T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİPROPİLEN LİF TAKVİYELİ KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARIN PERFORMANS ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Mehmet AKTÜRK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Konya, 2007

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİPROPİLEN LİF TAKVİYELİ KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARIN PERFORMANS ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Mehmet AKTÜRK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez .../.../2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Yrd. Doç Dr. Hicran AÇIKEL
(Üye)

Yrd. Doç. Dr. Rıfat SEZER
(Danışman)

Yrd. Doç. Dr. Nail KARA
(Üye)

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Polipropilen Lif Takviyeli Kendiliğinden Yerleşen Betonların Performans Özelliklerinin Araştırılması

Mehmet AKTÜRK

T.C. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Rıfat SEZER

2007, 132 sayfa

Jüri
Yrd. Doç. Dr. Hicran AÇIKEL
Yrd. Doç. Dr. Nail KARA
Yrd. Doç. Dr. Rıfat SEZER

Beton teknolojisindeki gelişmeler, dayanım ve dayanıklılık açısından yüksek performanslı beton üretimine olanak sağlamaktadır. Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB), etkili akışkanlaştırıcı kimyasalların geliştirilmesiyle ile beton teknolojisine uyarlanmış özel bir betondur. Hem karışım tasarımı, hem de üretim teknikleri açısından klasik betondan farklı özelliklere sahiptir.

Bu çalışmada, dünyada ve ülkemizde kullanımı gittikçe yaygınlaşan Kendiliğinden Yerleşen Beton dört farklı karışım (hiper akışkanlaştırıcı katkı, hiper akışkanlaştırıcı katkı+ uçucu kül, hiper akışkanlaştırıcı+polipropilen lif, hiper akışkanlaştırıcı+uçucu kül+ polipropilen lif) ile üretilmiş ve bu betonların performans özellikleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Her bir karışım için 4 farklı dozaj kullanılmış toplamda 16 farklı deney yapılmış ve her bir deney için 12 adet (6 adet 15x15x15 cm Küp, 3 adet 15x30 cm Silindir ve 3 adet 10x10x50 cm Kiriş) numune üretilmiştir. Üretilen numuneler basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve eğilme dayanımı deneylerine tabi tutulmuş ve bu sonuçlara göre KYB üretiminde kullanılan malzemelerin KYB'ye etkileri araştırılmıştır.

Yapılan çalışmada Performans kriterlerinden basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı düşünüldüğünde en uygun karışımın 1.grup (hiper akışkanlaştırıcı katkı kullanılarak üretilen) karışım olduğu, eğilme dayanımında ise en uygun karışımın 3.grup (hiper akışkanlaştırıcı katkı+polipropilen lif kullanılarak üretilen) karışım olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kendiliğinden Yerleşen Beton, Hiper akışkanlaştırıcı Katkı, Polipropilen Lif, Uçucu Kül.

ABSTRACT

Master of Science Thesis

The investigation of performance charecteristics polypropylene fiber reinforced self compacting concretes

Mehmet AKTÜRK

Selcuk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences Civil Engineering Department

Adviser: Assist. Prof. Dr. Rıfat SEZER

2007, 132 pages

Jury
Assist. Prof. Dr. Hicran AÇIKEL
Assist. Prof. Dr. Nail KARA
Assist. Prof. Dr. Rıfat SEZER

Innovations in concrete technology, have lead us to the production of high performance concrete in terms of strength and durability. By the introduction of new effective hyperplasticizers into modern concrete technology, compaction problems have been solved Self Compacting Concrete (SCC) is a special type of material, that has different properties on both mix Design and production techniques compared to conventional concrete.

In this study, Self Compacting Concrete (SCC) whose use becoming spread unceasingly in the world and our country was produced by four different of mixes (hyper plasticizing additive, hyper plasticizing additive+fly ash, hyper plasticizing additive+polypropylene fiber, hyper plasticizing additive+fly ash+polypropylene fiber) and performance properties of these concretes were compared to each other. Four different of dosages for each mix were used and 16 different of experiments were carried out totally and 12 pieces of samples (15 x 15 x 15 cm cube shaped, 6 pieces, 15 x 30 cm of cylindrical shaped , 3 pieces, and 10 x 10 x

50 cm of beam, 3 pieces) were produced for each experiment. The samples produced were subjected to the tests of pressure strength, tensile strength in splitting, tensile strength in bending, and according to these results, the effects of the materials used for SCC production to SCC were investigated

In the study carried out, considering the pressure strength and tensile strength in splitting, among performance criteria, it has been determined that the best suitable mix was the mix, Group 1 (SCC produced by using hyper plasticizing additive), the mix, Group 3 (SCC produced by using hyper plasticizing additive + polypropylene fiber) in tensile strength in bending.

Key Words: Self Compacting Concrete, Hyper Plasticizing Additive, Polypropylene Fiber, Fly Ash.

TEŞEKKÜR

Tez konumu seçmemde bana yardımcı olan ve bu konuda çalışma yaparken benden desteğini hiç esirgemeyen danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Rıfat SEZER'e, çalışmalarım sırasında desteklerini esirgemeyen İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. M. Yaşar KALTAKCI'ya, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulunda Okutman olarak görev yapan Sayın Mustafa ALTIN'a teşekkür ederim. Bu çalışmamın temelini oluşturan deneylerde bana yardımcı olan KONBETON A.Ş.'nin değerli yöneticilerine ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Beni yaptığım her işte destekleyen ve güç veren aileme sonsuz teşekkürler.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	**i**
ABSTRACT	**iii**
TEŞEKKÜR	**v**
İÇİNDEKİLER	**vi**
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	**viii**
RESİMLERİN LİSTESİ	**ix**
TABLOLARIN LİSTESİ	**x**
GRAFİKLERİN LİSTESİ	**xiii**
SEMBOLLERİN LİSTESİ	**xvii**
KISALTMALARIN LİSTESİ	**xviii**
1. GİRİŞ	**1**
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	**4**
3. KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON	**15**
3.1. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Tarihsel Gelişimi	**16**
3.2. Betonu Oluşturan Malzemelerin Betonun Özellikleri Üzerine Etkisi	**17**
3.3. Taze Betonun İşlenebilme Özelliği	**19**
3.3.1. Doldurma Yeteneği	**21**
3.3.2. Ayrışmaya Karşı Direnç	**21**
3.3.3. Geçiş Yeteneği	**22**
3.4. Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri	**23**
3.5. Kendiliğinden Yerleşen Betona Giren Malzemeler	**25**
3.5.1. Akışkanlaştırıcı Kimyasal Katkılar	**25**
3.5.2. Süper Akışkanlaştırıcılar	**27**
3.5.3. Uçucu Küller	**29**
3.5.3.1. Uçucu Küllerin Sınıflandırılması	**31**
3.5.3.2. Uçucu Külün Üretimi	**32**
3.5.3.3. Uçucu Küllerin Yapısı	**32**
3.5.3.4. Uçucu Külün Betondaki Kimyasal Aktivitesi	**35**
3.5.4. Polipropilen Lifler	**36**
3.6. Kendiliğinden Yerleşen Beton Dizaynı	**39**
3.7. KYB'nin Mühendislik Özellikleri	**40**

3.8. KYB'nin Tasarım Kriterleri 41
3.9. Dünyanın Değişik Ülkelerinde Yapılan KYB Uygulamaları 42
4. MATERYAL VE METOT 46
4.1. Materyal 46
4.1.1. Agreganın özellikleri 46
4.1.2. Beton karma suyu ve çimentonun özellikleri 48
4.1.3. Uçucu külün özellikleri 49
4.1.4. Hiper akışkanlaştırıcı katkı maddesinin özellikleri 50
4.1.5. Polipropilen Lifin Özellikleri 52
4.2. Metot 53
4.2.1. Agrega deneylerinde uygulanan metotlar 53
4.2.1.1. Sıkışık birim ağırlık deneyi 54
4.2.1.2. Gevşek birim ağırlık deneyi 55
4.2.1.3. 0-4 mm İnce agreganın özgül ağırlık deneyi 55
4.2.1.4. 8-16 mm İri agreganın özgül ağırlık deneyi 57
4.2.2. Beton numunelerinin hazırlanması 59
4.2.2.1. Agrega oranları 59
4.2.2.2. Çimento dozajı ve su miktarı 59
4.2.2.3. Uçucu kül ve Hiper akışkanlaştırıcı katkı maddeleri oranları 59
4.2.2.4. Beton karışım hesapları 60
4.2.2.5. Beton karışımlarının hazırlanması 61
4.2.2.6. Kendiliğinden Yerleşen Beton Deney Yöntemleri 62
4.2.2.7. Beton karışımlarının Numune kalıplarına konması ve saklanması 67
4.2.2.8. KYB'nin numune boyutları ve sayıları 67
4.2.3. Sertleşmiş KYB numuneleri üzerine yapılan deneyler 68
4.2.4. Deney Düzeni 69
5. KYB DENEY SONUÇLARI 72
6. KYB DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ 118
7. SONUÇ VE ÖNERİLER 124
8. KAYNAKLAR 127
ÖZGEÇMİŞ 132

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 3.1. KYB Elde Edilmesi İçin Genel Yaklaşım……... 41

Şekil 4.1. 0-4 mm Dane Çaplı ince agreganın granülometri eğrisi……...47

Şekil 4.2. 8-16 mm Dane Çaplı iri agreganın granülometri eğrisi……47

Şekil 4.3. V- Hunisi Akış Deney Aparatı……. 65

Şekil 4.4. L -Kutusu Deney Aparatı……. 66

Şekil 4.5. KYB'de yarmada çekme dayanımı deney düzeni…….71

Şekil 4.6. KYB'de eğilme dayanımı deney düzeni……...71

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim 4.1 Deneyde kullanılan Tunçbilek Uçucu külü…….50

Resim 4.2 Deneyde Kullanılan Hiper akışkanlaştırıcı YKS Glenium 51…….52

Resim 4.3 Deneyde Kullanılan Polipropilen Lif……..53

Resim 4.4. KYB Numunelerinin mikserde üretilmesi ve kür edilmesi……62

Resim 4.5. Çökme Yayılma Deneyi**……**64

Resim 4.6. V- Hunisi Akış Deneyi……..... ….65

Resim 4.7. L -Kutusu Deneyi……...……67

Resim 4.8. Basınç Dayanımı Tayini Deneyi……68

Resim 4.9. Eğilme Dayanımı Tayini Deneyi……69

TABLOLARIN LİSTESİ

Tablo 3.1. Almanya'da yapılan Prekast Duvar Uygulaması…… 42

Tablo 3.2. Almanya'da yapılan Sel Koruma Duvarı ve Çek Cumhuriyetindeki Üniversite İdari Binası Uygulaması……43

Tablo 3.3. Türkiye'de yapılan Otel binası güçlendirmesi…….44

Tablo 3.4. Türkiye'de yapılan Çimento silosu güçlendirmesi…… 45

Tablo 4.1. Çimentoya ait Konya Çimento A.Ş. laboratuarlarında bulunan değerler ve TS EN 197-1'de istenen değerler…….48

Tablo 4.2. Tunçbilek uçucu külü için firma yetkilileri tarafından bulunan değerler bulunan değerler ve TS EN 450'de istenen değerler.. ……..49

Tablo 4.3. KYB'nin sağlaması gereken kriterler…….63

Tablo 5.1. HK kullanılarak üretilen KYB'deki malzeme karışım miktarları (kg/m^3) ve Çökme Yayılma deneyi, V Hunusi Akış deneyi, L Kutusu deneylerinin sonuçları……73

Tablo 5.2. HK+UK kullanılarak üretilen KYB'deki malzeme karışım miktarları (kg/m^3) ve Çökme Yayılma deneyi, V Hunusi Akış deneyi, L Kutusu deneylerinin sonuçları……77

Tablo 5.3. HK+PPL kullanılarak üretilen KYB'deki malzeme karışım miktarları (kg/m^3) ve Çökme Yayılma deneyi, V Hunusi Akış deneyi, L Kutusu deneylerinin sonuçları……81

Tablo 5.4. HK+UK+ PPL kullanılarak üretilen KYB'deki malzeme karışım miktarları (kg/m^3) ve Çökme Yayılma deneyi, V Hunusi Akış deneyi, L Kutusu deneylerinin sonuçları……85

Tablo 5.5. HK kullanılarak üretilen KYB'lerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları (kg/cm^2)…….89

Tablo 5.6. HK+UK kullanılarak üretilen KYB'lerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları (kg/cm^2)…….....91

Tablo 5.7. HK+PPL kullanılarak üretilen KYB'lerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları (kg/cm^2) ……93

Tablo 5.8. HK+UK+PPL kullanılarak üretilen KYB'lerin 7 ve 28 günlük Betonun basınç dayanımları (kg/cm^2)…….95

Tablo 5.9. HK kullanılarak üretilen KYB'lerin Silindir Yarma deney sonuçları ve 28 günlük yarmada çekme dayanım değerleri (kg/cm^2)……....97

Tablo 5.10. HK+UK kullanılarak üretilen KYB'lerin Silindir Yarma deney sonuçları ve 28 günlük yarmada çekme dayanım değerleri (kg/cm^2)……99

Tablo 5.11. HK+PPL kullanılarak üretilen KYB'lerin Silindir Yarma deney sonuçları ve 28 günlük yarmada çekme dayanım değerleri (kg/cm^2)……..101

Tablo 5.12. HK+UK+PPL kullanılarak üretilen KYB'lerin Silindir Yarma deney sonuçları ve 28 günlük yarmada çekme dayanım değerleri (kg/cm^2)…….103

Tablo 5.13. HK kullanılarak üretilen KYB'lerin Kiriş numunelerinin eğilme deneylerinin sonuçları ve 28 günlük eğilme dayanımları (kg/cm^2)…….105

Tablo 5.14. HK+ UK kullanılarak üretilen KYB'lerin Kiriş numunelerinin eğilme deneylerinin sonuçları ve 28 günlük eğilme dayanımları (kg/cm^2)……107

Tablo 5.15. HK+PPL kullanılarak üretilen KYB'lerin Kiriş numunelerinin eğilme deneylerinin sonuçları ve 28 günlük eğilme dayanımları (kg/cm^2)……109

Tablo 5.16. HK+UK+PPL kullanılarak üretilen KYB'lerin Kiriş numunelerinin eğilme deneylerinin sonuçları ve 28 günlük eğilme dayanımları (kg/cm^2)……111

Tablo 5.17. 4 grupta üretilen KYB'lerin 7 ve 28 günlük ort. basınç dayanımları, 28 günlük ort. Yarmada çekme dayanımları ve 28 günlük ort. Eğilme dayanımları (kg/cm^2)……..113

GRAFİKLERİN LİSTESİ

Grafik 5.1. HK kullanılarak üretilen KYB'deki malzeme karışım miktarları (kg/m^3) ……..……74

Grafik 5.2. HK kullanılarak üretilen KYB'nin Çökme Yayılma deney sonuçları (mm)……..74

Grafik 5.3. HK kullanılarak üretilen KYB'nin Çökme Yayılma deneyinde T 500 mm'ye ulaşma hızı (2-5 sn)……..75

Grafik 5.4. HK kullanılarak üretilen KYB'nin V Hunusi Akış deneyi sonuçları (sn)…….....75

Grafik 5.5. HK kullanılarak üretilen KYB'nin L kutusu deneyi sonuçları (sn)……76

Grafik 5.6. HK kullanılarak üretilen KYB'nin L kutusu deneyi L Kutusu Oranı (H1/H2>0,80)……76

Grafik 5.7. HK+UK kullanılarak üretilen KYB'deki malzeme karışım miktarları (kg/m^3)……..78

Grafik 5.8. HK+UK kullanılarak üretilen KYB'nin Çökme Yayılma deney sonuçları (mm)……..78

Grafik 5.9. HK+Uçucu Kül kullanılarak üretilen KYB'nin Çökme Yayılma deneyinde T 500 mm'ye ulaşma hızı (2-5 sn)…….79

Grafik 5.10. HK+UK kullanılarak üretilen KYB'nin V Hunusi Akış deney sonuçları (sn)…….....79

Grafik 5.11. HK+UKkullanılarak üretilen KYB'nin L Kutusu deney sonuçları (sn)……80

Grafik 5.12. HK+UK kullanılarak üretilen KYB'nin L kutusu deneyi L Kutusu Oranı (H1/H2>0,80)……80

Grafik 5.13. HK+PPL kullanılarak üretilen KYB'deki malzeme karışım miktarları (kg/m^3)……..82

Grafik 5.14. HK+PPL kullanılarak üretilen KYB'nin Çökme Yayılma deney sonuçları (mm)……..82

Grafik 5.15. HK+PPL kullanılarak üretilen KYB'nin Çökme Yayılma deneyinde T 500 mm'ye ulaşma hızı (2-5 sn)…….83

Grafik 5.16. HK+PPL kullanılarak üretilen KYB'nin V Hunusi Akış deney sonuçları (sn)……....83

Grafik 5.17. HK+PPL kullanılarak üretilen KYB'nin L Kutusu deney sonuçları (sn)……84

Grafik 5.18. HK+PPL kullanılarak üretilen KYB'nin L kutusu deneyi L Kutusu Oranı (H1/H2>0,80)……84

Grafik 5.19. HK+UK+PPL kullanılarak üretilen KYB'deki malzeme karışım miktarları (kg/m^3)……..86

Grafik 5.20. HK+UK+PPL kullanılarak üretilen KYB'nin Çökme Yayılma deney sonuçları (mm)……..86

Grafik 5.21. HK+UK+PPL kullanılarak üretilen KYB'nin Çökme Yayılma deneyinde T 500 mm'ye ulaşma hızı (2-5 sn)…….87

Grafik 5.22. HK+ UK+PPL kullanılarak üretilen KYB'nin V Hunusi Akış deney sonuçları (sn)……87

Grafik 5.23. HK+UK+PPL kullanılarak üretilen Kendiliğinden Yerleşen Betonun L Kutusu deney sonuçları (sn)……..88

Grafik 5.24. HK+UK+PPL kullanılarak üretilen KYB'nin L kutusu deneyi L Kutusu Oranı (H1/H2>0,80)…….....88

Grafik 5.25. HK kullanılarak üretilen KYB'lerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları (kg/cm^2)…….90

Grafik 5.26. HK+UKkullanılarak üretilen KYB'lerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları (kg/cm^2)…….....92

Grafik 5.27. HK+PPL kullanılarak üretilen Kendiliğinden Yerleşen betonların 7 ve 28 günlük basınç dayanımları (kg/cm^2)…….94

Grafik 5.28. HK+UK+PPL kullanılarak üretilen KYB'lerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları (kg/cm^2)…….96

Grafik 5.29. HK kullanılarak üretilen KYB'lerin 28 günlük yarmada çekme dayanım değerleri (kg/cm^2)…….98

Grafik 5.30. HK+UK kullanılarak üretilen KYB'lerin 28 günlük yarmada çekme dayanım değerleri (kg/cm^2)……...100

Grafik 5.31. HK+PPL kullanılarak üretilen KYB'lerin 28 günlük yarmada çekme dayanım değerleri (kg/cm^2)……...102

Grafik 5.32. HK+UK+PPL kullanılarak üretilen KYB'lerin 28 günlük yarmada çekme dayanım değerleri (kg/cm^2)…….104

Grafik 5.33. HK kullanılarak üretilen KYB'lerin Kiriş numunelerinin 28 günlük eğilme dayanımları (kg/cm^2)…….....106

Grafik 5.34. HK+UK kullanılarak üretilen KYB'lerin Kiriş numunelerinin 28 günlük eğilme dayanımları (kg/cm^2)…….....108

Grafik 5.35. HK+ PPL kullanılarak üretilen KYB'lerin Kiriş numunelerinin 28 günlük eğilme dayanımları (kg/cm^2)…….....110

Grafik 5.36. HK+UK+PPL kullanılarak üretilen KYB'lerin Kiriş numunelerinin 28 günlük eğilme dayanımları (kg/cm^2)…….....112

Grafik 5.37. 4 grupta (HK, HK+UK, HK+PPL, HK+UK+PPL kullanılarak üretilen KYB'lerin) 7 günlük ortalama basınç dayanımları (kg/cm^2)……..114

Grafik 5.38. 4 gruptaki (HK, HK+UK, HK+ PPL, HK +UK+PPL kullanılarak üretilen KYB'lerin) 28 günlük ortalama basınç dayanımları (kg/cm^2)……115

Grafik 5.39. 4 gruptaki (HK, HK+UK, HK+ PPL, HK+UK+PPL kullanılarak üretilen KYB'lerin) ortalama 28 günlük yarmada çekme dayanımları (kg/cm^2)……116

Grafik 5.40. 4 gruptaki (HK, HK+UK, HK+PPL, HK+UK+PPL kullanılarak üretilen KYB'lerin) 28 günlük ortalama eğilmen dayanımları (kg/cm^2)…….117

SEMBOLLERİN LİSTESİ

Bs : Sıkışık birim ağırlığı (kg / m^3)

V : Ölçü kabı iç hacmi (m^3)

W1 :Ölçü kabı ağırlığı (kg)

W2 :Gevşek agrega ile dolu ölçü kabı ağırlığı (kg)

Bg : Gevşek birim ağırlığı (kg / m^3)

γ_k : Agreganın kuru özgül ağırlığı (kg / dm^3)

γ_d : Agreganın görünene özgül ağırlığı (kg / dm^3)

W_1 : Numunenin etüv kurusu ağırlığı (kg)

W_2 : Numunenin doygun kuru yüzey durumundaki ağırlığı (kg)

W_3 : Ölçü kabı, su ve numunenin toplam ağırlığı (kg)

W_4 : 1000 ml çizgisine kadar su ile dolu ölçü kabı ağırlığı (kg)

m_e : Su emme oranı (%)

C : Karışıma girecek çimentonun kütlesi (kg)

γ_C : Çimentonun yoğunluğu (kg / dm^3)

W : Karışıma girecek suyun hacmi

Wa : Karışıma girecek agreganın kütlesi (kg)

γ_a :Agreganın yoğunluğu (kg / dm^3)

A : Betondaki Toplam hava miktarı (dm^3)

σeç :eğilme dayanımı (kg / cm^2)

σyç :yarmada çekme dayanımı (kg / cm^2)

P :Deney presinde kırılma anındaki en büyük yük (kg)

L :Destek silindir eksenleri arasındaki uzaklık (cm)

b :eğilme deneyinde Kırılma kesitinin ortalama genişliği (cm)

h : Kırılma kesitinin ortalama yüksekliği (cm)

d : yarmada çekme deneyinde Kırılma kesitinin ortalama genişliği (cm)

γ_{uk} **:** Uçucu külün özgül ağırlığı

γ_{ha} **:** Hiper akışkanlaştırıcı katkının özgül ağırlığı

KISALTMALARIN LİSTESİ

KYB : Kendiliğinden Yerleşen Beton

VYB : Vibrasyonla Yerleşen Beton

HA : Hiper akışkanlaştırıcının Katkı

UK : Uçucu Kül

SMF : Melamin Formaldehit Sülfonat

SNF : Naftalin Formaldehit Sülfonat

TS : Türk Standardı

DİN : Alman Standardı

VAK : Viskozite Arttırıcı Katkı

YNSA : Yeni Nesil Süper Akışkanlaştırıcı Katkı

HK : Hiper Akışkanlaştırıcı Katkı

PPL : Polipropilen Lif

1.GİRİŞ

Günümüz yapı dünyasında geniş bir kullanım alanı bulunan beton, üretim ve uygulamaya kadar her aşamasında son derece dikkat ve özen gerektiren bir yapı malzemesi olarak hayatımıza girmiştir. Bir yapının taşıyıcı iskeletini oluşturan, betonarme uygulamalarında kullanılan betonun standartlara uygun olarak yüksek kalite ve dayanım sınıflarında üretilmiş olması, topraklarının büyük bir kısmı deprem kuşağında olan ülkemiz için hayati önem kazanmaktadır.

Çimento, agrega, su ve gerektiğinde bazı katkı malzemelerinin bir araya getirilmesiyle oluşan beton, çağımızda çok çeşitli yapılarda kullanılmaktadır. Çimento ve su bir araya getirildiği takdirde 'çimento hamuru' denilen yumuşak, plastik bir karışım ortaya çıkmaktadır. Bu iki malzeme, birleştirildiği andan itibaren kimyasal reaksiyonlar başlamakta ve reaksiyonların devam etmesiyle önceleri yumuşak, plastik durumda olan çimento hamuru, giderek daha sert ve dayanımı artan bir yapıya kavuşmaktadır. Çimento hamurunun zamanla sertleşme gösterme özelliği nedeniyle, betonda da sertleşme ve dayanım artışı meydana gelmekte, böylece istenilen şekilde sert ve suni bir taş elde edilmektedir. Taze betonun en önemli özelliği 'işlenebilme' , yani betonun kolayca ve homojenliğini yitirmeden karışabilmesi, taşınabilmesi, kalıplardaki yerine yerleştirilebilmesi ve sıkıştırılabilmesi özelliğidir. Sertleşmiş betonun başlıca özellikleri, hava koşullarına, kimyasal etkenlere, aşınmaya ve betonun hizmet yapacağı sürede karşılaşacağı diğer yıpratıcı etkenlere karşı dayanıklılık gösterme kabiliyeti, yani durabilite özelliği ile üzerine uygulanan yükleri taşıyabilmek üzere gösterdiği direnç, yani dayanım özelliğidir (Erdoğan 1994).

Beton dünyada en çok kullanılan yapı malzemelerinden biridir. Mevcut teknolojide beton kalitesi diğer birçok faktörün yanı sıra, yoğun emek ve enerji kullanımı gerektiren mekanik vibrasyon (sıkıştırma) işlemine bağlıdır. Bu derece yoğun tüketilen bir malzemenin de teknolojiye paralel gelişme göstermesi kaçınılmazdır. Bileşenleri itibari ile önceleri sadece su, çimento ve agregadan oluşan beton bünyesine kimyasal ve mineral katkıların girmesiyle pek çok olumlu özellik

kazanmıştır. Kimyasal ve mineral katkıların kullanımı ile birlikte üretim ve uygulama safhasında karşılaşılan pek çok sorun çözülebilmiştir.

Kimya alanındaki gelişmeler ve polimer teknolojisinin ilerlemesi, 80'li yılların ortalarından itibaren çok etkili akışkanlaştırıcıların keşfine sebep olmuştur. Yüksek oranda su kesme yeteneğine sahip bu akışkanlaştırıcılar, aynı zamanda taze betonun işlenebirliğini de arttırmaktadırlar. Yeni nesil akışkanlaştırıcıların sağladığı bu etki bilim adamlarını taze betonun yerleştirilmesi sırasında gereken sıkıştırma işlemini ortadan kaldırmak için araştırma yapmaya yöneltmiştir. Böylece Kendiliğinden Yerleşen Beton kavramı ortaya çıkmıştır.

1980'li yılların başında Japonya'da betonarme yapılarda kalıcılık sorunları incelenmiş ve bu sorunların en önemli sebeplerinden birinin, taze betonun yeterli sıkıştırma işlemi uygulanmadan yerleştirilmesi olduğu saptanmıştır. Özellikle taze betonun sıkıştırılması için gerekli kalifiye işçi yetersizliği, yerleştirilen betonun kalitesini olumsuz etkilemektedir. Öte yandan işçi ne kadar eğitilmiş olursa olsun, taze betona homojen sıkıştırma enerjisi verilebilmesi, özellikle işlenebilirliğin düşük olması halinde pratikte mümkün değildir. Bu problemi çözmek amacıyla sıkıştırma enerjisine ihtiyaç olmadan kendi ağırlığı ile sıkışarak yerleşebilecek özel bir tip beton üretilmesi tasarlanmıştır (Okamura 1999).

KYB karışımlarında normal betona kıyasla çok miktarda bağlayıcıya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve taş tozu gibi malzemeler yaygın olarak kullanılmaktadır. Kömür ile çalışan termik santraller, genellikle diğer alanlarda kullanım imkanı bulunmayan düşük kalorili kömür yataklarının yakınına kurulmakta ve her biri önemli çevre sorunlarına yol açmaktadır. Bu sorunlar, atmosfere bırakılan gazlardan kaynaklanan hava kirliliği ve atık sahalarında depolanan kömür yanma ürünlerinin yol açtığı toprak kirliliğidir. Kömür yanma ürünleri: elektro filtrelerde tutularak depolanan uçucu kül ve nispeten kaba tanelerden oluşan taban külü olarak iki ana sınıfa ayrılır. Bu atık akılcı olarak değerlendirilmezse önemli teknik, ekonomik ve çevresel sorunlara yol açmaktadır. Oysa ki, uçucu kül bilinçli kullanıldığında betonun birçok özelliğini olumlu yönde etkileyen ve puzolanik özelliği olan önemli bir beton katkısıdır.

Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB), kendi ağırlığı ile sık donatılı dar ve derin kesitlere yerleşebilen, iç veya dış vibrasyon gerektirmeksizin kendiliğinden

sıkışabilen, bu özelliklerini sağlarken ayrışma ve terleme gibi problemler yaratmayarak, kohezyonunu koruyabilen, çok akıcı kıvamlı özel bir beton türüdür.

Klasik beton karışımından farklı olarak KYB'de; kimyasal katkı, viskozite arttırıcı katkı ve puzolanik mineral katkının tümünün veya bir kısmının kullanılması ihtiyacı doğmaktadır. Bu malzemelerin seçimi ve beton tasarımında uygun oranlarda kullanılmasına yönelik yeni deney yöntemleri ve dolayısıyla standartlar geliştirilmektedir. Özellikle işlenebilirlik konusunda farklı parametreler ölçen değişik deney yöntemleri vardır. KYB her ne kadar işlenebilirlik özelliklerine göre sınıflandırılsa da belirli mekanik performans kriterlerini sağlaması gerekir. KYB'nin beklenen mekanik performansı vermesi aşağıdaki kriterlere bağlıdır:

1. Talep edilen performansa uygun malzeme tip ve oranlarının seçimi (karışım optimizasyonu),

2. Üretim safhasında malzeme tip ve oranlarındaki değişimin minimizasyonu (homojen malzeme kullanımı, hammadde değişkenliğinden kaynaklanacak problemlerin azaltılması),

3. Ortam koşullarının KYB'ye etkisinin göz önüne alınması, bu koşullara uygun önlemlerin hem karışım tasarımında hem de üretim safhasında dikkate alınması,

4. Üretim safhasında taze beton kalitesinin seçilen deneylerle sürekli kontrolü, istenen özelliği sağlamayan karışıma anında müdahale yapılması.

Yukarıdaki kriterlere uyulması halinde, KYB'den en yüksek mekanik performansı almak mümkün olacaktır. Uyulmayacak her kriter mekanik özelliklerde düşüşe sebep olur. Bu nedenle her KYB karışımından olumlu sonuç alınamayabilir. Normal beton üretiminde de yukarıda sözü edilen kriterlere uyulması performansı arttırmaktadır. Ancak KYB'de bu kriterlere hassasiyet daha üst seviyede olup, yapılacak yanlışlıkları düzeltmek klasik beton üretimine kıyasla çok daha zordur.

Bu çalışmada dünyada ve ülkemizde kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşan ve güçlendirme projelerinin vazgeçilmez unsuru olacağı düşünülen Kendiliğinden Yerleşen beton hiper akışkanlaştırıcı katkı, uçucu kül ve polipropilen lif kullanarak üretilmiş ve bu maddelerin KYB'nin performansına etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır.

2.KAYNAK ARAŞTIRMASI

Erdinç (1995), tarafından uçucu küllü betonların dayanıklılığı ve külün klor geçirimliliği araştırılmıştır. Buna göre beton numuneleri etkinlik faktörü kullanılarak veya kullanılmayarak çimentonun uçucu külle kısmi yer değiştirmesi sonucu üretilmiştir. Beton numunelerinin klor geçirimliliği 'Hızlı Klor Geçirimliliği ' testi ile yapılmıştır. Ayrıca örneklerin kılcallığı da test edilmiştir. İstenen basınç dayanımının elde edilmesinde hiçbir zorlukla karşılaşılmamıştır. Sonuçta betonda uçucu kül kullanımının klor geçirimliliğinde önemli azalmalara neden olduğu tespit edilmiştir. Klora maruz çevre şartlarında hizmet verecek beton yapılarda uçucu külün ilave veya ikame malzeme olarak kullanıldığı durumlarda; dayanıklılık bakımından yüksek çimento içeriğine sahip yüksek kaliteli ve mukavemetli betondan daha olumlu sonuç alınacaktır.

Gökçe (1995), tarafından yapılan Farklı İnceliklerdeki Uçucu Küllerin Betondaki Performanslarının karşılaştırıldığı araştırmada Seyitömer termik santralinden sağlanmış farklı inceliklerdeki uçucu küllerin betonun bazı önemli özellikleri üzerindeki performansları karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar uçucu kül irileştikçe ve ikame oranı arttıkça taze betonun su ihtiyacının arttığını göstermektedir. İri uçucu kül tanelerinin su ihtiyacının artmasının başlıca sebebi poroz, süngersi, doğal olarak su tutucu yapıya sahip olmalarıdır. İncelenen diğer sertleşmiş beton özellikleri bakımından, erken yaşlarda (3. ve 7. günlerde) inert bir bileşen gibi davranan uçucu külde incelik faktörünün etkisi ortaya çıkmamıştır. Ancak daha ileriki yaşlarda bu etki belirgin bir hal alarak, uçucu kül inceliği arttıkça uçucu külün beton özelliklerine olan olumlu katkısıda buna paralel olarak artmıştır.

Çilekli (1996), Uçucu Kül İnceliğinin Yüksek Dozajlı Betonun Özelliklerine Etkisi adlı çalışmada Seyitömer termik santrali'ne ait üç farklı incelikteki uçucu kül, portland çimentosu (PÇ 32,5) yerine ağırlıkça üç farklı oranda (%10, %20 ve %30) ikame edilerek, 375 kg/m^3 toplam bağlayıcılı, eşit işlenebilirliğe sahip betonlar üretilmiştir. Biri şahit, dokuzu uçucu küllü olmak üzere 10 çeşit beton üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen betonlardan bir kısmı normal küre tabi tutulmuş, bir kısmı da bir varil içinde bekletilen deniz suyunda haftalık ıslanma-kuruma çevrimine maruz bırakılmıştır. Üretilen betonların çeşitli yaşlarda basınç, eğilme dayanımları, dinamik elastisite modülleri ve kılcallık katsayıları tespit edilmiştir. Sonuçta, ince ve orta incelikteki uçucu küllerin düşük ikame oranlarında iyi neticeler verdiği bulunmuştur.

Xie ve ark. (2000), Aşırı şekilde öğütülerek toz haline getirilmiş Uçucu Kül içeren Yüksek Dayanımlı Kendiliğinden Yerleşen Beton'un Optimum Karışım Parametreleri adlı çalışmada aşırı şekilde öğütülerek toz haline getirilmiş Uçucu Kül ve Süper Akışkanlaştırıcı içeren Kendiliğinden Yerleşen Beton'un hazırlanma teknolojisi anlatılmıştır. Optimum karışım parametreleri seçildikten sonra iyi bir işlenebilirliğin yanı sıra yüksek mekanik özelliklere ve yüksek durabiliteye sahip bir KYB geliştirildi. Deneysel sonuçlar göstermiştir ki taze karışım düşük bir slump kaybına sahiptir. Betonun basınç mukavemeti 80 Mpa'a ulaşmış ve beton düşük geçirgenlikle birlikte donma-çözülmeye karşı iyi bir dayanım sergilemiştir.

Grünewald ve Walrawen (2001), Doygun Kaba Agrega ve Çelik Fiberin Kendiliğinden Yerleşen Beton'un özellikleri üzerine Parametre çalışması adlı bir araştırma yapılmıştır. Buna göre Kendiliğinden Yerleşen Beton'un birkaç ekonomik ve teknik faydası vardır; çelik fiberlerin kullanımı bu olanakları arttırır. Çelik fiberler, köprü çatlaklarının yayılmasını geciktirir ve betonun birçok özellik ve karakteristiğini geliştirir. Fiberlerin betonun işlenebilirliğini önemli derecede arttırdığı bilinmektedir. Bu yüzden düz KYB ile çelik fiberle takviye edilmiş KYB'nin özelliklerini karşılaştırmak için bir araştırma yapıldı. Farklı agrega içeriği

bulunan iki KYB karışımı referans olarak kullanıldı. KYB'nin işlenebilirliğinin ne dereceye kadar etkilendiği sorusunu cevaplamak için betonların her biri, çelik fiberlerin ayrı hacimde bulunan dört farklı türü ile test yapıldı. Taze betonun materyal özelliklerini değerlendirmek için çökme akışı, bir fiber tüneli ve J-halkası testi kullanıldı.

Su ve ark. (2001), tarafından yapılan KYB için basit bir karışım metodu isimli deneysel çalışmada, ilk olarak agregadaki gerekli oranların tanımlanması yapılmış ve agreganın boşluklarını dolduran bağlayıcıların birleştirme özellikleri ve betonun akıcılığının özellikleri incelenmiştir. KYB'nin istenen diğer özellikleri ve serbest sıkışabilme yeteneğidir. Agreganın miktarı, bağlayıcı ve karışım suyu ilaveten süper akışkanlaştırıcının türü, dozajı ve kullanılması ile ilgili özelliklerini içeren önemli faktörlerdir. Slump akışı, V hunisi, L akışı (kutusu), U kutusu ve basınç testleri KYB'nin performanslarını incelemek için sürdürülmektedir ve sonuçlar göstermiştir ki yüksek kaliteli KYB'yi başarılı bir şekilde üretmek için metotlar önermektedir. Japon Hazır-Beton Birliği (JRMCA) tarafından gerçekleştirilen metot'la karşılaştırıldığında bu metot daha basittir. Uygulanabilirliği kolaydır ve daha az zaman harcanır. Daha az miktarda bağlayıcı gerektirir ve maliyet açısından tasarruf sağlar.

Topçu ve Canbaz (2001), yapmış oldukları çalışmada endüstriyel bir atık olan uçucu külün betonda bağlayıcı malzeme olarak kullanımının betondaki etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla Çayırhan Termik Santrali'nden elde edilen uçucu kül, Eskişehir bölgesi agregaları ve PKÇ/B 32.5R çimentosu kullanılarak beton numuneleri üretilmiştir. Numuneler 300, 350, 400 kg/m^3 dozaj ve bu dozajların her biri için çimento yerine %20 ve %40 oranında uçucu kül katılarak elde edilmiştir. Üretim sırasında taze betonlarda çökme, VeBe, yayılma ve birim ağırlık deneyleri yapılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir. Laboratuar ortamında bekletilen numuneler 7, 28 ve 60 günün sonunda yapılan deneylerle uçucu külün beton üzerindeki fiziksel ve mekanik etkileri belirlenmiştir. İşlenebilirlik açısından yapılan incelemelerde

dozaj azaldıkça uçucu kül katılan betonlarda uçucu kül katkısız kontrol betonlarına göre VeBe süresinin azaldığı görülmüştür. Uçucu kül kullanımının beton basınç dayanımını azalttığı ve uçucu kül miktarının artırılması durumunda dayanımın daha da geç kazanıldığı anlaşılmıştır. 2000 yılı birim fiyatları ile yapılan maliyet analizinde çimento yerine %20 uçucu kül kullanılması ile beton birim maliyetinde ortalama %10'luk, %40 uçucu kül kullanılması ile de %18'lik bir ekonomik kazanç elde edildiği görülmüştür.

Corinaldesi ve Moriconi (2002), tarafından Dayanıklı Fiberle Güçlendirilmiş Kendiliğinden Yerleşen Beton adlı araştırmada İnce Prekast elemanları üretmek için KYB hazırlandı. Bu elemanlar üretilirken betona, çimento miktarının %10'u kadar bir dozajla homojen olarak dağıtılmış çelik fiberler eklendi. Su/çimento oranı 0.40 alınarak uygun bir beton sınıfına ulaşıldı. Bu ince Prekast elemanların güvenli olup olmadığının tespiti için sıkışma ve esneme testleri yapıldı. Bununla beraber onarılabilirlik yönleri göz önünde tutuldu.

Persson (2002), tarafından Kendiliğinden Yerleşen Beton'un Sülfat dayanıklılığı incelenmiştir. Bu amaçla 40'tan fazla silindirik beton numunesi 900 gün boyunca sodyum sülfat, deniz suyu veya saf suya maruz bırakılmıştır. Testin başlama yaşı 28 ya da 90 gün idi. Ağırlık ve iç temel sıklık (IFF) ölçüldü ve vibrasyonlu bir betonun (VC) uygun özellikleri ile bir kıyaslama yapıldı. Sonuçta görülmüştür ki Sodyum sülfat etkisi altında büyük olasılıkla KYB'nin kireçtaşı içeriğinden dolayı kütlesi VC'ninkinden daha büyük kayba uğrar. Deniz suyu veya saf su etkisinde ise hiçbir ağırlık farkı gözlenmemiştir. IFF azalmadı ya da iki beton türü arasında değişiklik göstermedi. 900 gün boyunca ortaya çıkan tomasit sülfat etkisine rağmen hiçbir içsel bozulma gerçekleşmedi. Bu çalışma 1999 ile 2002 yılları arasında yapılmıştır.

Zhu ve Bartos (2002), tarafından Kendiliğinden Yerleşen Beton'un yayılma özelliği incelenmiştir. Bu makale yayılma özelliği, geçirgenlik, absorpsiyon, yayılma gücü vb. ile beton dayanıklılık karakteristiklerinin yaygın olarak kullanılmalarını içermiştir. Aynı mukavemet derecelerine sahip geleneksel vibrasyon referanslı beton ile KYB karışımlarının farklı bölgelerdeki yayılma özelliklerinin karşılaştırılması ile ilgili deneysel bir çalışma olarak sunulmuştur. KYB karışımlarının karakteristik küp basınç dayanımları 40 ve 60 Mpa olarak dizayn edilmiş, ilave olarak ne dolgu gereci olarak toz malzeme nede herhangi bir dolgu gereci kullanılmamıştır. Sonuç olarak göstermiştir ki KYB karışımları normal vibrasyona tabi tutulmuş aynı mukavemet derecesine sahip normal beton referansından önemli derecede düşük oksijen geçirimliliğine sahiptir.

Akalın ve ark. (2003), Farklı Kimyasal Kökenli Süper Akışkanlaştırıcı Katkıların Beton Dayanıklılığı Üzerine Etkileri adlı çalışmada Farklı kimyasal kökene ve dağılma mekanizmasına sahip dört çeşit süper akışkanlaştırıcı katkı, çimento harcı ve beton karışımları üzerinde test edilmişlerdir. Bu katkılardan bir tanesi son nesil hiper akışkanlaştırıcı katkılar grubundan olup elektrostatik itmenin yanı sıra diğerlerinden farklı olarak sterik etki yaratmaktadır. Süper Akışkanlaştırıcı katkılar mekanik özellikler ve geçirimlilik direnci yönünden test edilmişlerdir. Süper Akışkanlaştırıcı katkılar karışımdaki çimento miktarının %0.6'sı ile %1.5'u arasında (katkı içeriğindeki etkin katı madde miktarı baz alınarak, karışımlarda çimentonun yüzdesi şeklinde ifade edilmiştir.) değişik dozajlarda, aynı su/çimento oranındaki karışımlar üzerinde denenmiştir. Çimento harcı üzerinde basınç dayanımları test edilirken, beton karışımlarında karışımlarında ise penetrasyon ve su geçirimlilik deneyi uygulanmıştır.

