



**KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BORLU AKTİF
BELİT ÇİMENTOLU BETONLARIN YÜKSEK
SICAKLIK ALTINDAKİ PERFORMANSI**

Neslihan GÖK

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı
Dr. Öğr. Üyesi Ali ÖZ
2019**

Her hakkı saklıdır

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BORLU AKTİF BELİT
ÇİMENTOLU BETONLARIN YÜKSEK SICAKLIK ALTINDAKİ
PERFORMANSI**

Neslihan GÖK

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Yapı Bilim Dalı**

**ERZURUM
2019**

Her hakkı saklıdır



Her hakkı saklıdır
T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

**BORLU AKTİF BELİT ÇİMENTOLU KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN
BETONLARIN YÜKSEK SICAKLIK ALTINDAKİ PERFORMANSI**

Dr. Öğr. Üyesi Ali ÖZ danışmanlığında, Neslihan GÖK tarafından hazırlanan bu çalışma 09/08/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı – Yapı Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak ~~oybirliği/oy çokluğu~~ (3./3) ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN

İmza :

Üye : Dr. Öğretim Üyesi Türkyay KOTAN

İmza :

Üye : Dr. Öğretim Üyesi Ali ÖZ

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulunun 05.../09.../2019..... tarih ve 35.../...70.....
nolu kararı ile onaylanmıştır.


Prof. Dr. Mehmet KARAKAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BORLU AKTİF BELİT ÇİMENTOLU BETONLARIN YÜKSEK SICAKLIK ALTINDAKİ PERFORMANSI

Neslihan GÖK

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yapı Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Ali ÖZ

Bu çalışmada silis dumanı içeren kendiliğinden yerleşen Borlu Aktif Belit çimentolu betonların yüksek sıcaklık altındaki performansı araştırılmıştır. Bu doğrultuda; 3 farklı çimento tipi kendiliğinden yerleşen beton teknolojisinin uygulanması ile üretim ve kullanılabilirliğinin araştırılması, kendiliğinden yerleşen beton teknolojisinin Borlu Aktif Belit Çimentolu betonlara uygulanması ve silis dumanı içeren Borlu Aktif Belit çimentolu kendiliğinden yerleşen betonun özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla deneysel çalışma iki temel grup halinde yapılmıştır. Deney karışımlarında çimento tipleri, tüm karışım gruplarında %7,5 oranında silis dumanı ile yer değiştirilmiştir. Tüm deneylerde 0,35 su/bağlayıcı (çimento+mineral katkı) oranı, %2 oranında hiper akışkanlaştırıcı katkı ile kendiliğinden yerleşen betonlar üretilmiştir. Üretilen betonlar üzerinde taze halde; yayılma çapı ve 50 cm çapa yayılma süresi (t_{50}), V-hunisi akış süresi, L-kutusu ve J-halkası deneyleri yapılmıştır. Sertleşmiş halde ise, mekanik özellikler açısından, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, ultrasonik dalga hızı ve kuru birim ağırlık, durabilite açısından ise yüksek sıcaklık etkisi (100,200,300, 400,600 ve 750°C'de ağırlık kaybı, ultrasonik dalga hızı, yarmada çekme dayanımı ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak, karışımların tamamının kendiliğinden yerleşen beton standardını karşıladığı, yayılma çapının borlu aktif belit çimentosuyla daha fazla arttığı gözlemlenmiştir. Karışımlarda borlu aktif belit çimentolu karışımların sonuçları diğer çimento tiplerine göre basınç dayanımına paralel olarak yarmada çekme dayanımlarında da artışlar gözlemlenmiştir. Bütün karışımlarda, yüksek sıcaklığa maruz kaldıklarında basınç dayanımlarında ciddi oranda düşüşler gözlemlenmiş fakat ağırlık kayıplarında borlu aktif belit çimentolu betonlarda azalma olduğu tespit edilmiştir.

2019, 104 sayfa

Anahtar Kelimeler: Kendiliğinden Yerleşen Beton, Borlu Aktif Belit Çimentosu, Yüksek Sıcaklık, Dayanım

ABSTRACT

Ms Thesis

COMPACTING CONCRETES BORON ACTIVE BELITE CEMENT PERFORMANCE OF SELF-UNDER HIGH TEMPERATURE

Neslihan GÖK

Ataturk University
Graduate school of Natural and Applied sciences
Department of Civil Engineering
Department of Structure

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Ali ÖZ

In this study, it has been investigated that high temperature performance of self-compacting active ceramic cement concrete with boron. In this way; it has been investigated production and usable with the application of 3 different cement type self-compacting concrete technologies, application of self-compacting concrete technology to active ceramic cement concrete with boron and Properties of active ceramic cement concrete with boron containing silica fume. For this purposes, experimental studies were performed in two basic groups. Cement types in the experimental mixture were replaced with 7.5% silica fume in all mixture groups. In all experiments self-compacting concretes containing 2% hyper plasticizer additive and 0,35 water / binder (cement + mineral additive) ratio were produced. spreading diameter and spreading time of 50 cm diameter (t50), V-hopper flow time, L-box and J-ring experiments were performed on fresh produced concrete. Then, following experiments were performed on the hardened state; in terms of mechanical properties, compressive strength, tensile strength in the splitting, ultrasonic wave velocity and dry unit weight, and in terms of durability, high temperature effect (weight loss at 100,200,300, 400,600 and 750°C), ultrasonic wave velocity, tensile strength at compressive strength and compressive strength tests. As a result, it has been observed that all of the mixtures meet the self-compacting concrete standards, and the spreading diameter is increased more with the boron active concrete cement. The results of the cemented mixtures with boron were also increased in parallel with the compressive strength of other cement types. In all mixtures, significant decreases in compressive strengths were observed when they were exposed to high temperatures, but in weight losses, it was determined that there was a decrease in boron-active concrete cementitious concrete.

2019, 104 pages

Keywords: Self-compacting concrete, boron active belite cement, high temperature, strength

TEŞEKKÜR

Bu alıŐma devam ederken her tŒrlŒ yardım, destek ve anlayıŐını eksik etmeyen tez danıŐmanım Sayın Doktor Öğretim Üyesi Ali ÖZ'e içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

ÇalıŐmamın farklı aşamalarında yardım ve desteğini esirgemeyen Atatürk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Prof. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN'a, babam Sayın Doktor Öğretim Üyesi İlhami CEYHUN'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, her zaman ve her konuda yanımda olan, desteklerini esirgemeyen çok değerli aileme de Őükranlarımı sunarım.

Neslihan GÖK

Ağustos, 2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Araştırmanın Amacı ve Kapsamı	3
2. KAYNAK ÖZETLERİ	7
2.1. Bor Hakkında Genel Bilgi	7
2.1.1. Bor ve tarihçesi.....	7
2.1.2. Borun özellikleri.....	8
2.1.3. Çeşitli Bor Mineralleri.....	10
2.1.4. Türkiye ve Dünyadaki bor rezervleri	12
2.1.5. Üretilen bor ürünlerinin cinsi ve yeri	14
2.1.6. Bor ürünlerinin kullanım alanları	15
2.1.7. Bor mineralleri işletme müesseseleri	18
2.2. Çimento	19
2.2.1. Çimento tarihi.....	19
2.2.2. Çimento çeşitleri.....	20
2.2.3. Çimento bileşenleri.....	22
2.2.4. Suyun çimento bileşenlerinin özellikleri.....	23
2.2.5. Çimentonun donması.....	24
2.2.6. Su çimento oranı(S/Ç).....	25
2.2.7. Çimento ve kimyasal katkı uyumu	27
2.2.8. Borlu Aktif belit çimentosunun üretimi ve tanımı	27
2.2.9. Aktif belitli çimentolar	28
2.2.10. BAB çimentosunun özellikleri	30
2.2.11. BAB çimentosu ile üretilen betonun durabilitesi	32
2.2.12. BAB çimentosunun uygulanabilirliği.....	32

2.2.13. Atmosferik basınçlı buhar kürü uygulaması ve bekleme süresi.....	33
2.2.14. Borlu çimento ile yapılan çalışmalar.....	37
2.3. Kendiliğinden Yerleşen Betonlar (KYB).....	41
2.3.1. KYB'nin genel özellikleri.....	41
2.3.2. KYB'nin uygulama şekli ve alanları.....	44
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	45
3.1. Materyal.....	45
3.1.1. Kullanılan malzemeler.....	45
3.1.1.a. Çimento.....	45
3.1.1.b. Silis dumanı.....	47
3.1.1.c. Hiperakışkanlaştırıcı katkı.....	47
3.1.1.d. Karışım suyu.....	48
3.1.1.e. Doğal agregalar (Normal agregalar).....	48
3.1.1.f. Deneylerde kullanılan diğer malzemeler.....	49
3.1.2. Deneyde kullanılan alet ve malzemeler.....	49
3.1.2.a. Elekler.....	49
3.1.2.b. Betoniyer.....	50
3.1.2.c. Yayılma tablası.....	51
3.1.2.d. L kutusu.....	52
3.1.2.e. V hunisi.....	53
3.1.2.f. J halkası.....	54
3.1.2.g. Kalıplar.....	54
3.1.2.h. Fırın.....	55
3.1.2.j. Hassas teraziler.....	56
3.1.2.k. Basınç dayanımı ölçüm cihazı (Press).....	56
3.1.2.l. Ultrasonik hız ölçüm cihazı.....	57
3.1.2.m. Deneylerde kullanılacak diğer malzemeler.....	58
3.2. Yöntem.....	58
3.2.1. Yapılacak deneysel çalışmalar.....	58
3.2.2. Agregada deneylerinde uygulanan yöntemler.....	59
3.2.3. Beton karışım hesapları.....	59
3.2.3.a. Beton numunelerine yapılan deneyler.....	59

3.2.3.b. Beton karışım oranları	60
3.2.4. Karıştırma, yerleştirme ve kür koşulları	61
3.2.4.a. Beton.....	61
3.2.5. Yaş beton deneylerinde uygulanan yöntemler	61
3.2.6. Sertleşmiş beton deneylerinde uygulanan yöntemler	62
3.2.6.a. Basınç dayanımı	62
3.2.6.b. Ultrasonik dalga hızı	63
3.2.6.c. Yarmada çekme dayanımının belirlenmesi(fct)	64
3.2.6.d. Birim ağırlık	65
3.2.6.e. Yüksek sıcaklık etkisi	66
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	68
4.1. Agrega Deneyleri ile İlgili Bulgular ve Tartışma.....	68
4.2. Taze Beton Deneyleri ile İlgili Bulgular	70
4.2.1. Yayılma çapı (D_f) ve 50 cm çapa yayılma süresi (t_{50})	71
4.2.2. L kutusu ile ilgili bulgular	72
4.2.3. V kutusu ile ilgili bulgular.....	73
4.2.4. J-Halkası ile ilgili bulgular	74
4.3. Sertleşmiş Beton Deneyleri ile İlgili Bulgular	76
4.3.1. Mekanik özellikler ile ilgili bulgular ve tartışma	76
4.3.1.a. Basınç dayanımı	76
4.3.1.b. Yarmada çekme dayanımı deneyleri	77
4.3.1.c. Ultrases geçiş hızı deneyleri	78
4.3.1.d. Birim ağırlık	79
4.3.2. Dayanıklılık ile ilgili bulgular ve tartışma	80
4.3.2.a. Yüksek sıcaklık deneyi	80
5. SONUÇLAR.....	92
KAYNAKLAR	94
ÖZGEÇMİŞ	105

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Bor'un Kristal yapısı	9
Şekil 2.2. Basınç dayanımının su / çimento oranı ile değişimi	26
Şekil 2.3. Geçirimsizliğin su çimento oranı ile değişimi	26
Şekil 2.4. Buhar kürü devresi.....	36
Şekil 3.1. Agrega deneylerinde kullanılan elek takımı	50
Şekil 3.2. Betoniyer	50
Şekil 3.3. Yayılma tablası	51
Şekil 3.4. L kutusu	52
Şekil 3.5. V hunisi.....	53
Şekil 3.6. J-halkası	54
Şekil 3.7. 10x20 cm'lik silindirik kalıplar	55
Şekil 3.8. Yüksek sıcaklık için fırın.....	55
Şekil 3.9. Hassas teraziler	56
Şekil 3.10. Autotest 3000-Press2	57
Şekil 3.11. Ultrases hızı ölçüm cihazı.....	57
Şekil 3.12. Ultrasonik hız cihazı blok şeması	58
Şekil 3.13. Yarmada çekme dayanımı deney düzeneği	65
Şekil 3.14. Birim ağırlık deneyi.....	66
Şekil 3.15. Fırına yerleştirilen numuneler.....	67
Şekil 4.1. Beton karışımları için granülometri eğrisi	69
Şekil 4.2. KYB karışımının yayılma formu	71
Şekil 4.3. Kontrol betonunun L kutusu görünüşü	73
Şekil 4.4. Kontrol betonunun J Halkası görünüşü	75
Şekil 4.5. KYB numunelerinin yüksek sıcaklık altında basınç dayanım kayıplarının yüzde görünümü.....	82
Şekil 4.6. KYB numunelerinin yüksek sıcaklık altında yarmada çekme dayanım deney sonuçları.....	85
Şekil 4.7. KYB numunelerinin yüksek sıcaklık altında yarmada çekme dayanım kayıplarının yüzde görünümü.....	87

Şekil 4.8. KYB numunelerinin yüksek sıcaklık altında UPV deney sonuçları.....	88
Şekil 4.9. KYB numunelerinin yüksek sıcaklık altında birim ağırlık deney sonuçları	90
Şekil 4.10. KYB numunelerinin yüksek sıcaklık altında birim ağırlık kayıpları	91



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Borun özellikleri	8
Çizelge 2.2. Bor mineralleri ve molekül formülleri.....	10
Çizelge 2.3. Ticari önemi olan bor mineralleri	12
Çizelge 2.4. Bor rezervlerinin ülkelere göre dağılımı*	13
Çizelge 2.5. Türkiye bor rezervlerinin maden sahalarına göre dağılımı 2015.....	14
Çizelge 2.6. Üretilen bor ürünlerinin yeri ve T/Yıl	14
Çizelge 2.7. Ürün cinsine göre üretim	14
Çizelge 2.8. Kurulmakta olan tesislerin kapasiteleri	15
Çizelge 2.9. Çimento Bileşenleri	23
Çizelge 2.10. Su /çimento(S/Ç) oranı ile 28 günlük beton basınç dayanımı arasındaki ilişki.....	25
Çizelge 3.1. Çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri.....	46
Çizelge 3.2. BAB çimentosunun mekanik fiziksel özellikleri(TSE 2008)	46
Çizelge 3.3. BAB çimentosunun kimyasal özellikleri(TSE 2008)	47
Çizelge 3.4. HAK'ın özellikleri	48
Çizelge 3.5. KYB numunelerde yapılan deneyler	60
Çizelge 3.6. KYB numunelerde karışım oranları.....	60
Çizelge 4.1. Beton karışımları için agregaların elek analizi sonuçları	68
Çizelge 4.2. Agregalarda bulunan ince madde oranları.....	69
Çizelge 4.3. Agreganın özgül ağırlık ve su emme oranı tayini.....	70
Çizelge 4.4. KYB karışımlarının yaş beton değerleri	71
Çizelge 4.5. Sertleşmiş beton numunelerinin 28 günlük basınç dayanımı deney sonuçları.....	76
Çizelge 4.6. Sertleşmiş beton numunelerinin 28 günlük yarmada çekme dayanımı deney sonuçları	77
Çizelge 4.7. Sertleşmiş beton numunelerinin üzerinde yapılan UPV deney sonuçları.....	79
Çizelge 4.8. Sertleşmiş beton numunelerinin 28 günlük birim ağırlık deney sonuçları.....	79

Çizelge 4.9. 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 600°C ve 750°C sıcaklığa maruz bırakılan KYB numunelerin basınç dayanımı değerleri	81
Çizelge 4.10. 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 600°C ve 750°C sıcaklığa maruz bırakılan KYB numunelerinde meydana gelen basınç dayanım kayıpları	81
Çizelge 4.11. 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 600°C ve 750°C sıcaklığa maruz bırakılan KYB numunelerin yarmada çekme dayanımı değerleri	84
Çizelge 4.12. 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 600°C ve 750°C sıcaklığa maruz bırakılan KYB numunelerinde meydana gelen yarmada çekme dayanım kayıpları	86
Çizelge 4.13. 20°C (Kontrol), 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 600°C ve 750°C sıcaklığa maruz bırakılan KYB numunelerinde meydana gelen UPV değerleri	87
Çizelge 4.14. 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 600°C ve 750°C sıcaklığa maruz bırakılan KYB numunelerinin birim ağırlık değerleri	89
Çizelge 4.15. 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 600°C ve 750°C sıcaklığa maruz bırakılan KYB numunelerinde meydana gelen ağırlık kayıpları	91

1. GİRİŞ

Çeşitli bağlayıcılar kullanılarak elde edilen beton, uzun süredir tüm dünyada yapı malzemesi olarak kullanılmakta ve her geçen gün kullanım alanları artmaktadır. Portland çimentosunun ortaya çıkmasıyla beraber beton teknolojisine her geçen gün yenilikler katmaktadır. Betonun en büyük dezavantajı çekme dayanımının düşük olmasıdır. Büyük bir alanda kullanım imkânı bulan betondan beklenen özelliklerde gün geçtikçe değişmekte, bu dezavantajın giderilmesi veya kontrol altında bulundurulması gerekmektedir. Bu çerçevede, istenen özellikte ve performanstaki betonlar özel beton kavramı içerisinde ele alınmaktadır.

Genel anlamda beton, agrega, su, kimyasal katkı ve çimento hamurundan meydana gelen kompozit bir malzemedir. Agrega genellikle bu karışımın hacimce yaklaşık olarak %70'ini oluşturur. Çimento hamuru ise agrega parçacıklarının etrafını sarar ve bu parçacıkların arasındaki boşlukları doldurma görevini yürütür. Sertleşmiş betonda çimento, taneler arasındaki sürtünmeyi azaltarak yağlayıcı madde görevi görür. Böylece taze beton karışımının işlenebilirliği için önemli rol üstlenmiş olur. Sertleştiğinde ise agrega parçacıklarını birbirine kenetler ve sertleşmiş betonun dayanım ve dayanıklılığında en önemli etkidir.

Uygulamada giderek daha çok kullanılmaya başlanan özel betonların, taze ve sertleşmiş haldeki özellikleri bilimsel birçok çalışmalara konu olmaktadır. Bunların davranışının geleneksel beton davranışına göre oldukça farklı olduğu gözlenmiş, bundan dolayı özel beton deneyleri için farklı deney araçları, yöntem ve süreçler geliştirilmiştir.

Beton teknolojisindeki gelişmeler, özellikle çok çeşitli yapı kimyasalı olarak kullanılan katkıların bulunması ve mineral bağlayıcı katkıların kullanılabilirliğinin ortaya çıkmasıyla, taze betonda karışım özelliklerinin önemini arttırmıştır. Tarihsel süreçte yüksek işlenebilir beton denilince doğal olarak akla gelen düşük dayanım ve durabilite faktörlerini iyileştirmek için ancak çimento miktarının artırılması sureti ile mümkün

görülmekteydi. Böyle bir yaklaşım da betonda yüksek maliyetlere sebep olmaktadır. Mineral katkı ve kimyasal katkı teknolojisinde meydana gelen gelişmeler, beton teknolojisinde kıvam, işlenebilirlik, dayanım ve dayanıklılık açısından ciddi anlamda yeni ufuklar açmıştır.

Kimya alanındaki gelişmeler ve polimer teknolojisinin ilerlemesi, 80'li yılların ortalarından itibaren çeşitli akışkanlaştırıcıların özellikle normal, süper ve zamanla hiper akışkanlaştırıcıların keşfine sebep olmuştur. Yüksek oranda su azaltma yeteneğine sahip bu akışkanlaştırıcı katkıları aynı zamanda taze betonun işlenebilirliğini de arttırmaktadır. Yeni nesil ortaya çıkarılan bu akışkanlaştırıcıların sağladığı etki bilim adamlarını taze betonun yerleştirilmesi sırasında gereken vibrasyon ve sıkıştırma işlemini ortadan kaldırmak için araştırma yapmaya yöneltmiştir. Böylece kendiliğinden yerleşen beton (KYB) teknolojisi ortaya çıkmıştır.

Yapı malzemeleri alanında en önemli ikinci yenilik de hiçbir sıkıştırma enerjisine ihtiyaç kalmayacak şekilde kalıba kendi ağırlığı altında homojen bir şekilde yerleşip yeterli sıkıştırma derecesinin sağlandığı, kendiliğinden yerleşen çimentolu beton kompozitlerin ortaya çıkmasıdır. Japon araştırmacılar tarafından seksenli yılların başında ortaya çıkarılan KYB yalnızca işçilikten ve zamandan sağladığı tasarrufla değil aynı zamanda, betonda uygulanan sıkıştırma enerjisinin tipi ve etkin bir şekilde uygulanma başarısına bağlı olan değişkenliklerin ortadan kaldırılması açısından da üstünlük sağlamaktadır. KYB'de, sıkıştırma enerjisine gerek olmadığından dolayı özellikle işçilik ve zamandan büyük ölçüde tasarruf sağlanabilir. Bu özelliği nedeniyle prefabrik beton endüstrisinde, onarım ve güçlendirme işlerinde büyük kullanım potansiyeli vardır.

KYB, yüksek akıcılık, işlenebilirlik özelliğinin yanında ayrışmaya karşı dirençli olarak da tasarlanmalıdır. KYB'nin yüksek akıcılık ve stabilitesinin (ayrışmaya karşı direncinin) sağlanması için geleneksel sıkıştırma işlemi gören normal betonlardan farklı bazı tasarım ve dizayn ilkeleri vardır. KYB'de yüksek akıcılık özelliği yeni nesil hiperakışkanlaştırıcılar ile sağlanmaktadır. Yüksek akıcılığın yanında stabilitesinin de sağlanabilmesi için agrega boyutu genellikle 0,125 mm'den küçük toz malzemeler (EFNARC 2002) yüksek oranda kullanılmalıdır. KYB'nin yüksek akıcılık ve ayrışmaya karşı yüksek direnç (stabilite) özelliğinin yanında dar engeller arasından geçiş yeteneği de yüksek olmalıdır. Bunun sağlanabilmesi için betonun şekil alabilme yeteneğinin geliştirilmesi gerekmektedir. KYB'nin şekil alabilme ve dolayısıyla dar engeller arasından geçiş yeteneğinin geliştirilmesi için hamur hacminin geleneksel sıkıştırma işlemi gören beton karışımlarda olduğundan daha yüksek, toplam agrega miktarı daha düşük ve en büyük agrega çapının ise sınırlı (EFNARC 2002'ye göre genellikle 20 mm'den düşük) olması gerektiği belirtilmiştir. KYB'nin anılan özellikleri sağlayabilmesi için düşük eşik kayma gerilmesine ve optimum viskoziteye sahip olması gerekmektedir. KYB'nin akıcılık, viskozite ve geçiş yeteneğinin değerlendirilmesine yönelik tek bir deney yöntemi geliştirilememiş olmasına karşın, bu temel özelliklerinin dolaylı olarak değerlendirildiği bazı test yöntemleri (henüz tam olarak standartlaşmamış olmasına rağmen) geliştirilmiştir.

1.1. Araştırmanın Amacı ve Kapsamı

Borlu aktif belit çimentosu kullanılarak üretilen KYB henüz çok yeni bir beton türüdür. Bu konuda yapılan araştırmalar sayıca oldukça azdır. Yapılan literatür araştırması sonucu literatürde bir çok kendiliğinden yerleşen beton çalışması olmasına karşın Borlu aktif belit çimentosu kullanılarak üretilen KYB çalışması sınırlı olduğu görülmektedir. Bu yüzden Borlu aktif belit çimentosu kullanılarak üretilen KYB tasarımında ülkemizde geleneksel olarak kullanılan farklı çimentoların kullanımını KYB üretimi amaçlanmıştır. Sonuçta Borlu aktif belit çimentosu kullanılarak homojen, işlenebilirliği iyi, normal ağırlıklı yüksek dayanım ve dayanıklılık kriterleri açısından performansı yüksek bir betonun elde edilmesi beklenmektedir.

KYB karışımlarda çeşitli tiplerde çimentoların kullanılabilirliği çeşitli araştırmacılar tarafından gösterilmiştir. Ancak, KYB’de kullanılan çimentolar KYB’nin mekanik özelliklerini değiştirmektedir. Bu nedenle güncel literatürün özellikle farklı tipteki çimentoların KYB’nin mekanik özelliklerini etkileyen parametrelerin daha iyi anlaşılmasına yönelik olduğu ve geleneksel sıkıştırma işlemi gören farklı çimentolu beton kompozitlerle ilgili çalışmaların yoğun olmasına karşın borlu aktif belit çimentosu ile üretilen beton ile ilgili çalışmaların henüz daha sınırlı olduğu, ancak konu ile ilgili araştırmaların giderek ivme kazandığı dikkati çekmektedir.

Bu çalışmada, silis dumanı (SD) içeren kendiliğinden yerleşen borlu aktif belit çimentolu betonların yüksek sıcaklık altındaki özellikleri üzerine araştırmalar yapılacaktır. Bu kapsamda tez çalışmasının amaçları;

1. Çimento, viskozite arttırıcı toz madde (silis dumanı), su ve toplam agrega miktarının sabit tutulması halinde, karışımın agrega gradasyonunun üç farklı çimento karışımı ile elde edilen KYB’lerin mekanik ve durabilite özellikleri üzerindeki etkisini araştırmak,
2. Borlu aktif belit çimentolu KYB’ler de karışımın içerisindeki borlu çimentonun bir tasarım parametresi olarak önemini ortaya koymak,
3. Üç farklı tipteki çimentolarla üretilen KYB’lerin yayılma çapı ve bloklanma oranı gibi reolojik özellikleri, basınç dayanımı, ultrasonik dalga hızı (UPV), yarmada çekme dayanımı gibi mekanik özellikleri ve yüksek sıcaklık etkisi altındaki durabilite parametrelerini güvenle tahmin edebilmek,
4. Son zamanlarda KYB, prefabrike yapılar, onarım ve güçlendirme beton uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Borlu aktif belit çimentosu KYB ve yapı için sağladığı avantaj ve dezavantajların araştırılması amaçlanmıştır. Borlu aktif belit çimentosunun kullanımında betonda hangi oranlarda katılabileceği, betona dayanım ve dayanıklılık yönünden sağlayabileceği faydaların araştırılması amaçlanmıştır. SD katkısının KYB’ye etkisi ile Borlu aktif belit çimentosunun SD içeren KYB’deki davranışı taze ve sertleşmiş beton deneyleri üzerinde araştırılması amaçlanmıştır.

5. KYB'nin basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, yangın dayanımı açısından sahip olduğu zayıf performanslarını iyileştirmek amacıyla SD katkılı KYB'ler Borlu aktif belit çimentosu kullanılarak geliştirilmesi amaçlanmıştır. Borlu aktif belit çimentosunun işlenebilirlik, dayanım ve dayanıklılık özelliklerine etkileri üzerine bir dizi deneysel çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca SD içeren KYB özelliklerine etkileri açısından diğer çimentolarla ile kıyaslanmıştır.

KYB'nin özellikleri ve ülkemizde kullanılan farklı tip çimentolarla üretilen betonların özellikleri hakkında birçok çalışma yapılmıştır. Ancak Borlu aktif belit çimentolu KYB'ler hakkında literatürde çok az araştırmaya rastlanmaktadır. Bu çalışmanın amacı; 3 farklı çimento tipinin, KYB teknolojisinin uygulanması ile üretim ve kullanılabilirliğinin araştırılması, KYB teknolojisinde borlu aktif belit çimentosu kullanılarak SD içeren KYB'nin özelliklerinin araştırılmasından ibarettir.

Araştırmanın kapsamı, KYB'de farklı çimento tipleri kullanılarak mekanik ve bazı durabilite özellikleri üzerine etkisinin araştırılması ile sınırlı olacaktır. KYB tasarımında önemli parametreler olan viskozite arttırıcı toz madde tipi, su/çimento, su/ toz madde oranı, toplam agrega hacmi ve agrega tipi gibi diğer parametreler araştırma kapsamı dışındadır. Bununla birlikte tez kapsamında toplam hamur hacmi, KYB'nin reolojik özelliklerine etkisi (mekanik özellikler dikkate alınmadan) incelenecektir. Bu araştırma kapsamında bağlayıcı miktarı, su miktarı sabit tutularak karışıma viskozite arttırıcı toz malzeme olarak SD eklenmesi ile hamur hacmindeki artışın KYB'nin işlenebilirliğine etkisi gözlemlenecektir. Bu çalışmada KYB'ler için geliştirilmiş olan J-halkası çökme yayılma deneyi ile L-kutusu deneyinin KYB'de reolojik özelliklerin değerlendirilmesinde kullanılabilirliği de araştırılacaktır. Bunun dışında tüm tez çalışmasında KYB'ler için önerilmiş olan J-halkası çökme-yayılma deneyi ve V-kutusu deney aparatı aynen kullanılacaktır.

Bu amaç doğrultusunda deneysel çalışma üç temel grup halinde yapılacaktır. I Deney karışımlarında çimento tipleri, tüm karışım gruplarında %7,5 oranında silis dumanı ile yer değiştirilmiştir. Tüm deneylerde 0,35 su/bağlayıcı (çimento+mineral katkı) oranı,

%2 oranında hiper akışkanlaştırıcı katkı ile kendiliğinden yerleşen betonlar üretilecektir. Üretilen betonlar üzerinde taze halde; yayılma çapı ve 50 cm çapa yayılma süresi (t_{50}), V-hunisi akış süresi, L-kutusu ve J-halkası deneyleri yapılacaktır. Sertleşmiş halde ise, mekanik özellikler açısından, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, ultrasonik dalga hızı ve kuru birim ağırlık, durabilite açısından ise yüksek sıcaklık etkisi (100,200,300, 400,600 ve 750°C'de ağırlık kaybı, ultrasonik dalga hızı, yarmada çekme dayanımı ve basınç dayanımı deneyleri yapılacaktır.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Bor Hakkında Genel Bilgi

2.1.1. Bor ve tarihçesi

Bor, periyodik cetvelde B harfi ile işaret edilen bir elementtir. Bu element, ametal ve metal arasındaki bir sınırdadır. Bor elementi, ilk defa 1808 yılında Gay-Lussac, Louis Jacques Thenard ile Sir Davy tarafından bor oksidin potasyum ile ısıtılarak etkileşiminden oluşturulmuştur. Daha saf olan bor, bromit veya klorit hallerinin tantalyum flamenti aracılığıyla hidrojen ile reaksiyona sokulması ile elde edilmektedir. Periyodik cetvelde 3A grubunda en hafif olan ilk üyedir. Atom numarası 5 olup; elektron konfigürasyonu $1s^2 2s^2 2p^1$ 'dir. İlk üç iyonlaşma enerjisi 800.6, 2427.1 ve 3659.7 kJmol⁻¹'dir (Pergamon 1973; Greenwood 1975; Matkovich 1977; Gmelin 1981).

