,1	2,09	85,9	8,9

Öğütüm kolaylaştırıcı katkı içeriği, ani yayılma miktarını artırmaktadır. 2no'lu öğütüm kolaylaştırıcı CLS ile birlikte olduğunda ise ani yayılmada en yüksek değeri vermiştir. Fakat devamındaki yarım ve bir saatlik yayılma değerleri tüm numunelerin yayılmalarından daha düşük olmuş ve yayılma alanı kaybı %50'ye ulaşmıştır. Sarsma tablası deneyi sonuçları Tablo 3.20.'de görülmektedir.

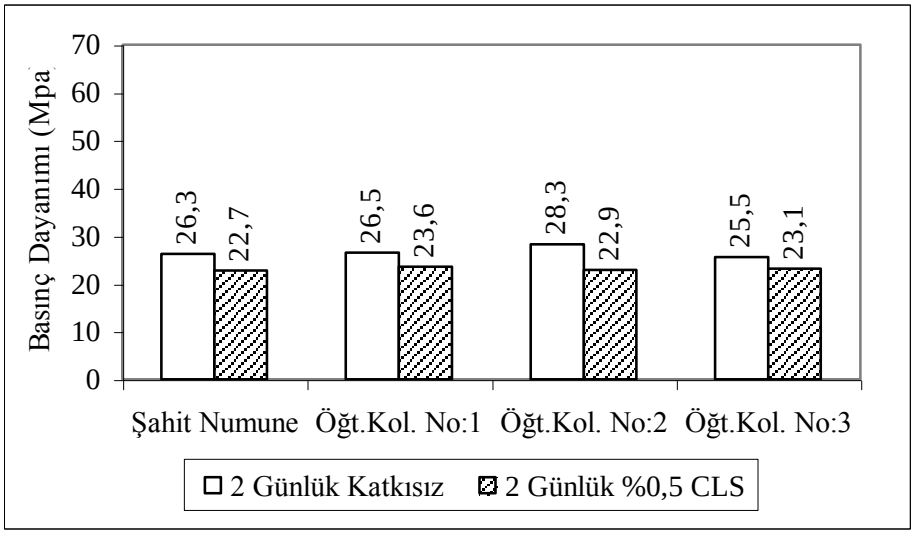
Tablo 3.20. Öğütüm kolaylaştırıcıların %0,5 katkı ile birlikte yayılma etkisi

Çimento İsmi	Katkısız					Akışkanlaştırıcı Katkı: %0,5				
	0"	30"		60"		0"	30"		60"	
	Flow (cm)	Flow (cm)	Kayıp %	Flow (cm)	Kayıp %	Flow (cm)	Flow (cm)	Kayıp %	Flow (cm)	Kayıp %
Şahit Numune	13,9	13,5	6	13,2	10	18,9	16,1	27	15,9	29
Öğt.Kol. No:1	15,6	13,9	21	13,8	22	18,7	15,3	33	15,3	33
Öğt.Kol. No:2	15	14,1	12	13,4	20	19,4	14,8	42	13,7	50
Öğt.Kol. No:3	15,3	13,8	19	14,1	15	19,2	15,7	33	15,7	33

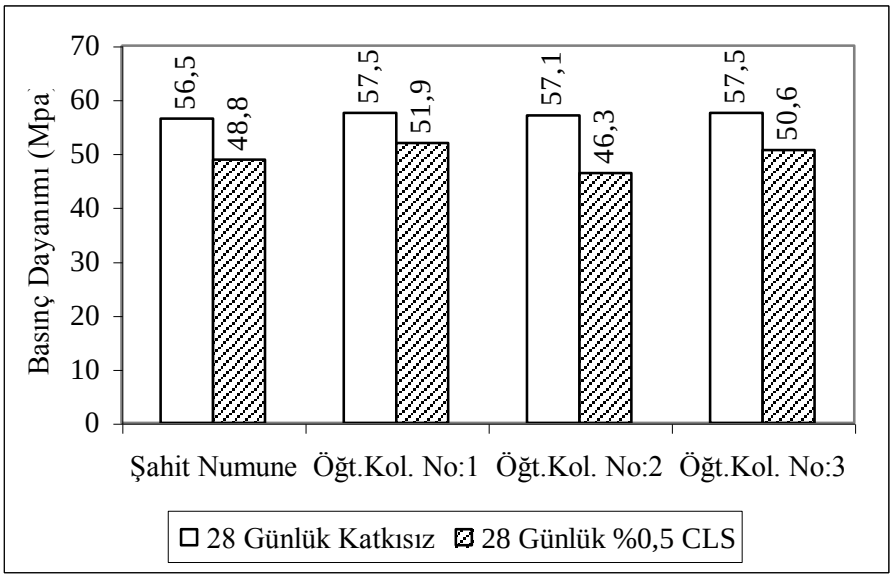
Tablo 3.21., Şekil 3.12. ve Şekil 3.13. incelendiğinde 1 ve 3 no'lu öğütüm kolaylaştırıcıları içeren numuneler benzer davranışları sergilerken; 2 no'lu öğütüm kolaylaştırıcı içeren numunenin, katkısız haline göre %19'luk bir basınç dayanımı kaybına uğradığını görmekteyiz. Ulaştığı bu değer, referans numuneden daha düşük bir değerdir. Bu katkının, lignin esaslı akışkanlaştırıcı ile bir uyumsuzluk sorunu yaşadığı göze çarpmaktadır.

Tablo 3.21. Öğütüm kolaylaştırıcıların %0,5 CLS ile birlikte dayanıma etkisi

Çimento İsmi	Katkısız				Akışkanlaştırıcı Katkı: %0,5			
	2 Gün (Mpa)		28 Gün (Mpa)		2 Gün (Mpa)		28 Gün (Mpa)	
	Eğilme	Basınç	Eğilme	Basınç	Eğilme	Basınç	Eğilme	Basınç
Şahit Numune	4,8	26,3	7,4	56,5	4,3	22,7	6,7	48,8
Öğt.Kol. No:1	4,8	26,5	7,3	57,5	4,2	23,6	7,1	51,9
Öğt.Kol. No:2	5,4	28,3	8,5	57,1	4,1	22,9	6,7	46,3
Öğt.Kol. No:3	5,0	25,5	7,3	57,5	4,0	23,1	6,7	50,6



Şekil 3.12. Öğt. Kol. ve CLS içeren çimentoların 2 günlük basınç dayanımları



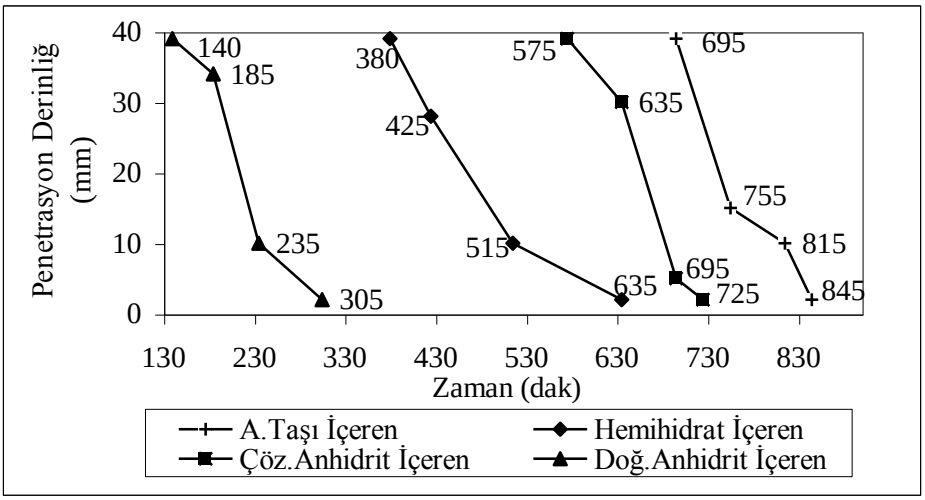
Şekil 3.13. Öğt. Kol. ve CLS içeren çimentoların 28 günlük basınç dayanımları

3.4.2 Alçı Tipinin Etkisi

%1 geciktirici içeriği şahit numunenin priz süresini uzatırken, diğer alçı tiplerini içeren çimentoların priz süreleri aynı oranda uzamamıştır. Doğal anhidrit %1 geciktirici ile birlikte kullanıldığında priz başlangıç süresi %28 uzayabilmiştir. Alçıtaşı içeriğinde ise bu süre 4 katına çıkmıştır. Geciktirici oranı %2 olduğunda ise çözünebilir anhidrit içeren numune katkısız priz başlangıç süresinden daha düşük bir priz başlangıç süresine ulaşmıştır. Çözünebilir anhidrit ve %2 oranında geciktiricinin birlikte kullanımı uyumsuzluk problemi yaratmıştır. Hemihidrat alçı içeren çimentoda ise geciktirici oranı %1'den %2'ye çıkınca priz süreleri artmak yerine azalmıştır (Tablo 3.22.).