Djelal ve ark. (2003), tarafından Kendiliğinden Yerleşen Beton'un Tribolojik (Sürtünme Bilimi) tutumu'nun incelendiği araştırmada Süper Akışkanlaştırıcıların kullanımıyla yüksek işlenebilirlikte, kalıba konması kolay ve hiçbir titreşim gerektirmeyen KYB üretimi son birkaç yılda Avrupa'da yaygınlaşmıştır. KYB'nin

yerleşme sürecinin beton/duvar ortak yüzeyinde ortaya çıkan sürtünmeye bağlı olduğu savunulmuş ve KYB'yi karakterize etmek amacıyla bir doğrusal hareket tribometrisi geliştirilmiştir. Beton/metal tabaka sürtünmesinin katsayısını etkileyen birkaç parametre vardır. Bu parametreler tabakanın pürüzsüzlüğünü, tabakaya karşı kayma hızını, basıncı ya da normal baskıyı ve beton/duvar arasındaki yüzeyde bulunan biçimlendirilmesi zor etmenin doğasını içerir. Fiziksel mekanizmalar teklif edilir.

Felekoğlu ve ark. (2003), Kendiliğinden Yerleşen Betonların Aşınma ve Donma-Çözülme direncini inceledikleri çalışmada aynı çimento dozajında farklı viskozite arttırıcı mineral katkılar ve farklı agrega gradasyonları ile KYB'ler üretilmiş ve bu betonların dayanım sınıfına eşdeğer, geleneksel betonların yüzeysel aşınma ve donma-çözülme performansları karşılaştırılmıştır.

Güneyisi ve ark. (2003), Silis Dumanı ve Uçucu Kül Katkılı Betonların Klorür Difüzyon Katsayılarının Belirlenmesi adlı çalışmada portland çimentosu, silis dumanı ve uçucu külün çeşitli kombinezonlarda kullanılmasıyla üretilen betonların klorür geçirimlilikleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Su/ bağlayıcı oranı 0,35 ve 0,50 olan toplam sekiz karışım içerisinde bağlayıcı olarak sırasıyla yalnız portland çimentosu, portland çimentosu ve silis dumanı, portland çimentosu ve uçucu kül ile portland çimentosu, silis dumanı ve uçucu kül birlikte kullanılmıştır. Bu karışımlarda silis dumanı ağırlıkça %10 oranında çimentoya ilave olarak, uçucu kül ise ağırlıkça %15 oranında çimento yerine kullanılmıştır. Her bir karışımdan üretilen plak numunelerin üst yüzeyleri bir yıl süreyle %3 NaCl solüsyonuna maruz bırakılmış ve betonların klorür geçirimliliğinin derinlikle değişim profilleri elde edilmiştir. Ayrıca, betonların 28 ve 90 günlük basınç dayanımları da tespit edilmiştir. Sonuç olarak mineral katkı tipinin ve portland çimentosu ile betonda değişik kombinezonlarda birlikte kullanımının betonun basınç dayanımı ile klorür geçirimliliğine karşı direnci önemli ölçüde arttırdığını göstermiştir.

Özkul ve Doğan (2003), Kendiliğinden Yerleşen Betonların Geçirimlilik özellikleri adlı çalışmada 5 farklı çimento tipiyle üretilmiş ve 3 yıl boyunca laboratuar ortamında açıkta saklanmış KYB'lerin geçirimlilik özellikleri, bu süre boyunca meydana gelmiş olan karbonatlaşma derinliklerinin ölçülmesinin yanında hızlı klor difüzyonu, basınçlı su geçirimliliği ve kılcallık deneyleri ile belirlenmiştir.

Özyurt ve ark. (2003), Uçucu Küllü Betonlarda Kırma Kum İçeriğinin Beton Özelliklerine Etkisi adlı çalışmada Kırma Kum ile Doğal Kumun belirli oranlarda yerdeğişiminin uçucu kül içeren betonların mekanik özelliklerine, kılcal geçirimliliğine ve donma-çözülme dayanıklılığına etkisi araştırılmış ve bütün karışımlarda rafine lignosülfonat ve modifiye polimer esaslı akışkanlaştırıcı karışımı bir katkı maddesi 185 mm'lik çökme elde edilecek miktarlarda kullanılmıştır. Karışımlarda agrega granülometrisi ISO A32-B32 arasında ve B32 referans eğrisine yakın olacak şekilde seçilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda 'kırma kum/ince agrega' oranındaki artışın betonun basınç dayanımını arttırdığı, kılcal su geçirimliliğini ve donma çözülmeye dayanıklılığını azalttığı görülmüştür.

Sağlam ve ark. (2003), KYB ve Katkı-Çimento uyumu adlı çalışmalarında, değişik adet ve değişik çimento çeşitleriyle deneyler gerçekleştirmişler yayılma hızlarını tespit etmişler. Denenen betonların 1 günlük dayanımlarının hem çimento hem de katkı cinsinden etkilendiği, ayrıca bazı çimento ve katkıların birlikte kullanılmaları durumunda büyük miktarda hava sürüklendiği ve bunun da dayanımları etkilediği belirlenmiştir. Taze beton özellikleri ve dayanımlar açısından çimento-katkı etkileşmesinin önemli olduğu, bu nedenle uygulamaya geçmeden önce çimento-katkı uyum deneylerinin yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Sonebi (2003), tarafından yapılan çalışmada, orta dayanımlı uçucu kül içeren KYB modellemede kullanılmak üzere deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Yeni hazırlanmış taze KYB'nin etrafında engeller bulunan ve onun kendi ağırlığı ile

kalıpları tamamen doldurması ve akıcılığıyla yerleşmesi incelenmiş ve herhangi bir segregasyon ve blokajlaşma gözlenmemiştir. Daha kaliteli beton ve çalışma durumlarını iyileştirme için sınıflandırmalar yapılmıştır. KYB karışımları genellikle daha yüksek içeriklerde ince dolgu malzemeleri, çimento içeriği ve aşırı derecede sıkıştırılmış güçlü beton üretmektir ki, o özel bir betondur ve uygulama alanlarında dar yerlerden geçebilir. KYB'lerden elde edilebilen maksimum fayda pratik olarak genel beton ile ilgili yapılara adapte olabilmesidir.

Şengül ve ark. (2003), Yüksek Oranda Uçucu Kül İçeren Normal ve Yüksek Dayanımlı Betonların Klor Geçirimliliği adlı araştırmada ince öğütülmüş (Blaine özgül yüzeyi 604 m^2 / kg) uçucu kül miktarının betonun basınç dayanımına ve hızlı klor geçirimliliğine etkisi incelenmiştir. Su/bağlayıcı oranının 0,35 değerinde sabit tutulduğu betonlar üretilmiştir. Her üretimdeki toplam bağlayıcı madde miktarı sabit tutulmuş ve uçucu kül çimento ile %0'dan %70'e kadar yer değiştirilerek kullanılmıştır. Uçucu Külün çimentoyla yer değiştirilmesi bire bir ağırlık esasına göre ve %10'luk artışlarla yapılmış ve üretilen betonların bir yıllık basınç dayanımları ve ASTM C 1202-97 standardına göre hızlı klor geçirimliliği deney sonuçları elde edilmiştir. Buna göre çimentonun % 40 oranında ince uçucu kül ile yer değiştirilmesi durumunda beton basınç dayanımlarının külsüz beton ile yaklaşık aynı olduğu gözlenmiştir. Bu orandaki yer değiştirmeden itibaren basınç dayanımının önemli derecede azaldığı gözlenmiştir. Betonda ince öğütülmüş uçucu kül kullanımının klor geçirimliliklerini önemli ölçüde azalttığı tespit edilmiştir.

Şengül ve ark. (2003), Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufunun Klor Geçirimliliğine ve Basınç Dayanımına Etkisi adlı çalışmada, çok ince öğütülmüş Uçucu Kül (UK) ve Yüksek Fırın Curufunun (YFC) betonun mekanik özelliklerine ve klor geçirimliliğine etkisini incelemiştir. Farklı su/çimento oranına (0,60 ve 0,38) sahip iki seri beton üretmişlerdir. Çimentonun bir kısmı ince öğütülmüş (UK) (Blaine özgül yüzeyi 6000 cm^2 / g) ve YFC (Blaine özgül yüzeyi 6000 cm^2 / g) ile yer değiştirilmiştir. Üretilen betonlarda, çimentonun kül ve cüruf ile kısmı yer

değiştirmesi bire bir ağırlık esasına göre yapılmıştır. Her iki su/çimento oranı için, çimento şu mineral katkılarla yer değiştirilmiştir. i) %50 oranında ince öğütülmüş UK, ii) %50 oranında ince YFC, iii) %25 oranında ince öğütülmüş UK + %25 oranında YFC karışımı. Her bir seri agrega granülometrisi, su/çimento oranı ve en büyük agrega boyutu sabit tutulmuştur. İnce öğütülmüş UK ve YFC'nin klor geçirimliliğini oldukça azalttığı görülmüştür. Çimentonun %50 oranında ince öğütülmüş UK veya YFC'le ve %25 oranında ince öğütülmüş UK ve %25 YFC karışımıyla yer değiştirilmesi durumunda yüksek dayanımlı ve yüksek performanslı beton üretilebildiği sonucuna varılmıştır.

Tosun ve ark. (2003), Uçucu Kül İçeren Çimento Harçlarının Sülfat Dayanıklılığının İncelenmesi adlı çalışmada iki tip çimento (PÇ 42,5, SDÇ) ve değişik oranlarda C sınıfı uçucu kül içeren harçların sodyum sülfat çözeltisinde farklı koşullarda bekletildiklerinde yaptıkları genleşmeler ve dayanımlarındaki değişmeler belirlenmiştir.

Felekoğlu ve Barada'nın (2004), KYB'lerin mekanik özellikleri ile ilgili deneylerde, KYB tasarımında sabit bir çimento dozajında akışkanlaştırıcı katkı miktarı arttırılıp karışım suyu azaltıldıkça, yayılma değeri belirli sınırlar arasında tutulurken viskozite hızla artmaktadır. Sabit bir çimento dozajı ve agrega gradasyonunda, su/toz oranı artışıyla aynı anda katkı dozajının azaltılması, taze betonun donatılar arasından geçiş yeteneğini arttırmaktadır. Bu çalışmada üretilen KYB'lerin çekme dayanımları aynı anda dayanım sınıfındaki normal betonlara kıyasla %3 ile %17 arasında değişen mertebelerde daha yüksektir. Bu çalışmada üretilen KYB'lerin elastisite modülünde normal betonlara kıyasla önemli bir farklılık gözlenmemiştir. L-kutusu karot deneyleri ile KYB'nin yatay yönde akışında ayrışma meydana gelip gelmediği belirlenebilir.

Gürdal ve Yüceer'e (2004), göre KYB üretimi, titizlik gerektirmekte ve çok sıkı denetleme işlemlerini zorunlu kılmaktadır. KYB'nin her türlü karmaşık kalıplarda, vibrasyonun mümkün olmadığı durumlarda, dar ve sık donatılı kesitlerde kullanımı inşaat teknolojisi açısından çok büyük bir kolaylıktır. KYB'nin geliştirilmesi ve hafif agregalı KYB, çelik tel donatılı KYB, polipropilen lif donatılı KYB üzerinde çalışmalar dünya çapında devam etmektedir.

Ramyar ve Andiç (2004), Uçucu Kül İnceliği ve Kullanım Oranının Alkali-Silis Reaksiyonuna Etkisi adlı çalışmada uçucu külün kullanım oranının ve inceliğinin ASR genleşmeleri üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla bir tip agrega, iki tip uçucu kül ve bir tip çimento kullanılarak harç çubukları hazırlanmıştır. Uçucu küller üç farklı Blaine inceliğinde öğütülmüş ve beş farklı oranda çimento yerine kullanılmıştır. Hazırlanan harç numuneleri ASTM C1260 standardına göre kürlenerek 14 günlük standart süre sonunda genleşmeleri katkı içermeyen kontrol numunesi ile kıyaslanmıştır. Çalışmanın sonucunda, genleşmeyi kabul edilebilir limit eğerinin altına düşüren minimum uçucu kül kullanım oranı ile uçucu kül inceliği ve ASR genleşmeleri arasındaki bağlantılar yorumlanmıştır.

Şahmaran ve ark. (2004), tarafından yapılan çalışmada, Yüksek Hacimli Uçucu Kül kullanılarak KYB üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Yayılma testi sonunda betonun yayılma çapı 730 ile 800 mm, 50 cm yayılma genişliğine ulaşma süresi 2 ile 4 sn arasında değişmektedir. Yayılma testi sonunda bütün karışımların KYB özelliği gösterdiği gözlenmiştir. V-Hunisi testi sonunda elde edilen akma sürelerinde, karışımların viskozitesi KYB olma standartlarına göre biraz yüksek olduğu gözlenmiştir. Sertleşmiş KYB'ler üzerinde yapılan basınç dayanım deneyi sonuçlarına göre, 28 günlük basınç dayanımları 46 Mpa ile 30 Mpa arasında değişmektedir. Uçucu Kül miktarı toplam bağlayıcı miktarının ağırlıkça %50'sine kadar olan karışımlarda ilk günlerdeki basınç dayanımı farkı kapanmaktadır.

Türkel ve Felekoğlu (2004), tarafından yapılan ‘Aşırı dozda akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanımının taze ve sertleşmiş betonun bazı özellikleri üzerine etkileri’ adlı çalışmada normal. Süper ve hiper akışkanlaştırıcı sınıfına giren farklı kimyasal kökenlere sahip akışkanlaştırıcı katkıların üretici firmalar tarafından tavsiye edilen dozajlarda veya daha fazla miktarda kullanılması halinde betonun taze ve sertleşmiş haldeki özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Yapılan deney sonucunda süper ve hiper akışkanlaştırıcıların yüksek dozajlarda bile erken dayanımı etkilemediği fakat normal akışkanlaştırıcıların tüm dozajlarda priz gecikmesine sebep olduğu görülmüştür.

Ünal ve Uygunoğlu (2004), Uçucu Küllü Betonların Donma-Çözülme Etkisinde Mekanik Özelliklerinin Araştırılması adlı çalışmada Betonun dayanıklılığını artırmak amacıyla betona belirli oranlarda uçucu kül ilave edilmiş ve bunun betonun özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Buna göre Uçucu kül, beton içerisine çimentonun %10, %20, %30 ve %40 oranlarında yer değiştirilerek ilave edilmiştir. Betonlar 0,65 su/çimento oranında ve 300 kg/m^3 çimento dozajında üretilmişlerdir. 7 ve 28 gün sonra donma-çözülme periyoduna maruz bırakılan betonlar üzerinde birim hacim ağırlık ve basınç dayanımı deneyleri yapılmış ve ultra ses hızına bağlı olarak elastisite modülleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre uçucu kül miktarının %10-20 oranında ağırlıkça çimentonun yerine kullanılmasının betonun mekanik özelliklerine olumsuz bir etkisinin olmadığı söylenebilir.

Yazıcı ve ark. (2004), Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda hem atık bir malzeme olan uçucu külden yararlanmak, hem de KYB’de kullanılan C sınıfı uçucu külün beton üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla yaptıkları çalışmada değişik oranlarda C sınıfı uçucu kül içeren KYB’nin taze ve sertleşmiş haldeki özellikleri incelenmiştir Bunun yanı sıra yüksek oranda uçucu kül içeren KYB’de silika tozu kullanımının taze ve sertleşmiş beton özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

3. KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON

Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB), kendi ağırlığı ile döküldüğü kalıba yerleşen ve vibratör kullanılmasına gerek duyulmaksızın en sık donatılı bölgelerde ve en dar kesitlerde bile hava boşluğunu dışarı atarak ve sıkışarak seviyelenen, oldukça akıcı kıvamlı bir betondur.

Geleneksel beton dökümünde vibrasyon, yani yerleştirme ve sıkıştırma işlemi, betonun içindeki hava boşluklarını dışarı atmak, böylece dayanımı ve dayanıklılığı daha yüksek ve aynı zamanda daha düzgün yüzeyli bir beton elde etmek için zorunludur. Vibrasyon uygulanmamış betonların basınç dayanımında, vibrasyon uygulanmış olanlara göre %30'lara varan düşüşler görülmektedir. Ayrıca sağlıklı vibrasyon yapılmamış beton elemanlarda yüzey bozuklukları görülebilir. Özellikle binaların depreme karşı güçlendirilmesi projelerinde tüm bu etkenlere dar beton kesitleri ve sık donatı eklenince, vibrasyon uygulaması daha da zahmetli, bazen de olanaksız hale gelir. Oysa KYB kendi kendine sıkışma yeteneği sayesinde vibrasyon gerektirmez ve tüm olumsuz etkenleri elimine ederek, işçilikten ve zamandan tasarruf sağlar. Ayrıca gürültü probleminin ortadan kalkması, şehir merkezlerinde ve özellikle gece beton dökümlerinde üstünlük sağlar.

KYB özellikle hazır-beton sektörü, onarım-güçlendirme işleri ve prefabrik sektörü başta olmak üzere inşaatın değişik dallarında giderek daha fazla uygulama alanı bulmaktadır. Vibratör gerektirmeden kolay yerleşebilmesi, yüksek ayrışma direncine sahip oluşu, yüksek dayanıklılık özelliği gibi nedenlerle yüksek performanslı beton üretimine olanak veren KYB, ülkemizde de tanınmaya ve kullanılmaya başlanmıştır. KYB'nin bileşimi, etkin bir süper akışkanlaştırıcı yanında toplam ince malzeme miktarı, viskozite artırıcı katkı kullanımı, su/bağlayıcı oranı, maksimum agrega boyutu, kum/toplam agrega oranı ve toplam iri agrega miktarı gibi parametreler açısından geleneksel betondan farklılıklar gösterir.

Dünya üzerinde bakıldığında KYB üretmenin bölgesel malzemeler ve inşaat tekniklerine göre birçok şekli bulunmaktadır. Örneğin Japonya'da kalker filleri, cüruf gibi malzemelerle normal vibrasyonla sıkıştırılan betona göre çok ince dizaynlar

kullanılırken, Kuzey Amerika'da incesi nispeten düşük ancak viskozite düzenleyici katkılar kullanılarak betonun ayrışması kontrol edilmekte ve KYB üretilmektedir (Doğan 2005). 2002 yılında Özel Yapı Kimyasalları ve Beton Sistemleri Avrupa Federasyonu (EFNARC) üretici ve kullanıcılar için gerekli detayları içeren ilk kurumsal KYB şartnamesini yayınlamıştır.

3.1. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Tarihsel Gelişimi

KYB'ler ilk kez 1988 yılında betonarme yapılar yapmak amacıyla geliştirildi. KYB üzerine yazılan ilk bildiri 1989'da Ozawa tarafından Doğu Asya ve Pasifik Yapı Mühendisliği konferansında sunulmuştur. Aynı bildirinin 1992'de İstanbul'daki CANMET & ACI Uluslararası Konferansında sunulması KYB kavramının dünyaya yayılmasını hızlandırmıştır. Bu kongrede yapılan ön bilgilerin sunumu dünya üzerinde büyük yankı yaratmış, özellikle büyük depremlerle sarsılan Asya ülkelerinde ve işgücünün pahalı olduğu Kuzey Avrupa ülkelerinde farklı yaklaşımlarla KYB uygulamalarına başlanılmıştır (Doğan 2005). 1996'da New Orleans'da ACI Sonbahar Kongresinde KYB, Amerika ve Kanada'da iyice yaygın hale geldi; sonuç olarak KYB üzerine dünya ölçeğinde araştırmalar başlamış oldu (Okamura 1999).

KYB'nin iş ve işçi güvenliğine olan katkısı, beton dökümü için ihtiyaç duyulan işçiliği azaltması, betonarme elemanlarda artan inşaat kalitesi ve betonun artan kalıcılık özellikleri nedeniyle birçok özelliği geleneksel vibrasyonla yerleştirilen betona karşı bir avantaj olarak öne çıkmaktadır. Avrupa'daki ilk KYB 1990'ların ortalarında İsveç karayolu yapılarında kullanılmıştır. Avrupa Birliği 1997-2000 yılları arasında uluslararası bir çalışma başlatarak, Avrupa ülkelerinde KYB kullanımını arttırmayı hedeflemiştir (Şengül ve ark.). KYB çok kolay yerleşme özelliği sağlayarak inşaat sürelerini kısaltmakta ve yoğun donatılı bölgelerde bile kolaylıkla donatıları sarabilmektedir. Betonun akışkanlığı ve ayrışmaya karşı olan direnci sayesinde betonun homojenliği, minimum hava boşluğu ve buna bağlı olarak

her noktada aynı dayanımda olması sağlanmakta, artan dış yüzey özellikleri sayesinde yapılarda kalıcılık (durabilite) artırılmaktadır.

Vibrasyon ekipmanlarının kullanımının ortadan kalkmasıyla beton dökülen yerlerde ve prefabrik imalat yapan bölgelerde çevresel etkiler azalmakta, ve çalışanların maruz kaldığı gürültü ve titreşim seviyeleri düşmektedir. İşçi ve işyeri güvenliğine sağladığı katkılar ile birlikte gelişen inşaat teknolojisi ve performansı KYB'yi inşaat şantiyeleri ve prefabrik imalat yapan tesislerde ilginç bir teknolojik çözüm olarak sunmaktadır.

Bugün KYB kullanılarak elde edilen üstünlüklerin ötesinde, bu kullanımı geleneksel hale getirerek genele yayma fikri ulaşılmak istenen bir hedef olarak görünmektedir. KYB ile ilgili dünyada yapılmış araştırmalar KYB'nin tüm sertleşmiş ve taze haldeki özelliklerini incelemek amacıyla yapılmıştır. Pratikteki sorunları görmek için pilot uygulama projeleri geliştirilmiştir. Günümüz itibariyle önemli deneyimler elde edilmiş ve büyük gelişme kaydedilmiştir, ancak bazı noktalarda halen yanıtlanması gereken sorular bulunmaktadır (Walraven 2003).

3.2. Betonu Oluşturan Malzemelerin Betonun Özellikleri Üzerine Etkisi

Gerek taze betonun işlenebilme ve diğer önemli özellikleri ve gerekse sertleşmiş betonun dayanım, dayanıklılık ve hacim sabitliği özellikleri büyük ölçüde beton yapımında kullanılan malzemelerinin özellikleri ile bu malzemelerin kullanıldıkları oranlara bağlıdır. Taze betondan istenilen özellikler yerine getirilmediği takdirde sertleşmiş betondan beklenilen özellikleri de bulabilmek mümkün değildir. Çimento ve suyun bir araya gelmesiyle oluşan kimyasal reaksiyonların (hidratasyonun) hızı, ortaya çıkan ısının miktarı, çimento hamurunun katılaşma ve sertleşme süresi ve dayanım çimentonun özellikleri ile yakından ilgilidir. Bunların yanı sıra kullanılan çimentonun özellikleri, elde edilen betonun gösterebileceği genleşme veya büzülme gibi hacim değişikliklerini ve zamanla çevreden gelebilecek fiziksel ve kimyasal etkilere karşı betonun dayanıklılığını da büyük ölçüde etkileyebilmektedir.

Agreganın beton yapımında ekonomik ve teknik yönlerden çok önemli bir konumu bulunmaktadır. Beton hacminin yaklaşık %75'i agrega tarafından oluşturulduğundan, çimentoya göre daha ucuz olan bu malzeme betonda ekonomiklik sağlamaktadır. Bunun yanı sıra betonda agrega kullanılması sertleşen betonun hacim değişikliğini önlemekte, betonun dayanıklılığını artırmakta ve kendi dayanım gücünün yüksekliği nedeniyle betonda gerekli dayanımın sağlanmasına yardımcı olabilmektedir. İçerisinde agrega bulunan beton, sadece çimento hamurundan oluşan bir sisteme göre çok daha az hacim değişikliği (büzülme) göstermektedir. Betonda kullanılan agrega özellikleri beton yapımında kullanılan malzemelerin karışım oranlarını, taze betonun işlenebilmesini, pompalanabilirliğini, terlemesini ve beton yüzeyinin mastarlanarak düzeltilebilmesini önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Sertleşmiş betonun dayanıklılığı, dayanımı, büzülmesi, birim ağırlığı ve ekonomisi gibi başlıca özellikleri de agrega özellikleri tarafından etkilenen önemli hususlardır (Erdoğan 1994).

Su, beton yapımında üç değişik amaca yönelik olarak kullanılmaktadır: ilk olarak beton yapımında karma suyu olarak çimento, agrega ve gerektiğinde katkı maddeleri ile bir araya getirilerek bu malzemelerin karıştırılmasını sağlamak ve daha da önemlisi çimento ile kimyasal reaksiyonları oluşturmaktır. İkinci olarak taze betonun sertleşmesi esnasında beton içerisindeki mevcut suyun buharlaşarak kaybolmasını önlemek üzere bakım ya da kür suyu olarak kullanılır. Üçüncü olarak betonda kullanılan agregaların yıkanmalarını sağlamak için kullanılır.

Betonda kullanılacak karma suyu mümkün olabildiği kadar temiz olmalı, içerisinde taze ve sertleşmiş betona zararlı olabilecek miktarda kil, silt, organik madde, asit, klorür, sülfat, madeni yağ ve endüstri atıkları bulunmamalıdır. Su içerisinde fazla miktarda bulunabilecek zararlı maddeler taze betonun priz (katılaşma) süresini ve sertleşmiş betonun dayanım ve dayanıklılık özelliklerini olumsuz yönde etkiler. Ayrıca, betonun işlenebilmesine ve sertleşmiş betonun dayanım ve dayanıklılık özelliklerine çok büyük etkisi bulunmaktadır.

Katkı maddeleri, taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini değiştirerek istenilen yönde iyileştirmek amacıyla betonun karıştırılma işleminden hemen önce veya karıştırılma işlemi esnasında katılan (su, çimento ve agrega dışındaki) malzemelerdir. Değişik kompozisyondaki değişik katkı maddeleri taze betonun su ihtiyacını

artırmadan işlenebilirliğini artırmada, aynı işlenebilmenin daha az karışım suyu ile sağlanmasında ve bu nedenle daha yüksek dayanım elde edilebilmesinde, priz sürelerinin kısaltılabilmesinde veya uzatılabilmesinde, beton içerisine mikroskobik büyüklükte ve düzenli hava kabarcıklarının sürüklenmesini sağlayarak çok soğuk hava koşullarında betonun dayanıklılığını artırmakta, su geçirgenliğini azaltmakta, betonu renklendirmede ve ekonomi sağlamada kullanılmaktadır. Bu değişik amaçlar için değişik isimler ve patentler altında binlerce kimyasal katkı maddesi bulunmaktadır.

Uçucu kül, mikro silis (silis dumanı), öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu, yapay veya ince öğütülmüş volkanik kayalar, tüfler, volkanik küller gibi doğal puzolanlardan oluşan mineral esaslı katkı maddelerinin kendi başlarına bağlayıcılık değeri yok denecek kadar azdır. Ancak bu tür katkı maddeleri, beton yapımında kullanıldıklarında, çimento ve suyun kimyasal reaksiyonu sonucunda açığa çıkan kalsiyum hidroksit ile birleşerek bağlayıcılık değeri olan kalsiyum-silika-hidrat jellerinin oluşmasını sağlamaktadırlar. Puzolan esaslı mineral katkı maddeleri de taze betonda işlenebilmeyi artırmak, hidratasyon ısısını azaltmak, su geçirgenliğini azaltmak, sülfatlara karşı dayanıklılığı artırmak, ileri yaşlarda betonun dayanımını artırmak, ve ekonomi sağlamak amacıyla kullanılmaktadırlar.

3.3. Taze Betonun İşlenebilme Özelliği

İşlenebilirlik taze betonun karıştırılma, yerleştirilme ve tamamlanma kolaylığı ve homojenliğinin ölçüsüdür. İşlenebilirliği yüksek olan beton minimum enerjiyle karıştırılabilir ve kalıba yerleştirilebilir. Betonda işlenebilirliği etkileyen üç ana faktör vardır. Su/çimento oranı, agrega/çimento oranı ve su miktarıdır. Örneğin, agrega/çimento oranı azaltılırsa, su/çimento oranının sabit kalması için su miktarının artması gerekmektedir. İnce agrega/iri agrega oranındaki artış ise su miktarının artmasına neden olur. Agrega oranları göz önüne alınarak işlenebilirlik yeteneğinin arttırılması için su miktarının yükseltilmesi yerine iri ve ince agrega oranlarının iyi ayarlanması ve akışkanlaştırıcı katkı kullanılması gerekir (Wong ve ark. 2000).

Agreganın granülometrik yapısı, üretilecek betonun doluluğuna, mekanik direncine ve geçirimliliğe etki eder. Bu nedenle iri taneler arasında kalan boşluğun daha ufak çaplı tanelerle doldurulması gerekir. Beton üretiminde yüzeylerin ıslatılması gerekli olacağından ince agrega kullanıldığında, su tüketimi fazla olacaktır. Kullanılacak suyu azaltmak için agregayı irileştirmek, çimento taneleri ile oluşacak kohezyonu azaltmak, ayrıca doluluğu düşürmek anlamına gelecektir. Maksimum komposite ve minimum yüzey alanı çelişkisinde optimum çözüme varmak için yapılan çalışmalarla referans eğrileri olarak isimlendirilen ideal granülometri eğrileri kullanılır.

Yuvarlak yerine köşeli agregaların kullanıldığı durumlarda su miktarı arttırılmalıdır. Ayrıca doygun olmayan ve su emme miktarının yüksek olduğu agregalar çimento hamurundan bünyelerine su alarak işlenebilirliği düşürürler. Çimento miktarını arttırmak gerekli kohezyonu sağlar ancak karşılığında işlenebilirliği azaltır. Diğer taraftan çimentonun inceliğini artırmak da betonda işlenebilirliği hızla azaltır. Çünkü hidratasyon çok hızlı gerçekleşir. Ayrıca bu durum betonda normalin üzerinde terlemeye sebep olur.

Su/çimento oranı yüksek, akıcı betonlarda karıştırma ve yerleştirme işleri düşük enerjiyle yapılabilir. Ancak bu tür betonlarda kendini tutabilme özelliği (kohezyon) yeterli olmaz. Ayrıca tanelerin ayrışması ve karma suyunun beton yüzeyinde toplanması olasılığı artar. Bu durum karşısında işlenebilirliği, akıcılık ve kohezyon gibi iki özelliğin optimum çözümü olarak belirlemek gerekir.

Kimyasal katkı maddeleri dikkate alındığında ise hava sürükleyici ve su azaltıcı katkılar işlenebilirliği iyileştirir. Hava sürükleyiciler çimento hamuru hacmini arttırarak terlemeyi ve segregasyonu azaltırlar. Su azaltıcı katkılar ise çimento taneciklerini çevreleyerek işlenebilirliği arttırırlar. Mineral katkılar veya puzolanlar dayanım ve dayanıklılığı arttırdıkları gibi işlenebilirliği de arttırırlar. Bağlayıcı malzemenin bir bölümü uçucu külle yer değiştirecek olursa külün küresel yapıdaki tanecikleri sayesinde işlenebilirlik artar. Silika dumanı gibi çok ince mineral katkılar ise fazlasıyla su talebinde bulunacakları için işlenebilirliği olumsuz etkilerler.

KYB'lerin performansları ile taze beton özellikleri arasında önemli bir ilişki vardır. Reoloji ve işlenebilirlik parametreleri KYB'nin pratikteki kullanım performansını etkilemektedir. Kendiliğinden Yerleşme yeteneği üç parametre ile

karakterize edilebilir. Bunlar; doldurma yeteneği, ayrışmaya karşı direnç ve geçiş yeteneğidir (Skarendahl ve Petersson 2000).

3.3.1. Doldurma Yeteneği

KYB kendi ağırlığı ile şeklini değiştirme ve deforme olma özelliğine sahip olmalıdır. Doldurma yeteneği, betonun boşaltma noktasından ne kadar uzaklığa akabildiği ve bu akışın hızı (deformasyon hızı) kavramlarını içermektedir. Yayılma deneyi ile ölçülen betonun yayılma çapı ve bu çapa ulaşılması için geçen süre ile söz konusu özellik değerlendirilebilir. İyi bir doldurma yeteneği için, deformasyon kapasitesi ile deformasyon hızı arasında denge olmalıdır.

Betonun iyi deforme olabilmesi için, iri agrega, ince agrega ve her türlü bağlayıcı dahil katı tanecikler arasında sürtünmenin azaltılması faydalıdır. Ancak bu yeterli değildir, çimento hamuru fazı da iyi deforme olabilmelidir. Yüksek akışkanlıkla birlikte ayrışmaya karşı yüksek direncin sağlanması, KYB'nin engellerin arasından geçerek doldurma kapasitesinin arttırılması açısından önemlidir. Uygun doldurma yeteneği için aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır:

Çimento hamuru fazının deformasyon yeteneğinin arttırılması bunun için de;

- Süper akışkanlaştırıcı katkı kullanımı,
- Dengelenmiş su/bağlayıcı oranı olmalıdır.

Tanecikler arası sürtünmenin azaltılması;

- Düşük kaba agrega hacmi,
- Kullanılan agrega ve çimentoya göre optimum gradasyon olmalıdır.

3.3.2. Ayrışmaya Karşı Direnç

Taze betonda ayrışma (segregasyon), bileşen malzemelerin homojen olmaksızın dağılarak yapıdaki özellikleri de dağılıma uğratması olayıdır. Normal akışta ayrışma

göstermeyen taze beton, örneğin sık donatıların bulunması durumunda ayrışmaya uğrayabilir.

KYB gerek durağan, gerekse akış halinde aşağıdaki tip ayrışmaları göstermemelidir:

- Terleme,
- Çimento hamuru fazı ve agrega ayrışması,
- Blokaja (kilitlenme) neden olan kaba agrega ayrışması,
- Hava boşluğu dağılımında düzensizlik.

Uygun ayrışma direnci için aşağıdakiler dikkate alınmalıdır:

Katı maddelerin ayrılmasını azaltmak bunun için de;

- Sınırlı agrega içeriği,
- Azaltılmış en büyük agrega tane çapı,
- Düşük su/bağlayıcı oranı,
- Viskozite arttırıcı gerekir.

Serbest terlemenin minimize edilmesi;

- Düşük su içeriği,
- Düşük su/bağlayıcı oranı,
- Yüksek yüzey alana sahip bağlayıcılar,
- Viskozite arttırıcı gerekir.

3.3.3. Geçiş Yeteneği

KYB yeterli akıcılığa ve aynı zamanda karşı dirence sahip olduğunda etkili bir işlev görür. Ancak dar geçişler ve çok sık donatı söz konusu olduğunda, ekstra bir ihtiyaç daha doğmaktadır ki, bu da iri agregaların blokajlanmamasıdır.

Mükemmel doldurma yeteneğine ve ayrışma direncine sahip olan bir KYB'de bile aşağıdaki durumlarda blokaj riski söz konusudur:

- Agrega en büyük dane çapı çok büyükse,
- İri agregaların içeriği çok yüksekse.

Uygun geçiş yeteneği için aşağıdakiler dikkate alınmalıdır:

Agrega ayrışmasını azaltmak için kohezyon arttırmak bunun için de;

- Düşük su/bağlayıcı oranı,
- Viskozite arttırıcı gerekir.

Uygun iri agrega kullanımı gerekir;

- Düşük kaba agrega hacmi,
- Düşük en büyük dane çaplı agrega.

3.4. Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri

KYB'nin üstün davranış özelliklerini sağlayabilmek için yüksek akıcılıkta olması, yüksek ayrışma direnci ve şekil değiştirme yeteneğine sahip olması gereklidir. KYB'lerde yüksek akışkanlığın sağlanabilmesi için yeni nesil yüksek akışkanlaştırıcı katkılar kullanılmaktadır. Bu tür kimyasal katkı maddeleri sayesinde betonda kullanılan su miktarı azaltılıp, yüksek akışkanlıkta betonlar üretilmektedir. Betonun üretiminde kullanılan su miktarının azalması nedeniyle betonun dayanımı da artmaktadır. KYB üretiminde yüksek akışkanlaştırıcı katkı maddelerin kullanılarak yüksek çökme değerlerine sahip olmasından dolayı, taşıma ve yerleştirme esnasında ayrışma ve terleme problemleri ortaya çıkabilmektedir. Taşıma, yerleştirme işlemlerinde ayrışma ve terleme tehlikesini ortadan kaldırmak, bu betonların yeterli kohezyona sahip olması ile mümkündür. Bu nedenle, KYB'lerin karışım hesabı özel dikkat gerektirmektedir. Yüksek akışkanlaştırıcı katkı kullanımıyla ortaya çıkabilecek ayrışma problemini önlemek amacıyla iri agrega miktarını azaltarak, ince agrega miktarını %4–5 civarında arttırmak bugüne kadar yaygın olarak kullanılan bir yöntem olmuştur. Öte yandan ince agrega miktarının arttırılması ve en büyük agrega boyutunun azaltılması ile yeterli kohezyon sağlanırken, çimento miktarının artmasına, dolayısıyla hem maliyetin hem de beton sıcaklığının yükselmesine neden olmaktadır (Neville 1995). Gerekli kohezyonu sağlayabilmenin bir başka yöntemi de viskozite düzenleyici kimyasal katkıların kullanılmasıdır (Khayat ve Guizani 1997). Ancak bu tür katkılar da maliyeti önemli ölçüde arttırmaktadır.

Yakın geçmişte yapılan birkaç araştırma sonucunda (Bouzoubaa ve Laclemi 2001, Yahia ve ark. 1999, Kurita ve Nomura 1998, Kim ve ark. 1996) uçucu küllerin KYB'lerin kohezyonunu sağlamak, kullanılan çimento miktarını azaltmak ve dolayısıyla, bir yandan daha ekonomik KYB elde ederken diğer yandan da beton sıcaklığını düşürmek maksadıyla kullanılabileceği görüşü öne sürülmektedir. Öte yandan, geleneksel betonlarda yüksek miktarda uçucu kül kullanımı 1980'lerden bu yana iyi araştırılmış, oldukça bilinen bir konudur (Sivasundaram 1986, Bilodeau ve Malhotra 2000). Yüksek hacimde uçucu kül içeren geleneksel betonlardan farklı olarak KYB'de su/çimento oranı ve toplam bağlayıcı miktarı biraz daha yüksek miktarda tutulmaktadır (Bouzoubaa ve Laclemi 2001). Betonun kararlılığı (ayrışma direnci), ince malzeme miktarını yüksek tutmakla ve viskozite arttırıcı maddeler kullanarak gerçekleşmektedir. KYB'nin sadece doldurma özelliğine sahip olması yetmemekte, aynı zamanda donatılar arasından kolayca geçebilir özellikte olması da gerekmektedir. Betonun kolayca şekil değiştirebilmesi için kayma eşiğinin küçük olması gerekir. Bu özelliğin su miktarını artırarak sağlanması durumunda betonun kararlılığı bozulmakta, yani ayrışma eğilimi ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle ayrışmanın göstergesi olan viskozite özelliği küçülmemelidir.

KYB'lerin bu özelliklerini düşük su/ince malzeme oranlarında sağladıkları görülmekte, ince maddenin bağlayıcı özellikte seçilmesi durumunda hem dayanım hem de dayanıklılıkları yüksek olmaktadır; bu nedenle yüksek başarımlı (performanslı) betonlar sınıfına sokulabilmektedir. Ayrışma dirençlerinin yüksek oluşu KYB'lere su altında kullanılma olanağı vermektedir. Öte yandan bu betonlarda 'top bar effect' olarak adlandırılan, bir yatay yapı elemanında (kiriş gibi) kesitin üst kenarına yakın çelik çubukların alt kenara yakın olanlara göre daha düşük aderansa sahip olma özelliğini göstermedikleri anlaşılmıştır. KYB'nin, düzgün yüzey elde edilmesine olanak vermesi ve üretim sırasında vibratör gerektirmemesi nedeniyle prefabrike endüstrisinde de kullanımı yaygınlaşmaktadır.

3.5. Kendiliğinden Yerleşen Betona Giren Malzemeler

Geleneksel betonda kullanılan normal Portland çimentoları KYB üretiminde de kullanılabilir. Ancak bazı çimentolarla KYB üretimi daha başarılı olabilmektedir. Süper Akışkanlaştırıcı olarak yüksek oranda su kesici özelliğe sahip ve molekül ağırlığı optimize edilmiş bir kimyasal katkı kullanılabilir. Bu amaçla polikarboksilat veya naftalin esaslı polimerler yaygın kullanılan katkılardır (Okazawa ve ark. 2000, Ghezal ve Khayat 2002). İnce madde olarak 100 mikrondan ince taneler düşünülmelidir. Bu amaçla uçucu kül, cüruf (öğütülmüş), silis dumanı kullanılabilir. KYB'lerin ayrışma direnci viskozite arttırıcı katkılar (VAK) ile de arttırılabilir. Bu maddeler taze betonun viskozitesini arttırarak ayrışmayı (terleme dâhil) azaltan, betonun kararlılığının bozulmamasını sağlayan ve agreganın çimento hamuru içinde askıda kalmasını gerçekleştiren maddelerdir. VAK'lar nişasta ve doğal zamk (sakız) gibi doğal, ayrışmış nişasta, selüloz eter türevleri (hidroksipropil metil selüloz gibi) sentetik polimerler olabilirler (Kawai 1987).

3.5.1. Akışkanlaştırıcı Kimyasal Katkılar

1970'li yıllardan itibaren akışkanlaştırıcı katkılar yoğun olarak betonun bünyesine girmeye başlamış ve kullanım oranı arttıkça yeni türler üretilerek sürekli bir gelişme kaydedilmiştir. Öyle ki son yıllarda yeni üretilen bir katkının raf ömrü birkaç yılla sınırlı kalmakta; kimyasal modifikasyonlarla olumlu etkileri geliştirilip, olumsuz etkileri ise azaltılan katkılar yeni özelliklerle donatılarak piyasada yüksek işlenebilirliğe sahip KYB uygulamaları gibi sadece işlenebilirliği artırmak amacıyla da kullanılabilirler.

Akışkanlaştırıcılar su kesme yeteneklerine göre normal (%10–15 arası su kesebilenler), süper (%15–30 arası su kesebilenler) ve hiper (%30'un üstünde su kesme özelliği olanlar) olarak sınıflandırılabilirler (Ramachandran ve Malhotra 1984). Bu sınıflandırma performansa dayalı bir sınıflandırma olduğundan katkının

kimyasal özelliğini yansıtmaz. Ama çoğunlukla lignosülfonat bazlı katkılardan normal, melamin ve naftalin sülfona formaldehit bazlılardan süper ve polikarboksilat bazlılardan hiper akışkanlaştırıcılar üretilmektedir (Çil 2000). Bir lignosülfonat bazlı katkıdan tek başına hiper akışkanlaştırıcı performans beklemek mümkün değildir. Fakat bu katkılarda yapılacak modifikasyonlarla su kesme ve priz ayarlama gibi özellikleri değiştirilebilir. Bu sebeple pratikte, performansa dayalı bir sınıflandırma yapılması, kimyasal yapıya dayalı bir sınıflandırmadan daha uygundur.

