

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İNCE AGREGANIN METİLEN MAVİSİ
DEĞERİNİN KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN
BETONUN TAZE HAL VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Ekrem KABATAŞ

Haziran, 2022

İZMİR

**İNCE AGREGANIN METİLEN MAVİSİ
DEĞERİNİN KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN
BETONUN TAZE HAL VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Malzemesi

Ekrem KABATAŞ

Haziran, 2022

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

EKREM KABATAŞ, tarafından **PROF. DR. BURAK FELEKOĞLU** ve **PROF. DR. ABDÜSSAMET ARSLAN** yönetiminde hazırlanan “**İNCE AGREGANIN METİLEN MAVİSİ DEĞERİNİN KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONUN TAZE HAL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

.....
Prof. Dr. Burak FELEKOĞLU

Yönetici

.....
Prof. Dr. Selçuk TÜRKEK

Jüri Üyesi

.....
Prof. Dr. Şemsi YAZICI

Jüri Üyesi

.....
Prof. Dr. Okan FISTIKOĞLU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Öncelikle tezimin yazılması sırasında yolumu aydınlatan, disiplin sahibi olmamı sağlayan, teknik yönlendirmesi ile yeni fikirler üretmemi sağlayan Prof. Dr. Burak Felekoğlu hocama çok teşekkür ediyor ve şükranlarımı sunuyorum.

Tez sürecim içerisinde tanıştığım, deneylerimi yapabilmem için bana Gazi Üniversitesi Yapı Laboratuvarının kapılarını açan Prof. Dr. Abdüssamet Arslan hocama ve deneylerin yapım sırasında verdiği desteklerden ötürü Öğr. Gör. Hüseyin Kalkan hocama da teşekkür borç bilirim.

Deneylerde kullandığım agregaları farklı ocaklardan temin etmemi sağlayarak beni yönlendiren Maden Müh. Mustafa Kabataş amcama, çalışma hayatının içinde bu tezin yazımı için bana izin veren, beni her daim yönlendiren, şirketinde bana çalışma fırsatı veren İnşaat Müh. Uğur Türkan abime de buradan saygılarımı sunuyorum.

Beton dökümlerimden, tezin bir parçası olan görüntü işleme kısmına kadar her zaman bana destek veren değerli dostum Bilgisayar Müh. Alperen Tekin'e yanımda olduğu için her zaman teşekkür ediyorum. Yüksek öğretim hayatımın başından beri sıra arkadaşlığı yaptığım beni her zaman değerli bilgisi ile yönlendiren, fikir alışverişi yapabildiğim meslektaşım, Arş.Gör.İnş. Müh. Sezgin Sarak'a da teşekkür etmekteyim.

Hayatım boyunca kendimi geliştirmem için beni destekleyen özellikle okula ilk girdiğimde bana çimentonun ne olduğunu öğreten annem Sabiha Kabataş'a, tez sırasında çimento torbalarımı taşımamda yardım eden babam Resul Kabataş'a, teknik yönlendirmesi ile bana destek olan erkek kardeşim Recep Kabataş'a, tezimin yazım kurallarını kontrol eden kız kardeşim Sıla Kabataş'a, her zaman motivasyonumun artması için çabalayan küçük kız kardeşim Merve Kabataş'a ve manevi desteklerinden ötürü Aydemir aileme de buradan şükranlarımı sunuyorum.

Son olarak tezimde benimle çalışan, değerli zamanını bana ayıran, tez sürecim içerisinde bana hayatımın en büyük hediyesini veren, kendisine ne kadar teşekkür etsem az olacak eşim Zeynep Kabataş'a ve hediyesi Adem Kabataş'a varlıklarından dolayı şükrediyorum.

Ekrem Kabataş

İNCE AGREGANIN METİLEN MAVİSİ DEĞERİNİN KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONUN TAZE HAL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

ÖZ

Beton teknolojisi, her geçen gün yeni bir detayının araştırıldığı, sürekli gelişen bir bilim dalıdır. Kendiliğinden yerleşen beton (KYB) bu gelişimin sonucu ortaya çıkmış özel bir beton türüdür. Harici bir sıkıştırma enerjisine ihtiyaç duymadan istenilen kalıba yerleştirilebilmesi özelliği sayesinde genellikle sık donatılı mühendislik yapılarında tercih edilen KYB; yapılara emniyet, estetik ve ekonomik yönden avantajlar sağlamaktadır.

Bu özel beton türünün geleneksel betona göre farklılıkları; bileşenlerinin oranı, daha etkili akışkanlaştırıcı kimyasal katkıların kullanımı ve üretimdeki tekniklerdir. Ayrıca KYB'nin özelliklerini belirlemede kendine özgü deneyleri ve yöntemleri bulunmaktadır. KYB üretiminde yüksek oranda ince agrega kullanımı söz konusudur. İnce agrega özelliklerinin KYB'nin kalite kontrolü amacıyla detaylı olarak analiz edilmesi gerekir. Tez çalışması kapsamında birbirinden farklı özellikteki 4 farklı ince agrega kullanılarak toplamda 16 kendiliğinden yerleşen beton karışımı hazırlanmıştır. Beton dayanımı ve çimento türü, ince agrega dışında incelenen değişkenlerdir. İlk aşamada bu beton dökümleri ile bazı agregaların neden olduğu teknik, ekonomik ve üretim zorlukları ortaya çıkarılmıştır. Farklı metilen mavisi değerine sahip ince agregalar kullanılarak üretilen betonların; taze ve sertleşmiş hal özellikleri kıyaslanmıştır. Maliyet analizi ayrı bir bölümde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca KYB'ye özgü bir yöntem olan görüntü stabilite indeksi (GSİ) sınıflandırması yapan bir derin öğrenme uygulaması geliştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Kendiliğinde yerleşen beton, ince agrega, metilen mavisi deneyi, maliyet analizi, derin öğrenme, görüntü işleme, yapay sinir ağıları

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF METHYLENE BLUE VALUE OF FINE AGGREGATE ON FRESH STATE AND MECHANICAL PROPERTIES OF SELF COMPACTING CONCRETE

ABSTRACT

Concrete technology is continuously developing field of science where new research has been performed day by day. A special type of concrete called as self-compacting concrete is developed by this way. Generally, SCC is preferred in heavily reinforced structures because of its self-formability in a desired mold without the need for an external compression energy. Thus, It provides safety, aesthetics and economic benefits to structures.

Mix proportions, use of high efficiency superplasticizers and the techniques of production are the standout aspects of SCC compared to traditional concrete. There are also unique experiment and methods proposed at specifications of SCC. High volume of fine aggregate is consumed by SCC. Effects of fine aggregate characteristics should be analyzed in detail for quality control of SCC. Therefore, totally 16 SCC mixture is prepared by using 4 different types of fine aggregate. Concrete strength and cement type are the other variables that studied in addition to fine aggregate type. Firstly, technical, economic and production difficulties caused by aggregates are discussed at the stage of casting of concrete. Concrete prepared with aggregates at different methylene blue grades are compared from the viewpoint of fresh and hardened state properties. Cost analysis was carried out in a separate section. A new deep learning application is developed that perform VSI classification based on visual stability index results, which is a unique method for SCC.

Keywords: Self Compacting Concrete, fine aggregate, methylene blue test, cost analysis, deep learning, image processing, artificial neural network

İÇİNDEKİLER

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
TABLolar LİSTESİ	xi
KISALTMALAR	xviii
SEMBOLLER LİSTESİ.....	xix
BÖLÜM BİR - GİRİŞ	1
BÖLÜM İKİ - KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON.....	4
2.1 Tarihçe	4
2.2 Kyb'ye neden ihtiyaç duyuldu?	4
2.3 KYB'nin avantajları ve dezavantajları	5
2.4 KYB'nin kullanım alanları	6
2.5 KYB'nin reolojisi	8
BÖLÜM ÜÇ - KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON BİLEŞENLERİ VE	
AGREGA İÇERİSİNDE İSTENMEYEN MALZEMELER	10
3.1 Kendiliğinden Yerleşen Beton Bileşenleri	10
3.1.1 Çimento.....	10
3.1.2 Su	11

3.1.3 Kimyasal Katkı	12
3.1.3.1 Süperakışkanlaştırıcı Katkılar	13
3.1.3.2 Viskozite Arttırıcı Katkılar.....	14
3.1.4 İnce Malzemeler.....	14
3.1.5 Agregası.....	15
3.2 Agregası İçerisinde İstenmeyen Malzeme: kıl ve deney yöntemleri	16
3.2.1 Kıl.....	16
3.2.2 Metilen Mavisı Deneyi.....	18

BÖLÜM DÖRT - KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON TAZE HAL ÖZELLİKLERİ VE İŞLENEBİLİRLİK..... 22

4.1 Kendiliğinden Yerleşebilirlik Deneyleri.....	22
4.1.1 Yayılma / Doldurma Akıcılık Yeteneğini Ölçen Deneyler.....	23
4.1.1.1 KYB Yayılma Deneyi	23
4.1.1.2 Doldurma Kutusu Deneyi (Kajima Deneyi).....	23
4.1.2 Viskozite/ Akıcılık Yeteneğini Ölçen Deneyler	24
4.1.2.1 V hunisi Akış Süresi Deneyi	24
4.1.2.2 Orimet Deneyi	25
4.1.3 Geçiş Yeteneğini Ölçen Deneyler.....	26
4.1.3.1 U Kutusu Deneyi	26
4.1.3.2 L Kutusu Deneyi	26
4.1.3.3 J Halkası Deneyi.....	27
4.1.4 Ayrışmaya Karşı Dayanımı Ölçen Deneyler	28
4.1.4.1 Penetrasyon çubuğu.....	28
4.1.4.2 Kolon Yöntemi Kullanılarak Yapılan Statik Ayrışma Testi	29
4.1.5 CTM Stabilite Deneyi	30
4.1.6 Görünür Stabilite Deneyi	30
4.2 Kendiliğinden yerleşebilirlik ve tasarım kriterleri.....	32
4.2.1 EFNARC 2005, ACI 237 ve TS 802 Tasarım Kriterleri.....	33

BÖLÜM BEŞ - KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONUN MEKANİK ÖZELLİKLERİ..... 41

5.1 Serbest Basınç Dayanımı	42
5.1.1 Basınç Dayanımına Boyut Etkisi	42
5.2 Yarmada Çekme Dayanımı.....	43
5.3 Diğer Mekanik Özellikleri	44

BÖLÜM ALTI - DERİN ÖĞRENME İLE GÖRÜNTÜ SINIFLANDIRILMASI..... 45

6.1 Derin Öğrenme (Makine (bilgisayar) öğrenmesi)	45
6.2 Görüntü İşleme	46
6.2.1 Görüntü Türleri	46
6.2.1.1 İkili (Binary) Görüntü	47
6.2.1.2 Gri Seviyeli Görüntü	47
6.2.1.3 Renkli Görüntü	47
6.2.2 Görüntü İşleme Teknikleri	48
6.2.3 Görüntü işlemede kullanılacak fotoğraf makinesi	49
6.3 Görüntü tanıma amaçlı makine öğrenmesi algoritmalarının kullanımı	50
6.3.1 Görüntü analizi ve en uygun model görüntüsünü belirleme	50
6.3.1.1 Görüntünün griye çevrilmesi.....	51
6.3.1.2 Görüntü Eşiklenmesi	52
6.4 Model Optimizasyonu ve Sonuçlarının Değerlendirilmesi	53
6.5 Beton Teknolojisinde Kullanılan Bazı Görüntü İşleme Uygulamaları.....	54

BÖLÜM YEDİ - DENEYSEL ÇALIŞMALAR..... 59

7.1 Amaç	59
7.2 Kapsam	59
7.3 Deney Programı	61
7.4 Kullanılan malzemeler	61
7.4.1 Çimento	61

7.4.2	Agrega	62
7.4.2.1	Elek Analizleri.....	62
7.4.2.2	Agregalar için yapılan diğer deneyler ve analizler.....	65
7.4.2.3	Petrografik analiz	65
7.4.2.4	Metilen Mavisi Deneyi.....	66
7.4.2.5	İncelik Modülü	67
7.4.3	Kimyasal Katkı	67
7.4.4	Su	68
7.5	Karışım Hesapları	69
7.5.1	Deney serilerinin ağırlıkça ve hacimce tasarım bileşenleri	70
7.6	Deneylerin Yapılışı.....	74
7.6.2	Sertleşmiş Beton	76
7.6.2.1	Serbest Basınç Deneyi.....	76
7.6.2.2	Silindir Yarma Deneyi.....	77
7.7	Deney Sonuçları ve Tartışma.....	77
7.7.1	Taze Beton Deney Sonuçları.....	77
7.7.1.1	Taze ve Teorik Birim Hacim Ağırlık Karşılaştırılması.....	79
7.7.1.2	Su/Çimento – Taze Birim Hacim Ağırlık Karşılaştırılması	80
7.7.1.3	T ₅₀ süresi ve Bloklanma oranı	81
7.7.1.4	Su/Çimento – 28 Günlük Basınç Dayanımı Karşılaştırılması.....	83
7.7.1.5	Süperakışkanlaştırıcı ve Viskozite Düzenleyici Katkı İhtiyacı.....	83
7.7.2	Sertleşmiş Beton	89
7.7.2.1	Dayanım gelişim grafikleri.....	90
7.7.2.2	Basınç Dayanımı-Yarmada çekme değeri ilişkisi	95
7.7.2.3	Metilen mavisi – Basınç Dayanımı ilişkisi.....	97
7.8	Maliyet Analizi	99

BÖLÜM SEKİZ - DERİN ÖĞRENME İLE GÖRÜNTÜ SINIFLANDIRILMASI (DENEYSEL ÇALIŞMA)..... 111

8.1 Amaç.....	111
8.2 Kapsam	111
8.3 Metodoloji.....	111
8.4 Derin Öğrenme Modelinin Geliştirilmesi.....	112
8.4.1 Model Eğitiminde Kullanılan Verisetinin Oluşturulması	112
8.4.2 Veri Setindeki Görüntülerin Formatının Belirlenmesi.....	113
8.5 Masaüstü ve Mobil Uygulama Geliştirilmesi	121
8.6 Uygulamanın Geliştirilmesi Gereken Bölümleri	126
BÖLÜM DOKUZ - SONUÇLAR	128
KAYNAKLAR.....	132
EKLER.....	140
 EK-1: Görüntü stabilite sınıfı “0” olan beton görüntüleri	 140
EK-2: Görüntü stabilite sınıfı “1” olan beton görüntüleri.....	142
EK-3: Görüntü stabilite sınıfı “2” olan beton görüntüleri	144
EK-4: Görüntü stabilite sınıfı “3” olan beton görüntüleri.....	146

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.2 KYB kullanılan hızlı tren projesi	7
Şekil 3.1 Kendiliğinden Yerleşen Beton ve Geleneksel Beton tasarım farklılıkları..	10
Şekil 3.2 Yapay olarak sentezlenebilecek kil türleri	17
Şekil 3.3 Taze birim hacim ağırlık-metilen mavisi ilişkisi	19
Şekil 3.4 Kil kökenine göre metilen mavisi deneyi sonuçları	21
Şekil 4.1 Yayılma deneyi	23
Şekil 4.2 Doldurma Kutusu Deneyi (Kajima Deneyi)	24
Şekil 4.3 V hunusu	25
Şekil 4.4 Orimet Deneyi	25
Şekil 4.5 U kutusu Deneyi	26
Şekil 4.6 L kutusu Deney Aleti	27
Şekil 4.7 J Halkası Deneyi	27
Şekil 4.8 Penetrasyon çubuğu	28
Şekil 4.9 Kolon Yöntemi Kullanılarak Yapılan Statik Ayrışma Test Düzeneği	29
Şekil 4.10 Görüntü Stabilite İndeksleri	30
Şekil 4.11 Japonya Osaka LNG gaz tanklarının inşasında KYB kalite kontrolü için kullanılan deney aparatı	31
Şekil 4.12 Başarılı bir KYB için gerekli işlenebilirlik gereksinimleri	32
Şekil 4.13 Taze beton özelliklerine göre KYB kullanım alanları	35
Şekil 5.1 Boyut etkisinin irdelendiği çalışmada numune boyutları	42
Şekil 6.1 Yapay zeka tabanlı yayınların toplam yayınlar içerisindeki oranı	45
Şekil 6.2 İkili (Binary) Görüntü	47
Şekil 6.3 Görüntü İşleme Teknikleri	49
Şekil 6.4 Görüntü Analizi Adımları	51
Şekil 6.5 Derin öğrenme algoritmalarını kullanan uygulamalardan elde edilen öğrenim eğrisi	54
Şekil 6.6 Görüntü İşleme Düzeneği	55
Şekil 6.7 Optimum katkı dozajının görüntü işleme ile bulunması	55

Şekil 6.8 Ayırışma oluşumunun renklendirilmesi.....	56
Şekil 6.9 Ultra yüksek performanslı beton yüzeyinin görsel modelleri.....	57
Şekil 6.10 Yüksek kaliteli görüntü elde edebilmek için kurulmuş kabin	57
Şekil 6.11 Görüntüyü siyah beyaza çevirme.....	58
Şekil 7.1 Agregaların bulunduğu kapalı depolama alanı	62
Şekil 7.2 AG4 agregasına ikame edilen kile ait elek analizi.....	62
Şekil 7.3 Atterberg Limitler Tablosu	63
Şekil 7.4 İnce agregaların görünüşleri	65
Şekil 7.5 Asiltaş ocağından alınan AG2 agregasına ait petrografik analiz	65
Şekil 7.6 Metilen Mavisi Deney Görüntüleri	66
Şekil 7.7 Kimyasal katkılar	68
Şekil 7.8 %50 Kaba %50 İnce agrega kullanıldığında elde edilen grafik.....	70
Şekil 7.9 %53 Kaba %47 İnce agrega kullanıldığında elde edilen grafik.....	70
Şekil 7.10 Deneylerde kullanılan hidrolik pres.....	76
Şekil 7.11 Hidrolik prese takılan aparat.....	77
Şekil 7.12 Taze ve Teorik Birim Hacim Ağırlığı Karşılaştırılması	80
Şekil 7.13 Su/Çimento- Taze Birim Hacim Ağırlık Karşılaştırılması	80
Şekil 7.14 Üretilen betonların T ₅₀ süreleri	81
Şekil 7.15 T ₅₀ süresi ve bloklanma oranı	81
Şekil 7.16 İncelik modülü ve T ₅₀ süresi arasındaki ilişki	82
Şekil 7.17 Su/Çimento- 28 Günlük Basınç Dayanımı Karşılaştırılması.....	83
Şekil 7.18 Bütün numunelerde kullanılan toplam katkı dozajları (VAK+SK) ve yayılma çapı	84
Şekil 7.19 Mineral Katkısız CEM 1 42,5 R çimentosu kullanılarak yapılan dökümler	85
Şekil 7.20 Mineral Katkılı CEM II B-LL 32,5 R çimentosu kullanılarak yapılan dökümler	85
Şekil 7.21 C25/30 hedef dayanımlı; mineral katkılı çimento, farklı agrega tiplerine göre toplam kimyasal katkı (VAK+SK) dozajları ve yayılma çapı	86
Şekil 7.22 C25/30 hedef dayanımlı; mineral katkısız çimento, farklı agrega tiplerine göre toplam kimyasal katkı (VAK+SK) dozajları ve yayılma çapı	86

Şekil 7.23 C35/45 hedef dayanımlı; mineral katkılı çimento, farklı agrega tiplerine göre toplam kimyasal katkı (VAK+SK) dozajları ve yayılma çapı	87
Şekil 7.24 C35/45 hedef dayanımlı; mineral katkısız çimento, farklı agrega tiplerine göre toplam kimyasal katkı (VAK+SK) dozajları ve yayılma çapı	87
Şekil 7.25 C25/30 hedef dayanımlı bütün setlerdeki birim yayılmalar	88
Şekil 7.26 C35/45 hedef dayanımlı göre bütün serilerdeki birim yayılmalar	88
Şekil 7.27 C35/45 hedef dayanımlı; mineral katkılı çimento, farklı agrega tiplerine göre dayanım grafikleri	91
Şekil 7.28 C35/45 hedef dayanımlı; mineral katkısız çimento, farklı agrega tiplerine göre dayanım grafikleri	91
Şekil 7.29 C25/30 hedef dayanımlı; mineral katkılı çimento, farklı agrega tiplerine göre dayanım grafikleri	92
Şekil 7.30 C25/30 hedef dayanımlı; mineral katkısız çimento, farklı agrega tiplerine göre dayanım grafikleri	92
Şekil 7.31 C35/45 hedef dayanımlı; mineral katkılı çimento, farklı agrega tiplerine göre yarmada çekme değerleri	93
Şekil 7.32 C35/45 hedef dayanımlı; mineral katkısız çimento, farklı agrega tiplerine göre yarmada çekme değerleri	93
Şekil 7.34 C25/30 hedef dayanımlı; mineral katkısız çimento, farklı agrega tiplerine göre yarmada çekme değerleri	94
Şekil 7.35 Bütün numunelerin 7 günlük basınç dayanımları-yarmada çekme ilişkisi	95
Şekil 7.36 Bütün numunelerin 28 günlük basınç dayanımları-yarmada çekme ilişkisi	95
Şekil 7.38 Metilen Mavisi- Karışımların 2 Günlük Basınç Dayanımları	97
Şekil 7.39 Metilen Mavisi- Karışımların 7 Günlük Basınç Dayanımları	98_Toc104329488
Şekil 7.40 Metilen Mavisi- Karışımların 28 Günlük Basınç Dayanımları	98
Şekil 7.41 Metilen Mavisi- Karışımların 56 Günlük Basınç Dayanımları	99
Şekil 7.42 KYB dökümlerinde birim uzunluğun yayılma maliyeti	102
Şekil 7.43 Yüksek çimento dozajı durumunun ve VAK kullanımının toplam maliyete etkileri	103
Şekil 7.44 Tüm betonların birim dayanım maliyetleri	104

Şekil 7.45 Mineral katkısız çimento kullanılarak hazırlanan C25/30 hedef basınç dayanımlı KYB’lerin bileşenlerine göre oransal birim dayanım maliyeti	106
Şekil 7.46 Mineral katkısız çimento kullanılarak hazırlanan C35/45 hedef basınç dayanımlı KYB’lerin bileşenlerine göre oransal birim dayanım maliyeti	107_Toc104329497
Şekil 7.47 Mineral katkılı çimento kullanılarak hazırlanan C25/35 hedef basınç dayanımlı KYB’lerin bileşenlerine göre oransal birim dayanım maliyeti	108
Şekil 7.48 Mineral katkılı çimento kullanılarak hazırlanan C35/45 hedef basınç dayanımlı KYB’lerin bileşenlerine göre oransal birim dayanım maliyeti	109
Şekil 7.49 Hem birim dayanım hem de birim uzunluğun yayılma maliyetine göre karşılaştırma	110
Şekil 8.1 Deneysel çalışmadaki uygulanan yapım metodolojisi	112
Şekil 8.2 Sol üst 0 sağ alt 3 olacak şekilde sırasıyla GİS değeri 0,1,2,3 olan KYB’lerin model eğitiminde kullanılan örnek orijinal görüntüleri	113
Şekil 8.3 GİS Değeri 0 olan KYB’ lere ait threshold yöntemleri uygulandıktan sonra orijinal görüntünün dönüştüğü görüntüler	114
Şekil 8.4 GİS Değeri 1 olan KYB’ lere ait threshold yöntemleri uygulandıktan sonra orijinal görüntünün dönüştüğü görüntüler	114
Şekil 8.5 GİS Değeri 2 olan KYB’ lere ait threshold yöntemleri uygulandıktan sonra orijinal görüntünün dönüştüğü görüntüler	115
Şekil 8.6 GİS Değeri 3 olan KYB’ lere ait threshold yöntemleri uygulandıktan sonra orijinal görüntünün dönüştüğü görüntüler	115
Şekil 8.7 THRESH_BINARY yöntemine ait karmaşıklık matrisi.....	116
Şekil 8.8 THRESH_BINARY yöntemi ile elde edilen tahmin başarısı grafiği	116
Şekil 8.9 THRESH_BINARY_INV yöntemine ait karmaşıklık matrisi.....	117
Şekil 8.10 THRESH_BINARY_INV yöntemi ile elde edilen tahmin başarısı grafiği	117
Şekil 8.11 THRESH_THRUNC yöntemine ait karmaşıklık matrisi.....	118
Şekil 8.12 THRESH_THRUNC yöntemi ile elde edilen tahmin başarısı grafiği....	118

Şekil 8.13 THRESH_TOZERO yöntemine ait karmaşıklık matrisi	119
Şekil 8.14 THRESH_TOZERO yöntemi ile elde edilen tahmin başarıları grafiği.....	119
Şekil 8.15 THRESH_TOZERO_INV yöntemine ait karmaşıklık matrisi	120
Şekil 8.16 THRESH_TOZERO_INV yöntemi ile elde edilen tahmin başarıları grafiği	120
Şekil 8.17 Ana modele ait karmaşıklık matrisi ve tahmin başarı grafikleri.....	123
Şekil 8.18 Masaüstü için geliştirilen uygulamanın arayüzü.....	124
Şekil 8.19 Masaüstü uygulama sonuçları.....	125
Şekil 8.20 Mobil kullanım için geliştirilen uygulamanın arayüzü ve örnek sonuç görüntüsü.....	126



TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1 Betonda kullanılacak su için gerekli sınır değerler.....	12
Tablo 4.1 EFNARC (2005) e göre karakteristik özelliğe göre önerilen deneyler ve ölçülen değerler	22
Tablo 4.2 Görünür Stabilité İndeksi seviyeleri	31
Tablo 4.3 Farklı standartlara göre karşılaştırmalı karışım bileşenleri	33
Tablo 4.4 ACI 237'e göre önerilen toz miktar aralığı.....	34
Tablo 4.5 Çökme yayılma değerleri.....	34
Tablo 4.6 KYB'de oluşabilecek kusurlar.....	36
Tablo 4.7 KYB'de EFNARC'a göre oluşabilecek kusurlar, nedenleri ve önlem yöntemleri	37
Tablo 5.1 300 tonluk makine ile yapılan deneyler sonucu çıkan beton basınç dayanımı (MPa)	43
Tablo 5.2 500 tonluk makine ile yapılan deneyler sonucu çıkan beton basınç dayanımı (MPa)	43
Tablo 7.1 Tez kapsamında yapılan taze ve sertleşmiş beton deneyleri.....	60
Tablo 7.2 Sertleşmiş beton deneylerinde kullanılan numune tip ve sayısı	60
Tablo 7.3 Çimentoların fiziksel ve kimyasal özellikleri	61
Tablo 7.4 Agregaların Elek Analizleri	63
Tablo 7.4 Devamı.....	64
Tablo 7.5 Agregaların Fiziksel Özellikleri.....	64
Tablo 7.6 Agregaların İncelik modülleri.....	67
Tablo 7.7 Deneylerde kullanılan kimyasal katkıların fiziksel ve kimyasal özellikleri	68
Tablo 7.8 Tasarım parametrelerinin kontrolü örneği	69
Tablo 7.9 Agregatıplerine göre karşılaştırmalı ağırlıkça tasarım bileşenleri.....	71
Tablo 7.10 Beton sınıflarına göre karşılaştırmalı tasarım bileşenleri	72
Tablo 7.11 Çimento tiplerine göre karşılaştırmalı ağırlıkça tasarım bileşenleri.....	73
Tablo 7.12 EFNARC (2005) önerileri	74

Tablo 7.13 Taze Beton Özellikleri	78
Tablo 7.14 Sertleşmiş betonda serbest basınç dayanımları.....	89
Tablo 7.15 Sertleşmiş betonda yarmada çekme değerleri.....	90
Tablo 7.16 15 Şubat 2021 tarihli birim fiyatlar.....	100
Tablo 7.17 Aynı tip çimento ve hedef dayanımlı döküm gruplamasıyla 1 m ³ betonun maliyeti.....	101



KISALTMALAR

KYB	: Kendiliğinden Yerleşen Beton
GSI	: Görüntü Stabilite İndeksi
EASEC-2	: Yapı Mühendisliği ve İnşaatı İkinci Batı-Asya ve Pasifik Konferansı
RILEM	: Uluslararası Yapı Malzemesi Uzmanları ve Birleşmiş Laboratuvarları
ASTM	: Amerikan Test ve Materyaller Topluluğu
ACI	: Amerikan Beton Enstitüsü
THBB	: Türkiye Hazır Beton Birliği
CNN	: Evrimsel Sinir ağı

SEMBOLLER LİSTESİ

CaO	: Kalsiyum oksit
SiO ₂	: Silisyum dioksit
Al ₂ O ₃	: Alüminyum oksit
Fe ₂ O ₃	: Demir oksit
MgO	: Magnezyum oksit
SO ₃	: Kükürt trioksit
Na ₂ O	: Sodyum oksit
K ₂ O	: Potasyum oksit
C ₃ S	: Alit
C ₂ S	: Belit
C ₃ A	: Alüminat
C ₄ AF	: Ferrit
CI	: Klor
AG1	: Metilen mavisi değeri 0,75 olan agreg
AG2	: Metilen mavisi değeri 0,80 olan agreg
AG3	: Metilen mavisi değeri 1 olan agreg
AG4	: Metilen mavisi değeri 2 olan agreg
K	: Mineral Katkılı Çimento
S	: Mineral Katkısız Çimento

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Medeniyet geliştikçe barınma ve uygarca yaşama ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Söz konusu ihtiyacı karşılamak için beton son iki asırda tercih edilen ve sürekli gelişen bir yapı malzemesi olmuştur. Bu nedenle beton sadece bir yapı malzemesi olarak değil, teknolojik bir ürün gibi görünmeli ve incelenmelidir.

Temel ihtiyaçların karşılanması dışında uzun açıklıkların geçilmesini sağlayan köprülerde yüksek dayanım performansı gösteren beton, enerji verimliliği amaçlı kurulan nükleer santrallerde radyasyona karşı geçirimsizlik sağlayacak beton, su altı yapılarında kullanılacak yüksek performanslı beton vb. gibi isteklerin oluşması araştırmacıların özel betonlar olarak adlandırılan alana yönelmesine neden olmuştur.

Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB) ise genel olarak taze beton sıkıştırma boşlukları nedeniyle uzun vadede oluşan kalite problemlerinin ve olası hasarların azaltılması, inşaat hızının artırılması vb. gibi avantajlar sağladığı için ortaya çıkmış özel bir beton türüdür. Harici bir dış kuvvete gerek duyulmadan bulunduğu kalıbın şeklini alma ve aynı zamanda ayrışmaya direnç gösterebilme, KYB'nin en önemli özelliğidir.

Klasik beton bilindiği gibi çimento, su, ince agrega, kaba agrega ve kimyasal katkıdan oluşmaktadır. KYB ise aynı bileşenlerin farklı oranlarda ve betona ince malzeme desteği sağlayan mineral katkıların ve/veya bazı kimyasal katkıların kullanılması ile oluşmaktadır. Dolayısıyla uygun özellikte malzeme seçimi ve bu malzemelerin doğru oranlarda kullanılması KYB için kritik önem kazanmaktadır.

Bu tezin ana amacı, KYB içerisinde en çok hacme sahip olan ince agrega bileşeninin doğru seçilmesinin kendiliğinden yerleşen beton üretimi için önemini ortaya koymaktır. Özellikle ince malzeme metilen mavisi değeri farklı ince agregalar temin edilerek kıyaslamalı deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Buna ek olarak da literatürde görüntü stabilite indeksi (GSI) olarak bilinen, kendiliğinden yerleşen betonun yayılma çapını ayrışma derecesine göre sınıflayan indeksin derin öğrenme

tabanlı görüntü işleme uygulaması ile sınıflandırılmasını sağlayacak, nesnele daha yakın sonuç elde edebilecek, bir uygulama geliştirilmesi ikincil bir amaç olmuştur.

Deneysel çalışmalarda toplamda 4 farklı ince agrega, 2 farklı tip çimento ve başlangıçta tek tip süperakışkanlaştırıcı belirlenip kullanılmasına rağmen, metilen mavisi yüksek agregaların varlığından dolayı ilave bir viskozite düzenleyici katkının da tasarımda kullanılma ihtiyacı doğmuştur. Deneme karışımları hazırlanarak kimyasal katkı dozajı ve kendiliğinden yerleşebilirlik şartlarını sağlama konusunda deneyim elde edildikten sonra da nihai deneyler planlanmış ve toplamda 16 adet kendiliğinden yerleşen beton dökümü gerçekleştirilmiştir.

Toplam 16 adet kendiliğinden yerleşen beton dökümünde;

AG1 isimli metilen mavisi değeri 0,75 olan agregalar

AG2 isimli metilen mavisi değeri 0,80 olan agregalar

AG3 isimli metilen mavisi değeri 1 olan agregalar

AG4 isimli metilen mavisi değeri 2 olan agregalar olmak üzere dört farklı tipte ince agrega kullanılmıştır.

CEM I 42,5 R tipi çimento mineral katkısız çimentoyu,

CEM II/B-LL 32,5 R tipi çimento mineral katkılı çimentoyu temsil etmesi için iki farklı tipte çimento kullanılmıştır.

Sika Viscocrete 3075 adlı süperakışkanlaştırıcı katkı tüm deneylerde süper akışkanlaştırıcı olarak,

Sika Stabilizer 7 ise dökümlerin aynı kendiliğinden yerleşebilirlik özelliklerini sağlaması için kullanımı mücbir hale geldikten sonra ilave viskozite düzenleyici katkı olarak kullanılmıştır.

C25/30 beton sınıfı düşük hedef basınç dayanımını,

C35/45 beton sınıfı ise yüksek hedef basınç dayanımını temsil etmesi için dökümlerde hedef basınç dayanım sınıfları olarak belirlenmiştir.

Beton dökümleri gerçekleştirildikten sonra öncelikle taze hal beton deneyleri uygulanmıştır. Bunlar sırasıyla; çökme-yayılma deneyi, L kutusu, birim hacim ağırlık deneyleridir. Ayrıca kalıplama işlemine geçmeden taze betonun sıcaklığı da batıcı tip termometre yardımı ile ölçülmüştür. Sertleşmiş hal özellikleri için ise beton numunelere 3, 7, 28, 56. günde serbest basınç dayanımı deneyi ve yine 7, 28, 56. günde yarmada çekme deneyi yapılmıştır.

En son bölümde ise kendiliğinden yerleşen betonda bir kalite kontrol yöntemi olarak kullanılan görüntü stabilite indeksini (GSI) tahmin edebilen derin öğrenme tabanlı bir görüntü işleme uygulaması geliştirilerek sunulmuştur. Uygulamada taze hal deneylerinden, çökme-yayılma deneyi yapıldıktan sonra çekilen fotoğraflar ve literatürdeki çökme-yayılma tablasının üzerindeki beton görüntüleri ile derin öğrenme modeli eğitilmiştir. Bu model eğitildiği KYB görüntülerine benzerlik prensibi ile yeni bir beton görüntüsünün stabilite sınıfını tahmin edebilmektedir.

BÖLÜM İKİ

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON

2.1 Tarihçe

Kendiliğinden yerleşen beton (KYB), farklı ihtiyaçları karşılamak için geliştirilmiş özel bir beton türüdür. 1983 yılında Tokyo Üniversitesi'nden Prof. Dr. Hajime Okamura, Japonya'daki beton yapılarında artan durabilite problemlerini incelerken, tecrübesiz inşaat işçilerinin sahada betonu iyi bir şekilde sıkıştıramadıklarını fark etmiştir (Daczko ve Vachon, 2006). Bunun üzerine 1988'de, daha yüksek dayanımlı bir beton elde edebilmek amacıyla inşaat aşamasının ve yerleştirilen malzemenin kalitesinin artırılmasıyla KYB ortaya çıkmıştır (Goodier, 2003). Okamura ve ekibi KYB hakkındaki ilk yayını "Yapı Mühendisliği ve İnşaat İkinci Batı-Asya ve Pasifik Konferansında (EASEC-2)" sunmuşlardır (Ozawa, Maekawa ve Okamura, 1992). Daha sonra, Japon İnşaat Mühendisliği Topluluğu tarafından 1994 yılında KYB hakkında kullanım kılavuzu yayınlanmıştır. Hemen hemen aynı zamanlarda da "Uluslararası Yapı Malzemesi Uzmanları ve Birleşmiş Laboratuvarları" (RILEM) tarafından konferanslar düzenlenmeye başlanmıştır (Sfikas, 2017). 2002 yılına gelince Avrupa'da KYB için özel bir şartname oluşturulmuştur (EFNARC, 2002). Amerika'da ise o yıllarda ASTM (Amerikan Test ve Materyaller Topluluğu) terminolojisine KYB yeni giriş yapmıştır (Daczko ve Vachon, 2006) ve 2007 yılında Amerikan Beton Enstitüsü tarafından KYB hakkında kapsamlı bir kılavuz yayınlanmıştır (American Concrete Institution, 2007). Ülkemizde ise 2015 yılında Türkiye Hazır Beton Birliği tarafından 70 sayfalık bir el kitabı hazırlanmış (Türkiye Hazır Beton Birliği, 2015), takip eden yıllarda ise KYB tasarımı içeren TS 802-2016 standardı çıkartılmıştır. Böylece bu özel beton türünün ülkemizde de belirlenmiş kurallar çerçevesinde uygulanması sağlanmıştır. Avrupa'da en son "RILEM" tarafından 2019 yılında KYB hakkında bir konferans düzenlenmiştir ve günümüzde hala pek çok araştırmacı tarafından ayrıntılı olarak çalışılmaktadır.

2.2 Kyb'ye neden ihtiyaç duyuldu?

İşlenebilirliği kolay olan bir beton, inşaat sektöründe sürekli istenilen bir taleptir. Betonun kıvamını akışkan hale getirebilmek için bir çözüm olarak betonun içine daha

fazla su katılır. Bu da su /çimento oranının artmasına ve ayrışma oluşmasına neden olur ki bu durum betonun dayanımını olumsuz etkiler. KYB’de ise çimento hamurundaki bileşenlerin doğru oranda kullanılmasıyla akışkan ama ayrışmaya dirençli bir beton elde edilir (Feys, Verhoeven ve De Schutter, 2007). Böylece dayanım ile ilgili sorun yaşamadan uygun kıvamlı bir beton elde edebilmek mümkün olmaktadır.

KYB’ye ihtiyaç duyulmasının pek çok nedeni olmak ile birlikte geniş perspektiften bakılınca asıl amaç kullanılacak beton ile daha güvenli, kaliteli bir yapı elde edebilmektir. Beton dökümleri esnasında betonu sıkıştırmak için en sık kullanılan yöntem olan vibrasyon çoğu zaman doğru yapılmamakta ya da bilinçsizlikten dolayı betonarme yapıdaki donatının yerinin değiştirilmesine neden olmaktadır. KYB’nin betonun akışkanlığı dışında dar kesitlere kolay yerleşebilmesi ve işçilik hatalarını minimize etmesi özelliği sayesinde daha kaliteli bir yapı elde edebilmek mümkün olmaktadır.

2.3 KYB’nin avantajları ve dezavantajları

KYB bileşenleri itibarıyla klasik betondan çok farklı olmamakla birlikte, karışımın bileşenlerinin oranında ve agregaların gradasyonunda önemli farklılıklar gerektirmektedir. Örneğin kendiliğinden yerleşebilirliği sağlama açısından agrega nem içeriği geleneksel betondan daha hassas bir şekilde kontrol edilmelidir (Sfikas, 2017). KYB’nin pratikte kullanılmasının pek çok avantajı olduğu için söz konusu ayrıntılar dikkat edilerek hazırlanan KYB’ler, sağladığı faydalardan dolayı pek çok farklı alanda kullanılmaktadır. KYB’nin kullanım alanları ile ilgili örnekler sonraki bölümlerde verilecek olup, bu bölümde KYB’nin maddeler halinde avantajlarından ve dezavantajlarından bahsedilecektir.

Avantajları;

- ✓ Her türlü kesitteki kalıba yerleştirilebilme
- ✓ Harici bir sıkıştırma kuvveti gerektirmeme (vibrasyon)
- ✓ Çimento yerine farklı bağlayıcılar kullanıldığından CO₂ salınımının azalması ve çevreye verilen tahribatı azaltma
- ✓ Vibrasyon yapımından kaynaklanan sağlık sorunlarını azaltma (Beyaz parmak hastalığı...) (Carra, Monica ve Vignali, 2019)

- ✓ Gürültü kirliliğini azaltma (Özellikle fabrikada ön-üretim yapılan betonda bu avantaj ön plana çıkmaktadır.)
 - ✓ Yenilikçi mimari özelliklere izin verme
 - ✓ Sıva gerektirmeme brüt beton gibi düzgün yüzey sağlama
 - ✓ İşçilik maliyeti azaltma
 - ✓ İnşaat hızını artırma
 - ✓ Kalıbın altından pompalanabilme
 - ✓ Üst donatı etkisini (Top bar effecti) azaltma *(Esfahani, Lachemi ve Kianoush, 2008)
 - ✓ Vibrasyonun yarattığı kalıp deformasyonunu azaltma.
 - ✓ Belirli bir standarta sahip olma (EFNARC 2005, TS 806-2016)
 - ✓ Uzun mesafelere pompalanabilme (Khayat ve Cao, 2014)
- * KYB kullanılması ile üst donatı etkisi normal betondan %20 daha az gözlenmiştir.

Dezavantajları;

- × Yüksek hidrostatik basınç oluşturduğundan dolayı kalıp maliyetinin artması.
- × Kimyasal katkı maliyetinin fazla olması.
- × Yüksek hidrostatik basınç oluşturduğundan merdiven kalıplarında uygulanamaması.
- × Kendiliğinden yerleşebilirliğin kullanılan agreganın nem içeriğinden etkilenmesi.

2.4 KYB'nin kullanım alanları

KYB akışkanlık yeteneği sayesinde karmaşık donatılı yapılarda, restorasyon ve yenileme inşaatlarında sıkça kullanılır. Ayrıca yüksek dayanım özelliği sayesinde de sağlam ve dayanıklı istinat duvarlarının yapımında, fore kazıklarda, radye temellerin yapımında kullanılır. Kısacası prekast beton üretiminden deniz içerisindeki betonarme kazıklara kadar hemen hemen tüm yapılarda kullanıldığı görülmektedir. Genel olarak ülkemizde konut, kule, alışveriş merkezi, iş merkezi ve güçlendirme projelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Tablo 2.1 de ülkemizdeki bazı projelerdeki kullanım

miktarları, kullanılan KYB cinsi ve projedeki kullanım oranları gösterilmiştir (Türkiye Hazır Beton Birliği, 2012).

Tablo 2.1 Türkiye Hazır Beton Birliği Üyelerinin Ürettiği Kendiliğinden Yerleşen Betonların Kullanıldığı Projeler

Proje	Projedeki Beton Miktarı	KYB MİKTARI	KYB BETON CİNSİ	Projedeki KYB Kullanım Oranı
Akasya Acıbadem Avm	500,000 m ³	220,000 m ³	C 50/60	44,00%
Antares Avm	200,000 m ³	12,000 m ³	C 30/37- C 35/45	6,00%
Anthill Residence	120,000 m ³	100,000 m ³	C 40/50	83,33%
Bosphorus City	500,000 m ³	55,000 m ³	C 30/37	11,00%
Habire Yahşi Lisesi Güçlendirme İşİ	4,250 m ³	3,000 m ³	C 35/45	70,59%
Haliç-Metro Geçiş Köprüsü Projesi	36,000 m ³	994 m ³	C 35/45- C 40/50	2,76%
Varyap Meridian	370,000 m ³	160,000 m ³	C 60/75	43,24%
Innovia Konut Projesi	500,000 m ³	100,000 m ³	C 35/45	20,00%
İstanbul Sarayları Projesi	350,000 m ³	15,000 m ³	C 35/45	4,29%
Marina İstanbul Projesi	50,000 m ³	45,000 m ³	C 35/45	90,00%
Özdilek Otel, Avm ve İş Merkezi	200,000 m ³	90,000 m ³	C 50/60	45,00%
Skyport Residence	500,000 m ³	50,000 m ³	C 50/60	10,00%
Spine Tower Maslak	86,000 m ³	41,000 m ³	C 80/95	47,67%
Ukra City	150,000 m ³	30,000 m ³	C 40/50	20,00%
Hatay Serinyol J.E.A Komutanlığı İdari Binası ve Yatakhanelerin Güçlendirilmesi İşİ	650 m ³	650 m ³	C 40/50	100,00%



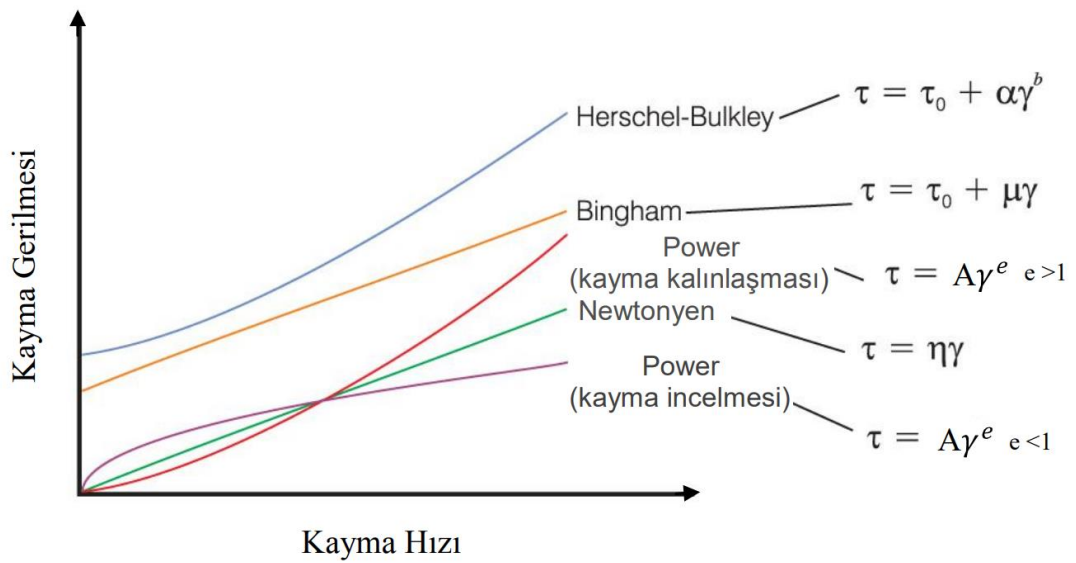
Şekil 2.2 KYB kullanılan hızlı tren projesi (Pintado ve Barragán, 2009)

Ayrıca yurtdışında KYB'nin sanat yapılarında da kullanımı yaygın olarak görülmektedir. Örnek olarak, Madrid–Zaragoza–Barcelona–Fransa'yı birbirine bağlayan bir hızlı tren projesinde 3 farklı tünelde toplamda 124,000 m³ KYB kullanılmıştır. Bu tüneller hakkında yapılan bir durum çalışması sonucunda, Şekil 2.2'de gözüktüğü gibi yoğun donatılı olan tünelde KYB kullanımı ile beton homojen olarak dağılmış ve yapının mekanik özellikler açısından daha iyi kalitede olmasını sağladığı rapor edilmiştir.(Pintado ve Barragán, 2009)

2.5 KYB'nin reolojisi

Taze hal reolojisi, akışkan malzemelerin kayma gerilmesi etkisi altında akış özelliklerinin incelendiği bilim dalıdır. Taze beton reolojisini tanımlayabilmek için plastik viskozite ve eşik kayma gerilmesi parametrelerini elde etmek gerekmektedir. Eşik kayma gerilmesi fiziksel olarak bir malzemenin akışa geçmesi için gereken minimum gerilmedir ve bir süspansiyon için kayma gerilmesi-deformasyon hızı grafiğindeki doğru denklemine uyan sıvıya Bingham sıvısı denir. Bu değerler çeşitli reometreler yardımıyla belirlenebilir.

KYB'nin özelliklerini analiz edebilmek için reolojisinin incelenmesi yararlı olacaktır. KYB reolojisi, Şekil 2.3'te görülen kayma kalınlaşması ve kayma incelmesi olarak adlandırılan davranışların göz önüne alınabilmesi için, Bingham modelinin gelişimiyle ortaya çıkan Herschel Bulkley modeli ile açıklanmaktadır. (Ahari, 2014)



Şekil 2.3 Herschel-Bulkley modeli (Ahari, 2014)

Herschel-Bulkley modelinin KYB'nin reolojik davranışını Bingham modelinden daha iyi temsil ettiği rapor edilmiştir (Feys ve diğerleri, 2007). Ancak bu modelin de şu 3 parametre ile modifiye edilmesi gerekmektedir:

- 1.) Pozitif bir akma gerilmesi ile sonuçlanmalı
- 2.) Kesmedeki deformasyon hızı bileşenin pozitif ve doğrusal olması
- 3.) Sabit boyutlu ve fiziksel açıdan anlamlı parametrelere sahip olmalı (Feys ve diğerleri, 2007)

KYB'nin eşik kayma gerilmesinin 0'a yakın olması tercih edilir. Böylece kendi ağırlığı ile kolay harekete geçebilir. Ayrıca plastik viskozitesinin de optimum olması tercih edilir. Çünkü eğer plastik viskozite çok düşerse ayrışma gözlenir çok da yüksek olursa akması çok yavaşlar, beton dökümü sırasında bölgesel birikimler oluşabilir.

KYB, yüksek kontrasyonlu katı parçacık içeren bir süspansiyondur. Reolojik olarak tiksotropik sıvı gibi davranır. KYB taze halde aynı zamanda psödoplastik davranış gösterir. Psödoplastik (yalancı plastik) sıvılar düşük deformasyon hızlarında yüksek, yüksek deformasyon hızlarında ise düşük viskoziteye sahiptir. KYB'nin bu tiksotropik ve psödoplastik davranışı durgun halde ayrışmasını engeller. Bu davranışlardan dolayı, reolojisi uygun şekilde tasarlanmış KYB geleneksel betona kıyasla daha kolay pompalanır (Felekoğlu, 2003).

KYB reolojik yapısında, farklı olarak toparlanma kavramı vardır. Bu olay yüksek deformasyon hızlarında kayma gerilmesinin azalması; düşük deformasyon hızlarında ise kayma gerilmesinin tekrar artması şeklinde kendini gösterir. Malzeme reolojisi açısından malzemelerin kümelenmesi ile bu malzemelerin akışa karşı bir direnç göstermesi KYB'de ayrışma oluşumunu azaltır (Felekoğlu, 2003).

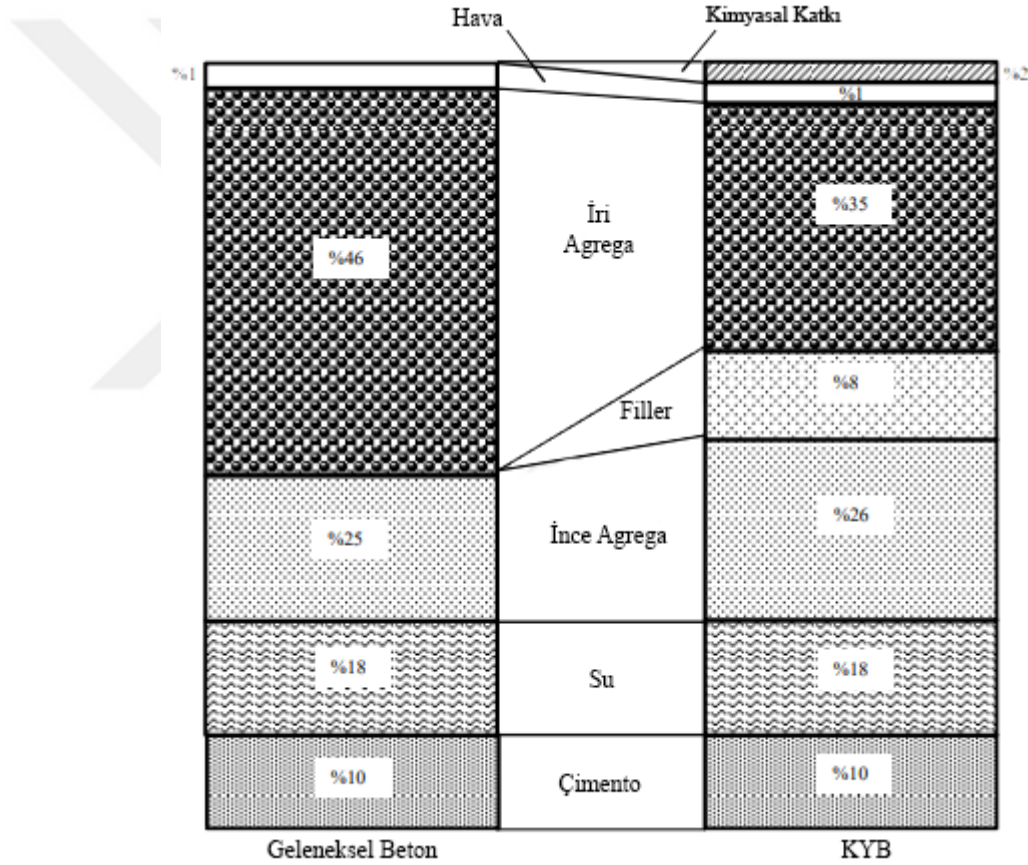
KYB reolojisi ayrıca malzemelerin karışıma ilave edilme sırası, karıştırıcı tipi, karıştırma süresi, sıcaklık gibi değişkenlerden de etkilenir (Felekoğlu, 2003).

BÖLÜM ÜÇ

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON BİLEŞENLERİ VE AGREGA İÇERİSİNDE İSTENMEYEN MALZEMELER

3.1 Kendiliğinden Yerleşen Beton Bileşenleri

Kendiliğinden yerleşen betonun, bileşenleri bakımından geleneksel betondan önemli bir farkı bulunmamaktadır. Fakat bileşenlerin oranı bakımından Şekil 3.1’de görüldüğü gibi farklılıklar içermektedir (Durgun, 2017). Bu bileşenlerin her birinden aşağıda ayrı ayrı bahsedilecektir.



Şekil 3.1 Kendiliğinden Yerleşen Beton ve Geleneksel Beton tasarım farklılıkları (Durgun, 2017)

3.1.1 Çimento

Portland çimentosu kireç, alümin, demir oksit ve silis içerikli maddelerin belirli miktarlarda harmanlanıp yüksek fırınlarda pişirilmeleri sonucunda ortaya çıkan klinkerin ince öğütülmesiyle elde edilen hidrolik bir bağlayıcıdır (Neville, 1996). Portland çimentosunun ana maddeleri kalker ve kildir. Kalkerli malzemeler olarak

kireçtaşı ve marn; killi malzemeler olarak ise bol silisli kil, şeyl, şist gibi hammaddeler kullanılır. Bu hammaddeler ince bir şekilde öğütölüp 1450°C'ye varan sıcaklıkta döner fırınlarda pişirilirler. Yüksek sıcaklıkta kalkerin ayrışması sonucunda kalsiyum oksit (CaO), kilin ayrışması sonucunda ise silis (SiO₂), alümin (Al₂O₃) ve demir oksit (Fe₂O₃) meydana gelir. Meydana gelen bu oksitler yüksek sıcaklıkta aralarında birleşerek silikatları ve alüminatları oluşturur (Mills ve diğerleri, 1955).

Çimentolar TS EN 197-1 standardına göre aşağıda verildiği gibi 5 tiptir

- CEM I Portland çimentosu
- CEM II Portland kompoze çimento
- CEM III Yüksek fırın cürufllu çimento
- CEM IV Puzolanlı çimento
- CEM V Kompoze çimento

Geleneksel betonda kullanılan çimentolar KYB'de de kullanılmaktadır. KYB ile ilgili literatürde CEM I 42.5 tipi çimento kullanımı öngörülmektedir (Sağlam, Parlak, Doğan ve Özkul, 2004). Genel olarak literatürde çimento dozajının 350 ile 450 arasında olması önerilmektedir. Çimento dozajının 500 ve daha fazla olması betonun kuruma büzülmesini arttırma riski oluşturacaktır ve dolayısıyla betonda kuruma büzülmesinden dolayı oluşacak çatlakların artacağı belirtilmektedir. Çimento dozajının 350'den az olması durumunda ise betonun kendiliğinden yerleşebilirlik için gerekli olan ince madde miktarı azalacak ve aynı zamanda betondaki bağlayıcı miktarının azalmasıyla da betonun dayanımı ve dayanıklılığı da azalacaktır (Kandil, 2021). KYB ile ilgili şartnamelerin, önerdiği çimento dozajı dördüncü bölümde bahsedilecektir.