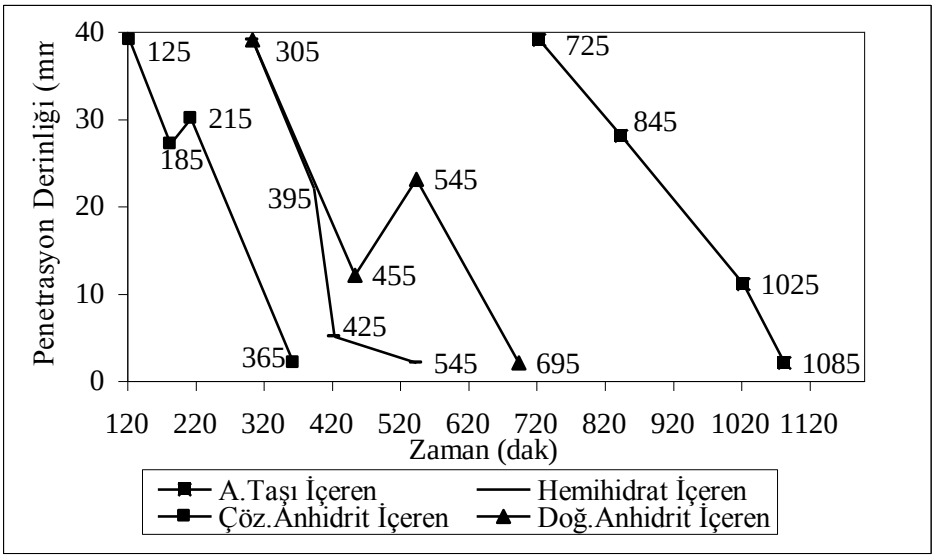
Tablo 3.22. Alçı tipinin geciktirici ile birlikte kıvam suyu ve priz sürelerine etkisi

Çimento İsmi	Katkısız				1%			
	Kıv. Suyu (%)	Priz Başı (dak)	Priz Sonu (dak)	Δt (dak)	Kıv.Suyu (%)	Priz Başı (dak)	Priz Sonu (dak)	Δt (dak)
A.Taşı İçeren	25,1	140	170	30	23,7	695	845	150
Hemihidrat İçeren	25,3	135	160	25	21,4	380	635	255
Çöz.Anhidrit İçeren	23,6	130	160	30	21,7	575	725	150
Doğ.Anhidrit İçeren	24,4	110	130	20	22,2	140	305	165
Çimento İsmi	Katkısız				2%			
	Kıv.Suyu (%)	Priz Başı (dak)	Priz Sonu (dak)	Δt (dak)	Kıv. Suyu (%)	Priz Başı (dak)	Priz Sonu (dak)	Δt (dak)
A.Taşı İçeren	25,1	140	170	30	24,2	725	1085	360
Hemihidrat İçeren	25,3	135	160	25	21,8	305	545	240
Çöz.Anhidrit İçeren	23,6	130	160	30	20,9	125	365	240
Doğ.Anhidrit İçeren	24,4	110	130	20	22,3	305	695	390



Şekil 3.14. Alçı tipinin %1 geciktirici ile birlikte penetrasyon derinliklerine etkisi

Penetrasyon derinliklerinin zamanla değişimi Şekil 3.14. ve Şekil 3.15.'te gösterilmiştir. %2 geciktirici kullanımı hemihidrat ve anhidritin yalancı katılaşma etkileri göstermesine neden olmuş ve penetrasyon derinliklerinde sapmalar oluşmuştur.



Şekil 3.15. Alçı tipinin %2 geciktirici ile birlikte penetrasyon derinliklerine etkisi

Çimento pastasında, anhidrit ve %1-%2 oranında geciktirici katkının birlikte yeralması durumunda genleşme oluşumu ve artışları gerçekleşmiştir. Genleşme değerlerindeki bu artış Tablo 3.23.'te gösterilmiştir. Geciktirici oranı arttıkça genleşme miktarı da yükselmiştir.

Tablo 3.23. Alçı tipinin geciktirici ile birlikte genleşmeye etkisi

Çimento İsmi	Katkısız			1%		
	LeChatelier			LeChatelier		
	Soğ.Açılma (mm)	Sıc.Açılma (mm)	ΔV (mm)	Soğ.Açılma (mm)	Sıc.Açılma (mm)	ΔV (mm)
A.Taşı İçeren	0	0	0	4	1	5
Hemihidrat İçeren	0	0	0	3	1	4
Çöz.Anhidrit İçeren	1	2	3	4	2	6
Doğ.Anhidrit İçeren	0	0	0	6	0	6
Çimento İsmi	Katkısız			2%		
	LeChatelier			LeChatelier		
	Soğ.Açılma (mm)	Sıc.Açılma (mm)	ΔV (mm)	Soğ.Açılma (mm)	Sıc.Açılma (mm)	ΔV (mm)
A.Taşı İçeren	0	0	0	9	-	9
Hemihidrat İçeren	0	0	0	8	-	8
Çöz.Anhidrit İçeren	1	2	3	12	-	12
Doğ.Anhidrit İçeren	0	0	0	10	2	12

Birim ağırlık ve hava içeriği sonuçları Tablo 3.24.'te verilmiştir. %1 geciktirici kullanımında hava sürükleme etkileri oluşmamıştır. %2 kullanımda ise sadece çözünebilir anhidritin hava içeriği, alçıtaşı içeren numnenin hava içeriğinden %32 daha fazla olmuştur.

Tablo 3.24. Alçı tipinin geciktirici ile birlikte hava sürükleme etkisi

Çimento İsmi	Katkısız			1%		
	Birim Ağırlık (cm^3)	Hava		Birim Ağırlık (cm^3)	Hava	
		(cm^3)	%		(cm^3)	%
A.Taşı İçeren	2,18	42,5	4,6	2,14	62,2	6,6
Hemihidrat İçeren	2,20	36,0	3,9	2,21	33,8	3,7
Çöz.Anhidrit İçeren	2,17	49,1	5,3	2,19	43,8	4,7
Doğ.Anhidrit İçeren	2,20	36,5	4,0	2,19	41,5	4,5
Çimento İsmi	Katkısız			2%		
	Birim Ağırlık (cm^3)	Hava		Birim Ağırlık (cm^3)	Hava	
		(cm^3)	%		(cm^3)	%
A.Taşı İçeren	2,18	42,5	4,6	2,17	47,9	5,1
Hemihidrat İçeren	2,20	36,0	3,9	2,18	44,1	4,8
Çöz.Anhidrit İçeren	2,17	49,1	5,3	2,14	63,6	6,7
Doğ.Anhidrit İçeren	2,20	36,5	4,0	2,19	40,1	4,3

Tablo 3.25. Alçı tipinin geciktirici ile birlikte yayılmaya etkisi

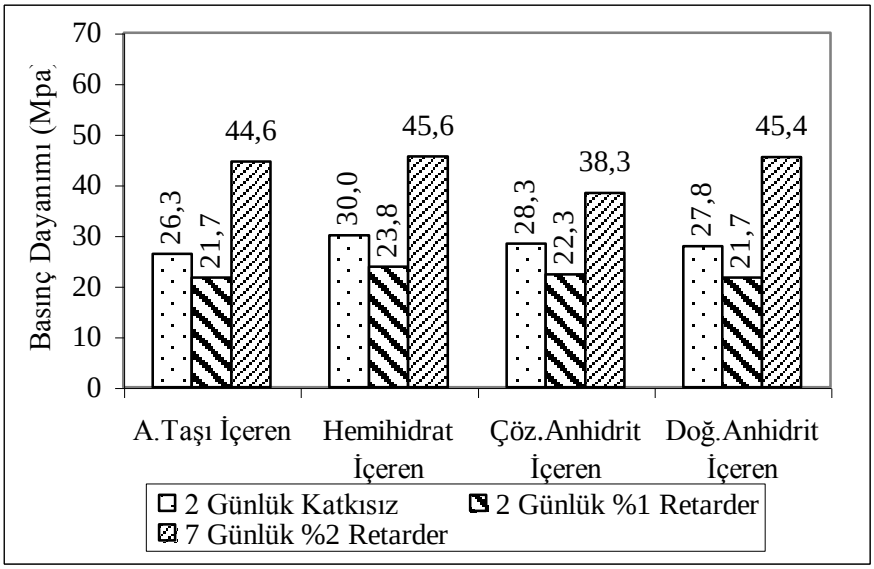
Çimento İsmi	Katkısız					1%				
	0"	30"		60"		0"	30"		60"	
	Flow (cm)	Flow (cm)	Kayıp (%,alan)	Flow (cm)	Kayıp (%,alan)	Flow (cm)	Flow (cm)	Kayıp (%,alan)	Flow (cm)	Kayıp (%,alan)
A.Taşı İçeren	13,9	13,5	6	13,2	10	16,2	14	25	13,6	30
Hemihidrat İçeren	12,7	12,2	8	12,5	3	15,4	12,7	32	12,5	34
Çöz.Anhidrit İçeren	13,1	12,5	9	12,2	13	15	13,5	19	12,8	27
Doğ.Anhidrit İçeren	15,4	14,3	14	13,4	24	17,2	14,5	29	13,8	36
Çimento İsmi	Katkısız					2%				
	0"	30"		60"		0"	30"		60"	
	Flow (cm)	Flow (cm)	Kayıp (%,alan)	Flow (cm)	Kayıp (%,alan)	Flow (cm)	Flow (cm)	Kayıp (%,alan)	Flow (cm)	Kayıp (%,alan)
A.Taşı İçeren	13,9	13,5	6	13,2	10	17	15,3	19	14,4	28
Hemihidrat İçeren	12,7	12,2	8	12,5	3	15,8	15,1	9	14,1	20
Çöz.Anhidrit İçeren	13,1	12,5	9	12,2	13	16,9	14,7	24	14	31
Doğ.Anhidrit İçeren	15,4	14,3	14	13,4	24	17,7	15,8	20	14,7	31

Doğal anhidrit geciktirici ile birlikte çimento harcında yer aldığında ani yayılması tüm numunelerden yüksek çıkmıştır (Tablo 3.25.). Fakat her iki orandaki geciktirici ile birlikte kullanıldığında yayılma alanı kaybı alçıtaşı içeren numneye göre daha fazla olmuştur.

