

**CEM I 42,5 ÇİMENTOLU DÜŞÜK DOZAJLI BETONLARDA
YÜKSEK FIRIN CÜRUFUNUN ETKİNLİĞİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Muammer Alper ŞAHAN
(501041077)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20 Nisan 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 15 Haziran 2006**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Mehmet UYAN
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Hulusi ÖZKUL (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Halit YAŞA ERSOY (M.S.Ü.)**

MAYIS 2006

ÖNSÖZ

Bu tezi yöneten ve çalışmalarım sırasında değerli bilgi ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Hocam Prof. Dr. Mehmet UYAN'A

Çalışmalarım esnasında malzeme temini sağlayan LAFARGE ASLAN çimento fabrikasına, katkı malzemesi temin ettiğim Karçimsa fabrikasına, bana bilgi ve tecrübeleriyle yardımcı olan araştırma görevlilerinden Sayın Bekir PEKMEZCİ' YE ve Cengiz ŞENGÜL'E, Laboratuar hocalarım, tüm laboratuar personeline ve benden maddi ve manevi desteğini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2006

Muammer Alper ŞAHAN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER:	4
2.1. Puzolanların Tanımı ve Sınıflandırılması	4
2.2. Puzolanların sınıflandırılması	4
2.3. Puzolanik reaksiyon	5
2.4. Yüksek Fırın Cürufu	5
2.4.1 Yüksek Fırın Cürufunun Tanımı	5
2.4.2 GranüleYüksek Fırın Cürufunun Yapısı	6
2.4.3 GranüleYüksek Fırın Cürufunun Kimyasal Kompozisyonu	6
2.4.4 Yüksek Fırın Cürufunun Aktivitesi	7
2.4.5 GranüleYüksek Fırın Cürufunun Hidratasyonu	8
2.4.6 Cürufu Çimentolar	9
2.4.6.1 Cürufun camı yapısı ve kristalitesinin etkisi	10
2.4.6.2 Çimentoda YFC içeriğinin Mekanik dayanımlara etkisi	10
2.4.6.3 Klinker Özellikleri ve Cüruf inceliğinin etkileri	11
2.4.6.4 GYFC'nin Fiziksel Özellikleri	12
2.4.7 GYFC'nin ortam şartlarına dayanıklılık özellikleri	12
2.4.7.1 Sülfat etkisine dayanıklılık	13
2.4.7.2 Klor etkisine dayanıklılık	14
2.4.7.3 Deniz suyu etkisine dayanıklılık	14
2.4.7.4 Karbonatlaşmaya dayanıklılık	14
2.4.7.5 Alkali-Agrega Reaksiyonu	15
2.4.7.6 Donma-Çözülme Direnci	15
2.4.8 Yüksek Fırın Cürufunun taze beton özelliklerine etkisi	16
2.4.8.1 İşlenebilme	16
2.4.8.2 Priz Süresi ve zaman içinde işlenebilme kaybı	16
2.4.8.3 Terleme	16
2.4.8.4 Hidratasyon ısısı	16
2.4.9 Yüksek Fırın Cürufunun sertleşmiş beton özelliklerine etkisi	17
2.4.9.1 Dayanımlar	17
2.4.9.2 Elastisite Modülü	17
2.4.9.3 Rötne	17
2.4.9.4 Sünme	17
2.4.9.5 Isıl genleşme ve ısı iletkenlik	17
2.5 k Etkinlik Faktörü ve Bu Konuda Yapılmış Çalışmalar	18

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	29
3.1 Çalışmanın amacı	29
3.2 Üretilen betonların özellikleri	29
3.3 Kullanılan malzemelerin özellikleri	30
3.3.1 Çimento	30
3.3.2 Agregalar	31
3.3.3 Yüksek Fırın Cürufunun özellikleri	33
3.3.4 Süper Akışkanlaştırıcının Özellikleri	34
3.4 Beton Karışımları	34
3.5 Beton Üretimi, Karıştırma, Yerleştirme, Saklama, ve Numune Boyutları	35
3.6 Taze Beton Deneyleri	35
3.7 Sertleşmiş Beton Deneyleri	35
4. DENEY SONUÇLARI	38
4.1 Taze Beton Deney Sonuçları	38
4.2 Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları	39
4.2.1 Basınç dayanımı	39
4.2.2 Su emme deneyleri	40
4.2.3 k etkinlik faktörünün belirlenmesi	42
4.2.4 Oranlama methoduna göre k etkinlik faktörü değerinin belirlenmesi	45
5. DENEY SONUÇLARI'NIN DEĞERLENDİRİLMESİ	48
5.1 Taze Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	48
5.2 Sertleşmiş Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	49
5.2.1 Basınç Dayanımı Sonuçlarının İrdelenmesi	49
5.2.2 Su Emme Deneyi Sonuçlarının İrdelenmesi	55
5.2.3 k Etkinlik Faktörünün İrdelenmesi	59
6. SONUÇLAR	73

KAYNAKLAR

ÖZGEÇMİŞ

KISALTMALAR

ASTM	: American Society For Testing and Materials
ACI	: American Concrete Institute
TS	: Türk Standartları
CEN	: The European Standart Organization
GYFC	: Granüle Yüksek Fırın Cürufu

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Puzolanların sınıflandırılması ve türleri	4
Tablo 2.2. Betonların hesap değerleri.....	21
Tablo 3.1. Üretilen Betonların İsimlendirilmesi.....	30
Tablo 3.2. Portland Çimentosunun mekanik özellikleri.....	30
Tablo 3.3. Portland Çimentosunun fiziksel özellikleri.....	31
Tablo 3.4. Portland Çimentosunun kimyasal özellikleri.....	31
Tablo 3.5. Agregaların Özgül Ağırlık Değerleri.....	32
Tablo 3.6. Agregaların Elek Analizi Sonuçları.....	32
Tablo 3.7. Standart Karışım Elek Analizi Değerleri.....	32
Tablo 3.8. Yüksek Fırın Cürufunun Kimyasal Bileşimi.....	33
Tablo 3.9. Yüksek Fırın Cürufunun Fiziksel Özellikleri.....	34
Tablo 4.1. Taze Beton Deney Sonuçları.....	38
Tablo 4.2. Deney Sonuçlarından Elde Edilen Basınç Dayanımı Değerleri..	39
Tablo 4.3. 28 günlük numunelerin su emme deneyi için gerekli kuru ve yaş ağırlıkları	40
Tablo 4.4. Üretilen 28 günlük betonların ağırlıkça su emme oranları.....	41
Tablo 4.5. Mukavemet için k etkinlik faktörü değerleri.....	44
Tablo 4.6. Ağırlıkça su emme oranı için için k etkinlik faktörü değerleri..	45
Tablo 4.7. Oranlama methoduna göre Ağırlıkça su emme oranı değerleri için hesaplanmış k etkinlik faktörü değerleri.....	47
Tablo 5.1. Kontrol Betonuna Kıyasla Su İhtiyacı Değişimi.....	48
Tablo 5.2. Deney sonuçlarından elde edilen basınç dayanımı değerlerinin 28 günlük kontrol betonlarına göre yüzdesel olarak karşılaştırılması.....	49

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1	: 28 günlük basınç dayanımı dağılımı - w/ (c+kg) grafiği.....	22
Şekil 2.2	: 28 günlük basınç dayanımı dağılımı - w/ (c+kg) grafiği.....	23
Şekil 2.3	: Hesaplanmış etkinlik değerlerinin geçerlilik değerleri.....	24
Şekil 2.4	: k etkinlik faktörünün belirlenme şekli.....	25
Şekil 2.5	: Su/çimento oranı ve k etkinlik faktörü arasındaki ilişki.....	26
Şekil 3.1	: TS 706 referans ve karışım granülometri eğrileri.....	33
Şekil 4.1	: 28 günlük su içerisinde saklanmış, 0.70 su/çimento oranlı %50 yüksek fırın cürufu numunede k etkinlik faktörünün bulunması.....	43
Şekil 4.2	: 28 günlük su içerisinde saklanmış, 0.70 su/çimento oranlı %50 yüksek fırın cürufu numunede oranlama methoduna göre etkinlik faktörünün bulunması.....	46
Şekil 5.1	: Kontrol betonunun su/çimento oranı 0.5 olan eşit işlenebilmeli su içerisindeki numunelerin basınç dayanımı-zaman grafikleri.....	50
Şekil 5.2	: Kontrol betonunun su/çimento oranı 0.5 olan eşit işlenebilmeli hava ortamındaki numunelerin basınç dayanımı-zaman grafikleri.....	50
Şekil 5.3	: Kontrol betonunun su/çimento oranı 0.6 olan eşit işlenebilmeli su içerisindeki numunelerin basınç dayanımı-zaman grafikleri.....	51
Şekil 5.4	: Kontrol betonunun su/çimento oranı 0.6 olan eşit işlenebilmeli hava ortamındaki numunelerin basınç dayanımı-zaman grafikleri.....	51
Şekil 5.5	: Kontrol betonunun su/çimento oranı 0.7 olan eşit işlenebilmeli su içerisindeki numunelerin basınç dayanımı-zaman grafikleri.....	52
Şekil 5.6	: Kontrol betonunun su/çimento oranı 0.7 olan eşit işlenebilmeli hava ortamındaki numunelerin basınç dayanımı-zaman grafikleri.....	52
Şekil 5.7	: Kontrol betonunun su/çimento oranı 0.8 olan eşit işlenebilmeli su içerisindeki numunelerin basınç dayanımı-zaman grafikleri.....	53
Şekil 5.8	: Kontrol betonunun su/çimento oranı 0.8 olan eşit işlenebilmeli hava ortamındaki numunelerin basınç dayanımı-zaman grafikleri.....	54
Şekil 5.9	: Kontrol betonunun su/çimento oranı 0.5 olan eşit işlenebilmeli su ve hava ortamındaki numunelerin 28 günlük ağırlıkça su emme oranı-yüksek fırın cürufu yüzdesi grafikleri.....	55
Şekil 5.10	: Kontrol betonunun su/çimento oranı 0.6 olan eşit işlenebilmeli su ve hava ortamındaki numunelerin 28 günlük ağırlıkça su emme oranı-yüksek fırın cürufu yüzdesi grafikleri.....	56
Şekil 5.11	: Kontrol betonunun su/çimento oranı 0.7 olan eşit işlenebilmeli su ve hava ortamındaki numunelerin 28 günlük ağırlıkça su emme oranı-yüksek fırın cürufu yüzdesi grafikleri.....	57
Şekil 5.12	: Kontrol betonunun su/çimento oranı 0.8 olan eşit işlenebilmeli su ve hava ortamındaki numunelerin 28 günlük ağırlıkça su emme oranı-yüksek fırın cürufu yüzdesi grafikleri.....	58
Şekil 5.13	: Su ortamındaki numunelerin 7., 28., 90. gündeki k etkinlik faktörü- yüksek fırın cürufu yüzdesi grafikleri.....	59

Şekil 5.14 : Hava ortamındaki numunelerin 7., 28., 90. gündeki k etkinlik faktörü- yüksek fırın cürufu yüzdesi grafikleri.....	60
Şekil 5.15 : Ağırlıkça su emme oranına göre hesaplanmış su ortamındaki numunelerin k etkinlik faktörü yüksek fırın cürufu yüzdesi grafikleri.....	61
Şekil 5.16 : Ağırlıkça su emme oranına göre hesaplanmış hava ortamındaki numunelerin k etkinlik faktörü yüksek fırın cürufu yüzdesi grafikleri.....	62
Şekil 5.17 : Ağırlıkça su emme oranına göre oranlama metoduyla hesaplanmış su ortamındaki numunelerin k etkinlik faktörü yüksek fırın cürufu yüzdesi grafikleri.....	63
Şekil 5.18 : Ağırlıkça su emme oranına göre oranlama metoduyla hesaplanmış hava ortamındaki numunelerin k etkinlik faktörü yüksek fırın cürufu yüzdesi grafikleri.....	63
Şekil 5.19 : Su ortamındaki numunelerin k etkinlik faktörü-gün grafikleri	64
Şekil 5.20 : Hava ortamındaki numunelerin k etkinlik faktörü-gün grafikleri...	65
Şekil 5.21 : Su ortamındaki numunelerin 7. gündeki k etkinlik faktörü-E/C Grafikleri.....	66
Şekil 5.22 : Hava ortamındaki numunelerin 7. gündeki k etkinlik faktörü-E/C Grafikleri.....	66
Şekil 5.23 : Su ortamındaki numunelerin 28. gündeki k etkinlik faktörü-E/C Grafikleri.....	67
Şekil 5.24 : Hava ortamındaki numunelerin 28. gündeki k etkinlik faktörü-E/C Grafikleri.....	67
Şekil 5.25 : Su ortamındaki numunelerin 90. gündeki k etkinlik faktörü-E/C Grafikleri.....	68
Şekil 5.26 : Hava ortamındaki numunelerin 90. gündeki k etkinlik faktörü-E/C Grafikleri.....	69
Şekil 5.27 : Su ortamındaki numunelerin ağırlıkça su emme oranı için eşit işlenebilme metoduna göre hesaplanmış 28. gündeki k etkinlik faktörü-E/C grafikleri.....	70
Şekil 5.28 : Hava ortamındaki numunelerin ağırlıkça su emme oranı için eşit işlenebilme metoduna göre hesaplanmış 28. gündeki k etkinlik faktörü-E/C grafikleri.....	70
Şekil 5.29 : Su ortamındaki numunelerin ağırlıkça su emme oranı için oranlama metoduna göre hesaplanmış 28. gündeki k etkinlik faktörü-E/C grafikleri.....	71
Şekil 5.30 : Hava ortamındaki numunelerin ağırlıkça su emme oranı için oranlama metoduna göre hesaplanmış 28. gündeki k etkinlik faktörü-E/C grafikleri.....	71

SEMBOL LİSTESİ

C	: Çimento
f	: Yüksek Fırın Cürufu
W	: Su
k	: Etkinlik Faktörü
φ	: Yüksek Fırın Cürufu/çimento oranı
σ_b	: Basınç Mukavemeti

CEM I 42,5 ÇİMENTOLU DÜŞÜK DOZAJLI BETONLARDA YÜKSEK FIRIN CÜRUFUNUN ETKİNLİĞİ

ÖZET

Çeşitli ürünlerin elde edilmesi esnasında üretim amacının dışında yan ürün olarak üretilen birçok atık malzeme türü bulunmaktadır. Bu malzemeler arasında gerek miktar olarak gerekse inşaat sektöründeki kullanım olanakları açısından önemli bir yeri yüksek fırın cürufları almaktadır. Yüksek Fırın Cürufları çeşitli metalurji tesislerinden elde edilen atıkmadde gruplarından birisidir.

Bu çalışmada Karçimsa fabrikasından sağlanan Yüksek fırın cürufu ve CEM I 42.5 çimento kullanılmıştır. Çimento miktarı sabit tutularak belirli oranlarda (%17, %33 ve %50) yüksek fırın cürufu eklenerek betonlar üretilmiş ve yüksek fırın cürufunun betonun mukavemet ve ağırlıkça su emme oranı özelliklerine etkisi incelenmiştir. Numuneler hava ve su olmak üzere 2 farklı ortamda bekletilmiş, basınç dayanımına ve ağırlıkça su emme oranına bağlı olarak CEN TC 104 SC1 adına çalışma grubunun önerdiği metotlardan eşit işlenebilirlik metodu kullanılarak yüksek fırın cürufunun etkinliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

270 kg/m³ dozlu çimento kullanılarak yapılmış olan çalışmada 4'ü kontrol betonu olmak üzere 16 seri beton üretilmiştir. Kontrol betonları 4 farklı oranda olup (0,50, 0,60, 0,70 ve 0,80), bunlarla eşit işlenebilirlik verecek şekilde yüksek fırın cürufu betonlar üretilmiştir. 3 farklı oranda (%17, %33 ve %50) yüksek fırın cürufu eklenmiştir. Her seride 10 adet 15×15×15 cm boyutlarında küp numune ve 1 adet 10×10×50 cm boyutlarında prizma numune üretilmiştir. Üretilmiş olan betonlar 23±2 °C su içerisinde ve 20 °C ile %65±5 rutubetli ortam olmak üzere 2 farklı kür koşulunda saklanmıştır. Agreg granülometrisinin sabit olduğu çalışmada, maksimum dane çapı 32 mm seçilmiştir. İşlenebilirlik, dört farklı oranda da kendi içinde sabit tutulmuş ve her seri için ön beton dökülerek ihtiyaç duyulan su miktarı belirlenmiştir.

Taze beton deneyleri olarak, çökme, taze birim ağırlık ve hava miktarı, sertleşmiş beton deneyleri olarak ise 7. 28. ve 90. günler sonunda su ve hava ortamındaki numuneler üzerinde basınç dayanımı ile 28. güne ait su emme deneyleri yapılmıştır. Elde edilen basınç ve ağırlıkça su emme oranı değerleri kullanılarak yüksek fırın cürufuna ait k etkinlik faktörü değerleri bulunmuştur.

Deneyle sonuçunda yüksek fırın cüruflarının betonda işlenebilirliği iyileştirdiği ve betonda su ihtiyacını azalttığı gözlemlenmiştir. Basınç dayanımı sonuçlarına bakıldığında genel olarak, yüksek fırın cürufu betonlar 28. güne kadar kontrol betonuna yakın değerler almışlar, ileriki yaşlarda ise kontrol betonunun üstünde değerler vermişlerdir. Ağırlıkça su emme oranı deneyleri sonucunda ise %50 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin ağırlıkça su emme oranları kontrol betonlarının altında kalıp iyi performans göstermiştir. k etkinlik faktörü değerlerinde de hava ortamında en iyi sonucu %50 su ortamında ise %33 yüksek fırın cürufu eklenen numuneler sağlamıştır. Kür koşullarında ise, k etkinlik faktörü su ortamında hava ortamından daha yüksek değerler almıştır.

EFFICIENCY OF BLAST FURNACE SLAG IN THE LOW DOSAGE CONCRETES WITH CEM I 42.5 CEMENT

SUMMARY

In the process of making various products, we come up with many wastes as side products. One of the important wastes are blast furnace slag, with regard to its amount or field of use in civil engineering area. The blast furnace slags are mineral additives with pozzolanic properties and are one of the group of waste material products of metalurgy foundations.

In this study, the blast furnace slag from the Karçimsa factory and CEM I 42.5 cement were used. Maintaining the cement amount fixed and at certain rates (17%, 33% and 50%) blast furnace slags were added to concrete and the influence of the blast furnace slags on the resistance and water absorb coefficient properties of the concrete were examined. The specimens were retained in 2 different cure, i.e. air and water and depending on the pressure strength and water absorbing ratios, the efficiency factor k of the blast furnace slag was searched.

In the study using 270 kg/m^3 dosage cement, 16 series of concrete were produced of which 4 are controls. The control concretes had 4 different ratios (0.50, 0.60, 0.70 and 0.80) and blast furnace slag concretes were produced so that they will be provided with equal workability. Blast furnace slags at 3 different ratios (17%, 33% and 50%) were added. In each series, 10 units of $15 \times 15 \times 15$ cm cubic specimen and 1 unit of $10 \times 10 \times 50$ cm prismatic specimen was produced. The produced specimens were cured in $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ water and $20 \text{ }^\circ\text{C}$ with $65 \pm 5\%$ moistured air. Maximum aggregate size is selected 32 mm and aggregate granulometry is constant. Workability was maintained constant within itself in the four different ratios and for each series, a preliminary concrete was laid to determine the amount of water needed.

As for fresh concrete tests, slump, fresh density and air content while for the hardened concrete tests, the compressive strength at the end of 7th, 28th and 90th day in the water and air cure as well as the water absorbing tests for the 28th days were performed. Using the compressive strength and water absorbing ratios so obtained, the k efficiency coefficient for the blast furnace slag was obtained.

At the end of the tests it was found that blast furnace slags improved the workability of the concrete while reducing the water requirement of the concrete. Considering the compressive strength results, the blast furnace slag concretes realized close until 28th day, while they provided higher values than the control concrete at the later ages. The water absorbing tests revealed that the samples to which 50% blast furnace slag is added had a water absorb coefficient less than the control concrete and showed a good performance. In the water medium 33% blast furnace slag specimens, in the air medium 50% blast furnace slag added specimens provided the best results in the k efficiency coefficient values. Under the curing conditions, the k coefficient was higher in water medium when compared to air.

1. GİRİŞ:

Betonda en önemli bileşen olan bağlayıcı maddelerin geçmişi günümüzden 5000 yıl öncelere kadar gitmekte ve eski Mısır kalıntılarında rastlanan alçı harçları ile başlayıp, eski Yunan ve Roma kalıntılarında rastlanan kireç harcı ile devam etmekte, yine eski Roma kalıntılarında rastlanan ve suda da sertleşebilen “kireç-puzolan” harç ve betonlarından geçerek yakın çağlara kadar gelmektedir. Kimyasal analiz metotlarının geliştirildiği yeni çağlarda ise su-kireci, tabii çimento, portland çimentosu gibi yüksek kaliteli bağlayıcı maddelerin hızla geliştiği, bunlarda gerçek bileşimlerin ve kristal yapıların araştırmalarla ortaya konduğu, amaca uygun özel portland çimentoları ve özel çimento türlerinin geliştirildiği, yine araştırmalarla hidrasyon ürünleri, hidrasyon ısı, priz ve sertleşme, hacim genişmesi, rötre ve sünme gibi olayların da açıklandığı görülmektedir. Son yıllarda ise bu gelişmeleri katkı maddelerinin kullanılması ve yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı, pirinç kabuğu külü gibi bağlayıcı atıkların kullanılması yenilikleri izlemiştir [1].

Gelişen sanayi ile birlikte endüstriyel alandaki üretimin sonucu birçok atık malzeme açığa çıkmaktadır. Bu atıkların büyük bir kısmı depo edilmekte bu da çevre kirliliğine neden olmaktadır. Bunu önlemek amacıyla bu atık maddelerin çeşitli sektörlerde kullanılması gerekmektedir. Bu atık malzeme ve yan ürünlerinin değerlendirilmesi, hem çok kısıtlı olan doğal malzemelerinin kullanımını azaltarak doğanın tahrip edilmesini önlemekte, hem de malzemelerin atılmak üzere depolanması durumunda, çevrede meydana gelecek problemleri en aza indirmektedir. İnşaat mühendisliği alanı, atık malzeme ve yan ürünlerin değerlendirilmesi açısından, yüksek hacimlerde malzeme kullanımına olanak verdiği için çok uygundur. Bir de inşaat mühendisliği uygulamalarında stabilitenin sağlanması için malzemelerin kompakt hale getirilmesi gerektiğinden, çevre kirliliği problemi minimuma inmektedir.

Yüksek fırın cüruflarının bağlayıcı özelliklere sahip olduğunun belirlenmesiyle birlikte dünyada 19. yüzyılın ikinci yarısından itibaren bu malzemeyi içeren bağlayıcıların ticari olarak üretimine başlanmıştır. Yüksek fırın cüruflarının gerek portland çimentosu hammaddesi gerekse mineral katkı maddesi olarak kullanılması, sırasıyla 1883 ve 1892 yıllarına rastlamaktadır. Günümüzde Dünyanın birçok

ülkesinde değişik isimlerle yüksek fırın cürufu içeren çimentolar üretilmekte ve kullanılmaktadır.

Avrupa Çimento Standardında (prEN 197-1) Portland Cüruf Çimentosu adı altında iki (II/A-S ve II/B-S), Yüksek Fırın Cürufu Çimentosu adı altında ise üç (III/A, III/B, III/C) olmak üzere, %6'dan %95'e kadar değişik miktarlarda yüksek fırın cürufu içeren, toplam beş çimento tanımlanmıştır. 1994 verilerine göre, bu çimentoların Avrupa ülkelerindeki iç satışları toplamın %13.3'ünü oluşturmaktadır.

Ülkemizde de CÇ 32.5, CÇ 42.5, SDÇ 32.5 ve SSÇ 32.5 adları altında %20 den %65'e kadar yüksek fırın cürufu içeren çimentolarla ilgili Türk Standartları bulunmaktadır. TÇMB üyesi olan Çimento fabrikalarının bir kısmında bu çimentoların üretimi yapılmakla birlikte, tüketim Avrupa ülkeleriyle kıyaslandığında çok düşüktür.

Cüruflar çeşitli metalurji tesislerinden elde edilen atık madde gruplarından birisidir. Kimyasal kompozisyonları ve özellikleri elde edildikleri sanayi kuruluşlarının ürettiği ana ürün tipine ve üretim yöntemine bağlı olarak birbirinden çok farklılık gösterir. Örneğin, yüksek fırın cüruflarının kendi başına bağlayıcı özelliği olmasına karşın nikel ve bakır cüruflarının yalnızca puzolanik özellikleri vardır.

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 atılırlar 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. Tüm cüruflar arasında en önemlisi ve en yaygın kullanım alanına sahip olanı yüksek fırın cüruflarıdır (YFC) [2] .

Bu çalışmada Lafarge Aslan çimentodan elde edilmiş CEM I 42.5 çimento ve Akçansanın Karçimsa fabrikasından elde edilmiş yüksek fırın cürufu kullanılmıştır. Çimento miktarı sabit tutularak belirli oranlarda (%17, %33 ve %50) yüksek fırın cürufu eklenerek eşit işlenebilirliğe sahip 4'ü kontrol betonu olmak üzere 16 seri

beton üretilmiştir. Çimento dozajı 270kg/m³ olarak seçilmiştir. Her karışım için üretilen betonların yarısı hava ortamında yarısı da su içinde saklanmıştır. 7., 28. ve 90. günlerde numuneler üzerinde basınc dayanımı deneyleri , sadece 28. günde su emme deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucu yüksek fırın cürufunun mekanik ve durabilite özelliklerine olan etkisi incelenmiş ve CEN TC 140 SC1 adına çalışma grubunun önerdiği metotlardan eşit işlenebilme metodu kullanılarak k etkinlik faktörü değerleri bulunmuştur.

2. GENEL BİLGİLER:

2.1 Puzolanların tanımı ve sınıflandırılması:

Yalnız başına kullanıldığı vakit bağlayıcı madde olmayan fakat kireç veya çimento ile karıştırıldığı vakit su ile yaptığı reaksiyon sonunda bağlayıcı madde özelliği kazanan maddelere puzolan denilmektedir. Puzolanların içinde fazla miktarda koloidal halde silis ve alumin bulunmaktadır. Bu maddeler kireç ile yapmış olduğu reaksiyon sonunda puzolan bağlayıcılık özelliği kazanmaktadır [3].

Puzolanlar yapım alanında ve beton üretiminde çeşitli amaçlarla kullanılmışlardır. Betonun temel bileşenlerinden olmayan bu maddeler, gelişen beton teknolojisinde betonun fiziksel , mekanik ve durabilite özelliklerini değiştirmek ve gelişen beton teknolojisinde betonun fiziksel, mekanik ve durabilite özelliklerini değiştirmek ve üretimde ekonomi sağlamak amaçlarıyla kullanılan bir tür katkı maddeleridirler. Mineral katkı maddeleri olarak da adlandırılırlar. Bu katkı maddelerinin büyük çoğunluğunun kendi başlarına bağlayıcılık yetenekleri yoktur. Etketif bir dolgu maddesi fonksiyonu görebilen bu maddeler, puzolanik aktiviteleri nedeniyle hidrasyon ürünlerinin oluşumunda etkinlik göstererek bağlayıcı hamur yapısını değiştirirler. Böylece betonun çeşitli özelliklerini iyileştirirken; boşluk yapısını daha yoğun bir bağlayıcı hamurun oluşmasını sağlayarak iyileştirir, agrega-hamur ara yüzeyindeki aderansın artmasını sağlamakta ve bunların süper akışkanlaştırıcı kimyasallarla birlikte kullanılmasıyla beton üretiminde yüksek mukavemetlere erişilmesi mümkün olabilmektedir [4].