Babiller ilk kez 4000 yıl önce Uzak Doğu'dan boraks getirmişlerdir. Getirdikleri bu boraksı ayrıca altın işletmeciliğinde kullanmışlardır. Mısırlıların bu elementi, tıpta, mumyalamada, ve metalürji alanlarında değerlendirdikleri bilinmektedir. Boraksın ilk olarak Tibet Göllerinden kazanılmıştır. Koyunlar üzerindeki torbalarda Himalayalar üzerinden Hindistan'a taşınmıştır. Romalılar ve Eski Yunanlılar boraksı dezenfekte işlerinde kullanmışlardır. Arap doktorlar tarafından M.S. 875 yılında ilk kez tedavi amaçlı kullanılmıştır. 1700'lü yılların başında borakstan Borik Asit üretilmiş, yaklaşık 100 yıl sonra bor element olarak üretilmiştir.

13. yy başlarında, Marco Polo Tibet'ten Avrupa'ya bu elementi getirmiş ve böylece modern bor enstitüsüne başlanmıştır.

İlk boraks madencilğine; 1700'lü yıllarda İtalya'nın Tuscani bölgesinde, sıcak suyun olduğu kaynaklarında Sassolit farkedilmiş, 1852 yılında da Şili'de endüstriyel manada boraks üretimi başlamıştır. Amerika'nın bazı bölgelerinde bulunan rezervlerin işletmeye

açılması ile, Amerika dünyadaki bor ihtiyacını karşılayan ilk sıradaki ülke durumuna gelmiştir. Ülkemizde ilk işletmeye, 1861 yılında yayınlanan Maadin Nizannamesi gereğince 1865 senesinde bir Fransız şirketine işletme hakkı verilmesiyle başlanmıştır.

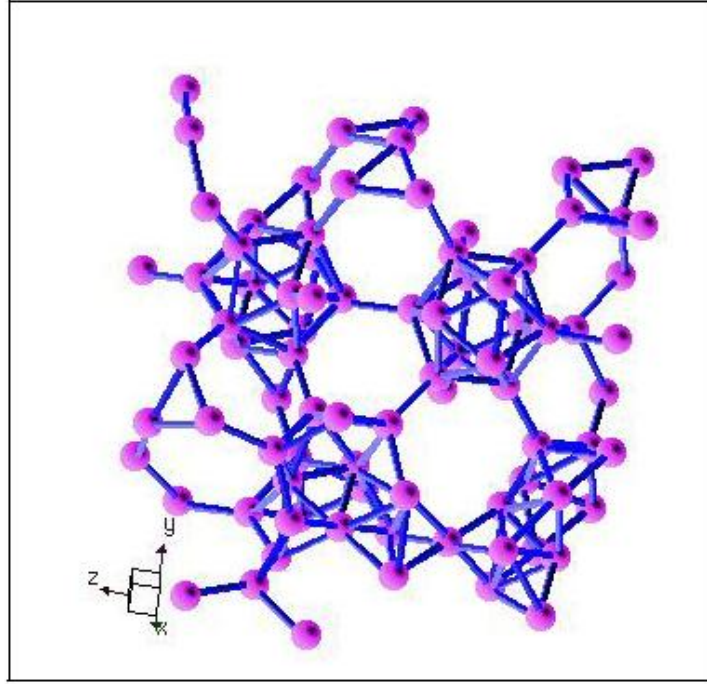
1950 senesinde Bigadiç yöresinde ve 1952 senesinde ise Mustafa Kemal Paşa yöresinde kolemanit rezervleri bulunmuştur. 1956 senesinde Kütahya Emet'te Kolemanit, 1961 senesinde ise Eskişehir Kırka yöresinde boraks rezervlerinin bulunarak işletmeye başlanmasıyla ülkemiz, dünya bor üretimi içerisindeki payını %3'ten, , 1977 senesinde %39 seviyesine çıkarmıştır.

2.1.2. Borun özellikleri

Bor elementinin erime noktası belli değildir, fakat tahmin edilen en iyi erime noktası 2200°C'dir. Çizelge 2.1'de bor özellikleri gösterilmektedir.

Çizelge 2.1. Borun özellikleri

Atom ağırlığı	10.811 ± 0.005 g/mol
Kaynama noktası	2500°C
Yoğunluğu	2.34 g /cm ³
Oksidasyon sayısı	3
Elektronegatifliği	2.0
İyonlaşma enerjisi	191 k cal /g atom
Sertliği	9.3 Mohs
Atom yarıçapı	0.98
Fusion Isısı	5.3 k cal / g atom
Buharlaşma Isısı	128 k cal / g atom
Kristal Yapısı	Hexagonal



Şekil 2.1 Bor'un Kristal yapısı

Doğal olan iki adet izotopu vardır, bu izotoplar; ^{10}B (%18,8) ve ^{11}B (%81,2)'dir. ^{10}B (%18,8) ve ^{11}B (%81,2) izotoplarının çekirdeklerinde spine olduğu için nükleer mağnetik rezonans incelemelerinde kullanılabilir.

Kristal bir yapıya sahip olan bor elementi, çok hafif, sert, çizilmelere karşı dayaklı ve ısıya karşısında istikrarlıdır. Bor elementi kızıl ötesi ışıpta bir takım dalga boylarına karşısında şeffaftır; ayrıca oda sıcaklığına geldiğinde elektrik iletkenliğini azdır. Sıcaklık artırıldığında elektrik iletkenliği de artar. Bor, hidroklorik ve hidroflorik asitlerle birlikte tepkimeye girdiğinde yapısı bozulmaz. Fakat çok ince öğütülmüş olan bor, konsantre nitrat asit ile tepkimeye sokulduğunda az miktar oksitlenme olabilir.

Katıksız olarak bor elde elementini sağlamak kolay değildir. %95 ile %98 katıksız bor elementi, borik asid ile magnezyumun indirgenmesinden amorf olarak elde edilir. Kazanılan bor elementi, oksit ile bor elementinin bulunduğu bileşikleri içinde bulundurur.

Borun kimyasal özellikleri, yapısına ve tanesindeki büyüklüğe göre değişiklik gösterir. Mikron ebattaki amorf bor, çok kolay ve bazen de fazlaca etkileşime girerken, kristal bor basit bir şekilde etkileşime girmez. Bor elementi yüksek sıcaklık altında su ile etkileşime girerek borik asit ve diğer bileşikler meydana getirir.

Bor yanıcı bir elementtir, ama tutuşma için yüksek sıcaklık gerektirir. Buna ek olarak yanınca çevreyi kirletmeme gibi bir özelliği olduğundan katı yakıt hücresi olarak kullanılmaktadır.

2.1.3. Çeşitli Bor Mineralleri

Çeşitli bor minerallerine ait molekül formülleri aşağıda Çizelge 2.2 ve Çizelge 2.3 te gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Bor mineralleri ve molekül formülleri

Kristal Suyu İçeren Boratlar	
Kernit (razorit)	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Tinkalkonit	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Boraks (Tinkal)	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
Sborgit	$\text{NaB}_5\text{O}_8 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Eakwrit	$\text{Na}_4\text{B}_{10}\text{O}_{17} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Probertit	$\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Üleksit	$\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Nobleit	$\text{CaB}_6\text{O}_{10} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Gowerit	$\text{CaB}_6\text{O}_{10} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Florovit	$\text{CaB}_2\text{O}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Kolemanit	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Meyerhofferit	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
İnyoit	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 13\text{H}_2\text{O}$
Preseit(pandermit)	$\text{Ca}_4\text{B}_{10}\text{O}_{19} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Tercit	$\text{Ca}_4\text{B}_{10}\text{O}_{19} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Ginorit	$\text{Ca}_2\text{B}_{14}\text{O}_{23} \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Pinnoit	$\text{MgB}_2\text{O}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
Kaliborit	$\text{HKMg}_2\text{B}_{12}\text{O}_{21} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$
Kurnakavit	$\text{Mg}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 1.15\text{H}_2\text{O}$
İnderit	$\text{Mg}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 1.15\text{H}_2\text{O}$
Predorazhenskit	$\text{Mg}_3\text{B}_{10}\text{O}_{18} \cdot 4 \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$
Hidroborasit	$\text{CaMgB}_6\text{O}_{11} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
İnderborit	$\text{CaMgB}_6\text{O}_{11} \cdot 1.1\text{H}_2\text{O}$

Çizelge 2.2. (devam)

Larderellit	$(\text{NH}_4)_2\text{B}_{10}\text{O}_{16}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Ammonioborit	$(\text{NH}_4)_3\text{B}_{15}\text{O}_{20}\cdot (\text{OH})_8\cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Veatçit	$\text{SrB}_6\text{O}_{10}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$
p-Veatçit	$\text{SrB}_6\text{O}_{10}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Bileşik Boratlar (Hidroksil ve/veya Diğer Tuzlar İle)	
Teeploit	$\text{Na}_2\text{B}\cdot (\text{OH})_4\text{Cl}$
Bandilit	$\text{CuB}\cdot (\text{OH})_4\text{Cl}$
Hilgardit	$\text{Ca}_2\text{BO}_8\cdot (\text{OH})_4\text{Cl}$
Borasit	$\text{Mg}_3\text{B}_7\text{O}_{13}\text{Cl}$
Fluoborit	$\text{Mg}_3(\text{BO}_3)$
Hambergit	$\text{Be}_2(\text{OH}, \text{F}) \text{BO}_3$
Suseksit	MnBO_3H
Szaybelit	$(\text{Mg}, \text{Mn})\text{BO}_3\text{H}$
Roveit	$\text{Ca}_2\text{Mn}_{22}(\text{OH})_4 (\text{B}_4\text{O}_7(\text{OH})_2)$
Seamanit	$\text{Mn}_{32}(\text{OH}) \text{B} (\text{OH})_4 (\text{PO}_4)$
Viserit	$\text{Mn}_4\text{B}_2\text{O}_5 (\text{OH}, \text{Cl})_4$
Lüneburgit	$\text{Mg}_3 (\text{PO}_4)_2\text{B}_2\text{O}_3\cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Kahnit	Ca_2Bas
Sulfoborit	$\text{Mg}_3\text{SO}_4\text{B}_2\text{O}_4 (\text{OH})_2\cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Borik Asit	
Sassolit (doğal borik asit)	$\text{B}(\text{OH})_3$
Susuz Boratlar	
Jenemejevit	$\text{Al}_6\text{BO}_{15}\cdot (\text{OH})_3$
Kotoit	$\text{Mg}_3\text{B}_2\text{O}_8$
Nordenskiöldine	CaSnB_2O_6
Rodozoit	$\text{CsB}_{12}\text{Be}_4\text{Al}_4\text{O}_{28}$
Varvikit	$(\text{Mg}, \text{Fe})_3\text{TiB}_2\text{O}_8$
Ludvigite	$(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}) 2\text{Fe}^{2+}\text{BO}_5$
Paygeit	$(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}) 2\text{Fe}^{3+}\text{BO}_5$
Pinakiolit	$\text{Mg}_3\text{Mn}^{2+}\text{Mn}_2^{3+}\text{B}_2\text{O}_{10}$
Hulsit	$(\text{Fe}^{2+}\text{Mg}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Sn}^{4+}) 3\text{BO}_3\text{O}_2$
Borofluoritler	
Avagadrit	$(\text{K}, \text{Cs}) \text{BF}_4$
Ferruksit	NaBF_4
Borosilikat Mineralleri	
Akzinit grubu	$(\text{Ca}, \text{Mn}, \text{Fe}, \text{Mg}) 3\text{Al}_2\text{BSi}_4\text{O}_{15} (\text{OH})$
Bakerit	$\text{Ca}_4\text{B}_4(\text{BO}_4) (\text{SiO}_4)_3 (\text{OH}) 3\text{H}_2\text{O}$
Kapelenit	$(\text{Ba}, \text{Ca}, \text{Ce}, \text{Na})_3 (\text{V}, \text{Ce}, \text{La}) 6 (\text{BO}_3)_6 \text{Si}_3\text{O}_9$
Karyoserit	Melanoseritin toryumca zengin türüdür
Danburit	$\text{CaB}_2\text{Si}_2\text{O}_8$
Datolit	CaBSiO_4OH
Dumortiyerit	$\text{Al}_7\text{O}_3 (\text{BO}_3) (\text{SiO}_4)_3$
Grandidiyerit	$(\text{Mg}, \text{Fe}) \text{Al}_3 \text{BSiO}_9$
Homilit	$(\text{Ca}, \text{Fe}) 3\text{B}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}$
Howlit	$\text{Ca}_2\text{B}_5\text{SiO}_9 (\text{OH})_5$
Hyalotekit	$(\text{Pb}, \text{Ca}, \text{Ba})_4 \text{BSi}_6\text{O}_{17} (\text{OH}, \text{F})$
Kornerupin	$\text{Mg}_3\text{Al}_6 (\text{Sr}, \text{Al}, \text{B}) 5\text{O}_{21} (\text{OH})$
Manondonit	$\text{LiAl}_4 (\text{AlBSi}_2\text{O}_{10}) (\text{OH})_8$

Çizelge 2.2. (devam)

Melanoserit	$Ce_4CaBSiO_{12} (OH)$
Safirin	$Mg_3, 5Al_9Si, 5O_2$
Searlesit	$NaBSi_2O_6H_2O$
Serendibit	$Ca_4(Mg, Fe, Al)_6 (Al, Fe)_9 (Si, Al)_6 3O_4$
Turmalin Grubu Mineraller	
Tritom	$(Ce, La, YTh5(Si, B)_3 (O, OH, F)_{13}$
İdokr (Vezüvyanit)	$Ca_{10}Mg_2Al_4 (Si_4)_5 (Si_2O_7)_2 (OH)_4$

Çizelge 2.3. Ticari önemi olan bor mineralleri

Mineral	Formülü	% B ₂ O ₃	Bulunduğu yer
Boraks (Tinkal)	$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$	36,6	Kırka, Emet, Bigadiç, A.B.D
Kernit(Razorit)	$Na_2B_4O_7 \cdot H_2O$	51,0	Kırka, A.B.D., Arjantin
Üleksit	$NaCaB_5O_9 \cdot 8H_2O$	43,0	Bigadiç, Kırka, Emet, Arjantin
Propertit	$NaCaB_5O_9 \cdot 5H_2O$	49,6	Kestelek, Emet, A.B.D
Kolemanit	$Ca_2B_6O_{11} \cdot 5H_2O$	50,8	Emet, Bigadiç, Küçükler, A.B.D
Pandermit(Priseit)	$Ca_4B_{10}O_{19} \cdot 7H_2O$	49,8	Sultançayır, Bigadiç
Borasit	$Mg_3B_7O_{13}Cl$	62,2	Almanya
Szaybelit	$MgBO_2(OH)$	41,4	B.D.T.
Hidroborasit	$CaMgBO_{11} \cdot 6H_2O$	50,5	Emet

2.1.4. Türkiye ve Dünyadaki bor rezervleri

Bor elementi, genel olarak su, toprak ve kayada fazla miktarda bulunur. Toprakta ki bor elementi ortalama 10–20 ppm olup, Amerika'nın batı bölgesinden, Akdeniz'den Kazakistan'a kadar olan bölgede fazla konsantrasyonda yer alır. Denizdeki suda bulunan bor, 5–9,6 ppm arasında, tatlı sularda ise 0,01–1,5 ppm arasındadır. Borun oksijen ile bağlanmış bileşenleri, yüksek konsantrasyonda ve ekonomik boyutta olan

bor yatakları, genelde Türkiye ve ABD'nin volkanik ve kurak olan bölgeleri ile hidrotermal aktivitesinin çok olduğu yerlerde bulunmaktadır.

Dünyada bulunan bor mineral kaynaklarının oluşumu başlıca üç bölgededir:

Birinci bölge, Amerika'nın Güneybatı bölgesinde ki, Mojave Çölü yöresidir.

İkinci bölge, ülkemizde de içinde bulunduğu Güney Orta Asya Alp kuşağı bölgesidir.

Son bölge ise, Güney Amerika And kuşağı kaynaklarıdır.

Dünyanın en büyük bor kaynakları ülkemizde Kırka, Emet, Bigadiç bölgelerinde ve ABD'nin Kaliforniya eyaletinde ihtiva edilmektedir.

Çizelge 2.4. Bor rezervlerinin ülkelere göre dağılımı*

Ülke	Toplam Rezerv (Bin ton B ₂ O ₃)	Toplam Rezerv (% B ₂ O ₃)
Türkiye	885.000	71.3
A.B.D.	80.000	6.5
Rusya	35.000	2.8
Çin	47.000	3.8
Arjantin	9.000	0.7
Bolivya	19.000	1.5
Şili	41.000	3.3
Peru	22.000	1.8
Kazakistan	102.000	8.2
İran	1.000	0.1
Toplam	1.241.000	100

*ROSKILL 2010 verilerine göre hazırlanmıştır.

Çizelge 2.5. Türkiye bor rezervlerinin maden sahalarına göre dağılımı 2015

Maden Sahası	Tabii Borat	Toplam Rezerv (Bin Ton)
Bigadiç, Balıkesir	Kolemanit, Üleksit	631.865.000
Emet, Kütahya	Kolemanit, Üleksit	1.815.291.000
Kestelek, Bursa	Kolemanit	5.555.000
Kırka, Eskişehir	Tinkal	832.676.000

2.1.5. Üretilen bor ürünlerinin cinsi ve yeri**Çizelge 2.6.** Üretilen bor ürünlerinin yeri ve T/Yıl

Tesisin Yeri	Ürün Cinsi	Üretimi (T/Yıl)
Kırka	Konsantre Tinkal	800.000
Emet	Konsantre Kolemanit	400.000
Bigadiç	Konsantre Kolemanit-Üleksit	400.000
Bigadiç	Öğütmüş Kolemanit	60.000
Kestelek	Konsantre Kolemanit	100.000
	TOPLAM	1.760.000

Bandırma ve Kırka'da bor üretim tesisleri vardır. Bu tesislerde üretilen toplam bor konsantresi 1.760.000 ton/yıldır.

Çizelge 2.7. Ürün cinsine göre üretim

Ürün Cinsi	Üretim (T/Yıl)
Boraks Dekahidrat	47.000
Susuz Boraks	60.000
Sodyum Perborat Tetrahidrat	20.000
Sodyum Perborat Monohidrat	4.500
Boraks Pentahidrat	320.000
Borik Asit	85.000

Çizelge 2.8. Kurulmakta olan tesislerin kapasiteleri

Tesisin Yeri	Ürün Cinsi	Kapasitesi
Emet	Borik Asit	100.000
Kırka	Boraks Pentahidrat	500.000

2.1.6. Bor ürünlerinin kullanım alanları

Bor mineralleri ile bor ürünleri çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Elde bor elementinin %10'luk kısmı direk mineral olarak kullanılırken kalan kısmı çeşitli bor ürünleri oluşturmak için kullanılır.

Cam Sanayi

Bor elementi; cam sanayisinde nadir olarak değerlendirilmektedir. Özel olarak üretilen camlarda borik asit önemli öge olup, borik asit, rafine sulu / susuz boraks veya kolemanit / boraks gibi saf olarak değerlendirilmektedir. Bor, eritilen camın ara maddesine eklendiğinde camın viskozitesini arttırıp, yüzeydeki sertliği ve dayanıklılığı artırdığı için, ısıya karşı izolasyon gerektiği durumlarda cam ürünlerine katılır.

Cam Elyafı

Maliyete göre sulu yda susuz olarak değerlendirilmekte ve bazen borik asit olarak faydalanılmaktadır. İstenilen yalıtıma göre farklı özellikler tarif edilir: R-1, R-7 v.b. gibi. Yapılarda yalıtım sağlamak için kullanılmaktadır.

Hafif olması, düşük fiyatlı olması, gerilmeye karşı dirençli olması ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı olması sebebiyle plastik ve sınaî elyaf gibi malzemelerde, lastik ile kâğıtta bulunan cam olan elyaf, eklendiği malzemelerin sert olmasını ve bu malzemelerin mukavemet kazanmasını sağlamaktadır. Çeşitli spor aletlerinde de (kayaklar, tenis raketleri v.b.) kullanılmaktadır. Araçlarda bor kullanılması, araç

ağırlığını azaltarak yakıttan tasarruf sağlamaktadır. Bunların dışında, cam elyafın kullanıldığı araçlarda oksitlenme daha geç olmaktadır.

Optik Cam Elyafı

Gelen ışığın daha etkili şekilde aktarılmasına sebep olmaktadır. İngiliz bilim adamı Felecon'un oluşturduğu elyaf saniyede 140 milyon baytı 27 km uzağa öteleyebilmektedir. Elde edilen lifler %6 borik asit bulundurmaktadır.

Seramik Sanayi

Metal üzerine kaplanan emaye, güzel bir görünüme ve oksitlenmemeye sebep olur. Emaye ile kaplanan elementler asit karşısında dayanıklıdır Mutfakta kullanılan aletlerin bir çoğu emaye ile kaplıdır.

Temizleme ve Beyazlatma Sanayi

Sabun ve deterjanlara zararlı organizmaları yok edici ve su yumuşatması sebebiyle %10 boraks dekahidrat, ayrıca beyazı daha da artırmak için deterjan içine %10–20 arasında sodyum perborat ($\text{NaBO}_2\text{H}_2\text{O}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) katılır.

Dünyada perborat'ın %86'sı Avrupa'nın batı kısımlarında kullanılmaktadır.

Yanmayı Önleyici (Geciktirici) Maddeler

Bordan elde edilen bir takım ürünler ateşe karşı dayanım sağlar. Ateşe dayanıklı selülozik yalıtım maddelerinin kullanımı borik asite olan talebi artırmıştır.

Tarım Sektörü

Bor elementinin, bitki örtüsü üzerinde de etkisi vardır. Bor, farklı miktarlarda çoğu bitki için temel olan besin kaynağıdır.

Ayrıca, sodyum klorat ve bromosol gibi bileşenlerle beraber otların ve toprağın temizlenmesi gereken durumlarda kullanılır.

Nükleer Uygulamalar

Atom reaktörlerinde çeşitli bor alaşımları kullanılır. Bor içeren paslanmaz çelik, nötronu absorbe ettiği için tercih edilmektedir. Yaklaşık olarak bir nötronu bir bor atomu tutmaktadır.

Ayrıca, nükleer atıklar depolanırken kolemanitten faydalanılır.

Enerji Depolama

Yapılarda çatı malzemesine eklenirse güneş ışınlarını absorbe ederek, yapıyı ısıtır.

Otomobil Hava Yastıkları ve Antifriz

Bor elementi, hava yastıklarını çabuk şişirdiği için tercih edilebilir. Çarpışma sırasında, bor elementi potasyum nitratın toz haliyle karışarak sensör yardımıyla harekete geçer. Geçen toplam süre ise 40 milisaniyedir.

Atık Temizleme

Su içerisinde bulunan birtakım ağır metallerin(sodyum borohidrat, kurşun, civa, gümüş) temizlenmesi için kullanılır.

Yakıt

Sodyum tetraborat, bazı durumlarda kullanılan yakıtlarda katkı olarak tercih edilebilmektedir.

Önceleri Amerikan Donanmasında uçaklarda yakıtı olarak kullanılmakta idi.

Sağlık

BNCT (Boron Neutron Capture Therapy) kanser olan hastalarda değerlendirilmektedir.. Bilhassa; beyin kanseri tedavisinde hastalıklı hücrelere etki edip, sağlam sağlıklı hücrelere en az seviyede zarar vermesi sebebiyle tercih edilebilir.

Hatta bazı ülkeler normalde insan vücudunda mevcut olan boru, tablet şeklinde üretmeye başlamıştır.

2.1.7. Bor mineralleri işletme müesseseleri

Bigadiç madenleri İşletmeleri müessesesi:

Balıkesir'in Bigadiç ilçesinde kurulu, kolemanit üretimi yapan, Etibank'a bağlı kuruluş. 1976'da kurularak 1979'da üretime geçen tesislerde yılda 100 bin ton cam sanayisi ve bor türevleri üretiminde kullanılan kolemanit konsantresi üretilmektedir. 1983'te yapılan saptamalara göre, bölgenin rezerv miktarı, 532 milyonu görünür olmak üzere 2,8 milyar tona ulaşmaktadır.

Etibank Emet Kolemanit İşletmesi Müessesesi:

Türkiye'nin en önemli bor rezervlerinde biri Kütahya-Emet bölgesinde bulunan bor yatağıdır.

Tesiste %28,5 B₂O₃ ve %17–28 B₂O₃ içeren cevherden, -100+25 mm boyutunda ortalama %45 B₂O₃ içerikli, -25+3 mm boyutunda %41 B₂O₃ içerikli ve -3+0,02 mm boyut grubunda %40 B₂O₃ içerikli konsantreler üretilmektedir. Atılan artığın B₂O₃ tenoru ise %11–14 arasında değişmektedir (DPT 2001).

Kırka Bor İşletme Müdürlüğü

Eskişehir ilinin 70 km güneyinde Kırka bucağının 4.5km batısında bulunan bu işletme, dünyanın en büyük rezervinin bir kısmını oluşturmaktadır.

Kestelek Bor İşletme Müdürlüğü:

Kestelek bölgesinde yapılan faaliyetler, MTA Enstitüsünün linyit üzerine yapılan çalışmaları ile başlamıştır. Bor elementi 1950'li yıllarda bulunmuş olup, 1979 yılına gelinceye kadar farklı kurumlarda işletilerek, işletmesi 1979 yılında Etibank'a (şimdi Eti Maden) verilmiştir.

2.2. Çimento**2.2.1. Çimento tarihi**

Latince “caementum” kelimesinde türetilen, “çimento” kelimesi, yontulmuş taş kırıntısı anlamına gelmektedir. Betonarme yapılar ilk olarak 1852 yılında yapılmış olsa da, bağlayıcı olarak kullanılan malzemelerin daha eski yıllarda kullanılmıştır. Kireci ilk defa ne zaman bağlayıcı olarak kullanıldığı bilinmemektedir. Ama insanlık tarihinin ilk

yıllarına dayandığı söylenebilir. Sönmüş kirecin uygulamalarına, mağara duvarlarındaki resimlerde rastlanmıştır. Sonraları mağaraların içinde ve dışında dekorasyon amaçlı kullanılmaya başlanmıştır.

Mısır Piramitleri, Çin Seddi ve farklı tarihlerde yapılan kalelerde ait oldukları dönemler ait medeniyeti işaret eden farklı şekilde bağlayıcılar kullanılmıştır. Sonrasında Romalılar 2000 yıl kadar önce, sönmüş olan kireci volkanik küller ile karıştırmıştır. Daha sonra pişmiş tuğladan öğütülen tozlarla karıştırıp bu gün kullandığımız çimentonun özelliklerine benzer bağlayıcı elde etmişlerdir.

Eski Yunanlılar harç yapmak için Santorin Adası'nda bulunan volkanik tüflerle kireci karıştırmışlardır. Ayrıca kireç ile puzolan karışımının hidrolik özelliğini farketmiş, bunu kullanmış, ancak, kirecin elde edilmesi ve puzolanik reaksiyonları açıklayacak bir bilgileri olmamıştır.

Ancak 18.yy'a gelindiğinde bağlayıcı malzemelerin önemi konusunda gelişme gösterilmiştir.

2.2.2. Çimento çeşitleri

Çimentonun ham maddeleri kalker kildir. Bu hammaddeleri mineral parçalarla (kum, tuğla, çakıl, biriket..vs) yapıştırmak için kullanılan malzemelere çimento denir. Çimento bu yapıştırma işlemini su ile gerçekleştirir. Çimento su ile tepkimeye girdiği zaman sertleşen bir bağlayıcı şekline dönüşür.

Çimentonun en sık kullanılan çeşitleri, Portland Kompoze Çimento, Katkılı Çimento, Cürüflü Çimento ve Sülfata Dayanıklı Çimento'dur. Bunlardan başka özel amaçlı kullanılan Beyaz Portland Çimentosu ve bir takım farklı tip çimentolar vardır.

Çimento hamurunun dayanıklılığı büyük oranda su/çimento oranına bağlıdır.

Ayrıca, üretilen beton özelliklerini yükseltmek amacıyla katkı maddesi kullanılabilir. Kullanılan bu katkı maddelerini kimyasal ve mineral katkı olmak üzere sınıflandırabiliriz.

Çimento Çeşitleri

TS EN 197-1 standardı çıktıktan sonra özel amaçlı üç çimento standardı dışındaki bütün eski standartlar yürürlükten kaldırılmıştır. Bu üç standart TS 21 Beyaz Portland Çimentosu, TS 22 Harç Çimentosu ve TS 10157 Sülfatlara Dayanıklı Çimento standartlarıdır. Yürürlükten kaldırılan genel amaçlı çimentoların eşdeğerleri yeni standartta kapsamaktadır.

Yeni TS EN 197-1 standardı, ülkemizde şu anda beton üretiminde kullanılan çimento tiplerinden daha fazla çimento tipinin kullanılabilceğini sağlamaktadır.

TS EN 197-1, çimentoları, CEM I'den (Portland Çimentosu) CEM V'e (kompoze çimento) kadar beş ana tipe işaretlendirmektedir. İşaretleme şunları içermektedir: ana çimento tipi; Portland çimento klinkeri oranı; ikinci ana bileşen; standart (örn. 28-günlük) dayanım sınıfı ve erken dayanım kazanma hızı.

Örneğin bir Portland Cürüflü Çimento tipi şu şekilde gösterilir:

CEM II/A-S 42,5 N

Alt-sınıf "N" normal erken dayanımı, "R" hızlı erken dayanımı göstermektedir.

Standart dayanım sınıfları

Alt-tip, ikinci ana bileşeni (bu örnekte yüksek fırın cürufunu) göstermektedir.

Portland çimentosu klinkerinin oranını (A) yüksek, (B) orta ve (C) düşük olarak göstermektedir.

Ana çimento tipi

Çimentonun Bileşen Malzemeleri

Tablo 1’de de gösterilen TS EN 197-1’deki değişik çimento tiplerine göre çimentonun bileşen malzemeleri şu şekildedir:

- ana bileşen, örn. Portland çimentosu klinkeri;
- ikinci ana bileşen, örn. uçucu kül, yüksek fırın cürufu, kalker, silis dumanı;
- minör ilave bileşen, örn. uçucu kül, yüksek fırın cürufu, kalker, doğal puzzolan;
- priz ayarlayıcı, örn. kalsiyum sülfat;
- kimyasal katkıları, örn. pigmentler, hava sürükleyici katkıları.

İkinci ana bileşeni belirten harfler şu şekildedir:

- S – yüksek fırın cürufu;
- D – silis dumanı;
- P – doğal puzzolan;
- Q – doğal kalsine puzzolan;
- V – silissi uçucu kül;
- W – kalkersi uçucu kül;
- T – pişmiş şist;
- M- üsttekilerden ikisi veya daha fazlası.