3.1.2 Su

Beton üretiminde su önemli bir yere sahiptir. Kullanılan beton karma suyu için TS EN 1008 isimli bir standart bulunmaktadır. Beton üretiminde kaliteli bir beton elde edebilmek için bu standarda uygun bir su kullanımı gerekmektedir. Karma suyunda bulunabilecek yabancı maddeler için sınır değerler bulunmaktadır (Erdoğan, T., 2003). Bu değerler Tablo 3.1 de verilmiştir.

Tablo 3.1 Betonda kullanılacak su için gerekli sınır değerler (Erdoğan, T., 2003)

Yabancı Madde	Bulunabilecek Maksimum Konsantrasyon
Kil ve silt gibi katı maddeler (Suyun bulanıklığı)	%0,2
Yağ	Çimento ağırlığının %2'si
Yosunlu maddeler	%0,05-0,1
Şeker	%0,05
Kalsiyum ve magnezyum bikarbonatlar	%0,04
Alkali karbonatlar ve bikarbonatlar	%0,1
Kalsiyum klorür	Çimento ağırlığının %2'si
Sodyum klorür	%2,0
Magnezyum klorür	%4,0
Sodyum sülfat	%1,0
Magnezyum sülfat	%4,0
Fosfat, arsenat, borat	%0,05
Demir tuzları	%4,0
Hidroklorik ve sülfürik asitler	%1,0
Sodyum hidroksit	Çimento ağırlığının %0,5'i
Potasyum hidroksit	Çimento ağırlığının %1,2'si

3.1.3 Kimyasal Katkı

Katkılar, çağdaş beton teknolojisinin temelini oluşturan bileşenlerden biridir. Ramachandran'ın yaptığı bir çalışmada, katkıların hem taze hem de sertleşmiş beton özelliklerinin iyileştirilmesinde önemli bir role sahip oldukları görülmüştür (Ramachandran V., 1984).

Kimyasal katkı maddeleri TS EN 934-2 standardına göre aşağıdaki gibi sınıflandırılır.

- Su azaltıcı/akışkanlaştırıcı katkılar
- Yüksek oranda su azaltıcı/süper akışkanlaştırıcı katkılar
- Su tutucu katkılar
- Hava sürükleyici katkılar
- Priz hızlandırıcı katkılar
- Sertleşmeyi hızlandırıcı katkılar
- Priz geciktirici katkılar
- Su geçirimsizlik katkıları
- Priz geciktirici/su azaltıcı/akışkanlaştırıcı katkılar

- Priz geciktirici/yüksek oranda su azaltıcı/süper akışkanlaştırıcı katkıları
- Priz hızlandırıcı/su azaltıcı/akışkanlaştırıcı katkıları

Tüm bu kimyasal katkıları, kullanım yeri, kullanım amacı ve çalışma mekanizmalarına göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir: (Akman, M., 1996)

- Su azaltıcı katkı maddeleri: Kimyasal yapılarında linyosülfonatlar, hidroksikarboksilik asitler ve karbonhidratlar bulunur. Betonların su gereksinimini %6,5'ten daha fazla miktarda azaltabilen bu katkıların basınç dayanımı üzerinde %10'dan fazla artışa neden olabilmektedir.
- Yüksek oranda su azaltıcı katkı maddeleri: Kimyasal yapıları modifiye linyosülfonatlar, akrilik kopolimerler, amino aromatik sülfonik asitler, sülfone melamin formaldehit polikondanse katkılardan oluşan maddelerdir. Betonların su gereksinimini %12'den daha fazla miktarda azaltabilen bu katkıları basınç dayanımı üzerinde %15'ten fazla artışa neden olabilmektedir.
- Priz hızlandırıcı katkıları: Kimyasal bileşimleri kalsiyum nitrat ve nitritler, tiosülfatlar formatlardır. Betonların donma riskini azaltmak için kullanılırlar.
- Priz geciktirici katkıları: Kimyasal bileşimleri glükonat, salisik asit, kalsiyum linyosülfonatlardır. Betonların geç priz alması istenen durumlarda kullanılır. Çoğunlukla sıcak havalarda kullanılırlar.
- Hava sürükleyici katkıları: Kimyasal bileşimlerinde ağaç reçine tuzları, yağlı asit tuzları ve silfene hidrokarbonik asit tuzları bulundurulur. Donma-çözülme direncini arttırmak ve su geçirimsizliğini azaltmak için kullanılırlar.

3.1.3.1 Süperakışkanlaştırıcı Katkılar

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. KYB'lerde yüksek akıcılık, üstün özelliklere sahip akışkanlaştırıcılar yani süperakışkanlaştırıcılar ile sağlanır. Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde kullanılan süperakışkanlaştırıcı katkıları polikarboksilat bazlı katkılardır. KYB üretiminde kimyasal katkı olarak melamin sülfonat formaldehit polikondanseleri, vinil kopolimerler, naftalin sülfonat

formaldehit ve polikarboksilik asit bazlı katkıları da kullanılabilir (Sağlam ve diğerleri, 2004).

KYB’de hafif agrega kullanılması durumunda, katkıların sağladığı yüksek akışkanlık nedeniyle betonun ayrışma riski yüksektir. Diğer yandan normal beton uygulamalarında, betonda hafif agrega kullanılması durumunda vibrasyon nedeniyle hafif agregaların harçtan ayrılmaması için hava sürükleyici katkıların kullanılması önerilmektedir. Dolayısıyla aynı öneri KYB için de düşünülebilir. KYB’de kullanılan hafif agregaların süperakışkanlaştırıcının sağladığı yüksek akışkanlık nedeniyle harçtan ayrılmaması için hava sürükleyici katkı kullanılabilir (Kandil, 2021).

3.1.3.2 Viskozite Arttırıcı Katkılar

İçeriğinde nişasta, sakız, bitki proteini ve diğer doğal polimerler bulunmaktadır. Çimento hamurunun sıvı fazına etki etmektedirler. Viskozite düzenleyici katkıların (VDK) suda çözünebilen polimerleri, betonun içerisindeki serbest su miktarı emerek çimento hamurunun viskozitesinin artmasını sağlarlar. VDK’ nın dozajı artması durumunda, betonun sıvı fazının viskozitesi artacak ve katı parçacıkları askıda kalacaktır (Ahari, 2014). Bu kimyasal katkıların genel manada kullanım amacı, betonun kohezifliğini arttırmak ve taşıma, yerleştirme, sıkıştırma işlemlerinde ayrışmasını önlemektir (Yalçinkaya, 2009).

3.1.4 İnce Malzemeler

KYB’nin reolojik açısından özel gereksinimleri vardır. Gerek hidrasyon ısısını gerek çimento miktarını optimize etmek için filler (dolgu) malzemeye ihtiyaç vardır. Bu tür filler (dolgu) malzemeler viskoziteyi düzenleyerek ve akışkanlığı da optimize eder.

Filler malzemeler; genellikle kırmataş tozu, uçucu kül, silis dumanı, öğütülmüş yüksek fırın cürufu ve öğütülmüş cam tozu gibi 100 mikrondan küçük tane boyutuna sahip malzemelerdir. Ancak gün geçtikçe KYB üzerine yapılan çalışmalarda söz konusu filler malzemelerden başka, özellikle atık durumdaki malzemelerin filler malzeme olarak KYB içerisinde kullanımları araştırılmaktadır.

Bu malzemelerden bazıları da öğütülmüş tuğla tozu ve mermer tozudur. KYB’de kullanılacak olan filler malzemelerde aranan en önemli özelliklerden biri en büyük tane

çapı olup genellikle 0,125 mm'nin altında olması istenir. Bu durumda KYB üretiminde kullanılan kum ve agrega içerisinde bulunan bahsedilen değer altındaki ince malzemeler de filler malzeme içerisine dahil edilmelidir. Filler malzemelerin optimum kullanım miktarları bu maddelerin mineralojik kökenine ve mekanik performansına bağlıdır. Örneğin, silis dumanı toplam toz miktarının (çimento+silis dumanı) 400 ile 450 kg/m³ arasında olduğu bir KYB'de 50 kg/m³ içeriğinde kullanılırken, uçucu kül toplam toz miktarının 500 ile 600 kg/m³ arasında olan bir KYB'de 100 ile 150 kg/m³ içeriğinde kullanılmaktadır (Kandil, 2021).

3.1.5 Agrega

Agrega boyutu olarak EFNARC (2005) tarafından 20 mm tane çapı üzerindeki agregaların kullanılmaması öngörülmekteyse de bu konuda kesin bir rakam verilmemiştir. Ancak kendiliğinden yerleşen betonun özeliği gereği akışkanlığını ve sık donatılar arasından geçebilme yeteneğini gösterebilmesi gereklidir. Bunun için en uygun agrega tane boyutunun 16 mm olduğu yapılan çalışmalardan görülmektedir. Ayrıca geleneksel betondan farklı olarak ince agrega oranı da artırılmakta, buna karşılık iri agrega miktarı azaltılmaktadır.

KYB'nin işlenebilirliği üzerinde agrega boyutu ve türü önemli rol oynamaktadır. Ayrıca, görece daha iyi bir işlenebilirlik için agregaların beton içinde uniform olarak dağılması gerekmektedir (Wu, Zhang, Zheng ve Ding, 2009). KYB üretiminde kullanılacak agrega, mineralojik köken açısından normal betonda kullanılabilecek özellikte olmalıdır. Kırma kireçtaşı iri agrega olarak kullanılabilir. Doğal kum, kırma kuma göre işlenebilirlik açısından daha avantajlıdır (Sağlam ve diğerleri, 2004).

Yine kullanılan agrega tipinin KYB işlenebilirliğine etkisine odaklanmış başka bir çalışmada; doğal kumun KYB viskozitesini azalttığı ve daha iyi işlenebilirlik sağladığı belirlenmiştir. Doğal kumun avantaj sağlaması; yuvarlak tane yapısına bağlanmıştır. Kumun tane şekli iri agrega ile arasındaki granül sürtünme etkisini azaltmaktadır (Leila Zeghichi, Zeid Benghazi ve Laid Baali, 2012)

Agrega türünü değiştirerek KYB üretebilmek birçok araştırmacı tarafından çalışılmaktadır. Hafif agregalar ve geri kazanılmış agregalar (GKA) kullanılarak bu agregaların KYB de etkisi araştırılmıştır (Uygunoğlu, 2008), Kandil, 2021).

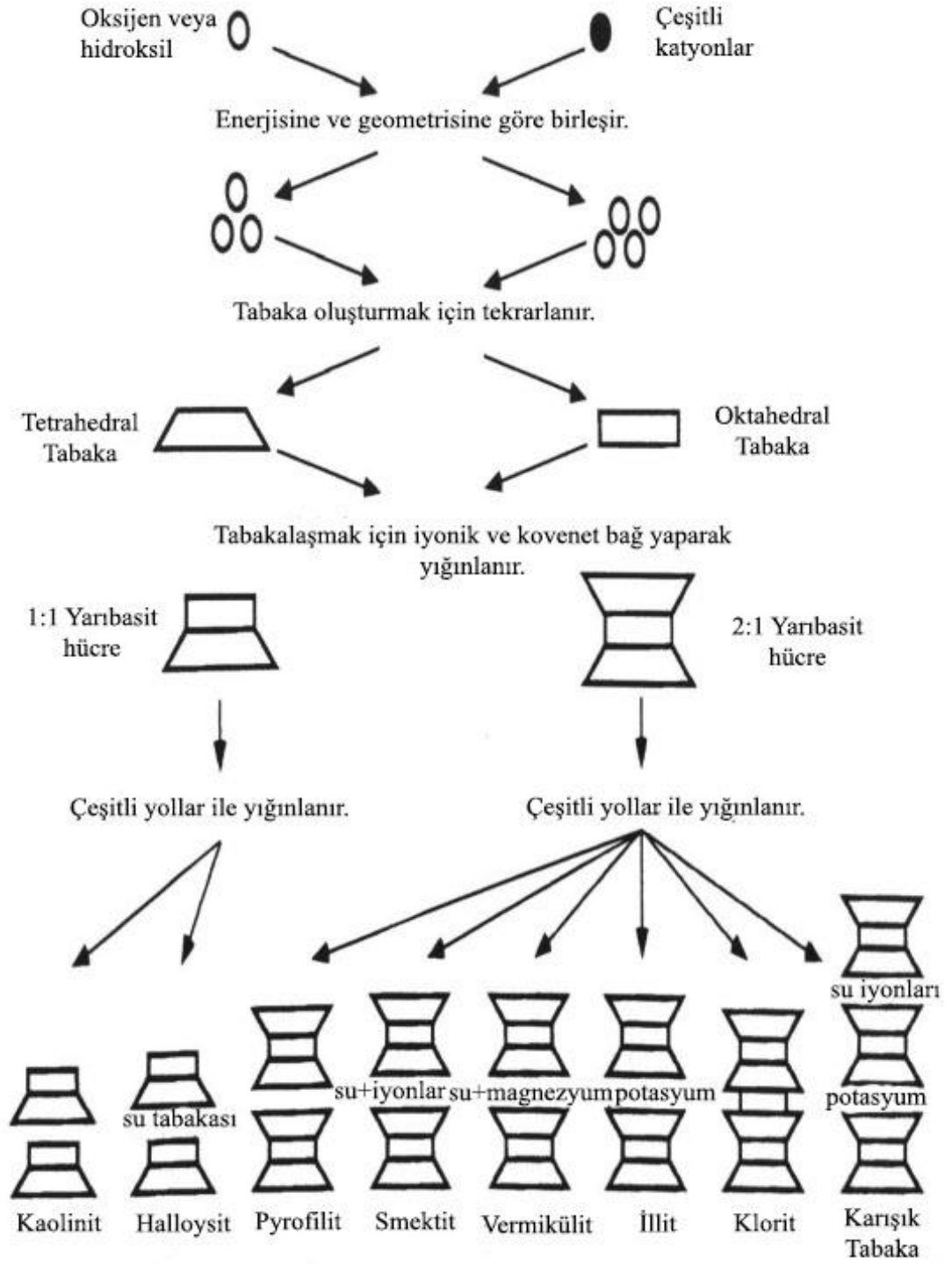
Hafif agregalar ile yapılan bir çalışmada kırmataşla üretilen KYB’lerde betonun taze birim ağırlığı su-toz oranına bağlı olarak 2325 ile 2283 kg/m³ arasında değerler aldığı görülmüştür. Pomza, tuf ve diatomit gibi hafif agregaların kullanılması durumunda ise KYB’nin taze birim ağırlığı 1814 ile 1640 kg/m³ arasında değerler aldığı görülmüştür. Sonuç olarak hafif agregaların kullanılmasıyla KYB’nin taze haldeki birim ağırlığının önemli derecede azaltıldığı görülmüştür (Uygunoğlu, 2008).

Geri kazanılmış agregalar kullanılarak yapılan bir araştırmada, ince geri kazanılmış agregaların ikame oranı artışına bağlı olarak kullanılan süperakışkanlaştırıcı kimyasal katkı ihtiyacında belirgin bir artış söz konusu olduğu gözlenmiştir (Kandil, 2021).

3.2 Agreganın İçerisinde İstenmeyen Malzeme: kil ve deney yöntemleri

3.2.1 Kil

Kil mineralleri yüksek anizometriklik, tabaka yükünün heterojenliği, geniş parçacık büyüklüğü dağılımı, belirli katyon değişim kapasitesi ve düzensiz partikül şekli nedeniyle diğer kolloidal maddelerden ayırt edilmektedir (Lagaly ve Ziesmer, 2003). Kil mineralleri mühendislik açısından incelendiğinde boyutu 0,002mm den küçük malzemeler olarak sınıflandırılır. Kil mineralleri, oktahedral ve tetrahedral olmak üzere iki tip atomik kristal yapıdan oluşmaktadır. Bu yapılar, tabakalar oluşturmak için iyonik ve kovalent bağlar ile bir araya gelirler. Bir araya gelen yarı-bazik birimler birden fazla farklı kombinasyonlarda gruplanarak farklı kil kökenlerini oluştururlar. Yapay olarak da sentezlenebilecek bu kil türleri ile ilgili örüntü Şekil 3.2’de gösterilmektedir (Pitre, 2012).



Şekil 3.2 Yapay olarak sentezlenebilecek kil türleri (Pitre, 2012)

3.2.2 Metilen Mavisi Deneyi

TS EN 933-9 standardına göre bu deney, ince agregada içindeki kilin absorbladığı boya miktarı hakkında fikir verir. Killerin absorblama yeteneğini kıyaslamada kullanılan bir yöntemdir.

Bu deney ilgili standarta göre şöyle yapılır:

En az 200 gram agregada ihtiva eden (0-2) mm tane büyüklüğüne sahip bir kısmi numune alınır. Kısmi numune (110 ± 5) 'ta sabit kütleye kadar kurutulur ve soğumaya bırakılır.

Kısmi numune 2 mm göz açıklıklı bir elekten elenir. Ayrıca etkin bir ayırmanın sağlanması için bir deney fırçası kullanılır. Elekten geçen deney numunesinin kütlesi tartılır ve 1 kg yaklaşımla M_1 olarak kaydedilir.

Daha sonra (500 ± 5) ml'lik damıtık veya demineralize su, behere konur ve kurutulmuş deney numunesi kısmı, spatül ile iyice karıştırılarak behere ilave edilir.

Boya çözeltisi çalkanılır veya iyice karıştırılır. Büret, boya çözeltisi ile doldurulur ve boya çözelti şişesi karanlık bir yerde muhafaza edilir.

Karıştırıcı, 600 devir/dakika hıza ayarlanır ve pervane, beher tabanından yaklaşık 10 mm yüksekte olacak şekilde yerleştirilir.

Karıştırıcı çalıştırılır ve kronometre tutularak beherdeki malzeme önce 5 dakika süreyle 600 devir dakika karıştırılır, takiben behere 5 ml boya çözeltisi eklenir ve en az 1 dakika 400devir/dakika hızda karıştırılır.

Süzgeç kağıdı üzerinde leke deneyi yapılır ve hale oluşumu incelenir. Eğer meydana gelen leke, renksiz ıslak bir bölge ile çevrelenen ve genellikle homojen mavi renkli bir merkezi malzeme birikintisi olmaz ise süspansiyon, 5 ml lik boya ilavesi yapılarak yeniden 1 dakika 400 devir/dakika hızda çalıştırılır.

5 dakika süreyle varlığını sürdüren bir hale meydana getirildikten sonra ilave edilen boya çözeltisinin toplam hacmi V_1 , 1 ml yaklaşımla kaydedilir ve aşağıda görülen Denklem 3.1 yardımıyla agreganın metilen mavisi değeri hesaplanır.

$$MB = \frac{V_1}{M_1} \times 10 \quad (3.1)$$

Burada;

M_1 : Deney numunesi kısmının kütlesi, g,

V_1 : İlave edilen boya çözeltisinin toplam hacmi, mL,

MB değeri, (0-2) mm aralığının beher kilogramı için kullanılan boya miktarı, 0,1 g yaklaşımla kaydedilir.

Metilen mavisi ile ilgili yapılan bazı çalışmalarda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- Metilen mavisi değerleri düşük olan agregalar ile yapılan betonların taze birim hacim ağırlığı yüksek olup, metilen mavisi değerleri yüksek olan agregalar ile yapılan betonların taze birim hacim ağırlığı değerlerinde Şekil 3.3'te görüldüğü gibi görece azalma eğilimi görülmektedir. Şekilde;

A: Metilen mavisi değeri 0.75 g/kg

B: Metilen mavisi değeri 1 g/kg

C: Metilen mavisi değeri 1.10 g/kg

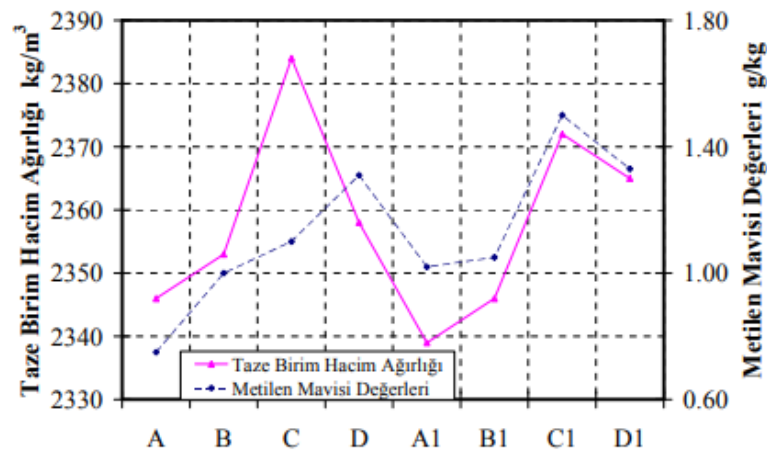
D: Metilen mavisi değeri 1.31 g/kg

A1: Metilen mavisi değeri 1,02 g/kg

B1: Metilen mavisi değeri 1,05 g/kg

C1: Metilen mavisi değeri 1,50 g/kg

D1: Metilen mavisi değeri 1,33 g/kg olan ince agregayı temsil etmektedir. (Yitik, 2006).



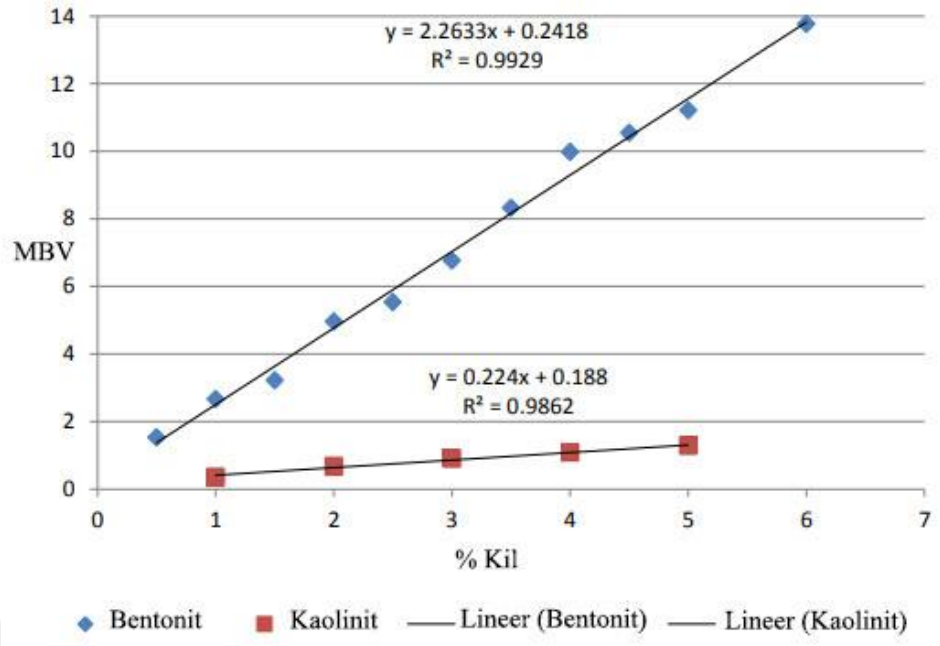
Şekil 3.3 Taze birim hacim ağırlık-metilen mavisi ilişkisi (Yitik, 2006)

- Geleneksel betonda, metilen mavisi değerinin basınç dayanımını olumsuz etkilediği pek çok araştırmacı tarafından gözlenmiştir. Metilen mavisi yüksek agregalar ile beton dökümü yapıldığında, betonların 28 günlük basınç dayanımları düşük elde edilirken metilen mavisi değeri düşük olan agregalı dökümlerde görece daha yüksek basınç dayanımları elde edilmiştir (Topçu ve Demir, 2008), (Yitik, 2006).

- Kendiliğinden yerleşen betonlarda da basınç dayanımının metilen mavisi değerinden olumsuz etkilendiği ve aynı işlenebilirlik için karışımdaki kimyasal katkı oranını artırdığı gözlenmiştir.(Felekoğlu, 2005)

- Betonun kme değeri, karma suyu miktarı ile doğrudan ilişkilidir. Metilen mavisi yüksek olan agregalar, beton içeresindeki karma suyu daha fazla emerek betonun işlenebilirliğini azaltmaktadırlar. Deneysel olarak da yapılan çalışmada metilen mavisi değeri artıkça betonun çökme değeri azalmaktadır (Topçu ve Demir, 2008).

- Bazı killerin metilen mavisi deneyi ile kirlilik oranı arasında daha iyi bir korelasyon ilişkisi verdiği bilinmektedir. Bentonit, iki silika tetrahedral tabaka ve bir alüminyum oktahedral tabakanın birleşiminden oluşan bir kil türüdür (Dimirkou, Ioannou ve Doula, 2002). Kaolinit ise bir oktahedral ve bir tetrahedral tabakadan oluşan bir kil türüdür. Bu iki kil türünün ikame oranları ve verdikleri metilen mavisi değerleri arasında bir korelasyon kurulmuştur. Bentonit kökenli killerin metilen mavisi değerlerinin kil miktarı ile güçlü korelasyon gösterdiği deneysel olarak tespit edilmiştir. Oysa kaolin kili miktarı arttıkça metilen mavisi değerleri aynı oranda artmamaktadır. şekil 3.4’de bu durum açıkça gösterilmiştir (Pitre, 2012).



Şekil 3.4 Kil kökenine göre metilen mavisi deneyi sonuçları (Pitre, 2012)

BÖLÜM DÖRT

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON TAZE HAL ÖZELLİKLERİ VE İŞLENEBİLİRLİK

4.1 Kendiliğinden Yerleşebilirlik Deneyleri

Kendiliğinden yerleşen betonun kalite kontrolünde geleneksel betona kıyasla daha fazla sayıda deney yöntemi geliştirilmiştir. Deney yöntemleri EFNARC (2005) şartnamesine göre değerlendirilecek özellik bazında Tablo 4.1'deki gibi dört farklı sınıfa ayrılmaktadır.

Tablo 4.1 EFNARC (2005) e göre karakteristik özelliğe göre önerilen deneyler ve ölçülen değerler

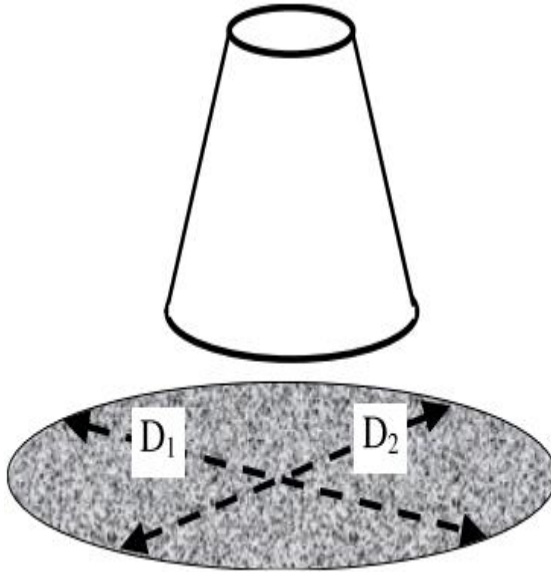
Karakteristik Özellik	Test Yöntemi	Ölçülen Değer
Yayılma/Doldurma Yeteneği	Çökme-Yayılma Deneyi	Toplam Yayılma
	Doldurma Kutusu (Kajima Deneyi)	Görsel Doldurma
Viskozite/akıcılık	T500 süresi Deneyi	Akış Süresi
	V-kutusu Deneyi	Akış Süresi
	O-kutusu Deneyi	Akış Süresi
	Orimet Deneyi	Akış Süresi
Geçiş Yeteneği	L kutusu Deneyi	Geçiş Oranı
	U kutusu Deneyi	Yükseklik Farklılıkları
	J Halkası Deneyi	Bütün Akış, Adım Yüksekliği
	Doldurma Kutusu (Kajima Deneyi)	Görsel Geçiş Yeteneği
Ayrışmaya karşı dayanımı	Penetrasyon deneyi	Batma Derinliği
	Elek Ayrışma deneyi	Beton Yüzeyi
	Kolon Yöntemi Kullanılarak Yapılan Ayrışma deneyi	Ayrışma Oranı

Tablo 4.1'deki KYB deneyleri aşağıda sırası ile açıklanmıştır. Daha sonra bu tabloda yer almayan diğer bazı taze beton deneylerinden bahsedilmiştir.

4.1.1 Yayılma / Doldurma Akıcılık Yeteneğini Ölçen Deneyler

4.1.1.1 KYB Yayılma Deneyi

Taze betonun 500 mm çapa yayılma süresi ve nihai yayılma çapı ölçülür. TS EN 12450-8'e göre bu deneyin yapılışı kısaca şöyledir: Şekil 4.1'de görülen kesik koni şeklindeki standart çökme hunisi betonla doldurulur ve eğimsiz yüzeydeki yayılma tablasının merkezine yerleştirilir. Bilindiği gibi normal betonda sıkıştırma enerjisini temsilen deneyde şişleme yapılır. Fakat KYB sıkıştırma enerjisine ihtiyaç duymadığından şişleme yapılmaz. KYB yüksek sıvı formda olduğu için beton, bir kap yardımıyla standart çökme hunisine doldurulur. Çökme hunisinin KYB'nin yaratacağı hidrostatik basınçtan dolayı havaya kalkmasını engellemek için huniyi iyice bastırmak gerekir. Huni tam olarak doldurulduktan sonra havaya kaldırılarak betonun yayılması beklenir. Yayılma durduktan sonra birbirine dik iki eksenden, şekilde D1 ve D2 olarak gösterilen, çap ölçülür. İlgili standartlara göre bu çap kıyaslanarak betonun KYB olup olmadığına karar verilir. Nihai yayılma çapı eşik kayma gerilmesi ile ilişkilidir. Belli çapa (500 mm) yayılma süresi ise plastik viskozite ile ilgilidir.



Şekil 4.1 Yayılma deneyi

4.1.1.2 Doldurma Kutusu Deneyi (Kajima Deneyi)

Betonun sık donatılı yerlerdeki geçiş yeteneğini ölçmek amacıyla bu deney yöntemi kullanılmaktadır. Şekil 4.2'de görüldüğü gibi düşeyde beş, yatayda yedi adet olmak üzere toplam otuz beş adet 20mm çaplı donatıdan oluşan sistemde deney düzeneğinin yüzeyleri şeffaf bir malzemeden yapılmış olup betonun akış hareketi

gözlemlenebilmektedir. Hazneye bir ucundaki 500 mm yükseklikteki borudan belirli bir hız ile (5 saniyede 1,5-2 lt) doldurulan betonun donatılar arasından akışı sağlanır. Akış tamamlandıktan sonra haznenin karşılıklı iki ucundaki beton seviyesi üç noktadan ölçülerek ortalaması alınır. Bu iki değer kullanılarak “doldurma oranı” hesaplanır (Sertbaşı, 2006).



Şekil 4.2 Doldurma Kutusu Deneyi (Kajima Deneyi)(UTEST Malzeme Test Cihazları, 2017)

4.1.2 Viskozite/ Akıcılık Yeteneğini Ölçen Deneyler

4.1.2.1 V hunisi Akış Süresi Deneyi

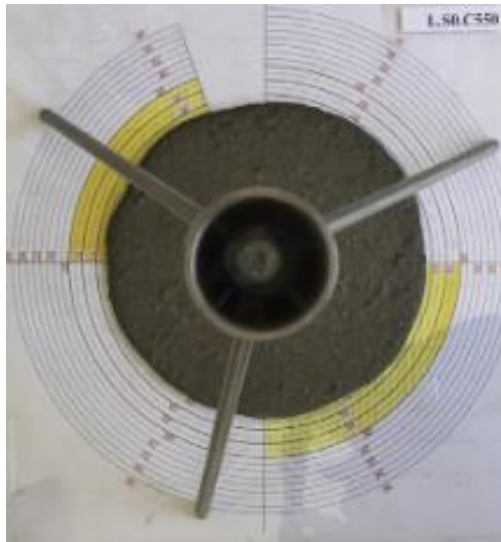
Şekil 4.3’de görülen V şekilli akış hunisi taze beton viskozitesini dolaylı yoldan ölçmek amacıyla kullanılır (Su, Hsu ve Chai, 2001). TS EN 12450-9’e göre V hunisi deneyi şöyle yapılır: Kutunun üst kısmında beton yerleştirilir. Daha sonra orifisten çıkış süresi ölçülür. Betonun akış nedeni kendi ağırlığının eşik gerilmesini aşması olduğundan deney plastik viskozite ile ilişkilendirilebilir. Daha sonra bu veri ile betonun viskozitesi hakkında yorum yapılabilir. V hunisinin hacmi 12 lt’dir. Bu deney aletinin boyutları harç için farklıdır.



Şekil 4.3 V hunusi (Su ve diğerleri, 2001)

4.1.2.2 Orimet Deneyi

Orimet deneyi viskoziteyi belirlemede kullanılan bir başka deney yöntemidir. Şekil 4.4'te görülen deney aparatı 6 cm uzunluğunda ve 80 mm çapında bir tüp ve tüpün altında açılabilir bir kapaktan oluşur. Deney şöyle yapılır; Huninin üstünden beton doldurulur, daha sonra kapak açılır ve betonun kaç saniyede huniyi boşalttığı ölçülür. Buna göre de betonun viskozitesi sınıflandırılır (Yaseri ve diğerleri, 2018).

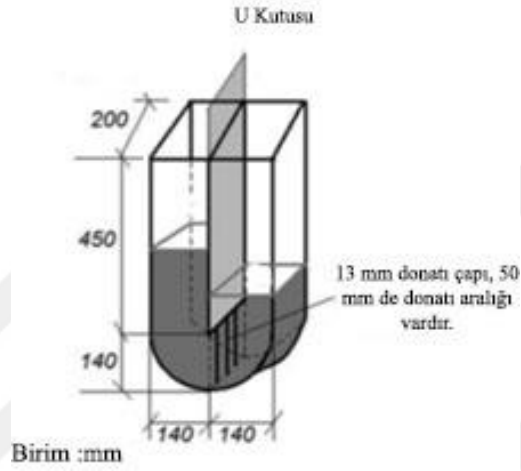


Şekil 4.4 Orimet Deneyi (Yaseri ve diğerleri, 2018)

4.1.3 Geçiş Yeteneğini Ölçen Deneyler

4.1.3.1 U Kutusu Deneyi

Taze betonun hem donatılar arası geçiş hem de doldurma yeteneğinin bir arada değerlendirilmesinde bu deney kullanılır. Şekil 4.5'te görülen U şeklindeki aparatın ortasında donatıları temsil eden çelik çubuklar bulunur ve kayar kapak ile U kutusunun yarısı kapatılır. Daha sonra U kutusunun bir kısmına beton doldurulur. Kapak açılarak betonun donatılar arasından geçerek doldurma yüksekliği ölçülür (Wang, Dai, Si, Ma ve Guo, 2020).

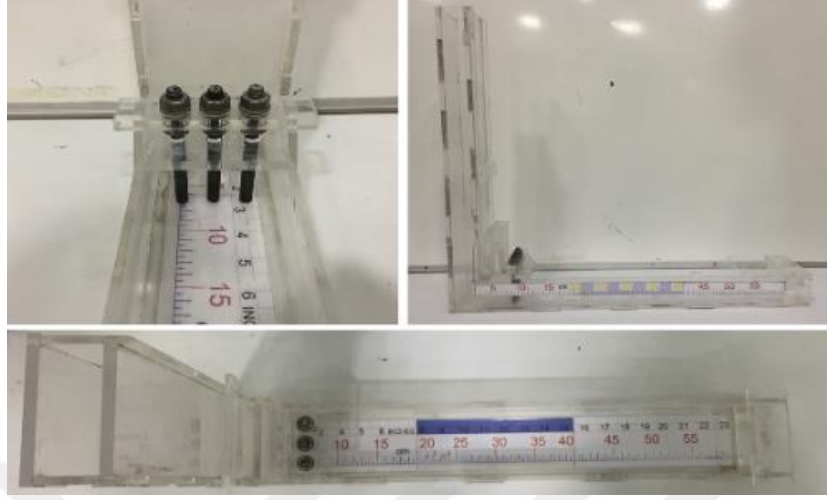


Şekil 4.5 U kutusu Deneyi (Wang ve diğerleri, 2020)

4.1.3.2 L Kutusu Deneyi

KYB'nin geçiş yeteneğini ölçmek için kullanılan bir deney yöntemidir. Şekil 4.6'de görülen L kutusundan ilk olarak Japonya'da M.Sonebi tarafından L-Flow ismiyle su altı betonları tasarımda yararlanılmıştır. Bu deney yöntemi daha sonra Ö.Petersson tarafından geliştirilerek Fransa'da kendiliğinden yerleşen beton ön çalışmalarında kullanılmıştır (Sertbaşı, 2006). L şeklinde yatay ve düşey prizmatik dikdörtgen bölümlerden oluşan geçiş kesitinde ise düşey demir çubuklar bulunur. Düşey kısım hareketli bir kapak yardımıyla kapatılır ve taze beton üstten doldurulur. Beton tamamen dolduktan sonra ayırıcı kapak kaldırılır ve betonun demir çubuklar arasından akması sağlanır. Daha sonra yatay kalıbın ucundaki beton yüksekliği (H1) ve düşey kalıbın yüksekliği (H2) birbirine oranlanır. Bu değer ilgili standart ile kıyaslanarak betonun akıcılığı ve donatılar arasındaki geçiş yeteneğine göre sınıflandırılır. Ayrıca kapak açılmasından önce donatıdan 20 cm ve 40 cm uzaklıklar işaretlenerek betonun t_{20} (20 cm'ye gelme süresi) ve t_{40} (40 cm'ye gelme süresi) ölçülür ve aynı şekilde buna

göre sınıflandırılır. Asıl önemlisi $H1 / H2$ oranı yani bloklanma oranı bu deney ile bulunur (Yaseri ve diğerleri, 2018).



Şekil 4.6 L kutusu Deney Aleti (Yaseri ve diğerleri, 2018)

4.1.3.3 J Halkası Deneyi

Bu deney yayılma deneyi ile birlikte yapılır. Şekil 4.7'da görülen bu aparat 40 cm çaplı halkaya sabit aralıkta dikey çelik çubukların bağlanması ile hazırlanmıştır. Çubuklar donatıları temsil etmektedir. Çubuklar arası açıklık kullanılacak agreganın 4 katından az olmamalıdır. J halkası yayılma deneyi yapılırken betonun üstüne yerleştirilir. Daha sonra halkanın merkezinden ve halkanın hemen dışındaki beton yükseklikleri ölçülür. Buradaki yükseklik farklarına göre de geçiş yetenekleri belirlenir (Concrete Society, 2021).

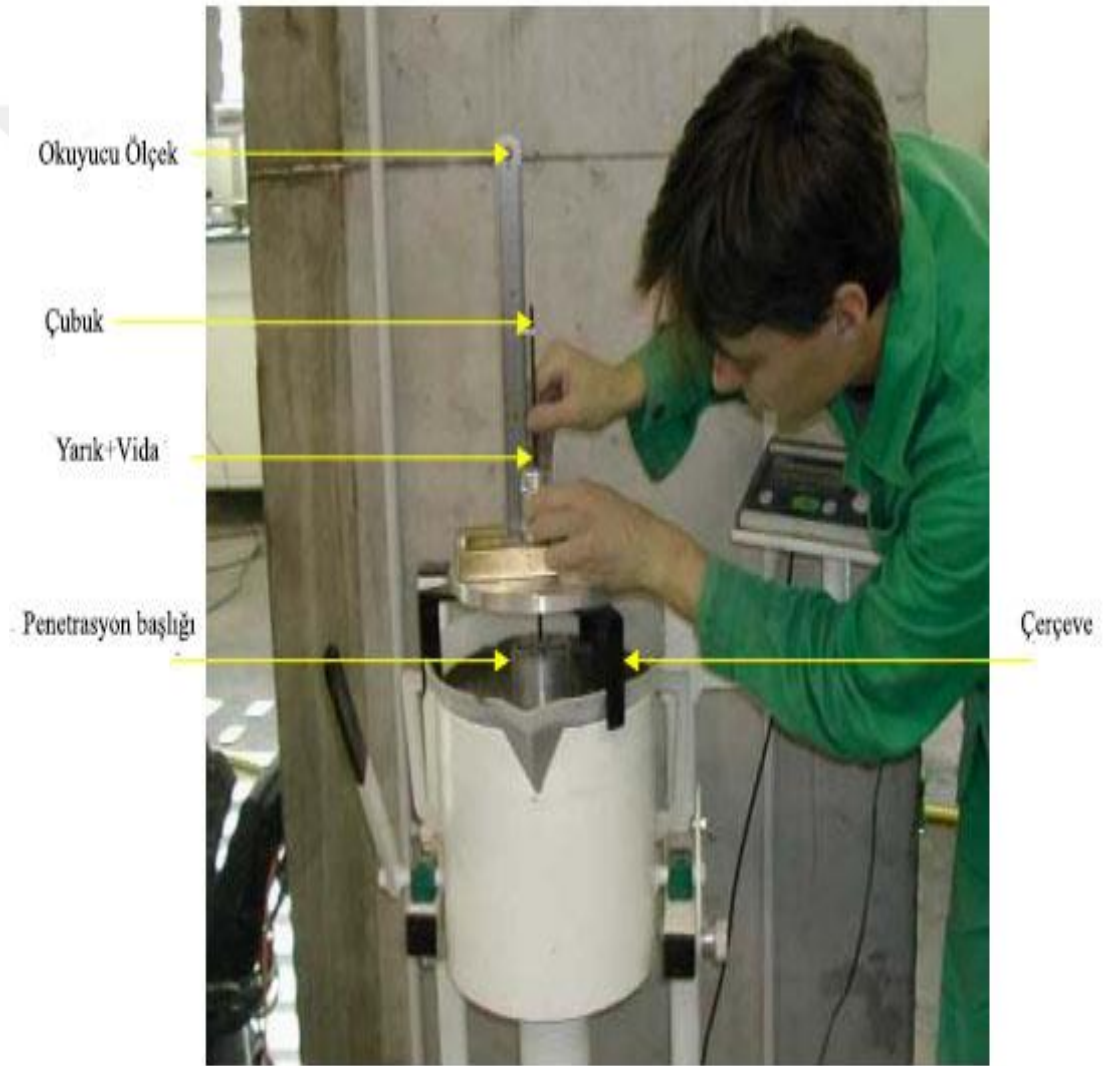


Şekil 4.7 J Halkası Deneyi (Concrete Society, 2021)

4.1.4 Ayrışmaya Karşı Dayanımı Ölçen Deneyler

4.1.4.1 Penetrasyon çubuğu

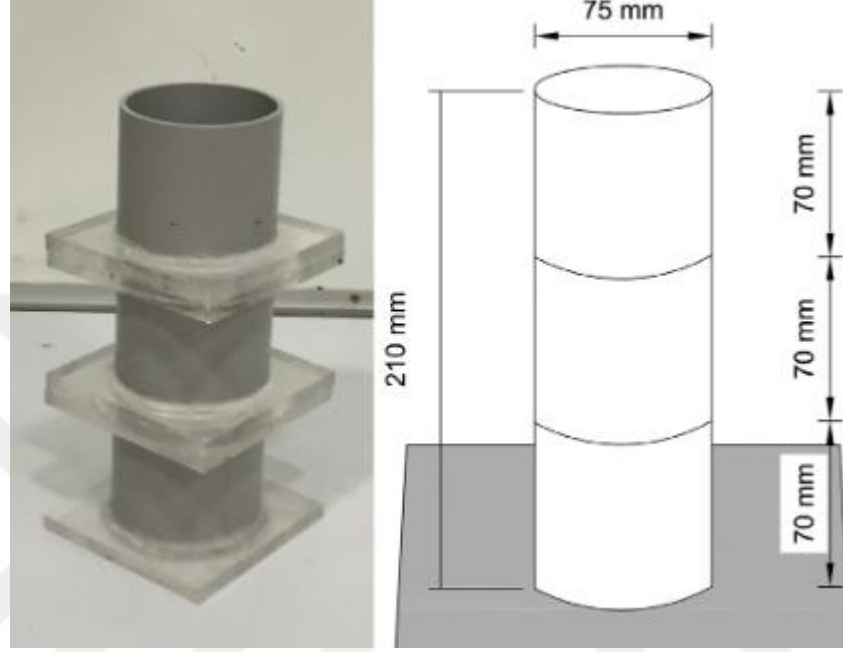
Şekil 4.8'de görülen ve sahada uygulama kolaylığı olan bu deney şöyle yapılır; Belirli bir yükseklikten serbest düşüşe bırakılan çubuğun kalıbın içindeki betona batma miktarı belirlenir ve bu miktar eşik kayma gerilmesi ile ilişkilendirilir. Aynı zamanda priz süresini de ölçer. Penetrasyon yüksekliği olarak belirlenen deney sonucu KYB'nin kararlı olup olmadığı hakkında yorum yapılmasını sağlar (G.De Schutter, 2008).



Şekil 4.8 Penetrasyon çubuğu (G.De Schutter, 2008)

4.1.4.2 Kolon Yöntemi Kullanılarak Yapılan Statik Ayırışma Testi

Kendiliğinden yerleşen taze beton numunesi herhangi bir sıkıştırma yapmadan kalıba yerleştirilir. Test için tasarlanmış bu kalıp, silindirik numunenin farklı seviyelerini (kolonu) temsil etmek amacıyla Şekil 4.9’da görüldüğü gibi 3 farklı kısımdan oluşmaktadır.



Şekil 4.9 Kolon Yöntemi Kullanılarak Yapılan Statik Ayırışma Test Düzenegi (Yaseri ve diğerleri, 2018)

Taze haldeki KYB numunesinin bir kısmı, kalıbın altında ve üst kısmında 4,75mm açıklıklı (No.4) eleğinden geçirilerek, kaba agreganın elek üstünde kalması sağlanır. Daha sonra üstteki ve alttaki elek üstünde kalan kaba agregalar tartılır ve statik ayırışma Denklem 4.2 ve Denklem 4.3 ile ampirik olarak hesaplanır (ASTM C1610 Standard Test Method for Static Segregation of Self-Consolidating Concrete Using Column Technique, 2015).

$$S = 2 \left[\frac{(CA_B - CA_T)}{(CA_B + CA_T)} \right] * 100 \quad \text{eğer } CA_B > CA_T \quad (4.2)$$

$$S = 0 \quad \text{eğer } CA_B \leq CA_T \quad (4.3)$$

S = statik ayırışma, oran

CA_T = Üst kısımda kalan kaba agreganın ağırlığı

CA_B = Alt kısımda kalan kaba agreganın ağırlığı

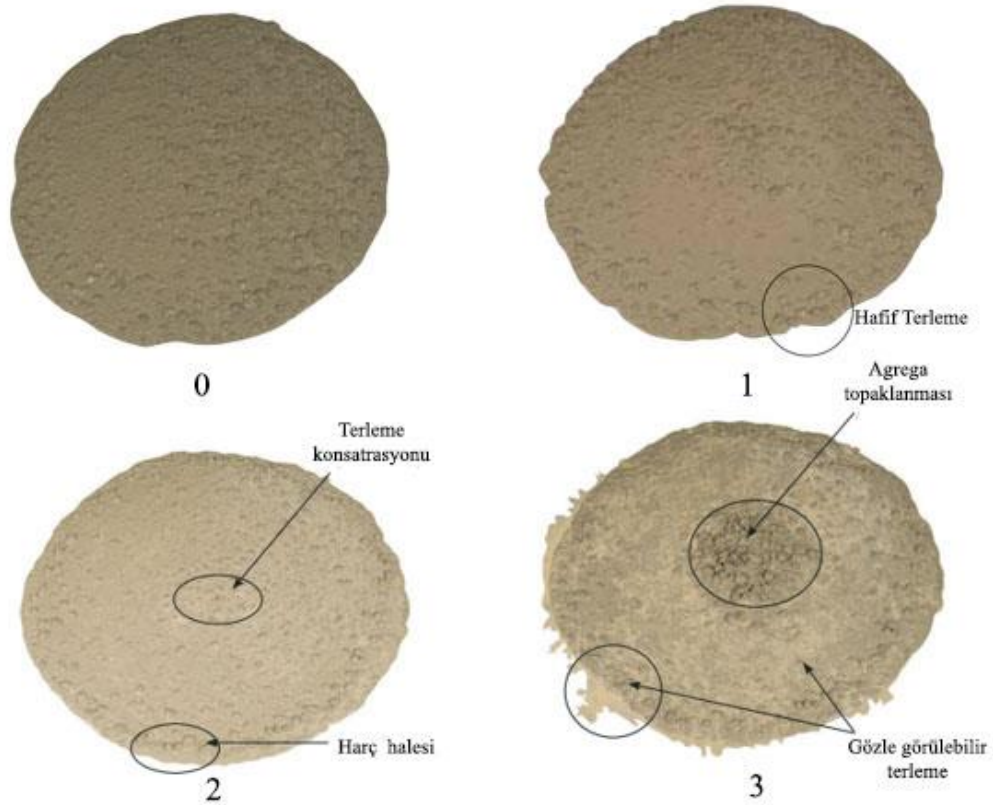
4.1.5 CTM Stabilite Deneyi

Fransız CTM müteahhitlik firması tarafından geliştirilen bu deney yöntemi şöyle yapılmaktadır; Belirli miktarda taze beton tabanında 5 mm elek olan bir kaba boşaltılmakta ve 2 dk bekletilmektedir. Daha sonra elekten geçen harç tartılmaktadır. Elekten üstünde kalan beton ağırlığı elekten geçen harç ağırlığına oranlanır ve bir katsayı elde edilir. Bu katsayıya göre betonda ayrışma riski belirlenir (Koehler ve Fowler, 2007).

4.1.6 Görünür Stabilite Deneyi

“Görünür Stabilite İndeksi” kavramını pratik kullanımı olduğundan ortaya çıkan bir deney yöntemidir. Bu yöntemle göre, yayılma çapındaki stabilite problemleri, aşağıda verilen Tablo 4.2 yardımıyla gruplandırılmış ve her durum için 0 ile 3 arası bir değer belirlenmiştir. KYB’nin stabilitesinin uygunluğu stabilite indeksinin 0 ve 1 olması halinde mümkündür (Şekil 4.10) (Builders Solutions by BASF, 2021).

GÖRÜNTÜ STABİLİTE İNDEKSİ (GSI)



Şekil 4.10 Görüntü Stabilite İndeksleri (Builders Solutions by BASF, 2021)

Tablo 4.2 Görünür Stabilité İndeksi seviyeleri (Builders Solutions by BASF, 2021)

Seviye	Şart
0	<i>Yüksek performanslı KYB</i> , ayrışma belirtisi yok, yayılma çapı boyunca agrega dağılımı üniform, çap etrafında terleme veya harç ayrışması yok
1	<i>Kullanılabilir KYB</i> , yayılma çapında agrega dağılımı homojen, çap etrafında hafif terleme ve yüzeyde hava kabarcığı olabilir fakat yine belirgin bir harç ayrışması yok
2	<i>Uygun Olmayan KYB</i> , ayrışma belirtileri var, yayılma çapı eteklerinde harç halkası (<10 mm) ve/veya merkezde hafif agrega kümelenmesi gözleniyor. ÖNLEM: Bu durumda, karışıma toz ilavesi ile stabilite artırılıp deney tekrarlanır.
3	<i>Yüksek Derecede Uygun Olmayan KYB:</i> Yayılma çapı eteklerinde kalın harç halkası (> 10 mm) ve/veya merkezde yoğun agrega kümelenmesi var. Mikser içinde kalan bir hamur tabaksı yüzeyde birikmiş durumda.

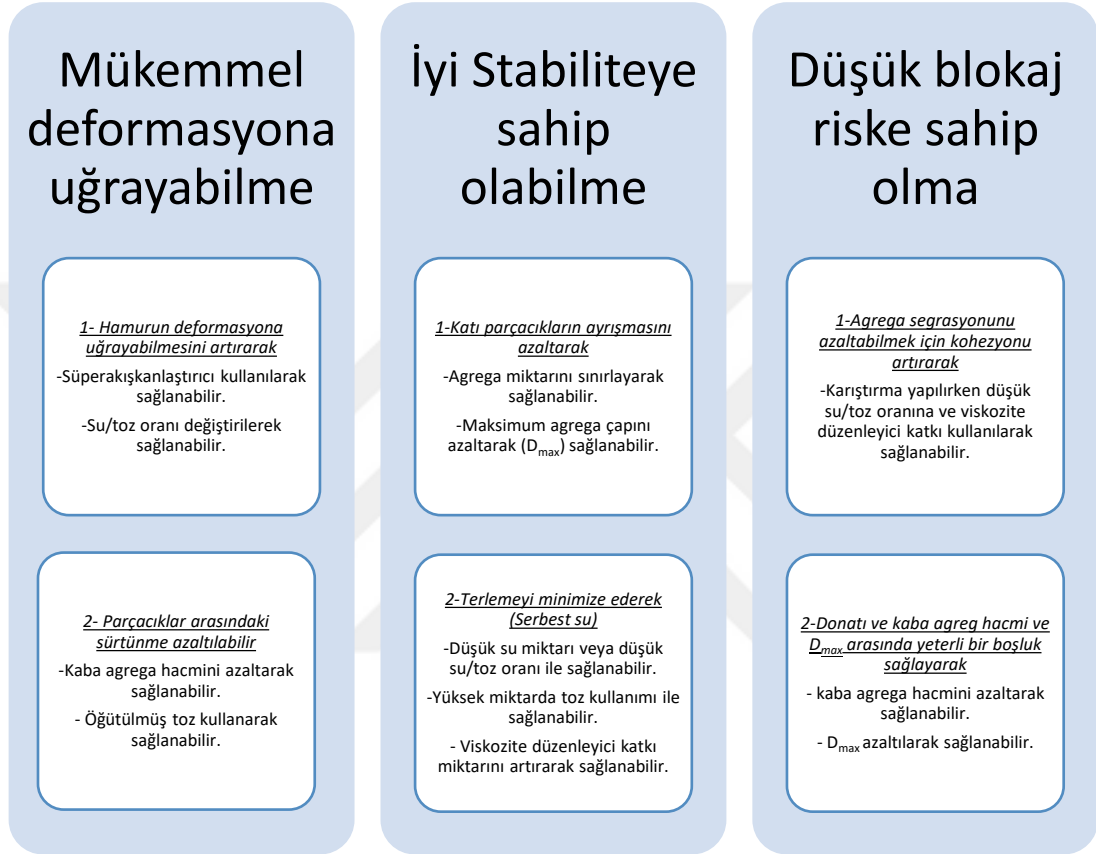
Bütün bu deneyler bir numune üzerinde yapılmakta ve bu numunenin bütün beton hacmini temsil ettiği kabul edilmektedir. Yerinde ve sürekli denetim sağlamak amacıyla Japonya’da Osaka LNG gaz tanklarının inşasında KYB kalite kontrolü için Şekil 4.11’de ki gibi bir deney aparatı mikserlerin arkasına takılmıştır ve eğer aparat üzerinde beton birikmesi olursa pompa durdurulup tasarıma yerinde müdahale yapma fırsatı olmuştur. (Okamura ve Ouchi, 2003)



Şekil 4.11 Japonya Osaka LNG gaz tanklarının inşasında KYB kalite kontrolü için kullanılan deney aparatı (Okamura ve Ouchi, 2003)

4.2 Kendiliğinden yerleşebilirlik ve tasarım kriterleri

Başarılı bir KYB'nin, herhangi bir dış vibrasyon etkisi olmadan, sık donatılı olsa da kalıbı sıkışık hava boşluğu bırakmayacak şekilde doldurabilmesi gerekmektedir. Bu esnada ayrışma direnci de sağlanmalıdır. Böyle başarılı bir KYB elde etmek için Tablo 4.12'de görülen işlenebilirlik gereksinimleri sağlanmalıdır (Şahmaran, 2006).



Şekil 4.12 Başarılı bir KYB için gerekli işlenebilirlik gereksinimleri (Şahmaran, 2006)

Ayrıca yapılan çalışmalar sonucunda başarılı bir KYB üretebilmek için aşağıda maddeler halinde bahsedilen üç yaklaşım bulunmaktadır.

- Geleneksel betona kıyasla KYB üretimindeki toz madde miktarını artırmak, buna “Toz metodu” denilmektedir.
- Farklı tipte kimyasal katkı kullanımı, örneğin viskozite düzenleyici katkı kullanımı ile kendiliğinden yerleşebilirlik özellikleri sağlanabilmektedir. Bu yönetime, “Stabilizatör metodu” denilmektedir.
- Son olarak diğer iki yöntemin birleştirilmesidir. Buna “Kombinasyon metodu” denilmektedir (Ahari, 2014).

4.2.1 EFNARC 2005, ACI 237 ve TS 802 Tasarım Kriterleri

KYB tasarımı için ulusal ve uluslararası pek çok tasarım kriterleri bulunmaktadır. Bunlardan standartlaşmış olarak en önemlilerden birkaçı bu bölümde tanıtılacaktır.

