

**T.C.  
HARRAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**FARKLI SU EMME KAPASİTESİNE SAHİP AGREGALARIN  
KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONUN TAZE ve SERTLEŞMİŞ  
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

**Bilal ÇELİK**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ŞANLIURFA  
2013**



**T.C.  
HARRAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**FARKLI SU EMME KAPASİTESİNE SAHİP AGREGALARIN  
KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONUN TAZE ve SERTLEŞMİŞ  
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

**Bilal ÇELİK**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ŞANLIURFA  
2013**

Yrd. Doç. Dr. Kâzım TÜRK (Danışman) ve Doç. Dr. Paki TURĞUT (II. Danışman) ve danışmanlığında, Bilal ÇELİK' in hazırladığı “Farklı Su Emme Kapasitesine Sahip Agregaların Kendiliğinden Yerleşen Betonun Taze ve Sertleşmiş Özelliklerine Etkisi” konulu bu çalışma 10/09/2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Kâzım TÜRK

II. Danışman: Doç. Dr. Paki TURĞUT

Jüri Üyesi: Doç. Dr. M. İrfan YEŞİLNACAR

Jüri Üyesi: Yrd. Doç. Dr. Recep Kadir PEKGÖKGÖZ

Jüri Üyesi: Yrd. Doç. Dr. İsmail HİLÂLİ

**Bu Tezin İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım.**

**Prof. Dr. Sinan UYANIK**  
Enstitü Müdürü

**Bu Çalışma HÜBAK Tarafından Desteklenmiştir.**  
**Proje No: 1168**

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

# İÇİNDEKİLER

Sayfa No

SİMGELER DİZİNİ.....	vi
1. GİRİŞ .....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
2.1. KYB'nin Tanımı ve Tarihsel Gelişimi .....	3
2.2. KYB'nin Tasarım ve Üretim Teknikleri.....	3
2.3. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Karışım Bileşenlerinin Seçimi.....	6
2.3.1. Çimento seçimi .....	8
2.3.2. Agregas seçimi .....	9
2.3.3. Mineral katkı seçimi .....	11
2.3.3.1. Mineral filler .....	11
2.3.3.2. Uçucu kül .....	12
2.3.3.3. Silis Dumanı.....	14
2.3.3.4. Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu .....	16
2.3.4. Süper akışkanlaştırıcı seçimi .....	17
2.3.5. Taze haldeki kendiliğinden yerleşen betonun deney metotları .....	20
2.4. Agregaların Nem Durumlarının Beton Özelliklerine Etkisi .....	29
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	34
3.1. Materyal.....	34
3.1.1. Bağlayıcılar (çimento ve uçucu kül).....	34
3.1.2. Agregalar .....	34
3.1.3. Kimyasal katkı .....	36
3.1.4. Karışım Suyu .....	36
3.1. Yöntem .....	36
3.1.1. Agregalara Ait Özgül Ağırlıkların Belirlenmesi.....	37
3.1.2. Agregaların elek analizi .....	38
3.1.3. Agregaların Farklı Nem Durumlarına Göre Taze ve Sertleşmiş Beton Özellikleri .....	38
3.1.3.1. Karışımların Hazırlanması ve Taze Beton İşlenebilirlik Deneyleri .....	38
- Çökme-Yayıma Deneyi .....	40
- T <sub>50</sub> deneyi.....	40
- L-kutusu deneyi .....	41
3.1.3.2. Sertleşmiş beton deneyleri .....	41
- Basınç deneyi .....	41
- Yarmada çekme testi.....	42
- Rölatif ultrases hızı deneyi.....	43
- Kılcal su emme deneyi .....	44
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA .....	45
4.1. Karışımlarda kullanılan agregalara ait granülometri eğrileri .....	45
4.2. Taze Beton Deney Sonuçları ve Değerlendirilmesi .....	46
4.2.1. Çökme-yayıma değerleri ve T <sub>50</sub> süreleri.....	47
4.2.2. L-kutusu oranı.....	49
4.3. Sertleşmiş Beton Deneyleri Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	52
4.3.1. Basınç dayanımı .....	52
4.3.2. Yarmada çekme dayanımı .....	54
4.3.3. Rölatif ultrases hızı .....	55
4.3.3. Kılcal su emme .....	56
4.4. Sertleşmiş Beton Özelliklerinin Karşılaştırılması.....	57
4.4.1. Basınç dayanımı ile yarmada çekme ve rölatif ultrases hızı değerlerinin karşılaştırılması.....	57
4.4.2. Basınç dayanımı ile kılcal su emme arasındaki ilişki .....	59
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	60
5.1. Sonuçlar.....	60
5.2. Öneriler.....	62
KAYNAKLAR .....	63
ÖZGEÇMİŞ .....	67

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### FARKLI SU EMME KAPASİTESİNE SAHİP AGREGALARIN KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONUN TAZE ve SERTLEŞMİŞ ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Bilal ÇELİK

Harran Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Kâzım TÜRK

Doç. Dr. Paki TURĞUT (II. Danışman)

Yıl: 2013, Sayfa: 67

Bu çalışmada, farklı su emme kapasitesine sahip agregaların, kendiliğinden yerleşen betonun (KYB) taze ve sertleşmiş özelliklerine etkisi irdelenmiştir. Deney karışımlarının tümünde doğal nehir kumu ve çakıl olarak da bazalt, kalker (kireçtaşı) ve nehir çakılı kullanılmıştır. Her bir çakıl tipi için fırın kurusu ve ıslak nem durumunda olmak üzere toplamda 6 farklı karışım hazırlanmıştır. Tüm karışımlar, taze özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, çökme-yayıma,  $T_{50}$  ve L kutusu testlerine tabi tutulmuştur. KYB karışımlarının sertleşmiş özelliklerinin (basınç, yarmada çekme ve rölatif ultrases hızı) belirlenmesi için 75x150 mm silindir numuneler 3, 28 ve 56. günlük kür sürelerine maruz bırakılmıştır. Ayrıca her iki nem durumu için üretilen KYB karışımlarının kılcal su emme testleri 56 günlük numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Sonuçta, KYB karışımlarına ait işlenebilirlik değerlerinin genelde EFNARC sınır değerlerini sağladığı görülmüştür. Ayrıca, nehir çakıllı KYB karışımları dışında FK nem durumuna sahip agregalarla üretilen numunelerin basınç dayanımlarının 28 ve 56 günlük kür süreleri için ISL nem durumuna sahip agregalarla üretilen numunelerinkinden daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Diğer taraftan, her iki nem durum için nehir çakıllı KYB karışımları genelde en düşük kılcal su emme katsayısına sahip iken, K-ISL numunelerine ait kılcal su emme katsayısının en yüksek olduğu bulunmuştur.

**ANAHTAR KELİME:** kendiliğinden yerleşen beton, agrega tipi ve nem durumu, işlenebilirlik, sertleşmiş özellikler, kılcal su emme.

## **ABSTRACT**

**MSc Thesis**

### **THE EFFECTS OF AGGREGATES HAVING DIFFERENT WATER ABSORPTION CAPACITIES ON FRESH AND HARDENED PROPERTIES OF SELF CONSOLIDATING CONCRETE**

**Bilal ÇELİK**

**Harran University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Civil Engineering**

**Supervisor: Assist. Prof. Dr. Kâzım TÜRK**

**Assos. Prof. Dr. Pâki TURGUT (2nd supervisor)**

**Year: 2013, Page: 67**

In this study, it was studied the effect of aggregates having different water absorption capacity on the fresh and hardened properties of self-compacting concrete (SCC). The river sand for all mixtures was used while it was used three type gravel (basalt, lime stone and natural river gravel) for each mix, separately. Six mixtures were prepared for each gravel type having oven dry and wet moisture conditions. Slump-flow, T<sub>50</sub> and L-box tests were conducted to determine the fresh properties of all SCC mixes. 75x150 mm cylindrical specimens were exposed to standard water curing regimes for 3, 28 and 56 days to determine the hardened properties (compressive, tensile strength and ultrasound pulse velocity) of SCC mixes. Moreover, the capillary water absorption tests were carried out on 56 days specimens for two moisture conditions of aggregates. Finally, it was seen that the workability values of SCC mixes satisfied the limit conditions of EFNARC. Moreover, the test results indicated that the compressive strength of the specimens produced from aggregates having oven dry moisture were greater than that of the specimens produced from aggregates having wet moisture except for SCC mixtures with natural river gravel for 28 and 56 days. On the other hand, it was found that the capillary water absorption coefficient of K-ISL specimens was the highest while SCC specimens with natural river gravel had the lowest capillary water absorption coefficient for oven dry and wet moisture conditions.

**KEYWORDS:** self-compacting concrete, aggregate type and moisture condition, workability, hardened properties, capillary water absorption.

## TEŐEKKÜR

Hazırlamıő olduğum bu alıőmada, bana yol gösteren destek ve anlayıőlarını benden esirgemeyen çok değerli danışman hocalarım Yrd. Doç. Dr. Kazım TÜRK' e ve Doç. Dr. Paki TURĐUT' a, malzeme teminleri için GÜRBAĞ, Harran Beton ve MS firmalarına, sertleşmiş beton deneylerimde yardımlarını esirgemeyen Şanlıurfa BELSAN A.Ő.'ye, Ferhat GÜLER ve İbrahim Halil YILMAZ'a, özellikle beton dökümlerinde benimle birlikte emek harcayan Harran Üniversitesi İnaőat Mühendisliği bölümü öğrencilerinden İnaő. Müh. İlyas KURŐUN ve İnaő. Müh. Muhammed BİÇİMLİ'ye ve maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme ve eőim Ayőe'ye teőekkürü bir borç bilirim.



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 2.1. Kimyasal katkı tipinin akışkanlık arttırıcı etkisi .....	20
Şekil 2.2. Yayılma deneyi düzeneği .....	21
Şekil 2.3. V hunisi deney düzeneği .....	23
Şekil 2.4. L-kutusu deney seti .....	25
Şekil 2.5. U kutusu deney aparatı .....	27
Şekil 2.6. a) J halkası detayları , b) ve c) deneyin yapılışı .....	28
Şekil 2.7. Agreganın nem durumları, a) Fırın kurusu, b) Hava kurusu, c) Doymun yüzey kurusu, d) Islak .....	29
Şekil 2.8. Agregaların nem muhtevsındaki değişimler için çökme-yayılma ve $T_{50}$ değerleri (Deshpande, 2006) .....	31
Şekil 2.9. Farklı nem muhtevası durumundaki agregalı karışımlar için V-hunisi akış zamanı. ....	32
Şekil 3.1. Agregalara ait granülometri eğrileri .....	35
Şekil 3.2. Arşimet prensibi .....	37
Şekil 3.3. Çökme yayılma deneyi.....	40
Şekil 3.4. a) Basınç dayanım testi b) Kırılmış numuneler .....	41
Şekil 3.5. a) Yarmada çekme testi b) Kırılmış numuneler .....	42
Şekil 3.6. a) ve b) Ultrases deneyi uygulaması .....	43
Şekil 3.7. Kılcal su emme deneyi .....	44
Şekil 4.1. Bazalt çakıllı agreganın karışımına ait granülometri eğrisi .....	45
Şekil 4.2. Kalker çakıllı agreganın karışımına ait granülometri eğrisi .....	46
Şekil 4.3. Nehir çakıllı agreganın karışımına ait granülometri eğrisi .....	46
Şekil 4.4. Karışımların yayılma miktarları .....	47
Şekil 4.5. karışımların $T_{50}$ süreleri .....	48
Şekil 4.6. Farklı nem durumuna sahip agregalarla üretilen KYB karışımlarına ait $T_{50}$ süreleri ile çökme-yayılma değerleri arasındaki ilişki a) FK nem durumuna sahip agregalar b) ISL nem durumuna sahip agregalar .....	49
Şekil 4.7. Karışımların L-kutusu oranları.....	50
Şekil 4.8. Farklı nem durumuna sahip agregalarla üretilen KYB karışımlarına ait $T_{50}$ süreleri ile L-kutusu değerleri arasındaki ilişki a) FK nem durumuna sahip agregalar b) ISL nem durumuna sahip agregalar .....	51
Şekil 4.9. Farklı nem durumuna sahip agregalarla üretilen KYB karışımlarına ait ile L-kutusu ile çökme-yayılma değerleri arasındaki ilişki a) FK nem durumuna sahip agregalar b) ISL nem durumuna sahip agregalar .....	51
Şekil 4.10. Basınç dayanımı sonuçları .....	53
Şekil 4.11. Yarmada çekme dayanımı sonuçları .....	54
Şekil 4.12. Ultrases geçiş hızı test sonuçları .....	55
Şekil 4.13. Karışımların kılcal su emme katsayıları .....	57
Şekil 4.14. Farklı nem durumuna sahip agregalarla üretilen KYB karışımlarına ait yarmada çekme dayanımı ile kılcal su emme değerleri arasındaki ilişki a) FK nem durumuna sahip agregalar b) ISL nem durumuna sahip agregalar .....	57
Şekil 4.15. Farklı nem durumuna sahip agregalarla üretilen KYB karışımlarına ait yarmada çekme dayanımı ile kılcal su emme değerleri arasındaki ilişki a) FK nem durumuna sahip agregalar b) ISL nem durumuna sahip agregalar .....	58
Şekil 4.16. Farklı nem durumuna sahip agregalarla üretilen KYB karışımlarına basınç dayanımı ile ultrases hızı değerleri arasındaki ilişki a) FK nem durumuna sahip agregalar b) ISL nem durumuna sahip agregalar .....	58
Şekil 4.17. Farklı nem durumuna sahip agregalarla üretilen KYB karışımlarına ait basınç dayanımı ile kılcal su emme değerleri arasındaki ilişki a) FK nem durumuna sahip agregalar b) ISL nem durumuna sahip agregalar .....	59

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa No</b>
Çizelge 2.1. KYB tasarımı için alınabilecek önlemler .....	4
Çizelge 2.3. EFNARC' a göre mineral katkı sınıflandırılması.....	7
Çizelge 2.2. EFNARC' a göre KYB karışım oranları .....	8
Çizelge 2.4. Silis dumanlarının kimyasal bileşenleri (%) .....	14
Çizelge 2.5. Betonda katkı malzemesi olarak kullanılan silis dumanının beton özelliklerine etkisi ....	16
Çizelge 2.6. Betonda katkı malzemesi olarak kullanılan öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun beton özelliklerine etkisi .....	17
Çizelge 2.7. Birim hacim ağırlığı ve 7 günlük basınç dayanımı sonuçları .....	33
Çizelge 3.1. CEM I 42.5 N Portland çimentosu (PÇ) ve uçucu külün (UK) kimyasal bileşenleri ve fiziksel özellikleri .....	34
Çizelge 3.2. Kum ve çakılların su emme miktarları ve DYK özgül ağırlıkları. ....	35
Çizelge 3.3. Glenium 51 kimyasal katkısının kimyasal ve fiziksel özellikleri .....	36
Çizelge 3.4. KYB karışımlarında kullanılan suyun kimyasal analizi .....	36
Çizelge 3.5. KYB karışım oranları (kg/m <sup>3</sup> ).....	39
Çizelge 4.1. Taze haldeki KYB karışımlarının işlenebilirlik deneyleri sonuçları .....	46
Çizelge 4.2. Karışımların Basınç, Yarmada çekme ve Ultrases deney sonuçları .....	52
Çizelge 4.3. Farklı nem durumuna sahip agregalarla üretilen KYB karışımlarının mühendislik özelliklerinin arasındaki bağıntılara ait bulgular .....	59

## SİMGELER DİZİNİ

A	Numunenin sudaki yüzey alanı
ASTM	Amerikan Test ve Standart Oluşturma Birliği
Ç	Çimento
d	Elek göz açıklığı
D	En büyük elek göz açıklığı
D <sub>max</sub>	En büyük dane çapı
DYK	Doygun Yüzey Kuruğu
EN	Avrupa Standardı
EFNARC	Özel Yapı Kimyasalları ve Beton Sistemleri Avrupa Federasyonu
FK	Fırın Kuruğu
ISL	Islak
JIS	Japon İnşaat Mühendisleri Birliği
KYB	Kendiliğinden Yerleşen Beton
PÇ	Portland Çimentosu
Q	Emilen su miktarı
R <sup>2</sup>	Belirleme katsayısı
s	Saniye
S	Kılcal su emme
S	Su
SNF	Naftalin Formaldehit Sülfonat
SMF	Melamin Formaldehit Sülfonat
T	Zaman
T <sub>20</sub>	L-kutusu deneyinde betonun 20cm akmaya ulaşma süresi
T <sub>40</sub>	L-kutusu deneyinde betonun 40cm akmaya ulaşma süresi
T <sub>50</sub>	50 cm Çapa Yayılma Süresi
TS	Türk Standardı
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
UK	Uçucu Kül
VAK	Viskozite Arttırıcı Katkı

## 1. GİRİŞ

Kendiliğinden yerleşen beton (KYB), vibrasyona ihtiyaç duymadan, kendi ağırlığı ile terleme ve ayrışma gibi sakıncalar göstermeden döküldüğü kalıba yerleşen, içerdiği polikarboksilat bazlı yeni nesil yüksek performanslı beton katkısı ile dayanımı yüksek, iyi sıkışma sağlayabilen çok akıcı kıvamlı bir betondur (Özkul, 2002). KYB'nin yerleştirilmesi için vibrasyon uygulanmadığından beton dökümü sırasında çalışanların etkisinde kaldıkları gürültü ve titreşim miktarı düşmektedir. Zamandan ve paradan büyük tasarruf ve iyi bir çalışma ortamı sağlar. Yerleştirme sırasında işçilikten kaynaklanan uygulama hatalarını ortadan kaldırır. Yoğun ve sık donatılar arasından kolaylıkla akarak boşluksuz olarak yerleşir ve prefabrik imalat yapan tesislerde üretimi kolaylaştırır. Klasik betonlara göre daha geçirimsiz olduğundan, dayanıklılık açısından yapıların çok daha avantajlı bir duruma gelmesini sağlamaktadır (Semioli, 2001).

KYB'nin bileşimi, etkin bir süper akışkanlaştırıcı yanında toplam ince malzeme miktarı, su/bağlayıcı oranı, maksimum agregaya boyutu, kum/toplam agregaya oranı ve toplam iri agregaya miktarı gibi değişkenler açısından geleneksel betondan farklılıklar göstermektedir. Süper akışkanlaştırıcı katkıları, akıcılığın artırılması ve su/bağlayıcı oranının minimize edilmesini sağlamak amacıyla kullanılır (Okamura, 1997). Betonun yapısında % 70 oranında mineral yapıya küçük tanelerden teşekkül eden agregaya malzemesi bulunmaktadır. Betonun iskeletini oluşturan agreganın özellikleri, betonun işlenebilirliği, dayanım ve geçirgenlik değeri gibi özellikleri üzerinde etkili olmaktadır (Beyazıt,1998). Geleneksel betonda kullanılan ince ve iri agregalar KYB'de de kullanılabilir. Ancak en büyük agregaya boyutu geleneksel betondakinden daha küçüktür ve genellikle 20 mm'nin altındadır. Tane boyutları uygulama yapılacak yere göre değişmektedir. Ayrıca geleneksel betondan farklı olarak kum oranı artmış, buna karşılık iri agregaya miktarı azalmıştır. KYB'de kullanılacak agregaların özellikleri, agregaya standartlarına uygun olmalıdır. Agregaya içinde bulunan ve tane boyutu 0.125 mm'nin altında olan malzemeler tasarımda ince malzeme miktarına katılmalıdır (TS 706 EN 12620). EFNARC'da (2005), filler malzeme olarak kullanılacak toz malzeme

miktarı (<0.125mm) 380 - 600 kg/m<sup>3</sup> olarak belirtilmiştir ve kullanılan malzemeler bazında geleneksel betondan farkı, filler malzeme ve kimyasal katkıdır.

Yürütülen deneysel bir çalışmada, 74 farklı agrega tipi ve çeşitli su emme değerleri için KYB karışımları üretilmiştir. 0.35 su/çimento (S/Ç) oranına sahip karışımlar için ince agrega doğal nem içeriğindeki artmanın çökme-yayılma değerini belirgin bir şekilde azalttığı, 0.50 S/Ç oranı için ise tam aksinin geliştiği bulunmuştur. (Mori ve ark., 1996). Başka bir çalışmada da, karışımdaki su miktarı + 5kg/m<sup>3</sup> değiştirildiğinde, çökme-yayılma üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir (Sakai ve ark., 1994). Karışıma katılacak agrega su muhtevasının - %1 ile +%1.5 arasında değişen değerlerde kullanıldığı diğer bir çalışmada agrega yüzey su muhtevasının yaklaşık 1% artmasıyla, çökme-yayılma değerinin yaklaşık 100 mm arttığı bulunmuştur (Ushijima ve ark., 1995). Kum ve orta çakılın su muhtevasının tamamen kuru durumdan DYK'nın iki katına kadar olan aralıkta değiştirilerek karışımların hazırlandığı bir çalışmada, çökme-yayılma yaklaşık 790mm'den 690mm' lere düşmüş ve T50 testi için daha büyük değişimler kaydedilmiştir (Deshpande, 2006). Başka bir araştırmada ise, doğal agrega yerine belirli miktarlarda farklı nem durumlarına sahip geri dönüşüm ince agrega kullanılmasının sertleşmiş beton özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Doğal agrega yerine %100 oranında ince geri dönüşüm agrega kullanıldığı zaman birim ağırlığın kuru nem durumları için %4.16'ya kadar, ıslak durumlar için %7.74'e kadar düştüğü bulunmuştur. Yine doğal agrega yerine %100 oranında ince geri dönüşüm agrega kullanıldığında karışımların 7 günlük basınç mukavemetlerinde kuru nem durumu için %46.88 ve ıslak nem durumu için %37.75'e kadar azalma olduğunu gözlemlenmiştir (Wang, 2012).

