İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK FIRIN CÜRUFU KATKILI BETONDA SU/ÇİMENTO ORANININ ETKİNLİK KATSAYISINA VE KIRILMA PARAMETRELERİNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HELİN KAYA

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği
Programı : Yapı Mühendisliği

Tez Danışmanı: Doç.Dr. Yılmaz AKKAYA

EYLÜL 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK FIRIN CÜRUFU KATKILI BETONDA SU/ÇİMENTO ORANININ ETKİNLİK KATSAYISINA VE KIRILMA PARAMETRELERİNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HELİN KAYA
501071050

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih:	**15 Eylül 2010**
Tezin Savunulduğu Tarih:	**19 Eylül 2010**

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

EYLÜL 2010

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca, çalışmalarıma yön vererek bilgi ve yardımlarıyla bana her türlü desteği sağlayan danışman hocam Doç. Dr. Yılmaz AKKAYA'ya, gerek deney aşamasındaki yardımları ve gerekse fikirleri ile tezimde büyük emeği geçen Araş. Gör. Cengiz Şengül'e ve İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuarı çalışanlarına ve ayrıca tüm öğrenim hayatım boyunca her zaman yanımda olan ve benden bütün desteklerini esirgemeyen aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Eylül 2010 Helin KAYA

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **iii**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **viii**
ÖZET ..... **xiv**
SUMMARY ..... **xv**
1.GİRİŞ **1**
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI **3**
2.1 Puzolanlar 7
2.2 Doğal Puzolanlar 8
2.3 Yapay Puzolanlar 8
2.3.1 Uçucu kül 8
2.3.2 Yüksek fırın cürufu 9
2.3.3 Granüle yüksek fırın cürufu 9
2.3.4 Granüle yüksek fırın cürufunun kimyasal özellikleri 9
2.3.4.1 Yüksek fırın cürufunun aktivitesi 10
2.3.4.2 Yüksek fırın cürufunun hisratasyonu 12
2.3.4.3 Yüksek fırın cürufunun dayanıklılık özellikleri 12
2.3.4.4 Yüksek fırın cürufunun taze beton özelliklerine etkisi 15
2.3.4.5 Yüksek fırın cürufunun sertleşmiş beton özelliklerine etkisi 16
2.3.4.6 Granüle yüksek fırın cüruflu çimentonun fiziksel özellikleri 17
2.3.5 Silis dumanı 17
2.3.6 Pirinç kabuğu külü 18
2.4 Süperakışkanlaştırıcı katkılar ve özellikleri 19
2.4.1 Süperakışkanlaştırıcı katkıların önemi 19
2.4.2 Süperakışkanlaştırıcı çeşitleri 20
2.4.3 Süperakışkanlaştırıcıların etki mekanizması 20
2.4.3.1 Elektrostatik etki 20
2.4.3.2 Stearik etki 21

2.4.4 Süperakışkanlaştırıcıların beton üzerine etkileri 23
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR 25
3.1 Karışımlarda Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri 25
3.1.1 Çimento 25
3.1.2 Yüksek fırın cürufu 25
3.1.3 Agregalar 26
3.1.4 Akışkanlaştırıcı katkı 27
3.2 Beton Karışımları 28
3.3 Üretimde İzlenen Sıra 30
3.4 Numune Şekil ve Boyutları 30
3.5 Numune Kodlarının Belirlenmesi: 31
4. DENEY SONUÇLARININ İNCELENMESİ 33
4.1 Taze Beton Deney Sonuçları 33
4.2 Sertleşmiş Beton Deneyleri 33
4.2.1. Kırılma enerjisi deneyinden elde edilen sonuçlar 33
4.2.1.1 Kırılma enerjisinin hesaplanması 34
4.2.1.2 Kırılma deneylerinden net eğilme dayanımlarının hesaplanması 35
4.2.2 Silindir basınç deneyleri 36
4.2.3 Yarma-çekme deneyi hesaplaması 36
4.3 Sertleşmiş Beton Deneylerinin Sonuç ve Değerlendirmeleri 36
4.3.1 Silindir basınç deneyi sonuç ve değerlendirmeleri 36
4.3.2 Yarma çekme deneyi sonuç ve değerlendirmeleri 38
4.3.3 Kırılma enerjisi deney sonuç ve değerlendirmeleri 40
4.3.4 Eğilme deneyi sonuç ve değerlendirmeleri 41
4.3.5 Yük-Sehim ilişkisi ile elastisite modülü yaklaşımı ve çatlak riskinin belirlenmesi 42
5. GENEL SONUÇLAR 45
KAYNAKLAR 49
EKLER 51
ÖZGEÇMİŞ 75

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 2.1: Yüksek Fırın Cüruflarının Komposizyonları.....10
Çizelge 3.1: Yüksek Fırın Cürufunun Kimyasal Özelikleri……..……26
Çizelge 3.2: Agregaların Fiziksel Özelikleri .....…….……26
Çizelge 3.3: Agregaların Elek Analizi Sonuçları…….....……. 27
Çizelge 3.4: Kullanılan Yeni Nesil Süper akışkanlaştırıcının Teknik Özelikleri..... 28
Çizelge 3.5: 1 m^3 için Teorik Beton Bileşimleri Ve Özellikleri.....29
Çizelge 4.1: Taze Beton Deney Sonuçları…..……..33
Çizelge 4.2: Silindir Basınç Deneyi Sonuçları…..……..... 36
Çizelge 4.3: Yarma-Çekme Deneyi Sonuçları..... 38
Çizelge 4.4: Özgül Kırılma Enerjileri (Joule/m2)..... 40
Çizelge 4.5: Eğilme Deneyi Sonuçları..... 41
Çizelge 4.6: Eğim/Eğilme Dayanımı Değerleri..... 42

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: k etkinlik faktörünün belirlenme şekli ……..... 5

Şekil 2.2: Basınç Dayanımı …….. 6

Şekil 2.3: Süper Akışkanlaştırıcı Katkıların Etki Mekanizması …….. 22

Şekil 3.1: Beton Karışımının Granülometrisi ve Referans Eğrileri ……. 29

Şekil 3.2: Numune Şekil ve Boyutları …….. 30

Şekil 4.1: Kırılma Enerjisi Deneyi Yükleme Düzeneği 34

Şekil 4.2: Yük-Sehim Eğrisinin Şematik Gösterimi …… 35

Şekil A.1: CEMI 42,5 N tipi çimento ile üretilen 0,50 su/çimento oranlı betonların yedi günlük basınç dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi ……..... 51

Şekil A.2: CEMI 42,5 N tipi çimento ile üretilen 0,50 su/çimento oranlı betonların yirmi sekiz günlük basınç dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi …… 51

Şekil A.3: CEMI 42,5 N tipi çimento ile üretilen 0,65 su/çimento oranlı betonların yedi günlük basınç dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi …… 52

Şekil A.4: CEMI 42,5 N tipi çimento ile üretilen 0,65 su/çimento oranlı betonların yirmi sekiz günlük basınç dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi …… 52

Şekil A.5: CEMI 42,5 R tipi çimento ile üretilen 0,50 su/çimento oranlı betonların yedi günlük basınç dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi …… 53

Şekil A.6: CEMI 42,5 R tipi çimento ile üretilen 0,50 su/çimento oranlı betonların yirmi sekiz günlük basınç dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi …… 53

Şekil A.7: CEMI 42,5 R tipi çimento ile üretilen 0,65 su/çimento oranlı betonların yedi günlük basınç dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi …… 54

Şekil A.8: CEMI 42,5 R tipi çimento ile üretilen 0,65 su/çimento oranlı betonların yirmi sekiz günlük basınç dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi …… 54

Şekil A.9: Yedi günlük basınç dayanımlarının cüruf içeriği ve çimento tipi ile değişimi ……... 55

Şekil A.10: Yirmi sekiz günlük basınç dayanımlarının cüruf içeriği ve çimento tipi ile değişimi …… 55

Şekil B.1: CEMI42,5 N tipi çimento ile üretilen 0,50 su/çimento oranlı betonların yedi günlük yarma-çekme dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi …… 56

Şekil B.2: CEMI42,5 N tipi çimento ile üretilen 0,50 su/çimento oranlı betonların yirmi sekiz günlük yarma-çekme dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi …… 56

Şekil B.3: CEMI42,5 N tipi çimento ile üretilen 0,65 su/çimento oranlı betonların yedi günlük yarma-çekme dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi …… 57

Şekil B.4: CEMI42,5 N tipi çimento ile üretilen 0,65 su/çimento oranlı betonların yirmi sekiz günlük yarma-çekme dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi …… 57

Şekil B.5: CEMI42,5 R tipi çimento ile üretilen 0,50 su/çimento oranlı betonların yedi günlük yarma-çekme dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi …… 58

Şekil B.6: CEMI42,5 R tipi çimento ile üretilen 0,50 su/çimento oranlı betonların yirmi sekiz günlük yarma-çekme dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi …… 58

Şekil B.7: CEMI42,5 R tipi çimento ile üretilen 0,65 su/çimento oranlı betonların yedi günlük yarma-çekme dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi …… 59

Şekil B.8: CEMI42,5 R tipi çimento ile üretilen 0,65 su/çimento oranlı betonların yirmi sekiz günlük yarma-çekme dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi …… 59

Şekil B.9: Yedi günlük yarma çekme dayanımlarının cüruf içeriği ve çimento tipi ile değişimi …… 60

Şekil B.10: Yirmi sekiz günlük yarma çekme dayanımlarının cüruf içeriği ve çimento tipi ile değişimi ……... 60

Şekil C.1: CEMI 42,5 N tipi çimento ile üretilen 0,50 su/çimento oranlı betonların yedi günlük kırılma enerjilerinin cüruf içeriği ile değişimi. 61

Şekil C.2: CEMI 42,5 N tipi çimento ile üretilen 0,50 su/çimento oranlı betonların yirmi sekiz günlük kırılma enerjilerinin cüruf içeriği ile değişimi …… 61

Şekil C.3: CEMI 42,5 N tipi çimento ile üretilen 0,65 su/çimento oranlı betonların yedi günlük kırılma enerjilerinin cüruf içeriği ile değişimi. 62

Şekil C.4: CEMI 42,5 N tipi çimento ile üretilen 0,65 su/çimento oranlı betonların yirmi sekiz günlük kırılma enerjilerinin cüruf içeriği ile değişimi …… 62

Şekil C.5: CEMI 42,5 R tipi çimento ile üretilen 0,50 su/çimento oranlı betonların yedi günlük kırılma enerjilerinin cüruf içeriği ile değişimi. 63

Şekil C.6: CEMI 42,5 R tipi çimento ile üretilen 0,50 su/çimento oranlı betonların yirmi sekiz günlük kırılma enerjilerinin cüruf içeriği ile değişimi …… 63

Şekil C.7: CEMI 42,5 R tipi çimento ile üretilen 0,65 su/çimento oranlı betonların yedi günlük kırılma enerjilerinin cüruf içeriği ile değişimi 64

Şekil C.8: CEMI 42,5 R tipi çimento ile üretilen 0,65 su/çimento oranlı betonların yirmi sekiz günlük kırılma enerjilerinin cüruf içeriği ile değişimi …… 64

Şekil C.9: Yedi günlük kırılma enerjilerinin cüruf içeriği ve çimento tipi ile değişimi …… 65

Şekil C.10: Yirmi sekiz günlük kırılma enerjilerinin cüruf içeriği ve çimento tipi ile değişimi ……... 65

Şekil D.1: CEMI42,5 N tipi çimento ile üretilen 0,50 su/çimento oranlı betonların yedi günlük eğilme dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi …… 66

Şekil D.2: CEMI42,5 N tipi çimento ile üretilen 0,50 su/çimento oranlı betonların yirmi sekiz günlük eğilme dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi …… 66

Şekil D.3: CEMI42,5 N tipi çimento ile üretilen 0,65 su/çimento oranlı betonların yedi günlük eğilme dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi …… 67

Şekil D.4: CEMI42,5 N tipi çimento ile üretilen 0,65 su/çimento oranlı betonların yirmi sekiz günlük eğilme dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi …… 67

Şekil D.5: CEMI42,5 R tipi çimento ile üretilen 0,50 su/çimento oranlı betonların yedi günlük eğilme dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi …… 68

Şekil D.6: CEMI42,5 R tipi çimento ile üretilen 0,50 su/çimento oranlı betonların yirmi sekiz günlük eğilme dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi …… 68

Şekil D.7: CEMI42,5 R tipi çimento ile üretilen 0,65 su/çimento oranlı betonların yedi günlük eğilme dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi …… 69

Şekil D.8: CEMI42,5 R tipi çimento ile üretilen 0,65 su/çimento oranlı betonların yirmi sekiz günlük eğilme dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi …… 69

Şekil D.9: Yedi günlük eğilme dayanımlarının cüruf içeriği ve çimento tipi ile değişimi …… 70

Şekil D.10: Yirmi sekiz günlük eğilme dayanımlarının cüruf içeriği ve çimento tipi ile değişimi …… 70

Şekil E.1: CEMI42,5 N tipi çimento ile üretilen 0,50 su/çimento oranlı betonların yedi günlük Yük(N)-Sehim(mm) eğrisi …….. 71

Şekil E.2: CEMI42,5 N tipi çimento ile üretilen 0,50 su/çimento oranlı betonların yirmi sekiz günlük Yük(N)-Sehim(mm) eğrisi ……... 71

Şekil E.3: CEMI42,5 N tipi çimento ile üretilen 0,65 su/çimento oranlı betonların yedi günlük Yük(N)-Sehim(mm) eğrisi …….. 72

Şekil E.4: CEMI42,5 N tipi çimento ile üretilen 0,65 su/çimento oranlı betonların yirmi sekiz günlük Yük(N)-Sehim(mm) eğrisi ……... 72

Şekil E.5: CEMI42,5 R tipi çimento ile üretilen 0,50 su/çimento oranlı betonların yedi günlük Yük(N)-Sehim(mm) eğrisi …….. 73

Şekil E.6: CEMI42,5 R tipi çimento ile üretilen 0,50 su/çimento oranlı betonların yirmi sekiz günlük Yük(N)-Sehim(mm) eğrisi ……... 73

Şekil E.7: CEMI42,5 R tipi çimento ile üretilen 0,65 su/çimento oranlı betonların yedi günlük Yük(N)-Sehim(mm) eğrisi …….. 74

Şekil E.8: CEMI42,5 R tipi çimento ile üretilen 0,65 su/çimento oranlı betonların yirmi sekiz günlük Yük(N)-Sehim(mm) eğrisi ……... 74

YÜKSEK FIRIN CÜRUFU KATKILI BETONDA SU/ÇİMENTO ORANININ ETKİNLİK KATSAYISINA VE KIRILMA **PARAMETRELERİNE ETKİSİ**

ÖZET

Bu tez çalışmasında bağlayıcı olarak CEMI 42,5N tipi çimentonun kullanıldığı,300 kg/m^3 dozajlı su/çimento oranı 0,50 ve 0,65 olan iki tanesi şahit beton olmak üzere 6 adet farklı beton üretilmiştir. Daha sonra cürufun etkinliğinin ve kırılma davranışları üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacı ile toplam çimento miktarının % 30'u azaltılarak, her bir üretim için % 30 ve % 60 olacak şekilde cüruf eklenerek altı farklı karışıma sahip beton üretilmiştir. Bu çalışmada ayrıca bağlayıcı olarak CEMI 42,5 R tipi çimento kullanılarak ikisi şahit olmak üzere 4 farklı karışım daha elde edilmiştir. Bu karışımlarda 300 dozajlı su/çimento oranı 0,65 ve 0,50 şahit betonlar söz konusu CEMI 42,5R tipi çimento kullanılarak üretilmiş daha sonra toplam çimento ağırlığının %30'u çıkartılıp aynı oranda cüruf ile yer değiştirilerek kullanılmıştır. Bu betonlara taze haldeki özelliklerini belirlemek amacıyla slump, birim ağırlık ve hava içeriklerinin ölçümleri deneyleri yapılmıştır. Daha sonra 7 ve 28 günlük sertleşmiş beton özelliklerinin belirlenmesi amacıyla silindir numunelerin basınç dayanımları, prizma numunelerin eğilme dayanımları ve kırılma enerjileri, disk numunelerin ise yarma çekme dayanımları belirlenmiştir. Cürufun etkinlik katsayısının belirlenmesi aşamasında literatürde belirtilen Bolomey ya da Abrahms'ın formüllerinden herhangi birisi esas alınarak etkinlik katsayısı belirlenmemiş, bunun yerine numunelerin basınç dayanımı yanında eğilme ve yarma çekme dayanımı ile kırılma enerjileri de dahil olmak üzere bir çok performans kriteri esas alınarak, şahit betonun performans değerleri ile karşılaştırılmıştır. Beton bileşimlerinde uçucu kül ve puzolan kullanımı için etkinlik katsayısının belirlendiği literatür incelendiğinde su/çimento oranının sabit olduğu görünmekte ve çeşitli basınç dayanımı formülleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada sabit su/çimento yerine toplam su içeriği sabit tutularak bu parametrenin değişmesi engellenmiştir. Bu sayede şahit numune olarak esas alınan 300 dozajlı 0,50 ve 0,65 su/çimento oranına sahip betonlarda cürufun etkinlik katsayısı farklı performans dayanımlarına göre ayrı ayrı belirlenmiştir.

EFFECTS OF WATER/CEMENT RATIO ON THE ACTIVITY COEFFICIENT AND FRACTURE PARAMETERS OF BLAST FURNACE SLAG CONCRETE

SUMMARY

In this study, to obtain coefficient and the efficient of blast furnace slag concrete fracture parameters in order to examine the effect of constant volume with 300 doses of 0,50 ve 0,65 water/cement ratio of concrete and different cement produced a reference concrete. With the aim of finding the fracture influence of blast furnace slag, reducing the amount of cement volume of %30 and %60, regardless of reducing the cement for each production in proportion of %30, %60, of slag adding, ten different concrete mixtures were produced. Owing to the fact that several experiments such as: slump, unit weight, air content tests carried out to found out the characteristic of the fresh concrete. To determine the characteristics of hardened concrete, compressive strength test on the cylinder specimens, flexural strength test on the prism specimens, tensile strength test on the disc specimens, were performed. During the process of determination the activity coefficient for slag, calculation been done without using the formulas based which mentioned at literature, instead of this beside having a comprassive strength, flexual and tensile strength experiments also without having and using any formula regarding fracture energy directly mentioned concrete's performance criterion been compared. There are various formulas been used regards to comprassive strength and after been studying the designated activity coefficient literature on concrete mixtures for usage fly ashes and pozzuolana, it is very clear to observe water/cement proportion has been standing at constant lines. In this study, a fixed water/cement instead ot the total water content was kept constant, prevents the change of these parameters. In this way, based on reference samples with a dosage of 300, 0,50 and 65 water/cement ratio of concrete has different performance in the activity coefficient of slag resistance was determined by individual by using two different types of cement, CEM I 42,5 N and CEM I 42,5 R.

1. GİRİŞ

Bir yüzyılı aşan bir süredir, çimento üretim ve kullanım teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte, birçok ihtiyacı karşılayan farklı cinslerde çimentonun üretildiği büyük bir endüstri dalı oluşmuştur. Bu değişik ihtiyaçların karşılanabilmesi için çimento fabrikalarında puzolan katkılı çimentolar üretilmeye başlanmıştır. Katkılı çimentolar hem portland çimentosunda performans özelliklerine sahip olmakta hem de çelik, elektrik ve silikon endüstrisinin ikincil ürünlerinin faydalı bir şekilde kullanılmasına imkân sağlamıştır. Ancak, değişik kimyasal ve mineralojik bileşenlere sahip katkı malzemelerinin klinkere ilavesi çimento sisteminde önemli ölçüde farklılıklara neden olmaktadır. Bu nedenle farklı çimentolar ile üretilen betonların farklı özelliklere ve performansa sahip olmaları kaçınılmaz olmaktadır **[1].**

Katkı malzemelerinde biri olan cüruflar çeşitli metalurji tesislerinden elde edilen atık maddelerdir. Demir ve çelik endüstrilerinde oluşan cüruf atığının bir bölümü kırma ve eleme ünitelerinden geçirilip işlenebilirliği sağlandıktan sonra bileşimindeki minerallerden kaynaklanan puzolanik özelliği sayesinde çimento katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Cürufların çimento ve beton sektörlerinde çok çeşitli kullanım olanakları bulunmaktadır. Konvansiyonel çelik üretim teknikleriyle elde edilen cüruflar kristal yapıya sahip kütleler olarak ortaya çıkar. Bu tür cüruflar ya hiç kullanılmaz ve atılır ya da yol malzemesi veya beton agregası olarak kullanılırlar. Buna karşılık, modern teknolojiyle çelik üretimi yapılan tesislerde camsı yapıya ve bir miktar hidrolik özelliklere sahip olan cüruflar elde edilir. Bunları çimentolu sistemlerde kullanmak mümkün olmaktadır **[2].**

Bu çalışmada 300 dozajlı su/çimento oranları 0,50 ve 0,65 olan şahit birer beton üretilmiştir. Cürufun etkinliğinin ve kırılma davranışı üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacı ile toplam çimento miktarının % 30'u azaltılarak, her bir üretim için % 30 ve % 60 olacak şekilde cüruf eklenerek altı farklı karışıma sahip beton üretilmiştir. Bu betonlara taze haldeyken slamp, birim ağırlık ve hava içeriklerinin belirlenebilmesi için deneyler yapılmıştır. Daha sonra 7 ve 28 günlük sert betonun özelliklerini belirlemek amacıyla silindir numunelere basınç dayanımı, prizma numunelerin eğilme dayanımı ve kırılma enerjileri, disk numuneler üzerinde ise yarma çekme dayanımlarını belirlemek için deneyler yapılmıştır. Cürufun etkinlik katsayısını belirlerken daha önceden belirlenen formülleri kullanmak yerine

numunelere uygulanan deneylerin sonuçları ile şahit betonun performans değerleri karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada sabit su/çimento oranı yerine toplam su içeriği sabit tutulmuştur.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Yüksek fırın cürufunun bağlayıcı özelliklere sahip olduğunun belirlenmesiyle birlikte dünyada 19. yüzyılın ikinci yarısından itibaren bu malzemeyi içereren bağlayıcıların ticari olarak üretimine başlanmıştır. Yüksek fırın cürufularının gerek portland çimentosu hammaddesi gerekse mineral katkı maddesi olarak kullanılması, sırasıyla 1883 ve 1892 yıllarına rastlanmaktadır. Günümüzde dünyanın birçok ülkesinde değişik isimlerle yüksek fırın cürufu içeren çimentolar üretilmekte ve kullanılmaktadır **[3].**

Etkinlik katsayısı olan "k" ilk defa Smith tarafından kullanılmıştır, bu etkinlik katsayısı, portland çimentosuyla karşılaştırıldığınca çimento katkı malzemelerinin performansının göreceli olarak ölçüsüdür. Yapılan çalışmalarda çimento katkı malzemeleri agrega yerine konulunca basınç dayanımlarının kontrol betonundan yüksek çıktığı görülmüş. Çimento katkı malzemeleri çimento yerine kısmi yerleştirilince de başlangıçta (erken zamanda) basınç dayanımının daha düşük çıktığı ama zaman ilerledikçe karışımdaki daha yüksek aktif silika içeriğiyle çimentoyla beraber kontrol betonunun basınç dayanımını aştığı görülmüştür. Öğütülmüş uçucu külün etkinlik katsayısı yaklaşık 1, diğer doğal çimento katkı malzemelerinin ise etkinlik katsayısının daha düşük olduğu belirlenmiştir..(k=0,2-0,3).

Yüksek fırın cüruflu çimentolar, uzun bir zamandan beri kullanılmaktadır. Bunun nedenleri tamamen üretim aşamasındaki ekonomi ve bunun da ötesinde geliştirilmiş performans özellikleridir. Şu ana kadar olan çalışmalar, bu tür çimento katkı maddelerinin, betonun mukavemet, işlenebilirlik, geçirimlilik, dayanıklılık ve korozyona dayanıklılık gibi performans özelliklerinin birçoğunu geliştirmiştir. Bazı eski araştırmacılar yüksek fırın cürufunun kimyasal bileşimini düşünerek bu yüksek fırın cürufunun reaksiyonunu cüruf aktivite indeksi ya da hidrolik indeks olarak tanımlamaya çalışmıştır.

ASTM C989, cüruf aktivite indeksini belirli bir yaştaki cüruflu çimento harç küplerinin ortalama basınç dayanımını referans çimento harç küplerinin ortalama basınç dayanımına yüzde oranı olarak tanımlamaktadır.. Bu cüruf 80,100 ve 120 derece olarak basınç dayanımına bağlı olarak 3 derecede gruplandırılmıştır. Hooton ve Emery'nin gözlemlerine göre GYFC'nin özellikleri (cam içeriği, kimyasal bileşimi, minerolojik bileşimi, öğütme inceliği ve aktivasyon tipi) reaktiviteyi etkiler.