ACI 237, Amerikan Beton Enstitüsü tarafından ilk olarak 2007 yılında çıkarılmıştır (American Concrete Institution, 2007). Standart, KYB'nin tanıtımı, taze ve sertleşmiş beton özelliklerinin, karışım bileşenlerinin oranı ve son olarak üretim ile ilgili detaylı bilgiler veren 5 bölümden oluşmaktadır.

EFNARC 2005, Avrupa Betonu Temsil Eden Ulusal Dernekler Federasyonu tarafından 2005 yılında oluşturulmuş bir standarttır (EFNARC, 2005). 13 farklı bölümden oluşan standart, KYB hakkında detaylı bilgiler sunmaktadır.

TS 802, Türk Standartları Enstitüsü tarafından beton karışımı ve tasarım hesapları adı ile ilk olarak 2009 yılında yürürlüğü girmiştir (Türk Standartları Enstitüsü, 2016). KYB ile ilgili kısım ise 2016 yılında eklenerek standart yenilenmiştir. Diğer standartlara göre daha kısa olmasına rağmen KYB hesabı konusunda gerekli temel bilgileri barındırmaktadır. Her üç standartta da KYB'nin karışım bileşenleri hakkında Tablo 4.3'te görülen önerilen bileşen miktarları verilmektedir.

Tablo 4.3 Farklı standartlara göre karşılaştırmalı karışım bileşenleri

<i>Bileşenler</i>	TS 802	EFNARC 2005	ACI 237
Hamur oranı	300-380 dm ³ /m ³ arasında olmalı	300-380 litre/m ³ arasında olmalı	Toplam hacmin %34'ü ile %40'ı arasında olmalı
Harç oranı	-	-	Toplam hacmin %68'i ile %72'si arasında olmalı
Toz oranı	-	380-600 kg/m ³ arasında olmalı	*386-475 kg/m ³ arasında olmalı
Kaba agregası	270-360 dm ³ /m ³ arasında olmalı	270-360 litre/m ³ arasında olmalı	Toplam hacmin %28'i ile %32'si arasında olmalı
İnce agregası	Toplam agregası ağırlığının %45-%55 arasında olmalı	Toplam agregası ağırlığının %48-%55 arasında olmalı	-
Çok ince malzeme (0,125 mm elekten geçen tüm malzeme)	380-600 kg/m ³ arasında olmalı	-	-
Su Miktarı	150-210 dm ³ /m ³ arasında olmalı	150-210 litre/m ³ arasında olmalı	-
Hacimce su/ çok ince malzeme oranı	0,85-1,10	0,85-1,10	-

* Harç oranı için, ACI 237'de farklı çökme yayılma aralıklarında farklı toz oranları önerilmektedir. Bu öneri Tablo 4.4'te verilmektedir.

Tablo 4.4 ACI 237'e göre önerilen toz miktar aralığı (American Concrete Institution, 2007)

	Çökme yayılma değeri <550 mm ise	Çökme yayılma değeri 550 ile 600 mm arasında ise	Çökme yayılma değeri > 650 mm ise
Toz oranı (kg/m³)	355-385 arasında olmalı	385-445 arasında olmalı	458 ve üzerinde olmalı

Çökme yayılma değerlerine göre her üç standart KYB'leri sınıflara ayırmıştır. Bahsedilen yayılma değer aralıkları ise Tablo 4.5'te görülmektedir.

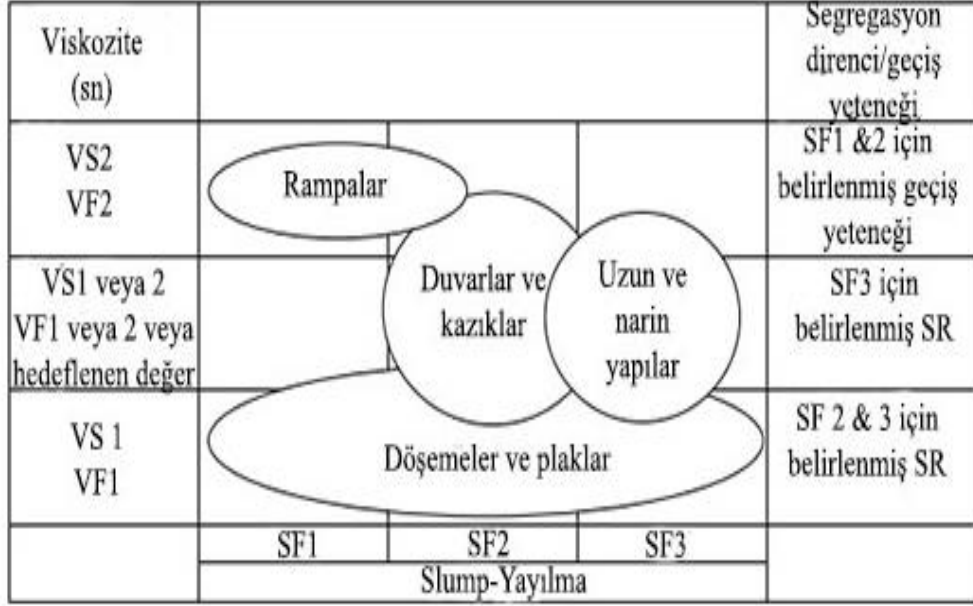
Tablo 4.5 Çökme yayılma değerleri

ACI 237	Çökme yayılma değeri <550 mm olanlar	Çökme yayılma değeri 550 ile 600 mm arasında olanlar	Çökme yayılma değeri > 650 mm olanlar
EFNARC 2005	Çökme yayılma değeri 550 ile 650 mm olanlar	Çökme yayılma değeri 660 ile 750 mm arasında olanlar	Çökme yayılma değeri 760 ile 850 mm arasında olanlar
TS 802	Çökme yayılma değeri 520 ile 700 mm olanlar	Çökme yayılma değeri 640 ile 800 mm arasında olanlar	Çökme yayılma değeri 740 ile 900 mm arasında olanlar

KYB bilindiği gibi harici bir vibrasyon etkisine ihtiyaç duymamaktadır. Fakat ACI 237'e göre, 550 mm'den az çökme yayılma değerine sahip KYB'ler için minör bir vibrasyon gerekebilir. Bu ve başka nedenlerden (sık donatılı betonarmede boşluklar kalabileceği sorunu) dolayı çökme yayılma değeri 550 mm den küçük olan KYB'ler kullanılmamalıdır (American Concrete Institution, 2007) Ayrıca TS 802 yönetmeliğinde, 740 mm ile 800 mm çökme yayılma değerleri birbiri içine geçerek her iki çökme-yayılma sınıfına da girecek şekilde belirtilmektedir (Türk Standartları Enstitüsü, 2016).

Çökme yayılma değeri dışında taze beton özellikleri için ACI 237 de herhangi bir kriter belirtilmemektedir. Fakat EFNARC 2005 ve TS 802 standartları V hunisinden geçiş hızı, L kutusundaki bloklanma oranı elek ayırma direnci gibi değerler için sağlanması gereken kriterlerden bahsetmişlerdir.

Ayrıca EFNARC 2005 taze beton sınıflandırılma kriterleri ile KYB'lerin uygun kullanım alanlarını belirlenmiştir. Bahsedilen uygun kullanım alanları Şekil 4.13'de görülmektedir (EFNARC, 2005).



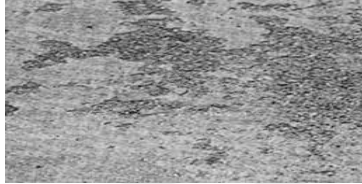
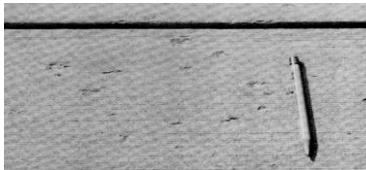
Şekil 4.13 Taze beton özelliklerine göre KYB kullanım alanları (EFNARC, 2005)

ACI 237 standardında KYB için tipik su bölü çimento oranını 0,32 ile 0,45 arasında olduğunu söylenmiştir. Diğer iki şartnamede bu oran ile alakalı herhangi bir yorum yapılmamıştır (American Concrete Institution, 2007).

Standartlardaki tasarım kriterlerini göz önünde bulundurabilmek istenilen özelliklerde KYB elde edebilmek için çok önemlidir. Bu kriterler göz önünde bulundurulduğu takdirde oluşabilecek birçok deformasyonun öne geçilebilecektir.

Son olarak EFNARC 2005 standartında, diğer standartlarda bahsedilmeyen, döküm sırasında veya sonrasında oluşan kusurların nedenlerinden ve nasıl önlenebileceğinden bahsetmiştir. Bu bilgiler genel olarak Tablo 4.7'de, kusurların oluşmasındaki fiziksel nedenler ve kusura ait fotoğraflar ise Tablo 4.6'de görülmektedir.

Tablo 4.6 KYB’de oluşabilecek kusurlar (EFNARC, 2005), (Akhlaghi, Babarsad, Derikvand ve Abedini, 2020), (Sayahi, 2019), (Portland Cement Association, 2001), (Kenna ve Archbold, 2016)

Kusurlara Ait Fotoğraflar	Kusurlar	Fiziksel Sebepleri
	Hava Delikleri	Zayıf doldurma yeteneği, Zayıf geçiş yeteneği, Yüksek viskozite veya yüksek akma gerilmesi, Düşük çökme yayılma değeri veya uzun T500 zamanı olması, Ani çökme yayılma düşmesi olması
	Beton yüzeyinde yatay çizgiler veya görünür su oyulmaları	Düşük stabilite
	Renk Değişimi	Kalıp veya yağdan kaynaklanan geciktirici veya lekelenme etkisi
	Zayıf, düzensiz döküm yüzeyi	Yüksek kalıp basıncı, çok düşük plastik viskozite
	Beton yüzeyinin tanalenmesi	Yetersiz doldurma kabiliyeti, Yetersiz geçiş yeteneği, yetersiz stabilite, çok düşük çökme yayılma ve/veya çok düşük T ₅₀₀ süresi, agreganın/hamur hacminin ayrışması
	Beton yüzey harcında bozulma	Yetersiz stabilite, ayrışma ve/veya betonun kusması, çok hızlı kuruma
	Farklı döküm partileri arasında gözle görülür birleşim yüzeyi oluşması (Genel olarak "soğuk derz" ismi ile bilinen kusur)	Yetersiz doldurma kabiliyeti, tiksotropik priz, çok hızlı çökme yayılma kaybı, çok yüksek viskozite, kimyasal katkı-çimento etkileşimi
	Plastik çatlama (Erken büzülme ve plastik oturma)	Plastisitenin artması, kuruma büzülmesi, düşük stabilite

Tablo 4.7 KYB’de EFNARC’a göre oluşabilecek kusurlar, nedenleri ve önlem yöntemleri(EFNARC, 2005)

Kusur Tipi	Ana Sebep	Pratik sebepleri	Nasıl önlenebileceği veya düzeltilebileceği
Hava Delikleri	Hapsolmuş Hava, Hapsolmuş Su, Hapsolmuş Kalıp Yağı	Aşırı ince daneler/ yüksek spesifik yüzey alanı	İnce malzemeyi azaltarak
Hava Delikleri	Hapsolmuş Hava, Hapsolmuş Su, Hapsolmuş Kalıp Yağı	Fazla veya düzgün olmayan kalıp yağı uygulanması	Minimum ve düzgün kalıp yağı uygulaması yapılması ile
Hava Delikleri	Hapsolmuş Hava, Hapsolmuş Su, Hapsolmuş Kalıp Yağı	Kaba kalıp yüzeyleri	Kalıp yüzeyinin temiz olmasından emin olarak ve/veya havayı emecek geotekstil formulu astar kullanılması
Hava Delikleri	Hapsolmuş Hava, Hapsolmuş Su, Hapsolmuş Kalıp Yağı	Döküm oranı çok hızlı olması	Kalıp içine sürekli dökümün olduğundan emin olarak
Hava Delikleri	Hapsolmuş Hava, Hapsolmuş Su, Hapsolmuş Kalıp Yağı	Çok uzaktan dökümün olması	Akış uzaklığını en fazla 5 metreye limitleyerek
Hava Delikleri	Hapsolmuş Hava, Hapsolmuş Su, Hapsolmuş Kalıp Yağı	Çok yakından dökümün olması	Akış uzaklığını en az 1 metreye limitleyerek
Hava Delikleri	Hapsolmuş Hava, Hapsolmuş Su, Hapsolmuş Kalıp Yağı	Yüksek serbest düşme uzaklığının olması	Serbest düşme uzaklığını 1 metrenin altına limitleyerek ve/veya derin yerlerde tremi borusu kullanarak ve/veya döküm yerinin dibinden pompalamak havanın uzaklaşmasını sağlayacaktır.
Hava Delikleri	Hapsolmuş Hava, Hapsolmuş Su, Hapsolmuş Kalıp Yağı	Beton sıcaklığı çok yüksek olursa	Beton sıcaklığını 25°C nin altına düşürerek
Hava Delikleri	Hapsolmuş Hava, Hapsolmuş Su, Hapsolmuş Kalıp Yağı	Dökme oranı çok yavaş olursa	Beton sevkiyatının planlanması ve dökümün devamlı olmasından emin olarak
Hava Delikleri	Hapsolmuş Hava, Hapsolmuş Su, Hapsolmuş Kalıp Yağı	Süperakışkanlaştırıcı bileşenlerinin çökmesi, özellikle köpüklerin	Beton tedarikçisinin depolamayı geliştirmesi, uygun tarihli malzeme ve depo sirküsünü sağlamasıyla
Hava Delikleri	Hapsolmuş Hava, Hapsolmuş Su, Hapsolmuş Kalıp Yağı	Çok yüksek viskoziteli olması	Viskozite düzenleyici katkı dozajının düşürülmesi ve/veya karışım oranlarının gözden geçirilmesiyle
Hava Delikleri	Hapsolmuş Hava, Hapsolmuş Su, Hapsolmuş Kalıp Yağı	Uygun olmayan agrega gradasyonu olursa	Viskozite düzenleyici katkı kullanımı veya hava sürüklenmesiyle
Hava Delikleri	Hapsolmuş Hava, Hapsolmuş Su, Hapsolmuş Kalıp Yağı	Havanın oluşmasına sebep olabilecek uzunlukta karıştırma süresi olması	Karıştırma süresini gözden geçirerek
Hava Delikleri	Hapsolmuş Hava, Hapsolmuş Su, Hapsolmuş Kalıp Yağı	Kimyasal katkı bölü çimentonun etkileşimi	Beton üretiminden önce kimyasal katkı ile çimento uyumunun değerlendirilmesiyle

Tablo 4.7 Devamı

Beton yüzeyinde yatay çizgiler veya görünür su oyulmaları	Su ve ince malzemelerin terlemesi	Toz oranına göre çok fazla su kullanılması ve/veya çok düşük viskoziteye sahip olma	Viskozite düzenleyici katkı kullanımı ve/veya ilave ince malzeme ekleyerek viskoziteyi artırarak ve/veya zayıf tane dağılımını önlemek için hava sürükleyici kullanarak
Renk Değişimi	Yüzey boyunca dökümler arasındaki farklılıklar	Çok düşük hava koşulları	Kış şartlarında betonun ve kalıbın sıcaklığını sabit tutarak
Renk Değişimi	Yüzey boyunca dökümler arasındaki farklılıklar	Çık yüksek çökme yayılma ve çok düşük viskozite	İnce malzeme veya viskozite düzenleyici katkı kullanarak viskoziteyi artırarak
Renk Değişimi	Yüzey boyunca dökümler arasındaki farklılıklar	Priz geciktirici katkı veya temizleyici ajan	Açılış ömrü gereksinimini sağlayan dikkatli kimyasal katkı seçimi ve/veya su içeriğini azaltmak veya ilave orandaki katkıyı azaltmak ve/veya hafif hızlandırıcı kullanılması değerlendirilebilir ve/veya geotekstil formda astar kullanılabilir.
Renk Değişimi	Yüzey boyunca dökümler arasındaki farklılıklar	Döküm oranındaki değişimler	Sürekli döküm
Renk Değişimi	Yüzey boyunca dökümler arasındaki farklılıklar	Plastik kür yapan membranın betona temas eden kısmındaki düzensizlikler	Yeterli oranda temasta olduğundan emin olarak
Renk Değişimi	Yüzey boyunca dökümler arasındaki farklılıklar	Yüzeyi kuru kereste kalıplar	Dökümden önce kalıbı ıslatarak ve/veya tercihen kaplamalı kalıp kullanarak
Zayıf, düzensiz döküm yüzeyi	Kalıbın deformasyona uğramış olması ve/veya kalıptan betona geçen izler	Hızlı döküm oranları ve zayıf kalıp tasarımlar	Hidrostatik basıncı azaltabilmek için döküm hızını düşürmek ve/veya viskoziteyi artırmak için viskozite düzenleyici katkı kullanmak ve/veya kalıp tasarımını revize etmek
Zayıf, düzensiz döküm yüzeyi	Kalıbın deformasyona uğramış olması ve/veya kalıptan betona geçen izler	Miadi geçmiş yüzeyli kalıp kullanmak ve/veya beton artıklarının yapışması	Kalıbı yenilemek ve/veya dökümden önce temiz yüzeyler
Zayıf, düzensiz döküm yüzeyi	Kalıbın deformasyona uğramış olması ve/veya kalıptan betona geçen izler	Uygun olmayan kalıp ayrıştırıcı maddesi ve/veya uygun olmayan uygulama metodu	En iyi ayrıştırıcı ajanı kullanmak için deney yapmak ve/veya uygun oranda, iyi ekipmanlar ile doğru basınçta uygulamak

Tablo 4.7 Devamı

Zayıf, düzensiz döküm yüzeyi	Kalıbın deformasyona uğramış olması ve/veya kalıptan betona geçen izler	Çok yüksek su / toz oranında olması	İlave süperakışkanlaştırıcı oranını artırmak ve/veya viskozite düzenleyici katkı kullanmak
Beton yüzeyinin tanalenmesi	Yetersiz hamur hacmi ve ince malzeme ve/veya betonun düşük plastik viskozitesi sebebiyle betonun ayrışması ve/veya betonun kalıbın tamamını doldurmaması	Düşük hamur /ince malzeme içeriği	İnce malzemeyi artırarak, 1 m ³ lük hacimde en az 450 kg kullanılması ve/veya hava sürükleyici kullanmak
Beton yüzeyinin tanalenmesi	Yetersiz hamur hacmi ve ince malzeme ve/veya betonun düşük plastik viskozitesi sebebiyle betonun ayrışması ve/veya betonun kalıbın tamamını doldurmaması	Uygun olmayan tane dağılımı	Tane dağılımının sürekliliğinin olması
Beton yüzeyinin tanalenmesi	Yetersiz hamur hacmi ve ince malzeme ve/veya betonun düşük plastik viskozitesi sebebiyle betonun ayrışması ve/veya betonun kalıbın tamamını doldurmaması	Serbest boşluk boyutuna göre agrega boyutunun çok yüksek olması	Maximum agrega boyutunun azaltılması
Beton yüzeyinin tanalenmesi	Yetersiz hamur hacmi ve ince malzeme ve/veya betonun düşük plastik viskozitesi sebebiyle betonun ayrışması ve/veya betonun kalıbın tamamını doldurmaması	Kalıpta sızma/kaçakların olması	Kalıbın, özellikle birleşim yerlerinin, bütünlüğünün kontrol edilmesi
Beton yüzey harcında bozulma	Yüzeydeki tabakanın sadece ince malzemeden oluşması ve çok hızlı priz olması	Kürlenmenin yapılmaması veya yetersiz yapılması	Zorlu koşullar göz önünde bulundurularak, uygun kürün yapılmasının sağlanması
Beton yüzey harcında bozulma	Yüzeydeki tabakanın sadece ince malzemeden oluşması ve çok hızlı priz olması	Yüksek oranda ince malzeme varlığından kaynaklı ayrışma olması ve/veya betonun kusması	Toz miktarını artırmak ve/veya viskozite düzenleyici katkıyı artırmak ve/veya hava sürükleyici eklemek
Farklı döküm partileri arasında gözle görülür birleşim yüzeyi oluşması (Genel olarak "soğuk derz" ismi ile bilinen kusur)	Yüzey kabuğu formasyonu oluşumunun monolitik dökümü engellemesi	Betonun sevkiyatının aralıklı olarak yapılması	Ara vermeden sürekli döküm yapılması sağlanarak

Tablo 4.7 Devamı

Farklı döküm partileri arasında gözle görülür birleşim yüzeyi oluşması (Genel olarak "soğuk derz" ismi ile bilinen kusur)	Yüzey kabuğu formasyonu oluşumunun monolitik dökümü engellemesi	Betonun hızlıca katılaşması	Ön test yapılması: Yüksek miktarda çok hızlı katılaşmanın olmaması sağlanarak
Farklı döküm partileri arasında gözle görülür birleşim yüzeyi oluşması (Genel olarak "soğuk derz" ismi ile bilinen kusur)	Yüzey kabuğu formasyonu oluşumunun monolitik dökümü engellemesi	Hava veya beton sıcaklığının çok yüksek olması	Betonun sıcaklığının 25°C altında olması sağlanarak
Farklı döküm partileri arasında gözle görülür birleşim yüzeyi oluşması (Genel olarak "soğuk derz" ismi ile bilinen kusur)	Yüzey kabuğu formasyonu oluşumunun monolitik dökümü engellemesi	İri agreganın segregasyonu	Karışım oranlarının gözden geçirilmesi ve/veya akış uzaklığının düşürülmesi sağlanarak
Farklı döküm partileri arasında gözle görülür birleşim yüzeyi oluşması (Genel olarak "soğuk derz" ismi ile bilinen kusur)	Yüzey kabuğu formasyonu oluşumunun monolitik dökümü engellemesi	Çok yüksek seviyede ince malzemelerin özgül yüzeyi olması	İnce malzeme bölü toz miktarını azaltarak
Plastik çatlama (Erken büzülme ve plastik oturma)	Çok hızlı kuruma ve/veya sedimentasyon ve/veya donatının pozisyonu	Erken yaş kürlenme düzeninin zayıflığı	Mastarlama bittikten sonra hemen kürlenmenin başlanması ve/veya zorlu hava koşullarına uygun kürlenme yapılması
Plastik çatlama (Erken büzülme ve plastik oturma)	Çok hızlı kuruma ve/veya sedimentasyon ve/veya donatının pozisyonu	Ayrışma ve betonun kusması	Beton priz almadan plastik çatlakları kapatma ve/veya toz miktarını artırma ve/veya viskozite düzenleyici katkı kullanımı ve/veya hava sürükleyici katkı kullanımı
Plastik çatlama (Erken büzülme ve plastik oturma)	Çok hızlı kuruma ve/veya sedimentasyon ve/veya donatının pozisyonu	Aşırı zorlu hava koşulları (sıcaklık, rüzgâr, görece nem)	Hâkim hava şartlarına göre mastarlamanın uygulanmasıyla
Plastik çatlama (Erken büzülme ve plastik oturma)	Çok hızlı kuruma ve/veya sedimentasyon ve/veya donatının pozisyonu	Yüzeye yakın yerlerde donatının etrafının KYB ile doldurulamaması	Tekrardan donatı kafes tasarımı

BÖLÜM BEŞ

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONUN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

KYB’de bulunan yüksek oranda ince tanenin betonun mikro yapısını etkilediği bilinmektedir. Çimento hamuru ile agrega taneleri arasındaki ara yüzey özellikleri, sertleşmiş betondan beklenen temel özelliklerin elde edilmesi adına kritik öneme sahiptir. Ara yüzey, yüksek oranda toz içeren KYB’de geleneksel betonlara göre daha sıkı ve güçlüdür. Bu durum dayanım ve dayanıklılık açısından KYB’nin performansının daha iyi olmasının temel açıklamasıdır (De Schutter, G., Bartos, P. J. M., Domone, P., Gibbs, 2008).

KYB her ne kadar işlenebilirlik özelliklerine göre sınıflandırılrsa da belirli mekanik performans kriterlerini sağlaması gerekir. KYB’nin beklenen mekanik performansı vermesi aşağıdaki kriterlere bağlıdır:

- Talep edilen performansa uygun malzeme tip ve oranlarının seçimi (karışım optimizasyonu),
- Üretim hasında malzeme tip ve oranlarındaki değişiminin minimizasyonu (homojen malzeme kullanımı, hammadde değişkenliğinden kaynaklanacak problemlerin azaltılması),
- Ortam koşullarının KYB’ye etkisinin göz önüne alınması, bu koşullara uygun önlemlerin hem karışım tasarımında hem de üretim hasında dikkate alınması,
- Üretim hasında 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. Geleneksel beton üretiminde de yukarıda söz edilen kriterlere uyulması performansı arttıracaktır. Ancak KYB’de bu kriterlere hassasiyet daha üst seviyededir (Felekoğlu, 2003).

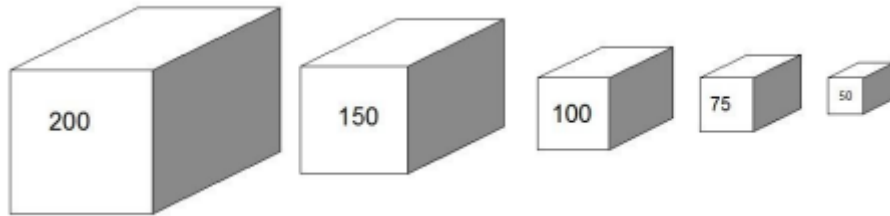
5.1 Serbest Basınç Dayanımı

Geleneksel betondan özel beton türlerine kadar betonun basınç dayanımı hem kalite kontrol amaçlı hem de betonun doğru sınıflandırılması gerekliliğinden dolayı belirlenmesi gereken temel bir parametredir.

KYB yapısı gereği yüksek oranda ince malzeme içerir ve bu durum mikro yapıda sıkılaşmaya neden olur. Meydana gelen bu sıkılaşma, aynı zamanda kullanılan kimyasal katkıların aktivitesinin de yüksek olabilmesiyle, dayanımda bir artış eğilimine neden olabilir. Normal betonda kullanılan su/çimento oranı kullanılarak, %10 veya biraz daha üzerinde yüksek bir karakteristik basınç dayanımı elde edebilmek olağandışı bir durum değildir (Y. Klug, 2003).

5.1.1 Basınç Dayanımına Boyut Etkisi

Betonun basınç dayanımını kür koşulları, yükleme hızı gibi pek çok unsurun etkilediği etkilemektedir. Bunlara ek olarak deneylerde kullanılan kalıbın boyutu, diğer bir deyişle numune boyutu da basınç dayanımını etkileyen unsurlardan biridir. Bu boyut etkisinin irdelendiği bir çalışmada Şekil 5.1’de de görüldüğü gibi 200x200x200, 150x150x150, 100x100x100, 75x75x75, 50x50x50 boyutlarında betonlar üretilmiştir (Arakat, 2015).



Şekil 5.1 Boyut etkisinin irdelendiği çalışmada numune boyutları (Arakat, 2015)

Çalışmada 300 tonluk makinede yapılan deneyler sonucunda ortalama basınç dayanımı değerlerinin boyutlara göre değiştiği görülmüştür. Bu değerler Tablo 5.1’de görülebilmektedir. 500 tonluk makine ile yapılan deneylerin sonuçları ise Tablo 5.2 yardımıyla görülebilmektedir.

Tablo 5.1 300 tonluk makine ile yapılan deneyler sonucu çıkan beton basınç dayanımı (MPa)

Numune boyutları (mm)	C20 Hedef Dayanımlı	C50 Hedef Dayanımlı
150x150x150	27,40 MPa	62,30 MPa
100x100x100	33,68 MPa	64,45 MPa
75x75x75	34,49 MPa	66,62 MPa
50x50x50	28,40 MPa	48,50 MPa

Tablo 5.2 500 tonluk makine ile yapılan deneyler sonucu çıkan beton basınç dayanımı (MPa)

Numune boyutları (mm)	C20 Hedef Dayanımlı	C50 Hedef Dayanımlı
200x200x200	17,73 MPa	29,87 MPa
75x75x75	35,05 MPa	21,35 MPa
50x50x50	29,88 MPa	24,36 MPa

Çalışmanın deney sonuçlarından da açıkça görülebileceği gibi numune boyutuna göre aynı hedef dayanımlı betonların basınç dayanımı birbirinden farklı çıkmaktadır (Arakat, 2015).

Bir başka çalışmada ise yüksek hedef basınç dayanımında numune boyutu etkisinin çok belirgin ve irdelenmesi gereken bir durum olduğu rapor edilmiştir. Bahsedilen çalışmada numune boyutu arttıkça betonun basınç dayanımı sonucunun da arttığı görülmüştür (Tokyay, 1997).

5.2 Yarmada Çekme Dayanımı

Basınç dayanımının aksine literatürde KYB tasarımında yapılan değişikliklerin çekme ve kayma mukavemetleri üzerine etkisini belirten çok sınırlı araştırma bulunmaktadır. Literatürdeki verilerin tümü dolaylı çekme testi sonucu elde edilmiştir. Değerlendirmeler genel olarak çekme gerilmesi/basınç dayanımı oranı esas alınarak yapılmıştır. Bu değerlendirmelerde genel olarak KYB'nin çekme gerilmesinin geleneksel betona göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bazı araştırmalarda geleneksel betona göre %40 gibi azımsanmayacak bir dayanım artışı olduğu gözlenmiştir (Durgun, 2017).

5.3 Diğer Mekanik Özellikleri

KYB normal betondan farklı olarak kendi ağırlığı ile yerleşen özel bir beton türü olduğundan elastisite modülü, sünme ve rötre gibi sertleşmiş hal özellikleride, normal betona göre farklıdır.

Bhirud ve Sangle'ın (2017) KYB ve normal betonun mekanik özelliklerinin karşılaştırdığı bir çalışmada normal beton, viskozite düzenleyici katkı kullanılan KYB ve tek toz tipli KYB'ler aynı su/ bölü bağlayıcı oranında hazırlanmıştır. Daha sonra bunların elastisite modülleri, büzülmeleri, sünmeleri test edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Sonuçlar aşağıda maddeler halinde verildiği gibidir.

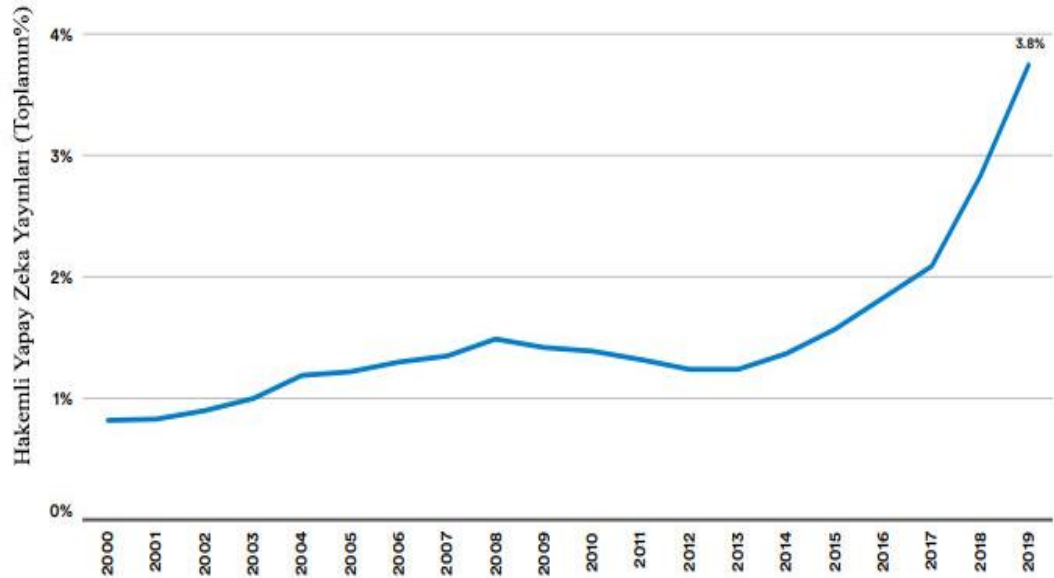
- Bunlardan elastisite modülü, birbirlerinden küçük farklılıklar barındırmakla birlikte, her üç tip betonda da 30 GPa civarlarında elde edilmektedir.
- Büzülme değerlerine bakılınca normal betonun ve viskozite düzenleyici katkı kullanılan KYB'nin değerleri birbirine benzer çıkmıştır. Tek toz tipli KYB' nin ise daha yüksek olduğu gözlenmiştir.
- Sünme değerleri de aynı şekilde normal beton ve viskozite düzenleyici katkı kullanılan betonda benzer çıkmıştır. Viskozite düzenleyici katkının sünmesi normal betonun bir miktar üstündedir. Tek toz tipli KYB'nin sünme değeri ise daha yüksek gözlenmiştir (Bhirud ve Sangle, 2017).

BÖLÜM ALTI

DERİN ÖĞRENME İLE GÖRÜNTÜ SINIFLANDIRILMASI

Günümüzde hemen hemen her alanda yapay zekâ yöntemlerinin gelişmesi ile mevcut sorunlara alternatif çözümler üretilmektedir. Mühendislik disiplinlerindeki uygulamaları giderek yaygınlaşan ve mühendislik sorunlarına da alternatif sonuçlar üreten görüntü işleme teknolojisi bu yapay zekâ yöntemi uygulama alanlarından biridir. Görüntü işleme, görüntünün elde edilmesi, sayısallaştırılması, iyileştirilmesi gibi birçok işlemi kapsamaktadır (Çankaya, Arslan ve Ceylan, 2018). Yapay zekâ yöntemi uygulama alanları ile ilgili literatür bilgisi bu bölümde detaylı olarak açıklanacaktır.

Stanford Üniversitesinin yapay zeka uygulamalarının gelişimi ile ilgili olarak yayınladığı raporda 2000 ile 2019 yılları arasında yapay zekâ ile ilgili yapılan yayınlarının toplam yayınlara oranının yüzde 2 civarlarında artış gösterdiğini belirtilmiştir. Şekil 6.1’de yıllara göre bu artış gösterilmektedir (Zhang ve diğerleri, 2021).



Şekil 6.1 Yapay zeka tabanlı yayınların toplam yayımlar içerisindeki oranı (Zhang ve diğerleri, 2021)

6.1 Derin Öğrenme (Makine (bilgisayar) öğrenmesi)

Makine öğrenmesi yapay zekâ teknolojisinin bir alt kümesidir. Bu teknoloji özünde şudur;

Makinenin önceden tasarlanmış algoritmaları baz alarak eldeki veri ile otomatik şekilde bir tahmin modeli oluşturmaktır. Genel olarak bu öğrenme algoritmaları da denetlenen ve denetlenmeyen algoritmalar olarak ikiye ayrılır (Gökçe, 2014).

Denetlenen makine öğrenimi algoritmaları, etiketli veri yani girdi ve çıktısı olan verileri kullanarak öğrenen algoritmalarlardır. Bu algoritmalar beklenen, girdi ve çıktı verileri arasındaki ilişkiyi bulması ve kabul edilebilir bir performansa ulaştığında durmasıdır.

Diğer taraftan denetlenmeyen makine öğreniminde sadece girdi verisi olup bunun karşılığında çıktı verisi olmamaktadır. Bu algoritmaların amacı ise bir model bulmak ve verilen bilgi hakkında daha fazla öğrenebilecek şekilde yapılaşmaktır (Aamer, Yani ve Priyatna, 2021).

Bu iki algoritma tipide genellikle aşağıda maddeler halinde verilen dört görev için kullanılmaktadır (Kone ve Karwan, 2011).

- Regresyon (Bağlanım)
- Sınıflandırma
- Kümeleme
- İlişkilendirme

6.2 Görüntü İşleme

Görüntü genel manada üç boyutlu nesnelerden oluşan bir sahnenin basit iki değişkenli bir fonksiyon olarak tanımlanmasıdır. Dijital görüntüye gelince bahsedilen her bir görüntü makine (bilgisayar) için her bir hücresi bir piksele denk gelen matrisi ifade etmektedir. Yani görüntüler, makineler için piksellerden oluşmaktadır dolayısıyla bir görüntüde ne kadar fazla piksel var ise görüntü çözünürlüğü (kalitesi) o kadar yüksektir. Görüntü işleme ise bu dijital görüntü verilerini elektronik ortamda isteğe/amaca göre şeklini değiştirmeye yönelik yapılan çalışmalardır (Karakoç, 2012).

6.2.1 Görüntü Türleri

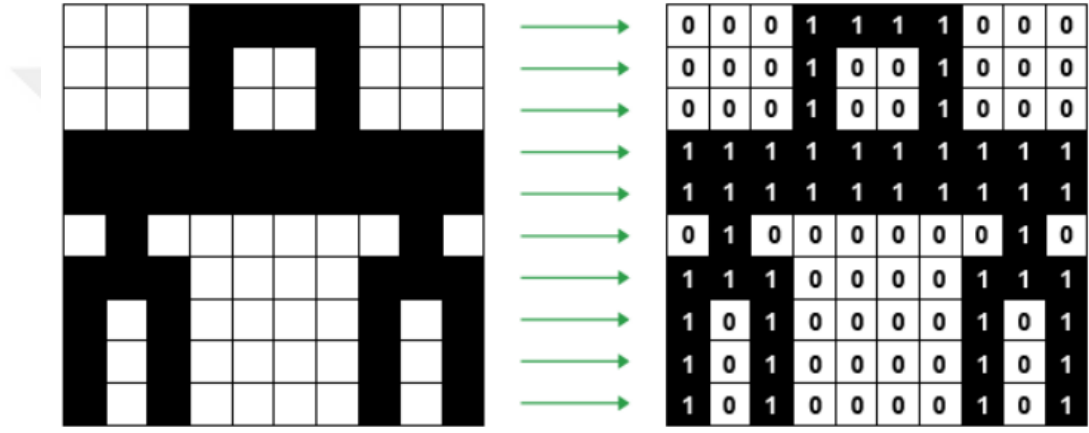
Görüntü türleri aşağıda maddeler halinde verildiği gibi üç ana gruba ayrılırlar.

- İkili (binary) görüntü
- Gri seviyeli görüntü

- Renkli görüntü

6.2.1.1 İkili (Binary) Görüntü

Arka planı siyah görüntü üzerindeki hedef nesnelerin beyaz ile gösterildiği görüntü türüdür. Bu tür görüntülerde piksel değerleri 0 veya 1 ile simgelenip 0 siyah, 1 değeri de beyaz görüntüyü ifade eder ama görüntünün gerçek piksel değeri farklıdır. Bir diğer deyişle beyaz renginin piksel değeri 255'tir fakat ikili görüntülerde sembolik olarak 1 beyaz ile ifade edilmektedir. Ayrıca ikili görüntüler 1 bit yer kaplamaktadır. Şekil 6.2'de örnek bir ikili görüntü verilmiştir (Timoftei, 2018).



Şekil 6.2 İkili (Binary) Görüntü (Timoftei, 2018)

6.2.1.2 Gri Seviyeli Görüntü

Grinin tonlarından oluşan görüntü türüdür. Bu tür görüntülerin piksel değeri 0 ile 255 arasında olmaktadır. Piksel değeri 0 siyahı 255 ise beyaz rengini temsil etmektedir. Gri seviyeli görüntüler ise bilgisayarda 8 bit yer kaplamaktadır (Osmanoğlu, Mutlu, Gürsoy ve Şanlısoy, 2019).

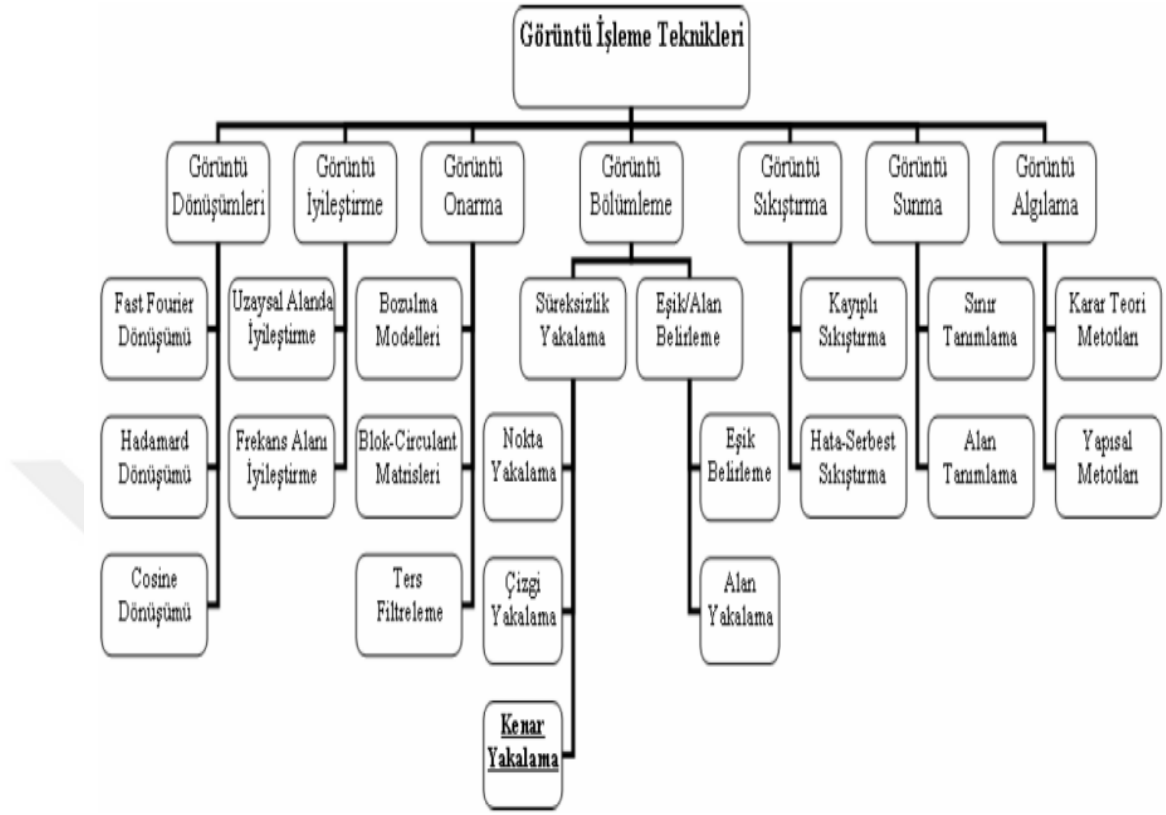
6.2.1.3 Renkli Görüntü

Renkli görüntüler akla gelen bütün renkleri içermekle birlikte genel olarak kırmızı, mavi ve yeşil olmak üzere üç farklı bileşenden oluşmaktadır. Bu tür görüntülerinde piksel değeri 0 ile 255 arasında değişmektedir. Yapılarındaki üç farklı bileşenden dolayı RGB= (0, 0, 0)- (255, 255, 255) olarak üç sıfır değeri siyahı, üç ikiyüzellibeş değeri de beyazı göstermektedir. Bilgisayar da ise bu üç bileşenli renkli görüntüler $8 \times 3 = 24$ bit yer kaplamaktadır (Hočevar, Širok, Godeša ve Stopar, 2014).

6.2.2 Görüntü İşleme Teknikleri

Görüntü işleme teknikleri, görüntülerdeki gürültüyü giderme, görüntüleri netleştirme, görüntülerin boyutlarını düşürme vb. alanlarda kullanılır. Bu tekniklerin uygulanması için ise görüntülerin sayısal hale getirilmesi gereklidir. Sayısal hale getirebilmek demek, görüntüleri bir matris formatında satır ve sütunlara dönüştürmek diğer bir deyişle matrislere dönüştürebilmek demektir. Matrislere dönüştürüldükten sonra ise aşağıda maddeler halinde sunulan görüntü işleme teknikleri uygulanabilmektedir. Ayrıca Şekil 6.3’de görüntü işleme teknikleri detaylı olarak gösterilmektedir (Yılmaz, 2016)

- Görüntü dönüşümleri; farklı bir açı ile çekilen görüntünün istenilen açıdan çekilmiş gibi görünmesini sağlayan tekniktir.
- Görüntü iyileştirme; görüntünün niteliğini istenilen seviyeye yükseltme işlemidir. Karlı görüntü, aşırı keskin, aşırı parlak, bulanık vb. görüntüleri çeşitli filtrelerden geçirilerek görüntü kalitesinin yükseltilmesi amaçlanır.
- Görüntü onarma; bozulmuş veya gürültüye maruz kalmış görüntüyü orijinal resim seviyesine getirme işlemine denir.
- Görüntü bölümleme; bir görüntüdeki elemanların veya nesnelerin gruplandırılması, sınıflandırılması için görüntü bölümleme algoritmaları kullanılır. Bölümleme, bir görüntüdeki çizgilerin, dairelerin veya arabalar, yollar, binalar gibi belirli şekillerin ele alınıp incelenmesi için yapılan bir gruplandırma işlemidir.
- Görüntü sıkıştırma; ihtiyaç duyulan bellek miktarını azaltmak, sayısal bir görüntüyü sıkıştırmak amacıyla yapılan görüntü işleme tekniğidir.
- Görüntü sunma; görüntü üzerindeki objelerin belirginleştirilmesinin amaçladığı işlemlere denir.



Şekil 6.3 Görüntü İşleme Teknikleri(Yılmaz, 2016)

6.2.3 Görüntü işlemede kullanılabilecek fotoğraf makinesi

Yapay zekâ tabanlı görüntü işleme uygulamaları için doğru bileşenleri seçme süreci, birkaç temel adımla başlar. Kamera, arayüzü ve sensör teknolojisi hedeflenen/istenilen özelliklerde olmalıdır.

Görüntü işlemede kullanılacak fotoğraf makinesi için sensör seçmeye gelince, önemli olan sadece gerekli çözünürlük değil, hedeflenen/istenilen diğer özelliklerin de önemli olduğu bilinmelidir. Genel olarak söylenen, kullanılacak makinenin çözünürlüğü yüksek oldukça daha kaliteli bir görüntü elde edildiği bilgisi aslında yanlıştır. Daha yüksek çözünürlükler genellikle daha küçük çözünürlüklere bağlanır. Küçük pikseller daha düşük doygunluk kapasitesine sahiptir, bu da daha düşük bir sinyal/gürültü oranı üretir ve daha düşük dinamik aralık sağlar (Lappenküper, 2018).

Görüntü işleme amaçlı kullanılacak fotoğraf makinesi tercih edilirken ihtiyaca göre aşağıda maddeler halinde verilen özelliklere bakılabilir. (Morikawa ve diğerleri, 2021).

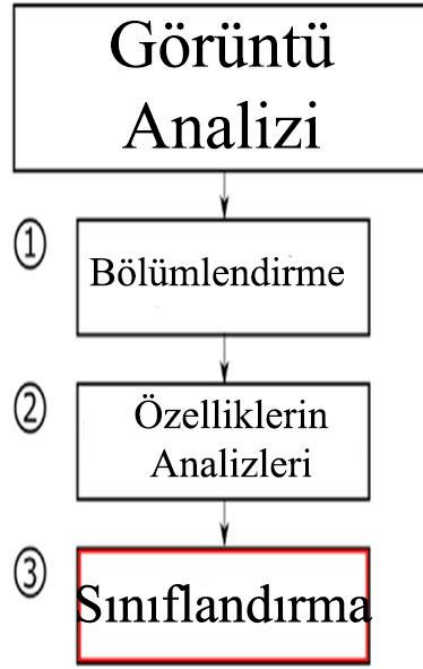
- Kullanılacak kameranın monokrom özellikte mi yoksa renkli kamera mı olacağı karar verilmeli
- Çözünürlük, piksel aralığı; bu iki özellik tamamen gerekli ihtiyaca göre belirlenmelidir. Çekilecek objenin boyutunu aradığınız objenin boyutuna böldüğünüzde elde edilen oran ise çözünürlüğü vermektedir.
- Bilgisayar ara birim araçlarının hızı ve boyutu yine gereken ihtiyaca göre belirlenmelidir (Morikawa ve diğerleri, 2021).

6.3 Görüntü tanıma amaçlı makine öğrenmesi algoritmalarının kullanımı

İnsan beyninin bilgi işleme tekniğinden esinlenerek geliştirilmiş bir bilgi teknolojisi olan yapay sinir ağları (YSA) günümüzde telefonlardan akıllı ulaşım sistemlerine günlük yaşamın vazgeçilmez bir parçası olmuştur. Objeler arasındaki benzerliği tespit ederek ve istenilen formata getirerek daha nesnel bir çözüm üreten makine öğrenmesi ile görüntü işlemenin birleştirildiği bu teknoloji günümüzde hemen hemen çoğu mühendislik problemine çözüm getirmektedir (Matuszewski ve Rajkowski, 2020).

6.3.1 Görüntü analizi ve en uygun model görüntüsünü belirleme

İlk olarak yapay sinir ağlarının derin öğrenme algoritmalarını kullanan bir model olarak kullanılabilmesi için görüntülerin uygun bir şekilde işlenmesi gerekmektedir. Şekil 6.4’te görüntü analizi ile ilgili atılması gereken adımlar gösterilmektedir. Görüntü işleme de görüntüler geometrik, topografik vb. temel özelliklerine göre analiz edilerek amaca en uygun görüntüler elde edilir. Son aşama olan sınıflandırma aşamasına geçerek derin öğrenme algoritmaları kullanılan modelde kullanılacak bir görüntüye dönüşür (Matuszewski ve Rajkowski, 2020).



Şekil 6.4 Görüntü Analizi Adımları (Matuszewski ve Rajkowski, 2020)

Modelde kullanılacak görüntüleri belirledikten sonra belirli prensipler çerçevesinde model için doğruya en yakın tahmin sonucunu verecek görüntülerin seçilmesi gerekir.

Öncelikle daha önceden de bahsedilen görüntü işleme teknikleri kullanılarak görüntüdeki gürültüyü kaldırma, filtreleme, kenar yakalama vb. gibi hangi teknik işleme görüntü ihtiyaç duyuyorsa bunlar yapılır. Bu işlemden sonra görüntü griye çevrilir. Daha sonra görüntü eşikleme (thresholding) yani görüntüyü ikili (binary) görüntüye çevirme işlemi yapılır. Eşikleme sırasında model için en uygun eşik değeri belirlenir ve model eğitime bu eşik değerindeki görüntüler ile devam edilir.

6.3.1.1 Görüntünün griye çevrilmesi

Görüntünün arka planda derin öğrenme tabanlı bir programla işlenebilmesi için öncelikle mevcuttaki renginden gri renge çevrilmesi gerekmektedir. Renkli görüntüyü gri renkli görüntüye çevrilmesinde bilinen çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bunlardan biri renkli görüntülerin üç farklı bileşenden oluşup bu bileşen değerleri yardımıyla gri renge çevirme işlemidir. Bir diğer deyişle bilindiği gibi renkli görüntüler kırmızı, yeşil ve mavi bileşenlerinden oluşmaktadır. Bu üç bileşenin kendine ait piksel değerleri bulunmaktadır. Bu piksel değerlerin aritmetik ortalaması alınarak renkli görüntü griye çevrilir. Örnek olarak I (24, 35, 40) piksel değerlerine sahip renkli görüntünün piksel

değerlerinin aritmetik ortalamasını alındığında 33 piksel değerinde gri seviyeli bir görüntü meydana gelmektedir. Daha sık kullanılan ikinci bir yöntem ise görüntünün aydınlık değeri yardımıyla gri renge çevrilmesi işlemidir. Burada renkli görüntü bileşenleri olan; kırmızının 0,2989, yeşilin 0,5870, mavinin 0,1140 aydınlık değerleri bulunmaktadır. Renkli görüntüdeki üç bileşenin piksel değerleri kendilerine ait olan bu aydınlık değerler ile çarpıldıktan sonra bu değerler toplanır ve çıkan sonuç gri seviyeli görüntünün piksel değeri olur. Bu metot ile az önceki örnekteki renkli görüntünün piksel değeri $I (24*0,2989+ 35*0,5870 +40*0,1140)$ bu işlem sonucunda 32,2786 değerli gri seviyeli piksel değeri hesaplanır (Yılmaz, 2016).

6.3.1.2 Görüntü Eşiklenmesi

Medikal görüntü işleme, belge görüntülerinin analizi, doku analizi, nesne algılama, parmak izi ve yüz tanıma, haritalar, çizimler vb. gibi alanlarda temel yapı niteliğinde çözümler üreten görüntü analiz uygulamaları eşikleme adı verilen bir ön işlem gerektirir. Bu görüntü eşikleme işlemi, görüntü üzerindeki nesnelerin arka plandan ayrılması için yapılan bir işlemidir ve görüntü bölütleme amacıyla görüntü analizinde yaygın olarak kullanılır (Sezgin ve Sankur, 2004).

Eşik, verilerin karmaşıklığını azaltmaya yardımcı olur ki bu tanıma ve sınıflandırma vb. süreçlerde işlem kolaylığı sağlayarak ikili (Binary) görüntü üretilmesini mümkün kılar. Bu sebepten optimal eşik değerini belirlemek büyük bir öneme sahiptir. Optimal eşik değerinin tespit edilmesinde, yaygın olarak görüntüdeki gri seviye dağılımlarını gösteren bir histogramdan faydalanılır. Bu durumda nesneleri arka plandan ayırmak için en kolay yol, histogramdan göreceli olarak belirlenen bir T eşik değeri ile görüntüdeki piksel değerlerini karşılaştırmak olacaktır. Bu karşılaştırma işlemi aşağıdaki denklemde verildiği gibidir ve sonucunda 0 ve 1'den oluşan ikili (Binary) görüntü elde edilir.

$$f^T(i,j) = \begin{cases} 255, & \text{eğer } f(i,j) > T(i,j) \\ 0, & \text{değilse} \end{cases}$$

Buna göre, görüntüdeki herhangi bir (i, j) pikseli için; $f(i,j) > T$ ise nesneye ait bir piksel, $f(i,j) \leq T$ ise arka plana ait bir piksel olacaktır. Burada T değerinin doğru seçilmesi kritik önem taşımaktadır. Eğer T değeri olması gerekenden daha fazla ya da az olursa görüntünün içerdiği anlamlı bilgi ciddi miktarda zarar görecektir. Bunun

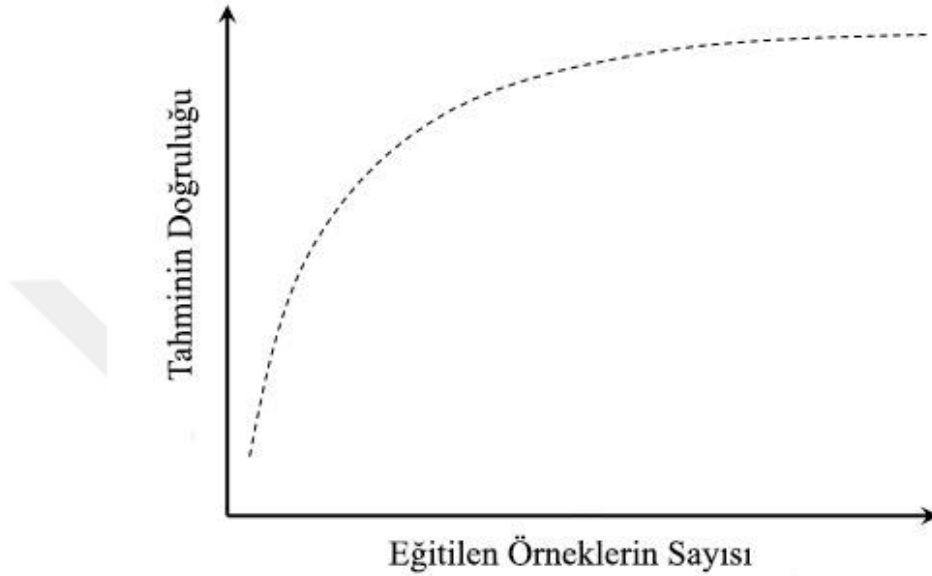
sonucu olarak, elde edilen ikili sonuç görüntüsü, bir problemin çözümü için geliştirilen sistemin başarısını olumsuz etkileyecektir. T eşik değeri her ne kadar bahsedildiği gibi histogramlardan bulunabilse de zaman tasarrufu, daha nesnel bir yaklaşım için dijital görüntülerde en uygun eşik değerini otomatik olarak hesaplayan bir algoritmaya her zaman ihtiyaç duyulmuştur (Elen, 2020). Görüntü işleme analizinin geliştirilmesi açısından temelinde yukarıda bahsedilen mantığı kullanan eşikleme (thresholding) yöntemlerinden yaygın olarak kullanılan birkaç yöntem aşağıda maddeler halinde bahsedildiği gibidir.