Bu çalışmada da, kendiliğinden yerleşen betonun taze ve sertleşmiş özellikleri üzerinde tüm karışımlarda nehir kumu sabit tutulmak üzere, farklı nem durumuna (fırın kuru ve ıslak) sahip kırma bazalt, kırma kalker ve nehir çakılının etkileri incelenmiştir.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

### 2.1. KYB'nin Tanımı ve Tarihsel Gelişimi

Kendiliğinden yerleşen beton, ağırlığıyla donatının sık olduğu, kesitlerin dar ve derin olduğu kısımlarda sıkıştırma gerektirmeksizin yerleşebilen ve sıkışabilen bu özellikleri gösterirken de ayrışma ve terleme gibi beton özelliklerine olumsuz etki yapan problemleri yaratmayacak kohezyonu koruyabilen, akışkanlığı yüksek özel bir beton türüdür (Felekoğlu, 2003).

Beton üretiminde kalıcılık problemlerinin aşılması, betonun sıkıştırılması işleminde işçilik hatalarının en aza indirilmesi amacıyla Japonya'da 1980 yılının sonlarına doğru çalışmalar başlamıştır. Bu araştırmalar sonucu 1986 yılında araştırmacı Prof. Dr. Hajime Okamura tarafından çalışmaları yapılmaya başlanmıştır. Okamura'nın çalışmalarını Ozawa, Ouchi ve Maekawa'nın çalışmaları izlemiştir.

KYB'nin geliştirilmesinde birincil amaç, dayanım ve dayanıklılık özelliklerinde daha yüksek performansı bulabilmektir (Ouchi, 1999). Günümüzde KYB'nin özellikleri üzerine araştırmalar ve standart oluşturma çalışmaları devam etmektedir. Karışım tasarımı yöntemleri ve kendiliğinden yerleşebilirlik deney yöntemleri araştırmaları sonucu KYB'nin test edilebilmesi için EFNARC (The European Federation for Specialist Construction Chemicals) komitesi tarafından deneysel metotlar ve tasarım yöntemi belirlenmiştir. EFNARC, 2002 yılında ilk olarak KYB ile ilgili gerekli tüm bilgileri içeren "Specification and Guidelines for SCC" (EFNARC 2002) isimli dokümanı yayınlamıştır.

### 2.2. KYB'nin Tasarım ve Üretim Teknikleri

KYB olarak kabul edilecek bir karışımın aşağıdaki gereksinimleri sağlaması beklenir:

- Kendiliğinden sıkışabilme yeteneği,
- Şekil değiştirme yeteneği ve akıcılığının olması,

- Topaklaşmaya dirençli olması,
- İşlenebilirlik özelliklerini taşıması ve yerleştirme süresince koruması,
- Taşıma ve yerleştirme sırasında dinamik stabilitesini koruması,
- Yerleştirme sonrasında statik stabilitesini koruması (Mikro yapıyı olumsuz etkileyen ve çatlak oluşumuna sebep olan terleme ve ayrışmayı engelleme),
- Homojen yüzey görünümü ve yerinde homojen mekanik özellik gösterme,
- Servis ömrü boyunca dayanım ve dayanıklılığını koruma.

Bu kadar çok beklentinin tam anlamıyla sağlandığı bir betonu üretmek pratikte oldukça zahmetlidir. Beklentiler her durum için değişkenlik gösterdiğinden, pek çok inşaatta bu beklentilerin hepsinin yerine getirilmesi gerekemeyebilir veya bazı faktörlerin önem derecesi azalabilir. KYB tasarımında ancak amaca göre tasarım yöntemi belirlemek optimum çözümü getirebilir (Khayat ve Daczko, 2002). KYB için taze halde en önemli üç temel özelliğin sağlanması için tasarımda alınacak önlemler Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. KYB tasarımı için alınabilecek önlemler

Şekil değiştirme yeteneği	İyi stabilite	Düşük topaklaşma riski
1. Hamurun şekil değiştirme yeteneği arttırılmalı a) Akışkanlaştırıcı kullan b) Su/Toz oranını arttır	a) Katılanların ayrışması engellenmeli b) İri agrega miktarını sınırla. c) $D_{max}$ ' ı azalt	a) Akış sırasındaki ayrışma engellenmeli Su/Toz oranını azalt b) VAK kullan
2. İç sürtünme azaltılmalı a) İri agrega hacmini azalt (hamur hacmini arttır) b) Sürekli gradasyonlu toz kullan	Kohezyonu arttır - Su/Toz oranını azalt - VAK kullan 1. Terleme azaltılmalı a) Karışım suyunu azalt b) Su/Toz oranını azalt c) Yüzey alanı fazla toz kullan d) VAK kullan	2. Donatılar arası serbest açıklığa göre a) İri agrega hacmini azalt b) $D_{max}$ ' ı azalt.

Amaca uygun KYB tasarımının yapılabilmesi için; amacın tam olarak tanımlanması, amaca uygunluk derecesinin sınıflandırılması ve mevcut deney yöntemleriyle uygun olduğu varsayılan tasarım ile deneme karışımının hazırlanması

ve kontrolü yapılmalıdır (Constantiner ve Daczko, 2002). KYB, geleneksel betona kıyasla gerek malzeme seçimi gerekse tasarım yöntemi ve üretim teknikleri bakımından farklılıklar gösterir. KYB’deki en önemli değişiklik yüksek akışkanlık özelliğidir. Akışkanlığın artırılması yüksek dozajda kimyasal katkı kullanımıyla sağlanmaktadır. Akışkanlaştırıcı dozajının yüksek olması taze betonun viskozitesini düşürür. Dolayısıyla taze betonun karışım suyundaki ve agrega gradasyonundaki değişkenliklere hassasiyeti artmaktadır.

Üretim sırasında agrega gradasyonu ve nem içeriği, taşıma sırasında yüksek hava sıcaklığı ve aşırı karıştırılmadan meydana gelen su kaybı tasarım özelliklerini değiştirebilir (Billberg, 1999). Örneğin agrega nemindeki küçük bir oynama, taze betonun stabilitesinin bozulmasına sebep olabilmektedir. Bu nedenle karışım tasarımında yukarıda sözü edilen değişkenlikleri ayarlayıcı ilave malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır.

KYB için pek çok araştırmacı ve kuruluş farklı tasarım yöntemleri geliştirmiştir. Bu yöntemler genellikle klasik tasarım yöntemlerinden daha karmaşıktır ve özellikle malzeme kalite kontrolü açısından daha çok deneysel çalışma gerektirmektedir. Japon İnşaat Mühendisleri Birliği (JIS) tasarım yöntemlerini üç ana grupta toplamıştır:

- 1- **Toz Tipi Metodu:** Bu yöntem viskoziteyi cüruf veya puzolanik filler ile artırma ilkesine dayanır. Temel kural olarak toz hacmi, toplam hacmin % 36’sından az olmamalıdır. Çimento hamurunun hacmi, eklenen toz malzemeler ile artırılarak taze betonun stabilitesinin korunması amaçlanmıştır. Toz tipi metodunun en önemli dezavantajı, kullanılacak filler tipinin ve gradasyonunun değişkenliği ile bu durumun oluşturacağı kalite dalgalanmalarıdır. Toz maddenin çimento ile homojen karışması için iyi bir karıştırıcı ve uzun süreli karıştırma gerekebilir.
- 2- **Stabilizatör Tipi Metodu:** KYB üretiminde viskozite arttırmak amacıyla toz madde dışında kimyasal katkılar da kullanılabilir. Bu katkılara viskozite düzenleyici veya stabilizatör denilmektedir.



- 3- Kombinasyon Metodu: Toz ve stabilizatör tipi yöntemlerin olumsuz yönlerinin düzeltilmesine yönelik olarak, her iki yöntemin bir arada kullanıldığı metoda Kombinasyon Metodu adı verilir. Tasarımda kendiliğinden sıkışabilme şartı olarak optimum viskozite ve düşük eşik kayma gerilmesi aranır.

Bu sınıflandırma KYB' nin viskozitesini ayarlamak amacıyla kullanılacak malzeme cinsine göre yapılmıştır.

### 2.3. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Karışım Bileşenlerinin Seçimi

KYB' nin bileşenlerinin belirlenmesi, geleneksel betona göre daha fazla deneyim ve bilgi birikimi gerektirmektedir. Çünkü KYB' den sertleşinceye kadar beklenen performans, geleneksel betona göre daha farklıdır. Örneğin, akıcı özelliğe sahip KYB, göreceli olarak düşük eşik kayma değerine sahip olmalı, fakat aynı zamanda sertleşme başlayıncaya kadar terlemeye ve ayrılmaya yeterince dirençli olmalıdır. Su/toz oranını arttırmak, yüksek şekil değiştirmeyi sağlayabilir, ancak kohezyonu azaltarak betonun akışının tıkanması ile sonuçlanabilecek agrega ayrışmasına neden olabilir. Kaba agrega, kum ve ince malzeme tanecikleri arasındaki iç sürtünme, akışa karşı iç direnci artırır, bundan dolayı taze betonun akış hızı ve şekil değiştirme yeteneği azalır. Bu sürtünme, katı tanecikleri arasında etkileşimin daha büyük olduğu dar alanlarda betonun akması sırasında oldukça etkilidir. Viskozite açısından zayıf sistemlerde agrega yoğunluğunda bölgesel artışlar kümelenmeye yol açarak, betonun dar alanlarda hareket etmesini engelleyebilmektedir.

KYB' lerde akıcılık, betonun su miktarını attırmaksızın akışkanlaştırıcı katkıları kullanılarak sağlanır. Betonun yeterli ayrışma direncine sahip olması ise viskozite artırıcı katkı kullanılması veya karışımda kullanılan çimento veya mineral katkı miktarının artırılması, böylece su/toz oranının azaltılması yolu ile sağlanabilir. Ayrışma direncinin artırılması için bazen, her iki yöntem de kullanılabilir (Sağlam, 2000). Görüldüğü gibi, betondaki her bileşenin kendiliğinden sıkışabilirliğe farklı etkisi vardır. Etki, bileşenin cinsine, teknik özelliklerine, kullanım oranı ve yöntemine bağlıdır. Bu sebeple bileşenlerin seçiminde gerek teknik gerekse ekonomik açıdan doğru seçim yapmanın yolu, malzemeleri iyi tanımaktan geçer. Aşağıda beton

bileşenleri hakkında temel bilgiler verilerek, bu malzemelerin KYB üretimindeki etkinlikleri açıklanmaktadır.

Uygun bir KYB karışım oranı ayarlamak için aşağıdaki hususlara dikkat etmek gerekir:

- Çimento ve mineral katkı oranı iyi ayarlanmalı, su/toz oranı sınırlanmalı, uygun tip bir süper akışkanlaştırıcı ve gerekiyorsa viskozite ayarlayan bir katkı kullanılmalıdır. Böylece çimento ve mineral katkı hamurunun akıcılığı ve viskozitesi ayarlanmış ve dengelenmiş olur ki, bu da KYB’ de aranan doldurma yeteneği, engellerin arasından geçme yeteneği ve ayrışmaya karşı direnç gibi şartları sağlamaktadır.

Dayanım gibi sıcaklık artışını ve termal büzülme çatlaklarını kontrol etmek için toz muhtevası, çimentoyla birlikte kabul edilebilir bir düzeyde ve büyük bir oranda Tip I ve Tip II mineral katkılarından (Çizelge 2.3.) oluşabilir.

Çizelge 2.3. EFNARC’ a göre mineral katkı sınıflandırılması

<b>Tip I</b>	Etkisiz ya da yarı etkisiz	– Mineral filler (kireçtaşı tozu, dolomit, vb.) – Pigmentler
<b>Tip II</b>	Puzzolanik	– TS EN 450’ye uygun uçucu kül – TS EN 13263’e uygun silis dumanı
	Hidrolik	– Standartlara uygun Yüksek fırın cürufu

- Çimento ve mineral katkı hamuru agregaları destekleyen önemli bir araçtır; bu yüzden tüm agrega yüzeylerini yeterince kaplamaları için, hacmi agregadaki boşluk hacminden çok daha fazla olmalıdır. Bu da KYB’ nin akma yeteneğini artırır ve agregaların birbirine sürtünmesini azaltır.
- Kaba agregaların tüm yüzeylerinin harç tarafından tamamen sarılması amacıyla, karışımdaki kaba agrega/ince agrega oranı azaltılmalıdır. Bu, betonun dar açıklıklar veya sık donatılar boyunca akması sırasında agregaların birbirine kenetlenmesini ve topaklaşmasını azaltır ve böylece KYB’ nin, engellerin arasından geçme yeteneğini artırır.

KYB' lerin karışım oranları geleneksel vibrasyonla sıkıştırılan betonla karşılaştırıldığında şu hususlar öne çıkmaktadır:

- Karışımındaki kaba agrega miktarı daha azdır,
- Toz hamuru muhtevası çok fazladır,
- Su/toz oranı düşüktür,
- Süper akışkanlaştırıcı miktarı fazladır,
- Bazen viskozite ayarlayan bir katkı kullanılır.

KYB' ler için karışım oranlarını veren bir standart metod henüz yoktur, ancak birçok akademik kuruluş ve hazır beton firmaları kendi karışım oranlarını geliştirmiştir. Karışım tasarımları, agregalar arasındaki boşlukların tamamen doldurulma gereksiniminin öneminden dolayı genellikle hacim parametresini kullanır.

Özel Yapı Kimyasalları ve Beton Sistemleri Avrupa Federasyonu (EFNARC) tarafından önerilen KYB karışım oranları Çizelge 2.2.' de özetlenmiştir.

Çizelge 2.2. EFNARC' a göre KYB karışım oranları

Muhteva	Kütle olarak oran (kg/m <sup>3</sup> )	Hacim olarak oran (litre/m <sup>3</sup> )
Toz	380 - 600	–
Toz hamuru	–	300 - 380
Su	150 - 210	150 - 210
Kaba agrega	750 - 1000	270 - 360
İnce agrega (kum)	Toplam agrega ağırlığının %48 – 55'i	
Su/toz oranı (hacim olarak)		0.85 – 1.10

### 2.3.1. Çimento seçimi

Çimento tipi açısından dayanım ve dayanıklılık kriterleri dikkate alınarak seçim yapılmalıdır. Özellikle çimentonun C<sub>3</sub>A oranı % 10'un üzerindeyse, kullanılmaması EFNARC Komitesi (EFNARC, 2005) tarafından tavsiye edilmektedir. Yüksek C<sub>3</sub>A oranı, hızlı etrenjit oluşumu ve hidrasyon ısısı artışından kaynaklanan su buharlaşması nedenleriyle işlenebilirlik kaybına sebep olacağından, taşıma ve

yerleştirme sırasında betonun kendiliğinden sıkışabilirlik özelliklerini hızla kaybetmesine sebep olur. Kimyasal etkiler, özellikle sülfat saldırısı açısından da C<sub>3</sub>A'sı fazla çimento kullanmak sakıncalıdır.

KYB' de çimento dozajının belirlenmesinde temel kriter dayanım sınıfıdır. Puzolanik filler kullanılması halinde, göreceli olarak daha düşük çimento dozajları yeterli olacaktır. Dayanım ve dayanıklılık açısından çimento dozajının 350 - 450 kg/m<sup>3</sup> arasında seçilmesi tavsiye edilmektedir. 500 kg/m<sup>3</sup>'ün üstünde kullanımı rötreyi arttıracığından tavsiye edilmez. 350 kg/m<sup>3</sup>'ün altında kullanımı ise, ilave fillerle veya viskozite arttırıcı kimyasal katkılarla birlikte kullanılması halinde uygundur. Eğer viskozite ayarlayıcı kimyasal katkı kullanılmıyorsa, KYB' de toplam toz madde miktarı hiçbir zaman 500 kg/m<sup>3</sup>'ün altına inmemelidir. Çimento dozajının bu miktarın altında olması durumunda, ilave toz katkıları kullanılabilir (EFNARC, 2005).

Hem ekosistemi korumak hem de endüstri atıklarını değerlendirmek için teknik açıdan mümkün olan en düşük çimento dozajı ile en fazla miktarda kireç taşı tozu, uçucu kül, yüksek fırın cürufu vb., toz malzemeyi birlikte kullanmak gerekir (Erdoğan, 2003).

### 2.3.2. Agrega seçimi

Agrega mineralojik köken açısından normal betonda kullanılacak özellikte olmalıdır. Kıırma kireçtaşı iri agregası olarak kullanılabilir. Doğal kum yüzey yapısının yuvarlak olması nedeniyle kırma kuma göre işlenebilirlik açısından avantajlıdır. Aynı şekilde iri agregası olarak nehir çakılı kullanılması iç sürtünmeyi azalttığı için akışkanlığı artırır (EFNARC, 2005).

Agregası açısından taze betonun kendiliğinden sıkışabilirliğini etkileyen en önemli parametre iri agregası/kum oranıdır. İçsel sürtünme katsayısını azaltmak için bu oran mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır (Yahia ve ark., 1999). Geleneksel betona göre daha çok kum ve daha az iri agregası kullanımı donatılar arasında geçiş yeteneğini de artırır (Bouzoubaa ve Lachemi, 2001). Ancak iri agregası oranının azalması basınç dayanımını da bir miktar azaltır. Bu konuda Fang ve ark. (1999)'nın yaptığı çalışmaya göre karışımdaki kum oranı arttıkça yayılma çapı da artmaktadır. Basınç dayanımı

belli bir orandan sonra düşüş göstermektedir. Dolayısıyla, kum oranının toplam hacmin % 45 - 48'i arasında tutulması halinde kendiliğinden sıkışabilirliğin en yüksek dayanımda sağlanacağı sonucuna varılmıştır.

KYB' de kullanılacak agrega gradasyonu mümkün olduğunca ince seçilmelidir. EFNARC Komitesi' ne göre (EFNARC, 2005) kesikli gradasyon iç sürtünmeyi azaltıp, akışı kolaylaştırdığından sürekli gradasyona tercih edilmelidir.

Prefabrike KYB uygulamalarında kum miktarını arttırmak, yüksek yayılma değerine sahip karışımların stabilitesini korumasında ve kalıp yüzeyi kalitesi artışı açısından yararlı olmaktadır (Skarp ve ark., 2002).

Genel olarak kübik veya küre şekilli agregalar tercih edilmelidir. Uzun silindirik ve yassı disk şekilli taneler KYB' nin işlenebilirlik özelliklerini olumsuz etkileyeceğinden bunların miktarının sınırlanmasında yarar vardır (Billberg, 1999).

KYB' de en büyük agrega çapı için farklı görüşler mevcut olup, genel görüş, taze betonun donatılar arasından geçiş yeteneği de dikkate alınarak agrega en büyük tane çapının azaltılmasından yanadır. Üst sınır 16 - 20 mm arasındadır. Ancak kütle betonu gibi özel durumlarda viskozite artırıcı katkı kullanımıyla ek tedbirler alınarak en büyük agrega çapı 40 mm' ye kadar çıkan KYB tasarımları kullanılmıştır (Akashi Koikyo Köprüsü) (Constantiner ve Daczko, 2002).

KYB' nin özellikleri, agrega nem içeriği değişiminden etkileneceğinden agreganın nem içeriği mutlaka belirlenmeli ve tasarıma yansıtılmalıdır. Agrega yüzey neminden kaynaklanan su fazlalığının olumsuz etkisi geleneksel betonda emniyet paylarıyla engellenebilir. Örneğin, çimento dozajını bir miktar yükseltmek tasarımda güvenlik sağlamak için yeterli olacaktır. Fakat KYB' de su fazlalığı karışımın reolojik özelliklerini kaybetmesine sebep olmaktadır. KYB bu açıdan bakıldığında agrega nemine çok hassastır. Özellikle su emmesi yüksek olan; uçucu kül agregası, pomza kumu, vb. malzemeler kullanılması halinde tasarımda ek önlemler alınmalıdır. Agrega nemi laboratuvar ortamında tespit edilerek deneysel çalışmalarda kolaylıkla dikkate

alınabilmektedir. KYB üreten santrallerde de bu işlem hassas bir şekilde yapılmalıdır.

Günümüzde beton santralleri, agregaları sahada muhafaza etmelerinden ötürü hava kurusu durumda kullanılmaktadırlar. Bu durumda günlük veya haftalık olarak havanın nem durumuna göre karışımlarda su düzeltmesine gitmektedirler.

### 2.3.3. Mineral katkı seçimi

KYB' ler de toz maddeler, 0.125 mm' den daha küçük her türlü inorganik madde olarak tanımlanabilir. Toz maddeler KYB' de viskozite arttırmak amacıyla kullanılırlar. Parçacık boyutunun küçülmesi parçacıklar arası etkileşimin artmasına sebep olur ve bu etkileşim viskoziteyi artırır.

Toz madde kullanımı, karışımın katı iskeletini zenginleştirir ve malzemeyi daha kompakt hale getirir. Harcın agregaları daha iyi sarmasını sağlar. Toz malzeme oranının 400 ila 650 kg/m<sup>3</sup> arasında olması, kum ve agrega tanecikleri arasındaki boşlukların doldurulması ve daha iyi sıkışma sağlanması için önerilmektedir. Toz malzemenin doldurma kapasitesini arttırmak için eş boyutlu, çok küçük çaplı öğütülmüş halde kullanılması mümkündür (Yahia ve ark., 1999).

Toz malzemeler için gerek mineralojik ve kimyasal köken, gerekse reaktiflik açısından bir sınıflandırma EFNARC Komitesi (EFNARC, 2005) tarafından yapılmıştır (Çizelge 2.3.).