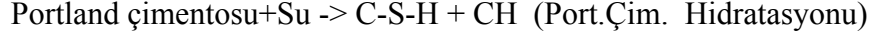
2.2 Puzolanların sınıflandırılması:

Tablo 2.1. Puzolanların sınıflandırılması ve türleri

DOĞAL PUZOLANLAR	YAPAY PUZOLANLAR
Volkanik Cürufklar	Yüksek fırın Cürufu
Volkanik tüfler	Uçucu kül
Kalşine kil ve şeyl	Silis dumanı
Opalin silika	Pirina kapçığı külü
	Demirli olmayan cürufklar

2.3 Puzolanik reaksiyon:

Puzolan içeren betonlarda temel puzolanik reaksiyon, puzolandaki silika(S) ile portland çimentosu hidratasyonu sonucu açığa çıkan serbest kireç (CH) arasında olmaktadır.



Puzolanik reaksiyonun serbest kireç oluşumunu beklemesi, hemde oldukça yavaş seyreden bir reaksiyon olması sonucu puzolanik etki nedeniyle mukavemet kazanmada yavaş olmaktadır. Kür sıcaklığının artması, alkali ve sülfatlı bazı kimyasal katkı maddeleri reaksiyonu hızlandırır [4].

Puzolan ve portland çimentosu karışımı hidratasyona girince puzolanik reaksiyonun etkisiyle bağlayıcı ham üründeki serbest kireç miktarı giderek azalmaktadır. Belli bir süre sonunda puzolan içeren betonların serbest kireç ve daha çok kalsiyum silikat hidrate elemanları bulunmaktadır. Daha çok bağlayıcı ürün oluşması mukavemet artışına neden olurken, serbest kirecin azalması ve hamur boşluk yapısının iyileştirilmeside geçirimsizliği ve dolayısıyla zararlı dış etkilere dayanıklılığı artırır. Puzolanik reaksiyonun portland çimentosu hidratasyonundan daha yavaş gelişmesi mukavemet kazanma hızlarını etkiler. İlk yaşlarda mukavemetler daha düşük olur ancak puzolanların aktivitesinin yüksekliğine göre 28,56 veya 90 gün sonraki mukavemetler referans betonunu yakalamakta veya geçmektedir [4].

2.4 Yüksek fırın cürufu :

2.4.1 Tanımı: Yüksek fırın cürufu, demir çelik üretimi sırasında kireç, kok külü ve demirin indirgenerek ayrılmasından sonra kalan silis ve alümin füzyonu sonucu oluşur. Sıcak yüksek fırın cürufu su ile soğutularak küçük parçalar halinde katılaşması sağlanır. Su ile soğutma yöntemine Granülasyon yöntemi denir. Bu işlem sonucu cürufun içerdiği su miktarı %30 civarındadır. Bu yöntemde, erimiş haldeki cüruf önce suyla soğutulur daha sonra dakikada 300 tur dönen bir tambur vasıtasıyla havaya fırlatılır. Bu yöntemde kullanılan su miktarı 1 ton cüruf için yaklaşık 1 m³ tür. Cüruf içinde kalan su miktarı ise % 10'un altındadır. Paletleme yöntemi sonucunda birkaç değişik boyda malzeme üretilir. Büyük boyutlu (4-15 mm) olanlar çok gözenekli ve kısmen kristal bir yapıya sahiptir. Daha çok hafif beton agregası olarak kullanılabilirler. 4 mm'den küçük boyutlu olanlar ise camsı bir yapıya

sahiptirler ve çimento üretiminde katkı maddesi olarak kullanılırlar. Bu yöntemle üretilen cürufa Hafif cüruf denir [2,6]

2.4.2 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 (mervinit) içeren camsı taneciklerin, saf cam taneciklerinden daha iyi reaktivite gösterdiği yapılan araştırmalardan anlaşılmaktadır. Cürufta kristal içeriğinin %0'dan %5'e çıkması halinde harç mukavemetlerinde bir artış, kristal içeriğinin %5'in üzerine çıkması halinde harç mukavemetlerinde azalma gözlenmektedir [8,9] .

Camsı faz miktarı Granüle yüksek fırın cürufunun hidrolik özelliklerini belirleyeceği en önemli unsurlardan birisidir. Lea'nın belirttiğine göre, camsı faz miktarıyla dayanım arasında, kabaca da olsa doğrusal bir ilişki söz konusudur [2].

2.4.3 Granüle yüksek fırın cürufunun kimyasal kompozisyonu :

Granüle yüksek fırın cürufunun hidrolik özelliklerinin belirlenmesindeki önemli parametrelerden biriside kimyasal kompozisyonlarıdır. Cürufun alkalitesi 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 sınıra değere kadar, CaO / SiO₂ oranının artmasıyla artar. Ancak bu sınır aşıldığında diğer bir deyişle, CaO miktarının çok yüksek olması durumunda granülasyon güçleştiğinden hidrolik özellikte azalma görülür. Sabit bir CaO/SiO₂ oranı için Al₂O₃ miktarının artması cürufun aktivitesini artırır. Cüruf içindeki demir ve mangan oksitler dayanım özelliklerini olumsuz etkiler. %10'a kadar MgO bulunmasının dayanıma kötü bir etkisi bulunmaz [2].

Cürufların kimyasal bileşimi demir cevherinin bileşimine bağlı olarak değişir; genel olarak Normal portland çimentosuna oranla daha az CaO ve daha fazla SiO₂ ve

AL₂O₃ içerir.

Yüksek fırın cürufunun kimyasal bileşiminden itibaren hesaplanan kalite indeksleri aşağıdaki gibi tanımlanabilmektedir.

$$I = \frac{CaO + MgO + Al_2O_3}{SiO_2} > 1 \text{ olmalı.}$$

Keil İndeksi

$$I_k = \frac{CaO + CaS + 0,5MgO + Al_2O_3}{SiO_2 + MnO}$$

$I_k > 1,5$ ise kullanılabilir.

$1,5 < I_k < 1,9$ ise iyi

$I_k > 1,9$ ise çok iyi

Bu indeksler cüruf kalitesinin tahmin edilmesi amacıyla kullanılır. Cüruf kalitesinin ve kullanılabilirliğinin veya uygunluğunun en güvenilir ölçüsü birlikte kullanılacağı aktif bağlayıcı veya uyarıcı madde ile yapılmış deney sonuçlarıdır [5,10].

2.4.4 Yüksek fırın cürufunun Aktivitesi:

İnce öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu su ile karıştırıldığında genel olarak bağlayıcı özellik göstermez. Ancak aktivatör (uyarıcı) adı verilen katkıları 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 [12] .

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 rektivite için cürufun tamamıyla camsı yapıya sahip olması zorunluluğunun bulunmadığı saptanmıştır [2].

E.Douglas, A.Bilodeaw, ve V.M. Malhotna 'nın yaptığı çalışmanın amacı Sodyum Silikatla aktive edilmiş yüksek fırın cürüflü betonların karışım oranlarını formülize etmek için ve bu betonların dayanım ve diğer özelliklerini belirlemek için yapılmıştır. Altı adet karışım silikat modülü $M_s = 1,47$ olan eriyikle yapıldı. Bir adet karışımında $M_s = 1,22$ olan silikat modülüyle yapıldı. Bütün karışımlar hava sürükleyiciydi. Basınç dayanımları, elastisite modülleri, rötreleri ve klor-penetrasyon değerleri hesaplandı. Boy ve kütle değişimleri, ses frekansları, titreşim hızlarında yapılan ölçümler, betonların tekrarlı donma ve çözünme olayına dayanıklılıklarını değerlendirmek için yapıldı. Sülfat dayanıklılığında aynı yöntemle ölçüldü [18].

Çalışmaya göre hava içeriği, karışımdaki hava sürüklenme hacmi, çökme, erken yaştaki basınç dayanımı, Sodyum-Silikat oranından etkilendi. Cürüflü 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 [18].

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 laboratuvar 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 [17].

2.4.5 Granüle yüksek fırın cürufunun hidratasyonu:

Granüle yüksek fırın cüruflarının kendi başlarına suyla reaksiyonu, Portland çimentolarının hidratasyonu ile karşılaştırıldığında oldukça yavaş gelişir. Cürufun hidratasyonu cürufun su içinde kısmi olarak erimesiyle C-S-H , hidrate aluminatlar ve hidrate siliko aluminatların çökmesi olarak tanımlanabilir. Cüruf hidratasyonunun başlangıç aşamasında silikat iyonları eriyiğe geçer, daha sonra, ilk C-S-H çökmesinin ardından, eriyiğin kireç konsantrasyonu artar ve son olarakda alumina konsantrasyonunda, hidrate aluminat kristallerinin oluşumuna kadar artış görülür. Yüksek fırın cürufu hamurlarındaki hidrate Fazların belirlenmesine yönelik bir araştırmada $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}$

Dörtlü sisteminde C-S-H , C_2ASH ve C_4AH 13-19 bileşenlerinin oluşturduğu saptanmıştır [2].

2.4.6 Cürüflü çimentolar:

Cürüflü çimentolar granüle yüksek fırın cürufunun portland çimentosu klinkeri ve alçı taşı ile birlikte veya ayrı ayrı öğütülüp karıştırılmasıyla elde edilir.

Cüruf içinde bulunan bileşikler aşağıda sıralanmıştır:

Gelenit: $2 \text{CaO SiO}_2 \text{ Al}_2\text{O}_3$ (mono kalsiyum silikat)

Volostonit: $\text{CaO SiO}_2 \text{ Al}_2\text{O}_3$ (mono kalsiyum silikat)

Dikalsiyum silikat: 2CaO SiO_2

Çiftli Silikatlar:

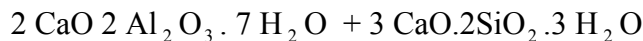
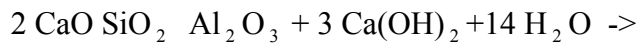
Montisenit: CaO MgO SiO_2

Akermonit: 2CaO MgO 2SiO_2

Mervinit: 3CaO MgO 2SiO_2

Cüruf içindeki en önemli bileşik ‘‘gelenit’’ tir. Bu silikatlar cüruf içinde pasiftir. Az miktarda katılan klinkerin hidratasyonundan meydana gelen Ca(OH)_2 aktivatör rolü oynar. Silikatlar hidrate olarak yeniden çift silikatlar oluşturup çimentonun dayanım kazanmasını sağlar.

Aşağıda belirtilen reaksiyon cüruf hidratasyonunu göstermektedir:



Ortamda yeterli miktarda alçı taşı (%12) katılmış bulunduğunda kalsiyum alüminat hidratlar, kireç ve alçı taşı birleşerek mekanik dayanıma sahip kalsiyum sülfat alüminat hidratları (etringit kristalleri) oluştururlar:

$3 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2 \text{O}_3 \cdot 3 \text{ CaSO}_4 \cdot 3 \text{ H}_2 \text{O} = \text{Etringit}$ (Çözünmüş fazla meydana gelmiştir.)

Cürufsuz çimentoda az miktarda etringit hekzagonal sistemde kristalleşir. Cürüflü çimentoda ise kristalleşme iğnecikler şeklinde olup bunlar bağlayıcı rol oynadıklarından dayanımı yükseltirler. Sonuç olarak Portland çimentosu hidrasyonunda meydana gelen Ca(OH)_2 cürüflü çimentoda bulunmamakta veya çok az bulunmaktadır [11].

2.4.6.1 Cürufun Camsı Yapısının ve Kristalitesinin etkisi:

Dernouliau ve ekibine göre cürufun mükemmel bir camsı yapıya sahip olması cürüflü çimentolarda optimum reaktiviteye sahip olduklarının bir göstergesi değildir. Bu araştırmacılar %3-5 mervinit (C_3MS_2) içeren cürufların kullanıldığı çimentolarla en yüksek dayanımları elde etmişlerdir.

Satarin'e göre de silikatetradronları cürufun camsı fazı içinde bir tür polimer halinde bulunurlar. Eğer bu moleküllerin polimerleşme derecesi çok yüksekse cürufun hidrolik aktivitesinde azalma söz konusu olur.

Aynı portland çimentosu ve yedi değişik Granüle yüksek fırın cürufu kullanılarak üretilen cürüflü çimentolar üzerine yapılan bir mikro yapı araştırmasında cürufun hidrasyon hızıyla, rekristalize hale getirildikten sonra, içerdiği akermanit (C_2MS_2) miktarı arasında 0,98 korelasyon katsayısına sahip bir bağıntı saptanmıştır. Buna göre, rekristalize cüruf içindeki akermanit miktarı ne kadar yüksekse cüruf o kadar yavaş hidrate olmaktadır [2].

2.4.6.2 Çimentoda YFC içeriğinin mekanik dayanımlara etkisi:

Cürufların hidrasyon reaksiyonu yavaştır. Bu yüzden cürüflü çimentolarda erken yaşlardaki dayanım daha düşüktür. Güner'in değişik oranlarda (%0-20-40-60-80-90-100) YFC içeren bağlayıcı karışımları kullanarak standart çimento harcı numuneleri üzerinde yaptığı çalışmada 3 ve 7 günlük dayanımların YFC içeriği arttıkça sürekli olarak azaldığı, 28 günlük dayanımlarda %60 cüruf içeriğine kadar dikkate değer bir artış olduğu, 90 günlük dayanımlarda yine %60'a kadar cüruf içeren bağlayıcı karışımlarında bir azalma, olmadığı görülmektedir. $\text{Su}/(\text{Cüruf}+\text{Çimento})$

oranının düşürülmesi, yüksek sıcaklık uygulaması veya cürufun daha ince öğütülmesi ile cürufllu çimentoların erken yaşlardaki dayanımı yükseltilebilmektedir [13,14].

V.Sivasundaram ve V.M. Malhatra'nın yapmış olduğu çalışmada süper plastikleşmiş ve hava sürüklenmeli düşük miktarlarda ASTM tip 1 çimento ve yüksek dozajda yüksek fırın cürufu içeren betonları anlatır. Cüruf, kuzey Ontarioda ki bir kaynaktan elde edilmiştir. Üç seri beton karışımı değişik dozajlarda çimentoyla (100, 125 ve 150 kg/m³) yapılmıştır. Betondaki cüruf oranı toplam bağlayıcı madde miktarına göre %50 ile %75 arasında değişmektedir. Karışımlardaki su oranı 115 kg/m³ de sabit tutuldu ve süper akışkanlaştırıcı sayesinde yüksek çökme değerlerine ulaşıldı. Taze beton özellikleri hesaplandı ve beton numunelerin basınç ve eğilme mukavemetleri, elastisite modülleri, kuru rötreleri, klor-ion penetrasyon dayanıklılıkları ve sülfat dayanıklılıkları hesaplandı.

Cüruf miktarının artmasıyla işlenebilirliğin düştüğü gözlemlendi, ayrıca su/çimento oranının 0,30'un altına düşmesiyle işlenebilirlik aniden azaldı. Betonlardaki otojen ısının düşmesinin de yüksek dozajda cüruf içeriğiyle ilgili olduğu düşünüldü. Maksimum sıcaklık düşüşü 5,5°C'dir.

7 günden sonra ilerleyen zamanlarda da bütün yüksek cüruf dozajlı betonlarda kontrol betonlarıyla karşılaştırılacak kadar birbirine yakın basınç dayanımları elde edildi.

91 günlük, 300 kg/m³ bağlayıcı oranına sahip betonlardan birisi 50 mpa değeri aşarak en yüksek basınç dayanımına ulaştı. Ayrıca yüksek dozajda cüruf içeren betonların daha geç yaşlarda kontrol betonuna göre daha iyi mukavemet değerleri verdiği tespit edilmiştir. 250 kg/m³ bağlayıcı oranına sahip cürufllu betonların dayanım değerleri düşük çıktı.

14 günlük cürufllu betonların eğilme dayanımları çoğunlukla 8 mpa gibi bir değer verdi ve bu da kontrol betonunun değerlerinden yüksekti. Ayrıca 28 günlük cürufllu betonların elastisite modülü yaklaşık olarak 42 gpa gibi yüksek bir değer aldı. Klor-İon penetrasyon direnci genel olarak cürufllu betonlarda normal betonlara göre yüksek çıkmıştır.

2.4.6.3 Klinker Özellikleri ve Cüruf İnceliğinin Etkileri:

Cürufli çimentoların hidrasyonunda Granüle yüksek fırın cürufuyla portland çimentosu arasında karşılıklı bir etkileşim söz konusudur. Normal inceliklerde (3000 cm²/gr) öğütülmüş olan cürufli çimentolarda klinker özellikleri, çok ince (6000 cm²/gr) öğütülmüş olanlardakine göre, daha önemlidir. C₃S miktarı yüksek olan klinkerler cürufun erken yaşlarda aktivasyonu için daha elverişlidir. 28 günün üstündeki yaşlarda ise cürufun inceliği ve reaktivitesi klinker özelliklerinden daha fazla önem kazanmaya başlar. Genel olarak %70'in üstünde cüruf içeren çimentolarda erken dayanımlar daha çok klinker özelliklerinin etkisine bağlıdır. Cürufli çimento üretiminde cüruf ve klinkerin birlikte öğütülmesi klinkerin daha ince buna karşılık cürufun daha kaba kalmasına yol açar. Aynı öğütme sonucunda daha ince cüruf elde etmek mümkün olur [2].

Wang Fu- sheng , Sun Rui-lian , Cui Ying Jing'in yapmış olduğu çalışmada Cüruf tozunun inceliğinin etkisi, aktivatör miktarları, kuru rötredeki değişikliğin tipi ve içeriği ve yüksek dayanımlı cüruf çimento malzemesinin dayanımı incelendi. Deneysel dataya göre %9 Na₂SiO₃ aktivatörü ve %10 portland çimentosu eklemek yüksek basınç dayanımlı cürufli çimentonun kuru rötre değerlerini Portland çimentosunun değerlerine yakın çıkardı. Basınç dayanım değerleride cürufli çimentonun, portland çimentosuna göre daha fazla çıktı [21].

2.4.6.4 Granüle Yüksek fırın cürufli çimentonun fiziksel özellikleri:

Portland Yüksek Fırın Cürufu Çimentoları Portland Çimentosundan daha açıktır. Özgül ağırlığı, Portland çimentolarına oranla biraz düşüktür (3.00-3.05). Priz süreleri, rötre , sünme, betonarmede donatı aderansı özellikleri bakımından portland yüksek fırın cürufu çimentolarıyla portland çimentoları arasında önemli farklılıklar yoktur [2].

Portland Yüksek Fırın Cürufu çimentolarının hidrasyon ısıları kullanılan klinkerin ve Granüle Yüksek Fırın Cürufu'nun kompozisyonu ve miktarlarıyla orantılı olarak değişir ancak, genel olarak, normal portland çimentolarınıninkinden daha düşüktür.

2.4.7 Granüle yüksek fırın cürufunun dayanıklılık özellikleri:

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

2.4.7.1 Sülfat etkisine dayanıklılık:

Regourd tarafından yapılmış olan bir çalışmada sentetik olarak hazırlanmış , %50 C_3S + %15 C_3A + %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, $Mg(OH)_2$, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, etringit ve C-M-S-H oluştuğu saptanmıştır. Aynı çalışmada, 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 çalışmadan 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 çalışmada 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 çalışma, 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 ölçüldü.

Örnekler, öncelikle 14 gün boyunca 20 ila 45°C arasında değişen sıcaklıklarda, nem oranı (yaklaşık olarak% 25,55) kür edildi. Daha sonra kürlenmiş bu örnekler sülfat eriyiğine batırıldı.

Sonuçlara göre %22 ila %32 arasında değişen uçucu kül katkısıyla üretilmiş betonlar en fazla sülfat dayanıklılığını gösterdi. 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 görülmüş. %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 η m'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 [16].

2.4.7.2 Klor etkisine dayanıklılık:

Cürufllu 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 m²/g (BET) kaba cürufllu çimentolar 0,866 m²/g (BET) , orta cürufllu çimentolar 1,083 cm²/g (BET) ve ince cürufllu çimentolar 1,337 cm²/g (BET) inceliktedir. İnce cürufllu çimentolarda ağırlıkça %70 ve %85, orta cürufllu çimentoda %50 ve kaba cürufllu 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].

2.4.7.3 Deniz Suyu Etkisine Dayanıklılık:

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

2.4.7.4 Karbonatlaşmaya Dayanıklılık:

Betonda karbonatlaşma açısından , beton yeterince yoğun ve ortamda yeterli rutubet var olduğu sürece , portland çimentosuyla cürufllu 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.

2.4.7.5 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. Cürufllu 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 agregalar kullanılabilir.
- Çimento dozajına göre %30 yüksek fırın cürufu ilave etmek ve düşük alkali oranlı çimento kullanmak, yüksek dayanımlı betonlarda yüksek genleşmeyi önleyebilir [19].

2.4.7.6 Donma-Cözülme Direnci:

Yüksek Fırın Cürufllu çimentoların betonların donma-çözülme direncine etkileri, dayanım ve betonun hava miktarı sabit tutulduğu sürece , portland çimentolarınıninkinden 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 hidrasyon sonucunda , azalmaya neden olması betonun donma çözülme direncini yükselttiği görüşüde öne sürülmektedir.

Yapılan tüm araştırmalarda hemfikir olunan sonuç cürufu çimentoların , betonda sabit bir hava miktarı sağlamak için , portland çimentolarına göre daha fazla hava sürükleyici katkıya ihtiyaç gösterdikleri hususudur [2].

2.4.8 Yüksek fırın cürufunun taze beton özelliklerine etkisi:

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

2.4.8.1 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 cürufu çimentoların betonun işlenebilirliğini olumlu yönde etkileyeceğinin göstergeleridir. Ancak, bu iyileşme çökme deneyi sonuçlarında tam olarak gözlenmez [2].

2.4.8.2 Priz süresi ie zaman içinde işlenebilme kaybı:

Cürufu 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 cürufu çimentolarla portland çimentosu arasında önemli fark bulunmamaktadır [2].

2.4.8.3 Terleme:

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

2.4.8.4 Hidrasyon Isısı:

Cürufu çimento kullanımı hidrasyon ısını azaltarak hem maksimum beton sıcaklığını düşürmekte hem de bu maksimum sıcaklığa erişilen süreyi uzatmaktadır.

2.4.9 Yüksek fırın cürufunun sertleşmiş beton özelliklerine etkisi:

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

2.4.9.1 Dayanımlar:

Eşit çimento miktarı ve eşit su-çimento oranları söz konusu olduğunda cürufu 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 cürufu çimento miktarı normal portland çimentosu miktarına göre biraz daha fazla olmalıdır. Bu durumda , geç yaşlardaki dayanımlar cürufu çimento ile yapılmış betonlarda çok daha yüksek olmaktadır [2].

2.4.9.2 Elastisite Modülü:

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

2.4.9.3 Rötreye:

Cürufu çimentolarla üretilmiş betonların rötreyi 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, cürufu çimento kullanımının rötreyi portland çimentosu kullanıldığı durumlardan daha değişik etkilemediği söylenebilir [2].

2.4.9.4 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].

2.4.9.5 Isıl genleşme ve ısı iletkenlik:

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

2.5 k Etkinlik Faktörü ve Bu Konuda Yapılmış Çalışmalar:

İlk defa Smith tarafından kullanılan k etkinlik faktörü ile ilgili bugüne kadar birçok çalışma yapılmış, değişik yöntemler denenmiş fakat bu konuda tam bir fikir birliğine varılamamıştır.

V.G.Papadakis ve S.Tsimas'ın yapmış oldukları çalışmaya göre Silisyum ve Alüminyumlu malzeme olarak birçok katı sanayi ürünü (uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu) ve bazı doğal puzolanik malzemeler (Volkanik Tüfler, Opalin Silika gibi) Çimento katkı malzemeleri (SCM) olarak bağlayıcı ve puzolanik özelliklerine göre çeşitlendirilebilir. Bu malzemeler çok geniş bir fiziksel ve kimyasal çeşitlilikte olup, betonda kullanımları için genel bir dizayn düzenlenmiştir. Bu çalışmada etkinlik katsayısının konsepti, portland çimentosuyla karşılaştırılınca çimento katkı malzemelerinin performansının göreceli olarak ölçüsüdür. Çeşitli kompozisyonlardaki suni malzemeler ve bazı doğal puzolanlar üzerine çalışıldı. Basınç dayanımı ve hızlandırılmış klor penetrasyon testleri uygulandı. Bu testlerin neticesinde bu malzemeler için etkinlik katsayıları hesaplandı.

Yapılan çalışmaların neticesinde çimento katkı malzemeleri agrega yerine konulunca basınç dayanımları kontrol betonundan yüksek çıktı. Çimento katkı malzemeleri çimento yerine kısmi yerleştirilince de başlangıçta (erken zamanda) basınç dayanımı daha düşük çıktı ama zaman ilerledikçe karışımdaki daha yüksek aktif silika içeriğiyle çimentoyla beraber kontrol betonunun basınç dayanımını aştı. Öğütülmüş uçucu külün etkinlik katsayısı yaklaşık 1 gibi çıktı. Diğer doğal çimento katkı malzemelerinin ise daha düşük etkinlik katsayıları çıktı.(k=0,2-0,3) [20].

Çimento katkı maddelerinin faydası, beton kompozitlerdeki birçok ilerleme ve tamamen ekonomi nedeniyle iyi kabul edilmiştir. K.Ganesh Babu ve V. Sree Rama Kumar'ın yapmış olduğu çalışmayı içeren makale çeşitli dozajlarda yüksek fırın cürufunun beton içerisinde kullanılarak 28 günlük etkinliklerini belirlemek için yazılmıştır. Toplam dayanım etkinliği genel etkinlik faktörünün bir kombinasyonudur. Bu da yaşa ve daha önce de söylendiği gibi silis dumanı ve uçucu kül gibi diğer katkı maddelerinde de

geçerli olan katkı oranına dayanan yüzde oranı etkinlik faktörüdür. Bu değerlendirme , GYFC betonlarını her hangi bir verilmiş katkı yüzdesinde istenen dayanımda dizayn etmeyi mümkün kılar [22].

Yüksek fırın cürüflu çimentolar, uzun bir periyottan beri kullanımdadır. Bunun nedenleri tamamen üretim aşamasındaki ekonomi ve bunun da ötesinde geliştirilmiş performans özellikleridir. Aynı zamanda puzolanların çimentoya ve daha çok betona katkısı pratikte iyi kabul edilmiştir. GYFC, çimentoda veya beton karışımlarda çimento katkısı olarak kullanılabilen puzolanik malzemelerden birisidir. Şu ana kadar olan çalışmalar, bu tür çimento katkı maddelerinin, betonun mukavemet, işlenebilirlik, geçirimsizlik, dayanıklılık ve korozyona dayanıklılık gibi performans özelliklerinin birçoğunu geliştirmiştir. GYFC 'nin çimento karışımlarındaki etkinliğini tayin etmek için kimyasal birleşim, hidrolik reaksiyon ve incelik gibi bazı parametreler daha önceden dikkatle belirlenmiştir. Burdan da görüldü ki bunların arasında reaktif cam içeriği ve yalnız başına GYFC'nin inceliği çimentodaki puzolanik etkinliği ya da beton karışımlardaki reaksiyonu önemli derecede etkiler. Bazı eski araştırmacılar yüksek fırın cürufunun kimyasal bileşimini düşünerek bu yüksek fırın cürufunun reaksiyonunu cüruf aktivite indeksi ya da hidrolik indeks olarak tanımlamaya çalıştı.

ASTM C989, Cüruf aktivite indeksini belirli bir yaştaki cürüflu çimento harç küplerinin ortalama basınç dayanımını referans çimento harç küplerinin ortalama basınç dayanımına yüzde oranı olarak tanımlar. 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 koydu. O çimentonun veya cürufun kimyasal bileşimiyle aynı çimento ve cürufun karışımının hidrolik aktivitesi arasında bir bağlantı olmadığını idda etti. 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 gösterdi. O yüksek alkali içeren çimentonun, cürufun hidrolik özelliğini etkilemediğini gözlemledi. Buna karşın Hoogen ve Rose yüksek alkali çimento

karışımlarının, düşük alkali çimento karışımlarına göre daha büyük cüruf aktivite indeksi değeri verdiğini söylediler. Şu da söylenmelidir ki, yukardaki cüruf aktivite indeksiyle ilgili bütün testler sadece harç küplerine uygulandı. 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 araştırılmadı. Yukardaki tartışma GYFC'nin betondaki reaksiyonuna bağlı karışım oranlama ihtimalinin araştırılması gerektiğini gösterir [22] .