- Global Eşikleme (Global Thresholding)
- İkili Eşikleme (Binary Thresholding)
- Tersine İkili Eşikleme (Inverse Binary Thresholding)
- Trunc Eşikleme (Truncate Thresholding)
- Tozero Eşikleme (Tozero Thresholding)
- Tersine Tozero Eşikleme (Inverse Tozero Thresholding)

6.4 Model Optimizasyonu ve Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bir önceki bölümde bahsedilen en uygun eşik değerinin tespit edilmesi gibi en uygun eşik değerin elimizdeki veri setine göre en uygun olan eşikleme yöntemini bulmak da çok kritiktir. Bu tespiti yapabilmek için model eğitiminde kullanılan eşikleme yöntemleri sonucunda elde edilen öğrenim grafiklerini doğru değerlendirmek gerekmektedir. Öğrenim grafiği genel manada bir işçiye yeni bir görev verildiğinde performansını gözetlemek için kullanılan etkili bir araç olarak tanımlanmaktadır (Anzanello ve Fogliatto, 2011).

Bu bahsedilen öğrenim eğrileri, derin öğrenme uygulamalarındaki algoritmalarda da sıklıkla kullanılmaktadır. Makine öğrenmesinde ise bir öğrenme eğrisi belirli alandaki tahmine dayalı performansın bir ölçüsünü, değişen miktarlardaki öğrenme çabasının bir ölçüsünün bir fonksiyonu olarak Şekil 6.5’de gösterildiği gibi gösteren eğrilerdir (Perlich, 2010).



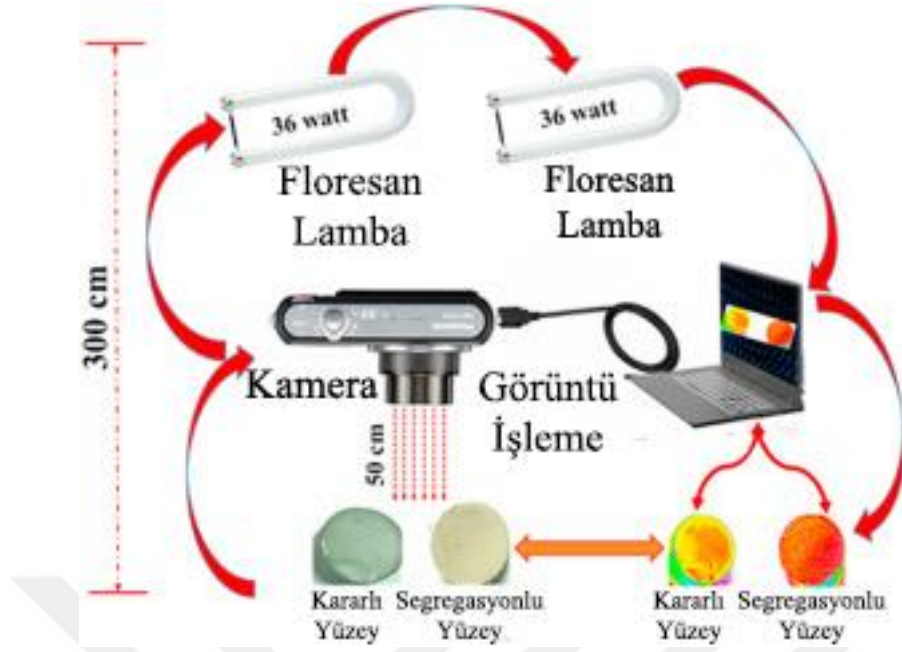
Şekil 6.5 Derin öğrenme algoritmalarını kullanan uygulamalardan elde edilen öğrenim eğrisi (Anderberg ve Fathullah, 2019)

Öğrenme eğrisi makine/programın eğittiği (training data) veri ve doğrulama verisinin (validation data) sonuçlarını gösterir (Anderberg ve Fathullah, 2019).

6.5 Beton Teknolojisinde Kullanılan Bazı Görüntü İşleme Uygulamaları

Betonun reolojik özelliklerinin incelenmesinden, kırılma mekaniğine kadar pek çok farklı alanda görüntü işleme teknolojisi kullanılmaktadır.

Örneğin, beton teknolojisinde kullanılan polikarboksilat katkı dozajının miktarının optimum olması pek çok farklı faktörü birlikte düşündüğümüzde çok önemli bir yere sahiptir. Bu sebepten kritik dozajın etkisini bulmayı amaçlayan bir çalışmada görüntü analizi kullanılarak betondaki ayrışma tespit edilmiştir. Çalışmada kurulan deney seti ise Şekil 6.6’da gösterilmiştir (Fares, Al-Negheimish, Alhozaimy ve Khan, 2022).



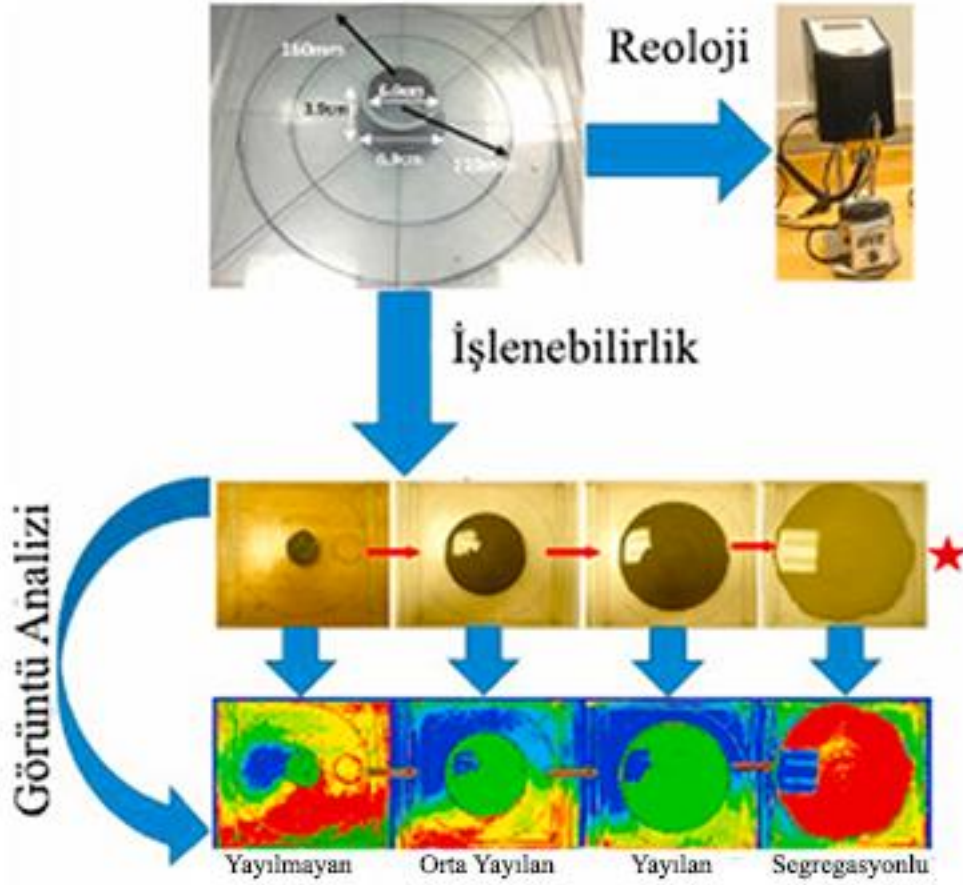
Şekil 6.6 Görüntü İşleme Düzeneği (Fares ve diğerleri, 2022)

Şekil 6.7’de ise PK (Polikarboksilat katkı) artırıldıkça stabilitenin bozulduğu, VMA (viskozite düzenleyici katkı) geldikten sonra ise yeniden kararlı (stabil) olduğu görülmektedir.



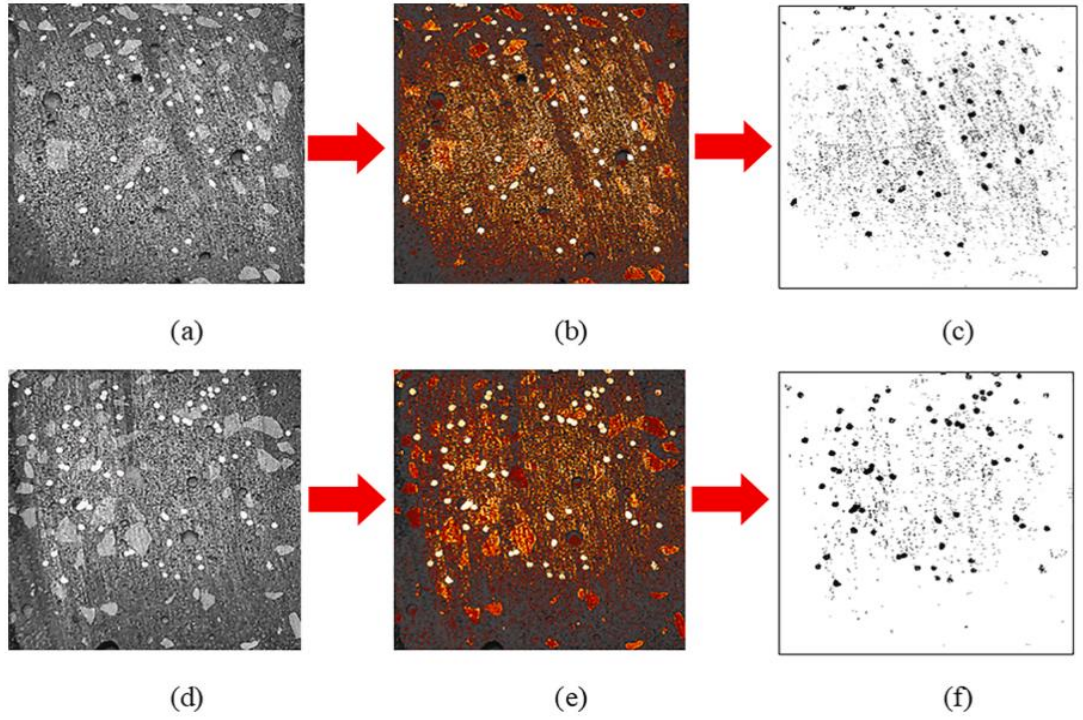
Şekil 6.7 Optimum katkı dozajının görüntü işleme ile bulunması (Fares ve diğerleri, 2022)

Şekil 6.8’de ise çökme yayılma deneyinden sonra görüntü işleme programının işleyişini daha iyi kavrayabilmek için çökme yayılma tablasının üzerinde deneylerdeki beton dökümüne ait şekiller verilmiştir. Görüntü işleme programı yardımıyla ayrışma oluştuğunda program bunu kırmızılamaktadır (Fares ve diğerleri, 2022).



Şekil 6.8 Ayrışma oluşumunun renklendirilmesi (Fares ve diğerleri, 2022)

Bir başka çalışmada ise ultra yüksek performanslı betonun (UHPC) eğilme direncini güçlendirmek için kristal nanoselüloz (CNC) ve karbon nanotüp (CNT) kullanımının etkisi nano düzeyde çimentolu matriste incelenmiş. Verilerin bir bölümünde yorumlanmasında görüntü işleme tekniği kullanılmıştır. Çalışmada, LUMIX dijital kamera [DMC-FX100 of 12 megapixels, 3.6x Optical/4x-7x dijital zoom ve Leica DC Vario-Elmarit geniş açılı lens (MEGA O.I.S./28 mm)] görece daha iyi bir görüntü elde edebilmek için kullanılmıştır. Test aşamasında sertleşmiş beton numunesi yüzeyinin fotoğrafı çekilerek Şekil 6.9'deki gibi “microsteel fiber” veya “makrosteel” yüzey olarak sınıflandırmaktadır.



Şekil 6.9 Ultra yüksek performanslı beton yüzeyinin görsel modelleri

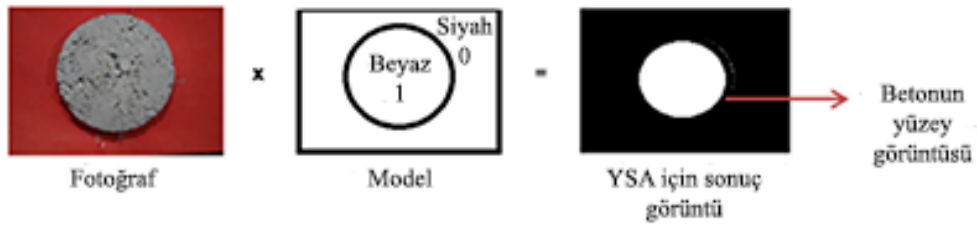
Sonuç olarak UHPC karışımında 4 mm’den büyük agrega kullanılmaması yargısına varılmıştır. (Khan, Fares ve Abbas, 2022).

Ülkemizde de beton ve görüntü işleme teknolojisini kullanarak yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Doğan, Arslan ve Ceylan (2017)’nin yaptığı bir çalışmada; betonun mekanik özelliklerini, serbest basınç dayanımı, elastisite modülü ve maksimum deformasyonunu, görüntü işleme kullanarak yapay sinir ağları metotları ile belirlemeye çalışmaktadırlar. Bu amaca yönelik yüksek kaliteli görüntüler elde edebilmek için Şekil 6.10’de görülen deney düzeneğini kurmuşlardır.



Şekil 6.10 Yüksek kaliteli görüntü elde edebilmek için kurulmuş kabin (Dogan, Arslan ve Ceylan, 2017)

Kabinde, Canon Eos 400D 18-55mm lensli ve 10.1 megapiksel çözünürlüklü dijital kamera numune yüzeyinden yaklaşık 300 mm uzağa yerleştirilmiştir. Ayrıca ışıktan arındırılan kabinde numunenin yüzey görüntüsünün iyi aydınlanması için 2 adet 30 Watt Led ampul kullanılmıştır. Çalışma kapsamında 150mmx300mm boyutlarında toplam 144 adet silindirik beton numunesi üretilmiştir. Bu numunelerin 96 adedi ise farklı parametreleri test etmek üzere görüntü işlemede eğitim ve test serilerinde kullanılmıştır. Betonun mekanik özelliklerini etkileyen pek çok parametre olmakla birlikte çalışmada su/çimento oranı, ilave edilen kimyasal katkı dozajı, sıkıştırma işlemi, 28 günlük su kuru ve çimento dozajı olmak üzere 5 farklı ayırıcı parametre seçilmiştir. Üretilen bu silindirik numunelerin bir yüzeyi kesilerek hem kesilen yüzeyin hem de kesilmeyen yüzeyin görüntüsü elde edilmektedir. Görüntü işleme teknikleri ile bu beton görüntülerindeki boşluklar 1 (beyaz renk) ile diğer kısımlar ise 0 (siyah renk) olarak Şekil 6.11’de görüldüğü gibi dönüştürülüyor.



Şekil 6.11 Görüntüyü siyah beyaza çevirme (Dogan ve diğerleri, 2017)

Daha sonra görüntü içerisindeki piksel sayısı ile, yine görüntü içerisindeki renkli piksel sayısına ait histogramlar elde edilerek betona numunesine ait gerilme-deformasyon grafikleri ile ilişki kurulmaya çalışılıyor. Bu yöntem ile betonun basınç dayanımı tahmin edildikten sonra diğer mekanik özellik parametreleri (çekme dayanımı, elastisite modülü, poisson oranı vb.) basit formülasyonlar ile varsayılmaktadırlar.

Sonuç olarak ; çalışma sonuçlarında gerçek deney sonucu ve yapay sinir ağları ile görüntü işleme metodu sonucu %97,18 ile %99,87 arasında bir korelasyon göstermiştir (Dogan ve diğerleri, 2017).

BÖLÜM YEDİ

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Farklı metilen mavisi değerine sahip ince agreganın kullanımının kendiliğinden yerleşen betonun taze ve sertleşmiş özelliklerine etkisini incelemeye yönelik olarak yapılan deneysel çalışmalar bu bölümde sunulmaktadır.

7.1 Amaç

Deneysel çalışmaların amacı şu şekildedir;

Farklı ince agregalar içeren ve aynı işlenebilirlik sınıfında olma hedefiyle üretilen kendiliğinden yerleşen betonların taze ve sertleşmiş haldeki performanslarını kıyaslayabilmek amacı ile bir deney programı oluşturulmuş, deneylerde farklı metilen mavisi değerine sahip ince agregalar kullanılmış ve tüm deneylerde aynı kendiliğinden yerleşebilirlik sınıfı için süperakışkanlaştırıcı katkı dozajı artırılmış veya azaltılmıştır. Sadece süperakışkanlaştırıcı katkı dozajının ayarlanmasının yeterli olmadığı durumlarda kendiliğinden yerleşebilirlik, viskozite düzenleyici bir katkı desteğiyle sağlanmıştır. Böylece uygulamada ince agregaların metilen mavisi değerlerindeki farklılıkların kendiliğinden yerleşen beton üretim kalitesi açısından öneminin ortaya konulması amaçlanmıştır. Ayrıca deneylerde farklı ince agregaların kullanılması ile ince agreganın betonda neden olacağı teknik problemlerin, ekonomik kayıpların ve üretim stabilitesinde yaratacağı değişkenliklerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

7.2 Kapsam

Deneylerde ince agreganın kaynaklı sorunları daha net ortaya koyabilmek için, Ankara şehrinin farklı ilçelerindeki taş ocaklarından ince agregalar getirilmiş ve ayrıca bir tip ince agregada içerisine kil ikame edilerek yapay olarak killi bir ince agreganın karışımı da oluşturulmuştur. Toplamda 4 farklı metilen mavisi değerine sahip ince agreganın, 4 farklı deney serisinde kullanılmıştır. İnce agregaların metilen mavisi değeri çeşitliliği sayesinde agregadan kaynaklanan etkinin analizi hedeflenmiştir. Oluşturulan deney serilerinin isimlendirilmesinde, metilen mavisi değeri çeşitliliğine göre AG1, AG2, AG3, AG4 olarak 4 farklı deney serisi oluşturulmuştur. Her deney serisinde iki farklı tipte çimento (Mineral Katkısız Portland çimentosu (S), Mineral katkılı çimento (K))

ile iki farklı hedef dayanım (30 MPa ve 45 MPa) için KYB'ler tasarlanmış ve üretilmiştir. Sonuç olarak toplamda 16 farklı KYB üretimi yapılarak uygulamadaki hedeflenen amaca yönelik deneysel çalışma planı oluşturulmuştur.

Üretilen KYB'lerin taze ve sertleşmiş haldeki özellikleri incelenmiştir. Bu özellikleri tespit edebilmek için gerekli sertleşmiş haldeki numune sayısı ile taze beton deneyleri için gerekli beton miktarı hesaplanmış olup döküm sırasında oluşacak kayıplarda düşünülerek deney serilerinde 24 dm³'lük karışımlar hazırlanılmıştır. AG1, AG2, AG3, AG4 deney serilerinin her biri için Tablo 7.1'de listelenen deneyler yapılmıştır. Tablo 7.2'de ise sertleşmiş beton deneyleri için hazırlanan numune sayıları verilmiştir.

Tablo 7.1 Tez kapsamında yapılan taze ve sertleşmiş beton deneyleri

Taze Beton	Sertleşmiş Beton
Çökme yayılma deneyi (nihai yayılma çapı ve T50 süresi ölçümü) ve nihai yayılma çapının fotoğraflanması ile görüntü stabilite indeksi tespiti	2, 7, 28, 56 günlük basınç dayanımı deneyleri
L kutusu deneyi	7, 28, 56 günlük yarmada çekme dayanımı
Taze birim hacim ağırlık (BHA)	
Ortam ve taze beton sıcaklığı ölçümü	

Tablo 7.2 Sertleşmiş beton deneylerinde kullanılan numune tip ve sayısı

Karışım Kodu	Karışım Sayısı	Deney	Numune Boyutları	Her serideki numune sayısı	Toplam Numune Sayısı
AG1	4	Serbest Basınç Dayanımı	10 cm ayrıtlı küp	20	320
AG2	4				
AG3	4	Çekmede Yarma Deneyi			
AG4	4				

* AG-1 için kodlama örneği: AG1-30-S, AG1-45-S, AG1-30-K, AG1-45-K (ince agrega türü – hedef dayanım sınıfı – çimento türü)

7.3 Deney Programı

Laboratuvar çalışması kapsamında taze beton deney programı, karışım tamamlandıktan sonra yayılma çapı, T50 süresi tayini, L kutusu deneyi, betonun sıcaklığının ve birim hacim ağırlığının tespiti olarak yapılmıştır. Daha sonra sertleşmiş beton da serbest basınç ve yarmada çekme değerleri için numuneler alınmıştır.

7.4 Kullanılan malzemeler

7.4.1 Çimento

Deneylerde Tablo 7.3’ de görüldüğü gibi mineral katkılı çimento (K) olarak CEM II/B-LL 32,5 R, mineral katkısız çimento (S) olarak CEM I 42,5 R kullanılmıştır. Kendiliğinden yerleşen beton tasarımına mineral katkılı ve mineral katkısız çimento farklılığını yansıtabilmek amacıyla kalker/tras katkılı çimentodan gelen toz malzeme karışım hesabında toz miktarına eklenmiştir.

Tablo 7.3 Çimentoların fiziksel ve kimyasal özellikleri

KİMYASAL ANALİZ				FİZİKSEL ÖZELLİKLER			
ÇİMENTO TİPİ		CEM I 42,5 R	CEM II/B-LL 32,5 R	ÇİMENTO TİPİ		CEM I 42,5 R	CEM II/B-LL 32,5 R
CaO	%	62,35	60,52	Priz Başlangıç süresi	dk	135	125
SiO ₂	%	18,21	19,66	Priz Bitiş süresi	dk	245	195
Al ₂ O ₃	%	2,91	5,31	Hacim sabitliği	mm	2	1
Fe ₂ O ₃	%	2,91	3,26	Blaine	m ² /kg	338,4	480,8
MgO	%	2,4	2,45	Özgül Ağırlık	---	3,11	2,95
SO ₃	%	3,04	2,67	Basınç dayanımı			
Na ₂ O	%	0,26	0,34	2 günlük	MPa	28,1	21,1
K ₂ O	%	0,72	0,79	28 günlük	MPa	55,1	41,2
C ₃ S	%	66,18	43,45				
C ₂ S	%	2,3	23,61				
C ₃ A	%	7,83	8,56				
C ₄ AF	%	8,855	9,920				
Çözünmeyen Kalıntı	%	0,33	1				
Cl	%	0,01	0,0109				
Kızdırma kaybı	%	3,15	2,81				
Serbest CaO	%	0,74	1,2				
Toplam Katkı	%	0	27,29				

* Mineral katkılı çimento içerisindeki katkının, kalker ve trasan olduğu üretici firma analizlerinde beyan edilmiştir.

7.4.2 Agregalar

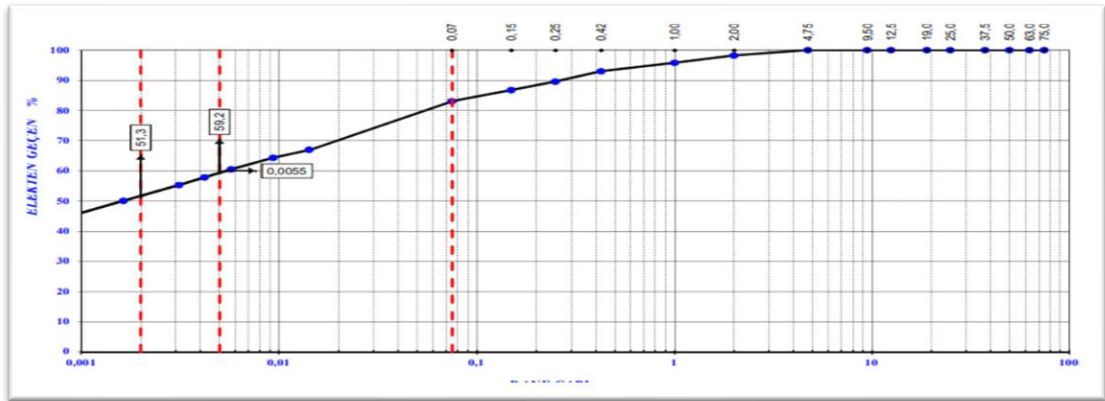
Agregaların gradasyonları, fiziksel özellikleri ve agregalar üzerinde yapılan analizler ve deney yöntemleri bu bölümde bahsedilecektir. Kullanılan agregaların hepsi Şekil 7.1’de görülen kapalı ortamda stoklanmıştır bu sayede kullanımdan önce ilave bir nem düzeltmesi yapımına gerek kalmamıştır.



Şekil 7.1 Agregaların bulunduğu kapalı depolama alanı

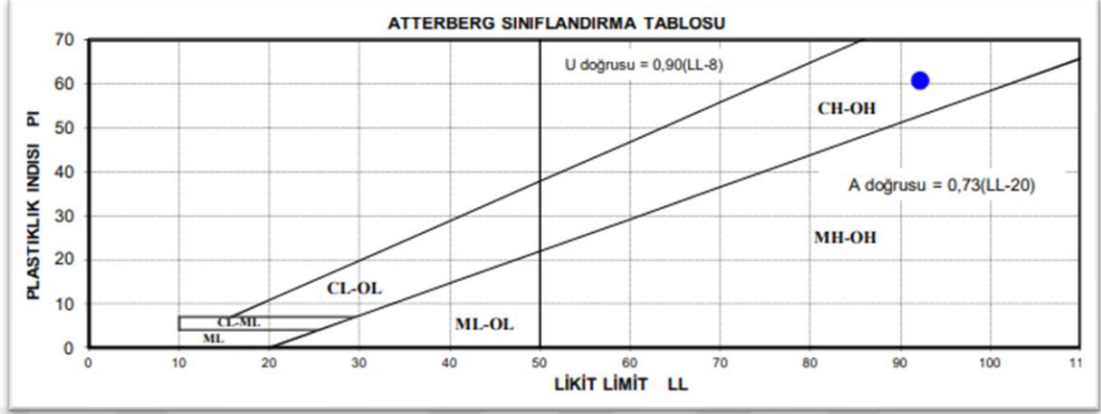
7.4.2.1 Elek Analizleri

Deneysel çalışmalarda 3 farklı ocaktan getirilen ince agrega (AG1-Baştaş, AG2-Asiltaş, AG3-Kızılkaplan) ve A1-Baştaş agregasının üzerine kil ikame ederek laboratuvarda farklı metilen mavisi derecesine sahip yeni bir ince agrega yapay türetilmiştir. İkame edilen kile ait bilgiler Gazi Üniversitesi Laboratuvar Deney formlarından alınmış olup elek analizi Şekil 7.2’de görülmektedir.



Şekil 7.2 AG4 agregasına ikame edilen kile ait elek analizi

Ayrıca kile ait Atterberg sınıflandırması Şekil 7.3'te görüldüğü gibidir. Buradan kilin yüksek plastisiteye sahip kil veya organik zeminlerin olduğu sınıfa girdiği görülebilmektedir.



Şekil 7.3 Atterberg Limitler Tablosu

Elde edilen diğer ince agregalarla birlikte toplamda 4 farklı gradasyonda ince agrega kullanılmıştır. İri agrega olarak “5-15” (5-15mm arasında tane dağılımına sahip) olarak anılan kırma kireç taşı tüm karışımlarda kullanılmıştır. İnce agregalar ise “0-4” (en büyük tane dağılımı 4 mm olan) aralığındadır. Agregaların TS 3530 EN 933-1 tarifine göre elek analizleri yapılmış olup laboratuvar imkanları nedeniyle standartta bahsedilen eleklerin hepsi kullanılamamıştır. Yapılan elek analizleri Tablo 7.4’ de, TS 3529 standardına göre ölçülen özgül ağırlıkları, TS EN 933-9 standardına göre yapılan metilen mavisi deney sonuçları ve diğer fiziksel özellikleri ise Tablo 7.5’ de verilmiştir.

Tablo 7.4 Agregaların Elek Analizleri

KABA AGREGA	
Elek no	Elekten Geçen %
16	98
8	32
4	6
2	1
1	0
0,5	0
0,25	0
Elek altı	0

Tablo 7.4 Devamı

AG1 (BAŞTAŞ BETON İNCE AGREGASI)		AG2 (ASİLTAŞ OCAĞI İNCE AGREGASI)		AG3(KIZILKAPLAN TAŞ OCAĞI İNCE AGREGASI)	
Elek No	Elekten Geçen %	Elek No	Elekten Geçen %	Elek No	Elekten Geçen %
4	92	4	99	4	94
2	66	2	74	2	71
1	40	1	48	1	48
0,5	30	0,5	35	0,5	36
0,25	17	0,25	27	0,25	21
Elek altı	0	Elek altı	0	Elek altı	0

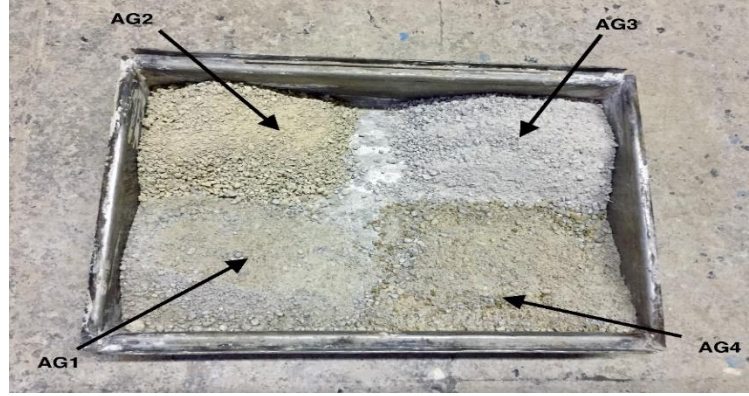
Tablo 7.5 Agregaların Fiziksel Özellikleri

ÖZELLİK	KABA AGREGA	AG1	AG2	AG3
KURU yoğunluk (g/cm ³)	2,71	2,65	2,61	2,54
K.Y.D yoğunluk (g/cm ³)	2,73	2,7	2,64	2,59
Ağırlıkça su emme (%)	0,27	1,13	1,1	2,06
0,063 mm'den geçen malzeme yüzdesi (%)	-	10,8	10	10
Metilen mavisi değeri	-	0,75	0,8	1

*AG4 agregası, AG1 agregasına ağırlıkça %2 oranında kil eklenerek yapay olarak türetilmiştir. Türetilen bu killi agreganın metilen mavisi değeri 2 MBV olarak ölçülmüştür.

KYB karışımlarının agrega gradasyon duyarlılığı göz önüne alınarak 63 mikronun altında kalan malzeme miktarları da tasarımda filler olarak dikkate alınmış ve karışım hesaplarında toz madde kısmına eklenmiştir.

Tablolarda da görüldüğü gibi her bir agrega farklı gradasyonda olup, farklı özelliklere sahiptir. Şekil 7.4'te de görülen bu agregalar, AG4 agregası hariç, gerekli TSE standartlarına uygun olup, piyasada beton agregası olarak kullanılmaktadır.



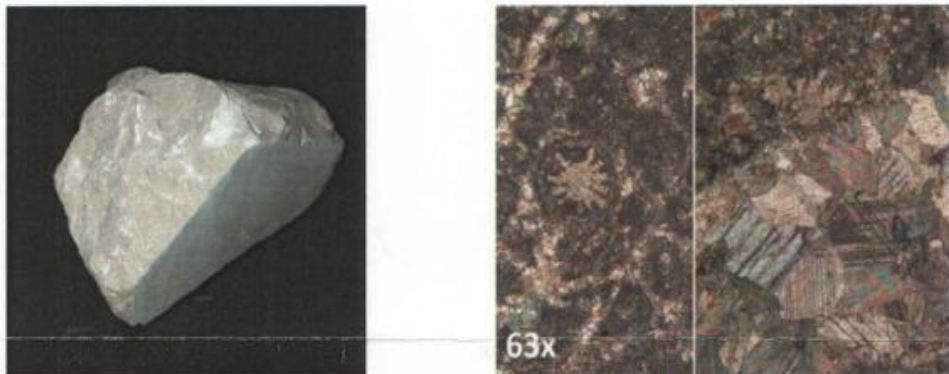
Şekil 7.4 İnce agregaların görünüşleri (AG4, AG1'e kil eklenerek elde edilmiştir.)

7.4.2.2 Agregalar için yapılan diğer deneyler ve analizler

Agregalar taş ocaklarından temin edilmeden önce kökenleri incelenmiş, kirlilik dereceleri analiz edildikten sonra da tasarıma göre gerekli miktar zayıyatı ile hesaplanarak temin edilmiştir. Agregaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin detaylı olarak tespit edilebilmesi için agregaların petrografik analizler irdelenmiştir. Ayrıca kirlilik derecesi için metilen mavisi deneyleri yapılmış ve daha önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi TS 3530 EN 933-1 standartında tanımlandığı gibi fakat sadece Tablo 7.4'teki elekler kullanılarak elek analizleri yapılmıştır.

7.4.2.3 Petrografik analiz

Literatür kısmında detaylı olarak bahsedildiği gibi petrografi kısaca kayacın mineral yapısını belirlemeyi amaçlamış bir bilim dalıdır. Deneyde kullanılan agregalardan örnek olarak AG2 agregasının petrografik analizine baktığımızda agrega Şekil 7.5' de görüldüğü gibi kireçtaşı kökenli olduğu görülmüştür. Aynı şekilde agregaların temin edildiği diğer firmalardan alınan bilgilere göre AG1 ve AG3 agregasının da kökeninin kireçtaşı olduğu beyan edilmiştir



Şekil 7.5 Asıltaş ocağından alınan AG2 agregasına ait petrografik analiz (ASİLTAŞ-1642, 2021)

7.4.2.4 Metilen Mavisi Deneyi

KYB üretimindeki süperakışkanlaştırıcı dozajı ayarlama zorluğunun başrolü olan ince agreganın metilen mavisi değerinin bilinmesi kritik öneme sahiptir. Piyasada “Temiz-Kirli Agrega” olarak adlandırılan bu kirlilik dereceleri agregada metilen mavisi deneyi ile belirlenir.

Daha önce Bölüm 3’te detaylı olarak tarif edilen metilen mavisi deneyi tüm agregalarda yapılmıştır. Deney için Şekil 7.6’de görüldüğü gibi düzenek kurulmaktadır ve mavi renkli bir hale görülünceye kadar deney süreci devam etmektedir. Şekilde AG4, AG1 ve diğer deneme ikameli agregalara ait metilen mavisi deneylerinin sonuçları görülmektedir.



Şekil 7.6 Metilen Mavisi Deney Görüntüleri

7.4.2.5 İncelik Modülü

İncelik Modülü belirli bir dizi elek üzerinde tutulan bir agrega numunesinin kalan miktarlarının yüzdelerinin toplanıp bu toplamın 100'e bölünmesiyle elde edilen ampirik bir rakamdır. Tane boyut dağılımını tek bir değerle ifade etmek için kullanılır.

Elek analizi yapılmış herhangi bir agrega için hesap metodu

$$m = \frac{K}{100}$$

m: incelik modülü

K: Her bir elekten kalan yüzdelerin toplamı olmak üzere hesaplanır.

Bu değerin tespiti, agreganın boyut dağılımından kaynaklanan farklılıkların ön görülebilmesi için yararlı olabileceğinden hesaplanmış ve Tablo 7.6 da verilmiştir.

Tablo 7.6 Agregaların İncelik modülleri

	Kaba Agrega	AG1	AG2	AG3
İncelik modülü	5.63	2.55	2.17	2.3

7.4.3 Kimyasal Katkı

İstenen özellikleri sağlayabilmek için kimyasal katkılar KYB yapımında kritik bir bileşendir. Bu amaçla Sika Yapı Kimyasalları A.Ş tarafından üretilen Sika Viscocrete 3075 ticari isimli polikarboksilat bazlı bir hiperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Bazı beton karışımlarında yaşanan stabilite ve kendiliğinden yerleşebilirlik problemleri nedeniyle süperakışkanlaştırıcı katkı ile uyumlu olan bir viskozite düzenleyici (Sika Stabilizer-7) kimyasal katkı da tezin deneysel çalışmaları kapsamında kullanılmıştır. Şekil 7.7’de deneylerde kullanılan kimyasal katkılar görülmektedir.



Şekil 7.7 Kimyasal katkıları

Polikarboksilat bazlı hiper akışkanlaştırıcı ASTM C494 standartına göre F sınıfına girmektedir. Tablo 7.7’de her iki kimyasal katkıının fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmiştir.

Tablo 7.7 Deneylerde kullanılan kimyasal katkıların fiziksel ve kimyasal özellikleri

ÖZELLİK	SİKA VİSCOCRETE Hi-Tech 3075	SİKA STABİLİZER 7
Homojenlik	Homojen	Homojen
Renk	Kahverengi	Açık kahverengi
Yoğunluk	1,1062 g/cm ³	1,03 g/cm ³
Katı madde Yüzdesi %	28,15	*40
pH	5,65	8
Suda çözünebilen klor yüzdesi (%)	0,09	0,1

*Bütün değerler üreticinin belirttiği değerler olup sadece Sika Stabilizer 7’nin katı madde yüzdesi için bir bilgi verilmediğinden dolayı aynı viskozite düzenleyici katkının kullanıldığı başka bir çalışmadan alınmıştır (Jawahar, Sashidrar, Reddy ve Peter, 2013).

7.4.4 Su

Hazırlanan betonlarda karışım suyu olarak Gazi Üniversitesi Yapı Laboratuvarı musluk suyu kullanılmıştır.

7.5 Karışım Hesapları

AG1, AG2, AG3, AG4 serisi karışım hesaplarında agrega tane boyut dağılımındaki ve nem durumundaki değişkenliğinin beton reçetesine etkisinin en aza indirebilmesi amacıyla Microsoft Excel Programında formüller oluşturularak agrega karışımının gradasyonu hesaplanmış ve EFNARC (2005) şartlarını kontrol eden gerekirse nem (bu çalışmada nem sabit) düzelten bir program hazırlanmıştır. Bu programın örnek bir çıktısı EKLER bölümünde verilmiştir. Programın çalışma prensibi aşağıda açıklanmıştır.

1- Programı çalıştırmadan önce malzemelerin gerekli fiziksel ve kimyasal özelliklerinin ilgili Excel kutucuklarına girilmesi gerekmektedir. Daha sonra hesap bölümünde koyu renkte olan kutucuklara gerekli parametreler girilir. (Bkz. Ek-1)

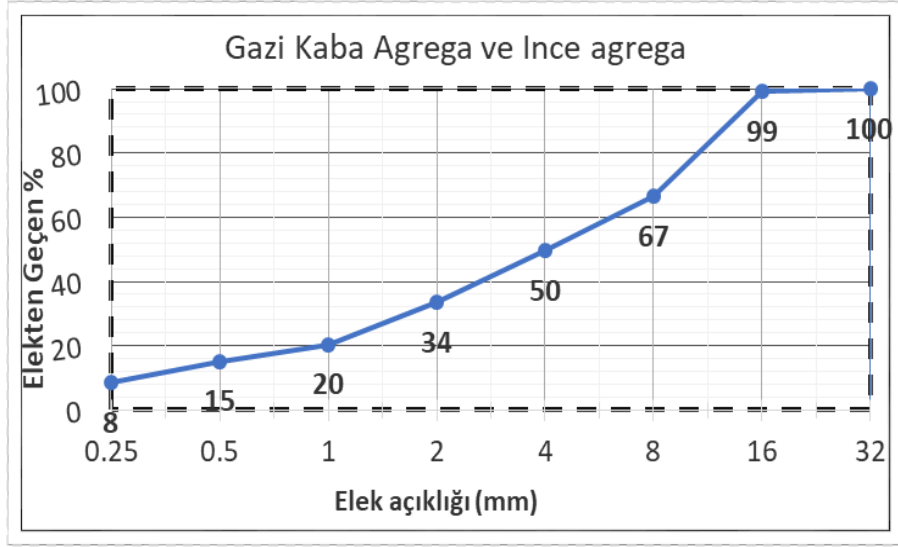
2- Program gerekli nem düzeltmesini de hesap ederek, Tablo 7.8 de görülen EFNARC (2005) şartname kurallarına uygun olup olmadığını da kontrol ederek, KYB için gerekli malzeme miktarlarını oluşturmaktadır.

Tablo 7.8 Tasarım parametrelerinin kontrolü örneği

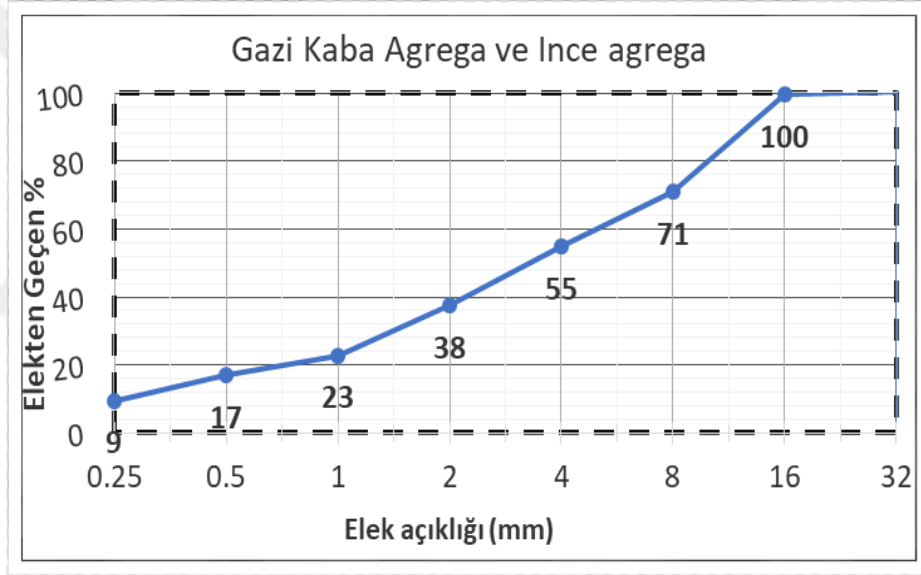
EFNARC UYGUNLUK			
	Tasarım Sonuçları	EFNARC Şartları	Kontrol
Toz (kg/m^3)	594,8	380-600	UYGUN
Hamur (l/m^3)	426,71	300-380	Sınır üstü!
Su (kg/m^3)	210,00	150-210	UYGUN
İri Agrega (l/m^3)	323,50	270-360	UYGUN
İnce Agrega %	50,16	48-55	UYGUN
Su/Toz (l/m^3)	0,97	0,85-1,10	UYGUN

*Tablo, AG1-30-K numaralı deneye ait tasarım parametreleri kontrol durumunu göstermektedir.

3- Program agrega gradasyonuna göre 4 mm üstü malzemeyi iri agrega, 0,125-4 mm arasını ince agrega ve 0,125 mm altındaki malzemeyi inert filler olarak kabul etmektedir. Şekil 7.8 ve Şekil 7.9'da görüldüğü gibi program istenen kaba agrega/ince agrega oranında elek analizi grafiğini çizmektedir.



Şekil 7.8 %50 Kaba %50 İnce agrega kullanıldığında elde edilen grafik



Şekil 7.9 %53 Kaba %47 İnce agrega kullanıldığında elde edilen grafik

7.5.1 Deney serilerinin ağırlıkça ve hacimce tasarım bileşenleri

Daha önceden amaç bölümünde de bahsedildiği gibi karışımların hazırlanmasının amacı kullanılan ince agrega tipi, metilen mavisi değerleri, karışım oranlarının KYB üretimindeki etkisini tespit etmek olduğu için 4 farklı deney serisi toplamda 16 farklı deney yapılmıştır. Bu tasarımlara ait ağırlıkça oranlar Tablo 7.9, Tablo 7.10 ve Tablo 7.11 de verilmiştir.

Tablo 7.9 Agregâ tiplerine göre karşılaştırmalı ağırlıkça tasarım bileşenleri

Beton	Su/Çimento Oranı	Çimento (kg/m ³)	Su (kg/m ³)	İnce Agregâ (kg/m ³)	İri Agregâ (kg/m ³)	Viscocrete 3075 (kg/m ³)	Stabilizer-7 (kg/m ³)	Teorik B.H.A (kg/m ³)
AG1-30-S	0,50	297	148	989	975	17,82	0,00	2427
AG1-45-S	0,38	419	159	934	920	8,33	0,00	2440
AG1-30-K	0,39	482	189	852	840	9,63	0,00	2373
AG1-45-K	0,37	428	158	895	881	25,72	0,00	2388
AG2-30-S	0,48	314	150	964	972	12,57	0,00	2413
AG2-45-S	0,41	375	153	934	941	11,25	0,00	2415
AG2-30-K	0,38	458	172	867	874	11,45	0,00	2383
AG2-45-K	0,35	407	144	915	922	20,33	2,18	2410
AG3-30-S	0,48	325	155	953	961	3,24	1,48	2398
AG3-45-S	0,38	401	152	913	921	12,05	1,84	2401
AG3-30-K	0,38	468	180	847	854	4,70	2,11	2355
AG3-45-K	0,35	436	154	880	887	13,07	1,98	2373
AG4-30-S	0,48	327	156	982	967	16,30	2,97	2451
AG4-45-S	0,38	400	152	931	917	35,99	3,64	2440
AG4-30-K	0,38	459	177	851	839	41,34	4,10	2371
AG4-45-K	0,35	426	151	883	869	42,52	3,86	2374

Tablo 7.10 Beton sınıflarına göre karşılaştırmalı tasarım bileşenleri

Beton	Su/Çimento Oranı	Çimento (kg/m ³)	Su (kg/m ³)	İnce Agregası (kg/m ³)	İri Agregası (kg/m ³)	Viscocrete 3075 (kg/m ³)	Stabilizer-7 (kg/m ³)	Teorik B.H.A (kg/m ³)
AG1-30-S	0,50	297	148	989	975	17,82	0,00	2428
AG2-30-S	0,48	314	150	964	972	12,57	0,00	2413
AG3-30-S	0,48	325	155	953	961	3,24	1,48	2399
AG4-30-S	0,48	327	156	982	967	16,30	2,97	2452
AG1-45-S	0,38	419	159	934	920	8,33	0,00	2441
AG2-45-S	0,41	375	153	934	941	11,25	0,00	2415
AG3-45-S	0,38	401	152	913	921	12,05	1,84	2401
AG4-45-S	0,38	400	152	931	917	35,99	3,64	2441
AG1-30-K	0,39	482	189	852	840	9,63	0,00	2373
AG2-30-K	0,38	458	172	867	874	11,45	0,00	2383
AG3-30-K	0,38	468	180	847	854	4,70	2,11	2356
AG4-30-K	0,38	459	177	851	839	41,34	4,10	2372
AG1-45-K	0,37	428	158	895	881	25,72	0,00	2388
AG2-45-K	0,35	407	144	915	922	20,33	2,18	2410
AG3-45-K	0,35	436	154	880	887	13,07	1,98	2374
AG4-45-K	0,35	426	151	883	869	42,52	3,86	2375

Tablo 7.11 Çimento tiplerine göre karşılaştırmalı ağırlıkça tasarım bileşenleri

Beton	Su/Çimento Oranı	Çimento (kg/m ³)	Su (kg/m ³)	İnce Agregası (kg/m ³)	İri Agregası (kg/m ³)	Viscocrete 3075 (kg/m ³)	Stabilizer-7 (kg/m ³)	Teorik B.H.A (kg/m ³)
AG1-30-S	0,50	297	148	989	975	17,82	0,00	2428
AG1-45-S	0,38	419	159	934	920	8,33	0,00	2441
AG1-30-K	0,39	482	189	852	840	9,63	0,00	2373
AG1-45-K	0,37	428	158	895	881	25,72	0,00	2388
AG2-30-S	0,48	314	150	964	972	12,57	0,00	2413
AG2-45-S	0,41	375	153	934	941	11,25	0,00	2415
AG2-30-K	0,38	458	172	867	874	11,45	0,00	2383
AG2-45-K	0,35	407	144	915	922	20,33	2,18	2410
AG3-30-S	0,48	325	155	953	961	3,24	1,48	2399
AG3-45-S	0,38	401	152	913	921	12,05	1,84	2401
AG3-30-K	0,38	468	180	847	854	4,70	2,11	2356
AG3-45-K	0,35	436	154	880	887	13,07	1,98	2374
AG4-30-S	0,48	327	156	982	967	16,30	2,97	2452
AG4-45-S	0,38	400	152	931	917	35,99	3,64	2441
AG4-30-K	0,38	459	177	851	839	41,34	4,10	2372
AG4-45-K	0,35	426	151	883	869	42,52	3,86	2375

Bu deney tasarımlarında dikkat edilen şartlar, EFNARC (2005), ise grafiklerin altında Tablo 7.12’de sunulmuştur. Şartnamede KYB yapmak için belirtilen sınır değerler bazen aşılmasına rağmen viskozite artırıcı desteği ile kendiliğinden yerleşebilirlik şartları büyük ölçüde sağlanabilmektedir.

Tablo 7.12’de verilen EFNARC (2005) önerilerini sınır değere yakın kimi zaman su kimi zaman hamur hacmi ile AG1-30-S, AG1-30-K, AG2-45-K, AG3-30-K, AG4-30-K dökümleri sağlamamıştır.

Tablo 7.12 EFNARC (2005) önerileri

<i>Bileşenler</i>	İzin verilen değer aralığı
Toz (kg/m³)	380-600
Hamur (l/m³)	300-380
Su (kg/m³)	150-210
İri Agregat (l/m³)	270-360
İnce Agregat %	48-55
Su/Toz (l/m³)	0,85-1,10

7.6 Deneylerin Yapılışı

Bu bölümde agrega için yapılan deneyler, taze ve sertleşmiş beton deneyleri yapılırken kullanılan makine ve aparatlardan ve deneyler sırasında dikkat edilen noktalardan söz edilecektir.

7.6.1 Taze Beton

Beton döküm planlaması iki kişi tarafından döküm öncesinde belirlenmiş ardından bu kaidelere bire bir uyularak her bir döküm yapılmıştır.

Her bir karışım, sertleşmiş hal için gerekli numune sayısını karşılaması ve taze beton deneylerini yapabilmek için gerekli miktarı sağlaması gerektirdiğinden bunlar için gerekli miktarlar hesaplanmış toplam hacim %17 zayıf payı eklenerek artırılarak döküm miktarı belirlenmiştir.

Mikser kapasitesi 50 dm³ lük olup yatay eksenli bir karıştırıcı palet sistemine sahiptir. Bütün serilerde 24 dm³ lük KYB hazırlanmıştır.

Beton bileşenleri tartılırken çimento ve agregalar için 5 gr, su ve kimyasal katkıları tartılırken 1 gr hassasiyetli terazi kullanılmıştır. Tartılan malzemelerin homojen karışım olması için şu yöntem izlenmiştir:

Öncelikle kaba agrega, ince agrega ve çimento mikserde yerleştirilmiş kuru olarak 1 dakika karıştırılmış daha sonra mikser çalışır durumda iken su ilave edilmiştir. 5 dakika geçtikten sonra karışıma süperakışkanlaştırıcı katkı eklenmiştir. Karışımın gözle ve el küreği ile kendiliğinden yerleşen beton olduğu düşünülünceye kadar karıştırma işlemi devam etmiştir. Bu sürenin 3 dakikanın altında kalmamasına dikkat edildiği gibi çimentonun zamanla hidrasyona başlayacağı düşünüldüğünden fazla da uzun tutulmamıştır. Öngörülen süperakışkanlaştırıcı katkı dozajına rağmen kendiliğinden yerleşebilirlik açısından yetersiz olduğu düşünülen karışımlara ilave kimyasal katkıları eklenmiş ve tasarıma yansıtılmıştır.

Karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra mikserden bir miktar beton alınarak yayılma deneyi yapılmıştır. Yayılma deneyi EFNARC (2005) tarafından hazırlanan şartnamesine uygun olarak yapılmıştır. Huni sıkıştırma işlemi uygulanmadan yavaş yavaş kaldırılmaktadır. Betonun yayıldığı tablaya önceden 50 cm 'lik bir çember çizilerek betonun 50 cm lik çapa gelme süresi ölçülür. Daha sonra nihai yayılma çapı birbirine dik iki doğrultuda ölçülerek deney tamamlanır. Bu deneylerde amaç EFNARC (2005) şartnamesine göre SF2 sınıfı yani 650 ile 750 mm yayılma çapına ulaşılabilme olmuştur. Tam sınırdaki kalan dökümler olmakla birlikte bütün karışımlar bu sınıfa girmiştir.

Yayılma deneyi yapıldıktan sonra deneyde kullanılan beton mikserin içerisine geri doldurulmuş ve yüksek tiksotropik davranış gösteren karışımlarda beton mikseri 30 saniye karıştırılarak beton ilk haline getirilmiş ve daha sonra L kutusu deneyi yapılmıştır. Yayılma deneyi gibi L kutusu deneyi de EFNARC (2005) şartnamesine uygun olarak yapılmıştır. L kutusunun dikey haznesine beton doldurulmuş daha sonra kapak açılarak betonun karşıya ulaşma süresi 20 ve 40 cm 'lik mesafeye geliş süresi, bloklanma oranı olarak bilinen L kutusunun son ve baş kısımlarındaki yüksekliklerin arasındaki oran bulunmuştur

Daha sonra dalıcı tip termometre yardımı ile betonun sıcaklığı ölçülmüştür. Taze birim hacim ağırlık deneyi yapılmıştır ve son olarak beton kalıplara harici bir sıkıştırma yapılmayacak şekilde yerleştirilerek süreç tamamlanmıştır.

7.6.2 Sertleşmiş Beton

Betonlar kalıplara alındıktan sonra genel olarak 1 gün beklenmiş ve numuneler kalıptan çıkarılmıştır. Bazı numunelerde ortam koşulları veya yüksek kimyasal katkı dozajı nedenleriyle kalıp alma süresi 1 gün geciktirilmiştir. Her numune kalıptan çıkartıldıktan sonra ortalama 20°C su küründe deney gününe kadar bekletilmiştir. Numunelerin 3 günlük, 7 günlük, 28 günlük, 56 günlük basınç değerleri ve 7, 28, 56 günlük yarmada çekme değerleri tespit edilmiştir. Bu deneylerdeki detaylar sırası ile aşağıda özetlenmiştir.

7.6.2.1 Serbest Basınç Deneyi

Serbest basınç değerli YKM Marka ve 2000 kN ton kapasiteli ve dijital göstergesi olan farklı numune boyutlarına ayarlanabilmek için sökülüp takılan aparatları olan Şekil 7.10'da görülen hidrolik beton presi kullanılmıştır. Numuneler TS EN 12390-1 standardına uygun olarak hazırlanmış ve deney TS EN 12390-3 standardına göre yapılmıştır.



Şekil 7.10 Deneylerde kullanılan hidrolik pres

Numuneler 10x10x10 cm boyutlarında küp numunelerdir. Yükleme hızı numune boyutu ile doğru orantılı olarak otomatik ayarlanmaktadır.

7.6.2.2 Silindir Yarma Deneyi

Brezilya silindir yarma deneyleri de TS EN 12390-6 standardına uygun olarak YKM marka ve 2000kN olan hidrolik presi ve Şekil 7.11’de görülen bir yardımcı aparat kullanılarak betonların yarmada çekme değerleri ölçülmüştür. Yükleme hızı otomatik olarak numune yükleme alanına göre belirlenmiştir.