Her nasılsa Mantel, literatürdeki GYFC için olan hidrolik formülün cürufun dayanım performansını yeterince tahmin etmediği sonucunu ortaya koymuştur. O çimentonun veya cürufun kimyasal bileşimiyle aynı çimento ve cürufun karışımının hidrolik aktivitesi arasında bir bağlantı olmadığını iddia etmiştir. O aynı zamanda ASTM'ye göre test edilmiş cüruf aktivitesinin cürufun ve kullanılan çimentonun parça boyutu dağılımına (incelik) bağlı olduğunu ve bunun 28 günde %62'den %115'e kadar sınıflandığını göstermiştir. O yüksek alkali içeren çimentonun, cürufun hidrolik özelliğini etkilemediğini gözlemlemiştir. Buna karşın Hoogen ve Rose yüksek alkali çimento karışımlarının, düşük alkali çimento karışımlarına göre daha büyük cüruf aktivite indeksi değeri verdiğini söylemişlerdir. Şu da söylenmelidir ki, yukardaki cüruf aktivite indeksiyle ilgili bütün testler sadece harç küplerine uygulanmıştır. Aynı zamanda harcın davranışı betondakine göre değişiktir ve aynı zamanda GYFC'nin harcın içinde reaksiyonunu direkt olarak betonun içindeki performansıyla bağdaştırılmamalıdır. Cürufun reaksiyonuna bağlı beton karışım oranı birçok araştırmacı tarafından araştırılmamıştır. Yukarıdaki tartışma GYFC'nin betondaki reaksiyonuna bağlı karışım oranlama ihtimalinin araştırılması gerektiğini gösterir **[4].**

The European Standart Organization adına bir çalışma grubu "k" etkinlik faktörünün belirlenmesi için çeşitli metodlar önermişlerdir. Bu raporda k etkinlik faktörünün hesabındaki temel nokta, kontrol betonu ve uçucu kül eklenen betonların basınç dayanımının su/çimento oranıyla ilişkisidir. Yani önerilen metodda, uçucu kül çimento miktarından çıkarılmamakta, belirli oranlarda eklenip basınç dayanımı-su/bağlayıcı oranı grafiği yerine, basınç dayanımı-su/çimento oranı grafiği çizilmekte ve daha sonra aynı basınç dayanımındaki uçucu küllü beton diyagramlarının normal beton diyagramlarına çakışması sağlanarak k etkinlik faktörü bulunmaktadır. Bununla ilgili grafik Şekil 2.1' de gösterilmiştir. Biz bu çalışmada bu metodu yüksek fırın cürufu için uygulucaz. Bu metodu diğer metotlardan ayıran en önemli nokta çimento miktarının sabit olması ve onun üzerine belirli oranlarda yüksek fırın cürufu eklenmesidir. Bununla ilgili formulasyon şu şekildedir;

$$\frac{W}{C} = \frac{W'}{C + kf} = \frac{W'}{C\left(1 + \frac{kf}{C}\right)} \qquad \textbf{(2.1)}$$

Buradan; $W_0 = W_\varphi / (1+k\varphi)$ denklemi ile elde edilir. **(2.2)**

k = Etkinlik Faktörü

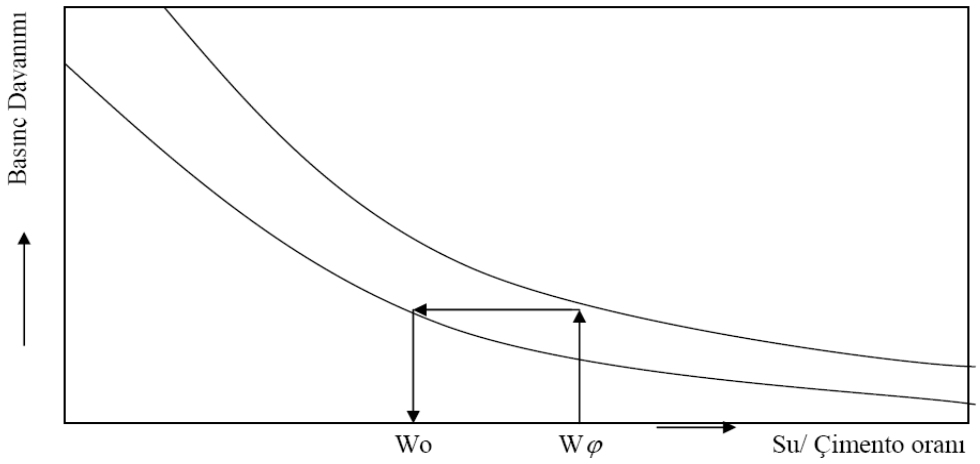
φ = Yüksek Fırın Cürufu/çimento oranı

W_0 = Kontrol Betonunun su/çimento oranı

W_φ = Yüksek Fırın Cüruflu betonun su/çimento oranı

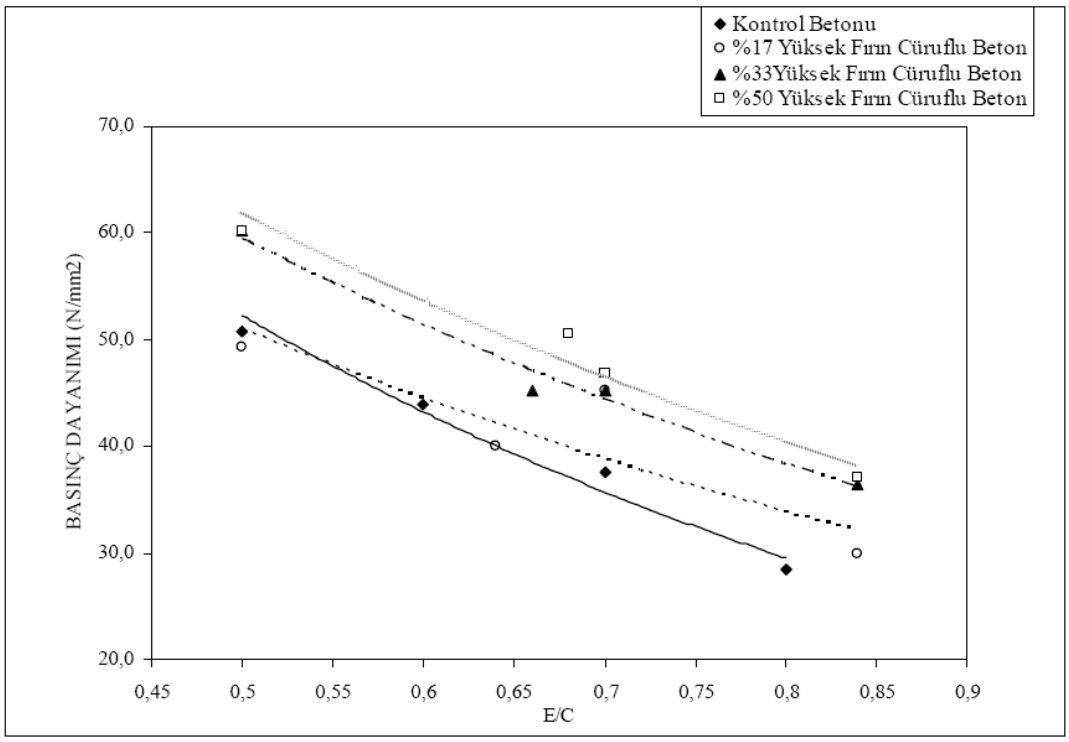
2.4 denkleminden k değerini çekersek;

$$k= [(W_\varphi / W_0)-1] \times (1/\varphi) \quad \textbf{(2.3)}$$



Şekil 2.1: k etkinlik faktörünün belirlenme şekli

CEN TC 140 SC1 adına çalışma grubu k etkinlik faktörünü etkileyen birçok faktör olduğunu belirtmiştir. Bunlar, eklenen yüksek fırın cürufunun fiziksel ve kimyasal özellikleri, yüksek fırın cürufunun eklenme miktarı, çimento tipi, su/çimento oranı, kür koşulları, yüksek fırın cürufu/çimento oranı, sıcaklık gibi faktörlerdir. Şekil 2.2'de 28 günlük yüksek fırın cüruflu numunelerin çalışma grubunun önerdiği metoda göre bulmuş olduğumuz k etkinlik değerleri-su/çimento oranı grafiği verilmiştir **[5].**



Şekil 2.2: Basınç Dayanımı

CEN TC 140 SC1 adına çalışma grubu k etkinlik faktörünü bulmak için üç çeşit grafiksel metot önermiştir. Bu üç metodunda temeli daha önce belirtildiği gibi aynıdır. Bu metotların hepsinde su/çimento oranı dayanım arasındaki ilişkiden k etkinlik faktörü hesaplanmaktadır.

1) Lineer İlişki Metodu: Bu metot sınırlı bir arada basınç dayanımı-su/çimento oranı arasında lineer bir ilişki kurularak uygulanmaktadır. Bu metodu uygulayabilmek için en az iki kontrol betonu karışımı ve eklenen yüksek fırın cüruflu beton karışımı olması gerekmektedir.

$$\beta_{D0} = a_0 - b_0 w_0 \quad \textbf{(2.4)}$$

$$\beta_{DF} = a_f - b_f w\ \varphi \quad \textbf{(2.5)}$$

W_0: Kontrol betonunun su/çimento oranı

W_φ : Yüksek Fırın Cüruflu betonun su/çimento oranı

β_{D0}: Kontrol betonunun basınç dayanımı

β_{DF}: *Yüksek* fırın cüruflu betonun basınç dayanımı

a_0, b_0, a_f, bf: Basınç dayanımı su/çimento oranı arasındaki lineer parametrelerdir.

2) Karşıt ilişki metodu: Bu metot sınırlı bir arada basınç dayanımı su/çimento oranı arasındaki lineer ilişki kullanılarak uygulanmaktadır. Buradaki ilişki şu formüllerle açıklanabilir;

$$fc_1 = A + B/W_0 \quad \textbf{(2.6)}$$

$$fc_2 = P + Z/W\ \varphi \quad \textbf{(2.7)}$$

3) Eşit İşlenebilme Metodu: Bu metodun temel noktası kontrol betonlarının ve yüksek fırın cürufu eklenen betonların eşit çökmeye sahip olmasıdır. Bu eşit çökme yüksek fırın cürufu eklenen betonlar su ekleyerek ve akışkanlaştırıcı kullanılarak sağlanır. Daha sonra kontrol betonlarının ve yüksek fırın cüruflu betonların daha önceki metotlardaki gibi dayanım-su/çimento oranı grafikleri çizilerek "k" etkinlik faktörü bulunur.

Şu ana kadar yapılan çalışmalar sonucunda yüksek fırın cürufunun etkinlik faktörünün hesabında belli bir fikir birliğine varılamamıştır. Bunun nedeni "k" etkinlik değerinin birçok faktöre bağlı olması ve etkinlik faktörünün bulunması için çok farklı yöntemler olmasıdır **[3].** Bu tez çalışmasında etkinlik katsayısının belirlenmesi aşamasında literatür de belirtilen formüllerden birisi esas alınarak etkinlik katsayısı belirlenmemiş, bunun yerine numunelerin basınç dayanımı yanında eğilme ve yarmada çekme dayanımı ile kırılma enerjileri, şahit betonun performans kriterleriyle karşılaştırılmıştır

2.1 Puzolanlar

ASTM C 125 ve ASTM C 618'e göre puzolanlar, kendi başına bağlayıcılık özelliği çok az olan veya hiç olmayan ancak ince öğütüldüğünde ve rutubetli ortamda kalsiyum hidroksitle kimyasal reaksiyona girdiklerinde bağlayıcılık kazanan silisli ya da silisli alüminli doğal veya yapay malzemelerdir. Puzolanlar yüksek oranda SiO_2 ve Al_2O_3 içerirler. Bu nedenle $Ca(OH)_2$ ile tepkimeleri kolaydır ve bu özellikleri nedeniyle bağlayıcı özellik gösterirler **[6].**

Bağlayıcılık özelliği olan maddelerin üretilme çabaları çok eski çağlara dayanır. Eski Mısır'da tuğlanın (pişmiş kil) öğütülerek kirece katılması düşünülmüştür. Bu yöntemle elde edilen harca "horasan harcı" denilmektedir. Osmanlılar bu harcı geniş ölçüde ve bilinçli olarak kullanmışlardır. Avrupa'da ise Romalılar Napoli civarındaki Puzzuoli kasabasının toprağından yararlanmışlardır. Puzolan sözcüğü bu kullanımdan kaynaklanmaktadır. Almanlar puzolana "tras" demektedirler, ülkemizde de bu deyim yaygındır ve standartlarımıza geçmiştir **[6].**

Doğal ve yapay olmak üzere puzolanlar ikiye ayrılır. Birinci gruptaki puzolanlar doğal olarak ortaya çıkan malzemeler olup elde edilişleri genellikle kırma, öğütme ve eleme ile sınırlıdır (Soroka,1993). Doğal puzolanlar genellikle katkılı çimento üretiminde kullanılırlar. Volkanik camlar, volkanik tüfler, traslar ve bazı killer doğal puzolanlar sınıfına girmektedir. Yapay puzolanlar ise endüstri kollarında yan ürün olarak ortaya çıkarlar, yüksek fırın cürufu, uçucu kül ve silis dumanı yaygın olarak kullanılan yapay puzolanlardır.

2.2 Doğal Puzolanlar

Doğada bulunan uygun kimyasal ve mineralojik bileşimli volkanik maddeler veya tortul kayaçlardır. Herhangi bir ön işleme maruz kalmadan ya da ön işlemlerden geçerek kullanılabilirler. Doğal puzolanlar; Piroklastik kayalar (Volkan tüfleri, diyatomit, tras, killi maddeler ve zeolitli maddeler vb.), değişik orijinli maddeler (beyaz İtalyan toprakları) ve kırıntı taşalar olarak sınıflandırılmaktadır **[7].**

2.3 Yapay Puzolanlar

Beton üzerinde yapılan çalışmalarla betonda kullanılan malzemeler ve beton üretim teknolojisi açısından son 20 yıllık süreçte oldukça büyük gelişmeler sağlanmıştır. Bu teknolojilerden bazıları; büyük boşluklarından arındırılmış polimer hamurlar (MDF), ultra ince tanecikli yoğunlaştırılmış sistemler (DSP), reaktif pudra betonları ve çok yüksek lif içeriğine sahip çimento esaslı malzemeler olan SİFCON betonlarıdır.

2.3.1 Uçucu kül

Birçok termik santralde, elektrik üretimi için gerekli enerjiyi sağlayabilmek amacıyla, yakıt olarak pulverize kömür kullanılmaktadır. Dolayısı ile atık malzeme olarak değişik karakterlerde küller elde edilmektedir. Pulverize kömürün yanmasıyla ortaya çıkan küllerin bir kısmı ocak tabanında birikirken yaklaşık %75-80'i gazlarla birlikte bacadan dışarıya sürüklenmektedir. Bu küllere "uçucu kül" ya da "pulverize yakıt külü" denilmektedir **[8].**Tane boyutları 0,5–150 mikron olan, kısmen veya tamamen küresel şekilli küllerin bacadan çıkarak çevreye yayılmasını önlemek gerekmektedir. İri taneli uçucu küllerden istenen çimentoyu üretebilmek için jips ve klinker ile öğütmeye tabi tutulması gerekmektedir. Kül kalitesi ve özelliklerine bağlı olarak Uçucu Küllü Çimento üretiminde %10–30 oranında, Katkılı Çimento üretiminde de diğer katkı maddeleri ile birlikte toplam %19 oranında çimentoya katılabilmektedir **[9].** TS EN 197-1'e göre uçucu küller; silisli (V) veya kalkerli (W) olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Silisli uçucu külün puzolanik özellikleri vardır.

Kalkersi uçucu külün ise hidrolik özelliklerine ilaveten puzolanik özellikleri olabilmektedir.

2.3.2 Yüksek fırın cürufu

Cüruflar, demir ve çelik üretim aşamasında oluşan yan ürünlerdir. Genel olarak iki tip cüruf vardır. Bunlar demir içeren cüruflar ve demir içermeyen cüruflar olarak sınıflandırılırlar. Demir içeren cüruflar, yüksek fırın cürufu ve çelikhane fırın cürufu olarak sınıflandırılır. Demir filiz gangı, kok ve kireç taşının yanma sonrası atıkları YFC' yi meydana getirirler **[7].**

Yüksek fırın cüruflarının ise eriyik haldeki cürufa uygulanan soğuma sürecine göre farklı sınıfları vardır. Bunlar, havada soğutulmuş yüksek fırın cürufu, peletlenmiş cüruf, suyla taneleştirilen cüruftur. Çelik üretim prosesi süresince çelik üretiminin yaklaşık %10 ile %15'i arası cüruf oluşumu meydana gelir.

2.3.3 Granüle yüksek fırın cürufunun yapısı

Cüruf tanelerini şöyle sınıflandırmak mümkündür; saf cam tanecikleri, bir miktar kristal içeren camsı tanecikler ve kristal tanecikler. Bir miktar kristal içeren camsı taneciklerin, saf cam taneciklerinden daha iyi reaktivite gösterdiği yapılan araştırmalardan anlaşılmaktadır. Cürufta kristal içeriğinin %0'dan %5'e çıkması halinde harç mukavemetlerinde azalma gözlenmektedir **[10].**

Yüksek fırın cürufu uygulamada 3 farklı şekilde kullanılmaktadır:

1 - Kalsiyum hidroksitle sulu ortamda birleştirilerek, hidrolik bağlayıcı madde olarak doğrudan kullanılabilmekte,

2- Portland çimentosu klinkeri ve küçük miktarda alçıtaşı ile birlikte veya ayrı ayrı öğütülerek, "cüruflu çimento" üretiminde kullanılabilmekte,

Beton katkı maddesi olarak kullanılabilmektedir.

2.3.4 Granüle yüksek fırın cürufunun kimyasal özellikleri

Granüle yüksek fırın cürufunun hidrolik özelliklerinin belirlenmesindeki önemli parametrelerden biriside kimyasal kompozisyondur. Cürufun alkalinitesi ne kadar yüksekse hidrolik özelliğininde o kadar iyi olduğu kabul edilir. Cürufların kimyasal kompozisyonlarıyla hidrolik özellikleri arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla çok

sayıda araştırma yapılmış olmakla birlikte, kesin ve basit kurallar bulunmuş değildir. Granüle yüksek fırın cürufunun hidrolik özelliği, belirli bir sınır değere kadar, CaO / SiO_2 oranının artmasıyla artar. Ancak bu sınır aşıldığında diğer bir deyişle, CaO miktarının çok yüksek olması durumunda granülasyon güçlendiğinden hidrolik özellikte azalma görülür. Sabit bir CaO / SiO_2 oranı için Al_2O_3 miktarının artması cürufun aktivitesini arttırır. Cüruf içindeki demir ve mangan oksitler dayanım özelliklerini olumsuz etkiler. %10'a kadar MgO bulunmasının dayanımına kötü bir etkisi bulunmaz **[10].**

Cürufların kimyasal bileşimi demir cevherinin bileşimine bağlı olarak değişir; genel olarak normal portland çimentosuna oranla daha az CaO ve daha fazla SiO_2 ve Al_2O_3 içerir.Yüksek fırın cürufunun kimyasal bileşiminden itibaren hesaplanan kalite indeksleri aşağıdaki gibi tanımlanabilmektedir.

Çizelge **2.1:** Yüksek Fırın Cüruflarının Komposizyonları %[1]

	ABD ve Kanada	Güney Afrika	Avustralya	Türkiye
CaO	29–50	30–40	39–44	34–41
SiO_2	30–40	30–36	33–37	34–36
Al_2O_3	7–18	9–16	15–18	13–19
Fe_2O_3	0,1–1,5	-	0–0,7	0,3–2,5
MgO	0–19	8–21	1–3	3,5–7
MnO	0,2–1,5	-	0,3–1,5	1–2,5
S	0–2	1–1,6	0,6–0,8	1–2

2.3.4.1 Yüksek fırın cürufunun aktivitesi

İnce öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu su ile karıştırıldığında genel olarak bağlayıcı özellik göstermez. Ancak aktivatör (uyarıcı) adı verilen katkılar kullanıldığında gizli bağlayıcı özelliği ortaya çıkar. Cürufların aktifleştirilmesinde kullanılan başlıca yöntemler şunlardır:

- Sülfatla aktifleştirme (alçı katılarak yapılmaktadır.)
- Sodyum hidroksit (NaOH) ile aktifleştirme
- Kireçle aktifleştirme

Na(OH) çözeltisi ile yapılan aktivite deneylerinde oldukça kısa sürede sonuç alınabilmektedir **[11].**

Genel olarak kabul edilen bir anlayışa göre düşük hidrolik modül değerleri düşük hidrolik reaktiviteyi göstermektedir. Ancak, her zaman, hidrolik modüllerin yüksek olması dayanımlarında yüksek olmasını sağlamamaktadır.

Granüle yüksek fırın cüruflarının hidrolik modülleri konusunda çok sayıda araştırma yapılmış ve yapılmaktadır. Bu çalışmalarda daha karmaşık başka modüllerde önerilmiştir. Bu önerilerde, toplam kimyasal analiz sonuçlarının ve kristal faz miktarının cürufun hidrolik özelliklerinin tesbiti açısından birlikte değerlendirilmesi gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca, optimal reaktivite için cürufun tamamıyla camsı yapıya sahip olması zorunluluğunun bulunmadığı saptanmıştır **[2].**

E.Douglas, A.Bilodeaw, ve V.M. Malhotna 'nın yaptığı çalışma, Sodyum Silikatla aktivite edilmiş yüksek fırın cüruflu betonların karışım oranlarını formülize etmek ve bu betonların dayanım ve diğer özelliklerini belirlemek için yapılmıştır. Altı adet karışım silikat modülü Ms= 1,47 olan eriyikle, bir adet karışımda Ms= 1,22 olan silikat modülüyle yapılmıştır. Basınç dayanımları, elastisite modülleri, rötreleri ve klor-penetrasyon değerleri hesaplanmıştır. Boy ve kütle değişimleri, ses frekansları, titreşim hızlarında yapılan ölçümler, betonların tekrarlı donma ve çözünme olayına dayanıklılıklarını değerlendirmek için yapılmıştır. Sülfat dayanıklılığı da aynı yöntemle ölçülmüştür **[12].**

Çalışmaya göre hava içeriği, karışımdaki hava sürükleme hacmi, çökme, erken yaştaki basınç dayanımı, Sodyum-Silikat oranından etkilenmiştir. Cüruflu betonların 7 ve diğer miktarlarda gün beklemiş basınç ve eğilme mukavemetleri aynı su/çimento oranında ve işlenebilmeli portland çimentolu kontrol betonuna göre aynı veya daha yüksek çıkmıştır. Düşük Sodyum-Silikat ve cüruf oranları tekrarlı donma-çözünme olayına dayanıklılığı olumsuz etkilemiştir ama Klor İyon penetrasyonuna dayanıklılığı arttırmıştır **[12].**

D.G. Mantel'in yapmış olduğu araştırmada yüksek fırın cürufunun hidrolik aktivitesini belirlemek için literatürdeki çok sayıda ve çeşitli düzenlenmiş kimyasal formüllerin doğruluğu incelendi. Sekiz adet Güney Afrika Klinkeri sabit laboratuar koşulları altında öğütülerek sıradan portland çimentosu cürufuna (OPCS) dönüştürüldü. Aynı değirmende iki adet Güney Afrika, bir adet İngiliz, bir adet Amerikan ve bir adet Hollanda cürufu aynı sabit yüzey alanında öğütüldü. Öğütülmüş cüruflar ve OPCS eşit oranlarda karıştırıldı. Daha sonra bu karışımların dayanım değerleri OPCS'nin dayanım değerleriyle karşılaştırıldı. buradanda

literatürde öngörülen formüllerin cürufun hidrolik aktivitesini layığıyla belirlemediği görülmüştür. OPCS-yüksek fırın cürufu karışımlarının dayanım değerleri cürufun inceliğine ve çimentonun hidrolik özelliklerine bağlıdır **[13].**

2.3.4.2 Yüksek fırın cürufunun hidratasyonu

Yüksek fırın cüruflarının kendi başlarına suyla reaksiyonu, Portland çimentolarının hidratasyonuyla karşılaştırıldığında oldukça yavaş gelişir. Cürufun hidratasyonu cürufun su içinde kısmi olarak erimesiyle C-S-H, hidrate aluminatlar ve hidrate siliko aluminatların çökelmesi olarak tanımlanabilir. Cüruf hidratasyonunun başlangıç aşamasında silikat iyonları eriyiğe geçer, daha sonra, ilk C-S-H çökelmesinin ardından, eriyiğin kireç konsantrasyonu artar ve son olarak da alumina konsantrasyonunda, hidrate aluminat kristallerinin oluşumuna kadar artış görülür. Yüksek fırın cürufu hamurlarındaki hidrate fazların belirlenmesine yönelik bir araştırmada CaO-SiO_2-Al_2O_3-H_2O dörtlü sisteminde C-S-H, C_2ASH ve C_4AH 13-19 bileşenlerinin oluşturduğu saptanmıştır **[2].**

2.3.4.3 Yüksek fırın cürufunun dayanıklılık özellikleri

Sülfatlı sular, deniz suları, klorlu sular, karbonatlı sular, termal sular, buz çözücü maddeler vb ile yapılan uzun süreli deneyler sonucunda cüruflu çimentoların zararlı kimyasal etkiler altında performanslarının yüksek olduğu belirlenmiştir.

- Sülfat etkisine dayanıklılık

Regourd tarafından yapılmış olan bir çalışmada sentetik olarak hazırlanmış , %50 C3S + %15 C3A + %5 alçı + %30 kuartz içeren numuneler %5 $MgSO_4$ eriyiğine batırılmıştır. İlk günden başlayarak numunelerde genleşme gözlenmiş ve 7. günde tüm numuneler dağılmıştır. Daha sonra, bu numuneler X ışınları difraksiyonu ve tarayıcı elektron mikroskop kullanılarak incelendiğinde, $Mg(OH)_2$, $CaSO_4$ $.2H_2O$, etringit ve C-M-S-H oluştuğu saptanmıştır. Aynı araştırmada, ikinci seri numuneler kuartz yerine Granüle yüksek fırın cürufu kullanılarak hazırlanmış ve aynı koşullara tabi tutulmuştur. Sonuçta, GYFC içeren numunelerde hiç bir bozulma görülmemiştir. Benzer sonuçlar %60 cüruf içeren çimentolarla yapılan beton numuneleri üzerinde de elde edilmiştir. Aynı araştırmadan çıkan bir başka sonuç ise kullanılan cürufun inceliğinin artmasıyla, betonun porozitesini azalttığından dolayı, kimyasal etkilere karşı direncin yükselmesidir.

$MgSO_4$, $CaSO_4$ ve Na_2SO_4 eriyiklerinin kullanıldığı benzeri bir başka araştırmada da 130 değişik çimento kullanılmış ve yüksek fırın cüruflarının, miktarlarıyla orantılı olarak, sülfat direncini arttırdığı saptanmıştır **[2].**

P.S. Mangat ve J.M Khatib'in yaptığı araştırma, değişik dozajlarda yüksek fırın cürufu, silis dumanı ve yüksek fırın cürufu içeren betonların sülfat dayanımını inceler. Toplam bağlayıcı içeriği 350 ve 450 kg/m^3, ve su/çimento oranı 0,45'tir.

Numunelerin birim hacimdeki poroziteleri ve gözenek yapısı civa sızma porozimetresi ve karbonatlaşma miktarı hesaplanarak ölçülmüştür.

Örnekler, öncelikle 14 gün boyunca 20 ila 45°C arasında değişen sıcaklıklarda, nem oranı (yaklaşık olarak % 25,55) kür edilmiştir. Daha sonra kürlenen bu örnekler sülfat eriyiğine batırılmıştır. Sonuçlara göre %22 ila %32 arasında değişen uçucu kül katkısıyla üretilmiş betonlar en fazla sülfat dayanıklılığını göstermiştir. Bu arada sülfat direnci kuru hava kürü yapılmış numunelerde, ıslak nemli hava kürü yapılmış numunelerle karşılaştırıldığında kuru havada kür yapılmış numunelerin sülfat dayanıklılığı daha iyi çıktığı görülmüştür. %5 ila %15 arasında silis dumanı içeren numunelerdeki sülfat direncinde de çok büyük gelişmeler olduğu görülmüş, bununla beraber istenmeyen gözenek hacmi ve çapı 0,1 µm'den büyük gözeneklerin miktarı silis dumanının kullanılmasıyla artmıştır. %80 yüksek fırın cürufu katkılı betonda da sülfat dayanımının arttığı gözlenmiştir. Ama %40 yüksek fırın cürufu katkılı betonda da bunun ters etkisi gözlemlenmiştir. %40 yüksek fırın cürufu katkılı 45°C'de %25 nem oranında ıslak hava kürü yapılmış betonda daha az gözenek yüzdesi ve daha ince gözenek yapısı gözlemlenmiş olup kontrol betonuyla karşılaştırıldığında daha az sülfat direncine sahip olduğu gözlemlenmiştir **[14].**

- Klor etkisine dayanıklılık

Cüruflu çimentoların klor etkisi konusunda değişik yöntemler uygulanmıştır. Bunlardan bir tanesi özetlenmiştir:

Hızlandırılmış Klor Permeabilite deneyi uygulanarak yapılan bir araştırmada değişik inceliklerde ve değişik cüruf miktarları içeren çimentolar kullanılarak 102 mm çap ve 51 mm boyda silindir harç numuneleri hazırlanmış ve 14 günlük standard bakımdan sonra numunelerin bir yüzü sodyum klorür diğer yüzü Sodyum Hidroksit eriyiklerine batırılarak 60 V sabit potansiyel farkı uygulanmış ve bir yüzden öbürüne geçen elektiriksel akım ölçülerek klor permeabilitesiyle ilişkilendirilmiştir. Bu araştırmada

kullanılan kontrol çimentosu (portland çimentosu) 0,865 m^2/g (BET) kaba cüruflu çimentolar 0,866 m^2/g (BET) , orta cüruflu çimentolar 1,083 cm^2/g (BET) ve ince cüruflu çimentolar 1,337 cm^2/g (BET) inceliktedir. İnce cüruflu çimentolarda ağırlıkça %70 ve %85, orta cüruflu çimentoda %50 ve kaba cüruflu çimentolarda %50 , %70 ve %85 cüruf kullanılmıştır. Benzer bir araştırmada %8 silis dumanı, %25 uçucu kül, % 50 GYFC içeren numuneler üzerinde yapılmış ve cürufun diğer mineral katkılara göre daha etkin olduğu saptanmıştır **[2].**

- Deniz suyu etkisine dayanıklılık

Cüruflu çimentoların deniz suyu etkisine maruz betonlardaki yüksek performansı yıllardır bilinmektedir. Deniz suyuna tamamıyla batırılmış 40*40*160 mm harç numunelerle yapılan deneylerde kullanılan cüruf miktarının etkisi araştırılmış ve çimento içindeki GYFC miktarının artmasıyla genleşmenin azaldığı saptanmıştır.