Bu makale, su-çimento oranına bağlı dayanım çeşitliliğine göre bir etkinlik faktörü kurmak için 28 günlük GYFC' li betonlarla normal betonları karşılaştırarak GYFC'nin beton içinde değişik dozajlardaki etkinliğini tayin eder. Prensipde bu su-çimento oranının ($w/(c+g)$) kontrol betonunun su- çimento oranına (w/co) herhangi bir dayanımdaki GYFC'nin etkinlik katsayısını ekleyerek yaklaştıran Δw faktörü kullanılarak yapıldı. HERNASILSA etkinlik katsayısıyla (genel etkinlik faktörü k_e) su/çimento oranını dayanım ilişkilerine getirmek amacıyla yapılan ilk denemelerde bütün katkı yüzdelerinde iyi korelasyon sağlanmadı. Bu aşamada farklılık yüzde etkinlik faktörü (k_p) ile doğrulandı. Toplam etkinlik faktörü k , genel etkinlik faktörü k_e ve yüzde etkinlik faktörü k_p 'nin toplamıdır. Bu methodda dayanım ilişkileri açısından normal betonun su-çimento oranı GYFC betonları için geçerli olacaktır.

$$(w/co) = [w/(c+kg)] = [w/(c+k_e g+k_p g)] \quad (2.1)$$

$$k = k_e + k_p \quad (2.2)$$

Etkinlik faktörünün bu eşitliği için, daha önceden yapılan araştırmaların sonuçlarından elde edilen data (bilgi) Tablo 2.1'de özetlenmiştir. Şuna değinilmelidirki bu tablodaki araştırmaların sonuçları, şimdiki üretilen çimento ve cüruflar içinde geçerlilik sağlar. Şu kesindirki bunlar, GYFC'nin beton içerisindeki davranışını etkileyen başlıca parametreleri içeren oldukça geçerli bir grup oluşturur. Değerlendirme sırasında, görüldüğü karışımlardan bazıları, hava boşluğu, değişik kütleme şartları, Çok ince cüruf gibi sebeplerden ki bu sebepler değerlendirmeye katılmadı, normal betonların formunu tutmadı [22].

Tablo 2.2 Betonların hesap değerleri

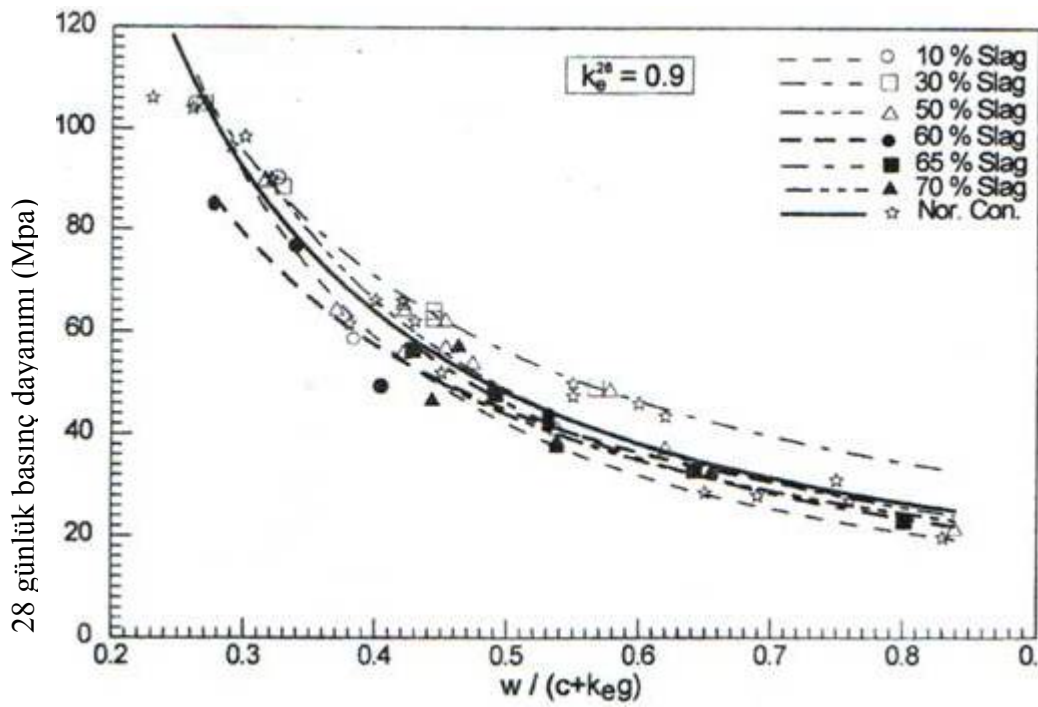
Cüruf Kodu	Katkı Yüzdesi	w/(c+g) değer aralığı	Çökme miktarı (mm)	28 günlük basınç dayanımı değer aralığı (Mpa)	28 günlük ortalama etkinlik değerleri
1	0	0.23-0.83	40-170	19.7-106	-
2	10	0.26-0.38	150	58.5-105	1.29
3	30	0.26-0.55	100-150	49.1-105	1.02
4	50	0.30-0.80	35-90	21.2-89.3	0.84
5	60	0.26-0.50	150	43.5-80	0.78
6	65	0.46-0.75	100	23.0-57.5	0.75
7	70	0.41-0.61	45-65	32.5-62.5	0.73
8	80	0.5	-	29.5-32.5	0.70

Sonunda 175 karışım dışında sadece normal kütleme koşullarında üretilmiş ASTM tip1 standardında Portland çimentosu içeren (283-391 m²/kg inceliğinde) üretilmiş 70 beton değerlendirmeye alınmıştır. Bu betonlar içindeki Granüle yüksek fırın cürufu ASTM C 989' a göre nitelendirilmiş betondaki mineral katkısını minimum özelliklerde garanti eder. (350-465 m²/kg arası incelik , %31,1 ile %38,59 arasında SiO₂ ve %32,8 ile %43,9 arasında CaO) . Katkı yüzdeleri % 10'dan 80'e kadar değişir. İnce agrega olarak doğal nehir kumu kullanılmıştır. Ve kaba agrega olarakta maksimum ölçüler 10 ila 20 mm arasında değişmektedir. Kesin olan bi durum vardır o da %80 gibi katkı oranlarında çok incelik oranları sebebiyle bu betonlarda işlenebilirliği düzeltmek için süper plastikleştiriciler kullanılır. Bu durum yüzünden değerlendirmede bu betonlarda maksimum % 2 oranında süperplastikleştirici değerlendirmeye alınır.

Aynı zamanda farklı araştırmacılar, farklı boy ve şekillerde numuneler kullandılar ve onlar 15 cm'lik küpler içinde kabul edilir sonuçlar buldular. Bir çok durumda değişim silindir dayanımından küp dayanımına dönüşümdü ve 55-70 MPA dayanımındaki betonlar için 0,9 katsayısı kullanılarak bu değişim düzeltildi. Su-Çimento oranının farklı cüruf katkı yüzdeleriyle yapılmış betonların 28 günlük basınç mukavemetine oranını gösteren grafik Şekil 2.1 ' de gösterilmiştir [22].

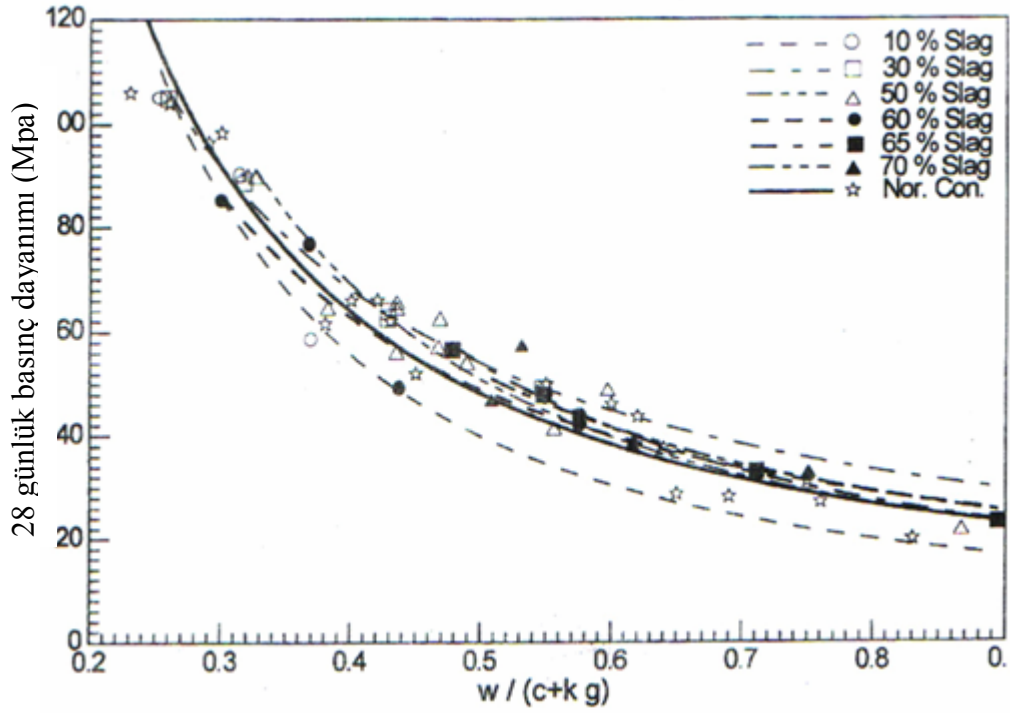
Grafiktende görüldüğü üzere %30 oranına kadar Granüle Yüksek Fırın Cürufu içeren betonların 28 günlük basınç dayanımları eğrileri normal betonun basınç dayanımı

eğrisinden daha yukarıdadır, diğer bütün yüzdelerde normal betonunkinden daha aşağıdadır. Ayrıca değişik yüzdelerde kullanılan cüruftan kaynaklanan dayanım değişim miktarının uçucu kütle karşılaştırıldığında daha az olduğu gözlenmiştir. Bütün katkı yüzdelerindeki dayanım değerlerini normal betonun dayanım değerlerine yaklaştırmak için “ Genel Etkinlik Faktörü (ke)” dediğimiz bir etkinlik faktörü formüle yerleştirir, su- çimento oranı $[w/ (c+g)]$ ke faktörü eklenerek $[w/ (c+keg)]$ olarak değiştirilir. Bir çok denemeden sonra ke değerlerinin 0,85 ile 1 arasında değiştiği görülmüş ve bu betonların 28 günlük dayanımları için en uygun ke değerinin 0,9 olduğu anlaşılmıştır.



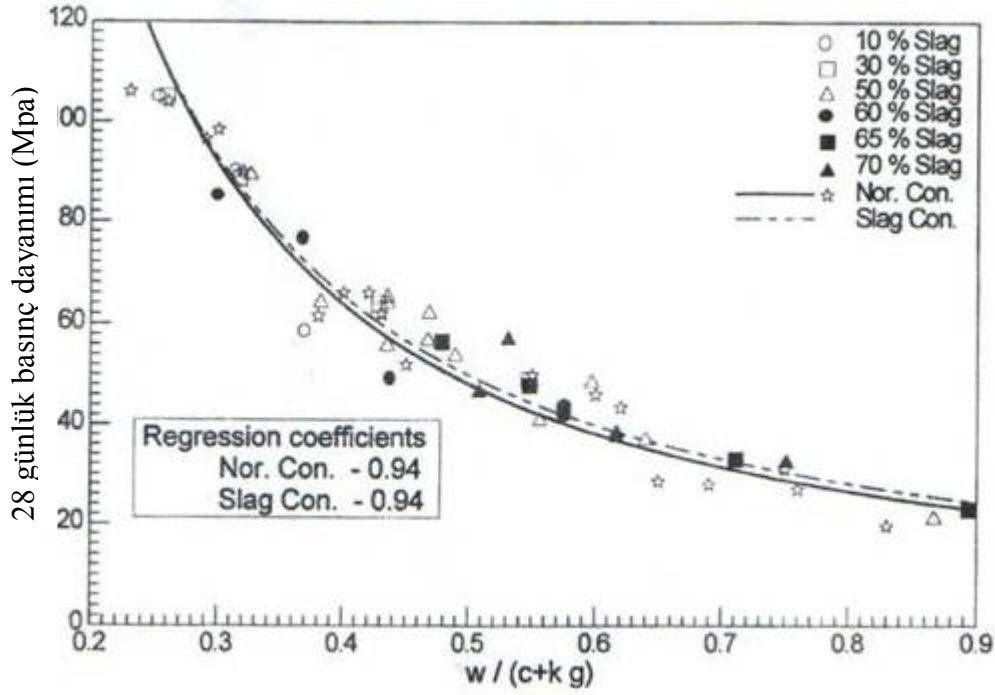
Şekil 2.1 28 günlük basınç dayanımı dağılımı - w / (c+keg) grafiği

Daha önce de söylenildiği gibi bütün katkı yüzdelerinde bu “ ke ” katsayısının tek başına $[w/ (c+keg)]$ dayanım değerlerini normal betonun su-çimento oranına $[w/co]$ ve dayanım değerlerine yaklaştırmadığı gözlenmiştir. Bu aşamada yüksek fırın cürüflü betonun dayanım değerleri normal betonun dayanım değerlerine yaklaştıracak etkinlikteki Yüzde Katkı etkisi, aradaki farkı kapatacak olan “ Yüzde etkinlik faktörü (kp)” değerinin hesaba katılmasıyla formül tamamlanır. Bu değer %10 ila %80 katkı yüzdeleri arasında 1,29 ve 0,70 arasında değişen değerler aldığı gözlenmiştir [22].



Şekil 2.2 28 günlük basınç dayanımı dağılımı - $w / (c+kg)$ grafiği

Şekil 2.2'de 28 günlük $[w/(c+keg+kpg)]$ değerlerine göre tipik dayanım değişimleri gösterilmiştir. Burdada ke ve kp gibi iki etkinlik katsayısını formülde uygulanmasıyla farklı katkı yüzdelerindeki yüksek fırın cürufllu betonların dayanımının normal betonun dayanımına yaklaştığı görülür [22].



Şekil 2.3 Hesaplanmış etkinlik değerlerinin geçerlilik değerleri

Şekil 2.3’de en yakın dayanım değerlerine sahip cüruflu betonun normal betonla beraber karşılaştırılmış hali gösterilmektedir. 28 gün için yüksek fırın cüruflu betonların regresyon katsayısı 0,94 olarak bulundu. Bu formüldeki k etkinlik katsayısı % 50 katkı yüzdesi için % 8,6 ve % 65 katkı yüzdesi için % 19,5 artış ihtiyacı duyacaktır. Bu artışlarla 28 günlük normal betonla bu oranlarda cüruflu betonların dayanım eşitliği sağlanacaktır [22].

1996 yılında The European Standart Organization (CEN) k etkinlik faktörünün saptanması için bir çalışma grubu kurulmasını kararlaştırdı. 2000 yılında da CEN TC 140 SC1 adına çalışma grubu (WG 12) yayınladığı raporunda k etkinlik katsayısının belirlenmesi için çeşitli metodlar önermiştir. 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 2,4’de gösterilmiştir. Biz bu çalışmada bu metodu yüksek

fırın cürufu için uygulucuz. Bu metodu diğer metotlardan ayıran en önemli nokta çimento miktarının sabit olması ve onun üzerine belirli oranlarda yüksek fırın cürufu eklenmesidir. Bununla ilgili formülasyon şu şekidedir;

$$\frac{W}{C} = \frac{W'}{C + kf} = \frac{W'}{C(1 + \frac{kf}{C})} \quad \text{Buradan;} \quad (2.3)$$

$$W_0 = W_\varphi / (1 + k\varphi) \quad \text{denklemi elde edilir.} \quad (2.4)$$

k = Etkinlik faktörü

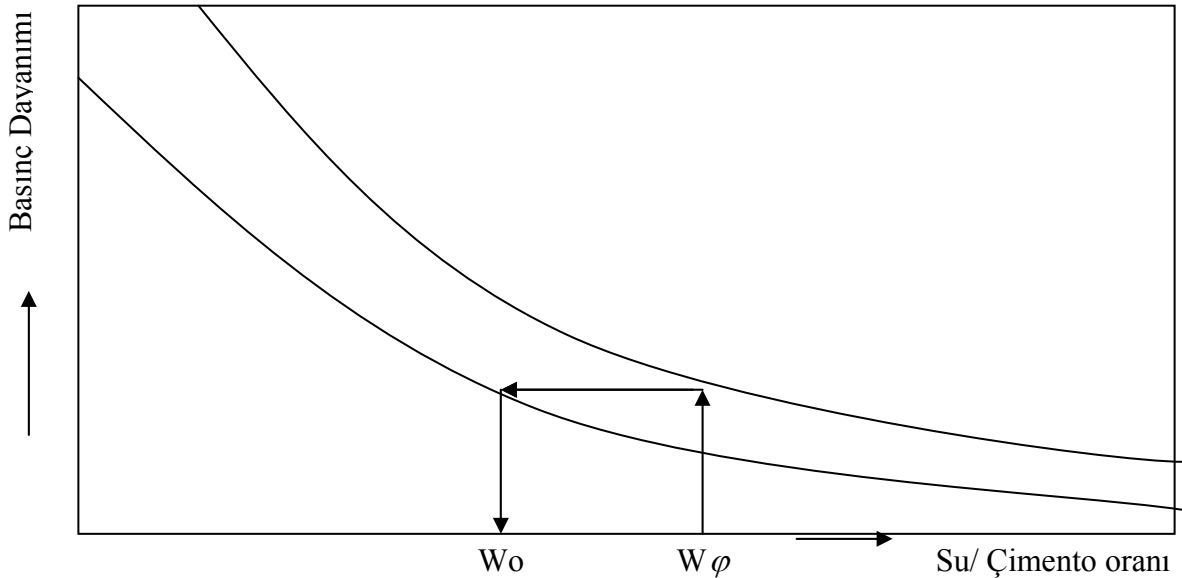
φ = Yüksek Fırın Cürufu/çimento oranı

W_0 = Kontrol betonunun su/çimento oranı

W_φ = Yüksek Fırın Cürufu betonunun su/çimento oranı

4.4 denkleminde k değerini çekersek;

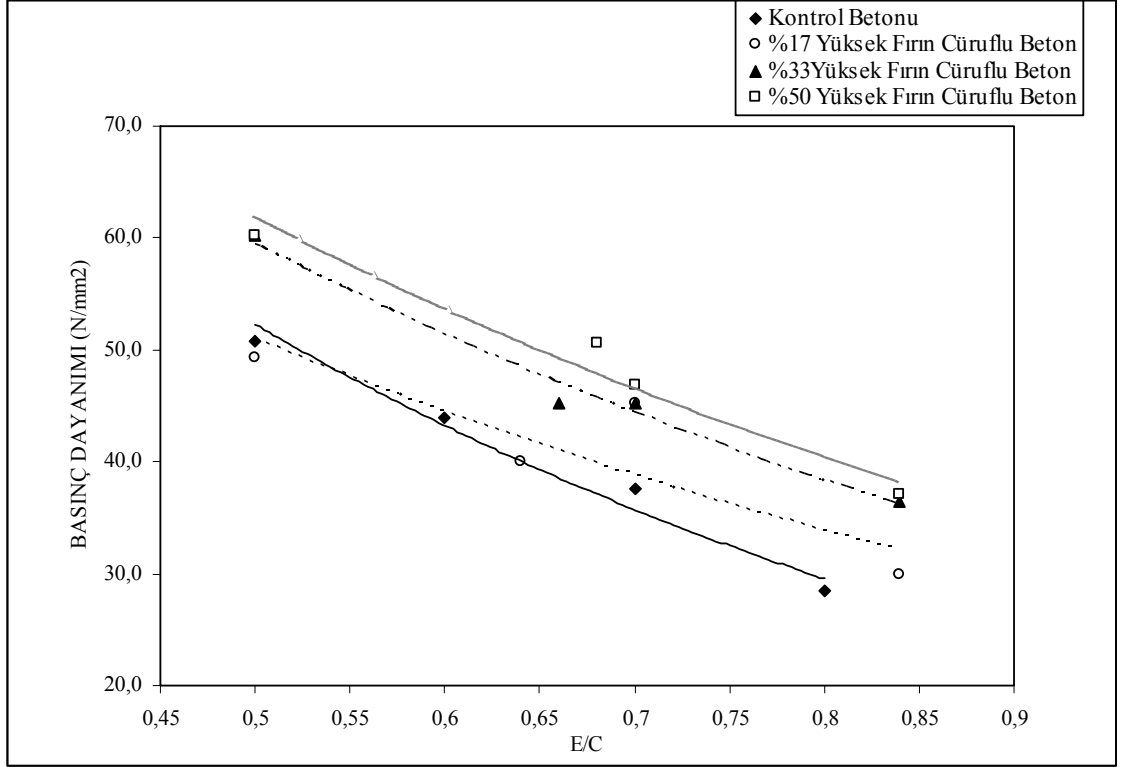
$$k = [(W_\varphi / W_0) - 1] \times (1 / \varphi) \quad (2.5)$$



Şekil 2.4 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 2.5'de 28 günlük yüksek fırın cürufu numunelerin çalışma grubunun önerdiği metoda göre bulmuş olduğumuz k etkinlik değerleri-su/çimento oranı grafiği verilmiştir [23].



Şekil 2.5 Su/çimento oranı ve k etkinlik faktörü arasındaki ilişki

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

1) Lineer İlişki Metodu: Bu metod 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 cürufu beton karışımı olması gerekmektedir.

$$\beta_{D0}=a_0-b_0w_0 \quad (2.6)$$

$$\beta_{DF}=a_f-b_fw \varphi \quad (2.7)$$

W_0 : Kontrol betonunun su/çimento oranı

W_φ : Yüksek Fırın Cürüflü betonun su/çimento oranı

β_{D0} : Kontrol betonunun basınç dayanımı

β_{DF} : Yüksek fırın cürüflü betonun basınç dayanımı

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

Burada $\beta_{DF} = \beta_{D0}$ eşitliğini uygulayarak ve 2.5 denklemini kullanarak k değerini çekilirse aşağıdaki denklem elde edilir;

$$k = [W_0 b_0 / a_0 - (a_f - b_f W_\varphi) - 1] * 1 / \varphi \quad (2.8)$$

2) Karşıt ilişki metodu: Bu metot sınırlı bir arada basınç dayanımı-1/su/çimento oranı arasındaki lineer ilişki kullanılarak uygulanmaktadır. Buradaki ilişki şu formüllerle açıklanabilir;

$$fc_1 = A + B / W_0 \quad (2.9)$$

$$fc_2 = P + Z / W_\varphi \quad (2.10)$$

Bu metotta da daha önceki metotta olduğu gibi fc_1 ve fc_2 denklemleri eşitlenip, 2.12 denklemi kullanılarak k etkinlik değeri bulunmaktadır.

3) Eşit işlenebilme metodu: Bu metodun temel noktası kontrol betonlarının ve yüksek fırın cürufu eklenen betonların eşit çökmeye sahip olmasıdır. Bu eşit çökme yüksek fırın cürufu eklenen betonlara su ekleyerek veya akışkanlaştırıcı kullanılarak sağlanır. Daha sonra kontrol betonlarının ve yüksek fırın cürüflü betonların daha önceki metotlardaki gibi dayanım-su/çimento oranı grafikleri çizilerek 2.5 denkleminde k etkinlik faktörü bulunur.

Şimdiye kadar yapılan çalışmalar sonucunda yüksek fırın cürufunun etkinlik faktörünün hesabında belli bir fikir birliğine varılamamıştır. Bunun nedenide k etkinlik değerinin birçok faktöre bağlı olması ve ke etkinlik faktörünün bulunması için çok farklı yöntemlerin olmasıdır. Bu tez çalışmasında k etkinlik faktörünü

bulmak için CEN TC 140 SC1 adına çalışma grubunun önerdiği grafiksel metodlardan eşit işlenebilme metodu kullanılmıştır. Karşılaştırılacak olan kontrol betonu ve yüksek fırın cürufu betonlar eşit çökme değerleri verilecek şekilde üretilmiştir. Çalışmada Karçimsadan yüksek fırın cürufu ve CEM I 42.5 çimento kullanılmıştır. Çimento dozajı 270 kg/m^3 seçilerek düşük CEM I 42.5 çimentolu düşük dozajlı betonlardaki yüksek fırın cürufunun etkinliği bulunmuştur. Bunun yanında yüksek dozajda yüksek fırın cürufu kullanımının poroziteye olan etkisini incelemek için su emme deneyleride yapılmıştır [23].

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR:

3.1 Çalışmanın Amacı:

Bu çalışmada Akçansanın Karçimsa fabrikasından sağlanan öğütülmüş Yüksek fırın cürufu ve Lafarge Aslan çimento fabrikasından sağlanan CEM I 42.5çimento kullanılmıştır. Düşük çimento dozajı seçilerek (270 kg/m^3) Yüksek fırın cürufunun betonun mekanik özelliklerine etkisi incelenmekte ve etkinliği belirlenmektedir. Çalışmanın ana amacı olan k etkinlik faktörünün belirlenmesinde bugüne kadar birçok çalışma yapılmış ve çok farklı yöntemler denenmiştir. Bu çalışmada basınç dayanımı- su/çimento oranı ve su emme- su/çimento oranı arasındaki ilişki kullanılarak iki türlü k etkinlik katsayısının belirlenmesi amaçlanmış ve CEN TC 140 SC1 adına çalışma grubunun önerdiği metotlardan eşit işlenebilme methodu kullanılmıştır.

3.2 Üretilen betonların özellikleri:

İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarında yapılan çalışmada üç farklı uçucu kül ekleme oranı (%17,%33,ve %50), dört farklı su/çimento oranı ve kontrol betonu da olmak üzere toplam on altı seri beton üretilmiştir. Numuneler $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ 'lik su içerisinde ve $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ' ile $\%65 \pm 5$ rutubetli ortamda saklanmıştır.