2.2.3. Çimento bileşenleri

Çimentonun dört ana bileşeni karma oksitlerdir (Erdoğan 2003).

Çizelge 2.9. Çimento bileşenleri

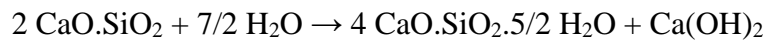
Anabileşenler		Çimentodaki Sembolü
2CaO.SiO ₂	Dikalsiyum silikat,	C ₂ S
3CaO.SiO ₂	Trikalsiyum silikat,	C ₃ S
3CaO.Al ₂ O ₃	Trikalsiyum alüminat,	C ₃ A
4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	Tetrakalsiyum aluminoferrit,	C ₄ AF

Bu dört ana bileşenden farklı olarak alçıtaşı (CaSO₄2H₂O) ve CaO, MgO, bazende Na₂O, K₂O ve erimeyen maddeler (çoğunlukla SiO₂) de bulunabilir.

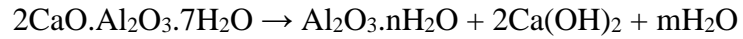
2.2.4. Suyun çimento bileşenlerinin özellikleri

Sönmemiş (susuz) kirece su katıldığında, kireç kabarak sönerken ısı açığa çıktığı çok eskiden beri bilinmektedir. Kirece su katıldıkça hızlı bir sertleşme görülmez, fakat zamanla kendi haline bırakılan sönmüş kireçte veya kumla karıştırılmış kireç harcında karbonatlaşma (CaCO₃'a dönüşme) etkisiyle yavaş seyreden bir sertleşme görülmektedir. Su kireçleri, çimentolar ve alçı su altında hızla sertleşmektedir. Hidrolik maddelerin sertleşme olayı Le Chatelier teorisine göre iki aşamada gerçekleşmektedir: (1) bağlanma, (2) sertleşmedir. Bağlanma, birkaç dakikada meydana gelebilen hidratların belirli bir düzene göre kristallere dönüşmesi şeklinde gerçekleşmektedir. Sertleşme, amorf hidratların çözünerek tekrar kristalleşmesi (küçük kristallerin daha büyük kristallere katılmaları) biçiminde oldukça uzun sürede gerçekleşmektedir.

Bağlanma reaksiyonları aşağıdaki gibidir:



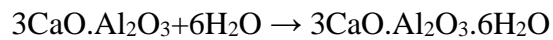
Sertleşme olayında ise, çimentonun diğer önemli bir bileşeni olan trikalsiyum alüminat, su ile birçok hidrat vermektedir. Ancak kireç oranı yüksek olan çimento ortamında, $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ oluşmakta ve bu hidrattan da su etkisiyle yavaş yavaş $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ meydana gelmektedir:



Böylece tetrakalsiyum alüminat ve dikalsiyum alüminat hidratlar hidrolize uğrayarak çimento harcının sertleşmesine neden olmaktadır. Sonuç olarak; bağlanına trikalsiyum silikat, sertlik ise trikalsiyum alüminat yoluyla gerçekleşmektedir.

2.2.5. Çimentonun donması

Çimento ve su alışverişinde, bu bileşenler hidroliz ve hidrate olmak kaydıyla kütleyi dondururlar. Bu duruma çimentonun DONMASI denir. Çoğunlukla 2 saat ile 3 saat arasında devam eder. Bahse konu hidroliz ve hidrate olma olayının reaksiyon denklemleri aşağıda gösterilmiştir:



Betonun sertleşmesi çimentoyla bağlantılıdır. Çimentonun sertleşmesi, su ile olan harcının sertleşmesi olarak değerlendirilip, yeni tepkime türü olan ‘Hidrolik Yer

Değiştirme' olarak isimlendirilmiştir. Bu yer değiştirmeye trikalsiyum silikatın hidrolizini örnek olarak verebiliriz:

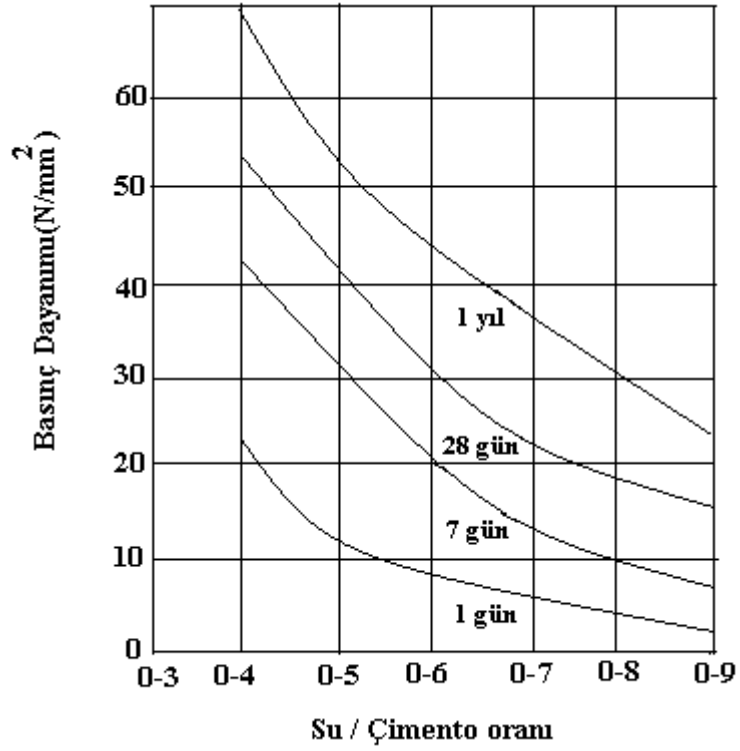


2.2.6. Su imento oranı(S/)

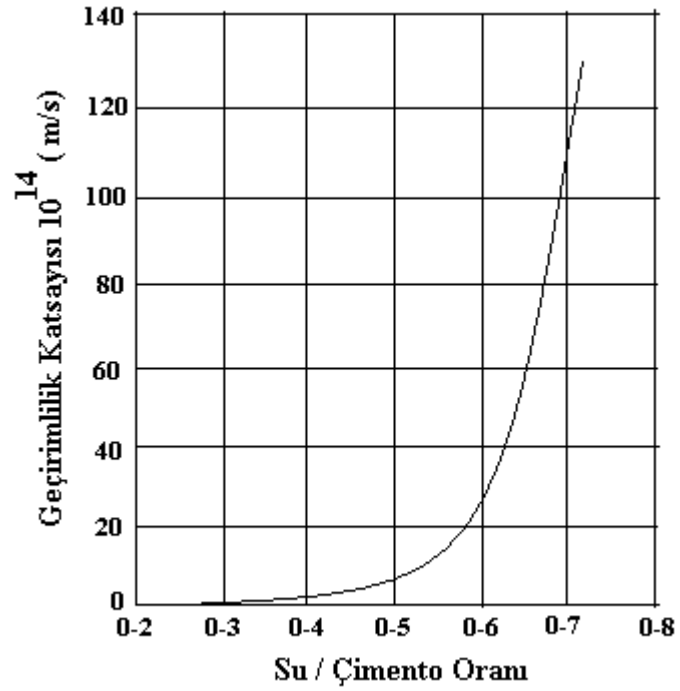
Beton içerisinde kullanılan S/, genel olarak mukavemet esas alınarak seçilmektedir.

Çizelge 2.10. Su /imento(S/) oranı ile 28 günlük beton basınç dayanımı arasındaki ilişki

28 Günlük Silindir Basınç Dayanımı (N/mm ²)	S/ Oranı (Ağırlıkça)	
	Normal Beton	Hava sürüklenmiş Beton
45	0,38	-
40	0,43	-
35	0,48	0,40
30	0,55	0,46
25	0,62	0,53
20	0,70	0,61
15	0,80	0,71



Şekil 2.2. Basınç dayanımının su / çimento oranı ile değişimi



Şekil 2.3. Geçirimsizliğin su çimento oranı ile değişimi

2.2.7. Çimento ve kimyasal katkı uyumu

Yüksek performanslı betonların (YPB) üretimi ve yaygınlaşması sonucunda süper akışkanlaştırıcı (SP) çimento uyumu önemli bir sorun haline gelmiştir. Standartlara uygun olarak katılan portlant çimentolarının özellikleri istenilen uyum koşullarını sağlamada yetersiz kalmaktadır. Ayrıca standartlarda saptanmış sınırlar ve önerilen deney teknikleri YPB'lerde istenilen nitelikleri açıklayamamaktadır. Uyumsuzluk sertleşmiş betonda ve taze betonda ortaya çıkmaktadır. Çok düşük su ilavesi ile üretilen YPB'lerde taze halde önemli sorun işlenebilmenin sağlanmasıdır. Bu husus süper akışkanlaştırıcı moleküllerin adsorplanması kapasitesine bağlıdır.

SP'nin varlığı ve suyun azlığı hidrasyon ürünlerinin farklı olmasına ve içyapı morfolojisinin değişmesine neden olur. Bu değişiklikler sonunda priz ve setleşme süreleri, hidrasyon ısı değeri ve hızı farklılaşır, dayanımda istenilen seviyeye ulaşamaz. Ortaya çıkan bu sorunlar çimentonun C_3A , C_4AF içeriklerinin oranlarından, çözünen alkali tuzların

Cins ve miktarlarından, klinkere katılmış sülfatların tür ve oranlarından kaynaklanmaktadır. Normal betonlar seviyesinde ele alınmış bu araştırmalar SA katılımları ve YPB içinde yapılmıştır (Bozkurt 1984; Özsoy 1991).

2.2.8. Borlu Aktif belit çimentosunun üretimi ve tanımı

İçerisinde bor bulunan çimento, Kolemanit'in borik asit üretiminde yüksek tenörlü kısmının Borik Asit üretiminde kullanılmasının ardından kalan az tenörlü kısmının, diğer çimento hammaddelerine (farin) ek olarak belli oranda kullanılması ile (BAB çimentosu üretiminde hammadde içinde %10 oranında kolemanit kullanılmıştır) elde edilmiştir. Bu değer nihai ürün içerisinde yaklaşık %2,5 B_2O_3 değerine tekabül etmektedir.

Kolemanit kullanım oranı gerçekte içindeki B_2O_3 tenörüne bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Klinker içinde %2,5 ilâ %3,0 arasında olacak şekilde girdi oranı ayarlanmalıdır. Nihai ürün içindeki B_2O_3 miktarının %2,5 ilâ %3,0 arasında olması en ideal veya optimum oran olarak bulunmuş değerlerdir.

Kalsiyum boratlar, çimento üretilirken döner fırındaki eriyiğin viskozitesini ve yüzey gerilimini azalttıkları için iyi akışkanlaştırıcılardır.

Daha önce bahsedildiği gibi bor katkılı çimento üretimi esnasında, döner fırının sıcaklığı $1450^{\circ}C$ 'nin üzerinde dahi olsa B_2O_3 nedeniyle C_3S faz hiç oluşmamaktadır ve onun yerine C_2S 'in yüksek sıcaklık polimorflarından α ve/veya α' - C_2S kristal yapısına sahip oldukça aktif ve kararlı belit fazının oluşmasına sebep olmaktadır. Yapılan araştırma sonuçlarına göre bor oksit nedeniyle de çimentoda $1750^{\circ}C$ sıcaklıkta dahi C_3S oluşumu meydana gelememektedir. Dolayısıyla bu çimento "Borlu Aktif Belit (BAB) Çimentosu" diye isimlendirilmektedir. Belitli çimentolar üzerindeki çalışmalar 3 grup altında toplanabilmektedir;

- 1) C_2S fazının hidrolik aktivitesi,
- 2) İlave çimento bileşenleri olmadan yapılan zengin belit içerikli çimentonun hidrolik aktivitesi,
- 3) Sülfalüminat (C_4A_3S) gibi ilave çimento bileşeni ile zengin belit içerikli çimentonun hidrolik aktivitesi.

Grup 3 içinde, düşük enerjili belit içeriği yüksek hızlı sertleşen sülfalüminat içerikli ve daha düflük hidrolik aktiviteli β - C_2S kristal yapılı çimentolar üretmek de mümkündür.

2.2.9. Aktif belitli çimentolar

Kireç Dolgunluk Faktörü (KDF) değeri %85'in hemen altında yeterli mukavemet verebilen bir Portland çimentosu üretebilmek için hidrolik aktivitesi yüksek belitli

çimento üretmek gereklidir. Belit'in (C_2S) hidrolik reaktivitesini veya aktivitesini artırmak için birkaç yaklaşım mevcuttur;

- 1) Yüksek sıcaklık polimorfunu elde edebilmek için klinkerin hızlı bir şekilde soğutulması,
- 2) Yüksek sıcaklıkta klinkerleşme esnasında yabancı iyonların sisteme dâhil edilmesi (B_2O_3 , P_2O_5 veya Alkaliler gibi) ve belit'in kristal yapısı içerisine sokularak tekrar yüksek sıcaklık kararlı aktif polimorfun hızlı soğutma ile elde edilmesi,
- 3) Yüksek belitli çimento içerisine normal portland çimentosu klinkerinin ilavesi ile istenilen özelliklerin kazandırılması.

Saf C_2S klinkerleşme esnasındaki sıcaklık ve basınca bağlı olarak toplam 5 adet polimorfik özellik gösterir. Sadece biri hariç diğerlerinin hepsi yarı kararlıdır.

Portland çimentosunda ve arasındaki denge sıcaklığı $1280^\circ C$ 'dir ve dönüşüm $1100^\circ C$ 'de maksimuma ulaşılır. Azalan soğutma hızı ile fazı baskın olma eğilimindedir ve sonunda belit fazı tamamen bu formdan ibaret oluşur. Ancak, yavaş soğutma sonucunda polimorfun ardından β - C_2S oluşmaktadır. β - C_2S 'in hidratasyonu yavaşlatır, ancak çok hızlı soğutma ile elde edilen ve fazları daha hidrolik ve aktiftirler.

Aktif belit çimentosunun geliştirilmesinde en önemli amaç çimento üretimi esnasındaki enerji tüketimini azaltmaktır. Bunun sonucunda CO_2 emisyonu da azaltılmaktadır. Aktif belit çimentosunun üretilmesi daha düşük dereceli kireçtaşlarının kullanılmasına da yol açar. Oluşan belitli çimento termal veya kimyasal yöntemlerle elde edilebilmektedir. Her 2 yöntem aynı anda da uygulanabilmektedir. KDF değeri 75 ile 85 arasında değişmektedir. Termal aktivasyon, $1300^\circ C$ ile $900^\circ C$ arasındaki sıcaklıktan en az $800^\circ C/dak.$ soğutma hızı ile sönümlenme sonunda başarılabilmektedir. Bu sönümlenme işlemi sonucunda en fazla %5 civarında yabancı iyonların bünyeye dâhil edilmesi ile - belit fazı kararlı halde oluşturulmaktadır. Bu şekilde üretilmiş belitli çimentolar ile yapılan deneyler sonucunda 3 gün sonunda 16 ile 22 MPa dayanım elde edilirken 28 gün sonunda 50 ile 60 MPa dayanım elde edilmiştir. KDF değeri 80 ile 82 arasında olan

bir aktif belit çimentosunun üretilmesi esnasında %10 ila %14 arasında enerji tasarrufu sağlanmakta ve klinkerleşme sıcaklığında ise en az 100°C'lik bir azalma sağlanmaktadır. Bir pilot fabrikada üretilmek istenilen aktif belit çimentosu 1000°C/dak soğutma hızı ile erken dayanımı da yüksek olan bir çimento üretilmiştir. Bu çimentonun 3 gün sonunda 16–22 MPa dayanıma ulaşırken 28 gün sonunda 50–60 MPa dayanıma ulaşmıştır. Bazı araştırmalar sonucunda puzolanların ve özellikle uçucu külün olduğu ortamda belit'in hidratasyonunun hızlandığı tespit edilmiştir.

2.2.10. BAB çimentosunun özellikleri

BAB Çimentosu kullanılarak yapılan betonların normal olan Portland çimentosu ile yapılanlara nazaran erken (3 ve 7 gün) dayanım değerleri daha düşük tespit edilmektedir. Ancak, alınabilecek ilave önlemler ile bugünün teknolojisi ile bu sorunun çözüme kavuşturulması mümkün görülmektedir. Belirli bir süre sonra (28 gün ile 90 gün arası), BAB Çimentosu dayanımı ile Portland çimentosu dayanımının aynı seviyeye ulaştığı, uzun vadede (90 gün ve ötesi) ise, BAB Çimentosunun öne geçtiği gözlenmiştir. Ayrıca, çimentonun inceliği arttırılmaksızın beton teknolojilerinde sık olarak kullanılan beton kimyasal katkıları (priz hızlandırıcılar, süper akışkanlaştırıcılar) ile de yüksek erken dayanım değerleri rahatlıkla elde edilebilecektir. BAB Çimentosu ile elde edilen betonların normal olan Portland çimentosu ile elde edilen betona nazaran bolluk oranı (kapiler bolluklar) çok daha düşük olduğundan daha sıkı bir yapıya (kompasitesi yüksek) sahip beton elde edildiği görülmektedir. Bolluk oranı diğer normal çimentolara göre çok daha düşük olduğundan aynı nispette geçirimsizliği de yüksek olmaktadır. Geçirimsizliği yüksek olan betonların durabilitesi ve servis ömrü daha uzun olacaktır. BAB çimentosunun hidratasyon ısısı çok düşük olduğundan özellikle ince kemer tipindeki baraj kütle betonlarında kullanılması çok uygundur. Bu çimentonun kullanılması ile ön-soğutma ve ard-soğutma gibi yüksek maliyetli işlemlerin kaldırılması mümkündür. Kütle betonlarında kullanılacak olan çimentoların toplam hidratasyon ısısı değerlerinin 7 gün ve 28 günde sıra ile 60 cal/g ve 70 cal/g değerlerini (kütle betonları için hidratasyon ısısı kriterleri) aşmaması gerekmektedir. BAB çimentosunda bu değerler, sırasıyla 50 Cal/g ve 60 Cal/g olarak elde edilmiştir. BAB

çimentosu kullanılarak elde edilen betonların normal olan Portland çimentosu ile yapılanlara göre erken (3 ve 7 gün) dayanım değerleri daha düşük tespit edilmektedir. Ancak, beton teknolojisindeki alınabilecek önlemler ile bu sorunun çözüme kavuşturulması mümkündür. Belirli bir süre sonra (28 gün ile 90 gün aras), BAB çimentosu dayanımı ile PÇ dayanımının aynı seviyeye ulaştığı, uzun vadede (90 gün ve ötesi) ise, BAB çimentosunun öne geçtiği gözlenmiştir. BAB Çimentosuyla elde edilen betonların normal olan Portland çimentosu ile elde edilen betona göre boşluk miktarı (kapiler boşluklar) çok daha az olduğundan daha sıkı bir yapıya sahip olan (kompasitesi yüksek) betonun dayanımı ve dayanıklılığı da daha fazla olacaktır. Boşluk oranı diğer normal çimentolara göre çok daha düşük olduğundan aynı nispette geçimsizliği de yüksek olmaktadır. Geçirimsizliği yüksek olan betonların durabilitesi ve servis ömrü daha uzun olacaktır. BAB çimentosu ile yapılan betonun pH değeri 13,0 değerinden daha yüksek ölçülmüş ve bu değer normal PÇ ile aynı düzeydedir. Karbonasyon oluşumu ve ardından beton içindeki donatının korozyonu BAB çimentolu betonun daha az geçirimli olması ile büyük oranda engellenmektedir.

BAB Çimentosu klinkerinin ana bileşeni di-kalsiyum silikattır.

Hidratasyon ıslısının düşük olduğu durumlarda sıcak havalarda kimyasal reaksiyonları etkinlik sağlayarak priz, sertleşme ve mukavemet artışının gerekli sürelerde oluşmasına katkıda bulunur. Buna karşın, soğuk havalarda BAB Çimentosu kullanılarak dökülen betonlarda, priz hızlandırıcı ve orta ve/veya yüksek oranda su azaltıcı kimyasal katkıların birlikte kullanılması gerektiği unutulmamalıdır. Diğer bir önemli bulgu, BAB Çimentosu kullanılarak hazırlanan betonun karışım suyu ihtiyacının, PÇ kullanılına göre daha az olmasıdır. Bunun nedeni, BAB Çimentosu ile yapılan betonun çökme (slamp) kaybının çok az olmasıdır. BAB Çimentosu kullanılarak imal edilen düşük kıvamlı beton için hedeflenen dayanım değeri, daha düşük çimento dozajı ile sağlanabilir. Bu özelliği ile BAB Çimentosunun hazır beton sektöründe avantaj sağlayacağı açıktır.

2.2.11. BAB çimentosu ile üretilen betonun durabilitesi

BAB çimentosu ile gerek çimento ve gerekse beton fazında özellikle durabilite ve performans deneylerine yönelik bir kısım deneyler gerçekleştirilmiş ve kayda değer sonuçlar elde edilmiştir. Beton teknolojisinde durabilite ile ilgili en önemli parametre W/C (Su/Çimento) oranıdır. W/C oranı azaldıkça betonun hem basınç dayanımı ve hem de geçirgenliğinin azalmasından dolayı durabilitesi artmaktadır. Bu nedenle betonda durabilite konusunda özellikle bu yönde çalışmalara yönelinmiştir. Betonun suya karşı geçirimsizliği (TS EN 12390-8) ve kimyasal ortamlara karşı geçirgenliğini ölçmek amacıyla da Hızlı Klorür Penetrasyonu Direnci (ASTM C1202) deneyleri yürütülmüştür. Her iki tip çimento ile oldukça geniş bir çimento dozajı aralığında (250 kg/m^3 ilâ 450 kg/m^3) çalışmalar yapılmış ve özellikle basınç dayanımı gelişimi ile betonların su geçirgenliği ve klorür iyonlarının penetrasyonuna karşı direncinin ölçülmesi amacıyla deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler Göltafl Çimento Fabrikası'nda üretilmiş olan BAB Çimentosu ve Portland çimentosu ile yapılan betonların özelliklerinin karşılaştırılması esasına dayalıdır. Ayrıca her iki tip çimento ile uçucu kül ilavesi yapılarak da karşılaştırmalar yapılmıştır.

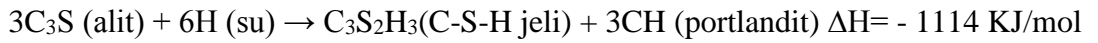
2.2.12. BAB çimentosunun uygulanabilirliği

Borlu çimentonun portlant çimentosuna(PC) göre erken dayanıma katkısı azdır. Ancak ileri yaşlarda yüksek dayanıklılık sağlamaktadır.

Koemenit kullanılarak aktif belit çimento yapımı ön laboratuar çalışmalarında 88 kireç standartına sahip %25 B_2O_3 (%8 kolemanit eşdeğerinde) kullanılarak oluşturulan modifiye klinker 1325°C 'de oluşturulmuştur. Elde edilen klinkerin %0 C_3S (alit) ve yüksek sıcaklık modifikasyonlarını içeren aktif belit klineri olduğu tesbit edilmiştir. 7 ve 28 günlük dayanımları sırasıyla 37MPa ve 75MPa gibi mükemmel dayanım gelişimi gösterdiği gözlenmiştir. Çimentonun beton yapımında prizlenmesi geç olmakla birlikte 28 gün sonra mukavemetini %70 mertebelerinde artacağı sonucuna erişilmiştir. Buda deprem bölgesi olan ülkemizde ciddi emniyet faktörü sağlayacağı ayrıca köprü tunel

nükleer satral ve beton yol yapımında da rahatlıkla değişik faydalar sağlayacağı fikrini vermiştir.

Silikatların hidratasyon reaksiyonları incelendiğinde, silikatların su ile reaksiyonları sonucunda C-S-H jelinin yanı sıra serbest kalan oksitlerden hidroksitler (portlant) oluşmaktadır.



C₃S oluşan portlandit miktarı C₂S den oluşan portlandit miktarının üç katıdır.

CaO ve MgO hidratasyonu ısı yayınması ve hacim genişmesi ile sonuçlanır.

2.2.13. Atmosferik basınçlı buhar kürü uygulaması ve bekleme süresi

Betonda istenilen özelliklerin oluşabilmesi için, betonun yerleştirilmesi ve yüzey perdahının yapılması işlemlerinden hemen sonra, gerekli süre nem içeriğinin ve belli ortam koşullarının sağlanmasına bakım (kür) denir.

Çimento hidratasyonun devamlılığı için ortam suyu şarttır.

Bağlı nem oranı %80 ' den az olursa hidratasyon ısı düşmekte, %30'dan az olur ise hidratasyon ısı kesilmektedir.

Beton yüksek sıcaklıkta kür edildiği takdirde hidratasyon hızının arttığı ve ilk zamanlarda yüksek mukavemet alındığı için, betonun buhar ortamında kür edilmesi için bazı yöntemler elde edilmiştir.

Genel olarak buhar kürünün kullanıldığı betonlar, önceden dökülen beton kütlelerdir. Uygulanan buhar kürünün esas hedefleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1- Betonun, normal şartlarda kür edilen betona göre çok daha çabuk mukavemet kazanır. Bu nedenle, beton kütleler daha kısa süre içerisinde kullanılabilirler.

2- Betondan istenilen mukavemetin çok daha kısa sürede elde edilebilmesi ve betonun daha önce hizmet verebilmesi sebebiyle, elde edilen beton kütlelerin kür işlemi için saklandıkları yerde uzun süre bekletilmelerine gerek olmaz. Böylece daha ekonomik beton üretilmiş olur.

Betona farklı olarak iki buhar kürü yöntemi uygulanabilmektedir. Bunlar:

- (a) Atmosferik basınçlı buhar kürü,
- (b) Yüksek basınçlı buhar kürü.

Söz konusu yöntemlerden en yaygın uygulananı, “atmosferik basınçlı buhar kürü” dür. Betonun bu yöntemle kür edilmesinde, genel olarak, içine verilen buharı tutabilecek şekilde hazırlanan kür odaları veya tüp adı verilen buhar tünelleri kullanılmaktadır.

Kür ortamlarında bulunması gereken maksimum sıcaklığın sınır değerleri 40–100°C olarak belirtilmekle birlikte, genel olarak, 65–85°C arası kullanılmaktadır. Beton kür edilirken kullanılan bu sıcaklığın fazla olması, normal sıcaklıkta kür edilen betonların mukavemeti ile karşılaştırıldığında, ilk günlerdeki dayanımdan daha fazla dayanım elde edilmesiyle beraber, sonraki günlerde mukavemetin düşmesine sebep olmaktadır.

Şekil 1.4’de, atmosferik basınçlı buhar kürü için uygulanan tipik bir kür devresi gösterilmektedir. Bundan anlaşılacağı üzere, buhar kürünün toplam süresi dört ara süreden meydana gelmektedir:

1- Bekleme süresi (Bu süre, malzemelerin karıştırmanın bittiği ve beton kütlenin hazırlandığı zamandan, buhar kürünün uygulandığı zamana kadar geçen süredir.):

Bekleme süresi 3 ile 5 saat arasındadır.

2- Kontrollü sıcaklık artışının yer aldığı süre:

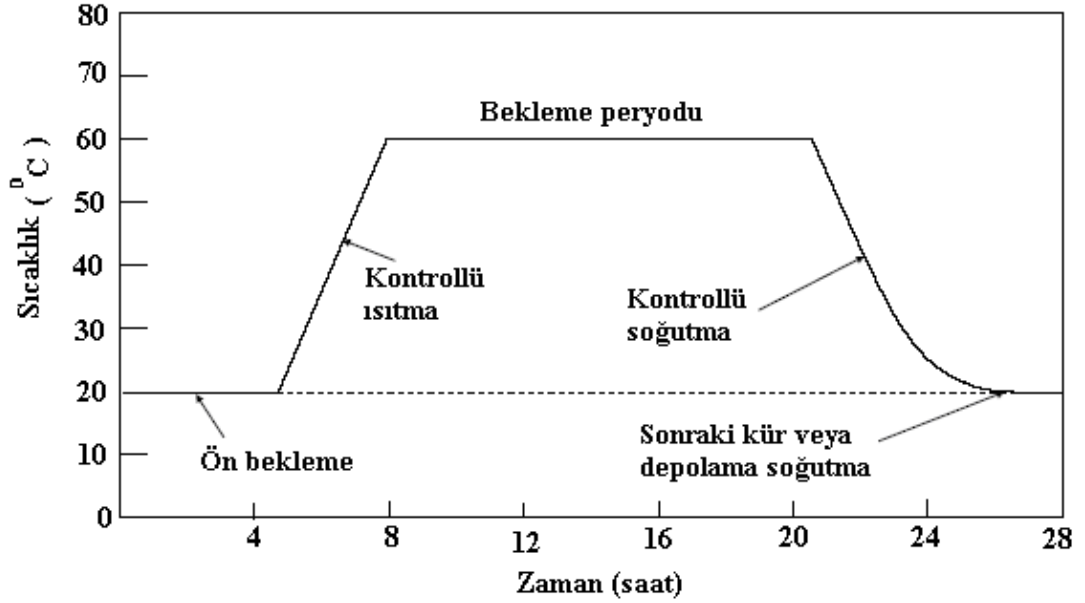
Sıcaklıktaki artış saatte 22–33°C derece arasındadır.

3- Maksimum kür sıcaklığının sabit olarak tutulduğu süre:

Maksimum kür sıcaklığı 65–85°C arasındaki sıcaklık değerleri amaçlanmaktadır. Maksimum sıcaklığa ulaştıktan sonra, beton kütleler ulaşılan bu maksimum sıcaklıkta yaklaşık olarak 10–15 saat bekletilmesi gerekmektedir.

4- Kontrollü soğuma süresi:

Maksimum sıcaklıktaki buhar kürü uygulama süresi sonuna gelindiğinde, ortam sıcaklığı kontrollü olarak düşürülmektedir. Bu süre içerisinde azalma hızı, saatte 22–33°C derece arasındadır.



Şekil 2.4. Buhar kürü devresi

Atmosferik basınçlı buhar kürü uygulanırken, bekleme süresi dışında kalan toplam sürenin 18 saatten fazla olmaması amaçlanmaktadır. Yukarıdaki ara sürelerin her birinin uzunluğu, betona uygulanacak maksimum kür sıcaklığı ve toplam kür süresi, betonun 28 günlük ve daha sonraki dayanımı ile yakından ilgilidir. Optimum sonucu elde edebilmek için ara sürelerin ne uzunlukta olması ve maksimum kür sıcaklığının ne büyüklükte olması gerektiği, betonda kullanılan malzeme özelliklerine ve miktarlarına göre değişiklik göstermektedir. Dolayısıyla tüm bu değerler önceden çok iyi tespit edilmelidir.