#### 2.3.3.1. Mineral filler

KYB tasarımında ince öğütülmüş (Blaine değeri > 2500 cm<sup>2</sup>/g) kireçtaşı tozu, granit, kuvarz kumu kullanılabilir. Bu tozların etkinliği incelidikçe artar. Dolomit kökenli kireçtaşı tozu ince öğütülmesi halinde, reaktifliği arttığından alkali karbonat reaksiyonuna yol açabilir. Bu nedenle kullanımı riskli olabilir.

Kireçtaşı tozunun beton karışımında homojen dağılması sağlanmazsa, dayanım ve dayanıklılık açısından olumsuz etkiler oluşturabilir. Kireçtaşı tozu elektrostatik

olarak negatif, kum ve iri agrega pozitif yüklü olduğundan agrega yüzeyine yapışır. Bu yapışmayı engellemek için, malzemelerin karıştırma sırasına ve yöntemine dikkat etmek gerekir. Mikro yapı incelemesi ile yapılan çalışmalarda en iyi ince kesit görüntüsü, önce çimento ve taş tozunun karıştırılıp, sonra agreganın ilave edildiği durumda elde edilmiştir (Malhotra ve Currence, 1983).

Öğütücü tipine de bağlı olmakla beraber genel olarak granit tozu, mikro yapısı incelendiğinde kireçtaşı tozuna kıyasla daha çok kusurlu mikro tane içerir. Bu açıdan kireçtaşı tozu tercih edilmelidir.

Kireçtaşı tozu ile üretilen KYB, diğer puzolanik maddelerin kullanıldığı KYB' lere kıyasla, kür işlemine daha az hassastır. Pürüzlü mikro yüzeyi nedeniyle, yüksek oranda karışım suyu absorbe etmesi ve erken dayanımı hızlandırıcı etkisi sebepleriyle küre hassasiyetinin azaldığı, kabul edilebilir (Danzinger ve ark., 2002).

Kireçtaşı tozunun, betonun dayanım kazanma hızına etkisi üç mekanizma (Malhotra ve Currence, 1983) ile açıklanmaktadır:

- 1- CSH (Kalsiyum – Silikat - Hidrat) oluşumuna uygun çekirdek oluşturarak hidratasyon reaksiyonlarını hızlandırır.
- 2- Özellikle C<sub>3</sub>A' sı yüksek çimentolarla reaksiyona girip bağlayıcı özelliği olan karboalüminat oluşturur.
- 3- İnceliği arttıkça hidratasyonu hızlandırır ve erken dayanımı artırır, fakat nihai dayanımda değişiklik meydana gelmez

### 2.3.3.2. Uçucu kül

Elektrik enerjisi üretimi için, termik santrallerde yakıt olarak kullanılan pulverize kömür, çok ince olarak öğütülüp havayla birlikte buhar üretici kazanları ısıtmak amacıyla yakıt olarak püskürtülür. Pulverize kömürün yanmasıyla fazla miktarda çok ince olan kül tanecikleri ortaya çıkmaktadır. Çok ince olan bu kül tanecikleri yakıt gazlarıyla birlikte bacadan uçarak hareket etmektedir. Atık malzeme olarak gazlarla birlikte uçarak bacadan tutulan bu çok ince taneli küllere uçucu kül

denilmektedir.

Gazlarla birlikte dışarı çıkan ve çevreye büyük miktarda zarar vermesi kaçınılmaz olan bu uçucu küller, elektrostatik veya elektromekanik yöntemlerle bacalarda tutularak silolarda depolanmaktadır.

Uçucu küller çok yüksek oranlarda  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  içermektedir. Bunlardan başka bir miktar  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ , C (çok ince taneli yanmamış kömür) ve  $\text{Na}_2\text{O}$  da içermektedir. Silisli ve alüminli amorf yapıya sahip oldukları ve çok ince taneli oldukları için uçucu küller, puzolanik özellik göstermektedirler ve sulu ortamda kalsiyum hidroksitle reaksiyona girerek hidrolik bağlayıcı gibi davranmaktadırlar (Yoshioka ve ark., 2000).

Uçucu kül, taş tozuna kıyasla düşük eşik kayma gerilmesi değeriyle daha yüksek viskozite elde edilmesini sağlar (Tandırılı ve ark., 2000). KYB viskozitesini arttırmada etkili bir fillerdir. Atık bir malzeme olması özellikle termik santrallere yakın bölgelerde kullanımını avantajlı hale getirmektedir.

Uçucu külün KYB' de kullanımının yararları şunlardır:

- 1- Hidratasyon ürünlerini arttırır ve betonun porozitesini azaltır. Mikro agrega etkisi yaparak gradasyonu düzenler ve optimum sıkışmayı sağlar. Böylece betonun dış etkilere karşı dayanıklılığı artar.
- 2- Hidratasyon hızını ve ısını düşürür. Sıcaklık yükselmesinden doğan su kaybını ve çatlakları azaltır. Fakat priz alma süresini geciktirmesi erken dayanımı olumsuz etkiler (Yamada ve ark., 2000).
- 3- KYB' nin viskozitesini arttırarak ayrışmaya karşı direnç sağlar.
- 4- Normal betona kıyasla aynı dayanımı elde etmek için, gerekli çimento miktarını azaltarak ekonomik fayda sağlar. Aynı zamanda atık bir ürün değerlendirildiği için ilave ekonomik ve çevresel yararları hesaba katılmalıdır (Gürol, 1999).



### 2.3.3.3. Silis Dumanı

Silikon metalinin veya silikonlu metal alaşımların üretiminde, yüksek saflıktaki kuvars, elektrik fırınlarında yaklaşık 2000°C sıcaklıkta kömür yardımıyla indirgenmeye tabi tutulmaktadır. Üretim işleminde çok büyük miktarı SiO' dan oluşan gazlar çıkmaktadır. Gaz halindeki SiO' nün, fırının soğuk bölgelerinde havayla temas etmesiyle ve çok çabuk yoğunlaştırılmasıyla, gazın içerisindeki SiO, amorf yapıya sahip SiO<sub>2</sub> durumuna dönüşmektedir.

Silikon metalinin veya silikonlu metal alaşımların üretimi esnasında ortaya çıkan gazın hızlı soğutulmasıyla yoğunlaştırılması sonucu elde edilen %85-%98 kadar silis içeren amorf yapıya sahip çok ince katı parçacıklardan oluşan malzemeye silis dumanı adı verilmektedir.

Silis dumanındaki %85' in üzerindeki SiO<sub>2</sub>' nin yanı sıra başka maddeler de bulunabilmektedir. Çizelge 2.4. ABD, Norveç ve Türkiye' de üretilen silis dumanlarının kimyasal bileşenlerini vermektedir (Yoshioka ve ark., 2000).

Çizelge 2.4. Silis dumanlarının kimyasal bileşenleri (%)

İçerik	ABD	Norveç	Türkiye
SiO <sub>2</sub>	90.0–93.0	90.0–96.0	93.0–95.0
C	1.3–2.6	0.5–1.4	0.8–1.0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.4–0.7	0.2–0.8	0.4–1.0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5–1.6	0.5–3.0	0.4–1.4
MgO	0.3–0.5	0.5–1.5	1.0–1.5
CaO	0.5–0.8	0.1–0.5	0.6–1.0
Na <sub>2</sub> O	0.1–0.3	0.2–0.7	0.1–0.4
K <sub>2</sub> O	1.0–1.2	0.4–1.0	0.5–1.0
S	0.1–0.2	0.1–0.4	0.1–0.3
(kızdırma kaybı)	1.4–2.8	0.7–2.5	0.5–1.0

Silis dumanı, amorf yapıya sahip çok ince taneli ve yüksek oranda SiO<sub>2</sub> içeren bir malzeme olduğundan, mükemmel derecede puzolanik özellik gösterir ve sulu ortamda kalsiyum hidroksitle reaksiyona girerek mükemmel bir hidrolik bağlayıcılık sergiler. Diğer puzolanik toz maddeler gibi, amorf yapısı nedeniyle kalsiyum silikat hidrat (CSH) oluşturucu çekirdekler meydana getirir. Çekirdeklerde ilave kristal yapısı

oluşumuna katkıda bulunarak prizi hızlandırır ve erken dayanımı dolaylı yoldan artırır (Yahia, Tanimura, Shimabukuro, Shimoyama, 1999). Puzolanik reaksiyon hızı da diğer puzolanlara göre yüksektir (Kocataşkın, 1991). Aynı uçucu kül ve diğer puzolanlar gibi C<sub>3</sub>S ve C<sub>2</sub>S hidrasyonundan gelen serbest kireci bağlar ve ilave CSH oluşumuna neden olur. Buradaki CSH yapısı normal çimento hidrasyonundan oluşan CSH yapısından farklıdır.

Silis dumanı genellikle beton katkı malzemesi olarak kullanılır. Çok ince taneli olduğundan ve yüksek oranda SiO<sub>2</sub> içerdiğinden, ilk ve nihai dayanımı yüksek betonların üretiminde kullanılmaktadır. Silis dumanının ne kadar ince taneli olduğunu açıklayabilmek için aşağıda silis dumanının ve bazı malzemelerin özgül yüzeylerine ait değerler verilmektedir (Mindess ve Young, 1981).

Silis dumanı:	~ 200 000 cm <sup>2</sup> /gr
Sigara dumanı:	~ 100 000 cm <sup>2</sup> /gr
Uçucu kül:	~ 4 000 – 7 000 cm <sup>2</sup> /gr
Portland çimentosu:	~ 3 000 cm <sup>2</sup> /gr

Çizelge 2.5' de, silis dumanının beton özelliklerine etkileri özetlenmektedir (Yoshioka ve ark., 2000).

Çizelge 2.5. Betonda katkı malzemesi olarak kullanılan silis dumanının beton özelliklerine etkisi

Olumlu Etkileri	Olumsuz Etkileri
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betonda yüksek basınç dayanımının elde edilmesini sağlar.</li> <li>• Taze betondaki terlemeyi ve ayrışmayı azaltır.</li> <li>• Betonun hidrasyon ısısını azaltır.</li> <li>• Sertleşmiş betonun su geçirimsizliğini azaltır.</li> <li>• Sertleşmiş betondaki alkali silika reaksiyonunu azaltır.</li> <li>• Sertleşmiş betonun sülfatlara karşı dayanıklılığını artırır.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Silis dumanı kullanılarak üretilen betonların yüksek miktarda karışım suyu ihtiyacı vardır. Bunu telafi edebilmek için su azaltıcı katkılarla birlikte kullanılmaları gerekmektedir.</li> <li>• Çok ince taneli olduğundan ve terlemeyi azalttığından, betonun yüzeyinin düzeltilmesi işlemi daha zor olabilmektedir.</li> <li>• Silis dumanı kullanılması durumunda, daha çok miktarda plastik büzülme çatlama yol açabilmektedir.</li> <li>• Silis dumanı, nispeten daha koyu renkli beton elde edilmesine neden olmaktadır.</li> </ul>

#### 2.3.3.4. Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu

Hematit ( $Fe_2O_3$ ) ve magnetit ( $Fe_3O_4$ ) gibi demir cevherleri doğada demiroksit olarak bulunmaktadır. Demir cevherlerinde çok az miktarda silis, alümin, kükürt, fosfor ve mangan gibi bazı yabancı maddeler de bulunabilmektedir.

Demir elde edebilmek için demir cevherlerinin, yüksek fırınlarda  $1600^{\circ}C$ ' ye kadar olan yüksek sıcaklıklarda ısıtılmaları, böylece oksijenden ve yabancı maddelerden arındırılmaları gerekir. Kok kömürünün (Karbon) yakıt olarak kullanıldığı bu fırınlarda, arıtma işlemine yardımcı olabilmesi amacıyla kalker taşı da demir cevheriyle birlikte ısıtılmaktadır. Yüksek sıcaklığın etkisiyle kok kömüründeki karbon ile demir oksitteki oksijen birleşerek karbon monoksit ve karbon dioksit gazlarını oluşturmakta ve bu gazlar da fırını terk etmektedir. Fırının içinde eriyik durumda kalan demir, yoğunluğu diğerlerinden fazla olduğu için fırının en alt bölümünde; eriyik durumda olan  $CaO$ ,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $MnO$ ,  $S$  gibi yabancı maddeler de demirin hemen üzerinde yer almaktadır. Demir ve diğer yabancı maddeler ayrı ayrı çıkışlardan dışarı alınmaktadır. Bu yabancı maddeler topluluğu, yüksek fırın cürufu olarak isimlendirilmektedir.

Yüksek fırınlardan atık malzeme olarak elde edilen ve eriyik durumda bulunan cüruf, su içerisine dökülerek veya basınçlı su püskürtülerek hızlı olarak soğutulursa irili ufaklı kum taneleri boyutunda granüle bir hal alarak büyük oranda amorf bir yapı kazanmaktadır. Bu amorf yapıya sahip olan ve yüksek miktarda SiO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren granüle yüksek fırın cürufu, çok ince öğütülerek doğal puzolan olarak kullanılmaktadır. Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu uçucu küllerin puzolanik özelliklerine benzer bir özellik gösterirler. Ayrıca yüksek oranda CaO içermesi sebebiyle, kendiliğinden de bir miktar bağlayıcı özelliğe sahiptir.

Öğütülmüş yüksek fırın cürufu, KYB' de viskozite arttırmak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Cüruf kullanımı demir-çelik fabrikasına yakın bölgelerde ekonomik olmaktadır.

Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun beton özelliklerine olumlu ve potansiyel zararlı etkileri Çizelge 2.6.' da verilmektedir (Yoshioka ve ark., 2000).

Çizelge 2.6. Betonda katkı malzemesi olarak kullanılan öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun beton özelliklerine etkisi

Olumlu Etkileri	Olumsuz Etkileri
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Taze betondaki işlenebilirliği artırır.</li> <li>• Taze betonun priz süresini uzatır.</li> <li>• Betondaki terlemeyi azaltır.</li> <li>• Betonun hidrasyon ısını azaltır.</li> <li>• Sertleşmiş betonun su geçirimsizliğini azaltır.</li> <li>• Sertleşmiş betonun sülfatlara karşı dayanıklılığını artırır.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betonun özellikle soğuk havalarda daha geç priz almasına yol açar.</li> <li>• Betonda belirli miktarda sürüklenmiş hava elde edebilmek için daha çok miktarda hava sürükleyici katkı malzemesinin kullanılmasını gerektirir.</li> <li>• Betonun ilk günlerdeki dayanım kazanma hızını azaltır.</li> </ul>

#### 2.3.4. Süper akışkanlaştırıcı seçimi

KYB üretiminde yüksek işlenebilirlik ve ayrışmaya karşı yüksek direnç sağlamak gibi birbirinin tersi iki koşul bir arada sağlanmalıdır. Bu da ancak etkili bir kimyasal akışkanlaştırıcı kullanımıyla mümkün olabilir (Dekelbab, 2002).

Kimyasal katkıları; akışkanlaştırıcı, hava sürükleyici, hava uzaklaştırıcı, priz

kontrol edici ve viskozite arttırıcı olmak üzere beş ana grupta toplanabilir.

KYB tasarımında akışkanlaştırıcılardan beklenenler, üç grupta toplanabilir (Glavind ve Pedersen, 1999):

- 1- Su azaltmada ve akışkanlık sağlamada etkinlik,
- 2- Diğer kimyasal katkılarla uyumluluk, priz ayarlayıcı özellikleri sağlama,
- 3- İşlenebilirlik ihtiyacını sağlama (istenen sürede akışkanlığını koruma).

Kimyasal katkılar ile çimento arasındaki etkileşim fizikseldir. Katkısız çimento hamuru, karma oksitlerinin elektro-potansiyellikleri gereği, birbirlerini elektrostatik etkiyle çekerek kümelenir. Çimentodaki karma oksitlerin oranı bu etkiyi arttırır veya azaltır.  $C_3S$  ve  $C_2S$  negatif zeta potansiyeline sahipken,  $C_3A$  ve  $C_4AF$  pozitif zeta potansiyeline sahiptir. Bu da çimento taneciklerinin su veya nem ile temas ettiğinde topaklaşmasına sebep olur. Katkı ilavesi ile tüm çimento karma oksitlerinin negatif zeta potansiyeline sahip olduğu deneysel olarak ortaya konulmuştur (Rols ve ark., 1999; Bui ve ark., 2002). Tüm bileşenlerin negatif yüklenmesi topaklaşmayı önler.

Akışkanlaştırıcı katkılar eşik kayma gerilmesini ve plastik viskoziteyi azaltırlar. Plastik viskoziteyi azaltıcı etkileri yüksek S/Ç oranlarında daha belirgindir. Yüksek S/Ç oranında çok küçük miktarda katkı ilavesi dahi viskoziteyi hızla düşürerek ayrışmaya sebep olabilir. Düşük su/çimento oranlarında katkı ilavesinin akışkanlığı arttırıcı etkisi daha yavaştır. Örneğin, S/Ç oranı 0.65 olan bir karışıma çimento ağırlığının % 1'i kadar polimer bazlı bir kimyasal katkı ilavesi yapıldığında, karışımın viskozitesi yarı yarıya azalırken, S/Ç oranı 0.45 olan bir karışıma aynı katkı ilavesi viskoziteyi % 10 - 15 oranında azaltır. Bu açıdan bakıldığında akışkanlaştırıcılar düşük S/Ç oranlarında viskoziteyi çok azaltmadan eşik kayma gerilmesini azaltmakta etkilidir (Safawi ve ark., 2004).

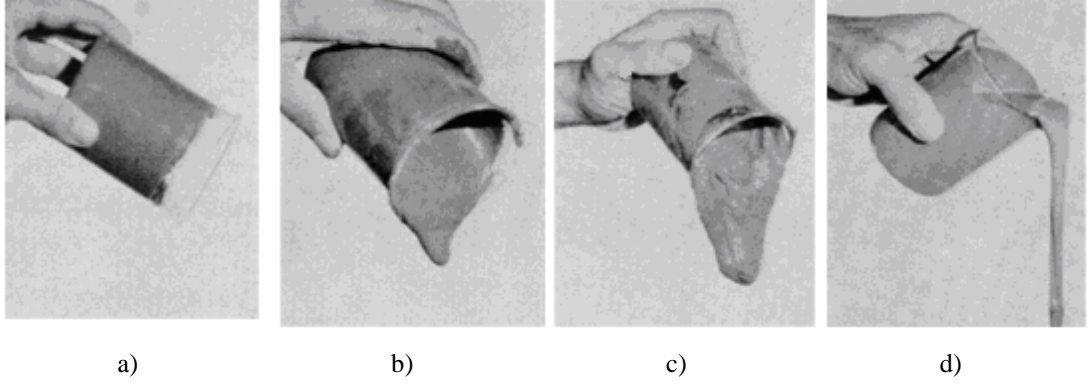
Son 30 yılda akışkanlık sağlama ve su azaltma amaçlı en yaygın kullanılan kimyasal katkılar; melamin, naftalin formaldehit kondensatları, modifiye lignosulfonatlar ve suda çözülebilen sentetik polimerlerdir.

KYB üretiminde, naftalin sülfonat formaldehit (SNF), melamin sülfonat formaldehit (SMF) polikondanseleri, vinil kopolimerler ve polikarboksilik asit bazlı katkıları kullanılabilir (Ho ve ark., 2002). Ancak polikarboksilik asit bazlı katkıları göre, diğer katkıların kullanıldığı betonların su ihtiyaçlarının göreceli olarak fazla olması, bu tip betonlar için istenilen akıcılıkta beton üretilmemesine yol açabilmektedir. Bu nedenle daha çok polikarboksilik asit bazlı katkıları tercih edilmektedir.

Yeni nesil süper akışkanlaştırıcılar olarak da isimlendirilen polikarboksilik asit bazlı katkıları kullanıldığında, çimento taneciklerinin beton içerisindeki dispersiyonu (dağıtılması) yalnızca elektiriksel itki ile değil, aynı zamanda uzun yan dallar içeren polimer zincirlerinin çimento tanecikleri çevresinde birbirini iten fiziksel bir itki oluşturması ile de sağlanır (Ho ve ark., 2002).

Gürol (1999) polikarboksilat bazlı katkıların çimentoya etkisini şöyle açıklamaktadır: Katkı, dispersiyon etkisi ile topaklaşmayı önler, hidrasyona giren çimento miktarı artar, topaklar arasında hapsolme potansiyeli olan su molekülleri serbest kalarak işlenebilirliği artırır ve hidrasyona katılır.

KYB tasarımında kullanılan polikarboksilat bazlı katkıların, modifiye lignosulfonatlar, melamin ve naftalin formaldehit kondensatlarına göre akışkanlığı artırma açısından önemli üstünlükleri vardır. Şekil 2.1 a), b), c) ve d)' de görülen çimento hamuru karışımlarının tümünün S/Ç oranları eşittir [a): Sadece su ve çimento, b): Hamura % 0.4 Lignosülfonat ilavesi yapıldığında görülen akışkanlık, c): % 0.8 Melamin formaldehit bazlı katkı ilavesiyle görülen akışkanlık, d): % 0.8 Polikarboksilat bazlı katkı ilavesiyle görülen akışkanlık].



Şekil 2.1. Kimyasal katkı tipinin akışkanlık artırıcı etkisi

Şekil 2.1 c) ve d)'de görüldüğü gibi, aynı dozajda katkı kullanımında polikarboksilat bazlı katkıların akışkanlığı arttırmada daha etkilidirler. Şekil 2.1-b)'de görülen lignosülfonat bazlı katkının dozajının % 0.4'de tutulmasının sebebi daha yüksek dozajlarda bu katkının priz geciktirici özelliğinin bulunmasıdır (Felekoğlu, 2003).