Üretilen betonlarda PÇ 42.5 çimento ve Yüksek Fırın Cürufu kullanılmıştır. Çimento dozajı sabit olarak 270 kg/m^3 seçilmiştir. İlk önce dört çeşit oranda (0,50, 0,60, 0,70 ve 0,80) kontrol betonu üretilmiş daha sonra aynı işlenebilirliği verecek şekilde üç farklı oranda yüksek fırın cürufu eklenen (%17, %33 ve %50) betonlar üretilmiştir. Aynı işlenebilirlik yüksek fırın cürufu içeren betonlarda ihtiyaç olduğu takdirde su ilave edilerek sağlanmıştır. 0,50, 0,60 ve 0,70 su/çimento oranlarında üretilen kontrol betonu ve Yüksek Fırın Cürufu eklenen betonlarda süperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Çalışmada agrega granülometrisi ve agrega türü aynı kalmış, maksimum dane çapı 32 mm seçilmiştir. Üretilen betonların karışım oranlarına göre isimlendirilmesi Tablo 3,1'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1 Üretilen Betonların İsimlendirilmesi

Uçucu Kül Ekleme Yüzdesi (%)	Üretim Grupları
0	Kon50
17	C17K50
33	C33K50
50	C50K50
0	Kon60
17	C17K60
33	C33K60
50	C50K60
0	Kon70
17	C17K70
33	C33K70
50	C50K70
0	Kon80
17	C17K80
33	C33K80
50	C50K80

Kon 50; Su/çimento oranı 0.5 olan kontrol betonu

C17K50; Kontrol betonunun su/çimento oranı 0.5 olan eşit işlenebilmeli %17

Yüksek Fırın Cürufu eklenmiş beton

3.3 Kullanılan Malzeme Özellikleri:

3.3.1 Çimento:

Beton üretiminde Lafarge Aslan çimento fabrikasının üretimi olan CEM I 42,5 tipi çimento kullanılmıştır. Çimentonun kimyasal özelliklerini, fiziksel ve mekanik özelliklerini gösteren deneyler Lafarge Aslan çimento fabrikasında yapılmış, Bu deneylerin sonuçları Tablo 3.2, Tablo 3.3 ve Tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.2 Portland çimentosunun mekanik özellikleri

Gün	Basınç Dayanımları (N/mm ²)
7	48,0
28	58,7

Tablo 3.3 Portland çimentosunun fiziksel özellikleri

Özgül Ağırlık (kg/dm ³)		3.14
Priz süresi	Başlangıç	150 dakika
	Son	180 dakika
Hacim Sabitliği (Le Chatelier) Toplam (mm)		0,5
İncelik	Özgül Yüzey (Blaine) cm ² /gr	3490
	200 μ m elek üstünde kalan yüzde (%)	0,1
	90 μ m elek üstünde kalan yüzde (%)	1

Tablo 3.4 Portland çimentosunun kimyasal özellikleri

Kimyasal Bileşimin Tanımı	Kimyasal Bileşimin Yüzdesi
Toplam SiO ₂	20,11
Çözünmeyen Kalıntı	0,57
Al ₂ O ₃	4,90
Fe ₂ O ₃	2,83
CaO	64,37
MgO	1,49
SO ₃	2,98
K ₂ O	0,72
Na ₂ O	-
Kızdırma Kaybı	2,40
Tayin Edilemeyen	0,20
S. CaO	0,67
Klorür	0,02
Rutubet	-
C ₃ S	61,41
C ₂ S	11,33
C ₃ A	8,20
MS	2,60
MA	1,73

3.3.2 Agregalar:

Çalışmada agrega olarak Kum, Kırmataş Tozu, Kırmataş I ve Kırmataş II kullanılmıştır. Agregaların TS 3526'ya göre ölçülmüş özgül ağırlıkları Tablo 3.5'de verilmiştir. Deneylerde kullanılan TS 3530'a göre yapılan elek analizi sonuçları Tablo 3.6'da görülmektedir. Agrega karışım granülometrisi B32 ile C32 eğrisi arasında bi eğri olarak seçilmiş olup Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

Tablo 3.5 Agregaların özgül ağırlık değerleri

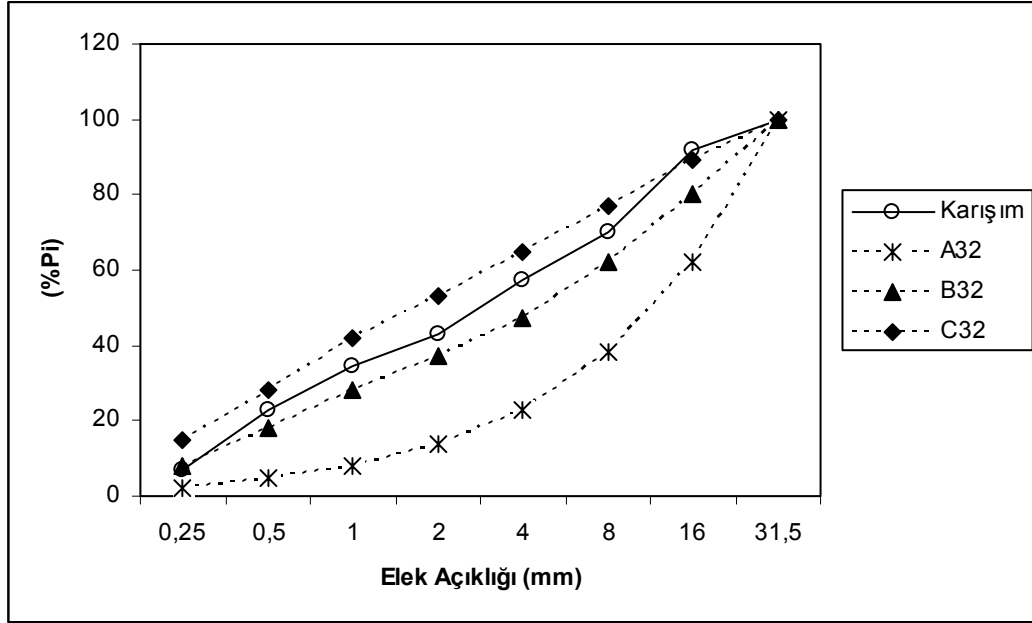
Malzeme	Özgül ağırlık kg/dm ³
Kum	2,59
Kırmataş tozu	2,70
Kırmataş I	2,69
Kırmataş II	2,72

Tablo 3.6 Agregaların elek analizi sonuçları

Elek Boyutu	31,5	16	8	4	2	1	0,5	0,25
Kum %30	100	100	100	99	95	77	56	11
Kırmataş tozu %25	100	100	100	95	58	43	24	14
Kırmataş I	100	100	60	14	1,4	1,1	0,5	0
Kırmataş II	100	59	0	0	0	0	0	0
Karışım	100	92	70	57	43	34	23	7

Tablo 3.7 Standart karışım elek analizi değerleri

Elek Boyutu	31,5	16	8	4	2	1	0,5	0,25
A32	100	62	38	23	14	8	5	2
B32	100	80	62	47	37	27	18	8
C32	100	89	77	65	53	42	28	15
A16	100	100	60	36	21	12	7	3
B16	100	100	76	56	42	32	20	8
C16	100	100	88	74	62	49	34	18
Karışım	100	92	70	57	43	34	23	7



Şekil 3.1 TS 706 referans ve karışım granülometri eğrileri

3.3.3 Yüksek Fırın Cürufunun Özellikleri:

Çalışmada kullanılan Yüksek Fırın Cürufu Akçansanın Karçimsa fabrikasından alınmış olup kimyasal ve fiziksel özelliklerini gösteren deneyler orada yapılmıştır. TS EN 450'ye göre yapılmış deneylerde Yüksek Fırın Cürufunun özgül ağırlığı $2,88 \text{ gr/cm}^3$ bulunmuştur. Bu deneylere ait veriler Tablo3.8 ve Tablo3.9'da verilmiştir.

Tablo 3.8 Yüksek Fırın Cürufunun kimyasal bileşimi

Kimyasal Bileşimin Tanımı	Kimyasal Bileşimin Yüzdesi (%)
Ca CO ₃ + Mg CO ₃	-
H ₂ O	1,10
Çözünmeyen Kalıntı	-
Si O ₂	38,88
Al ₂ O ₃	10,87
Fe ₂ O ₃	2,78
CaO	34,01
MgO	9,09
S O ₃	2,654
Na ₂ O	0,35
K ₂ O	1,31
Klorür (Cl)	0,0227
Kızdırma kaybı (Loos on ignition)	0,00

Tablo 3.9 Yüksek Fırın Cürufunun fiziksel özellikleri

Özgül Ağırlık (kg/dm ³)		2,88
Hacim Sabitliği (Le Chatelier) Toplam (mm)		1
İncelik	Özgül Yüzey (Blaine) cm ² /gr	4340
	200 μ m elek üstünde kalan yüzde (%)	0
	90 μ m elek üstünde kalan yüzde (%)	0
	45 μ m elek üstünde kalan yüzde (%)	1,2

3.3.4 Süper Akışkanlaştırıcının Özellikleri:

Çalışmada yoğunluğu 1,06 kg/dm³ olan polikarboksil bazlı hiperakışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Hiperakışkanlaştırıcı, su/çimento oranı 0.5 olan kontrol betonu ve eşit işlenebilmeli yüksek fırın cürufu betonlarda %2,35, su/çimento oranı 0.6 olan kontrol betonu ve eşit işlenebilmeli yüksek fırın cürufu betonlarda ise %1,3, ve su/çimento oranı 0.7 olan kontrol betonu ve eşit işlenebilmeli yüksek fırın cürufu betonlarda % 0,9 oranlarında kullanılmıştır. Su/çimento oranı 0.8 olan kontrol betonu ve eşit işlenebilmeli yüksek fırın cürufu betonlarda ise hiperakışkanlaştırıcı kullanılmamıştır.

3.4 Beton Karışımları:

Çimento dozajı 270 kg/m³ seçilerek en büyük agrega boyutu ve granülometrisi belirlenmiştir. Karşılaştırılacak kontrol betonu ve yüksek fırın cürufu betonlarda işlenebilirlik sabit tutulmuştur. Üç farklı yüksek fırın cürufu ekleme oranında (%17, %33 ve %50) ve dört farklı su/çimento oranında beton üretilmiştir. Her serisi 42 dm³ üretilen 16 seri beton için 1 m³'e giren gerçek malzeme miktarları Tablo 3.9' da verilmiştir.

3.5 Beton Üretimi, Karıştırma, Yerleştirme, Saklama ve Numune Boyutları :

Beton üretimi, 45 dm³ kapasiteli düşey eksenli karıştırıcıda yapılmıştır. Eşit işlenebilirliği sağlayabilmek için yüksek fırın cürufu eklenen her seri için deneme betonları yapılmış ve eklenecek su miktarları bulunmuştur. Her seride toplam 42 dm³ beton dökülmüş ve malzemeler ilk önce kuru olarak 2 dakika karıştırılmıştır. Ardından koyulacak suyun ½ 'si eklenerek 2 dakika karıştırılmıştır. En son olarak suyun geri kalan kısmı süperakışkanlaştırıcı ile karıştırılarak beton karışımına ilave edilmiş ve gerekli kıvama gelene kadar karıştırma devam etmiştir. Daha sonra numuneler yağlanmış olan kalıplara yerleştirilmiştir. Su/çimento oranı düşük olan numuneler kısım kısım kalıplara yerleştirilerek vibrasyon uygulanmış ve betonun iyi bir şekilde yerleşmesi sağlanmıştır.

Toplam 10 adet 15×15×15 cm boyutlarındaki küp ve 1 adet 10×10×50 cm boyutlarındaki prizma 24 saat sonra kalıplardan çıkarılarak 23±2 °C 'lık su içerisinde ve 20 °C ile %65±5 rutubetli ortamda saklanmıştır. 7,28 ve 90. günler sonunda üretilen numuneler hava ve su ortamında alınarak sertleşmiş beton deneyleri yapılmıştır.

3.6 Taze Beton Denevleri:

Her seride istenilen işlenebilirliği sağlamak amacıyla su ihtiyacını tespit edebilmek için 20 dm³'lük betonlar üretilmiştir. Karışım için gerekli su miktarı bulunduğundan sonra 42 dm³'lük asıl betonlar dökülmüştür. Her seride işlenebilirliğin belirlenebilmesi için çökme konisiyle deney yapılmış 7,24 dm³'lük kapta taze beton ağırlığı ölçülerek taze beton birim ağırlığı hesaplanmıştır. Üretilmiş olan karışımların birim ağırlıklarının belirlenmesi sonucu karışımdaki gerçek malzeme ve hava miktarları bulunmuştur. Bu değerler tablo 3.9'da gösterilmiştir.

3.7 Sertleşmiş Beton Denevleri:

Sertleşmiş beton deneyleri 15×15×15 cm boyutlarındaki küp numunelerde ve 10×10×50 cm'lik prizma numunelerde yapılmıştır. Toplam 10 adet üretilen küp numunelerin 5 tanesi 23±2 °C 'lık su içerisinde ve 5 tanesi 20 °C ile %65±5

rutubetli laboratuvar odasında saklanmıştır. Her seride 1 adet üretilen prizma numuneler 24 saatten sonra 4 eşit parçaya kesilmiştir. Kesilen numunelerden 2 tanesi 23 ± 2 °C 'lık su içerisinde diğer ikisi de 20 °C ile $\%65 \pm 5$ rutubetli laboratuvar odasında saklanmıştır.

Gerek suda gerekse hava ortamında bekletilen küp numuneler üzerinde 7,28 ve 90. günlerde sabit yükleme hızı altında basınç deneyleri yapılmıştır.

Su ve hava ortamında bekletilen $10 \times 10 \times 10$ cm'lik kesilmiş prizma numunelerinde 28. günde su emme deneyleri yapılmıştır. 28. günde Etüvde 2 gün bekleyip tartılan numuneler daha sonra suda iki gün bekletip tekrar tartılmıştır ve su emme deneyi yapılmıştır.

Üretilen betonların gerçek bileşimleri :

BETON KODU	Çimento (kg/m ³)	YFC (kg/m ³)	Kum (kg/m ³)	Kırma kum (kg/m ³)	Kırma taş-1 (kg/m ³)	Kırma taş-2 (kg/m ³)	Su (kg/m ³)	Katkı miktar (kg)	Çökme (cm)	Hava Boşluğu (%)	Birim ağırlık (kg/m ³)	Kompasite (m ³ /m ³)
KON 50	264	0	560	487	485	392	132	6,34	9	6,3	2,32	0,801
C17K50	268	46	557	484	482	390	134	6,34	10	4,8	2,36	0,816
C33K50	272	90	554	481	479	388	136	6,34	10	3,4	2,4	0,831
C50K50	272	136	543	472	470	380	136	6,34	9	3,1	2,41	0,833
KON 60	269	0	560	486	485	392	162	3,57	10	3,2	2,35	0,806
C17K60	268	46	544	473	471	381	170	3,57	9	2,8	2,35	0,8
C33K60	266	88	529	460	458	371	176	3,57	10	2,8	2,34	0,8
C50K60	265	133	515	448	446	361	182	3,57	10	2,4	2,35	0,79
KON 70	274	0	548	476	474	384	192	2,5	11	1,6	2,34	0,795
C17K70	274	47	535	465	463	375	192	2,5	12	1,7	2,34	0,794
C33K70	271	90	519	451	449	363	190	2,5	12	2,5	2,33	0,786
C50K70	274	137	512	444	443	358	192	2,5	14	1,5	2,36	0,795
KON 80	273	0	548	457	455	368	219	0	13	0,9	2,32	0,775
C17K80	270	46	506	439	438	354	227	0	14	2	2,28	0,752
C33K80	271	90	498	432	431	349	229	0	15	1,3	2,3	0,759
C50K80	271	136	485	421	420	339	229	0	14	1,4	2,3	0,757

4. DENEY SONUÇLARI:

4.1 Taze Beton Denev Sonuçları:

Taze beton deneylerinde, çökme deneyi ve birim ağırlık deneyi yapılarak hava miktarı değerleri hesaplanmıştır. Çökme deneyi için alt çapı 20 cm, üst çapı 10 cm ve yüksekliği 30 cm olan kesik çökme konisi kullanılmıştır. Koni 3 kademede doldurularak, her kısım 25 kere demir çubukla şişlenmiştir. Daha sonra koni sarsılmadan kaldırılarak çökme miktarı ölçölmüştür. Birim ağırlık deneyi için iç hacmi 7,24 dm³ olan birim ağırlık kabı kullanılmıştır. Taze betonun iyice yerleşmesi için vibrasyon uygulanmış ve daha sonra da tartılmıştır. Üretilen serilere ait taze beton deney sonuçları Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1 Taze beton deney sonuçları

Beton Kodu	ökme (cm)	Hava Miktarı (%)	Birim Ağırlık (kg/m ³)
KON 50	9	6,3	2,32
C17K50	10	4,8	2,36
C33K50	10	3,4	2,4
C50K50	9	3	2,41
KON60	10	3,2	2,35
C17K60	9	2,8	2,35
C33K60	10	2,8	2,34
C50K60	10	2,4	2,35
KON70	11	1,6	2,34
C17K70	12	1,7	2,34
C33K70	12	2,5	2,33
C50K70	14	1,5	2,36
KON80	13	0,9	2,32
C17K80	14	2	2,28
C33K80	15	1,3	2,3
C50K80	14	1,4	2,3

4.2 Sertleşmiş Beton Denev Sonuçları:

4.2.1 Basınc Dayanımı:

Su ve hava ortamında bekletilen numuneler üzerinde 7,28 ve 90. günler sonunda basınç deneyi yapılmıştır. Numuneler, kalıba temas eden yan yüzeyleri kuvvet yönüne dik olacak şekilde prese yerleştirilmiştir. Basınc dayanım değerleri, uygulanan basınç kuvveti P (N), basınç kuvvetinin uygulandığı alan A(mm²), elde edilen basınç dayanımı da σ_b (N/mm²) olmak üzere 4.1 bağıntısından hesaplanmış ve Tablo 4.2’de basınç dayanım sonuçları gösterilmiştir.

$$\sigma_b = \frac{P}{A} \quad 4.1$$

Tablo 4.2 Denev sonuçlarından elde edilen basınç dayanımı değerleri

BETON KODU	BASINÇ DAYANIMI (N/mm ²)					
	SU			HAVA		
	7.GÜN	28.GÜN	90.GÜN	7.GÜN	28.GÜN	90.GÜN
KON 50	48,4	50,8	55,5	43,6	52,3	53,3
C17K50	42,9	49,3	54,2	36,7	43,1	50,3
C33K50	46,7	60,2	64,5	40,4	54,4	62,2
C50K50	61,8	60,3	74,4	55,6	56	73,8
KON60	33,3	44	47,5	32,2	37,9	42,5
C17K60	31,7	40,1	39,6	32	33,2	37,2
C33K60	32,2	45,3	55,8	33,3	36,9	46
C50K60	36,7	50,7	48,4	36,4	45,5	50,2
KON70	28,9	37,6	43,9	26,7	36	37,7
C17K70	32,4	45,2	49,6	28,9	37,9	39,4
C33K70	36,5	45,3	54,2	34,4	37,9	43,5
C50K70	42,9	46,8	47,7	35,6	44,4	57,7
KON80	22,4	28,4	29	20,4	28,1	33,2
C17K80	23,2	29,9	37,6	19	29,1	33,9
C33K80	30,5	36,4	43,1	25,2	33,2	37,4
C50K80	31,4	37,1	47	26,6	34,4	40,4

4.2.2 Su emme deneyleri:

Su emme deneyleri suda ve laboratuarda hava ortamında bekletilen numuneler üzerinde 28. günlerde yapılmıştır. 10×10×50 cm ebatındaki numuneler mukavemet kazandıktan sonra dörde kesilerek iki adedi 23±2 °C su içerisinde diğer iki adedinde 20 °C ile %65±5 rutubetli laboratuvar ortamında 10×10×50 cm ebatında numuneler olarak 26 gün kadar bekletildikten sonra su emme deneyi uygulanacak olan bu numuneler 48 saat kadar 60 °C'lik etüvde beklemeye alınmıştır. Etüvden çıkarılan numuneler oda sıcaklığına geldikten sonra her birisi numaralandırılarak hassas tartıda tartılmıştır. Ağırlıkları not edildikten sonra bu numuneler bu seferde 48 saat suda beklemeye alınmıştır. Daha sonra sudan çıkarılan numuneler üzerleri havluyla kurularak fazla kurumadan tek tek hassas tartıda tartılmıştır. Böylece her bir numunenin suya doymuş ve etüvde kurumuş haldeki ağırlıkları bulunarak su emme miktarları belirlenmiştir ve Tablo 4.3'de gösterilmiştir.

Tablo 4.3 28 günlük numunelerin su emme deneyi için gerekli kuru ve yaş ağırlıkları

BETON KODU	SU				HAVA			
	S1		S2		H1		H2	
	Yaş(gr)	Kuru(gr)	Yaş(gr)	Kuru(gr)	Yaş(gr)	Kuru(gr)	Yaş(gr)	Kuru(gr)
KON50	2408,5	2364,5	2374	2329,2	2409,9	2367,5	2408,9	2366,7
C17K50	2282,8	2246,9	2350	2311,8	2300,5	2262	2282,9	2241,3
C33K50	2576,2	2544,5	2564,1	2534,1	2655,7	2621,1	2565,4	2536,1
C50K50	2527,4	2501,7	2497,1	2475,4	2525,7	2494	2456,9	2431,1
KON60	2423,6	2355,5	2366,2	2299,7	2423,2	2351,3	2414,4	2344,4
C17K60	2457,5	2386,3	2537,2	2462,7	2392,2	2321,3	2387,2	2316,9
C33K60	2404,8	2341,3	2415,6	2356,1	2479,1	2388,5	2438,5	2359,1
C50K60	2383,4	2333,2	2385	2341,6	2377,9	2293,3	2489,8	2414,9
KON70	2515,7	2436,2	2437,3	2361,4	2368,7	2282,5	2362,7	2279,5
C17K70	2352,6	2286,7	2441,2	2380,4	2380,1	2286,4	2396,8	2310,8
C33K70	2626	2576	2609,5	2558,5	2606,2	2528	2623,9	2548,2
C50K70	2551,9	2497,6	2543	2489,1	2505,4	2446,1	2552,3	2489,8
KON80	2612,6	2528,4	2551,4	2455,2	2473,3	2373	2279,2	2182,2
C17K80	2258,1	2175,7	2289,4	2198,2	2304,1	2221,5	2266,2	2165,3
C33K80	2421,3	2351,6	2426,7	2354,5	2310,7	2205,2	2366	2265,1
C50K80	2330,3	2265,7	2386,9	2318,4	2382,3	2287,3	2336,5	2243,3

Su emme katsayılarını hesaplamak için Tablo 4.3'deki ağırlık değerlerini kullanarak TS 3624 standardına göre belirlenmiş Ağırlıkça Su Emme Oranını bulmak için gerekli olan ve 4.2' de tarif edilmiş olan bağıntı kullanılır [24].

$$S_a = \frac{B - A}{A} \times 100 \% \quad 4.2$$

Bu denklemde;

S_a: Ağırlıkça su emme oranı(%)

B : Beton numunenin yaş ağırlığı(gr)

A : Beton numunenin kuru ağırlığı(gr)

Her bir seri için iki numune üzerinde su emme deneyi yapılmış daha sonra bunların ortalaması alınarak su emme katsayıları bulunmuştur. Örnek olarak KON 60 S1 betonu için ağırlıkça su emme oranı;

$$S_a = \frac{2423,6 - 2355,5}{2355,5} \times 100 = 2,89 (\%)$$

Tüm numuneler için Su Emme katsayısı Tablo 4.4'de gösterilmiştir.

Tablo 4.4 Üretilen 28 günlük betonların ağırlıkça su emme oranları

BETON KODU	AĞIRLIKÇA SU EMME ORANI (%)	
	SU	HAVA
KON50	1,89	1,79
C17K50	1,63	1,78
C33K50	1,21	1,24
C50K50	0,95	1,17
KON60	2,89	3,02
C17K60	3,00	3,04
C33K60	2,62	3,58
C50K60	2,00	3,40
KON70	3,24	3,71
C17K70	2,72	3,91
C33K70	1,97	3,03
C50K70	2,17	2,47
KON80	3,62	4,34
C17K80	3,97	4,19
C33K80	3,02	4,62
C50K80	2,90	4,15

4.2.3 k Etkinlik Faktörünün Belirlenmesi:

Bu çalışmada k etkinlik faktörü, üretilen betonların basınç dayanımları, su emme katsayıları ve su/çimento oranları incelenerek bulunmuştur. CEN TC 104 SC1 adına çalışma grubunun önerdiği metotlardan eşit işlenebilme methodu kullanılarak k etkinlik faktörü değerleri hesaplanmıştır. Bunun için önce dört farklı oranda (0,50, 0,60, 0,70, 0,80) kontrol betonları üretilmiş ve kontrol betonlarının çökme değerleri bulunmuştur. Daha sonra çimento miktarı sabit tutularak üç farklı oranda (%17,%33 ve %50) Yüksek Fırın Cürufu eklenerek betonlar üretilmiştir. Yüksek Fırın Cürufu betonların üretimindeki temel nokta, kontrol betonuyla yüksek fırın cüruf ilave edilen betonların eşit işlenebilirliğe sahip olmasıdır. Süperakışkanlaştırıcı katkı maddesi kontrol betonu ve eşit işlenebilmeli yüksek fırın cürufu eklenen betonlarda aynı oranlarda kullanılmıştır. Eşit işlenebilme yüksek fırın cürufu ilave edilen betonlarda gerektiği takdirde su ilave edilerek sağlanmıştır.

k etkinlik faktörünün belirlenebilmesi için öncelikli olarak, numunelerin basınç dayanımları ve su/çimento oranları arasındaki grafik çizilmiştir. Bu grafik üzerinde kontrol betonu ve Yüksek Fırın Cürufu beton arasındaki ilişki incelenmiştir. Aynı basınç dayanımındaki yüksek fırın cürufu beton diyagramlarının normal beton diyagramlarına çakışması sağlanarak k etkinlik faktörü bulunmuştur. Bu şekilde, deneyler sonucunda grafik üzerinde elde edilmiş her bir nokta için k etkinlik faktörü bulmak mümkündür. Elde edilen değerler, yüksek fırın cürufu yüzdesine göre ayrılarak ortalaması alınmış ve böylece her bir yüksek fırın cürufu yüzdesi için ayrı ayrı k etkinlik faktörü değerleri bulunmuştur. Aynı işlemler Su emme katsayısının tersi(1/Sa) ve su/çimento oranları arasındaki grafik çizilerek yapılmıştır. Böylece Su emme katsayısına göre etkinlik faktörü değerleri bulunmuştur. K etkinlik faktörüyle ilgili formülasyon şu şekildedir;

$$\frac{W}{C} = \frac{W'}{C + kf} = \frac{W'}{C(1 + \frac{kf}{C})} \quad \text{Buradan;} \quad (4.3)$$

$$W_o = W_\varphi / (1 + k\varphi) \quad \text{denklemini elde edilir.} \quad (4.4)$$

k = Etkinlik faktörü

φ = Yüksek Fırın Cürufu/çimento oranı

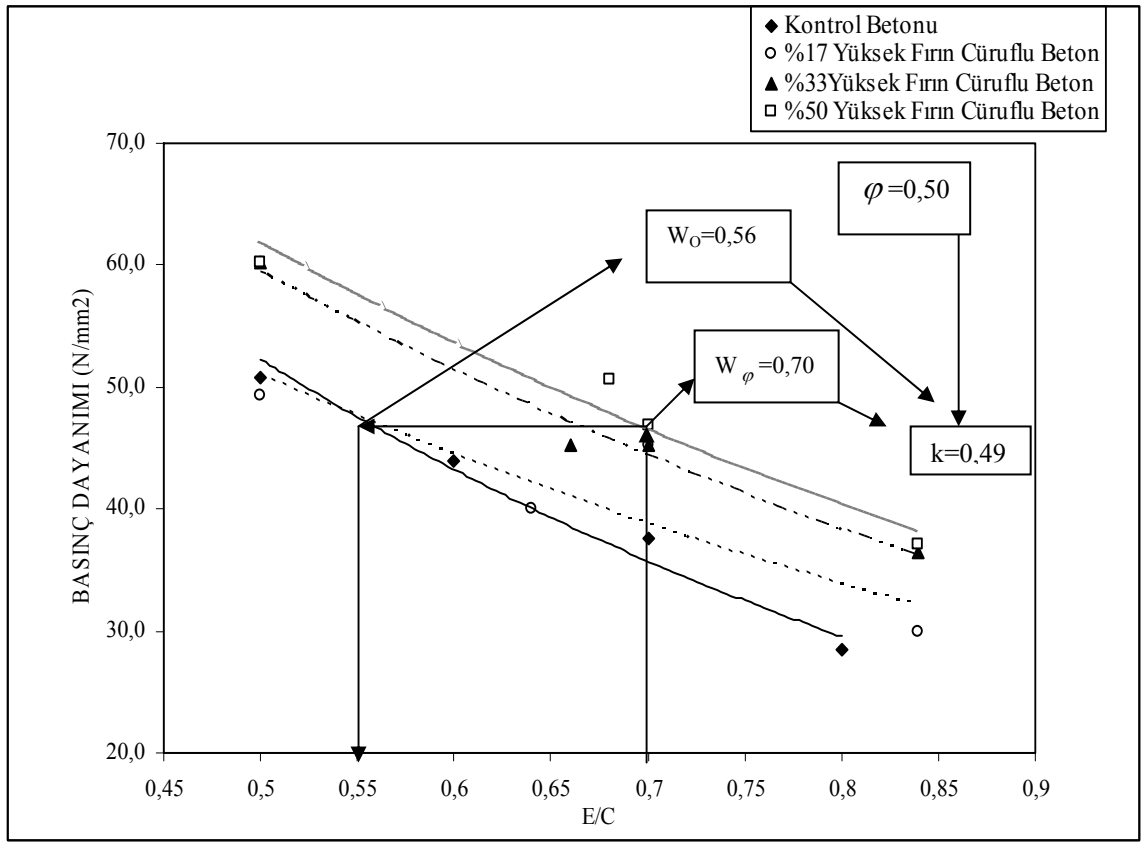
W_o = Kontrol betonunun su/çimento oranı

W_φ = Yüksek Fırın Cürüflu betonun su/çimento oranı

4.4 denkleminde k değerini çekersek;

$$k = [(W_\varphi / W_0) - 1] \times (1 / \varphi) \quad (4.5)$$

Bu methodun daha iyi anlaşılabilmesi için Şekil 4.1'deki örneğin incelenmesi uygun olacaktır.