Atmosferik basınçlı buhar kürünün kullanılmasındaki en büyük amaç, beton elemanın bir an önce mukavemet kazanmasını ve böylelikle ekonomiklik sağlamaktır. Çoğu zaman buhar kürü devresinin süresi, özellikle bekleme süresi, uygulamada gerektiği kadar uzun tutulmamaktadır. Oysaki bekleme süresinin, betonun ilerideki performansına büyük etkileri olmaktadır. Bekleme süresinin en az betonun priz süresi kadar uzun olması gerektiği bilinmektedir.

Yüksek basınçlı buhar kürü (Otoklav):

Çoğunlukla, küçük boyutlu beton elemanlara uygulanmaktadır. Çok yüksek erken dayanımların gerekli olduğu hallerde ve betona bir takım özellikler kazandırmak için uygulanmaktadır.

Buhar kürü çevrimi:

Uygulanan kürün maksimum sıcaklığı 40 ile 100°C arasındadır. Bununla birlikte, optimum kür sıcaklığı 65 ile 80°C arasında değişmektedir. Kür sıcaklığının yüksek olması dayanım kazanma hızını artırdığı için, erken yaştaki dayanıklılığın artmasını sağlamaktadır. Fakat ileriki yaşlardaki dayanımlar zamanla azalır.

2.2.14. Borlu çimento ile yapılan çalışmalar.

Borlu Aktif Belit (BAB) çimentosu olarak adlandırılan yeni tip Portland çimentosu ve bu çimento ile üretilen beton üzerinde yapılan kapsamlı deneyler sonucunda oldukça müspet ve umut verici sonuçlar elde edilmiştir (Sağlık 2009).

Çalışmanın bu bölümünde önce akışkanlaştırıcı katkıları ve müteakibinde BABC hakkında ve bazı çalışmaların bulguları hakkında genel bilgi verilecektir.

Akışkanlaştırıcı katkı maddelerini içerdikleri kimyasal bileşenlerine göre sınıflandırdığımızda ASTM C 494 (Ramachandran 1995, ASTM C494–92)'e göre en temel anlamda üç gruba ayrılırlar:

1. Sülfanat melamin formaldehit bileşenli, (M Tipi ASTM C 494)
2. Sülfanat naftalin formaldehit bileşenli, (N Tipi ASTM C 494)
3. Modifiye lignosülfanat bileşenli (L Tipi ASTM C 494).

Benzer şekilde inşaat mühendisliğindeki kullanım amaçlarına göre sınıflandırdığımızda (Aberdeen's 1982).

1. Beton elemanda bulunması gereken çimento miktarında bir azaltma yapmadan veya dayanımdan taviz vermeden elde edilen betonun akıcı ve kolay yerleşebilir olmasına olanak sağlamak için,
2. Su/çimento oranını düşürerek yüksek mukavemetli beton imal etmek istediğimizde işlenebilirliği sağlamak için,
3. Su/çimento oranı değiştirilmeden, hem su, hem de çimento miktarında azaltma yapılarak tasarruf yapılmasıyla birlikte, işlenebilirliği ilk seviyesinde tutabilmek amacıyla kullanılırlar.

Pratik olarak çimento parçacıklarının birbirleriyle bir araya gelmek suretiyle küçük topaklar oluşturmaya meyilleri vardır. Akışkanlaştırıcılar ise bu topaklaşmanın önüne geçerek çimentonun dağılmasını sağlarlar. Bu işlemi yapış şekilleri akışkanlaştırıcının dahil olduğu gruba göre değişir. M tipindeki akışkanlaştırıcılar parçacıkların yüzeyinde bir film tabakası oluşturarak parçacıkların topaklaşmasını engellerken, L tipindeki akışkanlaştırıcılar suyun çekim gücünü azaltırlar; N tipi akışkanlaştırıcılar ise partikülleri negatif elektrik iyonları ile yükleyerek ayrık kalmalarını sağlar. Akışkanlaştırıcıların çimento partiküllerinin ayrık kalmasını sağlaması ile çimento partikülleri agreganın etrafını daha iyi kaplar ve ayrıca oldukça tatmin edici bir akıcılık elde edilir. Bu da daha işlenebilir, daha dayanıklı beton demektir. Diğer bir deyişle su-çimento oranında bir değişikliğe gitmeden akışkanlaştırıcıların kullanılması betonun dayanımını artırır (Gül *et al.* 1998).

Türkiye'de genel olarak bilinen ve maden denilince kömürden sonra ilk akla gelen bor madenleridir. Türkiye bu madeninde dünya çapında ilk sırada söz sahibi olarak bulunmaktadır. Türkiye'nin geniş bor rezervlerinin yanı sıra üretim açısından da avantajları bulunmaktadır. Bor cevherlerimiz nispeten belirli alanda büyük yataklar halinde bulunmakta ve açık ocak yöntemleriyle üretim yapılabilmektedir. Ayrıca bor rezervlerinin artırılması da oldukça kolaydır. Dünyadaki yıllık bor tüketiminin yaklaşık

%75'i Avrupa ve Kuzey Amerika'da iken, Türkiye'nin tüketimi dünya tüketiminin %3.6'sı düzeyinde kalmaktadır. Türkiye'nin yıllık konsantre ve bor üretiminin ortalama %8'i yurt içinde tüketilmektedir (Güyağüler 2001; Oruç *et al.* 2004).

Ülkemizdeki borat madenciliği açık ocak madenciliği şeklinde olup, elde edilen bor cevherleri karmaşık bir proses gerektirmeyen zenginleştirme işlemleri (yıkama, dağıtma ve boyuta göre sınıflandırma) sonucunda birçok endüstri dalında kullanıma imkan sağlamaktadır. Dünya piyasalarındaki %31'lik üretim payına sahip olan ülkemizde, bor konsantresi üretimi Eti Holding Eti Bor A.Ş.'ye ait Eskişehir-Kırka, Kütahya-Emet, Balıkesir-Bigadiç, Bursa- Kestelek işletmelerinde yapılmaktadır. Çeşitli araştırmacılar, bu tesislerde açığa çıkan atık miktarının 600.000 ton/yıl olduğunu söylemişlerdir. Çağımızın gereği olan hızlı üretim ve tüketim artışı, birçok sorunu da beraberinde getirerek mevcut hammadde kaynaklarına alternatif olabilecek ikincil hammadde kaynağı olarak görülen atıkların değerlendirilmesine yönelik çalışmaları gündeme getirmiştir (Oruç *et al.* 2004).

Atık maddelerin çevre ve insan sağlığına zarar vermeden depolanması maliyet açısından oldukça yüksektir. Maliyetin yüksek olması çoğu sanayisi gelişmiş ülkede olduğu gibi, bizim ülkemizde de atık malzemenin değerlendirilmesini zorunlu kılmıştır. Ülkemizde çıkarılan en önemli bor cevherleri, kolemanit, üleksit ve tinkaldir. Bu cevherlerin zenginleştirilmesi ile değişik tenörlerde, boyutlarda ve önemli miktarlarda tesisi atıkları ortaya çıkmaktadır. Kütahya Emet-Hisarçık'da açık işletme yöntemiyle çıkarılan kolemanit cevheri, kırma, yıkama ve eleme metotları ile konsantratörde zenginleştirilmektedir. Konsantratörde işlenen ham cevherin yaklaşık %10'luk kısmı atık malzeme olarak kalmaktadır. Kolemanit konsantratör atığının kimyasal bileşiminde bulunan sekiz oksit (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , SO_3 , Na_2O , K_2O) çimentonun ve çimento üretiminde kullanılan diğer katkı maddelerinin de bileşimini oluşturmaktadır (Kula 2000).

Bor atıklarının uygun yöntemlerle çimento ve farklı çalışma alanlarında değerlendirilmesi neticesinde; atıkların depolanmasıyla çıkan problemler ve depolama

maliyetini azalacak, çevreyi kirleten unsurlar en az düzeye inecek ve ülkemiz ekonomisine ek kazanç sağlanacaktır (Kula 2000; Oruç *et al.* 2004; Erdoğan 2006).

Kolemanitin kimyasal yapısında %28 CaO, %6,5 SiO₂, %42 B₂O₃ ve %23,5 H₂O içermekte ve çimento üretimi için gerekli olan hammaddeleri de bünyesinde bulundurmaktadır. Bu mineralde, çimento özelliklerini olumsuz etkileyecek hiçbir kimyasal bileşen bulunmamaktadır. Çimento hammaddelerinden en önemlisi olan kireçtaşı (CaCO₃), öncelikle CaO ihtiyacı için kullanılmaktadır ve 900°C'un üzerindeki bir sıcaklıkta kalsine edilmesi gerekmektedir. Bu sıcaklıkta yapılan işlem sonucunda, belirli bir miktarda enerji harcanmakta, aynı zamanda atmosfere çok yüksek oranda CO₂ gazı emisyonu yapılmaktadır. Kolemanit için kalsinasyon söz konusu değildir, zira yapısında CaO bulunmakta ve çimento üretiminde herhangi bir ön-kalsinasyona tabi tutulmadan doğrudan kullanılabilir. Bileşiminde Kolemanit kullanılan çimentoda, kireçtaşı ve diğer bileşenler belirli oranlarda azaltılmaktadır. Dünyada bazı araştırmacılar saf bor oksit kullanarak ürettikleri çimentonun özelliklerinde iyileşmeler sağlandığını görmüştür. Bu doğrultuda ülkemizde de benzer çalışmalar başlatılmış ve Kolemanitin çimento üretiminde en uygun bor minerali olduğu belirlenmiştir. Bor içerikli çimento, bir bor minerali olan Kolemanit'in borik asit üretiminde yüksek tenörlü kısmının kullanılmasından sonra kalan düşük tenörlü kısmının, diğer çimento hammaddelerine (farin) ek olarak çimento üretiminde belirli bir oranda (%10) kullanılması sonucunda üretilen bir çimento türüdür. Kolemanitin çimento hammaddesi olan kireçtaşının yerine kullanılması ile klinker pişirme sıcaklığı 1450°C'tan 1325°C'lara düştüğünden, büyük oranda enerji tasarrufu ve CO₂ emisyonunda %25'lere varan azalma sağlanmaktadır. Bor katkılı çimento üretimi esnasında, döner fırının sıcaklığı 1450°C'nin üzerinde dahi olsa C₃S fazı hiç oluşmamaktadır ve onun yerine C₂S'in yüksek sıcaklık polimorflarından α ve/veya α' -C₂S kristal yapısına sahip oldukça aktif ve kararlı belit fazının oluşması sağlanmaktadır. Bor oksit nedeniyle de çimentoda C₃S oluşumu meydana gelememektedir. Bu nedenle, bu çimento "Borlu Aktif Belit BAB) Çimentosu" olarak isimlendirilmektedir (TS13353 2008; Sağlık *et al.* 2009).

2.3. Kendiliğinden Yerleşen Betonlar (KYB)

2.3.1. KYB'nin genel özellikleri

Kendiliğinden yerleşen betonlar 1980 yılının başlarında su altı beton uygulamaları için geliştirilmiş olmasına karşılık, donatısı yoğun ve kesiti dar olan elemanlarda betonun homojenliğini koruyarak herhangi bir sıkıştırma gerektirmeden kendi ağırlığı ile yayılabilmesi/yerleşebilmesi özelliği nedeniyle her geçen gün kullanımı yaygınlaşmış ve yapı sektörü için önemi artmıştır (Sağlam ve Özkul 2006). KYB'ler kendi ağırlığı altında yerleşirken ayrışma ve terleme gibi problemler yaratmayarak kohezyonunu (stabilitesini) koruyabilen, çok akıcı kıvamlı özel bir beton türüdür (Felekoğlu 2003). Kendiliğinden yerleşen beton literatürde Kendiliğinden Sıkışan Beton (Self-Compacting Concrete - SCC), Kendiliğinden Yüzeylenen Beton (Self-Levelling Concrete - SLC) Kendiliğinden Konsolide Olan, Çöken Beton (Self-Consolidating 3 Concrete – SCC) isimleri ile anılmasına rağmen Türkiye'de çoğunlukla Kendiliğinden Yerleşen Beton terimi kullanılmakta olup Kendiliğinden Sıkışan Beton (KSB) veya Kendiliğinden Sıkışarak Yerleşen Beton isimleri de alternatif olarak kabul görmektedir (Felekoğlu, 2003). KYB ve geleneksel beton tasarımında kullanılan malzemeler temelde aynı olmasına karşılık, malzeme miktarları (iri ve ince agregası) hacimce bazı farklılıklar göstermektedir. İnce malzeme oranının artırılması için filler malzeme kullanımı birçok araştırmacı ve standart tarafından önerilmektedir. Geleneksel beton üretiminde agregası hacmi, toplam beton hacminin %75-80'lerine ulaşmaktadır. Ancak kendiliğinden yerleşen betonda (KYB), yüksek akış kabiliyetinin sağlanması amacıyla agregası hacmi azaltılmıştır. Dolayısıyla hamur hacmi de farklı toz maddelerin ilavesi ile artırılmaktadır. Bu durumda agregaların birbirine temas ederek sıkışma olasılığı azalmaktadır (Türkel ve Felekoğlu 2012) Kendiliğinden yerleşen betonda geleneksel betondan farklı olarak kum oranı da artırılmakta, buna karşılık iri agregası miktarı azaltılmaktadır. Diğer yandan 0.125 mm elek altında kalan agregaları ince malzeme miktarına ilave edilmektedir (Sağlam vd 2004). Kendiliğinden yerleşen betonda kullanılacak agregası gradasyonu mümkün olduğunca ince seçilmelidir. Nehdi vd (1998), filler malzemenin kısmi ikamesi ve agregası boyutunun küçülmesiyle, beton iletiminde

blokağın azalacağı ve yağlanma etkisinin artacağını, özellikle yuvarlak agregalarda akma gerilmesi ve plastik viskozitenin azalacağını belirlemiştir.

Yen vd (1999) YPB'da üniform ve sabit akış olduğundan reolojik parametrelerle akış özelliklerinin tanımlanabileceğini belirtmiştir. Kum oranı arttıkça akış azaldığını, bunun nedenin ise kum arttıkça kumu çevreleyen çimento pastası miktarı azalmasıyla kum tanelerinin kilitlenmesine neden olduğunu ancak kumun gereğinden az olması durumunda da kasma olacağını belirtmiştir. Sabit SP dozajında, iri agrega azalmasıyla çökmenin artacağını, hem SP hem de iri agrega sabit tutulup ince agrega azaltılırsa çökme yayılması artacağını, pasta hacminin artmasıyla çökme yayılması artacağını, benzer olarak betonun işlenebilirliğinin de içindeki harç miktarına bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Wallevik (2006), matrisin agregalar arasında yağlanma etkisi yaptığını belirtmiştir. Anonim (2017c)'de ise benzer olarak pasta hacminin azalmasıyla işlenebilirlik yeteneğinin önemli derecede azaldığını, bu sonuçta yağlama görevi yapan pasta hacminin etkinliği kadar iri agrega boyut ve miktarının da etkisi oldukça fazla olduğunu belirtmişlerdir. Uysal ve Yılmaz (2011), KYB şekillendirilmesinde kullanılacak iri agrega miktarı istenen akıcılık ve kıvam şartlarının elde edilebilmesi için genellikle hacimce %45-50 civarında kullanıldığını belirtmişlerdir. Yazarlara göre bu sınırlandırma çoğunlukla sistemdeki fazla iri agreganın ince agrega ya da mineral katkıları ile yerine konularak gerçekleştirilmektedir. Kireçtaşı tozu, uçucu kül ve granüle edilmiş yüksek fırın cürufu gibi durağan malzemelerin veya mineral katkıların KYB üretiminde kullanılması ile, üretim için gereken çimento miktarı azaltılabileceğini, aynı zamanda işlenebilirlik ve mukavemet özellikleri de geliştirilerek, daha ekolojik ve ekonomik tasarımlar elde edilebileceğini belirtmişlerdir (Gödek vd 2015). Fang *et al.* (1999)'e göre kum oranının toplam hacmin %45-48'i arasında tutulması halinde kendiliğinden yerleşebilirliğin en yüksek dayanımda sağlanacaktır (Saf 2015). İri ve ince agrega hacimlerinin yanı sıra, maksimum tane boyutunun da sınırlandırılması gerekmektedir. İri agrega boyutunun azalması KYB'nin kırılma tokluğunu azaltmaktadır (Gödek vd 2015). Agregaya boyutu olarak 20 mm tane çapı üzerindeki agregaların kullanılmaması ön görülmektedir. Ancak bu konuda keninleştirilmiş bir bilgi yoktur. Ama kendiliğinden yerleşen betonun kazandığı özellik sebebiyle,

akışkanlığını ve sık donatılar arasından geçebilme yeteneğini gösterebilmesi gereklidir. Bunun için uygun olan agrega tane boyutunun, 16 mm olduğu yapılan çalışmalardan görülmektedir (Uygunoğlu 2008). Collepardi (2005), segregasyonun önlenmesi için KYB üretiminde kullanılacak en büyük agrega 4 çapı olarak prefabrike beton üretiminde 10 mm'yi, diğer üretimlerde ise 15 mm'yi geçmemesi gerektiğini belirtmiştir. En büyük tane boyutu arttıkça akma gerilmesi ve plastik viskozite artar. Betondaki agrega miktarı artışı ile akma gerilmesi yüksektir (Banfill 2003). Fugiwara ve Nagataki (1999) tüm karışımdaki iri agrega oranının %29'un üzerine çıkması durumunda, iç sürtünme açısının ve plastik viskozitenin yükselmesine sebep olacağını belirtmişlerdir (Saf 2015) Benzer akma gerilmesindeki yuvarlak ve köşeli iri agrega içeren iki farklı betondaki plastik viskozitedeki artış, birbirine kenetlenen yüzeyler ve parçacıklar arası temas artışından dolayı kısmidir. Köşeli iri agregadan oluşan betonun plastik viskozitesi daha yüksektir. Plastik viskozitedeki artış için hesaplanan pastadaki akış direnci ve yüksek gerilme sonucunda kayma hızı da artar. Parçaların etkisi ise, kaba taneli betonlarda basit hacim etkisi ve ince taneli pastada yüzey alanı etkisidir (Banfill 2003). Banfill, (2003), ince/iri agrega oranının artışı kayma eşiğinin artışına, plastik viskozitenin ise düşmesine neden olacağını belirtmiştir. Felekoğlu (2003), ise, kum/iri agrega oranı için en uygun değeri 1.53 olarak belirlenmiştir. Bu değer altındaki oranlarda taze betonun bloke olma riski artmakta, üstündeki oranlarda ise viskozite aşırı artış olacağını belirtmiştir (Saf 2015). Yücel (1997), kaba agreganın yüzey pürüzlülüğünün, harç fazının ve betonun ilişkisinin etkilediğini belirtmiştir. Banfill *et al.* (2000), KYB'leri de kapsayan daha çok karışım, farklı viskozite değerinde, farklı agrega boyut ve şeklinde (köşeli ve yuvarlatılmış), nümerik çözümler ve reometreler için standart kalibrasyon sıvısının geliştirilmesi gerektiğini önermiştir. Ferraris ve Gaidis (1992), çimento pastasında, agregalar arasındaki uzaklığa benzetilen reometrenin levhaları arasındaki boşluğa bağlı reolojik farklılıkların olduğunu göstermiştir. Mineralojik köken bakımından değerlendirildiğinde, normal betonda kullanılacak agrega özelliklerini bulundurmalıdır. Kırmataş (kireçtaşı) agrega olarak kullanılabilir. İslenebilirlik açısından, doğal kumun kullanılması, kırma kuma göre daha uygundur. Aynı şekilde iri agrega olarak dere çakılı kullanılması iç sürtünmeyi azalttığı için akışkanlığı artırır. Fakat kırmataşın kenetlenme etkisiyle dayanıma katkısı da göz önünde bulundurulmalıdır. Öte yandan agrega mineralojik kökeninin de basınç

dayanımını etkileyeceği unutulmamalıdır. Bu iki etkinin (işlenebilirlik, basınç dayanımı) optimizasyonu için hem kırma hem de doğal agregayı bir arada kullanmak en uygun çözümdür (EFNARC 2002, Uygunoğlu 2008). Türkel ve Felekoğlu, (2012), KYB’de aynı gradasyondaki kırma agrega doğal agregaya kıyasla mekanik özellikleri geliştirmede daha etkili olduğunu, KYB gibi hamur fazı oranı geleneksel betona kıyasla yüksek olan akıcı betonlarda iri agreganın mekanik özelliklere etkisi göreceli olarak azalsa da mekanizması geleneksel betona benzer olduğunu, beton yaşı ile agrega-matris ara yüzey bağının gelişiminin basınç dayanımına etkisinde geleneksel betonda olduğu gibi KYB’de de pürüzsüz yüzeyle doğal agregaların, kırma agregalara kıyasla düşük kaldığını belirtmişlerdir. Bununla birlikte Artık (2009), taze beton özelliklerinin genellikle çakıl serilerinde, sertleşmiş beton özelliklerinin ise kırma taş serilerinde daha yüksek sonuçlar elde edildiğini belirtmiştir.

2.3.2. KYB’nin uygulama şekli ve alanları

Betonun normal olarak döküldüğü ve prekast yapılarda kullanılabilir. Hazır beton santralinde üretilerek, transmikserlerle şantiyeye getirilen kendiliğinden yerleşen betonun (KYB) üretim süreci normal betondan farklı olarak hiçbir aşama yoktur. Tüm dikey ve yatay yapılara pompa veya dökme yoluyla yerleştirilebilir. Karışım dizaynında, yapı boyutları ve şekli, donatı ölçüleri ve miktarı dikkate alınmaktadır.

Uygulama alanları özetle aşağıda sıralanmıştır:

- *Tüm betonarme elemanlar
- *Güçlendirme projeleri
- *Sık donatılı betonarme elemanlar
- *Karmaşık ve detaylı kalıp gerektiren değişik geometride yapı elemanları
- *Mimari paneller
- *Standart beton yerine tüm yatay ve düşey ekipmanlarda rahatlıkla kullanılır.
- *Vibratör kullanımının imkansız olduğu yerler
- *Zor ve ulaşılmaz kalıplar

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölümde çalışmanın amacı doğrultusunda kullanılan doğal agrega, SD, çimento, karma suyu, Hiper akışkanlaştırıcı katkı (HAK) maddesi ve diğer malzemeler ile çalışmalarda kullanılan deney düzenekleri, ölçüm cihazları ve deney aletleri hakkında bilgi verilmektedir. Yapılan agrega deneyleri, beton karışımları ve yapılacak deneysel çalışmaların yöntemleri hakkında bilgi verilecektir.

3.1. Materyal

3.1.1. Kullanılan malzemeler

3.1.1.a. Çimento

Bu çalışmada, Aşkale Çimento Fabrikası tarafından üretilen CEM I 42,5 R, CEM II-B-M(P-LL) 32,5 R ve Ankara'da bulunan Ulusal Bor Araştırma Enstitüsünden(BOREN) alınan BAB(Borlu Aktif Belit Çimento) tipi çimento kullanılmıştır. Bu çimentoların fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir. TS EN 197/1'de bulunan standart değerleri ile kontrol edilmiştir.

Çizelge 3.1. Çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri

Özellikler	CEM I 42,5 R	CEM II-B-M 32,5
CaO (%)	61,80	52,72
SiO ₂ (%)	18,89	21,88
Al ₂ O ₃ (%)	4,40	4,91
Fe ₂ O ₃ (%)	3,46	3,47
MgO (%)	3,89	3,03
SO ₃ (%)	2,97	2,47
K ₂ O (%)	0,59	0,76
NCEM -IO (%)	0,22	0,45
Cl ⁻ (%)	0,0111	0,0133
Kızdırma Kaybı (%)	3,14	9,71
Çözünmeyen Kalıntı (%)	1,02	-
%45 μ	4,59	9,48
%90 μ	-	-
Özgül Yüzey (cm ² /gr)	3857	4738
Priz Başlangıcı (dak)	141	163
Priz Sonu (dak)	189	202
Hacim Genleşmesi (Le Chatelier, mm)	1,0	1,0
1 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	-	-
2 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	26,7	19,13
7 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	-	-
28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	55,9	37,20
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3,13	2,91

Çizelge 3.2. BAB çimentosunun mekanik fiziksel özellikleri(TSE 2008)

Özellikler	Gerekler			
	32,5 N	32,5 R	42,5 N	42,5 R
Dayanım Sınıfı	32,5 N	32,5 R	42,5 N	42,5 R
2 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	-	≥10,0	≥10,0	≥16,0
7 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	≥16,0	≥20,0	≥20,0	≥30,0
28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	≥32,5 ≤42,5	≥32,5 ≤52,5	≥42,5 ≤52,5	≥42,5 ≤62,5
90 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	≤42,5	≤52,5	≤52,5	≤62,5
Priz Başlangıç Süresi (minimum)	≤75		≤60	
Genleşme (mm)	≤10			
Hidratasyon ısısı(cal/g), (TS EN 196-8'e göre 7 gün sonunda, TS EN 196-9'a göre 41 saat sonunda veya izotermal kondüksiyon kalorimetre yöntemi ile 7 gün sonunda tayin edildiğinde)				

Çizelge 3.3. BAB çimentosunun kimyasal özellikleri(TSE 2008)

Kimyasal Özellik	Gerekler, Kütlece %
Kızdırma Kaybı	En çok 5,0
Çözünmeyen Kalıntı	En çok 5,0
α veya α' -C ₂ S (Belit, Di-kalsiyum Silikat)	En az 60,0
C ₃ A (Trikalsiyum Alüminat)	En çok 7,0
B ₂ O ₃	En çok 5,0
SO ₃	En çok 3,5
MgO	En çok 5,0
Klorür, Cl	En çok 0,1
Çizelge 3.1’de verilen hidratasyon ısısı ile ilgili kriterlere uyulduğunda, bu sınır değerlere uyulması gerekli değildir.	

3.1.1.b. Silis dumanı

Bu çalışmada KYB üretimi için kullanılan silis dumanı Ankara İKSA Yapı Kimyasalları tesislerinde üretilmiştir.

3.1.1.c. Hiperakışkanlaştırıcı katkı

Draco firmasının modifiye edilmiş polycarboxylic ether polimeri esaslı HAK olan Draco-Levelcon FX10 çalışmada 0,32 s/b oranlarına sahip tüm beton numunelerde işlenebilmeyi sağlamak için ön denemeler sonunda maksimum değer olan %2 oranına karar verilmiştir.

Bu ürün özellikle yüksek performanslı, yüksek oranda su azaltma ve mükemmel akışkanlık istenen, kıvam korumalı beton karışımlarının üretimi için uygundur. Bu katkının özellikleri Çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.4. HAK'ın özellikleri

Malzeme Yapısı	Polycarboxylic Ether Esaslı
Renk	Açık Sarı
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	1,023 - 1,063 kg/litre
Klor İçeriği %(EN 480-10)	< 0,1
Alkali İçeriği %(EN 480-12)	< 3

3.1.1.d. Karışım suyu

TS EN 206'ya göre beton üretiminde kullanılan sular (karma suyu) TS EN 1008'e uygun olmalıdır. Çalışmada karışım suyu olarak Atatürk Üniversitesi içme suyu kullanılmıştır.

3.1.1.e. Doğal agregalar (Normal agregalar)

Çalışmada kullanılan agregalardan,0-4 mm kum Erzurum Hazır Beton A.Ş. den temin edilmiş ve 4-16 mm agrega ise Erzurum ili Uzundere ilçesi sınırları içinden temin edilen doğal dere agregası olarak kullanılmıştır. Agregalar kırılmamış olup, yuvarlak tanelidir. Kullanılan agregalar 0-4 mm dere kumu ve 4-16 mm agrega olarak kullanılmıştır.

Betonu oluşturan agregaların tane dağılımı en büyük tane büyüklüğüne bağlı olarak TS 706 EN 12620+BAB (2009) ve TS 802 (2009)'de belirtilen ideal bölgeye düşecek şekilde seçilmiştir. Deneylerde kullanılan agreganın maksimum tane çapı 16 mm'dir. İnce agrega için 0-4, iri agrega için ise 4-16'lık tane sınıfları oluşturulmuştur. Bu çalışmaya konu olan betonlarda %38 iri, %62 ince agrega oranları kullanılarak granülometri düzenlenmiştir.

Betonların özellikleri agrega granülometrisinden önemli ölçüde etkilendiği için, karışımlarda tek bir granülometri eğrisi kullanılmıştır

Tane sınıflarına ayrılmış halde bu agregâ karışımlarından alınan numuneler üzerinde yapılan agregâ deneyleri ile ilgili tespitler ve sonuçlar Araştırma Bulguları bölümünde verilmiştir.

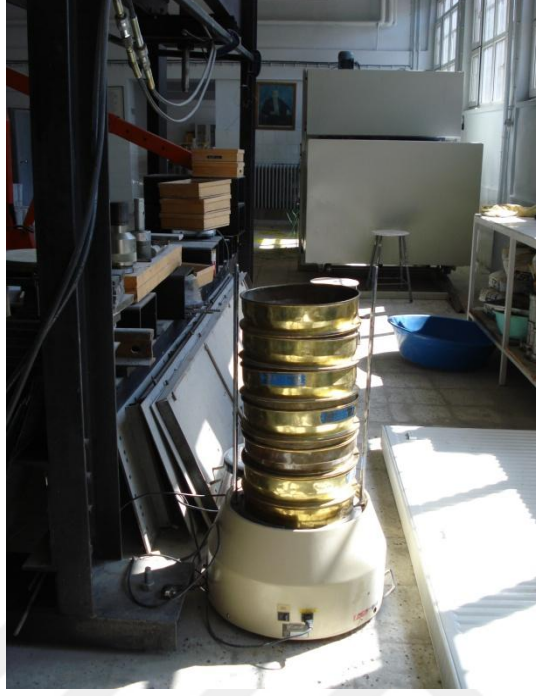
3.1.1.f. Deneylerde kullanılan diğer malzemeler

Beton numunelerinin kürü için kirece doygün su ortamının sağlanmasında sönmüş kireç, sertleşmiş beton numunelerin başkılanmasında kükürt-grafit ve numunelerin kalıplardan kolayca çıkmasını sağlamak için kalıplarda ince motor yağı kullanılmıştır. Buna ek olarak ultrasonik hız ölçümü yapılırken numune başlarına ultrason jeli sürülmüştür.