Şekil 7.11 Hidrolik prese takılan aparat

7.7 Deney Sonuçları ve Tartışma

7.7.1 Taze Beton Deney Sonuçları

Taze betonda yayılma, T_{50} süresi, bloklanma oranı, birim hacim ağırlık, sıcaklık değerleri Tablo 7.13’te verilmiştir. Tabloda görüleceği gibi metilen mavisi değeri yüksek olan ince agregaların kullanıldığı betonlarda EFNARC (2005) şartlarına göre SF2 sınıfına getirebilmek için daha fazla kimyasal katkı kullanılmıştır. Bu durum daha sonra detaylı olarak son bölümde değerlendirilecektir. Ayrıca, taze birim hacim ağırlıklar, teorik birim hacim ağırlıktan daha yüksek çıkmaktadır. Bu durumun öngörülen hava içeriğinin pratikte farklı olmasından veya perdahlamada üst yüzeyin yeteri kadar düzleştirilememesinden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

Tablo 7.13 Taze Beton Özellikleri

Beton numara	Agrega tipi	Çimento sınıfı	Hedef Dayanım Sınıfı	Metilen mavisi değerleri (MB)	Yayılma çapı (mm)	EFNARC Yayılma Sınıflandırma	T 50 (sn)	Bloklanma oranı	Ortam Sıcaklığı (°C)	Taze Beton Sıcaklığı (°C)	Taze Birim hacim ağırlık (kg/m³)	*Kullanılan toplam kimyasal katkı dozajı (%) (VAK+SK)
AG1-30-S	AG1	Cem I 42,5 R	C25/30	0,75	670	SF2	13	0,94	20,2	19,5	2404	6,00
AG1-45-S	AG1	Cem I 42,5 R	C35/45		665	SF2	4	0,80	20,5	20	2446	2,00
AG1-30-K	AG1	CEM II B-LL 32,5R	C25/30		705	SF2	3,5	0,91	21,5	20,1	2394	2,00
AG1-45-K	AG1	CEM II B-LL 32,5R	C35/45		700	SF2	9	0,88	20,5	19,8	2431	6,00
AG2-30-S	AG2	Cem I 42,5 R	C25/30	0,8	640	SF1	5	0,70	20,5	19,5	2429	4,00
AG2-45-S	AG2	Cem I 42,5 R	C35/45		650	SF1	8	0,96	20,2	20,5	2403	3,00
AG2-30-K	AG2	CEM II B-LL 32,5R	C25/30		705	SF2	4	0,83	20,5	19,5	2440	2,50
AG2-45-K	AG2	CEM II B-LL 32,5R	C35/45		730	SF2	4	0,88	23,2	20,1	2494	5,00
AG3-30-S	AG3	Cem I 42,5 R	C25/30	1	710	SF2	4	0,71	20,5	19,5	2375	1,00
AG3-45-S	AG3	Cem I 42,5 R	C35/45		700	SF2	5	0,65	21	19	2390	3,00
AG3-30-K	AG3	CEM II B-LL 32,5R	C25/30		700	SF2	3	0,78	23,2	21,4	2443	1,00
AG3-45-K	AG3	CEM II B-LL 32,5R	C35/45		715	SF2	3	0,85	18,9	20,2	2448	3,00
AG4-30-S	AG4	Cem I 42,5 R	C25/30	2	670	SF2	4	0,70	23	21	2423	5,00
AG4-45-S	AG4	Cem I 42,5 R	C35/45		665	SF2	8	0,85	22	20,3	2391	9,00
AG4-30-K	AG4	CEM II B-LL 32,5R	C25/30		715	SF2	2	0,96	19,2	17,9	2394	9,00
AG4-45-K	AG4	CEM II B-LL 32,5R	C35/45		725	SF2	1,5	0,91	20	19	2391	10,00

*Bağlayıcının ağırlıkça yüzdesi

7.7.1.1 Taze ve Teorik Birim Hacim Ağırlık Karşılaştırılması

Beton dökümünde önceden belirlenmiş reçetenin birebir döküm sırasında uygulanması sonuçların doğruluğu bakımından çok önemlidir. Bu sebeple bu çalışmada taze haldeki birim hacim ağırlık ölçülmüş ve teorik birim hacim ağırlık karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucu teorik ve ölçülen birim hacim ağırlık arasındaki farkın 100 kg/m^3 aşmadığı görülmüştür. Bu değerler arasındaki korelasyon ilişkisi Şekil 7.12’de görülmektedir.

Grafikte agreganın **metilen mavisi değerine** göre

AG1 agregaları kullanılarak yapılan dökümler Mavi

AG2 agregaları kullanılarak yapılan dökümler Kırmızı

AG3 agregaları kullanılarak yapılan dökümler Yeşil

AG4 agregaları kullanılarak yapılan dökümler Mor **renk** ile

Kullanılan çimento tipine göre

Mineral katkısız çimento kullanılan dökümler ortasında üçgen,

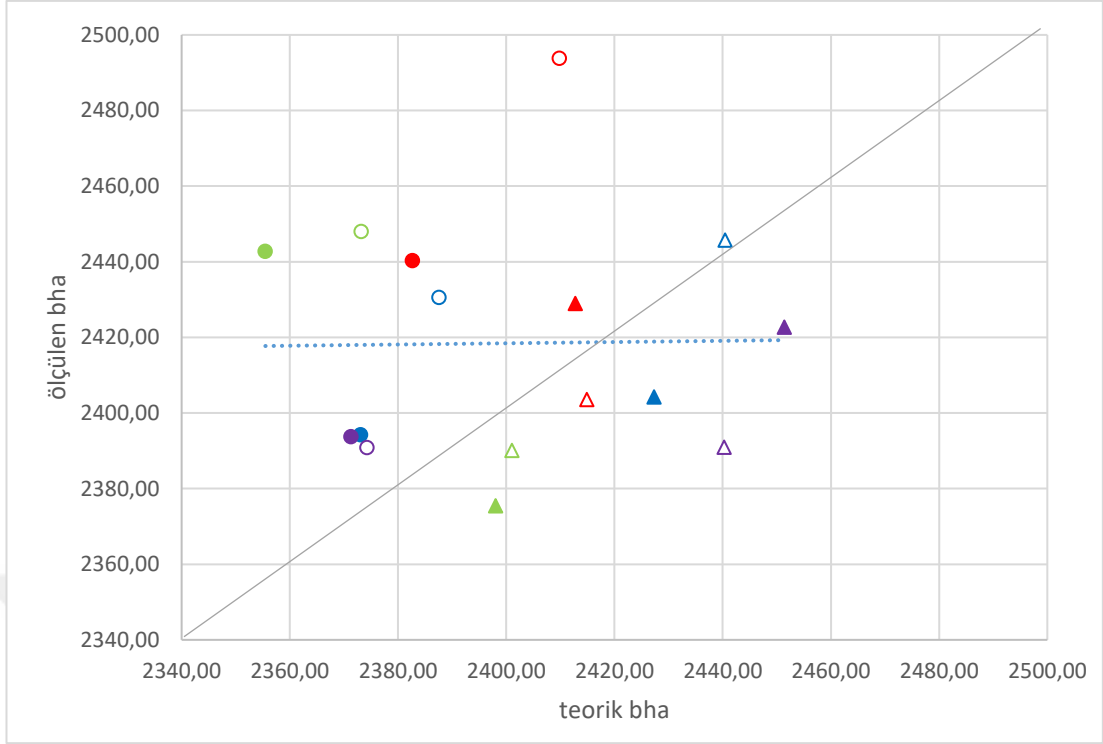
Mineral katkılı çimento kullanılan dökümler ortasında yuvarlak **şekil** ile

Hedef dayanım olarak;

C35/40 hedef dayanımlı dökümler içi boş,

C25/30 hedef dayanımlı dökümler ise içi aynı renk ile dolu **şekil ortası boşluk** durumuna göre temsil edilmiştir.

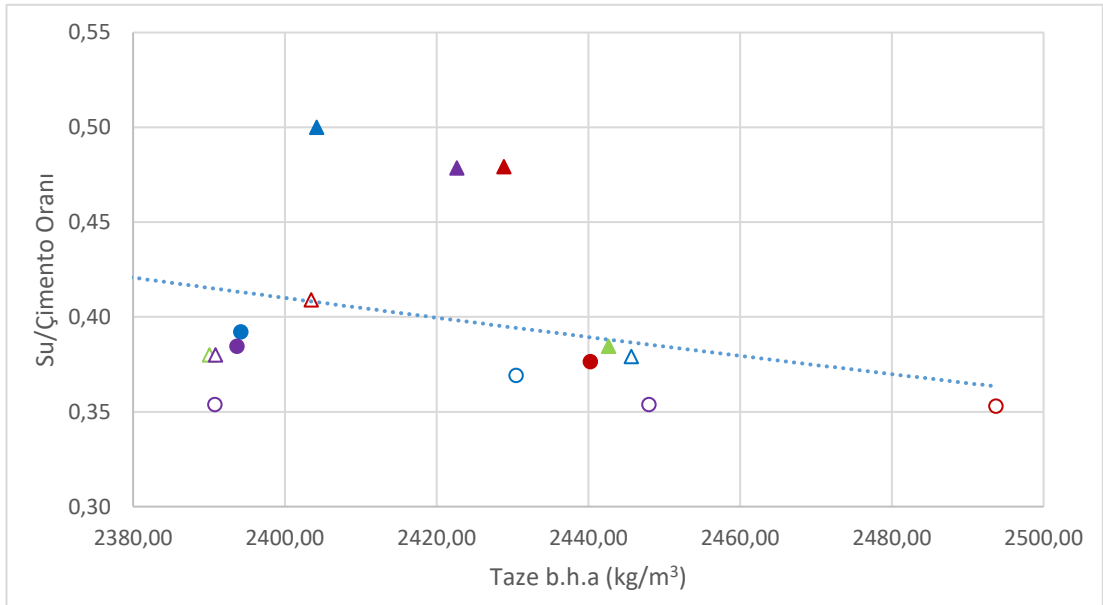
Bu metodoloji ayrı ayrı belirtilmemiş fakat akabindeki gerekli bütün grafiklerde de uygulanmıştır.



Şekil 7.12 Taze ve Teorik Birim Hacim Ağırlığı Karşılaştırılması

7.7.1.2 Su/Çimento – Taze Birim Hacim Ağırlık Karşılaştırılması

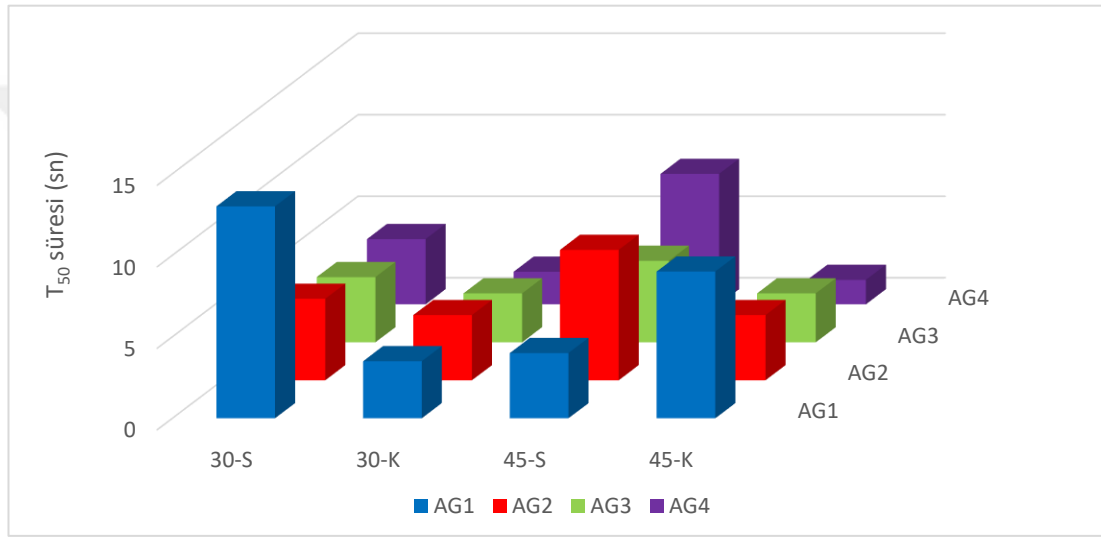
Su bölü çimento ve taze birim hacim ağırlık arasındaki ilişki Şekil 7.13’te verildiği gibidir. Mineral katkılı çimento kullanılarak hazırlanan dökümlerde yüksek su/çimento oranlarında görece daha düşük taze birim hacim ağırlıklar elde edilmiştir. Genel olarak su/ çimento azaldıkça taze birim hacim ağırlıklar artmıştır.



Şekil 7.13 Su/Çimento- Taze Birim Hacim Ağırlık Karşılaştırılması

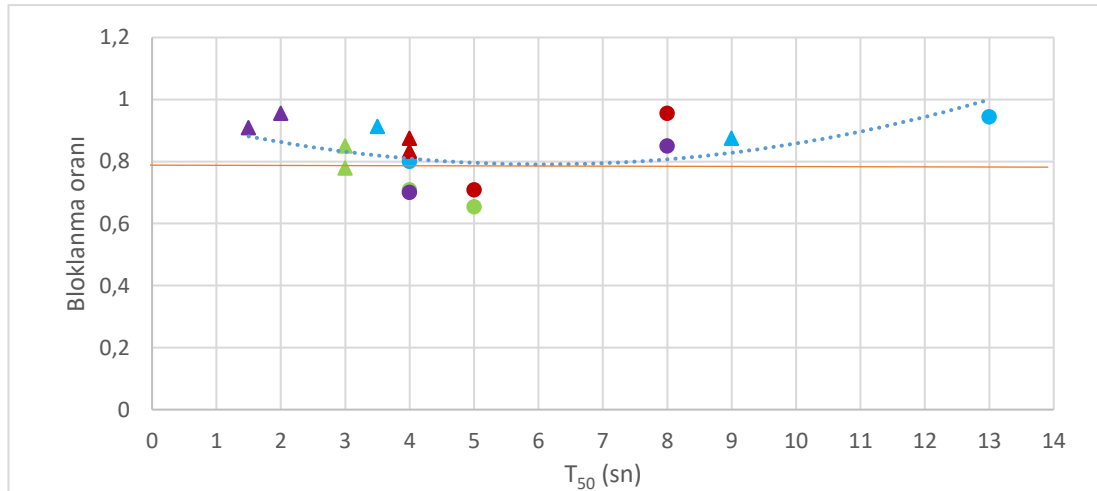
7.7.1.3 T_{50} süresi ve Bloklanma oranı

Taze hal özelliklerinin belirlenebilmesinde T_{50} süresi ve L kutusunun farklı iki kenarı arasındaki yükseklik farkı olan bloklanma oranının belirlenmesi viskozite ile ilgili yorum yapma imkânı sağlayabilir. Şekil 7.14'te üretilen betonların T_{50} süresinin karşılaştırılması görülmektedir. EFNARC şartnamesine (EFNARC, 2005) göre literatür kısmından da bilindiği gibi T_{50} süresine bakıldığında VS1 ve VS2 olmak üzere iki sınıf bulunmaktadır. Bu nedenle sadece grafikte; mineral katkılı çimento kullanılarak yapılan dökümler desenli dolgu ile gösterilmiş, agregalar metilen mavisi farklılığına göre diğer grafikler gibi renklendirilmiştir.



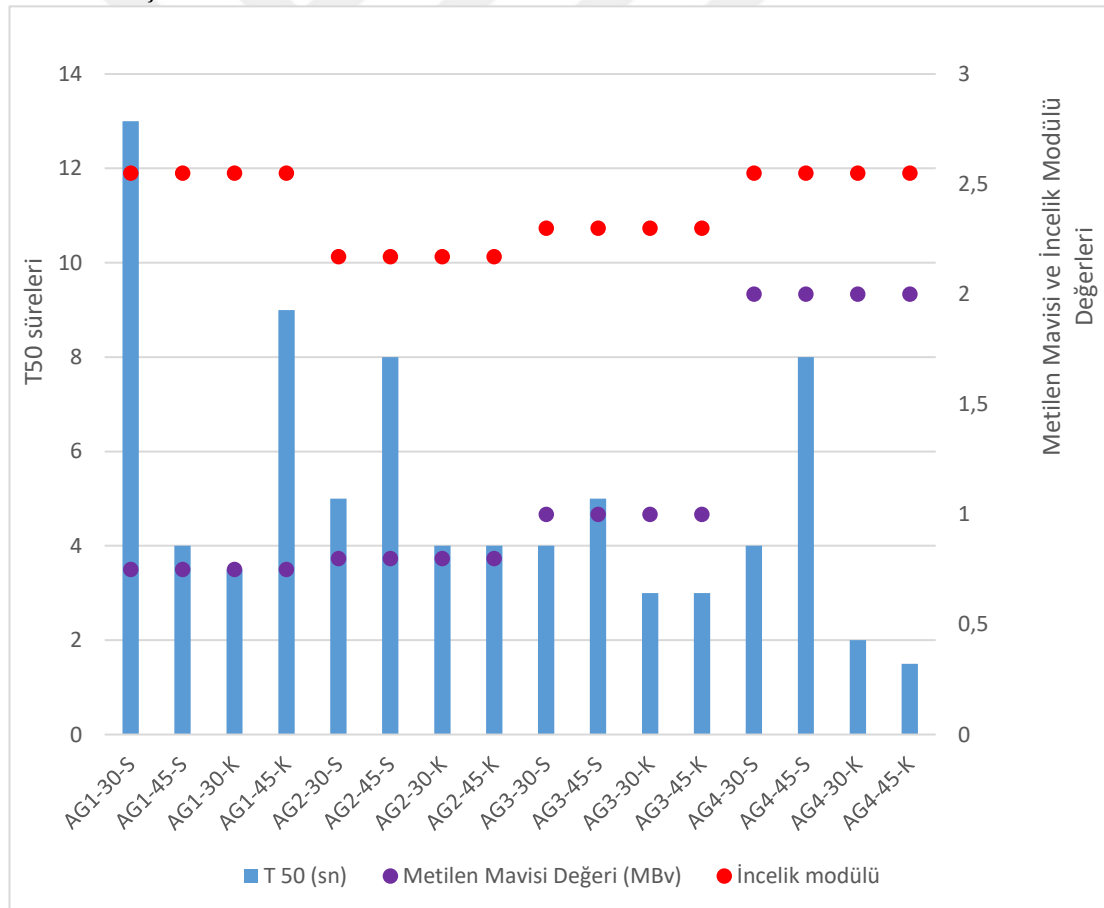
Şekil 7.14 Üretilen betonların T_{50} süreleri

Şekil 7.15'te ise L kutusunun deney ölçütü olan dökümlere ait bloklanma oranı T_{50} süresi ile aralarındaki korelasyon ile görülmektedir. Bloklanma oranı 0,80 çizgisi kırmızı olarak gösterilmiştir. Toplamda 5 adet döküm bu oranın altında kalmaktadır.



Şekil 7.15 T_{50} süresi ve bloklanma oranı

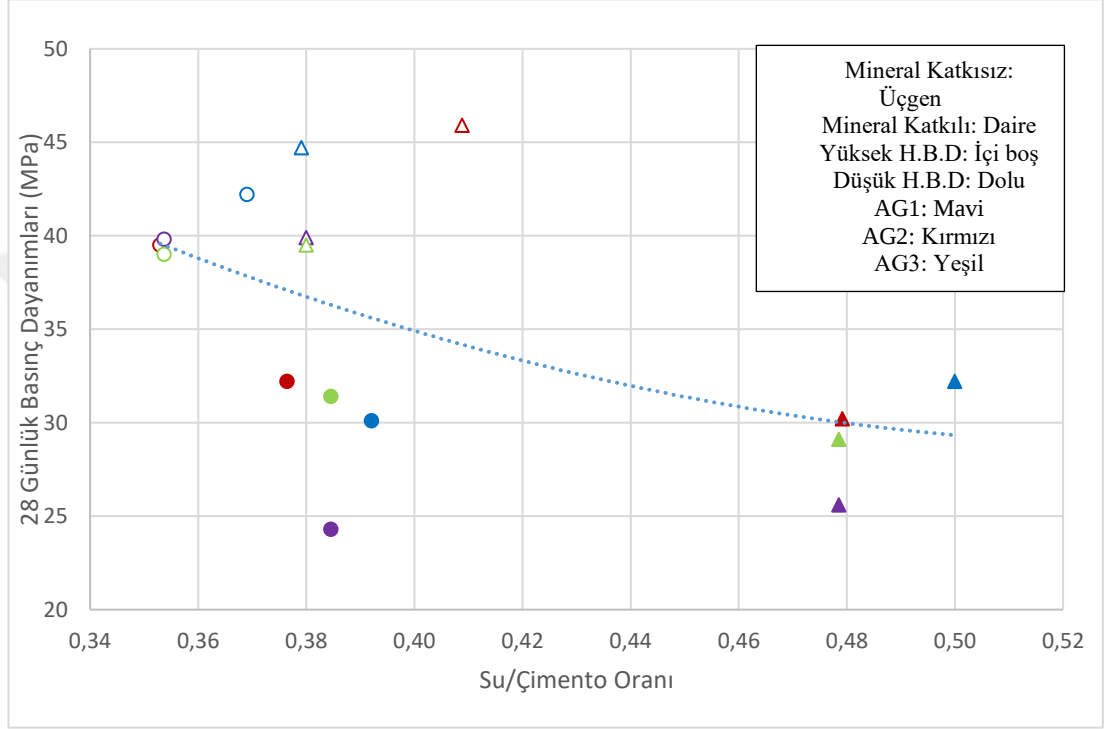
EFNARC şartnamesine göre (EFNARC, 2005) PA1 sınıfı 0,8-1 arasında bloklanma oranına sahip, konut ve yatay yapılarında kullanılan bir KYB olduğunu söylüyor. Bloklanma oranı 0,6-0,8 arasında olunca ise beton PA2 sınıfı olarak genellikle diğer mühendislik yapılarına uygun olan KYB olduğu belirtilmiştir. Her ne kadar agrega sınıfının etkisi net olarak yorumlanamasa da agregaların metilen mavisi arttıkça dökümlerin grafiğin sol tarafında, yani daha düşük T50 süresine sahip olduğu tarafta, toplandığı görülmektedir. Yüksek metilen mavisi değerli ince agregalarla dökülen betonlar daha düşük T50 süresine sahiptir. Betonun kendiliğinden yerleşebilirliğini sağlamak için gerekli kimyasal katkı ihtiyacını artması nedeniyle yüksek metilen mavisi değerine sahip agregalı taze betonlar çökme-yayılma deneyinde daha hızlı bir şekilde 50 cm çapa ulaşmaktadır. Ayrıca Şekil 7.16 'da görüldüğü gibi T50 süresi ve incelik modülü ile de bağlantı kurulmaya çalışılmış fakat bir sonuç elde edilememiştir.



Şekil 7.16 İncelik modülü ve T50 süresi arasındaki ilişki

7.7.1.4 Su/Çimento – 28 Günlük Basınç Dayanımı Karşılaştırılması

Su / çimento oranı ve 28 günlük basınç dayanımı arasındaki ilişki tüm betonlar için Şekil 7.17’de verildiği gibidir. Genel olarak su/çimento arttıkça 28 günlük basınç dayanımının azaldığını görülmüştür. Grafikte ayrıca düşük hedef basınç dayanımlı mineral katkısız çimentolu dökümlerin, mineral katkılı çimentolu dökümlere göre daha yüksek su/çimento oranı ile sağlanabildiği görülmektedir.



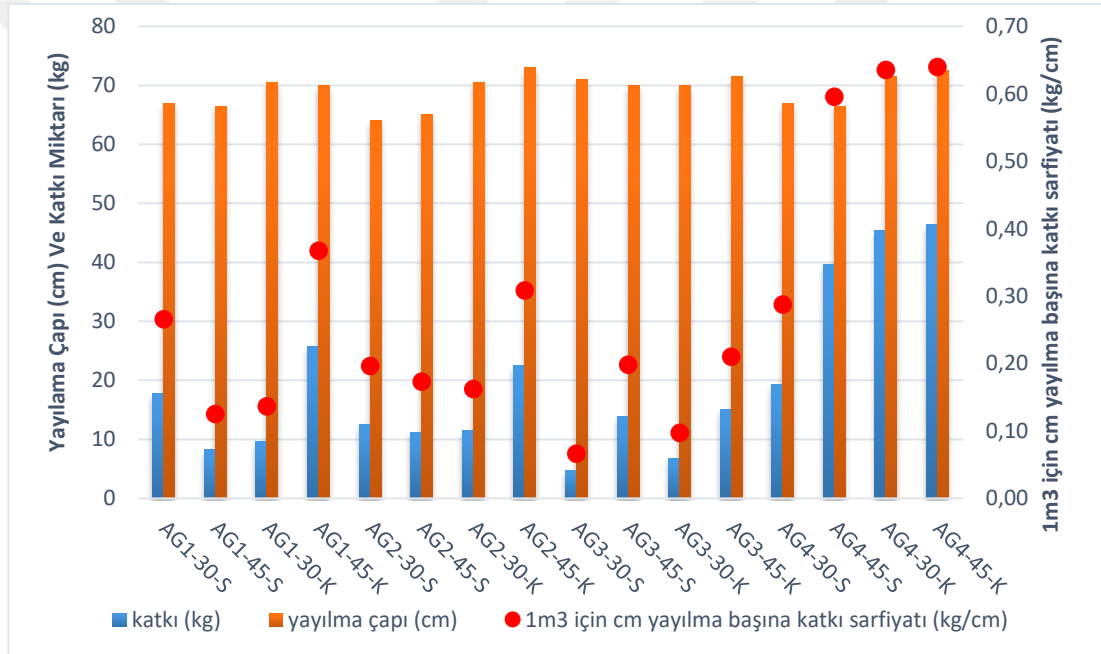
Şekil 7.17 Su/Çimento- 28 Günlük Basınç Dayanımı Karşılaştırılması

7.7.1.5 Süperakışkanlaştırıcı ve Viskozite Düzenleyici Katkı İhtiyacı

Agregadaki metilen mavisi değeri arttıkça KYB de aynı taze beton özelliklerini elde etmek için kimyasal katkı miktarı artırılarak tasarım yapılmıştır. Bunun maliyet olarak getireceği dezavantajlarından detaylı olarak ekonomik analiz bölümünde bahsedilecektir. Bu bölümde ise kimyasal katkı dozajı ile yayılma çapı arasındaki ilişki yorumlanacaktır. Analizlere geçilmeden önce şu belirtilmelidir ki metilen mavisi yüksek agregaların getirdiği dezavantajlar başlangıçta süperakışkanlaştırıcı (SK) katkı ile çözülmeye çalışılmıştır. Fakat tek başına süperakışkanlaştırıcı katkının agregaların metilen mavisi arttıkça yetersiz kaldığı görülmüş ve AG2 agregalarının son dökümünden itibaren viskozite düzenleyici katkı (VAK) kullanılmaya başlanmıştır. İlk olarak tüm deneylerin birim katkı için sağladığı yayılma değerlerine bakarak deneyler arasında katkının en etkili kullanıldığı beton serisi tespit edilecektir. Şekil

7.18’de görüldüğü gibi birim yayılma için gerekli en düşük katkı miktarı, metilen mavisi büyük olmasına rağmen AG3-30-S serisinden elde edilmiştir. İlave yeni bir viskozite düzenleyici katkı kullanmak karışımın kıvamını koruyarak istenen taze hal özelliklere daha az miktarda kimyasal katkı kullanarak ulaşılmasını sağlamıştır. Bu durum literatürde bahsedildiği gibi, kombinasyon metodu ile kendiliğinden yerleşen betonun stabilitesinin sağlanabildiğini göstermesi açısından iyi bir örnek olmuştur.

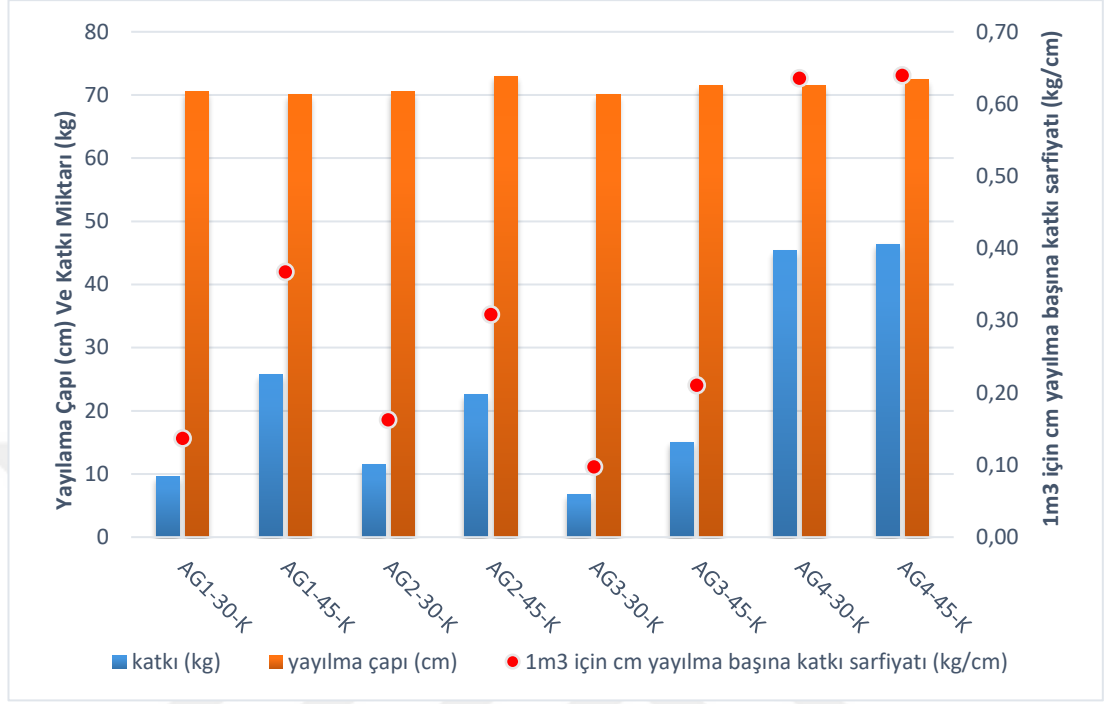
Her bir dökümde ulaşılan yayılma miktarına göre harcanan toplam katkı miktarını karşılaştırabilmek için yayılma çapı, toplam katkı miktarına bölünerek her bir dökümün birim yayılması elde edilmiştir. Şekil 7.18’de her bir döküme ait birim yayılmalar görülebilmektedir.



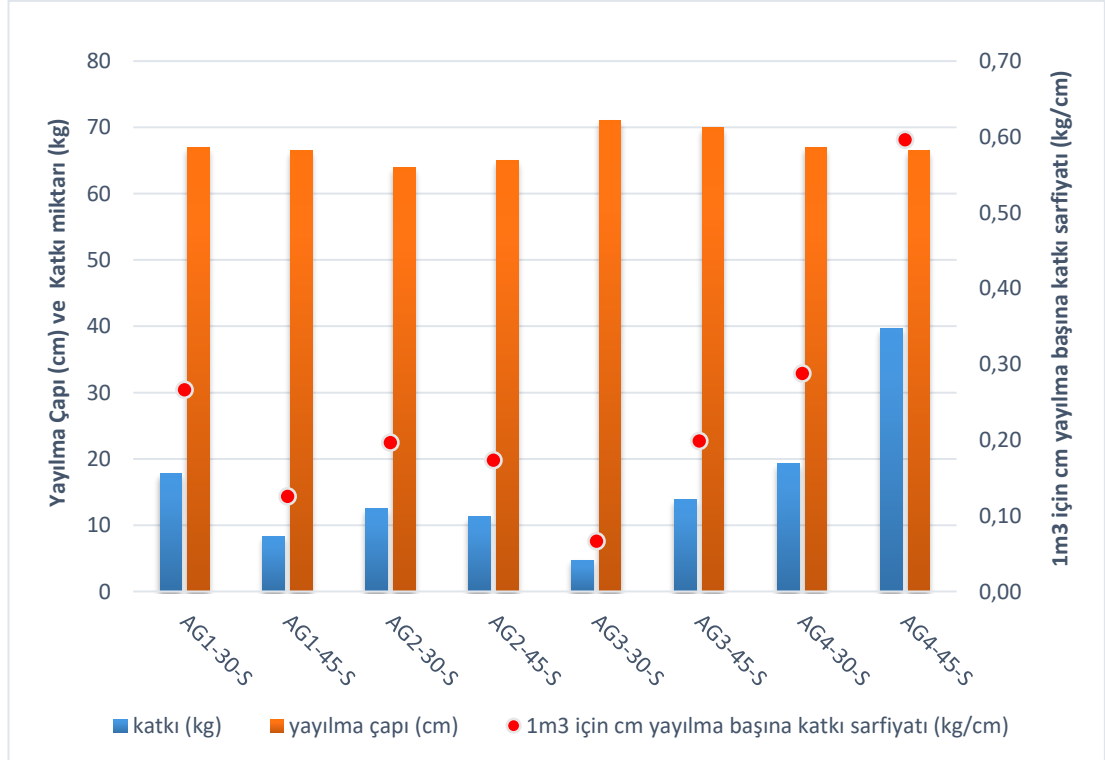
Şekil 7.18 Bütün numunelerde kullanılan toplam katkı dozajları (VAK+SK) ve yayılma çapı

Şekil 7.19 ve Şekil 7.20’de görüldüğü gibi çimento tipine bağlı bir katkı ihtiyacı görece az miktarlarda olsa da gerçekleşmektedir. Dökümlerin **1 m3 için cm yayılma başına katkı sarfiyatı** grafikleri (**kullanılan katkı miktarı/yayılma miktarı**) bu farklılığı göstermektedir. Mineral katkısız ve mineral katkılı çimento kullanılan dökümlerin birim yayılma grafikleri benzer bir şekil almış fakat küçük de olsa değişiklikler olmuştur. AG4 agregasına gidildikçe açıkça anlaşıldığı gibi AG4 agregasının metilen mavisi değerinin fazla olmasından dolayı çimento tipinden

bağımsız olarak her iki durumda da ciddi miktarlarda süperakışkanlaştırıcı katkı ihtiyacı oluşmuştur.

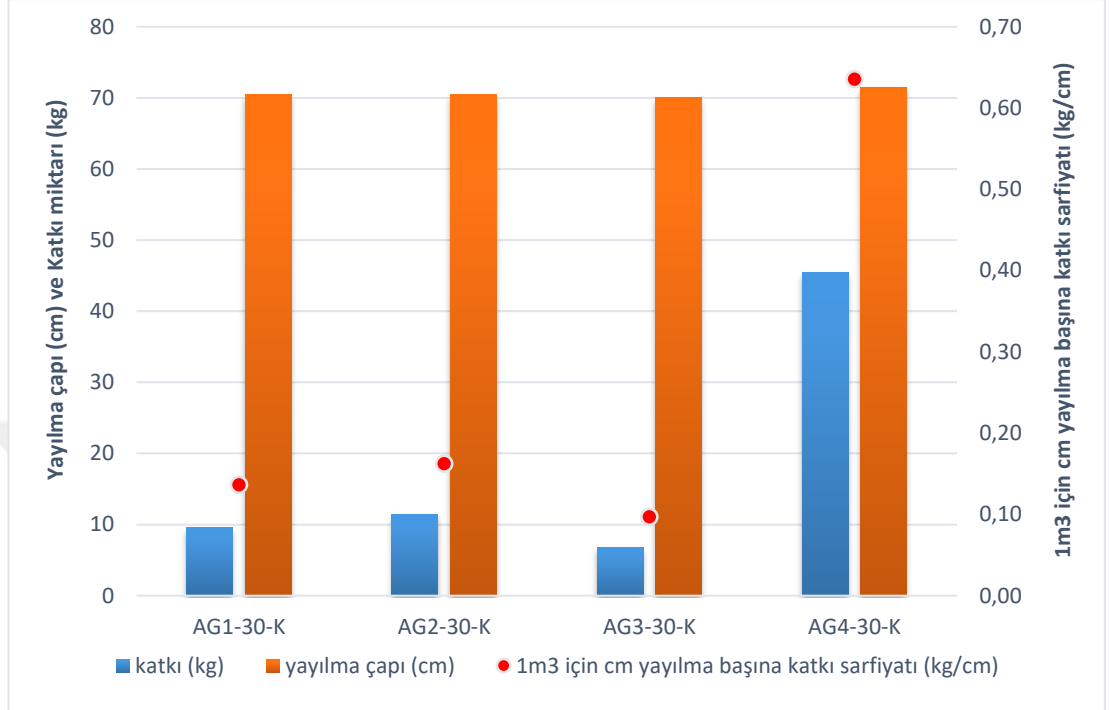


Şekil 7.19 Mineral Katkısız CEM 1 42,5 R çimentosu kullanılarak yapılan dökümler

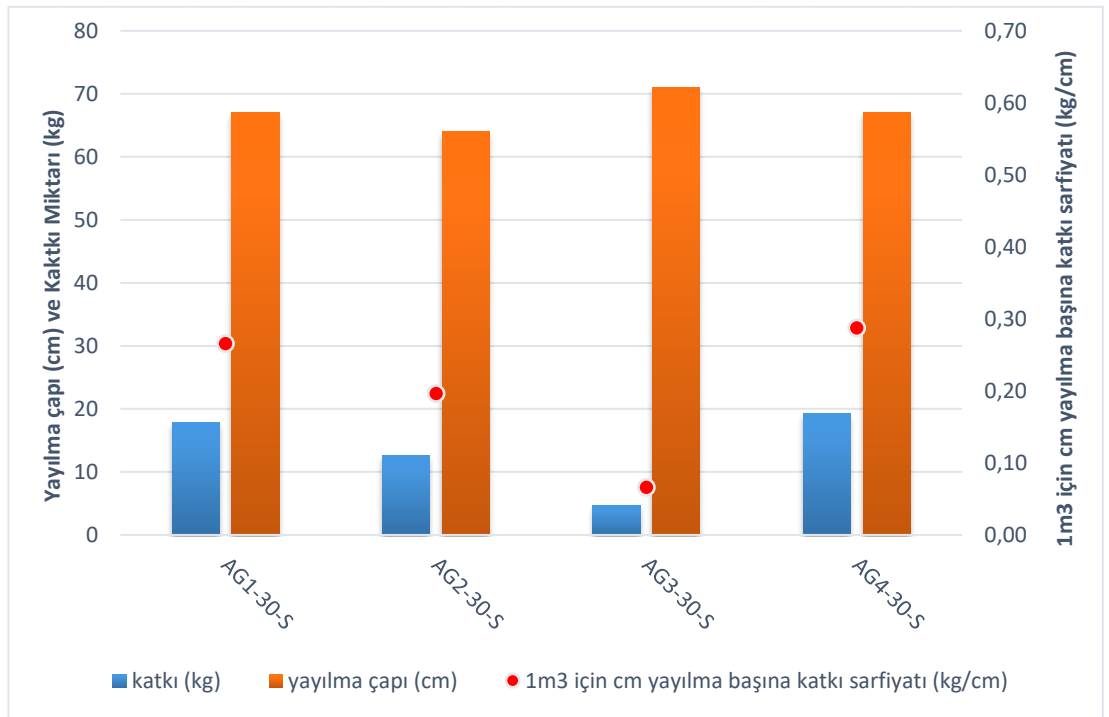


Şekil 7.20 Mineral Katkılı CEM II B-LL 32,5 R çimentosu kullanılarak yapılan dökümler

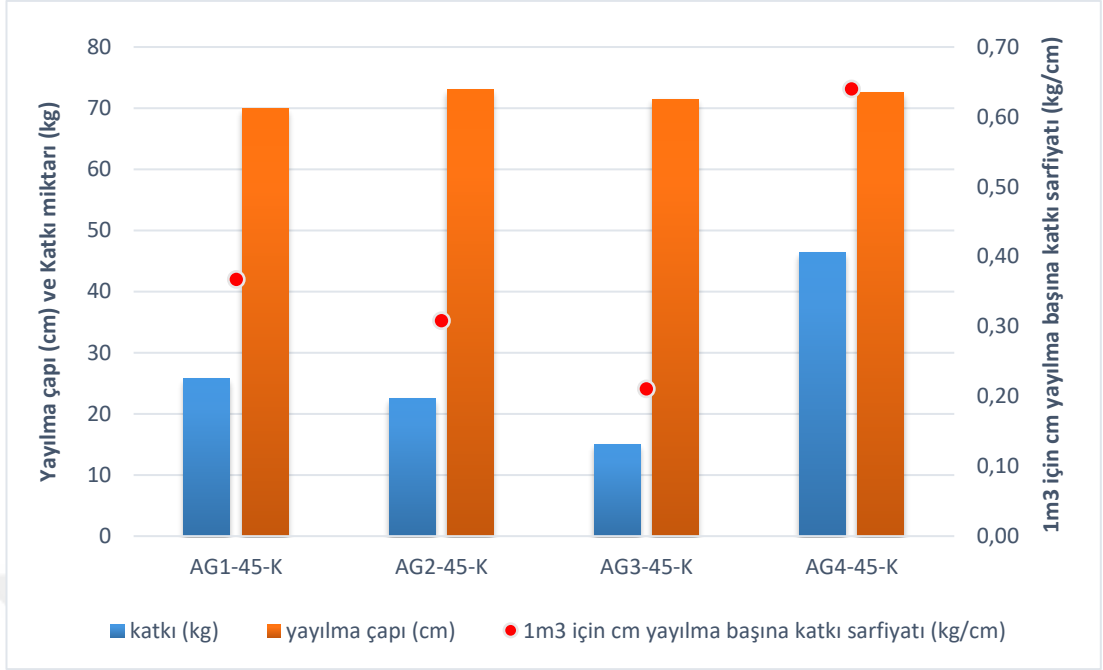
Şekil 7.21, 7.22, 7.23, 7.24'te daha detaylı olarak çimento tipinin yüksek ve görece daha düşük hedef dayanımlarında kimyasal katkı ihtiyacına nasıl bir etkisi olduğu görülmektedir.



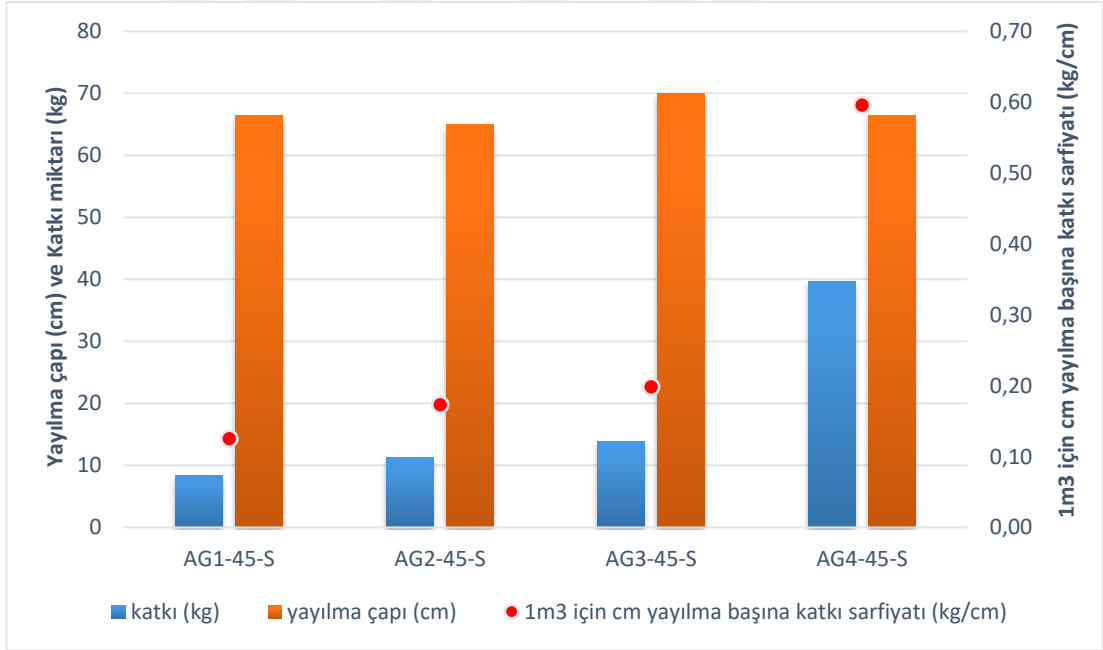
Şekil 7.21 C25/30 hedef dayanımlı; mineral katkılı çimento, farklı agrega tiplerine göre toplam kimyasal katkı (VAK+SK) dozajları ve yayılma çapı



Şekil 7.22 C25/30 hedef dayanımlı; mineral katkısız çimento, farklı agrega tiplerine göre toplam kimyasal katkı (VAK+SK) dozajları ve yayılma çapı



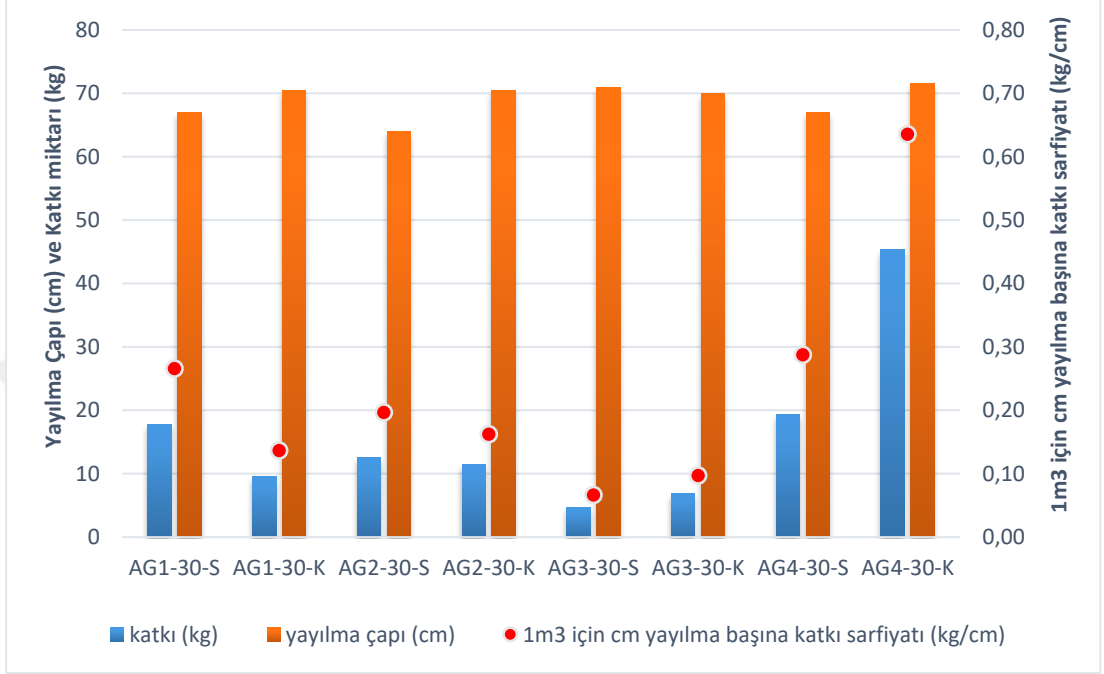
Şekil 7.23 C35/45 hedef dayanımlı; mineral katkılı çimento, farklı agrega tiplerine göre toplam kimyasal katkı (VAK+SK) dozajları ve yayılma çapı



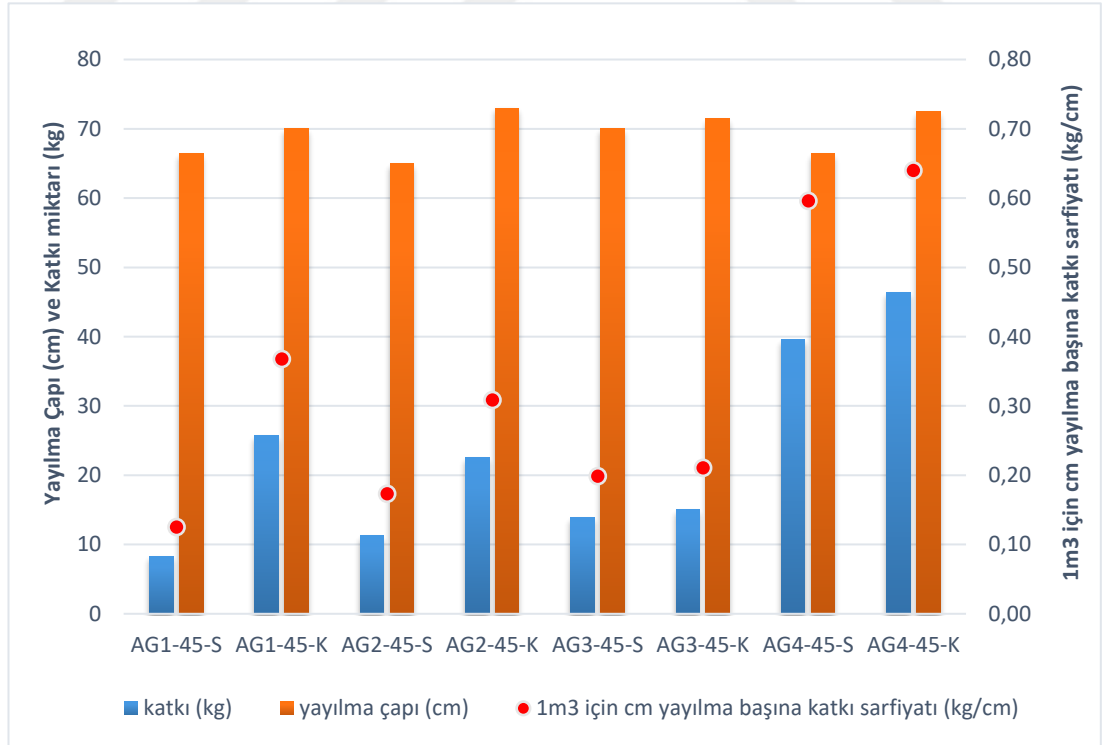
Şekil 7.24 C35/45 hedef dayanımlı; mineral katkısız çimento, farklı agrega tiplerine göre toplam kimyasal katkı (VAK+SK) dozajları ve yayılma çapı

AG3 agregaları kullanılarak üretilen beton setlerinde birim yayılma değerleri diğer dökümlere göre yüksek değerlerde olmuştur. AG1 ve AG2 agregalarının metilen mavisi değeri AG3 agregasından az olmasına rağmen AG3 agregalı beton setlerinde birim yayılma değerlerinin daha yüksek olmasının sebebi viskozite düzenleyici katkı

kullanılması olmuştur. Fakat AG4 agregalı beton setlerinde de aynı viskozite düzenleyici katkı kullanılmasına rağmen bu setlerde birim yayılma değerleri çok yüksek gözlemlenmiştir. Sadece hedef basınç dayanımı değiştirdiğimizde deney serilerinde oluşan farklılıklar Şekil 7.25 ve Şekil 7.26 'de görülmektedir.



Şekil 7.25 C25/30 hedef dayanımlı bütün setlerdeki birim yayılmalar



Şekil 7.26 C35/45 hedef dayanımlı göre bütün serilerdeki birim yayılmalar

Şekil 7.25 ve Şekil 7.26 analiz edilince aşağıdaki çıkarımlar yapılabilmektedir;

- AG1 agregalı, C25/30 hedef dayanımlı betonlar için mineral katkısız çimento kullanılınca daha az birim yayılma elde edilmesine rağmen C35/45 hedef dayanımında durum tam tersi olmuştur.
- AG2 agregalı, C25/30 hedef dayanımlı betonlar için mineral katkısız çimento kullanılınca da daha az birim yayılma elde edilmesine rağmen C35/45 hedef dayanımda durum tam tersi olmuştur.
- AG3 agregalı C25/30 ve C35/45 hedef dayanımlı betonlar için mineral katkısız çimento kullanılınca birim yayılma değerlerinde görece olarak yüksek olmuştur.
- AG4 agregalı, C25/30 hedef dayanımlı betonlar için mineral katkısız çimento kullanılınca da C35/45 hedef dayanımdaki birim yayılma ile benzer değerlerde olduğu gözlenmiştir.

7.7.2 Sertleşmiş Beton

Sertleşmiş betonda numunelerin serbest basınç değerlerine ve yarmada çekme değerlerine bakılmıştır. Basınç dayanımları MPa olarak Tablo 7.14 de gösterilmiştir.

Tablo 7.14 Sertleşmiş betonda serbest basınç dayanımları

Beton numara	AG1-30-S	AG1-45-S	AG1-30-K	AG1-45-K	AG2-30-S	AG2-45-S	AG2-30-K	AG2-45-K
2 günlük basınç dayanımı (MPa)	12,1	14,7	9,4	12,8	8,8	13,9	9,8	12,1
7 günlük basınç dayanımı (MPa)	26,6	30,1	23,3	26,6	17,5	35	23,3	25,2
28 günlük basınç dayanımı (MPa)	32,2	44,7	30,1	42,2	30,2	45,9	32,2	39,5
56 günlük basınç dayanımı (MPa)	35,1	46,2	33	45,1	31,3	48,2	34,8	42,1
Beton numara	AG3-30-S	AG3-45-S	AG3-30-K	AG3-45-K	AG4-30-S	AG4-45-S	AG4-30-K	AG4-45-K
2 günlük basınç dayanımı (MPa)	10,3	18,5	7,3	11,3	4,2	6,8	5,3	7,3
7 günlük basınç dayanımı (MPa)	18,7	25,3	16,8	24,8	16,8	18,2	15,2	19,2
28 günlük basınç dayanımı (MPa)	29,1	39,9	31,4	39,8	25,6	39,5	24,3	39
56 günlük basınç dayanımı (MPa)	31,2	41,5	32,5	40,5	28,2	40	27,5	39,8

Tablo 7.15 Sertleşmiş betonda yarmada çekme değerleri

Beton numara	AG1-30-S	AG1-45-S	AG1-30-K	AG1-45-K	AG2-30-S	AG2-45-S	AG2-30-K	AG2-45-K
7 günlük yarmada çekme dayanımı (MPa)	1,9	3,18	1,9	3,17	2,02	3,39	2,2	2,62
28 günlük yarmada çekme dayanımı (MPa)	2,3	3,25	2,5	3,2	2,15	3,54	2,65	3,33
56 günlük yarmada çekme dayanımı (MPa)	2,44	3,35	2,65	3,52	2,19	4,25	2,81	3,48
Beton numara	AG3-30-S	AG3-45-S	AG3-30-K	AG3-45-K	AG4-30-S	AG4-45-S	AG4-30-K	AG4-45-K
7 günlük yarmada çekme dayanımı (MPa)	1,8	3,01	2,18	2,9	1,47	2,61	1,8	2,42
28 günlük yarmada çekme dayanımı (MPa)	2,24	3,52	2,58	3,47	1,95	2,85	2,23	2,75
56 günlük yarmada çekme dayanımı (MPa)	2,65	3,55	2,71	3,5	2,15	3,05	2,55	2,81

7.7.2.1 Dayanım gelişim grafikleri

Betonların 7, 28, 56 günlük dayanım gelişimleri Şekil 7.27, 7.28, 7.29 ve 7.30'da AG1 agregaları mavi renk, AG2 kırmızı renk, AG3 yeşil renk, AG4 mor renk ile temsil edilecek şekilde ve grafiğin dikey ekseninde MPa cinsinden basınç değerleri olacak şekilde sunulmuştur. Ayrıca, yine grafiklerde;

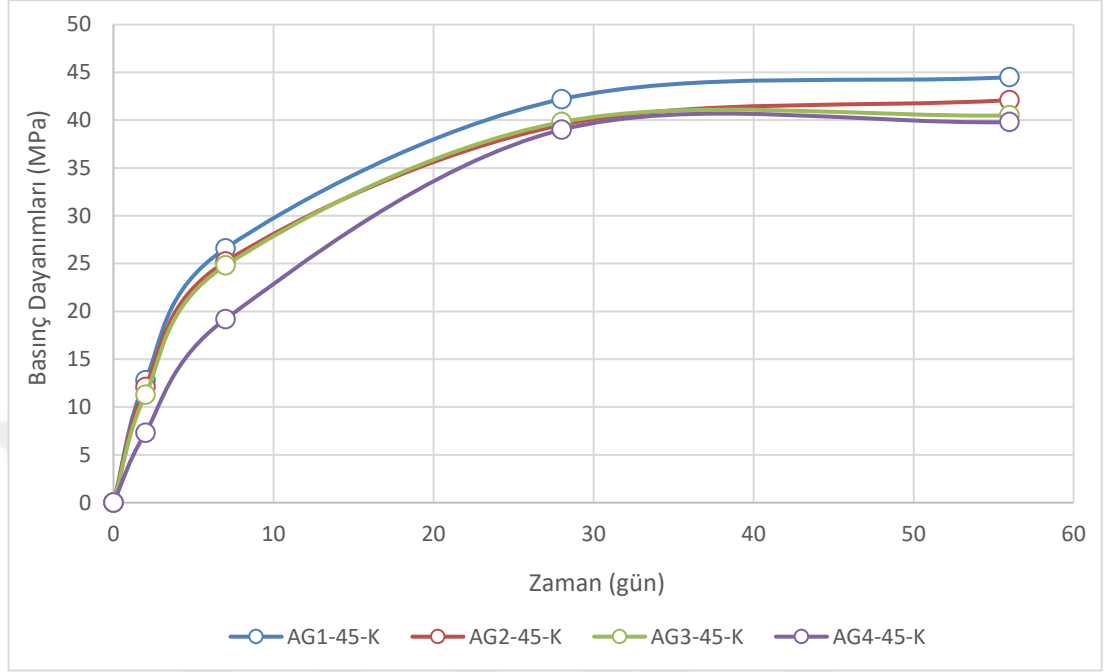
Mineral katkısız çimento kullanılarak yapılan dökümler üçgen şekli ile

Mineral katkılı çimento kullanılarak yapılan dökümler yuvarlak olarak

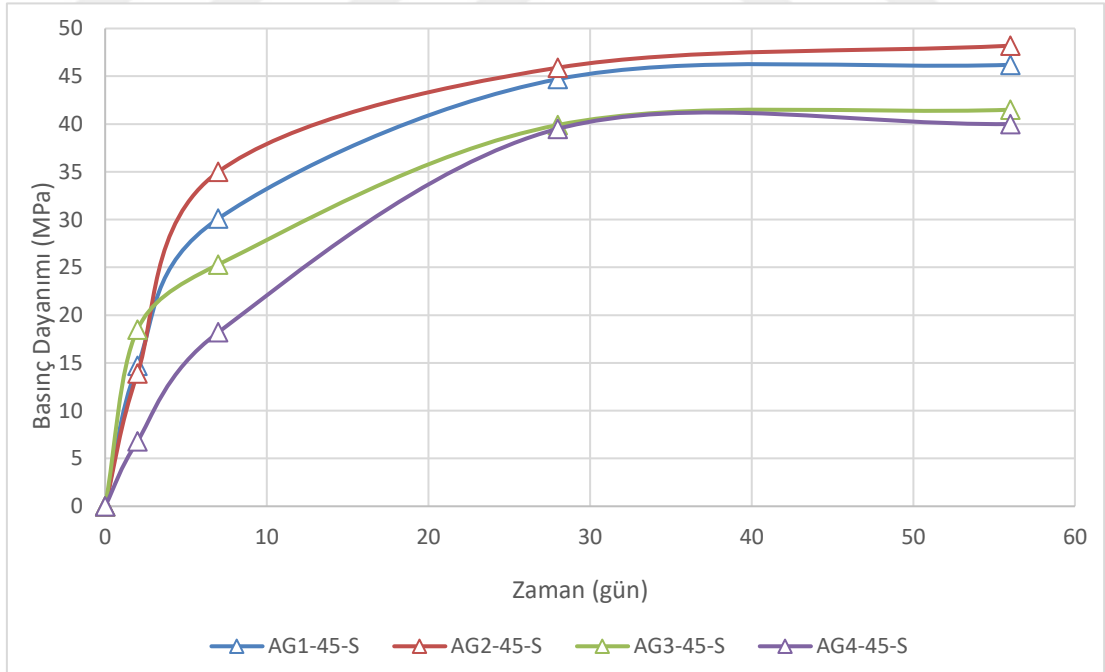
C25/30 hedef dayanımlı betonlar içi aynı renk şekil ile

C35/45 hedef dayanımlı betonlar ise içi farklı renk şekil ile gösterilmiştir.