Şekil 4.1 28 günlük su içerisinde saklanmış, 0.70 su/çimento oranlı %50 yüksek fırın cürüflu numunede k etkinlik faktörünün bulunması

Şekil 4.1'de görülen örnekte 0,70 su/çimento oranı ile üretilmiş %50 yüksek fırın cürüflu numunenin 28 günlük basınç dayanımı, 0,56 su/çimento oranı ile üretilmiş kontrol betonunun basınç dayanımına eşittir. Bu şekilde, 0,70 su/çimento oranı ile üretilmiş %50 yüksek fırın cürüflu numunenin k etkinlik faktörü 4.5 denklemi kullanılarak 0,49 olarak bulunmuştur. Aynı şekilde grafikteki her su/çimento oranı için aynı uygulamayı yaparak, 0.50, 0.55, 0.60, 0.65, 0.70, 0.75 ve 0.80 oranında

su/çimento içeren betonlar için k etkinlik faktörü değerleri bulunmuştur. Tablo 4.5'de 7.,28. ve 90. günlerde yüksek fırın cürufllu betonların k etkinlik faktörü değerleri bulunmuştur. Aynı yöntemle Su emme katsayısının tersi(1/Sa) su/çimento oranı grafiği kullanılarakta k etkinlik katsayısı değerleri bulunmuştur.

Tablo 4.5 Mukavemet için k etkinlik faktörü değerleri

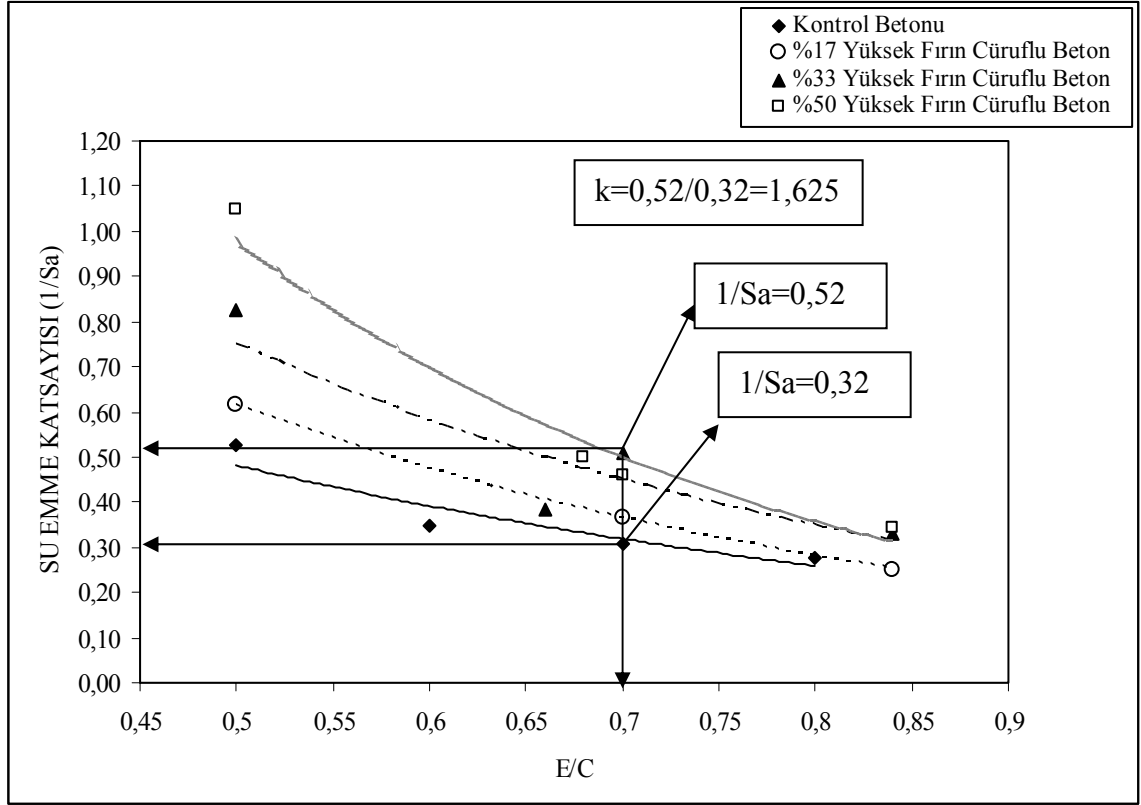
BETON KODU	k ETKİNLİK FAKTÖRÜ					
	Su içinde			Hava ortamında		
	7. GÜN	28.GÜN	90.GÜN	7. GÜN	28.GÜN	90.GÜN
C17K50	0	0	0	0	0	0
C17K55	0	0	0,22	0	0	0
C17K60	0	0,203	0,47	0	0	0
C17K65	0,18	0,236	0,77	0	0	0,19
C17K70	0,35	0,334	0,98	0,13	0,26	0,26
C17K75	0,42	0,42	1,12	0,19	0,42	0,38
C17K80	0,43	0,47	1,36	0,23	0,65	0,48
%17 kort	0,35	0,33	0,82	0,18	0,44	0,33
C33K50	0	0,49	0,49	0	0,19	0,57
C33K55	0,17	0,51	0,59	0,05	0,3	0,59
C33K60	0,27	0,51	0,71	0,21	0,36	0,68
C33K65	0,42	0,58	0,83	0,25	0,42	0,72
C33K70	0,5	0,59	0,9	0,39	0,43	0,75
C33K75	0,63	0,6	0,99	0,46	0,46	0,75
C33K80	0,68	0,61	1,07	0,53	0,51	0,81
%33 kort	0,45	0,56	0,79	0,32	0,38	0,7
C50K50	0,5	0,4	0,38	0,5	0,32	1,7
C50K55	0,5	0,44	0,44	0,45	0,39	1,33
C50K60	0,52	0,5	0,5	0,5	0,45	1,15
C50K65	0,52	0,5	0,55	0,45	0,45	0,95
C50K70	0,5	0,49	0,55	0,41	0,46	0,8
C50K75	0,5	0,52	0,61	0,42	0,48	0,73
C50K80	0,5	0,53	0,66	0,42	0,5	0,67
%50 kort	0,51	0,48	0,53	0,45	0,44	1,04

Tablo 4.6 Ağırlıkça su emme oranı için için k etkinlik faktörü değerleri

BETON KODU	k ETKİNLİK FAKTÖRÜ (k=1/Sa)					
	Su içinde			Hava ortamında		
	7. GÜN	28.GÜN	90.GÜN	7. GÜN	28.GÜN	90.GÜN
C17K50	-	1,85	-	-	0,25	-
C17K55	-	1,3	-	-	0,22	-
C17K60	-	1,03	-	-	0,3	-
C17K65	-	0,76	-	-	0,38	-
C17K70	-	0,6	-	-	0,45	-
C17K75	-	0,42	-	-	0,42	-
C17K80	-	0,31	-	-	0,39	-
%17 kort	-	0,90	-	-	0,34	-
C33K50	-	2,28	-	-	1,29	-
C33K55	-	1,73	-	-	1,03	-
C33K60	-	1,4	-	-	0,75	-
C33K65	-	0,98	-	-	0,55	-
C33K70	-	0,82	-	-	0,45	-
C33K75	-	0,75	-	-	0,31	-
C33K80	-	0,16	-	-	0,2	-
%33 kort	-	1,16	-	-	0,65	-
C50K50	-	4,25	-	-	1,17	-
C50K55	-	2,58	-	-	0,89	-
C50K60	-	1,75	-	-	0,66	-
C50K65	-	1,25	-	-	0,6	-
C50K70	-	0,92	-	-	0,42	-
C50K75	-	0,68	-	-	0,31	-
C50K80	-	0,46	-	-	0,25	-
%50 kort	-	1,70	-	-	0,61	-

4.2.4 Oranlama Methoduna göre k Etkinlik Faktörünün Belirlenmesi:

Su emme katsayısı ve su/çimento oranı için sadece eşit işlenebilme methodu değil aynı zamanda oranlama methodu kullanılarak k etkinlik faktörü değerleri hesaplanmıştır. Bu methodda yine aynı grafik üzerinde eşit işlenebilme metodundan farklı olarak aynı su/çimento değeri üzerinde yüksek fırın cürüflü betonun 1/Sa değerini kontrol betonunun 1/Sa değerine oranlamak usulüyle hesaplanan bir yöntemdir. Bu methodun iyi anlaşılabilmesi için Şekil 4.2'deki örneğin incelenmesi uygun olacaktır.



Şekil 4.2 28 günlük su içerisinde saklanmış, 0,70 su/çimento oranlı %50 yüksek fırın cürüflü numunede oranlama methoduna göre etkinlik faktörünün bulunması

Şekil 4.2’de görülen örnekte 0,70 su/çimento oranı ile üretilmiş %50 yüksek fırın cürüflü numunenin 28 günlük su emme katsayısı ve yine %70 su/çimento oranı ile üretilmiş kontrol betonunun 28 günlük su emme katsayısı şekil üzerinde görülmektedir. Bu şekilde %70 su/çimento oranı bile üretilmiş %50 yüksek fırın cürüflü numunenin k etkinlik faktörü şekil üzerindedede belirtildiği üzere bu iki 1/Sa değerini birbirine oranlamak methoduyla 1,625 olarak bulunur. Aynı şekilde grafikteki her su/çimento oranı için aynı uygulamayı yaparak, 0,50, 0,55, 0,60, 0,65, 0,70, 0,75 ve 0,80 oranında su/çimento içeren betonlar için k etkinlik faktörü değerleri bulunmuştur. Tablo 4.7’de 28 günlük yüksek fırın cürüflü numunelerin k etkinlik faktörü değerleri gösterilmiştir.

Tablo 4.7 Oranlama methoduna göre Ağırlıkça su emme oranı değerleri için hesaplanmış k etkinlik faktörü değerleri

BETON KODU	k ETKİNLİK FAKTÖRÜ (k=1/Sa)					
	Su içinde			Hava ortamında		
	7. GÜN	28.GÜN	90.GÜN	7. GÜN	28.GÜN	90.GÜN
C17K50	-	1,29	-	-	1,04	-
C17K55	-	1,25	-	-	1,07	-
C17K60	-	1,23	-	-	1,05	-
C17K65	-	1,17	-	-	1,15	-
C17K70	-	1,15	-	-	1,06	-
C17K75	-	1,10	-	-	1,16	-
C17K80	-	1,11	-	-	1,19	-
%17 kort	-	1,18	-	-	1,10	-
C33K50	-	1,56	-	-	1,56	-
C33K55	-	1,53	-	-	1,45	-
C33K60	-	1,51	-	-	1,39	-
C33K65	-	1,46	-	-	1,37	-
C33K70	-	1,40	-	-	1,24	-
C33K75	-	1,38	-	-	1,2	-
C33K80	-	1,35	-	-	1,14	-
%33 kort	-	1,46	-	-	1,33	-
C50K50	-	2,04	-	-	1,7	-
C50K55	-	1,90	-	-	1,59	-
C50K60	-	1,79	-	-	1,55	-
C50K65	-	1,71	-	-	1,53	-
C50K70	-	1,56	-	-	1,38	-
C50K75	-	1,44	-	-	1,36	-
C50K80	-	1,38	-	-	1,38	-
%50 kort	-	1,68	-	-	1,31	-

5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ:

5.1 Taze Beton Denev Sonuçlarının Değerlendirilmesi:

Kontrol betonu ve Yüksek Fırın Cüruflu betonlarda eşit işlenebilirlik için ihtiyaç duyulan miktarları bulunarak, karışıma giren su miktarları, su/bağlayıcı oranı ve kontrol betonunun su miktarı 100 kabul edilerek hesaplanan su miktarları Tablo 5.1’de gösterilmiştir.

Tablo 5.1 Kontrol Betonuna Kıyasla Su İhtiyacı Değişimi

Beton Kodu	Su(Kg)	Kontrol Betonuna Göre Su Değişimi	Su/Toplam Bağlayıcı Oranı	okme (cm)
KON50	132	100	0.50	9
C17K50	134	102	0,43	9
C33K50	136	103	0,37	9
C50K50	136	103	0,33	9
KON60	162	100	0.60	10
C17K60	170	105	0,54	10
C33K60	176	109	0,50	10
C50K60	182	112	0,46	10
KON70	192	100	0.70	11
C17K70	192	100	0,60	11
C33K70	190	99	0,53	11
C50K70	192	100	0,47	11
KON80	219	100	0.80	14
C17K80	227	104	0,72	14
C33K80	229	105	0,63	14
C50K80	229	105	0,56	14

Tablo 5.1’deki değerler incelendiğinde kontrol betonları yüksek fırın cüruflu betonlardan daha az karışım suyuna sahiptirler. Bunun sebebi üretilen betonlarda imento miktarı sabit tutularak çeşitli oranlarda yüksek fırın cürufu eklenmesidir. Yani toplam bağlayıcı miktarındaki artıştır. Su/toplam bağlayıcı oranlarına baktığımızda yüksek fırın cüruflu betonların almış olduğu değerler kontrol betonlarından daha düşük çıkmıştır. %17, %33 ve %50 ilave edilen yüksek fırın cüruflu betonların hepsinde görülen ortak özellik, ilave edilen yüksek fırın cürufu miktarı arttığında su/bağlayıcı miktarının daha düşük çıkmasıdır. Bu değerlendirmeler sonucu, yüksek fırın cürufu kullanımının taze betonda işlenebilirliği arttırdığı söylenebilmektedir.

5.2 Sertleşmiş Beton Denev Sonuçlarının Değerlendirilmesi:

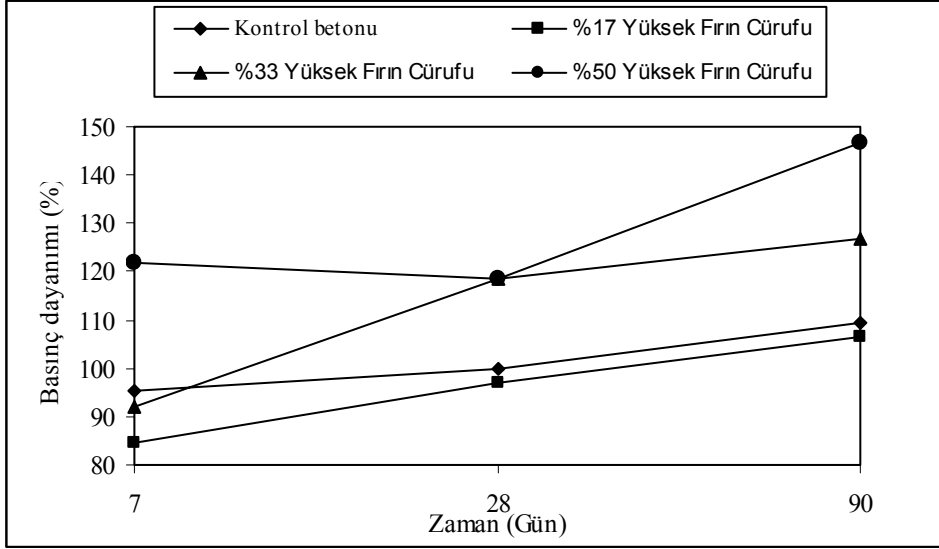
5.2.1 Basınc Dayanımı Sonuçlarının İrdelenmesi:

Tablo 4.2’de verilmiş olan basınç dayanımı denev sonuçları, Tablo 5.2’de görüldüğü gibi kontrol betonu dayanımına göre yüzde olarak kıyaslanarak verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi yüksek su/imento oranlı betonların dayanım kazanma hızları, düşük su/imento oranlı betonlardan daha yavaştır.

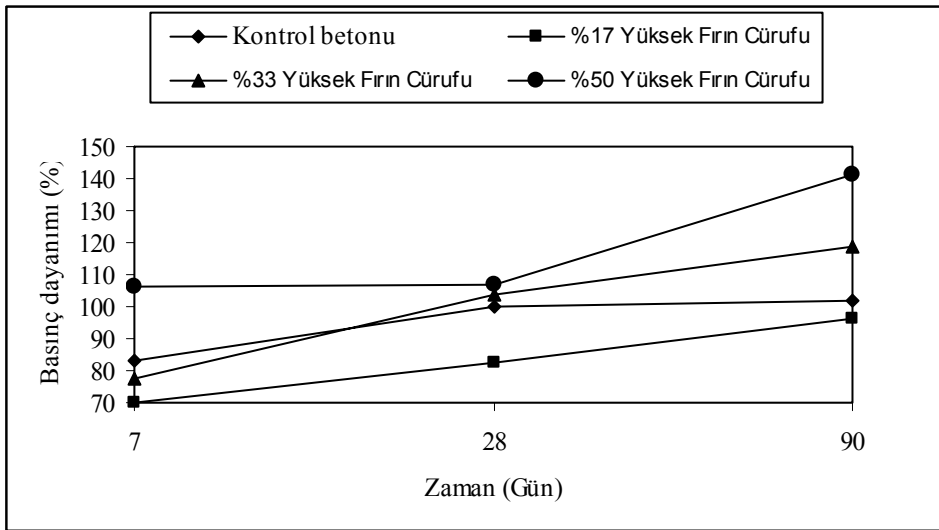
Tablo 5.2 Denev sonuçlarından elde edilen basınç dayanımı değerlerinin 28 günlük kontrol betonlarına göre yüzdesel olarak karşılaştırılması

BETON KODU	BASINÇ DAYANIMI (N/mm ²)					
	SU			HAVA		
	7.GÜN	28.GÜN	90.GÜN	7.GÜN	28.GÜN	90.GÜN
KON 50	95,3	100	109,3	83,4	100	101,9
C17K50	84,4	97,0	106,7	70,2	82,4	96,2
C33K50	91,9	118,5	127,0	77,2	104,0	118,9
C50K50	121,7	118,7	146,5	106,3	107,1	141,1
KON60	75,7	100	108,0	85,0	100	112,1
C17K60	72,0	91,1	90,0	84,4	87,6	98,2
C33K60	73,2	103,0	126,8	87,9	97,4	121,4
C50K60	83,4	115,2	110,0	96,0	120,1	132,5
KON70	76,9	100	116,8	74,2	100	104,7
C17K70	86,2	120,2	131,9	80,3	105,3	109,4
C33K70	97,1	120,5	144,1	95,6	105,3	120,8
C50K70	114,1	124,5	126,9	98,9	123,3	160,3
KON80	78,9	100	102,1	72,6	100	118,1
C17K80	81,7	105,3	132,4	67,6	103,6	120,6
C33K80	107,4	128,2	151,8	89,7	118,1	133,1
C50K80	110,8	130,7	165,5	94,9	122,6	143,85

Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5, Şekil 5.6, Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'de numunelerin basınç dayanımları yüzdeleri kür koşullarına ve yüksek fırın cürufu yüzelerine göre zamana bağlı olarak incelenmiştir.



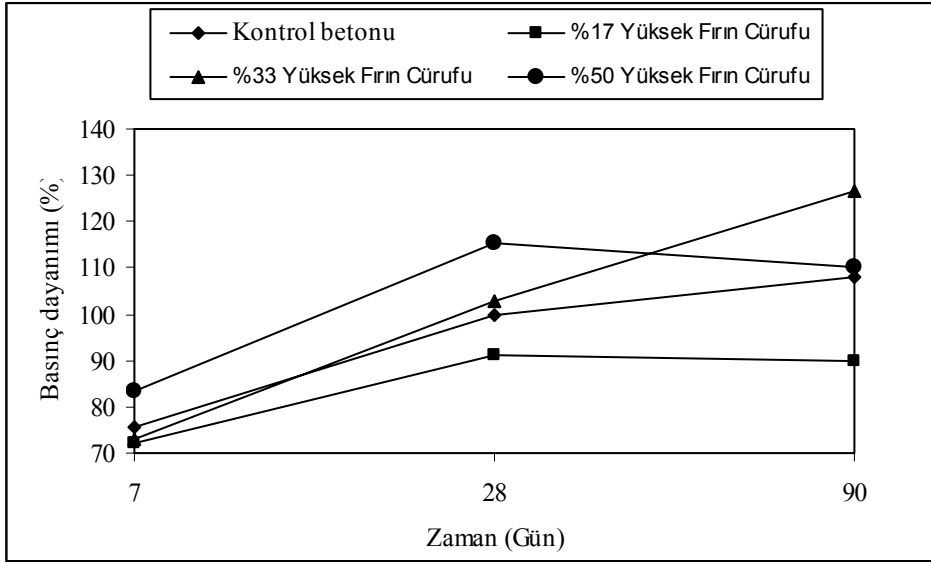
Şekil 5.1 Kontrol betonunun su/çimento oranı 0.5 olan eşit işlenebilmeli su içerisindeki numunelerin basınç dayanımı-zaman grafikleri



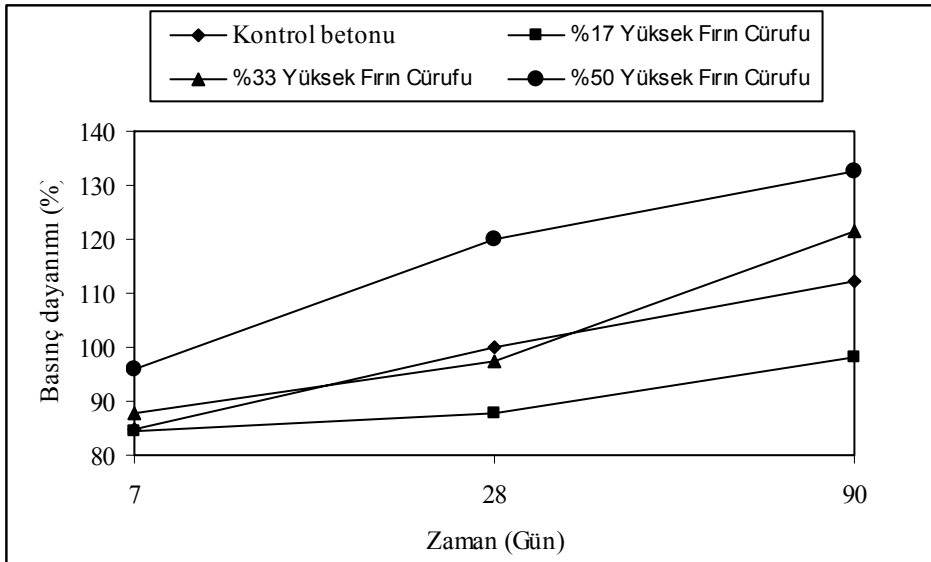
Şekil 5.2 Kontrol betonunun su/çimento oranı 0.5 olan eşit işlenebilmeli hava ortamındaki numunelerin basınç dayanımı-zaman grafikleri

Şekil 5.1 ve Şekil 5.2 incelendiğinde, yüksek fırın cürufu eklenen betonların erken yaşlarda kontrol betonuna göre 7 günlük basınç dayanımlarında %50 cüruf katkılı beton dışında cürufllu betonların daha düşük dayanımlara sahip oldukları görülmektedir. Bunun sebebi puzolanik reaksiyonun geç başlamasıdır. Nitekim

ileriki yaşlardaki basınç dayanımlarında ise %17 cüruf katkılı beton dışında cüruf eklenen betonların basınç dayanımı kontrol betonuna göre daha fazla artış göstermektedir. %50 yüksek fırın cürufu eklenen betonların dayanımları hemen hemen bütün zamanlarda diğer betonların basınç dayanımlarını geçmektedir. Kür koşulları karşılaştırıldığında ileriki yaşlarda, su ortamındaki numunelerin dayanım kazanma hızları hava ortamındaki numunelerden daha fazla olduğu gözükmektedir.

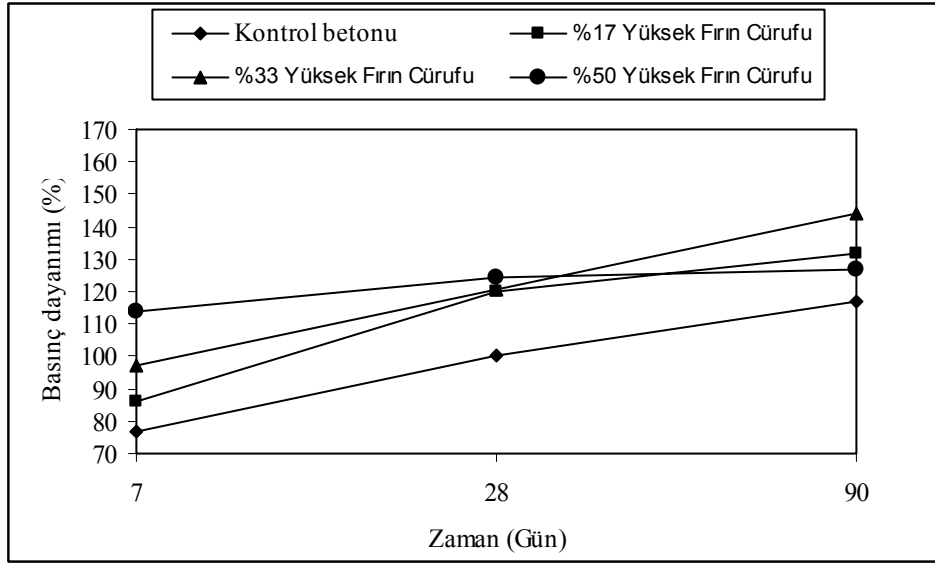


Şekil 5.3 Kontrol betonunun su/çimento oranı 0.6 olan eşit işlenebilmeli su içerisindeki numunelerin basınç dayanımı-zaman grafikleri

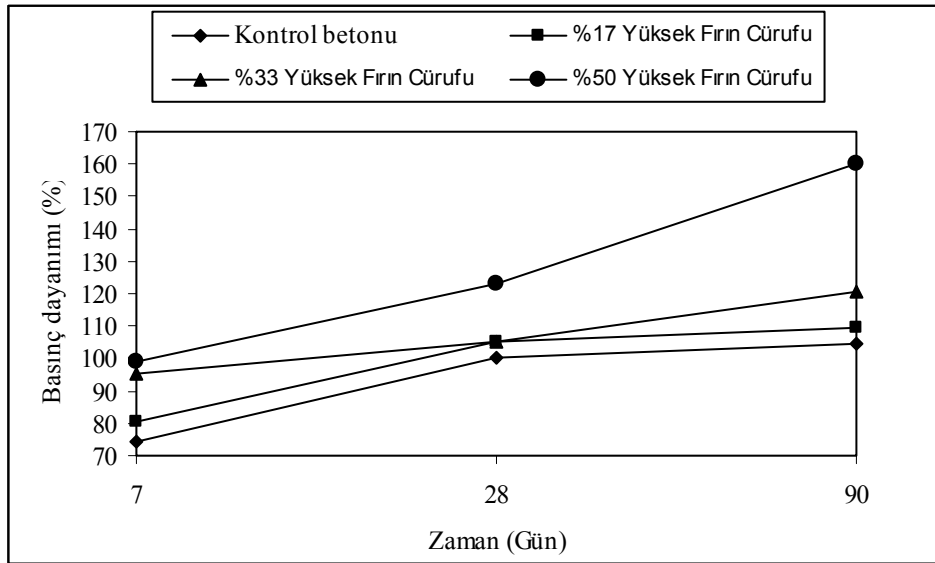


Şekil 5.4 Kontrol betonunun su/çimento oranı 0.6 olan eşit işlenebilmeli hava ortamındaki numunelerin basınç dayanımı-zaman grafikleri

Şekil 5.3 ve Şekil 5.4 incelendiğinde 7. günkü dayanımların hem su hem de hava ortamındaki numunelerde birbirine çok yakın çıktığı görülmektedir. Daha sonraki yaşlarda ise yüksek fırın cürufu eklenen betonların dayanım kazanma hızları %17 cüruf katkılı beton dışında kontrol betonundan fazladır. Her iki ortamında inceleyince su ortamında %33, hava ortamında da %50 yüksek fırın cürufu eklenen betonlar en iyi sonuçları vermiştir. Şekil 5.3'e bakıldığında ileriki yaşlarda, %33 yüksek fırın cürufu eklenen betonların dayanım kazanma hızının diğer yüksek fırın cürufu betonlardan daha fazla olduğu görülmektedir.