Kimyasal katkıların tarihsel gelişim süreci incelendiğinde, uygulamada karşılaşılan sorunların ve bu sorunlara aranan çözüm yollarının katkıların gelişmesinde itici güç olduğu görülmektedir. Örneğin ilk akışkanlaştırıcılardan olan lignosülfonat bazlı katkılar yüksek oranda şeker içerdikleri için priz gecikmesine sebep olmuştur. Öte yandan, özellikle lignosülfonatların sürüklediği hava kabarcıklarının çapı donma çözülme direnci için etkili çaptan (0,2 mm) çok daha büyüktür. Bu nedenle lignosülfonatlar betonun bünyesinde sürüklenmiş hava boşluğu oluşturarak dayanım ve dayanıklılık kaybına sebep olurlar (Parlak ve Akman 2002).

İkinci nesil olarak adlandırılabilecek katkılar Melamin (SMF) ve Naftalin (SNF) Formaldehit Sülfonat esaslı Süper Akışkanlaştırıcılardır. İlk olarak 60'lı yılların sonunda Japonya'da 70'lerin başında Almanya'da ve 1974'de Kuzey Amerika'da kullanılmışlardır (Ramachandran ve Malhotra 1984). Bazı modifiye lignosülfonat türleri de süper akışkanlaştırıcı sınıfına sokulabilir, fakat en çok kullanılanları SNF ve SMF bazlı katkılardır. Bunların dışında poliakrilatlar, polistiren sülfonatlar da kullanılabilir. Süper Akışkanlaştırıcılar gerek su kesme açısından gerekse akışkanlık sağlama açısından lignosülfonatlardan çok daha etkilidir. SNF ve SMF esaslı katkılar birbiriyle karşılaştırıldığında akışkanlaştırıcı etkinliği açısından, naftalin bazlı süper akışkanlaştırıcıların daha etkili olduğu anlaşılmıştır (Ramachandran ve Malhotra 1984). Melamin ve Naftalin Sülfonat esaslı katkılarla uygulamada karşılaşılan en sık sorun zamanla betonda meydana gelen işlenebilirlik kaybıdır. İşlenebilirlik kaybı sorununu çözmek için üçüncü nesil olarak adlandırılan polikarboksilat bazlı katkılar geliştirilmiştir (Çil 2000). Bu katkılar, yüksek oranda su kesme özelliğine sahip olup aynı zamanda yüksek işlenebilirlik etkisi sağlayan katkılardır.

Kimyasal katkı maddeleri, çimento ile elektriksel, fiziksel ya da fizikokimyasal bir etkileşime girip çimentonun hidratasyon hızını ve oranını değiştirebilirler. Ancak

temel etkisi fizikseldir. Kimyasal katkılar, çimento hamuru ile kimyasal bir tepkimeye girmemekte fakat dolaylı yoldan çimento hamurunun hidratasyonun da hızlandırıcı veya yavaşlatıcı etki gösterebilmektedirler. Bu etkiler araştırmacılar tarafından farklı mekanizmalarla (çökelme, iyon konsantrasyonu değişimi, ayrıştırma veya kümeleştirme, yüzey alanını kaplayarak hidratasyonu engelleme vs.) açıklanmaktadır (Ramachandran ve Malhotra 1984). Topaklaşmaya meyilli çimento tanecikleri kimyasal katkının ayırıcı etkisiyle (bu etki elektrostatik itki olarak adlandırılır) dağılır ve su ile temas eden yüzeyleri artar. Böylece hidratasyon kolaylaşır. Polimer esaslı katkılarda elektrostatik itkinin yerini daha farklı ayırıcı etkiler alır (Bürge 1999). Özellikle polimer bazlı katkılarda elektrostatik itkinin yanında polimer zincirlerinin çimento tanesinin üzerine yapışarak oluşturduğu fiziksel etki (stearik itki) daha baskındır (Çil 2000). Stearik İtkinin derecesi polimer zincirinin uzunluğuna, molekül ağırlığına, yan zincir yapısına ve ortam koşullarına (sıcaklık, nem, pH, iyon konsantrasyonu) bağlıdır (Bürge 1999). Özellikle polikarboksilat bazlı katkılarda stearik itki çimento dağılımını sağlayan temel faktördür. Ortamda aşırı miktarda katkı bulunması halinde çimento taneciklerinin yüzeyi tamamen sarılacağından bir miktar katkı açıkta kalacaktır. Artan katkının olumlu bir işlevselliği olmayacağından optimum miktar kullanılmalıdır. İşte bu kritik noktaya doyum noktası denir (Sağlam ve Akman 2002). Her katkıyı doyum noktasında kullanmak ekonomik avantaj sağlar. Doygunluk noktasını aşan dozajda katkı ilavesi çimento hamurunun viskozitesinin aşırı düşmesine yol açar, hamur katkı parçacıkları süspansiyonda tutamaz ve beton stabilitesini kaybederek ayrışır. Bu sebeple katkı kullanırken üretici tavsiyesi olan üst sınırı aşmamakta yarar vardır.

3.5.2. Süper Akışkanlaştırıcılar

Süper Akışkanlaştırıcılar, boya ve boyarmadde endüstrisinde sıklıkla kullanılan suda çözünebilen polimerler olup, günümüzde, inşaat mühendisliğine dayalı alanlarda geniş çapta kullanılmaktadır. Bu maddelerin sadece çok ufak miktarları bile, birçok çimento tipi için, ilave edildikleri beton karışımlarında, başlıca

işlenebilirlik, mekanik dayanım ve diğer özellikleri önemli ölçüde iyileştirirler. Bu polimerler, beton karışımına ilave edildiğinde karıştırma esnasında, öncelikle çimento parçacıklarının üzerinde adsorplanırlar ve yapılarındaki sülfonik asit grupları dolayısıyla yüzey yüklerini nötralize ederek dispersiyonu sağlarlar (Mindess ve Young 1981). Bunun sonucunda çimento topaklarının küçük parçacıklara ayrılması ile betonu oluşturan karışımın viskozitesinde önemli bir oranda azalma meydana gelir. Bu durum aynı zamanda suyun yüzey geriliminde de azalmaya neden olduğundan, çimento parçacıklarının yüzeyinde yağlayıcı bir film tabakası ortaya çıkar. Süper Akışkanlaştırıcıların kullanımıyla, beton karışımlarındaki standart su/çimento oranı (S/Ç) %12-30'a kadar azalırken, betonun işlenebilirliği ve akış özellikleri korunur veya sabit S/Ç oranlarında işlenebilirliği artar. Dolayısıyla, betonun su miktarı azaltılırken, işlenebilirlik ve basınç dayanımı özelliklerinde iyileşmeler meydana gelir. Bu nedenle bu maddeler "yüksek oranda su azaltıcılar" olarak da adlandırılırlar. Süper Akışkanlaştırıcıların başlıca görevleri: a) taze betonun reolojik özelliklerini, terleme (bleeding) ve ayrışma (segregasyon) olmadan iyileştirmek, b) katı parçacıkların çok üniform bir şekilde dağılması için bir kaydırıcı veya dispersiyon reaktifi rolü oynamak, c) karışımın morfolojisini iyileştirmek için, çimento veya hidrate olmuş ürünlerle girişim yapmak, çimentonun sertleşmesini, dayanım kazanmasını ve kararlı olmasını sağlamaktır. Kimyasal açıdan süper akışkanlaştırıcılar, organik polielektrolitler olup, genellikle hidrofobik (su itici) grup ve polar fonksiyonel gruplu polimerik yüzey aktif maddeler veya polimerik disperse ediciler grubunda bileşiklerdir. Ancak içerdikleri hidrofobik ve hidrofilik (suya düşkün) grupların yapısı, karışımın köpürmesini ve içerisine hava girişini önlemek için minimum yüzey aktiflik sağlayacak şekilde olmalıdır.

Süper Akışkanlaştırıcıların sağladıkları performans, bunların tipine, miktarına, ilave süresine, su/çimento oranına ve çimentonun yapısı veya miktarına bağlıdır. Ticari formülasyonların çoğu aşağıda belirtilen 4 ana gruptan birini içermektedir:

1. Sülfone melamin-formaldehit reçineleri,
2. Sülfone naftalin-formaldehit reçineleri,
3. Modifiye lignosülfonatlar,
4. Hidroksi karboksilik asit ve diğer hidroksi bileşiklerin polimerleri olmak üzere başlıca polikarboksilat türevleridir.

En çok bilinen ve kullanılan süper akışkanlaştırıcılar, ana polimer iskeletinde düzgün aralıklarla yer alan sülfonik asit gruplarını içeren düz zincirli suda çözünen polimerlerdir.

3.5.3. Uçucu Küller

Uçucu Kül, termik santrallerde Pulverize kömürün yanması sonucu meydana gelen baca gazları ile taşınarak siklon veya elektro filtrelerde toplanan önemli bir yan üründür. Kömürün yüksek sıcaklıklarda yanması sonucu meydana gelen ergimiş malzeme soğuyarak, gaz akışı ile kısmen veya tamamen küresel şekilli kül taneciklerine dönüşmektedir. Bu kül tanecikleri çok ince (0.5–150 mikron) olup, baca gazları ile sürüklenmeleri nedeniyle, uçucu kül olarak adlandırılmaktadır. Çevreyi olumsuz olarak etkileyecekleri için, uçucu küllerin santral bacasından çıkarak havaya karışması önlenir. Bu amaçla küller mekanik ve elektrostatik yöntemlerle toplanarak santral çevresinde veya başka uygun yerlerde depolanır. Zamanla biriken küller geniş alanları kaplamaya başlar ve santral idaresi için problem olurlar. Bu gün Dünya'da ortaya çıkan uçucu kül miktarı yılda 600 milyon ton civarındadır. Türkiye'de halen Afşin-Elbistan, Çatalağzı, Çayırhan, Kangal, Kemerköy, Orhaneli, Seyitömer, Soma, Tunçbilek, Yatağan ve Yeniköy santralleri olmak üzere 11 termik santral faaliyet göstermekte olup, bu santrallerden yılda toplam 13 milyon ton kadar uçucu kül elde edilmektedir.

Uçucu Kül çimentonun bir parçası olarak çimento fabrikasında çimentoya eklenebileceği gibi ayrı bir bileşen olarak da santralde betona eklenebilir. Puzolanlar tek başlarına hiç veya az bağlayıcı özelliği olan ince öğütüldüklerinde suyla ve sönmüş kireç $Ca(OH)_2$ ile reaksiyona girerek bağlayıcı özellik kazanan malzemelerdir. Uçucu Küller de bir tür puzolanlardır. Uçucu Küller çimentonun hidratasyonu sonucu açığa çıkan ürünleri kullanırlar. Kalsiyum ve Alkali Hidroksitlerin çözeltileri ve portland çimentosunun hidratasyonu sonucu açığa çıkan ısı, uçucu küllerin reaksiyonunun başlamasını sağlayan önemli faktörlerdir. İnce boyutlu uçucu kül içeren betonlar iyi bir şekilde kür edildiğinde, uçucu külün

reaksiyonuyla oluşan bileşenler hidrate olan çimento partikülleri arasındaki boşlukları doldurarak betonun geçirgenliğini azaltır. Uçucu Küllerin yavaş reaksiyonu kütle betonlarındaki aşırı sıcaklık yükselmelerini engeller. Alkali Reaksiyonlarına karşı direnci arttırır. Bu açıklamaların ışığında uçucu külün kullanım nedenlerini şu şekilde belirtebiliriz:

1) Taze betonun işlenebilirliğini artırmak,
2) Hidratasyon ısısını azaltmak,
3) Sülfatlara karşı dayanıklılık sağlamak,
4) Alkali agrega reaksiyon genleşmelerine karşı dayanıklılık sağlamak,
5) Çevreye zararlı emisyonları azaltmak.

Uçucu külün bilinçli olarak çeşitli alanlarda kullanımı hem kullanıcı hem de külü üreten için ekonomik avantaj sağlar, atık bir madde ortadan kalktığı için çevre korunmuş olur. Ayrıca, kullanıcı ürettiği ürünlerde veya uygulamalarında çeşitli teknik avantajlar elde eder. Bütün bu olumlu hususlara rağmen, kullanılarak değerlendirilen UK miktarları santrallerde elde edilen miktarların küçük bir yüzdesini geçmemekte olup, dünya ortalaması olarak %15 civarında rakamlar verilmektedir. Çeşitli ülkelerde UK'ların önemli miktarlarda kullanılmaya başlaması baraj inşaatları sırasında ve betonda hidratasyon ısısını düşürmek amacı ile olmuştur. Örneğin A.B.D. de ilk kullanım 1940'lı yıllarda önce Hoover daha sonra Hungry Horse barajlarındadır. Ülkemizde ise 1960'lı yıllarda Gökçekaya ve Porsuk baraj inşaatlarında uçucu kül kullanılmasına karar verildi. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nün Baraj uygulamaları dışında Karayolları Genel Müdürlüğü bazı köprü ve yol inşaatlarında deneme amacı ile uçucu kül kullandı.

Katkılı çimentolarda ise kısıtlı miktarda uçucu kül kullanıldı. Geçen süre içinde ülkede uçucu kül kullanımı bu tür uygulamalarla sınırlı kaldı. Kullanılan UK miktarları yılda elde edilenin %1'ine bile ulaşamadı. Ancak son yıllarda, özellikle hazır beton endüstrisinin gelişmesi ve Avrupa'dan uyarlanan yeni çimento ve beton standartları çimento ve UK' ya olan ilgiyi arttırmış bulunmaktadır.

3.5.3.1. Uçucu Küllerin Sınıflandırılması

Uçucu Küllerin sınıflandırılmasında, kimyasal bileşen yüzdesine göre esas olarak ASTM C 618 ve TS EN 197–1 standartları baz alınmaktadır. ASTM C 618 standardına göre uçucu küller F ve C sınıflarına ayrılırlar:

a) F sınıfına, bitümlü kömürden üretilen ve toplam SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 yüzdesi %70'den fazla olan uçucu küller girmektedir. Aynı zamanda bu küllerde CaO yüzdesi %10'un altında olduğu için düşük kireçli olarak da adlandırılırlar. F sınıfı uçucu küller puzolanik özelliğe sahiptirler.
b) C sınıfı uçucu küller ise, linyit veya yarı bitümlü kömürden üretilen ve toplam SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 miktarı %50'den fazla olan küllerdir. Aynı zamanda, C sınıfı küllerde CaO> %10 olduğu için bu küller yüksek kireçli uçucu kül olarak da adlandırılırlar. C sınıfı uçucu küller, puzolanik özelliğin yanı sıra bağlayıcı özelliğe de sahiptirler. TS EN 197–1 'e göre sınıflandırmada uçucu küller silisli (V) ve kalkersi (W) olmak üzere iki gruba ayrılırlar:

1) V sınıfı uçucu küller, çoğunluğu puzolanik özelliklere sahip küresel taneciklerden meydana gelen ince bir toz olup; esas olarak reaktif silisyum dioksit (SiO_2) ve Alimunyum Oksitten (Al_2O_3) oluşan; geri kalanı Demir Oksit ve diğer bileşenleri içeren küllerdir. Bu küllerde, reaktif kireç (CaO) oranının %10'dan az, reaktif silis miktarının %25'den fazla olması gerekmektedir.

2) W sınıfı küller ise, hidrolik ve puzolanik özellikleri olan ince bir toz olup; esas olarak reaktif kireç (CaO), reaktif SiO_2 ve Al_2O_3 'den oluşan; geri kalanı demir oksit (Fe_2O_3) ve diğer bileşenleri içeren küllerdir. Bu küllerde, reaktif kireç (CaO) oranının %10'dan fazla reaktif silis miktarının da %25'den fazla olması gerekmektedir.

3.5.3.2. Uçucu Külün Üretimi

Taşkömürü ve yüksek kalorili kömürler için kül miktarı yakılan kömürün %4-%5'i civarındayken linyit kömürlerinde %35-%40'lara kadar varabilir. Yakma sırasında 1600^{O} C'lere varan sıcaklıklara ulaşılır ve yanmayan bileşenler eriyik haline gelir. Yanma kutusundan çıkışında hızla soğutulmasıyla bu yan ürünler küresel ve camsı yapıya kavuşur. Birçok değişken bu camsı yapının özelliklerini etkiler: Kömürün yapısının yanı sıra yakma işlemi (sıcaklık ve oksijen oranı), soğuma süreci, tane büyüklükleri 1 mμ ile 100 mμ arasında değişir. Bu küller bacalarda elektrostatik veya mekanik çökelticiler veya torba sistemiyle toplanır. Uçucu Kül parçacıkları boyut ve yoğunluklarına göre bacada tutulurlar. Geniş ve ağır taneler baca girişine yakın, küçük ve hafif taneler ise baca sonuna doğru toplanırlar.

3.5.3.3. Uçucu Küllerin Yapısı

Uçucu Küller şekilsiz kristal fazların heterojen bileşenlerinden oluşan karmaşık yapıda bir malzemedir. Uçucu Küllerin büyük bir kısmı boşluklu veya tam dolu camsı kürelerden oluşur. Toplam kütlenin %60-%90'nını bu camsı yapı oluşturur. Camsı yapıyla diğer bileşenler birbiriyle iç içe haldedir.

a. Kimyasal Yapısı

Uçucu Küller genel olarak daha önce bahsedildiği üzere C tipi ve F tipi olarak ikiye ayrılır. Uçucu Küllerin ana bileşenleri SiO_2 (%35-%60), Al_2O_3 (%10-%30), Fe_2O_3 (%4-%20) ve CaO (%1-%35) sayabiliriz. F tipi uçucu kül olarak adlandırılabilmesi için ilk üç bileşenini toplamının en az %70 olması gerekmektedir. C tipinde ise en az % 50 olmalıdır. C tipinde genel olarak %20'nin üzerinde CaO

bulunmaktadır. CaO'nın kaynağı kömürde bulunan $CaCO_3$ ve $CaSO_4$ 'lardır. Yüksek kalorili kömürlerde bu yanmayan bileşenlerden çok az oranlarda bulunduğundan CaO oranı çok düşük olmaktadır. SO_3 'ün kaynağı da $CaSO_4.H_2O$ (alçı taşı) 'dan kaynaklanmakta ve SO_2 olarak bacadan atılırken alkalilerle reaksiyona girip uçucu külün yapısına katılmaktadır.

Uçucu Küldeki karbon genel olarak yanmamış kömürden ve kömürün yapısındaki diğer organik bileşenlerden kaynaklanmaktadır. Uçucu Küldeki karbon miktarının kızdırma kaybındaki miktara eşit olduğu düşünülür. Kızdırma kaybı hidrat veya karbonatların yıkımıyla açığa çıkan CO_2 ve H_2O 'yuda içerir. C tipi uçucu küllerin kaybı F tipi küllerden daha azdır. F tipi uçucu küllerde bu oran %20'lere ulaşabilir. Betonda kullanılan uçucu küller genel olarak %6'nın altında kızdırma kaybına sahiptir. ASTM C 618, gerekli performans şartlarını sağlamak koşulu ile %12 oranına kadar kullanılabilmesine izin vermektedir.

Kristal yapıdaki CaO bazen serbest kireç olarak da adlandırılır birçok kalker yapılı uçucu külde bulunur ve genleşme çatlamalarından sorumlu tutulur. Fakat $Ca(OH)_2$ yapısında olan sönmüş kireç genleşmelere neden olmaz. Düşük sıcaklıklarda yakılmış CaO kolayca hidrate olur ve betonda sorunlara neden olmaz. Fakat yüksek sıcaklıklarda yakılmış CaO beton sertleştikten sonra yavaşça hidrate olur. Eğer yüksek sıcaklıklarda yakılmış serbest kireç mevcutsa uzun dönemde zararlı çatlaklar meydana gelebilir.

b. Fiziksel Özellikleri

Uçucu Kül'ün şekil, incelik, tane büyüklüğü dağılımı ve yoğunluğu taze betonun özelliklerini, dayanım gelişimini ve sertleşmiş betonun dayanım ve dayanıklılığını etkiler. Bunun ana nedeni tanelerinin beton karışımının su ihtiyacı üzerine etkisidir. Ayrıca farklı UK kaynaklarından gelen küller farklı renklere sahiptirler. Kullanılan UK'nın rengi ve miktarı betonun rengini etkiler. Betonun rengi, özellikle mimari olarak devamlı aynı rengin sağlanması gereken brüt betonlarda önem taşır. Ayrıca UK'larda renk değişimi külün özelliklerinde

değişiklikler olduğuna işaret eder (Yakma koşulları, kömür kaynağı, karbon miktarı, demir miktarı gibi).

c. Tane Şekli

Tane şekli ve büyüklüğü kömürün homojenliğine, yakmadan önceki öğütülme işlemine, ısı ve oksijen seviyesine, yakım homojenliğine ve filtre sistemine bağlıdır. Uçucu Kül tanelerinin çoğu camsı, boşluksuz veya boşluklu, küresel yapıdadırlar. Boşluklu yapıdaki taneler çok boşluklu olduklarında şeffaf, az boşluklu olduklarında yoğun olurlar. Şekilleri küresel veya uzunsudur. UK'nın çimentoyla birlikte öğütülmesi dayanıma olumlu etkide bulunur. UK'nın aşırı ince öğütülmesi su ihtiyacını artırır.

d. İncelik

Uçucu Küldeki taneler 1mm ile 1 mμ arasındadır. Eski termik santrallerde mekanik separatörlerle (ayırıcılarla) toplanan küller modern termik santrallerde toplananlardan daha iridir. ASTM C 618'e göre 45 mμ elekten elendiğinde %34, TS EN 450'ye göre %40'dan fazla elek üstü malzeme olmamalıdır. Bu elek deneyi sonucu genel olarak bir termik santral için, kömür kaynağı, öğütme ve yakma işlemleri değişmedikçe sabit kalır. İnceliğin artmasıyla performans artar. C tipi ve F tipi UK'larda 10 mμ altındaki tanelerin yüksek oranda olması dayanımda pozitif etki sağlamaktadır. UK'ların özgül yüzeyleri 1800-5000 cm^2 / gr arasında değişmektedir.

e. Yoğunluk

Boşluksuz uçucu küllerin yoğunlukları 1,97–3,02 kg/dm^3 arasında değişir. Genel olarak 2,2–2,8 kg/dm^3 arasındadır. Boşluklu yapıdaki UK'lar suda yüzebilme özelliğine sahiptirler. Yüksek yoğunluk ince yapıda tanelerden oluştuğunu belirtir. İçinde demir yoğun olanlar daha ağır, karbon yoğun olanlar ise daha hafif olurlar. C tipi UK'lar daha az içi boş küresel yapıda tane içerir, bu nedenle yoğunlukları daha yüksektir, 2,4–2,8 kg/dm^3 arasında değişir. Kuru uçucu külün gevşek birim ağırlığı yaklaşık olarak 800 kg/m^3 'tür.

3.5.3.4. Uçucu Külün Betondaki Kimyasal Aktivitesi

Uçucu Külün Kalsiyum hidroksit ve betondaki alkalilerle reaksiyona girmesi sonucu oluşan ana ürün, portland çimentosunun ana hidratasyon ürünüyle (CSH jeli) aynıdır. F tipi UK'ların reaksiyonuyla oluşan ürünler, portland çimentosu ürünlerinden daha yoğundur. UK reaksiyonlarını, camsı yapının yıkılıp çözülmesini, hidroksit iyonları ve portland çimentosunun reaksiyonuyla açığa çıkan ısı sağlar. Bu reaksiyonlarda UK'nın kısmen çimentonun yerine kullanılmasıyla açığa çıkan ısı azalır. Betonun birim hacmi için portland çimentosu miktarı sabit tutulup UK eklendiğinde açığa çıkan ısı artar. Genel olarak UK'nın reaksiyonu iki adımda gerçekleşir. İlk adımda reaksiyon alkali hidroksitlerle, sonrasında kalsiyum hidroksitle gerçekleşir.

Bu reaksiyonları etkileyen faktörler;

a) Uçucu Kül ve Portland Çimentosunun kimyasal yapısı,
b) Reaksiyon sisteminin alkali hidroksit yoğunluğu,
c) Uçucu Kül taneciklerinin yoğunluğu,
d) Çimentonun ve Uçucu Külün inceliği,
e) Hidratasyon reaksiyonundaki ısı gelişimidir.

Uçucu Küllerin kendi aralarında sınıflandırılmasıyla betondaki performansını tahmini oldukça zordur. Uçucu Kül işlenebilirlik, dayanım ve dayanıklılık özelliklerinin değerlendirileceği deneme karışımlarından sonra kabul edilmelidir.

3.5.4. Polipropilen Lifler

Polipropilen lifler petrolün bir türevi olup, sahip olduğu fiziksel ve kimyasal özellikler nedeniyle, başta inşaat endüstrisinde yaygın olarak kullanılan organik bir malzemedir. Tüm dünyada çimento ve alçı gibi inorganik kökenli inorganik bağlayıcılar ile bitüm gibi organik bağlayıcıları mikro donatılandırmak ve Durabilite özelliklerini geliştirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Polipropilen liflerin beton içerisinde gösterdiği en önemli özellik, betonun dökülüşünün ilk birkaç saati içerisinde meydana gelen plastik büzülmeden (rötreden) dolayı oluşan çatlamayı kontrol etmektir. Polipropilen lifler beton, sıva, şap, alçı, bitüm ve prekast uygulamaları için kullanılan bir mikro donatı sistemidir. Polipropilen lifler çok çeşitli ebatlarda üretilirler. Hammaddesi % 100 polipropilendir. 6 mm, 12 mm, 19 mm, 38 mm uzunluğunda üretilen çeşitleri daha az ipliksi yapıya sahiptir. Saha betonları, yürüyüş yolları, garaj, otopark ve şaplar için bir tali donatı sistemi olarak hasır donatının yerine kullanılabilir. Lif donatılı beton uygulamaları çok eski yıllara dayanmasına rağmen, 1960'lı yıllardan itibaren büyük bir ivme kazanmıştır. Özellikle Amerikan Ordu Mühendisleri Birliği (US Army Corp. Of Engineers) geleneksel silahlara karşı betonu güçlendirmek amacı ile yaptığı çalışmalar sonucunda betonda lif kullanımına yönelik deneysel ve teorik veriler elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar ışığında ASTM, bir standard hazırlayarak 'Püskürtme Sıva ve Lif donatılı Beton uygulamaları' adında 1116-C kodu ile yayımlamıştır.

ASTM 1116-C standardında bir betonun liflendirilmiş olması için %0,1 oranında oranında hacimce lif içermelidir. Diğer bir değişle 1 m^3 için en az 1 kg lif kullanılmalıdır. Polipropilen malzemenin yoğunluğu en az 0,9 kg/m^3 olduğunda standarda uygunluk açısından en az 0,9 kg/m^3 dozaj kullanılmalıdır.

Almanya'nın Frankfurt şehrinde yeni inşa edilen bir yapıda yangına karşı yüksek dayanım elde etmek için polipropilen lif donatılı bir beton kullanılmıştır. Bunun için 1 m^3 başına 2 kg polipropilen lif katılmıştır.

a) Polipropilen Liflerin Özellikleri:

- Betondaki rötre ve büzülme çatlaklarını azaltır.
- Betonu üç boyutlu donatılandırır.
- Segregasyonu azaltır.
- Betonu sünek hale getirir ve geçirgenliğini azaltır.
- Betonun darbeye karşı dayanımını artırır.
- Betonun basınç ve eğilme dayanımını artırır.
- Asit ve bazlardan etkilenmez, donatının korozyonunu ve paslanmasını geciktirir.
- Betonun dağılmasını ve parçalanmasını önler. Yapılar depremde az hasar görür ve çökme riski azalır.
- Betonun tutunganlığı artar, kayar kalıplarda betonun şişmesini önler.
- Yorulma dayanımını kazandırır ve beton hizmet ömrünü artırır.
- Aşındırıcı kimyasallara karşı dayanımı artırır.
- Yüzey aşınmasını, ufalanmasını ve pullanmasını engeller.

b) Polipropilen Liflerin Kullanım Alanları:

- Saha Betonları ve Şap Uygulamaları: Polipropilen liflerin en yaygın tercih edildiği uygulama alanıdır. Plastik büzülme, plastik çökme ve rötre çatlamalarını engellenmesi açısından en ekonomik ve pratik yöntemdir. Bunu yanı sıra yüzey aşınma direnci kazandırır. Pullanma, ufalanma ortadan kalkar. Minimum incelikte şap dökümüne izin verir.

Ayrıca taşıyıcı olarak kullanılmayan hasır donatının yerine tali donatı sistemi olarak kullanılır.

- Yapısal Taşıyıcı Betonarme Sistemler: Prefabrik ve geleneksel yapıların kolon ve kiriş gibi iskelet sistemlerinde Polipropilen Lifler etriye sistemi ile paralel çalışarak deprem gibi ani ve şiddetli darbe yüklerine karşı yapının enerji yutma kapasitesini bir miktar artırır. Bu sayede dağılma, ufalanma gibi etkiler ortadan kalkar.
- Tamir ve Yapıştırma Harçları: İnşaat hatalarının ortadan kaldırılması için yaygın olarak kullanılan tamir harç ve dolgularında Polipropilen lif kullanıldığında elde edilecek kompozit malzemenin tutunganlığı artacak ve büzülme problemleri ortadan kalkacaktır. Tarihi yapıların yenilenmesi için hazırlanan özel karışım harçlarda polipropilen lifler keten, saman, keçi kılı v.b. yerine kullanılabilir. Mantolama amaçlı polistren levha sistemlerinin yapıştırılmasında da polipropilen lifler aderansı artırırlar.
- Prefabrik Elemanlar: Betonarme boru, prekast cephe giydirme elemanları, harpuşta, denizlik ve söveler ile prefabrikasyon yapı elemanlarında ortaya çıkan kalıptan çıkarma sırasında oluşan kırılmaları, yüzey kalitesindeki bozulmaları, çökme problemlerini ve kür nedeniyle oluşan termal çatlamaları polipropilen liflerin kullanımıyla önlemek mümkündür.
- Bitümlü Karışımlar: Polipropilen lifler bitümlü karışımlarda ve asfalt uygulamalarında modifikasyon amaçlı olarak karışımların düşük sıcaklıklarda kırılganlığını ortadan kaldırmak için kullanılırlar.
- Püskürtme Beton: Püskürtme beton uygulamalarında en büyük maliyet faktörü olan geri düşme, polipropilen liflerin kullanımı ile %5 düzeyine çekilebilmektedir. Polipropilen lifler betonun yüzeye tutunma kabiliyetini arttırırken, yüzeyden geri sekme ve sıçrama kontrolü sağlar Homojen ve sürekli malzeme akımını temin ederek operatöre uygulama kolaylığı verir. Şev, düşey ve baş üstü uygulamalarında bel vermeyi ve saçılmayı azaltır.

3.6. Kendiliğinden Yerleşen Beton Dizaynı

KYB dizaynı geleneksel vibratörle yerleşen beton'la (VYB) kıyaslandığında öncelikle gradasyonda iri/ince agrega oranı azaltılmalı ve bağlayıcı malzeme oranı bir miktar artırılmalıdır. Bundaki amaç her iri agrega tanesinin bir kat harç (çimento, kum ve su) ile sarılmasının sağlanması ve betonun kendi ağırlığı ile hareket edebilmesinin sağlanmasıdır. KYB teknolojisinde çimento ve su bileşimi agregaları taşımak için bir araçtır. Bu mekanizma göz önüne alındığında çimento ve su bileşiminin hacmi agreganın hacminden fazla olmalıdır, böylelikle her agrega tanesi bu bileşimle sarılır ve beton kendi ağırlığı ile hareket ederek akıcılık sağlanır. KYB'nin kalıp içerisinde ince kesitlerin dökümünde veya donatı kalıp arasındaki dar boşluklardan geçişinde hareketli olabilmesi için (VYB)'den farklı olarak agregaların birbirleri arasındaki kilitlenmeleri ve köprülenmeleri azaltılmalıdır. Bu özelliklerin sağlanabilmesi için kaba agrega VYB'de kullanılan gradasyonlardakinden daha az oranda kullanılmalıdır. KYB'nin hareket etsini sağlayabilmek için Yeni Nesil Süper Akışkanlaştırıcının (YNSA) kullanım dozu VYB' de ihtiyaç duyulan kullanım miktarından bir miktar fazla olmalıdır. Son olarak, gradasyonda betonun hareketini sağlayacak kadar ince malzeme sağlanamazsa YNSA ile birlikte viskozite düzenleyici katkılar kullanılmalıdır.

Avrupa KYB Şartnamesi incelendiğinde hiçbir mineral katkı ve filler kullanılmadan 380 kg çimentoyla KYB yapılabileceği gibi 600 kg toplam toz malzeme ile de yapılabileceği görülmektedir. Kaba agrega kullanımı olarak herhangi bir üst limit verilmemesine rağmen 16 mm civarında tutulacak maksimum tane çapı betonun yerleşme ve geçme özelliklerini artıracaktır. KYB gradasyonunda toz miktarının yeterince arttırılamaması ve YNSA miktarının yüksek olması kimyasal katkı tipine, kullanım miktarına ve çimento kimyasal özelliklerine bağlı olarak ayrışmaya neden olabilecektir (Şengül ve ark. 2003).

KYB'de çimento, su ve mineral katkı istenilen özelliklere ve ekonomik hedeflere göre uyarlanarak hedeflenen beton akıcılığı ve viskozitesi sağlanmalıdır. Kullanılacak su miktarı, bağlayıcı miktarı ve su/bağlayıcı oranı seçilen YNSA tipine bağlı olarak değişecektir. Günümüz piyasa betonlarında kullanılan Bet Naftalin

Sülfonat, Lignosülfonat gibi katkıların su kesme ve viskoziteyi azaltma yetenekleri KYB'de istenilen performansın sağlanmasına engel olmaktadır. Eğer yapılan dizaynda su miktarı en küçük seviyelerde olmasına rağmen mikro ayrışmalar, yayılma esnasında su kusma etkisi görülüyorsa dizayna viskozite düzenleyici katkılar eklenerek devam edilmelidir. KYB dizaynında ön deneme yapılması ve taze betonda bahsedilen etkilerin görülmesi ve betonun üretim, taşıma ve yerleştirme aşamalarında ayrışmamasına dikkat edilmelidir.

Yukarıda anlatılanlardan da görülebileceği gibi KYB dizaynında malzeme seçimine özel bir önem verilmelidir. KYB dizaynında katkı miktarı belirlenirken toplam bağlayıcı göz önüne alınarak bir dozaj belirlenmelidir.

3.7. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Mühendislik Özellikleri

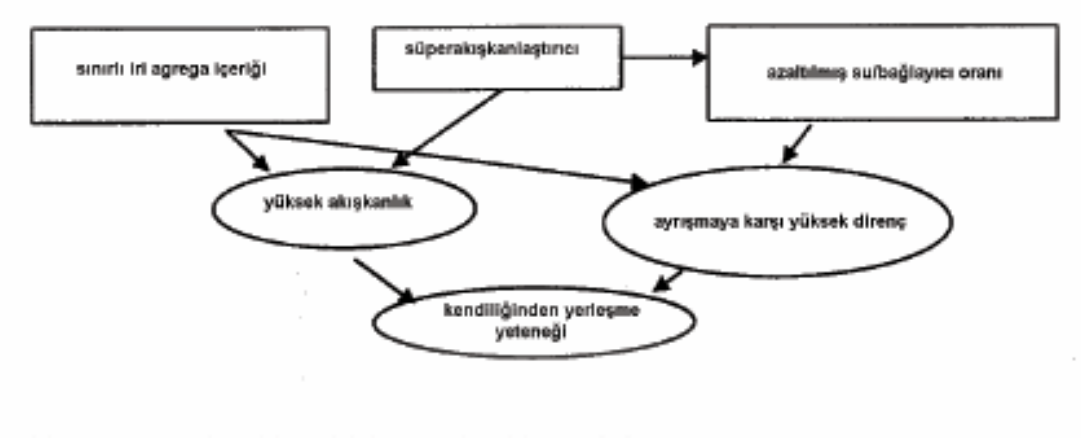
Kendiliğinden yerleşen beton (KYB) ve vibrasyonla yerleşen geleneksel betonun (VYB) basınç dayanımları çok benzerdir. Basınç dayanım gelişimleri her KYB ve VYB' de birbirine paralel sonuçlar göstermektedir. Uygulanan yerleştirme metoduna bağlı olarak VYB' de hafif düşük çıkabilmektedir (Şengül ve ark. 2003, Young 1998). KYB herhangi bir beton dayanım sınıfı ile tedarik edilebilir. Bu yüzden TS-EN 206-1'in şartlarını da sağlamak durumundadır.

Kalıcılık (durabilite), beton yapıların yapıldıkları ortamda servis hayatları süresince maruz kalacakları çevre şartlarını istenilen teknik özelliklerden kayıp vermeden dayanması olarak tanımlanır ve TS-EN 206-1'in çevre şartlarının sınıflandırılması ile belirlenir. Bu tanım ve sınıflandırma beton dizaynında bağlayıcı miktarı, su/çimento oranı ve beton basınç dayanımı ile ilgili sınırlandırmalarla tanımlanmasına neden olur. Bu şartlar hem geleneksel VYB' ler hem de KYB' ler için geçerlidir.

KYB kalıp yüzeyine likit gibi davranarak sürekli basınç yapacağı için kalıp takviyeleri düzgün ve yeterli olmalıdır. Özellikle parçalı kalıp kullanılması halinde kalıp birleşim noktalarından betonun akması riski vardır.

3.8. KYB'nin Tasarım Kriterleri

KYB'nin iyi bir performans sağlaması için gereken nitelikler Şekil 3.1'de gösterilmektedir. Sınırlı iri agrega içeriği hacmi agrega tanelerinin çarpışmasını azaltmakta ve geçiş yeteneği sağlamakta ve geri kalan çimento hamuru fazı hacmini arttırmakta; düşük su/bağlayıcı oranı ve süper akışkanlaştırıcı ise ayrışma direncini sağlamaktadır.



Şekil 3.1. KYB Elde Edilmesi İçin Genel Yaklaşım

Ülkeler bazında, değişik uygulama alanlarına yönelik çok farklı tasarım yaklaşımları bulunmaktadır. Deneyler başarılı KYB üretmek için bir takım limitler oluşmasına imkân vermiştir. Aşağıdaki tüm terimler hacimseldir.

- Beton hacminin % 30-34'ü iri agrega hacmi. Bu değerler, normal işlenebilir bir beton için geçerli olan değerlerden daha azdır.
- Su/bağlayıcı oranı olarak 0.8–1.2 bu sınırı zorladıkça genellikle bir viskozite arttırıcı kullanılmalıdır.
- Viskozite arttırıcı kullanılmadığında 155–175 lt/m^3 su idealdir veya viskozite arttırıcı ile 200 lt/m^3 'lere kadar çıkılabilir.
- Beton hacminin % 34-40'ı kadar bir çimento hamuru fazı hacmi
- Harç fazı hacmini % 40-50'si kadar ince agrega hacmi olabilir.

Tüm bu sınır değerler ışığında, ağırlıkça aşağıdaki miktarlar kabaca önerilebilir:

İri agrega :750-920 kg/m^3

İnce agrega :710-900 kg/m^3

Bağlayıcı :450-600 kg/m^3

Su :150-200 kg/m^3

3.9. Dünyanın Değişik Ülkelerinde Yapılan KYB Uygulamaları

Tablo 3.1. Almanya'da yapılan Prekast Duvar Uygulaması

ülke	Almanya [4]
uygulama	Prekast duvar elemanları
miktar	90 m^3
İşin tanımı	Bir idari binanın prekast cephe duvar elemanlarında KYB kullanımı
faydalar	Mükemmel yüzey kalitesi.
engeller	Standart olmamasından dolayı yerel makamlardan özel izin gerekli oldu. Yüksek ortam sıcaklığı işlenebilme süresini etkiledi
bileşim	CEM II/A-LL 42.5R : 420 kg/m^3 Uçucu kül : 110 kg/m^3 Su/bağlayıcı : 0,55 Kum 0/2 : %41 Çakıl 2/4 : %33 Çakıl 8/16 : %26 Poliakrilat katkı : %0,8-1,3
taze beton	Yayılma : 700 mm T_{500} : 1,0 sn. Hava : % 0,8
sertleşmiş beton	1 gün : 18 Mpa 2 gün : 24 Mpa 28 gün : 44 MPa



Tablo 3.2. Almanya'da yapılan Sel Koruma Duvarı ve Çek Cumhuriyetindeki Üniversite İdari Binası Uygulaması

ülke	Almanya [4]
uygulama	Sel koruma duvarı
miktar	450 m^3
İşin tanımı	Nehrin kenarındaki anıtsal binaların su taşkınından korunması için koruma duvarları yapılması
faydalar	Karmaşık kesitlerden dolayı vibrasyonun mümkün olmaması
engeller	Uzun taşıma süresinen dolayı şantiyede katkı yeniden dozajlandı
bileşim	CEM I 32.5R : 350 kg/m^3 Uçucu kül : 220 kg/m^3 Su/bağlayıcı : 175 lt/m^3 Agrega : 1626 kg/m^3 Poliakrilat katkı : % 2
taze beton	Yayılma 10 dak : 750 mm Yayılma 45 dak : 720 mm Yayılma 60 dak : 640 mm
sertleşmiş beton	56 gün : 69 Mpa



ülke	Çek Cumhuriyeti [4]
uygulama	Üniversite idari binası
miktar	200 m^3
İşin tanımı	Brüt beton yüzeyli ve karmaşık kalıp sistemli bina inşaatı
faydalar	Vibrasyon olmaksızın mükemmel yüzey kalitesi
engeller	-
bileşim	CEM I 42.5R : 380 kg/m^3 Su : 180 lt/m^3 Uçucu kül : 200 kg/m^3 Kum 0/4 : 763 kg/m^3 Çakıl 4/8 : 306 kg/m^3 Çakıl 8/16 : 495 kg/m^3 Polikarboksilat katkı : 3,42 kg/m^3
taze beton	Yayılma 15 dak : 750 mm Yayılma 60 dak : 700 mm Hava içeriği : % 1,5
sertleşmiş beton	7 gün : 40 Mpa 28 gün : 50 MPa



ülke	Türkiye

Tablo 3.3. Türkiye'de yapılan Otel binası güçlendirmesi

ülke	Türkiye	
uygulama	Otel binası güçlendirmesi	
miktar	200 m^3	
İşin tanımı	Mevcut binadaki çerçeveleri perde teşkili ve kolon kesitlerini büyüterek güçlendirme işi	
faydalar	Döşemeden açılan bir delikten dökülen KYB tüm perdeyi vibrasyon gerektirmeksizin doldurdu.	
engeller	-	
bileşim	CEM I 42.5R : 350 kg/m^3 Uçucu kül : 200 kg/m^3 Su/bağlayıcı : 0,38 Kum 0/3 : 486 kg/m^3 Kırmakum 0/5 : 286 kg/m^3 Kırmataş 5/13 : 795 kg/m^3 Polikarboksilat katkı : % 1	
taze beton	Yayılma 0 dak : 700 mm Yayılma 60 dak : 650 mm	
sertleşmiş beton	1 gün : 16 Mpa 3 gün : 31 Mpa 7 gün : 40 Mpa 28 gün : 54 MPa	

Tablo 3.4. Türkiye'de yapılan Çimento silosu güçlendirmesi

ülke	Türkiye	
uygulama	Çimento silosu güçlendirmesi	
miktar	233 m^3	
İşin tanımı	Korozyona uğramış mevcut silonun mantolanması	
faydalar	Kayar kalıp sisteminde vibratör kullanılmadı. Döküm hızı arttı.	
engeller	-	
bileşim	CEM I 42.5R : 350 kg/m^3 Uçucu kül : 200 kg/m^3 Su/bağlayıcı : 0,37 Kum 0/3 : 486 kg/m^3 Kırmakum 0/5 : 286 kg/m^3 Kırmataş 5/13 : 795 kg/m^3 Polikarboksilat katkı : % 1,2	
taze beton	Yayılma 0 dak : 680 mm Yayılma 60 dak : 650 mm	
sertleşmiş beton	1 gün : 21 Mpa 3 gün : 29 Mpa 7 gün : 42 Mpa 28 gün : 57 MPa	

4. MATERYAL VE METOT

4.1. Materyal

Bu bölümde, çalışmanın amacı doğrultusunda kullanılan iri agrega, ince agrega, beton karma suyu, çimento, hiper akışkanlaştırıcı katkı maddesi, polipropilen lif ve uçucu küle ait bilgilere yer verilmiştir.