- Karbonatlaşmaya dayanıklılık

Betonda karbonatlaşma açısından, beton yeterince yoğun ve ortamda yeterli rutubet var olduğu sürece, portland çimentosuyla cüruflu çimento arasında bir fark yoktur. Longuet tarafından yapılan bir araştırmada %80'in üstünde cüruf içeren çimentoların, karbonatlaşmanın neden olduğu depasivasyon sonucunda betonarme donatıların paslanmasını portland çimentoları kadar etkin bir şekilde önlediği saptanmıştır. Öte yandan, bir başka araştırmada daha kısa sürelerle bakımı yapılan (1,3 ve 7 gün) harç numunelerde yukarıda belirtilenin tam tersi sonuçlar alınmıştır. Sözü edilen bu araştırmada, karbonatlaşma direncinin arttırılabilmesi için bakım süresinin uzatılması gerektiği belirtilmiştir.

- Alkali agrega reaksiyonu

Amorf yapıdaki silisli agregaların çimentonun içerdiği alkali oksitlerle yaptığı reaksiyon sonucunda oluşan ve alkali-silika jeli adı verilen ürünün rutubet alarak aşırı genleşme göstermesi betonda çatlamalar ve bozulmalara neden olur. Cüruflu çimentolar kullanılarak yapılan çok sayıda araştırma cüruf miktarının artmasıyla alkali-agrega reaksiyonunun neden olduğu genleşmelerin azaldığını göstermiştir **[2].**

Young-Jin Kwan tarafından yapılan bir araştırmada yüksek basınç dayanımlı betonlarda alkali-agrega reaksiyonu ve yüksek fırın cürufunun etkinliği incelenmiştir. Bu çalışmaların neticesinde şu sonuçlar çıkarılabilir:

Yüksek dayanımlı betonda, yüksek alkali içeriğinden dolayı alkali-agrega reaksiyonu olma olasılığı sıradan betona göre daha yüksektir. Yüksek genleşmeyi önleyebilmek

için reaktif olmayan agrega kullanılabilir. Çimento dozajına göre %30 yüksek fırın cürufu ilave etmek ve düşük alkali oranlı çimento kullanmak, yüksek dayanımlı betonlarda yüksek genleşmeyi önleyebilir **[15].**

- Donma-çözülme direnci

Yüksek fırın cüruflu çimentoların betonların donma-çözülme direncine etkileri, dayanım ve betonun hava miktarı sabit tutulduğu sürece, portland çimentolarınınkinden farklı değildir. Ancak, cüruf miktarı çok yüksek olduğu takdirde, az bir miktar düşüş görülebilir.

Öte yandan, yüksek fırın cürufu kullanımının beton içindeki gözenek boyutlarında, gerek fiziksel gerekse hidratasyon sonucunda, azalmaya neden olması betonun donma çözülme direncini yükselttiği görüşüde öne sürülmektedir. Yapılan tüm araştırmalarda hemfikir olunan sonuç cüruflu çimentoların, betonda sabit bir hava miktarı sağlamak için, portland çimentolarına göre daha fazla hava sürükleyici katkıya ihtiyaç gösterdikleri hususudur **[2].**

2.3.4.4 Yüksek fırın cürufunun taze beton özelliklerine etkisi

Aşağıda cüruflu çimentolar kullanılarak üretilmiş betonların taze haldeki özellikleri genel hatlarıyla özetlenmiştir.

- İşlenebilme

Yüksek fırın cürufunun, klinkere göre, daha az bir yüzey pürüzlülüğüne sahip olması ve özgül ağırlığının daha düşük olması, dolayısıyla hacimce daha fazla çimento hamuru elde edilmesi cüruflu çimentoların betonun işlenebilirliğini olumlu yönde etkileyeceğinin göstergeleridir. Ancak, bu iyileşme çökme deneyi sonuçlarında tam olarak gözlenmez **[2].**

- Priz süresi ile zaman içinde işlenebilme kaybı

Cüruflu çimentoların priz sürelerinin portland çimentolarına göre daha uzun olduğu ve dolayısıyla zamanla işlenebilme kaybının daha az olduğu yönündeki genel kanıya karşın düşük sıcaklıklarda priz sürelerinin çok uzadığı, normal sıcaklıklarda ise portland çimentolarıyla bir fark olmadığı saptanmıştır. Aynı şekilde, çökme kaybı konusunda cüruflu çimentolarla portland çimentosu arasında önemli fark bulunmamaktadır **[2].**

- Terleme

Yapılan deneysel çalışmalarda cüruflu çimento kullanılarak üretilmiş betonların hem terleme hızlarının hem de terleme miktarlarının daha fazla olduğu saptanmıştır **[2].**

- Hidratasyon Isısı

Cüruflu çimento kullanımı hidratasyon ısısını azaltarak hem maksimum beton sıcaklığını düşürmekte hem de bu maksimum sıcaklığa erişilen süreyi uzatmaktadır.

2.3.4.5 Yüksek fırın cürufunun sertleşmiş beton özelliklerine etkisi

Aşağıda cüruflu çimentolar kullanılarak üretilmiş betonların sertleşmiş haldeki özellikleri genel hatlarıyla özetlenmiştir.

- Dayanımlar

Eşit çimento miktarı ve eşit su-çimento oranları söz konusu olduğunda cüruflu çimentolar normal portland çimentolarına göre, erken yaşlarda nisbeten düşük, geç yaşlarda ise yüksek beton dayanım değerlerine neden olurlar. Buradan anlaşılacağı gibi, eşdeğer 28 günlük beton dayanımları söz konusu olduğunda beton karışımlarında cüruflu çimento miktarı normal portland çimentosu miktarına göre biraz daha fazla olmalıdır. Bu durumda, geç yaşlardaki dayanımlar cüruflu çimento ile yapılmış betonlarda çok daha yüksek olmaktadır **[2].**

- Elastisite Modulü

Dayanımlar için belirtilmiş olan durum Elastisite Modülü için de geçerlidir. Eşit 28 günlük dayanımlar için, cüruflu çimento kullanılarak yapılmış olan betonların Elastisite Modülleri az bir miktar daha yüksek olmaktadır **[2].**

- Rötre

Cüruflu çimentolarla üretilmiş betonların rötreleri konusunda yapılan araştırmaların sonuçları birbirlerinden, deney koşulları ve kullanılan malzemelerin değişik olması nedeniyle, farklılıklar göstermekle birlikte bu farklar çok önemli ölçüde değildir. Genel olarak ifade etmek gerekirse, cüruflu çimento kullanımının rötreyi portland çimentosu kullanıldığı durumlardan daha değişik etkilemediği söylenebilir **[2].**

- Sünme

Betonun sünme davranışıyla ilgili en önemli parametre uygulanan gerilme-dayanım oranıdır. Bu oran sabit olduğu sürece, çimentoların sünme davranışları arasında önemli bir farklılık söz konusu değildir **[2].**

- Isıl genleşme ve ısıl iletkenlik

Betonun bu özellikleri büyük ölçüde kullanılan agrega tipi ve özelliklerine bağlı olduğundan çimento tipinin önemli bir etkisi söz konusu değildir **[2].**

2.3.4.6 Granüle yüksek fırın cüruflu çimentonun fiziksel özellikleri:

Portland Yüksek fırın cüruflu çimentoları, portland çimentosundan daha açık renklidir. Özgül ağırlığı, Portland çimentolarına oranla biraz düşüktür (3.00–3.05). Priz süreleri, rötre, sünme, betonarmede donatı aderansı özellikleri bakımından portland yüksek fırın cüruflu çimentolarıyla portland çimentoları arasında önemli farklılıklar yoktur **[2].**

2.3.5 Silis dumanı

Silisyum metalinin veya alaşımlarının elde edilmesi için yüksek saflıktaki kuvars elektrik fırınlarında yaklaşık 2000 ºC sıcaklıkta kömürle indirgeme işlemine tabi tutulmaktadır. Bu işlem esnasında büyük bir miktarı SiO'dan oluşan gaz oluşmaktadır. SiO'nun, fırının nispeten soğuk kısmında havadaki oksijenle hızlı bir şekilde soğuması sonucunda, camsı yapıdaki SiO_2 parçacıkları oluşmaktadır. Bu parçacıklar fiber filtrelerden geçirildikten sonra yoğunlaştırılmış silis dumanı parçacıkları olarak elde edilmektedir **[16].**

Silis dumanı, silisyum veya demir silisyum alaşımlarının ergime yöntemi ile üretimi sırasında elde edilen, ana bileşen 1 μm'den küçük, küresel, amorf, camsı silis (SiO_2) partiküllerinden oluşan, yüksek düzeyde puzolanik aktiviteye sahip bir yan üründür **[17].**

Silikon metalinin veya silikonlu metal alaşımların üretimi esnasında ortaya çıkan gazın hızlı soğutularak yoğunlaştırılması sonucunda elde edilen ve %85 - % 98 kadar silis içeren amorf yapıya sahip çok ince katı parçacıklardan oluşan malzemeye "yoğunlaştırılmış silis dumanı" veya kısaca "silis dumanı" adı verilir. Bu malzeme, "mikrosilis", veya "silis tozu", veya "silica füme" gibi isimlerle de anılmaktadır. Silis dumanı, amorf yapıda ve çok ince taneli malzeme olmasından dolayı ve yüksek miktarda SiO_2 içermesi sebebiyle, mükemmel bir puzolanik malzemedir **[18].**

Silis dumanı, elektrik ark ocaklarından silikon ve çeşitli silikon alaşımlarının üretimi sırasında ortaya çıkan bir yan üründür. Ürün alaşımın şekli ile suya daldırmalı elektrik ark ocaklarında kullanılan iki temel bileşen olan kuvars ve kömürün

kompozisyonu, silis dumanının kimyasal kompozisyonunu oldukça çok etkilemektedir**[19].**

2.3.6 Pirinç kabuğu külü

Pirinç kabuğu, çelik üretimi sonunda elde edilen zirai ürün atığıdır. Pirinç kabuğunun yapısındaki SiO_2, kabuklar yandıktan sonra elde edilen kül hızlı bir şekilde soğutulursa amorf, yavaş bir şekilde soğutulursa kristal SiO_2 oluşur. Amorf şekilde özgül yüzeyi 50 – 60 m_2/g gibi büyük bir değerdir. Bu nedenle puzolanik aktivitesi yüksektir **[20].**

Pirinç, 1.6 milyar kişinin besin maddesinin yarısını oluşturmaktadır. Ekilebilen alanların % 11' inde yani yaklaşık olarak 145 milyon hektar alanda pirinç ekimi yapılmaktadır. Pirinç üretimi sonucu, atık malzeme olarak aşırı miktarda pirinç kabuğu ortaya çıkmakta ve üretimin fazla olduğu bölgelerde çevrede büyük alanları kaplayarak çevrenin kirlenmesine neden olmaktadır **[20].**

Çeltik bitkisi, yeryüzünde buğdaydan sonra en fazla üretilen tahıldır. Çeltik fabrikalarından işlenerek pirinç elde edilir ve işleme sırasında çeltiğin % 9 – 10' u kepek, % 20' si kavuz olarak ayrılır **[20].**Pirinç üretiminin atığı olan kabukların tanelerden ayrılması sırasında iki kabuk oluşur. Birinci kabuk; pirinç tanesinin etrafını saran ince zar şeklinde olup buna kepek denir. Besleyici yönden zengin olduğu için hayvan yemi olarak kullanılmaktadır. İkinci kabuk ise; bir pirinç tanesinin en dışındaki kabuktur. İçteki kabuğa göre daha serttir ve bu kabuğa da kavuz veya kapçIık denmektedir. Kavuz, silis ve karbon içerir. Yapısındaki silis kabukların iskeletini oluşturur ve amorf haldedir **[20].**Pirinç kabuğu külü beton için mineral bir karışım olup, çimento ürünlerinin davranışı pirinç kabuğunun kaynağı ile değişir **[21].**Pirinç kabuğunun çeşitli uygulama alanları vardır. Kırsal bölgelerde kış mevsiminde ısı gereksinimini karşılamak üzere sobalarda yakıt olarak kullanılmaktadır **[22].**Çelik üretimi sonunda kabuklar çelik külçelerin üzerine serilerek, çeliğin soğuması yavaşlatılır ve kristal yapı oluşur. Özellikle Mısır, Japonya ve bazı diğer ülkelerde refrakter malzeme üretiminde ve izolasyon malzemesinde pirinç kabuğundan yararlanılır. Pirinç kabukları havası yerde yakılarak aktif karbon elde edilebilir ve ayrıca aktif karbon absorbsiyon özelliğinin yüksek oluşu nedeniyle sanayide renk, koku giderici olarak kullanılmaktadır. Yapı malzemesi olarak hafif beton imalinde hafif agrega olarak kullanılmaya elverişlidir **[22].**

2.4 Süperakışkanlaştırıcı Katkılar ve Özellikleri

Süperakışkanlaştırıcı katkılar betonun diğer ana bileşenlerine oranla çok az miktarda eklenen kimyasallardır. Çimento dozajına göre kullanılacak katkı miktarına karar verilir. Akışkanlaştırıcı katkılar taze beton ve harçlarının işlenebilirliğini etkiler. Etkinlik derecelerine göre normal akışkanlaştırıcı (veya su azaltıcı), orta derece su azaltıcı (mid-range) ve süperakışkanlaştırıcı (üstün akışkanlaştırıcı) olmak üzere üç temel grupta toplanabilir. Süperakışkanlaştırıcı akıcı ve doğru hesaplanmış, şekil verilmiş beton ile kolayca karmaşık kalıplar doldurulabilir, zor yüzeyle bitirilebilir **[2].**

Yüksek performanslı betonlarda dayanım, dayanıklılık ve işlenebilme özelliklerinin normal betondan daha yüksek olması beklenmektedir. Yüksek performanslı beton üretiminde ana hedef kısaca su/ çimento oranı veya su/bağlayıcı oranını üretim sırasında olabildiğince düşük tutmaya çalışmaktadır. İkinci önemli hedef ise, betonu ayrışma ve boşluk olmadan kolayca yerine yerleştirmektedir. Bu iki istek klasik beton teknolojisindeki en önemli çelişkidir. Ancak yüksek oranda su azaltıcılar veya diğer deyişle süperakışkanlaştırıcıların icat edilmesi ile bu çelişki ortadan kalkmıştır **[23].**

2.4.1 Süperakışkanlaştırıcı katkıların önemi

Son 30 yıl içerisinde beton teknolojisinde kaydedilen en önemli ilerleme, süperakışkanlaştırıcı katkıların kullanılmasıdır. Süperakışkanlaştırıcıları diğer kimyasal katkılardan ayıran en önemli özellik ise çok fonksiyonlu iyileşme sağlamalıdır **[24].**

Sabit bir işlenebilme değerinde, süperakışkanların su azaltıcı olarak kullanılması durumunda, su/çimento oranının azalması dolayısıyla kapiler boşluk ve geçirimlilik azalır. Böylece dayanım ve dayanıklılıkta artış sağlanır **[24].**

Süperakışkanlaştırıcı kullanıldığında, su ve çimento azaltılarak, dayanım ve işlenebilme özelliklerinde değişme olmaksızın çimento tasarrufu yapılabilir. Ayrıca çimentonun azaltılması sayesinde hidratasyon ısısı azaltır. Katkının bu amaçla kullanımı, özellikle sıcak iklimlerde ve kütle beton uygulamalarında oldukça yararlı olabilir. Ayrıca çimento ve suyun azalması ve dolaylı olarak, azalan hamur hacminin yerini agreganın alması sayesinde agrega/çimento oranı artar ve böylece büzülme azalır **[24].**

Kontrol karışımın bileşenlerine hiç müdahale edilmeden süperakışkanlaştırıcı eklenmesi durumunda ise dayanım ve dayanıklılık özelliklerinde değişme olmadan, işlenebilmede artış gözlenir **[24].**

Katkı kullanılmadığı durumda dayanım artışı sağlamak için çimento ilavesi gereklidir. Dayanım kaybı olmadan işlenebilmede artış sağlamak amacıyla ise hem çimento hem su ilavesi gerekir. Her iki durumda da çimento içeriğinin artması yüksek büzülme ve hidratasyon ısısına neden olur **[24].**

2.4.2 Süperakışkanlaştırıcı çeşitleri

Akışkanlaştırıcılar, etkinlik derecelerine göre normal akışkanlaştırıcılar, orta derecede akışkanlaştırıcılar ve süper akışkanlaştırıcılar olarak 3 grupta toplanabilirler. Ayrıca beton üretiminde süper akışkanlaştırıcılar genel olarak çok düşük su/çimento oranına sahip betonlar üretmek, düşük çimento dozajlı betonlar üretmek ve yüksek akışkanlığa sahip betonlar üretmek amacıyla 3 farklı şekilde kullanılabilir Kimyasal bileşimleri göz önüne alındığında ise süper akışkanlaştırıcıları 3 farklı grupta toplamak mümkün olmaktadır;

a) Sülfonatlı sentetik polimerler,

b) Karboksilatlı sentetik polimerler,

c) Modifiye linyo sülfonatlar

2.4.3 Süperakışkanlaştırıcıların etki mekanizması

Süperakışkanlaştırıcı varlığında çimento tanelerinin dağılma özelliği genel olarak "elektrostatik" ve "stearik" etki mekanizmasıyla açıklanır. Aşağıda bu iki etkiyle ilgili genel bilgiler verilmiştir.

2.4.3.1 Elektrostatik etki

Süperakışkanlaştırıcılar, çimento taneleri üzerindeki dağıtma etkisi sayesinde topaklaşmayı önler. Bu etki sayesinde çimento hamurunun akışkanlığı artar. Çimento taneleri arasında topaklaşmaya neden olan çekim kuvvetleri, negatif yüklü SNF ve SMF gibi polimerlerin çimento tanesi üzerinde tutunması neticesinde nötr hale gelmekte ve böylece dağıtma etkisi gerçekleşmiş olmaktadır (Şekil 2.4) **[24].**

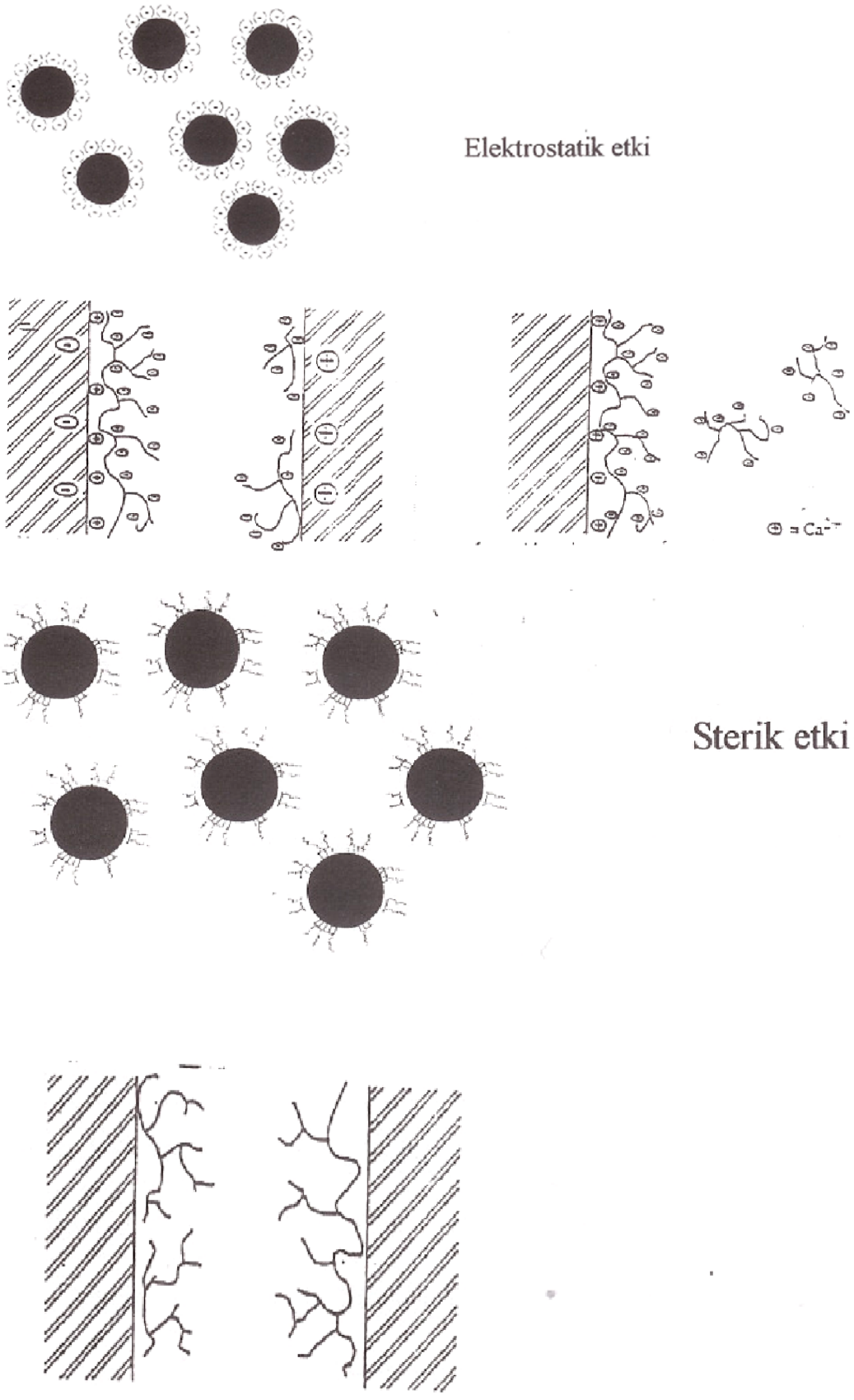
2.4.3.2 Stearik etki

Sakai ve Diamon (1997), polikarboksilat esaslı (PC) katkıların sağladığı Zeta potansiyel değerinin (0,3-5 mV), SNF esaslı katkılara (23-28 mV) göre çok önemsiz mertebede olduğunu söylemiştir **[24].** Collepardi (1993), yaptığı alışmada bunu doğrular nitelikte sonuçlar elde etmiştir (Şekil 2.4) **[24].**

Bu veriler, süperakışkanlaştırıcıların çimento tanelerini dağıtma etkisinin elektrostatik itkiden kaynaklanmadığını göstermektedir. PC esaslı katkıların dağıtma etkisi elektrostatik etkiden çok, stearik (fiziksel-geometrisel) engelleme etkisi ile açıklanmaktadır. Polimer molekülündeki yan zincirler çimento taneleri arasında fiziksel bir engel oluşturmakta ve topaklaşmayı önlemektedir (Şekil 2.4) **[24].**

Stearik itkinin en önemli avantajı, elektrostatik itkinin tam tersine, çimento kompozisyonundan kaynaklanan, çözeltideki iyon tipi ve yoğunluğundan çok daha az etkilenmesidir **[24].**

Sterik etki de önemli rol oynayan parametreler ana zincir uzunluğu, yan zincirlerin uzunluğu ve yan zincirler arası mesafe olarak sayılabilir (Şekil 2.4) **[24].**



Şekil 2.3: Süper Akışkanlaştırıcı Katkıların Etki Mekanizması **[26]**.

2.4.4 Süperakışkanlaştırıcıların beton üzerine etkileri

Beton üretiminde kullanılan süperakışkanlaştırıcılar hem taze hem de sertleşmiş haldeki beton üzerinde çeşitli değişiklere yol açar. Katkılar betonun diğer bileşenlerine göre daha az kullanılan kimyasallardır. Genel olarak karışımda kullanılan çimento miktarına göre belirlenirler. Betona kazandırılmak istenen özeliklere göre çeşitli katkılar kullanılabilir. Bunlar, hava sürükleyen, korozyon direncini artıran, priz geciktiren veya akışkanlaştırıcı katkılar olabilir. Katkılar, genelde betonun üç temel özelliği olan dayanım, işlenebilirlik ve durabilite yönlerini güçlendirmek için kullanılır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışması kapsamında, bağlayıcı olarak CEMI 42,5N tipi çimento kullanılarak, hacimce sabit 0,50 ve 0,65 su/çimento oranlı iki tanesi şahit beton olmak üzere 6 adet farklı beton karışımı üretilmiştir. Bu karışımlarda çimento ile (0–45)μm dane boyutuna sahip yüksek fırın cürufu ikameli olarak kullanılmış, karışımlarda toplam çimento miktarının (hedef 300 dozaj) %30'u azaltılarak, her bir üretim için karışımlarda azalan çimento miktarına karşılık %30, %60 oranlarında cüruf eklenmek suretiyle 6 farklı karışım üretilmiştir. Daha sonra bağlayıcı olarak CEMI 42,5 R tipi çimento kullanılarak ikisi şahit olmak üzere 4 farklı karışım daha elde edilmiştir. Bu karışımlarda 300 dozajlı su/çimento oranı 0,65 ve 0,50 şahit betonlar söz konusu CEMI42,5R tipi çimento kullanılarak üretilmiş daha sonra toplam çimento ağırlığının %30'u çıkartılıp aynı oranda cüruf ile yer değiştirilerek kullanılmıştır. Üretimlerde akışkanlığı sağlamak için yeni nesil süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Katkının miktarı, 18±2cm çökme değeri hedeflenerek bütün karışımlarda farklı olacak şekilde eklenmiştir. Toplamda 10 farklı karışımın taze ve sertleşmiş beton özellikleri incelenmiştir.

3.1 Karışımlarda Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

3.1.1 Çimento

Karışımlarda, CEM I 42,5 N tipinde özgül ağırlığı 3,17 gr/cm^3 olan ve CEM I 42,5 R tipinde özgül ağırlığı 3,15 gr/cm^3 olan iki farklı çimento kullanılmıştır.