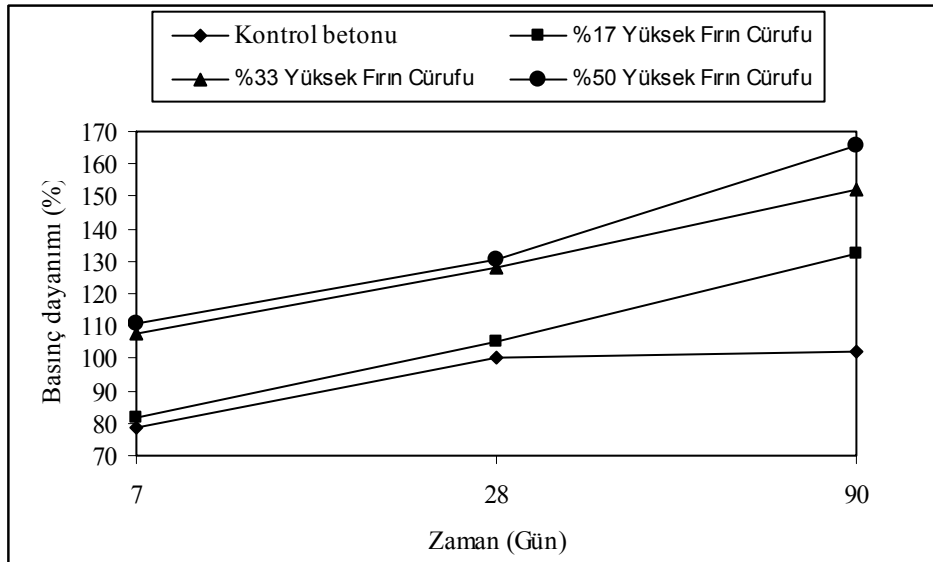


Şekil 5.5 Kontrol betonunun su/çimento oranı 0.7 olan eşit işlenebilmeli su içerisindeki numunelerin basınç dayanımı-zaman grafikleri

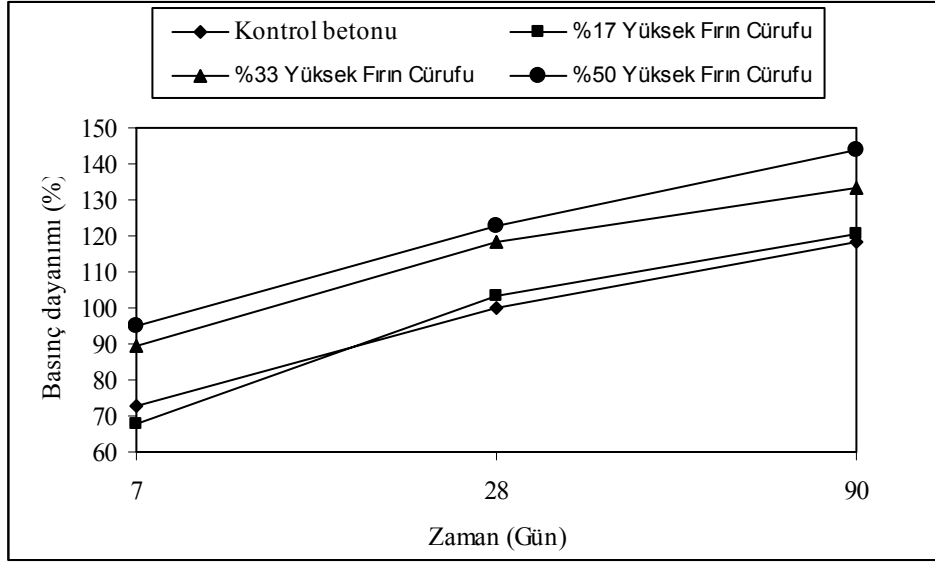


Şekil 5.6 Kontrol betonunun su/çimento oranı 0.7 olan eşit işlenebilmeli hava ortamındaki numunelerin basınç dayanımı-zaman grafikleri

Şekil 5.5 ve Şekil 5.6 incelendiğinde yüksek fırın cürufu eklenen betonların hepsinin bütün yaşlardaki basınç dayanımlarının kontrol betonundan yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 5.5’ te daha farklı olarak %17 ve % 33 yüksek fırın cürufu katkıli betonların basınç dayanımı ileriki yaşlarda %50 cüruf katkıli betondan daha fazladır. Şekil 5.6’ da ise % 50 yüksek fırın cürufu katkıli betonun basınç dayanımının diğer betonlardan daha yüksek olduğu görülmektedir. Burada dikkat çeken bir noktada Şekil 5.5’de Şekil 5.3’de olduğu gibi su içerisinde bekleyen bu numunelerde 28. günden sonra ileriki yaşlara doğru %50 yüksek fırın cürufu içeren betonların basınç artış hızında bir yavaşlama olması ve 90 günlük betonlarda %33 yüksek fırın cürufu içeren betonların basınç dayanımının daha fazla olmasıdır. Bunun dışında hemen hemen diğer grafiklerde olduğu gibi ileriki yaşlarda dayanım kazanma hızları, bütün yüksek fırın cürufu numunelerde kontrol betonundan fazladır.



Şekil 5.7 Kontrol betonunun su/çimento oranı 0.8 olan eşit işlenebilmeli su içerisindeki numunelerin basınç dayanımı-zaman grafikleri



Şekil 5.8 Kontrol betonunun su/çimento oranı 0.8 olan eşit işlenebilmeli hava ortamındaki numunelerin basınç dayanımı-zaman grafikleri

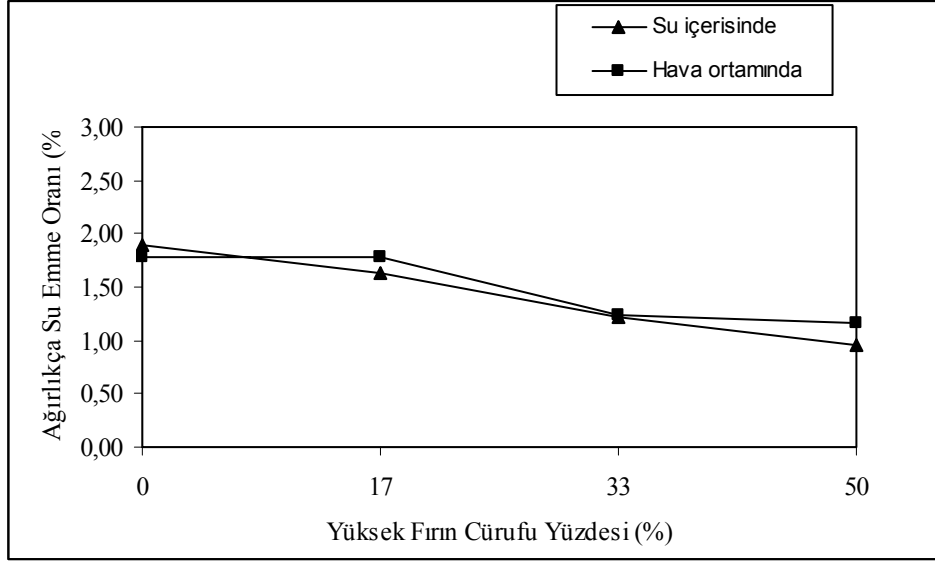
Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'deki sonuçlarında hemen hemen diğer grafiklerdeki sonuçlar gibi %50 yüksek fırın cürufu oranlı betonların daha yüksek basınç dayanımı verdiği gözlenmiştir.

Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5, Şekil 5.6, Şekil 5.7 ve Şekil 5.8 bir arada incelendiğinde, ileriki yaşlarda yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin basınç dayanımlarının kontrol betonundan daha fazla olduğu gözükmektedir. Bunun sebebi ise çimento miktarının sabit olması ve bunun üzerine yüksek fırın cürufu eklenmesidir.

Elde edilen deney sonuçları incelendiğinde dayanım açısından en iyi sonucu genel olarak %50 yüksek fırın cürufu eklenen serilerin sağladığı gözükmektedir. Ama %60 ve % 70 su/çimento oranlı su ortamında beklemiş numunelerde de ileriki yaşlarda %33 yüksek fırın cürufu katkılı serinin en iyi sonuçları verdiği ve bazı serilerde basınç dayanımı % 50 yüksek fırın cürufu katkılı betondan daha düşük olsa da %33 yüksek fırın cürufu katkılı betonların ileriki yaşlarda basınç dayanımı artış hızının oldukça yüksek olması gözden kaçırılacak bir durum değildir. Ayrıca bu iki seri beton grubunda 28. günden sonra %50 yüksek fırın cürufu içeren betonların basınç dayanımı artış hızı düşmüş veya yavaşlamıştır. Bunun nedeni olarak bu betonlarda çimento dozajının düşük olmasından dolayı %50 yüksek fırın cürufu betonlar için yeterli miktarda kirecin olmaması düşünülebilir.

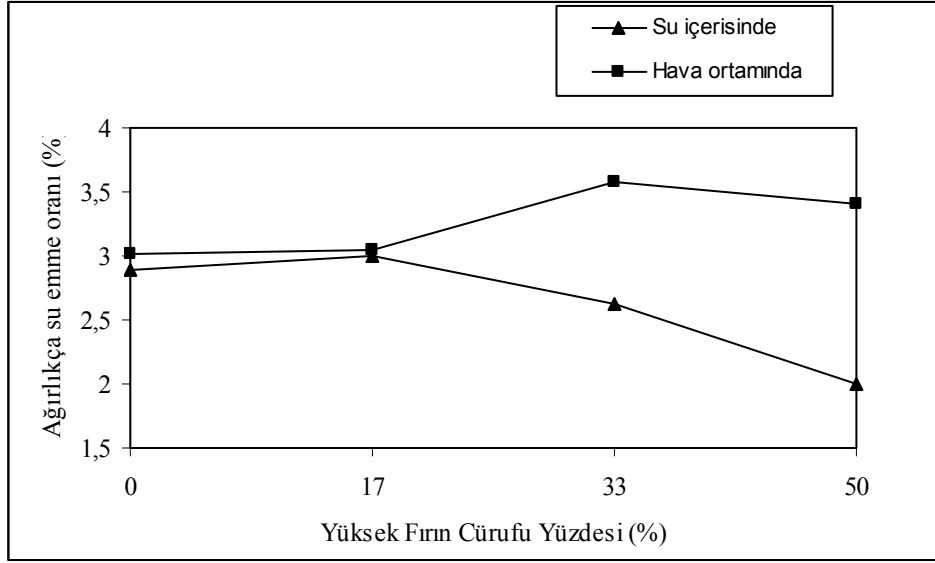
5.2.2 Su emme Denevi Sonuclarinin İrdelenmesi:

Şekil 5.9, Şekil 5.10, Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'de su ve hava ortamındaki numunelerin 28. günlerde bulunan ağırlıkça su emme oranı değerlerinin yüksek fırın cürufu yüzdesine bağlı grafikleri gösterilmiştir.



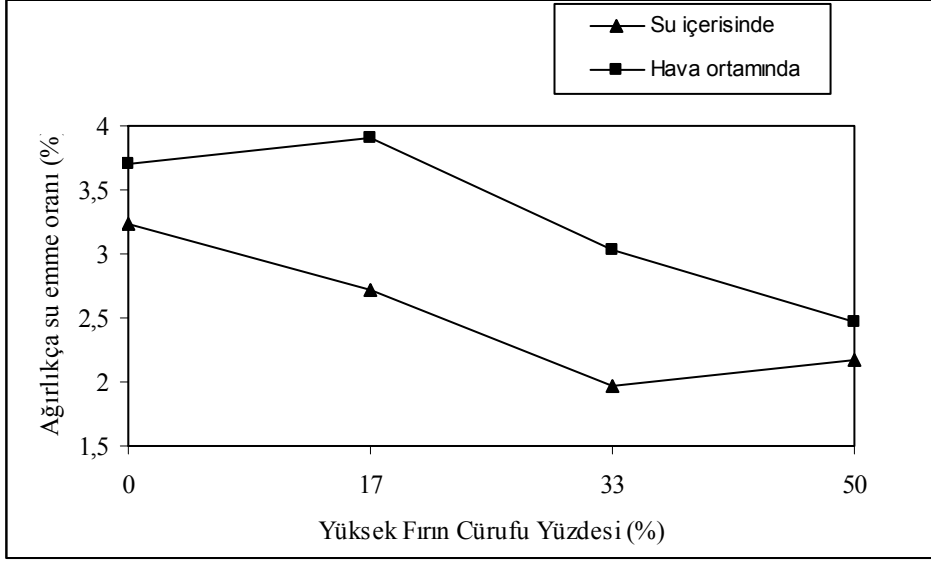
Şekil 5.9 Kontrol betonunun su/çimento oranı 0.5 olan eşit işlenebilmeli su ve hava ortamındaki numunelerin 28 günlük ağırlıkça su emme oranı-yüksek fırın cürufu yüzdesi grafikleri

Şekil 5.9 incelendiğinde kontrol betonu dışında su ortamındaki numunelerin ağırlıkça su emme oranı değerlerinin hava ortamına göre azda olsa daha düşük çıkarak daha az su emdiği görülmüştür. Hava ve su ortamında bekletilen numunelerin ağırlıkça su emme oranı değerleri, yüksek fırın cürufu eklenen numunelerde kontrol betonunun altında çıkmıştır. Bir tek hava ortamında bekletilen %17 yüksek fırın cürufu katkılı betonun ağırlıkça su emme oranı değeri kontrol betonunun değerine eşit çıkmıştır. Her iki ortamda da 28. günde % 50 yüksek fırın cürufu katkılı betonun ağırlıkça su emme oranı değerleri en düşük değeri almıştır.



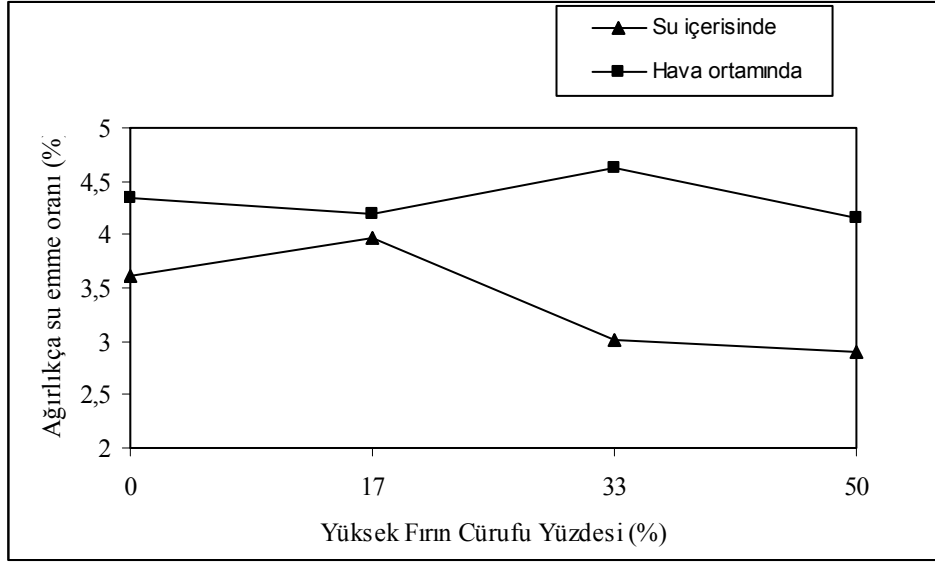
Şekil 5.10 Kontrol betonunun su/çimento oranı 0.6 olan eşit işlenebilmeli su ve hava ortamındaki numunelerin 28 günlük ağırlıkça su emme oranı-yüksek fırın cürufu yüzdesi grafikleri

Şekil 5.10 incelendiğinde su ortamındaki numunelerin ağırlıkça su emme oranı değerlerinin hava ortamındaki numunelerin değerlerinden düşük çıkarak daha az su emdiği görülmüştür. Grafikten görüldüğü üzere su ortamında bekletilen numunelerde en iyi sonucu % 50 yüksek fırın cürufu eklenen numuneler vermiştir. % 17 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin ağırlıkça su emme oranı kontrol betonunun üstünde kalmıştır. Hava ortamında ise %17 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin ağırlıkça su emme oranı kontrol betonununkine hemen hemen eşit çıkmıştır. %33 ve %50 yüksek fırın cürufu eklenen betonların ağırlıkça su emme oranları ise diğer grafiklerden farklı olarak kontrol betonunun üzerinde değerler almıştır.



Şekil 5.11 Kontrol betonunun su/çimento oranı 0.7 olan eşit işlenebilmeli su ve hava ortamındaki numunelerin 28 günlük ağırlıkça su emme oranı-yüksek fırın cürufu yüzdesi grafikleri

Şekil 5.11 incelendiğinde yine su ortamındaki numunelerin ağırlıkça su emme oranı değerlerinin hava ortamındaki numunelerin değerlerinden düşük çıkarak daha az su emdiği görülmüştür. Hava ortamında %33 ve %50 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin ağırlıkça su emme oranı değerleri kontrol betonundan daha düşük çıkmıştır. En düşük değeri % 50 yüksek fırın cürufu eklenen numune vermiştir. % 17 yüksek fırın cürufu eklenen numunenin ise kontrol betonundan daha yüksek değer aldığı görülmüştür. Su ortamında ise cürufulu numunelerin ağırlıkça su emme oranı değerleri kontrol betonundan düşük çıkarak iyi sonuçlar vermiştir. Burada da en düşük değeri %33 yüksek fırın cürufu eklenen beton vermiştir.



Şekil 5.12 Kontrol betonunun su/çimento oranı 0.8 olan eşit işlenebilmeli su ve hava ortamındaki numunelerin 28 günlük ağırlıkça su emme oranı-yüksek fırın cürufu yüzdesi grafikleri

Ekil 5.12 incelendiğinde diğer bütün grafiklerde de olduğu gibi su ortamındaki numunelerin ağırlıkça su emme oranı değerlerinin hava ortamındaki numunelerin değerlerinden düşük çıkarak daha az su emdiği görülmüştür. Hava ortamındaki numunelerde %17 ve % 50 yüksek fırın cürufu eklenen betonlarda ağırlıkça su emme oranı değerlerinin kontrol betonuna yakın veya biraz daha düşük değerler aldığı görülmüştür. %33 yüksek fırın cürufu eklenen betonun ise en yüksek değeri aldığı görülmüştür. Su ortamındaki numunelerde ise en düşük değeri %50 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin aldığı görülmüştür. %17 yüksek fırın cürufu eklenen numunenin de kontrol betonundan daha yüksek değer aldığı görülmüştür.

Sonuç olarak, gerek hava gerek su ortamında yüksek fırın cürufu yüzdesine bağlı olarak ağırlıkça su emme oranı değerleri farklılık göstermiştir. Genelde %50'lik serilerde ağırlıkça su emme oranı değerlerinin kontrol betonundan daha düşük çıkarak iyi performans sağlamışlar, %33'lük serilerde ise genelde kontrol betonundan daha düşük çıkmıştır. % 17 yüksek fırın cürufu eklenen seriler ise bazısında kontrol betonundan daha düşük değerler almış, bazılarında ise kontrol betonunu geçerek daha fazla su emdikleri tespit edilmiştir. Burada gözlenen durum genel olarak betondaki yüksek fırın cürufu miktarının artmasıyla ağırlıkça su emme oranının düşmesidir. Buda boşluk oranının azaldığını gösterir. Yüksek fırın cürufunun artmasıyla betondaki ince malzeme oranının artması ve boşluk çaplarının küçülmesi olarak açıklanabilir.

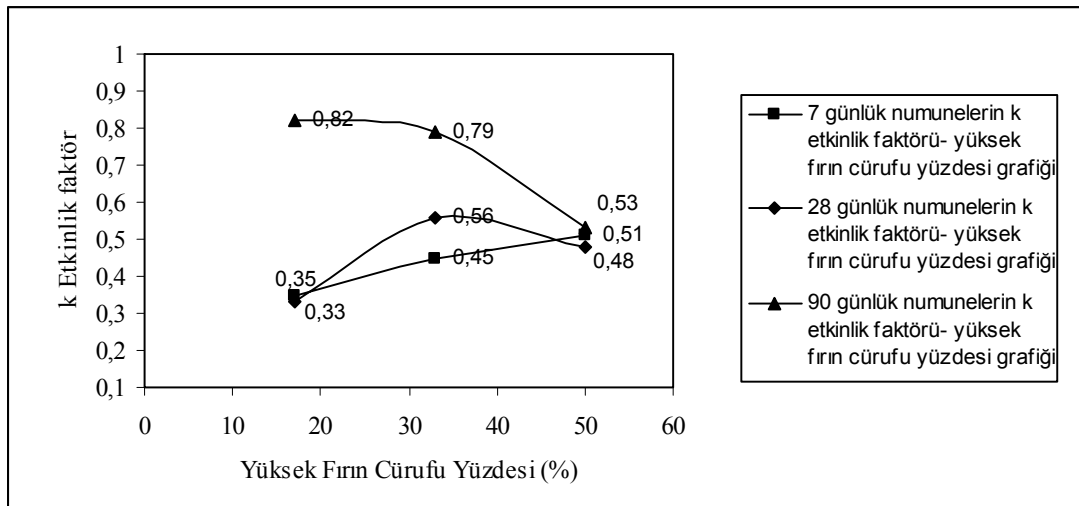
5.2.3 k Etkinlik Faktörünün İrdelenmesi:

Bu tez çalışmasında yapılmış olan deneysel çalışmaların asıl hedefi deneyler sonucu bulunan basınç dayanımı ve ağırlıkça su emme oranı değerlerini kullanarak k etkinlik faktörünün bulunmasıdır.

Bu amaçla bölüm 4.2.3' de belirtilen CEN TC 140 SC1 adına çalışma grubunun önerdiği metotlardan eşit işlenebilme metodu kullanılarak k etkinlik faktörü değerleri bulunmuştur.

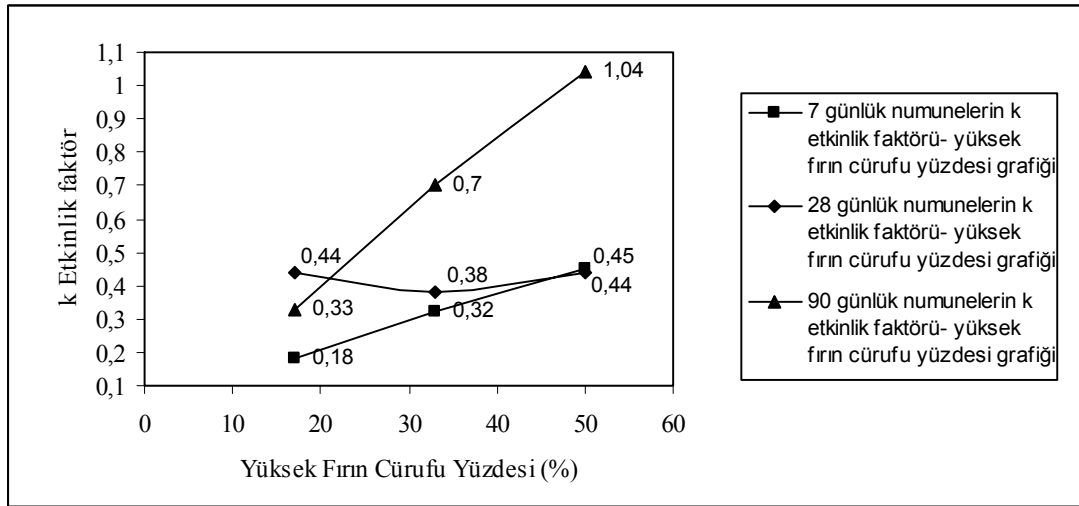
Kullanılmış olan metotta basınç dayanımı, su/çimento oranı grafiklerinde her bir nokta için ayrı ayrı k etkinlik faktörü değerleri bulunmuştur. Bulunan k etkinlik faktörü değerleri yüksek fırın cürufu yüzdesine göre aritmetik ortalaması alınarak sınıflandırılmıştır.

Üretilen betonların basınç deneyi sonuçlarının kullanılması sonucu elde edilen k etkinlik faktörü değerleri Tablo 4.5'de görülmektedir. Bu sonuçların daha iyi incelenebilmesi için k etkinlik faktörü-yüksek fırın cürufu yüzdesi grafikleri, k etkinlik faktörü-gün grafikleri ve k etkinlik faktörü-E/C grafikleri Şekil 5.13, Şekil 5.14, Şekil 5.15, Şekil 5.16, Şekil 5.17, Şekil 5.18, Şekil 5.19, Şekil 5.20, Şekil 5.21, Şekil 5.22, Şekil 5.23, Şekil 5.24, Şekil 5.25, Şekil 5.26, Şekil 5.27, Şekil 5.28, Şekil 5.29 ve Şekil 5.30'da gösterilmektedir.



Şekil 5.13 Su ortamındaki numunelerin 7., 28., 90. gündeki k etkinlik faktörü-yüksek fırın cürufu yüzdesi grafikleri

Şekil 5.13 incelendiğinde k etkinlik faktörü değerlerinin erken yaşlarda genel olarak daha düşük olduğu gözükmemektedir. Bunun nedeni erken yaşlarda puzolanik reaksiyonun gerçekleşmemesidir. Nitekim ileriki yaşlarda puzolanik reaksiyonun gerçekleşmesiyle etkinlik faktörü değerleri artmıştır. 7., 28., 90. günkü k etkinlik faktörü değerlerine bakıldığında 7. günde %50 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin, 28. günde %33, 90. günde %17 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin etkinlik faktörü değerleri en fazla çıkmıştır. %50 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin k etkinlik faktörü değerleri, 7. ve 28. günde %17 ve %33 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin etkinlik faktörü değerlerine yakın veya daha büyük değerler almıştır. Fakat 90. günkü etkinlik faktörü değerlerine bakıldığında %17 ve %33 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerdeki etkinlik faktörü artışı %50 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerden daha fazla olmuş, dolayısıyla aradaki fark açılmıştır.



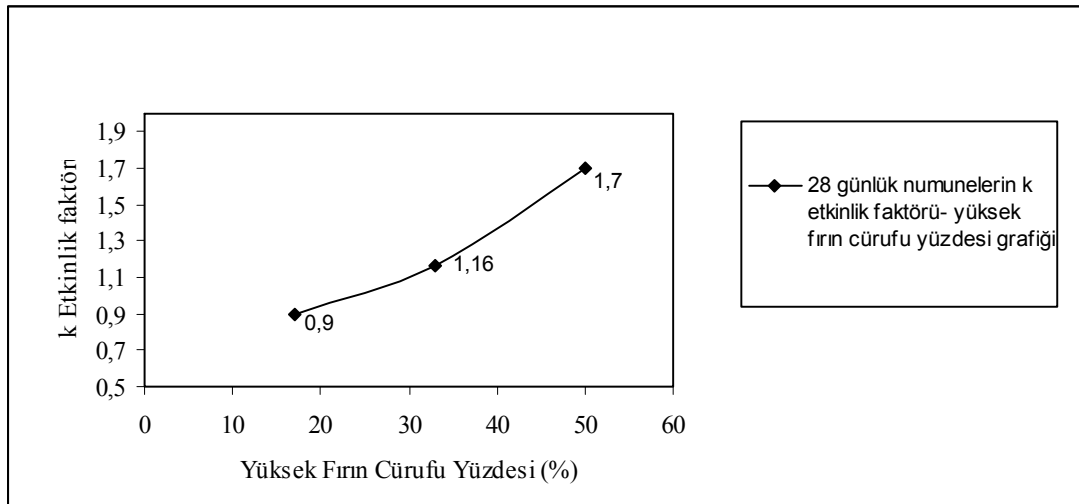
Şekil 5.14 Hava ortamındaki numunelerin 7., 28., 90. günde k etkinlik faktörü-yüksek fırın cürufu yüzdesi grafikleri

Şekil 5.14'de ise hava ortamındaki numunelerin k etkinlik faktörü değerleri gösterilmiştir. Hava ortamında da erken yaşlarda yüksek fırın cürufunun etkinliğinin düşük olduğu gözükmemektedir. Bir tek 28 günlük %17 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerdeki etkinlik faktörü değeri 90 günlük %17 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin etkinlik faktörü değerinden fazladır. 7., 28. ve 90. günkü k etkinlik faktörü değerlerine bakıldığında %50 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin etkinlik faktörü değerleri %17 ve %33 yüksek fırın cürufu numunelere göre fazladır. 7 günlük numunelere bakıldığında su ortamında olduğu gibi %17'den %50 yüksek fırın cürufu eklenen numunelere doğru etkinlik faktöründe düzgün bir artış

gözlenmektedir. Su ortamından farklı olarak ileriki yaşlarda (özellikle 90 günlük) %50 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin etkinlik faktöründeki artış %17 ve %33 yüksek fırın cürufu eklenen numunelere göre çok fazladır. Ayrıca hava ortamındaki %50 yüksek fırın cürufu eklenen 90 günlük numunelerin etkinlik faktörü değeri 1,04'tür. Buda hem hava hem de su ortamındaki numuneler arasında rekor değerdir. 28 günlük %33 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin etkinlik faktörüne baktığımızda ise su ortamında %17 ve %50 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerden fazla çıkarken hava ortamında ise daha düşük çıkmıştır.