3.1.2. Deneyde kullanılan alet ve malzemeler

3.1.2.a. Elekler

Deneylerde TS ISO 3310-1 ve 2'ye uygun toplama kabı, 2 mm, 4 mm, 8 mm ve 16 mm göz açıklıklı kare delikli tel elekler kullanılmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Agrega deneylerinde kullanılan elek takımı

3.1.2.b. Betoniyer

ELE firmasının ürettiği 135° açı yapacak kadar manevra yapabilen 60 dm³ kapasiteli, 25 devir/dakika karıştırma hızına sahip, düşey eksenli laboratuvar tipi betoniyer kullanılmıştır. (Şekil 3.2)



Şekil 3.2. Betoniyer

3.1.2.c. Yayılma tablası

Betonun kendiliğinden yayılma özelliğini yani doldurma yeteneğini ölçmek amacıyla uygulanan bir yöntemdir. Çok yaygın olarak kullanılan bu deney yönteminde betonun hiçbir engel olmadan, serbest olarak, kendi ağırlığı ile bir koniden akarak yayılma tablası üzerinde serbest yayılması sağlanır. 100*100 cm boyutlarındaki yayılma tablası düz bir zemine yerleştirilip yüzeyi nemlendirilir. Boyutları; üst çap 10 cm, alt çap 20 cm, yükseklik 30 cm olan kesik koni tablanın merkezine yerleştirilerek yaklaşık 6 lt betonla şişleme yapılmadan doldurulur. Huni dik olarak çekilerek betonun önceden tabla üzerine çizilen 50 cm çaplı daireye yayılması için geçen süre ölçülür. Yayılma tamamlandıktan sonra birbirine dik iki yöndeki çap ölçülerek ortalaması alınır. Çökme-yayılma değeri olarak adlandırılan bu değer yüksek olmasıyla betonun akıcılığının dolayısıyla doldurma yeteneğinin iyi olduğu sonucuna varılır (Şekil 2.3).



Şekil 3.3. Yayılma tablası

3.1.2.d. L kutusu

KYB'nin akıcılığının ve donatılar arasından geçiş yeteneğinin belirlenmesi amacıyla uygulanan bu yöntemle betonun tıkanma riski değerlendirilir. Deney düzeneği olarak yatay ve dikey hazneden oluşan, Şekil 2.4'te ölçüleri verilen, çelikten yapılan L şeklindeki kutu kullanılır. Dikey hazne ile yatay hazne birbirinden dik yönde yerleştirilmiş 3 adet 12 mm çaplı donatı ile ayrılır. Ayrıca dikey haznenin sonunda bir de kapak bulunmaktadır. Düzeneğin iç yüzeyi nemlendirilip ara kapak kapatıldıktan sonra dikey hazne yaklaşık 13 lt betonla, şişleme yapılmadan, doldurulur. 1 dakika beklenip betonun yerleşmesi sağlandıktan sonra ara kapak kaldırılarak betonun donatılar arasından geçip yatay hazneye dolması sağlanır. Akış tamamlandıktan sonra düzeneğin her iki ucundaki beton seviyeleri ölçülerek birbirine oranlanır. Bu değer "bloklanma oranı" olarak adlandırılır ve KYB'nin akıcılık ve geçiş yeteneğinin bir ölçüsü olup minimum 0,8 olarak kabul edilir.



Şekil 3.4. L kutusu

3.1.2.e. V hunisi

Bu deney yöntemi betonun viskozitesini ve geçiş yeteneğini ölçmek amacıyla yüksek akışkanlı betonlar, su altı betonları ve KYB için uygulanmaktadır. En büyük agrega tane çapı 20 mm'nin altında olan betonlar için uygulanan bu deneyde betonun dar bir kesitten kendi ağırlığı ile akışı sağlanarak geçiş yeteneği incelenir. Boyutları Şekil 2.5'de görülen V şeklindeki huninin iç yüzeyi nemlendirildikten sonra en altta bulunan kapak kapatılır. Yaklaşık 12 lt hacmindeki huni üst yüzeyine kadar şişleme yapılmadan betonla doldurulur. Yerleşmesi için 10 sn kadar beklendikten sonra alt kapağın açılmasıyla süre başlatılır. Akışın tamamen bitimine kadar geçen süre ölçülür. Bitiş anı üstten bakıldığında alttan ışık geçmeye başladığı andır.



Şekil 3.5. V hunisi

3.1.2.f. J halkası

Düz bir zemine oturtulan yayılma tablasının ortasına J-halkası yerleştirilip içerisine Abrahams konisi konulur. Koni üst yüzeyine kadar şişleme yapılmadan betonla doldurulduktan sonra sabit bir hızla dikey olarak çekilir ve betonun tabla üzerinde donatılar arasından geçerek yayılması sağlanır. Yayılma tamamlandıktan sonra birbirine dik iki yöndeki yayılma çapları ölçülerek ortalaması alınır. Donatılar arasından geçemeyip blok halinde kalan beton yayılma değerini doğrudan etkiler. Bununla beraber halkanın hemen dışındaki ve içindeki beton seviyeleri 4 farklı noktadan ölçülüp seviye farkı hesaplanır.



Şekil 3.6. J-halkası

3.1.2.g. Kalıplar

Betonların basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, yüksek sıcaklık dayanımı, ağırlık kaybı ve UPV'lerinin tespitinde 10x20 cm boyutlarında plastik silindir kalıplar kullanılmıştır. Kalıplara ait fotoğraflar Şekil 3.7'de görülmektedir.



Şekil 3.7. 10x20 cm'lik silindirik kalıplar

3.1.2.h. Fırın

Beton numunelerin farklı yüksek sıcaklıklara tabii tutularak mekanik testlerini yapabilmek için Şekil 3.8'de görülen fırın kullanılmıştır. Fırın 200, 400 ve 600°C sıcaklığa ayarlanmış ve bu sıcaklıklara 3 saat maruz kalan numuneler üzerinde mekanik testler yapılmıştır.



Şekil 3.8. Yüksek sıcaklık için fırın

3.1.2.j. Hassas teraziler

Yüksek sıcaklık ve donma çözülme sonucunda numunelerde meydana gelen ağırlık kayıpları gibi hassas deneylerde malzeme tartımlarının gerçekleştirilmesi için kullanılacak hassas teraziler Şekil 3.9'da verilmektedir.



Şekil 3.9. Hassas teraziler

3.1.2.k. Basınç dayanımı ölçüm cihazı (Press)

Sertleşmiş beton deneylerinden, numunelerin basınç mukavemetlerinin belirlenmesinde İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemeleri ve Tatbiki Mekanik laboratuvarında bulunan ELE marka AUTOTEST 3000 tipinde 300 ton kapasiteli, yükleme hızı otomatik olarak ayarlanabilen Şekil 3.10'da ki hidrolik press kullanılmıştır.



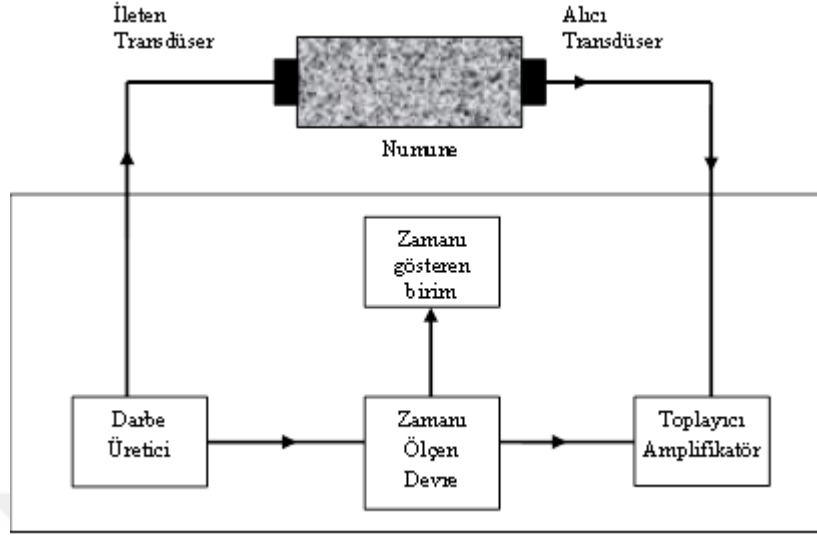
Şekil 3.10. Autotest 3000-Press2

3.1.2.1. Ultrasonik hız ölçüm cihazı

Bu çalışmada Ultrasonic Tester Qust-120+ adlı cihaz kullanılmıştır. Bu cihaz, ultrasonik ses dalgaları üreterek, bu dalgaları numuneye gönderip, numunenin sonunda dalgaların alınmasına kadar geçen süreyi ölçmektedir. Cihazın basit olarak blok şeması Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Ultrases hızı ölçüm cihazı



Şekil 3.12. Ultrasonik hız cihazı blok şeması

3.1.2.m. Deneylerde kullanılacak diğer malzemeler

Kendiliğinden yerleşen betonların mekanik testlerinden basınç dayanımı yapılmadan önce yüksek sıcaklığa maruz kalan numuneleri başlıklamak için kükürt eritme potası kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

Çalışmanın bu kısmında karışım tipleri, yapılacak deneysel çalışmalar, agrega özellikleri, bu agregalar ile üretilen betonların karışım hesaplarında kullanılan yöntemler ve yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan yöntemler açıklanmıştır.

3.2.1. Yapılacak deneysel çalışmalar

Çalışma kapsamında kullanılacak farklı çimento tiplerinin yüksek sıcaklıktaki etkisini araştırmak için yapılacak deneyler Çizelge 3.3’de verilmiştir.

3.2.2. Agrega deneylerinde uygulanan yöntemler

Deneyleerde kullanılmak üzere laboratuvara getirilen dere agregası için agrega deneyleri yapmak üzere numune alınmasında TS 1114 EN 13055-1 (2004)'de belirtilen dörde bölerek küçültme (çeyrekleme) metodu kullanılmıştır. Bu metotta belirtildiği gibi, laboratuvardaki malzemenin tümünü temsil etmesi için yığının her tarafından alınan örnekler düz bir zemin üzerine her tarafı eşit ve çapı yüksekliğinin dört katı olan bir daire oluşturacak şekilde serilmiştir. Daha sonra bu dairesel yığın kürekle dörde bölünmüş, karşılıklı iki parçası atılıp, deneyler için yeterli miktarda örnek kalıncaya kadar çeyrekleme işlemine devam edilmiştir.

Organik madde tayini deneyi TS EN 1744-1 (2010)'e göre, ince madde oranı tayini deneyi TS 706 EN 12620+BAB (2009); göre, özgül ağırlık ve su emme deneyleri ise TS EN 1097-6 (2007)'ya göre yapılmıştır.

Her bir deney için, numuneler üzerinde üçer defa agrega deneyleri yapılmış ve sonuçların aritmetik ortalamaları alınmıştır. Bu değerler Araştırma Bulguları ve Tartışma bölümünde verilmiştir.

3.2.3. Beton karışım hesapları

Beton karışımlarının tümü için s/b oranı 0,36 olarak kabul edilmiştir. Karışımlarda beton numunelerde kullanılan SD oranı %7,5 oranında çimento ile yer değiştirilerek kullanılmıştır. Karışımlarda yeterli akışkanlığın sağlanabilmesi için çimento ağırlığının beton karışımlarda %2'si kadar HAK kullanılmıştır.

3.2.3.a. Beton numunelerine yapılan deneyler

Numunelerde yaş beton deneylerinde, yayılma çapı, t_{50} süresi, L kutusu, V akış süresi ve J-halkası deneyleri incelenmiş, mekanik özelliklerden basınç dayanımı, yarmada çekme

dayanımı, ve UPV'nin yanı sıra yüksek sıcaklıklarda ağırlık kaybı, UPV ve basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı incelenmiştir. Bu karışımlar ile ilgili yapılan deneyler Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.5. KYB numunelerde yapılan deneyler

Karışım Tipi	Mekanik Testler				Yüksek Sıcaklık (Yangın)			
	Basınç Dayanımı	Yarmada Çekme Dayanımı	UPV	Birim Ağırlık	Ağırlık Kaybı (100-200-400-600-750)	Basınç Dayanımı (100-200-400-600-750)	UPV (100-200-400-600-750)	Yarmada Çekme Dayanımı (100-200-400-600-750)
BAB	√	√	√	√	√	√	√	√
CEM -I	√	√	√	√	√	√	√	√
CEM -II	√	√	√	√	√	√	√	√

3.2.3.b. Beton karışım oranları

Karışım hesapları yapılırken TS 802-2009'dan yararlanılmıştır. Deney karışımlarında bağlayıcı dozajı sabit olup, hava hacmi %1 olarak alınmıştır. Bunun yanı sıra toplamda kullanılan bağlayıcı oranı 500 kg olup %7,5 oranlarında SD, çimento ile yer değiştirilerek karışım oranları Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. KYB numunelerde karışım oranları

Karışımlar	Su	Çimento	HAK %	SD	Kum	Çakıl
	(kg/m ³)	(kg/m ³)		(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)
CEM-I 42,5	175	462	2	38	1014	607
CEM-II 42,5	175	462	2	38	1014	607
BAB	175	462	2	38	1014	607

3.2.4. Karıştırma, yerleştirme ve kür koşulları

3.2.4.a. Beton

Çizelge 3.6'da belirtilen karışım hesapları kullanılarak üretilecek numunelerin miktarlarına göre belirlenen malzeme miktarları, ağırlık olarak alınıp, 1 gr hassasiyetli terazide tartılmıştır. Karışımlar hazırlanırken laboratuvar tipi bir betonyer kullanılmıştır. Betonyerde karıştırma işlemi 5 dakika olarak ve ASTM C 192'ye göre yapılmıştır. Beton karışımları gerçekleştirilmeden önce basınç dayanımı için kullanılacak 10x20 cm'lik silindir kalıplar hassas bir şekilde temizlenmiş, kalıp yağı ile yağlanmıştır.

Betonyere her seferde bir gruptaki malzeme konulmuş olup, karıştırma sonunda elde edilen karışım kalıplara dökülmüştür. Yerleştirme esnasında herhangi bir şişleme veya tokmaktama yapılmamıştır. Deney numuneleri laboratuvar ortamında açık yüzeyleri naylon örtü ile kaplı olarak 24 saat bekletilmiştir. Laboratuvar koşullarında 24 saat bekletilen numuneler, kalıplar söküldükten sonra, kirece doymun hale getirilmiş ve sıcaklığı $23\pm 1^{\circ}\text{C}$ 'de olan kür havuzuna konulmuştur. Her grubun numuneleri deney gününden bir gün önce kür havuzundan çıkarılarak, bir gün laboratuvarda bekletildikten sonra, sertleşmiş beton deneylerine tabi tutulmuşlardır.

Yüksek sıcaklık için konulan numuneler 28 günlük kür süresi sonucunda sudan çıkartılmış ve 100°C , 200°C , 400°C , 600°C ve 750°C de 3 saat kaldıktan sonra ağırlık kaybı, UPV, Yarmada çekme dayanımı ve basınç dayanımı testlerine tabi tutulmuşlardır.

3.2.5. Yaş beton deneylerinde uygulanan yöntemler

Yaş beton deneylerinden yayılma tablası deneyi, L-kutusu, V-akış süresi, t_{50} süresi, J-halkası deneyi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Araştırma Bulguları ve Tartışma bölümünde verilmiştir.

Yaş beton deneyleri yapılan taze beton tekrar harmana karıştırılarak 100x200mm boyutlarındaki silindir kalıplara doldurulmuştur. Doldurma işlemi esnasında herhangi bir şişleme ve sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmemiş olup kendi ağırlığı altında yayılması sağlanarak doldurulmuştur. Doldurma işlemi bittikten sonra kalıpların yüzeyleri mala ile düzeltilmiş ve taze betonda nem kaybını önlemek amacıyla kalıpların üst tarafı naylon bir örtü ile örtülerek sarsıntısız bir yerde sertleşmeye bırakılmıştır.

Bu şekilde 24 saat boyunca kalıpta bekleyen numuneler, bu süre sonunda kalıptan çıkarılmış ve sıcaklığı $23\pm 1^{\circ}\text{C}$ olan kirece doymuş su ihtiva eden kür havuzunda su kürüne tabii tutulmuşlardır. Numuneler sertleşmiş beton deneyleri uygulamasından bir gün önce kür havuzundan çıkarılıp laboratuvar şartlarında bekletilerek deneylere hazır hale getirilmişlerdir.

3.2.6. Sertleşmiş beton deneylerinde uygulanan yöntemler

Bu çalışma için üretilen 3 farklı karışım 28 günlük numunelerin basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, UPV, ağırlık değişimi ölçümleri yapılmıştır. Böylelikle her bir karışım grubuna yangın sonucunda basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, UPV, ağırlık değişimi ölçümleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

3.2.6.a. Basınç dayanımı

Hava kurusu durumuna getirilmiş numunelerin basınç dayanımı tayininde kullanılmak üzere boyutları 1 mm hassasiyetle ölçülerek yükün etki edeceği alan hesaplanmıştır. Bu işlemden sonra numune yüzeylerinin pres tablasına tam yapışması dolayısıyla da yükün bütün alana üniform olarak yayılması için silindir numuneler başlıklanmıştır. Başlıklama işleminde kükürt-grafit kullanılmıştır. Başlıklama işlemi bittikten sonra numuneler en az iki saat sertleşmeye bırakılarak basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Numunelerin basınç dayanımlarının hesaplanmasında TS EN 12390-3 standardındaki yöntemler göz önünde bulundurulmuştur.

Beton zamana bağılı olarak şekil değiştirme gösteren bir malzeme olduğundan, yükleme hızı, betonun basınç dayanımı üzerinde etkili bir parametredir. Bu nedenle tüm numuneler sabit bir yükleme hızı altında deneye tabi tutulmuşlardır. Standartlarda belirtildiğine göre yükleme hızı 1,5-3,5 kg/cm²/s arasında olabilmektedir. Numunelerin zerine gelen yük üniform olarak yaklaşık 3,16 kg/cm²/s hızla devam edilmiş numune kırıldığı an presin dijital göstergesinden kırılma yükü ve basınç dayanımı değerleri okunmuştur. Sonuçlar her grup için üç numunenin aritmetik ortalaması alınarak Araştırma Bulguları ve Tartışma bölümünde verilmiştir.

3.2.6.b. Ultrasonik dalga hızı

Bilindiği gibi, titreşim frekansı 20 kHz'den fazla olan ses dalgalarına ultrasonik dalgalar denir. Malzeme testinde kullanılan ultrasonik dalgalar piezo-elektrik özellik gösteren transdüserler yardımı ile elde edilmektedir. Betonun bir yüzeyinden gönderilen ultrasonik dalgalar beton içinde ilerlerken yolları üzerinde boşluklara rastlarlar. Bu dalgalar boşluk kenarına gelince karşı tarafa geçemediğinden, boşluğun etrafını dolaşacaktır. Bu olayın pek çok sayıda tekrarlanması ultrasonik dalgaların belirli bir nokta arasındaki yolunu arttıracaktır. Ultrases hızının azalması, betonun boşluklu olduğunu göstermekte buna bağlı olarak beton dayanımı da düşmektedir.

Transdüserlerin temas ettikleri yüzeyle daha iyi temas edebilmeleri için yüzeylerin temiz, düzgün ve boşluksuz olmaları ve transdserlerle beton yüzeyi arasında boşluk kalmayacak bir ultrason jel vb malzeme katmanı kullanılması gerekir. Malzeme olarak: gres yağı, kil çamuru, mastik, gliserin ve alçı kullanılabilir.

Ultrasonik hız ölçümleri, laboratuvarımızda mevcut dijital ultrasonik hız lme aleti ile tespit edilmiştir. Ultrasonik hızların tespiti için direk ölçüm yöntemi kullanılmıştır. Hız lmleri her grup için üç numune üzerinde yapılmıştır. Ultrasonik hızın tespiti yapılırken numunenin ölçüm yapılacak başlıkları bir fırça ile temizlenmiştir. Diğer taraftan okumalardan daha sağlıklı sonuç alınabilmesi için test aletinin başlıklarına ultrason jeli sürülmüş ve her bir numune için en az beş okuma yapılarak bu değerlerin

ortalaması alınmıştır. Harç numunelerde ise her iki yönde ölçümler alınmıştır. Ultrasonik hız ölçümleri ASTM C597-09'deki esaslara göre yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Araştırma Bulguları ve Tartışma bölümünde irdelenmiştir.

3.2.6.c. Yarmada çekme dayanımının belirlenmesi(f_{ct})

Serilerin yarmada çekme dayanımları, silindir yarma deneyi olarak da bilinen deney yöntemi ile belirlenmiştir. Serilerin yarmada çekme dayanımı için 3'er adet 100 x 200 mm boyutlarında silindir örnek kullanılmıştır. Yarma deneyleri serilerin basınç dayanımlarının belirlendiği hidrolik pres ile 28 gün su kürüne tabii tutulan numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deney sırasında presin yük artım hızı 240 kgf/s olarak ayarlanmıştır. Yarmada çekme dayanımları, aşağıda gösterilen denklem kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara Araştırma Bulguları ve Tartışma bölümünde yer verilmiştir.

$$f_{ct} = \frac{2 \times F}{\pi \times L \times d} \quad (3.1)$$

Burada;

f_{ct} : Yarmada çekme dayanımı, MPa

F: En büyük yük, N

L: Numunenin yükleme parçasına temas çizgisi uzunluğu, mm

d: Numunenin seçilen en kesit boyutu, mm



Şekil 3.13. Yarmada çekme dayanımı deney düzeneği

3.2.6.d. Birim ağırlık

Ağırlık ölçümleri donma-çözülme çevrimleri ve yüksek sıcaklık fırınına konmadan önce hem de sonra 0,1 g hassasiyetinde terazi kullanılarak yapılmıştır. Bu ölçümler arasındaki fark ağırlık değişimi olarak alınmıştır. Ağırlık kaybı ölçümleri için her karışımdan üç numune kullanılmıştır ve bu değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır. Kazanılan değerler Araştırma Bulguları ve Tartışma bölümünde verilmiştir.



Şekil 3.14. Birim ağırlık deneyi

3.2.6.e. Yüksek sıcaklık etkisi

Yüksek dayanımlı KYB'lerin çok az boşluklu yapıları nedeniyle yangına karşı dayanımları düşüktür. Yüksek sıcaklık altında beton bünyesindeki serbest su ve çimento hamurundaki kimyasal olarak bağlanmış su buharlaşır fakat yüksek performanslı betonların yoğun yapılarından dolayı buharlaşma gerçekleşemez. Bunun sonucunda beton yüzeyinde dökülmeler görünür ve donatı çeliği yüksek sıcaklıktan korunamaz hale gelir. 3 farklı karışımdan elde edilen numunelerin 28 günü doldurduktan sonra kür havuzundan çıkartılarak fırına konulan numuneler 100, 200, 400, 600 ve 750°C'de 3 saat bekletilerek daha sonra ortam sıcaklığına gelinceye kadar soğutulup ağırlık değişimi, UPV, yarmada çekme dayanımı ve basınç dayanımı testlerine tabi tutulmuştur. Ulaşılan sonuçlar Araştırma Bulguları ve Tartışma bölümünde verilmiştir.



Şekil 3.15. Fırına yerleştirilen numuneler

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu bölümde agrega ve beton deneylerinden elde edilen sonuçlar verilmiştir. Sonuçlar çizelge ve şekiller ile desteklenerek daha da anlaşılır hale getirilmiş ve elde edilen sonuçlar, grafikler ve teknik literatür bilgileri yardımıyla kontrol numuneleri ve karışım parametreleri arasında karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Deneylerde ASTM ve TS standartları kullanılmıştır. Bazı deneylerde ise literatürde var olan, uygunluğu kabul görmüş yöntemler kullanılmıştır.

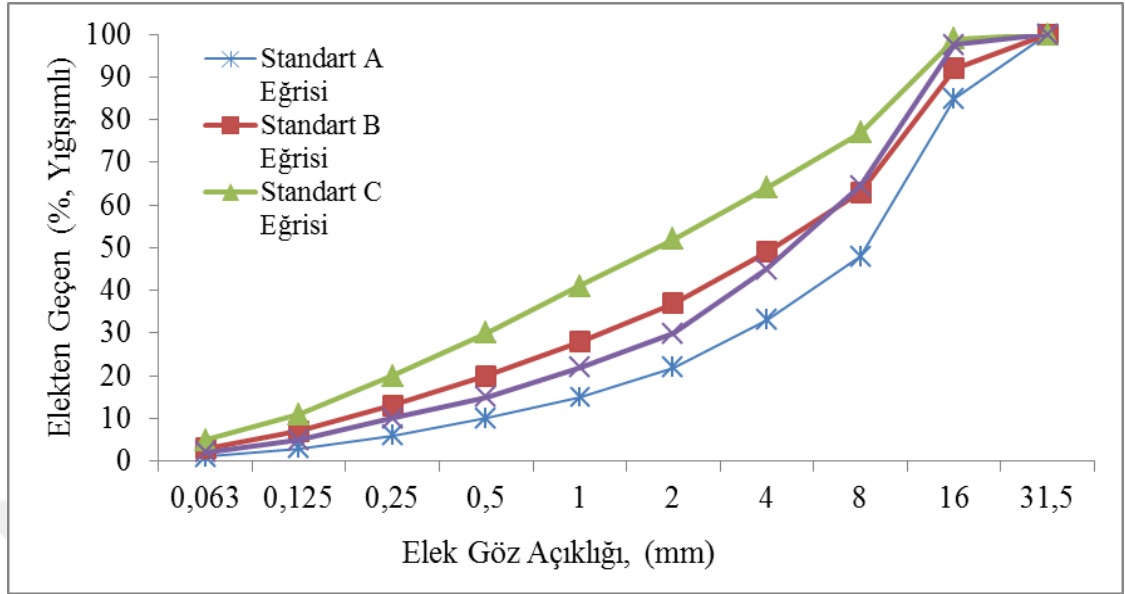
4.1. Agrega Deneyleri ile İlgili Bulgular ve Tartışma

Deneylerde kullanmak için laboratuvara getirilen dere agregası için agrega deneyleri yapmak üzere numune alınmasında TS 706 EN 12620+BAB (2009)'da belirtilen dörde bölerek küçültme (çeyrekleme) metodu kullanılmıştır.

Agrega granülometrisi TS 802-2009'a göre ayarlanmış granülometri olarak kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan agreganın maksimum tane çapı 16 mm'dir. 4 mm ile 16 mm tane sınırları arası iri, 4 mm'nin altındaki agrega ince olarak seçilmiştir. Deney yapılan betonlarda %38 iri, %62 ince agrega oranları kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan beton karışımlarında kullanılan granülometri için elek analizi sonuçları Çizelge 4.1'de ve granülometri eğrisi Şekil 3.1'de (TS 802-2009) verilmiştir.

Çizelge 4.1. Beton karışımları için agregaların elek analizi sonuçları

Elek Çapı (mm)	31,5	16	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063	Tava
Elekten Geçen, Karışım, (%)	100	100	80	62	47	37	18	8	4	2	0



Şekil 4.1. Beton karışımları için granülometri eğrisi

Çalışmada kullanılan tüm agrega sınıfları için çok ince malzeme miktarı tayini TS 706 EN12620 ve TS3530 EN933-1'e uygun olarak yapılmıştır. TS 706 EN 12620+BAB'de çok ince malzeme muhtevası 0,063 mm göz açıklıklı elekten geçen agrega tane sınıfı olarak tanımlanmaktadır. EN 933-1'e uygun olarak tayin edilmiş olan çok ince malzemenin muhtevasının sonuçları Çizelge 4.2'de verilmiştir. Değerlerin de %4'den küçük olması sebebiyle agregadaki ince malzemenin zararsız kabul edilebileceği belirlenmiştir.

Çizelge 4.2. Agregalarda bulunan ince madde oranları

Agrega Sınıfı	0-4 mm	4-16 mm
İnce madde oranı (%)	0,18	0,05

Araştırmada üretilen betonların karışım hesaplarında, agregaların karışıma katıldığı andaki 10 dakikalık piknometre özgül ağırlıkları kullanılmıştır (Murlin and Wilson 1952).

Agregada organik madde tayini TS EN1744-1'e göre yapılmış olup, yapılan deneyde %3 lük NaOH çözeltisi içinde bekletilen numunede renk değişimi gözlenmiştir. 24 saat süreyle çözelti içerisinde agrega bekletildikten sonra sıvı berrak ve renksiz gözleendiğinden agregada zararlı organik madde olmadığı belirlenmiştir.

Kullanılan agregalar için özgül ağırlık deneyleri TS EN 1097-6'a göre yapılmış olup deney sonuçları Çizelge 3.3'te verilmiştir. Yapılan bu deneyde doymuş kuru yüzey özgül ağırlık ve 24 saatlik su emme oranları tayini iri ve ince agrega için ayrı ayrı yapılmıştır. Agregaların doğal (tabii) nemleri tespit edilmiş olup, beton karışım hesabında kullanılan agregalar doymuş yüzey kuru duruma getirilerek kullanılmıştır.

Çizelge 4.3. Agreganın özgül ağırlık ve su emme oranı tayini

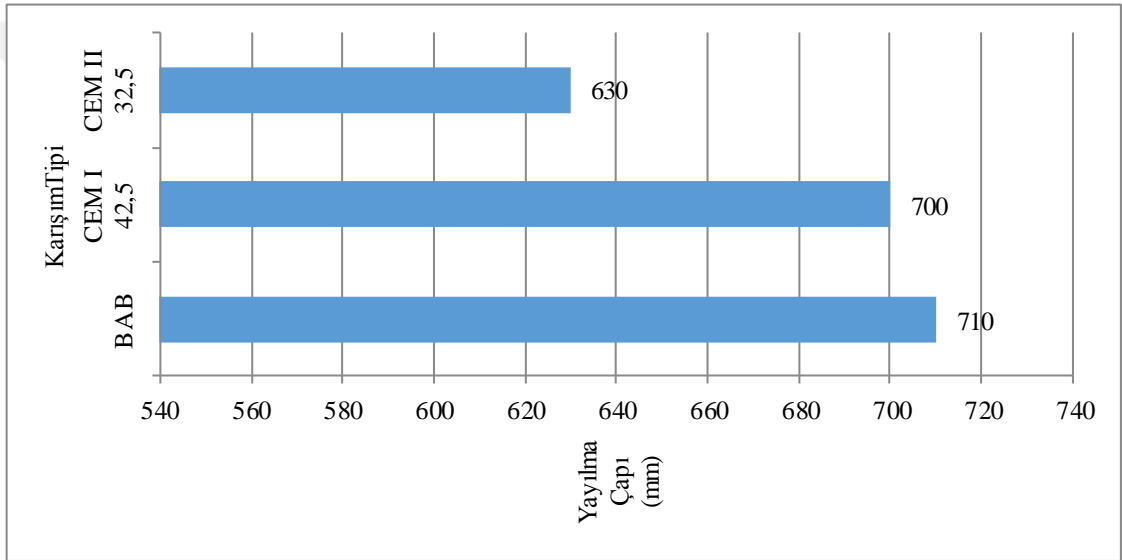
Özellik	Agrega Sınıfı	
	0-4 mm	4-16mm
Doymuş kuru yüzey özgül ağırlık (γ_d)	2,55	2,57
Su emme oranı (%)	1,2	1,3
Tabii nem (%)	1,02	1,05

4.2. Taze Beton Deneyleri ile İlgili Bulgular

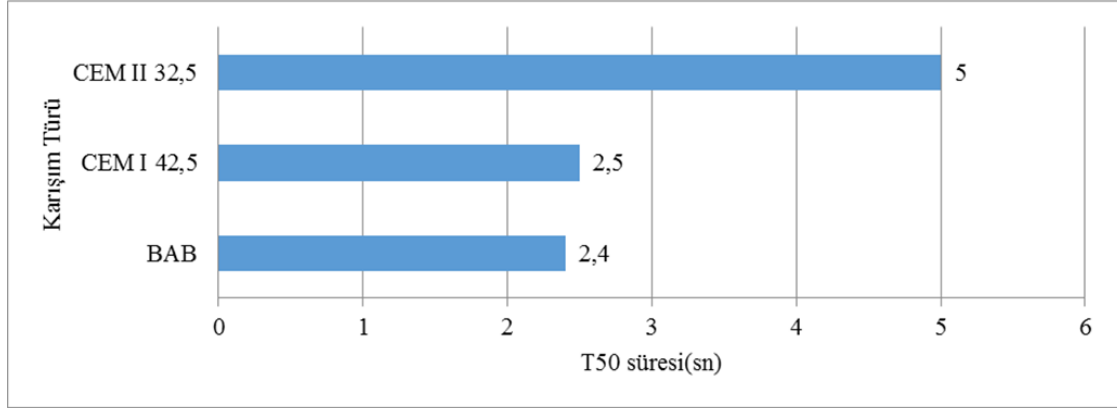
Beton karışım tiplerine göre beton karışım anından hemen sonra yayılma çapı, t_{50} süresi, L kutusu, V akış hızı ve J-halkası deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.4 ve Şekil 4.2'de verilmiştir. Karışımlarda farklı çimentoların kullanılması, HAK maddesinin tüm karışımlarda sabit oranda kullanılması nedeniyle kullanılan farklı çimento tiplerinin işlenebilirlik üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Karışımlardaki çimento oranı sabit olmasına karşın çimento tipleri değişikçe yayılma çaplarında değişiklikler meydana gelmiştir.