3.1.2 Yüksek fırın cürufu

Deneylerde çimentoya ek olarak puzolanik etkisi bulunan yüksek fırın cürufu da kullanılmıştır. Helyum piknometresi ile yapılan ölçümde yüksek fırın cürufunun özgül ağırlığı 2,80 gr/cm^3 bulunmuştur.

Çizelge 3.1: Yüksek Fırın Cürufunun Kimyasal Özelikleri

İçerdiği Madde	Yüzdesi(%)
SiO_2	33,4
Na_2O	0,34
Al_2O_3	15,04
K_2O	0,64
Fe_2O_3	2,93
SO_3	0,18
MgO	8,28

3.1.3 Agregalar

Üretimlerde iri agrega olarak Şile Koç Madencilik'ten tedarik edilen kalker kırmataş 1, kırmataş 2 ve kalker kırma taş tozu kullanılmıştır. İnce agrega olarak ise Şile Ergören TS 33 kumu kullanılmıştır. Agregaların fiziksel özellikleri Tablo 3.5 'de verilmiştir.

Çizelge 3.2: Agregaların Fiziksel Özelikleri

Agrega Türü	Özgül ağırlık (g/cm^3)	Su emme (%)
Doğal Kum	2,58	1,30
Kırmataş Tozu	2,70	0,80
Kırmataş 1	2,72	0,40
Kırmataş 2	2,72	0,40

Çizelge 3.3: Agregaların Elek Analizi Sonuçları

Elek Göz Boyutu (mm)	Elekten Geçen %				
	Doğal Kum	Kırma Kum	Kırmataş 1	Kırmataş 2	Karışım
1,5	100	100	100	100	100
22	100	100	100	100	100
16	100	100	100	66	94
8	100	100	63	2	72
4	100	85	5	1	50
2	96	55	2	1	40
1	79	30	2	1	28
0,5	52	16	1	1	18
0,25	23	6	1	1	8
0,125	4	3	1	1	2
0,063	2,1	2,5	0,7	0,8	1,6

3.1.4 Akışkanlaştırıcı katkı

Üretimlerde su ihtiyacını yüksek oranda azaltabilen yeni nesil bir süper su azaltıcı/süper akışkanlaştırıcı katkı ve sertleşmeyi hızlandırıcı katkı sınıflarına uygundur. Grace firması tarafından üretilen katkının adı ADVA 616M olup klor içermemektedir.

Kullanılan katkı karışıma katıldığında, çimento taneleri üzerinde adsorbe olarak çimento tanelerinin üstünü kaplar. Katkının polimer yapısındaki sülfonat grupları çimento taneleri üzerinde negatif yükün artmasına sebep olurlar bu da çimento tanelerinin dağılmasına sebep olur. Ayrıca çimentoyu saran katkının sahip olduğu polimer zincirleri sayesinde çimento taneleri arasında fiziksel bir itmede oluşur. Bu iki etki sayesinde çimento taneleri çok iyi bir dağılma gösterir ve belirli bir beton

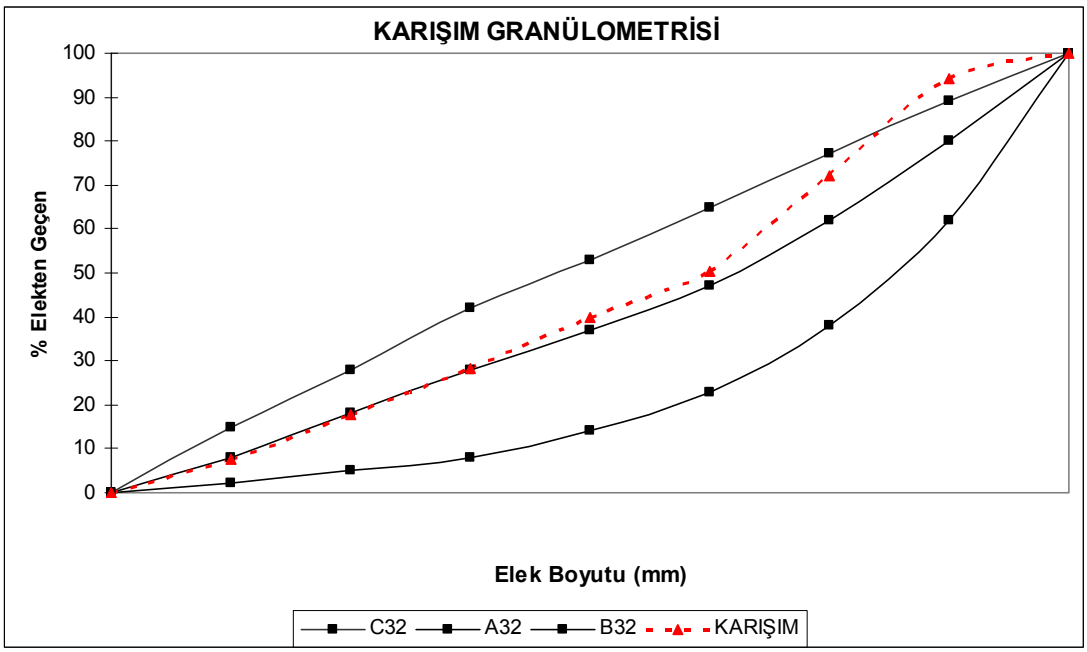
işlenebilirliği için gerekli olan su miktarı azalır. Bu sayede su içeriği düşük akışkan bir beton elde etmek mümkün hale gelir. Tablo3.6'da kullanılan süper akışkanlaştırıcıya ait teknik özelikler verilmiştir.

Çizelge 3.4: Kullanılan Süper akışkanlaştırıcının Teknik Özelikleri

Yoğunluk (g/cm3) (20°C)	1.1
Klor % (EN 480-10)	<0.1
Renk	Amber
Homojenite	Homojen
Kimyasal İçeriği	Polikarboksilik Eter Zincirleri

3.2 Beton karışımları

Yapılan bu tez çalışmasında 4'ü referans betonu olmak üzere 10 farklı beton karışımı üretilmiştir. İlk olarak 0,50 ve 0,65 su/çimento oranlı ve her biri CEMI 42,5 N ve CEMI 42,5 R çimentoları ile üretilen 4 farklı şahit beton üretilmiştir. Yüksek fırın cürufunun etkinliğinin ve kırılma parametrelerine etkisinin belirlenmesi amacı ile toplam çimento miktarının %30'u azaltılarak, her bir üretim için karışımlarda azalan çimento miktarına karşılık %30 oranında cüruf eklenerek 8 farklı beton karışımı üretilmiştir. Daha sonra N tipi çimento ile yapılan üretimlerde %60 cüruf ekleyerek 2 farklı karışım elde edilmiştir. Üretimlerde su/çimento oranı sabit tutulmuştur. Eşit işlenebilirlik kimyasal akışkanlaştırıcı ile sağlanmıştır. Karışım granülometrisi TS 706' da belirtilen B32 ve C32 referans eğrileri arasında kalacak şekilde belirlenmiştir. Buna göre karışım oranları için doğal kum %24, kırmataş tozu (0-4mm) %29 ve kırmataş1 (4-16mm) %30, kırmataş2 (16-32mm) %17 oranlarında kullanılmıştır. Karışımın granülometri eğrisi Şekil 3.1'de gösterilmektedir. Ayrıca Tablo (3.11)'de üretimlerin 1m^3 için teorik bileşim değerleri verilmiştir.



Şekil 3.1: Beton Karışımının Granülometrisi ve Referans Eğrileri

Çizelge 3.5: 1 m^3 için Teorik Beton Bileşimleri Ve Özelikleri

Bileşen (kg)	0,65C1 Şahit	0,65C2 Şahit	0,50C1 Şahit	0,50C2 Şahit	0,65C130-30	0,65C230-30	0,50C130-30	0,50C230-30	0,65C130-60	0,50C130-60
Çimento	300	300	300	300	210	210	210	210	210	210
Yük. Fırın Cürufu	-	-	-	-	90	90	90	90	180	180
Doğal Kum	426	425	453	452	424	423	451	451	403	440
K.T. Tozu	536	536	571	571	533	533	568	568	508	545
K.T.1	557	556	593	593	554	554	591	591	528	560
K.T.2	316	315	336	336	314	314	334	334	299	316
Su	194	194	148	148	195	195	149	149	194	146
Katkı	0,91	1,70	2,7	2,8	0,86	0,86	2,0	2,0	1,14	1,86
Su/Çimento	0,50	0,65	0,50	0,65	0,50	0,65	0,50	0,65	0,50	0,50

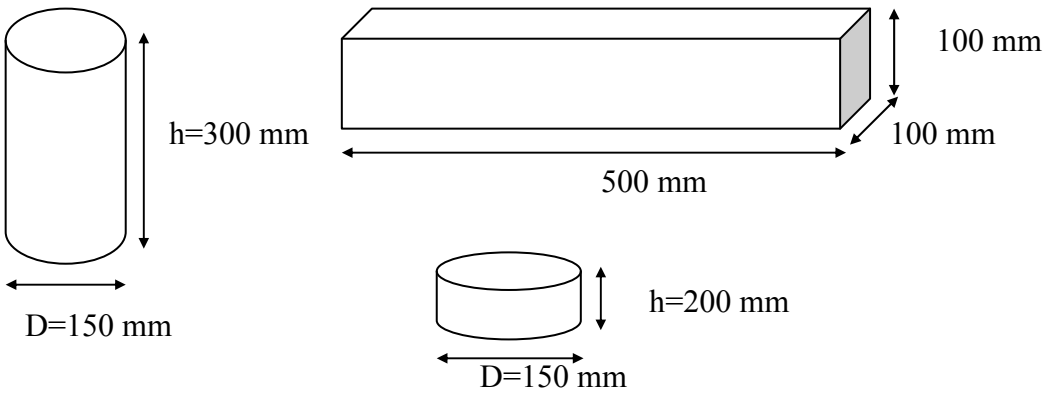
3.3 Üretimde İzlenen Sıra

- Çimento ve yüksek fırın cürufu hariç, agregalardan oluşan kuru karışım 60 saniye süre ile karıştırıldı,
- Karma suyunun tamamı katıldı ve 120 saniye daha karıştırıldı,
- Çimento ve cürufu eklendi, ardından 120 saniye karıştırmaya devam edildi,
- Akışkanlaştırıcı katkı eklendi,
- 5 dakika süre ile karıştırmaya devam edilerek karışım sonlandırıldı,
- Çökme, hava içeriği, birim ağırlık deneyleri yapıldı,
- Beton kalıplara alındı.

Numuneler üretimden 1 gün sonra kalıptan çıkartılarak havuzlara alındılar.

3.4 Numune Şekil ve Boyutları

Her partide toplam 3 kiriş, 3 silindir ve 4 disk olmak üzere toplam10 adet numune üretildi.



Şekil 3.2: Numune Şekil ve Boyutları

3.5 Numune Kodlarının Belirlenmesi:

Tez çalışmasında, üretilen numuneleri birbirinden ayırabilmek, özelliklerini belirtmek ve deney sonuçlarını yorumlamayı kolaylaştırmak açısından numunelere bir takım kodlar verilmiştir. Bu kodlamanın ilk bölümü su/çimento oranını, ikinci bölümü çimento türünü gösterirken, son bölümü azaltılan çimento yüzdesini ve eklenen cüruf yüzdesini göstermektedir. Örneğin; "0,50C130–30" kodunda "0,50" su/çimento oranını, "C1" N tipi çimentoyu,"30–60" ise; şahit betonun sahip olduğu toplam çimento ağırlığının %30'u kadar çimento azaltıldığını ve yine toplam çimento ağırlığının %60'ı kadar cüruf eklendiğini göstermektedir. "0,50C230-60" kodu ise "0,50" su/çimento oranını, "C2" R tipi çimento çeşidini, "30–60" ise; %30 çimento azaltıldığını %60 cüruf eklendiğini göstermektedir.

4. DENEY SONUÇLARININ İNCELENMESİ

4.1 Taze Beton Deney Sonuçları

Taze haldeki beton deneyleri; Birim ağırlık deneyi, çökme deneyi ve hava içeriği deneyidir. Taze betona uygulanan bu deneylerin sonuçları Tablo 4.1' de verilmektedir

Çizelge 4.1: Taze Beton Deney Sonuçları

Deney	0,65C1 Şahit	0,65C2 Şahit	0,50C1 Şahit	0,50C2 Şahit	0,65C130 -30	0,65C230 -30	0,50C130 -30	0,50C230 -30	0,65C130 -60	0,50C130 -60
Birim Ağırlık (kg/m^3)	2363	2358	2362	2359	2357	2358	2394	2357	2358	2358
Çökme (cm)	18	19	19	18	17	19	19	19	19	19
Hava İçeriği (%)	1,1	1,0	2,3	2	1,2	0,8	2	2	1.0	0.8

4.2 Sertleşmiş Beton Deneyleri

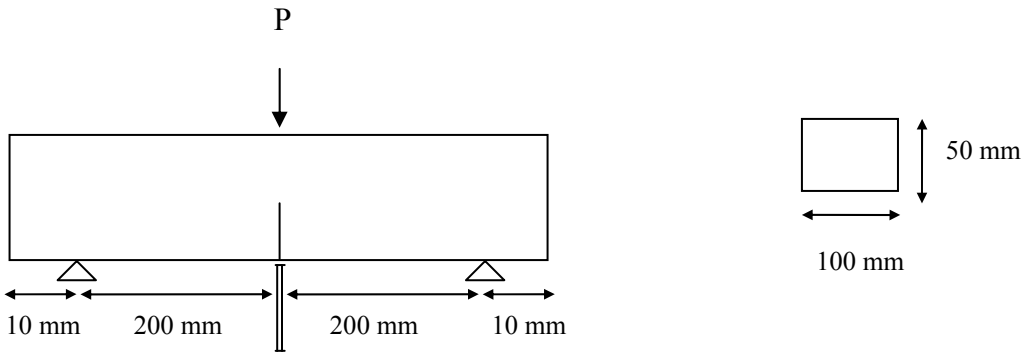
Yapılan tez çalışmasında taze beton özellikleri incelenen üretimler, daha sonra çeşitli sertleşmiş beton niteliklerinin araştırılması amacıyla kalıplara konulmuştur. Bir gün kalıpta bekletilen numuneler, sertleşmiş beton deneylerinin yapılacağı güne kadar %100 bağıl nem değerine sahip kür odalarında bekletilmiştir.

4.2.1. Kırılma enerjisi deneyinden elde edilen sonuçlar

Üretilen betonların kırılma enerjileri INSTRON 5500R marka deplasman kontrollü yükleme makinesi kullanılarak yapılmıştır. Kırılma enerjisi deneyleri kiriş numuneler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonunda elde edilen yük-sehim grafikleri incelenerek, çelik lif eklenmesinin, çimento içeriğinin ve su/çimento oranının

değişiminin eğilme dayanımı, kırılma enerjisi, süneklik gibi mekanik özellikler üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Eğilme deneyleri, malzemenin ortasında tekil yük uygulanmasıyla oluşturulan 3 noktalı deney düzeneği ile gerçekleştirilmiştir. Şekil (4.1)'da deney düzeneği ve kullanılan kirişlerin boyutları gösterilmiştir.

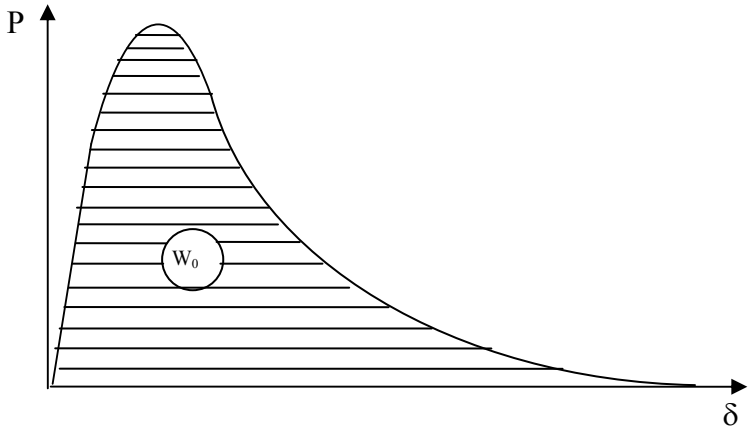


Şekil 4.1: Kırılnma Enerjisi Deneyi Yükleme Düzeneği

Kırılma enerjisi deneyine başlamadan önce kirişlerin orta noktalarına 1 cm derinliğinde çentik açılmış ve yan yüzeylerine kirişlere açılmış olan çentiğe yakın olmak üzere bir korniyer yerleştirilmiştir. Bu korniyere deneyler sırasında sehim ölçmek amacı ile LVDT yerleştirilmiştir. Deney esnasında kirişe uygulanan yük ve yüke karşı gelen deplasmanlar kaydedilerek bilgisayar ortamında yük-deplasman grafikleri çizilmiştir. Kirişlere ait yük-deplasman grafikleri eklerde verilmiştir.

4.2.1.1 Kırılma enerjisinin hesaplanması

Kırılma enerjisi deneyinde, numuneye ait yük ve deplasman değerleri kaydedilir. Daha sonra bu verilerden yük-sehim grafikleri elde edilir. Bu grafiklerin altında kalan alan, kiriş kırılırken yapılan işi, dolayısıyla harcanan enerjiyi vermektedir. Malzemenin sünekliği arttıkça yaptığı sehim ve yuttuğu enerji artmaktadır. Bu tez çerçevesinde değişik su/çimento değerlerine sahip lifsiz ve lifli betonların kırılma enerjileri incelenmiştir. Şekil 4.2 'de örnek bir yük-sehim eğrisi görülmekte ve ayrıca kırılma enerjisi deney sonuçlarının nasıl hesaplanacağı gösterilmektedir.



Şekil 4.2: Yük-Sehim Eğrisinin Şematik Gösterimi

W_o = Yük-Sehim eğrisi altında kalan alan (N/m)

m = Kirişin mesnetler arasında kalan ağırlığı (kg)

g = Yer çekimi ivmesi (9.81 m/sn^2)

δ_o = Kirişin göçme sırasındaki deformasyonu (m)

A_t = Etkin kesit alanı (m^2)

$$G_F = (W_o + mg\delta_o) / A_t \quad \textbf{(4.1)}$$

4.2.1.2 Kırılma enerjisi deneyinden net eğilme dayanımlarının hesaplanması

Kirişlerin yükleme altında gösterdikleri eğilme dayanımı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır. Eğilme dayanımı sonuçları Tablo 4.4' da gösterilmiştir.

D= Numune kesitinin yüksekliği (mm)

B = Numune kesitinin genişliği (mm)

L = Mesnetler arası uzaklık (mm)

P = Kırılma yükü (N)

F_{net} = Net eğilme dayanımı (MPa)

$$F_{net} = (3PL) / 2BD^2 \quad \textbf{(4.2)}$$

4.2.2 Silindir basınç deneyleri

Silindir basınç deneyleri, 15cm çapında, 30cm yüksekliğinde numuneler kullanılarak yapılmıştır. Deneyler, ELE marka 3000kN kapasiteli yükleme makinesiyle gerçekleştirilmiştir. Silindir basınç dayanımları Tablo4.2'de verilmektedir.

4.2.3 Yarma-Çekme deneyi hesaplaması

Yarma-çekme deneyleri 150mm çapında, 60mm yüksekliğinde disk numuneler kullanılarak yapılmıştır. Numunelere yükleme makinesinde, çıtalar yardımıyla çapları doğrultusunda çizgisel yük uygulanmıştır. Bu yük değerleri kullanılarak aşağıdaki bağıntıyla numunelerin yarma-çekme dayanımları bulunmuştur. Bu bağıntıda, σ; Yarma-çekme dayanımı (MPa), P; Yük (N), D; Çap (mm), L;Yükseklik (mm) dir.

$$\sigma = 2P/(\Pi * D * L) \quad \textbf{(4.3)}$$

Yarma-çekme dayanım değerleri Tablo (4.3)' da verilmiştir.

4.3 Sertleşmiş Beton Deneylerinin Sonuç ve Değerlendirmeleri

4.3.1 Silindir basınç deneyi sonuç ve değerlendirmeleri

Çizelge 4.2: Silindir Basınç Deneyi Sonuçları

	Basınç Dayanımı (MPa)		
Numune Kodu	**7 Günlük**	**28 günlük**	**Oran (%)**
0,65C1 Şahit	28,1	36,2	78
0,65C2 Şahit	22,9	32,0	72
0,50C1 Şahit	25,4	36,7	69
0,50C2 Şahit	38,9	46,1	84
0,65C1 30-30	23,1	36,9	63
0,65C2 30-30	20,0	31,2	64
0,50C1 30-30	25,9	41,6	62
0,50C2 30-30	28,0	46,3	60
0,65C1 30-60	31,1	51,9	60
0,50C1 30-60	39,4	56,0	70

İki farklı tip çimento ile üretilen farklı su/çimento oranına sahip betonların 7 günlük basınç dayanımları incelendiğinde, su/çimento oranı 0,50 iken CEMI 42,5 R tipi çimentoların 7 günlük dayanımlarının CEMI 42,5 N tipi çimentolarla üretilen betonlara göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Su/çimento oranı 0,65'e ulaştığında eğilim değişmekte CEMI 42,5 N tipi çimentolarla üretilen betonların dayanımlarının daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil A.9). Şahit betonların 28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde aynı davranışın oluştuğu görülmektedir. 7 ve 28 günlük basınç dayanımları için benzer davranış çimentonun ağırlıkça %30 azaltıldığı ve yine ağırlıkça cüruf ile ikame edildiği betonlarda da görülmektedir (Şekil A.10)

CEMI42,5 N tipi çimentolarla üretilen 0,65 su/çimento oranlı şahit beton ile çimentonun cüruf ile %30 oranında ikame edildiği 0,65C1 30-30 kodlu betonun 28 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında birbirlerine eş olduğu ve cürufun etkinlik katsayısının söz konusu karışım için 1 değerine sahip olduğu görülmektedir (Şekil A.4).

CEMI42,5 N tipi çimentolarla üretilen 0,50 su/çimento oranlı şahit beton ile çimentonun cüruf ile %30 oranında ikame edildiği 0,50C1 30-30 kodlu betonun 7 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında, cürufun etkinlik katsayısının söz konusu karışım için 1 değerine sahip olduğu (Şekil A.1), 28 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında cürufun etkinlik katsayısının 1 değerinden büyük olduğu görülmektedir (Şekil A.2) .

CEMI42,5 R tipi çimentolarla üretilen 0,65 su/çimento oranlı şahit beton ile çimentonun cüruf ile %30 oranında ikame edildiği 0,65C2 30-30 kodlu betonun 28 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında, birbirlerine eş olduğu ve cürufun etkinlik katsayısının söz konusu karışım için 1 değerine sahip olduğu görülmektedir (Şekil A.8).

CEMI42,5 R tipi çimentolarla üretilen 0,50 su/çimento oranlı şahit beton ile çimentonun cüruf ile %30 oranında ikame edildiği 0,50C2 30-30 kodlu betonun 28 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında birbirlerine eş olduğu ve cürufun etkinlik katsayısının söz konusu karışım için 1 değerine sahip olduğu görülmektedir (Şekil A.6).

7 günlük basınç dayanımları ile 28 günlük basınç dayanımlarının oranları incelendiğinde ise çimentonun cürufla ikamesi sonucu çimento yerine cüruf kullanıldığında erken yaş dayanımlarının daha düşük olduğu fakat nihai dayanımlarının yalnızca çimento ile üretilen betonlarla aynı değere ulaştığı görülmektedir.

4.3.2 Yarma-Çekme deneyi sonuç ve değerlendirmeleri

Yarma-çekme deneyi sonuçları Tablo (4.3)' da belirtilmiştir.

Çizelge 4.3: Yarma-Çekme Deneyi Sonuçları

	Yarma Çekme Dayanımı (MPa)		
Numune Kodu	**7 Günlük**	**28 günlük**	**Oran (%)**
0,65C1 Şahit	2,83	3,44	82
0,65C2 Şahit	2,66	3,22	83
0,50C1 Şahit	2,58	4,18	62
0,50C2 Şahit	3,42	3,93	87
0,65C1 30-30	2,58	3,37	76
0,65C2 30-30	2,25	3,26	76
0,50C1 30-30	2,70	3,91	69
0,50C2 30-30	2,95	4,31	68
0,65C1 30-60	2,97	4,53	66
0,50C1 30-60	3,83	4,84	79

İki farklı tip çimento ile üretilen farklı su/çimento oranına sahip betonların 7 günlük yarma-çekme dayanımları incelendiğinde, su/çimento oranı 0,50 iken CEMI 42,5 R tipi çimentoların 7 günlük dayanımlarının CEMI 42,5 N tipi çimentolarla üretilen betonlara göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Su/çimento oranı 0,65'e ulaştığında eğilim değişmekte CEMI 42,5 N tipi çimentolarla üretilen betonların dayanımlarının daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil B.9). Şahit betonların 28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde aynı davranışın oluştuğu görülmektedir. 7 ve 28 günlük basınç dayanımları için benzer davranış çimentonun ağırlıkça %30 azaltıldığı ve yine ağırlıkça cüruf ile ikame edildiği betonlarda da görülmektedir.

CEMI 42,5 N tipi çimentolarla üretilen 0,65 su/çimento oranlı şahit beton ile çimentonun cüruf ile %30 oranında ikame edildiği 0,65C1 30-30 kodlu betonun 28 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında birbirlerine eş olduğu ve cürufun etkinlik katsayısının söz konusu karışım için 1 değerine sahip olduğu görülmektedir (Şekil B.4).

CEMI42,5 N tipi çimentolarla üretilen 0,50 su/çimento oranlı şahit beton ile çimentonun cüruf ile %30 oranında ikame edildiği 0,50C1 30-30 kodlu betonun 7 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında cürufun etkinlik katsayısının söz konusu karışım için 1 değerine sahip olduğu (Şekil B.1), 28 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında cürufun etkinlik katsayısının 1 değerine yakın olduğu görülmektedir (Şekil B.2) .

CEMI42,5 R tipi çimentolarla üretilen 0,65 su/çimento oranlı şahit beton ile çimentonun cüruf ile %30 oranında ikame edildiği 0,65C2 30-30 kodlu betonun 28 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında birbirlerine eş olduğu ve cürufun etkinlik katsayısının söz konusu karışım için 1 değerine sahip olduğu görülmektedir (Şekil B.8) .

CEMI42,5 R tipi çimentolarla üretilen 0,50 su/çimento oranlı şahit beton ile çimentonun cüruf ile %30 oranında ikame edildiği 0,50C2 30-30 kodlu betonun 28 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında birbirlerine eş olduğu ve cürufun etkinlik katsayısının söz konusu karışım için 1 değerine sahip olduğu görülmektedir (Şekil B.6).

7 günlük yarma-çekme dayanımları ile 28 günlük yarma-çekme dayanımlarının oranları incelendiğinde ise çimentonun cürufla ikamesi sonucu çimento yerine cüruf kullanıldığında erken yaş dayanımlarının daha düşük olduğu fakat nihai dayanımlarının yalnızca çimento ile üretilen betonlarla aynı değere ulaştığı görülmektedir.