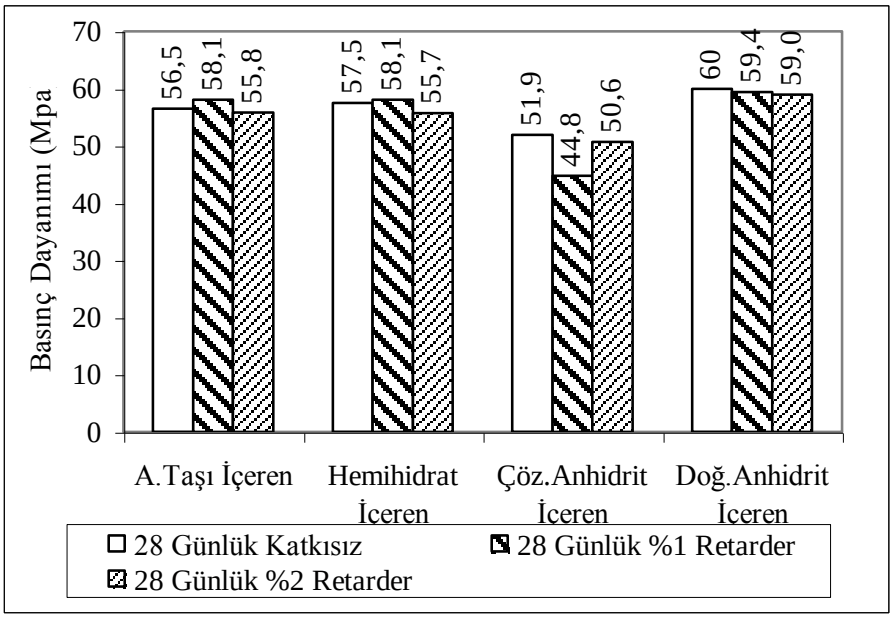
Değişik alçı tiplerinin %1 geciktirici ile birlikte kullanımı 2 günlük dayanımların düşmesine yol açmıştır. Fakat çözünebilir anhidrit içeren numune dışındaki tüm numuneler 28 günlük basınç dayanımında, 1-2 MPa artış göstermişlerdir. Çözünebilir anhidrit içeren çimento harcının basınç dayanımı %14 azalmıştır. Geciktirici kullanım oranı %2'ye çıkarıldığında ise çözünebilir anhidrit daha az etkilenerek %2,5'lik bir basınç dayanımı kaybına uğramaktadır.Sonuçlar Tablo 3.26. , Şekil 3.16. ve Şekil 3.17.'de verilmiştir.

Tablo 3.26. Alçı tipinin geciktirici ile birlikte dayanıma etkisi

Çimento İsmi	Katkısız				1%			
	2 Gün (Mpa)		28 Gün (Mpa)		2 Gün (Mpa)		28 Gün (Mpa)	
	Eğilme	Basınç	Eğilme	Basınç	Eğilme	Basınç	Eğilme	Basınç
A.Taşı İçeren	4,8	26,3	7,4	56,5	4,4	21,7	7,5	58,1
Hemihidrat İçeren	4,9	30,0	7,8	57,5	4,3	23,8	7,6	58,1
Çöz.Anhidrit İçeren	4,6	28,3	7,4	51,9	4,0	22,3	7,7	44,8
Doğ.Anhidrit İçeren	5,1	27,8	7,7	60,0	4,2	21,7	7,6	59,4
Çimento İsmi	Katkısız				2%			
	2 Gün (Mpa)		28 Gün (Mpa)		7 Gün (Mpa)		28 Gün (Mpa)	
	Eğilme	Basınç	Eğilme	Basınç	Eğilme	Basınç	Eğilme	Basınç
A.Taşı İçeren	4,8	26,3	7,4	56,5	7,0	44,6	8,5	55,8
Hemihidrat İçeren	4,9	30,0	7,8	57,5	7,2	45,6	8,2	55,7
Çöz.Anhidrit İçeren	4,6	28,3	7,4	51,9	5,6	38,3	7,4	50,6
Doğ.Anhidrit İçeren	5,1	27,8	7,7	60,0	6,6	45,4	8,3	59,0



Şekil 3.16. Farklı alçı tipi ve geciktirici içeren çimentoların 2, 7 günlük basınç dayanımları

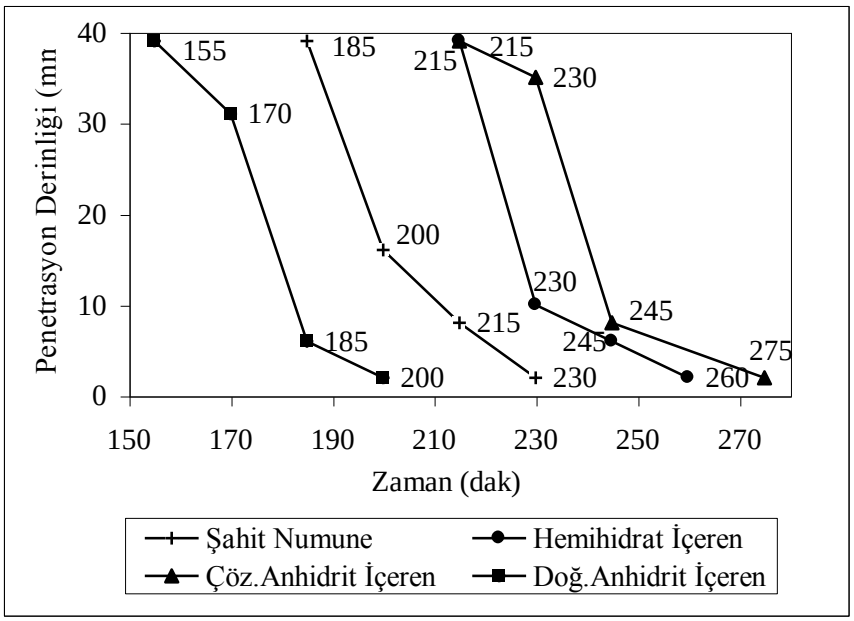


Şekil 3.17. Farklı alçı tipi ve geciktirici içeren çimentoların 28 günlük basınç dayanımları

Akışkanlaştırıcı kullanımı tüm priz sürelerini yükseltmesine rağmen, doğal anhidritle birlikte yer aldığında diğer alçı tiplerine göre daha düşük bir priz süresi artışı göstermiştir. Çözünebilir anhidrit, CLS ile beraber yer aldığında çimento hamurunun normal kıvam suyu, katkısız durumuna göre artış göstermiştir. Priz süreleri, normal kıvam suyu tayini sonuçları ve penetrasyon derinlikleri Tablo 3.27 ve Şekil 3.18.'de gösterilmektedir.

Tablo 3.27. Alçı tipinin %0,5 CLS ile birlikte kıvam suyu ve priz sürelerine etkisi

Çimento İsmi	Katkısız				0,5%			
	Kıv.Suyu (%, ağr.)	Priz Başı (dak)	Priz Sonu (dak)	Δt_{priz} (dak)	Kıv.Suyu (%, ağr.)	Priz Başı (dak)	Priz Sonu (dak)	Δt_{priz} (dak)
A.Taşı İçeren	25,1	140	170	30	23,9	185	230	45
Hemihidrat İçeren	25,3	135	160	25	24,0	215	260	45
Çöz.Anhidrit İçeren	23,6	130	160	30	25,2	215	275	60
Doğ.Anhidrit İçeren	24,4	110	130	20	23,0	155	200	45



Şekil 3.18. Alçı tipinin %0,5 CLS ile birlikte penetrasyon derinliklerine etkisi

Anhidritin CLS'le birlikte, diğer alçı tiplerine oranla genleşme etkisini artırdığı Tablo 3.28'den anlaşılmaktadır.

Tablo 3.28. Alçı tipinin %0,5 CLS ile birlikte genleşmeye etkisi

Çimento İsmi	Katkısız			0,5%		
	Soğ.Açılma (mm)	Sıc.Açılma (mm)	ΔV (mm)	Soğ.Açılma (mm)	Sıc.Açılma (mm)	ΔV (mm)
A.Taşı İçeren	0	0	0	1	2	3
Hemihidrat İçeren	0	0	0	2	1	3
Çöz.Anhidrit İçeren	1	2	3	2	2	4
Doğ.Anhidrit İçeren	0	0	0	3	1	4

Tablo 3.29. Alçı tipinin %0,5 CLS ile birlikte hava sürükleme üzerine etkisi

Çimento İsmi	Katkısız			0,5%		
	Birim Ağırlık (cm^3)	Hava		Birim Ağırlık (cm^3)	Hava	
		(cm^3)	%		(cm^3)	%
A.Taşı İçeren	2,18	42,5	4,6	2,09	83,6	8,6
Hemihidrat İçeren	2,20	36,0	3,9	2,14	64,2	6,8
Çöz.Anhidrit İçeren	2,17	49,1	5,3	2,12	72,9	7,6
Doğ.Anhidrit İçeren	2,20	36,5	4,0	2,11	77,2	8,0

Doğal anhidrit, hava içeriğini, CLS ile birlikte kullanıldığında iki katına çıkartmıştır. Yayılma alanı kaybı ise alçıtaşı içeren numneye oranla çok daha fazla olmuştur. Hava içeriği ve yayılma kayıpları Tablo 3.29. ve Tablo 3.30.'da gösterilmiştir.