Çizelge 4.4. KYB karışımlarının yaş beton değerleri

Karışımlar	Yayılma Çapı		J-Halkalı (mm)	L-Kutusu Geçiş Oranı	V-Akış Hızı (s)
	D (mm)	t ₅₀₀ (s)			
CEM I 42,5	700	2,5	20	0,8	9,6
CEM II 32,5	630	5	40	0,7	10,5
BAB	710	2,4	10	0,9	8

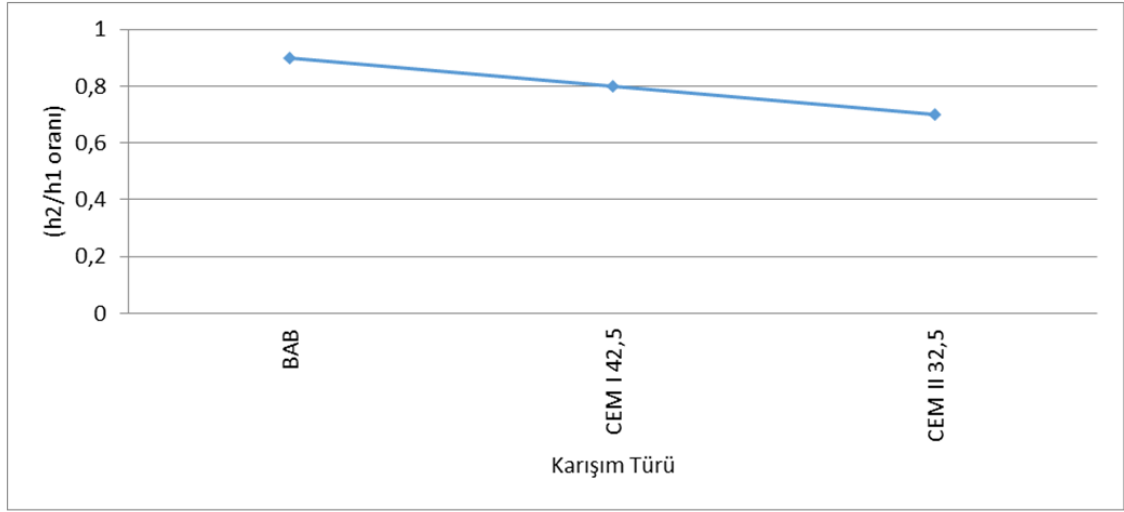
4.2.1. Yayılma çapı (D_f) ve 50 cm çapa yayılma süresi (t₅₀)**Şekil 4.2.** KYB karışımının yayılma formu

Yayılma deneyinde, taze betonun yayılma tablası üzerinde 50 cm çapa yayılma süresi (t_{50}) betonun akıcılığı, akış hızı hakkında fikir veren bir parametredir.



4.2.2. L kutusu ile ilgili bulgular

KYB karışımlarının L-kutusu oranı, bu betonların doldurma ve geçiş yeteneği hakkında bilgi vermektedir.

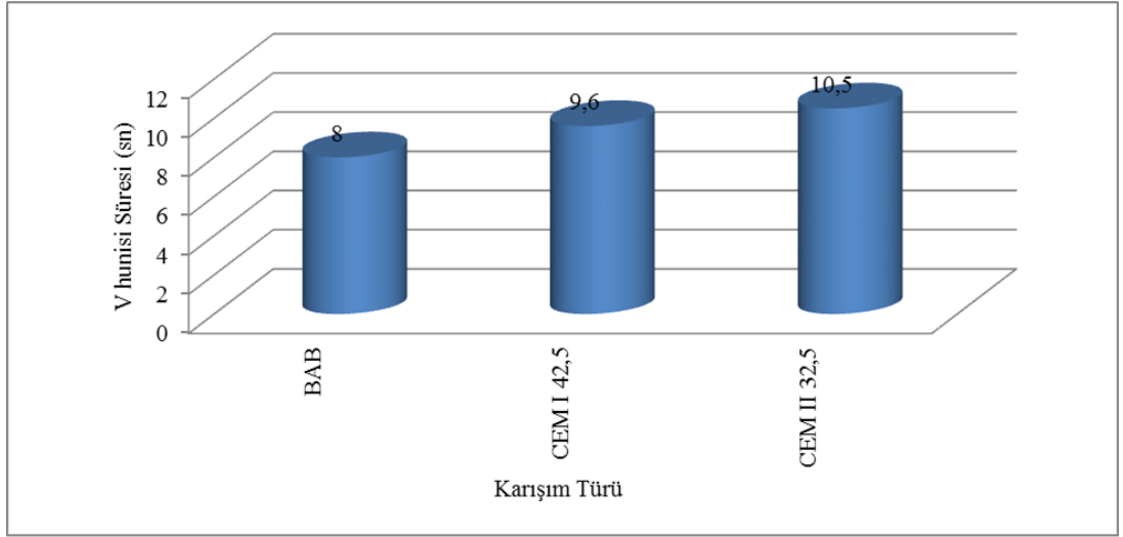


Şekil 4.3. Kontrol betonunun L kutusu görünüşü

4.2.3. V kutusu ile ilgili bulgular

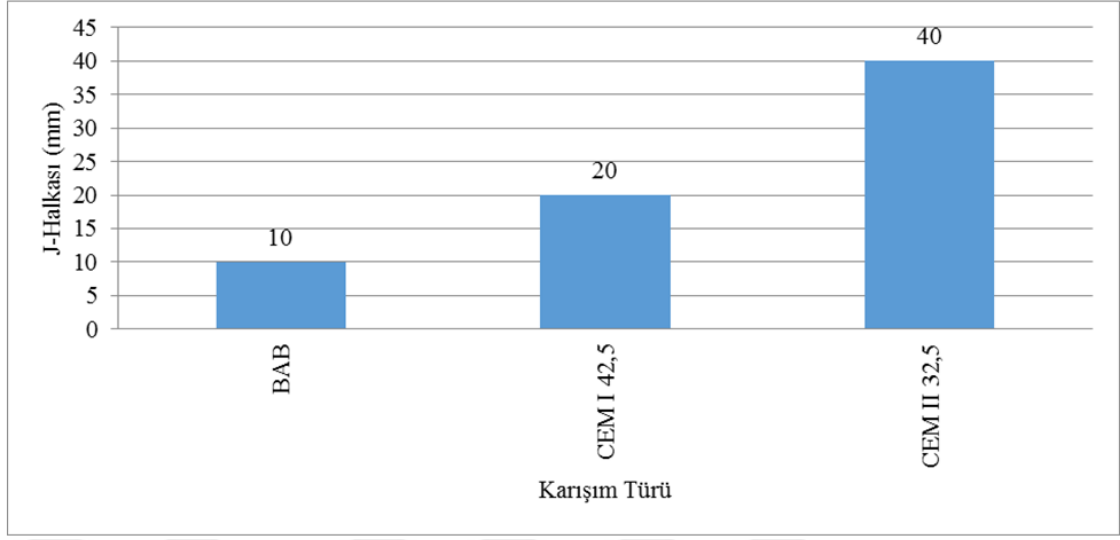
Sabit s/ç oranında, değişik çimento tipleri kullanılarak üretilen KYB karışımlarının viskozite özellikleri V-hunisi deneyi ile incelendiğinde tüm karışımların KYB genel kriterleri içerisinde uygun viskozite özellikleri gösterdiği görülmüştür. Viskozitenin çok düşük olması betonun kendi ağırlığı ile hareket ederken segregasyona uğramasına neden

olurken, çok yüksek olması ise betonun, en dar donatılardan geçerek hareket etmesini zorlaştırmaktadır. Deney sonuçları değerlendirildiğinde, karışımlar içerisinde en yüksek viskozite değerini CEM II 32,5 karışımı, en düşük viskozite değerini ise BAB karışımı vermiştir. Mineral katkı olarak SD'nin çimento ile yer değiştirmesi viskoziteyi de artmıştır. Bu durum SD'nin özgül ağırlığının çimentoya göre daha düşük olmasına bağlanabilir. Daha düşük özgül ağırlığı olan malzeme aynı mukavemet özelliğini sağlayabilmek için daha fazla suya ihtiyaç duymaktadır.



4.2.4. J-Halkası ile ilgili bulgular

Karışımlara ait karışım türü - J-halkası ilişkisi Şekil 4.4'de görülmektedir. BAB çimentolu karışımda J-halkası değeri 10 mm civarında, CEM I 42,5 çimentolu karışımda 20 mm ve CEM II 32,5 çimentolu karışımda ise 40 mm ölçülmüştür. EFNARC (2002)'de önerilen 300 mm çaplı J-halkası için 10 mm'den büyük J-halkası değerlerinin karışımda bloklanma eğilimini işaret ettiği belirtilmiştir. BAB çimentolu karışımda bloklanma eğilimi olmayacağı diğer karışımlarda ise bloklanma eğilimi olabileceği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.4. Kontrol betonunun J Halkası görünüşü

4.3. Sertleşmiş Beton Deneyleri ile İlgili Bulgular

4.3.1. Mekanik özellikler ile ilgili bulgular ve tartışma

4.3.1.a. Basınç dayanımı

Basınç dayanımı deneyleri, 10x20 cm'lik standart silindir numuneler üzerinde 3 farklı grup numune olarak 28.günlerde gerçekleştirilmiştir. Numuneler, kür havuzundan çıkarıldıktan sonra ortam sıcaklığına kadar kurumması beklenmiş, prese konularak deneyler gerçekleştirilmiştir. 3 farklı grupta üretilen KYB'nin basınç dayanımları araştırılmış sonuçlar Çizelge 4.5'de verilmiştir.

Sertleşmiş betonun mekanik özellikleri kapsamında üç farklı karışımdaki KYB deney numunelerinin basınç dayanımlarını belirlemek amacıyla yapılan 28 günlük basınç dayanımı deneyleri sonucunda KYB deney numuneleri, s/ç oranlarının düşük olması, mineral katkı SD ikame edilerek üretilen betonların bünyesindeki boşlukların minimize edilmesi gibi sebeplerden dolayı yüksek basınç dayanımı değerleri vermiştir. 28 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında en yüksek basınç dayanımları değerlerinin sırasıyla BAB, CEM I 42,5 ve CEM II 32,5 karışımları verdiği görülmektedir.

Çizelge 4.5. Sertleşmiş beton numunelerinin 28 günlük basınç dayanımı deney sonuçları

Beton Türü				A (MPa)	B (MPa)	C (MPa)
1	BAB	CEM -I	CEM -II	45,21	39,40	29,80

Üretilen numuneler $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta kirece doymun su içerisinde deney gününe kadar kür edilmiştir. Deney numuneleri, basınç dayanımı deneyine tabi tutulmadan önce numuneler üzerinde UPV ve birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Sertleşmiş beton numunelerinin basınç dayanımı deneyleri sonucunda elde edilen değerler Çizelge 4.5'te gösterilmiştir.

4.3.1.b. Yarmada çekme dayanımı deneyleri

Yarmada çekme dayanım deneyleri yapılmadan önce 10x20 cm'lik standart silindir numuneler üzerinde 3 farklı grup numuneler 28. günlerde gerçekleştirilmiştir. Numuneler, kür havuzundan çıkarıldıktan sonra ortam sıcaklığına kadar kuruması beklenmiş, prese konularak deneyler gerçekleştirilmiştir. 3 farklı grupta üretilen KYB'lerin yarmada çekme dayanımları araştırılmış sonuçlar Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Karışımlarının yarmada çekme dayanımları 5,13–3,40 MPa aralığında olduğu bulunmuştur. Karşılaştırma yapılan farklı grup numunelerde s/b oranı aynı olmasına rağmen tüm karışımların SD oranıyla yer değiştirmesi sonucunda yarmada çekme dayanımlarının arttığı görülmektedir. Basınç dayanımları incelendiğinde de anlaşılacağı gibi yarmada çekme dayanım değerleri basınç dayanımı ile paralellik göstermektedir. Karışımlarda en düşük dayanımı CEM II 32,5 çimentolu karışımı, en yüksek dayanımı ise BAB çimentolu karışımın verdiği görülmüştür.

TS 500'de betonların çekme dayanımlarının belirlenmesindeki güçlüklerden bahsedilmiştir. Betonun çekme dayanımını belirleyebilmek ve basınç dayanımları ile ilişkilendirebilmek için, numune sayısının çok fazla olması gerektiği belirtilmiştir. Betonun çekme dayanımının, basınç dayanımına oranla çok düşük olduğu bilinmektedir. Çekme dayanımı basınç dayanımının yaklaşık olarak %10'u kadardır. Basınç dayanımına etki eden tüm değişkenler çekme dayanımına da etki etmektedir.

Çizelge 4.6. Sertleşmiş beton numunelerinin 28 günlük yarmada çekme dayanımı deney sonuçları

Beton Türü				A(MPa)	B(MPa)	C(MPa)
1	BAB	CEM -I	CEM -II	5,13	4,37	3,40

4.3.1.c. Ultrases geçiş hızı deneyleri

Ultrases geçiş hızı deneyleri sertleşmiş beton numunelerinin basınç dayanımı deneyleri yapılmadan önce 10x20 cm'lik standart silindir numuneler üzerinde 3 farklı grup numuneler 28. günlerde gerçekleştirilmiştir. Numuneler, kür havuzundan çıkarıldıktan sonra ortam sıcaklığına kadar kurumaları beklenmiş, düz bir zemin üzerine konularak deneyler gerçekleştirilmiştir.

UPV ölçümü sırasında, numunenin deneye tabi tutulacak yüzeylerine özel bir jel ultrases cihazına ait problemlerin geleceği yüzeye sürülmüştür, Numuneler ultrases cihazının alıcısı (receiver) ile vericisi (transmitter) arasına yerleştirilerek, numune üzerinden ses dalgası geçirilmiş ve bu sesin numuneden geçiş zamanı s olarak ölçülmüştür. Daha sonra sesin numune üzerinden geçtiği mesafe ölçülerek, geçiş mesafesi geçiş zamanına bölünmüş ve ultrases geçiş hızı m/s olarak bulunmuştur. Sertleşmiş beton deney numuneleri üzerinde yapılan ultrases geçiş hızı deneyleri ile elde edilen sonuçlar Çizelge 4.7'de gösterilmiştir.

Sertleşmiş betonun basınç dayanımını belirlemek için kullanılan ve tahribatsız deney yöntemlerinden biri olarak isimlendirilen UPV deneyi farklı karışımlarda hazırlanan KYB deney numuneleri üzerinde yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Deney sonuçlarına göre 28 günlük UPV değerleri karşılaştırıldığında CEM II 32,5 karışımından en düşük UPV değeri, BAB çimentolu karışımından ise en yüksek UPV değeri elde edilmiştir.

Tüm karışımlar incelendiğinde basınç dayanımıyla paralel olarak BAB çimentolu karışımlarının en yüksek sonuç verdiği en yüksek UPV değerinin elde edildiği görülmüştür.

Çizelge 4.7. Sertleşmiş beton numunelerinin üzerinde yapılan UPV deney sonuçları

Beton Türü				A (m/sn)	B (m/sn)	C (m/sn)
1	BAB	CEM -I	CEM -II	4250	4055	3879

4.3.1.d. Birim ağırlık

Birim Ağırlık deneyleri 10x20 cm'lik standart silindir numuneler üzerinde 3 farklı grup numuneler 28.günlerde gerçekleştirilmiştir. Sertleşmiş beton deney numuneleri üzerinde yapılan birim ağırlık deneyleri sonucunda elde edilen değerler Çizelge 3.8'de gösterilmiştir. Birim ağırlık deney sonuçları, yüksek sıcaklıkta ve donma çözülme numunelerindeki ağırlık kayıpları hesaplamasında kullanılmıştır.

Aşağıdaki Çizelge 4.8'de görüleceği üzere karışımların birim ağırlıklarının birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Karışımlardaki SD oranının çimento tipleri ile yer değiştirmesi sonucunda birim ağırlıklarda düşme görülmektedir. Bunun nedeni ise SD'nin özgül ağırlığının çimentonun özgül ağırlığından küçük olmasıdır. Yukardaki Çizelge 4.11'den incelendiği zaman en düşük birim ağırlığın CEM II 32,5 karışımı ve en yüksek birim ağırlığın ise BAB çimentolu karışımın olduğu görülmektedir. Karışımların birim ağırlıkları 2271 kg/m^3 ile 2250 kg/m^3 aralığında değiştiği görülmektedir.

Çizelge 4.8. Sertleşmiş beton numunelerinin 28 günlük birim ağırlık deney sonuçları

Beton Türü				A(kg/m ³)	B(kg/m ³)	C(kg/m ³)
1	BAB	CEM -I	CEM -II	2271	2266	2250

4.3.2. Dayanıklılık ile ilgili bulgular ve tartışma

4.3.2.a. Yüksek sıcaklık deneyi

1. Yüksek sıcaklık altındaki basınç dayanımı

Bu kısımda, farklı karışımlarda tasarlanarak üretilen KYB deney numunelerinin 3 farklı sıcaklık derecesine maruz bırakılması sonucu basınç dayanımlarındaki değişim açıklanmaktadır. BAB çimentosunun yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan betonlardaki etkinliğini belirlemek amacıyla 28 gün boyunca standartlara uygun olarak kür edilen numuneler 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 600°C ve 750°C'de yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmıştır.

Daha sonra fırından çıkarılarak soğumaya bırakılmış ve numuneler üzerinde basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Ayrıca, Şahit numuneleri de (yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan numuneler ile kıyaslama yapmak amacıyla) herhangi bir sıcaklığa maruz bırakılmadan basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuş, böylece yüksek sıcaklık etkisinde oluşan basınç dayanımı kayıpları belirlenmeye çalışılmıştır. Çizelge 3.9'da şahit, 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 600°C ve 750°C sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin basınç dayanımı değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.10'da ise 6 farklı sıcaklık derecesinde meydana gelen dayanım kayıpları görülmektedir. Farklı karışımlarda üretilen KYB numuneleri farklı çimento tipleri ile üretilen özellikle BAB çimentosu ile üretilen numunelerin yüksek sıcaklık etkisi altında nasıl bir performans sergiledikleri belirlenmiştir.

Çizelge 4.9. 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 600°C ve 750°C sıcaklığa maruz bırakılan KYB numunelerin basınç dayanımı değerleri

Beton Türü	Kontrol (MPa)	100°C (MPa)	200°C (MPa)	300°C (MPa)	400°C (MPa)	600°C (MPa)	750°C (MPa)
1 BAB	45,21	43,91	35,37	34,59	32,6	20,49	8,3
2 CEM -I	39,40	35,10	34,36	29,21	27,81	14,75	5,3
3 CEM -II	29,80	26,74	24,98	22,79	20,61	12,31	3,5

Çizelge 4.10. 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 600°C ve 750°C sıcaklığa maruz bırakılan KYB numunelerinde meydana gelen basınç dayanım kayıpları

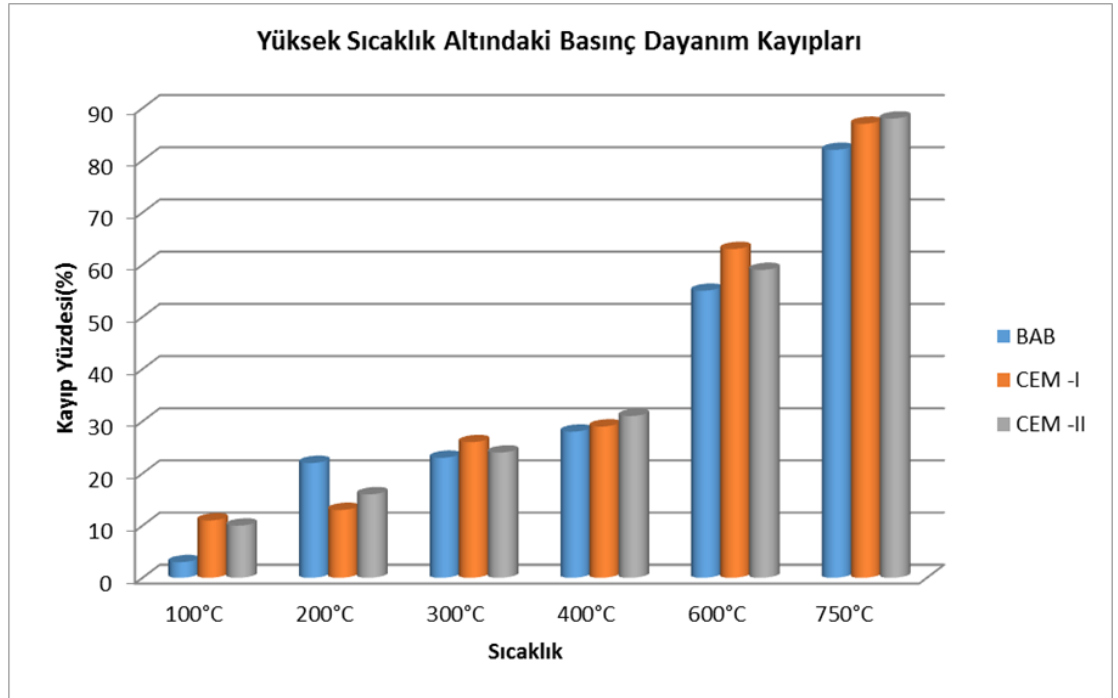
Beton Türü	100°C Bas.Day. Kay. (%)	200°C Bas.Day. Kay. (%)	300°C Bas.Day. Kay. (%)	400°C Bas.Day. Kay. (%)	600°C Bas.Day. Kay. (%)	750°C Bas.Day. Kay. (%)
1 BAB	3	22	23	28	55	82
2 CEM -I	11	13	26	29	63	87
3 CEM -II	10	16	24	31	59	88

Yüksek sıcaklık altındaki basınç dayanımı değerlendirme

Bu kısımda, farklı çimentolarla tasarlanarak üretilen KYB deney numunelerinin 6 farklı sıcaklık derecesine maruz bırakılması sonucu basınç dayanımlarındaki değişim değerlendirilmiştir. BAB çimentoların yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan betonlardaki etkinliğini belirlemek amacıyla numuneler BAB olarak üretilmiş ve 28 gün boyunca standartlara uygun olarak kür edildikten sonra 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 600°C ve 750°C’de yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmıştır.

Şekil’da çimento ile SD %7,5 ikame oranlarında yer değiştirmesiyle üretilen KYB betonların 6 farklı sıcaklık derecesindeki davranışı görülmektedir. Bu şekil incelendiğinde tüm KYB karışımlarının sıcaklık arttıkça bağıl basınç dayanımlarında azalma olduğu görülmektedir. BAB çimentosu ile üretilen KYB numuneleri 100°C sıcaklığa maruz kaldığında, yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmamış numunelere göre, bağıl basınç dayanımı değerlerinde %3, 200°C sıcaklığa maruz kaldığında %22, 300°C sıcaklığa maruz kaldığında %23, 400°C sıcaklığa maruz kaldığında %28, 600°C sıcaklığa maruz kaldığında %55 ve 750°C sıcaklığa maruz kaldığında %82 azalış

meydana gelmiştir. CEM I 42,5 çimentosu ile üretilen KYB numuneleri 100°C sıcaklığa maruz kaldığında, yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmamış numunelere göre, bağıl basınç dayanımı değerlerinde %11, 200°C sıcaklığa maruz kaldığında %13, 300°C sıcaklığa maruz kaldığında %26, 400°C sıcaklığa maruz kaldığında %29, 600°C sıcaklığa maruz kaldığında %63 ve 750°C sıcaklığa maruz kaldığında %87 azalış meydana gelmiştir. CEM II 32,5 çimentosu ile üretilen KYB numuneleri 100°C sıcaklığa maruz kaldığında, yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmamış numunelere göre, bağıl basınç dayanımı değerlerinde %10, 200°C sıcaklığa maruz kaldığında %16, 300°C sıcaklığa maruz kaldığında %24, 400°C sıcaklığa maruz kaldığında %31, 600°C sıcaklığa maruz kaldığında %59 ve 750°C sıcaklığa maruz kaldığında %88 azalış meydana gelmiştir. Bu sonuçlar irdelendiğinde, BAB çimentolu karışımların diğer karışımlara göre daha az dayanım kaybına uğradığı anlaşılmaktadır. Karışımlar içerisinde en iyi performansı BAB çimentosu ile üretilen KYB karışımı vermiştir ve diğer CEM I ve CEM II çimentolarıyla üretilen betonların dayanım kayıplarının benzer olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.5. KYB numunelerinin yüksek sıcaklık altında basınç dayanım kayıplarının yüzde görünümü

KYB olarak tasarlanan tüm karışımlar özellikle 750°C'deki sıcaklıklara maruz kaldıklarında dayanımlarını büyük ölçüde kaybetmiştir. Aynı s/ç oranı ve dayanım sınıfındaki geleneksel betonlarla kıyaslandığında, KYB'lerde yüksek sıcaklık etkisinde oluşan tahribat daha yüksek olmaktadır. Bu durum, KYB'lerin daha sıkı mikro yapıya sahip olmalarının sonucu olarak yüksek sıcaklığın etkisinde iç basınçlarının yüksek olması nedeniyle artan buhar basıncının meydana getirdiği tahribata bağlanabilir. 200°C'yi aşan sıcaklıklarda meydana gelen bağıl basınç dayanımındaki azalma, çimentonun bünyesindeki alüminli ve demir oksitli bileşenlerdeki bünye suyu kaybının, basınç dayanımında düşüş meydana getirmesine bağlanabilir. Ayrıca, 300°C'yi aşan sıcaklıklarda normal şartlarda buharlaşmayan bağlı suların da uçması hasarın mertebesini artırmaktadır. Böylece, beton basınç dayanımında düşüşler meydana gelmektedir. Bilindiği üzere, betonun bünyesindeki çimento hamurunda bulunan bileşenlerden birisi Ca(OH)_2 'dir. Ca(OH)_2 'in sönmemiş kirece (CaO) dönüşmesi 400°C üzerinde olmaktadır. Beton içindeki kirecin, sönmemiş kirece dönüşmesi yaklaşık %33 civarında bir büzülme oluşması anlamına gelmektedir. Kısa sürede büzülen ve genişleyen beton içinde oluşan parazit gerilmeler hasarın büyümesine neden olmaktadır. 400°C'yi aşan sıcaklıklarda ise C-S-H'ların tahrip olmaya başladığı, betonun dayanımının hızla azaldığı, 900°C civarında ise C-S-H yapısının tamamen dağıldığı görülmektedir. KYB üretiminde çimento ile ikameli olarak kullanılan uçucu külün diğer mineral katkılara göre yüksek sıcaklık etkisinde daha iyi performans göstermesi, yüksek sıcaklık ve basıncın etkisinde uçucu kül ve kirecin bir ürünü olarak meydana gelen tobermolit jel formasyonunun C-S-H jeline göre iki ya da üç kat daha güçlü ve dayanıklı olmasına bağlanabilir (Khatip 2008).

Yüksek performanslı betonlar içerisinde yer alan KYB'lerin geleneksel betonlara göre daha sıkı mikro yapıya sahip olmaları nedeniyle yüksek sıcaklığın etkisinde iç basınçlarının yüksek olmasının sonucu olarak artan buhar basıncının meydana getirdiği tahribat neticesinde beton bünyesinde kapak atmalar meydana gelmektedir. Bu kapak atmalar BAB çimentolu betonlarda kısmen daha az olduğu görülmüştür.

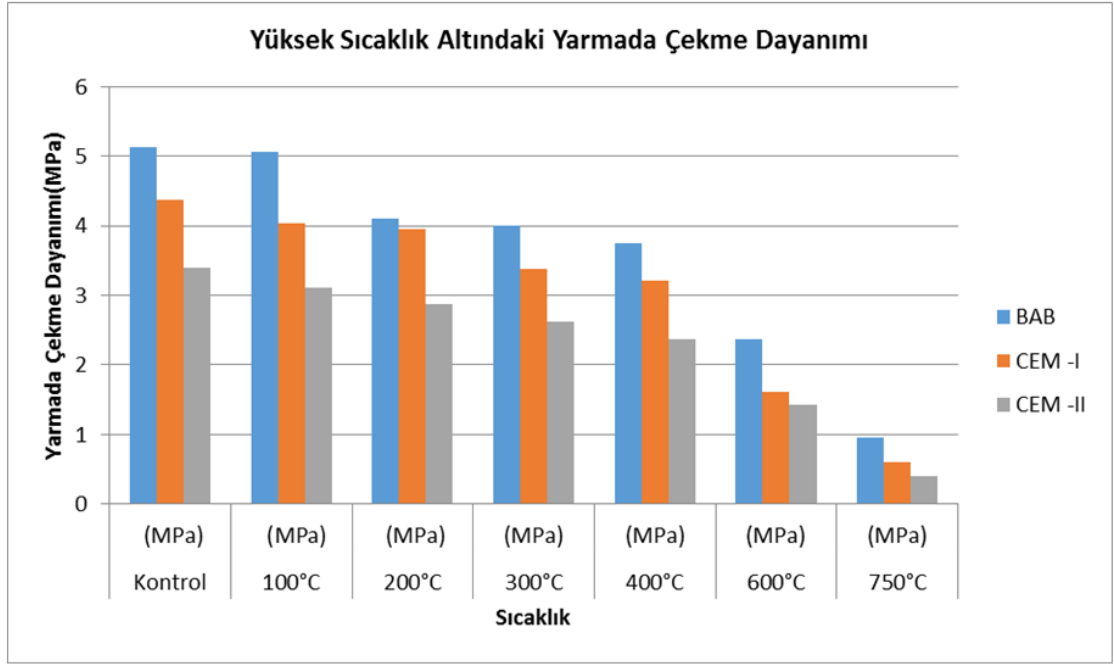
2. Yüksek sıcaklık altındaki yarmada çekme dayanımı

Bu kısımda, farklı karışımlarda tasarlanarak üretilen KYB deney numunelerinin 3 farklı sıcaklık derecesine maruz bırakılması sonucu yarmada çekme dayanımlarındaki değişim açıklanmaktadır. BAB çimentosunun yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan betonlardaki etkinliğini belirlemek amacıyla 28 gün boyunca standartlara uygun olarak kür edilen numuneler 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 600°C ve 750°C’de yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmıştır.

Yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış KYB numunelerde meydana gelen yarmada çekme dayanımındaki değişiklikler aşağıdaki Çizelge 3.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11. 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 600°C ve 750°C sıcaklığa maruz bırakılan KYB numunelerin yarmada çekme dayanımı değerleri

Betón Türü		Kontrol (MPa)	100°C (MPa)	200°C (MPa)	300°C (MPa)	400°C (MPa)	600°C (MPa)	750°C (MPa)
1	BAB	5,13	5,07	4,11	4,00	3,75	2,37	0,95
2	CEM -I	4,37	4,04	3,96	3,38	3,21	1,61	0,61
3	CEM -II	3,40	3,11	2,88	2,63	2,37	1,43	0,40



Şekil 4.6. KYB numunelerinin yüksek sıcaklık altında yarmada çekme dayanım deney sonuçları

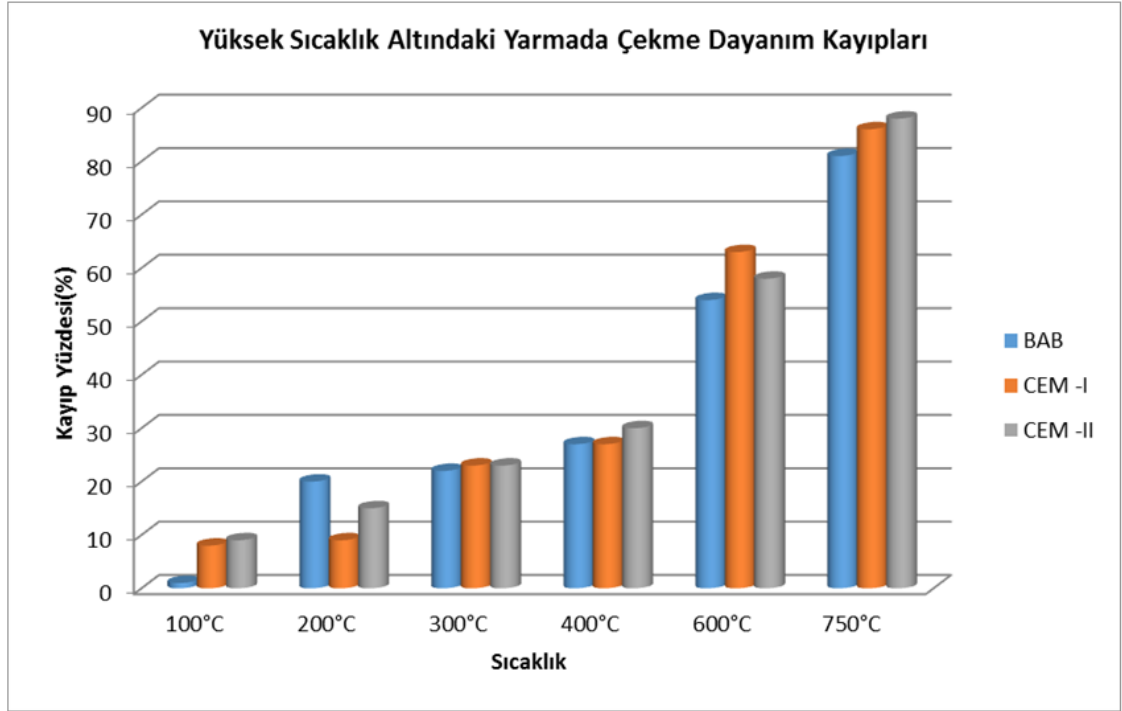
Yüksek sıcaklık altındaki yarmada çekme dayanımı değerlendirme

Şekil 4.6'da çimento ile SD %7,5 ikame oranlarında yer değiştirmesiyle üretilen KYB betonların 6 farklı sıcaklık derecesindeki davranışı görülmektedir. Bu şekil incelendiğinde tüm KYB karışımlarının sıcaklık arttıkça yarmada çekme dayanımlarında azalma olduğu görülmektedir. BAB çimentosu ile üretilen KYB numuneleri 5,13 MPa-0,95 MPa arasında değiştiği, CEM-I çimentosu ile üretilen KYB numuneleri 4,37 MPa-0,61 MPa arasında değiştiği, CEM-II çimentosu ile üretilen KYB numuneleri 3,40 MPa-0,40 MPa arasında değiştiği görülmektedir. BAB çimentolu karışımlar 100°C sıcaklığa maruz kaldığında, yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmamış numunelere göre, yarmada çekme dayanımı değerlerinde %1, 200°C sıcaklığa maruz kaldığında %20, 300°C sıcaklığa maruz kaldığında %22, 400°C sıcaklığa maruz kaldığında %27, 600°C sıcaklığa maruz kaldığında %54 ve 750°C sıcaklığa maruz kaldığında %81 azalış meydana gelmiştir. CEM I 42,5 çimentosu ile üretilen KYB numuneleri 100°C sıcaklığa maruz kaldığında, yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmamış numunelere göre, yarmada çekme dayanımı değerlerinde %8,

200°C sıcaklığa maruz kaldığında %9, 300°C sıcaklığa maruz kaldığında %23, 400°C sıcaklığa maruz kaldığında %27, 600°C sıcaklığa maruz kaldığında %63 ve 750°C sıcaklığa maruz kaldığında %86 azalış meydana gelmiştir. CEM II 32,5 çimentosu ile üretilen KYB numuneleri 100°C sıcaklığa maruz kaldığında, yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmamış numunelere göre, yarmada çekme dayanımı değerlerinde %9, 200°C sıcaklığa maruz kaldığında %15, 300°C sıcaklığa maruz kaldığında %23, 400°C sıcaklığa maruz kaldığında %30, 600°C sıcaklığa maruz kaldığında %58 ve 750°C sıcaklığa maruz kaldığında %88 azalış meydana gelmiştir. Bu sonuçlar irdelendiğinde, BAB çimentolu karışımların diğer karışımlara göre daha az dayanım kaybına uğradığı anlaşılmaktadır. Karışımlar içerisinde en iyi performansı BAB çimentosu ile üretilen KYB karışımı vermiştir ve diğer CEM I ve CEM II çimentolarıyla üretilen betonların dayanım kayıplarının benzer olduğu tespit edilmiştir. Dayanım kayıplarının basınç dayanımlarıyla kıyaslandığı zaman paralellik gösterdiği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.12. 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 600°C ve 750°C sıcaklığa maruz bırakılan KYB numunelerinde meydana gelen yarmada çekme dayanım kayıpları

Beton Türü	100°C	200°C	300°C	400°C	600°C	750°C
	Bas.Day. Kay. (%)	Bas.Day. Kay. (%)	Bas.Day. Kay. (%)	Bas.Day. Kay. (%)	Bas.Day. Kay. (%)	Bas.Day. Kay. (%)
1 BAB	1	20	22	27	54	81
2 CEM -I	8	9	23	27	63	86
3 CEM -II	9	15	23	30	58	88



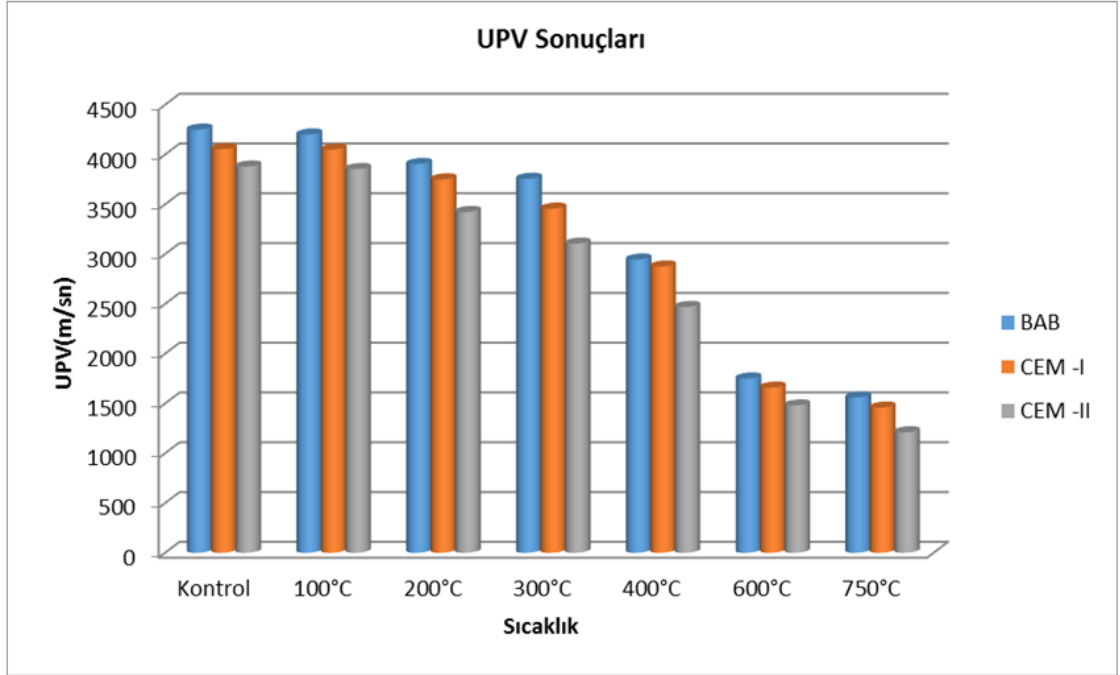
Şekil 4.7. KYB numunelerinin yüksek sıcaklık altında yarmada çekme dayanım kayıplarının yüzde görünümü

3. Yüksek sıcaklık altındaki UPV

Yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış KYB numunelerde meydana gelen UPV deki değişiklikler aşağıdaki Çizelge 4.13’de verilmiştir.

Çizelge 4.13. 20°C (Kontrol), 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 600°C ve 750°C sıcaklığa maruz bırakılan KYB numunelerinde meydana gelen UPV değerleri

Beton Türü		Kontrol (m/sn)	100°C (m/sn)	200°C (m/sn)	300°C (m/sn)	400°C (m/sn)	600°C (m/sn)	750°C (m/sn)
1	BAB	4250	4201	3905	3756	2945	1750	1560
2	CEM -I	4055	4049	3750	3456	2875	1659	1458
3	CEM -II	3879	3854	3423	3105	2469	1480	1210



Şekil 4.8. KYB numunelerinin yüksek sıcaklık altında UPV deney sonuçları

Yüksek sıcaklığa maruz kalan numunelerinin UPV değerleri Çizelge 4.13’de verilmiştir. Karışımlardaki sıcaklık arttıkça UPV değerlerinin düştüğü gözlenmiştir. Bu azalma miktarlarının, yüksek sıcaklığa maruz kalmış numunelerde, kontrol numuneleri BAB çimentosu numuneleri ile karşılaştırıldığında 100, 200, 300, 400, 600 ve 750°C’ye maruz kalmış olan numuneler için, sırasıyla %1, %8, %12, %31, %59 ve %63 olduğu görülmüştür. Kontrol numuneleri CEM I çimentosu numuneleri ile karşılaştırıldığında sırasıyla %0, %8, %15, %30, %60 ve %64 olduğu ve son olarak kontrol numuneleri CEM II çimentosu numuneleri ile karşılaştırıldığında sırasıyla %0, %12, %20, %26, %62 ve %69 olduğu görülmüştür. Karışımlarının 20, 100, 200, 300, 400, 600 ve 750°C’ye maruz kalan numunelerin ortalama UPV değerleri Şekil 4.8’de gösterilmiştir.

Sonuç olarak farklı yüksek sıcaklıklara maruz kalan bütün KYB karışımlarından elde edilen UPV değerleri yukarıda çizelge ve şekilde gösterilmiştir. Şekilden görüleceği gibi sıcaklığın artmasıyla UPV değerlerinin azaldığı görülmüştür. Yukarıdaki şekilden görüldüğü gibi 400°C üzerindeki sıcaklıklarda UPV değerlerinde ciddi azalmalar olduğu görülmüştür. Uysal (2012) yaptığı çalışmada yüksek sıcaklığa maruz kalan

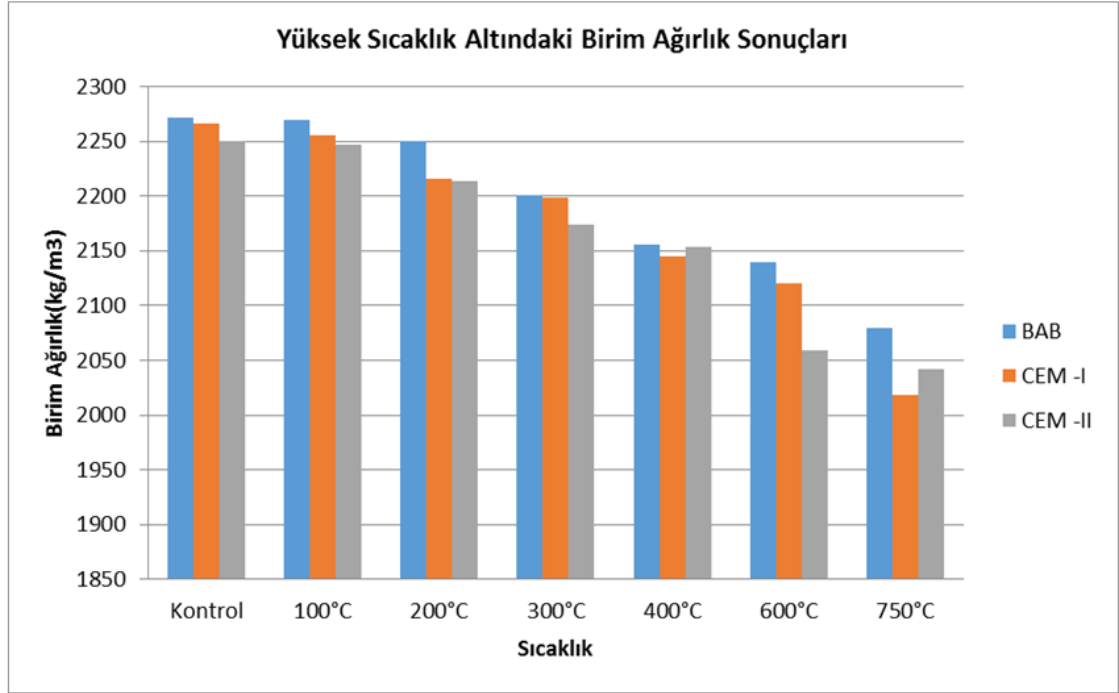
numunelerin UPV değerlerinde azalma olduğu ve özellikle 400°C üzerindeki sıcaklıklarda UPV değerlerinde dikkate değer azalma olduğunu bulmuştur. Betonların içerisinden geçen dalga hızı yüksek sıcaklıkta beton içerisinde oluşan çatlaklar tarafından da etkilenir. Sıcaklığın artmasıyla UPV'deki azalmanın bir diğer nedeni ise malzemedeki çatlakların ilerleyişinin bir ölçüsüdür. Yang *et al.* (2009) yaptıkları çalışmada yüksek sıcaklık sonucunda betonda meydana gelen çatlakların UPV değerini azalttığını tespit etmişlerdir. Betondaki mikro çatlakların dalga hızını azalttığı için UPV değerleri de azalmaktadır.

4. Yüksek sıcaklık altındaki ağırlık kaybı

Artan sıcaklık değerleriyle KYB karışımlarının ağırlık kayıpları aşağıdaki çizelge 4.15'de görülmektedir.

Çizelge 4.14. 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 600°C ve 750°C sıcaklığa maruz bırakılan KYB numunelerinin birim ağırlık değerleri

Beton Türü	Kontrol (kg/m ³)	100°C (kg/m ³)	200°C (kg/m ³)	300°C (kg/m ³)	400°C (kg/m ³)	600°C (kg/m ³)	750°C (kg/m ³)
1 BAB	2271	2269	2250	2201	2156	2140	2079
2 CEM -I	2266	2255	2216	2198	2145	2120	2018
3 CEM -II	2250	2247	2213	2174	2153	2059	2042

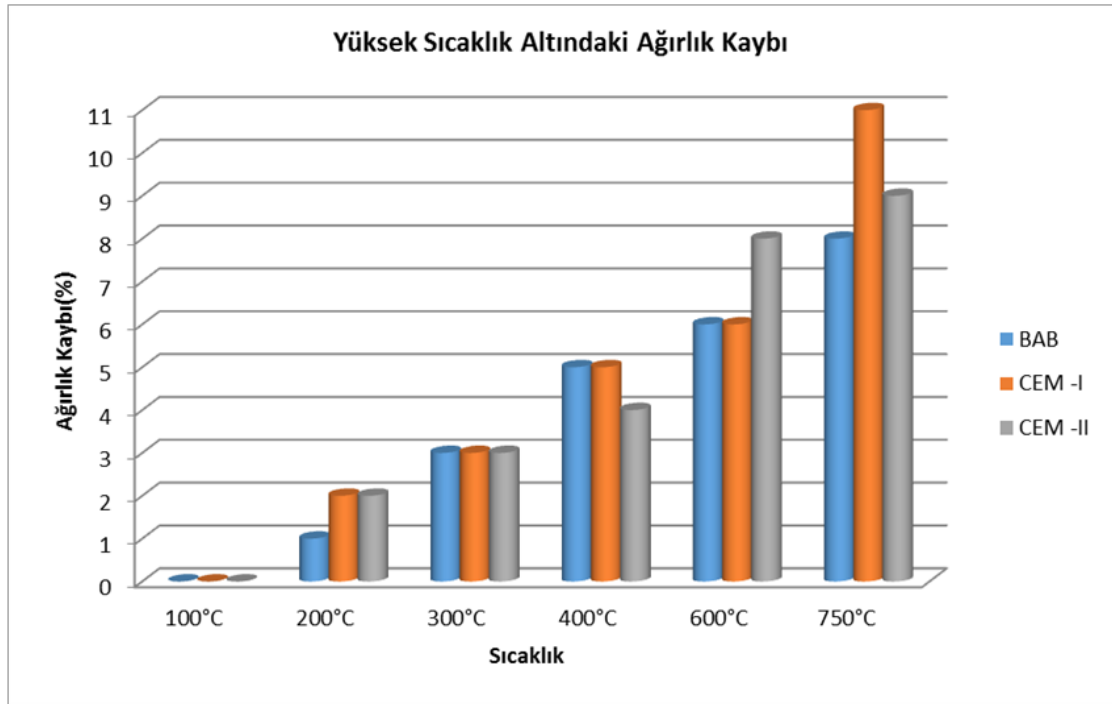


Şekil 4.9. KYB numunelerinin yüksek sıcaklık altında birim ağırlık deney sonuçları

Karışımların yüksek sıcaklığa maruz kalmış birim ağırlık değerleri Çizelge 4.14’de verilmiştir. Karışımlardaki sıcaklık arttıkça birim ağırlık değerlerinin düştüğü gözlenmiştir. Bu azalma miktarlarının, yüksek sıcaklığa maruz kalmış numunelerde, kontrol numuneleri BAB çimentosu numuneleri ile karşılaştırıldığında 100, 200, 300, 400, 600 ve 750°C’ye maruz kalmış olan numuneler için, sırasıyla %0, %1, %3, %5, %6 ve %8 olduğu görülmüştür. Kontrol numuneleri CEM I çimentosu numuneleri ile karşılaştırıldığında sırasıyla %0, %2, %3, %5, %6 ve %11 olduğu ve son olarak kontrol numuneleri CEM II çimentosu numuneleri ile karşılaştırıldığında sırasıyla %0, %2, %3, %4, %8 ve %9 olduğu görülmüştür. Karışımlarının 20, 100, 200, 300, 400, 600 ve 750°C’ye maruz kalan numunelerin ortalama birim ağırlık kayıp değerleri Şekil 4.15’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.15. 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 600°C ve 750°C sıcaklığa maruz bırakılan KYB numunelerinde meydana gelen ağırlık kayıpları

Beton Türü		100°C Ağırlık Kaybı (%)	200°C Ağırlık Kaybı (%)	300°C Ağırlık Kaybı (%)	400°C Ağırlık Kaybı (%)	600°C Ağırlık Kaybı (%)	750°C Ağırlık Kaybı (%)
1	BAB	0	1	3	5	6	8
2	CEM -I	0	2	3	5	6	11
3	CEM -II	0	2	3	4	8	9



Şekil 4.10. KYB numunelerinin yüksek sıcaklık altında birim ağırlık kayıpları

5. SONUÇLAR

Bu çalışmanın temel amacı, BAB Çimentolu KYB'lerin yüksek sıcaklık altındaki performansı üzerinde çalışılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda ulaşılan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- 1) SD katkısı KYB yayılma çapı değerlerini artırmış işlenebilirliği olumlu yönde etkileyerek betonun işlenebilirliğini arttırmıştır.
- 2) Karışım tipleri incelendiğinde, BAB çimentolu betonların yayılma çapının en yüksek olduğu görülmüştür. CEM II 32,5 çimentolu karışımlarda 630 mm, CEM I 42,5 çimentolu karışımlarda 700 mm ve BAB çimentolu karışımlarda 710 mm gözlemlenmiştir.
- 3) Farklı çimento tipi karışımlarda hazırlanan KYB'ler üzerinde yapılan L-kutusu oranı deneyi sonucunda BAB ve CEM-I 42,5 karışımlarında standart değerler karşılanmış olup h_2/h_1 oranı olarak standart değerler arasında diğer CEM II 32,5 karışımında standart değer karşılanmadığı ve yakın sonuç verdiği görülmüştür.
- 4) Deney sonuçları değerlendirildiğinde, V-hunisi deneyi ile incelendiğinde şahit betona göre farklı çimentolarla yapılan karışımlarda BAB çimentolu karışımlar viskoziteyi azalttığı görülmüştür. Karışımlar içerisinde en yüksek viskozite değerini CEM-II 32,5, en düşük viskozite değerini ise BAB çimentolu karışımı vermiştir.
- 5) BAB çimentolu karışımda J-halkası değeri 10 mm civarında, CEM I 42,5 çimentolu karışımda 20 mm ve CEM II 32,5 çimentolu karışımda ise 40 mm ölçülmüştür. EFNARC (2002)'de önerilen 300 mm çaplı J-halkası için 10 mm'den büyük J-halkası değerlerinin karışımda bloklanma eğilimini işaret ettiği dikkate alındığında BAB çimentolu karışımda bloklanma eğilimi olmayacağı tespit edilmiştir.
- 6) Karışımlarda Basınç ve yarmada çekme dayanımları karşılaştırıldığında en yüksek basınç ve yarmada çekme dayanımları değerlerinin sırasıyla BAB, CEM I 42,5 ve CEM II 32,5 karışımları verdiği görülmektedir.
- 7) BAB çimentolu karışımların yüksek sıcaklık altında diğer karışımlara göre daha az dayanım kaybına uğradığı anlaşılmaktadır. Karışımlar içerisinde en iyi performansı

BAB çimentosu ile üretilen KYB karışımı vermiştir ve diğer CEM I ve CEM II çimentolarıyla üretilen betonların dayanım kayıplarının benzer olduğu tespit edilmiştir.

8) KYB olarak tasarlanan tüm karışımlar özellikle 750°C'deki sıcaklıklara maruz kaldıklarında dayanımlarını büyük ölçüde kaybetmiştir. Aynı s/ç oranı ve dayanım sınıfındaki geleneksel betonlarla kıyaslandığında, KYB'lerde yüksek sıcaklık etkisinde oluşan tahribat daha yüksek olmaktadır. Bu durum, KYB'lerin daha sıkı mikro yapıya sahip olmalarının sonucu olarak yüksek sıcaklığın etkisinde iç basınçlarının yüksek olması nedeniyle artan buhar basıncının meydana getirdiği tahribata bağlanabilir.

9) Yüksek sıcaklıklara maruz kalan bütün KYB karışımlarından elde edilen UPV değerleri sıcaklığın artmasıyla azaldığı görülmüştür. Özellikle 400°C üzerindeki sıcaklıklarda UPV değerlerinde ciddi azalmalar olduğu görülmüştür.

10) Sıcaklık artmasıyla tüm numunelerde ciddi oranda ağırlık kaybı meydana geldiği görülmektedir. Karışımların genel anlamda ağırlık kayıplarının birbirine yakın olduğu fakat BAB çimentolu karışımlardaki ağırlık kaybının diğer karışımlara nazaran daha az olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni ise BAB çimentolu betonların yüzeyindeki dökülmelerin nispeten daha az olduğu gösterilebilir.

KAYNAKLAR

- Aavik, J. and Chandra, S., 1995. Influence of organic admixture and testing method on freeze-thaws resistance of concrete. *ACI Materials journal*, 92, 1, 10–14.
- ACI 544.1R-96., 1997. State-of-the-art report on fiber reinforced concrete, American Concrete Institute, ACI.
- ACI 544.4R-88., 1999. Design considerations for steel fiber reinforced concrete, ACI Committee Report, American Concrete Institute, ACI.
- Acun, S., 2000. Yüksek Dayanımlı Beton Üretiminde Dizayn Parametresi Olarak Lifsel Katkıların İrdelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 153s.
- Akalın, Ö., Arca E. and Tandırılı E., 2003. Farklı Kimyasal Süper Akışkanlaştırıcı Katkıların Beton Dayanıklılığı Üzerine Etkileri, 5.Ulusal Beton Kongresi BetonunDayanıklılığı (Durabilite), İstanbul.
- Akcay, B. and Tasdemir, M.A., 2012. Mechanical behaviour and fibre dispersion of hybrid steel fibre reinforced self-coMPacting concrete. *Construction and Building Materials*, 28, 287-293.
- Alhozaimy, A.M., Soroushian, P. and Mirza, F., 1996. Mechanical Properties of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete and the Effects of Pozzolanic Materials. *Cement and Concrete Composites*, 18, 85-92.
- Alkan G., 2004. PP Lifli Betonun Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Altun, F., Özcan, D.M., Vekli, M. and Karahan, O., 2004. Çelik Lif Katkılı C20 Betonunun Mekanik Özelliklerinin Deneysel Araştırılması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Dergisi*, 4, 31-40.
- Anastasiou, E.K., Papayianni, I. and Papachristoforou, M., 2014. Behavior of self compacting concrete containing ladle furnace slag and steel fiber reinforcement. *Materials and Design*, 59, 454-460.
- Arabi N.S., Qadi, A., Al-Zaidyeen, S.M., 2014. Effect of fibre content and specimen shape on residual strength of polypropylene fibre self-compacting concrete exposed to elevated temperatures. *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*, 26, 33-39.
- Arı, K., Haktanır, T., Altun, F., Karahan, O., 2004. Beton Borulara Çelik Lif Katkısının Mekanik Özelliklere Etkisi. Türkiye Hazır Beton Birliği Beton 2004 Kongresi, İstanbul, s.255-265.
- Arslan, A., 1995. Mixed-mode fracture performance of fibre reinforced concrete under impact loading. *Materials and Structures*, 28, 473 – 478.
- Arslan, A., Aydın, A., 1999. Lifli Betonların Darbe Etkisi Altında Genel Özellikleri. Beksa Lifli Beton Semineri, Sabancı Center, İstanbul.
- Aulia, T.B., 2002. Effects of Polypropylene Fibers on the Properties of High- Strength Concretes. *Lacer No.7*:43-59.
- Aydın, A.C., 2007., Self compactibility of high volume hybrid fiber reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 21, 1149-1154.
- Balaguru, P.N. and Shah, S.P., 1992. Fiber reinforced cement composites, McGraw-Hill International Editions, New York.

- Banthia, N. and Nandakumar, N., 2003. Crack Groth Resistance of Hybrid Fiber Reinforced Cement Composites. *Cement and Concrete Composites*, 25, 3-9.
- Banthia, N. and Trottier, J.F., 1995. Concrete reinforced with deformed steel fibres. Part II: Toughness characterization, *ACI Materials Journal*, 92 (2), 146-154.
- Banthia, N., 1998. Fibre reinforced concrete: Present and the future. Fibre reinforced concrete – Present and future, eds. Banthia, N., Bentur, A., and Mufti, A. The Canadian Society for Civil Engineering, 1-20.
- Barragan, B.E, Gettu, R., Martin, M.A., and Zerbino, R.L., 2003. Uniaxial tension test for steel fibre reinforced concrete - a parametric study, *Cement and Concrete Composites*, 25, 767-777.
- Barragan, B.E., 2002. Failure and toughness of steel fiber reinforced concrete under tension and shear, Ph.D. Thesis, Universitat Politecnica de Catalunya, Barcelona, Spain.
- Bayasi, M.Z. and Soroushian, P., 1992. Effect of steel fiber reinforcement on fresh mix properties of concrete, *ACI Materials Journal*, 89 (4), 369-374.
- Beddar, M., 2004. Fibre-reinforced concrete – Past, present and future, *Concrete*, April 2004 (38) 4, ABI/INFORM Trade & Industry, 47-49.
- Beddar, M., Belgaraa, L. and Ayadat, T., 2004. Optimising of Steel Fiber Reinforced Concrete Mix Design. *Journal of Civil Engineering Research and Practice*, 1(2), 67-75.
- Bentur, A., Mindess, S., & Diamond, S., 1985. Pull out processes in steel fiber reinforced cement, *International Journal of Cement Composites & Lightweight Concrete*, Vol. 7, No. 1, 29-38.
- Bentur, A., Wu, S.T, Banthia, N., Baggott, R., Hansen, W., Katz, A., Leung, C.K.Y., Li, V.C., Mobasher, B., Naaman, A.E., Robertson, R., Soroushian, P., Stang, H., and Taerwe, L.R., 1995. Fibre-matrix interfaces, *High Performance Fibre Reinforced Cementitious Composites*, eds. Naaman and Reinhardt. Chapman and Hall, London, 149-191.
- Berke, N.S., Cornman C.R., Jeknavorian, A.A. and Knight F., 2002. The Effective Use of Superplasticizers and Viscosity Modifying Agents in Self Consolidating Concrete, *The Proceedings of The First North American Conference on The Design and Use of Self Consolidating Concrete*, November 12-13, The Center of Advanced Cement-Based Materials, A. Hanley-Wood Publication, 165-170.
- Bouzoubaa, N., Zhang, M.H. and Malhotra, V.M., 2001. Mechanical properties and durability of concrete made with high-volume fly ash blended cements using a coarse fly ash. *Cement and Concrete Research*, 31, 1393-1402.
- Bury M.A. and Bühler, E., 2002. Methods and Techniques for Placing Self-Consolidating Concrete – An overview of Field Experiences in North American Applications, *First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete*, 281-286.
- Cai, J., Jiang, H., Zhu, Y. and Wang, D., 2010. Mechanical properties of fiber reinforced self-compacting concrete. *Optoelectronics and Advanced Materials*, 7, 1013-1016.
- Choi, Y. and Yuan, R.L., 2005. Experimental Relationship Between Splitting Tensile Strength and Compressive Strength of GFRC and PFRC. *Cement and Concrete Research*, 35, 1587-1591.