4.3.3 Kırılma enerjisi deney sonuç ve değerlendirmeleri

RILEM kırılma enerjisi deneylerinden elde edilen, artan su/çimento oranlarına göre değişen eğilme daynaımları Tablo (4.4)'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.4: Kırılma Enerjileri

Özgül Kırılma Enerjileri (Joule/m^2)			
Numune Kodu	**7 Günlük**	**28 günlük**	**Oran (%)**
0,65C1 Şahit	90	76	118
0,65C2 Şahit	73	73	100
0,50C1 Şahit	89	73	122
0,50C2 Şahit	66	80	83
0,65C1 30-30	91	86	106
0,65C2 30-30	88	72	122
0,50C1 30-30	93	86	108
0,50C2 30-30	102	88	116
0,65C1 30-60	95	87	109
0,50C1 30-60	101	78	129

7 ve 28 günlük betonların özgül kırılma enerjileri incelendiğinde yalın betonların sahip oldukları kırılma enerjilerine sahip oldukları görülmekte ve çimento ile curufun ikame edilmesinin enerji yutma yeteneğini önemli ölçüde değiştirmediği sonucuna varılmaktadır.

CEMI 42,5 N tipi çimentolarla üretilen 0,65 su/çimento oranlı şahit beton ile çimentonun cüruf ile %30 oranında ikame edildiği 0,65C1 30-30 kodlu betonun 28 günlük kırılma enerjileri karşılaştırıldığında enerjinin çimento yerine cüruf kullanılması ile arttığı ve etkinlik katsayısının söz konusu karışım için 1'den büyük olduğu görülmektedir (Şekil C.4).

CEMI 42,5 N tipi çimentolarla üretilen 0,50 su/çimento oranlı şahit beton ile çimentonun cüruf ile %30 oranında ikame edildiği 0,50C1 30-30 kodlu betonun 7 günlük kırılma enerjileri karşılaştırıldığında cürufun etkinlik katsayısının söz konusu karışım için 1'e yakın olduğu, 28 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında cürufun etkinlik katsayısının 1'den büyük olduğu görülmektedir (Şekil C.1).

CEMI 42,5 R tipi çimentolarla üretilen 0,65 su/çimento oranlı şahit beton ile çimentonun cüruf ile %30 oranında ikame edildiği 0,65C1 30-30 kodlu betonun 7 günlük kırılma enerjileri karşılaştırıldığında cürufun etkinlik katsayısının söz konusu karışım için 1'den büyük olduğu, 28 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında cürufun etkinlik katsayısının 1 olduğu görülmektedir (Şekil C.9).

CEMI 42,5 R tipi çimentolarla üretilen 0,50 su/çimento oranlı şahit beton ile çimentonun cüruf ile %30 oranında ikame edildiği 0,50C1 30-30 kodlu betonun 7 ve 28 günlük enerjileri karşılaştırıldığında cürufun etkinlik katsayısının her iki beton yaşı için 1 değerinden büyük olduğu görülmektedir.

4.3.4 Eğilme deneyi sonuç ve değerlendirmeleri

Eğilme deneylerinden elde edilen, eğilme dayanımı değerleri Tablo 4.5'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5: Eğilme Deneyi Sonuçları

Eğilme Dayanımları (MPa)			
Numune Kodu	**7 Günlük**	**28 günlük**	**Oran(%)**
0,65N Şahit	3,61	4,35	83
0,65R Şahit	3,43	4,07	84
0,50N Şahit	3,47	4,38	79
0,50R Şahit	3,75	4,70	80
0,65N 30-30	4,20	5,36	78
0,65R 30-30	3,17	4,00	79
0,50N 30-30	3,82	5,22	73
0,50R 30-30	3,63	5,13	71
0,65N 30-60	5,56	6,20	90
0,50N 30-60	5,00	5,93	84

İki farklı tip çimento ile üretilen farklı su/çimento oranına sahip cüruf içermeyen şahit betonların 7 günlük eğilme dayanımları incelendiğinde, su/çimento oranının ya da çimento türünün değişiminin eğilme dayanımlarını belirgin bir biçimde değiştirmediği görülmektedir. Benzer eğilim şahit betonların 28 günlük eğilme dayanımlarında da görülmektedir (Şekil D.10).

CEMI 42,5 N tipi çimentolarla üretilen 0,50 ve 0,65 su/çimento oranlı şahit beton ile çimentonun cüruf ile %30 oranında ikame edildiği 0,65C1 30-30 kodlu betonun 7 ve 28 günlük eğilme dayanımları karşılaştırıldığında cürufun etkinlik katsayısının 1'den büyük olduğu görülmektedir (Şekil D.10).

CEMI 42,5 R tipi çimentolarla üretilen 0,65 su/çimento oranlı şahit beton ile çimentonun cüruf ile %30 oranında ikame edildiği 0,65C2 30-30 kodlu betonun 7 ve 28 günlük eğilme dayanımları karşılaştırıldığında birbirlerine eş olduğu ve cürufun etkinlik katsayısının söz konusu karışım için her iki beton yaşında da 1 değerine sahip olduğu görülmektedir.

CEMI 42,5 R tipi çimentolarla üretilen 0,50 su/çimento oranlı şahit beton ile çimentonun cüruf ile %30 oranında ikame edildiği 0,50C2 30-30 kodlu betonun 7 günlük eğilme dayanımları karşılaştırıldığında birbirlerine eş olduğu ve cürufun etkinlik katsayısının söz konusu beton yaşı için için 1 değerine sahip olduğu fakat 28 günlük sonuçlar karşılaştırıldığında etkinliğin 1den büyük olduğu görülmektedir.

4.3.5 Yük-Sehim ilişkisi ile elastisite modülü yaklaşımı ve çatlak riskinin belirlenmesi

Yüksek fırın cürufu kullanılan beton dizyanları için erken yaş (7 günlük dayanım sonuçları) çatlak riskinin belirlenmesi için yük-sehim grafikleri çıkarılmıştır (ekler). Bu grafiklerden elde edilen eğim değeri eğilme dayanımı ile orantılanarak yaklaşık elastisite modülü değerleri elde edilmiştir. Bu değerler Tablo 4.10' da verilmektedir.

Çizelge 4.6 : Eğim/Eğilme Dayanımı Değerleri

Numune Kodu	Eğim	Eğilme Dayanımı	Eğim/Eğilme Dayanımı
0,65C1 Şahit	53872	3,61	14923
0,65C2 Şahit	55716	3,43	16244
0,50C1 Şahit	52372	3,47	15093
0,50C2 Şahit	65954	3,75	17588
0,65C1 30-30	58613	4,20	13955
0,65C2 30-30	51398	3,63	14159
0,50C1 30-30	75177	3,82	19680
0,50C2 30-30	51662	3,17	16297
0,65C1 30-60	71339	5,56	12831
0,50C1 30-60	90647	5,00	18129

Betonların erken yaşta çatlama riski betonların maruz kaldığı rötre ve ısıl şekil değiştirmeler ile mesnetlenme koşullarından kaynaklanmaktadır. Egzotermik

reaksiyonlar olarak gerçekleşen hidratasyon sürecinde açığa çıkan ısı betonun sıcaklığını arttırmaktadır. Zamanla soğuma süreci başlamakta ve betonda hacim azalmalarına neden olan büzülmeler gerçekleşmektedir. Söz konusu büzülmeler betonun hacmini azaltmaya zorlamakta fakat mesnetlenme koşullarından dolayı beton şekil değiştirememektedir. Şekil değiştirmesi engellenen betonda çekme gerilmeleri oluşmakta ve bu çekme gerilmelerini yalnızca betonun o anda sahip olduğu çekme dayanımı karşılamaya çalışmaktadır. Beton üzerinde oluşan çekme gerilmelerinin çekme dayanımını aşması ile çatlak oluşumu gerçekleşmektedir. Bu davranış göz önüne alınarak çatlak riski kavramı ortaya atılmıştır. Betonun çatlama riski o anda üzerinde bulunan çekme gerilmelerinin çekme dayanımına oranı olarak tanımlanmaktadır. Betonların maruz kaldıkları çekme geilmeleri elastisite modülleri ile yakından ilgilidir. Betonlar sahip oldukları elastisite modülleri oranınca maruz kaldıkları rötre ve ısıl genleşme şekil değiştirmelerini şekil değiştirmelerinin kısıtlanmasından dolayı çekme gerilmelerine dönüştürür. Elastisite modülü gerilme ile birim şekil değiştirmenin aynı yönlü olduğu yükleme durumunda, gerilme birim şekil değiştirme eğrisinin başlangıçta lineer olan parçasının eğimi hesaplanarak bulunmaktadır. Bu çalışmada farklı bir yaklaşım izlenmiş, üç noktalı eğilme deneyi verileri esas alınarak çizilen yük-sehim grafiklerinin (ekler) başlangıç eğimlerinin betonların elastisite modulu ile orantılı olduğu düşünülmüş ve bu eğimler kullanılmıştır. Betonun eğilme dayanımı ise çekme dayanımı ile doğru orantılı olduğu için söz konusu yaklaşımda direkt çekme dayanımları yerine eğilme dayanımları kullanılmıştır. Böylece eğilme grafiğinden hesaplanan eğimin, betonun eğilme dayanımına oranı betonların erken yaşta çatlama riskleri hakkında fikir vermektedir. Tablo 4.6' da verilen değerler incelendiğinde 300 kg/m^3 dozajlı şahit betonlarda erken priz alan çimento kullanılması durumunda çatlak riskinin arttığı görülmektedir. Benzer davranış su/çimento oranının 0,65 olduğu 300 kg/m^3 dozajlı, cürufun çimento ile %30 oranında ikame edildiği üretimlerde de görülmektedir. Aynı tip çimentolar kullanıldığında su/çimento oranının azalmasıyla çatlak riskinin arttığı görülmektedir. Toplam bağlayıcı miktarının sabit olduğu üretimlerde çimento ile cürufun ikame edilmesi sonucu cüruf içeriğinden dolayı erken yaş çatlak riskinin azaldığı görülmektedir.

5. GENEL SONUÇLAR

1. Yedi ve yirmisekiz günlük basınç dayanımı değerlerine göre 0,65 su/çimento oranına sahip betonlarda CEMI 42,5 N tipi çimento ile üretilen betonların dayanımlarının CEMI 42,5 R tipi çimento ile üretilen betonların dayanımlarından daha yüksek olduğu fakat 0,50 su/çimento oranına sahip üretimlerde bu eğilimin tamamen tersinin meydana geldiği görülmektedir (Şekil A.10).

2. CEMI 42,5 R tipi çimentolarla üretilen 0,50 ve 0,65 su/çimento oranlı şahit beton ile çimentonun cüruf ile %30 oranında ikame edildiği C2 30-30 kodlu betonların 28 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında birbirlerine eş olduğu ve cürufun etkinlik katsayısının söz konusu karışım için 1 değerine sahip olduğu görülmektedir (Şekil A.8) .

3. Yedi günlük basınç dayanımları ile 28 günlük basınç dayanımlarının oranları incelendiğinde ise çimentonun cürufla ikamesi sonucu çimento yerine cüruf kullanıldığında erken yaş dayanımlarının daha düşük olduğu fakat nihai dayanımlarının yalnızca çimento ile üretilen betonlarla aynı değere ulaştığı görülmektedir (Şekil A.10) .

4. Yedi günlük özgül kırılma enerjileri incelendiğinde 0,65 ve 0,50 su/çimento oranına sahip CEMI 42,5N tipi çimento ile üretilen betonların enerjilerinin erken yaşta cüruf ile çimentonun ikame edilmesi ile değişmediği görülmektedir. CEMI 42,5R tipi çimentolarla üretilen betonlarda ise erken yaşta kırılma enerjisinin cüruf ikamesi ile arttığı ve daha sünek bir yapının oluştuğu görülmektedir (Şekil A.20). 28 günlük kırılma performansları söz konusu olduğunda ise cüruf ikamesinin her iki su/çimento oranı ve her iki çimento tipi için kırılma enerjisini arttırdığı görülmektedir.

5. CEMI 42,5 N tipi çimentolarla üretilen 0,50 ve 0,65 su/çimento oranlı şahit beton ile çimentonun cüruf ile %30 oranında ikame edildiği 0,65C2 30-30 kodlu betonların 28 günlük kırılma enerjileri karşılaştırıldığında enerjinin çimento yerine cüruf

kullanılması ile arttığı ve etkinlik katsayısının söz konusu karışım için 1'den büyük olduğu görülmektedir.

6. İki farklı tip çimento ile üretilen farklı su/çimento oranına sahip cüruf içermeyen şahit betonların 7 günlük eğilme dayanımları incelendiğinde, su/çimento oranının ya da çimento türünün değişiminin eğilme dayanımlarını belirgin bir biçimde değiştirmediği görülmektedir. Benzer eğilim şahit betonların 28 günlük eğilme dayanımlarında da görülmektedir.

7. Her iki su/çimento oranı için CEMI 42,5 N tipi çimento kullanıldığında cürufun %30 oranında ikame edilmesi ile 28 günlük eğilme dayanımlarının şahit betonlara göre arttığı görülmektedir.

8. Çimentonun %30 azaltıldığı cürufun ise %30 ve %60 eklendiği üretimler karşılaştırıldığında cüruf eklenmesi ile eğilme dayanımlarının arttığı görülmektedir.

9. CEMI 42,5 N tipi çimentolarla üretilen 0,65 su/çimento oranlı şahit beton ile çimentonun cüruf ile %30 oranında ikame edildiği 0,65C1 30-30 kodlu betonun 28 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında birbirlerine eş olduğu ve cürufun etkinlik katsayısının söz konusu karışım için 1 değerine sahip olduğu görülmektedir .

10. CEMI42,5 N tipi çimentolarla üretilen 0,50 su/çimento oranlı şahit beton ile çimentonun cüruf ile %30 oranında ikame edildiği 0,50C1 30-30 kodlu betonun 7 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında cürufun etkinlik katsayısının söz konusu karışım için 1 değerine sahip olduğu, 28 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında cürufun etkinlik katsayısının 1 değerine yakın olduğu görülmektedir.

11. CEMI42,5 R tipi çimentolarla üretilen 0,65 su/çimento oranlı şahit beton ile çimentonun cüruf ile %30 oranında ikame edildiği 0,65C2 30-30 kodlu betonun 28 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında birbirlerine eş olduğu ve cürufun etkinlik katsayısının söz konusu karışım için 1 değerine sahip olduğu görülmektedir.

12. CEMI42,5 R tipi çimentolarla üretilen 0,50 su/çimento oranlı şahit beton ile çimentonun cüruf ile %30 oranında ikame edildiği 0,50C2 30-30 kodlu betonun 28 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında birbirlerine eş olduğu ve cürufun etkinlik katsayısının söz konusu karışım için 1 değerine sahip olduğu görülmektedir.

13. Yedi günlük yarma-çekme dayanımları ile 28 günlük yarma-çekme dayanımlarının oranları incelendiğinde ise çimentonun cürufla ikamesi sonucu çimento yerine cüruf kullanıldığında erken yaş dayanımlarının daha düşük olduğu fakat nihai dayanımlarının yalnızca çimento ile üretilen betonlarla aynı değere ulaştığı görülmektedir.

14. 300 kg/m^3 dozajlı şahit betonlarda CEMI 42,5R tipi çimento kullanılması durumunda çatlak riskinin arttığı görülmektedir. Benzer davranış su/çimento oranının 0,65 olduğu 300 kg/m^3 dozajlı, cürufun çimento ile %30 oranında ikame edildiği üretimlerde de görülmektedir. Aynı tip çimentolar kullanıldığında su/çimento oranının azalmasıyla çatlak riskinin arttığı görülmektedir. Toplam bağlayıcı miktarının sabit olduğu üretimlerde çimento ile cürufun ikame edilmesi sonucu cüruf içeriğinden dolayı erken yaş çatlak riskinin azaldığı görülmektedir.

15. Bu çalışma sonuçlarını literatürdeki çalışmalarla karşılaştırdığımızda cürufun etkinliğinin “1” olduğu gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

[1] **Güneyisi, E, ve diğ,** " Katkılı ve katkısız çimento betonların değişik kür koşulları altında mekanik özelliklerinin karşılaştırılmalı olarak İncelenmesi", Çimento ve beton dünyası, 2003 45 (4), 56–73

[2] **Türkiye Çimento Mühtasilleri Birliği, Mayıs,** Cüruflar ve Cüruflu Çimentolar, Ankara, 2001.

[3] **Şahan, A,** " Düşük dozajlı betonlarda yüksek fırın cürufunun etkinliği", *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,2006

[4] **K. Ganesh Babu and V. Sree Rama Kumar**, Efficiency of GGBS in concrete cement and concrete research, 28 September (2000)

[5] **Cen Tc 104 Sci**, k-value determination for type II additions, Arnherm, Holland, 31 January (2000)

[6] **Akman, M.S.,**"Yapı Malzemeleri", T.C. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 1990

[7**] Yıldız, E., "**Farklı tipteki puzolanlar betonun mekanik özelliklerine etkisi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 1990

[8] **Erdoğan, T.Y.,** "Sorular ve Yanıtlarıyla Beton Malzemeleri", Türk Hazır Beton Birliği, İstanbul, 2004, 975-92122-1-8

[9] **Sönmez, F., Mısırlıoğlu, A., Onulay, B., Akbulut, C., Ergin, H., Şaylan, N. Ve Ergin, H.,** Çimento hammaddeleri çalışma raporu, 2000

[10**]Demolıan,E.** Influence of Slag Chemical Composition and Texture on Their Hydraulicity . Proceedings, 7th Int. Cong. On the Chemistry of Cement. (1980). Vol. 11, Paris pp.111/89–111/94

[11] **Türkiye Çimento Mühtasilleri Birliği, Çimento Bülteni** Cüruflu çimentoların mikroyapısı. (1982) Cilt 19. Sayı 178. Sayfa 20-30

[12] **E. Douglas, A. Bilodeau, and V.M. Malhotra,** September-October Properties and Durability of Alkali-Activated Slag Concrete ACI Materials Journal, (1992) V.89, No.5

[13] **D.G. Mantel,** September-October İnvestigation into the hydraulic activity of five granulated blast furnace slags with eight different portland cements ACI Materials Journal, (1994) V.91, No.5

[14] **P.S Mangat and J.M. Khatib,** September-October Influence of fly ash, silica fume, and slag on sulfate resistance of concrete ACI materials Journal, (1995) V.92, No.5

[15] **Young-Jin Kwon**, A study on the alkali-aggregate rection in high-strength concrete with particular respect to the ground granulated blast-furnace slag effect cement and concrete research, 3 March (2004)

[16] **Yeğinobalı, A.,** *"Silis dumanı ve çimento ile betonda kullanımı"*, 2003

[17] **Taşdemir, C., Akyüz, S., Tasdemir, M.A., Koca, C.,** Silis dumanı içeren yüksek mukavemetli betonların basınç altındaki davranışı, 3 March (2004)

[18] **Erdoğan, T.Y.** Beton. ODTÜ Geliştirme Vakfı ve Yayıncılık A.Ş., Ankara, 2003, 741s.

[19] **Malhotra, V.M., 1997**. Mineral admixtures. concrete construction engineering handbook, Nawy Edward G. CRC Pres, New York, 1997 pp.27-36.

[20] **Mazlum F.,** Pirinç kabuğu külünün puzolanik özellikleri ve külün çimento harcının dayanıklılığına etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi, İstanbul, 1998

[21] **Gemma,R.S** "Strength development of concrete with Rice-Husk Ash", Cement and concrete composites, 2008 158-160.

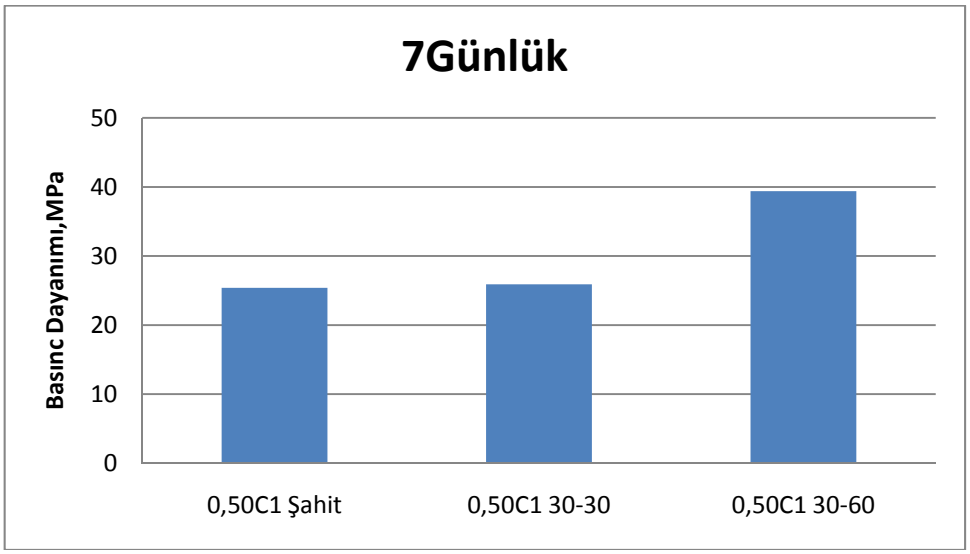
[22] **Beagle, E. C.**"Rice husk conversion to energy", FAO Agricultural Organization of the United Nations, Rome, Italy,1978

[23] **Akman, S.** *Yüksek performanslı betonların taze haldeki özellikleri üzerine katkı maddelerinin etkisi*, (Mutlu, M., çev., bt), Role of admixtures on high performance concrete, Rılem Symposium, Mexico,1999

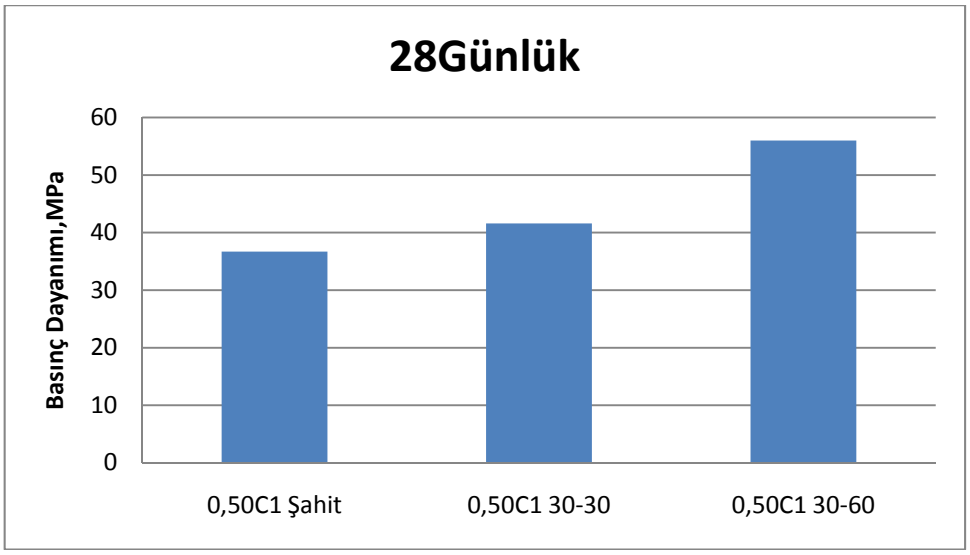
[24] **Collepardi, M.** *Admixtures-Enhancing concrete performance,* 6th International Congress, Global Construction, Ultimate Concrete Opportunities, Dundee, 2005

EKLER

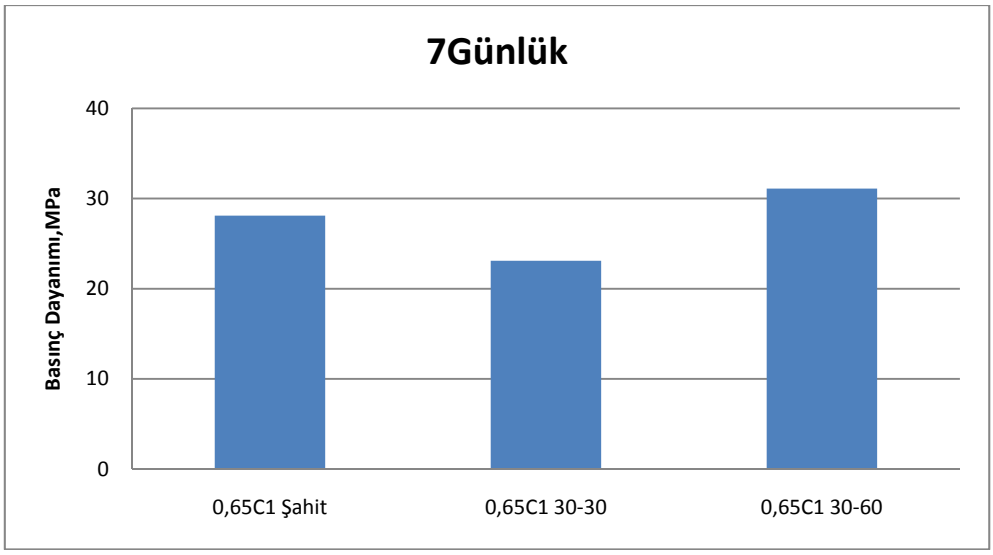
EK A.1: Basınç Dayanım Grafikleri



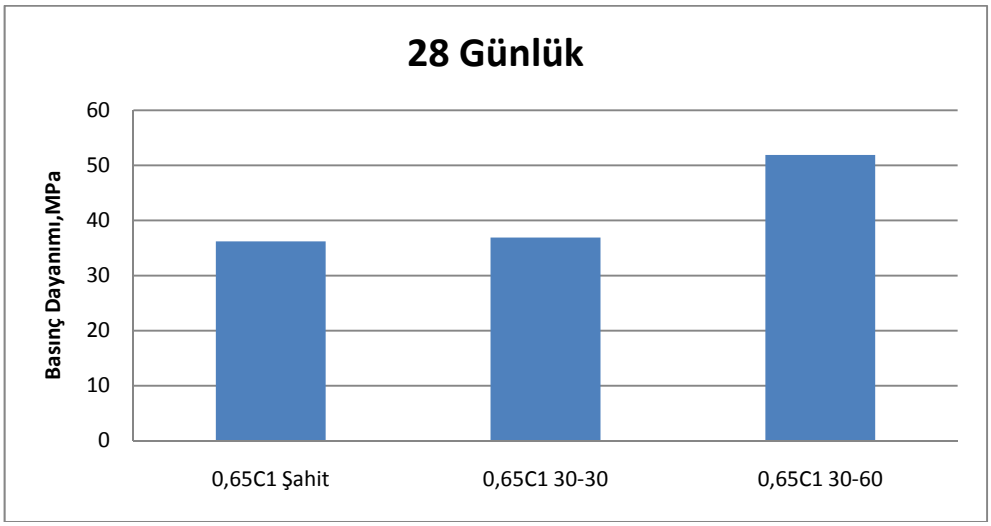
Şekil A.1: CEMI 42,5 N tipi çimento ile üretilen 0,50 su/çimento oranlı betonların 7 günlük basınç dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi



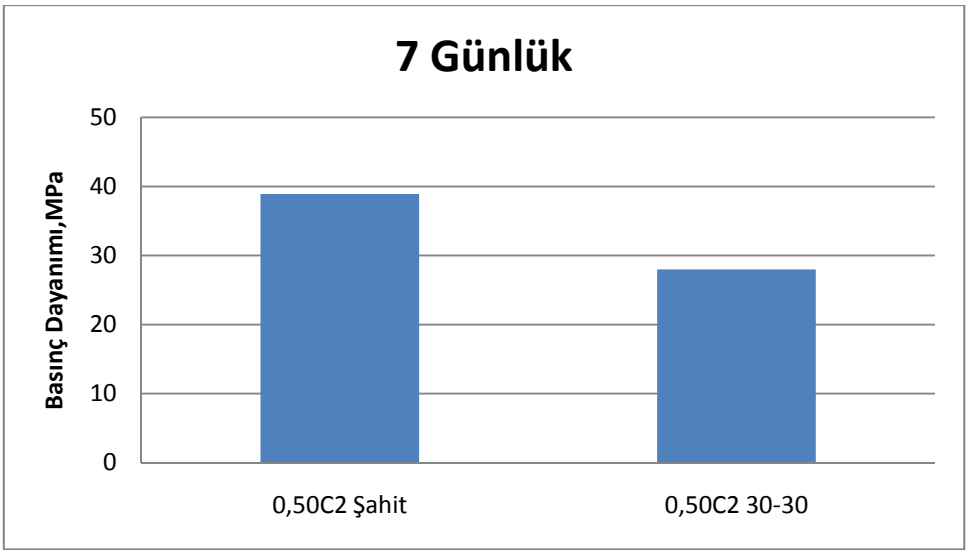
Şekil A.2: CEMI 42,5 N tipi çimento ile üretilen 0,50 su/çimento oranlı betonların 28 günlük basınç dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi



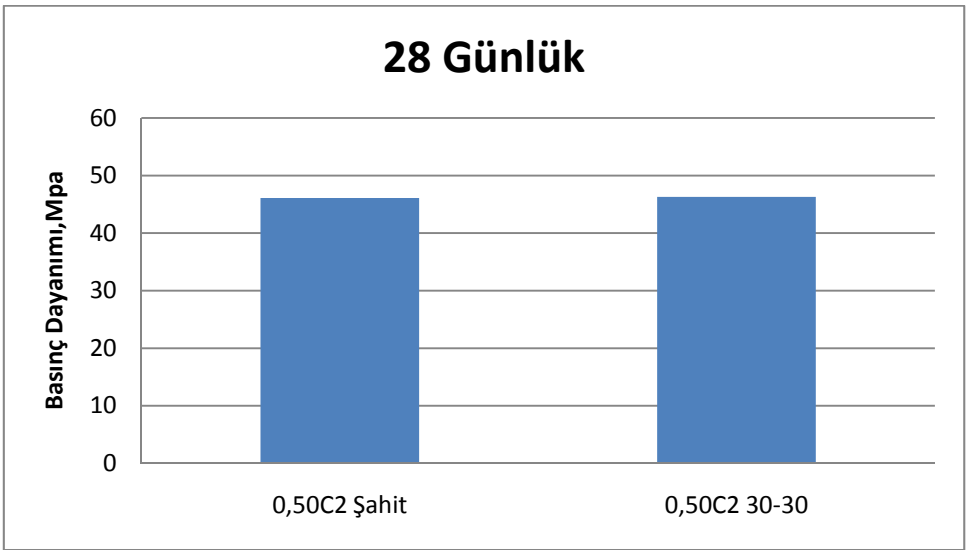
Şekil A.3: CEMI 42,5 N tipi çimento ile üretilen 0,65 su/çimento oranlı betonların 7 günlük basınç dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi



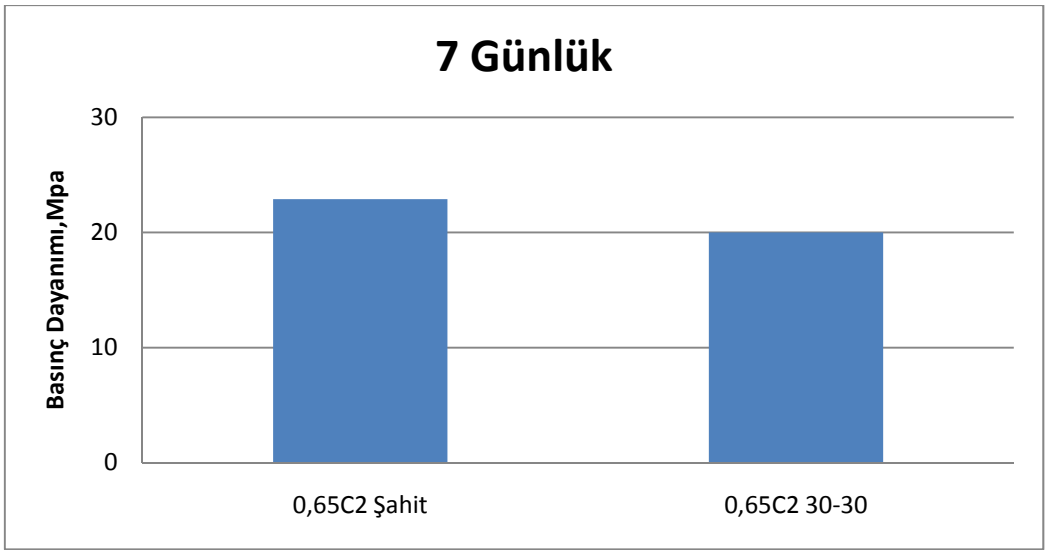
Şekil A.4: CEMI 42,5 N tipi çimento ile üretilen 0,65 su/çimento oranlı betonların 28 günlük basınç dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi



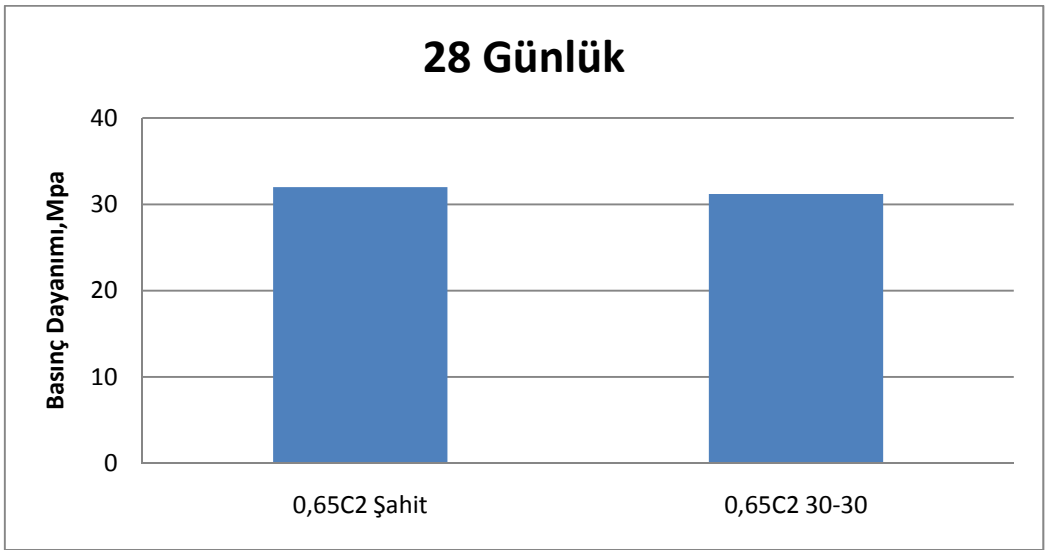
Şekil A.5: CEMI 42,5 R tipi çimento ile üretilen 0,50 su/çimento oranlı betonların 7 günlük basınç dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi



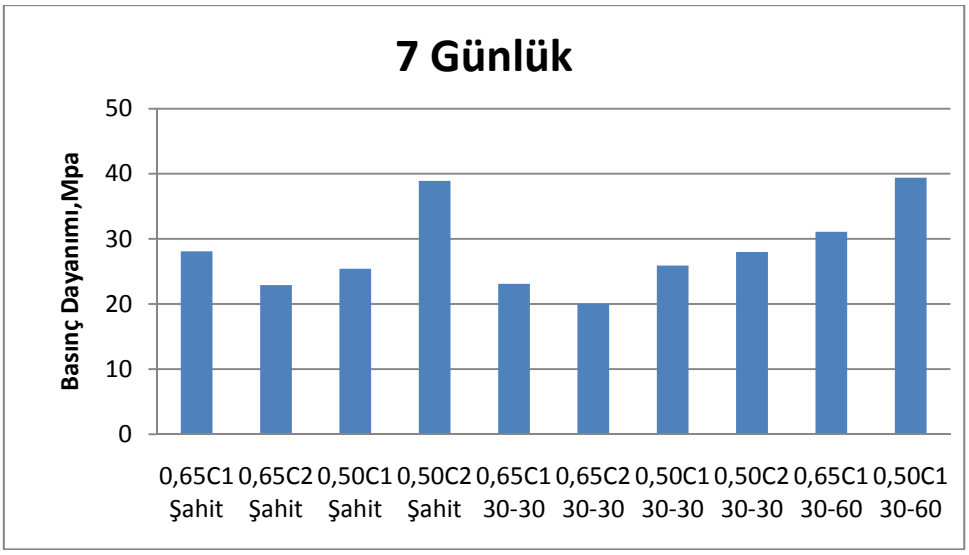
Şekil A.6: CEMI 42,5 R tipi çimento ile üretilen 0,50 su/çimento oranlı betonların 28 günlük basınç dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi



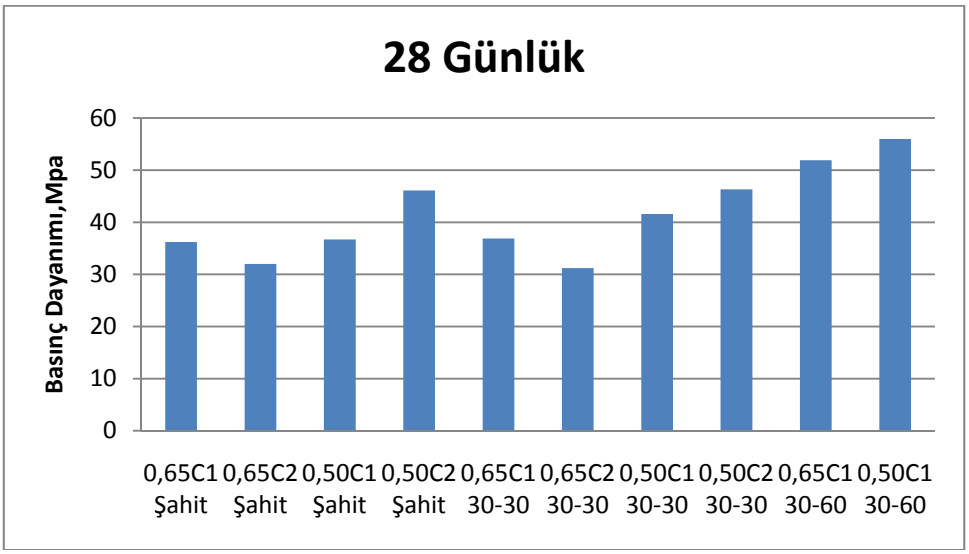
Şekil A.7: CEMI 42,5 R tipi çimento ile üretilen 0,65 su/çimento oranlı betonların 7 günlük basınç dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi



Şekil A.8: CEMI 42,5 R tipi çimento ile üretilen 0,65 su/çimento oranlı betonların 28 günlük basınç dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi

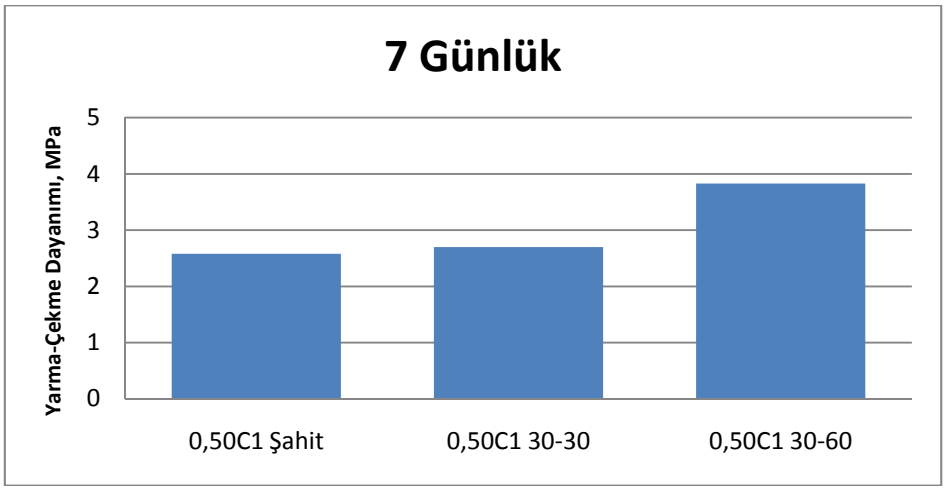


Şekil A.9: Yedi günlük basınç dayanımlarının cüruf içeriği ve çimento tipi ile değişimi

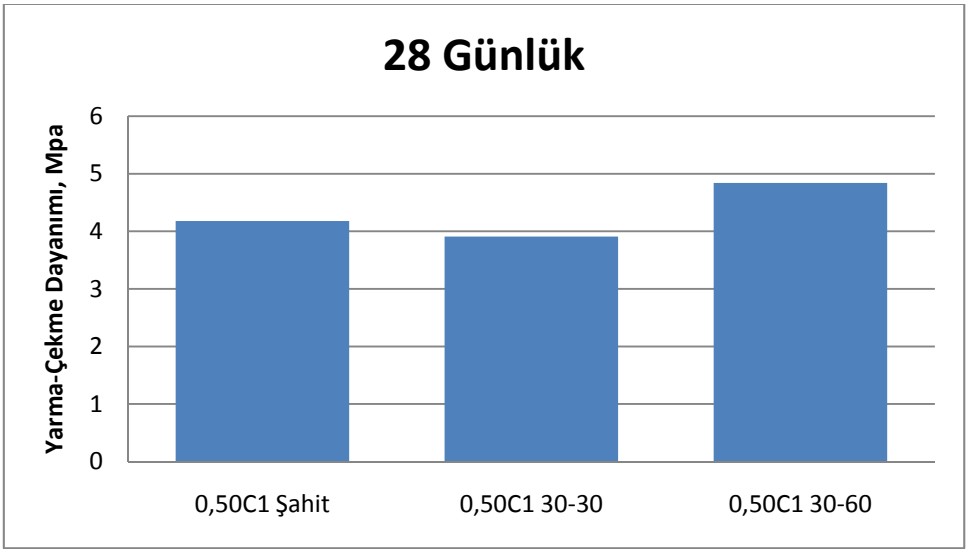


Şekil A.10: Yirmi sekiz günlük basınç dayanımlarının cüruf içeriği ve çimento tipi ile değişimi

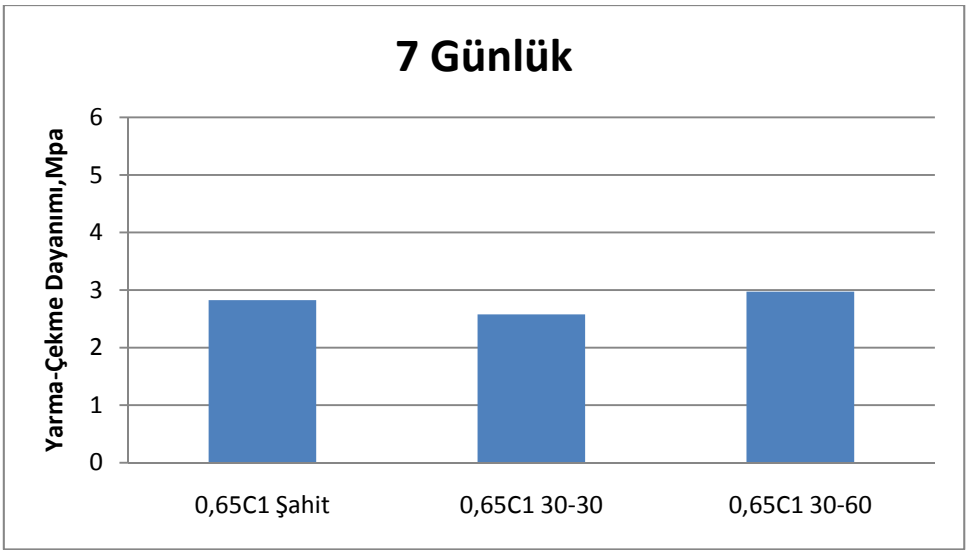
EK B.1: Yarma-Çekme Dayanımları Grafikleri



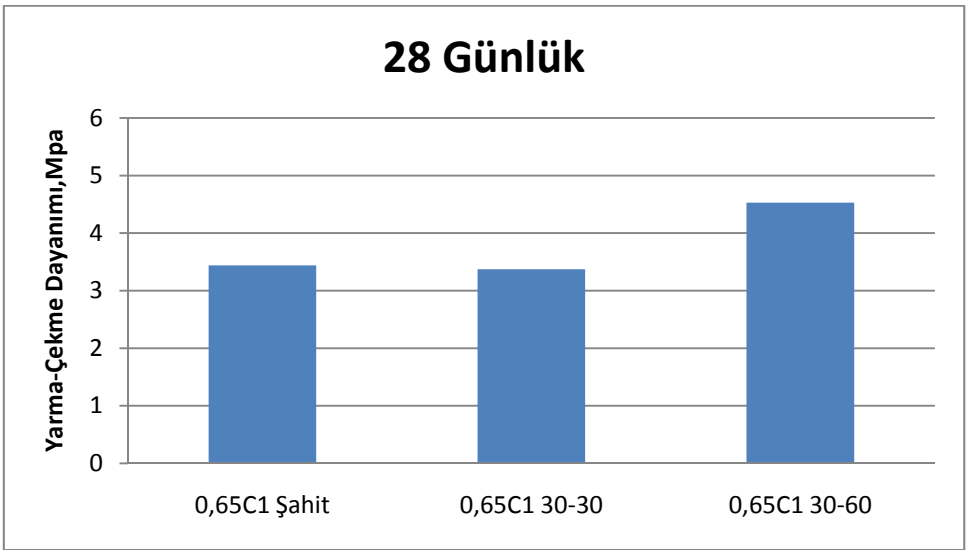
Şekil B.1: CEMI42,5 N tipi çimento ile üretilen 0,50 su/çimento oranlı betonların 7 günlük yarma-çekme dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi



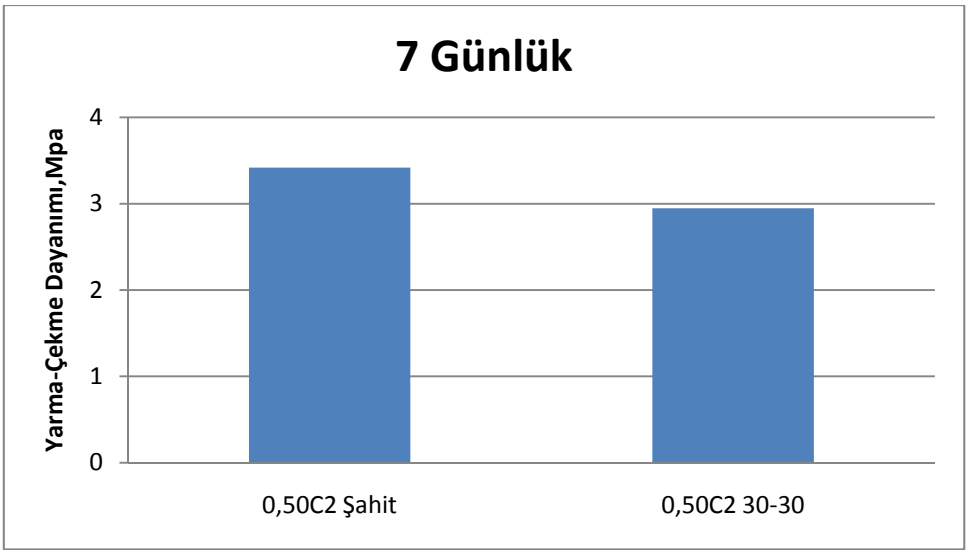
Şekil B.2: CEMI42,5 N tipi çimento ile üretilen 0,50 su/çimento oranlı betonların 28 günlük yarma-çekme dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi



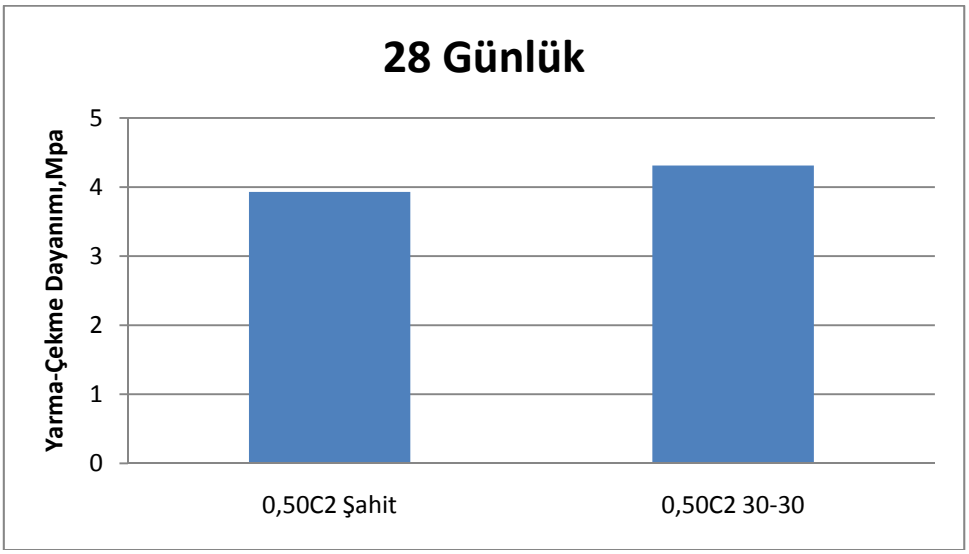
Şekil B.3: CEMI42,5 N tipi çimento ile üretilen 0,65 su/çimento oranlı betonların 7 günlük yarma-çekme dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi



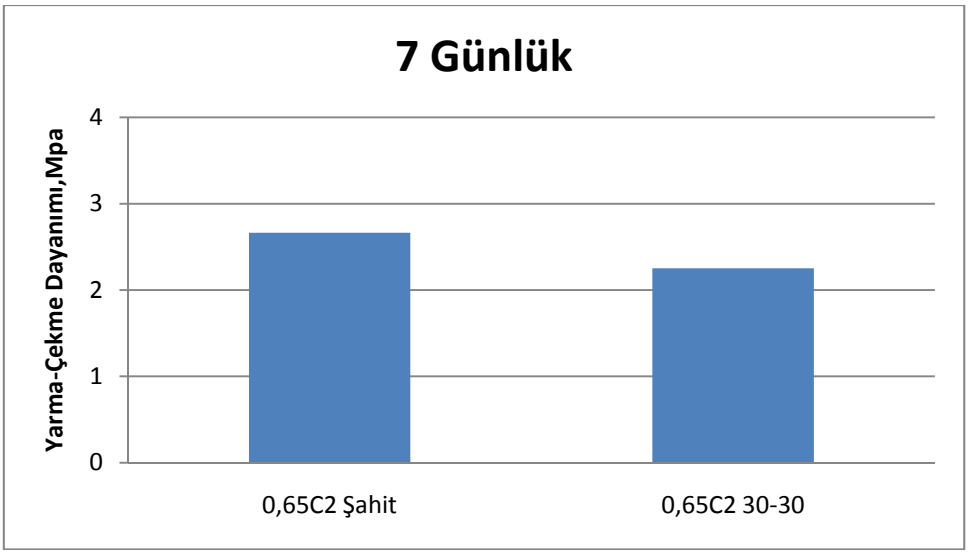
Şekil B.4: CEMI42,5 N tipi çimento ile üretilen 0,65 su/çimento oranlı betonların 28 günlük yarma-çekme dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi



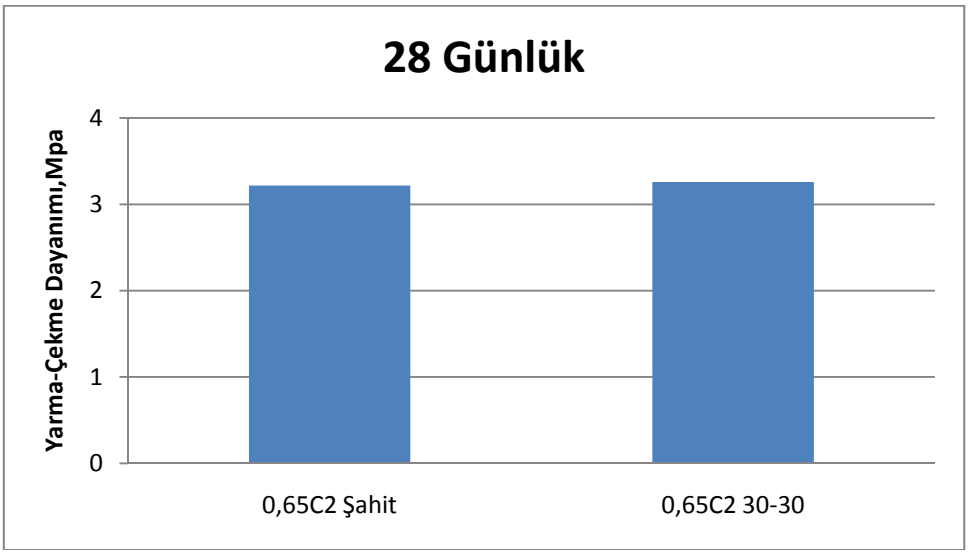
Şekil B.5: CEMI42,5 R tipi çimento ile üretilen 0,50 su/çimento oranlı betonların 7 günlük yarma-çekme dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi



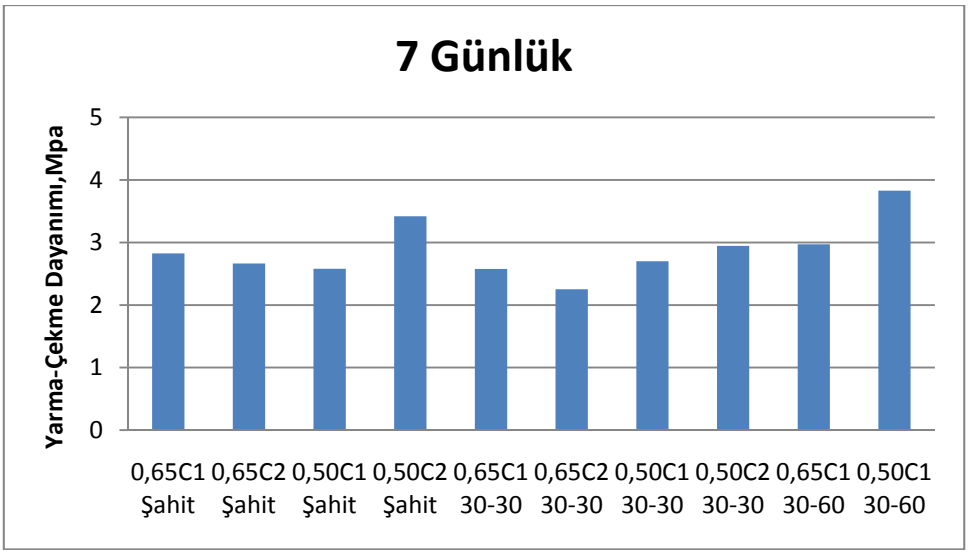
Şekil B.6: CEMI42,5 R tipi çimento ile üretilen 0,50 su/çimento oranlı betonların 28 günlük yarma-çekme dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi



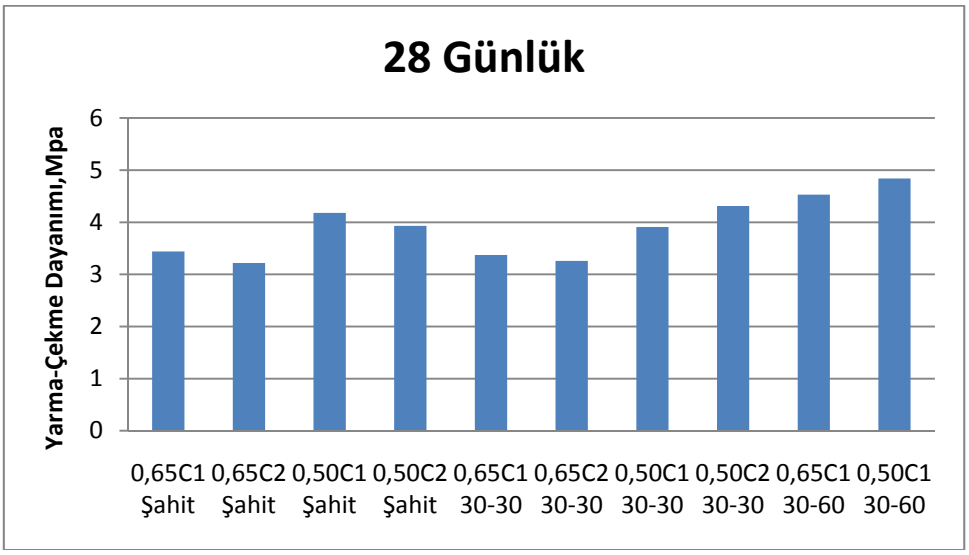
Şekil B.7: CEMI42,5 R tipi çimento ile üretilen 0,65 su/çimento oranlı betonların 7 günlük yarma-çekme dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi



Şekil B.8: CEMI42,5 R tipi çimento ile üretilen 0,65 su/çimento oranlı betonların 28 günlük yarma-çekme dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi

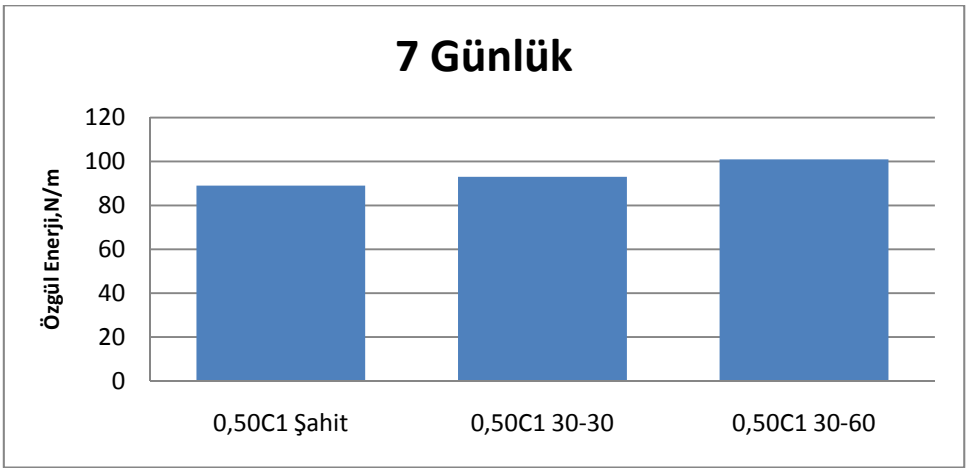


Şekil B.9: Yedi günlük yarma çekme dayanımlarının cüruf içeriği ve çimento tipi ile değişimi

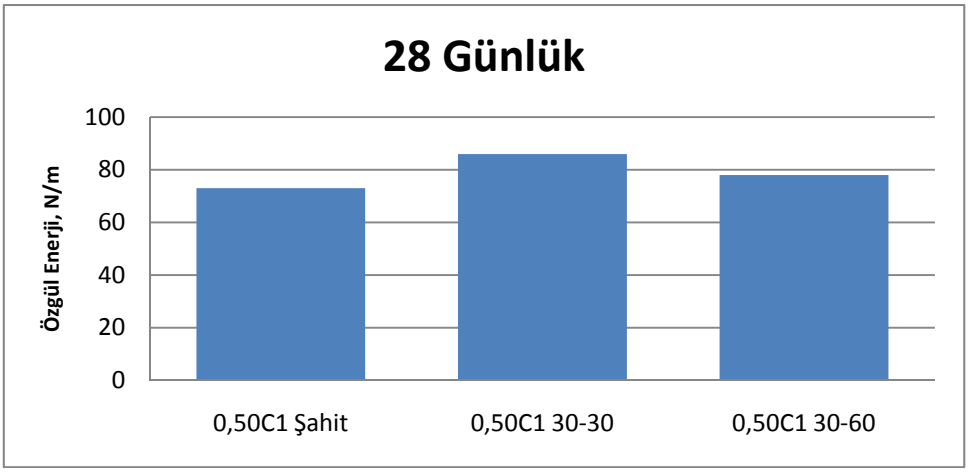


Şekil B.10: Yirmi sekiz günlük yarma-çekme dayanımlarının cüruf içeriği ve çimento tipi ile değişimi

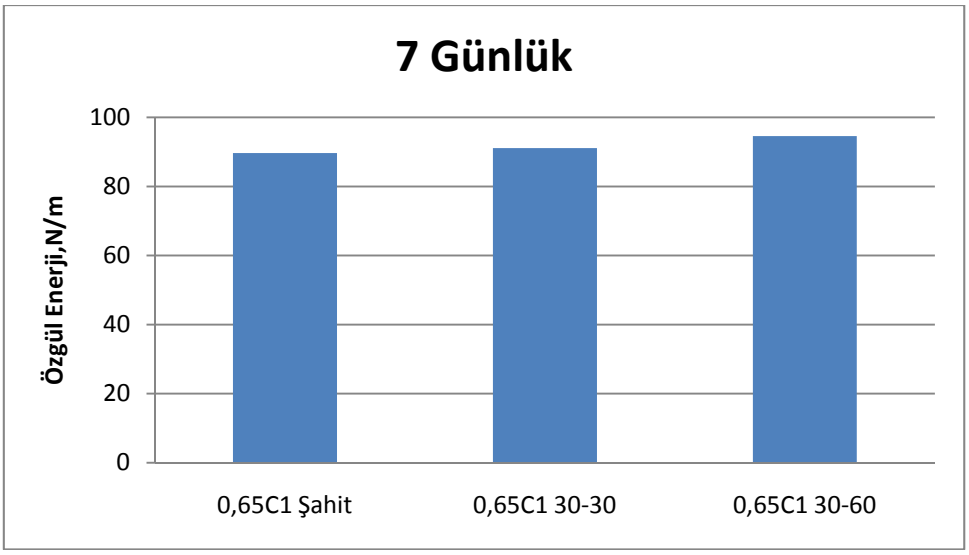
EK C.1: Özgül Kırılma Enerjileri Grafikleri



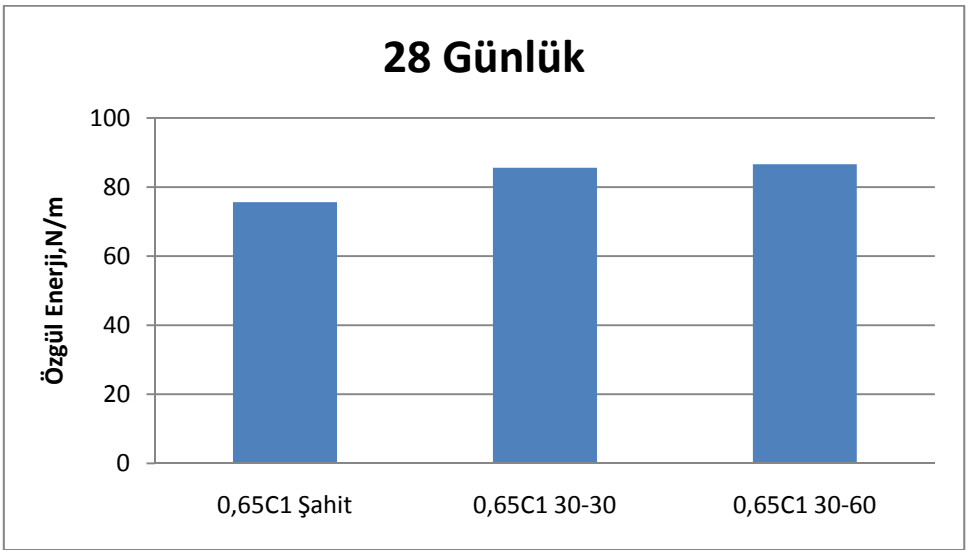
Şekil C.1: CEMI 42,5 N tipi çimento ile üretilen 0,50 su/çimento oranlı betonların 7 günlük kırılma enerjilerinin cüruf içeriği ile değişimi



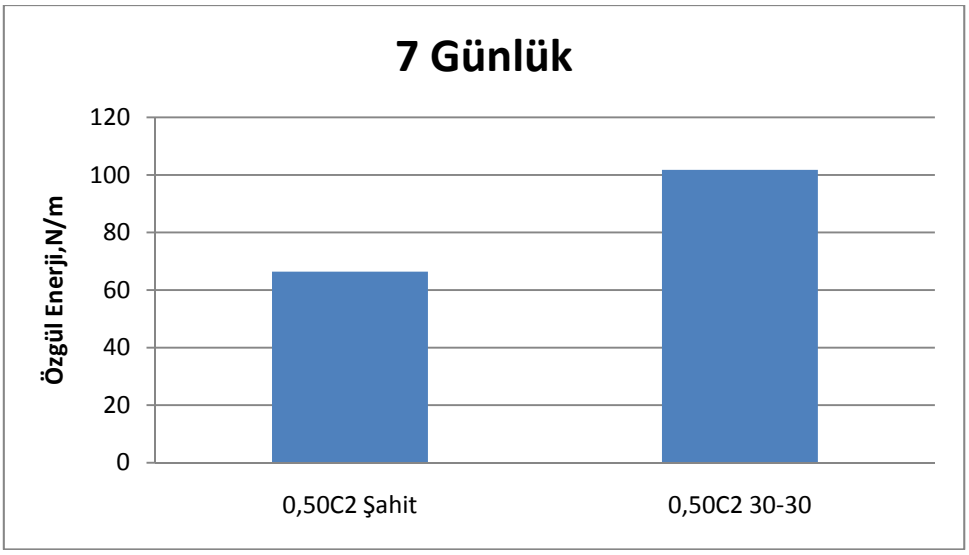
Şekil C.2: CEMI 42,5 N tipi çimento ile üretilen 0,50 su/çimento oranlı betonların 28 günlük kırılma enerjilerinin cüruf içeriği ile değişimi



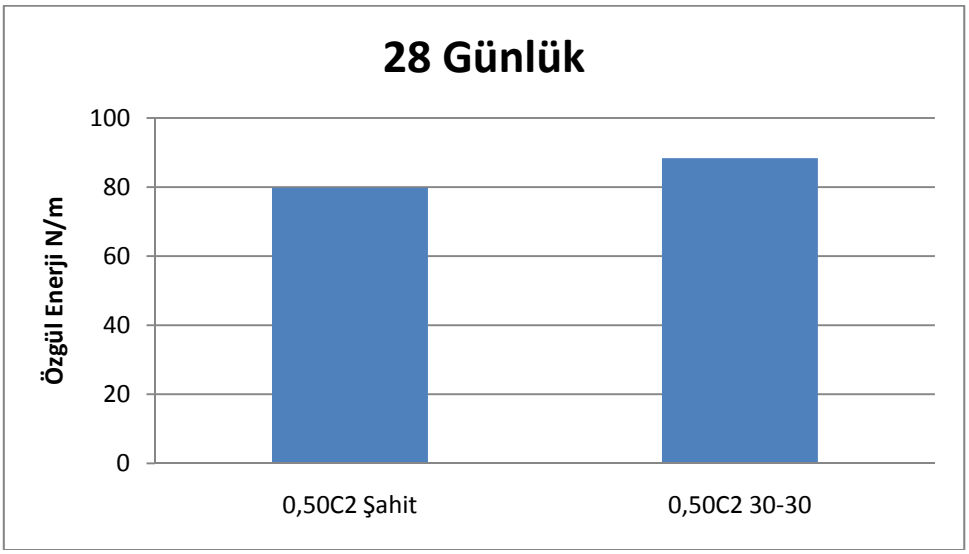
Şekil C.3: CEMI42,5 N tipi çimento ile üretilen 0,65 su/çimento oranlı betonların 7 günlük kırılma enerjilerinin cüruf içeriği ile değişimi



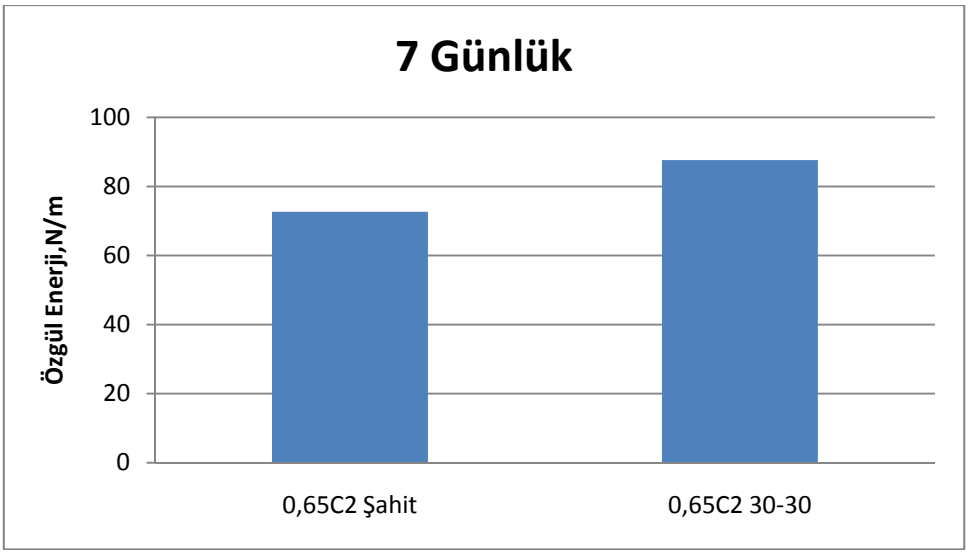
Şekil C.4: CEMI42,5 N tipi çimento ile üretilen 0,65 su/çimento oranlı betonların 28 günlük kırılma enerjilerinin cüruf içeriği ile değişimi



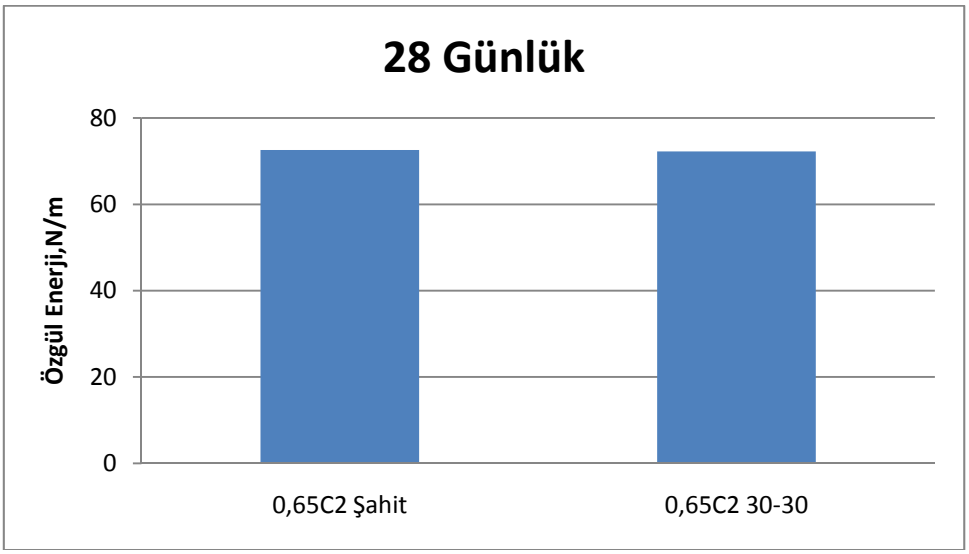
Şekil C.5: CEMI42,5 R tipi çimento ile üretilen 0,50 su/çimento oranlı betonların 7 günlük kırılma enerjilerinin cüruf içeriği ile değişimi



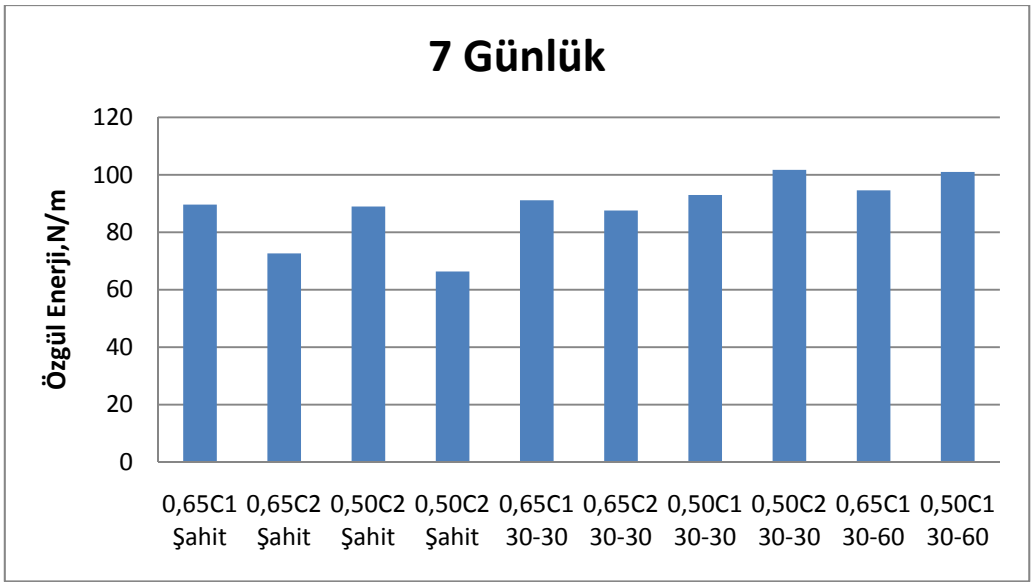
Şekil C.6: CEMI42,5 R tipi çimento ile üretilen 0,50 su/çimento oranlı betonların 28 günlük kırılma enerjilerinin cüruf içeriği ile değişimi



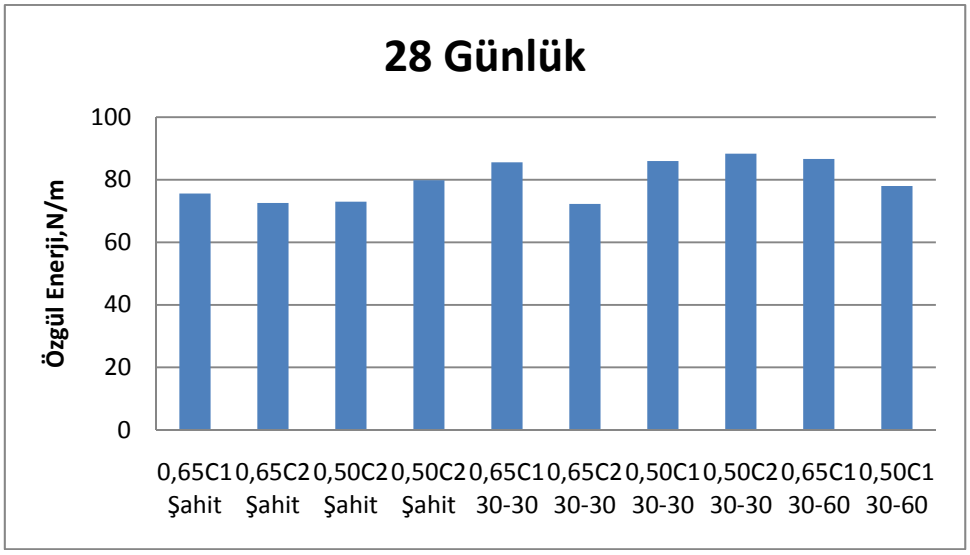
Şekil C.7: CEMI42,5 R tipi çimento ile üretilen 0,65 su/çimento oranlı betonların 7 günlük kırılma enerjilerinin cüruf içeriği ile değişimi



Şekil C.8: CEMI42,5 R tipi çimento ile üretilen 0,65 su/çimento oranlı betonların 28 günlük kırılma enerjilerinin cüruf içeriği ile değişimi

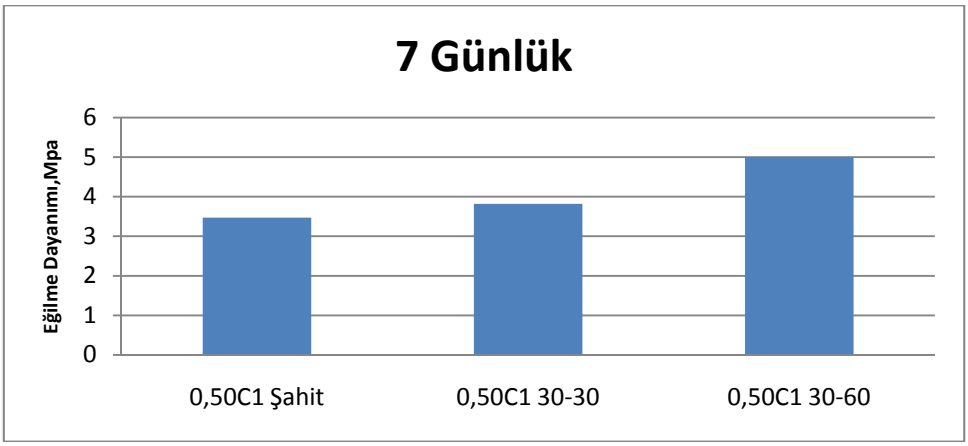


Şekil C.9: Yedi günlük kırılma enerjilerinin cüruf içeriği ve çimento tipi ile değişimi

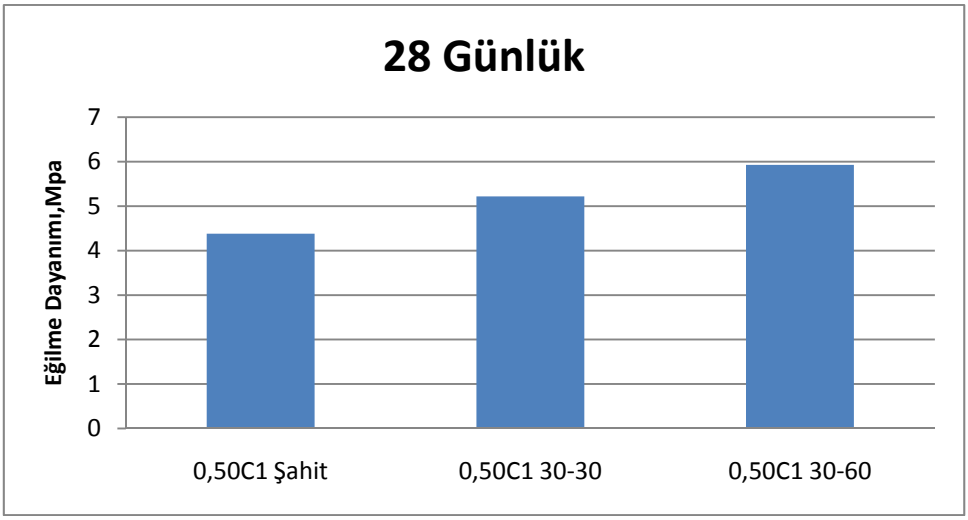


Şekil C.10: Yirmisekiz günlük kırılma enerjilerinin cüruf içeriği ve çimento tipi ile değişimi

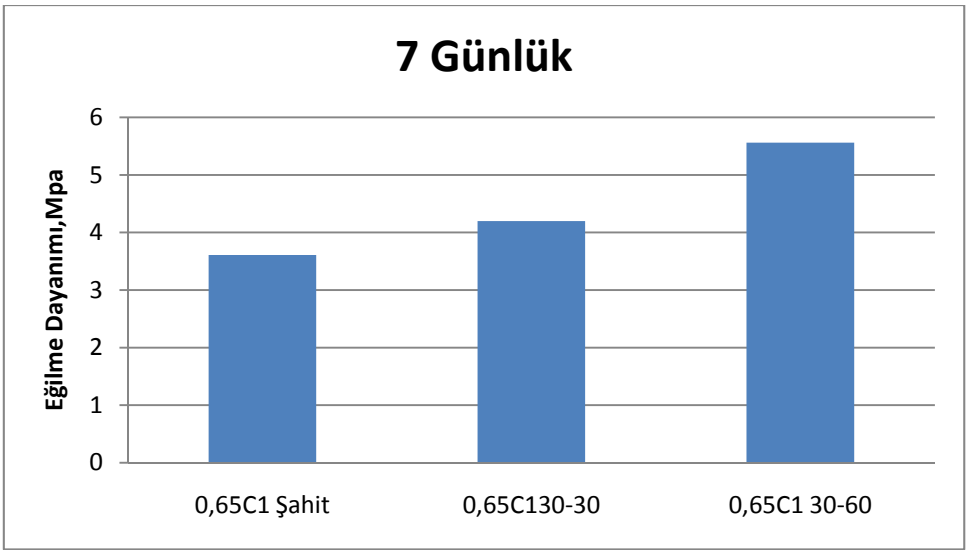
EK D.1: Eğilme Dayanımları Grafikleri



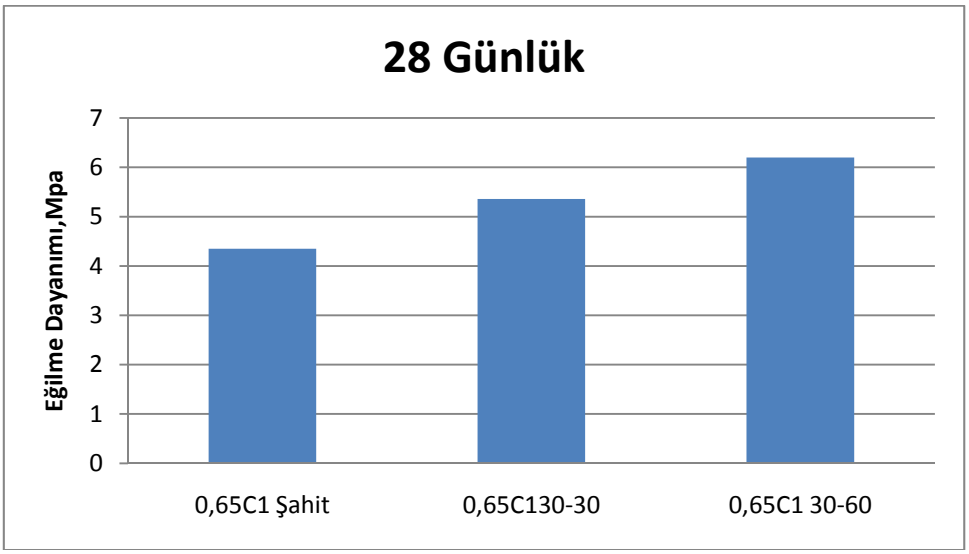
Şekil D.1: CEMI42,5 N tipi çimento ile üretilen 0,50 su/çimento oranlı betonların 7 günlük eğilme dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi



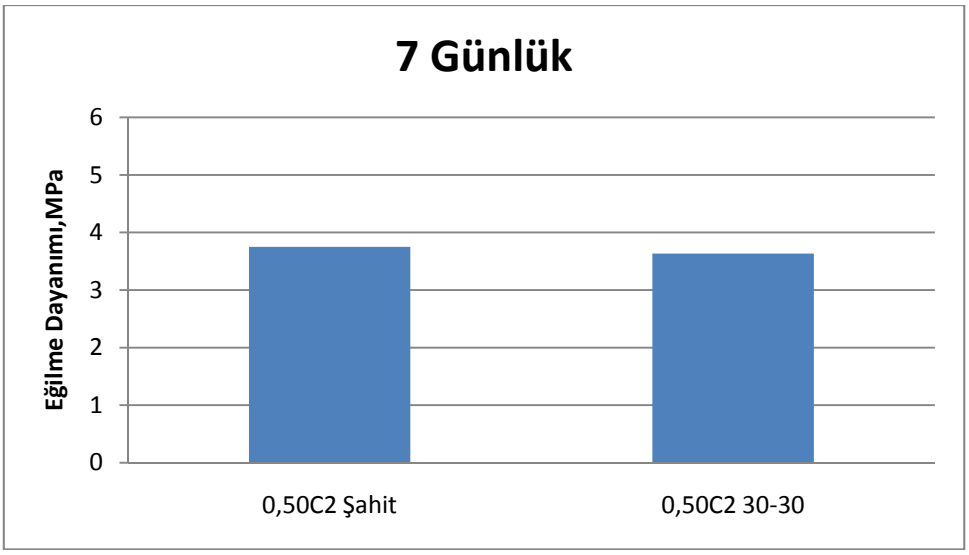
Şekil D.2: CEMI42,5 N tipi çimento ile üretilen 0,50 su/çimento oranlı betonların 28 günlük eğilme dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi



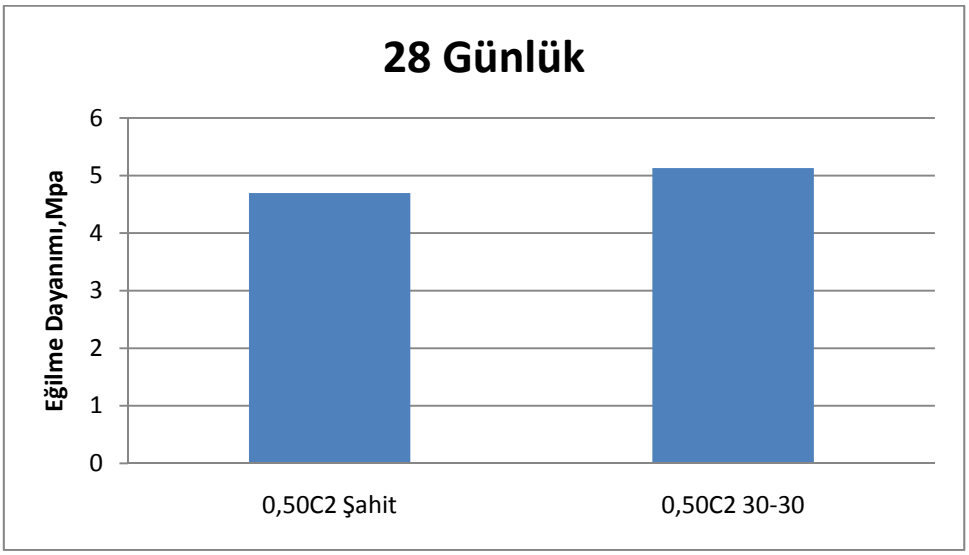
Şekil D.3: CEMI42,5 N tipi çimento ile üretilen 0,65 su/çimento oranlı betonların 7 günlük eğilme dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi



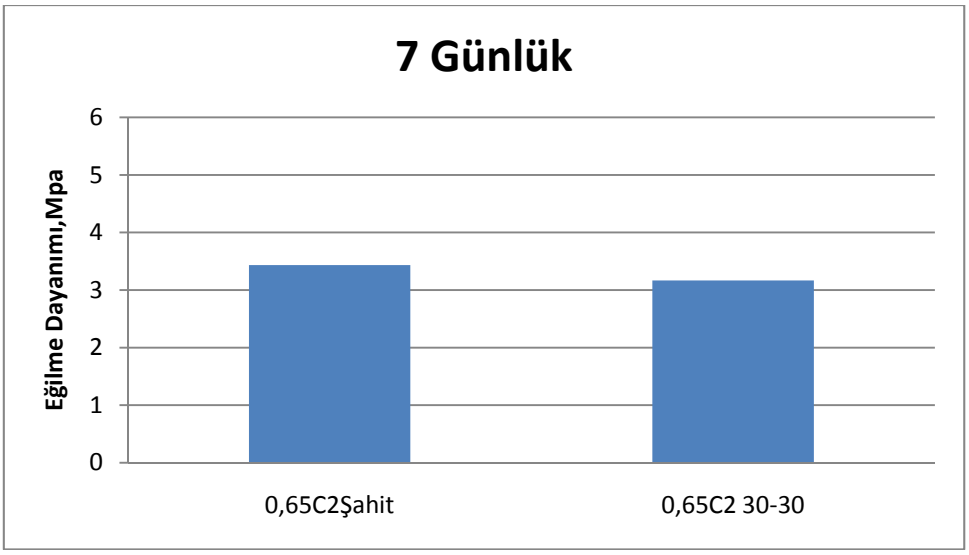
Şekil D.4: CEMI42,5 N tipi çimento ile üretilen 0,65 su/çimento oranlı betonların 28 günlük eğilme dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi



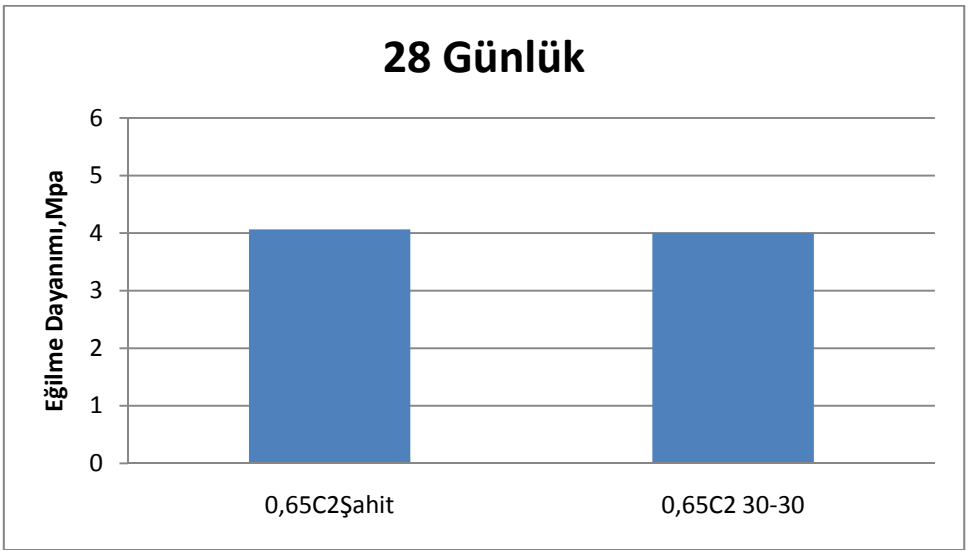
Şekil D.5: CEMI42,5 R tipi çimento ile üretilen 0,50 su/çimento oranlı betonların 7 günlük eğilme dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi



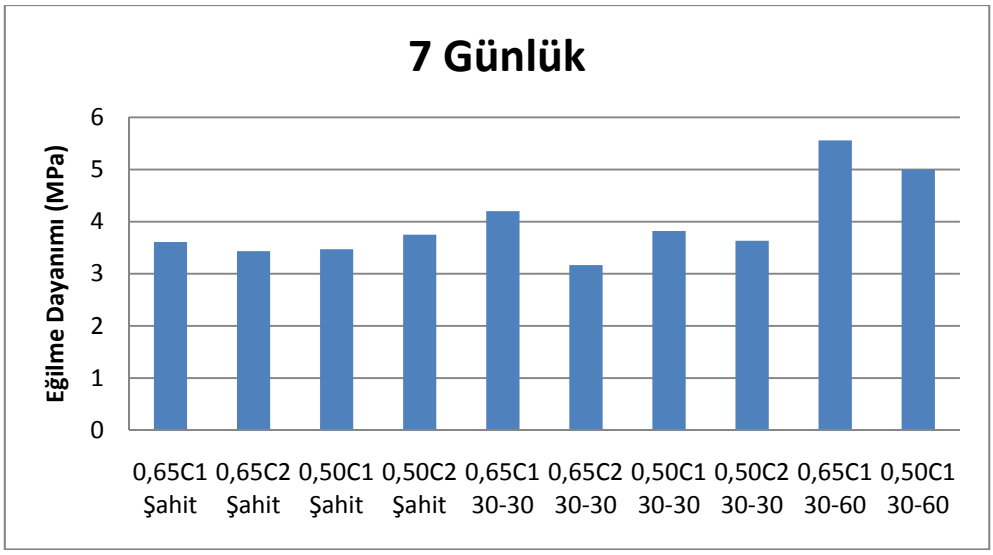
Şekil D.6: CEMI42,5 R tipi çimento ile üretilen 0,50 su/çimento oranlı betonların 28 günlük eğilme dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi



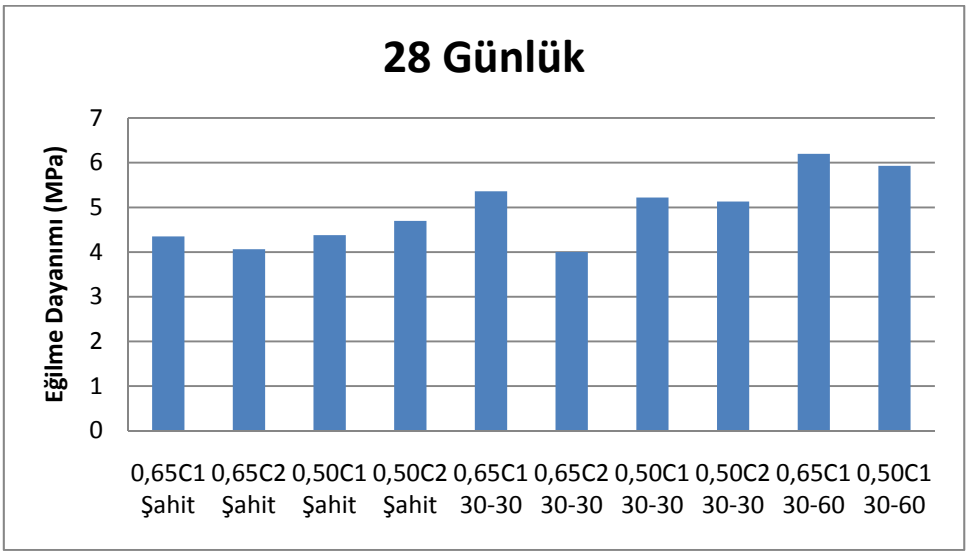
Şekil D.7: CEMI42,5 R tipi çimento ile üretilen 0,65 su/çimento oranlı betonların 7 günlük eğilme dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi



Şekil D.8: CEMI42,5 R tipi çimento ile üretilen 0,65 su/çimento oranlı betonların 28 günlük eğilme dayanımlarının cüruf içeriği ile değişimi

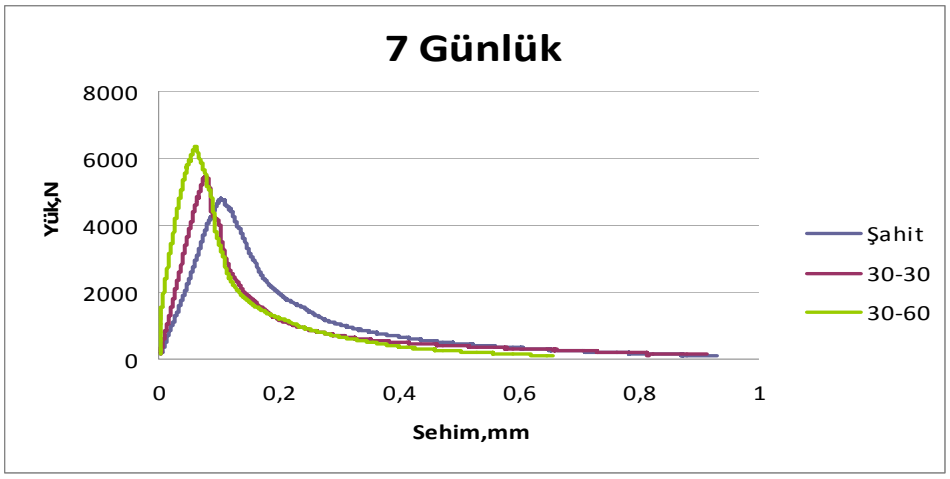


Şekil D.9: Yedi günlük eğilme dayanımlarının cüruf içeriği ve çimento tipi ile değişimi

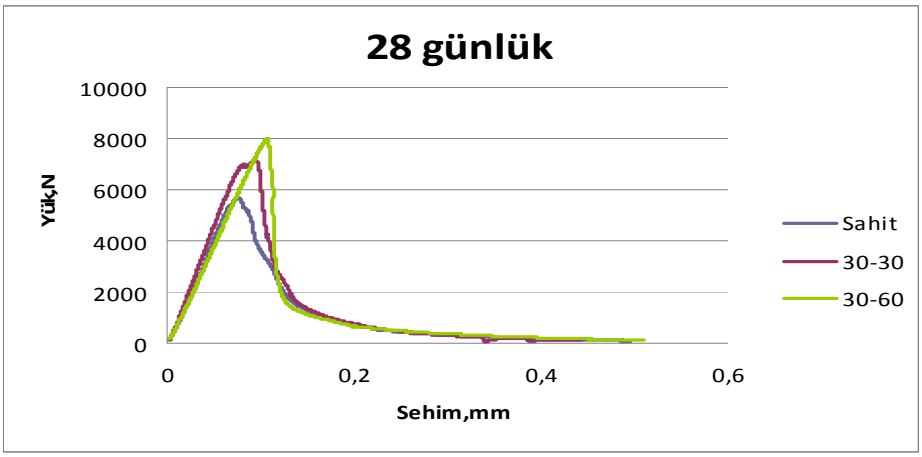


Şekil D.10: Yirmi sekiz günlük eğilme dayanımlarının cüruf içeriği ve çimento tipi ile değişimi

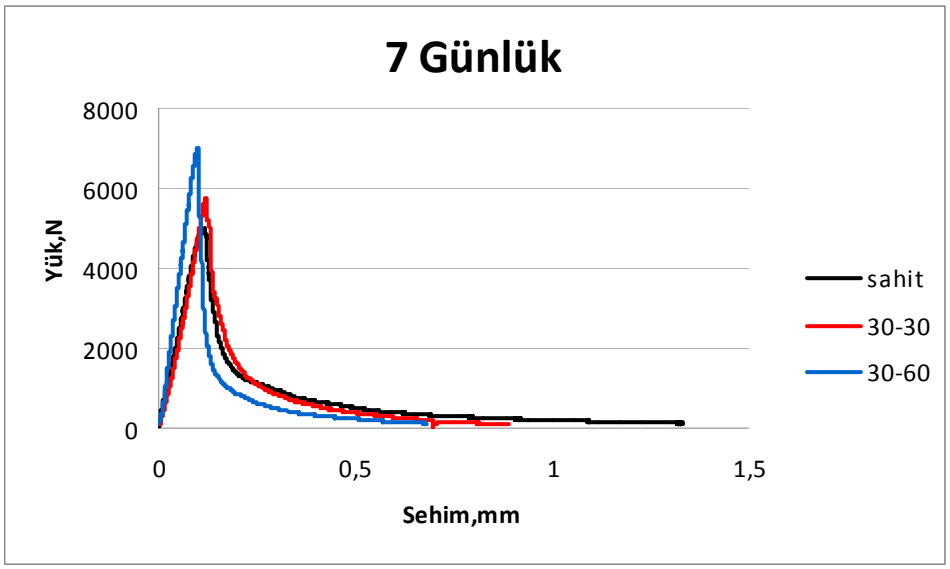
EK E.1: Yük-Sehim Grafikleri



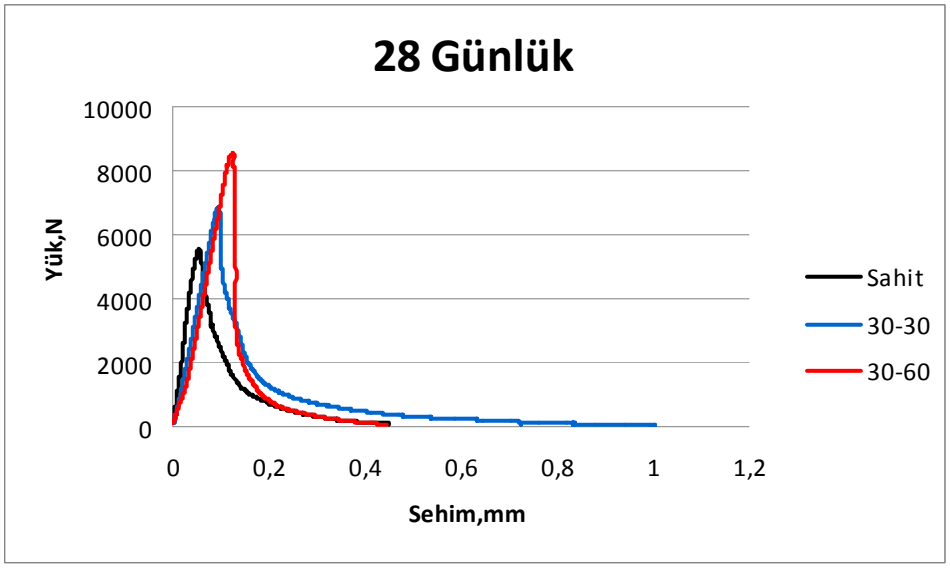
Şekil E.1: CEMI42,5 N tipi çimento ile üretilen 0,50 su/çimento oranlı betonların 7 günlük Yük(N)-Sehim(mm) eğrisi



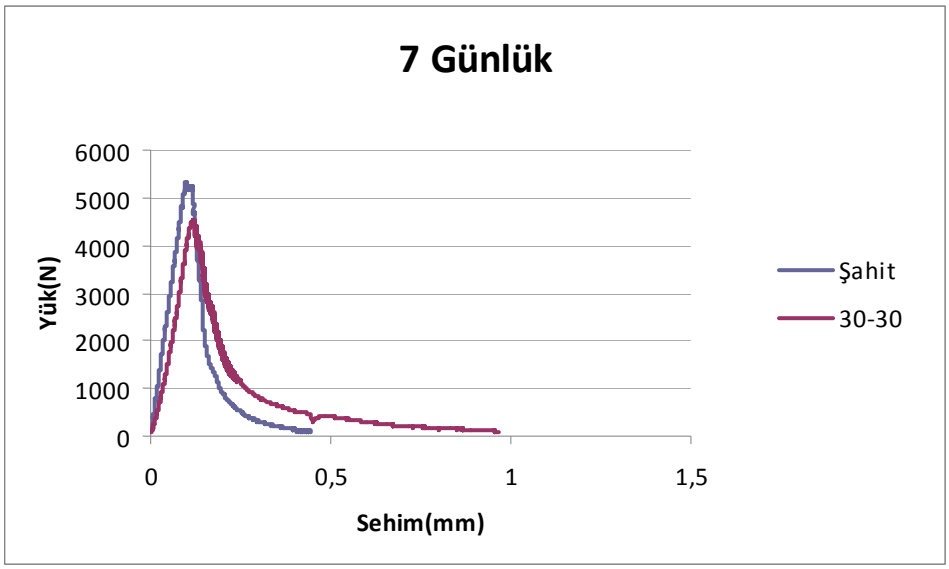
Şekil E.2: CEMI42,5 N tipi çimento ile üretilen 0,50 su/çimento oranlı betonların 28 günlük Yük(N)-Sehim(mm) eğrisi



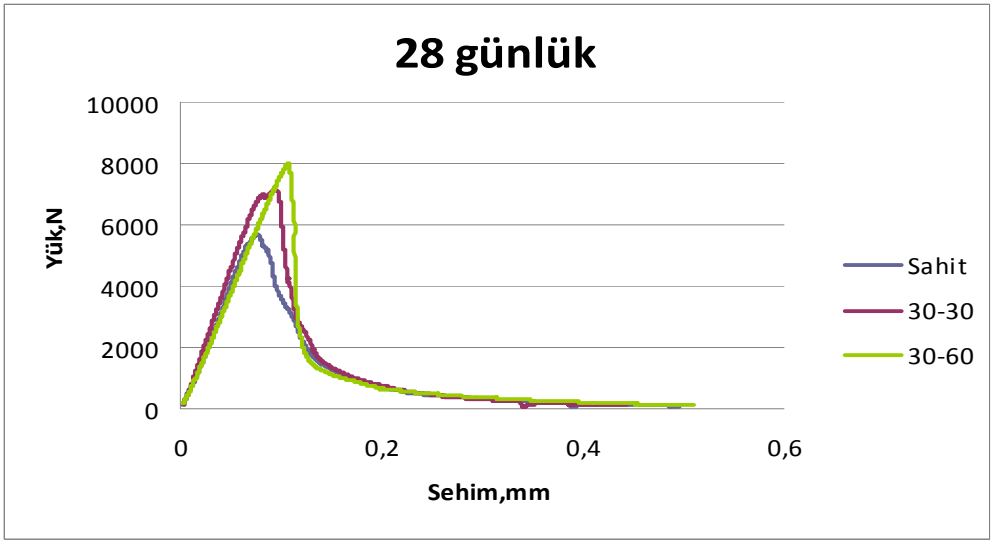
Şekil E.3: CEMI42,5 N tipi çimento ile üretilen 0,65 su/çimento oranlı betonların 7 günlük Yük(N)-Sehim(mm) eğrisi



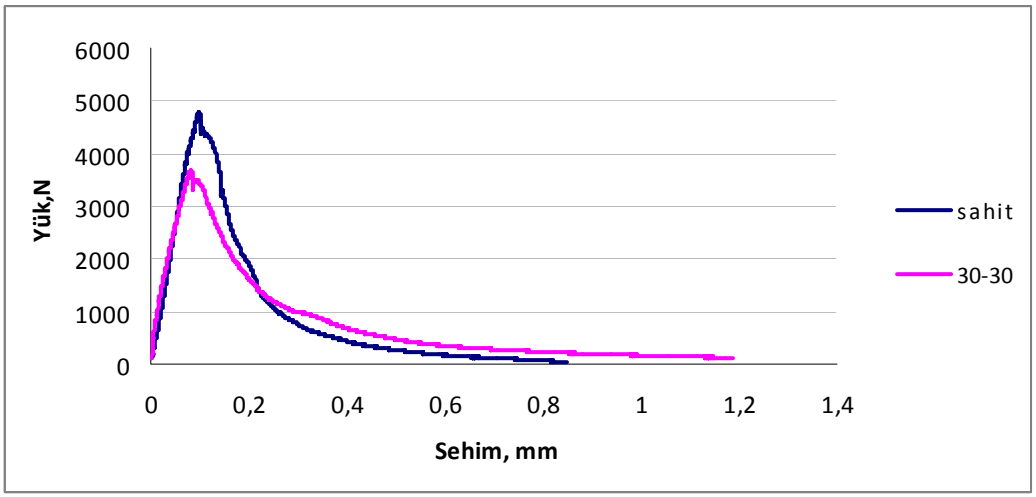
Şekil E.4: CEMI42,5 N tipi çimento ile üretilen 0,65 su/çimento oranlı betonların 28 günlük Yük(N)-Sehim(mm) eğrisi



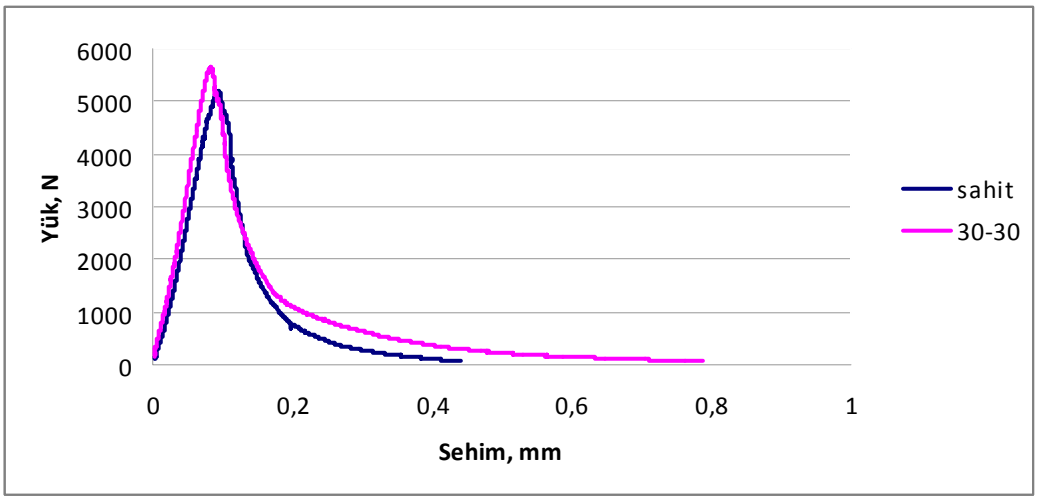
Şekil E.5: CEMI42,5 R tipi çimento ile üretilen 0,50 su/çimento oranlı betonların 7 günlük Yük(N)-Sehim(mm) eğrisi



Şekil E.6: CEMI42,5 R tipi çimento ile üretilen 0,50 su/çimento oranlı betonların 28 günlük Yük(N)-Sehim(mm) eğrisi



Şekil E.7: CEMI42,5 R tipi çimento ile üretilen 0,65 su/çimento oranlı betonların 7 günlük Yük(N)- Sehim(mm)eğrisi



Şekil E.8: CEMI42,5 R tipi çimento ile üretilen 0,65 su/çimento oranlı betonların 28 günlük Yük(N)-Sehim(mm) eğrisi

ÖZGEÇMİŞ

Helin KAYA, 1984 yılında Bolu'da doğdu. Zonguldak'ta başladığı ilköğretim öğrenimini Hatay' da bitirdi. Daha sonra liseyi Bahçelievler Lisesi'nde tamamladı. 2003 yılında İ.Ü. Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümüne girdi. 2007 senesinde tamamladığı lisans öğreniminden sonra 2007–2008 güz yarıyılında İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Anabilimdalı Yapı Mühendisliği Programında yüksek lisans öğrenimine başladı. Yüksek lisans öğrenimini ise 2009-2010 öğretim yılı yaz dönemi sonu tamamladı.