Tüm k etkinlik faktörü değerleri incelendiğinde zaman içerisinde puzolanik reaksiyonun gerçekleşmesi ile k etkinlik faktörü değerlerinin arttığı görülmektedir. Kür koşulları göz önüne alındığında suda bekletilen numunelerin etkinlik faktörü değerlerinin genel olarak hava ortamında bekletilen numunelerden daha fazla olduğu görülmektedir. Bir tek 90 günlük hava ortamında bekletilmiş %50 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerde hava ortamına göre daha fazla artış gözlenmiştir.

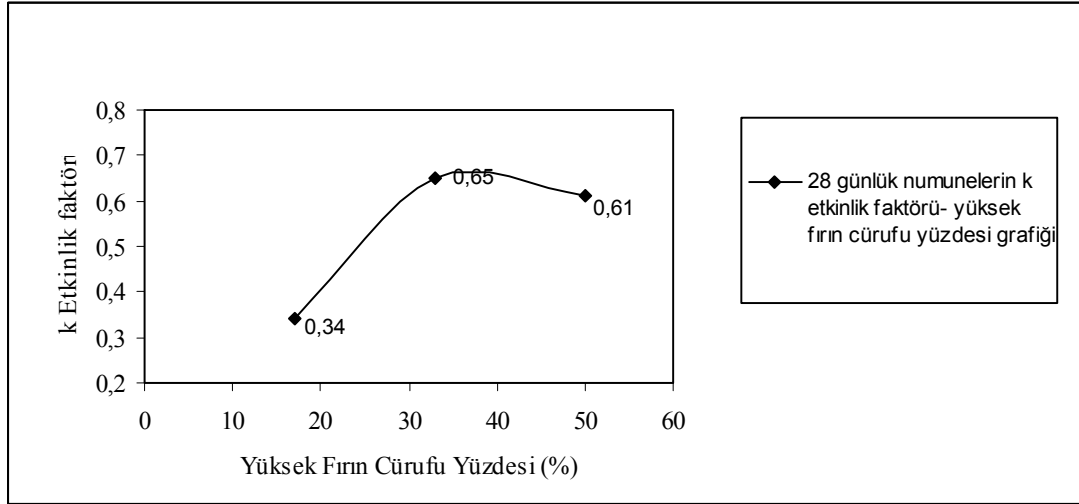
Aynı incelemeyi ağırlıkça su emme oranı için hesaplanmış k etkinlik faktörü değerleri içinde yapabiliriz. Fakat sadece 28 gün için bulunmuş değerler olduğu için zaman olarak bir karşılaştırma yapamamız da yüksek fırın cürufu oranlarına göre bir inceleme yapabiliriz.



Şekil 5.15 Ağırlıkça su emme oranına göre hesaplanmış su ortamındaki numunelerin k etkinlik faktörü yüksek fırın cürufu yüzdesi grafikleri

Şekil 5.15'de su ortamındaki ağırlıkça su emme oranına göre eşit işlenebilme metodu kullanılarak hesaplanmış k etkinlik faktörü yüksek fırın cürufu yüzdesi grafiği

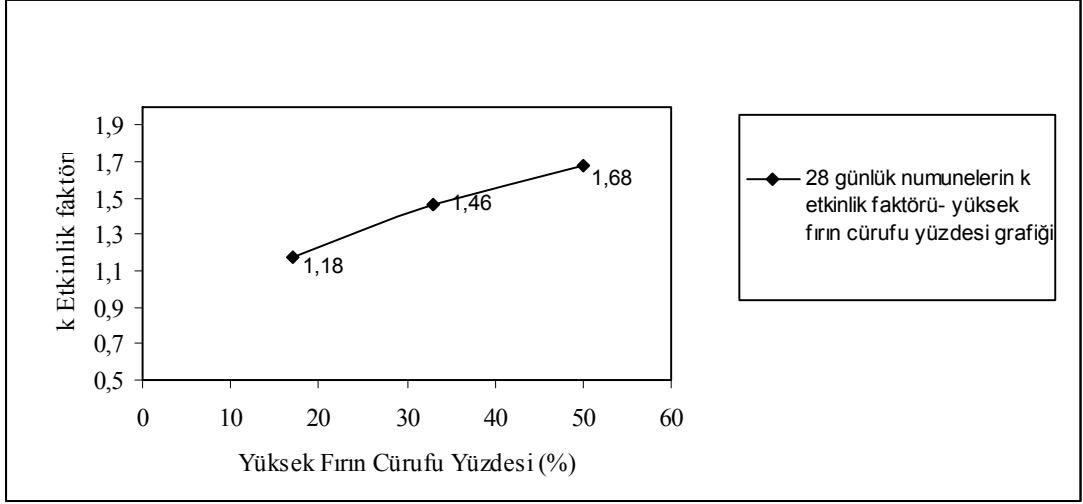
gösterilmiştir. Grafiğe bakıldığında %50 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin etkinlik faktörü değerleri %17 ve %33 yüksek fırın cürufu numunelere göre daha fazladır.



Şekil 5.16 Ağırlıkça su emme oranına göre hesaplanmış hava ortamındaki numunelerin k etkinlik faktörü yüksek fırın cürufu yüzdesi grafikleri

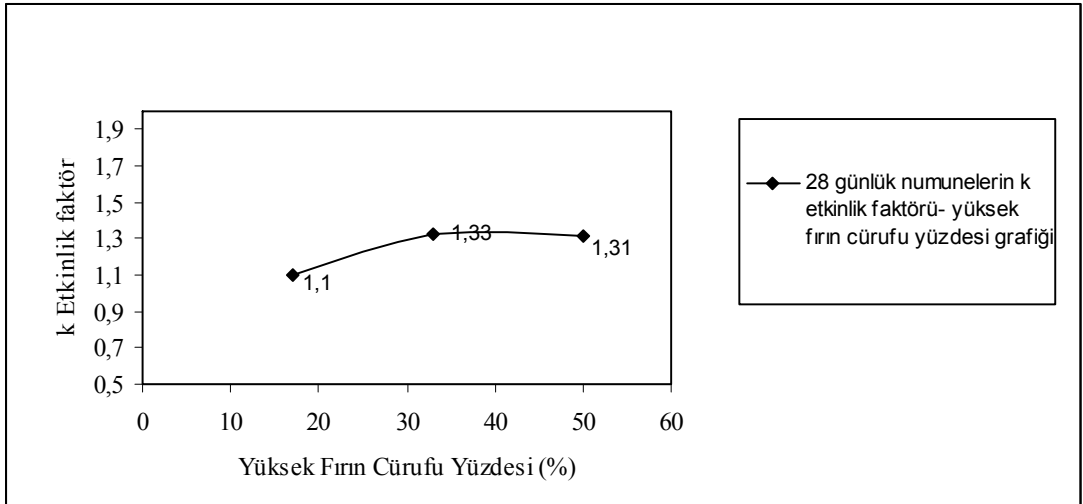
Şekil 5.16'da hava ortamındaki ağırlıkça su emme oranına göre eşit işlenebilme metodu kullanılarak hesaplanmış k etkinlik faktörü yüksek fırın cürufu yüzdesi grafiği gösterilmiştir. Grafiğe bakıldığında %33 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin etkinlik faktörü değerleri %17 ve %50 yüksek fırın cürufu numunelere göre daha fazladır. %50 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin k etkinlik faktörü değeri su ortamındaki numunelerin aksine 28. günde %33 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin etkinlik faktörü değerinden daha düşüktür.

Aynı incelemeyi yine ağırlıkça su emme oranına göre fakat oranlama metoduyla hesaplanmış k etkinlik faktörü değerleri içinde yapabiliriz.



Şekil 5.17 Ağırlıkça su emme oranına göre oranlama metoduyla hesaplanmış su ortamındaki numunelerin k etkinlik faktörü yüksek fırın cürufu yüzdesi grafikleri

Şekil 5.17’de su ortamındaki ağırlıkça su emme oranına göre oranlama metodu kullanılarak hesaplanmış k etkinlik faktörü yüksek fırın cürufu yüzdesi grafiği gösterilmiştir. Grafiğe bakıldığında %50 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin etkinlik faktörü değerleri %17 ve %33 yüksek fırın cürufu numunelere göre daha fazladır.

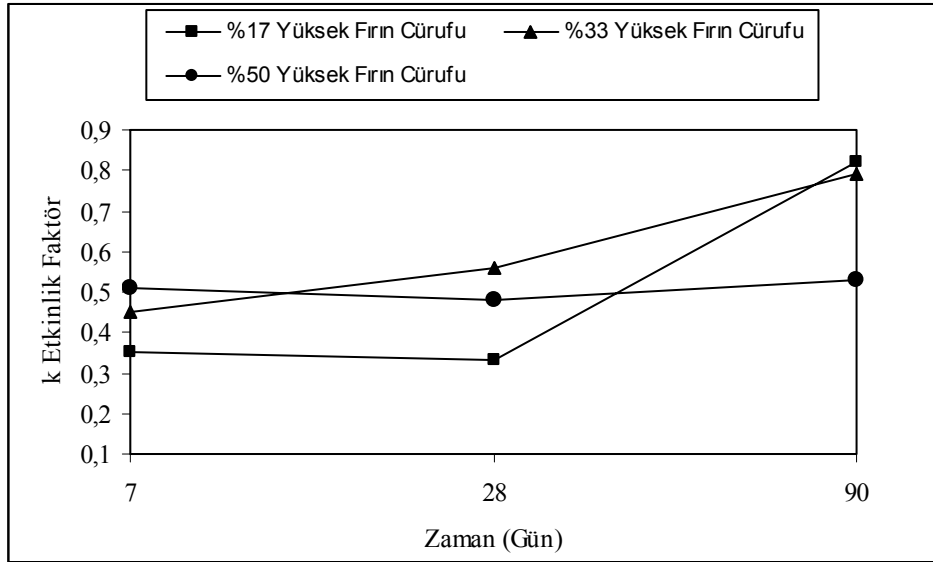


Şekil 5.18 Ağırlıkça su emme oranına göre oranlama metoduyla hesaplanmış hava ortamındaki numunelerin k etkinlik faktörü yüksek fırın cürufu yüzdesi grafikleri

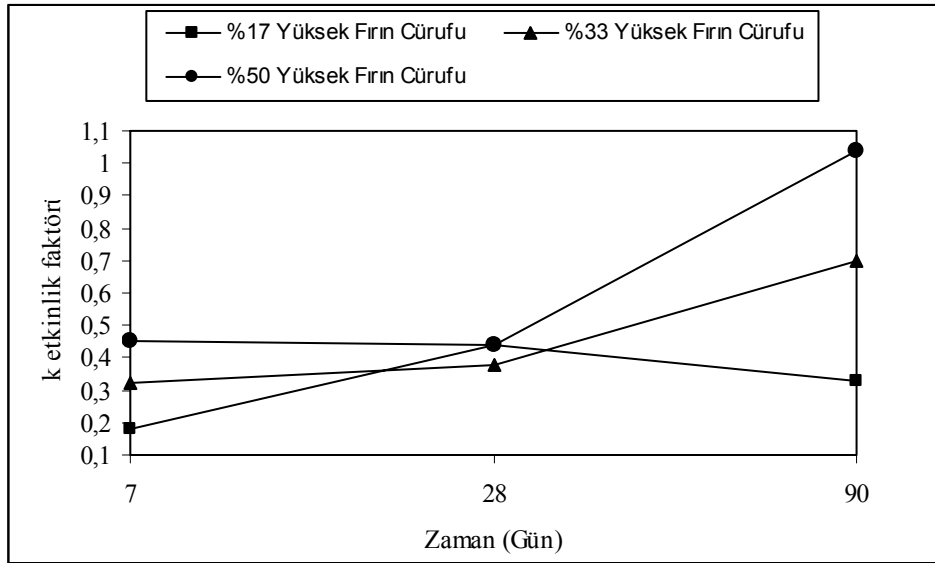
Şekil 5.18’de ise hava ortamındaki ağırlıkça su emme oranına göre oranlama metodu kullanılarak hesaplanmış k etkinlik faktörü yüksek fırın cürufu yüzdesi grafiği gösterilmiştir. Grafiğe bakıldığında %33 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin etkinlik faktörü değerleri %17 ve %50 yüksek fırın cürufu numunelere göre daha

fazladır. %50 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin k etkinlik faktörü değeri su ortamındaki numunelerin aksine 28. günde %33 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin etkinlik faktörü değerinden daha düşüktür.

Ağırlıkça su emme oranı için hesaplanmış k etkinlik faktörü değerlerine baktığımızda eşit işlenebilme metodu ve oranlama metoduna göre çizilmiş grafiklerin birbirine benzer olduğunu görüyoruz. Su ortamındaki numunelerde yüksek fırın cürufu yüzdesi arttıkça k etkinlik faktörü değerlerinde de düzgün bir artış görüyoruz. Hava ortamındaki numunelerde ise en yüksek etkinlik faktörü değeri %33 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerde gözlenmiştir. %50 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerde ise düşüş vardır.



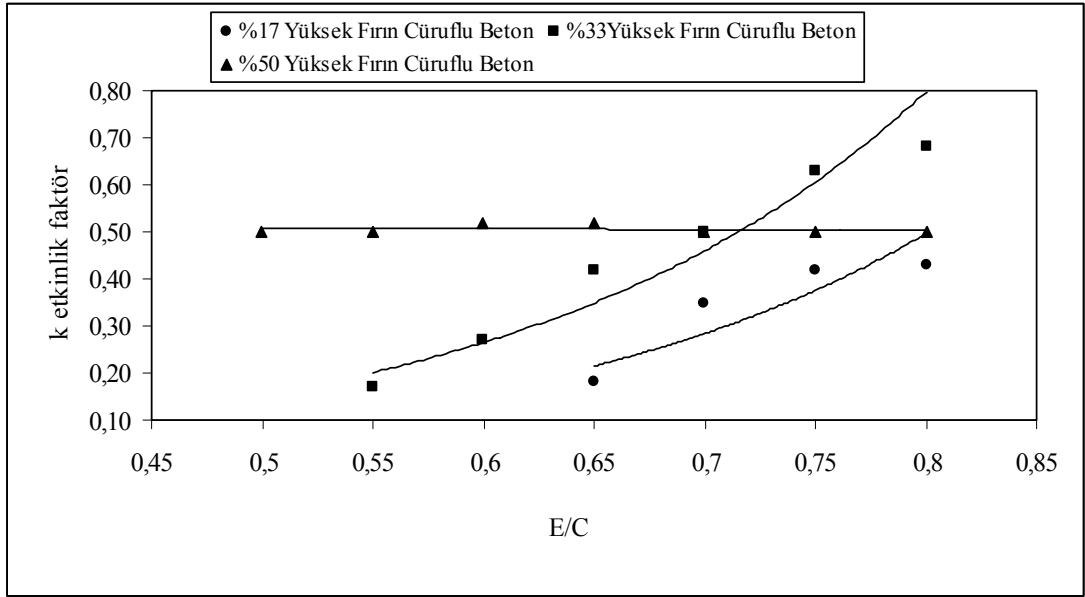
Şekil 5.19 Su ortamındaki numunelerin k etkinlik faktörü-gün grafikleri



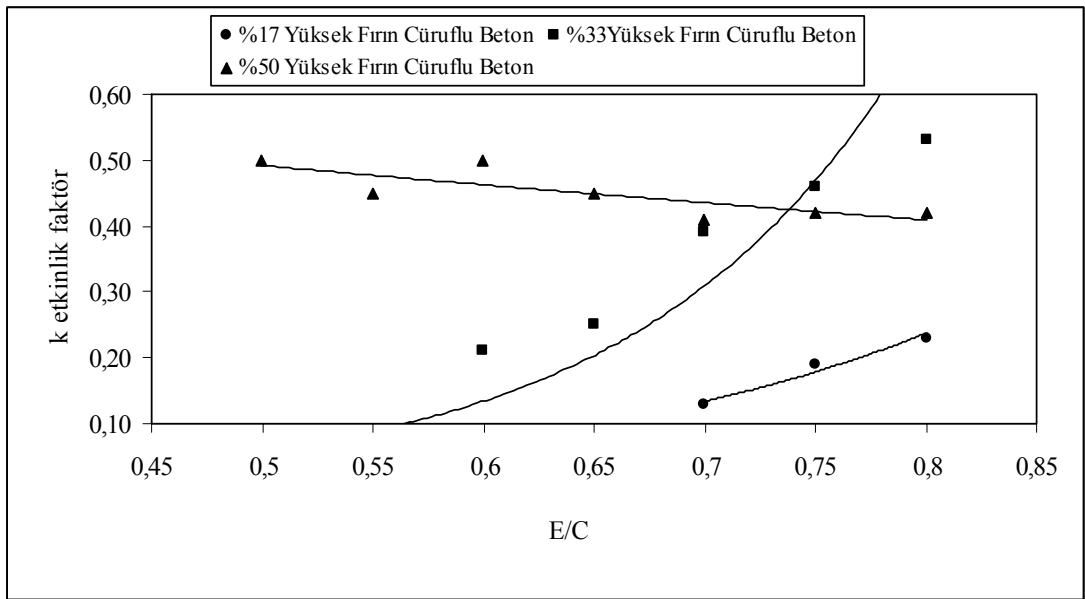
Şekil 5.20 Hava ortamındaki numunelerin k etkinlik faktörü-gün grafikleri

Şekil 5.19’da elde edilen grafikte görüldüğü gibi yüksek fırın cürufunun etkinlik faktörü değerlerinde %17 ve %33 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerde 28. günden sonra hızlı bir artış gözlenmiştir. %50 yüksek fırın cürufunda ise 7. ve 28. gündeki etkinlik faktörü değerlerine yakındır. Bunun sebebi çimento dozajının düşük olmasından dolayı %50 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin yeterli miktarda kireçle reaksiyona girmemesi olarak nitelendirilebilir.

Şekil 5.20’deki grafik incelendiğinde yüksek fırın cürufunun etkinlik faktörü değerlerinde %33 ve %50 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerde 28. günden sonra hızlı bir artış gözlenmiştir. %17 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerde ise 28. günden sonra düşüş gözlenmiştir. Hava ve su ortamındaki numunelerin k etkinlik faktörü zaman grafiklerini karşılaştırdığımızda %33 yüksek fırın cürufunun birbirine benzer davranış gösterdiğini fakat %50 ve %17 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerde ise tam ters davranış gözlenmiştir. Hava ortamında %50 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerde 28. günden sonra büyük bir artış gözlenirken su ortamında ise artış göstermemiş 7. ve 28. günkü değerlere yakın bir değer almıştır. Aynı şekilde hava ortamında %17 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerde 28. günden sonra etkinlik faktörü değerleri düşüş gösterirken su ortamında da artış göstermiştir.



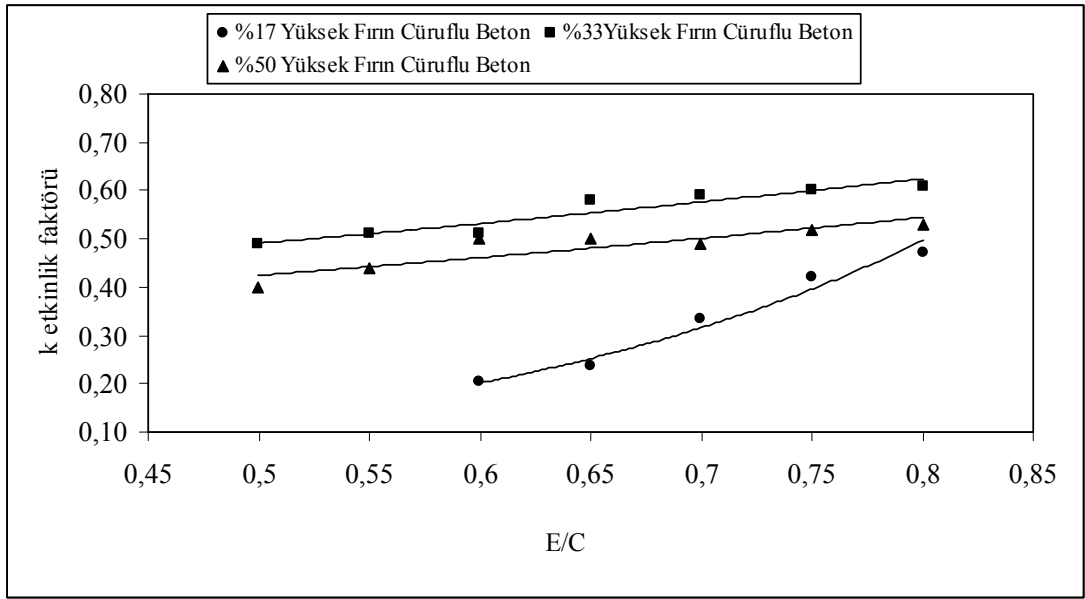
Şekil 5.21 Su ortamındaki numunelerin 7. gündeki k etkinlik faktörü-E/C grafikleri



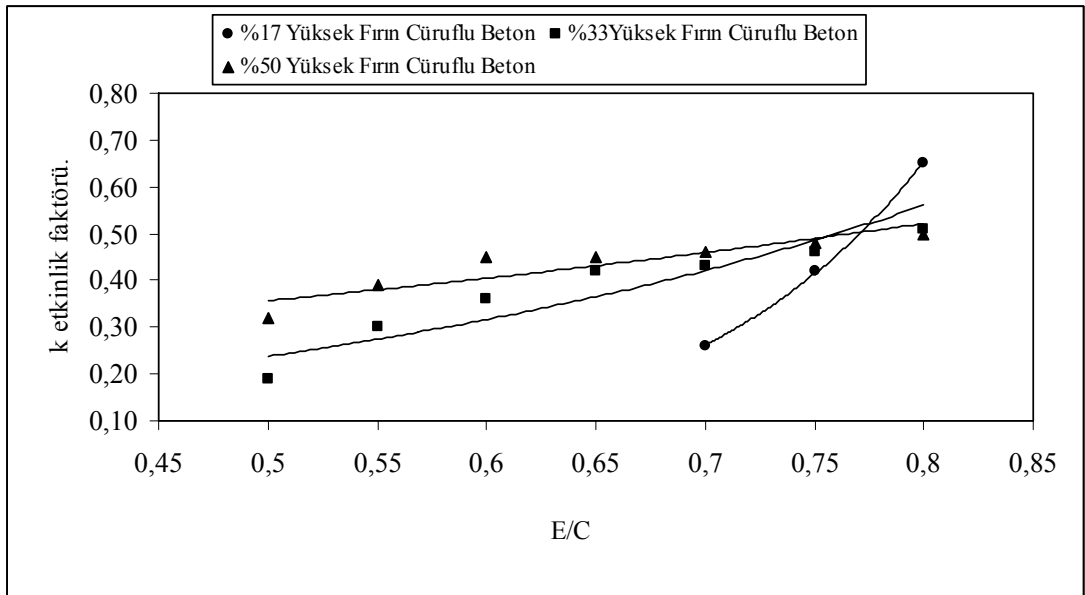
Şekil 5.22 Hava ortamındaki numunelerin 7. gündeki k etkinlik faktörü-E/C grafikleri

Şekil 5.21 ve Şekil 5.22’de görüldüğü gibi k etkinlik faktörü değerleri 7 günlük numuneler için iki grafikte birbirine benzer şekildedir. Grafiklerde bazı eğrilerin kısa çizilmiş olmasının sebebi k etkinlik faktörünü eşit işlenebilirlik metoduyla bulmak için kullandığımız mukavemet-E/C grafiklerinde yüksek fırın cürufu katkılı eğrilerin bazılarının kontrol betonunun eğrisiyle kesişmesi sebebiyle olmuştur. Yani kontrol betonu eğrisinin altında kalan bölgelerde yüksek fırın cürufunun etkinliği yoktur. Hem su hem de hava ortamındaki grafikleri incelediğimizde %50 yüksek fırın cürufu

eklenen numunelerin etkinlik faktörünün genelde %33 ve %17 yüksek fırın cürufu eklenen numunelere göre daha fazla olduğunu fakat su/çimento oranı arttıkça sabit veya azalan bir eğri oluşturduğunu görüyoruz. %33 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerde ise su/çimento oranı arttıkça yükselen bir eğri görüyoruz. Su/çimento oranı 0,7'i geçtikten sonra %50 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin k etkinlik faktörü değerini geçtiğini görüyoruz. %17 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerde ise su/çimento oranı arttıkça artan bir eğri gözükmemektedir.