### 2.3.5. Taze haldeki kendiliğinden yerleşen betonun deney metotları

Geleneksel beton üretiminde kalite kontrol safhasında taze betonun çökme değeri ve betonun belirli yaştaki (genellikle 28 günlük) basınç dayanımı pratikte en çok kullanılan iki parametredir. Geleneksel beton basınç dayanımına göre sınıflandırılmasına karşın KYB'yi tanımlamada taze haldeki özellikleri esas alınır [42]. Bu yüzden KYB tanımında kendiliğinden yerleşebilirlik deneylerinin önemi büyüktür. KYB'nin basınç dayanımı, düşük su / toz oranı ve puzolanik fillerlerin etkisi nedeniyle genellikle öngörülen değerden yüksek çıkmaktadır. Bu yüzden dizaynda basınç dayanımı hedefi ikinci plandadır (Schutter, 2005).

Son zamanlarda 23 büyük şirket, araştırma enstitüleri ve 12 ülkeden üniversitenin iştirakiyle KYB için deneylerin kullanılabilirliği incelenmiştir. Testleri ortaya çıkarmak için KYB'nin özellikleri olan dolgu yeteneği, geçiş yeteneği ve ayrışma direncini ölçmek amaçlanmıştır. Referans metotlar olarak Avrupa standartlarına 4 test önermişlerdir (Schutter, 2005). Bunlar;

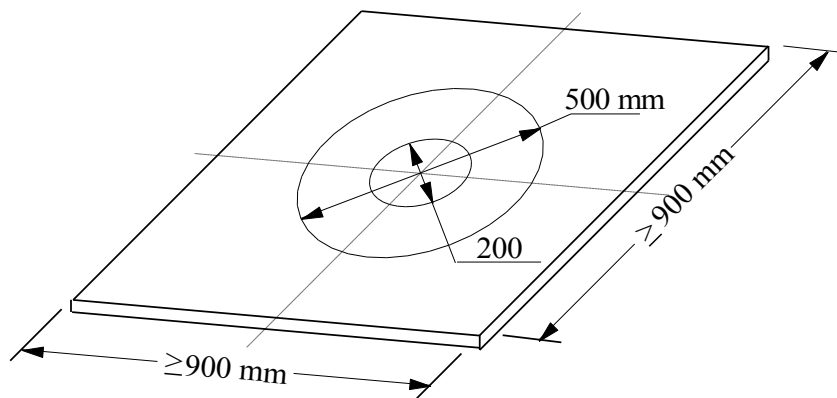
- *Çökme sonrası yayılma testi (toplam yayılma ve  $T_{50}$  zamanı)*: Dolgu yeteneğini değerlendirmek için.
- *L kutusu testi*: Geçiş yeteneğini değerlendirmek için.
- *J halkası testi*: Geçiş yeteneğini değerlendirmek için.
- *Elek stabilite testi*: Ayrışma direncini ölçmek için (Schutter, 2005).

Diğer 3 test alternatif metotlar olarak standardizasyon için önerilmiştir. Bunlar ise;

- *V hunisi testi*: Kısmen dolgu yeteneği ve bloklaşmayı değerlendirmek için.
- *Oriment testi*: Kısmen dolgu yeteneği ve bloklaşmayı değerlendirmek için.
- *Penetrasyon testi*: Ayrışma direncini değerlendirmek ve muhtemelen elek stabilite testiyle kombinasyonda kullanılır (Schutter, 2005).

### **$T_{50}$ süresi – yayılma**

Bu deney çökme (ASTM C143-90a) deneyinin bir modifikasyonudur ve standartlara geçmiş bir deney olmamasına rağmen, akıcı kıvamlı betonlarda araştırmacıların tercih ettiği bir deneydir (Felekoğlu, 2003). Şekil 2.2’de bu deneyin düzeneği görülmektedir.



Şekil 2.2. Yayılma deneyi düzeneği

Yayılma deneyi geleneksel çökme hunisi kullanılarak gerçekleştirilir. Slump deneyinden farklı düşey yükseklik yerine yatay yayılma mesafesi ölçülür. Yayılma testi

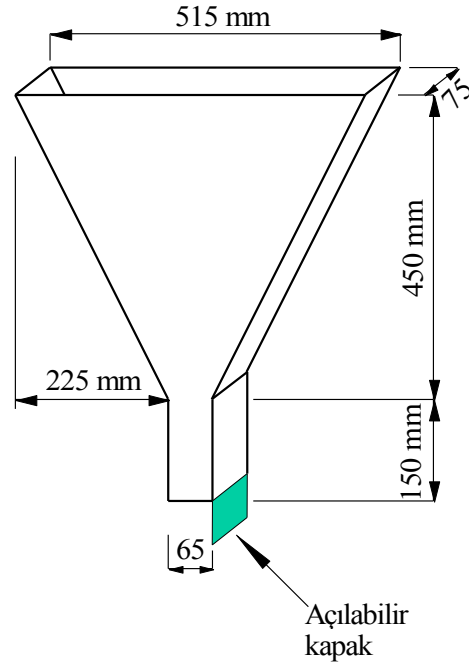


bilinen Abram's konisinden (yüksekliği 300 mm, en alt çapı 200 mm, en üst çapı 100 mm) yararlanılarak yapılır. Ayrıca 900 mm x 900 mm boyutunda yayılma tablası kullanılır. Yayılma tablası üzerinde 20 cm ve 50 cm çaplı iki daire çizili olarak bulunmaktadır. Tamamen düz bir yüzeye yerleştirilen yayılma tablasının yüzeyi nemlendirildikten sonra merkezine Abram's konisi yerleştirilir ve yaklaşık 5,5 litre beton ile doldurulur. Daha sonra koni tablaya dik olarak çekilir ve 50 cm çapındaki daireye yayılması sağlanır. Yayılma tamamen durduktan sonra birbirine dik iki yönde çap ölçülerek ortalama yayılma çapı hesaplanır. Deney sonuçlarına göre yüksek yayılma değeri, akışkanlığı yüksek beton anlamına gelmektedir. Yayılma mesafesi 600 mm'den büyük ise kendiliğinden yerleşebilirliği sağlayacak yeterli bir karışım sağlanmış demektir. Buna ek olarak yayılma mesafesinin yanında koni kaldırıldıktan sonraki andan yayılmaya başlayan betonun 50 cm çapındaki daireye ulaştığı ana kadar geçen süre de ölçülür.  $T_{50}$  zamanı olarak adlandırılan bu süre saniye olarak kayıt edilir (Kılınç, 2007).

Yayılma deneyinde sonucu etkileyebilecek değişkenlikler daha çok deneyi yapan kişinin kullandığı aparat ve yöntem (koniye çekme hızı ve doğrultusu, yayılma tablasının malzeme sürtünme katsayısı, huni ve tablanın yüzey nem durumu), karışım oranlarındaki elde olmayan değişkenliklere (stok sahasında agrega nem değişkenliği, agrega gradasyonundaki değişkenlikler) bağlıdır (Felekoğlu, 2003).

### **V hunisi**

V şekilli akış hunisi taze beton viskozitesini dolaylı yoldan ölçmek amacıyla kullanılır (Su ve ark., 2001). Şekil 2.3'de deney düzeneği görülmektedir.



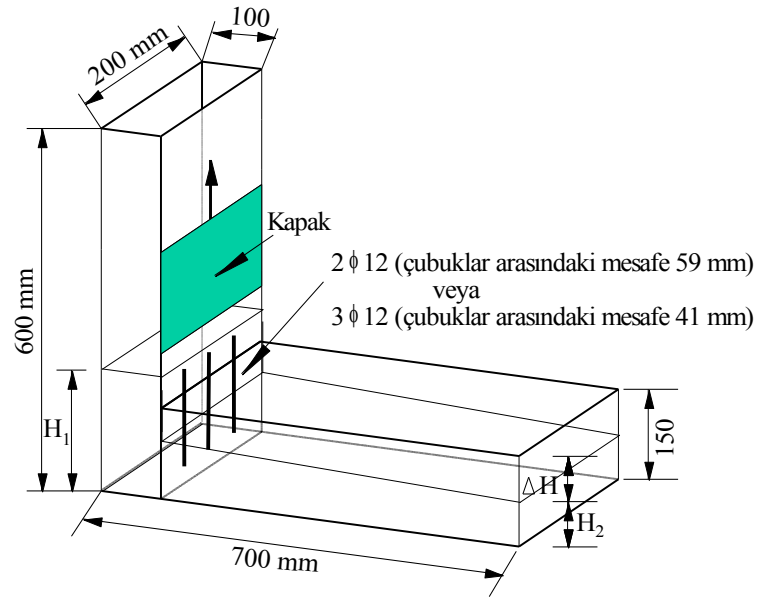
Şekil 2.3. V hunisi deney düzeneği

KYB'nin dar bir kesitten kendi ağırlığı altında geçiş yeteneğini incelemek amacı ile yapılan bir deneydir. Akış hızının belirlenmesi ve gözlem yapılması sureti ile KYB'nin viskozitesi hakkında bilgi veren bu deney yönteminde, belirli aralıklarla belirlenen akış sürelerinin kullanılması sonucu ayrışma direnci hakkında da bilgi edinilmektedir. Bu deney için maksimum agrega boyutu 25 mm'yi geçmemelidir. Deney düzeneği V şeklinde dikdörtgen kesitli bir huniden oluşmaktadır. Denek için yaklaşık 12 – 15 litre hacme sahip taze beton gereklidir. Huninin en alt kesitinde betonun akışına izin vermek üzere kullanılan bir kapak bulunmaktadır. Deney düzeneğinin yüzeyleri nemlendirildikten sonra üst yüzeye kadar beton ile doldurulur. Alt kapağın açılması ile beton V hunisinden akmaya başlar. Kapağın açıldığı anda, üstten bakıldığında alt kesitte ışığın görüldüğü ana kadar geçen süre ölçülür. Deney sırasında sürekli ya da geçici olarak, akışın bloklaşma nedeni ile engellenip engellenmediği gözlemlenir ve not edilir. Kullanılan beton deney tamamlandıktan 5 dakika sonra tekrar test edilir ve süre tekrar kaydedilir. Yaklaşık 10 saniye olması gereken akış süresi betonun akıcılığı hakkında bilgi verirken, 5 dakika ara ile yapılan ölçümler arasındaki fark segregasyon direnci hakkında bilgi vermektedir. Normal olarak iki defa deney yapılması yeterlidir fakat üç kez yapılması önerilir (Kılınç, 2007). Deneyin yapılışı sırasında beton akıyorsa yani tıkanma varsa, bunun iki

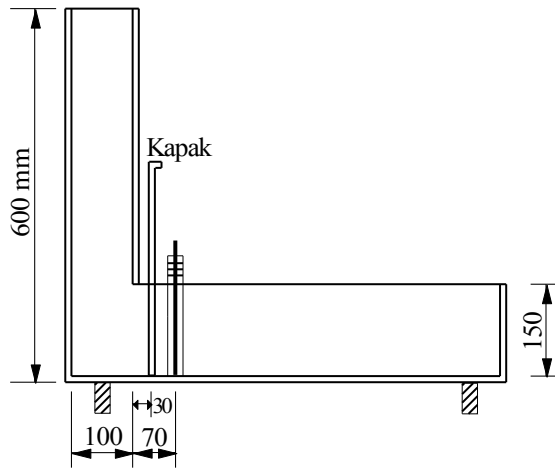
nedeni olabilir; eşik kayma gerilmesi betonun ağırlığının yarattığı gerilmeden büyüktür. Bir başka tıkanma sebebi de betonun yeterli stabiliteye sahip olmaması durumunda ortaya çıkan ayrışma ile agrega tanelerinin çıkış ağzında birikerek kenetlenme yarattığı tıkanmadır. Bu yüzden V kutusu deneyi ayrışma ile ilgili gözlemsel sonuçlar elde edilebilecek bir deneydir (Su ve ark., 2001).

### **L-kutusu**

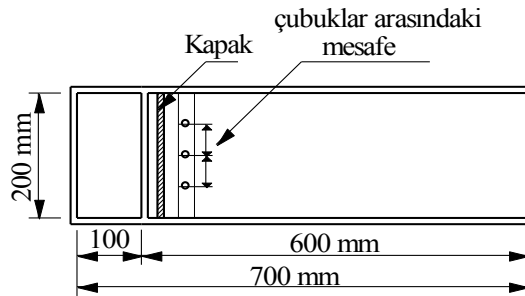
Betonun donatılar arasından geçişi sırasında bloke olup olmayacağını belirlenmesinde etkilidir (Felekoğlu, 2003). Şekil 2.4.'de deney düzeneği detayları görülmektedir.



a)



b)



c)

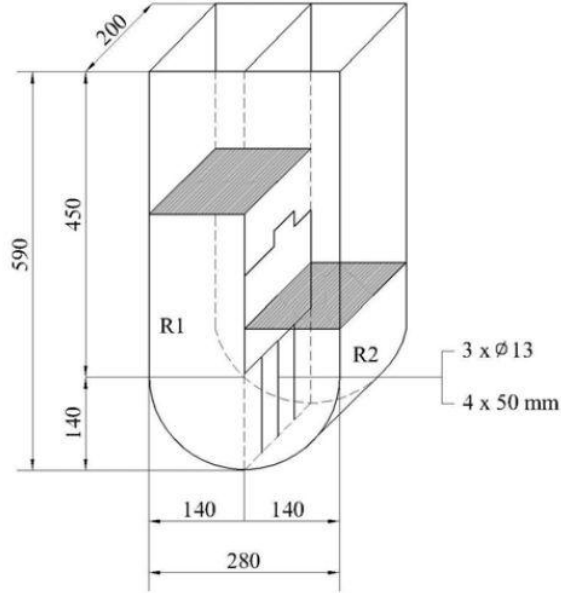
Şekil 2.4. L-kutusu deney seti, a) Perspektif, b) Yandan görünüş, d) Üstten görünüş

Betonun düşey kolon kesitinden yatay bir oluk içine akması sağlanarak yapılır. Temel olarak test sonucu engelleme oranı  $H_2 / H_1$  olarak belirlenir. Bu oran beton donatılarının arasından oluğa geçtikten sonraki yüksekliği  $H_2$ 'nin, düşey doğrultudaki en büyük yükseklik  $H_1$ 'e bölünmesiyle hesaplanır. L kutusu deney düzeneği yatay ve düşey olmak üzere iki hazneden meydana gelmektedir. Düşey haznenin sonunda gerçek durumdaki donatıları simgeleyen donatılar bulunmaktadır. Bu donatıların açıklıkları kullanılan maksimum agrega boyutuna ve lif boyutuna göre değişmektedir. Dikey haznenin sonunda bir de kapak bulunmaktadır. Bu kapak aracılığı ile betonun akışına izin verilmekte ve donatılar arasından akması sağlanmaktadır. Deneye başlamadan önce düzeneğin iç yüzeyleri yağlanır, nemlendirilir ve dikey haznenin ucundaki kapak kapatılır. Yaklaşık 12 litre hacmindeki beton düşey hazneye yerleştirilerek 1 dakika süre ile bekletilir. Bu gecikmenin amacı betonun oturmasına izin vermek ve şayet varsa belirgin bir segregasyonu gözlemlemektir. Herhangi bir şekilde sıkıştırma enerjisi uygulanmadan düşey hazneye doldurulmuş olan beton, kapağın kaldırılması ile yatay haznede bulunan donatılar arasından geçerek akmaya baslar. Yatay oluk içerisinde sürme kapıdan sonra 200 mm ve 400 mm mesafede iki adet işaret bulunmaktadır. Buna ek olarak temel sonuç oluk içindeki betonun 200 mm'ye ulaştığı an ( $T_{20}$ ) ve 400 mm'ye ulaştığı an ( $T_{40}$ ) saniye olarak ölçülür. Akış tamamlandıktan sonra her iki uçtaki beton yükseklikleri ölçülerek birbirine oranlanır ( $H_2/H_1$ ). Bloklaşma oranı olarak bilinen bu değer,  $T_{20}$  ve  $T_{40}$  değerleri ile birlikte tıkanma olasılığı hakkında bilgi edinilmesini sağlar. Uygulayan kişinin tecrübesinin önem kazandığı bu deneyde geçiş yeteneği, ayrışma ve tıkanma olasılığı ile birlikte akış özellikleri hakkında da önemli verilere ulaşmak mümkün olmaktadır (Kılınç, 2007).

### **U-kutusu**

Bu deney yöntemi, KYB'lerde ve su altı betonlarında akış yeteneği ve doldurma kapasitesini belirlemek amacıyla uygulanmaktadır. Maksimum agrega boyutu 25 mm'den küçük seçilir. U şeklindeki bu alet arada metal plaka ile iki bölmeye ayrılmış olup plaka tabana kadar devam etmemektedir ve taban kısmında kayıcı bir kapak bulunmaktadır. Mevcut kapağın önünde ise gerçek durumu temsil eden, 13 mm

çapında ve 35 mm net açıklığa sahip donatılar bulunmaktadır. Bu donatılar yerleştirildikten sonra kapak kapatılarak ilk hazneye yaklaşık 20 litre beton doldurulur. Bir dakika boyunca burada bekletilen beton, kapağın açılması ile birlikte diğer hazneye doğru akmaya başlar. Akış tamamlandıktan sonra iki haznedeki betonun yükseklikleri ölçülerek aradaki fark belirlenir. Elde edilen bu değer ile betonun doldurma yeteneği hakkında veri elde edilmektedir. Her iki haznedeki beton yükseklikleri 3 farklı noktadan ölçülür ve ortalama değerler kullanılarak yükseklik farkı hesaplanır. Bu farkın 30 cm'den küçük olması durumunda betonun doldurma yeteneğinin yeterli olduğu kabul edilmektedir (Kılınç, 2007). Şekil 2.5.'de deney düzeneğine yer verilmiştir.



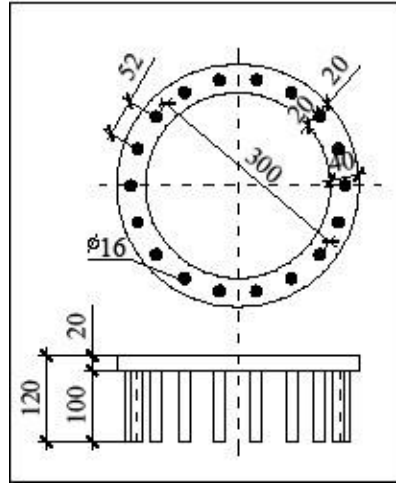
Şekil 2.5. U kutusu deney aparatı

### **J-halkası**

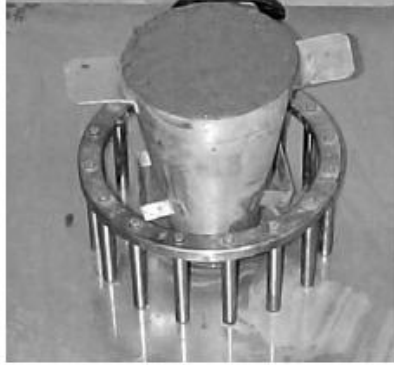
J-halkası deneyi, yayılma deneyi ile bir arada uygulanır. Aparat 30 cm çaplı halkaya sabit aralıklarla dikey çelik çubuklar bağlanmasıyla yapılmıştır. Bu çubuklar donatıları temsil etmektedir. Çubuklar arası açıklık, kullanılacak betonun maksimum agrega çapının üç katından az olmamalıdır (Tetik, 2005).

Aparat 30 cm çaplı halkaya sabit aralıkta dikey çelik çubuklar bağlanmasıyla

yapılmıştır. Bu çubuklar donatıları temsil etmektedir. Çubuklar arası açıklık, kullanılacak betonun maksimum agrega çapının 3 katından az olmamalıdır. Yayılma deneyi yapılırken J halkası da Şekil 2.6’da görüldüğü gibi yerleştirilir. Yayılma sonrası merkez ve halkanın hemen dışındaki beton yükseklikleri ölçülür ve bu yükseklik farkına göre geçiş yeteneği belirlenir (Kandemir, 2005). Deney düzeneği Şekil 2.6.’da görülmektedir.



a



b



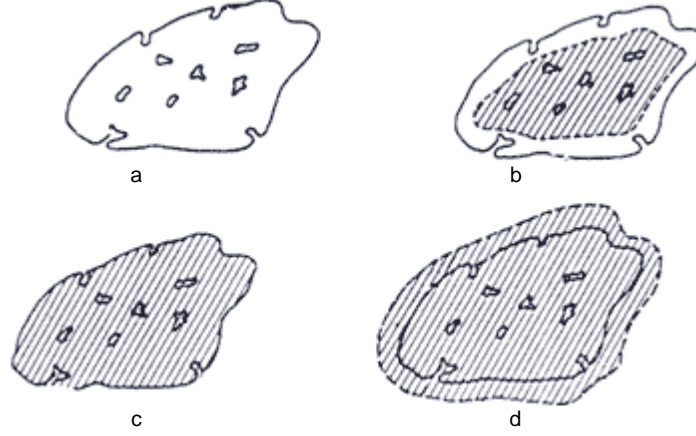
c

Şekil 2.6. a) J halkası detayları , b) ve c) deneyin yapılışı

Büyük yayılma, hem doldurma hem de akış kabiliyeti yüksek demektir. Bununla beraber yeterli geçiş kabiliyeti, betonun halkanın içi ile dışı arasındaki mesafeye bağlıdır. Eğer bu kısa mesafe 10 mm’den az değil ise KYB yeterli geçiş kabiliyetine sahip demektir (Kılınç, 2007).

#### 2.4. Agregaların Nem Durumlarının Beton Özelliklerine Etkisi

Agregaların fırın kuru (FK), hava kuru, doymun yüzey kuru (DYK) ve ıslak olmak üzere 4 nem durumu vardır.