- Çilekli, O.C, 1996. Uçucu Kül İnceliğinin Yüksek Dozajlı Betonun Özelliklerine Etkisi. TMÇB/AR-GE/Y 97.3.
- Collepari, S., 2005. Characteristics of the Flexion Behaviour of Joists Made of Concrete Reinforced With Polypropylene and Polypropylene- Polyethylene Fibres Produced by La Matassina S.R.L., Italy
- Corinaldesi, V. and Moriconi, G., 2004. Durable fiber reinforced self-compacting concrete, *Cement and Concrete Research*, 249-254.
- Corinaldesi, V. and Moriconi, G., 2011. Characterization of self-compacting concretes prepared with different fibers and mineral additions. *Cement and Concrete Composites*, 33, 596-601.
- Cwirzen, A. and Penttala, V., 2005. Aggregate-cement paste transition zone properties affecting the salt-frost damage of high-performance concretes. *Cement and Concrete Research*, 35, 671-679.
- Demirboğa, R., Örüng, İ. and Gül, R., 2001. Effects of expanded perlite aggregate and mineral admixtures on the compressive strength of low-density concretes, *Cement and Concrete Research*, 32, 1627-1632.
- Diamond, S., 1980. Morphology of type 3 CSH gel. *Cement and Concrete Research*, 10, 5, 245-248.
- Dinçer, R., 2004. Uçucu Kül, Çelik Lif ve Pomza İçeren Betonların Mekanik Özellikleri. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, 156.
- Ding, Y., Liu, S., Zhang, Y. and Thomas, A., 2008. The investigation on the workability of fibre cocktail reinforced self-compacting high performance concrete. *Construction and Building Materials*, 22, 1462-1470.
- Ding, Y., Azevedo, C., Aguiar, J.B. and Jalali, S., 2012. Study on residual behaviour and flexural toughness of fibre cocktail reinforced self compacting high performance concrete after exposure to high temperature. *Construction and Building Materials*, 26, 21-31.
- Djelal, C., Vanhove, Y. and Magnin, A., 2004. Tribological behaviour of selfcompacting concrete, *Cement and Concrete Research*, 821-828.
- Doğan, A.Ü., 2000. Yeni Kuşak Süperakışkanlaştırıcıların Harç ve Beton Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Domone, P.L., and Chai, H.W., 1996. Design testing of self compacting concrete, *Proceedings of International RILEM Conference on Production Methods and Workability of Concrete*, Editors: P.J.M. Bartos, D.L. Marris and D.J. Cleand, 223– 252.
- Dowson, A.J., 2002. The application, self-compacting concrete (SCC) in precast products, *BIBM 17th International Congress of the Precast Concrete Industry*, Istanbul (Turkey), 8.
- Efnarc 2005. The European Guidelines for Self Compacting Concrete- Specification, production and use, The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems (EFNARC), May, 2005, pp. 68.
- Efnarc, 2002. Specifications and Guidelines for Self-Compacting Concrete.
- Ekincioglu, Ö., 2003. Karma Lif İçeren Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı–Bir Optimum Tasarım. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 113.
- Erbaş, M., 2003. PP Lifler ve Betonun Durabilitesine Etkisi, 5.Ulusal Beton

- Erdinç 1995. Uçucu Küllü Betonlarda Dayanım ve Klor Geçirimsizliği. TMÇB / AR-GE / Y97.3.
- Eren, Ö. and Çelik, T., 1997. Effect of Silica Fume and Steel Fibers on Some Properties of High-Strength Concrete. *Construction and Building Materials*, 11, 373-382.
- Felekoğlu, B., Baradan, B., Sarıkahya, H. ve Yüceer, L., 2005. Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda İşlenebilirlik Kaybının Azaltılmasında Polikarboksilat Bazlı Akışkanlaştırıcıların Kullanımı, 6.Ulusan Beton Kongresi Bildirileri, İTÜ, İstanbul, 16-18 Kasım 2005, 53-62
- Felekoğlu, B., Tosun, K. and Baradan, B., 2009. Effects of fibre type and matrix structure on the mechanical performance of self-compacting micro-concrete composites. *Cement and Concrete Research*, 39, 1023-1032.
- Felekoğlu, B., Yardımcı, M.Y. and Baradan, B., 2003. Kendiliğinden Yerleşen Betonların Aşınma ve Donma Çözülme Direnci, 5.Ulusal Beton Kongresi Betonun Dayanıklılığı (Durabilite), İstanbul.
- Furlan, JR.S. and Hanaı, J.B., 1997. Shear Behaviour of Fiber Reinforced Concrete Beams. *Cement and Concrete Composites*, 19, 359-366.
- Gaimster, R. and Dixon, N., 2003. Self-Compacting Concrete, in *Advanced Concrete Technology*.
- Gao, P., Wu, S., Lin, P., Wu, Z. and Tang, M., 2006. The characteristics of air void and frost resistance of RCC with fly ash and expansive agent. *Construction and Building Materials*, 20, 586-590.
- Gao, X.F., Lo, Y.T. and Tam, C.M., 2002. Investigation of micro-cracks and microstructure of high performance lightweight aggregate concrete. *Building and Environment*, 37, 485-489.
- Gettu, R., Gardner, D.R., Saldivar., H. and Barragan, B.E. 2005. Study of the distribution and orientation of fibers in SFRC specimens, *Materials and Structures*, 38, 31-37.
- Ghafari, E., Costa, H. and Júlio, E., 2014. RSM-based model to predict the performance of self-compacting UHPC reinforced with hybrid steel micro-fibers. *Construction and Building Materials*, 66, 375-383.
- Gökçe, A., 1995. Farklı İncelikteki Uçucu Küllerin Betondaki Performanslarının Karşılaştırılması. TMÇB / AR-GE / Y 97.3. 128.
- Gopalaratnam, V.S., Shah, S.P., Batson, G.B., Criswell, M.E., Ramakrishnan, V., & Wecharatana, M., 1991. Fracture toughness of fiber reinforced concrete, *ACI Materials Journal*, Vol. 88, no. 4, 339-353.
- Grabiec, M.A., 1999. Contribution to the knowledge of melamine superplasticizer effect on some characteristics of concrete after long periods of hardening. *Cement and Concrete Research*, 29, 699-704.
- Groth, P. 2000a. Fibre reinforced concrete – Fracture mechanics methods applied on self-compacting concrete and energetically modified binders, PhD. Thesis, Lulea University of Technology.
- Grünewald, S. and Walraven, J.C. 2001. Parameter-study on the influence of steel fibers and coarse aggregate content on the fresh properties of self-compacting concrete. *Cement and Concrete Research*, 31 (12), 1793-1798.
- Güneyisi, E., Özturan, T. ve Gesoğlu, M., 2003. Silis Dumanı ve Uçucu Kül Katkılı Betonların Klorür Difüzyon Katsayılarının Belirlenmesi, 5.Ulusal Beton Kongresi Betonun Dayanıklılığı (Durabilite), İstanbul.

- Gürdal, H. ve Yüceer, Z. 2004. Türkiye ve Dünyada Kendiliğinden Yerleşen Beton Uygulamaları, Beton Kongre Bildiri, İstanbul.
- Gutierrez, R.M., Diaz, L.N. and Delvasto, S., 2005. Effect of Pozzolans on the Performance of fiber-Reinforced Mortars. *Cement and Concrete Composites*, 27, 93-598.
- Haist, M., Mechtcherine, V. and Müller, H.S., 2002. High performance self compacting Ligh-weight aggregate concrete with and without fibre-reinforcement, 6th International Symposium on High Strength / High Performance Concrete, 16-20 June 2002, Leipzig, Germany, 1005 – 1016.
- Han, C-G., Hwang, Y-S., Yang, S-H. and Gowripalan, N., 2005. Performance of Spalling Resistance of High Performance Concrete with Polypropylene Fiber Contents and Lateral Confinement. *Cement and Concrete Research*, 35, 1747-1753.
- Hannant, D.J., 2003. Fibre Reinforced Concrete, in *Advanced Concrete Technology*, pp. 1-17. December 2003.
- Hsu, T.C., Slate, F., Sturman, G. and Winter, G., 1963. Microcracking in concrete and the shape of the stress-strain curve. *J ACI*, 60(2), 209-224
- Huang, W-H., 1997. Properties of Cement-Fly ash Grout Admixed With Bentonite, Silica Fume, or Organic Fiber. *Cement and Concrete Research*, 27(3), 395-406.
- Huang, W-H., 2001. Improving the Properties of Cement-Fly Ash Grout Using Fiber and Superplasticizer. *Cement and Concrete Research*, 31, 1033-1041. İstanbul.
- İyim, T.B., Acar, I., Kılınçkale, F.M. ve Pabuçoğlu, S., 2005. Süper Akışkanlaştırıcılar, THBB yayını “Güvenli Yapıların Sırrı Hazır Beton”.
- Japanese Ready Mixed Concrete Association, 1998. *Manual of Producing High Fluidity (Self Compacting) Concrete*, Japanese Ready Mixed Concrete Association, Tokyo- Japanese.
- Jovanovic, I., Paatsch, A., Durukal, A., 2002. Ductal. A new generation of ultra high performance fiber reinforced concrete, 6th International Symposium on High Strength / High Performance Concrete, 16-20 June 2002, Leipzig, Germany, 1089–1095.
- Jumadurdiyev, A., Ozkul, M.H., Sağlam, A.R. and Parlak, N., 2005. The utilization of beet molasses as a retarding and water-reducing admixture for concrete. *Cement and Concrete Research*, 35, 874–882.
- Kamal, M.M., Safan, M.A., Etman, Z.A. and Kasem, B.M., 2014. Mechanical properties of self-compacted fiber concrete mixes. *Housing and Building National Research Center*, 10, 25-34.
- Kayali, O., 2004. Effect of High Volume Fly Ash on Mechanical Properties of Fiber Reinforced Concrete. *Materials and Structures*, 37(269), 318-327.
- Kayali, O., Haque, M.N. and Zhu, B., 1999. Drying Shrinkage of Fibre-Reinforced Lightweight Aggregate Concrete Containing Fly Ash. *Cement and Concrete Research*, 29, 1835–1840
- Kayali, O., Haque, M.N. and Zhu, B., 2003. Some Characteristics of High Strength Fiber Reinforced Lighthweigth Aggregate Concrete. *Cement and Concrete Composites*, 25 (2), 207-213.
- Khatip, J.M., 2008. Performance of self-compacting concrete containing fly ash, *Construction and Building Materials*, 22, 1963–1971

- Khayat, K.H., and Roussel, Y., 2000. Testing and performance of fiber reinforced, self consolidating concrete, *Materials and Structures*, 33, 391 – 397.
- Kiper, M., 1996. Polipropilen Liflerin Özellikleri ve Kullanım Olanakları. İMO İzmir Şubesi Haber Bülteni, İzmir, 64, 21-22.
- Kırca, Ö. ve Şahin, M., 2003. Polipropilen Lif Kullanımının Beyaz Beton Dayanıklılığına Etkisi. 5. Ulusal Beton Kongresi, Betonun Dayanıklılığı, İstanbul, s.375-382.
- Kongresi, İstanbul, 1-3 Ekim 2003,593-603
- Kurugöl, S., 1997. Çelik Tel Donatı ve Polimer Katkının Normal ve Hafif Betonların Mukavemet Özelliklerine Etkileri. Mimar Sinan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 155.
- Kützing, L., 1996. Influence of Fibres on the Improving of Ductility of High Performance Concrete (HPC). Lacer No.1.
- Lars, M. and Tviksta, G., 2000. SCC: Guidelines, TR9-V9, End Product, Brite EuRan Proposal.
- Lee, I., 2002. Complete Stres-Strain Characteristic of High Performance Concrete. New Jersey Institute of Technology, PhD. Thesis, New Jersey,119.
- Li, V.C., and Maalej, M., 1996. Toughening in Cement Based Composites. Part I: Cement, Mortar, and Concrete, *Cement and Concrete Composites* 18, 223-237.
- Liu, L-F., Wang, P-M., Yang, X-J., 2005. Effect of Polypropylene Fiber on Dry-Shrinkage Ratio of Cemnet Mortar. *Journal of Building Materials*, 8(4), 373-377.
- Löfgren, I., 2005. Fibre-reinforced Concrete for Industrial Construction – A Fracture Mechanics Approach to Material Testing and Structural Analysis, PhD thesis, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.
- Marzouk, H., and Jiang, D., 1994. Effects of freezing and thawing on tension properties of HSC. *ACI Materials Journal*, 91, 6, 577-586.
- Mazeheripour, H., Ghanbarpour,S., Mirmoradi, S.H. and Hosseinpour,I., 2011.The effect of polyproplene fibers on the properties of fresh and hardened lightweight self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*,25,351-358.
- Miao, C., Mu, R., Tian, Q. and Sun, W., 2002. Effect of sulfate solution on the frost resistance of concrete with and without stell fiber reinforcement. *Cement and Concrete Research*, 32, 31–34.
- Mohamed, M.A.S., Ghorbel ,E.,Wardeh,G., 2010., Valorization of micro-cellulose fibers in self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*,24,2473-2480.
- Mu, R., Miao, C., Luo, X. and Sun, W., 2002. Interaction between loading, freeze-thaw cycles, and chloride salt attack of concrete with and without steel fiber reinforcement. *Cement and Concrete Research*, 32, 1061-1066.
- Murlin, J.A. and Willson, C., 1952. Field Practice in Light-weight Concrete. *ACI Journal, Procedings*, 49(1), 21-36.
- Naaman, A.E. 1985. Fiber Reinforcement for Concrete. *Concrete International*,March, 21-25.
- Nakara, Y., 1998. Will Self Compacting High Performance Concrete be Used MoreWidely in Japan?, May 1998, 65.

- Nataraja, M.C., Nagaraj, T.S., & Basavaraja, S.B., 2005. Reproportioning of steel fibre reinforced concrete mixes and their impact resistance, *Cement and Concrete Research*, Vol. 35, Issue 12, 2350 – 2359.
- Neville, A.M. and Brooks, J.J., 1987. *Concrete Technology*. Longman Scientific and Technical, 155.
- Neville, A.M., 1995. *Properties of Concrete*, Addison Wesley Longman Limited, England.
- Neville, A.M., 2004. The confused world of sulfate attack on concrete, *Cement and Concrete Research*, 34, 1275-1296.
- Okamura, H. and Ozawa, K., 1995. Mix-design for self compacting concrete, *Concrete Library of JSCE*, 25, 107-120.
- Okamura, H., 1997. Self Compacting High Performance Concrete, *Concrete International*, 19 (7), 50-54
- Okamura, H., and Ouchi, M., 1999. Self compacting concrete. Development, present use and future, *Proceedings 1st International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete (Stocholm, Sweden)*, Editors: A. Skarendahl and Ö.Petersson, pp. 3-14
- Özkul, H. ve Doğan, Ü.A., 2003. Kendiliğinden Yerleşen Betonların Geçirimlilik Özellikleri , 5.Ulusal Beton Kongresi Betonun Dayanıklılığı (Durabilite).
- Özkul, M.,H., Doğan A., Ü., Çavdar, Z., Sağlam, R., A. and Parlak, N., 2000. Effects of The Self Compacting Concrete Admixtures on Fresh and Hardened Concrete Properties, *Cement and Concrete Technology in the 2000s*, Second International Symposium, İstanbul, 6-10 September.
- Özyurt, N., Taşdemir, C., Kara, G. ve Ertuğrul, C., 2003. Uçucu Küllü Betonlarda Kırma kum İçeriğinin Beton Özelliklerine Etkisi, 5.Ulusal Beton Kongresi Betonun Dayanıklılığı (Durabilite), İstanbul.
- Pajak, M. and Ponikiewski, T., 2013. Flexural behavior of self compacting concrete reinforced with different types of steel fibers. *Construction and Building Materials*, 47, 397-408.
- Pereira de Oliveira, L.A., Castro Gomes, J.P., Bernardo, M.M.M. and Ramos, L.F.A., 2013. Evaluation of dry mortar ratio as mix design parameter for steel fibre reinforced self compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 40, 642-649.
- Pereira de Oliveira, L.A., Castro Gomes, J.P., Bernardo, L.F.A. and Ramos M.M.M., 2013. Evaluation of dry mortar ratio as mix design parameter for steel fibre reinforced self compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 40, 642-649.
- Persson, B., 2001. A comparison between mechanical properties of self compacting concrete and the corresponding properties of normal concrete, *Cement and Concrete Research*, 31, 193 – 198.
- Persson, B., 2002. Sulphate resistance of self-compacting concrete, *Cement and Concrete Research*, 1933–1938.
- Pigeon, M., Aitcin, P.C. and Laplante, P., 1987. Comparative study of the air-void stability in a normal and a condensed silica fume field concrete. *ACI Materials Journal*, 84-M21, 194-199.
- Pigeon, M., Gagne, R., Aitcin, P.C. and Banthia, N., 1991. Freezing and thawing tests of HSCs. *Cement and Concrete Research*, 21, 844-852.

- Puertas, F., Amat, T., Fernandez-Jimenez, A. and Vazquez, T., 2003. Mechanical and Durable Behaviour of Alkaline Cement Mortars Reinforced with Polypropylene Fibres. *Cement and Concrete Research*, 33, 2031-2036.
- Qian, C.X., Stroeven, P., 2000. Development of Hybrid Polypropylene-Steel Fibre-Reinforced Concrete. *Cement and Concrete Research*, 30, 63-69.
- Ramyar, A., 2004. Uçucu Kül İnceliği ve Kullanım Oranının Alkali-Silis Reaksiyonuna Etkisi, Türkiye İnşaat Mühendisliği On Yedinci Teknik Kongre ve Sergisi.
- Roks, S., Amroise, J.N. and Pera, J., 1999. Effect of Different Viscosity Agents on The Properties of Self-Levelling Grout, *Cement and Concrete Research*, 29, 261-266
- Romualdi, J. P. and Batson, G. B., 1963. Mechanics of Crack Arrest in Concrete. *J. Eng. Mech. Div., ASCE*, 89 (EM3),147-168.
- Sabir, B.B., 1997. Mechanical properties and frost resistance of silica fume concrete. *Cement and Concrete Composites*, 19, 285-294.
- Sağlam, A.R., Parlak, N., Doğan, Ü.A. ve Özkul, M.H. 2004. Kendiliğinden Yerleşen Beton ve Katkı-Çimento Uyumu , *Beton Kongre Bildiri, İstanbul*, 129.
- Sağlam, R.,A., Parlak, N., Doğan, A., Ü. ve Özkul, M.,H., 2005. Kendiliğinden Yerleşen Betonda Çimento Katkı Uyumu, 6.Ulusal Beton Kongresi, İTÜ, İstanbul, 16-18 Kasım 2005, 213-224.
- Sağlık, A. ve Kocabeyler, M.F, 1998. Polipropilen Lifle Güçlendirilmiş Betonların Performans Özellikleri. *Beton-Çimento ve Boya Sempozyumu, Ankara*, 133-148.
- Şahmaran, M., Yaman, İ.Ö. ve Tokyay, M., 2004. “Yeni Nesil Yüksek Akışkanlaştırıcı Katkı Maddeleri ile Yüksek Hacimde Uçucu İçeren Kendiliğinden Yerleşen Beton” , *Beton Kongre Bildiri, İstanbul*.
- Şahmaran, M., Yurtseven, A. and Yaman, Ö., 2005. Workability of hybrid fiber reinforced self-compacting concrete, *Building and Environment*, 40, 1672 -1677.
- Salem, R.H., Burdette, E.G., and Jackson, N.M., 2003. Resistance to freezing and thawing of recycled aggregate concrete. *ACI Materials Journal*, 100, 3, 216-221.
- Sanjuan, M.A. and Moragues, A., 1997. Polypropylene-Fibre-Reinforced Mortar Mixes: Optimization to Control Plastic Shrinkage. *Composites Science and Technology*, 57, 655-660.
- Şengül, C., 2005. Kendiliğinden Yerleşen Çelik Lif Donatılı Betonların Mekanik Davranışına Su/İnce Malzeme Oranı ve Lif Dayanımının Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Sengül, C., Akaya, Y., and Tasdemir, M.A., 2006. Fracture behavior of high performance fiber reinforced self compacting concrete, *Measuring, Monitoring and Modeling Concrete Properties An International Symposium dedicated to Professor Surendra P. Shah, Northwestern University, U.S.A.*, 171 – 177.
- Şengül, Ö., Taşdemir, M.A. ve Sönmez, R., 2003. Yüksek Oranda Uçucu Kül İçeren Normal ve Yüksek dayanımlı Betonların Klor Geçirimsizliği, 5.Ulusal Beton Kongresi Betonun Dayanıklılığı (Durabilite), İstanbul.
- Şengül, Ö., Taşdemir, M.A., Yüceer, Z. ve Erenoğlu, T. 2003. Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufunun Klor Geçirimsizliğine ve Basınç Dayanımına Etkisi, 5.Ulusal Beton Kongresi Betonun Dayanıklılığı (Durabilite), İstanbul.
- Sevil, C., 2001. Uçucu Küllü, Lifli Beton Kompozitinde Lif Tipinin Beton Özelliklerine Etkisi. *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir*, 75.

- Shah, S.P.,1991. Do Fibers Increase the Tensile Strength of Cement-Based Matrixes, *ACI Material Journal*, 88, 6, 595-602.
- Shang, H.S. and Song, Y.P., 2006. Experimental study of strenght and deformation of plain concrete under biaxial compression after freezing and thawing cycles. *Cement and Concrete Research*, 36, 1857-1864.
- Sonebi, M., 2004. Medium streghth self-compacting concrete containing fly ash: Modelling using factorial experimental plans, *Cement and Concrete Research*, 1199–1208.
- Sonebi, M., Bartos, P.J.M., Zhu, W., Gibbs, J. and Tamimi, A. 2000. Properties of hardened concrete, Brite EuRam Project, Rational Production and Improved Working Environment Through Using SCC, Final Report, Task 4, Advanced Concrete Masonry Center, University of Paisley, Scotland, 73.
- Song, P.S. and Hwang, S., 2004. Mechanical Properties of High-Strength Steel Fiber-Reinforced Concrete. *Construction and Building Materials*, 18, 669-673.
- Song, P.S., Hwang, S. and Sheu, B.C., 2005. Strength Properties of Nylon- and Polypropylene-Fiber-Reinforced Concretes. *Cement and Concrete Research*, 35, 1546-1550.
- Stark, J. and Ludwig, H.M., 1995. The influence of the type of cement on the freeze-thaw/freeze-de-icing salt resistance of concrete. *Proceedings of the International Conference on Concrete Under Severe Conditions*, Sapporo, Japan, 245-254.
- Stroeven, P., 1973. Some Aspects of the Micromechanics of Concrete. PhD Thesis. Delft: Delft Univ T echn.
- Su, N., Hsu, K-C. and Chai, H-W. 2001. A simple mix Design method for selfcompacting concrete” , *Cement and Concrete Research*, 1799-1807.
- Sun, W., Mu, R., Luo, X. and Miao, C., 2002. Effect of chloride salt, freeze-thaw cycling and externally applied load on the performance of the concrete. *Cement and Concrete Research*, 32, 1859-1864.
- Sun, W., Zhang, Y.M., Yan, H.D., Mu, R. and Yan, A., 1999. Damage and its restraint of concrete with different strength grades under double damage factors. *Cement and Concrete Composites*, 21 (5), 439-442.
- Tabak, V., 2004. Çelik Lifli Betonda Lif ve Lif Boy/Çap Oranlarının Değişiminin Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, İzmir, 134.
- Tang C.-W., Yen T. and Chen K.-H., 2000. The rheological behavior of medium strength high performance concrete, *Second International Symposium on Cement and Conc. Tech. in the 2000s, Volume II*, Istanbul, Turkey, 50-57
- Tang,L., Andalen, J. and Hjelm, S.S.,1999. Chloride diffusivity of self compacting concrete, *Proc. International RILEM Symposium (Self Compacting Concrete)*, Technical Research and Consulting on Cement Concrete, 7, 187–198
- Taşdemir, M.A. ve Bayramov, F., 2002. Yüksek Performanslı Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı. *İTÜ Dergisi/d Mühendislik*, 1(2):1-11.
- Taşdemir, M.A., Bayramov, F., Kocatürk A.N. ve Yerlikaya M., 2004. Betonun Performansına Göre Tasarımında Yeni Gelişmeler, *Beton 2004 Kongresi*, İstanbul, 10-12 Haziran 2004, 24-57
- Tasdemir, M.A., Tasdemir, C., Akyüz, S., Jefersson, A.D., Lydon, F.D., & Barr, B.I.G.,1998. Evaluation of strains at peak stresses in concrete: A three-phase composite model approach, *Cement and Concrete Composites*, 20, 302 – 318.

- Toktay, M. ve Erdoğan, K., 1998. Türkiye Termik Santrallerinden Elde Edilen Uçucu Küllerin Karakterizasyonu. TÇMB, AR-GE, Ankara, 69s.
- Topçu, B. İ. ve Canbaz, M., 2001. Uçucu Kül Kullanımının Betondaki Etkileri, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi Cilt 14 Sayı 2, İzmir.
- Topçu, İ. B., and Canbaz, M., 2007, Effect of Different Fibers on The Mechanical Properties of Concrete Containing Fly Ash, Construction and Building Materials,21, 1486-1491.
- Torrijos, M.C., Barragan, B.E. and Zerbino, R.L., 2007. Physical–mechanical properties, and mesostructure of plain and fibre reinforced self-compacting concrete, Construction and Building Materials, 22 (8), 1780-1788.
- Tosun, K., Yazıcı, H., Yiğiter, H. ve Baradan, B. 2003. Uçucu Kül İçeren Çimento Harçlarının Sülfat Dayanıklılığının İncelenmesi, 5.Ulusal Beton Kongresi Betonun Dayanıklılığı (Durabilite), İstanbul.
- Toutanji, H., and Bayasi, Z. 1998. Effects of manufacturing techniques o the flexural behavior of steel-fiber reinforced concrete, Cement and Concrete Research, 28 (1), 115-124.
- Toutanji, H.A., 1999. Properties of Polypropylene Fiber Reinforced Silica Fume Expansive-Cement Concrete. Construction and Building Materials, 13, 171-177.
- TS 500, Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları, TSE, Şubat 2002.
- Türkel, S. ve Felekoğlu, B., 2004. Aşırı Dozda Akışkanlaştırıcı Kimyasal Katkı Kullanımının Taze ve Sertleşmiş Betonun Bazı Özellikleri Üzerine Etkileri,DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi Cilt:6 Say:1 SH. 77 89.
- Uğurlu, A., 1995. Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Betonun Su Yapılarındaki Kavite Hasarlarının Onarımında Kullanılması. DSİ Teknik Bülteni, Sayı:83, Ankara, 71-80.
- Ünal, O., 1994. Isıl İşlem Uygulamasının Lifli Beton Özelliklerine Etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 129.
- Uysal,M.,2012.Self-Compacting Concrete incorporating filler additives:Performanceat high tempurteres.Construction and Building Materials,26,701-706.
- Walraven, J.C., 2002. From high strength, through high performance, to define performance concrete, 6th International Symposium on High Strength/High Performance Concrete, 16-20 June 2002, Leipzig, Germany, 77 – 89.
- Weibel, E.R., 1979. Stereological Methods. Practical methods for biological morphometry. London: Academic Press, 415.
- Whiting, D., 1987. Durability of high-strength concrete. In: Scanlon JM editor. Concrete Durability-Katharine and Bryant Mather International Conference ACI SP-100. Atlanta, Georgia, 169-78.
- Wu, Z. and Naik, T.R., 2002. Properties of concrete produced from multicomponent blended cements. Cement and Concrete Research, 32, 1937-1942.
- Xie, Y., Liu, B., Yin, J., Zhou, S., 2002. Optimum mix parameters of high-strength self-compacting concrete with ultrapulverized fly ash. Cement and Concrete Research, 32, 477-480.
- Yao, W., Li, J. and Wu, K., 2003, Mechanical Properties of Hybrid Fiber-Reinforced Concrete at Low Fiber Volume Fraction, Cement and Concrete Research, 27-30.
- Yazıcı, H., Felekoğlu, B., Aydın, S., Tosun, K. ve Baradan B.,2004. Silika Tozu ve Yüksek Oranda Uçucu Kül içeren Kendiliğinden Yerleşen Beton, Türkiye İnşaat Mühendisliği On Yedinci Teknik Kongre ve Sergisi.

- Yiğiter, H., 2002. Yüksek Performanslı Betonların Süneklik Özelliğinin Araştırılması. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 207.
- Yıldırım, S.T., 2002. Lif Takviyeli Betonların Performans Özelliklerinin Araştırılması. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ, 193.
- Zhang, J. and Li, V.C. 2004. Simulation of crack propagation in fiber-reinforced concrete by fracture mechanics. *Cement and Concrete Research*, 34, 333–339.
- Zhou, Y., Cohen, M.D. and Dolch W.L., 1994. Effect of external loads on the frost-resistant properties of mortar with and without silica fume. *ACI Materials Journal*, 91 (6), 595-601
- Zhu W. and Bartos P.J.M. 2003. Permeation properties of self-compacting concrete, *Cement and Concrete Research*, 921-926.
- Zhu, H.T., Dan-Ying, G. and Ming, Z.Q., 2006. Behavior of steel fiber reinforced high-strength self-compaction concrete. 9th International Symposium on Structural Engineering, Fuzhou, China.

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Erzurum’da doğdu. İlk, orta ve lise tahsilini Erzurum’da tamamladı. 2002 yılında kazandığı Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden 2007 yılında mezun oldu. 2007 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans Eğitimine başladı. Halen Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı X. Bölge Müdürlüğü’nde Uzman İnşaat Mühendisi olarak çalışmaktadır.