Agrega, taze beton özelliklerinin tayini deneyleri ve sertleşmiş beton özelliklerinden basınç dayanımının tayini deneyleri KONBETON Hazır Beton Tesisi Kalite Kontrol Laboratuarında yapılmıştır. Sertleşmiş beton özelliklerinden yarmada çekme dayanımının tayini deneyi İnşaat Mühendisleri Odası Konya Şubesi Laboratuarında yapılmıştır. Eğilme Dayanımının Tayini deneyi ise S.Ü. Mühendislik – Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuarında yapılmıştır.

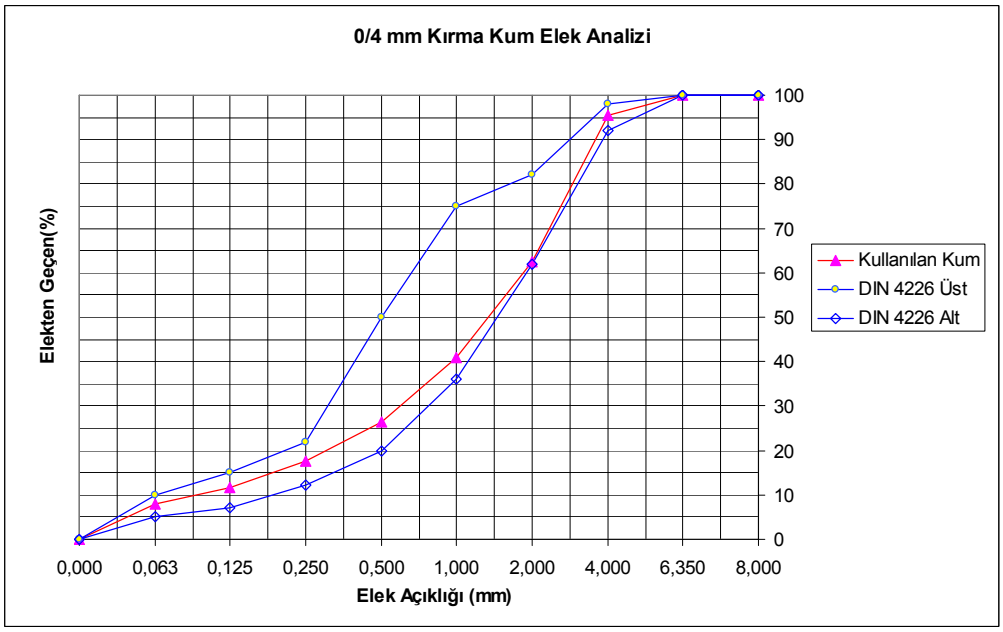
4.1.1. Agreganın özellikleri

Bu çalışmada, Eğribayat KOMMADEN KONYA MAD. İNŞ. SAN. VE TİC. A.Ş. tarafından üretilen ve KONBETON hazır beton tesislerinde kullanılan agrega kullanılmıştır.

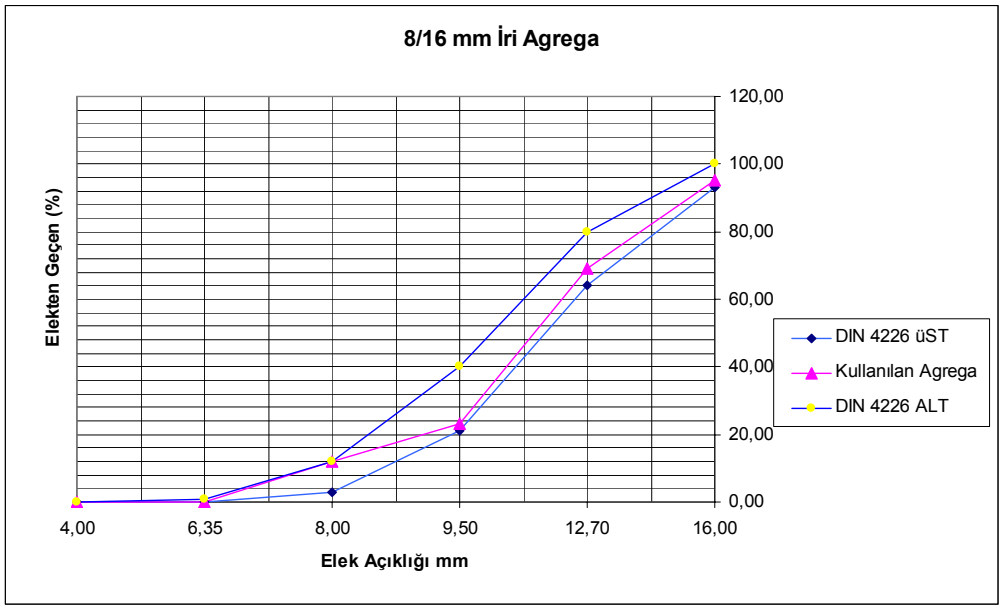
0-4 mm dane çaplı ince agreganın sıkışık birim ağırlığı 1870 kg/m^3, gevşek birim ağırlığı 1587 kg/m^3, kuru özgül ağırlığı 2,60 t/m^3, doygun kuru yüzey özgül ağırlığı 2,65 t/m^3, görünen özgül ağırlığı 2,73 t/m^3 ve su emme oranı %1,9'dur.

8-16 mm dane çaplı iri agreganın sıkışık birim ağırlığı 1560 kg/m^3, gevşek birim ağırlığı 1392 kg/m^3, kuru özgül ağırlığı 2,67 t/m^3, doygun kuru yüzey özgül ağırlığı 2,68 t/m^3, görünen özgül ağırlığı 2,70 t/m^3 ve su emme oranı %0,3'dür.

0-4 mm dane çaplı ince agrega ve 8-16 mm dane çaplı iri agreganın granülometri eğrileri Şekil 4.1. ve Şekil 4.2.'de verilmiştir.



Şekil 4.1. 0-4 mm Dane Çaplı ince agreganın granülometri eğrisi



Şekil 4.2. 8-16 mm Dane Çaplı iri agreganın granülometri eğrisi

4.1.2. Beton karma suyu ve çimentonun özellikleri

KYB üretiminde kullanılan beton karma suyu olarak temin edilen ve KONBETON Hazır Beton Tesislerinde kullanılan berrak, renksiz, kokusuz, Ph'ı 7,2 olan Sondaj kullanma suyu kullanılmıştır.

KYB üretiminde, özgül ağırlığı 3.06 kg/dm^3 olan PÇ 42.5 CEM I çimentosu kullanılmıştır. Konya Çimento A.Ş. tarafından üretilen çimentonun TS EN 197-1'e uygunluğu, fabrika laboratuarında test edilmiştir. Bulunan değerler ve TS EN 197-1'e uygunluğu Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Çimentoya ait Konya Çimento A.Ş. laboratuarlarında bulunan değerler ve TS EN 197-1'de istenen değerler

Kimyasal özellikler	**Elde edilen değerler**	**TS EN 197-1'de (TS 19) istenen değerler**	
		En az	**En çok**
Kızdırma kaybı (%)	4.33		5.00
Çözünmeyen kalıntı (%)	0.26		5.00
Kükürt trioksit (SO_3) (%)	2.85		3.50
Klorür (Cl) (%)	0.0120		0.10
Fiziksel özellikler			
2 günlük basınç dayanım (Nt/mm^2)	22.7	10.0	
7 günlük basınç dayanım (Nt/mm^2)	35.0		
28 günlük basınç dayanım (Nt/mm^2)	45.3	42.5	62.5
Priz başlangıcı (min)	145	70	
Hacim genleşmesi (mm)	1		10

4.1.3. Uçucu külün özellikleri

KYB üretiminde kullanılan mineral katkı maddesi, Tunçbilek uçucu külü olup, kimyasal analizi sonuçları Tablo 4.2'de gösterilmiştir. Uçucu kül TS EN 450'de, pülverize kömürün yakılmasından elde edilen, puzolanik özelliklere sahip olan ve esas olarak SiO_2 ve Al_2O_3'den meydana gelen, TS EN 197-1'de belirtildiği gibi tarif ve tayin edilen reaktif SiO_2 muhtevası kütlece en az %25 olan, başlıca küresel ve camsı taneciklerin ince tozu olarak tanımlanmaktadır. Uçucu külün özgül ağırlığı 2,00 kg/dm^3'dür. Tunçbilek uçucu külü için firma yetkilileri tarafından bulunan değerler ve TS EN 450'ye uygunluğu Tablo 4.2'de verilmiştir. Deneyde kullanılan uçucu kül Resim 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Tunçbilek uçucu külü için firma yetkilileri tarafından bulunan değerler bulunan değerler ve TS EN 450'de istenen değerler

Kimyasal Özellik	**Elde edilen değerler**	**TS EN 450'de istenen değerler**
SiO_2 (%)	53.66	> 25
Al_2O_3 (%)	18.93	
Fe_2O_3 (%)	11.2	
CaO (%)	2.32	
MgO (%)	6.95	
SO_3 (%)	1.41	< 3
Cl (%)	-	< 0.10
Na_2O (%)	0.16	
K_2O (%)	1.27	< 1
P_2O_5 (%)	0.14	
TiO_2 (%)	-	
Mn_2O_3 (%)	0.18	
Kızdırma Kaybı (%)	0.4	< 5
Toplam (%)	96.2	



Resim 4.1 Deneyde kullanılan Tunçbilek Uçucu külü

4.1.4. Hiper akışkanlaştırıcı katkı maddesinin özellikleri

KYB üretiminde kullanılan akışkanlaştırıcı kimyasal katkı maddesi, modifiye edilmiş polikarboksilik eter esaslı, amber renkli, 1,1 kg/l yoğunluğunda, sıvı, erken ve nihai yüksek dayanım ve dayanıklılığa gereksinim duyulan, mükemmel yüzey görünümü elde etmek için, hazır beton ve prekast endüstrisi için geliştirilmiş, yüksek oranda su ihtiyacını azaltan TS EN 934-2 'ye göre yüksek oranda su azaltıcı / hiper akışkanlaştırıcı katkı ve sertleşmeyi hızlandırıcı katkı sınıfına uygun, 3.nesil hiper akışkanlaştırıcı beton katkısı olan YKS GLENİUM 51'dir.

Mükemmel yayılma etkisi Glenium 51'i prefabrik ve hazır beton endüstrisi için ideal bir katkı maddesi haline getirir, çok düşük bir su/çimento ile çalışma yeteneği, erken yüksek (18-24 saat) ve nihai dayanıma sahip beton imalatına olanak verir. Nükleer güç santralleri turbo jenaratörler, limanlar gibi yapıların radye temellerinde, betonun 200 m'den daha uzak yerlere pompalandığı beton dökümlerinde yada yüksek yerlere yapılan beton dökümlerinde, endüstriyel zeminlerde ve havaalanlarında, betonun aşındırıcı etkilere maruz kaldığı yapılarda, atık su arıtma tesisleri, havuzlar ve beton borularda, sık teçhizatlı köprü kirişlerinde ve kendiliğinden yerleşen betonlarda glenium 51 rahatlıkla kullanılabilir.

Glenium 51'in geleneksel süper akışkanlık verici katkı maddelerinden (NSF veya MSF esaslı) farkı, çimento dağılımının etkinliğini büyük ölçüde artıran, yeni ve benzersiz etki mekanizmasıdır. Geleneksel, melamin ve naftalin sülfonatlar gibi süper akışkanlaştırıcılar, çimento granülleri tarafından emilen polimer esaslı katkılardır. Bu katkılardaki polimerler beton karıştırma işleminin en erken aşamasında granüllerin yüzey alanlarının çevresini kuşatırlar.

Polimer zincirlerinin sülfonik grupları, çimento partikül yüzeylerinin negatif yükünü artırır ve bu partikülleri elektriksel itme ile dağıtırlar. Bu elektrostatik mekanizma, çimento hamurunun dağılmasına neden olur. Sonuçta belirli beton işlenebilirliğinin daha az su karışımı ile elde edilebilmesi sağlanır.

Glenium 51 geleneksel süper akışkanlık verici katkı maddelerine göre değişik bir kimyasal yapıya sahiptir. Glenium 51, uzun kenar zincirli karboksilik eter polimerlerinden oluşur. Karıştırma işleminin başlangıcında, geleneksel süper akışkanlaştırıcılarda olduğu gibi, elektrostatik dağılma mekanizmasını harekete geçirir. Bu işlemle su içeriği büyük ölçüde azalan akışkan bir beton elde edilir. Ancak polimer omurgasına bağlayan zincirler, çimento partiküllerinin dağılma ve yayılma yeteneğini büyük ölçüde stabilize eden sterik bir engel oluşturur.

Glenium 51'in Özellikleri:

1. Zaman ve sıcaklık derecesine göre sertleşme sürecinin düşürülmesini mümkün kılar
2. Buhar kürünü ortadan kaldırır.
3. Mükemmel yayılma etkisine sahiptir.
4. En düşük su/çimento oranı ile reoplastik beton elde edilir.
5. Ayrışma ve kusma yapmaz.
6. Çok donatılı betonarmede bile düşük vibrasyon süresine gereksinme gösterir.
7. Mükemmel yüzey görünümü sağlar.
8. Geleneksel süper akışkanlaştırıcılar (NSF veya MSF) İle kıyaslandığında, erken ve son dayanım, elastisite modülü, çeliğe aderans, karbonasyon derinliği, büzülme, sünme ve agresif kimyasallara dayanıklılık, geçirimsizlik gibi betonun mühendislik özelliklerini geliştirir.

Betondan istenilen performansa bağlı olarak; plastik beton için çimentonun %0.4-1.0'i (100 kg çimento için 400-1000 g) oranında, kendiliğinden yerleşen beton için çimento ağırlığının %1,0-2,0'si oranında (100 kg çimento için 1000-2000 g) kullanılır. (YKS Teknik Bilgi föyü). Deneyde kullanılan hiper akışkanlaştırıcı YKS Glenium 51 Resim 4.2'de verilmiştir.



Resim 4.2 Deneyde Kullanılan Hiper akışkanlaştırıcı YKS Glenium 51

4.1.5. Polipropilen Lifin Özellikleri

Polipropilen lifler çok çeşitli ebatlarda üretilirler. Hammaddesi % 100 polipropilendir. 6mm, 12 mm, 19 mm, 38 mm uzunluğunda üretilen çeşitleri daha az ipliksi yapıya sahiptir. Bu deneysel çalışmada 12 mm uzunluğunda polipropilen lifler kullanılmıştır. Araştırmada kullanılan lifler İzmit Beksa Fabrikasından temin edilmiştir. Halen Türkiye'de imalatı yapılmayan bu lifler Belçika '' Dramix'' firması tarafından üretilmekte ve Türkiye temsilciliğini ise Beksa Fabrikası yapmaktadır. Deneyde kullanılan polipropilen lif Resim 4.3'te verilmiştir.



Resim 4.3 Deneyde Kullanılan Polipropilen Lif

4.2. Metot

Bu kısımda KYB üretiminde kullanılan iri agreganın ve ince agreganın özelliklerinin belirlenmesi, kullanılan agregaların oranları, çimentonun dozajı, su miktarının seçimi, hiper akışkanlaştırıcı katkı maddesi ve uçucu kül miktarının belirlenmesi ve beton karışım hesapları hakkında bilgi verilmiştir. KYB'lerin deney yöntemleri, KYB numunelerinin bileşimleri, hazırlanması, karıştırılması, kalıba yerleştirilmesi, saklanması, numune boyutları ve sayıları, beton numuneler üzerinde yapılan deneyler ile ilgili uygulanan metotlar anlatılmıştır.

4.2.1. Agrega deneylerinde uygulanan metotlar

KYB üretiminde kullanılan agregaların özelliklerinin belirlenmesi için, TS 3529'a göre ince, iri agregada sıkışık birim ağırlık ile gevşek birim ağırlık tayini deneyleri, TS 3526'ya göre iri ve ince agregada özgül ağırlık ve su emme oranı tayini deneyleri yapılmıştır.

4.2.1.1. Sıkışık birim ağırlık deneyi

Ağırlığı (W1) tartılarak belirlenmiş uygun bir ölçü kabı, hava kurusu durumuna getirilmiş deney numunesi ile kabın yüksekliğinin 1/3'üne kadar doldurulur. Numune şişleme çubuğu ile yüzeyin her tarafına yayılacak şekilde 25 vuruş yapılarak şişlenip sıkıştırılır. Sıkıştırma işlemi, kap ikinci kez 2/3'üne kadar doldurulduktan sonra da 25 kez olacak şekilde yapılır, kabın tamamı doldurulduktan sonra şişleme tekrarlanır. Ölçü kabı üst yüzeyi düzeltilir. Şişleme işleminden sonra ölçü kabı agrega ile birlikte tartılır (W2) ve aşağıdaki denklem yardımıyla sıkışık birim ağırlığı tespit edilir.

$$B_S = \frac{(W\,2 - W\,1)}{V} \qquad (4.1)$$

Burada;

Bs= Sıkışık birim ağırlık (kg/m^3)
W_2 = Sıkışık agrega ile dolu ölçü kabı ağırlığı (kg)
W_1 = Ölçü kabı ağırlığı (kg)
V = Ölçü kabının iç hacmi (m^3)

Sıkışık birim ağırlık deneyi, iki deney numunesine uygulanır. Deney sonuçları arasındaki fark 5 kg/m^3 veya daha küçük ise, sonuçların ortalaması sıkışık birim ağırlık olarak kabul edilir. Fark 5 kg/m^3 den fazla olduğunda, deney üçüncü kez yapılır. Farklar yaklaşık olarak birbirine eşit olduğunda, üçünün ortalaması sıkışık birim ağırlık olarak alınır.

4.2.1.2. Gevşek birim ağırlık deneyi

Ağırlığı (W1) tartılarak belirlenmiş uygun bir ölçü kabına deney numunesi doldurulur . Ölçü kabı üst yüzeyi, fazla agrega elle sıyrılarak düzeltilir. Ölçü kabı içindeki agrega ile birlikte tartılır (W2) ve aşağıdaki denklem yardımıyla gevşek birim ağırlığı tespit edilir.

$$Bg = \frac{(W2 - W1)}{V} \qquad (4.2)$$

Burada;

Bg= Gevşek birim ağırlık (kg/m^3)
W2 = Gevşek agrega ile dolu ölçü kabı ağırlığı (kg)
W1 = Ölçü kabı ağırlığı (kg)
V = Ölçü kabının iç hacmi (m^3)

Gevşek birim ağırlık deneyi, iki deney numunesine uygulanır. Deney sonuçları arasındaki fark 5 kg/m^3 veya daha küçük ise, sonuçların ortalaması gevşek birim ağırlık olarak kabul edilir. Fark 5 kg/m^3 den fazla olduğunda, deney üçüncü kez yapılır. Farklar yaklaşık olarak birbirine eşit olduğunda, üçünün ortalaması sıkışık birim ağırlık olarak alınır.

4.2.1.3. 0-4 mm İnce agreganın özgül ağırlık deneyi

0,6 kg deney numunesi su içerisinde 24 saat bekletildikten sonra ince taneleri kaybolmayacak şekilde suyu süzülerek akıtılır ve bir tava içine yayılır. Tava etüve konarak kurutulur ve doygun kuru yüzey haline getirilir. Numunenin çok kurumamasına özen gösterilir. Doygun kuru yüzey haline ulaşılıp ulaşılmadığı Kesme metodu ile tayin edilir. Buna göre Doygun kuru yüzey durumuna geldiği

sanılan numune ile yaklaşık yarım küre biçiminde bir yığın yapılır. Yığın mala ile düşey olarak ikiye bölündüğünde ortaya çıkan yüzey düzlemliğini koruyabiliyorsa kurutmaya devam edilir. Düşey yüzeyin kendini tutamayıp yıkıldığının belirlendiği an doygun kuru yüzey durumudur.

Doygun kuru yüzey durumuna getirilmiş olan numune tartılarak doygun kuru yüzey ağırlığı kaydedilir (W_2). Etüv kurusu (sıcaklığı 105 °C 'de tutulabilen etüvde en az 24 saat bekletildikten sonra çıkarılan agreganın değişmez ağırlığa erişmesi durumu) durumuna getirilir.

Ölçü kabının daha önce belirlenmiş olan ağırlığı bu tartıdan çıkarılarak numunenin kuru ağırlığı belirlenir (W_1). Ölçü kabı yaklaşık 20 °C' deki su ile yarıya kadar doldurulur ve düz bir yüzey üzerine hafif hafif vurularak ve aynı zamanda döndürülerek hava kabakcıklarının çıkması sağlanır. Bir saat beklendikten sonra ölçü kabı yaklaşık 20 °C'deki su ile 1000 ml işaret çizgisine kadar doldurulur ve tartılır.

İnce agreganın kuru özgül ağırlığı, doygun kuru yüzey ağırlığı, görünen özgül ağırlığı ve su emme oranı aşağıdaki formüller ile hesaplanır.

- İnce agreganın kuru özgül ağırlığı:

$$\gamma_k = \frac{W_1}{W_2 + W_4 - W_3} \qquad (4.3)$$

- İnce agreganın doygun kuru yüzey özgül ağırlığı:

$$\gamma_d = \frac{W_2}{W_2 + W_4 - W_3} \qquad (4.4)$$

- İnce agreganın görünen özgül ağırlığı:

$$\gamma_g = \frac{W_1}{W_1 + W_4 - W_3} \qquad (4.5)$$

- Su emme oranı

$$m_e = \frac{(W_2 - W_1)}{W_1} X100 \qquad (4.6)$$

Burada;

$\gamma_{k:}$ İnce agreganın kuru özgül ağırlığı (kg/m^3)

$\gamma_{d:}$ İnce agreganın doygun kuru yüzey ağırlığı (kg/m^3)

γg :İnce agreganın görünen özgül ağırlığı (kg/m^3)

$m_{e:}$ İnce agreganın su emme oranı (%)

W_1 = Numunenin etüv kurusu ağırlığı (kg)

W_2 = Numunenin doygun kuru yüzey durumundaki ağırlığı

W_3 = Ölçü kabı, su ve numunenin toplam ağırlığı (kg)

W_4 = 1000 ml çizgisine kadar su ile dolu ölçü kabı ağırlığı (kg)

İnce agreganın özgül ağırlığı ve görünen özgül ağırlığı ile su emme oranı tayini deneyi, iki deney numunesine uygulanır. Özgül ağırlık tayini deney sonuçları arasındaki fark 0,02'den daha küçük olduğunda sonuçların ortalaması, ince agreganın özgül ağırlığı olarak kabul edilir. Su emme sonuçları arasındaki fark 0,02'den küçük olduğunda sonuçların ortalaması su emme oranı alarak kabul edilir.

4.2.1.4. 8-16 mm İri agreganın özgül ağırlık deneyi

1,6 kg deney numunesi su içerisinde 24 saat bekletildikten sonra çıkarılır, suyu süzülür ve tanelerinin üzerinde gözle görülebilen su tabakası kalmayıncaya kadar kurutulur. Kurutma işlemi biter bitmez numune hemen tartılarak doygun kuru yüzey ağırlığı bulunur (W_2). Doygun kuru yüzey halindeki numune tartıdan hemen sonra kafes örgülü tel sepete konarak su dolu kovanın içine su yüzeyinden en az 5 cm daha aşağıda kalacak şekilde daldırılır. Daha sonra sepetin kova kenarına dokunmamasına dikkat edilerek özel düzende terazi kefesinin ortasına yerleştirilir. Doygun malzemenin sudaki ağırlığı bulunur (W_3). Numune sudan çıkarılarak etüv kurusu

durumuna getirilir. Oda sıcaklığına kadar soğutularak havadaki kuru ağırlığı kaydedilir (W_1).

İri agreganın kuru özgül ağırlığı, doygun kuru yüzey ağırlığı, görünen özgül ağırlığı ve su emme oranı aşağıdaki formüller ile hesaplanır.

- İri agreganın kuru özgül ağırlığı:

$$\gamma_k = \frac{W_1}{W_2 - W_3} \qquad (4.7)$$

- İri agreganın doygun kuru yüzey özgül ağırlığı:

$$\gamma_d = \frac{W_2}{W_2 - W_3} \qquad (4.8)$$

- İri agreganın görünen özgül ağırlığı:

$$\gamma g = \frac{W_1}{W_1 - W_3} \qquad (4.9)$$

- Su emme oranı

$$m_e = \frac{(W_2 - W_1)}{W_1} X 100 \qquad (4.10)$$

Burada;

γ_k: İri agreganın kuru özgül ağırlığı (kg/m^3)

γ_d : İri agreganın doygun kuru yüzey ağırlığı (kg/m^3)

γg :İri agreganın görünen özgül ağırlığı (kg/m^3)

m_e : İri agreganın su emme oranı (%)

W_1 = Numunenin etüv kurusu ağırlığı (kg)

W_2 = Numunenin doygun kuru yüzey durumundaki ağırlığı (kg)

W_3= Numunenin sudaki ağırlığı (kg)

İri agreganın özgül ağırlığı ve görünen özgül ağırlığı ile su emme oranı tayini deneyi, iki deney numunesine uygulanır. Özgül ağırlık tayini deney sonuçları arasındaki fark 0,02'den daha küçük olduğunda sonuçların ortalaması, iri agreganın özgül ağırlığı olarak kabul edilir. Su emme sonuçları arasındaki fark 0,02'den küçük olduğunda sonuçların ortalaması su emme oranı alarak kabul edilir.

4.2.2. Beton numunelerinin hazırlanması

4.2.2.1. Agrega oranları

1., 2., 3., ve 4. grup KYB karışımı için 0-4 mm ince agrega %67, 8-16mm iri agreganın %33 oranında kullanılması uygun bulunmuştur.

4.2.2.2. Çimento dozajı ve su miktarı

KYB karışımlarında çimento dozajı 350, 375, 400 ,425, 450, 475, 500, 525 kg /m^3 alınmış ve daha önce yapılan araştırmalarda dikkate alınarak çeşitli su/çimento oranları belirlenerek gerekli su miktarları tayin edilmiştir.

4.2.2.3. Uçucu kül ve hiper akışkanlaştırıcı katkı maddeleri oranları

Her bir karışıma ilgili literatürlerdeki öneriler dikkate alınarak çimentonun ağırlıkça %22 ile %33'ü oranında uçucu kül ilave edilmiştir.

YKS Glenium 51 hiper akışkanlaştırıcı katkı maddesi, malzeme katoloğunda belirtilen maksimum ve minimum değerler göz önünde tutulup ön deneyler

yapılarak, toplam bağlayıcı miktarının %1.3-1.5'u oranlarında karışım suyuna ilave edilmiştir.

4.2.2.4. Beton karışım hesapları

Normal betonda basınç dayanımını etkileyen en önemli faktör su/çimento oranıdır. Beton karışım hesabında, su/çimento oranı, agregaların türlerine bağlı olarak su emme kapasiteleri, su içerikleri ve çimento dozajı ile kimyasal ve mineral katkı içerikleri, taze ve sertleşmiş beton özelliklerini etkileyecek faktörler olarak karşımıza çıkmaktadır. Beton karışım oranlarının belirlenmesinde genellikle basınç dayanımı ve işlenebilirlik özellikleri göz önünde bulundurulur. Bu nedenle tasarımdan yerleştirmeye kadar bütün aşamalarda, çalışmaların titizlikle gerçekleştirilmesi gerekir. agrega çeşidi, tane büyüklüğü ve çimento dozajına bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir (Kadiroğlu 2004).

Bu çalışmadaki beton bileşim hesabı, mutlak hacim yöntemine göre yapılmıştır.Buna göre 1 m^3 sıkıştırılmış betonda kullanılacak malzemeler aşağıdaki bağıntıyla bulunur. (TS 802).

$$(C / \gamma_C) + W + (Wa / \gamma_a) + A = 1000\ dm^3 \qquad (4.11)$$

Burada;

C = Karışıma girecek çimentonun kütlesi (kg)
γ_C = Çimentonun yoğunluğu (kg / dm^3)
W = Karışıma girecek suyun hacmi
Wa= Karışıma girecek agreganın kütlesi (kg)
γ_a = Agreganın yoğunluğu (kg / dm^3)
A= Betondaki Toplam hava miktarı (dm^3)

4.2.2.5. Beton karışımlarının hazırlanması

Bu çalışmada 350,375,400,425,450, 475, 500 ve 525 kg/m^3 olmak üzere 8 farklı dozajda KYB laboratuarda üretilmiştir.

1. gruptaki karışımlar için öncelikle iri agrega mikserin içerisine konulmuş ve bir müddet karıştırılmıştır. Daha sonra ince agrega kademeli olarak ilave edilmiştir. Aynı şekilde çimento ilavesi de kademeli olarak yapılmıştır. Son olarak Karışıma hiper akışkanlaştırıcı ilave edilmiş su katılıp karışım en az 5 dakika karıştırılmıştır.

2. gruptaki karışımlar için ise öncelikle iri agrega mikserin içerisine konulmuş ve bir müddet karıştırılmıştır. Daha sonra ince agrega kademeli olarak ilave edilmiştir. Aynı şekilde çimento ilavesi de kademeli olarak yapılmıştır. Bu işlemlerden sonra Çimento ağırlığının %22'si ile %33'ü arasında olacak şekilde uçucu kül ilavesi yapılmıştır. Son olarak Karışıma hiper akışkanlaştırıcı ilave edilmiş su katılıp karışım en az 5 dakika karıştırılmıştır.

3. gruptaki karışımlar için yine öncelikle iri agrega mikserin içerisine konulmuş ve bir müddet karıştırılmıştır. Daha sonra ince agrega kademeli olarak ilave edilmiştir. Aynı şekilde çimento ilavesi de kademeli olarak yapılmıştır. Bu işlemlerden sonra 1 m^3 beton için 600-840 gr arasında değişen ağırlıklarda polipropilen lif ilavesi yapılmıştır. Son olarak Karışıma hiper akışkanlaştırıcı ilave edilmiş su katılıp karışım en az 5 dakika karıştırılmıştır.

4. gruptaki karışımlar için yine öncelikle iri agrega mikserin içerisine konulmuş ve bir müddet karıştırılmıştır. Daha sonra ince agrega kademeli olarak ilave edilmiştir. Aynı şekilde çimento ilavesi de kademeli olarak yapılmıştır. Daha sonra çimento ağırlığının %22'si ile % 33'ü arasında olacak şekilde uçucu kül ilave edilmiş. Bu işlemlerden sonra 1 m^3 beton için 600-840 gr arasında değişen ağırlıklarda polipropilen lif ilavesi yapılmıştır. Son olarak Karışıma hiper akışkanlaştırıcı ilave edilmiş su katılıp karışım en az 5 dakika karıştırılmıştır.

Su ve akışkanlaştırıcı katkı maddesi miktarları, taze KYB özelliklerini sağlayacak şekilde defalarca deneyerek tespit edilmiş ve gerçek karışım miktarları

elde edilerek bunlara göre beton üretilmiştir. Üretilen KYB numuneleri Resim 4.4.'te verilmiştir.

Her karışım için üretilen betonlar için EFNARC 2002'ye göre çökme yayılma deneyi, V hunisi akış deneyi ve L kutusu deneyleri yapılmıştır.



Resim 4.4. KYB Numunelerinin mikserde üretilmesi ve kür edilmesi

4.2.2.6. Kendiliğinden Yerleşen Beton Deney Yöntemleri

Taze betonun işlenebilirliği ve akışkanlığının tespiti için bütün karışımlara, akma gerilmesi ile ilgili olarak kendiliğinden yerleşme özelliği ve viskozite ile bağlantılı olarak yayılma süresi hakkında fikir elde etmek üzere yayılma testi yapılmıştır. Viskozite ile bağlantılı olarak huniden boşalma süresini belirlemek

içinde V hunisi akış deneyleri ve kendiliğinden yerleşme yeteneğinin, doldurma yeteneğinin, geçiş yeteneğinin ve ayrışmaya karşı direncin L şeklindeki bir kutu içerisinde gözlenmesini kapsadığı L kutusu deneyleri yapılmıştır. Ayrıca bütün karışımlarda ayrışma ve kusma problemlerinin tespiti için gözle muayene yapılmıştır.

KYB, TS EN 206-1'deki kıvam değerlerinden daha yüksek bir kıvama sahiptir. Bu nedenle standartta verilmeyen bazı özellikleri taşımalıdır. Bu değerler 2002 yılında EFNARC (Uzman yapı kimyasalcılarına ve beton sistemlerine ithafen oluşturulmuş bir Avrupa Federasyonudur. Avrupa'da birçok Avrupa'lı şirketin bu federasyona üyeliği bulunmaktadır. EFNARC'ın ana faaliyet alanları; CEN Teknik komitesinde ve Avrupa seviyesinde, zemin kaplamaları, beton koruma ve tamirleri, yumuşak zemin tünelleri püskürtme betonlar ve kendiliğinden yerleşen betonlardır) tarafından yayınlanan ve kendiliğinden yerleşen beton ile ilgili gerekli tüm bilgileri içeren 'Spesification and Guidelines for SCC' isimli dokümandır. Bir betona Kendiliğinden Yerleşen Beton diyebilmemiz için bazı kriterleri yerine getirmelidir. Bu kriterler Tablo 4.3.'te verilmiştir.

Tablo 4.3. KYB'nin sağlaması gereken kriterler

Deney Metodu	**Ölçülecek Özellik**	**Birim**	**Limit Değer**	
			Min ve max	
Yayılma Tablasında Yayılma	Doldurma Kabiliyeti	Mm	650	800
Yayılma Tablasında ilk 50 cm yayılma için geçen süre	Doldurma Kabiliyeti	Sn	2	5
V- Hunisi Akış	Ayrışmaya Karşı Direnç, Geçiş Yeteneği	Sn	6	12
L Kutusu Deneyi	Doldurma Kabiliyeti, Ayrışmaya Karşı Direnç, Geçiş Yeteneği		20 cm'ye ulaşma 0.6 sn 40 cm'ye 1.2 sn h1/h2>0.8	

1. Çökme Yayılma Deneyi

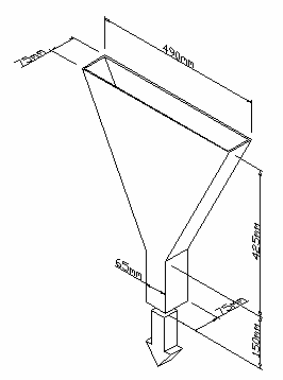
Bu deney taze KYB'nin deformasyon hızının gözlenmesini ve numunenin kendi ağırlığı ile yayılarak oluşturacağı çapın ölçülmesini kapsar. Bu deney ile betonun 50 cm çaplı daireye ulaşıncaya kadar geçen süre ölçülerek yayılma hızı belirlenebilir. Ayrıca toplam yayılma süresi ve miktarı (çap olarak) ölçülebilir. Deneyde Alman Standardı DIN 1048'de yer alan çökme konisi kullanılabileceği gibi klasik çökme konisinden yararlanılabilir. Deney aparatı olarak çökme (slump) hunisi ve 80 cm X 80 cm boyutlarında bir tabla kullanılır. Çökme hunisi KYB ile doldurularak kendi ağırlığı ile seviyelenmesi beklenir. Çökme hunisi çekildiğinde dairesel olarak yayılan KYB'nin ortalama çapı ölçülür (bu çap 65–80 cm arasında olmalıdır). Ayrıca bir kronometre ile 50 cm'ye ulaşması için geçen sürede (bu süre 2–5 sn arasında olmalıdır) tespit edilir. (Resim 4.5.)



Resim 4.5. Çökme Yayılma Deneyi

2. V- Hunisi Akış Deneyi

Bu deney taze KYB'nin kendi ağırlığı ile özel tasarlanmış bir huninin dar olan ağzından boşalma süresinin ölçülmesini içerir. Deney, KYB'nin viskozitesi ve geçiş yeteneği hakkında fikir vermektedir. Aparat Şekil 4.1'de ve Resim 4.6.'da verilen özel bir hunidir. Huniye KYB doldurulduktan sonra en altta bulunan sürgülü kapak açılarak akış başlatılır, üstten bakıldığında alttan ışık geçmeye başladığı ana kadar geçen süre ölçülür buna huni boşalma süresi denir (bu süre 6–12 sn arasında olmalıdır).



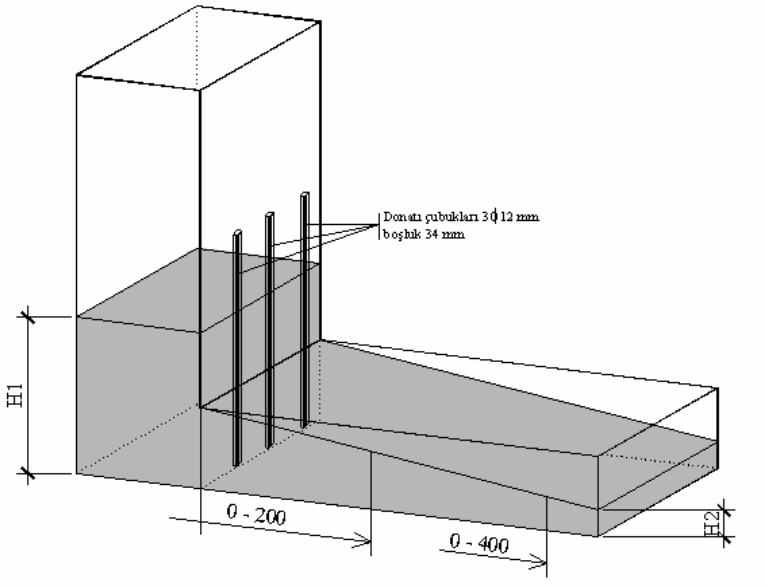
Şekil 4.1. V- Hunisi Akış Deney Aparatı



Resim 4.6. V- Hunisi Akış Deneyi

3. L Kutusu Deneyi

Bu deney, taze KYB'nin kendiliğinden yerleşme yeteneğinin, doldurma yeteneğinin, geçiş yeteneğinin ve ayrışmaya karşı direncin L şeklindeki bir kutu içerisinde gözlenmesini kapsar. L kutusu kare kesitli kutu şeklinde bir bölüm ile bunun önünde yer alan bir yatay platformdan oluşmaktadır. L kutusu Şekil 4.2'de deney ise Resim 4.7.'de verilmiştir. Kutunun alt ortasında sürgülü bir kapak ve aynı zamanda engel teşkil edecek demir çubuklar bulunmaktadır. Bu demirler 12 mm çaplı ve 34 mm Aralıkla 3 adet olarak yerleştirilmiştir. Sürgülü kapak çekilerek betonun diğer bölüme 20 cm ve 40 cm'ye ilerlemesinin süreleri ölçülür. Aynı zamanda kutunun her iki tarafındaki seviye farkı tespit edilir. (sürgülü kapak çekildiğinde KYB'nin ilk 20 cm'ye ulaşma süresi 0.6 sn, 40 cm'ye ulaşma süresi ise 1.2 sn olmalıdır. İki kısımda oluşan yüksekliklerin birbirine oranını h1/h2 0,80'den büyük olmalıdır).



Şekil 4.2. L -Kutusu Deney Aparatı



Resim 4.7. L -Kutusu Deneyi

4.2.2.7. Beton karışımlarının Numune kalıplarına konması ve saklanması

KYB'ler hiçbir şekilde sıkıştırma işlemine tabi tutulmadan kalıplara yerleştirilmiştir. 1 gün sonra kalıptan çıkarılan KYB'ler 6. ve 27. güne kadar oda sıcaklığındaki su içerisinde bekletilmiş, 7. ve 28. günlerde deneye tabi tutulmuşlardır.

4.2.2.8. KYB'nin numune boyutları ve sayıları

KYB numuneleri 15x15x15 cm küp, 15x30 cm silindir ve 10x10x50 cm boyutunda kiriş olmak üzere üç farklı şekilde üretilmiştir. 4 farklı karışım ve her bir karışımda 4 farklı bağlayıcı madde dozajı kullanmak suretiyle 16 farklı deney

yapılmış olup, 96 adet küp, 48 adet silindir ve 48 adet kiriş numunesi olmak üzere toplamda 192 adet numune üretilmiştir.

Küp biçimindeki numuneler her karışım için 6 adet (3 adedi 7 günlük basınç dayanım deneyi için, 3 adedi 28 günlük basınç dayanım deneyi için), silindir numuneler 3 adet (3 adedide 28 günlük silindir yarma deneyi için), kiriş biçimindeki numuneler ise 3 adet (3 adedide 28 günlük eğilme dayanımı deneyi için) olmak üzere üretilmiştir.

4.2.3. Sertleşmiş KYB numuneleri üzerine yapılan deneyler

TS 3114'e göre basınç dayanım tayini (Resim 4.8.), TS EN 12390-5'e göre eğilme dayanımının tayini (Resim 4.9.) ve TS EN 12390-6'ya göre yarmada çekme dayanımının tayini deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerden basınç dayanımı tayini Tablo 5.5. – Tablo 5.10. 'da, Yarmada çekme dayanımı sonuçları Tablo 5.11. – Tablo 5.15. 'de, eğilme dayanımı sonuçları ise Tablo 5.16. – Tablo 5.20. 'de verilmiştir.