Şekil 2.7. Agregaların nem durumları, a) Fırın kuru, b) Hava kuru, c) Doymun yüzey kuru, d) Islak

Şekil 2.7.'de gösterildiği gibi, a) fırın kuru durumda, agregada hiç su bulunmamakta, hava kuru durumda çatlaklar içerisinde ortamın nemine bağlı olarak az miktarda su bulunmakta (beton santrallerinin genelde kullandığı durumdur), doymun yüzey kuru durumda çatlaklar tamamıyla suya doymun fakat yüzeyde hiç bulunmamakta (karışım hesaplarında istenilen durumdur) ve ıslak durumda ise, agreganın çatlakları suya doymundur ve yüzeyinde bir su tabakası vardır.

Agreganın su muhtevası karışım suyu içeriğini iki şekilde etkiler:

1. Agreganın su muhtevası doymun yüzey kuru (DYK) durumundan fazla ise; serbest karışım suyu miktarı azaltılır;

2. Agreganın su muhtevasının DYK' dan az olması durumunda; karışım suyu artırılır.

Mori ve arkadaşları 74 farklı agrega tipi ve çeşitli su emme değerlerine sahip karışımlar incelediler. 0.35 S/Ç oranına sahip karışımlar için ince agrega doğal nem içeriğindeki artma çökme-yayımla değerinin belirgin bir şekilde azaldığını, 0.50



su/çim oranı için ise tam aksinin geliştiğini bulmuşlardır (Mori ve ark.,1996).

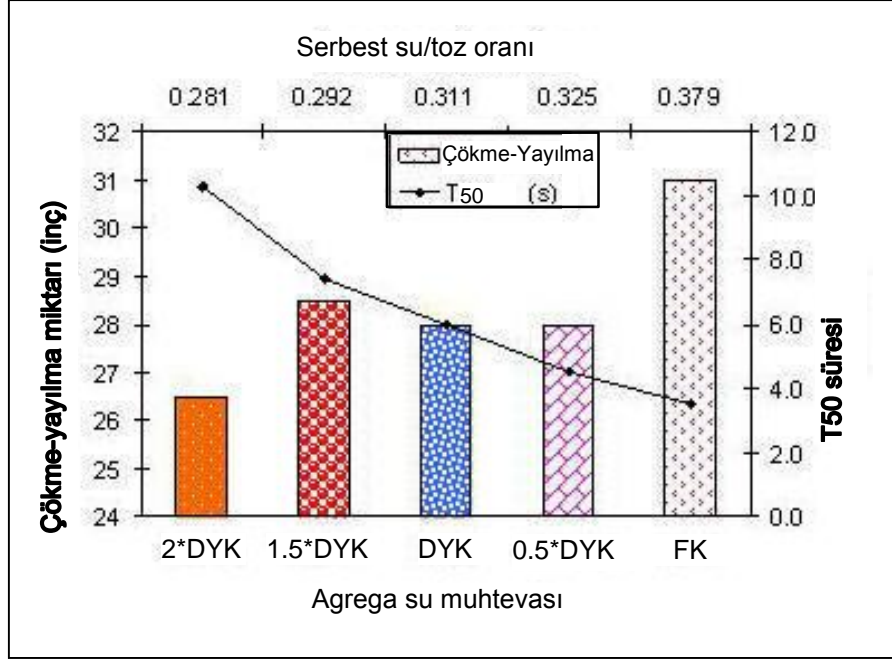
Sakai ve arkadaşları tarafından su miktarı  $\pm 5\text{kg/m}^3$  değiştirildiğinde, çökme-yayılma üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğu gözlemlendi. Viskozite düzenleyici bir katkı karışımlara eklendiğinde bu etkiler azaldı (Sakai ve ark.,1994).

Çökme-yayılma varyasyonlarının benzer gözlemleri Ushijima ve arkadaşları tarafından yapıldı. Onlar karışıma katılan su miktarını, agreganın su muhtevasını - %1 ile +%1.5 arasında değişen değerlerde kullanarak çalışmalarını yürüttüler. Onların sonuçlarına göre, agrega yüzey su muhtevası yaklaşık %1 artırıldığında, çökme-yayılma değerinin yaklaşık 100 mm arttığını gözlemlemişlerdir(Ushijima ve ark.,1995).

Highuichi agrega yüzeyindeki nem muhtevasının beton özelliklerine etkilerini ve mikser tarafından tüketilen elektrik enerjisini inceledi. Viskozite, mikserin enerji tüketimi ve kumun yüzey nemi muhtevasındaki artışla, O hunisi süresinin arttığını gözlemledi (Highuichi, 1998). Mikserin güç tüketim değerleri, ince agreganın nem muhtevasındaki iniş-çıkışlar sebebiyle çeşitlilik gösteren KYB' nin kompozisyonunu ayarlamak için, Nishizaki ve arkadaşları tarafından da kullanıldı (Nishizaki ve ark.,1999).

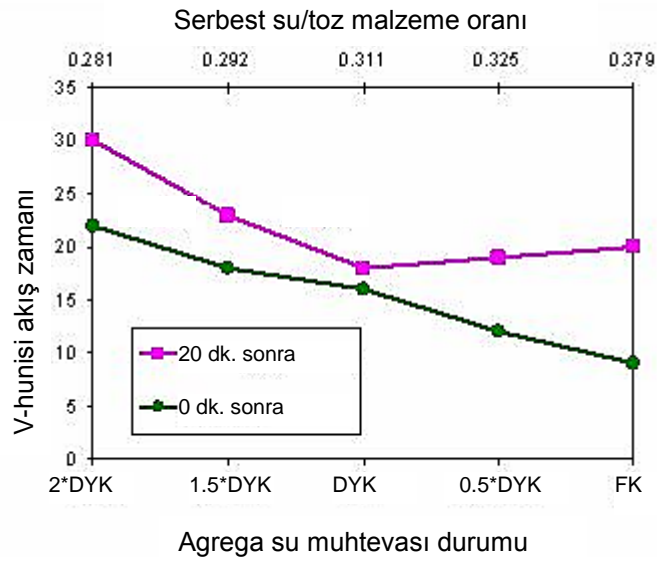
Deshpande, kum ve orta çakılı tamamen kuru durumundan DYK'nın su muhtevasının iki katına kadar olan aralıkta değiştirerek karışımlar hazırladı. Testler esnasında, kum ve bezelye çakılının (orta çakıl) her ikisi de aynı nem muhtevasına (yani her ikisi de aynı anda kuru veya DYK) sahip olacak şekilde değiştirildi. Bu şartlardan dolayı, Su/bağlayıcı oranı 0.281'den 0.379'a değişkenlik gösterdi. Şekil 6' da görüldüğü gibi, çökme-yayılma yaklaşık 790mm'den 690mm' lere düştü ve hatta T<sub>50</sub> testi için daha büyük değişimler kaydedildi. Sonraki değerler, kuru durumdaki agregalı karışımlar için 4s. gibi düşük ve 2\*DYK nem durumundaki agregalı karışımlar için 10s. gibi yüksek değerlerde değişkenlik gösterdi. Şekil 2.8.'de gözlemlenen çökme değerlerindeki azalma belli bir süreden sonra daha da artmıştır. Bu, daha düşük su/bağlayıcı oranında üretilen karışımların daha yüksek

kohezifliğine dayandırıldı (Deshpande, 2006).



Şekil 2.8. Agregaların nem muhtevsındaki değişimler için çökme-yayılma ve  $T_{50}$  değerleri (Deshpande, 2006)

Deshpande'in yine bu çalışmasında, Şekil 2.9.'da görüldüğü gibi, farklı nem muhtevalarına sahip agregalar içeren karışımlara ait ölçülen V hunisi akış sürelerindeki değişimler karışımdan hemen (0 dakika) ve 20 dakika sonra için verilmiştir. Buradan, kuru agrega için V hunisi akış süresi 0 dakika ve 20 dakika için sırasıyla 9 s. ve 19 s. olarak ölçülmüştür. V hunisi testinde aynı zaman aralıkları için DYK agregalı karışımlarda akış süresinde sadece 2 s.'lik bir fark olduğu gözlenmiştir (Deshpande, 2006).



Şekil 2.9. Farklı nem muhtevası durumundaki agregalı karışımlar için V-hunisi akış zamanı.

Alhozaimy (2009), yaptığı çalışmasında, kireçtaşının su emmesinin efektif su/çim oranı ve betonun dayanım ve slump kaybı üzerine etkisini inceledi. Bu çalışmada tüm beton karışımlarındaki incelenen kuru agregası su emmesinin aslında karışımın başlamasından 15 dk. sonra gerçekleştiğini ve sonra da önemli ölçüde azaldığını tespit etti. Betonun çökme kaybı oranı priz süresi uzatıldığında bile kuru ve ıslak agregalı karışımlar için hemen hemen aynıydı. Sonuçta, kullanılan ağırlıkça 1.3-1.9% su emme kapasiteli kireçtaşı agregalar karışıma katıldıklarında, su emme kapasitelerinin yaklaşık 75%'ini emebildikleri tespit edilmiştir. Geri kalan 25%'lik kısım ise karışım suyuna eklenince efektif su/çim oranının arttığı görülmüştür. Bu durum kuru agregalı beton karışımları için efektif su/çim oranındaki artış, ıslak agregası kullanılmış karışımlarla kıyaslandığında yaklaşık 30-40 mm ilk slump artışı ve yaklaşık 8-12% basınç dayanım azalması ile sonuçlanmıştır.

Zhuo Wang (2012), çalışmasında doğal agregası yerine farklı oranlarda ince geri dönüşüm agregaları kullanarak ıslak ve kuru nem durumları için ürettiği kendiliğinden yerleşen harç numuneleri üzerinde bazı sertleşmiş beton özellikleri incelemiştir. Sonuçta, karışımdaki ince geri dönüşüm agregası miktarının artmasıyla, birim ağırlığın ve basınç mukavemetinin azaldığını tespit etmiştir. Doğal agregası yerine %100 oranında ince geri dönüşüm agregası kullanıldığı zaman, birim ağırlığın kuru nem durumları için %4.16'ya kadar, ıslak seriler için %7.74'e kadar düştüğünü bulmuştur.

Yine doğal agrega yerine %100 oranında ince geri dönüşüm agrega kullanıldığında karışımların 7 günlük basınç mukavemetlerinde kuru nem durumu için %46.88 ve ıslak nem durumu için %37.75'e kadar azalma olduğunu gözlemlemiştir (Çizelge 2.7.).

Çizelge 2.7. Birim hacim ağırlığı ve 7 günlük basınç dayanımı sonuçları

<b>Karışım Adı*</b>	<b>Birim hacim ağırlığı (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Basınç dayanımı (MPa)</b>
I0	2282.1	36.09
I25	2207.2	30.55
I50	2180.5	29.68
I75	2138.4	27.43
I100	2105.6	27.75
K0	2236.8	30.12
K25	2197.9	24.69
K50	2178.1	23.42
K75	2136.5	20.35
K100	2143.7	20.23

\*I: Islak agregalı karışımlar, K: Kuru agregalı karışımlar; 0, 25, 50, 75, 100: Geri kazanılmış agrega ile doğal agreganın % olarak ağırlıkça yer değişimi.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Bağlayıcılar (çimento ve uçucu kül)

Bu çalışmada Limak Şanlıurfa Çimento Fabrikası'ndan temin edilen CEM-I 42.5 N Portland Çimentosu kullanılmıştır. Kendiliğinden yerleşen betonun işlenebilirliğini sağlamak için EÜAŞ Tunçbilek Termik Santrali'nden F sınıfı uçucu kül temin edilmiştir. Çimento ve uçucu külün kimyasal bileşenleri ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. CEM I 42.5 N Portland çimentosu (PÇ) ve uçucu külün (UK) kimyasal bileşenleri ve fiziksel özellikleri

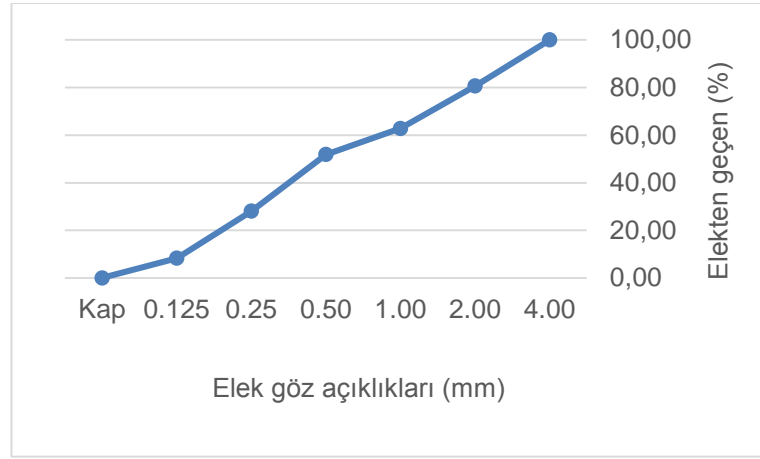
Malzemeler	PÇ (%)	UK (%)
SiO <sub>2</sub>	19.08	56.88
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.17	18.21
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.13	11.76
CaO	64.90	4.07
MgO	1.48	5.10
SO <sub>3</sub>	2.76	0.51
Klorür (Cl <sup>-</sup> )	0.0174	0.007
Kızdırma kaybı	2.56	0.76
Özgül ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	3.16	2.24
Özgül yüzey alanı (cm <sup>2</sup> /g)	3095	3658

##### 3.1.2. Agregalar

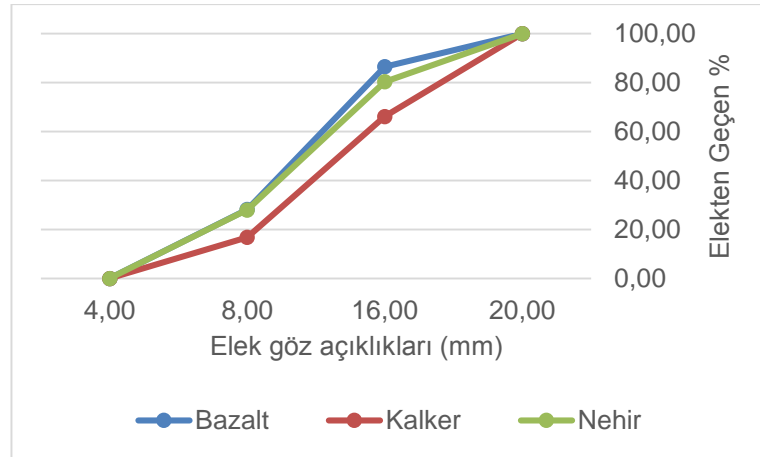
Karışımlarda kullanılan kırma bazalt çakılı, Şanlıurfa Büyükkargılı Köyü çevresinden, kırma kalker çakılı Şanlıurfa Tektik Dağları'ndan, nehir kumu ve nehir çakılı da Adıyaman civarı Fırat Nehri kenarından temin edilmiştir. İnce agregalar olarak tüm karışımlarda nehir kumu kullanılmıştır. Beton karışımındaki mümkün olabilecek en yüksek homojenlik ve doluluğu sağlamak amacıyla, agregalar ince, orta çakıl ve iri çakıl tane sınıflarına ayrılmıştır. Laboratuvara getirilen tüm iri agregalar, 20mm göz açıklıklı elekten elenmiş ve elek üstünde kalan malzeme atılmıştır. Tüm agregalar için D<sub>max</sub> 20mm'dir. Agregaların fiziksel özellikleri Çizelge 3.2. ve elek analizleri ise Şekil 3.1.'de verilmistir.

Çizelge 3.2. Kum ve çakılların su emme miktarları ve DYK özgül ağırlıkları.

Agrega Cinsi	Su emme miktarı (%)	DYK özgül ağırlığı (gr/cm <sup>3</sup> )
Nehir kumu	1.55	2.68
Kırma bazalt çakılı	1.04	2.88
Kırma kalker çakılı	1.58	2.54
Nehir çakılı	0.48	2.73



a



b

Şekil 3.1. Agregalara ait granülometri eğrileri: a) nehir kumu, b) çakıllar

### 3.1.3. Kimyasal katkı

Deneylerde, BASF firmasının ürettiği “Glenium 51” isimli TS EN 934-2 standardına uygun yeni nesil yüksek oranda su azaltıcı kullanılmıştır. Çizelge 3.3.’de kimyasal ve fiziksel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.3. Glenium 51 kimyasal katkısının kimyasal ve fiziksel özellikleri

Malzemenin yapısı	Polikarboksilik eter esaslı
Renk	Amber
Yoğunluk	1.09 kg/litre
Klor içeriği % (EN 480-10)	< 0.1
Alkali içeriği % (EN 480-12)	< 3

### 3.1.4. Karışım Suyu

Deneylerde Harran Üniversitesi Osmanbey Kampüsü şebeke suyu kullanılmıştır. İçme suyu olarak da kullanılan suyun bazı kimyasal özellikleri Çizelge 3.4. (Yenigün, 2009)’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. KYB karışımlarında kullanılan suyun kimyasal analizi (Yenigün, 2009)

	Birim	Ortalama
pH	-	7.51
Ca <sup>+2</sup>	mg/L	51.81
Mg <sup>+2</sup>	mg/L	1.74
Na <sup>+</sup>	mg/L	5.56
K <sup>+</sup>	mg/L	0.83
NO <sub>3</sub>	mg/L	15.04
Cl <sup>-</sup>	mg/L	14.88
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	mg/L	15.35

### 3.1. Yöntem

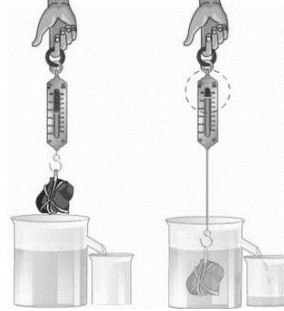
Bu çalışmada karışımlarda kullanılacak agregaların tane dağılımı ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde ve elde edilen karışımların taze ve sertleşmiş özelliklerinin test edilmesinde ilgili standartlara başvurulmuştur. Karışımların hazırlanması ve taze beton deneyleri Harran Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemeleri Laboratuvarı’nda, sertleşmiş beton deneyleri Şanlıurfa BEL-SAN

A.Ş. Yapı Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

### 3.1.1. Agregalara Ait Özgül Ağırlıkların Belirlenmesi

Kum ve çakılların doygun yüzeyi kuru özgül ağırlıkları ve su emme miktarları TS 3526'da belirtilen şekilde hesaplanmıştır.

Çakıllar için deney Arşimet Prensibinden faydalanılarak yapıldı. Yaklaşık 2000 gr alınan iri çakıllar, 105 °C'de 24 saat bekletildikten sonra çıkarıldı, desikatöre konuldu ve sabit ağırlığa ulaşınca suya bırakıldı. 24 saat su içerisinde bekletildikten sonra süzüldü ve tanelerin üzerinde gözle görülür su tabakası (film) kalmayınca kadar kurutuldu ve tartıldı. Doygun yüzey kurusu hale gelen çakılların ağırlığı 0.01 gr hassasiyetli bir teraziyle hesaplandı. Ardından numune Arşimet terazisinde tartıldı. Tartım işlemini yapmak için numune tel kafes içerisinde kondu ve su dolu kova içerisinde yerleştirildi. Bu işlemten sonra terazideki değer okundu. Suyun etüv kurusu ağırlığından bu okunan değer çıkarılarak, çakılların hacmi bulundu. Arşimet Prensibine göre su içerisinde daldırılan bir cisme etki eden kaldırma kuvveti, o cismin taşıdığı suyun ağırlığına eşittir. Şekil 3.2.'de bu deneyin nasıl yapıldığı detaylı bir şekilde gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Arşimet prensibi

Malzemeyi tam temsil eden deney numunesi çeyreklemeye yöntemiyle 500 gr kadar alındı ve metal bir tepsi içine konularak 24 saat 105±5°C'de bekletildi. Sonrasında desikatöre konulan numuneler sabit ağırlığa ulaşınca tartıldı ve tam doygun hale gelinceye kadar 24 saat su içinde bekletildi. Suyu doygun hale gelmiş numune, ince tanelerin kaybolmaması için başka bir kaba aktarılmadan ısıtıcı üzerine konuldu ve sürekli karıştırılarak DYK haline gelmesi çabuklaştırıldı. DYK hali ince



agreganın koyu ıslak renkten, açık (kuru) renge değişmeye başladığı an, tepsi kaldırıldı. Kumun DYK halini alıp almadığını kontrol etmek için kesme yöntemi uygulandı. DYK haline geldiğine kanaat edildikten sonra cam ölçü kabına dolduruldu ve birlikte tartıldı. Ölçü kabının daha önceden saptanmış olan darası toplam ağırlıktan çıkarıldı ve numunenin kuru ağırlığı belirlendi. Bu işlemde sonra ölçü kabı yaklaşık 20 °C'deki su ile yarıya kadar dolduruldu ve düz bir yüzey üzerinde hafifçe vurularak ve aynı zamanda döndürülerek hava kabarcıklarının çıkması sağlandı. Bu işlemde sonra ölçü kabının tamamı su ile dolduruldu ve cam levha kullanılarak su ekleme kabı yardımıyla boşluk kalmayacak şekilde tamamen su ile dolduruldu ve tartıldı. Böylelikle hacmi bulundu ve DYK ağırlığı, hacme bölünerek DYK özgül ağırlığı bulundu.

### **3.1.2. Agregaların elek analizi**

Agregalar TS 706 EN12620'de belirtilen (Temel Elek Serisi) 16 – 8 – 4 – 2 – 1 – 0.5 – 0.25 – 0.125mm göz açıklıklı eleklerden elenmiştir. Elekler en büyük göz açıklığından küçüğe doğru ve en altta da kap olmak üzere yukarıdan aşağı dizilmiştir. Numuneler, en üstteki eleğe boşaltılarak elenmeye başlanmış ve her bir eleğin üstünde kalan malzeme tartılmıştır. Elde edilen değerlerle kümülatif % geçen miktarları hesaplanarak her agrega karışımına ait granülometri eğrileri çizilmiştir.