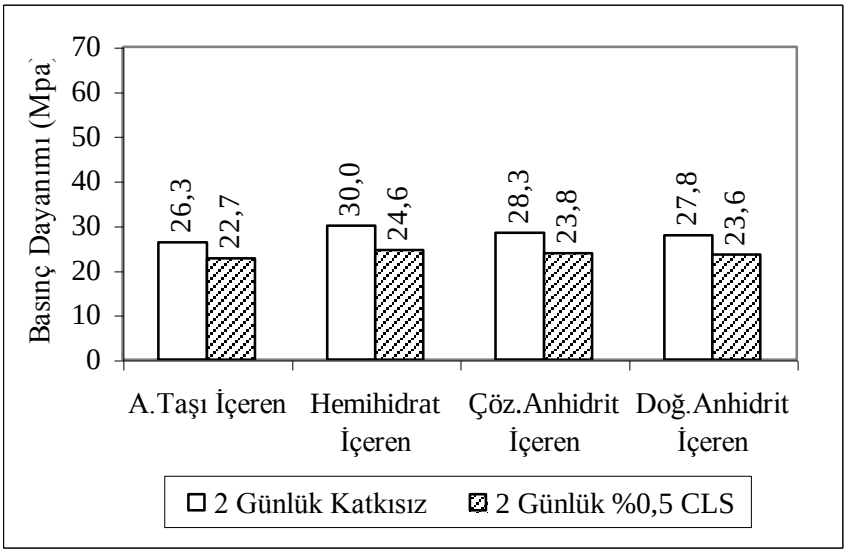
Tablo 3.30. Alçı tipinin %0,5 CLS ile birlikte yayılmaya etkisi

Çimento İsmi	Katkısız					0,5%				
	0"	30"		60"		0"	30"		60"	
	Flow (cm)	Flow (cm)	Kayıp (%,alan)	Flow (cm)	Kayıp (%,alan)	Flow (cm)	Flow (cm)	Kayıp (%,alan)	Flow (cm)	Kayıp (%,alan)
A.Taşı İçeren	13,9	13,5	6	13,2	10	18,9	16,1	27	15,9	29
Hemihidrat İçeren	12,7	12,2	8	12,5	3	17,3	15,7	18	15,4	21
Çöz.Anhidrit İçeren	13,1	12,5	9	12,2	13	16,9	14	31	14	31
Doğ.Anhidrit İçeren	15,4	14,3	14	13,4	24	21,2	15,6	46	14,5	53

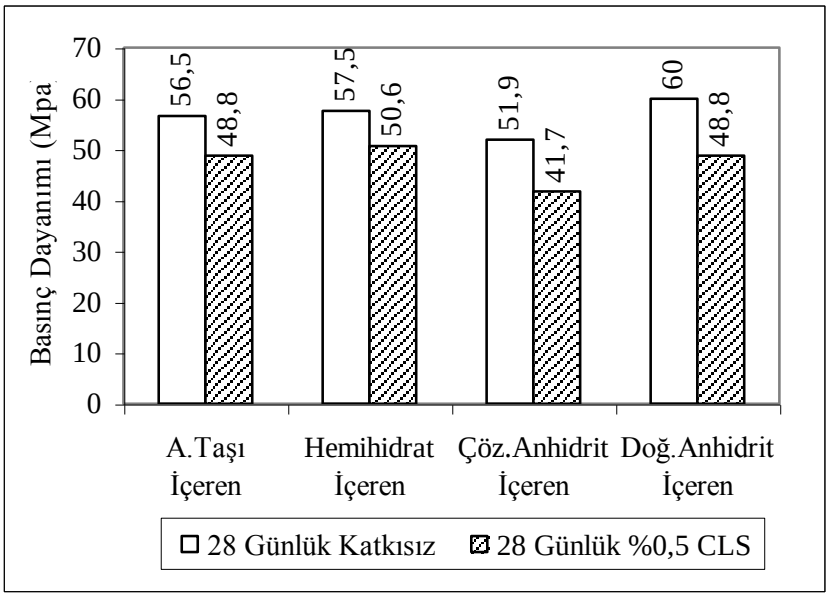
Tüm alçı tipilerinin CLS ile birlikte kullanımının 2 günlük dayanımlarda %15-20 arasında değişen dayanım kaybına yol açtığı gözlemlenmiştir. En yüksek kayıp, hemihidrat ve CLS'in aynı karışımda yer aldığı numunede oluşmuştur. Tablo 3.31, Şekil 3.19. ve Şekil 3.20. tüm dayanım değerlerini göstermektedir.

Tablo 3.31. Alçı tipinin %0,5 CLS ile birlikte dayanıma etkisi

Çimento İsmi	Katkısız				0,5%			
	2 Gün (Mpa)		28 Gün (Mpa)		2 Gün (Mpa)		28 Gün (Mpa)	
	Eğilme	Basınç	Eğilme	Basınç	Eğilme	Basınç	Eğilme	Basınç
A.Taşı İçeren	4,8	26,3	7,4	56,5	4,3	22,7	6,7	48,8
Hemihidrat İçeren	4,9	30,0	7,8	57,5	4,3	24,6	6,9	50,6
Çöz.Anhidrit İçeren	4,6	28,3	7,4	51,9	4,2	23,8	6,7	41,7
Doğ.Anhidrit İçeren	5,1	27,8	7,7	60,0	4,3	23,6	6,6	48,8



Şekil 3.19. Farklı alçı tipi ve CLS içeren çimentoların 2 günlük basınç dayanımları



Şekil 3.20. Farklı alçı tipi CLS içeren çimentoların 28 günlük basınç dayanımları

3.4.3 Çimento Tipinin Etkisi

Endüstriyel üretim şartlarında üretilen çimento tiplerinin kimyasal katkılarla olan etkileşimlerinin incelendiği bu bölümde 5 tip çimento kullanılmıştır. Bunlar; BPÇ 32.5, PKÇ/B 32.5-R, PÇ 42.5, PLÇ/A 42.5-R ve SDÇ 42.5'tur.

%2 geciktirici kullanıldığında BPÇ 32,5 tipi çimentonun priz başlangıcı değeri katkısız durumundaki priz başlangıcı süresinin beşte birine düşerek reaksiyon hızlanmıştır. Bu tip çimentonun %2 geciktirici katkı ile birlikte kullanımının priz

süreleri açısından uyumsuzluk yarattığı Tablo 3.32.'de açıkça belli olmaktadır. PKÇ/B 32,5-R tipi çimentonun geciktirici katkı ile birlikte kullanımında priz süresinde bir düzensizlik oluşmamıştır. PÇ 42,5 ve PLÇ/A 42,5 çimentolarında ise geciktirici oranı %1'den %2'ye çıktığında priz süreleri artacağına azalmıştır.

Tablo 3.32. Çimento tipinin geciktirici ile birlikte kıvam suyu ve priz sürelerine etkisi

Çimento İsmi	Katkısız				1%			
	Kıvam Suyu (%, çim.ağr.)	Priz Başı (dak)	Priz Sonu (dak)	Δt_{priz} (dak)	Kıvam Suyu (%, çim.ağr.)	Priz Başı (dak)	Priz Sonu (dak)	Δt_{priz} (dak)
BPÇ 32,5	28,9	125	150	25	27,5	146	155	9
PKÇ/B 32,5-R	32,2	205	265	60	31	845	1265	420
PÇ 42,5	26,7	145	185	40	24,4	545	845	300
PLÇ/A 42,5-R	28,2	205	245	40	26,7	455	1265	810
SDÇ 42,5	25,56	142	165	23	24,2	585	855	270
Çimento İsmi	Katkısız				2%			
	Kıvam Suyu (%, çim.ağr.)	Priz Başı (dak)	Priz Sonu (dak)	Δt_{priz} (dak)	Kıvam Suyu (%, çim.ağr.)	Priz Başı (dak)	Priz Sonu (dak)	Δt_{priz} (dak)
BPÇ 32,5	28,9	125	150	25	28,5	26	40	14
PKÇ/B 32,5-R	32,2	205	265	60	31,3	1145	1805	660
PÇ 42,5	26,7	145	185	40	24,9	245	485	240
PLÇ/A 42,5-R	28,2	205	245	40	27,1	365	875	510
SDÇ 42,5	25,56	142	165	23	24,2	155	335	180

BPÇ 32,5 tipi çimento geciktirici katkıyla birlikte genleşme miktarını, katkısız durumunun iki katına çıkarmıştır. PKÇ/B 32,5-R dışındaki tiplerde de genleşme artışları oluştuğu Tablo 3.33'ten anlaşılmaktadır.

Tablo 3.33. Çimento tipinin geciktirici ile birlikte genleşmeye etkisi

Çimento İsmi	Katkısız			1%		
	LeChatelier			LeChatelier		
	Soğ.Açılma (mm)	Sıc.Açılma (mm)	ΔV (mm)	Soğ.Açılma (mm)	Sıc.Açılma (mm)	ΔV (mm)
BPÇ 32,5	7	0	7	14	1	15
PKÇ/B 32,5-R	1	1	2	2	0	2
PÇ 42,5	0	0	0	6	1	7
PLÇ/A 42,5-R	0	1	1	6	0	6
SDÇ 42,5	0	0	0	5	0	5
Çimento İsmi	Katkısız			2%		
	LeChatelier			LeChatelier		
	Soğ.Açılma (mm)	Sıc.Açılma (mm)	ΔV (mm)	Soğ.Açılma (mm)	Sıc.Açılma (mm)	ΔV (mm)
BPÇ 32,5	7	0	7	6	1	7
PKÇ/B 32,5-R	1	1	2	0	1	1
PÇ 42,5	0	0	0	7	1	8
PLÇ/A 42,5-R	0	1	1	3	0	3
SDÇ 42,5	0	0	0	7	0	7

Hava içeriği ve yayılma değerleri incelendiğinde PLÇ/A 42,5-R tipi çimentonun en yüksek yayılma değerine ulaştığını ve hava içeriğinde bir artış meydana gelmediği, Tablo 3.34. ve Tablo 3.35.'e bakarak söylenebilir.