Resim 4.8. Basınç Dayanımı Tayini Deneyi



Resim 4.9. Eğilme Dayanımı Tayini Deneyi

4.2.4. Deney Düzeni

Hazırlanan küp numuneler laboratuardaki basınç presi ile basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur. Küp numune, presin yükleme tablasına yerleştirilmiş ve kırılıncaya kadar yüklemeye devam edilmiştir. Numunenin kırıldığı andaki maksimum yük belirlenmiştir.

Silindir numuneler basınç presi ile silindir yarma deneyine tabi tutulmuştur. Silindir üzerinde yük uygulama yerlerini belirlemek üzere, numune boyunca iki çizgi çizilmiştir. Bu çizgiler, eksenel düzlemde, çapın her iki tarafına karşılıklı olarak, silindirin yan yüzlerine çizilmiş ve uçları, yükleme yerlerinin belirlenebilmesi için, alt ve üst tabanda birleştirilmiştir. Deney numunesi makinaya tam merkezlenmek suretiyle yerleştirilmiştir. Şekil 4.5.'de görülen düzenekte olduğu gibi sert sıkıştırma mukavva şeritleri numunenin yükleme düzleminde üst ve alt kısmı boyunca dikkatle yerleştirilmiştir. Deney yükü sabit hızda arttırılarak, darbe etkisi oluşturulmadan, 360 kgf/sn olacak şekilde deney silindiri kırılıncaya kadar arttırılmış ve kırılma anında en büyük yük değeri okunarak kırılma yükü belirlenmiştir.

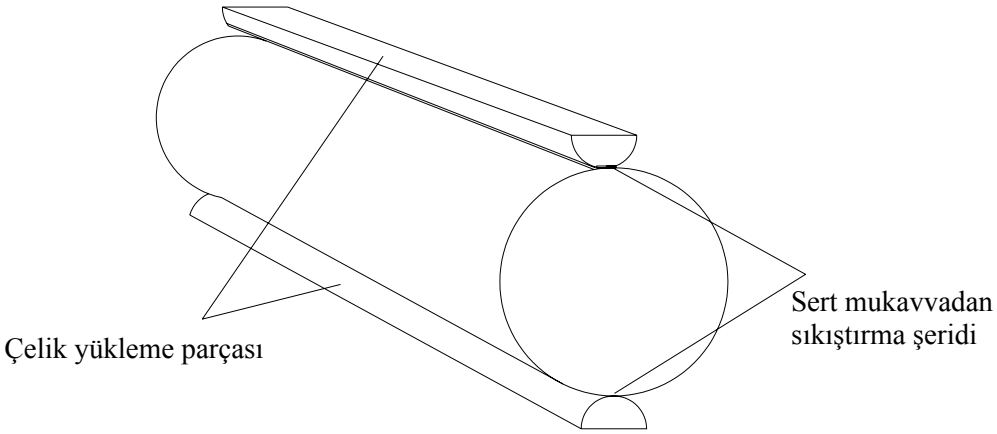
Kiriş numuneler üzerinde, orta noktasından yüklenmiş basit kiriş metodu ile eğilme dayanımı tayini deneyi yapılmıştır. Yükleme tablasındaki mesnet silindirleri, deney uygulanacak numunenin boyuna uygun gelecek şekilde sabitlenmiştir. Beton deney numunesi yükleme tablası üzerindeki mesnetlere Şekil 4.6'da verilen ölçülere uygun olarak yerleştirilmiştir. Numunenin kalıp içinde iken üstte gelen yüzü yüklemenin yönüne dik olarak konmuştur. Kiriş numuneler standarda göre hesaplanarak belirlenen, 7.5 kgf/sn yükleme hızıyla deneye tabi tutulmuştur. Bu işleme numune kırılıncaya kadar devam edilmiş ve kırılma anındaki maksimum yük tespit edilmiştir. Orta noktasından yüklenmiş basit kiriş metodu ile yapılan eğilme dayanımı ve yarmada çekme dayanımı hesaplamaları aşağıda verilmiştir.

$$\sigma_{yç} = 2x(P)/(\pi xhxd) \tag{4.12}$$

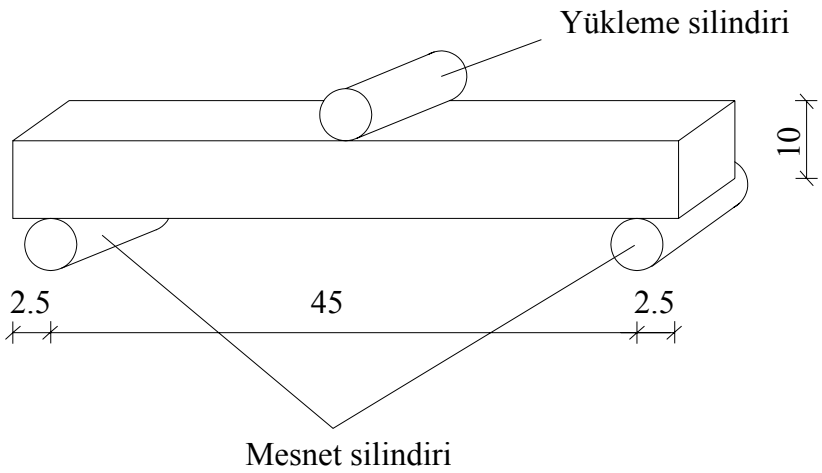
$$\sigma_{eç} = 3/2x(PxL)/(bxh^2) \tag{4.13}$$

Burada;

$\sigma_{eç}$=eğilme dayanımı (kg / cm^2)
$\sigma_{yç}$= yarmada çekme dayanımı (kg / cm^2)
P= Deney presinde kırılma anındaki en büyük yük (kg)
L= Destek silindir eksenleri arasındaki uzaklık (cm)
b= eğilme deneyinde Kırılma kesitinin ortalama genişliği (cm)
h= Kırılma kesitinin ortalama yüksekliği (cm)
d= yarmada çekme deneyinde Kırılma kesitinin ortalama genişliği (cm)



Şekil 4.5. KYB'de yarmada çekme dayanımı deney düzeni



Şekil 4.6. KYB'de eğilme dayanımı deney düzeni

5. KYB DENEY SONUÇLARI

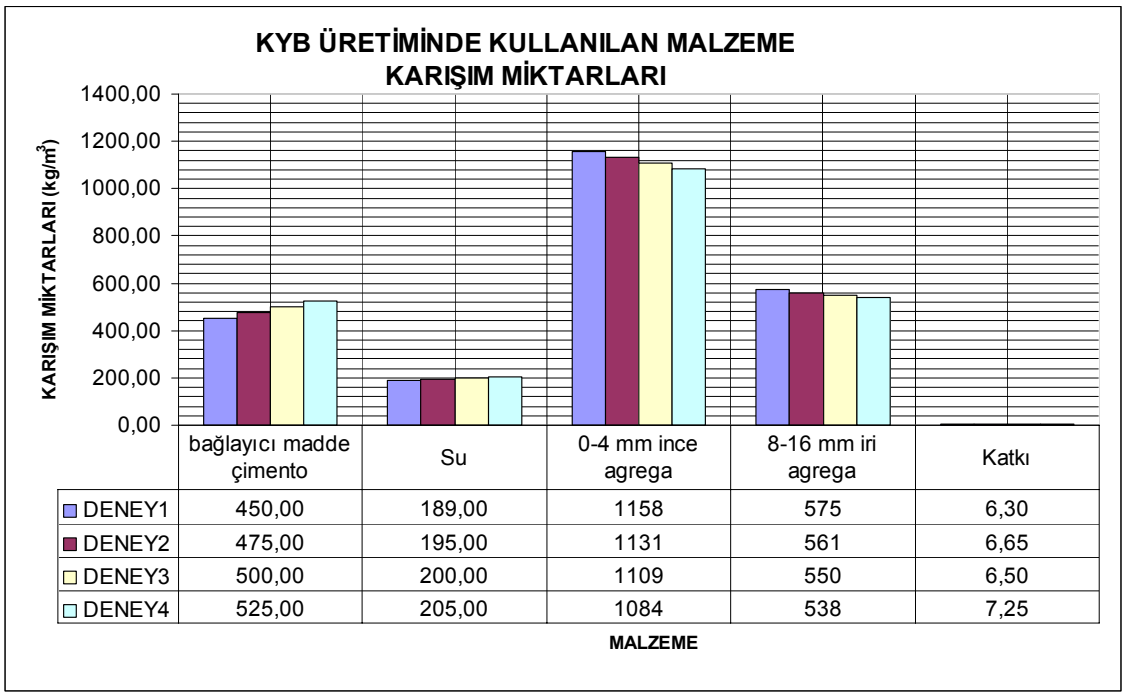
Yapılan deneylerde 4 farklı karışım (hiper akışkanlaştırıcı katkı kullanılarak üretilen, hiper akışkanlaştırıcı katkı+uçucu kül kullanılarak üretilen, hiper akışkanlaştırıcı katkı+polipropilen lif kullanılarak üretilen, hiper akışkanlaştırıcı katkı+uçucu kül+polipropilen lif kullanılarak üretilen) ve her bir karışım için 4 farklı bağlayıcı madde dozu kullanılmış toplamda 16 farklı deney yapılmış ve her deney için 12 adet beton numunesi (6 adet 15x15x15 cm küp, 3 adet 15x30 cm silindir, 3 adet 10x10x50 cm kiriş) üretilmiştir. Toplam olarak 192 adet (96 adet 15x15x15 cm küp, 48 adet 15x30 cm silindir, 48 adet 10x10x50 cm kiriş) beton numunesi üretilmiştir.

Üretilen numuneler KYB'nin kendisinden beklenen performansı yerine getirebilmesi için gerekli 3 kriteri (doldurma kabiliyeti, ayrışmaya karşı direnç, geçiş yeteneği) sağlayıp sağlamadığının anlaşılabilmesi için Çökme Yayılma deneyi, V Hunisi Akış deneyi ve L Kutusu deneylerine tabi tutulmuşlardır. Bu deneylerin sonuçları Tablo 5.1.–Tablo 5.4. 'de verilmiştir. Ayrıca sonuçların grafiksel gösterimleri de Grafik 5.1.–Grafik 5.24. 'de verilmiştir.

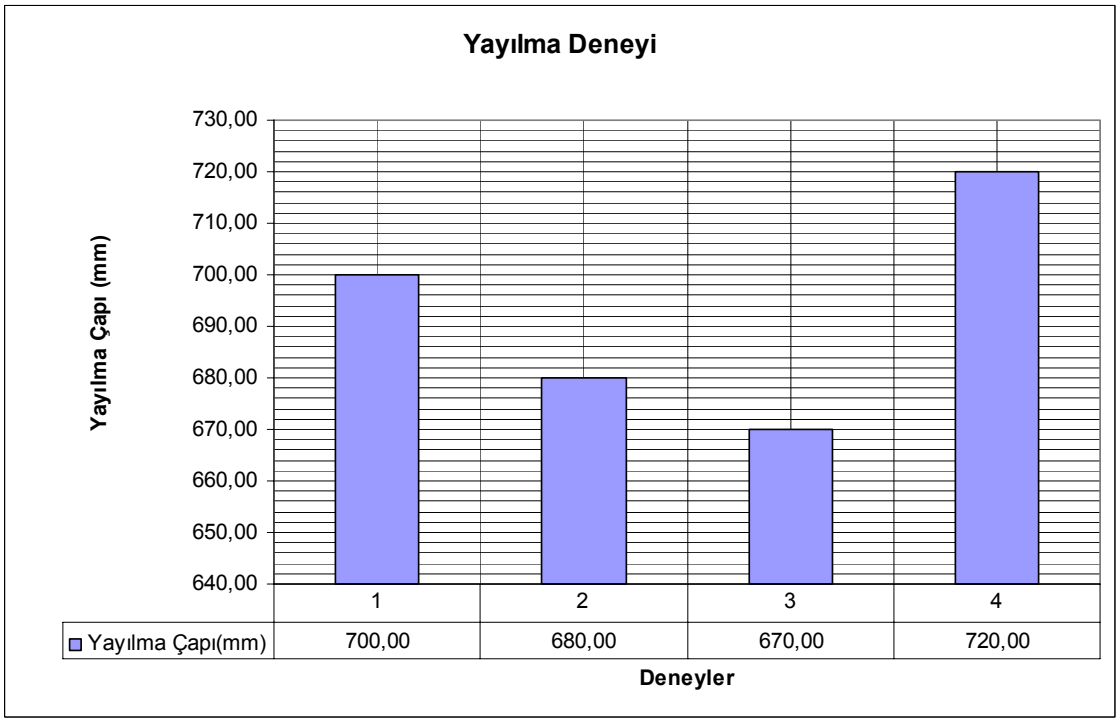
Üretilen bu numunelerden 96 adet (15x15x15 cm) küp numunesi basınç dayanım deneyine, 48 adet (15x30 cm) silindir numunesi yarmada çekme dayanımı deneyine, 48 adet (10x10x50 cm) kiriş numunesi eğilme dayanımı deneyine tabi tutulmuştur. Yapılan deneylerden basınç dayanımı deneyinin sonuçları Tablo 5.5.–Tablo 5.8.–Tablo 5.17'de, grafiksel olarak Grafik 5.25.–Grafik 5.28. ve Grafik 5.37. – Grafik 5.38. 'de, Yarmada çekme dayanımın sonuçları Tablo 5.9.-Tablo 5.12. – Tablo 5.17. 'de, grafiksel olarak Grafik 5.29.–Grafik 5.32.–Grafik 5.39. 'da, Eğilme dayanımı deney sonuçları ise Tablo 5.13.-Tablo 5.17. 'de, grafiksel olarak Grafik 5.33.-Grafik 5.36.–Grafik 5.40. 'da verilmiştir.

Tablo 5.1. HK kullanılarak üretilen KYB'deki malzeme karışım miktarları (kg/m^3), Çökme Yayılma deneyi, V Hunusi Akış deneyi ve L Kutusu deneylerinin sonuçları

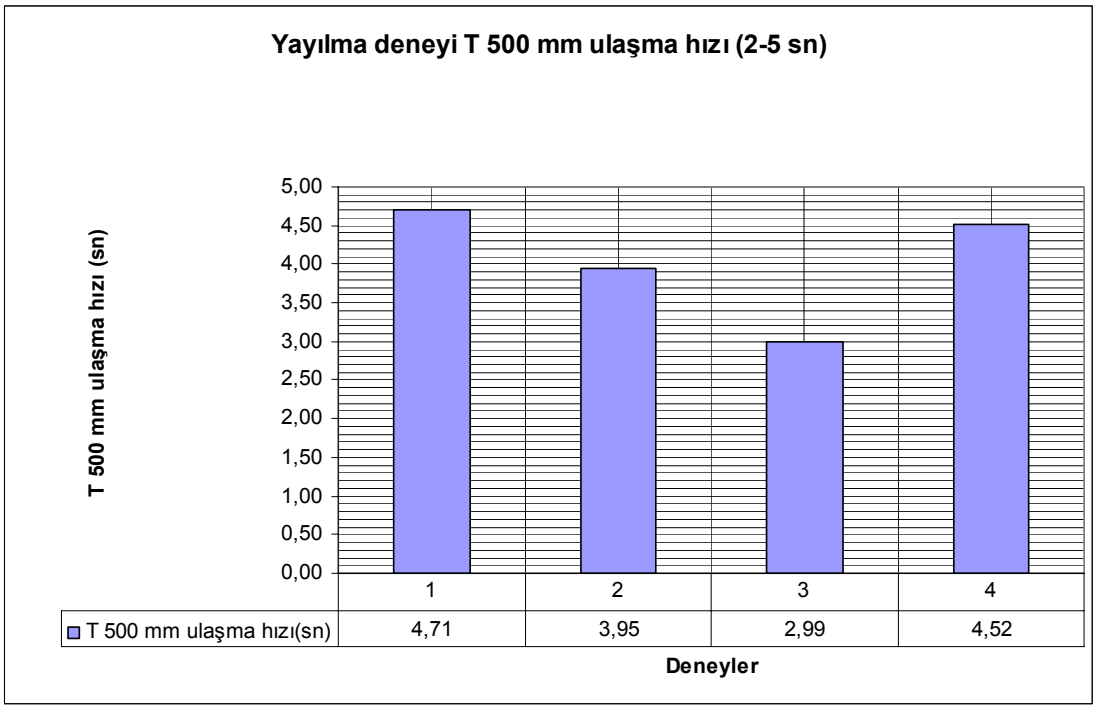
	1.Grup Karışım			
	1	2	3	4
Çimento (CEM I 42,5) (kg/m^3)	450	475	500	525
Su (kg)	189	195	200	205
Su/Çimento (%)	42	41	40	39
Hiper akışkanlaştırıcı (G 51) (kg/m^3)	6,3	6,65	6,5	7,35
Hiper akışkanlaştırıcı/toplam bağlayıcı (%)	1.4	1.4	1.3	1,4
0-4 mm ince agrega (kg/m^3)	1158	1131	1109	1084
8-16 mm iri agrega (kg/m^3)	575	561	550	538
Hava miktarı (%)	1,2	1,2	1,2	1,2
Birim ağırlık (kg)	2378,3	2368,6	2365,5	2359,3
Yayılma deneyi T 500 mm ulaşma hızı (2–5 sn)	4.71	3,95	2,99	4,52
Son yayılma çapı (650–800 mm)	700	680	670	720
L- kutusu deneyi 20 cm'ye ulaşma süresi (0.6 sn)	0.58	0.60	0.50	0.60
L- kutusu deneyi 40 cm'ye ulaşma süresi (1.2 sn)	1.2	1.2	1.1	1.2
h1/h2 oranı (>0,80)	0.92	0.94	0.96	0.94
V- Hunisi deneyi Boşalma süresi (6–12 sn)	11,55	11,35	6,34	10,80



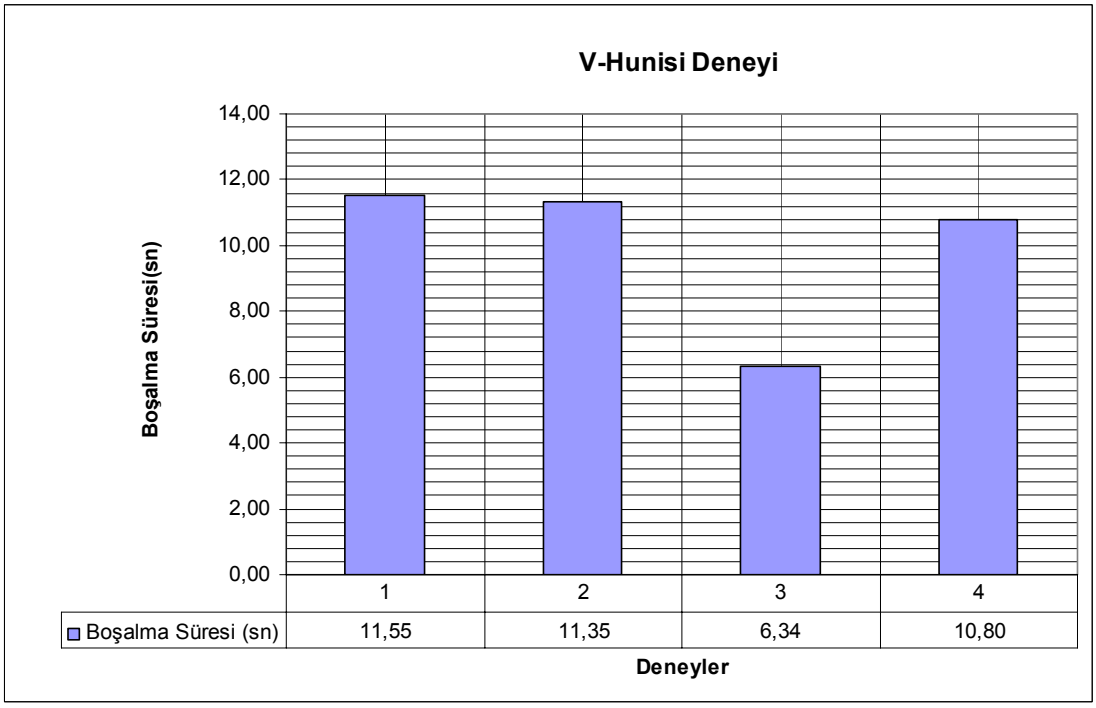
Grafik 5.1. HK kullanılarak üretilen KYB'deki malzeme karışım miktarları (kg/m^3)



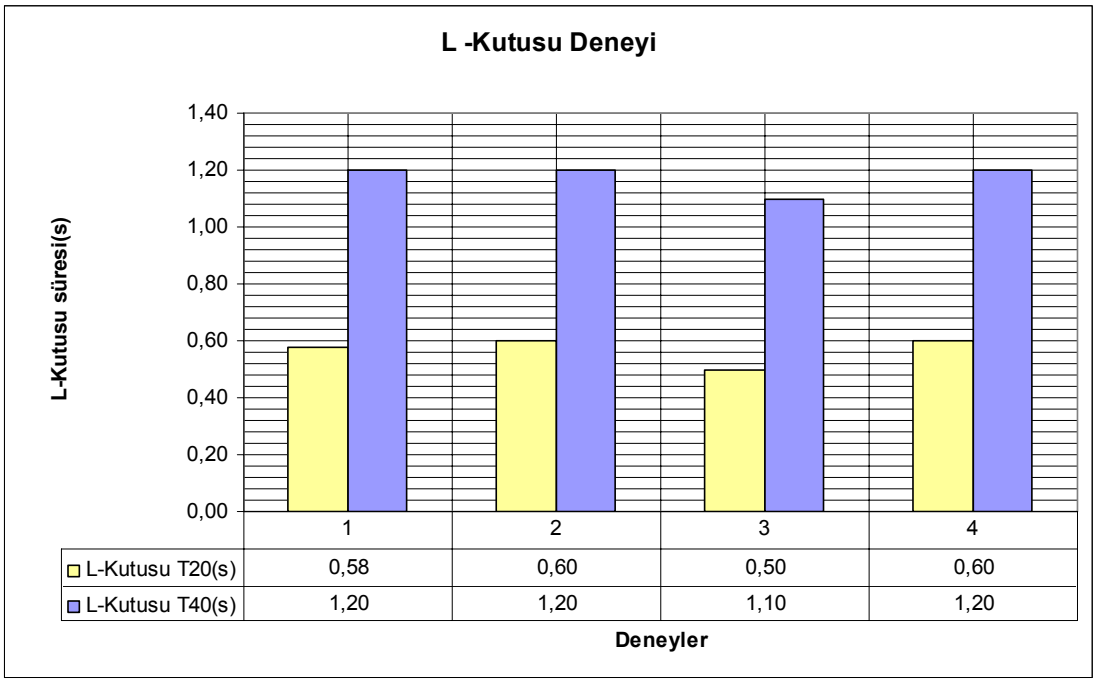
Grafik 5.2. HK kullanılarak üretilen KYB'nin Çökme Yayılma deney sonuçları (mm)



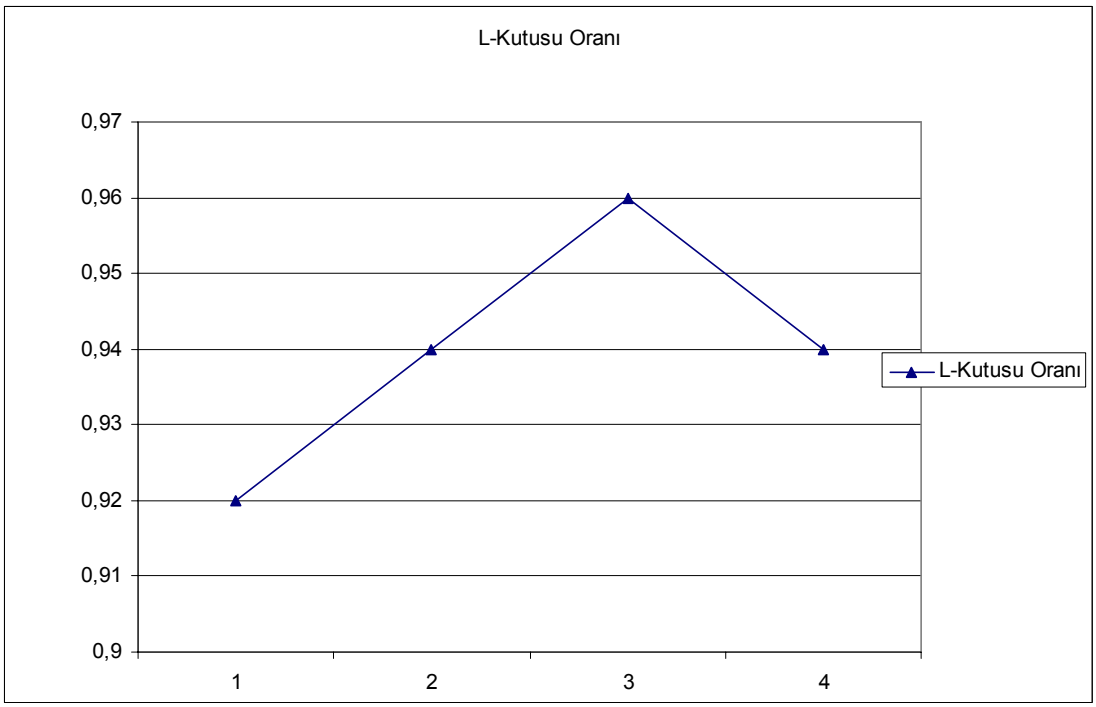
Grafik 5.3. HK kullanılarak üretilen KYB'nin Çökme Yayılma deneyinde T 500 mm'ye ulaşma hızı (2-5 sn)



Grafik 5.4. HK kullanılarak üretilen KYB'nin V Hunusi Akış deneyi sonuçları (sn)



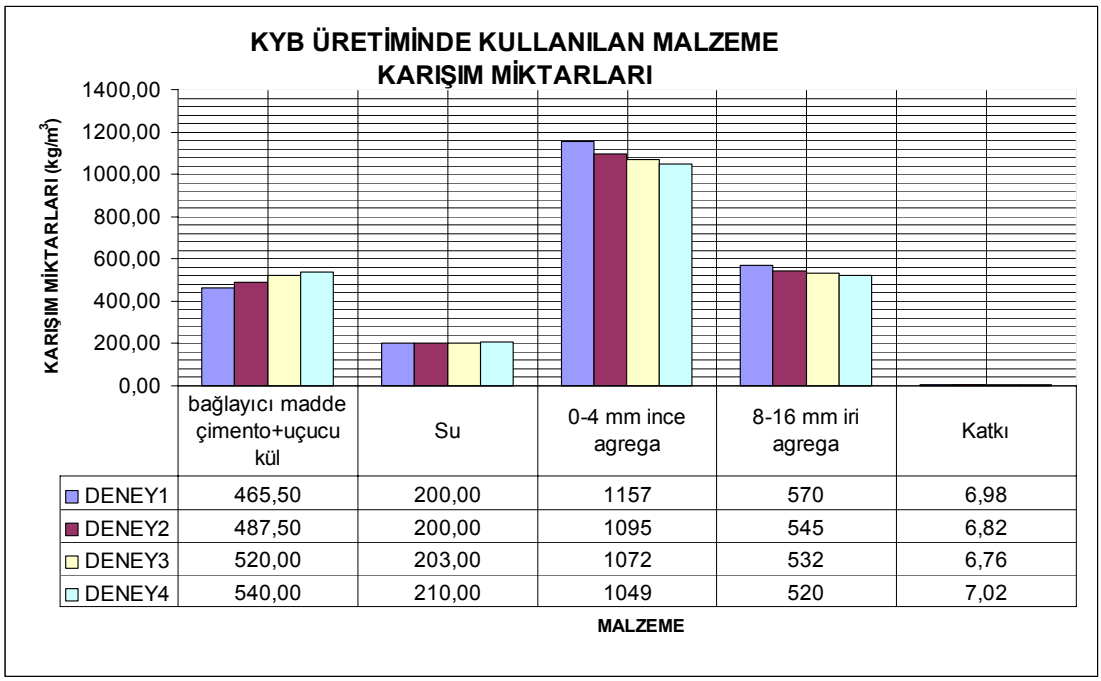
Grafik 5.5. HK kullanılarak üretilen KYB'nin L kutusu deneyi sonuçları (sn)



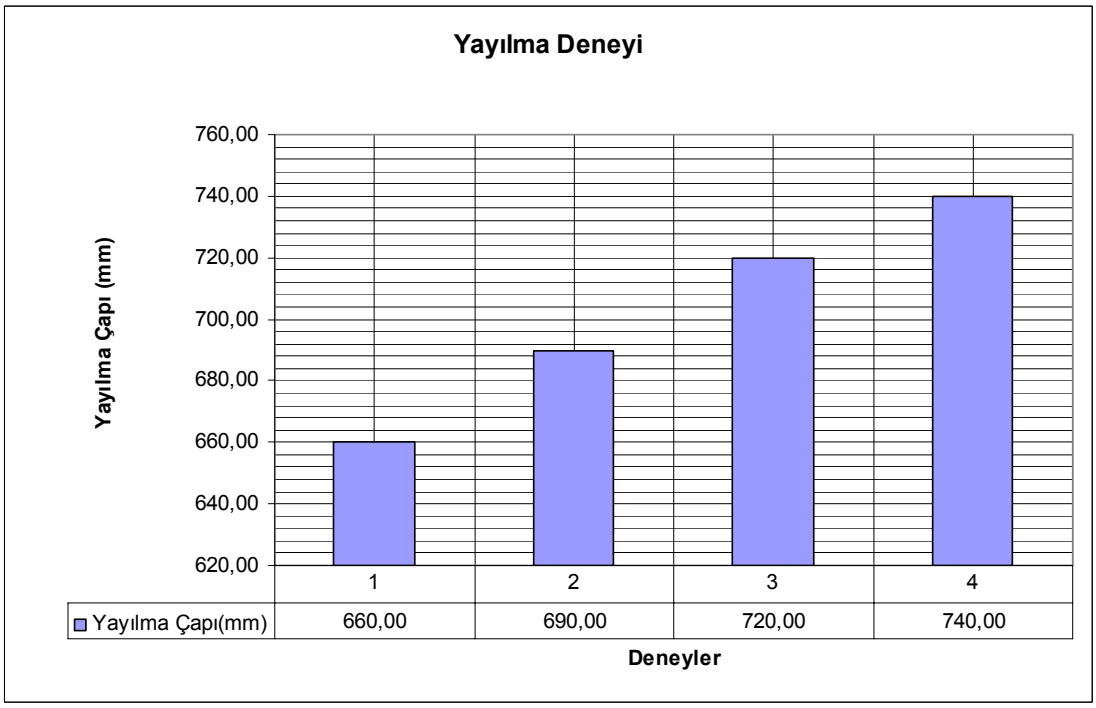
Grafik 5.6. HK kullanılarak üretilen KYB'nin L kutusu deneyi L Kutusu Oranı (H1/H2>0,80)

Tablo 5.2. HK+UK kullanılarak üretilen KYB'deki malzeme karışım miktarları (kg/m^3), Çökme Yayılma deneyi, V Hunusi Akış deneyi ve L Kutusu deneylerinin sonuçları

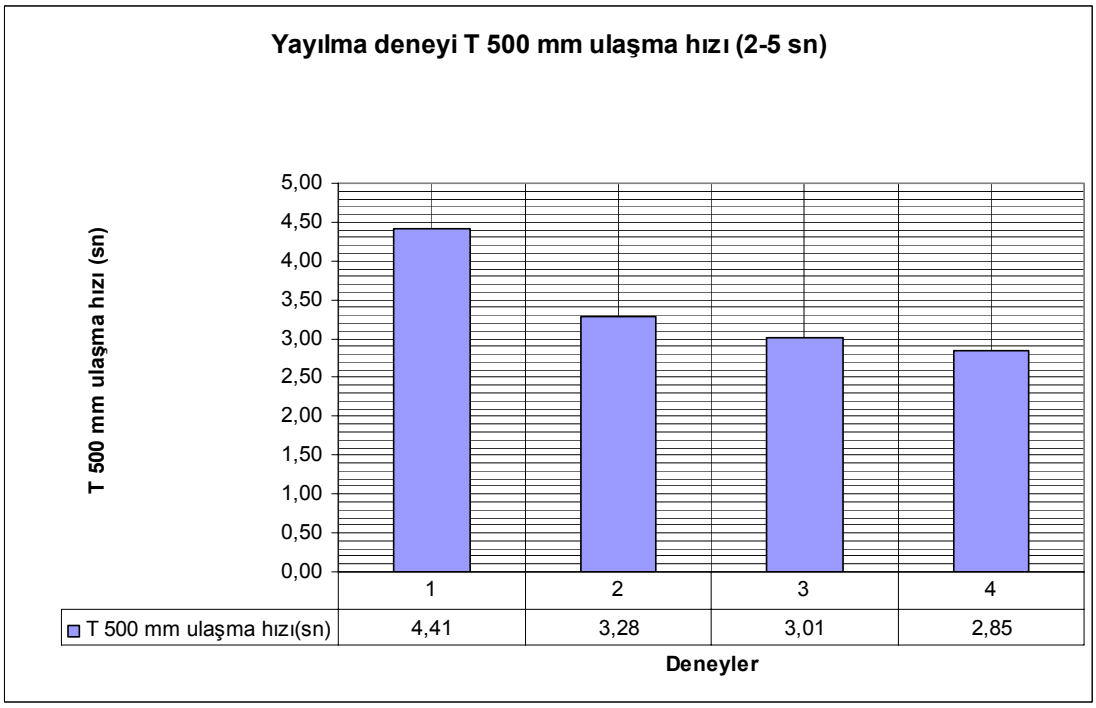
	2.Grup Karışım			
	1	2	3	4
Çimento (CEM I 42,5) (kg/m^3)	350	375	400	425
Uçucu Kül (kg/m^3)	115,5	112,5	120	115
Uçucu Kül/Çimento (%)	33	30	30	27
Uçucu Kül/toplam bağlayıcı (%)	24,8	23	23,1	21,3
Su (kg)	200	200	203	210
Su/Çimento (%)	43	41	39	39
Hiper akışkanlaştırıcı (G 51) (kg/m^3)	6,98	6,82	6,76	7,02
Hiper akışkanlaştırıcı/toplam bağlayıcı (%)	1.5	1.4	1.3	1,3
0-4 mm ince agrega (kg/m^3)	1157	1095	1072	1049
8-16 mm iri agrega (kg/m^3)	570	545	532	520
Hava miktarı (%)	1,2	1,2	1,2	1,2
Birim ağırlık (kg)	2399,48	2334,32	2333,76	2326,02
Yayılma deneyi T 500 mm ulaşma hızı (2–5 sn)	4,41	3,28	3,01	2,85
Son yayılma çapı (650–800 mm)	660	690	720	740
L- kutusu deneyi 20 cm'ye ulaşma süresi (0.6 sn)	0.60	0.60	0.50	0.50
L- kutusu deneyi 40 cm'ye ulaşma süresi (1.2 sn)	1.2	1.2	1.1	1.1
h1/h2 oranı (>0,80)	0.94	0.96	0.95	0.96
V- Hunisi deneyi Boşalma süresi (6–12 sn)	10,90	11,05	8,84	9,03



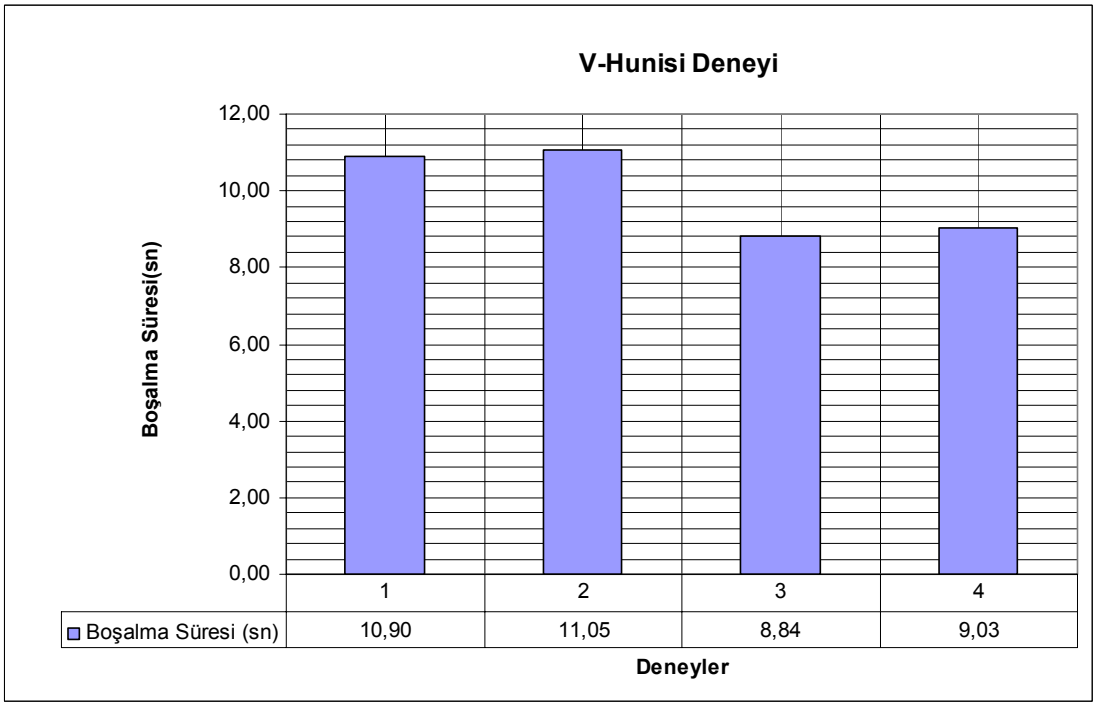
Grafik 5.7. HK+UK kullanılarak üretilen KYB'deki malzeme karışım miktarları (kg/m^3)



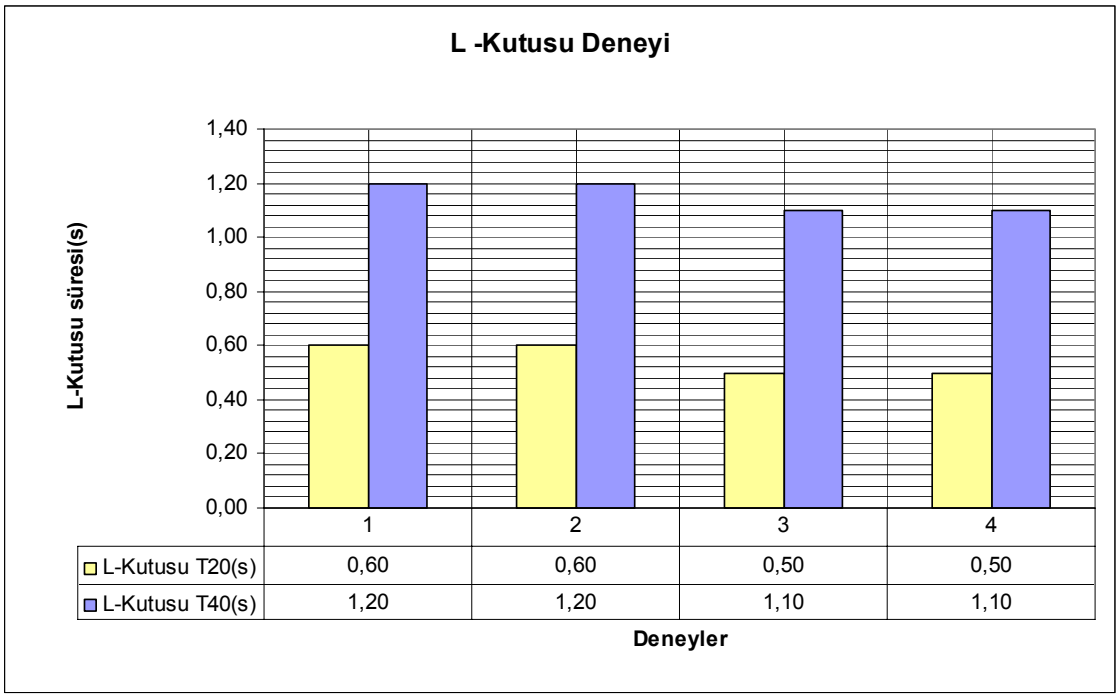
Grafik 5.8. HK+UK kullanılarak üretilen KYB'nin Çökme Yayılma deney sonuçları (mm)



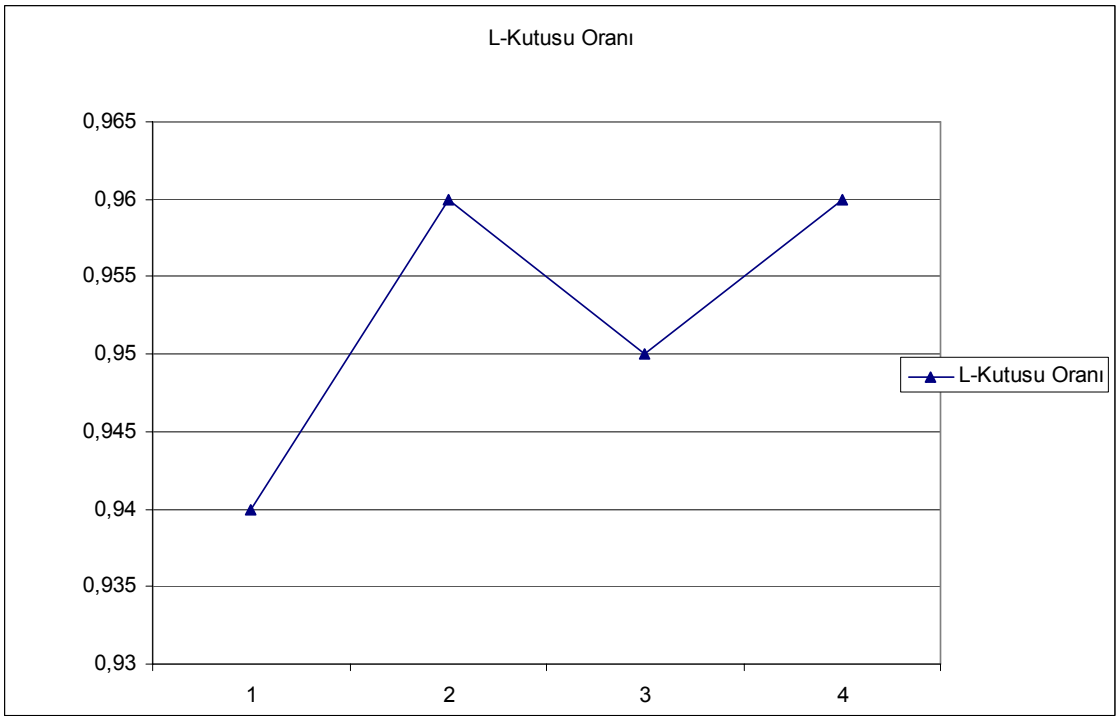
Grafik 5.9. HK+UK kullanılarak üretilen KYB'nin Çökme Yayılma deneyinde T 500 mm'ye ulaşma hızı (2-5 sn)



Grafik 5.10. HK+UK kullanılarak üretilen KYB'nin V Hunusi Akış deney sonuçları (sn)