### **3.1.3. Agregaların Farklı Nem Durumlarına Göre Taze ve Sertleşmiş Beton Özellikleri**

#### **3.1.3.1. Karışımların Hazırlanması ve Taze Beton İşlenebilirlik Deneyleri**

Deneyler, her bir agrega çeşidi için, fırın kurusu ve ıslık olmak üzere 2 nem durumu için yapılmıştır. Karışımlarda Portland çimentosu yerine %30 oranında uçucu kül kullanılarak toplamda 6 farklı kendiliğinden yerleşen beton karışımı hazırlanmıştır. Agregaların farklı su emme miktarlarının betonun taze ve sertleşmiş özelliklerine etkilerini görebilmek için, tüm karışımlarda bağlayıcı madde, toplam su ve kimyasal katkı miktarları sabit tutulmuştur. Karışım isimlendirmelerinde, B; bazaltı, K; kalkerli, N; nehir malzemesini; FK; ilgili agreganın fırın kurusu haliyle

yapılan karışımı, ISL; ilgili agreganın ıslak haliyle yapılan karışımı temsil etmektedir. Karışım adı ve oranları Çizelge 3.4.'de verilmiştir.

Çizelge 3.5. KYB karışım oranları (kg/m<sup>3</sup>)

Karışım Adı	Ç	UK	Su	HA	Agregalar		
					Kum	Orta Çakıl	İri Çakıl
B-FK	350	150	210	5	910	500	250
K-FK	350	150	210	5	860	470	235
N-FK	350	150	210	5	889	485	243
B-ISL	350	150	210	5	910	500	250
K-ISL	350	150	210	5	860	470	235
N-ISL	350	150	210	5	889	485	243

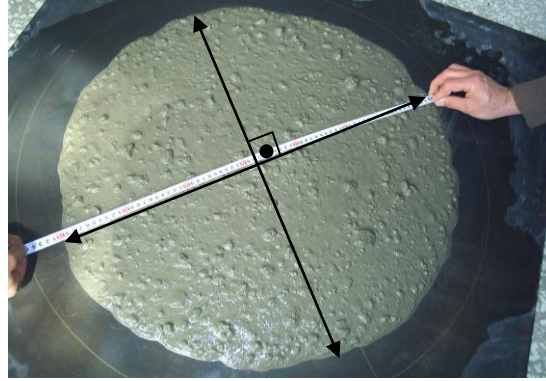
Agregaların fırın kurusu olarak kullanılacağı karışımlar için, agregalar 24 saat boyunca etüvde 105±5<sup>0</sup>C'da kurutuldu ve daha sonra sabit bir ağırlığa ulaşana kadar desikatörde bekletildi. Islak agregalarla yapılan karışımlarda ise, agregalar fırın kurusu duruma getirildikten sonra karışım için gerekli miktarlardaki agrega tartılarak bir kovanın içerisine konulmuştur. Agreganın ISL nem durumuna gelmesi için karışım suyunun %95'i fırın kurusu agregaların üzerlerine eklenmiştir. Buharlaşmayı önlemek amacıyla kova uygun bir şekilde izole edilmiştir. Agregalar bu şekilde 24 saat bekletildikten sonra, ISL nem durumuna ulaşmış agregalar ve diğer bileşenlerle birlikte geriye kalan %5'lik karışım suyu mikserle konulmuştur. Karışım işlemi, agrega nem durumlarına göre farklı yapılmıştır. ISL nem durumuna sahip agregalarla üretilen karışımlarda önce agregalar 1 dk. süresince, sonrasında da diğer bileşenler katılarak 4 dk. ve toplamda 5 dk. karıştırma işlemi yapılmıştır. FK nem durumuna sahip agregalarla üretilen karışımlarda ise, önce agregalar, çimento ve uçucu kül birlikte 1dk. süreyle ve sonrasında su ve kimyasal katkı da katılarak 4 dk. ve toplamda 5 dk. süresince karıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Üretilen tüm KYB karışımları için taze beton özelliklerinin belirlenmesi amacıyla çökme-yayılma, T<sub>50</sub> ve L-kutusu deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca tüm karışımlara ait sertleşmiş beton özelliklerinin belirlenmesi amacıyla da 75x150 mm ebatlı silindir kalıplara herhangi bir sıkıştırma işlemi yapılmadan doldurulmuş ve 24

saat sonunda kalıptan çıkarılarak kür havuzuna bırakılmıştır. Kalıpta bekletilen numunelerde nem kaybının önlenmesi amacıyla naylon örtü kullanılmıştır. 3, 28 ve 56. günler sonunda ultrases, basınç ve yarmada çekme testleri yapılmıştır. Kılcal su emme deneyleri ise sadece 56 günlük numunelere uygulanmıştır. Bu deneyler ile ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir.

#### - Çökme-Yayıma Deneyi

Yapılan bu deneyde alet olarak çökme (slump) konisi ve 100x100 cm ebatlarında düz bir tabla kullanılmıştır. Çökme hunisi, geniş ağzı altta olacak şekilde tabla ortasında işaretli yerine konulmuştur ve içerisi KYB ile ağzına kadar doldurulup bir mala aracılığıyla üst kısmı düzleştirilmiştir. Slump hunisi sabit hızla ve sarsmadan çekildiğinde dairesel olarak yayılan (Şekil 3.3.) KYB'nin birbirine dik iki çapı ölçülmüş ve elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır.



Şekil 3.3. Çökme yayılma deneyi

#### - T<sub>50</sub> deneyi

Yayıma çapının yanında 50 cm'ye yayılma süresinin de kendiliğinden yerleşebilirliğini kontrol etmekte yararlı olmaktadır. Deneyin yapılışı şu şekildedir; yayılma çapı ilk anda 20 cm (koninin taban çapı) olup bu çap ve 50 cm çapında önceden tablaya çizilir. Çökme konisi taze beton ile doldurulur ve yukarı doğru dikkatlice kaldırılır. Kaldırmanın tamamlanmasından, taze betonun 50 cm çap çizgisine ulaştığı ana kadar geçen zaman ölçülür. Bu değer taze betonun akış hızını belirler ve plastik viskozite ile ilişkilendirilmektedir. Burada ölçülen 50 cm çapa

yayıma suresi,  $T_{50}$  olarak adlandırılır (Felekoğlu 2003). Bu çalışmadaki KYB karışımları da belirtilen şekilde  $T_{50}$  deneyine tabi tutulmuş ve sonuçları kaydedilmiştir.

#### - L-kutusu deneyi

Üretilen tüm KYB karışımların geçme kabiliyetini ölçmek için, L-kutusu deneyine başvurulmuştur. Deney sonuçlarına göre kriterleri EFNARC 2005’de belirtilen deneyde, L-kutusunun sürgülü kapağı kapalı konumdayken, su terazisi yardımıyla, aletin dengede olması sağlanmış, dolun kısmı herhangi bir sıkıştırma işlemi yapılmaksızın taze betonla doldurulmuş, 1 dk. beklenmiş ve kapak kaldırılmıştır. Betondaki seviyelenme durduğunda,  $H_1$  ve  $H_2$  seviyeleri ölçülmüştür.

#### 3.1.3.2. Sertleşmiş beton deneyleri

#### - Basınç deneyi

Basınç deneyi; belirli yaşlardaki beton numunelerin basınç yüküne maruz bırakılarak birim alandaki dayanım gösterdikleri yükü belirlemek için kullanılan bir yöntemdir.



a)



b)

Şekil 3.4. a) Basınç dayanım testi b) Kırılmış numuneler

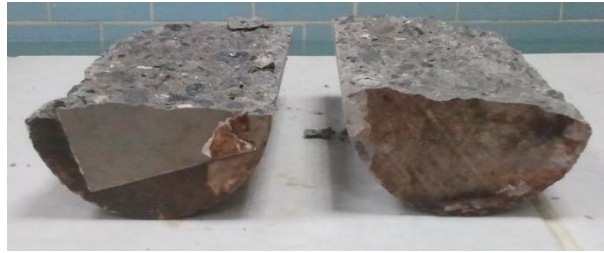
Basınç dayanımının saptanması için yapılan deneyde “TS EN 12390-3; Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini” standardı baz alınmıştır. 3, 28 ve 56 günlük 75x150mm boyutlarındaki numunelere, 0.6 MPa/s hızında yükleme yapılmıştır (Şekil 3.4.).

- **Yarmada çekme testi**

Yarmada çekme testi, belirli yaşlardaki beton numunelerin çekme dayanımlarını ölçmek için yapılır.



a



b

Şekil 3.5. a) Yarmada çekme testi b) Kırılmış numuneler

Yarmada çekme testi, “TS EN 12390-6 Beton-Sertleşmiş beton deneyleri – Bölüm 6: Deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini” referans alınarak uygulanmıştır. 3, 28 ve 56 günlük 75x150mm boyutlarındaki numuneler Şekil 3.5.’ de gösterildiği gibi yatay konumda yerleştirilip 0.06 MPa/s hızında yükleme yapılmıştır.

**- Rölatif ultrases hızı deneyi**

Ultrases dalganın hızı ile betonun yoğunluğu arasında belirli bir ilişki bulunmaktadır. Yoğunluğu az olan bir betonda, yani içerisinde daha çok boşluk bulunan bir betonda, ultrases dalganın betonun bir yüzeyinden diğerine ulaşabilme süresi daha uzundur. Bir başka deyişle, betonun içerisindeki boşluk miktarı arttıkça, ultrases dalganın hızı daha az olmaktadır. Bilindiği gibi, betonun yoğunluğu ile basınç dayanımı arasında da belirli bir ilişki bulunmaktadır. Yoğunluğu yüksek olan betonların basınç dayanımları da genellikle yüksek olur. Su/çimento oranı yüksek olan betonlar daha çok kapiler boşluk içerdiğinden, bu betonların yoğunluğu ve basınçları da yüksek değildir (Erdoğan, 2003).



a



b

Şekil 3.6. a) ve b) Ultrases deneyi uygulaması

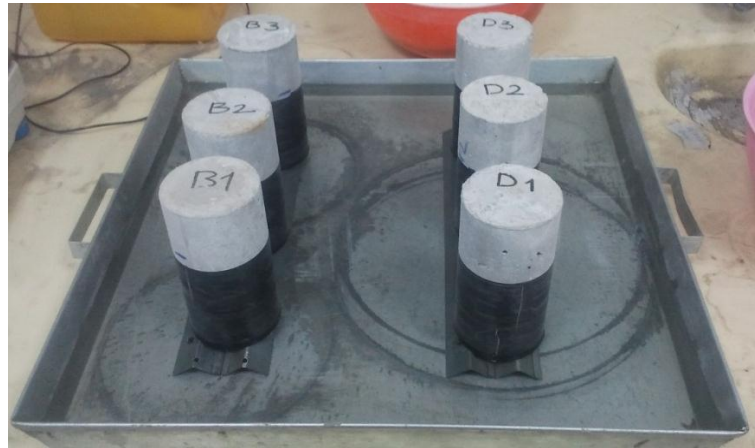
Yaptığımız deneylerde, ultrasesin başlıklardan numunelere sağlıklı bir şekilde iletilmesini sağlamak amacıyla ara yüzeye ultrases jeli tatbik edilmiştir. ASTM C 597 standardına uygun olarak yapılan deneyde, 3, 28 ve 56 günlük numuneler ultrases testine tabi tutulmuştur (Şekil 3.6.).

#### - Kılcal su emme deneyi

Bu deney, sertleşmiş beton numunelerin kılcal su emme katsayılarını belirlemek için yapıldı. Numuneler 105°C ±5' de 24 saat bekletildikten sonra sabit ağırlığa ulaşana kadar desikatörde soğumaya bırakılmış. Sonrasında suyun eksen boyunca hareketini sağlamak için, numunelerin çevreleri elektrik bandıyla sarılmıştır. Test edilecek numuneler suya yerleştirilmeden önce ilk ağırlıkları 0.01 gr hassasiyetli terazi ile ölçülüp değerler kaydedilmiştir. Şekil 3.7.'de görüldüğü gibi suya bırakılan numunelerin 5., 10., 30., 240. ve 1440. dakikalardaki ağırlıkları ölçülmüştür. Her bir karışıma ait su emme katsayıları, en küçük kareler yöntemi kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$S=(Q/A)/\sqrt{t} \quad (3.1)$$

Burada S kılcal su emme (cm/s<sup>1/2</sup>), Q emilen su miktarı (cm<sup>3</sup>), A numunenin sudaki yüzey alanı (cm<sup>2</sup>) ve t zaman (s)'dir.



Şekil 3.7. Kılcal su emme deneyi

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu bölümde, karışımlarda kullanılan 3 farklı çakıl tipi (kıırma bazalt, kıırma kalker ve nehir çakılı) ve nehir kumuna ait granülometri eğrileri, üretilen KYB karışımların taze ve sertleşmiş özelliklerini belirleyen deneylerin sonuçları ve bu sonuçların tartışmalarına yer verilmiştir.

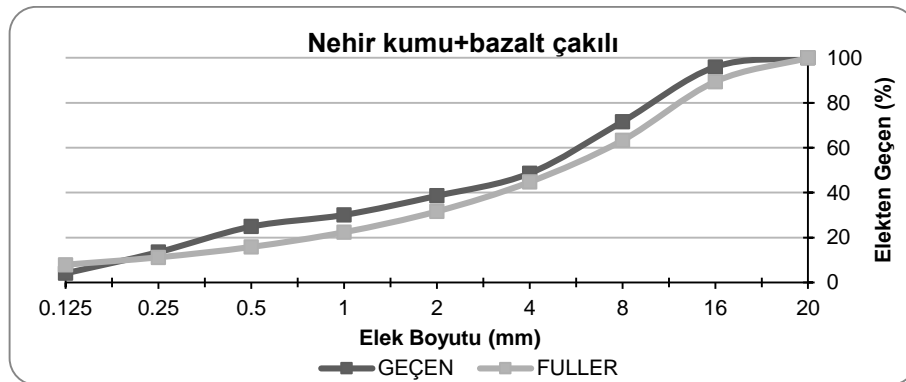
##### 4.1. Karışımlarda kullanılan agregalara ait granülometri eğrileri

Agrega tane dağılımları, homojenlik ve tam doluluk sağlanabilmesi amacıyla Şekil 4.1., 4.2. ve 4.3.' de gösterildiği gibi fuller eğrisine yakın değerlerde çalışılmıştır. Bu amaçla, her bir agrega tipini içeren karışımlarda %55 kum, %30 orta çakıl ve %15 iri çakıl kullanılmıştır. Beton karışımlarının üretilmesinde nehir kumu bütün karışımlarda sabit olmak üzere bazalt, kalker ve nehir çakılı için agrega karışımları oluşturulmuştur.

Fuller eğrisinin çizilmesinde Fuller ve Thomson tarafından bulunan aşağıdaki formülasyondan yararlanılmıştır (Fuller ve Thompson, 1907):

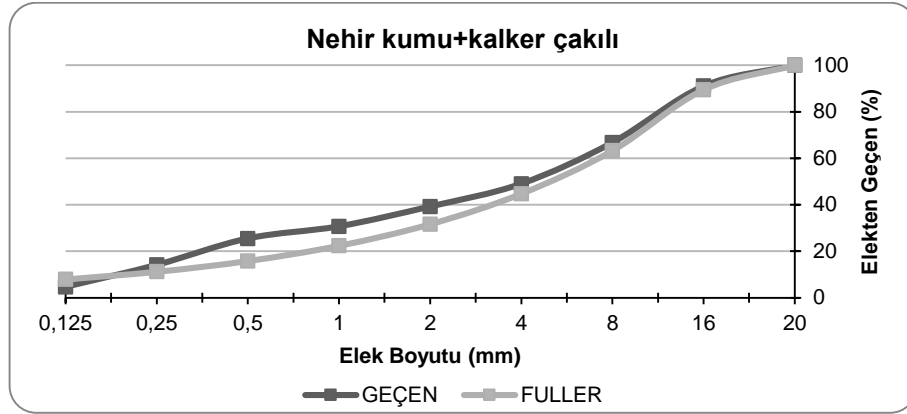
$$p_i = 100 \times \sqrt{(d/D)} \quad (3.2)$$

Burada  $p_i$ ; gradasyon eğrisindeki geçen yüzdeyi,  $d$ ; her bir elek için göz açıklığı ve  $D$ ; en büyük göz açıklığına sahip eleği belirtmektedir.

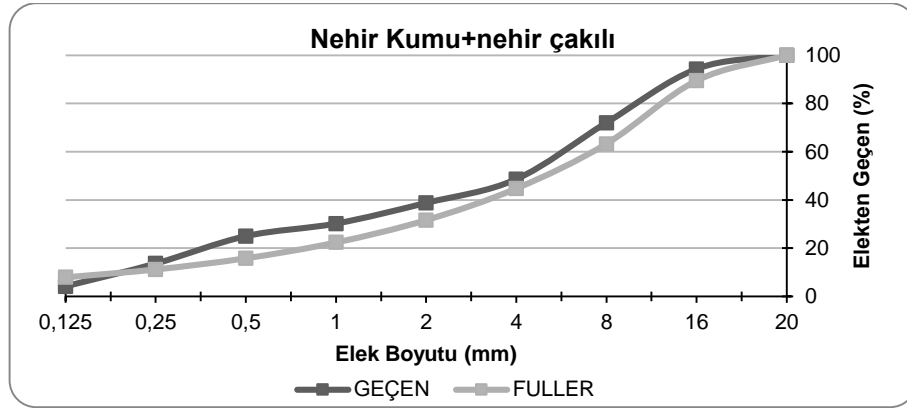


Şekil 4.1. Bazalt çakılı agrega karışımına ait granülometri eğrisi





Şekil 4.2. Kalker çakıllı agrega karışımına ait granülometri eğrisi



Şekil 4.3. Nehir çakıllı agrega karışımına ait granülometri eğrisi

#### 4.2. Taze Beton Deney Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Üretilen taze KYB'lerin yayılma,  $T_{50}$  süresi ve L-kutusu değerleri, her karışım için yapılan deneylerle belirlenmiştir. FK ve ISL neme sahip 3 farklı çakıl tipi ile hazırlanan KYB'lere ait taze beton deney sonuçları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

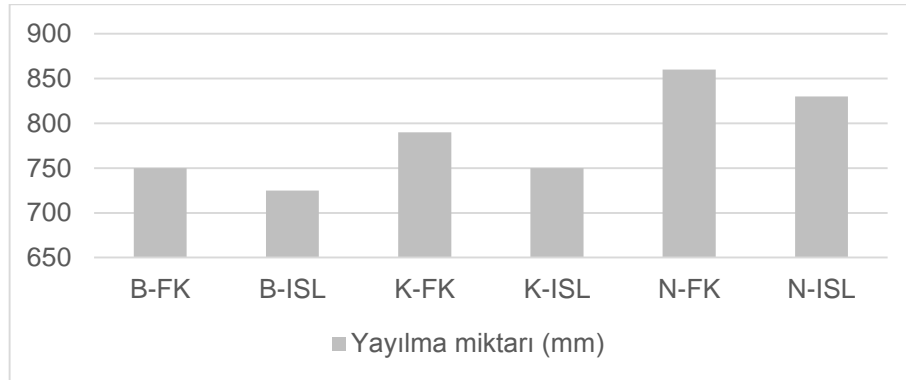
Çizelge 4.1. Taze haldeki KYB karışımlarının işlenebilirlik deneyleri sonuçları

Karışım	Yayılma (mm)	$T_{50}$ (s)	L-kutusu; $H_2/H_1$
B-FK	750	3.47	0.925
B-ISL	725	4.46	0.854
K-FK	790	2.34	0.976
K-ISL	750	3.43	0.868
N-FK	860	1.43	0.778
N-ISL	830	2.25	0.809
<i>EFNARC (2005)</i>	<i>650-850</i>	<i>2-5</i>	<i><math>\geq 0.8</math></i>

#### 4.2.1. Çökme-yayılma değerleri ve T<sub>50</sub> süreleri

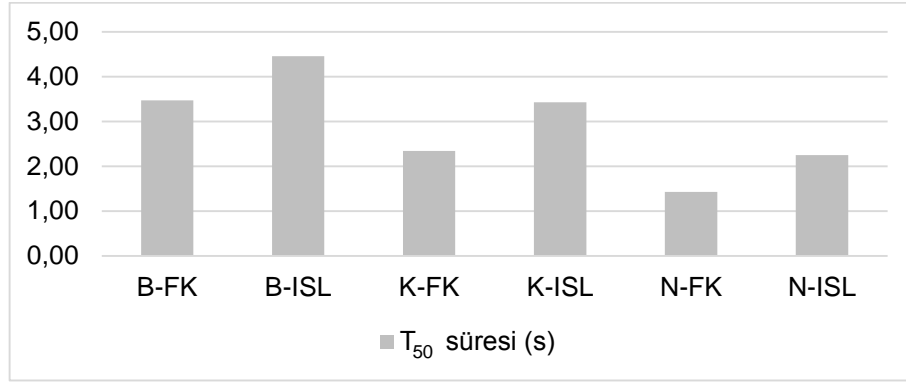
KYB karışımlarına ait akıcılık ve viskozite karakteristiklerini ölçmek amacıyla çökme-yayılma ve T<sub>50</sub> deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylere ait bulgular Şekil 4.4. ve 4.5.' de verilmiştir.