Tablo 3.34. Çimento tipinin geciktirici ile birlikte hava sürükleme üzerine etkisi

Çimento İsmi	Katkısız			1%		
	Birim Ağırlık (cm^3)	Hava		Birim Ağırlık (cm^3)	Hava	
		(cm^3)	%		(cm^3)	%
BPÇ 32,5	2,21	23,3	2,5	2,22	20,3	2,2
PKÇ/B 32,5-R	2,19	27,7	3	2,19	29,4	3,2
PÇ 42,5	2,17	45,8	4,9	2,16	52,3	5,6
PLÇ/A 42,5-R	2,15	52,8	5,6	2,15	53,4	5,7
SDÇ 42,5	2,18	41	4,4	2,19	38,6	4,2
Çimento İsmi	Katkısız			2%		
	Birim Ağırlık (cm^3)	Hava		Birim Ağırlık (cm^3)	Hava	
		(cm^3)	%		(cm^3)	%
BPÇ 32,5	2,21	23,3	2,5	2,19	33,5	3,6
PKÇ/B 32,5-R	2,19	27,7	3	2,17	37,1	4
PÇ 42,5	2,17	45,8	4,9	2,18	43,7	4,7
PLÇ/A 42,5-R	2,15	52,8	5,6	2,17	46,1	4,9
SDÇ 42,5	2,18	41	4,4	2,21	30,2	3,3

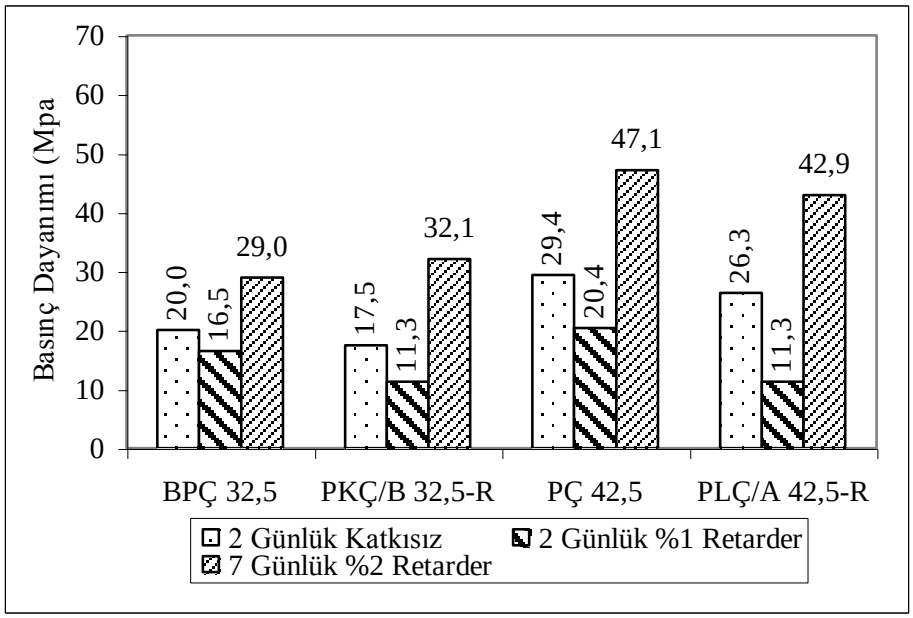
Tablo 3.35. Çimento tipinin geciktirici ile birlikte yayılma etkisi

Çimento İsmi	Katkısız					1%				
	0"	30"		60"		0"	30"		60"	
	Flow (cm)	Flow (cm)	Kayıp (%,alan)	Flow (cm)	Kayıp (%,alan)	Flow (cm)	Flow (cm)	Kayıp (%,alan)	Flow (cm)	Kayıp (%,alan)
BPÇ 32,5	12,9	10,7	31	-	-	13	-	-	-	-
PKÇ/B 32,5-R	11	-	-	-	-	11,7	-	-	-	-
PÇ 42,5	13,8	13	11	12,6	17	16,7	14,3	27	13,9	31
PLÇ/A 42,5-R	15,1	13,8	16	13,8	16	17,3	14,7	28	14,7	28
Çimento İsmi	Katkısız					2%				
	0"	30"		60"		0"	30"		60"	
	Flow (cm)	Flow (cm)	Kayıp (%,alan)	Flow (cm)	Kayıp (%,alan)	Flow (cm)	Flow (cm)	Kayıp (%,alan)	Flow (cm)	Kayıp (%,alan)
BPÇ 32,5	12,9	10,7	31	-	-	13,5	-	-	-	-
PKÇ/B 32,5-R	11	-	-	-	-	13,3	-	-	-	-
PÇ 42,5	13,8	13	11	12,6	17	17,5	15,6	21	14,5	31
PLÇ/A 42,5-R	15,1	13,8	16	13,8	16	18	15,8	23	15,1	30

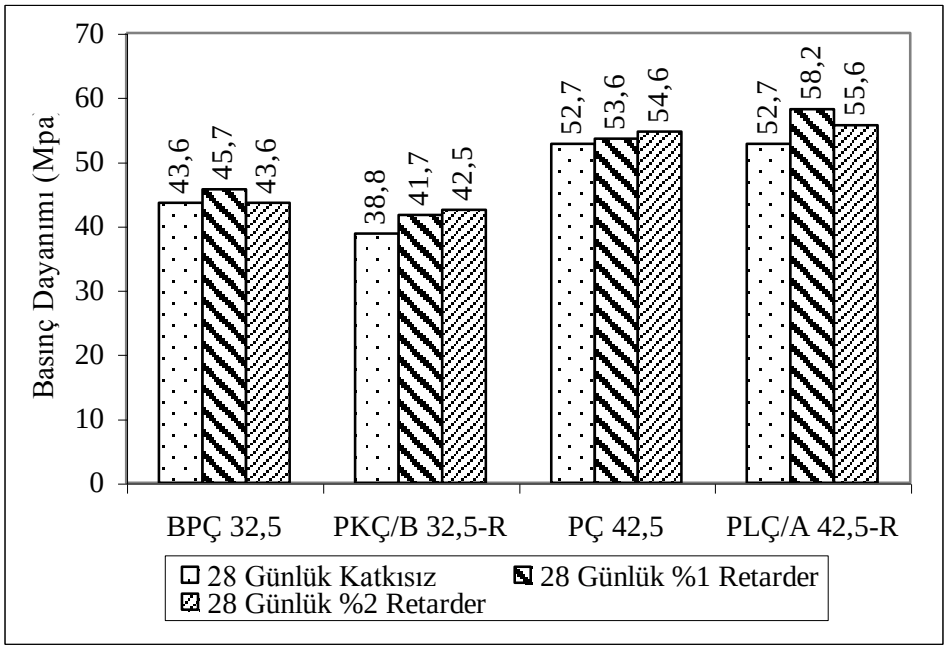
Geciktiricinin basınç dayanımlarına etkisi incelendiğinde, %1 geciktirici içeriği en çok PLÇ/A 42.5-R tipi çimentonun 2 günlük basınç dayanımını düşürmüştür. Fakat aynı çimentonun 28 günlük basınç dayanımının, diğer tiplere göre daha çok artmasına sebep olmuştur. Dayanım değerleri Tablo 3.36. , Şekil 3.21. ve Şekil 3.22. de gösterilmektedir. %2 geciktirici içeriği PLÇ/A 42.5-R'nin 28 günlük dayanımını, %1 geciktirici kullanımındaki değerine göre düşürmüştür. PKÇ/B 32.5-R ve PÇ 42.5 tipi çimentolarda ise bu duruma rastlanmamıştır.

Tablo 3.36. Çimento tipinin geciktirici ile birlikte dayanıma etkisi

Çimento İsmi	Katkısız				1%			
	2 Gün (Mpa)		28 Gün (Mpa)		2 Gün (Mpa)		28 Gün (Mpa)	
	Eğilme	Basınç	Eğilme	Basınç	Eğilme	Basınç	Eğilme	Basınç
BPÇ 32,5	3,8	20	6	43,6	3,3	16,5	6,6	45,7
PKÇ/B 32,5-R	3,7	17,5	6,4	38,8	2,5	11,3	7,1	41,7
PÇ 42,5	5	29,4	7,3	52,7	3,9	20,4	8	53,6
PLÇ/A 42,5-R	5,4	26,3	7,4	52,7	2,5	11,3	7,4	58,2
SDÇ 42,5	4,3	21,7	7,3	44,2	3,6	16,9	6,8	47,3
Çimento İsmi	Katkısız				2%			
	2 Gün (Mpa)		28 Gün (Mpa)		7 Gün (Mpa)		28 Gün (Mpa)	
	Eğilme	Basınç	Eğilme	Basınç	Eğilme	Basınç	Eğilme	Basınç
BPÇ 32,5	3,8	20	6	43,6	5,1	29	7,2	43,6
PKÇ/B 32,5-R	3,7	17,5	6,4	38,8	5,6	32,1	7,6	42,5
PÇ 42,5	5	29,4	7,3	52,7	6,6	47,1	8,3	54,6
PLÇ/A 42,5-R	5,4	26,3	7,4	52,7	6,7	42,9	8,2	55,6
SDÇ 42,5	4,3	21,7	7,3	44,2	2,2 (2gün)	9,2 (2gün)	7,7	51,1



Şekil 3.21. Farklı çimento tiplerinin geciktirici ile birlikte 2, 7 günlük basınç dayanımları



Şekil 3.22. Farklı çimento tiplerinin geciktirici ile birlikte 28 günlük basınç dayanımları

Akışkanlaştırıcı katkı kullanıldığında BPÇ 32,5 tipi çimentonun priz başlangıcı 5 dakika kısalmaktadır. Fakat diğer çimento tiplerinin priz sürelerinde artışlar oluşmaktadır. PKÇ/B 32,5-R tipi ürün diğer tiplere oranla daha fazla normal kıvam suyu ihtiyacı duymaktadır. CLS kullanımı genleşme artışı yaratmamıştır. Tablo 3.37. ve Tablo 3.38. priz süreleri ve genleşme değerlerini, belirtmektedir. Tablo 3.39. ve

Tablo 3.40. hava içeriği ve yayılma tayini sonuçlarını içermektedir. Çimentolar kendi içlerinde incelendiğinde hava içeriklerinin farklı olduğu görülmektedir. CLS ilavesi tüm çimentolu harçların hava içeriklerini artırmış ve bu artış oranı PKÇ/B 32,5'ta en az, BPÇ'de ise en yüksek olmuştur. CLS' li harçlarda en yüksek yayılma kaybı PKÇ/B 32,5 ve en düşük kayıp PÇ 42.5 çimentosunda gerçekleşmiştir.