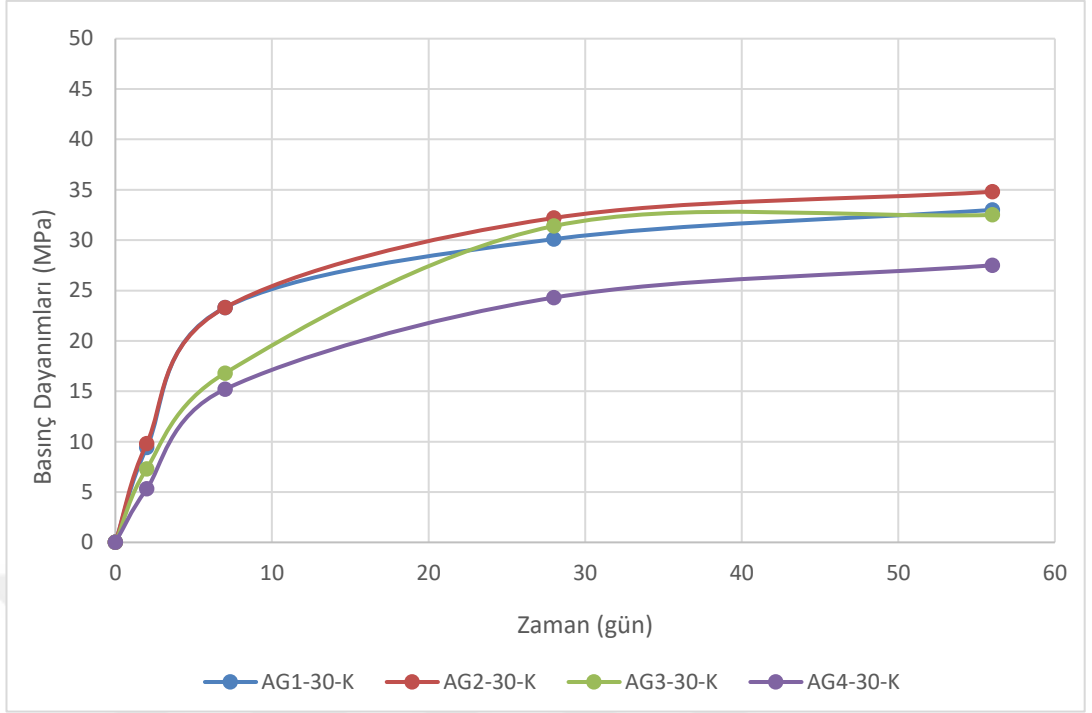
Şekillerde de görüldüğü gibi mineral katkılı çimento tipi kullanılarak üretilen betonların dayanım gelişimleri çimento kullanılanlara göre değişiklikler göstermiştir.



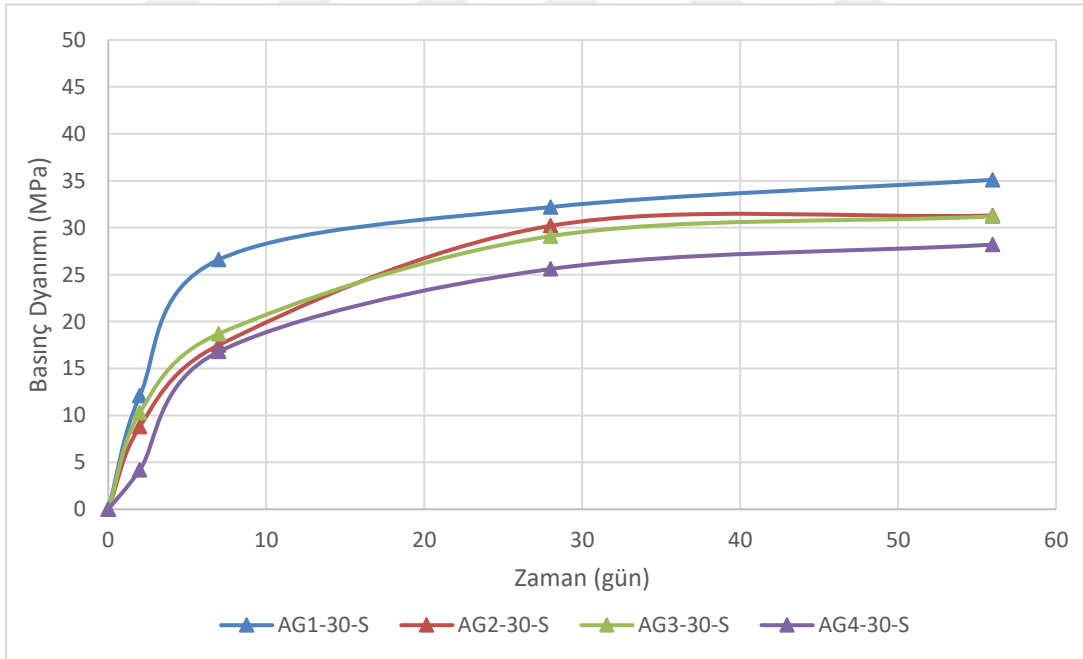
Şekil 7.27 C35/45 hedef dayanımlı; mineral katkılı çimento, farklı agrega tiplerine göre dayanım grafikleri



Şekil 7.28 C35/45 hedef dayanımlı; mineral katkısız çimento, farklı agrega tiplerine göre dayanım grafikleri

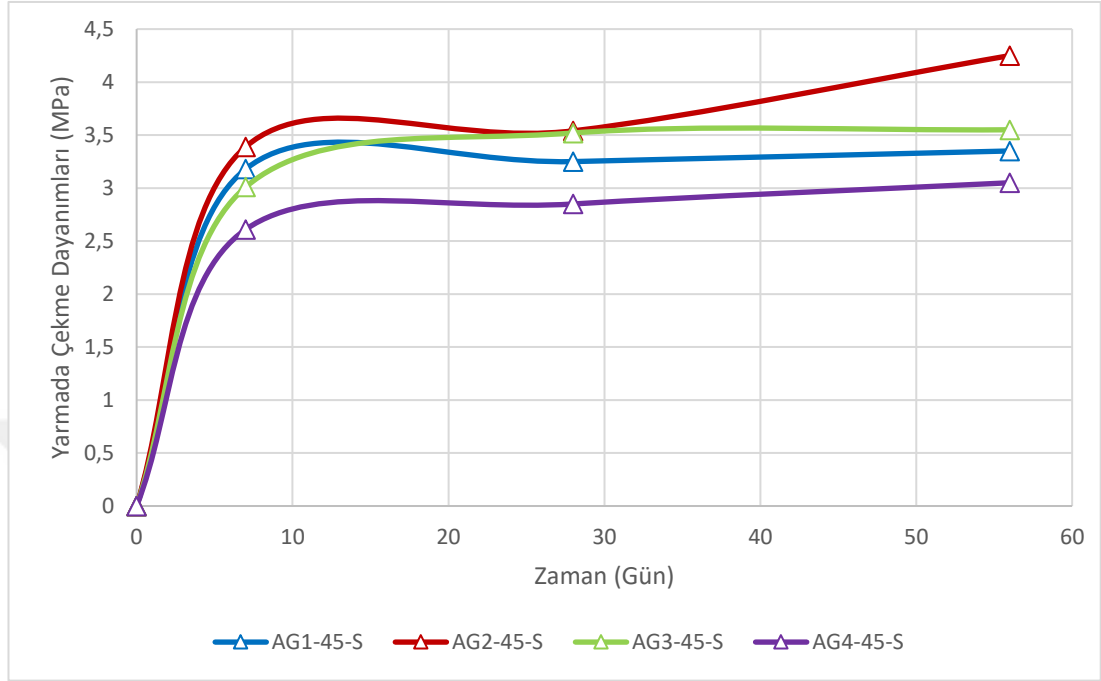


Şekil 7.29 C25/30 hedef dayanımlı; mineral katkılı çimento, farklı agrega tiplerine göre dayanım grafikleri

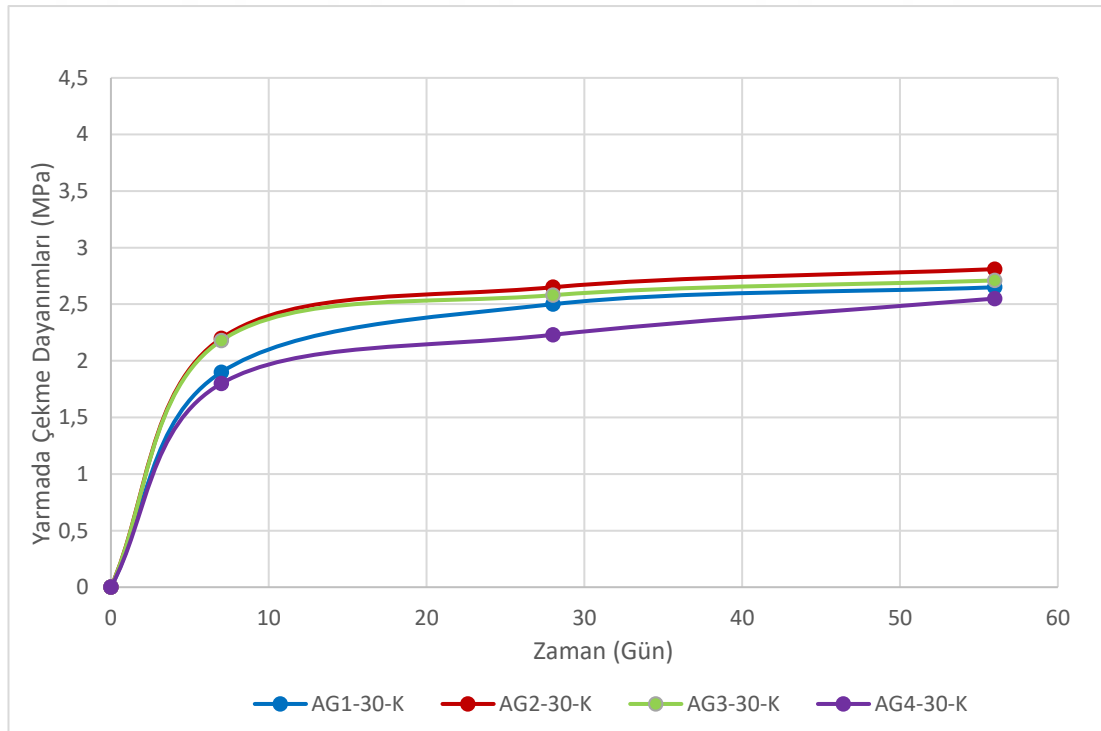


Şekil 7.30 C25/30 hedef dayanımlı; mineral katkısız çimento, farklı agrega tiplerine göre dayanım grafikleri

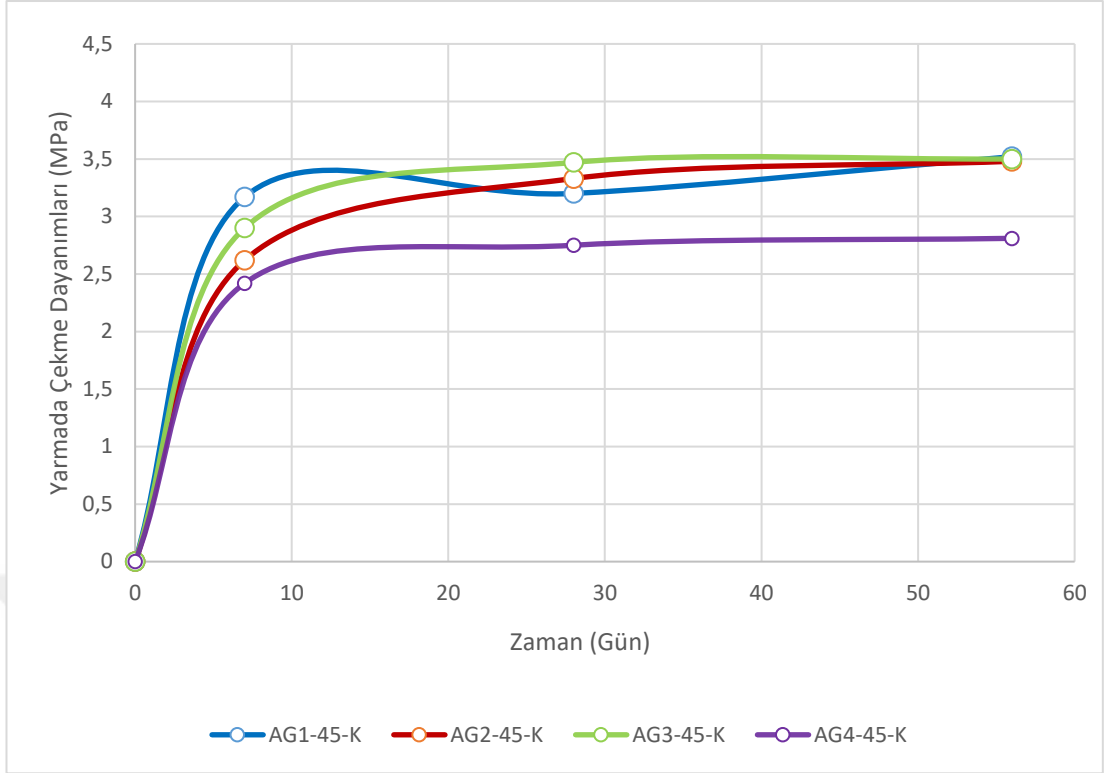
Şekil 7.31, Şekil 7.32, Şekil 7.33, Şekil 7.34'te ise çimento tipleri ve hedef dayanımlara göre ayrı ayrı yarmada çekme değerlerinin günlük değişimi görülebilmektedir.



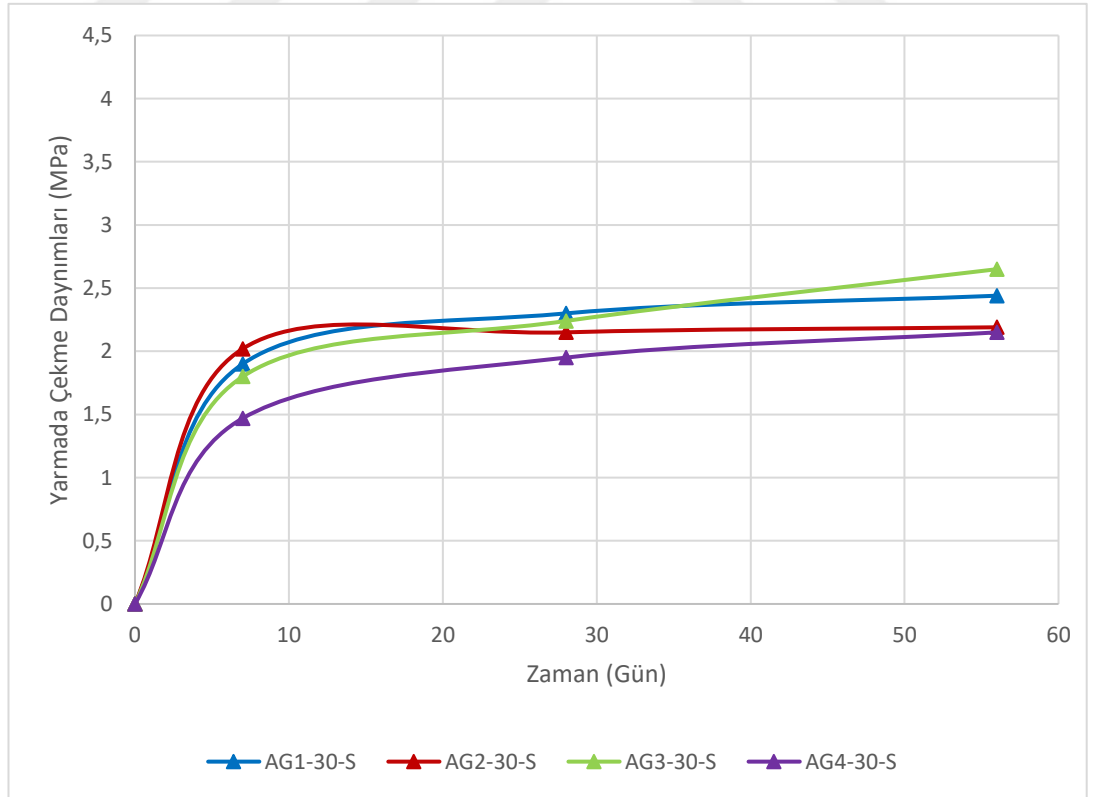
Şekil 7.31 C35/45 hedef dayanımlı; mineral katkılı çimento, farklı agrega tiplerine göre yarmada çekme değerleri



Şekil 7.32 C35/45 hedef dayanımlı; mineral katkısız çimento, farklı agrega tiplerine göre yarmada çekme değerleri



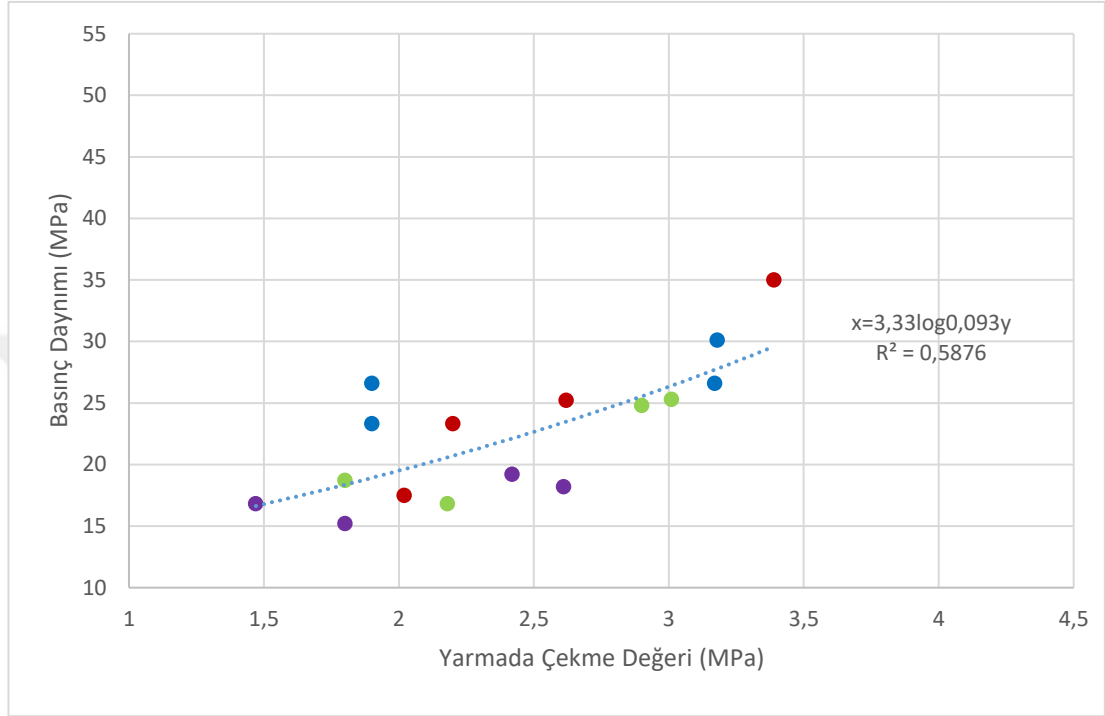
Şekil 7.33 C25/30 hedef dayanımlı; mineral katkılı çimento, farklı agrega tiplerine göre yarmada çekme değerleri



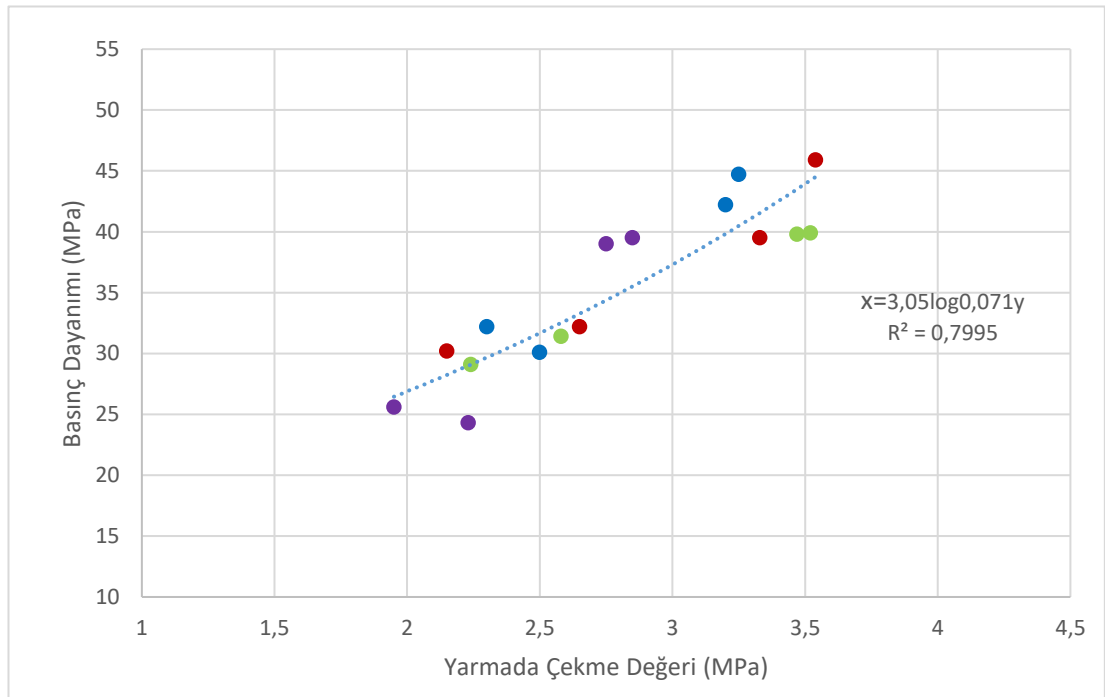
Şekil 7.34 C25/30 hedef dayanımlı; mineral katkısız çimento, farklı agrega tiplerine göre yarmada çekme değerleri

7.7.2.2 Basınç Dayanımı-Yarmada çekme değeri ilişkisi

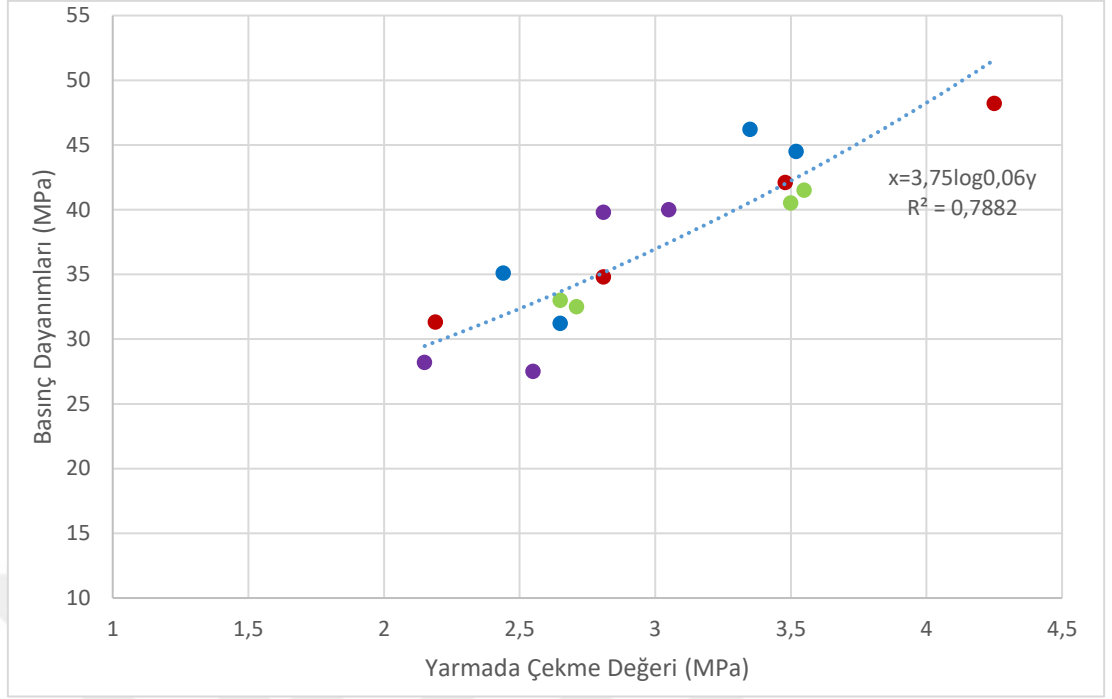
Basınç dayanımı ve yarmada çekme arasında bir ilişki bulunmaktadır. Bu ilişki Şekil 7.35, Şekil 7.36 ve Şekil 7.37 'de gösterilmiştir. Korelasyon değeri grafik başlıklarında gösterilmektedir.



Şekil 7.35 Bütün numunelerin 7 günlük basınç dayanımları-yarmada çekme ilişkisi



Şekil 7.36 Bütün numunelerin 28 günlük basınç dayanımları-yarmada çekme ilişkisi



Şekil 7.37 Bütün numunelerin 56 günlük basınç dayanımları-yarmada çekme ilişkisi

Basınç dayanımı ile yarmada çekme değeri arasında bir bağlantı olup olmadığı bu çalışmada sorgulanmış ve şekillerde de görüldüğü gibi basınç dayanımı ile yarmada çekme arasında bir bağlantı olduğu tespit edilmiştir. Formül 7.1, 7.2, 7.3 de basınç dayanımı temsilen bd olarak; yarmada çekme değeri ise $yçd$ olarak gösterilmektedir.

Bunlar sırası ile;

$$7 \text{ günlük için } yçd(\text{MPa}) = 3,33 * \log 0,093bd(\text{MPa}) \quad R=0,739 \quad (7.1)$$

$$28 \text{ günlük için } yçd(\text{MPa}) = 3,05 * \log 0,071bd(\text{MPa}) \quad R=0,899 \quad (7.2)$$

$$56 \text{ günlük için } yçd(\text{MPa}) = 3,75 * \log 0,06bd(\text{MPa}) \quad R=0,884 \quad (7.3)$$

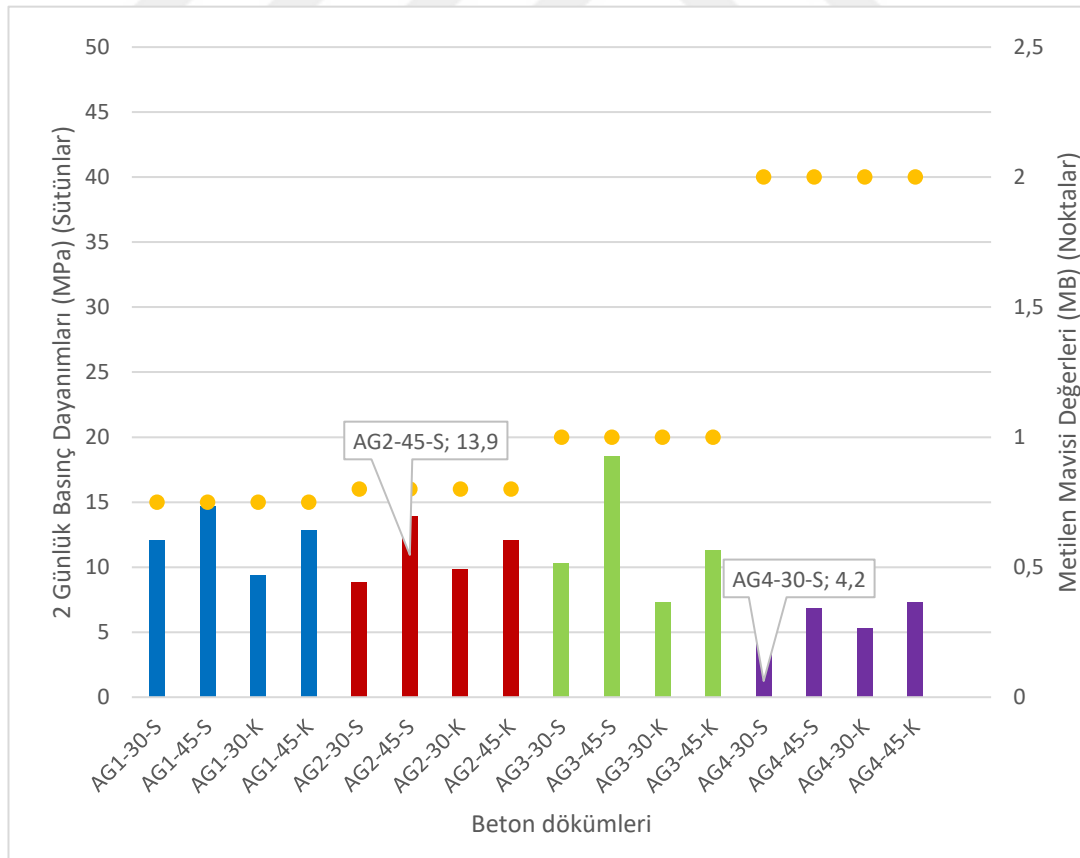
Grafiklerde kırmızı renk ile gösterilen 0,75 metilen mavisi değerine sahip AG1 agregalar ile dökülen beton setinde, 7, 28, 56 günlük basınç-yarmada çekme değerlerinin sonuçları yaklaşık olarak aynı değerlerde konumlanmıştır. Fakat mavi renk ile gösterilen 2 metilen mavisi değerine sahip AG4 agregalar ile dökülen beton setinde, 7 günlük basınç-yarmada çekme değerlerinin konumları eğilim çizgisinin altında kalıp 28 ve 56. günlerde bir artış göstererek farklı konumlanmışlardır. Konumlanmadaki bu değişkenliğin, AG4 agregalı (yüksek metilen mavisi değerine sahip agregalar) beton setlerinde aynı işlenebilirlik sınıfında beton üretebilmek için

daha fazla kimyasal katkı kullanılması sonucu bu agregalı setlerde düşük erken basınç dayanımı sorununun olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

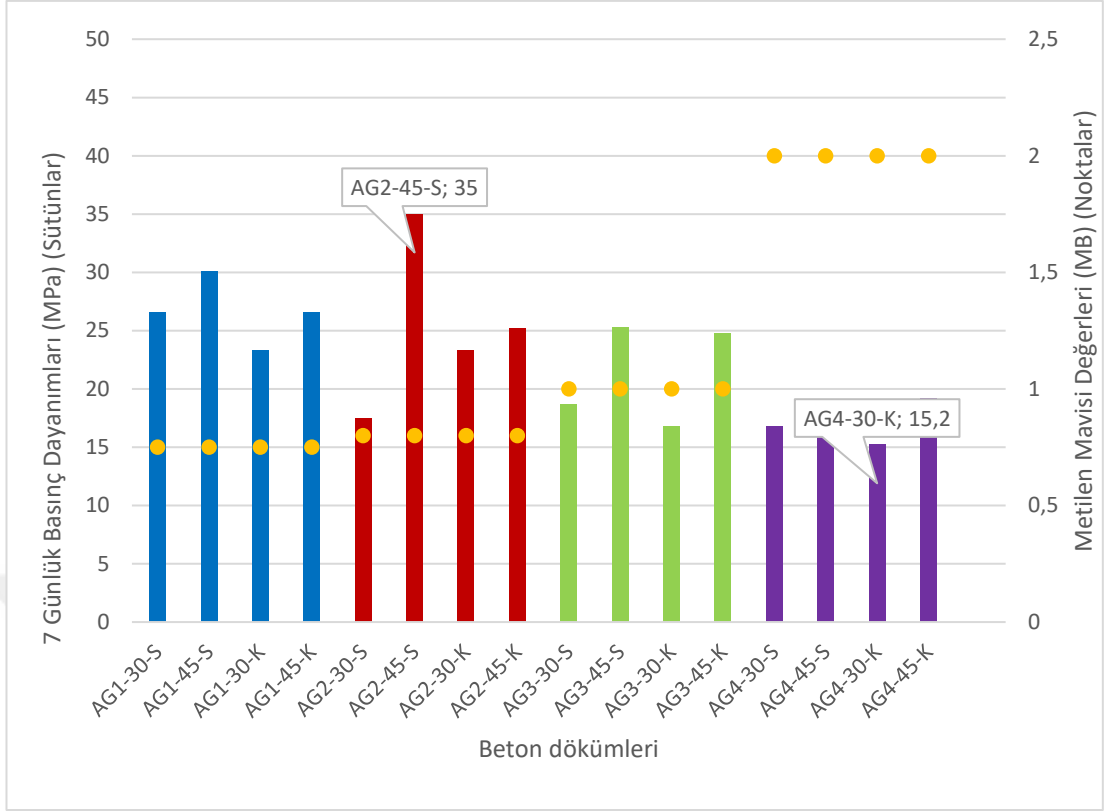
Grafiklerde siyah renk ile gösterilen 0,80 metilen mavisi değerine sahip AG2 sınıfı agregalı beton setlerinde, 7, 28, 56 günlük basınç-yarmada çekme değerlerinin konumları eğilim çizgisinin etrafında çok farklı yerlerde konumlanmışlardır. Fakat görece metilen mavisi değeri AG2 sınıfına çok yakın olan 0,75 metilen mavisi değerli AG1 sınıfı agregalı beton setlerinde, grafiklerde kırmızı renk ile gösterilen, 7, 28, 56 günlük basınç-yarmada çekme değerlerinin eğilim çizgisi etrafında daha toplu olarak konumlandığı görülmektedir. Buradan 7, 28, 56 günlük basınç-yarmada çekme değerlerinin değişiminin sadece agregalardaki metilen mavisi değerine değil, agreganın diğer farklı özelliklerine de bağlı olabileceği yorumlanabilir.

7.7.2.3 Metilen mavisi – Basınç Dayanımı ilişkisi

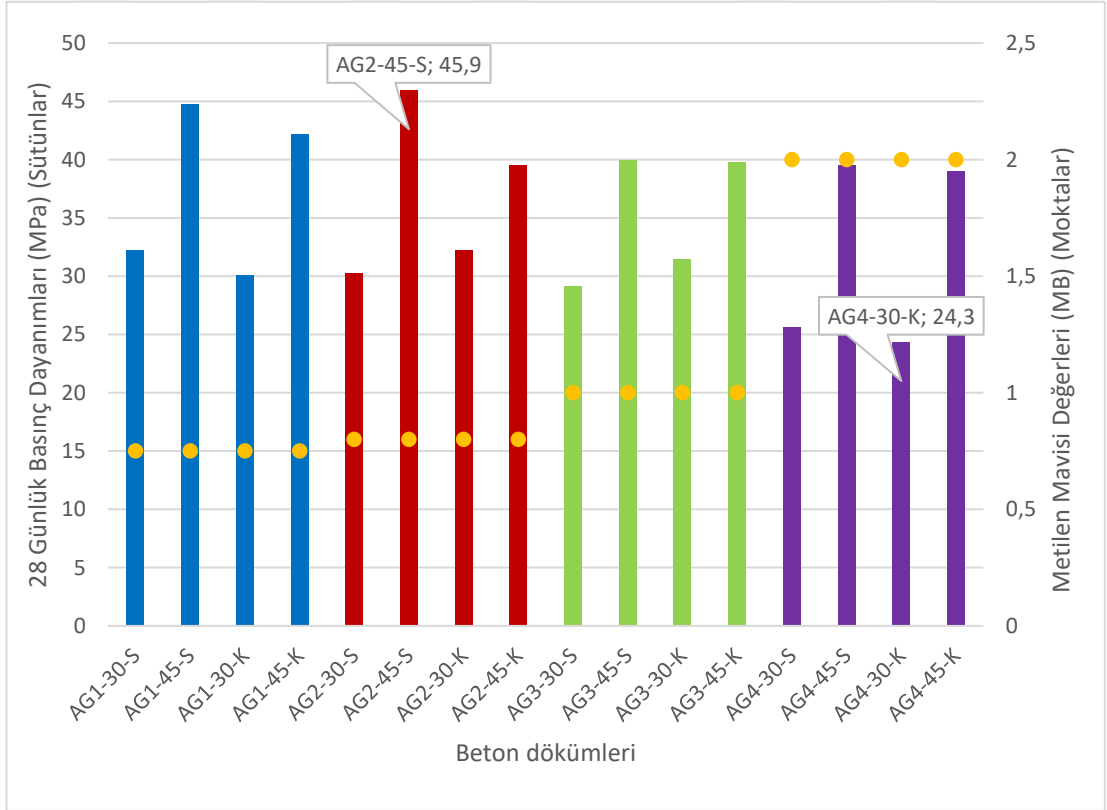
Agregalardaki metilen mavisi değerinin KYB'nin farklı günlerdeki basınç değerleri ile arasındaki ilişki aşağıda Şekil 7.38, Şekil 7.39, Şekil 7.40 ve Şekil 7. 41'te sunulmuştur.



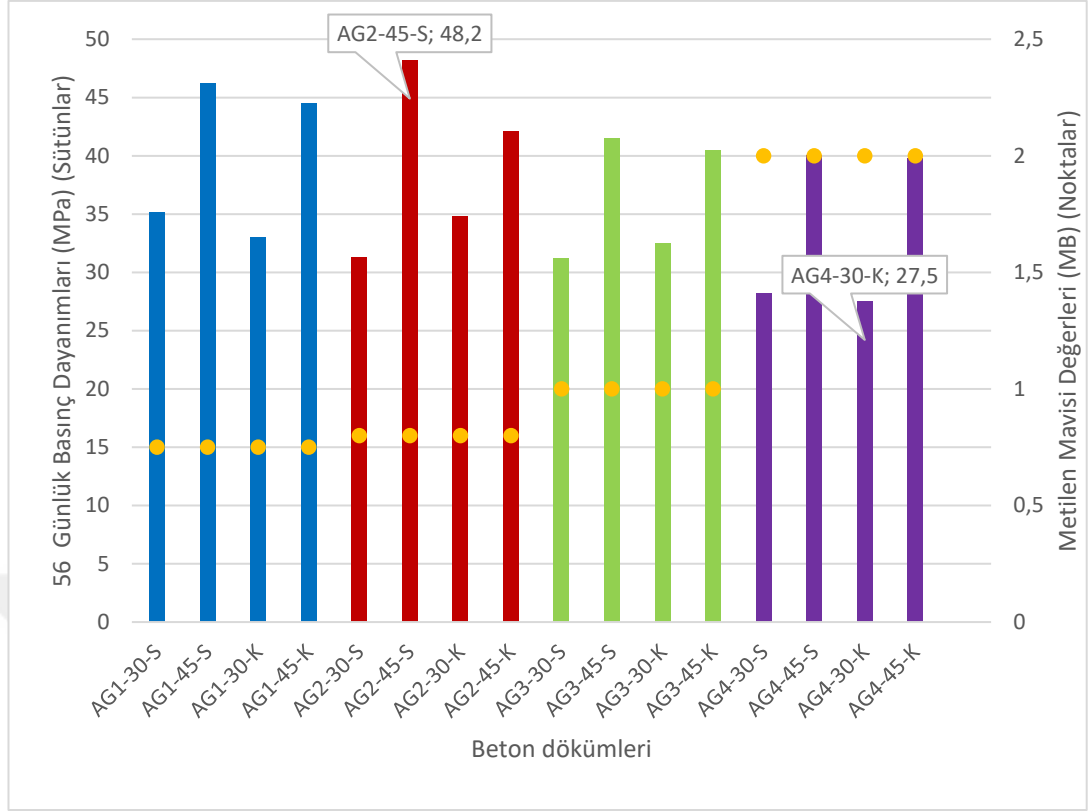
Şekil 7.38 Metilen Mavisi- Karışımların 2 Günlük Basınç Dayanımları



Şekil 7.39 Metilen Mavisi- Karışımların 7 Günlük Basınç Dayanımları



Şekil 7.40 Metilen Mavisi- Karışımların 28 Günlük Basınç Dayanımları



Şekil 7.41 Metilen Mavisi- Karışımların 56 Günlük Basınç Dayanımları

7.8 Maliyet Analizi

Bu bölümde karışımlarda kullanılan her bir malzemenin birim fiyatları ile miktarları çarpılarak birim maliyetleri elde edilecektir. Daha sonra elde edilen birim karışım maliyetleri karşılaştırılacaktır. Bu karşılaştırma yapılırken hem taze hem sertleşmiş hallerdeki maliyet etkisini gözlemleyebilmek için birim dayanım maliyeti ve birim yayılma maliyetleri incelenerek maliyet açısından en uygun döküm bulunacaktır.

Çalışma da sadece beton içerisindeki malzeme maliyetleri hesaba katılarak maliyet analizi yapılmıştır. İşçilik, makine, taşıma vb. gibi diğer parametreler değerlendirilmemiştir. Fakat kendiliğinden yerleşen beton yerleştirilme sırasında geleneksel betona göre daha az işçiliğe ihtiyaç duyduğu için işçilik maliyeti konusunda daha avantajlı olmaktadır.

Öncelikle birim fiyatlar aşağıda maddeler halinde belirtildiği gibi elde edilmiştir.

- Çimento, Su, İnce Agrega, Kaba Agrega Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından yayınlanan birim fiyat

çetvelinden alınmıştır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yüksek Fen Kurul Başkanlığı, 2021).

- Kimyasal katkı için ise birim fiyatlar Sika 2021 Fiyat listesinden alınmıştır.(Sika, 2021)

Analizlerde kullanılacak gerekli birim fiyatlar raporların yayınladığı tarih olan 15 Şubat 2021 tarihli fiyatlar olup, bahsedilen tarihte 1 Amerikan Doları =6,97 TL dir. Fiyatlar, Tablo 7.16’ da sunulduğu gibidir.

Tablo 7.16 15 Şubat 2021 tarihli birim fiyatlar

Portland Çimentosu (Dökme) TS EN197-1 CEM I 42,5 R	Ton	₺ 263,00
Portland Çimentosu (Torbali) TS EN197-1 CEM I 42,5 R	Ton	₺ 270,00
Portland Kalkerli Çimento (Dökme) TS EN197-1 CEM II/B-LL 32,5 R	Ton	₺ 242,00
Portland Kalkerli Çimento (Torbali) TS EN197-1 CEM II/B-LL 32,5 R	Ton	₺ 248,00
Maximum dane çapı 32 mm ye kadar kırmataş (İri agregası)	M ³	₺ 47,50
Kum (ince agregası)	M ³	₺ 30,50
Su	M ³	₺ 9,05
Sika ViscoCrete	Kg	₺ 16,95
Sika Stabilizer	Kg	₺ 8,25

Bu birim fiyatlar, deneysel çalışmalar bölümünde verilen ağırlıkça bileşen miktarları ile çarpılınca her bir döküm için birim maliyet Tablo 7.17 de sunulduğu gibi olmaktadır. Görüldüğü gibi metilen mavisi yüksek agregalar kullanıldıkça kimyasal katkı ihtiyacı artıp, fazla bir kimyasal katkı maliyeti oluşturduğundan toplam maliyet artmaktadır. Bir diğer deyişle piyasada kirli agregası olarak adlandırılan agregalar ile hazırlanan kendiliğinden yerleşebilen betonların maliyeti görece daha temiz agregalar kullanılarak hazırlanan kendiliğinden yerleşen betonların maliyetinden, metilen mavisi değerine göre değişkenlik göstermekle beraber, ortalama %10- %40 daha fazladır.

Tablo 7.17 Aynı tip çimento ve hedef dayanımlı döküm gruplamasıyla 1 m³ betonun maliyeti

AG1-30-S	₺80,18	₺1,34	₺30,18	₺29,73	₺302,02	₺0,00	₺443,45
AG2-30-S	₺84,78	₺1,36	₺29,40	₺29,64	₺213,04	₺0,00	₺358,22
AG3-30-S	₺87,65	₺1,41	₺29,05	₺29,30	₺54,89	₺12,17	₺214,47
AG4-30-S	₺88,24	₺1,42	₺29,94	₺29,50	₺276,28	₺24,51	₺449,89
AG1-30-K	₺130,23	₺1,71	₺26,00	₺25,61	₺163,21	₺0,00	₺346,76
AG2-30-K	₺123,63	₺1,56	₺26,44	₺26,66	₺194,03	₺0,00	₺372,32
AG3-30-K	₺126,46	₺1,63	₺25,82	₺26,03	₺79,61	₺17,42	₺276,97
AG4-30-K	₺124,05	₺1,60	₺25,96	₺25,58	₺700,64	₺33,84	₺911,67
AG1-45-S	₺113,02	₺1,44	₺28,50	₺28,07	₺141,23	₺0,00	₺312,25
AG2-45-S	₺101,34	₺1,39	₺28,48	₺28,70	₺190,71	₺0,00	₺350,62
AG3-45-S	₺108,35	₺1,38	₺27,84	₺28,08	₺204,26	₺15,22	₺385,12
AG4-45-S	₺107,97	₺1,38	₺28,41	₺27,98	₺609,99	₺29,99	₺805,72
AG1-45-K	₺115,62	₺1,43	₺27,28	₺26,87	₺435,93	₺0,00	₺607,14
AG2-45-K	₺109,88	₺1,30	₺27,90	₺28,12	₺344,53	₺17,95	₺529,68
AG3-45-K	₺117,80	₺1,40	₺26,85	₺27,06	₺221,49	₺16,31	₺410,92
AG4-45-K	₺114,91	₺1,36	₺26,92	₺26,51	₺720,65	₺31,82	₺922,17

Daha önceden de görüldüğü gibi kullanılan agreganın metilen mavisi değeri arttıkça üretilecek kendiliğinden yerleşen betonun maliyeti artmaktadır. Fakat bunun yanında maliyeti etkileyen göz ardı edilmemesi gereken diğer unsurlar da bulunmaktadır. Bahsedilen durumlar aşağıda genel olarak maddeler halinde açıklanmaktadır.

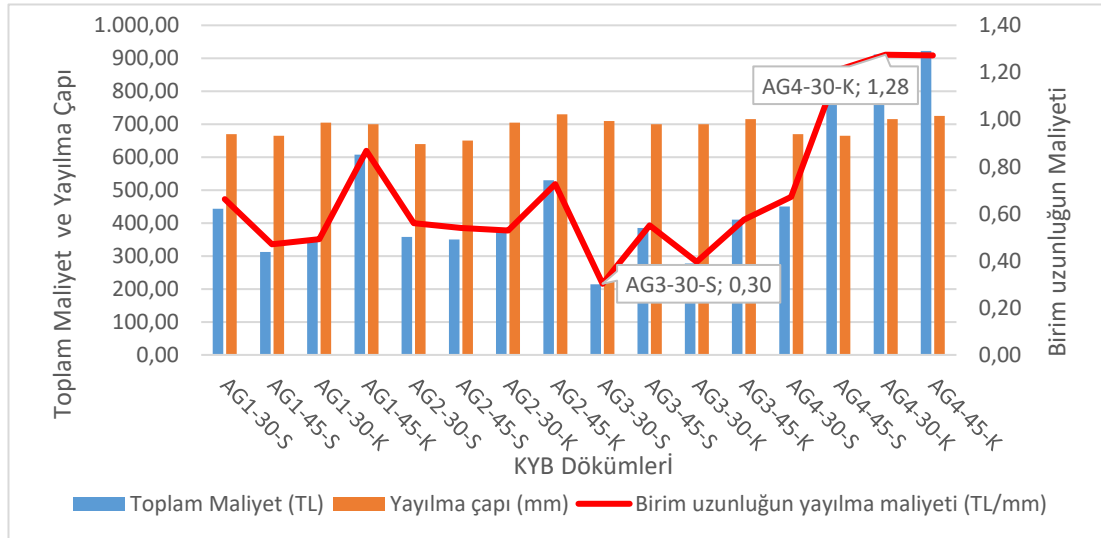
- Taze hal özelliklerinden çökme yayılma çapını en uygun maliyetle sağlayan dökümün viskozite düzenleyici katkı kullanılan döküm olduğu görülmüştür. Diğer bir deyişle birim maliyeti yüksek olmasına rağmen kendiliğinden yerleşebilirlik şartlarının sağlanmasına yardımcı olduğu için viskozite düzenleyici katkı kullanımı KYB üretiminde (stabil yayılma için gerekli akışkanlaştırıcı ihtiyacını azaltarak) maliyeti ciddi oranda düşürmüştür.

Şekil 7.42’te bu durum birim uzunluğun yayılma maliyeti adı ile açıklanmaya çalışılmıştır.

- Aynı hedef basınç dayanımlı betonlarda; mineral katkılı çimento kullanılarak üretilen betonlar, mineral katkısız çimento kullanılarak üretilenlere göre daha yüksek birim dayanım maliyetli olmaktadır. Bu durum görece daha az çimento kullanılan durumlarda farklılıklar gösterse de yüksek dozajlı çimento kullanıldığı durumlarda belirgin olarak gözlenmektedir. Bu durum Şekil 7.45, Şekil 7.46, Şekil 7.47 ve Şekil 7.48’deki grafikler yardımıyla her bir agrega tipini de gözeterek birim dayanım maliyeti adı ile açıklanmaya çalışılmıştır.

En az beton bileşen maliyetleri ile kendiliğinden yerleşebilirlik şartlarını sağlayan döküm maliyet açısından en başarılı döküm olacaktır.

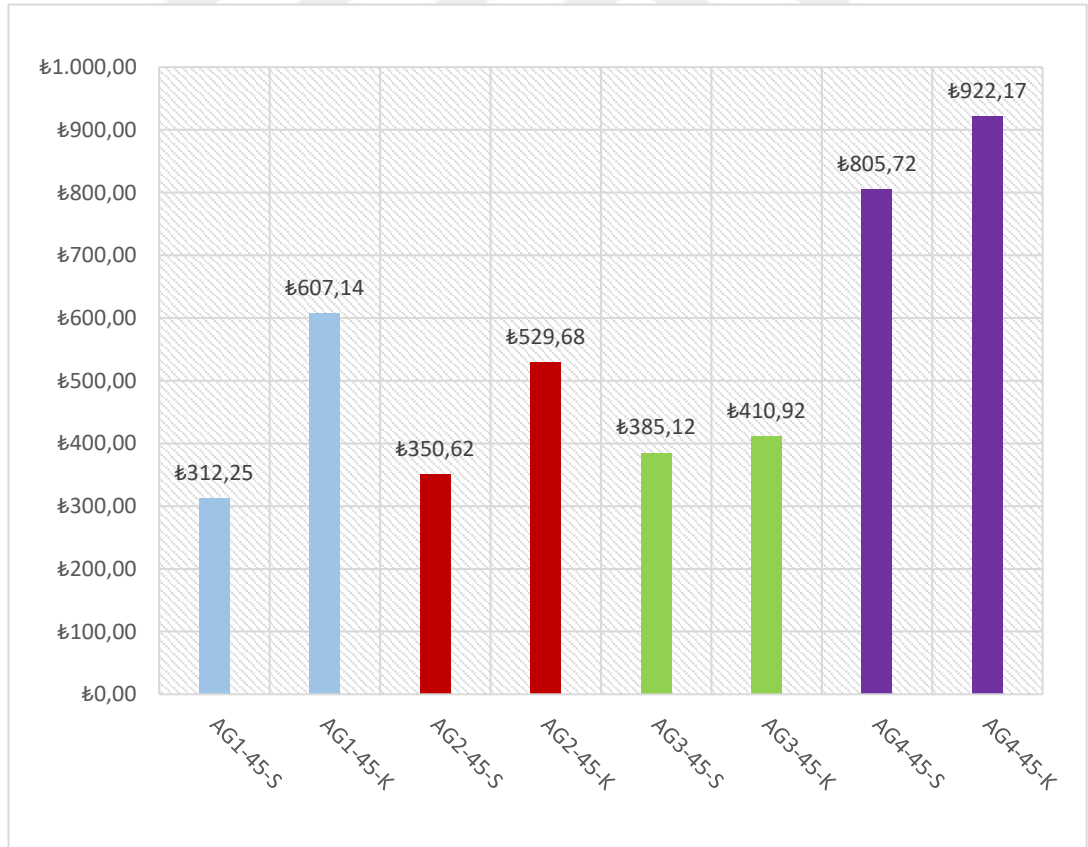
Önceki bölümlerde bahsedildiği gibi dökümlerde EFNARC şartnamesine (EFNARC, 2005) göre yayılma sınıfı olarak SF2 ve sınır değerde kalıp SF1 sınıfında yayılma çaplarına sahip KYB’ler üretilmiştir. Bu da 640 ile 740 mm arasına tekabül etmektedir. Betonların toplam maliyeti ise 210 ile 925 TL/m³ arasında değişmektedir. Toplam beton maliyeti, çökme-yayılma deneyi sonrası yayılma miktarına bölünerek betonların birim uzunluğunun yayılma maliyetleri elde edilmiş ve taze hal için en uygun KYB dökümü belirlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 7.42 KYB dökümlerinde birim uzunluğun yayılma maliyeti

Şekil 7.43'te aynı yayılma sınıfında olup, kullanılan agreganın metilen mavisi değeri yüksek olmasına rağmen AG3-30-S dökümünün birim uzunluğunun maliyetinin en düşük olduğu görülmüştür. Burada maliyeti düşürmede bu dökümlerde kullanılan viskozite düzenleyici katkının rolü olduğu söylenebilir. Fakat VAK kullanılmasına rağmen AG4 dökümlerinde birim uzunluk maliyeti yüksek olmuştur. Yani VAK kullanılsa dahi belirli bir metilen mavisi derecesinden itibaren birim maliyetler ciddi oranda artmaktadır.

Çimento dozajının yüksek olduğu, yüksek hedef basınç durumu, durumunda viskozite düzenleyici katkının (VAK) devreye girmesinin maliyet konusunda avantaj sağladığını düşük hedef basınç dayanımına göre görece daha belirgin göstermektedir. Bu sebepten VAK kullanımının maliyetteki etkisi için Şekil 7.46'da sunulmuştur. Şekilde yeşil renk ile temsil edilen AG3 agregaları kullanılarak üretilen KYB'lerin metilen mavisi değeri yüksek olmasına görece diğer dökümlerden daha az toplam maliyete sahip olduğu görülmektedir.