Şekil 4.4.'de görüldüğü gibi, FK ve ISL nem durumlarına sahip çakıllardan üretilen KYB karışımlarına ait çökme-yayılma değerleri EFNARC'da (EFNARC, 2005) belirtilen sınır değerlere genelde uymaktadır. Bununla birlikte, FK nem durumuna sahip nehir çakılından üretilen KYB karışımına ait çökme-yayılma değerinin EFNARC'ın belirlediği sınırı aşması, nehir çakılıının su emmesinin düşük olmasına dayandırılabilir. Çünkü üretilen tüm KYB karışımlarında su miktarı sabit tutulmuştur.



Şekil 4.4. Karışımların yayılma miktarları

Çökme-yayılma değerlerine dikkat edildiğinde, ISL nem durumuna sahip agregalar kullanılarak yapılan karışımlar, FK nem durumuna sahip agregalar kullanılarak yapılan karışımlardan daha düşük yayılma değerleri vermiştir. Bu durum, FK nem durumuna sahip agregalardan üretilen karışımların ISL karışımlarına kıyasla, başlangıçta daha yüksek karışım suyu ihtiva etmesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, N-FK karışımında deney esnasında segregasyon ve kuma gözlemlenmesinin yanında, bu agreganın şekilsel olarak beton için uygun olmayan yassı, uzun ve ince taneler ihtiva etmesi de karışımların işlenebilirliklerini olumsuz etkilediği kanaatine varılmıştır.

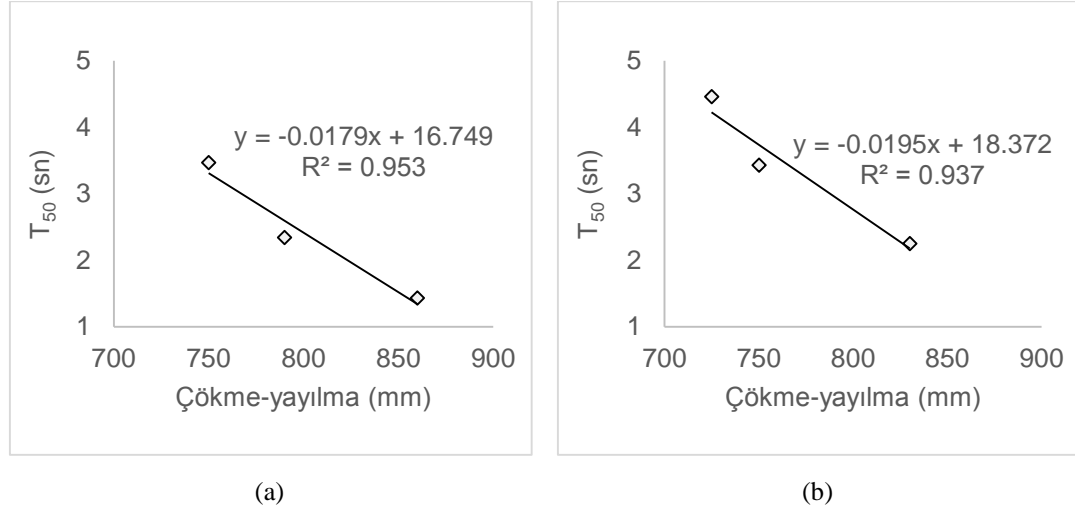
Şekil 4.5. karışımların T<sub>50</sub> süreleri

Şekil 4.5.'de görüldüğü gibi, FK ve ISL nem durumlarına sahip çakıllardan üretilen KYB karışımlarına ait T<sub>50</sub> değerleri EFNARC'da (EFNARC, 2005) belirtilen sınır değerlere genelde uymaktadır. Ancak, FK nem durumuna sahip nehir çakılından üretilen KYB karışımına ait T<sub>50</sub> değerinin EFNARC'ın belirlediği sınırın altında kalması, aynı şekilde nehir çakılıının su emmesinin düşük olmasına dayandırılabilir. Aynı zamanda, üretilen tüm KYB karışımlarında su miktarı sabit tutulması N-FK karışımında başlangıçtaki su miktarının ISL karışımına göre daha fazla olmasına sebep olmuştur.

Agregaların nem durumunun tamamen kuru durumundan ISL nem durumunun iki katına kadar olan aralıkta değiştirildiği karışımlarla yapılan başka bir çalışmada (Deshpande, 2006) benzer sonuçlar elde edilmiştir. Deshpande (2006) tarafından yapılan bu çalışmada, yukarıda belirtilen nem değişimi için çökme-yayılma değerlerinin düştüğü ve hatta T<sub>50</sub> değerlerinin daha büyük değişimler gösterdiği görülmüştür.

Bütün bunlara ilaveten, bazalt çakıllı karışımlarda, B-ISL ile B-FK çökme-yayılma farkı 25mm iken, kalker çakıllı karışımlarda K-ISL ile K-FK çökme-yayılma farkı 40mm olduğu görülmüştür. Bu bazalt çakılına ait su emme miktarının kalker çakılına ait su emme miktarından daha düşük olması sebebiyle, bazalt çakılından üretilen karışım suyunun FK ve ISL nem durumları için daha az değişkenlik göstermesine dayandırılabilir. Ayrıca, N-FK agregası ile üretilen karışımlara ait çökme-yayılma değerleri ile T<sub>50</sub> süreleri benzer şekilde EFNARC'ın belirlediği sınırlar

dışında kalmıştır. Bu da yürütülen deneysel çalışmalarda gösterilen hassasiyeti ortaya koymaktadır.



Şekil 4.6. Farklı nem durumuna sahip agregalarla üretilen KYB karışımlarına ait  $T_{50}$  süreleri ile çökme-yayımla değerleri arasındaki ilişki a) FK nem durumuna sahip agregalar b) ISL nem durumuna sahip agregalar

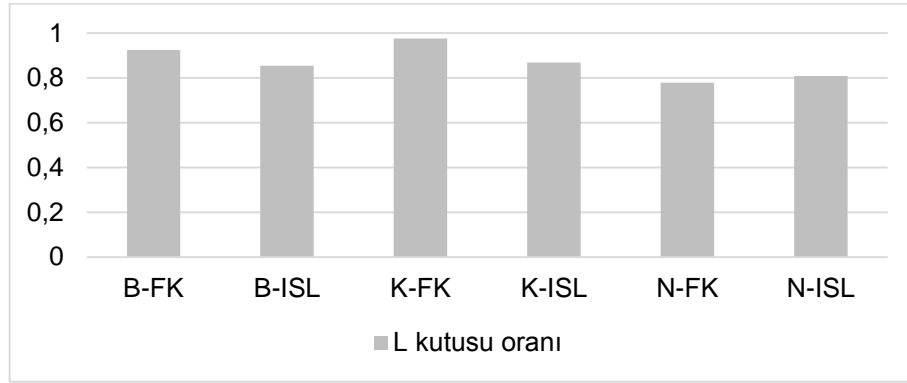
Şekil 4.6.a ve b’de bu çalışmadaki FK ve ISL nem durumuna sahip agregalarla üretilen KYB karışımlarına ait çökme-yayımla değerleri ve  $T_{50}$  süreleri karşılaştırılmıştır. Görüldüğü gibi, agregaların her iki nem durumu için de çökme-yayımla değerleri artarken,  $T_{50}$  süreleri azalma göstermektedir. Ayrıca bütün KYB karışımları için çökme-yayımla ve  $T_{50}$  süreleri arasındaki korelasyonun oldukça yüksek ( $R^2 > 0.90$ ) olmakla beraber, FK nem durumuna sahip agregalarla üretilen karışımlara ait çökme-yayımla ve  $T_{50}$  değerleri arasında daha iyi bir korelasyon ( $R^2 = 0.953$ ) olduğu görülmüştür.

#### 4.2.2. L-kutusu oranı

KYB karışımlarına ait seviyelenme ve engeller arasından geçebilme karakteristiklerini ölçmek amacıyla L-kutusu deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylere ait bulgular Şekil 4.7.’de verilmiştir.

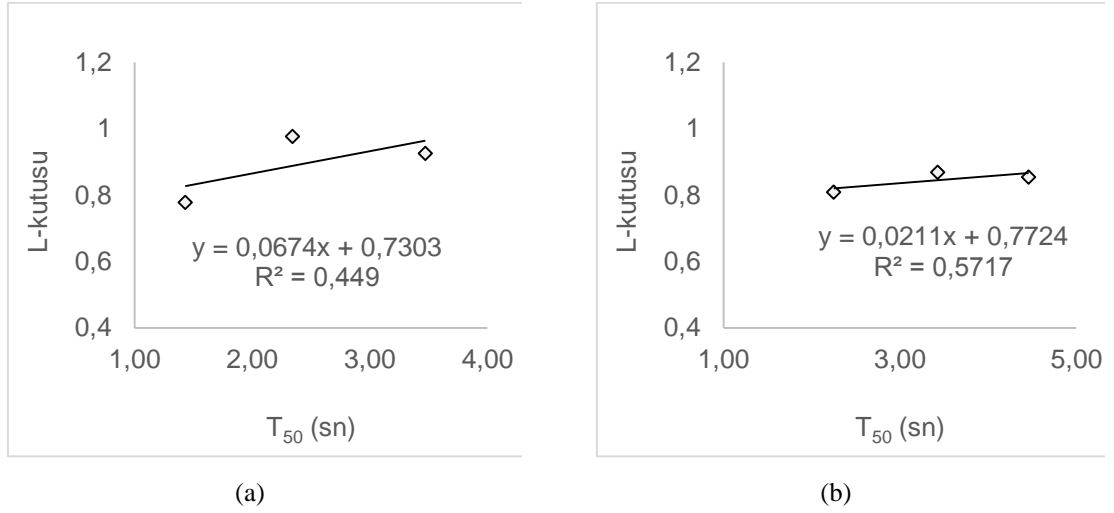
Şekil 4.7.’de görüldüğü gibi, FK ve ISL nem durumlarına sahip çakıllardan üretilen KYB karışımlarına ait L-kutusu değerleri EFNARC’da (EFNARC, 2005)

belirtilen sınır değerlere genelde uymaktadır. Bununla birlikte, FK nem durumuna sahip nehir çakılından üretilen KYB karışımına ait L-kutusu değerinin EFNARC'ın belirlediği sınırın altında kalması, yine nehir çakılının su emmesinin düşük olmasına dayandırılabilir. Çünkü üretilen tüm KYB karışımlarında su miktarının sabit tutulması, N-FK karışımında başlangıçtaki su miktarının ISL karışımına göre daha fazla olmasına sebep olmuştur. Dolayısıyla N-FK karışımında deney esnasında segregasyon ve kusmanın yanında, bu agreganın şekilsel olarak beton için uygun olmayan yassı, uzun ve ince tanelerden oluştuğu da gözlemlenmiştir. Bu da, N-FK karışımının donatılar arasından geçme kabiliyetinde azalmaya sebep olduğu tespit edilmiştir.

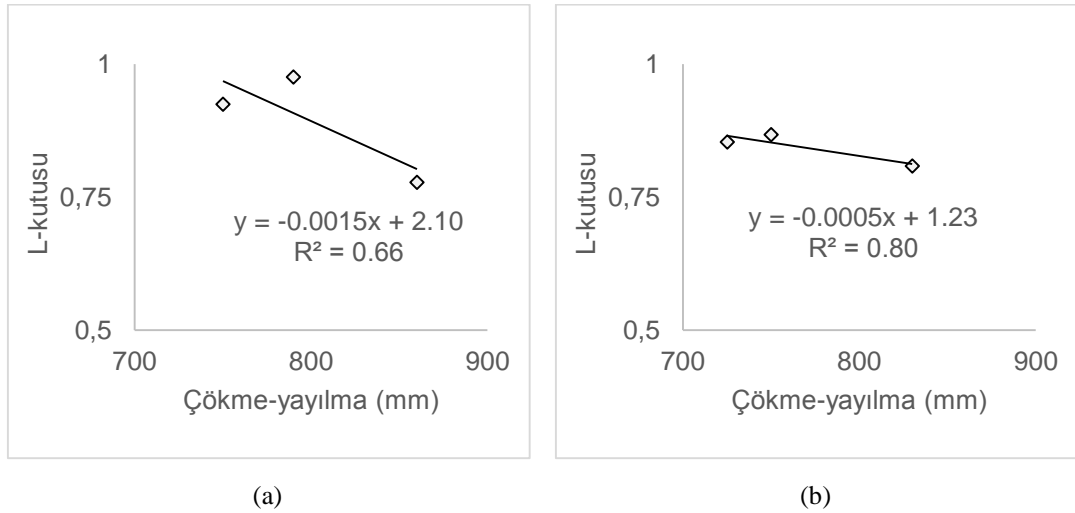


Şekil 4.7. Karışımların L-kutusu oranları

L-kutusu değerlerine dikkat edildiğinde, ISL nem durumuna sahip agregalar kullanılarak üretilen karışımlar, FK nem durumuna sahip agregalar kullanılarak üretilen karışımlardan genelde daha düşük L-kutusu değerleri vermiştir. Bu durum, FK nem durumuna sahip agregalardan üretilen karışımların ISL karışımlarına kıyasla, başlangıçta daha yüksek karışım suyu ihtiva etmesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.8. Farklı nem durumuna sahip agregalarla üretilen KYB karışımlarına ait  $T_{50}$  süreleri ile L-kutusu değerleri arasındaki ilişki a) FK nem durumuna sahip agregalar b) ISL nem durumuna sahip agregalar



Şekil 4.9. Farklı nem durumuna sahip agregalarla üretilen KYB karışımlarına ait L-kutusu ile çökme-yayıllma değerleri arasındaki ilişki a) FK nem durumuna sahip agregalar b) ISL nem durumuna sahip agregalar

Şekil 4.8. ve 4.9.'da bu çalışmadaki FK ve ISL nem durumuna sahip agregalarla üretilen KYB karışımlarına ait L-kutusu değerleri ile çökme-yayıllma ve  $T_{50}$  süreleri karşılaştırılmıştır. Görüldüğü gibi, agregaların her iki nem durumu için de L-kutusu ve  $T_{50}$  süreleri arasında düşük korelasyon görülürken, L kutusu ve çökme-yayıllma değerleri arasındaki korelasyonun özellikle ISL nem durumuna sahip agregalarla üretilen karışımlara ait L-kutusu ve çökme-yayıllma değerleri arasında kabul edilebilir düzeyde bir korelasyonun ( $R^2=0.80$ ) olduğu görülmüştür.

### 4.3. Sertleşmiş Beton Deneyleri Sonuçları ve Değerlendirilmesi

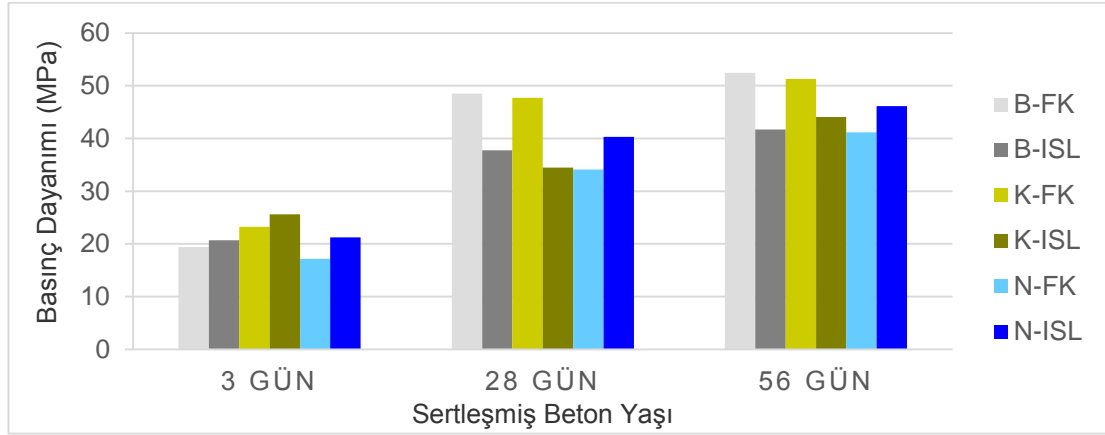
Üretilen KYB karışımlarının sertleşmiş özelliklerini belirlemek amacıyla üretilen beton numuneler üzerinde basınç, yarmada çekme, ultrases ve kapiler su emme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Tüm sertleşmiş beton özelliklerine ait deneylerde (basınç, yarmada çekme, ultrases ve kapiler su emme) her bir karışım tipi için 3'er 75x150mm boyutunda silindir numuneler kullanılmıştır. Üretilen beton numuneler basınç, yarmada çekme ve ultrases değerlerinin belirlenmesinde 3, 28 ve 56 günlük kür periyotları için test edilmiş olup, kılcal su emmenin belirlenmesinde sadece 56 günlük numuneler kullanılmıştır. Basınç, yarmada çekme, ultrases ve kılcal su emme deneylerine ait bulgular aşağıda sunulmuş ve gerekli irdelemeler yapılmıştır.

#### 4.3.1. Basınç dayanımı

Çizelge 4.2.'de farklı nem durumlarına sahip agregalarla üretilen KYB karışımlarına ait 3, 28 ve 56 günlük basınç, yarmada çekme ve ultrases değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.2. Karışımların Basınç, Yarmada çekme ve Ultrases deney sonuçları

Kar. Adı	Basınç (MPa)			Yarmada çekme (MPa)			Ultrases (m/s)		
	3	28	56	3	28	56	3	28	56
<b>B-FK</b>	19.38	48.49	52.43	2.31	4.39	5.21	4000.00	4740.00	4910.00
<b>B-ISL</b>	20.69	37.73	41.67	2.83	3.71	4.46	4150.00	4593.00	4600.00
<b>K-FK</b>	23.23	47.70	51.27	2.56	4.29	5.02	4260.00	4720.00	4790.00
<b>K-ISL</b>	25.63	34.45	44.07	3.37	4.19	4.59	4300.00	4560.00	4650.00
<b>N-FK</b>	17.17	35.10	42.17	2.46	3.70	4.78	3976.00	4390.00	4630.00
<b>N-ISL</b>	21.20	40.27	46.13	2.87	4.34	4.82	4030.00	4600.00	4705.00



Şekil 4.10. Basınç dayanımı sonuçları

Şekil 4.10 de görüldüğü gibi, farklı nem durumlarına sahip agregalardan üretilen KYB karışımlarına ait numunelerin 3 günlük basınç dayanımları üzerinde agregaların nem durumlarının önemli bir etkiye sahip olmadığı görülmektedir. Bununla birlikte su emmesi en yüksek olan kırma kalker çakılından üretilen KYB karışımlarına ait numunelerin 3 günlük basınç dayanım sonuçları en yüksek iken, su emmesi en düşük olan nehir çakılından üretilen numunelere ait basınç dayanım değerlerinin en düşük olduğu görülmektedir. Bu durum, üretilen tüm KYB karışımlarında su miktarının sabit tutulmasından dolayı su emmesi düşük olan nehir çakılıyla üretilen karışımların karışım suyu miktarının diğer karışımlara göre daha fazla olması sebebiyle iç yapıda artan kapiler boşluklardan kaynaklanmaktadır.

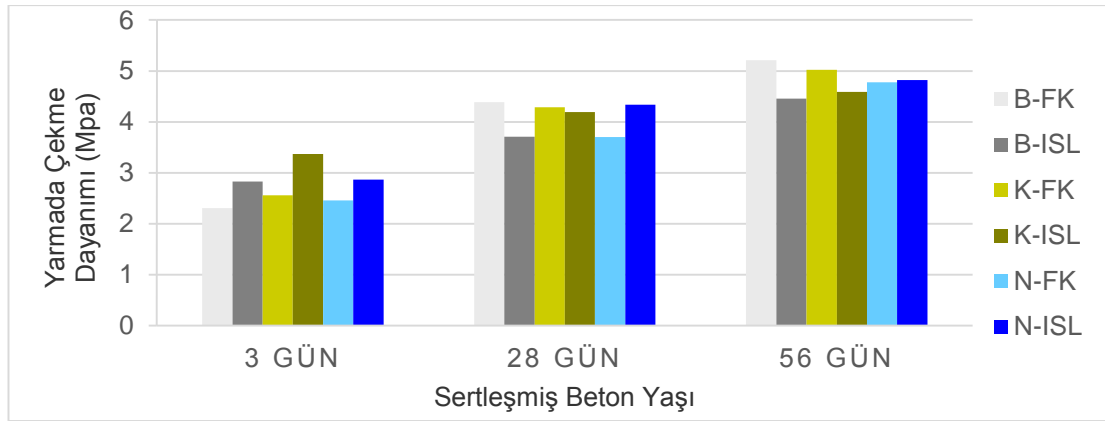
28 ve 56 günlük FK nem durumuna sahip agregalarla üretilen numunelerin basınç dayanımları irdelendiğinde, bazalt çakıllı KYB karışımlarına ait basınç dayanımı değerlerinin en yüksek olduğu ve bunu sırasıyla kalker çakıllı ve nehir çakıllı agregalarla üretilen KYB karışımlarına ait basınç dayanımı değerlerinin takip ettiği görülmektedir. Bu, agregaların su emme miktarlarına ve çimento hamuru-agrega ara yüzey durumuna dayandırılabilir. Çünkü köşeli ve yüzeyleri pürüzlü agregaların yuvarlak taneli olanlara göre çimento hamuru ile daha kuvvetli bağ oluşturduğu, agrega yüzeyinin gözenekli olması durumunda ise çimento tanelerinin bu bağ daha da kuvvetlendirdiği ifade edilmektedir. (Postacıoğlu, 1987; Çalışkan, 2003; Yeğinobalı, 1999). Bununla birlikte, ISL nem durumuna sahip agregalarla üretilen numunelerin 28 ve 56 günlük basınç dayanımları dikkate alındığında, nehir çakıllı KYB karışımlarına ait basınç dayanım değerlerinin en yüksek olduğu görülmektedir. Bu da karışım



suyundaki azalmayla birlikte nehir çakıllı KYB karışımlarının taze özelliklerinin (segregasyon ve kuma durumlarının) iyileşmesinden ve doğal olarak herhangi bir kırma işlemine tabi tutulmadan kullanılması sebebiyle iç yapıda kusurlar (kılcal çatlaklar) içermemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Ayrıca, Şekil 4.10.'de görüldüğü gibi, nehir çakıllı KYB karışımları dışında FK nem durumuna sahip agregalarla üretilen numunelerin basınç dayanımlarının 28 ve 56 günlük kür süreleri için ISL nem durumuna sahip agregalarla üretilen numunelerinkinden daha büyük olduğu görülmektedir. Bu ISL nem durumuna sahip agregaların yüzeyindeki su filminin agrega-çimento hamuru ara yüzeyini ve dolayısıyla aderansı kötüleştirdiğine dayandırılabilir. Bunlara ilaveten, bazalt ve kalkerin su emme miktarlarının nehir çakılına göre oldukça yüksek olması, FK ve ISL durumlardaki dayanım farklarını artırmaktadır. Dolayısıyla nehir çakılının su emmesinin düşük olması, FK ve ISL nem durumları için üretilen betonların basınç dayanımları arasındaki farkın azalmasına sebep olduğu görülmektedir.