Tablo 3.37. Çimento tipinin %0,5 CLS ile birlikte kıvam suyu ve priz sürelerine etkisi

Çimento İsmi	Katkısız				0,50%			
	Kıvam Suyu (%, çim.ağr.)	Priz Başı (dak)	Priz Sonu (dak)	Δt_{priz} (dak)	Kıvam Suyu (%, çim.ağr.)	Priz Başı (dak)	Priz Sonu (dak)	Δt_{priz} (dak)
BPÇ 32,5	28,9	125	150	25	27,6	120	155	35
PKÇ/B 32,5-R	32,2	205	265	60	30,4	320	395	75
PÇ 42,5	26,7	145	185	40	25,1	260	285	25
PLÇ/A 42,5-R	28,2	205	245	40	28,2	280	315	35
SDÇ 42,5	25,6	142	165	23	24,2	275	310	35

Tablo 3.38. Çimento tipinin %0,5 CLS ile birlikte genleşmeye etkisi

Çimento İsmi	Katkısız			0,5%		
	LeChatelier			LeChatelier		
	Soğ.Açılma (mm)	Sıc.Açılma (mm)	ΔV (mm)	Soğ.Açılma (mm)	Sıc.Açılma (mm)	ΔV (mm)
BPÇ 32,5	7	0	7	2	1	3
PKÇ/B 32,5-R	1	1	2	1	1	2
PÇ 42,5	0	0	0	0	0	0
PLÇ/A 42,5-R	0	1	1	0	0	0
SDÇ 42,5	0	0	0	1	1	2

Tablo 3.39. Çimento tipinin %0,5 CLS ile birlikte hava sürükleme üzerine etkisi

Çimento İsmi	Katkısız			0,5%		
	Birim Ağırlık (cm^3)	Hava		Birim Ağırlık (cm^3)	Hava	
		(cm^3)	%		(cm^3)	%
BPÇ 32,5	2,21	23,3	2,5	2,15	49,9	5,3
PKÇ/B 32,5-R	2,19	27,7	3,0	2,17	39,2	4,2
PÇ 42,5	2,17	45,8	4,9	2,13	65,5	6,9
PLÇ/A 42,5-R	2,15	52,8	5,6	2,11	71,8	7,5
SDÇ 42,5	2,18	41	4,4	2,11	72,7	7,6

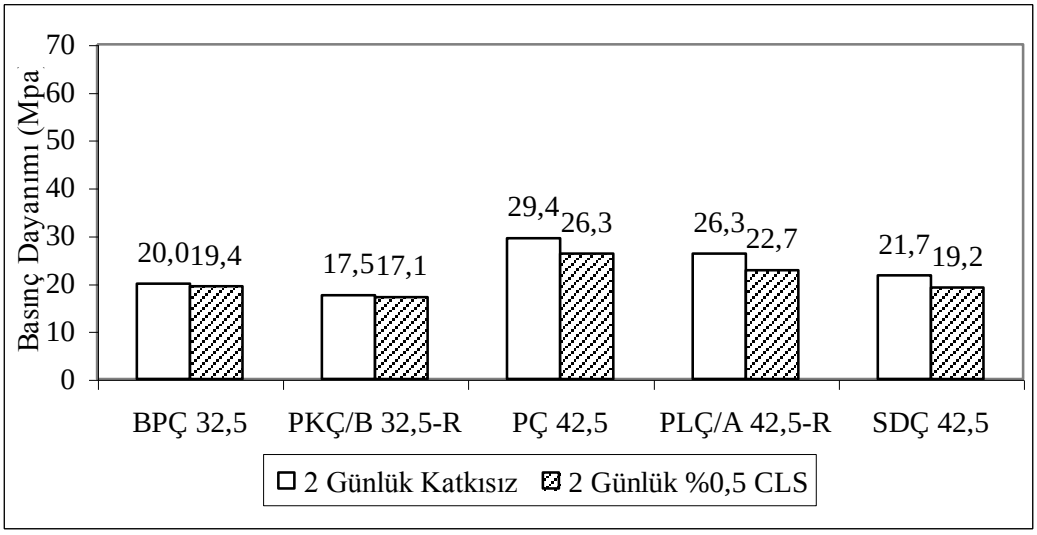
Tablo 3.40. Çimento tipinin %0,5 CLS ile birlikte yayılma etkisi

Çimento İsmi	Katkısız					0,5%				
	0"	30"		60"		0"	30"		60"	
	Flow (cm)	Flow (cm)	Kayıp (%,alan)	Flow (cm)	Kayıp (%,alan)	Flow (cm)	Flow (cm)	Kayıp (%,alan)	Flow (cm)	Kayıp (%,alan)
BPÇ 32,5	12,9	10,7	31	-	-	14,7	12,7	25	10,5	49
PKÇ/B 32,5-R	11	-	-	-	-	16,1	14	24	11,2	52
PÇ 42,5	13,8	13	11	12,6	17	16,2	13,8	27	13,5	31
PLÇ/A 42,5-R	15,1	13,8	16	13,8	16	18	15	31	14,8	32

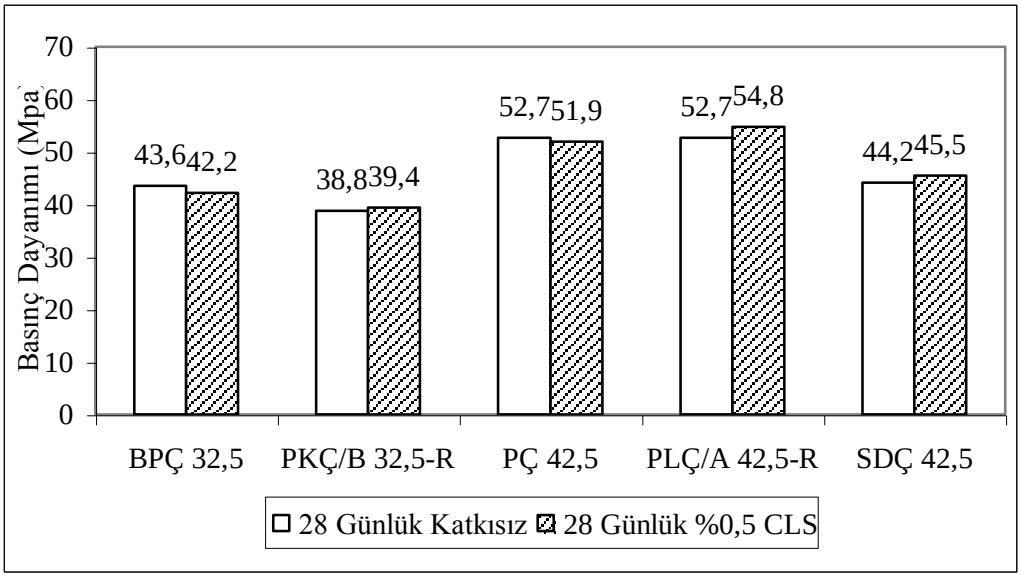
Bu çimentoların CLS ile birlikte kullanımları incelendiğinde, 28 günlük dayanımlarında uyumsuzluk oluşmadığı görülmüştür. PKÇ/B 32,5-R tipi çimentonun 2 günlük dayanımında ise katkısız durumuna göre bir değişim gerçekleşmemiştir. CLS ile birlikte kullanımlarının basınç dayanımlarına etkileri Tablo 3.41., Şekil 3.23. ve Şekil 3.24.'te verilmiştir.

Tablo 3.41. Çimento tipinin %0,5 CLS ile birlikte dayanıma etkisi

Çimento İsmi	Katkısız				0,5%			
	2 Gün (Mpa)		28 Gün (Mpa)		2 Gün (Mpa)		28 Gün (Mpa)	
	Eğilme	Basınç	Eğilme	Basınç	Eğilme	Basınç	Eğilme	Basınç
BPÇ 32,5	3,8	20,0	6,0	43,6	3,8	19,4	7,1	42,2
PKÇ/B 32,5-R	3,7	17,5	6,4	38,8	3,3	17,1	7,2	39,4
PÇ 42,5	5,0	29,4	7,3	52,7	4,3	26,3	7,5	51,9
PLÇ/A 42,5-R	5,4	26,3	7,4	52,7	4,2	22,7	7,8	54,8
SDÇ 42,5	4,3	21,7	7,3	44,2	3,5	19,2	6,7	45,5



Şekil 3.23. Farklı çimento tiplerinin CLS ile birlikte 2 günlük basınç dayanımları



Şekil 3.24. Farklı çimento tiplerinin CLS ile birlikte 28 günlük basınç dayanımları

4. SONUÇLAR

- Öğütme işlemi esnasında, yeni yüzey oluşumuyla ortaya çıkan enerji taneciklerin birbirleriyle etkileşimine neden olmakta ve öğütüm kolaylaştırıcılar da, bu etkiyi azaltarak disperse edici etkileriyle öğütüm sürelerine olumlu yönde etki yapmaktadır. Bu çalışmada denenen 3 farklı öğütüm kolaylaştırıcı, öğütüm süresini %5 -%15 arasında kısaltmıştır.
- Öğütüm kolaylaştırıcılardan bir tanesi, katkısız numuneye göre priz sürelerini bir miktar azaltırken, geciktirici katılması durumunda öğütüm kolaylaştırıcı içeren çimentoların priz süreleri yine şahit karışımdan düşük kalmaktadır. CLS'li karışımlarda ise olay tersine dönmekte ve öğütüm kolaylaştırıcılı çimentoların priz sürelerinde artım gerçekleşmektedir.
- Alçıtaşı 100^{o}C'dan itibaren her sıcaklıkta, bağlı suyunu kaybetmeye başlayarak, süreye bağlı olarak hemihidrat veya anhidrite dönüşmektedir.
- Doğal anhidrit çimento hamurunun priz başlangıç süresini %20 oranında kısaltmıştır. Hemihidrat ve çözünebilir anhidrit ise sırasıyla %4 ve %8 oranında azaltmaktadır. Öte yandan çözünebilir anhidrit çimento hamurunda, genleşme artışına neden olmaktadır.
- Geciktirici ile birlikte kullanıldıklarında hemihidrat ve her iki anhidrit için priz süreleri, geciktirici içeren şahit numuneye göre daha az artmıştır. %1 geciktirici içeriğinde doğal anhidrit en az priz süresi artışı gösterirken, geciktirici içeriği %2'ye çıkartıldığında çözünen anhidrit içeren karışım en az priz süresi artışı göstermiştir. %2 katkı içeriğinde doğal anhidritli karışımda priz süresi, %1'e göre artarken, hemihidrat ve çözünen anhidritli karışımlarda azalmıştır.
- %2 geciktiricinin hemihidrat ve anhidritle birlikte kullanımıyla penetrasyon derinlikleri düzensizleşmiş ve çimento hamurunda yalancı priz etkileri görülmüştür.
- Yine bu alçı tipleri %2 geciktiriciyle birlikte kullanıldıklarında LeChatelier halkasındaki genleşmeyi artırmışlardır.