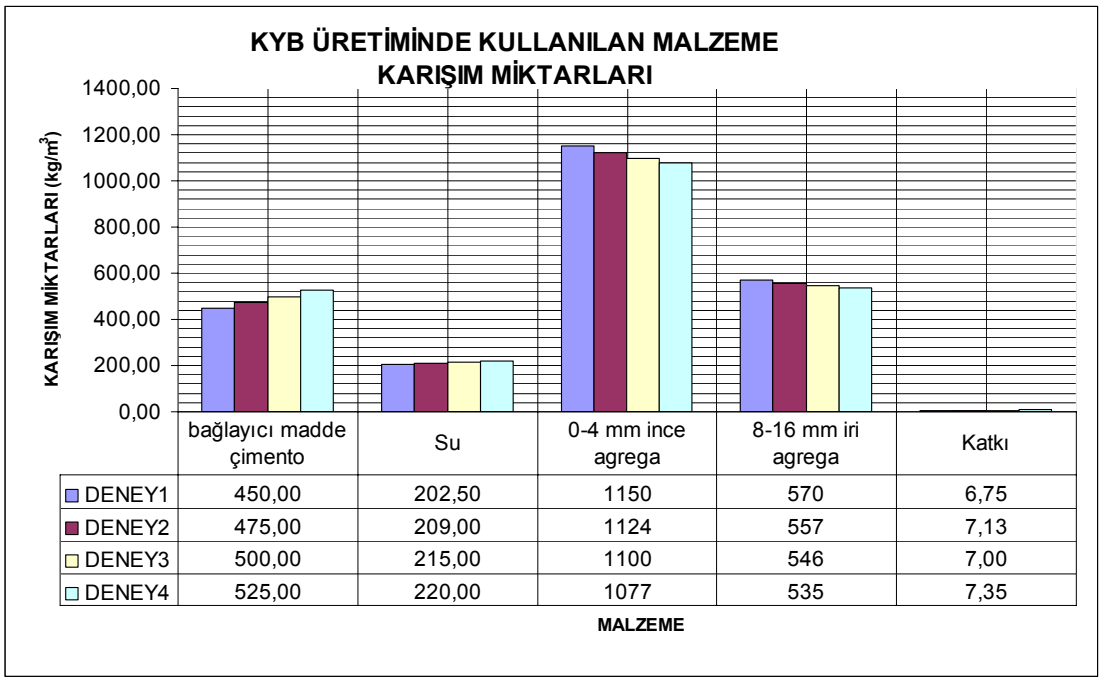
Grafik 5.11. HK+UK kullanılarak üretilen KYB'nin L Kutusu deney sonuçları (sn)



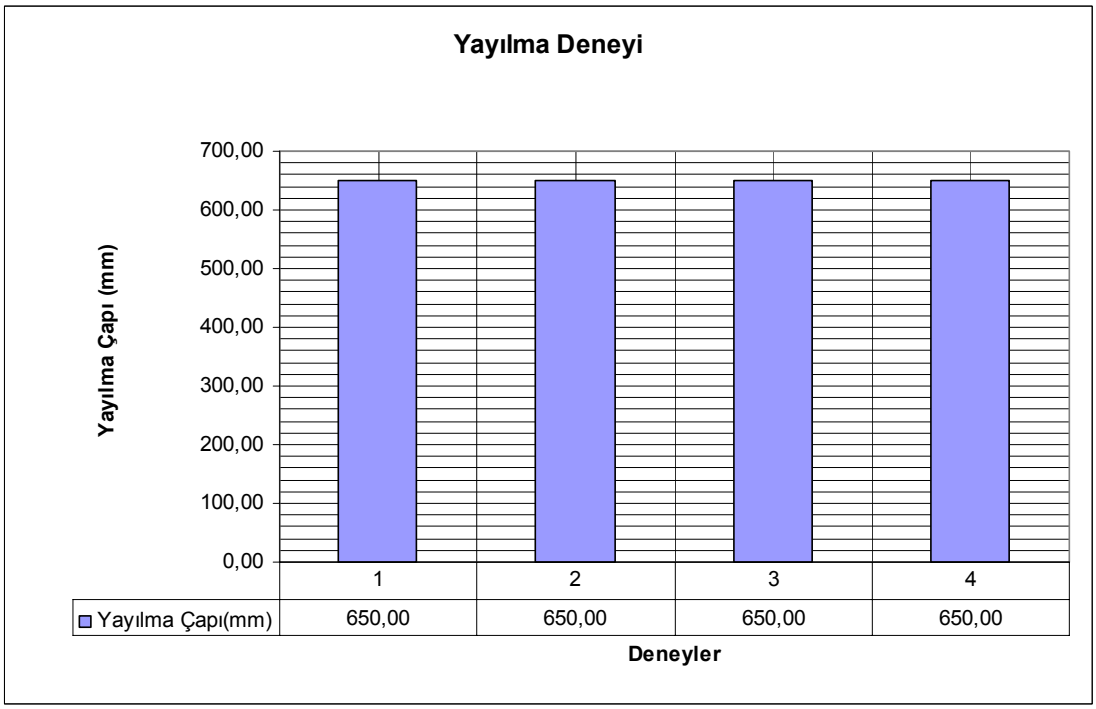
Grafik 5.12. HK+UK kullanılarak üretilen KYB'nin L kutusu deneyi L Kutusu Oranı (H1/H2>0,80)

Tablo 5.3. HK+PPL kullanılarak üretilen KYB'deki malzeme karışım miktarları (kg/m^3), Çökme Yayılma deneyi, V Hunusi Akış deneyi ve L Kutusu deneylerinin sonuçları

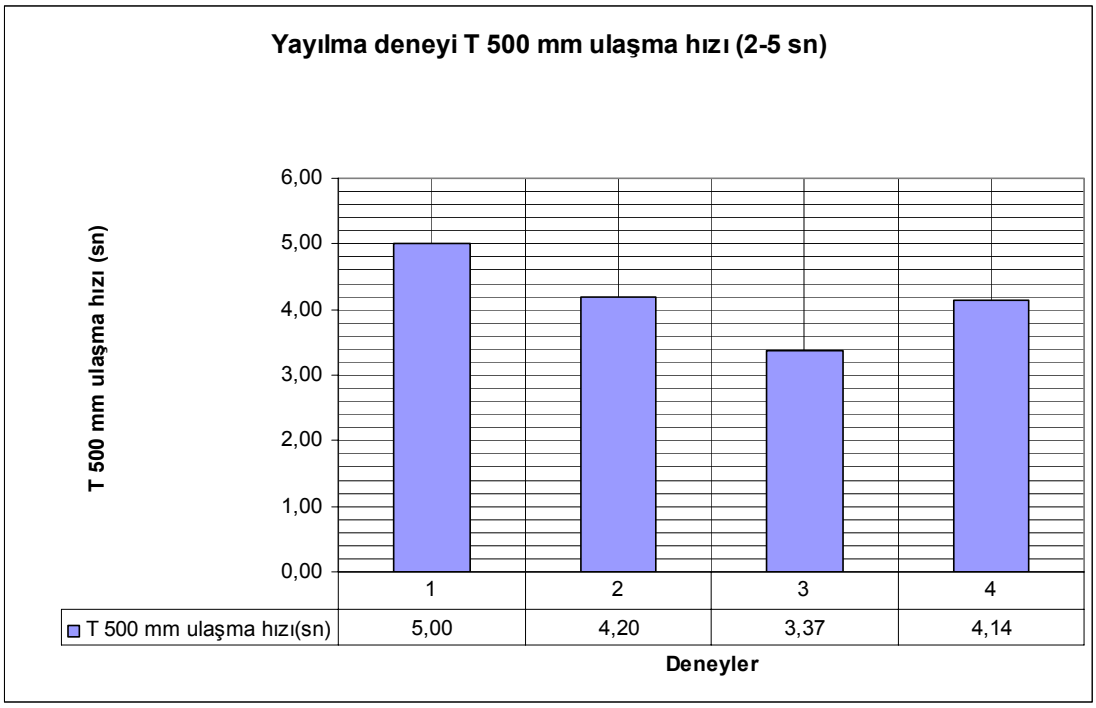
	3.Grup Karışım			
	1	2	3	4
Çimento (CEM I 42,5) (kg/m^3)	450	475	500	525
Su (kg)	202,5	209	215	220
Su/Çimento (%)	45	44	43	42
Hiper akışkanlaştırıcı (G 51) (kg/m^3)	6,75	7,125	7	7,35
Hiper akışkanlaştırıcı/toplam bağlayıcı (%)	1.5	1.5	1.4	1,4
Polipropilen Lif (g/m^3)	600	720	720	840
0-4 mm ince agrega (kg/m^3)	1150	1124	1100	1077
8-16 mm iri agrega (kg/m^3)	570	557	546	535
Hava miktarı (%)	1,2	1,2	1,2	1,2
Birim ağırlık (kg)	2379,25	2372,12	2361	2344,35
Yayılma deneyi T 500 mm ulaşma hızı (2–5 sn)	5	4,2	3,37	4,14
Son yayılma çapı (650–800 mm)	650	650	650	650
L- kutusu deneyi 20 cm'ye ulaşma süresi (0.6 sn)	0,60	0,60	0,50	0,50
L- kutusu deneyi 40 cm'ye ulaşma süresi (1.2 sn)	1,2	1,2	1,12	1,2
h1/h2 oranı (>0,80)	0.88	0.90	0.92	0.94
V- Hunisi deneyi Boşalma süresi (6–12 sn)	11,90	11,72	6,67	6,96



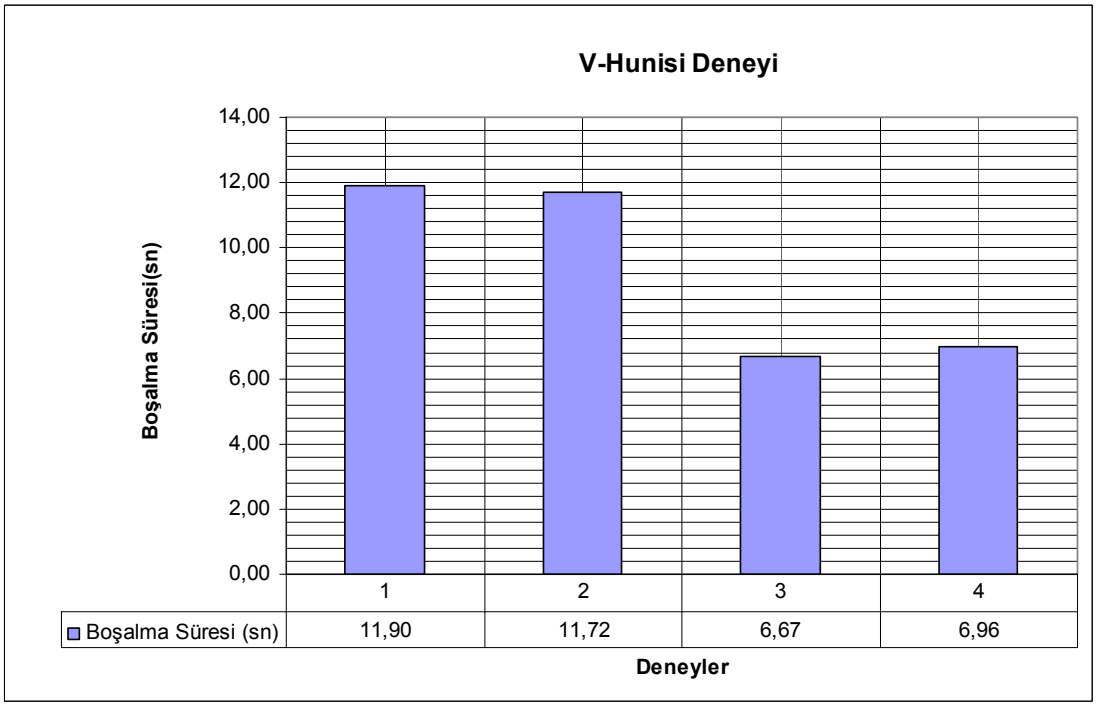
Grafik 5.13. HK+PPL kullanılarak üretilen KYB'deki malzeme karışım miktarları (kg/m^3)



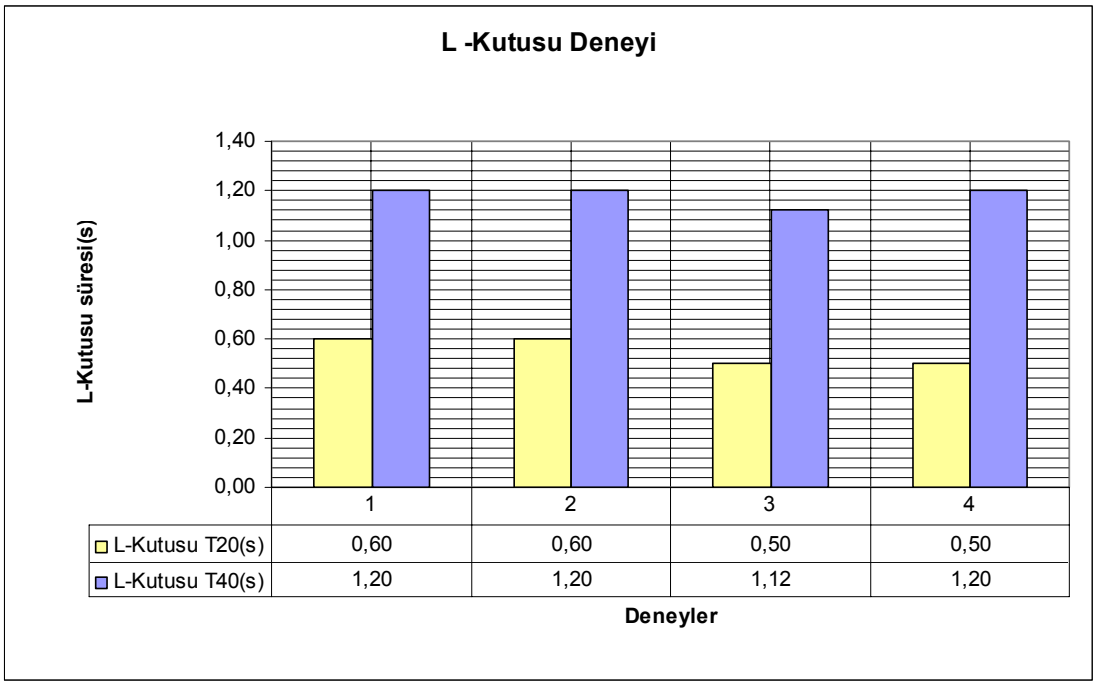
Grafik 5.14. HK+PPL kullanılarak üretilen KYB'nin Çökme Yayılma deney sonuçları (mm)



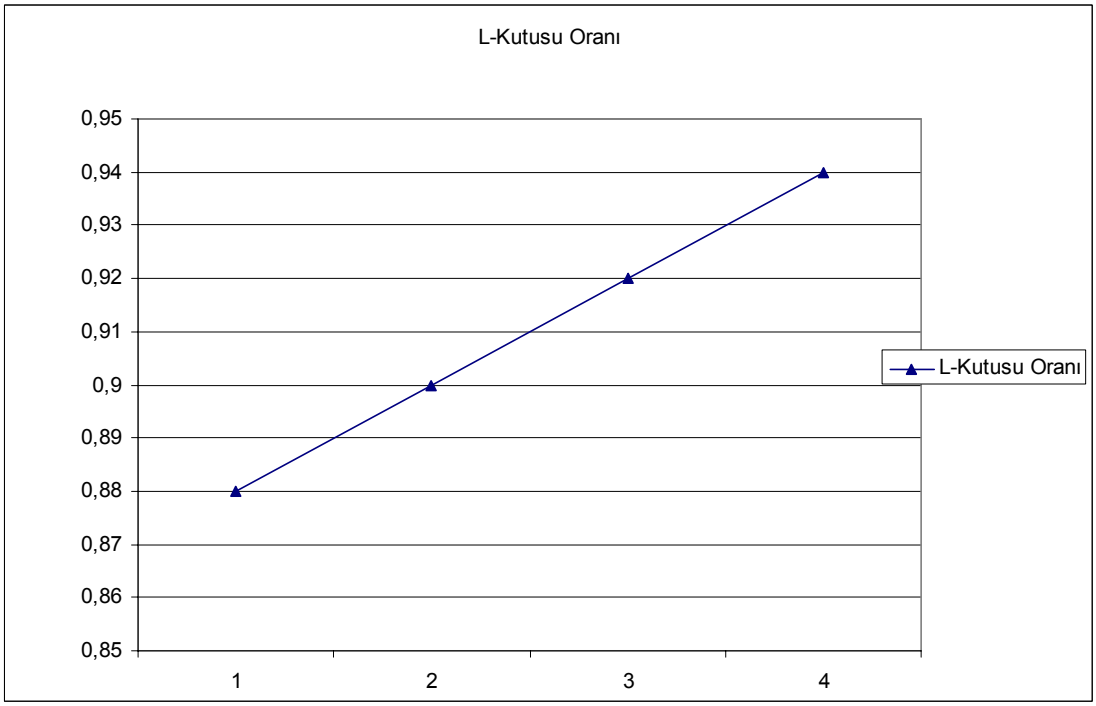
Grafik 5.15. HK+PPL kullanılarak üretilen KYB'nin Çökme Yayılma deneyinde T 500 mm'ye ulaşma hızı (2-5 sn)



Grafik 5.16. HK+PPL kullanılarak üretilen KYB'nin V Hunusi Akış deney sonuçları (sn)



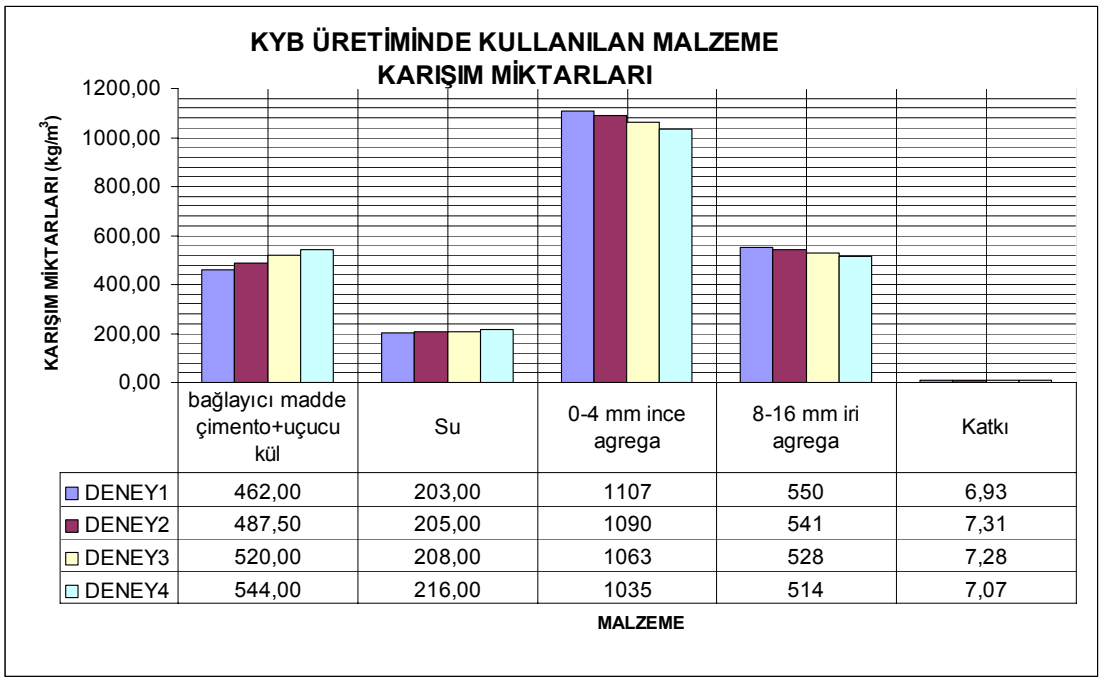
Grafik 5.17. HK+PPL kullanılarak üretilen KYB'nin L Kutusu deney sonuçları (sn)



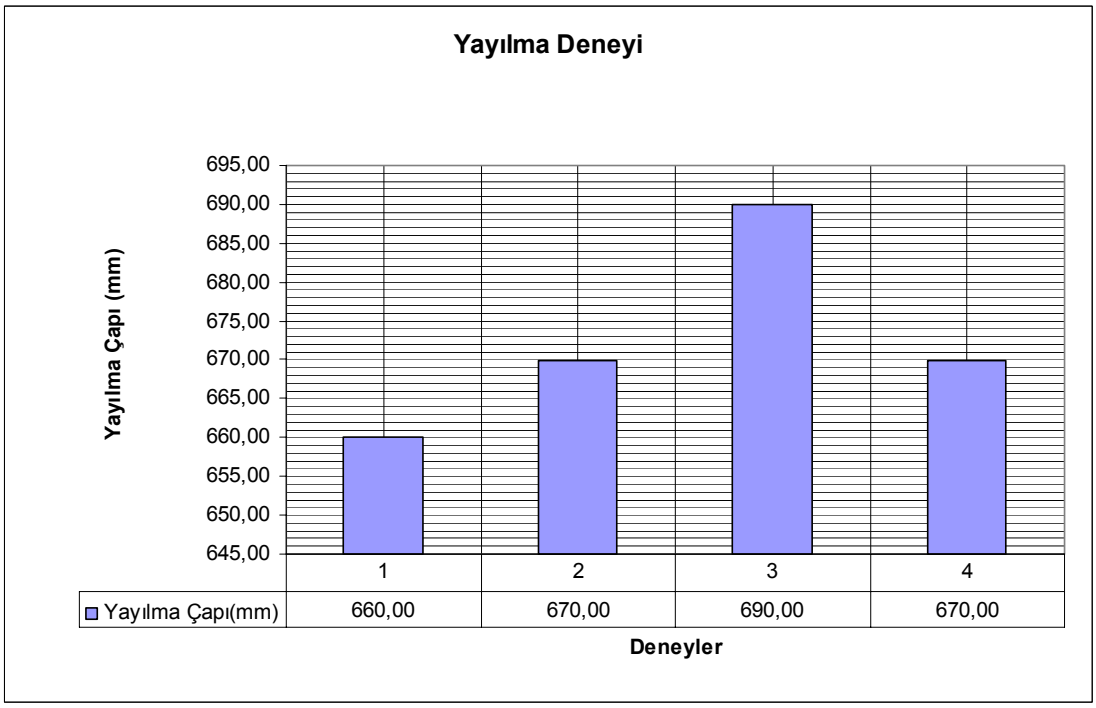
Grafik 5.18. HK+ PPL kullanılarak üretilen KYB'nin L kutusu deneyi L Kutusu Oranı (H1/H2>0,80)

Tablo 5.4. HK+UK+PPL kullanılarak üretilen KYB'deki malzeme karışım miktarları (kg/m^3), Çökme Yayılma deneyi, V Hunusi Akış deneyi ve L Kutusu deneylerinin sonuçları

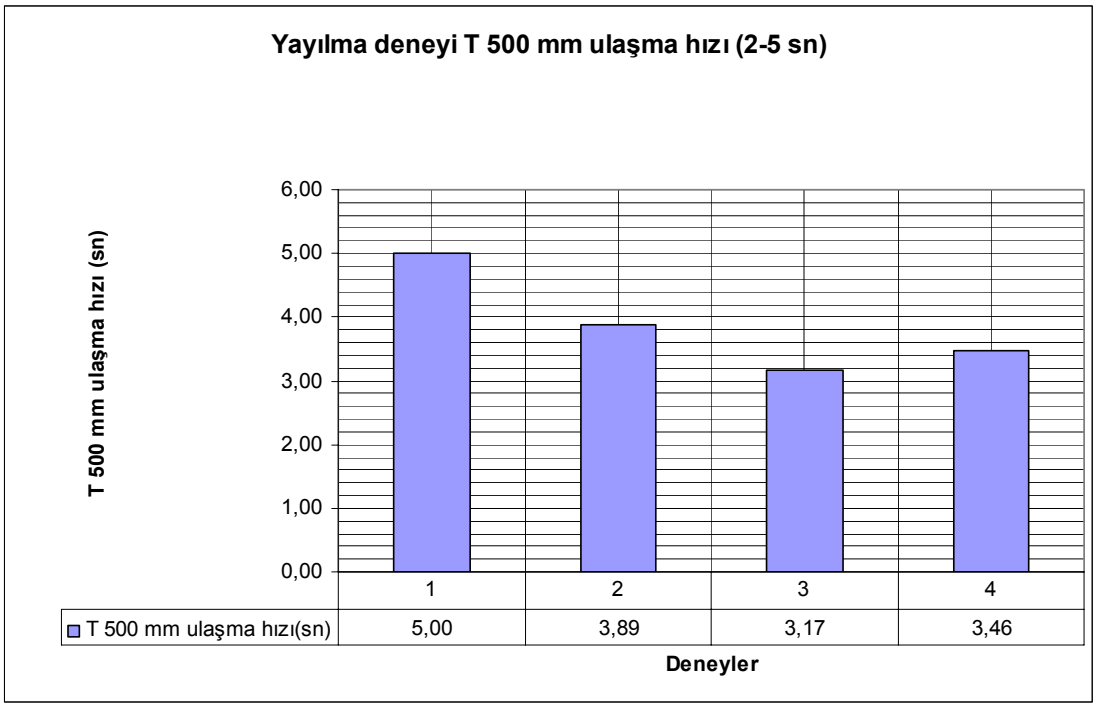
	4.Grup Karışım			
	1	2	3	4
Çimento (CEM I 42,5) (kg/m^3)	350	375	400	425
Uçucu Kül (kg/m^3)	112	112,5	120	119
Uçucu Kül/Çimento (%)	32	30	30	28
Uçucu Kül/toplam bağlayıcı (%)	24,2	23,1	23,1	21,9
Polipropilen Lif (g/m^3)	600	720	720	840
Su (kg)	203	205	208	216
Su/Çimento (%)	44	42	40	40
Hiper akışkanlaştırıcı (G 51) (kg/m^3)	6,93	7,312	7,28	7,07
Hiper akışkanlaştırıcı/toplam bağlayıcı (%)	1.5	1.5	1.4	1,3
Polipropilen Lif (g/m^3)	600	720	720	840
0-4 mm ince agrega (kg/m^3)	1107	1090	1063	1035
8-16 mm iri agrega (kg/m^3)	550	541	528	514
Hava miktarı (%)	1,2	1,2	1,2	1,2
Birim ağırlık (kg)	2328,93	2330,81	2326,28	2316,07
Yayılma deneyi T 500 mm ulaşma hızı (2–5 sn)	5	3,89	3,17	3,46
Son yayılma çapı (650–800 mm)	660	670	690	670
L- kutusu deneyi 20 cm'ye ulaşma süresi (0.6 sn)	0,50	0,50	0,50	0,60
L- kutusu deneyi 40 cm'ye ulaşma süresi (1.2 sn)	1,2	1,1	1,12	1,2
h1/h2 oranı (>0,80)	0.94	0.96	0.96	0.96
V- Hunisi deneyi Boşalma süresi (6–12 sn)	9,71	6,73	6,65	6,77



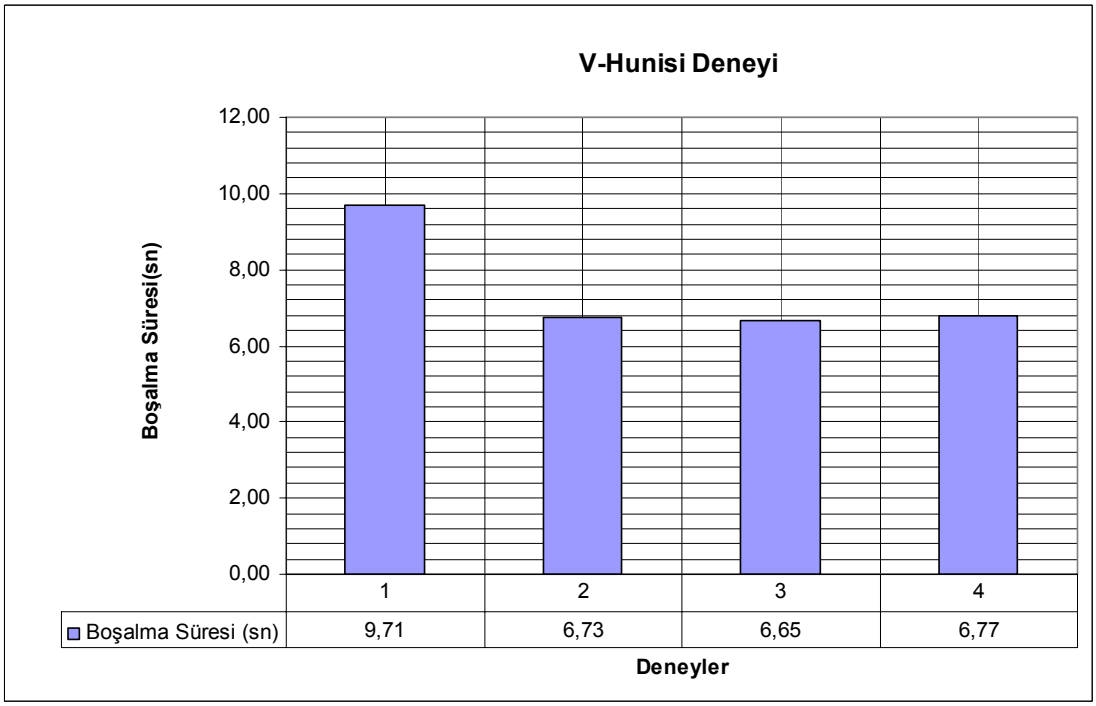
Grafik 5.19. HK+UK+PPL kullanılarak üretilen KYB'deki malzeme karışım miktarları (kg/m^3)



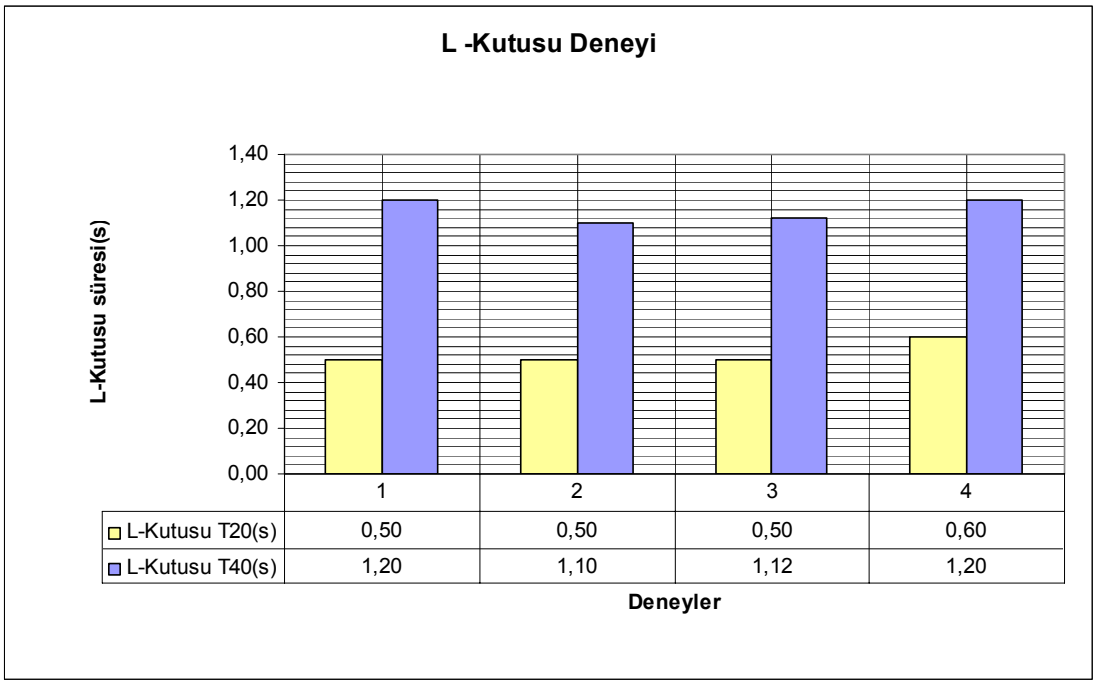
Grafik 5.20. HK+UK+PPL kullanılarak üretilen KYB'nin Çökme Yayılma deney sonuçları (mm)



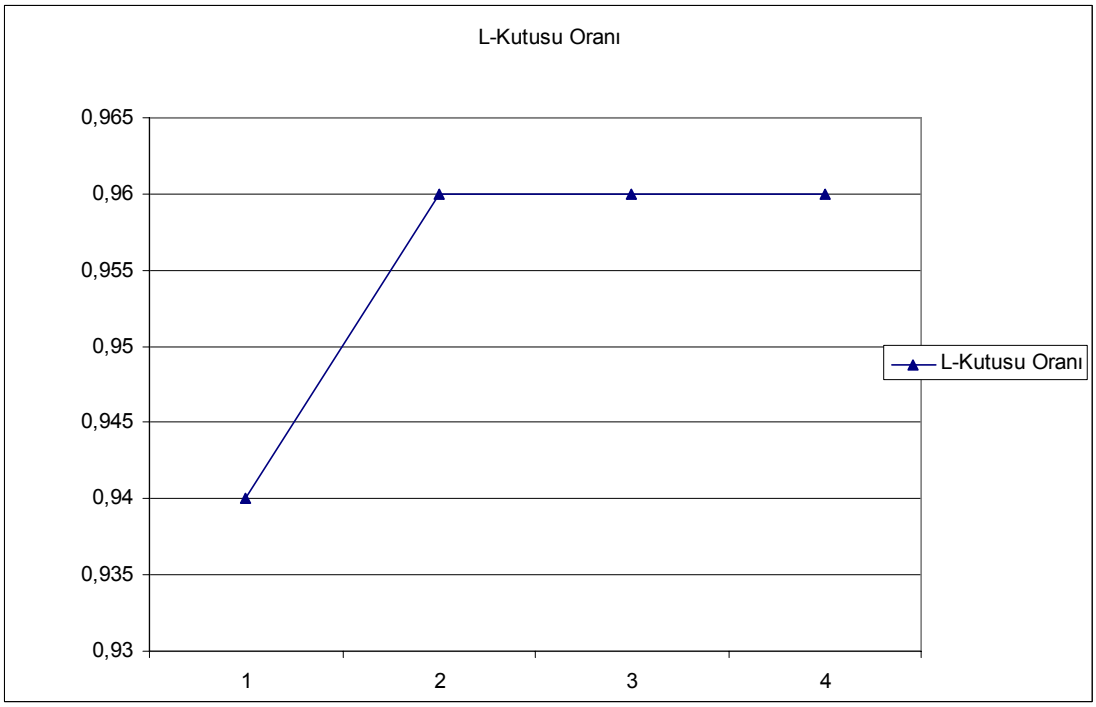
Grafik 5.21. HK+UK+PPL kullanılarak üretilen KYB'nin Çökme Yayılma deneyinde T 500 mm'ye ulaşma hızı (2-5 sn)



Grafik 5.22. HK+UK+PPL kullanılarak üretilen KYB'nin V Hunusi Akış deney sonuçları (sn)



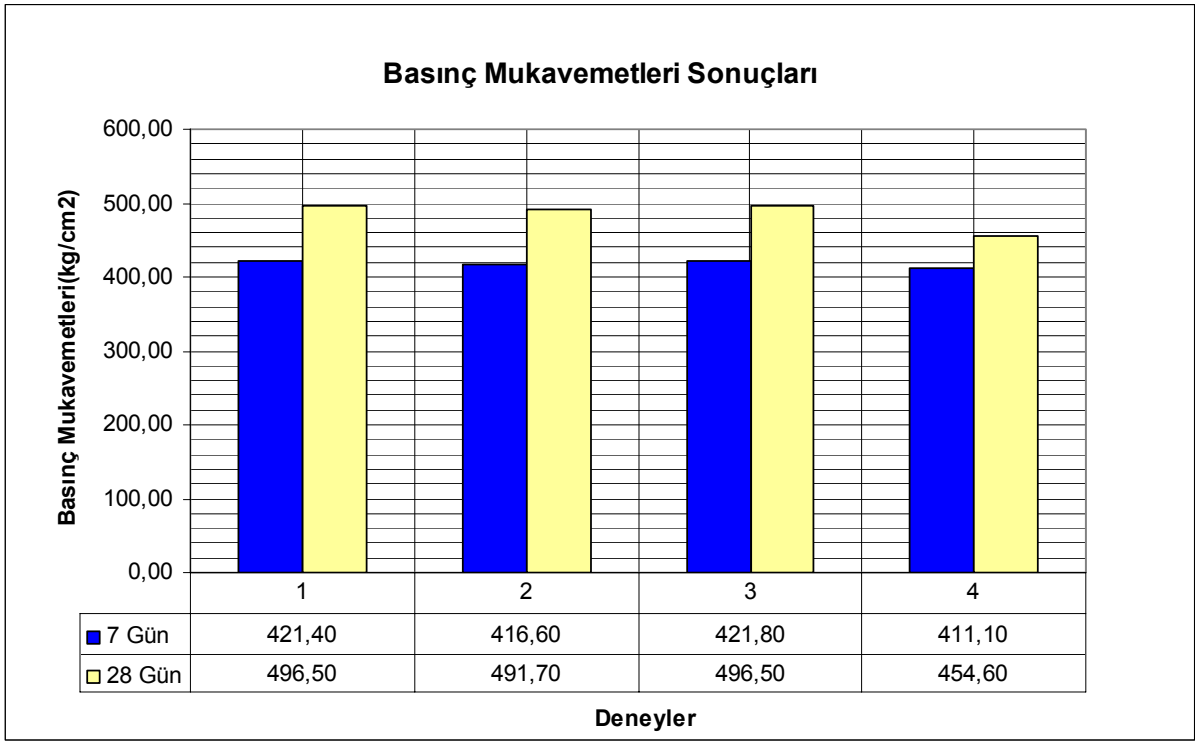
Grafik 5.23. HK+UK+ PPL kullanılarak üretilen KYB'nin L Kutusu deney sonuçları (sn)



Grafik 5.24. HK+UK+PPL kullanılarak üretilen KYB'nin L kutusu deneyi L Kutusu Oranı (H1/H2>0,80)

Tablo 5.5. HK kullanılarak üretilen KYB'lerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları (kg/cm^2)

KYB üretiminde kullanılan bağlayıcı madde(çimento) dozajları (kg/m^3)	1.Grup Karışım			
	7 Günlük Basınç Dayanımları (kg/cm^2)	28 Günlük Basınç Dayanımları (kg/cm^2)	7 Günlük ort. Basınç Dayanımı (kg/cm^2)	28 Günlük ort. Basınç Dayanımı (kg/cm^2)
450	442,0	496,7	421,4	496,5
	395,9	490,5		
	426,4	502,4		
475	408,1	504,8	416,6	491,7
	420,2	501,1		
	421,4	469,3		
500	441,8	516,3	421,8	496,5
	400,6	485,8		
	423,1	487,4		
525	427,1	406,9	411,1	454,6
	409,7	490,9		
	396,5	466,1		



Grafik 5.25. HK kullanılarak üretilen KYB'lerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları (kg/cm^2)

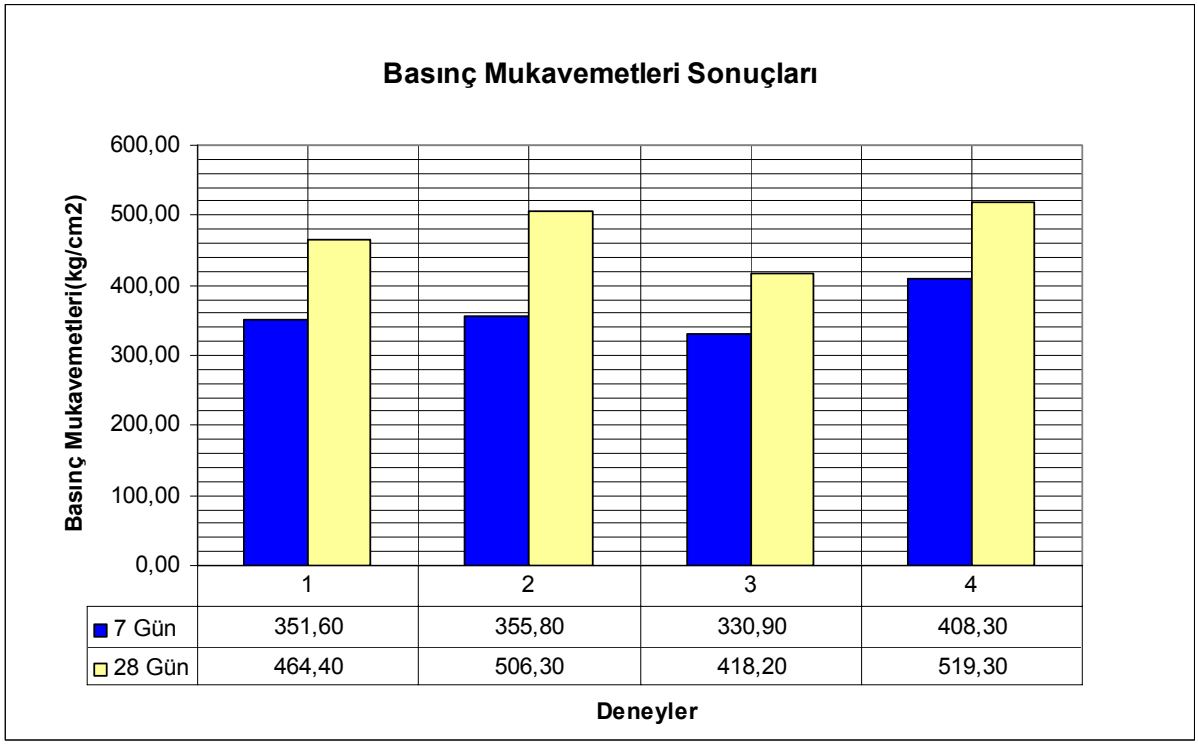
- Bu grafikte 7 ve 28 günlük basınç dayanımları dikkate alındığında 1.doz (bağlayıcı maddesi 450 kg çimento olan) ve 3.dozda (bağlayıcı maddesi 500 kg çimento olan) birbirine çok yakın değerler çıktığı,

- en düşük basınç dayanım değerinin 4.dozda (bağlayıcı maddesi 525 kg çimento olan) çıktığı,

- en yüksek basınç dayanım değerinin ise 2.dozda (bağlayıcı maddesi 475 kg çimento olan) çıktığı görülmektedir.