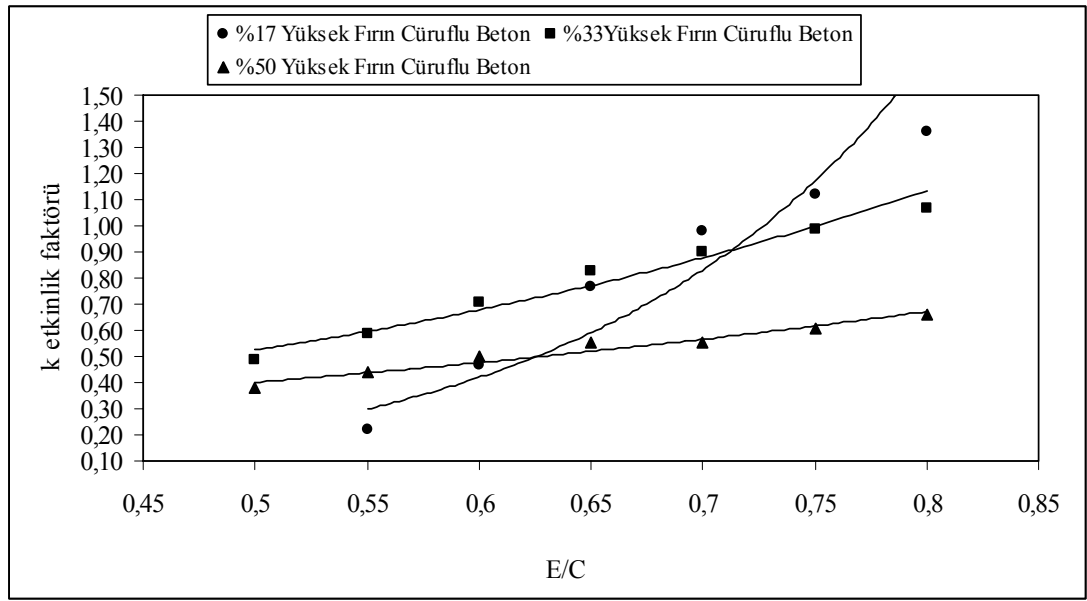


Şekil 5.23 Su ortamındaki numunelerin 28. gündeki k etkinlik faktörü-E/C grafikleri

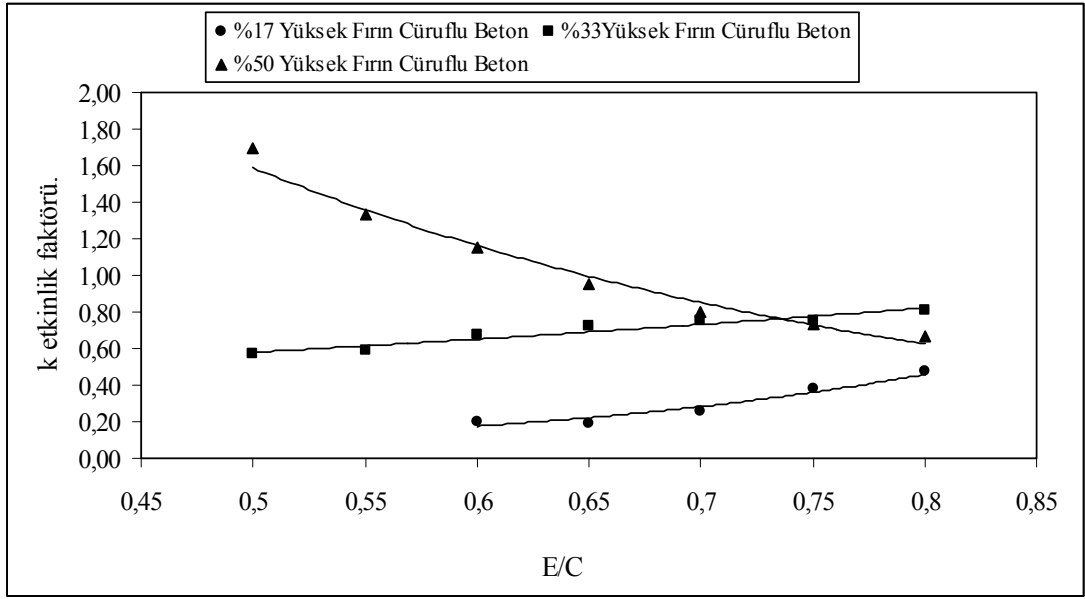


Şekil 5.24 Hava ortamındaki numunelerin 28. gündeki k etkinlik faktörü-E/C grafikleri

Şekil 5.23 ve Şekil 5.24'e baktığımız zaman 7. günde olduğu gibi hava ve su ortamındaki grafiklerin birbirine benzerlik gösterdiğini görüyoruz. Yalnızca hava ortamında %50 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin k etkinlik faktörü değerleri %17 ve %33 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerden fazlayken su ortamında da %33 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin etkinlik faktörünün diğer numunelerden fazla olduğunu görüyoruz.. Ayrıca 7 günlükten farklı olarak %50 ve %33 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin eğrileri birbirine paralel ve artan bir eğri göstermiştir. Yalnızca hava ortamındaki numunelerde 0,75 su/çimento oranından sonra %33 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin etkinlik faktörü değerleri %50 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin etkinlik faktörü değerlerini geçmiştir. %17 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerde ise su/çimento oranı arttıkça hızlı bir artış gözlemlemekteyiz.



Şekil 5.25 Su ortamındaki numunelerin 90. günde k etkinlik faktörü-E/C grafikleri

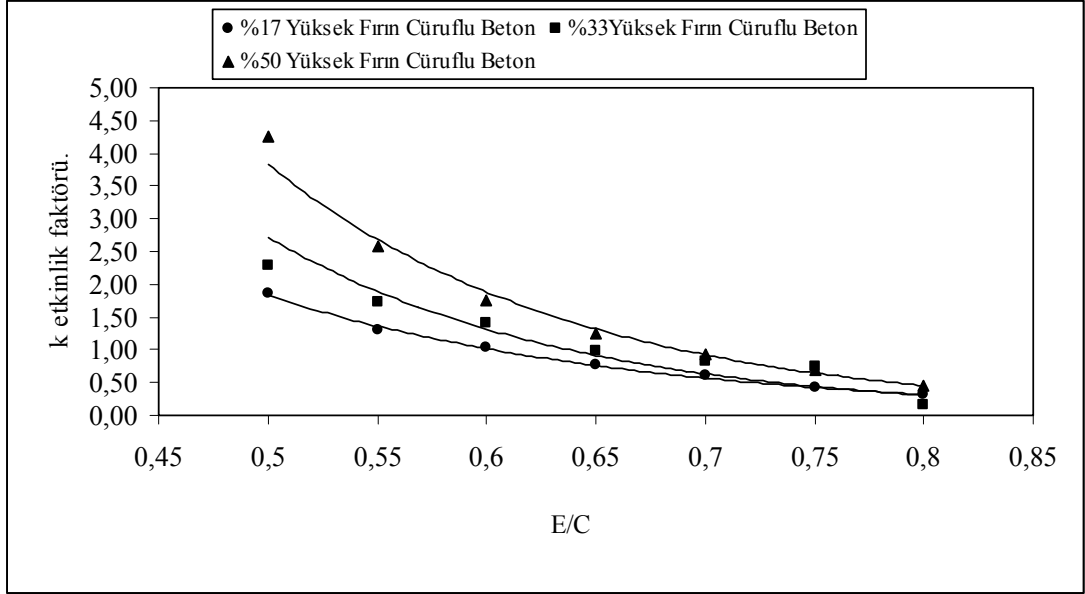


Şekil 5.26 Hava ortamındaki numunelerin 90. gündeki k etkinlik faktörü-E/C grafikleri

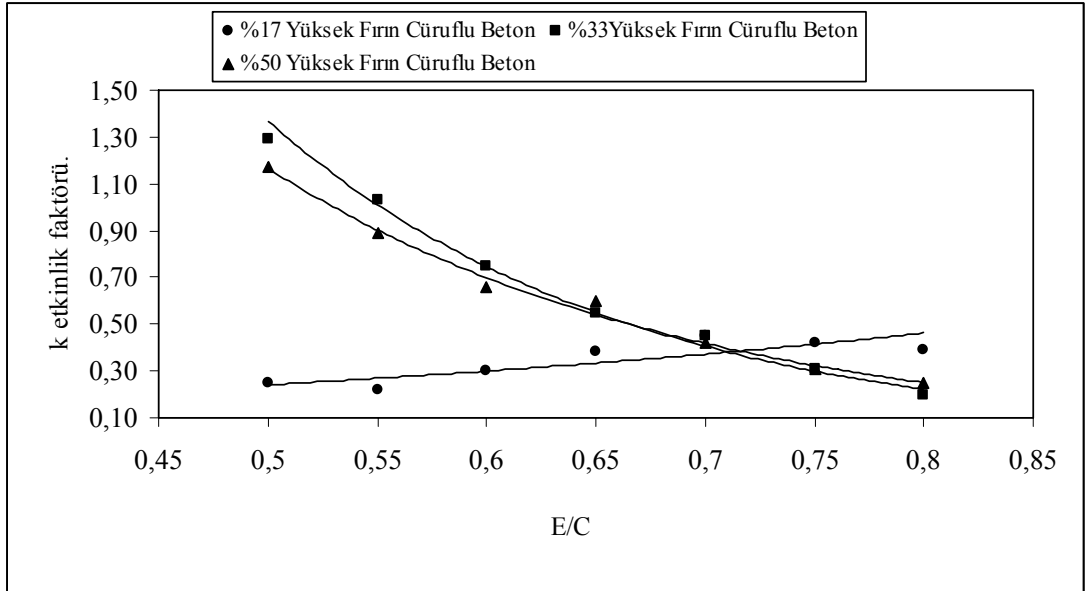
Şekil 5.25 ve Şekil 5.26'daki grafikler incelendiğinde 7 ve 28 günlük grafiklerden farklı olarak hava ve su ortamındaki grafiklerin birbirinden farklı olduğunu görmekteyiz. Su ortamındaki numuneleri incelediğimiz zaman 28 günlük numunelerde olduğu gibi %33 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin etkinlik faktörünün diğer numunelerin etkinlik faktöründen fazla olduğunu görmekteyiz. Ayrıca bütün yüksek fırın cürufu eklenen numunelerde su/çimento oranı arttıkça etkinlik faktöründe artış görmekteyiz. Özellikle su ortamındaki %17 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerde ciddi bir artış görülmektedir. Hava ortamındaki numuneleri incelediğimizde ise %50 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin etkinlik faktörü değerlerinin genel olarak %17 ve %33 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin etkinlik faktörü değerlerinden fazla olduğu görülmektedir. Yalnız su ortamındaki numunelerden farklı olarak %50 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin etkinlik faktörü değerlerinin su/çimento oranı arttıkça azaldığı görülmektedir.

Şekil 5.21, Şekil 5.22, Şekil 5.23, Şekil 5.24, Şekil 5.25 ve Şekil 5.26'daki grafikler mukavemet değerleri için hesaplanmış etkinlik faktörü değerleri içindi. Genel olarak incelediğimizde %50 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin etkinlik faktörü değerlerinin diğer numunelere göre daha fazla olduğunu görüyoruz. Tabi bazı durumlarda da %33 yüksek fırın cürufunun etkinliğinin daha fazla olduğu

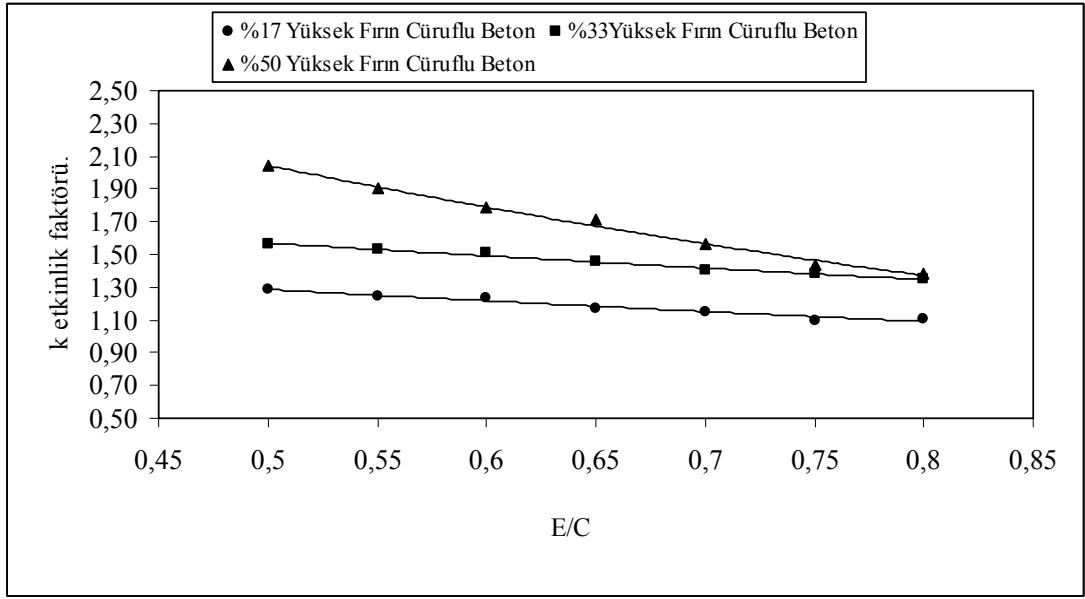
görülmektedir. Fakat su/çimento oranı arttıkça %17 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin etkinlik faktörünün bütün grafiklerde artış göstermesi de dikkat çekici bir noktadır. Aynı grafikleri k etkinlik faktörü yüksek fırın cürufu yüzdesi grafiklerinde yaptığımız gibi ağırlıkça su emme oranı için hesaplanmış k etkinlik faktörü değerleri içinde inceleyebiliriz.



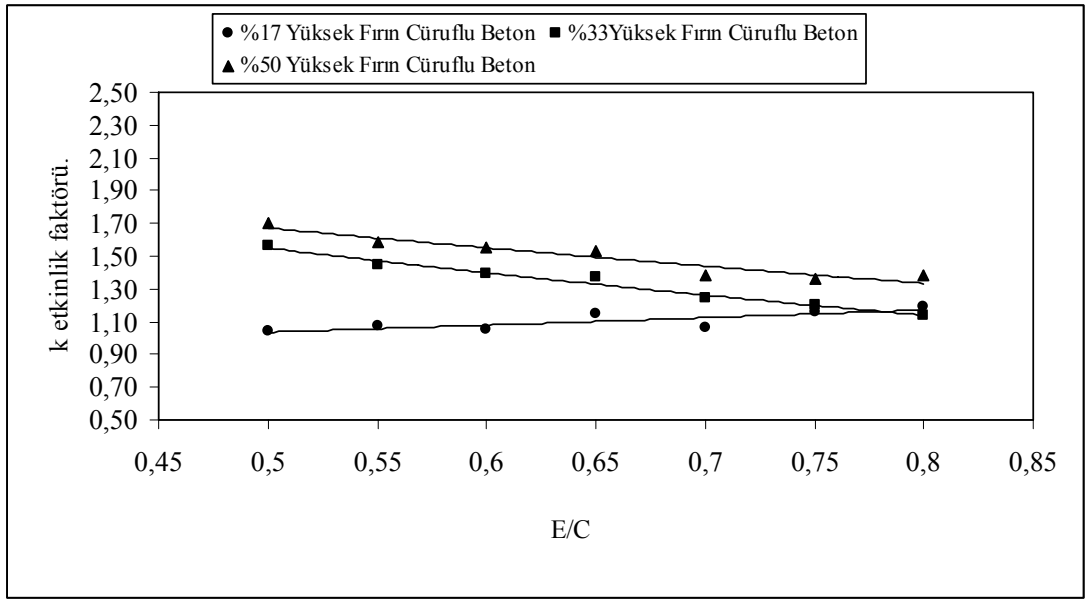
Şekil 5.27 Su ortamındaki numunelerin ağırlıkça su emme oranı için eşit işlenebilme metoduna göre hesaplanmış 28. gündeki k etkinlik faktörü-E/C grafikleri



Şekil 5.28 Hava ortamındaki numunelerin ağırlıkça su emme oranı için eşit işlenebilme metoduna göre hesaplanmış 28. gündeki k etkinlik faktörü-E/C grafikleri



Şekil 5.29 Su ortamındaki numunelerin ağırlıkça su emme oranı için oranlama metoduna göre hesaplanmış 28. gündeki k etkinlik faktörü-E/C grafikleri



Şekil 5.30 Hava ortamındaki numunelerin ağırlıkça su emme oranı için oranlama metoduna göre hesaplanmış 28. gündeki k etkinlik faktörü-E/C grafikleri

Şekil 5.26, Şekil 5.27, Şekil 5.28 ve Şekil 5.29'daki grafikleri incelediğimizde genelde birbirine paralel grafikler olduğunu görüyoruz. Su/çimento oranı arttıkça etkinlik faktörünün düştüğünü görüyoruz. Ayrıca mukavemet için çizilmiş olan grafiklerde olduğu gibi %50 yüksek fırın cürufunun etkinlik faktörünün diğerlerinden yüksek olduğunu söyleyebiliriz. Bir tek Şekil 5.28'deki grafikte %33 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin etkinlik faktörü değerlerinin %50 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin etkinlik faktörü değerlerine çok yakın olduğunu görüyoruz.

Birde %17 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin aynı grafikte diğer grafiklerden farklı olarak su/çimento oranı arttıkça artış gösterdiğini ve 0,72 su/çimento oranından sonra diğer numuneleri geçtiğini görmekteyiz. Yalnız dikkat etmemiz gereken bir durum da bu etkinlik faktörü değerlerinin doğru hesaplanabilmesi için $1/S_a$ değerlerini yani ağırlıkça su emme oranı değerlerinin kesir olarak tersi değerleri kullanmış olmamızdır. Bu durumda %50 yüksek fırın cürufunun etkinlik faktörü değerleri diğer numunelerden ne kadar fazla ise ağırlıkça su emme oranı değerleri diğer numunelere göre o kadar azdır. Yani daha az su emmiştir. Bu sonuçtan da mukavemet için hesaplanmış etkinlik faktörü değerlerinin ağırlıkça su emme oranı için hesaplanmış etkinlik faktörü değerleriyle mantık açısından doğru orantılı olduğunu söyleyebiliriz. Yani mukavemet açısından etkinliği fazla olan numunelerin ağırlıkça su emme oranları düşüktür.

6. SONUÇLAR:

Karçimsa tesisinden elde edilen yüksek fırın cürufuyla üretilen betonlarda mukavemet ve ağırlıkça su emme oranı özellikleri eklenen yüksek fırın cürufu yüzdelere göre incelenmiş ve elde edilen basınç dayanımı ve ağırlıkça su emme oranı değerleri kullanılarak her iki özellik için de ayrı ayrı k etkinlik faktörü değerleri bulunmuştur. Bulunmuş olan k etkinlik faktörü değerlerinin, yüksek fırın cürufu yüzdesine, zamana ve kür şartlarına bağlı olarak almış olduğu değerler irdelenmiştir. Numuneler üzerinde su emme deneyleri yapılarak yüksek fırın cürufu yüzdesine ve ortama göre elde edilen sonuçlar araştırılmıştır. Yapılan bu çalışma neticesinde ulaşılan sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

1- Taze Beton Deney Sonuçları:

Yapılmış olan taze beton deneyleri sonucunda değişik oranlarda yüksek fırın cürufu ilave edilmesiyle yani toplam bağlayıcı miktarının artmasıyla, eşit işlenebilirlik için ihtiyaç duyulan su miktarında artış olmuş, ancak su/toplam bağlayıcı oranlarına bakıldığında, yüksek fırın cürufu betonlarda kontrol betonuna göre daha düşük değerler elde edilmiştir. %17, %33 ve %50'lik serilerin hepsinde görünen ortak özellik yüksek fırın cürufunun artmasıyla daha düşük su/bağlayıcı oranının elde edilmesidir. Buradan çıkarılan sonuç yüksek fırın cürufunun işlenebilirliği iyileştirdiği ve betonda su ihtiyacını azalttığıdır.

2- Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları:

a- Basınç Deney Sonuçları:

Basınç dayanımı deney sonuçlarında, genelde yüksek fırın cürufu eklenen betonların 28. güne kadar kontrol betonuna biraz daha yakın değerler aldığı görülmüştür. Bunun nedeni yüksek fırın cürufunun puzolanik reaksiyona girmesi için çimentonun hidratasyonu sonucu oluşacak kireci beklemesidir. 28. ve 90. günkü basınç dayanımları incelendiğinde yüksek fırın cürufu eklenen betonların dayanımlarının kontrol betonlarının dayanımlarından fazla olduğu gözükmektedir. Bir tek %50 ve %60 su/çimento oranına sahip betonlarda %17 yüksek fırın cürufu eklenen betonların basınç dayanımları kontrol betonunun altında kalmıştır. Fakat o grafiklerde de 28.

günden sonra %17 yüksek fırın cürufu eklenen betonların mukavemetlerindeki hızlı bir artışla kontrol betonunun değerlerine yaklaştığını görebiliriz. Basınç dayanımları sonuçlarına bakıldığında erken yaşlarda su/çimento oranı yüksek olan numunelerin dayanım kazanma hızları, su/çimento oranı düşük olan numunelerden daha yavaş olduğunu söyleyebiliriz. Özellikle 0,50 su/çimento oranı için %50 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin erken yaşlarda bile mukavemetin diğer betonlardan yüksek olduğunu görebiliriz. Basınç dayanımları kür koşullarına göre incelendiğinde ise hava ortamındaki numunelerin su ortamındaki numunelere göre daha düşük mukavemet verdiği görülmektedir.

b- Ağırlıkça su emme oranı deney sonuçları:

Su emme deney sonuçları incelendiğinde genel olarak %50 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin ağırlıkça su emme oranı değerleri her iki ortamda da en düşük değeri vererek en iyi performansı göstermiştir. %33 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin de ağırlıkça su emme oranı değerleri kontrol betonundan düşüktür ve en düşük su emme oranına sahip olduğu durumlarda vardır. % 17 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin ise kontrol betonuna göre kimi yerde daha düşük kimi yerde daha yüksek değerler aldığını görebiliriz. Buradan çıkarılacak sonuç yüksek fırın cürufu oranı arttıkça boşluk oranının azalması ve ağırlıkça su emme oranının düşmesidir. Ağırlıkça su emme oranı değerleri ortam koşullarına bakılarak incelendiğinde, bütün serilerde su ortamındaki ağırlıkça su emme oranı değerleri hava ortamına göre çok daha düşük çıkarak daha az su emdiği görülmüştür.

c- k Etkinlik Faktörü:

Basınç dayanımı sonuçlarına göre CEN TC 140 SC1 adına çalışma grubunun önerdiği eşit işlenebilme metodu kullanılarak elde edilen k etkinlik faktörü değerleri incelendiğinde erken yaşlardaki etkinliğin genel olarak ileriki yaşlardaki etkinlik değerlerinden daha düşük olduğu ve özellikle 28. günden sonra etkinlikte hızlı bir artış olduğunu görmekteyiz. Bunun nedeni daha önce de anlatıldığı gibi puzolanik reaksiyonun geç başlamasıdır.

Kür koşulları göz önüne alındığında suda bekletilen numunelerin etkinlik faktörü değerlerinin genel olarak hava ortamında bekletilen numunelerden daha fazla olduğu

görülmektedir. Puzolanik reaksiyonun nemli ortamda daha hızlı gelişmesinin bunda önemi büyüktür. Bir tek 90 günlük hava ortamında bekletilmiş %50 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerde su ortamına göre daha fazla artış gözlenmiştir.

7., 28. ve 90. günlük etkinlik faktörü değerlerine bakıldığında hava ortamında %50 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin su ortamında da %33 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin etkinliği en yüksek değeri almıştır. Ayrıca %17 yüksek fırın cürufu eklenen numunelerin hava ortamındaki 28. günden sonraki etkinlik faktörü artışı da dikkat çekicidir.

Mukavemet değerleri için bulunan etkinlik faktörü değerleri ağırlıkça su emme oranı içinde hem eşit işlenebilme metoduyla hem de oranlama metoduyla bulunmuştur. Bu incelemede ağırlıkça su emme oranının tersi kullanılmıştır. Bulunan sonuçlarda mukavemet için ve ağırlıkça su emme oranı için bulunan etkinlik faktörü değerlerinin genel olarak birbiriyle doğru orantılı olduğunu söyleyebiliriz. Yani sonuçta numuneler mukavemet açısından etkinlik faktörü ne kadar yüksekse ağırlıkça su emme oranı o kadar düşüktür. Yalnız burada etkinlik faktörü hesaplanırken ağırlıkça su emme oranının tersi ($1/S_a$) değeri kullanıldığı için mukavemet-su/çimento oranı ve ağırlıkça su emme oranı-su/çimento oranı grafikleri birbiriyle orantılıdır.

Yapılmış olan bu çalışma sonucunda Karçimsa tesislerinden elde edilen yüksek fırın cürufunun betonun mekanik özelliklerine etkisi incelenmiş ve etkinliği belirlenmiştir. Bu konuda ileride farklı yüksek fırın cürufu tipleriyle, değişik dozajlarda çimento kullanımı ile ilgili çalışmalar yapılmalı ve bulunan k etkinlik faktörü değerleri bu çalışmadaki sonuçlarla karşılaştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] **Kocataşkm, F.**, (1991). Betonun Dünü, Bugünü, Yarını, 2. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, Türkiye, s.23-31.
- [2] **Türkiye Çimento Mühtasilleri Birliği**, Mayıs (2001). Cüruflar ve Cüruflu Çimentolar, Ankara.
- [3] **Postacıoğlu, B.**, (1986). Bağlayıcı Maddeler Cilt-1, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- [4] **Özturan, T.**, (1991). Yüksek Mukavemetli Beton Üretiminde Mineral Katkı Maddelerinin Etkinliği, 2. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, Türkiye s.280-291.
- [5] **LEA , F.M.**, (1970) The Chemistry of Cement and Concrete Edward Arnold (Publishers) Ltd., Glasgow.
- [6] **NURSE, R.W.**, (1964). Slag Cements . In : The Chemistry of Cements , Edited by H.F.W. Taylor , Academic pres, London 1964 , pp. 37-68
- [7] **BLANKS, F.R and KENNEDY , L.H.** (1981) The Technology of Cement and Concrete . Volume 1 New York John Wiley and Sons Inc. London Chopman Hall, Limited .
- [8] **FREARSON, P.H. and UREN , J.M.** (1986) Investigations of A Ground Granulated Blast Furnace Slag Containing Merwinite Crystallization . Fly Ash, Silica Fume ,Slag and Natural Pozzolans in Concrete .
- [9] **DEMOLIAN , E.** (1980). Influence of Slag Chemical Composition and Texture on Their Hydraulicity . Proceedings, 7th Int. Cong. On the Chemistry of Cement. Vol. 11, Paris pp.111/89-111/94
- [10] **VENUAT, M. Et PAPADAKİS M.** (1961). Controle et Essais des Ciments , Mortiers , Betons . Editions Eyrolles , Paris.
- [11] **Türkiye Çimento Mühtasilleri Birliği**, Çimento Bülteni (1982) Sülfatlı Sulara Dayanıklı Çimentolar Hakkında Genel Bilgi . Cilt 19. Sayı 180. Sayfa 27-39
- [12] **Türkiye Çimento Mühtasilleri Birliği**, Çimento Bülteni (1982) Cüruflu Çimentoların Mikroyapısı. Cilt 19. Sayı 178. Sayfa 20-30
- [13] **Güner A.** (1980) Öğütülmüş Karabük Yüksek Fırın Cürufunun Portland Çimentoları ile Birlikte Kullanılması Olanakları. TÜBİTAK VII . BİLİM KONGRESİ . Kuşadası, İzmir.
- [14] **HNANG AND LIN** (1986) Strength Development of Blended Blast Furnace Slag Cement Mortars. Fly Ash , Silica Fume . Slag and Natural Pozzolans In Concrete ACI. Volume 2 . SP 91-65 pp. 1323-1340
- [15] **J.J. BROOKS and A.F. AL-KAİSİ** , September-October (1990) Early Strength Development of Portland and Slag Cement Concretes Cured at Elevated Temperatures ACI Materials Journal, V.87, No.5
- [16] **P.S Mangat and J.M. Khatib** , September-October (1995) Influence of Fly Ash, Silica Fume, and Slag on Sulfate Resistance of Concrete ACI Materials Journal, V.92, No.5
- [17] **D.G. MANTEL** , September-October (1994) Investigation into the Hydraulic Activity of Five Granulated Blast Furnace Slags with Eight Different Portland Cements ACI Materials Journal, V.91, No.5

- [18] **E. DOUGLAS, A. BÎLODEAU, and V.M. MALHOTRA** ,September-October (1992) Properties and Durability of Alkali-Activated Slag Concrete ACI Materials Journal, V.89, No.5
- [19] **YOUNG-JÏN KWON** , 3 March (2004) 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 .
- [20] **V.G. PAPADAKÏS , S. TSÏMAS** , 28 June (2001) Supplementary cementing materials in concrete PART 1: efficiency and design CEMENT and CONCRETE RESEARCH .
- [21] **WANG FU-SHENG, SUN RUI-LÏAN and CUI YÏNG-JÏNG** , 22 August (2002) Study on modification of the high-strength slag cement material CEMENT and CONCRETE RESEARCH .
- [22] **K. GANESH BABU and V. SREE RAMA KUMAR** , 28 September (2000) Efficiency of GGBS in concrete CEMENT and CONCRETE RESEARCH .
- [23] **CEN TC 104 SC1** , 31 January (2000) k-Value Determination for Type II Additions, Arnherm, Holland.
- [24] **TS 3624** , Temmuz (1981) Sertleşmiş Betonda Özgöl Ağırlık, Su Emme ve Boşluk Oranı Tayin Metodu TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ.

ÖZGEÇMİŞ

1981 YILINDA İzmir’de doğan Muammer Alper Şahan, orta öğrenimini 1999 yılında İzmir Şemikler lisesinde tamamladı. Aynı yıl Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümüne girerek öğrenim hayatını sürdürdü. 2004 yılında bu bölümden mezun oldu. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Anabilim dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen bu bölümde öğrenim görmektedir.