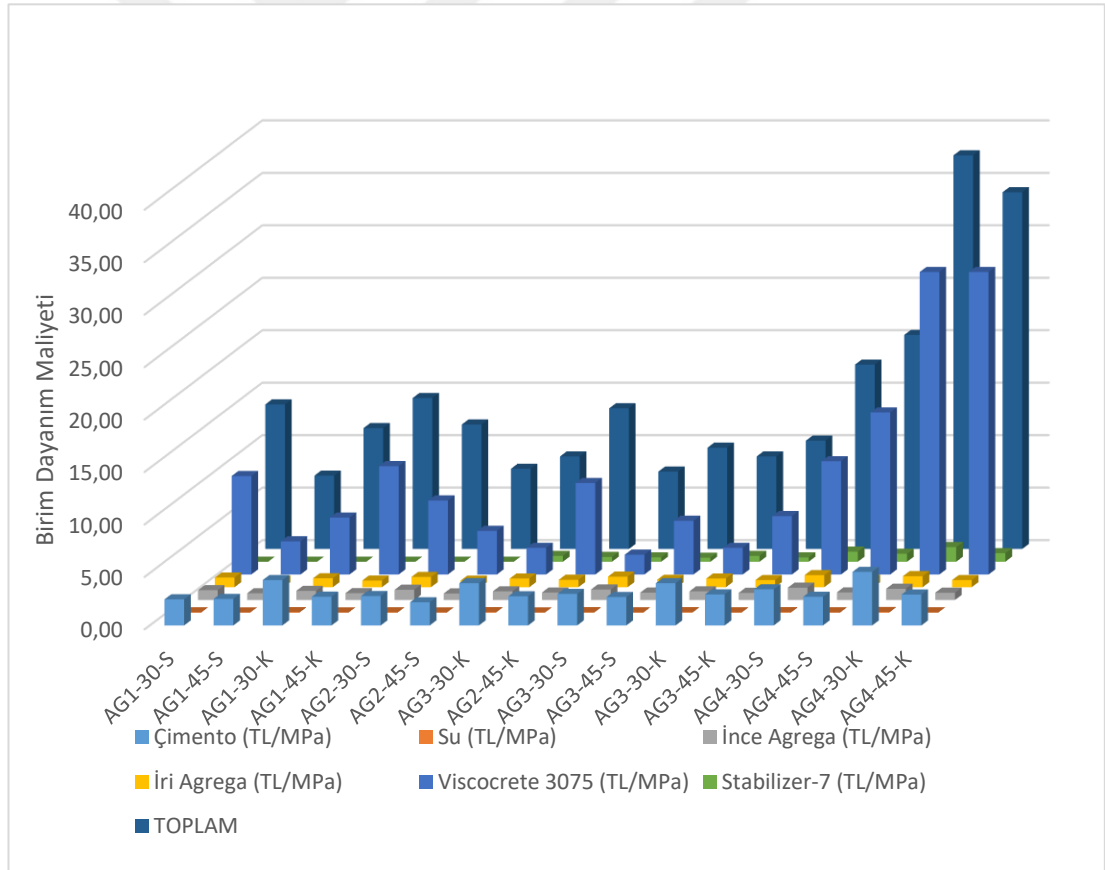


Şekil 7.43 Yüksek çimento dozajı durumunun ve VAK kullanımının toplam maliyete etkileri

KYB'nin maliyeti görüldüğü gibi ilave edilen kimyasal katkı durumuna, kullanılan agreganın metilen mavisi değerine, kullanılan çimento tipi gibi pek çok duruma bağlıdır. Bu nedenle teknik kalitenin bir ölçütü olarak görülen basınç dayanımına göre de maliyeti incelemek faydalı olacaktır.

Birim dayanım maliyeti, her bir dökümün 1 m³ nün maliyetinin, numunenin 28 günlük serbest basınç dayanımına bölümü ile elde edilmiştir. Bahsedilen birim maliyeti de hedeflenen basınç dayanıma göre ayı ayrı incelemek hem agreganın hem de çimento tipinin maliyete etkilerini gözlemlemeyi sağlayacaktır.

Bu nedenle öncelikle Şekil 7.44'te görüldüğü gibi tüm KYB dökümlerinin birim dayanım maliyetleri sunulmuştur. Buradan genel olarak metilen mavisi arttıkça birim dayanım maliyetinin de arttığını ve VAK kullanımı ile birim dayanım maliyetinin azaldığı söylenebilir.



Şekil 7.44 Tüm betonların birim dayanım maliyetleri

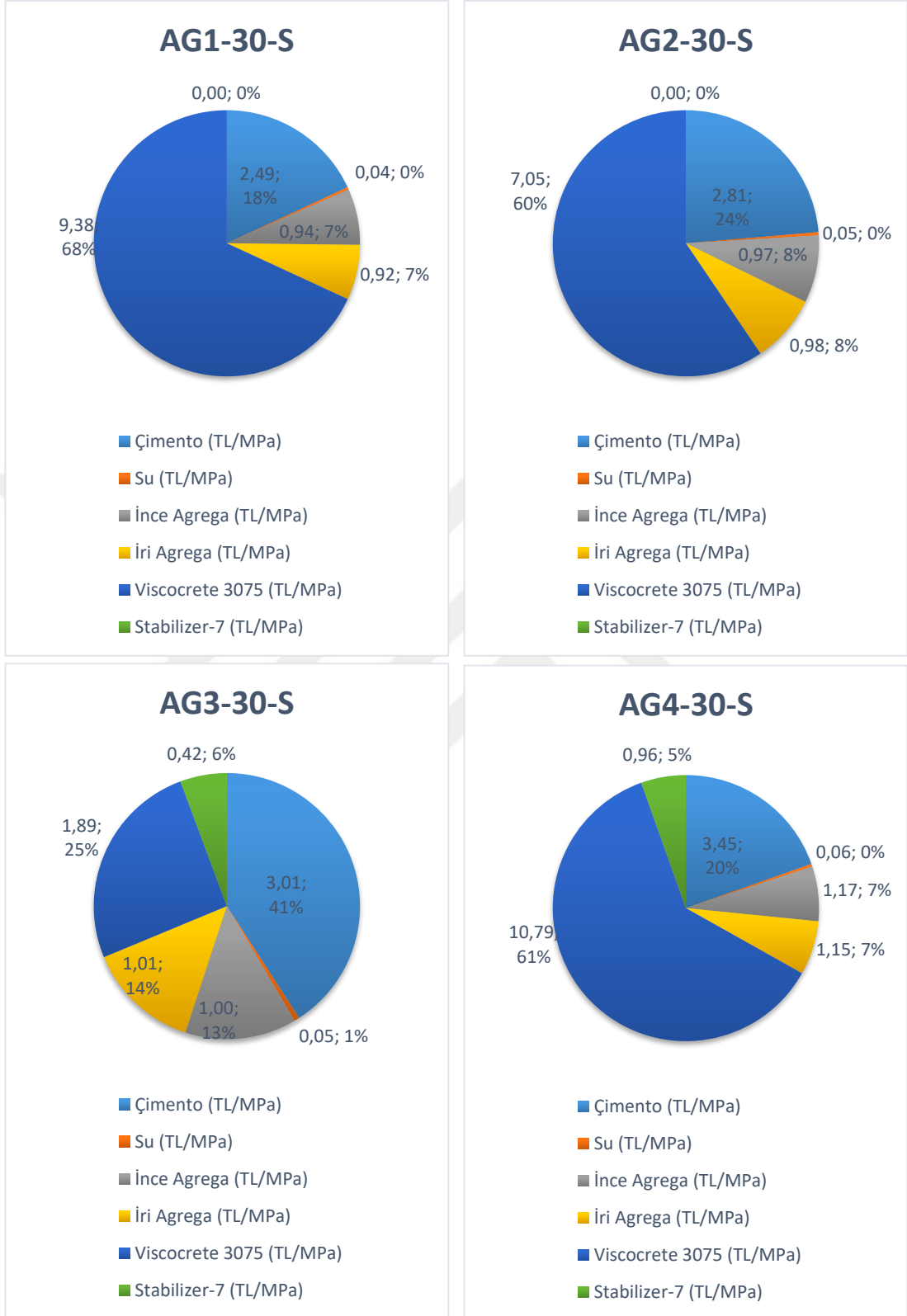
Birim dayanım maliyetleri oransal olarak ayrıntılı analiz edilince sırasıyla;

Şekil 7.45'te görüldüğü gibi **mineral katkısız çimento kullanılarak hedef basınç dayanımını C25/30 olan** KYB'lerin en belirgin olarak süperakışkanlaştırıcı katkının birim dayanım maliyetindeki oranı AG1 ve AG2 agregalı dökümlerde %60 iken viskozite düzenleyici katkının AG3 agregalı dökümlerde devreye girmesi ile birim dayanım maliyetindeki oranın %25'e düşmesi olmuştur ve toplam kimyasal katkı maliyeti $\%25 + \%6 = \%31$ olmuştur. Bu durum açıkça göstermektedir ki viskozite düzenleyici katkı sayesinde hem süperakışkanlaştırıcı kullanımı hem de toplam kimyasal katkı maliyeti azaltılabilir.

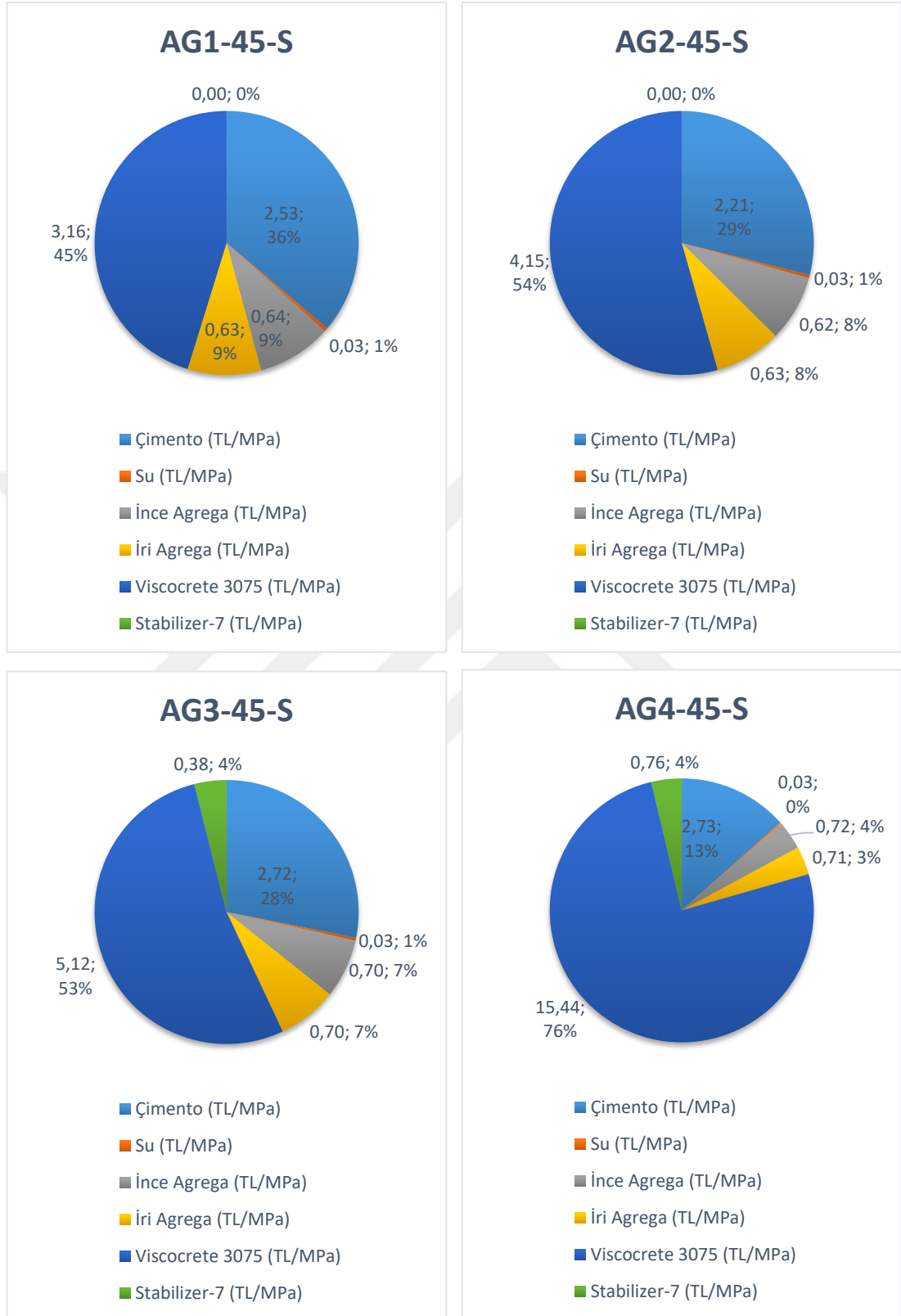
Mineral katkısız çimento kullanılarak C35/45 hedef basınç dayanımlı dökümler incelendiğinde ise metilen mavisi derecesi yüksek agrega kullanımının birim dayanım maliyeti doğrudan etkilediği Şekil 7.46'da apaçık görülmektedir. AG4 agregalı dökümlere gelinceye kadar birim dayanım maliyetinde toplam kimyasal katkı maliyeti oranı artmıştır. Bu sırasıyla %45, %54, %57 ve %80 olmaktadır. Yine AG3 agregalı dökümlere gelince ise toplam kimyasal katkı maliyeti oranının birim dayanım maliyetinde yüksek bir oranda olması beklenirken VAK kullanımı bu artışın önüne geçmiştir.

Şekil 7.47'de **mineral katkılı çimento kullanılarak C25/30 hedef basınç dayanımlı dökümlerde** birim dayanım maliyetinde toplam kimyasal katkı oranı metilen mavisi yüksek olmasına rağmen diğer dökümlerden ciddi oranda az olup %31 olarak gözlenmiştir. Bu durum mineral katkılı çimentodan gelen bileşenlerin VAK katkı ile görece daha uyumlu birleşerek toplam kimyasal katkı birim dayanım maliyeti oranının düşmesini sağlamıştır.

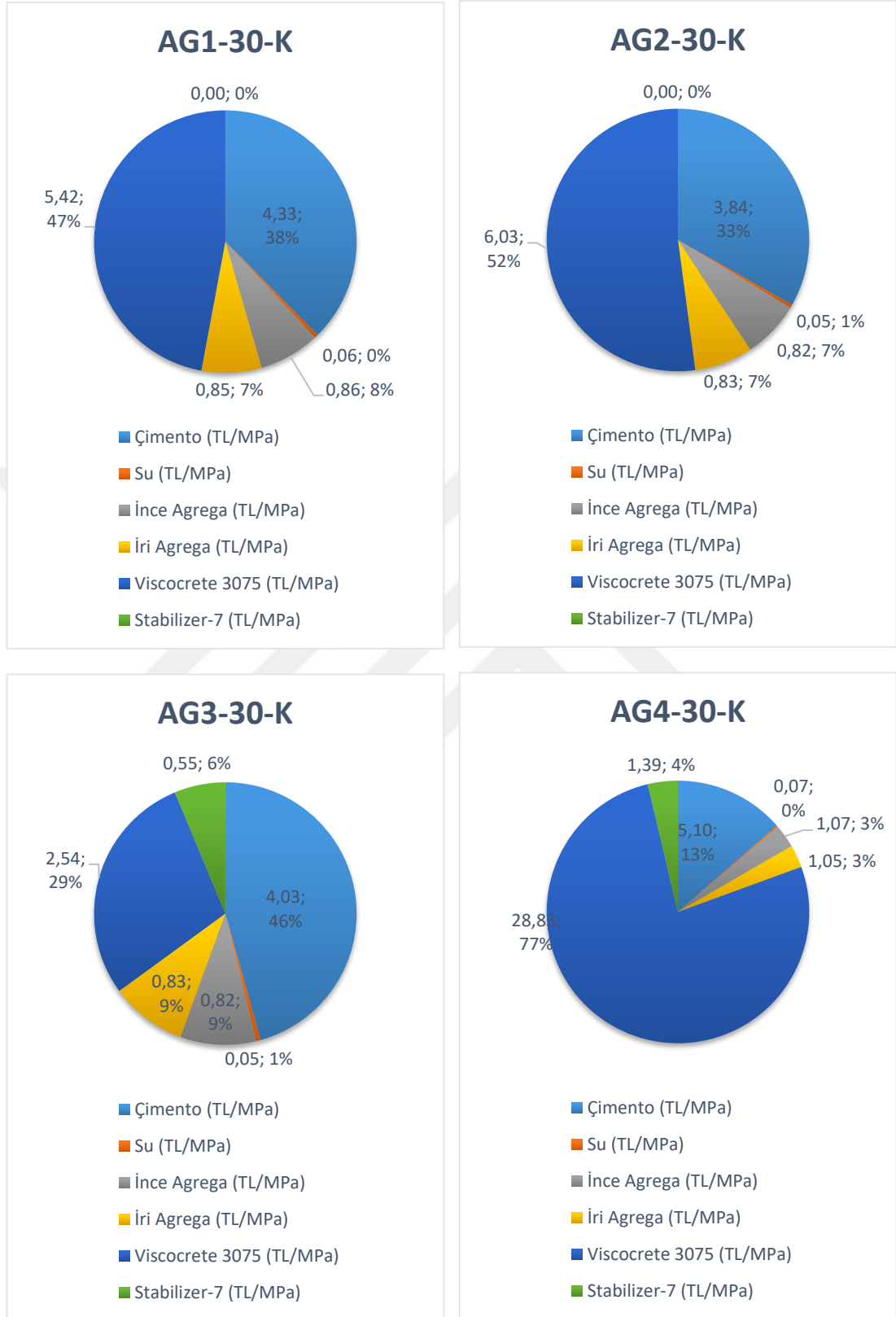
Son olarak Şekil 7.48'de **mineral katkılı çimento kullanılarak C35/45 hedef basınç dayanımlı dökümlerde**, özellikle metilen mavisi değeri 2 MBv olan en kirli agregalı dökümlerde, toplam kimyasal katkı birim dayanım maliyeti en yüksek oranda $\%85 + \%2 = \%87$ oranında olmuştur. Yani söz konusu dökümlerde birim dayanım maliyetinin büyük bir bölümü toplam kimyasal katkı birim dayanım maliyetinden oluşmuştur.



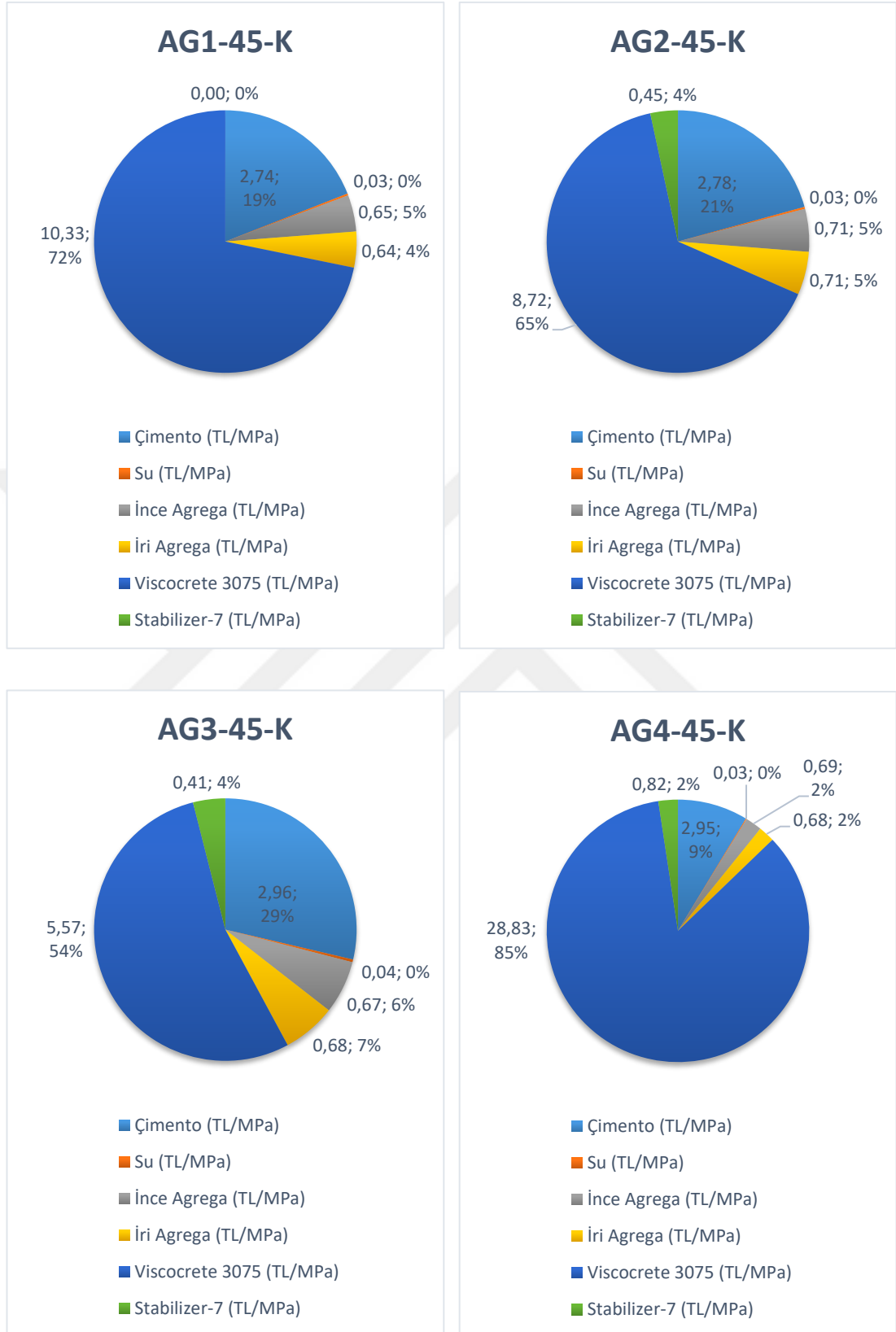
Şekil 7.45 Mineral katkısız çimento kullanılarak hazırlanan C25/30 hedef basınç dayanımlı KYB'lerin bileşenlerine göre oransal birim dayanım maliyeti



Şekil 7.46 Mineral katkısız çimento kullanılarak hazırlanan C35/45 hedef basınç dayanımlı KYB'lerin bileşenlerine göre oransal birim dayanım maliyeti

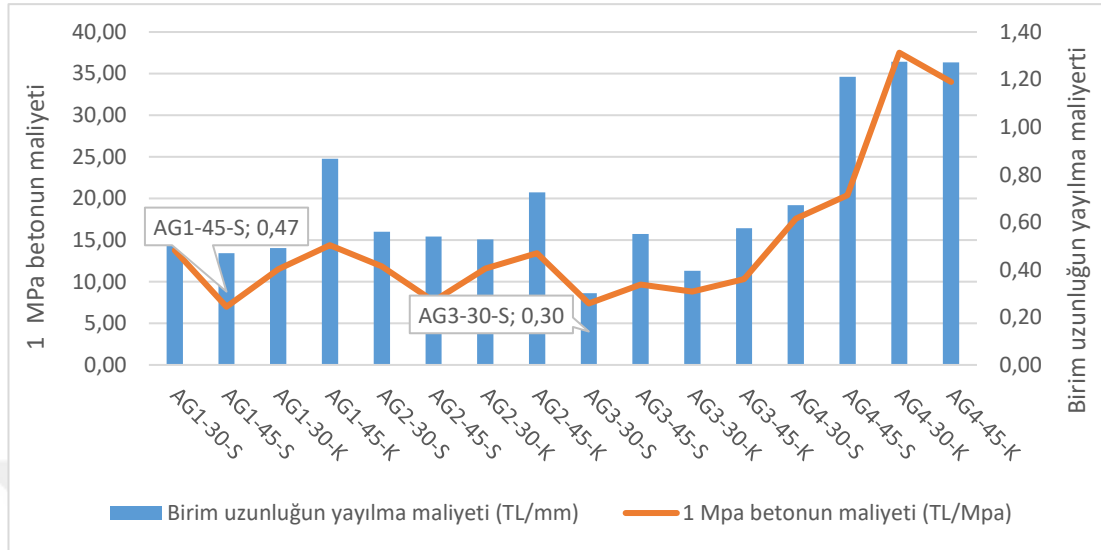


Şekil 7.47 Mineral katkılı çimento kullanılarak hazırlanan C25/35 hedef basınç dayanımlı KYB'lerin bileşenlerine göre oransal birim dayanım maliyeti



Şekil 7.48 Mineral katkılı çimento kullanılarak hazırlanan C35/45 hedef basınç dayanımlı KYB'lerin bileşenlerine göre oransal birim dayanım maliyeti

Son olarak Şekil 7.49’de görüldüğü gibi hem birim dayanım maliyetine hem de birim uzunluğun yayılma maliyetine bakarak karşılaştırma yapılmıştır.



Şekil 7.49 Hem birim dayanım hem de birim uzunluğun yayılma maliyetine göre karşılaştırma
Özetle sonuç olarak;

✓ Daire grafiklerine bakarak KYB üretiminde en büyük paya sahip olan bileşenin süperakışkanlaştırıcı katkı olduğu görülmüştür. Bu bileşenin oranı agreganın metilen mavisi derecesi arttıkça artmıştır. Fakat viskozite düzenleyici katkı kullanımı ile en büyük paya sahip bileşen değişmiş ve geleneksel betonda da genel olarak olduğu gibi çimento olmuştur. Metilen mavisi değeri belirli bir değerden sonra ise VAK kullanımı dahi bir fayda göstermemiş ve en büyük maliyet bileşeni süperakışkanlaştırıcı katkı olmuştur. Toplamda 16 dökümden 14’ünde maliyette en büyük paya süperakışkanlaştırıcı katkı sahip olup, 2’sinde ise çimento bileşeni maliyette en büyük paya sahip olmuştur.

✓ Metilen mavisi en düşük agregalı dökümlerde maliyetin düşük olması dolayısıyla hem taze hal hem de sertleşmiş hal parametrelerine göre yapılan karşılaştırma sonucu AG1-45-S dökümünün maliyet açısından en uygun döküm olması beklenirken viskozite düzenleyici katkının devreye girmesi ile maliyet açısından en uygun döküm AG3-30-S dökümü olmuştur. Fakat AG4 agregalı dökümlerden anlaşılabileceği gibi belli bir metilen mavisi değerinden sonra VAK katkı kullanımı dahi ekonomik olarak uygun bir KYB üretmeye yeterli olmamıştır.

BÖLÜM SEKİZ

DERİN ÖĞRENME İLE GÖRÜNTÜ SINIFLANDIRILMASI (DENEYSEL ÇALIŞMA)

Kendiliğinden yerleşen betonun görüntü işleme ve derin öğrenme teknolojileri kullanılarak anlık görüntüler üzerinden görüntü stabilite indeksi (GSI) sınıflandırılmasına yönelik çalışmalar bu bölümde irdelenecektir.

8.1 Amaç

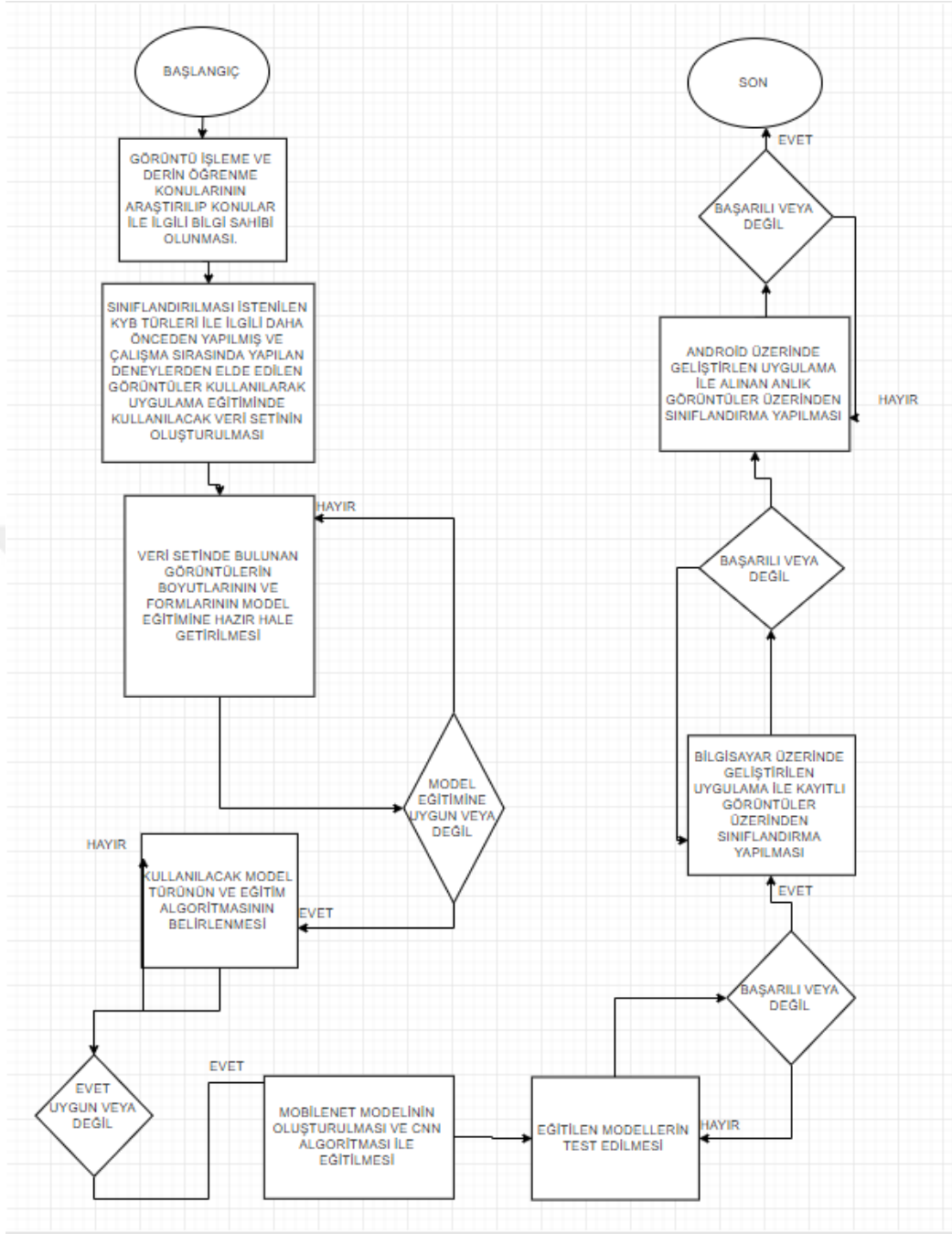
Görüntü stabilite indeksinin araştırmacı tarafından öznel olarak elde edilmesi yerine ilgili konu için geliştirilmiş bir mobil ve masaüstü uygulaması kullanılarak sonuçların nesnele en yakın olacak şekilde elde edilebilirliği araştırılmıştır.

8.2 Kapsam

Bu kapsamda hem Android hem de Windows işletim sisteminde ayrı ayrı çalışabilecek bir derin öğrenme modeli oluşturabilmek amacı ile model türü Keras MobileNet olarak belirlenmiştir. Derin öğrenme modelinin eğitiminde 5 katmanlı mimari ve üzerinde çalışılan deneysel veri seti göz önünde bulundurularak, model eğitim hızı ve tahmin başarısının artırılması amacı ile evrimsel yapay sinir ağları (CNN) algoritması kullanılmıştır. Model eğitim sürecinde ve model eğitimi için kullanılacak verisetinin eğitime hazır hale getirilişinde kullanılan görüntü işleme ve derin öğrenme işlemleri için Python programlama dili ve bu programlama diline ait TensorFlow, Keras, Numpy ve OpenCV kütüphanelerinden yararlanılmıştır.

8.3 Metodoloji

Kendiliğinden yerleşen betonları yayılma çapı görüntüleri ile derin öğrenme kullanan bir program yardımıyla sınıflandırmak için bu çalışmada yapılanlar Şekil 8.1 de algoritma diyagramı yapılarak sunulmuştur.



Şekil 8.1 Deneysel çalışmadaki uygulanan yapım metodolojisi

8.4 Derin Öğrenme Modelinin Geliştirilmesi

8.4.1 Model Eğitiminde Kullanılan Verisetinin Oluşturulması

Yapay zekâ ile görüntü sınıflandırılması yapan uygulamaların geliştirilme sürecinde uygulamanın tahmin başarısına etki eden en önemli faktör yapay sinir ağıları modelinin eğitiminde kullanılan verisetini oluşturan görüntülerin çeşitliliği ve formatıdır. Geliştirilen uygulamanın saha kullanımında, tahmin başarısının görüntünün alındığı ortamdaki ışık miktarının ve ışık açısının değişkenliğinden en az

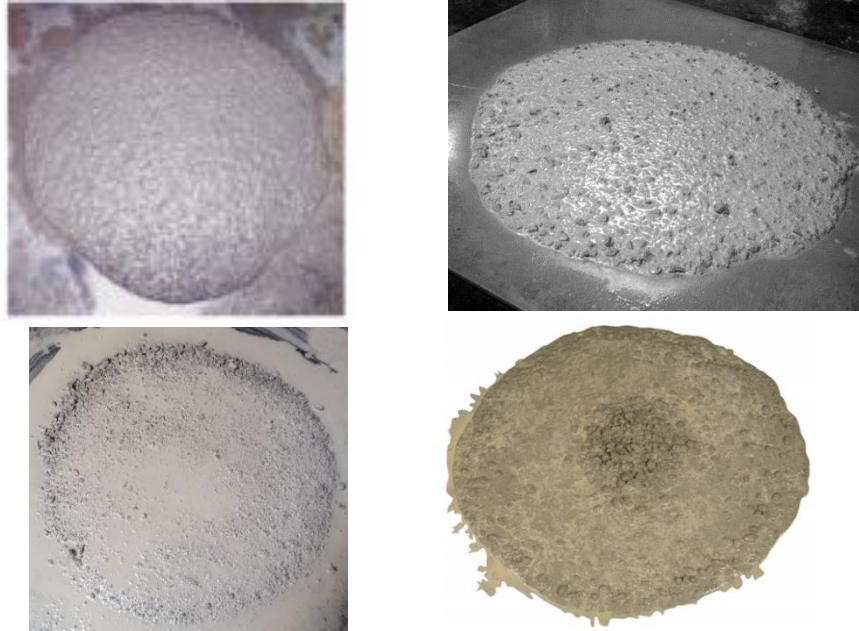
etkilenmesi için veri setindeki görüntülerin formatı belirlenirken 5 farklı treshhold yöntemi ve her bir yöntem için 2 farklı eşik değeri belirlenerek testler yapılmıştır.

8.4.2 Veri Setindeki Görüntülerin Formatının Belirlenmesi

Bu çalışmada farklı eşik değeri ve treshhold yöntemleriyle oluşturulmuş modellerin tahmin sonuçları gözlemlenerek en uygun veri seti formatının belirlenmesi amaçlandığı için 127 ve 156 eşik değeri ve aşağıda maddeler halinde sıralanan treshhold yöntemleri (ikili görüntü (Siyah ve Beyaz)’a çevirme) kullanılmıştır.

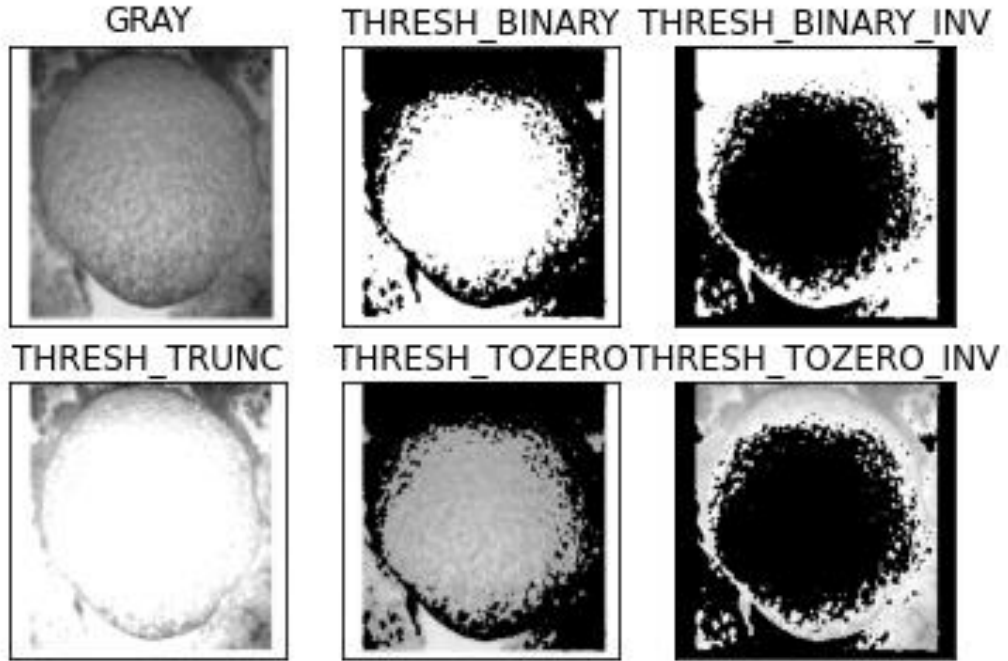
- “THRESH_BINARY” Yöntemi
- “THRESH_BINARY_INV” Yöntemi
- “THRESH_TRUNC” Yöntemi
- “THRESH_TOZERO” Yöntemi
- “THRESH_TOZERO_INV” Yöntemi

Öncelikle uygun treshhold yöntemini seçebilmek amacıyla tez kapsamında farklı açılardan çekilen beton görüntüleri, bazı araştırmacıların tezlerinde sundukları ve diğer raporlardaki görüntüler ilgili GİS değeriye göre sınıflandırılmışlardır. KYB’lerin model eğitiminde kullanılan bazı görüntüler Şekil 8.2’de gösterildiği gibidir.

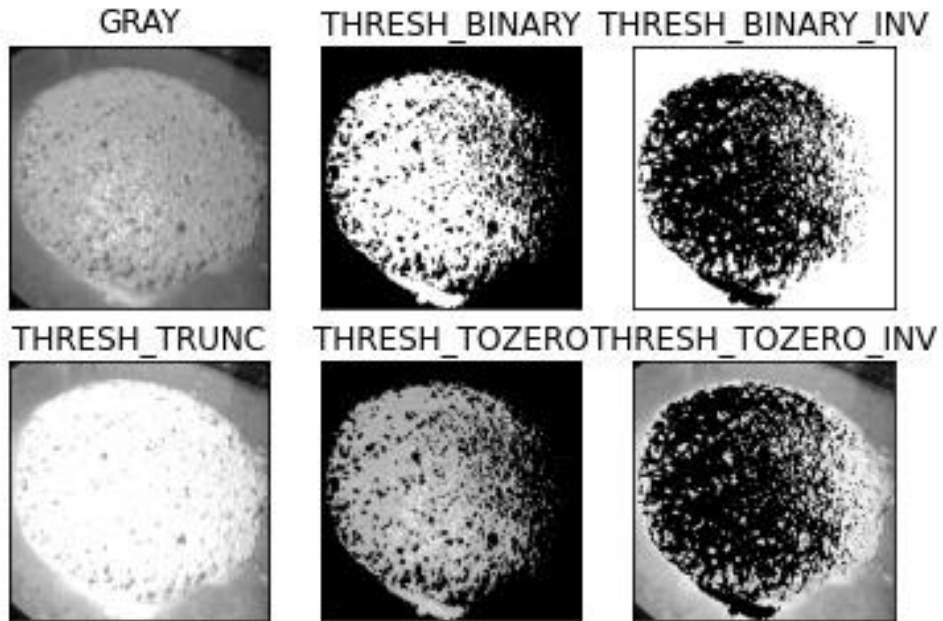


Şekil 8.2 Sol üst 0 sağ alt 3 olacak şekilde sırasıyla GİS değeri 0,1,2,3 olan KYB’lerin model eğitiminde kullanılan örnek orijinal görüntüleri GİS değeriye göre; 0: (Felekoğlu, 2003), 1: (Durgun, 2017), 2: (Kişisel Arşiv, 2022), 3: (Builders Solutions by BASF, 2021) e aittir.

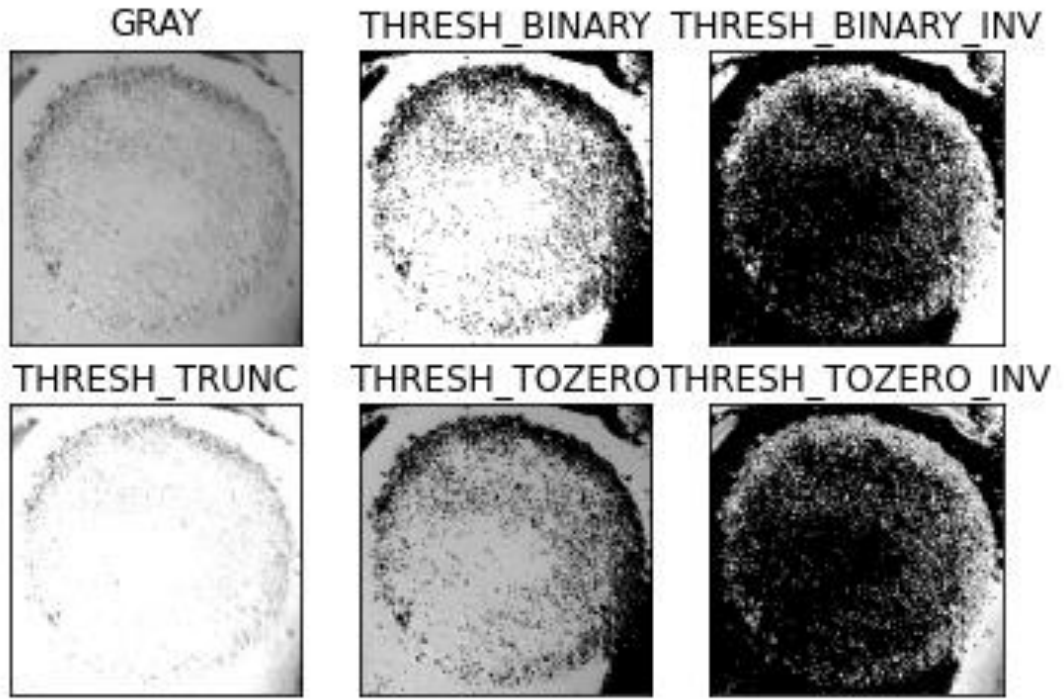
Daha sonra bu orijinal görüntü Şekil 8.3, Şekil 8.4, Şekil 8.5 ve Şekil 8.6’ de gösterildiği gibi önce “Gray” (İçerisinde sadece Gri ve tonlarını bulunduran) görüntüye daha sonra sırası ile Treshold yöntemleri kullanılarak “Binary” (İkili Görüntü) görüntülerine dönüştürülmektedir.



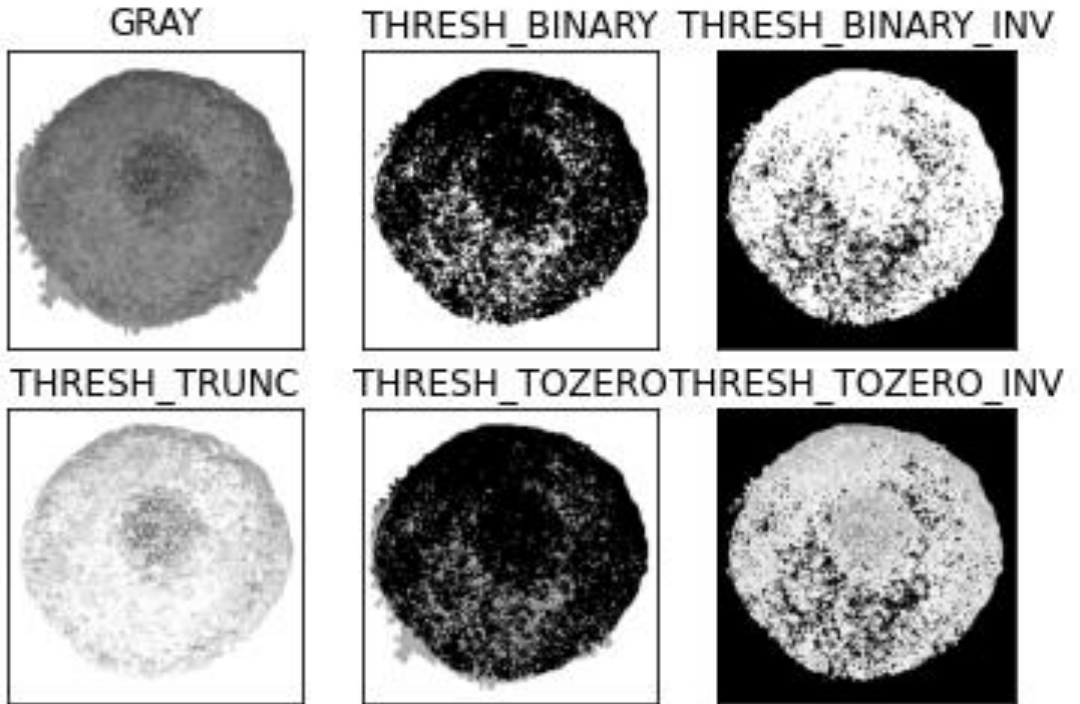
Şekil 8.3 GİS Değeri 0 olan KYB’ lere ait threshold yöntemleri uygulandıktan sonra orijinal görüntünün dönüştüğü görüntüler



Şekil 8.4 GİS Değeri 1 olan KYB’ lere ait threshold yöntemleri uygulandıktan sonra orijinal görüntünün dönüştüğü görüntüler

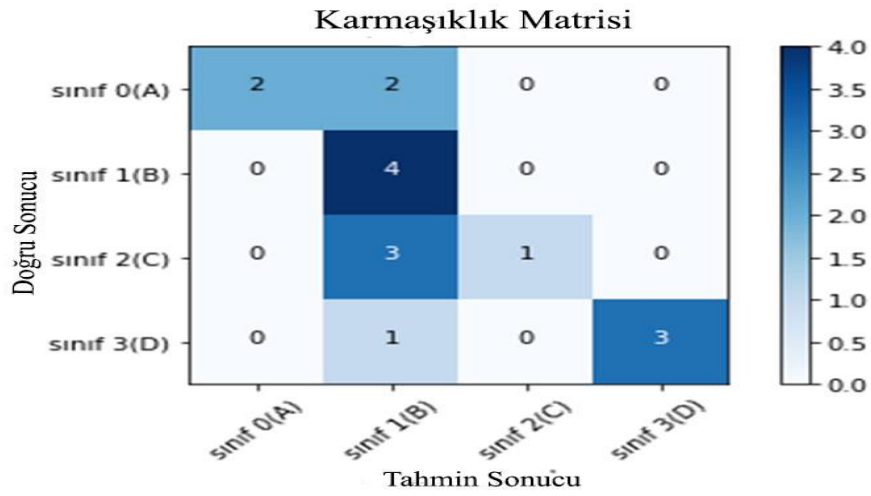


Şekil 8.5 GIS Değeri 2 olan KYB’ lere ait threshold yöntemleri uygulandıktan sonra orijinal görüntünün dönüştüğü görüntüler

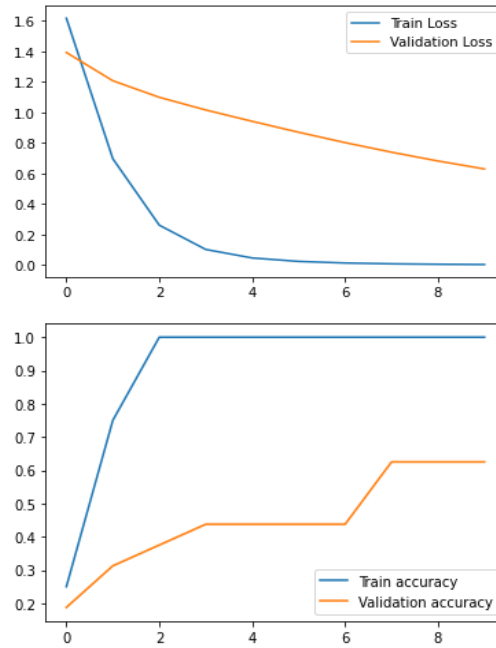


Şekil 8.6 GIS Değeri 3 olan KYB’ lere ait threshold yöntemleri uygulandıktan sonra orijinal görüntünün dönüştüğü görüntüler

Sırasıyla yukarıda bahsedilen threshold (eşikleme) yöntemlerinden hangi threshold yöntemi ile en yüksek tahmin oranını oluşturacak modeli bulabilmek için aşağıda sırasıyla her bir eşikleme yöntemi için eğitilen deneme modellerinin karmaşıklık matrisleri ve eğitilen modele ait tahmin başarı grafikleri verilmiştir. Bu deneme modellerinin amacı ana modelde kullanılacak en uygun threshold(eşikleme) yöntemini ve eşik değeri tespit etmek amaçlı olduğu için toplamda 16 adet görüntü ile eğitilmişlerdir. Bunlardan ilki THRESH_BINARY eşikleme yöntemi ile oluşturulmuş deneme modele ait grafikler Şekil 8.7 ve Şekil 8.8’de gösterildiği gibidir.

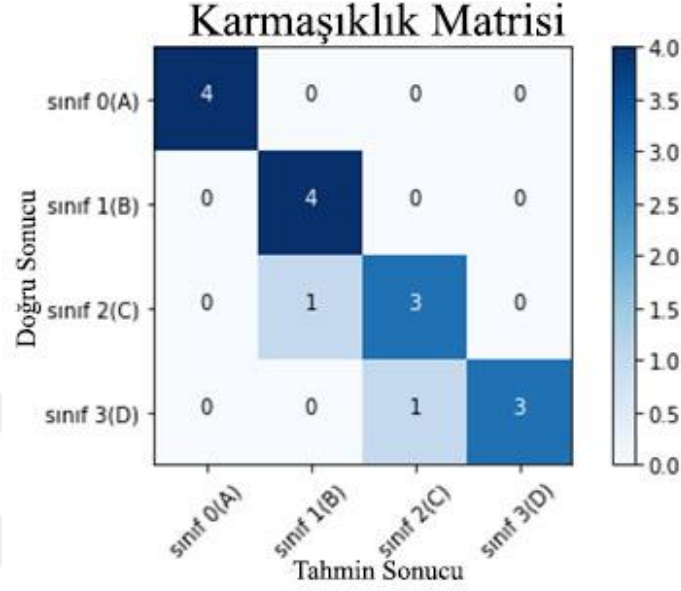


Şekil 8.7 THRESH_BINARY yöntemine ait karmaşıklık matrisi

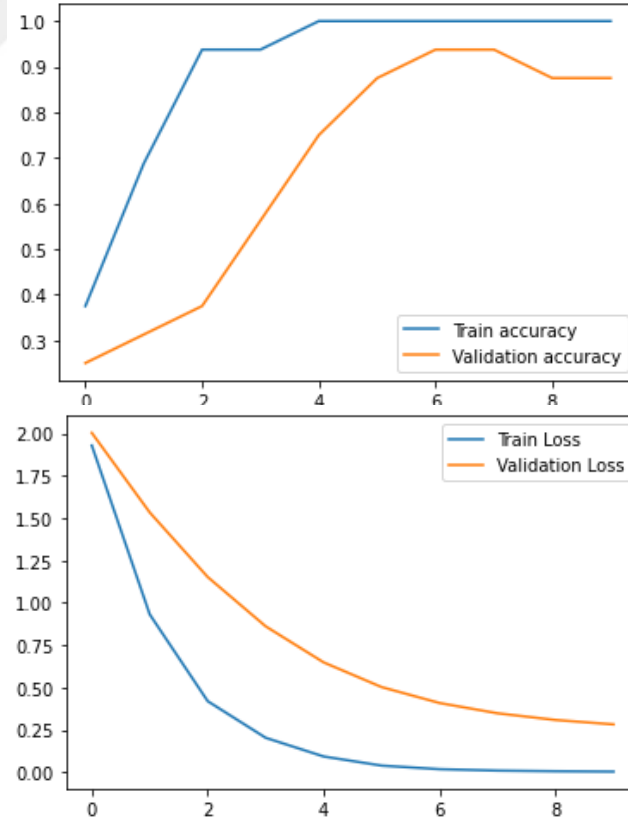


Şekil 8.8 THRESH_BINARY yöntemi ile elde edilen tahmin başarıları grafiği

THRESH_BINARY_INV yöntemi ile oluşturulmuş veri setleri ve bu veri setleri kullanılarak eğitilen modelin tahmin sonuçlarına ait karışıklık matrisi ve tahmin başarı grafikleri Şekil 8.9 ve Şekil 8.10’da gösterildiği gibidir.

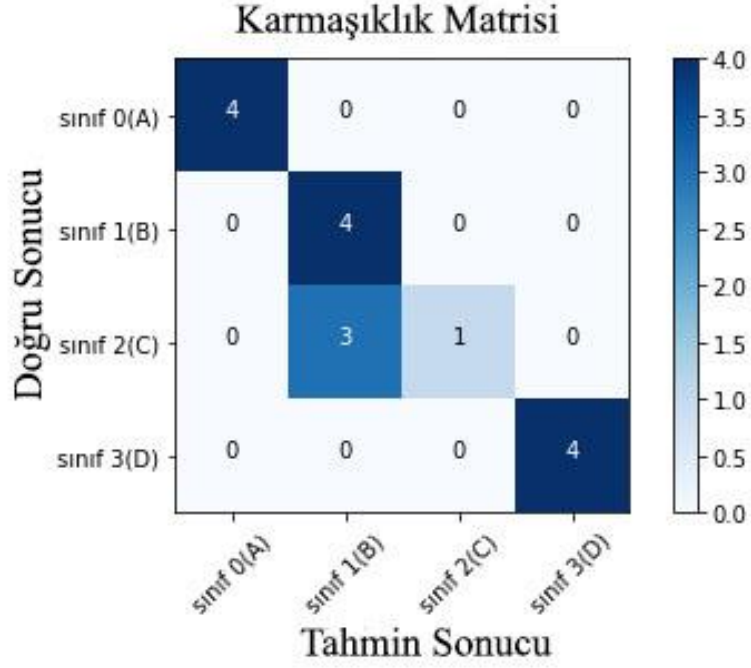


Şekil 8.9 THRESH_BINARY_INV yöntemine ait karışıklık matrisi

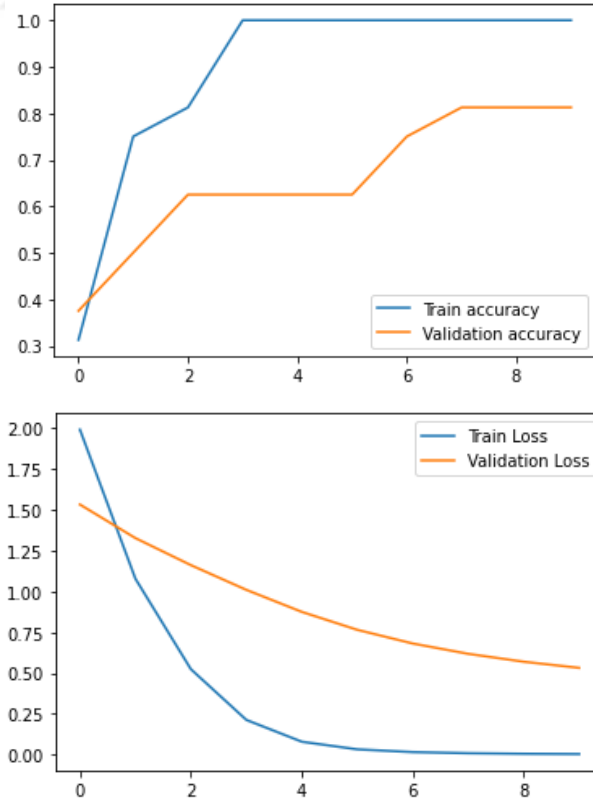


Şekil 8.10 THRESH_BINARY_INV yöntemi ile elde edilen tahmin başarıları grafiği

THRESH_THRUNC yöntemi ile oluşturulmuş veri setleri ve bu veri setleri kullanılarak eğitilen modelin tahmin sonuçlarına ait karışıklık matrisi ve tahmin başarı grafikleri Şekil 8.11 ve 8.12 gösterildiği gibidir.

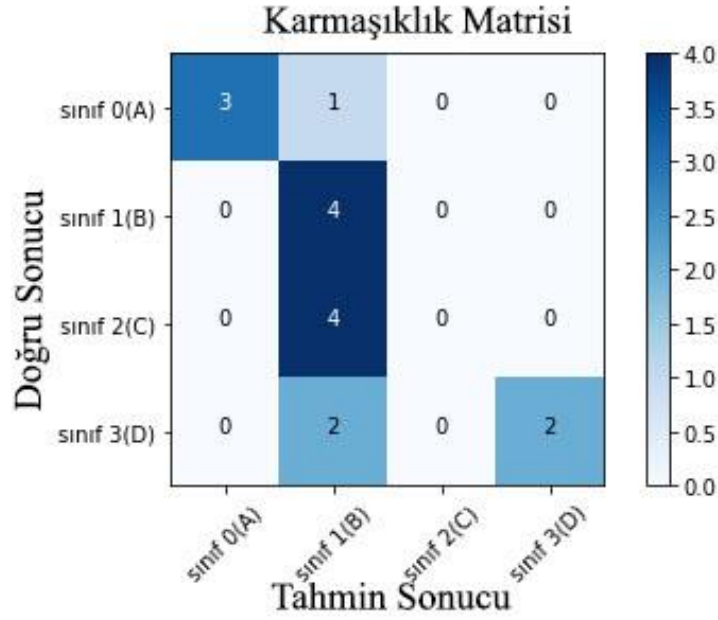


Şekil 8.11 THRESH_THRUNC yöntemine ait karışıklık matrisi

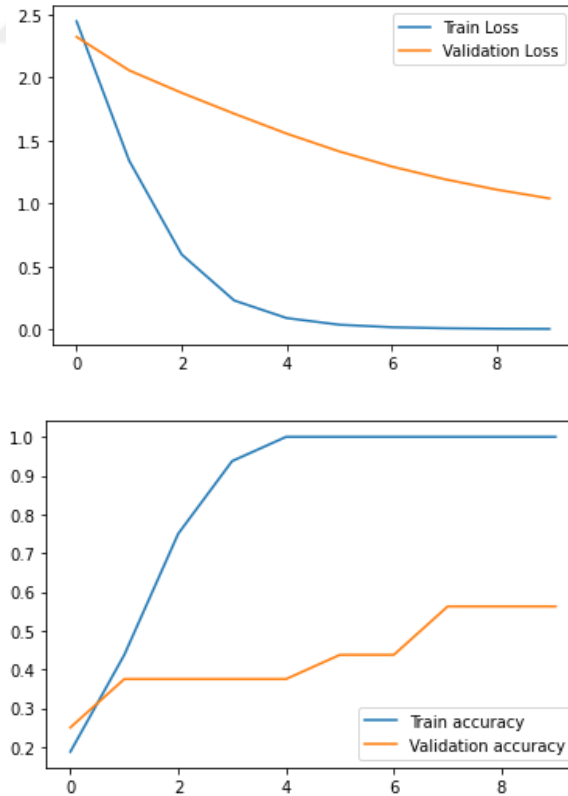


Şekil 8.12 THRESH_THRUNC yöntemi ile elde edilen tahmin başarı grafiği

THRESH_TOZERO yöntemi ile oluşturulmuş veri setleri ve bu veri setleri kullanılarak eğitilen modelin tahmin sonuçlarına ait karışıklık matrisi ve tahmin başarı grafikleri Şekil 8.13 ve 8.14 gösterildiği gibidir.