- Hemihidrat ve çözünebilir anhidrit, CLS ile birlikte priz sürelerini şahit numuneden daha fazla uzatmışlardır. Doğal anhidritin CLS ile birlikte kullanımı ise bu süreyi şahit numuneninkinden daha kısa tutmuştur.
- CLS ile birlikte başlangıçta en yüksek yayılma değerini gösteren doğal anhidrit, aynı zamanda en çok yayılma alanı kaybına uğrayan numune olmuştur.
- %1 geciktirici kullanımıyla birlikte, endüstriyel üretim şartlarında üretilen BPÇ 32.5 , PKÇ/B 32.5-R , PÇ 42.5 , PLÇ/A 42.5-R tipi çimentoların priz süreleri artmıştır. Fakat bu oran %2'ye çıkartıldığında PKÇ/B 32.5-R dışındaki ürünler priz süresi kaybına uğramıştır.
- Yine PKÇ/B 32.5-R dışındaki numuneler, geciktirici ile birlikte kullanıldıklarında genleşme artışı göstermişlerdir.

KAYNAKLAR

[1] **Saraylı, M. A.,** 1999. Yapı Malzemeleri , Y.T.Ü İnşaat Fakültesi, İstanbul.

[2] **Çelenk, A. ve Peker, S.,** 2000. Çimentonun Tarihçesi, H.Ö. Sabancı Holding Çimento Grubu, Ankara.

[3] **Kocataşkın, F.,** 1965. Çimento ve Özellikleri Hakkında Ne Biliyoruz, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul

[4] **Akçansa.,** 2002. Çimento Özellikleri ve Üretimi,

[5] **TS-19**, 1985. Portland Çimentosu Özellikleri, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

[6] **Set Çimento Trakya Fabrikası.,** 2003. Çimento Üretim Hattı, Kırklareli

[7] **Eskin, C.**, 1997. Çimentoların katkı maddeleri ile birlikte veya ayrı öğütülmesinin beton dayanımı üzerindeki etkileri, *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[8] **Dodson, V.H. and Thomas, D.H.**, 1989. Another Look at the Portland Cement/Chemical Admixture Incompatibility problem, *Cement, Concrete and Aggregates,* V11, **1**, 51-55.

[9] **Yüksel, E.,** 1999. Alçıtaşının Çimento Üretimindeki Rolü ve Önemi, İskenderun Çimento Fabrikası, Hatay

[10] **Deniz, V.,** 2003. A Study on the Specific Rate of Breakage of Cement Materials in a Laboratory Ball Mill, *Cement and Concrete Research.,* **33,** 439-445.

[11] **Grace Service Chemicals,.** Cement and Concrete Chemicals, Milano

[12] **Sika Cement Chemicals,.** Sikacement, Sweden

[13] **Teoreanu, I. and Guslicov, G.,** 1999. Mechanisms and Effects of Additives from the Dihydroxy-Compound Class on Portland Cement Grinding, *Cement and Concrete Research.,* **29,** 9-15.

[14] **Agarwall, S.K., Massod, I., and Malhotra, S.K.,** 2000. Compatibility of Superplasticizers with Different Cements, *Construction and Building Materials.,* 14**,** 253-259.

[15] **Hanehara, S. and Yamada, K.,** 1999. Interaction Between Cement and Chemical Admixture from the Point of Cement Hydration, Absorption Behaviour of Admixture and Paste Rheology, *Cement and Concrete Research.,* **29,** 1159-1165.

[16] **İşsever, F.**, 2002. Süperakışkanlaştırıcı ve Mineral Katkılı Taze Çimento Hamuru ve Harçların Reolojik Özellikleri, *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[17] **Jiang, S., Byung-Gi, K., Aitcin, P.C.,** 1999. Importance of Adequate Soluble Alkali Content to Ensure Cement/Superplasticizer Compatibility, *Cement and Concrete Research.*, **29,** 71-78.

[18] **Mork, J.H. and Gjoerv, O.E.,** 1997. Effect of Gypsum-Hemihydrate Ratio in Cement on Rheological Properties of Fresh Concrete, *ACI Materials Journal.*, **94- M17,** pp 142-146, March-April.

[19] **Bensted, J.,** 1982. Effects of the Clinker-Gypsum Grinding Temperature Upon Early Hydration of Portland Cement, *Cement and Concrete Research.*, **V12,** pp. 341-348.

[20] **TS-24**, 1985. Çimentoların Fiziki ve Mekanik Deney Metotları, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

[21] **TS EN 196/1**, 2002. Çimentoların Fiziki ve Mekanik Deney Metotları, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

Ek A. Türk Standartlarındaki Çimentolar

Türk Standartlarında yer alan çimento çeşitlerine 1997 Avrupa standartlarında olduğu halde bizim standartlarımızda olmayan 6 adet yeni tip çimento standardı dahil edilerek çimentoların çeşitliliği arttırılmıştır. Yeni çimentolarla birlikte standartlarımızda yer alan başlıca çimento çeşitleri aşağıda kısaca anlatılmıştır.

TS 19 Portland Çimento : Portland çimentoları, klinkerle az miktarda (yaklaşık %5) alçı taşının birlikte öğütülmesi ile elde edilen katkısız çimentolardır. Bu çimentolar 28 günlük basınç dayanımlarına göre başlıca 3 tiptir. Bunlar ; PÇ 32.5, PÇ 42.5 ve PÇ 52.5'tur.

TS 12139 Portland Curuflu Çimento: Klinkerle curuf ve az miktarda alçı taşının birlikte öğütülmesi ile elde edilen çimentolardır. Bu çimentolar ihtiva ettikleri katkı (curuf) miktarına göre 2 sınıfa ayrılırlar. Kütlece %6 - 20 arasında curuf ihtiva edenler A sınıfı, Kütlece %21 - 35 arasında curuf ihtiva edenler B sınıfıdır. Portland Curuflu Çimentolar 28 günlük basınç dayanımlarına göre PCÇ 32.5, PCÇ 32.5R, PCÇ 42.5, PCÇ 42.5R, PCÇ 52.5, PCÇ 52.5R olmak üzere 6 tiptir. Bu çimento Avrupa standartlarından yeni alınmıştır.

TS 12141 Portland Silika Füme Çimento: Portland Silika Füme Çimento, klinkerle kütlece en fazla %10 oranında silika füme ve az miktarda alçı taşının birlikte öğütülmesi ile elde edilen çimentodur. Bu çimento Avrupa standartlarından yeni alınan bir çimento çeşididir. Tek bir sınıfı vardır. Portland Silika Füme Çimento 28 günlük basınç dayanımına göre PSFÇ 32.5 olmak üzeretektiptir.

TS 10156 Katkılı Çimento: Katkılı Çimento, klinkerle en fazla %19 oranında puzolanik maddenin ve az miktarda alçı taşının birlikte öğütülmesi ile elde edilen çimentodur. Tek bir sınıfı mevcuttur. Katkılı Çimento 28 günlük basınç dayanımına göre KÇ 32.5 olmak üzere tektiptir.

TS 26 Traslı Çimento: Traslı Çimento, klinkerle %20-40 arasında trasın ve az miktarda alçı taşının birlikte öğütülmesi ile elde edilen çimentodur. Tek bir sınıfı mevcuttur. Traslı Çimento 28 günlük basınç dayanımına göre TÇ 32.5 olmak üzere tek tiptir.

TS 640 Uçucu Küllü Çimento: Uçucu Küllü Çimento, klinkerle kütlece %10-30 arasında uçucu külün az miktarda alçı taşının birlikte öğütülmesi ile elde edilen çimentodur. Tek bir sınıfı mevcuttur. Uçucu Küllü Çimento 28 günlük basınç dayanımına göre UKÇ 32.5 olmak üzere tek tiptir.

TS 12140 Portland Kalkerli Çimento: Portland Kalkerli Çimento, klinkerle kalkerin ve az miktarda alçı taşının birlikte öğütülmesi ile elde edilen çimentodur. İhtiva ettikleri kalker miktarına göre 2 sınıfa ayrılırlar. Kütlece %6-20 arasında kalker ihtiva edenler A sınıfı, Kütlece %21-35 arasında kalker ihtiva edenler B sınıfıdır. Portland Kalkerli Çimento 28 günlük basınç dayanımlarına göre PLÇ 32.5, PLÇ 32.5R, PLÇ 42.5, PLÇ 42.5R, PLÇ 52.5, PLÇ 52.5R olmak üzere 6 tiptir. Bu çimento Avrupa standartlarından yeni alınan bir çimentoçeşididir.