Tablo 5.6. HK+UK kullanılarak üretilen KYB'lerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları (kg/cm^2)

KYB üretiminde kullanılan bağlayıcı madde(çimento +uçucu kül) dozajları (kg/m^3)	2.Grup Karışım			
	7 Günlük Basınç Dayanımları (kg/cm^2)	28 Günlük Basınç Dayanımları (kg/cm^2)	7 Günlük ort. Basınç Dayanımı (kg/cm^2)	28 Günlük ort. Basınç Dayanımı (kg/cm^2)
350+115,5=465,5	330,5	444,9	351,6	464,4
	364,2	466,4		
	360,0	482,0		
375+112,5=487,5	355,1	489,8	355,8	506,3
	356,9	521,5		
	355,4	507,6		
400+120=520	327,8	424,3	330,9	418,2
	337,3	405,9		
	327,6	424,4		
425+115=540	433,2	532,0	408,3	519,3
	396,3	545,9		
	395,5	480,1		



Grafik 5.26. HK+UK kullanılarak üretilen KYB'lerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları (kg/cm^2)

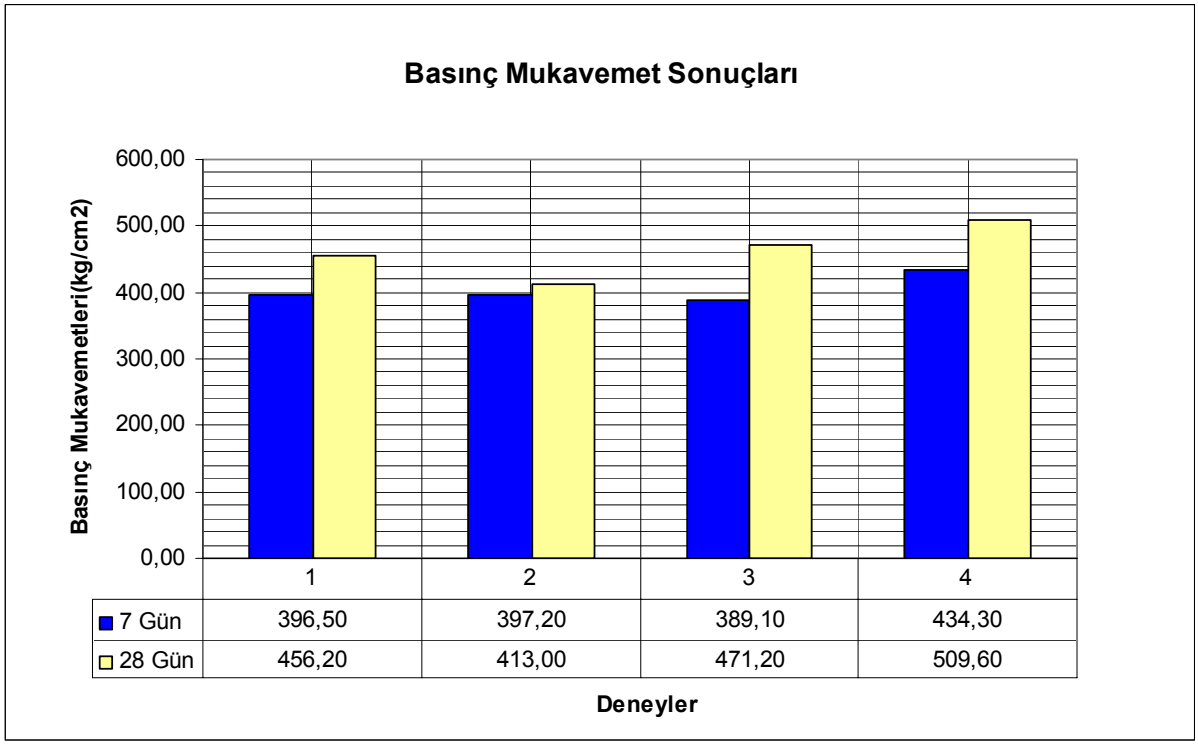
- Bu grafikte 7 ve 28 günlük basınç dayanımları dikkate alındığında 2.doz (bağlayıcı maddesi 375+112,5 = 487,5 kg çimento+uçucu kül olan) ve 4.dozda (bağlayıcı maddesi 425+115=540 kg çimento+uçucu kül olan) birbirine çok yakın değerler çıktığı,

- en düşük basınç dayanım değerinin 3.dozda (bağlayıcı maddesi 400+120=520 kg çimento+uçucu kül olan) çıktığı,

- en yüksek basınç dayanım değerinin ise 4. dozda (bağlayıcı maddesi 425+115=540 kg çimento+ uçucu kül olan) çıktığı görülmektedir.

Tablo 5.7. HK+ PPL kullanılarak üretilen KYB'lerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları (kg/cm^2)

KYB üretiminde kullanılan bağlayıcı madde (çimento) dozajları	3.Grup Karışım			
	7 Günlük Basınç Dayanımları (kg/cm^2)	28 Günlük Basınç Dayanımları (kg/cm^2)	7 Günlük ort. Basınç Dayanımı (kg/cm^2)	28 Günlük ort. Basınç Dayanımı (kg/cm^2)
450	394,1	543,7	396,5	456,2
	399,9	392,8		
	395,5	432,2		
475	417,3	408,2	397,2	413,0
	401,1	419,0		
	373,1	411,9		
500	380,0	462,4	389,1	471,2
	406,1	468,4		
	381,1	482,7		
525	435,5	480,3	434,3	509,6
	430,8	535,5		
	436,7	512,9		



Grafik 5.27. HK+PPL kullanılarak üretilen KYB'lerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları (kg/cm^2)

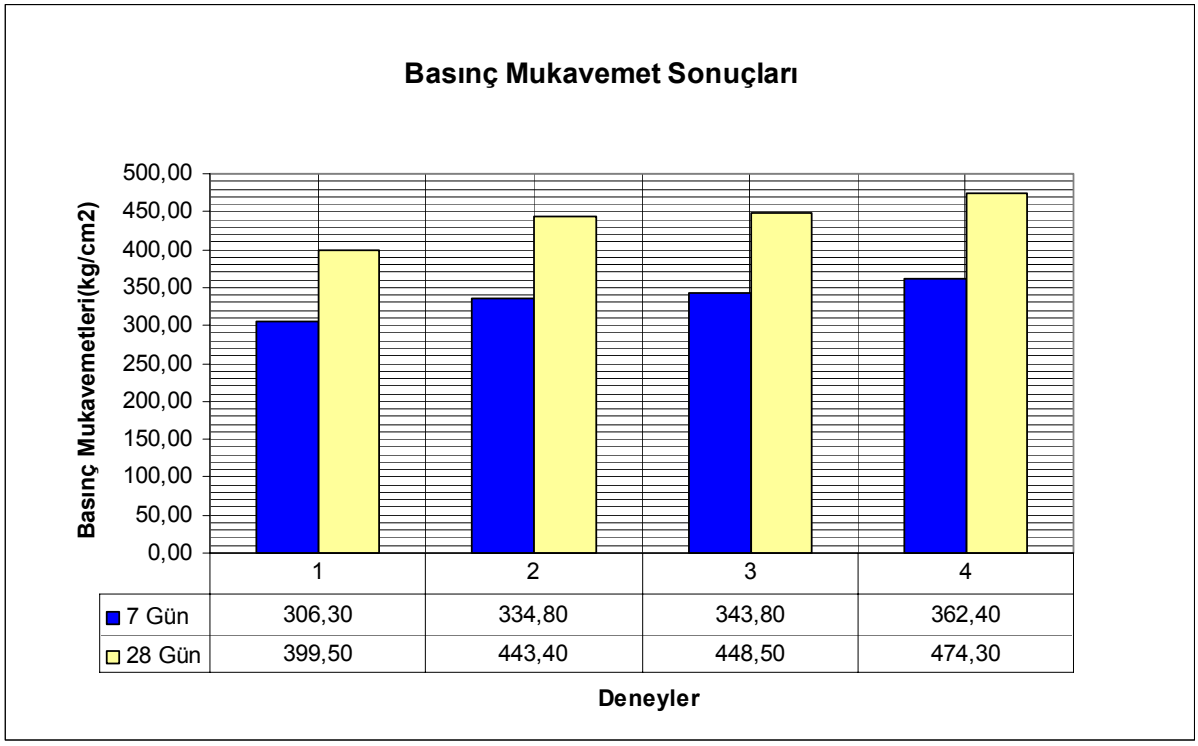
- Bu grafikte 7 ve 28 günlük basınç dayanımları dikkate alındığında 1.doz (bağlayıcı maddesi 450 kg çimento olan) ve 3.dozda (bağlayıcı maddesi 500 kg çimento olan) birbirine çok yakın değerler çıktığı,

- en düşük basınç dayanım değerinin 2.dozda (bağlayıcı maddesi 475 kg çimento olan) çıktığı,

- en yüksek basınç dayanım değerinin ise 4.dozda (bağlayıcı maddesi 525 kg çimento olan) çıktığı görülmektedir.

Tablo 5.8. HK+UK+PPL kullanılarak üretilen KYB'lerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları (kg/cm^2)

KYB üretiminde kullanılan bağlayıcı madde (çimento+uçucu kül) dozajları (kg/m^3)	4.Grup Karışım			
	7 Günlük Basınç Dayanımları (kg/cm^2)	28 Günlük Basınç Dayanımları (kg/cm^2)	7 Günlük ort. Basınç Dayanımı (kg/cm^2)	28 Günlük ort. Basınç Dayanımı (kg/cm^2)
350+112=462	304,9	378,5	306,3	399,5
	317,9	391,1		
	296,1	429,0		
375+112,5=487,5	323,8	456,8	334,8	443,4
	335,6	387,0		
	345,0	486,3		
400+120=520	369,5	452,8	343,8	448,5
	331,3	449,0		
	330,7	443,6		
425+119=544	330,9	459,4	362,4	474,3
	378,7	494,6		
	377,8	469,0		



Grafik 5.28. HK+UK+PPL kullanılarak üretilen KYB'lerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları (kg/cm^2)

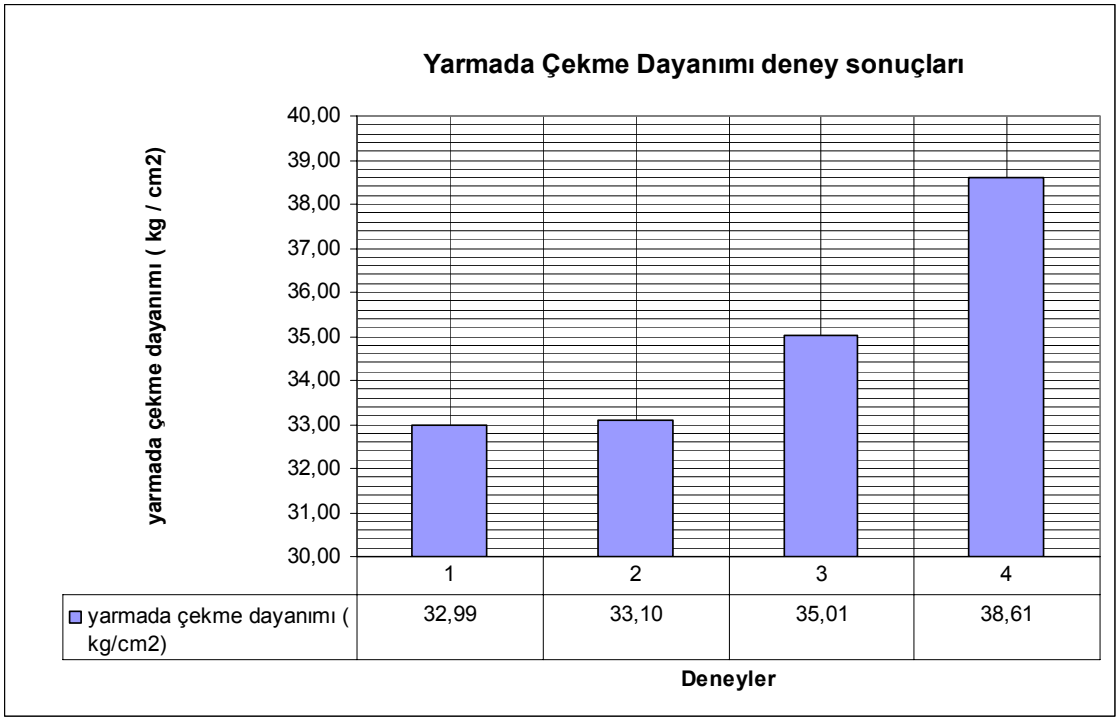
- Bu grafikte 7 ve 28 günlük basınç dayanımları dikkate alındığında 2.doz (bağlayıcı maddesi 375+112,5 = 487,5 kg çimento+uçucu kül olan) ve 3.dozda (bağlayıcı maddesi 400+120=520 kg çimento+uçucu kül olan) birbirine çok yakın değerler çıktığı,

- en düşük basınç dayanım değerinin 1.dozda (bağlayıcı maddesi 350+112=462 kg çimento+uçucu kül olan) çıktığı,

- en yüksek basınç dayanım değerinin ise 4. dozda (bağlayıcı maddesi 425+119=544 kg çimento+ uçucu kül olan) çıktığı görülmektedir.

Tablo 5.9. HK kullanılarak üretilen KYB'lerin Silindir Yarma deney sonuçları ve 28 günlük yarmada çekme dayanım değerleri (kg/cm^2)

KYB üretiminde kullanılan bağlayıcı madde (çimento) dozajları (kg/m^3)	1.Grup Karışım		
	Silindir Yarma Deney sonuçları (kg)	28 günlük Yarmada Çekme dayanımı (kg/cm^2)	28 günlük Ort. Yarmada Çekme dayanımı (kg/cm^2)
450	25000	35,38	32,99
	23720	33,57	
	21220	30,03	
475	22870	32,37	33,10
	24730	35,00	
	22560	31,93	
500	25160	35,61	35,01
	22470	31,80	
	26590	37,63	
525	26990	38,20	38,61
	24670	34,92	
	30190	42,73	



Grafik 5.29. HK kullanılarak üretilen KYB'lerin 28 günlük yarmada çekme dayanım değerleri (kg/cm^2)

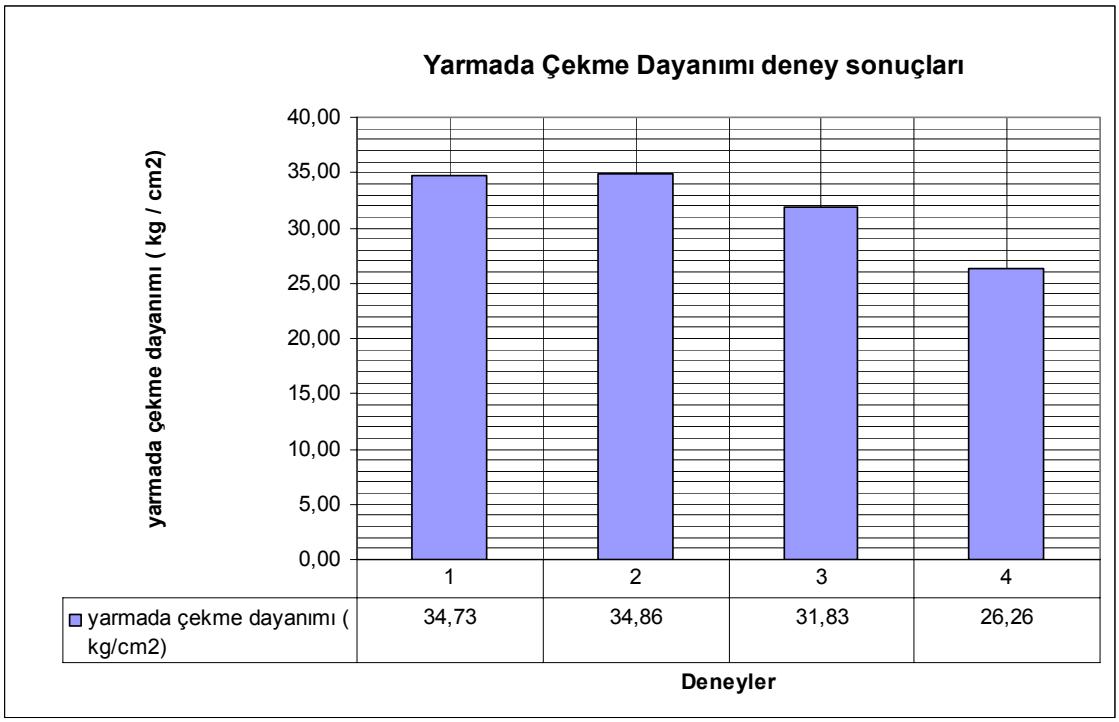
- Bu grafikte 28 günlük yarmada çekme dayanımları dikkate alındığında 1.doz (bağlayıcı maddesi 450 kg çimento olan) ve 2.dozda (bağlayıcı maddesi 475 kg çimento olan) birbirine çok yakın değerler çıktığı,

- en düşük yarmada çekme dayanım değerinin 1.dozda (bağlayıcı maddesi 450 kg çimento olan) çıktığı,

- en yüksek yarmada çekme dayanım değerinin ise 4.dozda (bağlayıcı maddesi 525 kg çimento olan) çıktığı görülmektedir.

Tablo 5.10. HK+UK kullanılarak üretilen KYB'lerin Silindir Yarma deney sonuçları ve 28 günlük yarmada çekme dayanım değerleri (kg/cm^2)

KYB üretiminde kullanılan bağlayıcı madde(çimento +uçucu kül) dozajları (kg/m^3)	2.Grup Karışım		
	Silindir Yarma Deney sonuçları (kg)	28 günlük Yarmada Çekme dayanımı (kg/cm^2)	28 günlük Ort. Yarmada Çekme dayanımı (kg/cm^2)
350+115,5=465,5	25700	36,37	34,73
	25370	35,90	
	22560	31,93	
375+112,5=487,5	25830	36,56	34,86
	21610	30,58	
	26470	37,46	
400+120=520	19050	26,96	31,83
	24580	34,79	
	23840	33,74	
425+115=540	17890	25,32	26,26
	17250	24,41	
	20540	29,07	



Grafik 5.30. HK+UK kullanılarak üretilen KYB'lerin 28 günlük yarmada çekme dayanım değerleri (kg/cm^2)

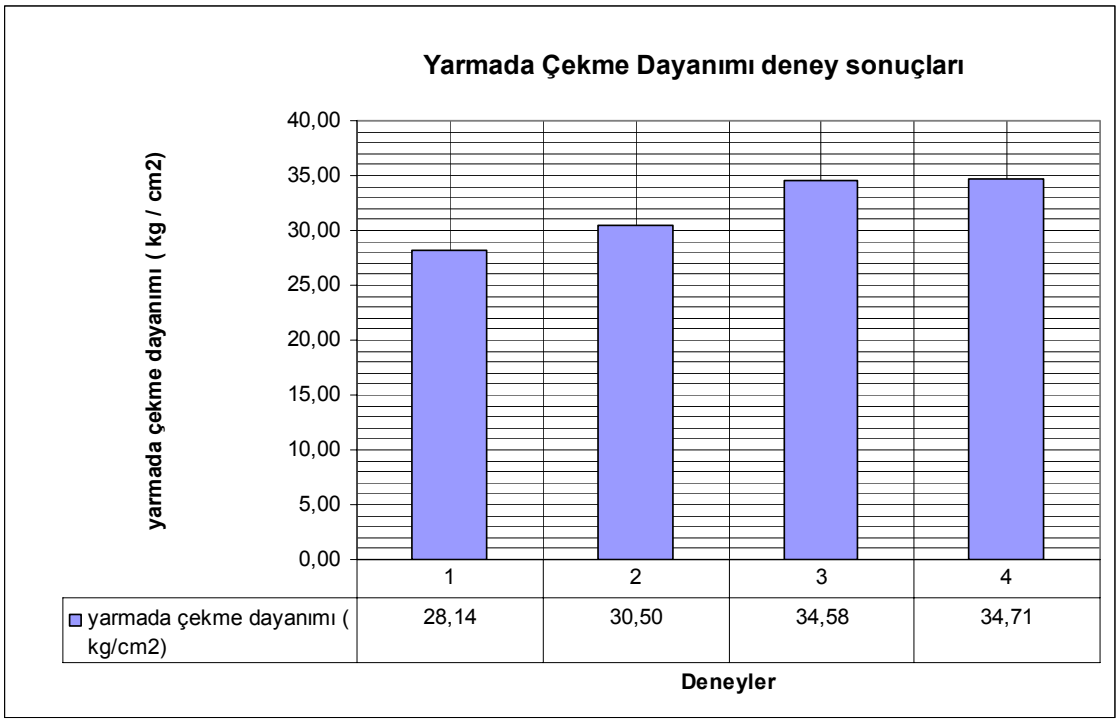
- Bu grafikte 28 günlük yarmada çekme dayanımları dikkate alındığında 1.doz (bağlayıcı maddesi 350+115,5=465,5 kg çimento+uçucu kül olan) ve 2.dozda (bağlayıcı maddesi 375+112,5=487,5 kg çimento+uçucu kül olan) birbirine çok yakın değerler çıktığı,

- en düşük yarmada çekme dayanım değerinin 4.dozda (bağlayıcı maddesi 425+115=540 kg çimento+uçucu kül olan) çıktığı,

- en yüksek yarmada çekme dayanım değerinin ise 2.dozda (bağlayıcı maddesi 375+112,5=487,5 kg çimento+uçucu kül olan olan) çıktığı görülmektedir.

Tablo 5.11. HK+PPL kullanılarak üretilen KYB'lerin Silindir Yarma deney sonuçları ve 28 günlük yarmada çekme dayanım değerleri (kg/cm^2)

KYB üretiminde kullanılan bağlayıcı madde (çimento) dozajları	3.Grup Karışım		
	Silindir Yarma Deney sonuçları (kg)	28 günlük Yarmada Çekme dayanımı (kg/cm^2)	28 günlük Ort. Yarmada Çekme dayanımı (kg/cm^2)
450	16270	23,03	28,14
	20390	28,86	
	22990	32,54	
475	26710	37,80	30,50
	19690	27,87	
	18250	25,83	
500	29340	41,53	34,58
	23480	33,23	
	20480	28,99	
525	26960	38,16	34,71
	23350	33,05	
	23260	32,92	



Grafik 5.31. HK+PPL kullanılarak üretilen KYB'lerin 28 günlük yarmada çekme dayanım değerleri (kg/cm^2)

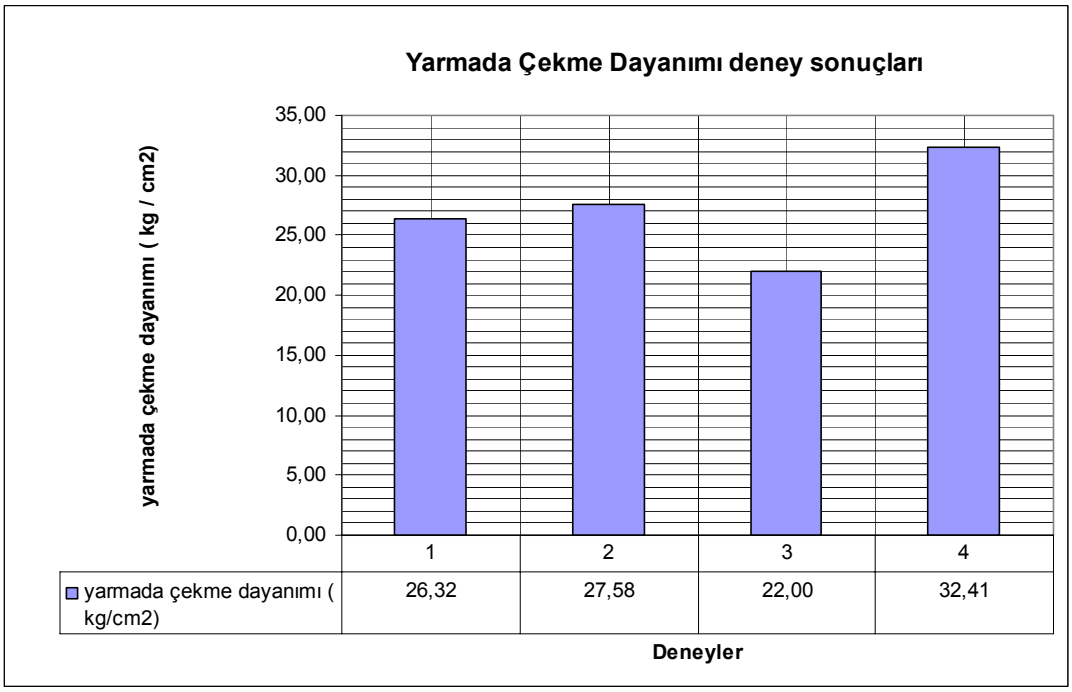
- Bu grafikte 28 günlük yarmada çekme dayanımları dikkate alındığında 3.doz (bağlayıcı maddesi 500 kg çimento olan) ve 4.dozda (bağlayıcı maddesi 525 kg çimento olan) birbirine çok yakın değerler çıktığı,

- en düşük yarmada çekme dayanım değerinin 1.dozda (bağlayıcı maddesi 450 kg çimento olan) çıktığı,

- en yüksek yarmada çekme dayanım değerinin ise 4.dozda (bağlayıcı maddesi 525 kg çimento olan) çıktığı görülmektedir.

Tablo 5.12. HK+UK+PPL kullanılarak üretilen KYB'lerin Silindir Yarma deney sonuçları ve 28 günlük yarmada çekme dayanım değerleri (kg/cm^2)

KYB üretiminde kullanılan bağlayıcı madde (çimento+uçucu kül) dozajları (kg/m^3)	4.Grup Karışım		
	Silindir Yarma Deney sonuçları (kg)	28 günlük Yarmada Çekme dayanımı (kg/cm^2)	Ort. 28 günlük Yarmada Çekme dayanımı (kg/cm^2)
350+112=462	20940	29,64	26,32
	17800	25,19	
	17060	24,14	
375+112,5=487,5	21000	29,72	27,58
	14590	20,65	
	22870	32,37	
400+120=520	16540	23,41	22,00
	16150	22,86	
	13950	19,74	
425+119=544	24940	35,30	32,41
	21640	30,63	
	22130	31,32	



Grafik 5.32. HK+UK+PPL kullanılarak üretilen KYB'lerin 28 günlük yarmada çekme dayanım değerleri (kg/cm^2)

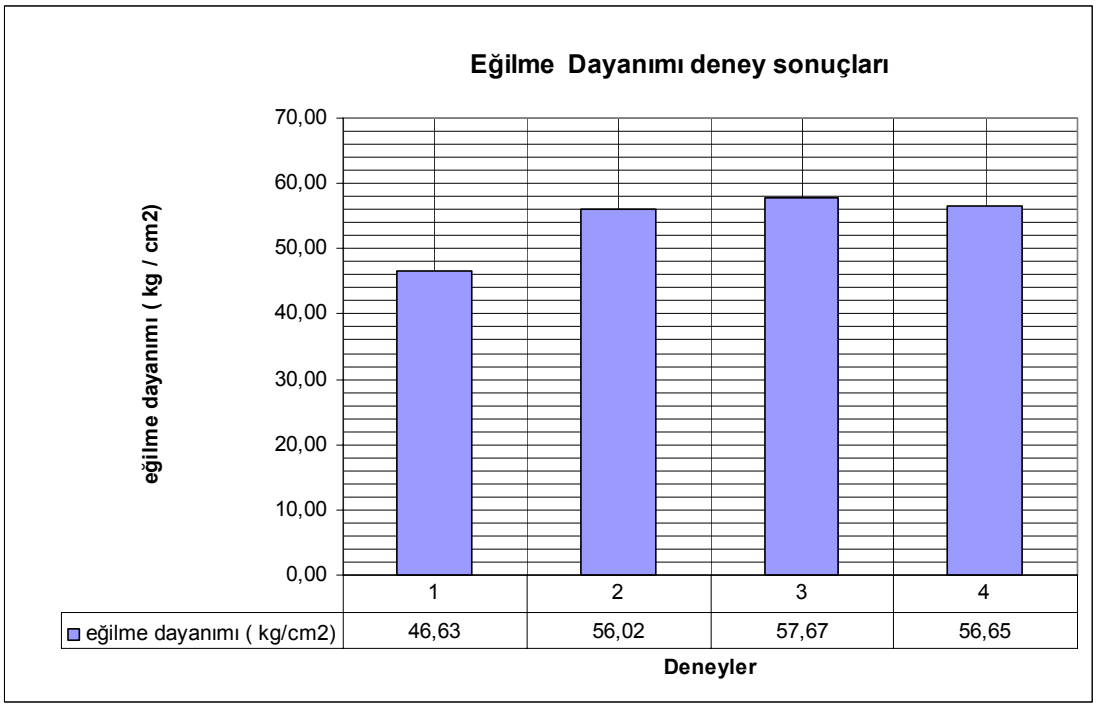
- Bu grafikte 28 günlük yarmada çekme dayanımları dikkate alındığında 1.doz (bağlayıcı maddesi 350+112=462 kg çimento+uçucu kül olan) ve 2.dozda (bağlayıcı maddesi 375+112,5=487,5 kg çimento+uçucu kül olan) birbirine çok yakın değerler çıktığı,

- en düşük yarmada çekme dayanım değerinin 3.dozda (bağlayıcı maddesi 400+120=520 kg çimento+uçucu kül olan) çıktığı,

- en yüksek yarmada çekme dayanım değerinin ise 4.dozda (bağlayıcı maddesi 425+119=544 kg çimento+uçucu kül olan olan) çıktığı görülmektedir.

Tablo 5.13. HK kullanılarak üretilen KYB'lerin Kiriş numunelerinin eğilme deneylerinin sonuçları ve 28 günlük eğilme dayanımları (kg/cm^2)

KYB üretiminde kullanılan bağlayıcı madde (çimento) dozajları	1.Grup Karışım		
	Kiriş numunelerinin eğilme deneylerinin sonuçları (kgf)	28 günlük Eğilme Dayanımı (kg/cm^2)	28 günlük Ort. Eğilme Dayanımı (kg/cm^2)
450	657	44,34	46,63
	705	47,58	
	622	41,98	
475	906	61,15	56,02
	718	45,46	
	866	58,45	
500	884	59,67	57,67
	811	57,74	
	868	58,59	
525	790	53,32	56,65
	845	57,03	
	883	59,60	



Grafik 5.33. HK kullanılarak üretilen KYB'lerin Kiriş numunelerinin 28 günlük eğilme dayanımları (kg/cm^2)

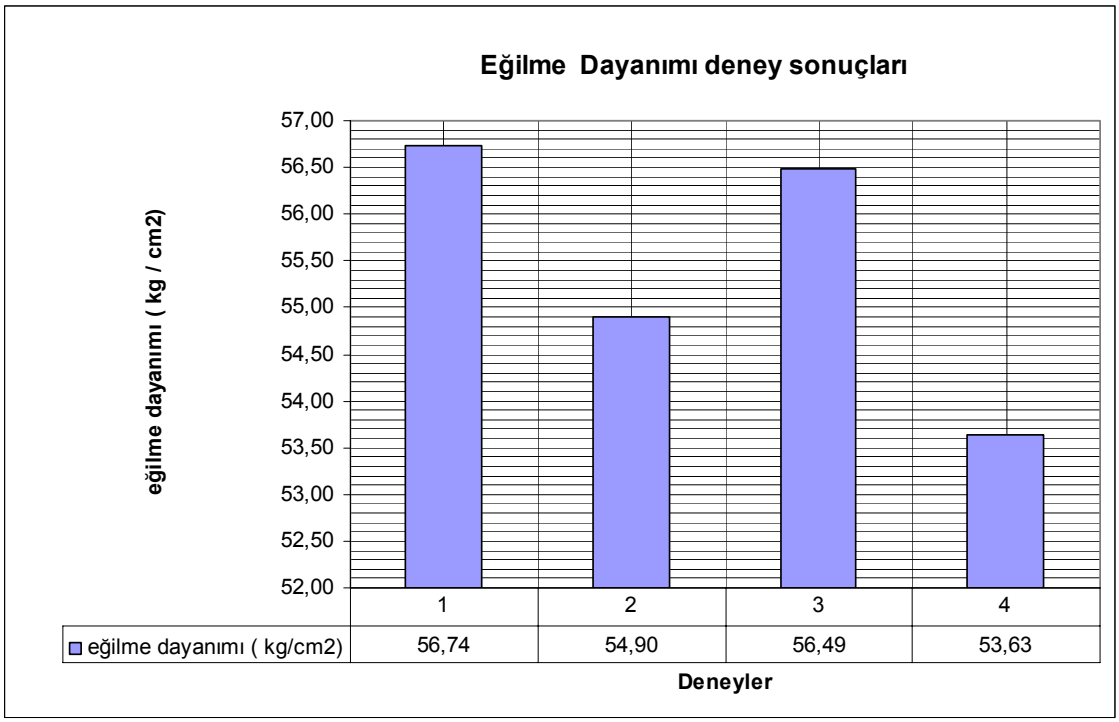
- Bu grafikte 28 günlük eğilme dayanımları dikkate alındığında 2.doz (bağlayıcı maddesi 475 kg çimento olan), 3.doz (bağlayıcı maddesi 500 kg çimento olan) ve 4.dozda (bağlayıcı maddesi 525 kg çimento olan) birbirine çok yakın değerler çıktığı,

- en düşük eğilme dayanımı değerinin 1.dozda (bağlayıcı maddesi 450 kg çimento olan) çıktığı,

- en yüksek eğilme dayanımı değerinin ise 3.dozda (bağlayıcı maddesi 500 kg çimento olan) çıktığı görülmektedir.

Tablo 5.14. HK+ UK kullanılarak üretilen KYB'lerin Kiriş numunelerinin eğilme deneylerinin sonuçları ve 28 günlük eğilme dayanımları (kg/cm^2)

KYB üretiminde kullanılan bağlayıcı madde(çimento +uçucu kül) dozajları (kg/m^3)	2.Grup Karışım		
	Kiriş numunelerinin eğilme deneylerinin sonuçları (kgf)	28 günlük Eğilme Dayanımı (kg/cm^2)	28 günlük Ort. Eğilme Dayanımı (kg/cm^2)
350+115,5=465,5	884	59,67	56,74
	777	52,44	
	861	58,11	
375+112,5=487,5	821	55,41	54,90
	775	52,31	
	847	57,17	
400+120=520	851	57,44	56,49
	836	56,43	
	824	55,62	
425+115=540	847	57,17	53,63
	711	47,99	
	827	55,82	



Grafik 5.34. HK+UK kullanılarak üretilen KYB'lerin Kiriş numunelerinin 28 günlük eğilme dayanımları (kg/cm^2)

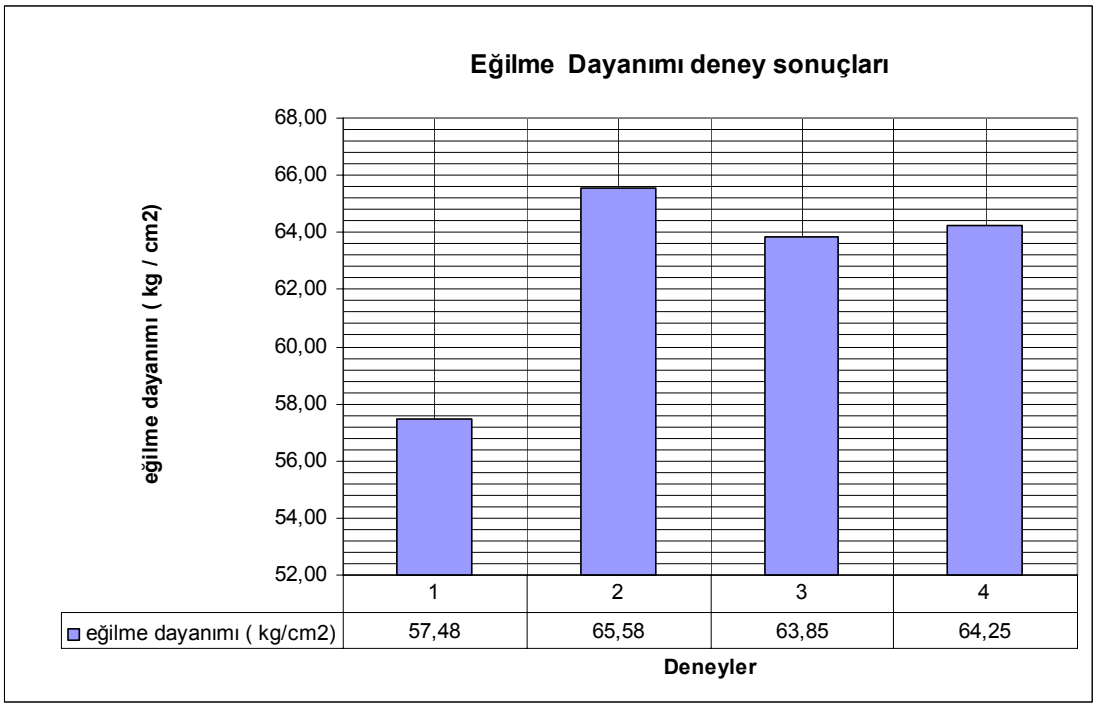
- Bu grafikte 28 günlük eğilme dayanımları dikkate alındığında 1.doz (bağlayıcı maddesi 350+115,5=465,5 kg çimento+uçucu kül olan) ve 3.dozda (bağlayıcı maddesi 500+120=540 kg çimento+uçucu kül olan) birbirine çok yakın değerler çıktığı,

- en düşük eğilme dayanımı değerinin 4.dozda (bağlayıcı maddesi 425+115=540 kg çimento+uçucu kül olan) çıktığı,

- en yüksek eğilme dayanımı değerinin ise 1.dozda (bağlayıcı maddesi 350+115,5=465,5 kg çimento+uçucu kül olan) çıktığı görülmektedir.

Tablo 5.15. HK+PPL kullanılarak üretilen KYB'lerin Kiriş numunelerinin eğilme deneylerinin sonuçları ve 28 günlük eğilme dayanımları (kg/cm^2)

KYB üretiminde kullanılan bağlayıcı madde (çimento) dozajları	3.Grup Karışım		
	Kiriş numunelerinin eğilme deneylerinin sonuçları (kgf)	28 günlük Eğilme Dayanımı (kg/cm^2)	28 günlük Ort. Eğilme Dayanımı (kg/cm^2)
450	791	53,39	57,48
	907	61,22	
	857	57,84	
475	888	59,94	65,58
	974	65,74	
	1053	71,07	
500	945	63,78	63,85
	943	63,65	
	950	64,12	
525	959	64,73	64,25
	1043	70,40	
	854	57,64	



Grafik 5.35. HK+ PPL kullanılarak üretilen KYB'lerin Kiriş numunelerinin 28 günlük eğilme dayanımları (kg/cm^2)

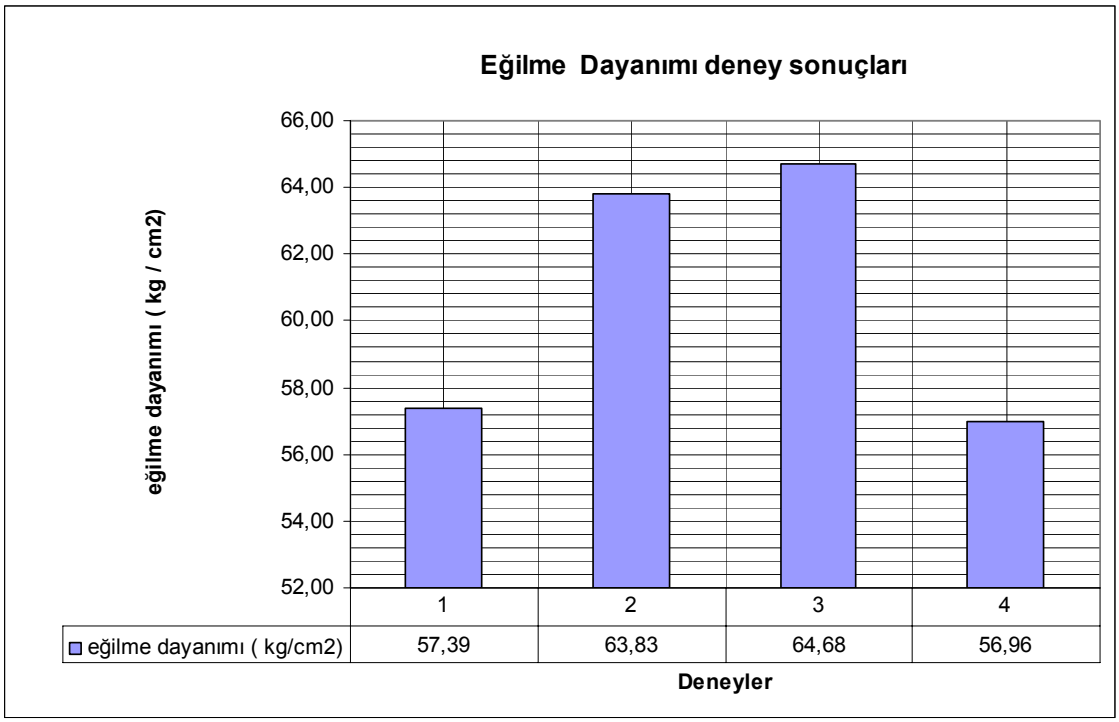
- Bu grafikte 28 günlük eğilme dayanımları dikkate alındığında 2.doz (bağlayıcı maddesi 475 kg çimento olan), 3.doz (bağlayıcı maddesi 500 kg çimento olan) ve 4.dozda (bağlayıcı maddesi 525 kg çimento olan) birbirine çok yakın değerler çıktığı,

- en düşük eğilme dayanımı değerinin 1.dozda (bağlayıcı maddesi 450 kg çimento olan) çıktığı,

- en yüksek eğilme dayanımı değerinin ise 2.dozda (bağlayıcı maddesi 475 kg çimento olan) çıktığı görülmektedir.