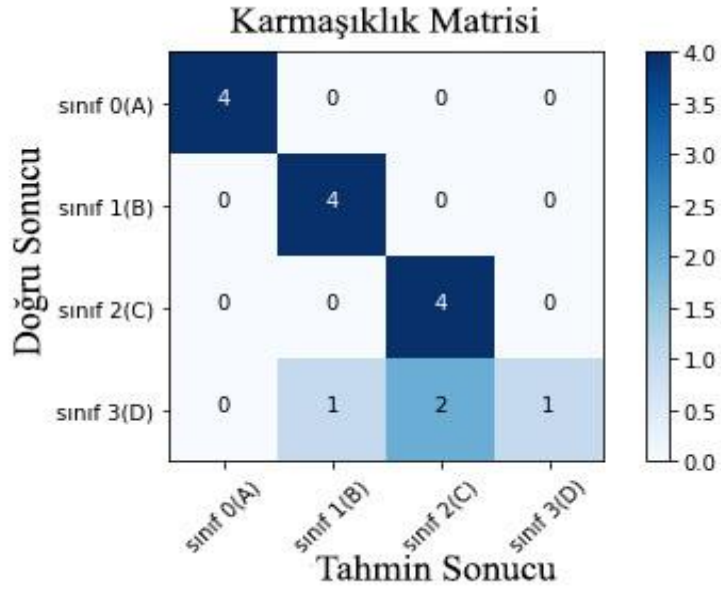


Şekil 8.13 THRESH_TOZERO yöntemine ait karmaşıklık matrisi

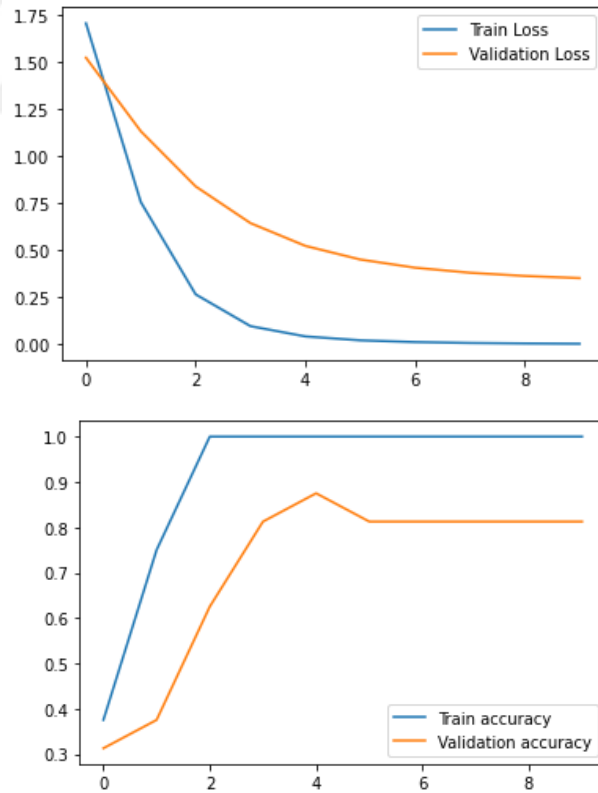


Şekil 8.14 THRESH_TOZERO yöntemi ile elde edilen tahmin başarı grafiği

THRESH_TOZERO_INV ile oluşturulmuş veri setleri ve bu veri setleri kullanılarak eğitilen modelin tahmin sonuçlarına ait karışıklık matrisi ve tahmin başarı grafikleri Şekil 8.15 ve Şekil 8.16’da gösterildiği gibidir.



Şekil 8.15 THRESH_TOZERO_INV yöntemine ait karmaşıklık matrisi



Şekil 8.16 THRESH_TOZERO_INV yöntemi ile elde edilen tahmin başarı grafiği

Özetle model eğitimlerinde nesnele en yakın sonuca ulaşabilmek için aşağıda sırası ile belirtilen işlemler uygulanmıştır

1. Veri Setimizde bulunan görüntüler “RGB” (Kırmızı, Yeşil ve Mavi tonlarını içerisinde bulunduran)’dan, “Grey” (İçerisinde sadece Gri ve tonlarını bulunduran)’a çevrilmiştir.

2. “Grey” görüntüler farklı eşikdeğerler (Belirlenen Sınır Piksel Değeri) ve farklı “Threshold” (ikili görüntü (Siyah ve Beyaz)’a çevirme) türleri kullanılarak “Binary” (İkili Görüntü)’ye çevrilmiştir.

3. Kullanılan “Threshold” türlerine ve eşikdeğerlere göre deneme için kullanılan 25 farklı model eğitilerek başarıları gözlemlenmiştir. Bunun sonucunda Eşik değeri 127 ve “Threshold” türü “THRESH_BINARY” kullanılmış ve ana model eğitilmiştir. Bu yeni ana modelde kullanılan görüntüler tezin ek bölümünde verilmiştir.

4. Model eğitimini kolaylaştırabilmek adına görüntülerin boyutları küçültülerek 200x200 haline getirilmiş ardından belirlenen eşik değeri ve “Threshold” türü kullanılarak veri setinde bulunacak görüntü formatı son halini almıştır.

Bu işlemlerden ve analizlerden sonra derin öğrenme modelimiz eğitilmiş ve KYB görüntü sınıflandırması yapan uygulamamız oluşturulmuştur. Model eğitiminde kullanılan toplam görüntü sayısı Tablo 8.1 de gösterildiği gibidir. Eğitim için kullanılan görüntülerin içerisinde farklı tezlerden, makalelerden alınan görüntüler ((Felekoğlu, 2003), (Builders Solutions by BASF, 2021), (Durgun, 2017))ve tez kapsamında yapılan deneyler sonucundaki çökme yayılma tablası üzerinden alınan görüntüler bulunmaktadır. Ayrıca Train, test ve validation görüntülerinde tez kapsamında çökme yayılma tablası üzerindeki fakat farklı açılardan çekilen görüntüler bulunmaktadır. Bu görüntülerin hepsi tezin ekler bölümünde sunulmuştur. Oluşturulan programın kullanım kılavuzu ve arayüzü hakkındaki bilgiler ise bir sonraki bölümde bahsedilecektir.

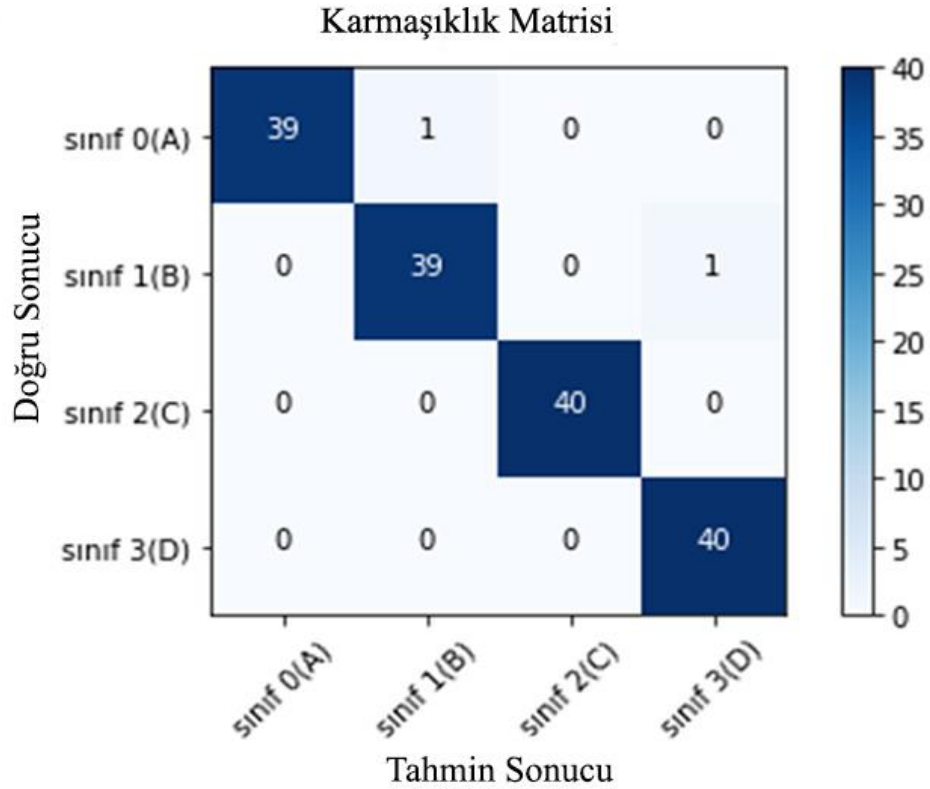
8.5 Masaüstü ve Mobil Uygulama Geliştirilmesi

Bir önceki bölümde bahsi geçen, model eğitiminde farklı tezlerden ve deneysel çalışmalardan farklı açılardan elde edilen görüntüler de dahil olmak üzere toplam veriseti sayısı Tablo 8.1 de görülmektedir. Bu ana modele ait karmaşıklık matrisi ve

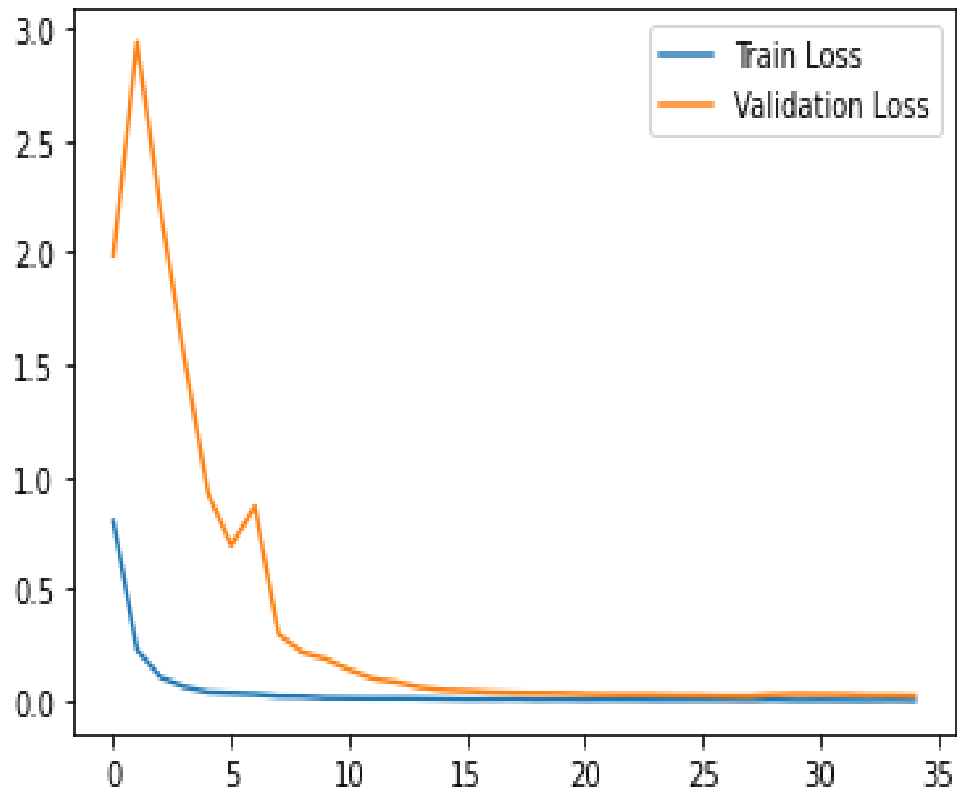
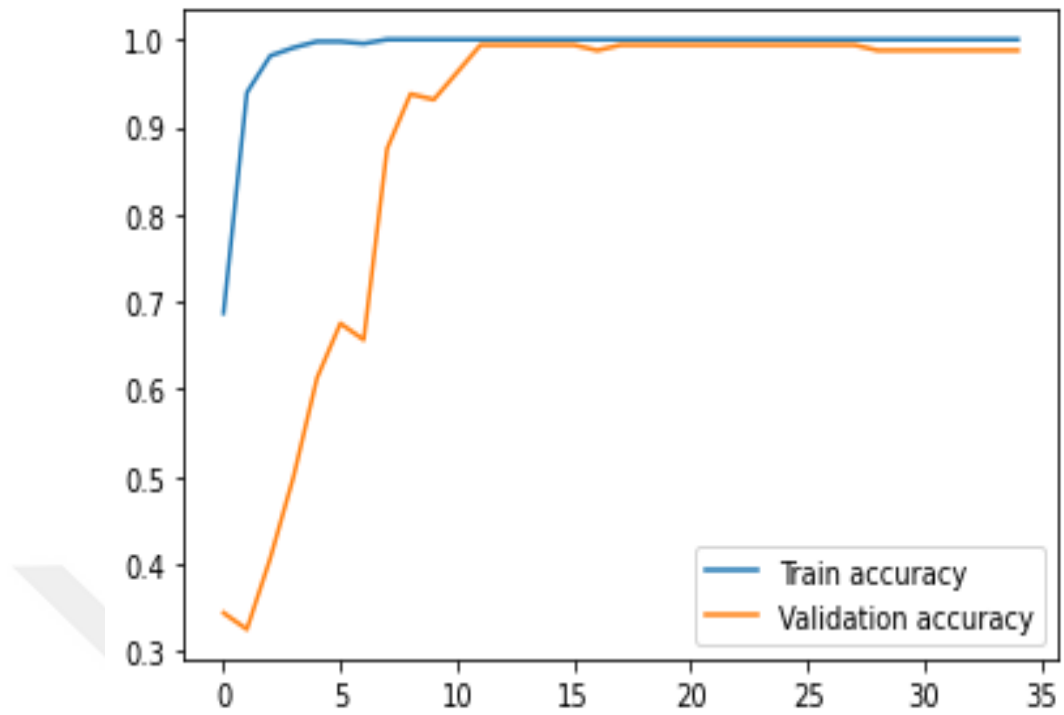
tahmin başarı grafikleri Şekil 8.17’de verilmiştir. Şekildeki karmaşıklık matrisinden anlaşılacağı gibi ana modele her sınıf için ayrı ayrı 40’ar toplamda 160 adet beton görüntüsü gönderilmiştir. Model Sınıf 2 ve Sınıf 3 de gönderilen 40 görüntünün her biri için doğru tahminde bulmuştur. Sınıf 0 ve Sınıf 1 de ise gönderilen 40 görüntünün 39 tanesi doğru tahmin edip 1 ‘er tanesini yanlış tahmin etmiştir. Fakat Sınıf 0 da yanlış tahmin yapmasına rağmen görüntüye en yakın GSİ (görüntü stabilite indeksi) sınıfına tahmin yapmıştır. Ayrıca bu görüntüler alındıkları kaynaklarla birlikte EK-1’de verilmiştir.

Tablo 8.1 Derin Öğrenme Modelinde verisetinde kullanılan görsel adetleri

Veri Seti Adı	Train Verisi Görsel Sayısı	Validation Verisi Görsel Sayısı	Test Verisi Görsel Sayısı
Sınıf Sıfır (0)	40	20	40
Sınıf Bir (1)	40	20	40
Sınıf İki (2)	40	20	40
Sınıf Üç (3)	40	20	40

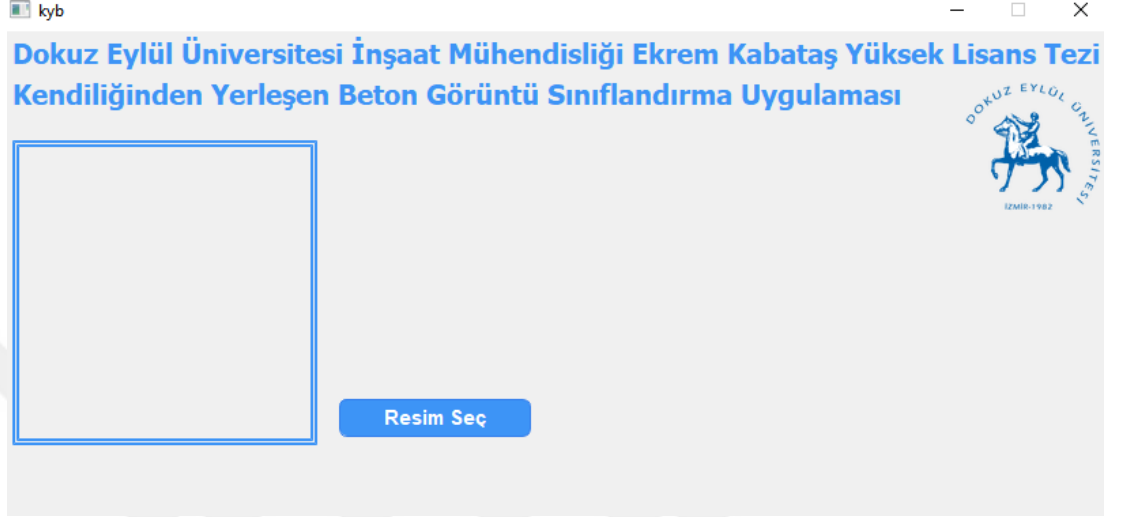


Şekil 8.17 Ana modele ait karmaşıklık matrisi ve tahmin başarı grafikleri



Şekil 8.17 Devamı

Model eğitimini tamamladıktan sonra öncelikle Şekil 8.18’de ara yüzü gösterilen bir masaüstü uygulama geliştirilmiştir. Kullanımı oldukça basit, çökme tablası üzerinde yayılmış beton görüntüsüne bakarak görüntü sınıflandırma derecesini gösteren bir uygulamadır.



Şekil 8.18 Masaüstü için geliştirilen uygulamanın arayüzü

Şekil 8.19’de ise deneylerdeki döküm sonuçlarından alınan beton görüntülerinden birkaçına ait uygulama sonucu gösterilmektedir.

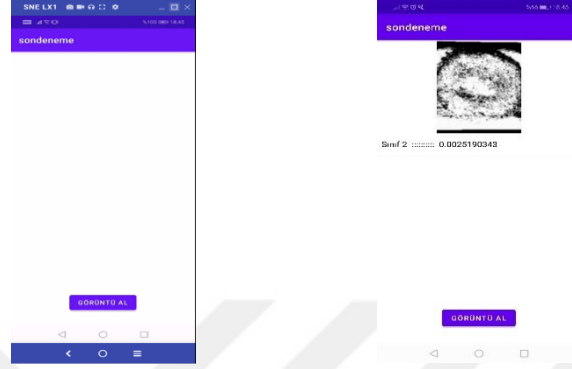


Şekil 8.19 Masaüstü uygulama sonuçları



Şekil 8.19 Devamı

Alternatif bir kalite kontrol metodu olabilmesi için uygulamanın sahada kolayca erişilebilir olması gerekmektedir. Bu sebeple KYB betonları için görüntü sınıflandırması yapan mobil uygulama geliştirilmiştir. Bu uygulamada masaüstü uygulama ile aynı mantıkta çalışmaktadır. Uygulamaya ait arayüz ve örnek sonuç görüntüsü Şekil 8.20’de görülmektedir.



Şekil 8.20 Mobil kullanım için geliştirilen uygulamanın arayüzü ve örnek sonuç görüntüsü

8.6 Uygulamanın Geliştirilmesi Gereken Bölümleri

Uygulama birçok yönden geliştirilmesi sonucunda uygulamanın projesinde KYB kullanımı olan şantiyelerde kalite kontrol yöntemi olarak ve/veya beton santrallerinde şantiyeye gönderilmeden üretim sırasında önlem alınmasını sağlayabilecek bir çözüm olabileceği düşünülmektedir.

Bu tez kapsamında yapılan uygulamada; kullanılan görüntülerin çeşitliliği, görüntülerin çekildiği fotoğraf makinesinin yeterli donanımda olmaması, aynı görüntünün birden fazla açıdan çekilememesi gibi teknik, donanımsal eksiklikler bulunmaktadır.

Bunlar bilinmesine rağmen bu konuda görüntü işleme teknolojileri, yazılım ve beton teknolojisi harmanlanarak literatürde var olan bir kalite kontrol yönteminin, geliştirdiğimiz uygulama sayesinde pratiğe alternatif bir çözüm ile aktarılabilmesi olasılığı düşünüldüğü için tezde yer almıştır.

Aşağıda maddeler halinde uygulamanın geliştirilmesi gereken noktaları belirtilmiştir.

- Verisetlerindeki görüntü sayılarının artırılması, tahmin başarısını doğrudan etkileyecektir. Bu sebeple daha fazla döküm yapılarak daha fazla görüntü elde edilmelidir.
- Görüntülerin çekim açısı da önemlidir. Görüntü sayısı artırılırken aynı betonun farklı açılardan da çekilmesi modelin doğru tahmin verebilmesi için kritiktir. Diğer bir deyişle bir deney sonucunda elde edilen beton görüntüsünün farklı açılardan (tam tepeden, sağdan eğimli, soldan eğimli vb. gibi), farklı ışık yoğunluklarında (güneşin tam tepede olduğu öğlen saati, güneşin farklı konumlarda olduğu sabah, ikindi ve akşam saatleri), telefonun betona olan farklı uzaklıklarında (uzaktan çekim, yakından çekim vb. gibi) beton görüntüleri model eğitilmesi sırasında elde edilmesi uygulamanın saha kullanımında doğru tahmin sonucu vermesi için büyük bir öneme sahiptir.
- Çekilen görüntü aralığında başka bir madde olmaması (metre, el vb.) modelin agregaların şekline, konumuna vb. odaklanmasını sağlayacaktır.
- Görüntülerin çekildiği fotoğraf makinesinin literatür kısmında bahsedilen kalitede olması görüntü kalitesini dolayısıyla modelin tahmin oranını artıracaktır.

BÖLÜM DOKUZ

SONUÇLAR

Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde ince agreganın etkisinin incelendiği bu tez kapsamında yapılan deneyler sonucunda aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır.

İnce agregaların metilen mavisi değeri arttıkça kendiliğinden yerleşebilirlikle ilgili olumsuz etkiler gözlenmiştir. Bunlar;

Taze hal beton özelliklerinde; istenilen kendiliğinden yerleşebilirlik özelliklerine ulaşılmasında yaşanan zorluklar: kimyasal katkı (süperakışkanlaştırıcı ve yetersiz kaldığı durumlarda viskozite düzenleyici katkı) ihtiyacının artması olarak gözlenmiştir. Bu bağlamda süperakışkanlaştırıcı katkı ve viskozite düzenleyici katkı ihtiyacını en çok arttıran betonlar metilen mavisi değeri 2 mBv olan AG4 agregalı betonlar olmuştur.

Mineral katkılı çimento kullanılan taze hal dökümlerinde ise görece mineral katkısız çimentolu dökümlere göre L kutusu bloklanma oranının daha yüksek bir değerde kaldığı gözlenmiştir.

Çökme yayılma deney sonucunun EFNARC (2005) şartnamesine göre bütün beton dökümlerinde SF2 hedef yayılma sınıfında olması hedeflemiştir. Tez kapsamında yapılan 16 KYB dökümünün; 14 tanesi SF2 sınıfında, 2 tanesi ise SF2-SF1 sınır değerinde kalarak SF1 sınıfında olmuştur.

L kutusu deney sonucu elde edilen bloklanma oranının ilgili şartnameye göre 11 tanesinin PA1 sınıfında geriye kalan 5 tanesinin ise PA2 sınıfında olmuştur.

Kendiliğinden yerleşebilirlik özelliklerinin elde edilmesinde metilen mavisi değeri arttıkça büyük zorluklar ile karşılaşmıştır. Bu nedenle ilgili şartnamenin gerektirdiği kendiliğinden yerleşebilirlik şartını sağlayabilmek için mevcut süperakışkanlaştırıcı katkıya ek olarak AG2 agregasının son deneyinden itibaren viskozite düzenleyici katkı kullanılmıştır.

Kimyasal katkı ihtiyacının artması beton dökümü sırasında ani kıvam kaybına ve kalıp süresinin çok uzamasına neden olmuştur.

Sertleşmiş hal beton özelliklerinde; metilen mavisi yüksek agregalarla üretilen betonlarda erken basınç dayanımlarında düşüş (kilin kimyasal katkı ihtiyacını arttırması ve yüksek kimyasal katkı dozajının dayanım kazanma hızını yavaşlatması) gözlenmiştir. Sertleşmiş beton özelliklerinden 3 günlük basınç değeri metilen mavisi yüksek agregalarda görece düşük metilen mavisi değerli agregalara göre daha düşük çıkmıştır. Dolayısıyla şantiyelerde kullanımında kalıp alma sürelerinde yaratacağı süre kayıpları, 7 günlük ve 28 günlük basınç dayanımları arasında klasik betondaki gibi bir korelasyon kurulamaması ve hedef dayanıma ulaşamama gibi olumsuz etkiler tespit edilmiştir.

28 günlük basınç dayanımı sonuçlarına göre metilen mavisi yüksek agregalarla hedef basınç dayanımları çoğunlukla sağlanamamıştır. Beton dökümlerinde C25/35 hedeflenen beton dayanımlarını 56 günde AG1, AG2 ve AG3 agregalı dökümlerin her ikisi de sağlayarak, AG4 agregalı dökümlerde ise her ikisi de sağlamayarak toplamda 8 deneyin 6 tanesinde istenilen hedef basınç dayanımına ulaşılmış olup, 2 tanesinde ulaşamamıştır. Fakat serbest basınç deneyi bu tez kapsamında 100x100x100 mm'lik küp numunelerinden elde edilmiştir. Literatür kısmında da bahsedildiği gibi boyut etkisi olarak bilinen sertleşmiş beton numune boyutlarının, serbest basınç dayanımı değerini etkilediği bilinmektedir. Bu bahsedilen boyut etkisi hesaba katıldığında C25/35 hedef basınç dayanımlı numunelerinin hepsi hedeflenen basınç dayanımının altında kalmışlardır.

Beton dökümlerinde C35/45 hedeflenen beton dayanımlarını AG1 agregalı dökümlerin her ikisi, AG2 agregalı dökümlerde biri sağlayarak diğeri sağlamayarak, AG3 ve AG4 agregalı dökümlerde ise hiçbirini sağlamayarak toplamda 8 deneyin 3 tanesinde istenilen hedef basınç dayanımına ulaşılmış olup, 5 tanesinde ulaşamamıştır. Aynı şekilde boyut etkisi hesaba katıldığında C25/35 hedef basınç dayanımlı numunelerinin hepsi hedeflenen basınç dayanımının altında kalmışlardır.

Mineral katkısız çimento kullanıldığı durumlarda genel olarak hem metilen mavisi yüksek ve düşük agregalarda hem de yüksek hedef basınç dayanımlı ve düşük hedef basınç dayanımlı betonlarda dayanım gelişimi mineral katkıya göre görece daha avantajlı olmuştur.

Ekonomik açıdan; kendiliğinden yerleşebilirlik özelliğini sağlayabilmek için artan kimyasal katkı ihtiyacı, 1 m³ betonu elde etme birim maliyetini çok ciddi oranda artırmıştır. Binlerce metreküp betonun kullanıldığı projeler düşünüldüğünde düşük metilen mavisine sahip agregaların seçiminin maliyet açısından ne kadar önemli olduğu görülmektedir. Ayrıca, maliyet açısından bu çalışmada belirgin olarak karşılaşılan bazı unsurlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

Öncelikle agregalardaki metilen mavisi değeri arttıkça toplam maliyet gözle görülebilir derecede artmaktadır. En düşük metilen mavisi derecesi 0,75 MBv olan AG1 agregalı dökümler ile en yüksek metilen mavisi derecesi 2 MBv olan AG4 agregalı dökümler arasındaki maliyet artışı ortalama olarak %93 oranındadır.

Mineral katkılı çimento kullanılması durumunda dolayısıyla toz oranı artmış ve bu da işlenebilirliği sağlamak için suyun yetersiz olduğu durumlarda kullanılan kimyasal katkı miktarını arttırmıştır. Sonuç olarak bir döküm hariç bütün dökümlerde mineral katkılı çimento kullanıldığında dolaylı olarak kimyasal katkı ihtiyacı arttığı için birim maliyet artmıştır. Bu artış ise ortalama %35 civarlarında olmaktadır.

Kullanılan akışkanlaştırıcıya destek olacak şekilde ikinci bir kimyasal katkı kullanılması durumunda da maliyet etkilenmektedir. Bu çalışmada viskozite düzenleyici katkı (VAK) kullanılması durumunda dökümlerdeki ani kıvam kaybı ve segregasyon sorunları azalmış bu nedenle süperakışkanlaştırıcı katkı kullanım miktarı azaltılabilmektedir. Birebir olarak aynı agrega kullanılarak etki incelenmemiş fakat bütün bileşenleri ve hedef basınç dayanımı aynı metilen mavisi değeri arasında 0,2 MBv fark olan agregalı dökümler ile karşılaştırılınca VAK katkı kullanımının %67'lere varan oranlarda maliyeti düşürmede olumlu etki yaptığı (süperakışkanlaştırıcı ihtiyacını azaltmak suretiyle) görülmüştür.

Betonun birim maliyeti metilen mavisi değeri arttıkça artmıştır. 15 Şubat 2021 tarihli birim fiyatlar esas alınarak yapılan maliyet analizine göre AG1 agregalı dökümlerde 1 MPa için ortalama maliyet 11,67 TL iken AG4 agregalı dökümlerde 1 MPa için ortalama maliyet 24,78 TL olmuştur. Ayrıca viskozite düzenleyici katkı kullanmanın maliyeti düşürmede belirgin bir etkisinin olduğu görülmüştür.

KYB tasarımında projede istenilen betonu üretebilmek için kullanılacak ince agrega özellikleri mutlaka irdelenmelidir. Sadece istenen hedef basınç dayanımını karşılayacak bir beton üretilmesi yeterlidir anlayışı hem büyük bir maliyet hem de öz kaynakların israfıyla çevreye verilen zararın artmasına neden olacaktır. Yapılması gereken, KYB üretmek için gerekli şartnamelerde metilen mavisi değeri için de kriter getirilmelidir. Tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalardan 1 mBv değerinin geçilmemesi önerilmektedir. Bileşenlerin olumsuz etkilerinin azaltıcı önlemler alınması ve ihtiyaca uygun taze beton özelliklerine göre doğru bileşenlerin seçilerek deneme dökümlerinin ardından proje KYB sinin seçimi yapılmalıdır.



KAYNAKLAR

- Aamer, A. M., Yani, L. P. E. ve Priyatna, I. M. A. (2021). Data analytics in the supply chain management: Review of machine learning applications in demand forecasting. *Operations and Supply Chain Management*, 14(1), 1–13. doi:10.31387/oscm0440281
- Ahari, R. S. (2014). *Mineral Katkıların Kendiliğinden Yerleşen Betonun Reolojik, Tikotropik ve Geçirimsizlik özelliklerine etkisi*. [Doktora Tezi] Ege Üniversitesi.
- Akhlaghi, E., Babarsad, M. S., Derikvand, E. ve Abedini, M. (2020). Assessment the Effects of Different Parameters to Rate Scour around Single Piers and Pile Groups: A Review. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 27(1), 183–197. doi:10.1007/s11831-018-09304-w
- Akman, M., S. (1996). *Kimyasal Katkıların Betona Uygulanması 4. Ulusal Beton Kongresi*. Bildiriler Kitabı.
- American Concrete Institution. (2007). *Self-Consolidating Concrete*. Standart No. 237R-07.
- Anderberg, J. ve Fathullah, N. (2019). *A machine learning approach to enhance the privacy of customers*. [Yüksek Lisans Tezi] Malmö Universitet.
- Anzanello, M. J. ve Fogliatto, F. S. (2011). Learning curve models and applications: Literature review and research directions. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 41(5), 573–583. doi:10.1016/j.ergon.2011.05.001
- Arakat, Ö. (2015). *Beton basınç dayanımına boyut ve cidar etkisi*. [Yüksek Lisans Tezi] İstanbul Teknik Üniversitesi.
- ASTM C1610 Standard Test Method for Static Segregation of Self-Consolidating Concrete Using Column Technique. (2015). Standard Test Method for Static Segregation of Self-Consolidating Concrete Using. *C1610 Standard Test Method for Static Segregation of Self-Consolidating Concrete Using Column Technique*, i(c), 4. doi:10.1520/C1610

- Bhirud, Y. L. ve Sangle, K. K. (2017). Comparison of Shrinkage, Creep and Elastic Shortening of VMA and Powder Type Self-Compacting Concrete and Normal Vibrated Concrete. *Open Journal of Civil Engineering*, 07(01), 130–140. doi:10.4236/ojce.2017.71008
- Builders Solutions by BASF, M. (15 Ekim 2021). *Visual Stability Index (VSI) for assessing self-consolidating concrete*. assets.master-builders-solutions https://assets.master-builderssolutions.basf.com/SharedDocuments/EBConstructionChemicalsUS/AdmixtureSystems/Brochures/SCC-VSI_CTIF.
- Çankaya, G., Arslan, M. H. ve Ceylan, M. (2013). Görüntü işleme ve yapay sinir ağları yöntemleri ile betonun basınç dayanımının belirlenmesi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 1(1), 1-12.
- Carra, S., Monica, L. ve Vignali, G. (2019). Reduction of workers' hand-arm vibration exposure through optimal machine design: AHP methodology applied to a case study. *Safety Science*, 120(August), 706–727. doi:10.1016/j.ssci.2019.07.034
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yüksek Fen Kurul Başkanlığı. (2021). *İnşaat Birim Fiyatlarına Esas İşcilik-Araç ve Gereç Rayiç Listesi*. ÇŞB.
- Concrete Society. (24 Eylül 2021). *Testing self compacting concrete - J-ring test*. [www.concrete.org.uk](http://www.concrete.org.uk/fingertips-nuggets.asp?cmd=display&id=961). <http://www.concrete.org.uk/fingertips-nuggets.asp?cmd=display&id=961>.
- Daczko, J. A. ve Vachon, M. (2006). Chapter 56: Self-Consolidating Concrete (SCC). (J. H. Pielert, Ed.). West Conshohocken, PA: ASTM International. doi:10.1520/STP37774S
- De Schutter, G., Bartos, P. J. M., Domone, P., Gibbs, J. (2008). *Self Compacting Concrete*. Caithness, Scotland, UK: Whittless Publishing.
- Dimirkou, A., Ioannou, A. ve Doula, M. (2002). Preparation, characterization and sorption properties for phosphates of hematite, bentonite and bentonite-hematite systems. *Advances in Colloid and Interface Science*, 97(1–3), 37–61. doi:10.1016/S0001-8686(01)00046-X

- Dogan, G., Arslan, M. H. ve Ceylan, M. (2017). Concrete compressive strength detection using image processing based new test method. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 109, 137–148. doi:10.1016/j.measurement.2017.05.051
- Durgun, M. Y. (2017). *Nano Silika Kullanımının Kendiliğinden yerleşen betonların reolojik, mekanik ve içyapısal özellikleri üzerine etkilerinin araştırılması*. [Doktora Tezi] İstanbul Teknik Üniversitesi.
- EFNARC. (2002) *Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete* (StandartNo:EFNARC2002)<https://www.feb.unesp.br/pbastos/c.especiais/Efnarc.pdf>
- EFNARC. (2005). The European Guidelines for Self-Compacting Concrete. *The European Guidelines for Self Compacting Concrete*,. (Standart No: EFNARC 2005) <http://www.efnarc.org/pdf/SCCGuidelinesMay2005.pdf>.
- Elen, A. (2020). Görüntü İkileştirme için Global Eşikleme Yöntemleri Üzerine Bir İnceleme A Review on Global Thresholding Methods for Image Binarization, *Mühendislik Bilimleri Araştırma Dergisi*, 2(2), 38–49.
- Erdoğan, T., Y. (2003). *Beton*. ODTÜ İnşaat Mühendisliği Matbaası.
- Esfahani, M. R., Lachemi, M. ve Kianoush, M. R. (2008). Top-bar effect of steel bars in self-consolidating concrete (SCC). *Cement & Concrete Composites*, 30, 52–60.
- Fares, G., Al-Negheimish, A., Alhozaimy, A. M. ve Khan, M. I. (2022). Polycarboxylate superplasticizer and viscosity modifying agent: Mode of addition and its effect on cement paste rheology using image analysis. *Journal of Building Engineering*, 48(October 2021), 103946. doi:10.1016/j.jobbe.2021.103946
- Felekoğlu, B. (2003). *Kendiliğinden Yerleşen Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması*. [Yüksek Lisans Tezi] Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Felekoğlu, B. (2005). Kendiliğinden Yerleşen Beton Üretiminde kullanılan kum özelliklerinin akışkanlaştırıcı kimyasal katkı performansına etkileri. *Türkiye*

Hazır Beton Birliği, 3–9.

Feys, D., Verhoeven, R. ve De Schutter, G. (2007). Evaluation of Time Independent Rheological Models Applicable to Fresh Self-Compacting Concrete. *Applied Rheology*, 17(5), 56210–56244. doi:doi:10.1515/arh-2007-0018

G.De Schutter. (24 Ağustos 2021). Measurement of Properties of Fresh Self-Compacting Concrete Testing-SCC. *Guidelines for Testing Fresh Self-compacting concrete (SCC)*, (September), 187–207. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9781845692636500092>

Gökçe, M. (2014). *Sayısal Görüntü İşleme ile Göz Hastalıklarının Teşhisi İçin Bir Yardımcı Sistem Tasarımı*. [Yüksek Lisans Tezi] Afyon Kocatepe Üniversitesi.

Goodier, C. . (2003). Development of Self Compacting Concrete. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers Structures & Buildings*, 156, 405–414. <https://doi.org/10.1680/stbu.2003.156.4.405>

Hočevār, M., Širok, B., Godeša, T. ve Stopar, M. (2014). Flowering estimation in apple orchards by image analysis. *Precision Agriculture*, 15(4), 466–478. doi:10.1007/s11119-013-9341-6

Jawahar, J. G., Sashidrar, C. ., Reddy, V. R. ve Peter, J. A. (2013). Optimization of superplasticiser and viscosity modifying agent in self compacting mortar. *Asian Journal Of Civil Engineering*, 14(1), 71–86.

Kandil, U. (2021). *Farklı Mineral Katkı İçeren Geri Kazanılmış Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Bazı Mekanik ve Durabilite Özellikleri*. [Doktora Tezi] Karadeniz Teknik Üniversitesi.

Karakoç, M. (2012). Görüntü İşleme Teknolojiler ve Uygulamaları, Uşak, *Akademik Bilişim Dergisi*

Kenna, F. ve Archbold, P. (2016). Ceramic Waste Sludge as a Partial Cement Replacement. *Civil Engineering Research in Ireland*, 2(January), 1–6.

Khan, M. I., Fares, G. ve Abbas, Y. M. (2022). Cost-performance balance and new image analysis technique for ultra-high performance hybrid nano-based fiber-

- reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 315(September 2021), 125753. doi:10.1016/j.conbuildmat.2021.125753
- Khayat, K. ve Cao, Q. (2014). Workability and Mockup Field Application of Self-Consolidating Concrete Used in Bridge Deck-Girder Connection, *3rd International Symposium on Design, Performance and Use of Self-Consolidating Concrete*, 139
- Koehler, E. P., & Fowler, D. W. (2007). *Self-consolidating concrete for precast structural applications: mixture proportions, workability, and early-age hardened properties*, https://ctr.utexas.edu/wp-content/uploads/pubs/0_5134_1.pdf
- Kone, E. R. S. ve Karwan, M. H. (2011). Combining a new data classification technique and regression analysis to predict the Cost-To-Serve new customers. *Comput. Ind. Eng.*, 61, 184–197.
- Lagaly, G. ve Ziesmer, S. (2003). Colloid chemistry of clay minerals: The coagulation of montmorillonite dispersions. *Advances in Colloid and Interface Science*, 100–102, 105–128. doi:10.1016/S0001-8686(02)00064-7
- Lappenküper, D. (24 Haziran 2021). White Paper White Paper. *Basler*, (January), 1–5. <http://classtap.pbworks.com/f/SkillSoft+-+Blended+Elearning.pdf>
- Matuszewski, J., & Rajkowski, A. (2020). The use of machine learning algorithms for image recognition, *In Radioelectronic Systems Conference*, 11402, 412-422, doi:{10.1117/12.2565546},
- Miller, R. H. (1955). *An appraisal of materials of construction for use in naval structures* [Doctoral Tezi], Monterey, California: Naval Postgraduate School)
- Morikawa, C., Kobayashi, M., Satoh, M., Kuroda, Y., Inomata, T., Matsuo, H., ... Hilaga, M. (2021). Image and video processing on mobile devices: a survey. *Visual Computer*, 37(12), 2931–2949. doi:10.1007/s00371-021-02200-8
- Neville, A. M. (1995). *Properties of concrete* , Longman Books
- Okamura, H. ve Ouchi, M. (2003). Self-Compacting Concrete. *Journal of Advanced*

Concrete Technology, 1(1), 5–15.

Osmanoğlu, U. Ö., Mutlu, F., Gürsoy, H. ve Şanlısoy, S. (2019). Görüntü İşleme ve Analizinin Tıpta Kullanımı ve Bir Uygulama. *Osmangazi Journal of Medicine*, 41(1), 6–16. doi:10.20515/otd.426347

Ozawa, K., Maekawa, K., & Okamura, H. (1992). Development of high performance concrete. *Journal of the Faculty of Engineering*, University of Tokyo.

Perlich, C. (2010). Encyclopedia of Machine Learning. *Encyclopedia of Machine Learning*, (September). doi:10.1007/978-0-387-30164-8

Pintado, X. ve Barragán, B. E. (2009). Homogeneity of self-compacting concretes used in tunnel strengthening – A case study. *Tunnelling and Underground Space Technology incorporating Trenchless Technology Research*, 24(6), 647–653. doi:10.1016/j.tust.2009.06.005

Pitre, B. T. (2012). *Application of The Modified Methylene Blue Test to Detect Clay Minerals In Coarse Aggregate Fines*. [Doktora Tezi] Graduate Studies of Texas A&M University.

Portland Cement Association. (15 Ekim 2021). *Concrete slab surface defects: causes, prevention, repair. Reactions*. Scholar <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Concrete+Slab+Surface+Defects+:+Causes+,+Prevention+,+Repair#7>

Ramachandran V., S. and M. M. (1984). *Concrete Admixtures Handbook- Part 7 Superplasticizers*. Noyes Publications.

Sağlam, A. R., Parlak, N., Doğan, Ü. A. ve Özkul, M. H. (2004). *Kendiliğinden Yerleşen Beton Ve Katkı-Çimento Uyumu*. Sika Yapı Kimyasalları.

Şahmaran, M. (2006). *Self-compacting concrete with high volumes of fly ash*. [Doktora Tezi] Middle East Technical University.

Sayahi, F. (2019). *Plastic shrinkage cracking in concrete: Mitigation and modelling*. [Doktora Tezi] Lulea University of Technology.

Sertbaşı, B. (2006). *Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Polipropilen Lif*

Kullanımının İşlenebilirliğe Etkisi. [Yüksek Lisans Tezi] İstanbul Teknik Üniversitesi

Sezgin, M. ve Sankur, B. (2004). Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation. *Journal of Electronic Imaging*, 13(1), 146. doi:10.1117/1.1631315

Sfikas, I. P. (2017). *Self-compacting concrete :History & Current Trends*. London.

Sika. (2021). *Beton Katkıları Birim Fiyat Listesi*. Sika Yapı Kimyasalları.

Su, N., Hsu, K.-C. ve Chai, H.-W. (2001). A simple mix design method for self-compacting concrete. *Cement and Concrete Research*, 31, 1799–1807. doi:10.1016/S0008-8846(01)00566-X

Timoftei, S. (2018). Industrial robot in fine art: Can an industrial robot draw a binary image? *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 444(5). doi:10.1088/1757-899X/444/5/052027

Toktay, M. (1997). Çeşitli Basınç Dayanım Formüllerinin Yüksekakışkanlaştırıcı ve Mineral Katkı İçeren Betonlara Uygulanabilirliği (C. 27, ss. 187–189). ODTÜ Ankara.

Topçu, I. B. ve Demir, A. (2008). Relationship between methylene blue values of concrete aggregate fines and some concrete properties. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 35(4), 379–383. doi:10.1139/L07-111

Türk Standartları Enstitüsü. (2016). *Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları*. Standart No: TS 802.

Türkiye Hazır Beton Birliği. (2012). Özel Dosya :Kendiliğinden Yerleşen Beton (ss. 46–52). THBB.

Türkiye Hazır Beton Birliği. (2015). *Kendiliğinden Yerleşen Beton Kılavuzu*. THBB.

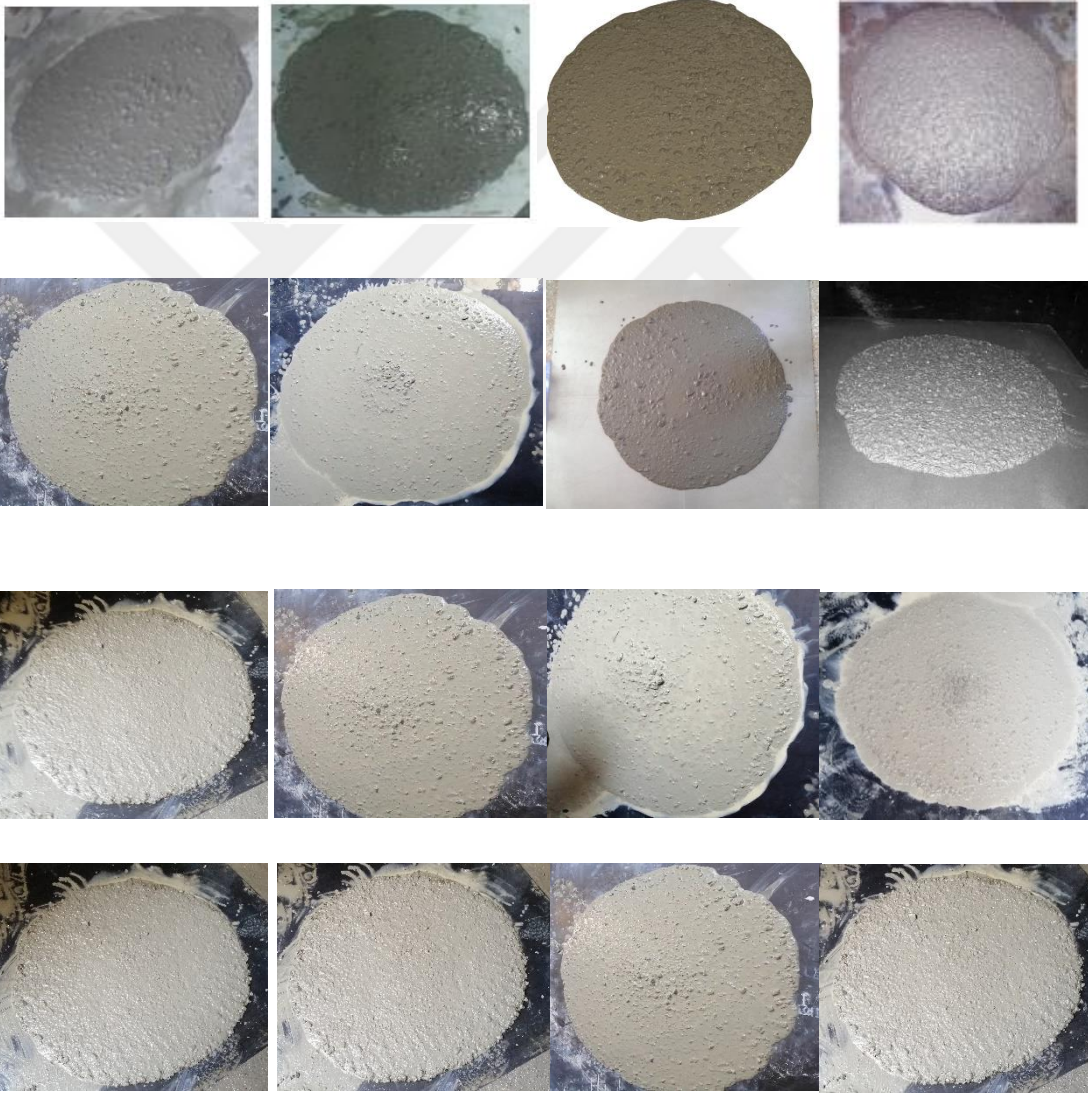
UTEST Malzeme Test Cihazları. (2017). Kendiliğinden Yerleşen Beton Deneyleri (ss. 1–2). UTEST.

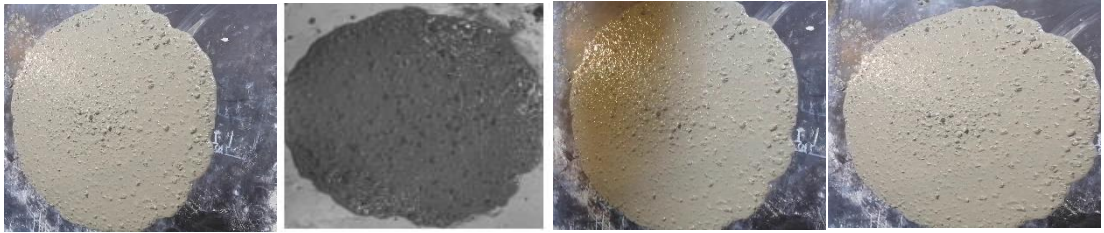
Uygunoğlu, T. (2008). *Hafif Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri*. [Doktora Tezi], SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Wang, J., Dai, Q., Si, R., Ma, Y. ve Guo, S. (2020). Fresh and mechanical performance and freeze-thaw durability of steel fiber-reinforced rubber self-compacting concrete (SRSCC). *Journal of Cleaner Production*, 277, 123180. doi:10.1016/j.jclepro.2020.123180
- Wu, Z., Zhang, Y., Zheng, J. ve Ding, Y. (2009). An experimental study on the workability of self-compacting lightweight concrete. *Construction and Building Materials*, 23(5), 2087–2092. doi:10.1016/j.conbuildmat.2008.08.023
- Y. Klug, K. H. (2003). Comparison of the hardened properties of self compacting and normal vibrated concrete. *International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete* içinde (ss. 596–605).
- Yalçinkaya, Ç. (2009). *Mineral Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Lifli Betonun Mekanik, Durabilite ve Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi*. [Yüksek Lisans Tezi] Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Yaseri, S., Mahdikhani, M., Jafarinoor, A., Masoomi Verki, V., Esfandyari, M. ve Ghiasian, S. M. (2018). The development of new empirical apparatuses for evaluation fresh properties of self-consolidating mortar: Theoretical and experimental study. *Construction and Building Materials*, 167, 631–648. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.02.021
- Yitik, H. (2006). *İnce Tanelerdeki Kil İçeriğinin Metilen Mavisi Deneyi ile Belirlenmesi*. [Yüksek Lisans Tezi] Osmangazi Üniversitesi
- Yılmaz, M. (2016). *Görüntü işleme teknikleri ile zirai tuzaklardaki böcek adedi tespiti*. [Yüksek Lisans Tezi] Maltepe Üniversitesi.
- Zeghichi, L., Benghazi, Z., & Baali, L. (2012). Comparative study of self-compacting concrete with manufactured and dune sand. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 6(10), 1429-1434.
- Zhang, D., Mishra, S., Brynjolfsson, E., Etchemendy, J., Ganguli, D., Grosz, B., ... Perrault, R. (2021). 2021 AI Index Report, 1–222. <https://aiindex.stanford.edu/report/>.

EKLER

EK-1: Görüntü stabilite sınıfı “0” olan beton görüntüleri

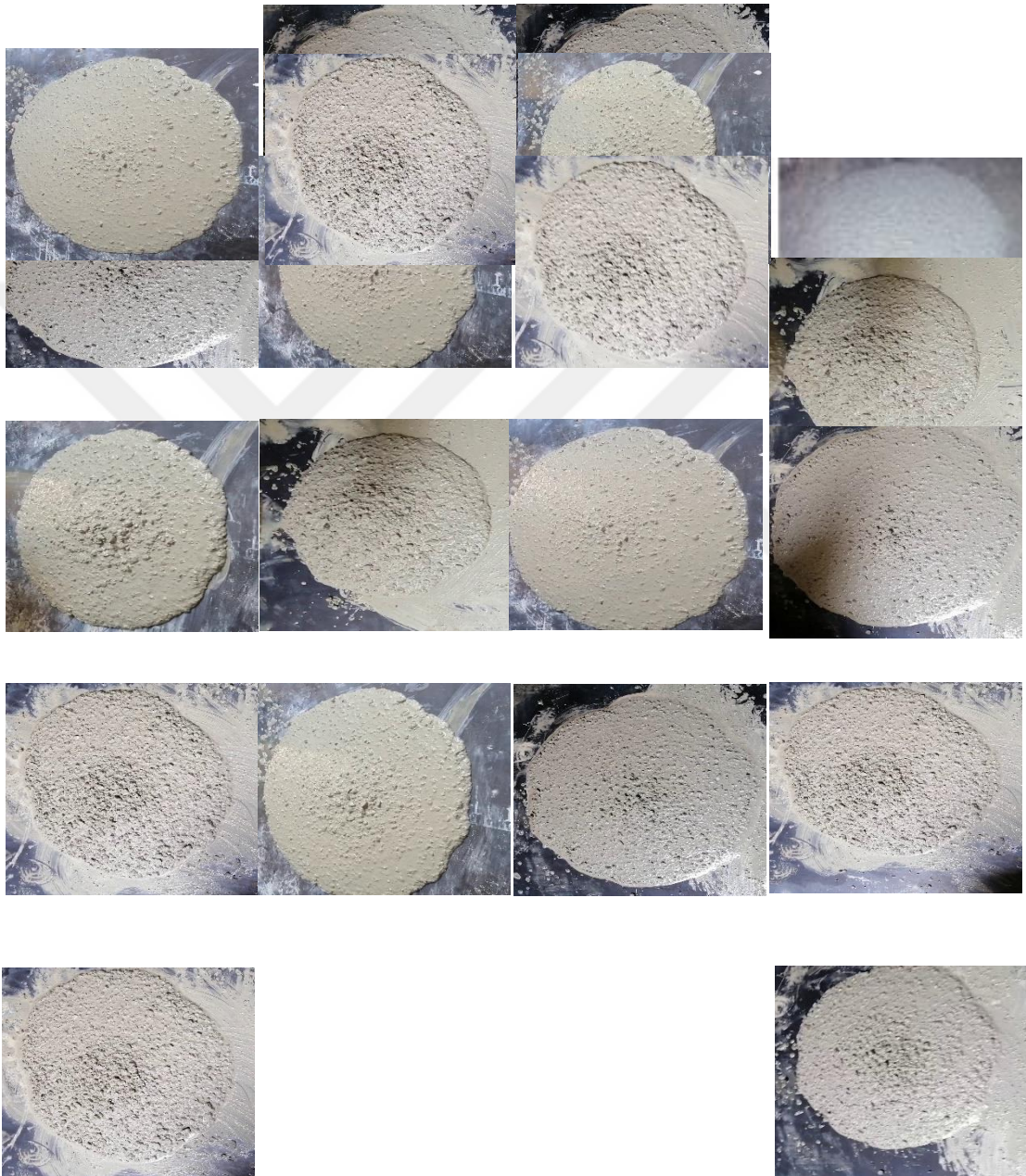






**EK-2: Görüntü
stabilite sınıfı “1”
olan beton
görüntüleri**







EK-3: Görüntü stabilite sınıfı “2” olan beton görüntüleri







EK-4: Görüntü stabilite sınıfı “3” olan beton görüntüleri