TS 12143 Portland Kompoze Çimento: Portland Kompoze Çimento, klinkerle puzolonik veya hidrolik maddelerin ve az miktarda alçı taşının birlikte öğütülmesi ile elde edilen çimentodur. İhtiva ettikleri toplam katkı maddesinin miktarına göre 2 sınıfa ayrılırlar. Kütlece %6-20 arasında kalker ihtiva edenler A sınıfı, Kütlece %21-35 arasında kalker ihtiva edenler B sınıfıdır. Portland Kompoze Çimento 28 günlük basınç dayanımlarına göre PKÇ 32.5, PKÇ 32.5R, PKÇ 42.5, PKÇ 42.5R, PKÇ 52.5, PKÇ 52.5R olmak üzere 6 tiptir. Bu çimento Avrupa standartlarından yeni alınan bir çimento çeşididir.

TS 20 Cüruflu Çimento: Cüruflu Çimento, klinkerle kütlece %20-80 arasında cürufun ve az miktarda alçı taşının birlikte öğütülmesi ile elde edilen çimentodur. Tek bir sınıfı mevcuttur. Katkılı Çimento 28 günlük basınç dayanımlarına göre CÇ 32.5 ve CÇ 42.5 olmak üzere iki tiptir.

TS 12144 Puzolanik Çimento: Puzolanik Çimento, klinkerle puzolonik maddelerin ve az miktarda alçı taşının birlikte öğütülmesi ile elde edilen çimentodur. İhtiva ettikleri toplam katkı maddesinin miktarına göre 2 sınıfa ayrılırlar. Kütlece %11-35 arasında puzolanik madde ihtiva edenler A sınıfı, Kütlece %36-55 arasında puzolanik madde ihtiva edenler B sınıfıdır. Puzolanik Çimento 28 günlük basınç dayanımlarına göre PZÇ 32.5, PZÇ 32.5R, PZÇ 42.5, PZÇ 42.5R, PZÇ 52.5, PZÇ 52.5R olmak üzere 6 tiptir. Bu çimento Avrupa standartlarından yeni alınan bir çimento çeşididir.

TS 12142 Kompoze Çimento: Kompoze Çimento, klinkerle curuf ve puzolonik maddelerin ve az miktarda alçı taşının birlikte öğütülmesi ile elde edilen çimentodur. İhtiva ettikleri toplam katkı maddesinin miktarına göre 2 sınıfa ayrılırlar. Kütlece

toplam katkı miktarı %36-60 arasında olanlar A sınıfı, Kütlece toplam katkı miktarı %61-80 arasında olanlar B sınıfıdır. Kompoze Çimento 28 günlük basınç dayanımlarına göre KZÇ 32.5, KZÇ 32.5R, KZÇ 42.5, KZÇ 42.5R, KZÇ 52.5, KZÇ 52.5R olmak üzere 6 tiptir. Bu çimento Avrupa standartlarından yeni alınan bir çimento çeşididir.

TS 21 Beyaz Çimento: Dekoratif amaçlı çimentodur. Renk verici oksitler içermeyen ya da çok az oranda içeren hammaddeler kullanılarak üretilen katkısız çimentodur. Dekoratif amaçlı olmasına rağmen basınç dayanımları, Türk standartlarında Portland Çimentosunun basınç dayanımları ile aynı değerlerle sınırlandırılmıştır. Beyazlık derecesine göre BPÇ 70 ve BPÇ 85 olmak üzere iki sınıftır. Beyaz Çimento 28 günlük basınç dayanımına göre BPÇ 32.5 ve BPÇ 42.5 olmak üzere iki sınıftır.

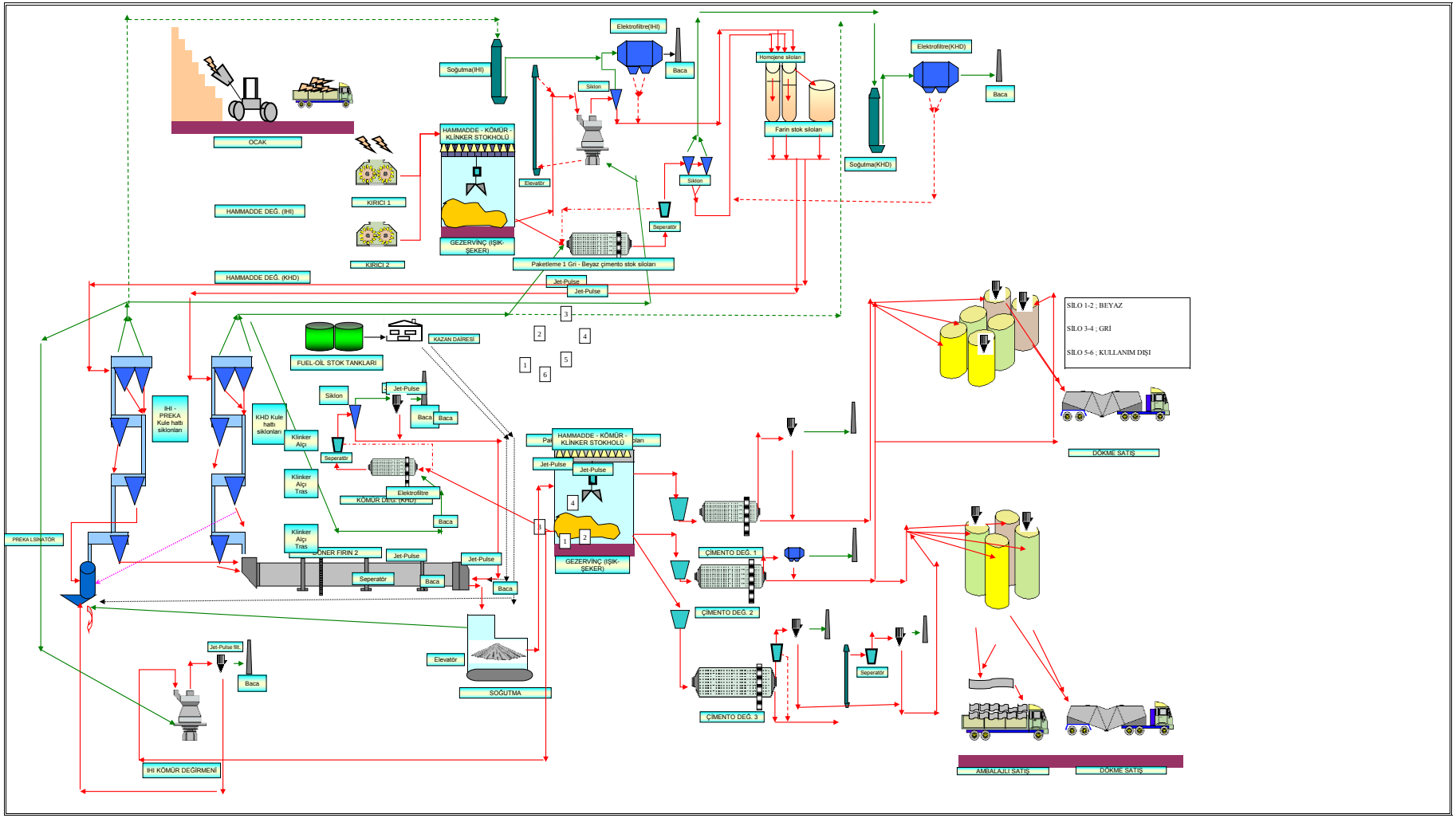
TS 3646 Erken Dayanımı Yüksek Çimento: Erken Dayanımı Yüksek Çimento özel olarak üretilmiş kliker ile az miktarda alçı taşının birlikte öğütülmesi ile elde edilen erken dayanımı yüksek olan bir çimentodur. Erken Dayanımı Yüksek Çimento tek bir sınıftır. Erken Dayanımı Yüksek Çimento 28 günlük basınç dayanımına göre EYÇ 52.5 olmak üzere tek tiptir.

TS 10157 Sülfatlara Dayanıklı Çimento: Sülfatlara Dayanıklı Çimento C3A miktarı en fazla %5 olan ve C4AF + 2C3A miktarı en fazla %25 olan klinkerle az miktarda alçı taşının birlikte öğütülmesi ile elde edilen çimentodur. Sülfatlara Dayanıklı Çimentonun tek bir sınıfı mevcuttur. Sülfatlara Dayanıklı Çimento 28 günlük basınç dayanımına göre SDÇ 32.5 olmak üzeretektiptir.

TS 809 Süper Sülfat Çimentosu: Süper Sülfatlı Çimento, kütlece en az %65 oranında yüksek fırın cürufu ile kalsiyum sülfat ve az miktarda portland çimento klinkeri veya portland çimentosunun birlikte öğütülmesi ile elde edilen çimentodur. Bu çimento tek bir sınıftır. Bu Çimento 28 günlük basınç dayanımına göre SSÇ 32.5 olmak üzere tek tiptir.

TS 22 Harç Çimentosu: Harç Çimentosu en fazla %60 oranında puzolanik madde içeren çimentodur. Tek bir sınıftır. Bu Çimento 28 günlük basınç dayanımına göre HÇ 16 olmak üzere tek tiptir.

EK A1. GRİ KLİNKER - GRİ ÇİMENTO ÜRETİM HATTI



ÖZGEÇMİŞ

Bora YAĞLI 1978 yılında İzmir'de doğdu. İlköğrenimini Agah Efendi İlkokulunda, ortaokul ve lise öğrenimini İzmir 60.Yıl Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 1997 yılında öğrenimine başladığı Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2001 yılında mezun oldu. Aynı yıl İ.T.Ü İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen İ.T.Ü İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans çalışmalarını sürdürmektedir.