Tablo 5.16. HK+UK+PPL kullanılarak üretilen KYB'lerin Kiriş numunelerinin eğilme deneylerinin sonuçları ve 28 günlük eğilme dayanımları (kg/cm^2)

KYB üretiminde kullanılan bağlayıcı madde (çimento+uçucu kül) dozajları (kg/m^3)	4.Grup Karışım		
	Kiriş numunelerinin eğilme deneylerinin sonuçları (kgf)	28 günlük Eğilme Dayanımı (kg/cm^2)	28 günlük Ort. Eğilme Dayanımı (kg/cm^2)
350+112=462	838	56,56	57,39
	812	54,81	
	901	60,81	
375+112,5=487,5	859	57,98	63,83
	935	63,11	
	1043	70,40	
400+120=520	968	65,34	64,68
	939	63,38	
	968	65,34	
425+119=544	746	50,35	56,96
	789	53,25	
	997	67,29	



Grafik 5.36. HK+UK+PPL kullanılarak üretilen KYB'lerin Kiriş numunelerinin 28 günlük eğilme dayanımları (kg/cm^2)

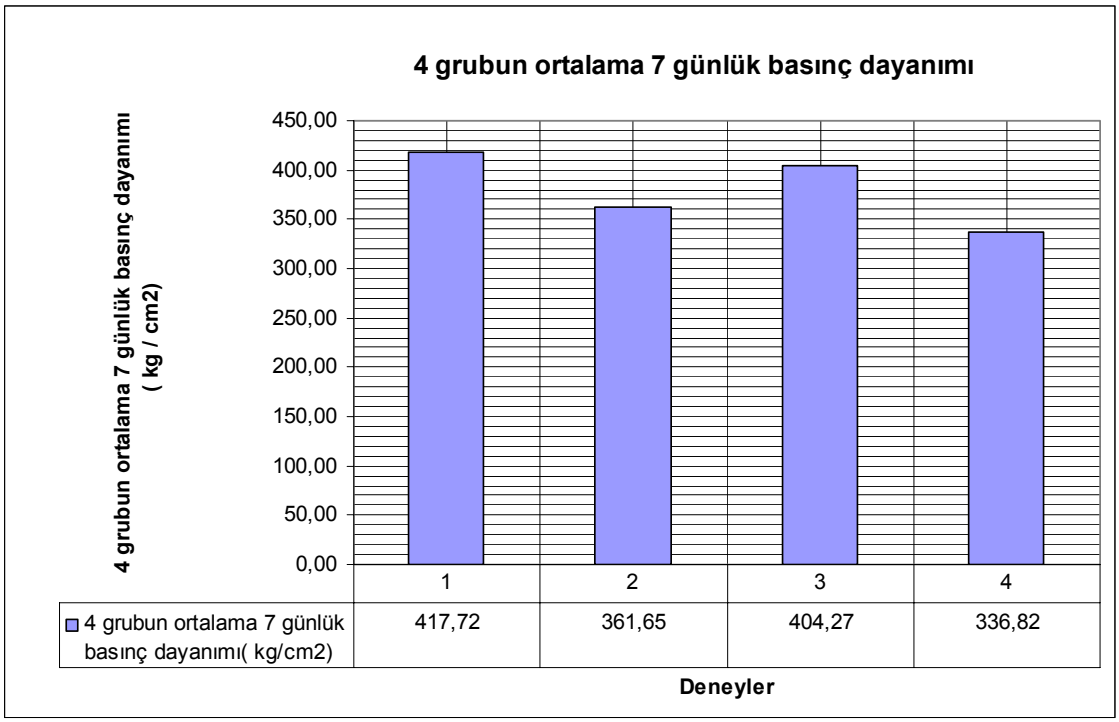
- Bu grafikte 28 günlük eğilme dayanımları dikkate alındığında 2.doz (bağlayıcı maddesi 375+112,5=487,5 kg çimento+uçucu kül olan) ve 3.dozda (bağlayıcı maddesi 500+120=540 kg çimento+uçucu kül olan) birbirine çok yakın değerler çıktığı,

- en düşük eğilme çekme dayanımı değerinin 4.dozda (bağlayıcı maddesi 425+119=544 kg çimento+uçucu kül olan) çıktığı,

- en yüksek eğilme dayanımı değerinin ise 3.dozda (bağlayıcı maddesi 400+120=520 kg çimento+uçucu kül olan olan) çıktığı görülmektedir.

Tablo 5.17. 4 grupta üretilen KYB'lerin 7 ve 28 günlük ort. basınç dayanımları, 28 günlük ort. Yarmada çekme dayanımları ve 28 günlük ort. Eğilme dayanımları (kg/cm^2)

KYB üretiminde kullanılan gruplar	7 günlük ort. Basınç dayanımları (kg/cm^2)	28 günlük ort. Basınç dayanımları (kg/cm^2)	28 günlük ort. Yarmada çekme dayanımları (kg/cm^2)	28 günlük ort. Eğilme dayanımları (kg/cm^2)
1.grup karışım(HK kullanılarak üretilen)	417,72	484,82	34,92	54,24
2.grup karışım (HK+UK kullanılarak üretilen)	361,65	477,05	31,92	55,44
3.grup karışım (HK+PPL kullanılarak üretilen)	404,27	462,5	31,98	62,29
4.grup karışım (HK+UK+PPL kullanılarak üretilen)	336,82	441,42	27,07	60,71

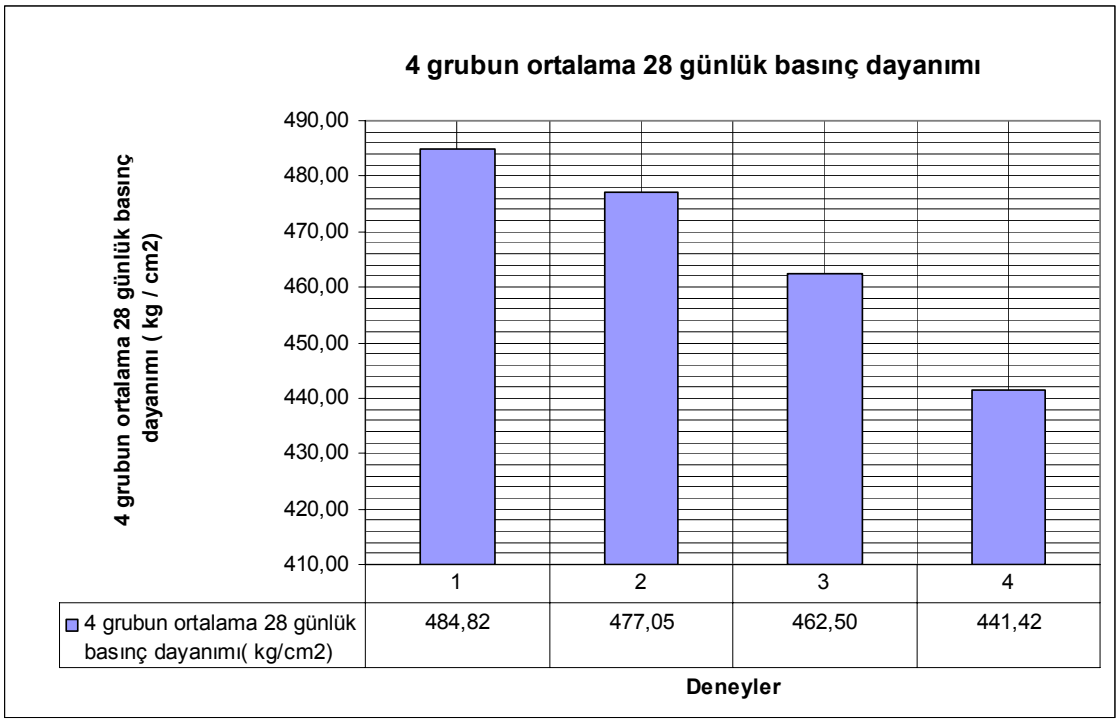


Grafik 5.37. 4 grupta (HK, HK+UK, HK+PPL, HK+UK+PPL kullanılarak üretilen KYB'lerin) 7 günlük ortalama basınç dayanımları (kg/cm^2)

- Bu grafikte 7 günlük basınç dayanımları dikkate alındığında 1.grup (HK kullanılarak üretilen KYB) ve 3.grup (HK+PPL kullanılarak üretilen KYB) birbirine çok yakın değerler çıktığı,

- en düşük basınç dayanım değerinin 4.grupta (HK+UK+PPL kullanılarak üretilen KYB) çıktığı,

- en yüksek basınç dayanım değerinin ise 1.grupta (HK kullanılarak üretilen KYB) çıktığı görülmektedir.

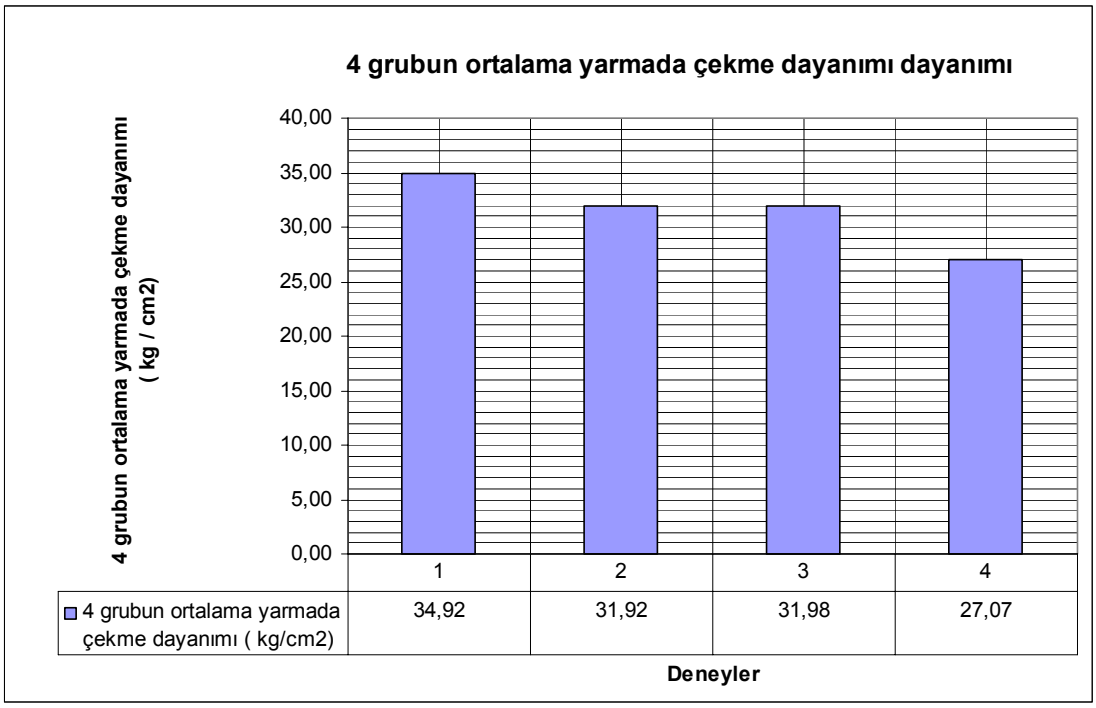


Grafik 5.38. 4 gruptaki (HK, HK+UK, HK+ PPL, HK +UK+PPL kullanılarak üretilen KYB'lerin) 28 günlük ortalama basınç dayanımları (kg/cm^2)

- Bu grafikte 28 günlük basınç dayanımları dikkate alındığında 1.grup (HK kullanılarak üretilen KYB) ve 2.grup (HK+UK kullanılarak üretilen KYB) birbirine çok yakın değerler çıktığı,

- en düşük basınç dayanım değerinin 4.grupta (HK+UK+PPL kullanılarak üretilen KYB) çıktığı,

- en yüksek basınç dayanım değerinin ise 1.grupta (HK kullanılarak üretilen KYB) çıktığı görülmektedir.

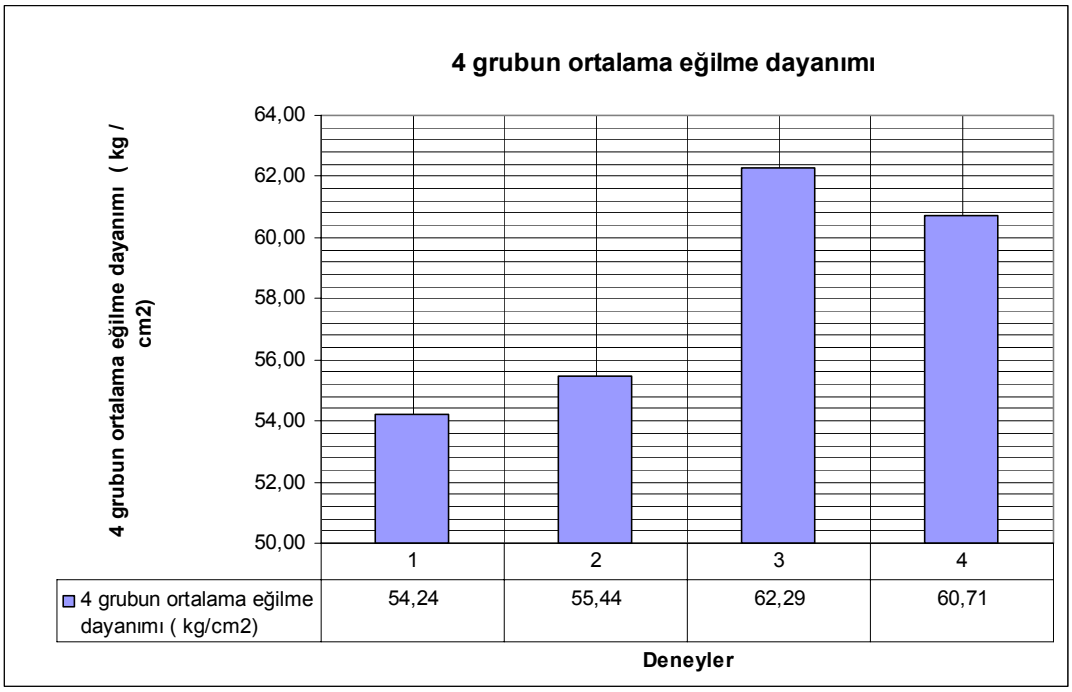


Grafik 5.39. 4 gruptaki (HK, HK+UK, HK+ PPL, HK+UK+PPL kullanılarak üretilen KYB'lerin) ortalama 28 günlük yarmada çekme dayanımları (kg/cm^2)

- Bu grafikte 28 günlük yarmada çekme dayanımları dikkate alındığında 2.grup (HK +UK kullanılarak üretilen KYB) ve 3.grup (HK+PPL kullanılarak üretilen KYB) birbirine çok yakın değerler çıktığı,

- en düşük yarmada çekme dayanım değerinin 4.grupta (HK+UK+PPL kullanılarak üretilen KYB) çıktığı,

- en yüksek yarmada çekme dayanım değerinin ise 1.grupta (HK kullanılarak üretilen KYB) çıktığı görülmektedir.



Grafik 5.40. 4 gruptaki (HK, HK+UK, HK+PPL, HK+UK+PPL kullanılarak üretilen KYB'lerin) 28 günlük ortalama eğilme dayanımları (kg/cm^2)

- Bu grafikte 28 günlük eğilme dayanımları dikkate alındığında 1.grup (HK kullanılarak üretilen KYB) ve 2.grup (HK+UK kullanılarak üretilen KYB) birbirine çok yakın değerler çıktığı,

- en düşük eğilme dayanımı değerinin 1.grupta (HK kullanılarak üretilen KYB) çıktığı,

- en yüksek eğilme dayanımı değerinin ise 3.grupta (HK+PPL kullanılarak üretilen KYB) çıktığı görülmektedir.

6. KYB DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

Bu bölümde çalışmanın amacı doğrultusunda 4 farklı karışım (hiper akışkanlaştırıcı katkı, hiper akışkanlaştırıcım katkı+uçucu kül, hiper akışkanlaştırıcı katkı+polipropilen lif, hiper akışkanlaştırıcı katkı+uçucu kül+polipropilen lif) kullanılarak üretilen KYB numunelerine uygulanan deneyler ve bunların sonuçlarının irdelenmesi amaçlanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda;

1. Üretilen betonun KYB olabilmesi için gerekli kriterleri sağlayıp sağlamadığı incelendiğinde 4 grupta üretilen KYB'de Çökme yayılma deneyleri, V Hunisi akış deneyleri ve L Kutusu deneylerinden elde edilen sonuçlara göre KYB'nin gerekli kriterleri (doldurma yeteneği, ayrışmaya karşı direnç yeteneği, geçiş yeteneği) yerine getirebilmesi için en uygun karışımın 2.grup (hiper akışkanlaştırıcı katkı + uçucu kül) karışım olduğu tespit edilmiştir. Bu karışımda kullanılan malzemeler ve deney sonuçları Tablo 5.2.'de verilmiştir. KYB'nin gerekli kriterleri yerine getirmede en kötü performansın ise 3.grup (hiper akışkanlaştırıcı katkı+polipropilen lif kullanılarak elde edilen) betonda olduğu tespit edilmiştir. Bu karışımda kullanılan malzemeler ve deney sonuçları Tablo 5.3.'de verilmiştir.

2. 3.grup karışımda (polipropilen lif kullanımı ile üretilen KYB'de) yayılma değerlerinin hepsinin sınır değer olan 650 mm'de kalması polipropilen lifin bir anlamda KYB'nin kendisinden beklenen kriterleri yerine getirmede negatif bir etki yaptığını göstermiştir.

3. 1.maddede belirtildiği üzere Üretilen betonun içerisinde kullanılan uçucu kül ince malzeme oranını artırarak KYB'nin gerekli kriterleri sağlamasında pozitif bir etki yapmaktadır.

4. Çökme yayılma deneyi esas alındığında 2.grup (hiper akışkanlaştırıcı katkı + uçucu kül) karışım kullanılarak üretilen KYB'nin kendisinden beklenen kriterleri

yerine getirmede diğer karışımlara göre yaklaşık % 15 ile % 24 arasında değişen oranda üstünlük gösterdiği tespit edilmiştir.

5. Deneylere başlamadan önce 4 grup içinde ilk iki bağlayıcı madde (çimento, çimento+uçucu kül) dozu için (1.grup 450,475, 2.grup (350+115,5 = 465,5), (375+112,5= 487,5), 3.grup 450,475, 4.grup, (350+112 =462), (375+112,5=487,5)) için hedef dayanım C35 olarak düşünüldü, sonraki iki bağlayıcı madde dozu için (1.grup 500,525, 2.grup (400+120= 520), (425+125=540), 3.grup 500,525, 4.grup, (400+120=520) ,(425+119=544)) için ise hedef dayanım C40 olarak belirlendi.

6. 4 grupta üretilen KYB'lerin basınç dayanımları dikkate alınıp hedef dayanımları ne ölçüde sağlayabildikleri incelendiğinde 1.grupta üretilen KYB'lerden bağlayıcı maddelere (çimento dozajlarına) göre 450,475,500 dozajında hedef dayanımları rahatlıkla sağladıkları görülmüştür. 525 dozajında üretilen KYB'nin ise hedef dayanımın %91'ini sağladığı görülmüştür. 2.grupta üretilen KYB'lerden bağlayıcı maddelere (çimento+uçucu kül) göre 350+115.5=465.5, 375+112.5=487.5, 425+115=540 dozajlarında hedef dayanımları sağladıkları, 400+120=520 ise hedef dayanımın %84'ünü sağladığı görülmüştür. 3.grupta üretilen KYB'lerden bağlayıcı maddelere (çimento dozajlarına) göre 450,525 dozajında hedef dayanımları sağladıkları görülmüştür. 475 dozajında %92'sini sağladığı, 500 dozajında %94'ünü sağladığı tespit edilmiştir. 4.grupta üretilen KYB'lerden bağlayıcı maddelere (çimento+uçucu kül) göre 350+112=462 dozajında hedef dayanımın % 89'unu, 375+112,5=487,5 dozajında hedef dayanımın % 98'ini, 400+120=520 dozajında hedef dayanımın % 90'ını, 425+119=544 dozajında hedef dayanımın % 95'ini sağladığı görülmüştür.

7. 6'ıncı maddede belirtilen sonuçlara göre bağlayıcı miktarı arttıkça betonun basınç dayanımı artmakta ancak belirli bir eşik noktasından sonra azalmaya başlamaktadır. Buradan bağlayıcı madde miktarını arttırmanın basınç dayanımı açısından her zaman olumlu sonuç vermeyeceği sonucu çıkarılmaktadır.

8. 3. ve 4.grupta polipropilen lif kullanılarak üretilen KYB'lerin gerek 7 günlük gerekse 28 günlük basınç dayanımlarının hedef dayanıma yaklaştığı fakat sağlamadığı görülmüştür. Buradan polipropilen lifin basınç dayanımını düşürdüğü sonucu çıkarılmıştır.

9. 1.Grup karışımdaki (hiper akışkanlaştırıcı katkı kullanılarak üretilen KYB) numunelerin basınç dayanımlarının %84 ile %90'ını ilk yedi günde kazandıkları, 2.Grup karışımdaki (hiper akışkanlaştırıcı katkı+uçucu kül kullanılarak üretilen KYB) numunelerin basınç dayanımlarının %70 ile %84'ünü ilk yedi günde kazandıkları, 3.Grup karışımdaki (hiper akışkanlaştırıcı katkı+polipropilen lif kullanılarak üretilen KYB) numunelerin basınç dayanımlarının %83 ile %95'ini ilk yedi günde kazandıkları, 4.Grup karışımdaki (hiper akışkanlaştırıcı katkı+uçucu kül +polipropilen lif kullanılarak üretilen KYB) numunelerin basınç dayanımlarının %75 ile %77'sini ilk yedi günde kazandıkları tespit edilmiştir.

10. 9'uncu maddede belirtilen sonuçlara göre uçucu kül kullanılarak üretilen 2. ve 4.gruptaki karışımların 7 günlük basınç dayanım değerlerinin diğer karışımlara oranla daha düşük olması uçucu külün betonun basınç dayanımına zaman geçtikçe etki ettiğini göstermektedir. Başka bir ifadeyle uçucu kül kullanılarak üretilen KYB'lerde 7 günlük basınç dayanım değerlerinin diğer KYB'lere oranla daha düşük olacağı söylenebilir.

11. 1.Grup karışımdaki (hiper akışkanlaştırıcı katkı kullanılarak üretilen KYB) numunelerin basınç dayanımlarının diğer gruplara göre ortalama % 5 daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

12. 1.Grup karışım (hiper akışkanlaştırıcı katkı) kullanılarak üretilen KYB'de bağlayıcı madde miktarı (çimento) arttırıldıkça silindir yarma deneylerine göre yarmada çekme dayanımı değerlerinin % 10 ile % 15 arasında değişen oranlarda arttığı görülmüştür. 2.Grup karışım (hiper akışkanlaştırıcı katkı+uçucu kül) kullanılarak üretilen KYB'nin silindir yarma deneylerine göre bağlayıcı madde (çimento+uçucu kül) miktarı arttırıldığında ilk iki dozaj için 350+115.5=465.5,

375+112.5=487.5, yarmada çekme dayanımının % 5 arttığı tespit edildi. Sonraki iki dozaj 400+120=520, 425+115=540 ise yarmada çekme dayanımının artmayıp % 15 oranında azaldığı tespit edilmiştir. 3.Grup karışım (hiper akışkanlaştırıcı katkı+ polipropilen lif) kullanılarak üretilen KYB'nin silindir yarma deneylerine göre bağlayıcı madde (çimento) miktarları arttırıldığında yarmada çekme dayanımı değerlerinin %8 ile % 24 oranında arttığı tespit edilmiştir. 4.Grup karışım (hiper akışkanlaştırıcı katkı+uçucu kül+polipropilen lif) kullanılarak üretilen KYB'nin silindir yarma deneylerine göre bağlayıcı madde (çimento +uçucu kül) miktarı arttırıldığında yarmada çekme dayanımı değerlerinin ilk iki dozaj (350+112=462, 375+112,5=487,5) için % 5 arttığı, sonraki doz (400+120=520) için % 18 düştüğü, 4.doz (425+119=544) için %23 arttığı tespit edilmiştir.

13. 12'inci maddede belirtilen sonuçlara göre hiper akışkanlaştırıcı katkı kullanılarak üretilen KYB'lerde bağlayıcı madde (çimento) miktarı arttırıldıkça yarmada çekme dayanımının arttığı görülmüştür. Buna mukabil hiper akışkanlaştırıcı katkı+uçucu kül kullanılarak üretilen KYB'lerde bağlayıcı madde (çimento+uçucu kül) miktarı arttırıldıkça belirli bir eşik noktasına (375+112,5=487,5) kadar yarmada çekme dayanımının arttığı daha sonra düştüğü gözlemlenmiştir. Hiper akışkanlaştırıcı katkı +polipropilen lif kullanılarak üretilen KYB'lerde ise hiper akışkanlaştırıcı katkı kullanılarak üretilenlerdekine paralel olarak bağlayıcı madde (çimento) miktarı arttırıldıkça yarmada çekme dayanımını arttığı tespit edilmiştir. Hiper akışkanlaştırıcı katkı+uçucu kül+polipropilen lif kullanılarak üretilen KYB'lerde ilk iki dozaj için yarmada çekme dayanımının bağlayıcı madde miktarının artmasına paralel olarak arttığı ancak üçüncü dozajda (400+120=520) yarmada çekme dayanımının artmayıp düştüğü görülmüştür. Dördüncü dozajda ise (425+119=544) yarmada çekme dayanım değerinin tekrar arttığı görülmüştür.

14. Eğilme dayanımları göz önüne alındığında 1.grup (hiper akışkanlaştırıcı katkı) kullanılarak üretilen KYB'lerde bağlayıcı madde (çimento) miktarları arttırıldığında eğilme dayanımlarının %27 ile % 30 arasında arttığı tespit edilmiştir. 2.Grup (hiper akışkanlaştırıcı katkı+uçucu kül) kullanılarak üretilen KYB'lerde bağlayıcı madde (çimento+uçucu kül) miktarları arttırıldığında ilk dozdan (350 + 115,5=465,5) sonra

2.,3. ve 4.doz'larda (375 + 112,5=487,5, 400+120=520, 425+119=544) eğilme dayanımı değerlerinin %0,2 ile % 0,5 arasında düştüğü görülmüştür. 3.Grup (hiper akışkanlaştırıcı katkı+polipropilen lif) kullanılarak üretilen KYB'lerde ise bağlayıcı madde (çimento) miktarları arttırıldığında ilk dozdan (450) ikinci doza (475) geçildiğinde eğilme dayanımı değerinin % 15 arttığı görülmüş, 2.'ci dozdan (475) 3'üncü (500) ve 4'üncüye (525) geçildiğinde eğilme dayanımı değerinin %0,1 ile % 0,2 arasında azaldığı tespit edilmiştir. 4.Grup (hiper akışkanlaştırıcı+uçucu kül+ polipropilen lif) kullanılarak üretilen KYB'lerde ise bağlayıcı madde (çimento+ uçucu kül) miktarı arttırıldığında 2. ve 3. doza (375+112,5=487,5, 400+120=520) ulaşılana kadar eğilme dayanımı değerlerinin %11 ile %12 oranında arttığı, 4. doza ulaşıldığında ise eğilme dayanımı değerinin %0,1 düştüğü tespit edilmiştir.

15. 14'üncü maddede belirtilen sonuçlara göre 1.grup (hiper akışkanlaştırıcı katkı kullanılarak üretilen) KYB'lerde bağlayıcı miktarı arttıkça eğilme dayanımı değeri de artmaktadır. 2.grup (hiper akışkanlaştırıcı katkı+uçucu kül kullanılarak üretilen) KYB'lerde bağlayıcı madde miktarı artırıldıkça eğilme dayanımı değerinin arttığı ancak bu artışın çok düşük düzeyde olduğu tespit edilmiştir. 3.grup (hiper akışkanlaştırıcı katkı+polipropilen lif kullanılarak üretilen) KYB'lerde bağlayıcı madde (çimento) miktarı arttırıldığında eğilme dayanımının arttığı ancak ilk artışın ardından değerin neredeyse sabit kaldığı tespit edilmiştir. 4.grup (hiper akışkanlaştırıcı katkı+uçucu kül+polipropilen lif kullanılarak üretilen) KYB'lerde bağlayıcı madde (çimento+uçucu kül) miktarı arttırıldıkça eğilme dayanımının arttığı ancak son dozda sabit kaldığı görülmüştür.

16. Üretilen KYB numunelerinde kullanılan polipropilen lifin performans özelliklerinden en fazla eğilme dayanımına etki yaptığı gözlemlendi.

17. Polipropilen Lif Yarmada çekme dayanımını beklenildiği kadar yükseltemedi bunun sebebi, KYB içerisinde kullanılan polipropilen lifin yapısının daha az ipliksi olması ve KYB'nin beklenen kriterleri sağlaması açısından miktarının fazla kullanılamaması olarak söyleyebiliriz.

18. 3.Grup (hiper akışkanlaştırıcı katkı+polipropilen lif kullanılarak üretilen KYB) karışımın eğilme dayanımının diğer gruplara göre ortalama % 10.81 fazla olduğu görülmüştür.

19. KYB' nin performans özelliklerinden basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı dikkate alındığında en iyi performansı gösteren karışımın 1.grup (hiper akışkanlaştırıcı katkı kullanılarak üretilen KYB) karışım olduğu, eğilme dayanımının dikkate alınması durumunda ise en iyi karışımın 3.grup (hiper akışkanlaştırıcı katkı+polipropilen lif kullanılarak üretilen KYB) olduğu görüldü.

20. Üretilen KYB yüksek akışkanlık özelliği göstermiş ve yerleştirme kolaylığı sağlamıştır. Vibrasyon ihtiyacı olmadığından dolayı daha az gürültü ve daha az maliyet oluşacak, birde deneylerde kullanılan uçucu kül sayesinde çimento miktarı azaltılmış olacaktır. Bununda maliyeti geleneksel beton maliyetine yaklaştıracağını söyleyebiliriz.

21. KYB'nin çok titiz bir çalışma gerektirdiği ve hazır beton tesislerinde seri bir şekilde elde edilebildiği gözlemlenmiştir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemiz dünyanın en etkin deprem kuşaklarından birinin üzerindedir. Özellikle son yıllarda birbiri ardına gelen yıkıcı depremler bu gerçeği acı bir şekilde bir daha kavramamıza neden olmuştur. Bu acıları bir daha yaşamamak için ülkemizdeki yapıların kalitesinin artırılması gerekmektedir. Yapı kalitesinin arttırılmasına paralel olarak dünyada ve ülkemizde yeni teknoloji ürünü malzemeler kullanılmaya başlanılmıştır. Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB) bu ürünlerden biridir.

KYB'nin avantajlarının tam olarak anlaşılabilmesi için, doğru tasarım, doğru malzemeler, doğru kimyasal katkı, uygun beton kalıpları ve eğitimli işçiler şarttır. Aksi takdirde KYB'den istenen verim alınamaz. Sağladığı avantajlar sayesinde KYB son yıllarda dünyada büyük oranda kullanılmaya başlanmış, birçok uygulama alanında da geleneksel betonun yerini almıştır. Hazır beton uygulamaları ile beraber prekast beton dökümlerinde de KYB tercih edilir olmuştur. Ülkemizde ise karmaşık biçimli kalıplarda, kalıpların zor ulaşılabilir bölgelerinde, sık donatılı bölgelerde, hasar görmüş kolon kirişlerin onarılmasında tercih edilmeye başlanmıştır.

Bu çalışmada dünyada ve ülkemizde kullanımı gitgide yaygınlaşan KYB farklı malzemeler (hiper akışkanlaştırıcı katkı, uçucu kül ve polipropilen lif) kullanılarak üretilmiştir. Üretilen numuneler basınç dayanımının tespiti, yarmada çekme dayanımının tespiti ve eğilmede çekme dayanımının tespiti deneylerine tabi tutulmuş ve bu deneylerin sonuçları baz alınarak KYB'nin performans özellikleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Yapılan çalışmada basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımının birinci öncelik olması halinde yalnızca hiper akışkanlaştırıcı katkı malzemesi kullanılarak üretilen KYB'nin ideal olduğu söylenebilir. Ancak KYB'yi ifade eden kriterler (doldurma kabiliyeti, ayrışmaya karşı direnç, geçiş yeteneği) düşünüldüğünde bu alternatifin özellikle uygulama safhasında sorunlar çıkaracağı görülmektedir. KYB'yi ifade eden kriterlere göre en uygun karışımın uçucu külün ince malzeme oranını artırmasından dolayı hiper akışkanlaştırıcı katkı ve uçucu külün bir arada kullanıldığı karışım olduğu tespit edilmiştir. Eğilme dayanımı göz önüne alındığında

ise en uygun karışımın hiper akışkanlaştırıcı katkı ile polipropilen lifin bir arada kullanıldığı karışım olduğu görülmektedir. Ancak polipropilen lifin yapısı gereği KYB'nin akışkanlık özelliğini frenlediği görülmüştür.

Üretilen betonun içerisinde gerek KYB'nin kriterlerini (doldurma kabiliyeti, ayrışmaya karşı direnç, geçiş yeteneği) yerine getirebilmesi gerekse çimentonun yerine ikame edilebilmesi ve atık bir malzemenin ülke menfaatine değerlendirilebilmesinden dolayı uçucu külün kullanılması gerektiği görülmüştür. KYB'nin içerisinde Polipropilen lifin kullanılması halinde üretilen KYB'nin kendisinden beklenen akışkanlık özelliğini sergilemekte güçlük çektiği ve bu güçlükten dolayı betonun içerisinde kullanılan polipropilen lifin azaltılması gereği ortaya çıkmakta dolayısıyla buna paralel olarak lifinde kendisinden beklenen özellikleri ortaya koyamadığı tespit edilmektedir.

Kendiliğinden Yerleşen Betonla Geleneksel beton arasındaki maliyet karşılaştırıldığında hedef dayanımlar (C35, C40) gözetilerek bir karşılaştırma yapılırsa, C35'in geleneksel olarak üretilmesi halinde maliyet KDV dâhil 102 YTL, C40 ise KDV dâhil 108 YTL olmaktadır. Bu betonu C35 dayanım sınıfında sadece hiper akışkanlaştırıcı katkı kullanarak KYB olarak üretilirse maliyet KDV dâhil 130 YTL olacak, hiper akışkanlaştırıcı katkıyla beraber uçucu külü bir arada kullanarak üretilirse maliyet KDV dâhil 120 YTL olmaktadır. C40 dayanım sınıfında sadece hiper akışkanlaştırıcı katkı kullanarak KYB olarak üretilirse maliyet KDV dâhil 140 YTL olacak, hiper akışkanlaştırıcı katkıyla beraber uçucu külü bir arada kullanarak üretilirse maliyet KDV dâhil 130 YTL olmaktadır. Bu maliyetlere işçilik ve vibrasyon giderleri dahil değildir. Belirtilen bu hususlar ışığında KYB'nin işçilik ve vibrasyon giderlerini düşüreceğini de göz önüne alarak uçucu kül kullanılarak üretilen KYB'lerin maliyetinin geleneksel beton maliyetine yaklaşık 15-20 YTL arasında yaklaştığı görülmektedir.

Uçucu külün gerek geleneksel betonlarda gerekse KYB'lerde kullanımı beton döküldükten sonra ortaya çıkan hidratasyon ısısını düşürmesi açısından bilhassa kütle betonlarında çok önemlidir. Buradan hareketle uçucu külün kütle betonlarında vazgeçilmez bir unsur olduğu görülmektedir.

KYB içerisinde polipropilen liflerin kullanılması; betondaki rötre ve büzülme çatlaklarını azaltması, segregasyonu azaltması, betonu darbelere karşı koruması, yüzey aşınmalarını engelleyerek betonun ufalanmasını engellemesi, Prefabrik ve geleneksel yapıların kolon ve kiriş gibi iskelet sistemlerinde etriye sistemi ile paralel çalışarak deprem gibi ani ve şiddetli darbe yüklerine karşı yapının enerji yutma kapasitesini artırması açılarından son derece önemlidir.

Sonuçta üretim ve uygulama safhası bir arada düşünüldüğünde KYB üretiminde hiper akışkanlaştırıcı katkı ve uçucu külün bir arada kullanılmasının gereği ortaya çıkmaktadır. KYB içerisinde KYB'nin akışkanlık özelliğini etkilemeyecek kadar polipropilen lifin kullanılması özellikle betonun eğilme dayanımını arttırması, deprem bölgelerinde ve güçlendirmede sünek davranış göstermesi bakımından çok önemlidir.

8.KAYNAKLAR

Akakın, T., 2005. "Uçucu Küller" THBB yayını "Güvenli Yapıların Sırrı Hazır Beton".

Akalın, Ö., Arca E., Tandırlı E. 2003. "Farklı Kimyasal Süper Akışkanlaştırıcı Katkıların Beton Dayanıklılığı Üzerine Etkileri" , 5.Ulusal Beton Kongresi Betonun Dayanıklılığı (Durabilite), İstanbul.

Corinaldesi, V., Moriconi, G. 2004. "Durable fiber reinforced self-compacting concrete" , www.sciencedirect.com, Cement and Concrete Research pp 249-254.

Çilekli 1996. "Uçucu Kül İnceliğinin Yüksek Dozajlı Betonun Özelliklerine Etkisi" TMÇB / AR-GE / Y 97.3.

Djelal, C., Vanhove, Y., Magnin, A., 2004. " Tribological behaviour of self-compacting concrete" , www.sciencedirect.com, Cement and Concrete Research pp 821-828.

EFNARC 2002. "Specifications and Guidelines for Self-Compacting Concrete".

Erdinç 1995. "Uçucu Küllü Betonlarda Dayanım ve Klor Geçirimliliği" TMÇB / AR-GE / Y 97.3.

Felekoğlu, B., Yardımcı, M.Y., Baradan, B. 2003. "Kendiliğinden Yerleşen Betonların Aşınma ve Donma Çözülme Direnci" , 5.Ulusal Beton Kongresi Betonun Dayanıklılığı (Durabilite), İstanbul.

Gökçe 1995. "Farklı İncelikteki Uçucu Küllerin Betondaki Performanslarının Karşılaştırılması" TMÇB / AR-GE / Y 97.3.

Grünewald, S., Walraven, J.C. 2001. "Parameter-study on the influence of steel fibers and coarse aggregate content on the fresh properties of self-compacting concrete" www.sciencedirect.com, Cement and Concrete Research pp 1793-1798.

Güneyisi, E., Özturan, T., Gesoğlu, M. 2003. "Silis Dumanı ve Uçucu Kül Katkılı Betonların Klorür Difüzyon Katsayılarının Belirlenmesi" , 5.Ulusal Beton Kongresi Betonun Dayanıklılığı (Durabilite), İstanbul.

Gürdal, H., Yüceer, Z. 2004. "Türkiye ve Dünyada Kendiliğinden Yerleşen Beton Uygulamaları" , Beton Kongre Bildiri, İstanbul.

İyim, T.B., Acar, I., Kılınçkale, F.M., Pabuçoğlu, S. 2005. " Süper Akışkanlaştırıcılar" , THBB yayını "Güvenli Yapıların Sırrı Hazır Beton".

Özkul, H., Doğan, Ü.A. 2003. "Kendiliğinden Yerleşen Betonların Geçirimlilik Özellikleri" , 5.Ulusal Beton Kongresi Betonun Dayanıklılığı (Durabilite), İstanbul.

Özyurt, N., Taşdemir, C., Kara, G., Ertuğrul, C. 2003. "Uçucu Küllü Betonlarda Kırma kum İçeriğinin Beton Özelliklerine Etkisi" , 5.Ulusal Beton Kongresi Betonun Dayanıklılığı (Durabilite), İstanbul.

Persson, B. 2002. " Sulphate resistance of self-compacting concrete" , www.sciencedirect.com, Cement and Concrete Research pp 1933–1938.

Ramyar, Andiç 2004. "Uçucu Kül İnceliği ve Kullanım Oranının Alkali-Silis Reaksiyonuna Etkisi", Türkiye İnşaat Mühendisliği On Yedinci Teknik Kongre Ve Sergisi.

Sağlam, A.R., Parlak, N., Doğan, Ü.A., Özkul, M.H. 2004. "Kendiliğinden Yerleşen Beton ve Katkı-Çimento Uyumu" , Beton Kongre Bildiri, İstanbul.

Sonebi, M. 2004. " Medium stregth self-compacting concrete containing fly ash: Modelling using factorial experimental plans" , www.scincedirect.com, Cement and Concrete Research pp 1199–1208.

Su, N., Hsu, K-C., Chaı, H-W. 2001. " A simple mix Design method for self-compacting concrete" , www.scincedirect.com, Cement and Concrete Research pp 1799-1807.

Şahmaran, M., Yaman, İ.Ö., Tokyay, M. 2004. "Yeni Nesil Yüksek Akışkanlaştırıcı Katkı Maddeleri ile Yüksek Hacimde Uçucu İçeren Kendiliğinden Yerleşen Beton" , Beton Kongre Bildiri, İstanbul.

Şengül, Ö., Taşdemir, M.A., Sönmez, R. 2003. "Yüksek Oranda Uçucu Kül İçeren Normal ve Yüksek dayanımlı Betonların Klor Geçirimliliği" , 5.Ulusal Beton Kongresi Betonun Dayanıklılığı (Durabilite), İstanbul.

Şengül, Ö., Taşdemir, M.A., Yüceer, Z., Erenoğlu, T. 2003. "Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufunun Klor Geçirimliliğine ve Basınç Dayanımına Etkisi" , 5.Ulusal Beton Kongresi Betonun Dayanıklılığı (Durabilite), İstanbul.

Topçu, B. İ., Canbaz, M., 2001. "Uçucu Kül Kullanımının Betondaki Etkileri", DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi Cilt 14 Sayı 2, İzmir.

Tosun, K., Yazıcı, H., Yiğiter, H., Baradan, B. 2003. "Uçucu Kül İçeren Çimento Harçlarının Sülfat Dayanıklılığının İncelenmesi" , 5.Ulusal Beton Kongresi Betonun Dayanıklılığı (Durabilite), İstanbul.

TS 3526/Aralık 1980, Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini.

TS 802, 1985. Beton Karışım Hesap Esasları ,Ankara.

TS 130,1988. Agrega Karışımlarının Elek Analizi Deneyi için Metod, Ankara**.**

TS 3529, 1989, Beton Agregalarının Birim Ağırlıklarının Tayini.

TS EN 450/Nisan 1998, Uçucu Kül-Betonda Kullanılan-Tarifler, Özellikler ve Kalite Kontrolü.

T.S. 500 2000. " Betonarme Hesap Esasları ve Yapım Kuralları", Ankara.

TS EN 12390-5/Nisan 2002, Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini.

TS EN 12390-6/Nisan 2002, Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 5: Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini.

Türkel, S., Felekoğlu, B. 2004. "Aşırı Dozda Akışkanlaştırıcı Kimyasal Katkı Kullanımının Taze ve Sertleşmiş Betonun Bazı Özellikleri Üzerine Etkileri" , DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi Cilt:6 Sayı:1 SH. 77–89.

Türker, P., Erdoğan, B., Katnaş, F., Yeğinobalı, A. 2003. " Türkiyede'ki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri" , Türkiye Çimento Mühtahsilleri Birliği ,Ankara.

Ünal, Uygunoğlu 2004. "Uçucu Küllü Betonların Donma-Çözülme Etkisinde Mekanik Özelliklerinin Araştırılması" Türkiye İnşaat Mühendisliği On Yedinci Teknik Kongre Ve Sergisi.

Xie, Y.,Liu, B., Yin, J., Zhou, S. 2002. " Optimum mix parameters of self-compacting concrete with ultrapulverized fly ash" www.scincedirect.com, Cement and Concrete Research pp 477-480.

Yazıcı, Felekoğlu, Aydın, Tosun ve Baradan'ın 2004. Silika Tozu ve Yüksek Oranda Uçucu Kül içeren Kendiliğinden Yerleşen Beton Türkiye İnşaat Mühendisliği On Yedinci Teknik Kongre Ve Sergisi.

Zhu W., Bartos P.J.M. 2003. "Permeation properties of self-compacting concrete" , www.scincedirect.com, Cement and Concrete Research pp 921-926.

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet AKTÜRK 01/12/1978 tarihinde Konya'nın Doğanhisar ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Isparta'nın Yalvaç ilçesinde tamamladı. Lise öğrenimini Afyon Fen Lisesinde tamamladıktan sonra 1997 yılında Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümüne girdi. Buradan 2001 yılında mezun oldu.

Yaklaşık 1 yıl kadar özel bir şirkette çalıştıktan sonra T.M.M.O.B. İnşaat Mühendisleri Odası Konya Şubesinde Kontrol mühendisi olarak çalışmaya başladı burada 2,5 yıl çalıştı.

Şu an T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü 3. Bölge Müdürlüğünde Kontrol Mühendisi olarak çalışmaktadır.