#### 4.3.2. Yarmada çekme dayanımı



Şekil 4.11. Yarmada çekme dayanımı sonuçları

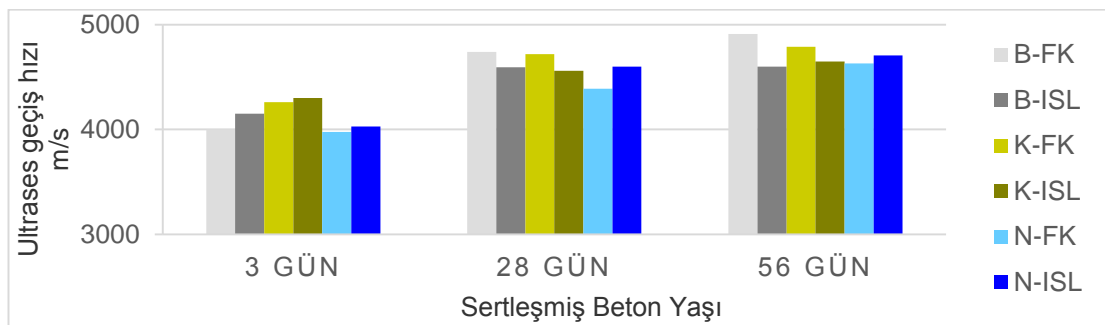
Şekil 4.11' de görüldüğü gibi, farklı nem durumlarına sahip agregalardan üretilen KYB karışımlarına ait numunelerin 3 günlük yarmada çekme dayanımları üzerinde agregaların nem durumları önemli bir etkiye sahip olmadığı görülmektedir. Bununla birlikte ISL nem durumuna sahip agregalarla üretilen KYB numuneleri tüm çakıl tipleri için daha yüksek çekme dayanımı göstermiştir. Bu FK nem durumundaki

agregalarla üretilen KYB'lerin karışım suyu miktarının ISL nem durumundaki agregalarla üretilen karışımlardakinden daha fazla olması sebebiyle iç yapıda artan kapiler boşluklardan kaynaklanmaktadır.

28 ve 56 günlük FK nem durumuna sahip agregalarla üretilen numunelerin çekme dayanımları irdelendiğinde, bazalt çakıllı KYB karışımlarına ait çekme dayanımı değerleri en yüksek iken nehir çakıllı agregalarla üretilen KYB karışımlarına ait çekme dayanımı değerlerinin en düşük olduğu görülmektedir. Bu durum, köşeli ve yüzeyleri pürüzlü agregaların yuvarlak taneli olanlara göre çimento hamuru ile daha kuvvetli bağ oluşturduğu, agrega yüzeyinin gözenekli olması durumunda ise çimento tanelerinin bu bağı daha da kuvvetlendirdiğine dayandırılabilir (Çalışkan, 2003).

Ayrıca, nehir çakıllı KYB karışımları dışında FK nem durumuna sahip agregalarla üretilen numunelerin çekme dayanımlarının 28 günlük kür süreleri için ISL nem durumuna sahip agregalarla üretilen numunelerinkinden daha büyük olduğu görülmektedir. Bu ISL nem durumuna sahip agregaların yüzeyindeki su filminin aderansı kötüleştirdiğine dayandırılabilir. Diğer taraftan, 56 günlük tüm KYB numunelerinin çekme dayanımlarının genelde birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.

#### 4.3.3. Rölatif ultrases hızı



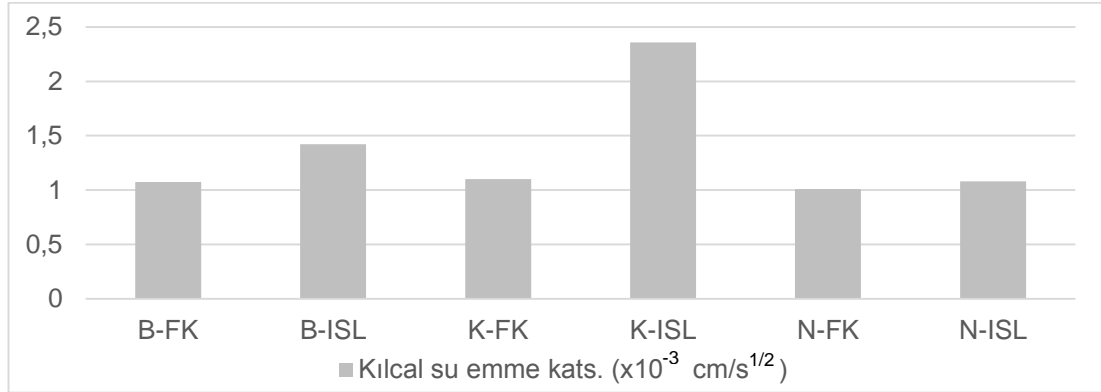
Şekil 4.12. Ultrases geçiş hızı test sonuçları

Şekil 4.12 de görüldüğü gibi, farklı nem durumlarına sahip agregalardan üretilen KYB karışımlarına ait numunelerin 3, 28 ve 56 günlük rölatif ultrases hızı değerlerinin basınç dayanım sonuçlarına paralellik gösterdiği görülmektedir. FK ve ISL nem

durumlarına sahip KYB numunelerinin 3 günlük nehir çakıllı karışımların ultrases hızı değerleri bazalt ve kalker çakıllı numunelerinkinden daha düşük iken, 28 ve 56 günlük KYB karışımlarına ait numunelerin rölatif ultrases hızı değerlerinin birbirine yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. 3 günlük nehir çakıllı KYB karışımlarının ultrases hızı değerlerinin düşük olması, nehir çakılıyla üretilen karışımların karışım suyu miktarının daha fazla olması sebebiyle iç yapıda artan kapiler boşluklardan kaynaklandığına dayandırılabilir. Ayrıca, 28 ve 56 günlük KYB karışım numunelerine ait ultrases değerleri arasındaki farkın az olması ise ileriki yaşlarda hidrasyon ürünlerinin (C-S-H jelleri ve CH) daha fazla miktarda gelişmesinden kaynaklanabilir.

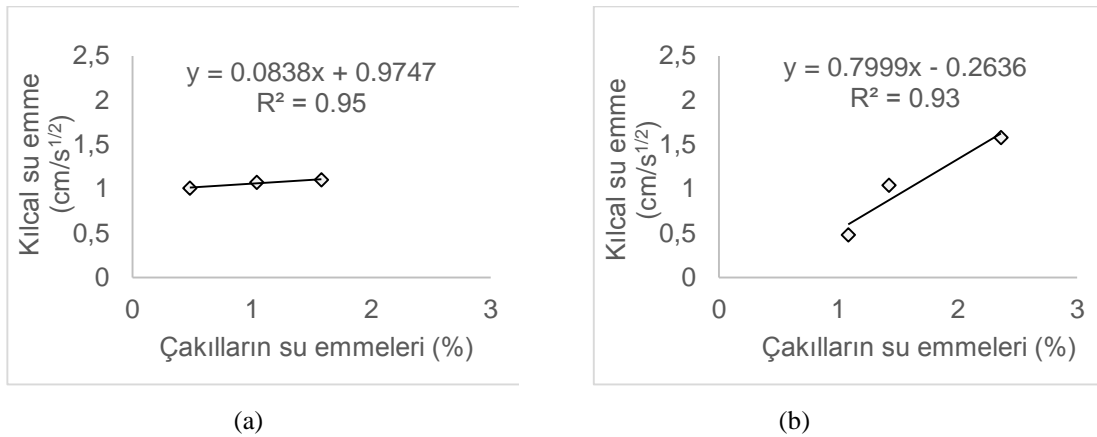
#### 4.3.3. Kılcal su emme

Şekil 4.13.'de farklı nem durumlarına sahip agregalardan üretilen KYB karışımlarına ait numunelerin 56 günlük kılcal su emme değerleri gösterilmektedir. Görüldüğü gibi, hem FK hem de ISL nem durumlarına sahip nehir çakıllı KYB karışımları genelde en düşük kılcal su emme katsayısına sahip iken, K-ISL numunelerine ait kılcal su emme katsayısının en yüksek olduğu görülmektedir. FK nem durumuna sahip agregalarla üretilen numunelerin kılcal su emmeleri irdelendiğinde, tüm çakıl tipleri için kılcal su emme katsayıları arasında önemli bir fark görülmez iken, bazalt çakıllı KYB numunelerinin nehir çakıllı KYB karışımlarından sonra en düşük kılcal su emme miktarına sahip olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte ISL nem durumu için yine nehir çakıllı KYB karışımlarına ait numunelerin kılcal su emme katsayılarının en düşük olduğu görülürken, ISL nem durumunda KYB karışımlarının kılcal su emme katsayıları arasındaki farkın önemli derecede arttığı gözlemlenmiştir. Kılcal su emme ile ilgili sonuçlar, bu çalışmadaki farklı nem durumlarına sahip agregalarla üretilen KYB numunelerine ait basınç ve çekme dayanımı sonuçlarını destekleyici niteliktedir.



Şekil 4.13. Karışımların kılcal su emme katsayıları

Şekil 4.14.'de görüldüğü gibi, FK ve ISL nem durumları için KYB numunelerinin kılcal su emme katsayıları ile KYB karışımlarında kullanılan çakılların su emmeleri arasında çok iyi bir ilişki ( $R^2 > 0.90$ ) olduğu tespit edilmiştir.



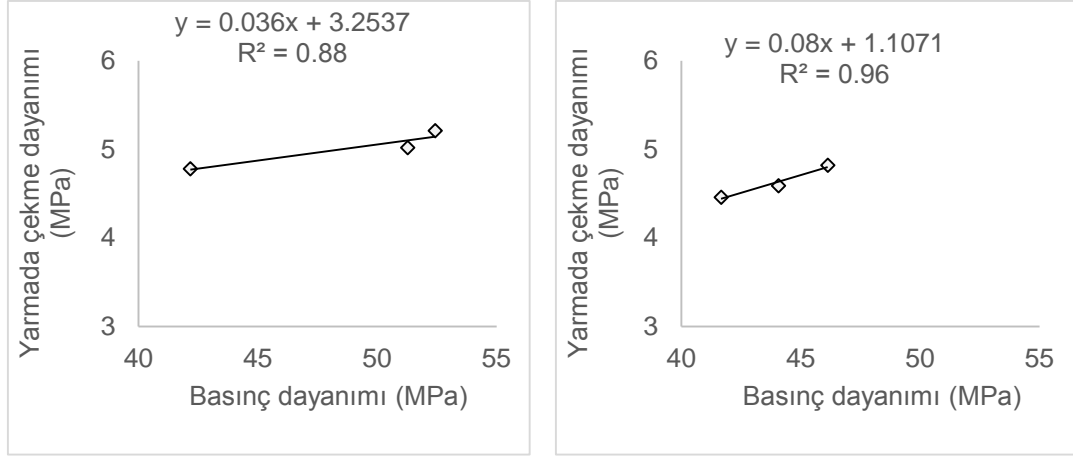
Şekil 4.14. Farklı nem durumuna sahip agregalarla üretilen KYB karışımlarına ait yarmada çekme dayanımı ile kılcal su emme değerleri arasındaki ilişki a) FK nem durumuna sahip agregalar b) ISL nem durumuna sahip agregalar

#### 4.4. Sertleşmiş Beton Özelliklerinin Karşılaştırılması

##### 4.4.1. Basınç dayanımı ile yarmada çekme ve rölatif ultrases hızı değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.15.a ve b'de basınç ile çekme dayanımı arasındaki ilişki gösterilmektedir. Burada hem FK hem de ISL nem durumuna sahip agregalarla üretilen KYB numunelerinin basınç ve çekme dayanımları arasında iyi bir ilişki

görülürken, en iyi korelasyonun ISL nem durumundaki agregalarla üretilen KYB numunelerinin dayanım değerleri arasında olduğu tespit edilmiştir.

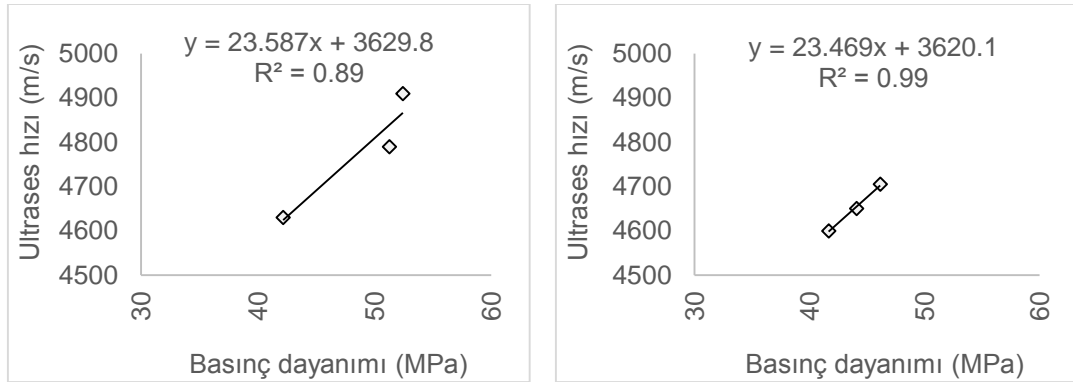


(a)

(b)

Şekil 4.15. Farklı nem durumuna sahip agregalarla üretilen KYB karışımlarına ait yarmada çekme dayanımı ile kılcal su emme değerleri arasındaki ilişki a) FK nem durumuna sahip agregalar b) ISL nem durumuna sahip agregalar

Basınç dayanımı ve ultrases hızı değerleri arasındaki korelasyon irdelendiğinde, basınç dayanım değerleri artarken, ultrases hızı değerlerinin de arttığı görülmektedir. Ayrıca her iki nem durumuna sahip agregalarla üretilen KYB karışımlarının basınç ve ultrases hızı değerleri arasında iyi bir korelasyon olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.16.a ve b).



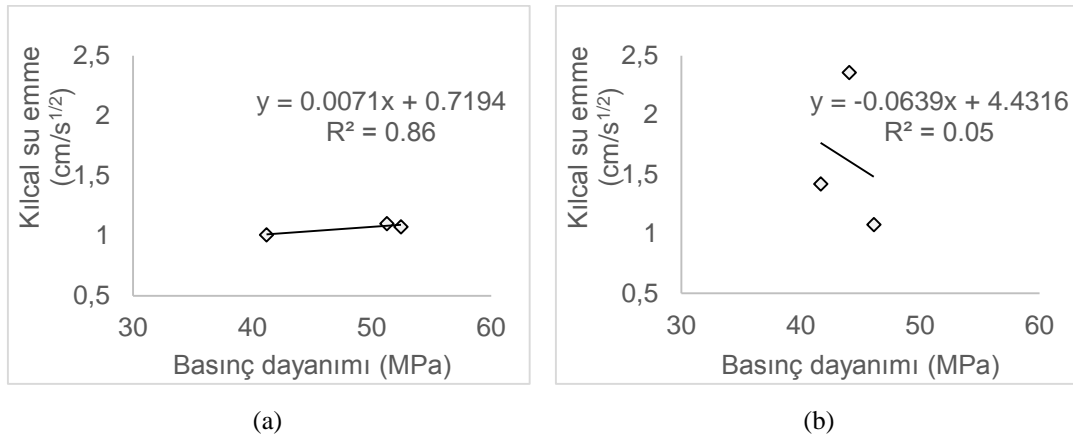
(a)

(b)

Şekil 4.16. Farklı nem durumuna sahip agregalarla üretilen KYB karışımlarına basınç dayanımı ile ultrases hızı değerleri arasındaki ilişki a) FK nem durumuna sahip agregalar b) ISL nem durumuna sahip agregalar

#### 4.4.2. Basınç dayanımı ile kılcal su emme arasındaki ilişki

Şekil 4.17. a ve b’de görüldüğü gibi, FK nem durumuna sahip agregalarla üretilen KYB karışımlarının basınç dayanımı ve kılcal su emme katsayısı değerleri arasında iyi bir korelasyon ( $R^2=0.86$ ) görülürken, ISL nem durumuna sahip agregalardan üretilen KYB karışımlarına ait numunelerinde çok kötü bir korelasyon ( $R^2=0.05$ ) tespit edilmiştir. Bu durum K-ISL numunelerinin kılcal su emme değerlerinin diğer ISL nem durumuna sahip agregalarla üretilen KYB karışımlarına kıyasla oldukça yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.17. Farklı nem durumuna sahip agregalarla üretilen KYB karışımlarına ait basınç dayanımı ile kılcal su emme değerleri arasındaki ilişki a) FK nem durumuna sahip agregalar b) ISL nem durumuna sahip agregalar

Sertleşmiş özellikler ile ilgili bulgular karşılaştırmalı olarak Çizelge 4.3.’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Farklı nem durumuna sahip agregalarla üretilen KYB karışımlarının mühendislik özelliklerinin arasındaki bağıntılara ait bulgular

Özellik	Nem Durumu	Denklem	R <sup>2</sup>
Agregaların su emmesi – Kılcal su emme	FK	$y = 0.838x + 0.9747$	0.95
	ISL	$y = 0.7999x - 0.2636$	0.93
Basınç dayanımı – Çekme dayanımı	FK	$y = 0.036x + 3.2537$	0.88
	ISL	$y = 0.08x + 1.1071$	0.96
Basınç dayanımı – Ultrases hızı	FK	$y = 23.587x + 3629.8$	0.89
	ISL	$y = 23.469x + 3620.1$	0.99
Basınç dayanımı – Kılcal su emme	FK	$y = 0.0071x + 0.7194$	0.86
	ISL	$y = -0.0639x + 4.4316$	0.05

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

### 5.1. Sonuçlar

1. KYB karışımlarına ait işlenebilirlik değerlerinin genelde EFNARC sınır değerlerini sağladığı görülmüştür.
2. Nehir çakılı dışında KYB üretiminde kullanılan tüm çakılların su emme miktarları esas alındığında, su emme miktarı düşük olan çakıllarla üretilen karışımlara ait işlenebilirlik değerlerinde FK nem durumu için elde edilen işlenebilirlik değerleri, ISL nem durumu için elde edilen işlenebilirlik değerlerine kıyasla, daha az fark gösterdiği tespit edilmiştir.
3. Bütün KYB karışımları için çökme-yayılma ve  $T_{50}$  süreleri arasındaki korelasyonun oldukça yüksek ( $R^2 > 0.90$ ) olmasıyla beraber, FK nem durumuna sahip agregalarla üretilen karışımlarınkinde daha iyi bir korelasyon ( $R^2 = 0.953$ ) olduğu görülmüştür. Ayrıca, ISL nem durumuna sahip agregalarla üretilen karışımlara ait L-kutusu ve çökme-yayılma değerleri arasında kabul edilebilir düzeyde bir korelasyonun ( $R^2 = 0.80$ ) olduğu tespit edilmiştir.
4. 3 günlük basınç dayanımları üzerinde agregaların nem durumlarının önemli bir etkiye sahip olmadığı görülürken, 28 ve 56 günlük FK nem durumuna sahip agregalarla üretilen numunelerin basınç dayanımları incelendiğinde, basınç dayanımı değerlerinin en yüksek ve en düşük sonuçlarının sırasıyla bazalt ve nehir çakılı KYB karışımlardan elde edildiği görülmüştür.
5. ISL nem durumuna sahip agregalarla üretilen numunelerin 28 ve 56 günlük basınç dayanımları dikkate alındığında, nehir çakılı KYB karışımlarına ait basınç dayanım değerlerinin en yüksek olduğu görülmüştür. Bu da nehir çakılı karışım suyundaki azalmayla birlikte nehir çakılı KYB karışımlarının taze özelliklerinin (segregasyon ve kuma durumlarının)

iyileşmesinden ve doğal olarak herhangi bir kırma işlemine tabi tutulmadan kullanılması sebebiyle iç yapıda kusurlar (kılcal çatlaklar) içermemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

6. Nehir çakıllı KYB karışımları dışında FK nem durumuna sahip agregalarla üretilen numunelerin basınç dayanımlarının 28 ve 56 günlük kür süreleri için ISL nem durumuna sahip agregalarla üretilen numunelerinkinden daha büyük olduğu görülmüştür. Bunun ISL nem durumuna sahip agregaların yüzeyindeki su filminin agrega-çimento hamuru ara yüzeyini ve dolayısıyla aderansı kötüleştirdiği düşünülmektedir. Ayrıca, bazalt ve kalkerin su emme miktarlarının nehir çakılının su emmesine göre oldukça yüksek olması FK ve ISL durumlardaki dayanım farklarını artırmıştır.
7. 28 ve 56 günlük FK nem durumuna sahip agregalarla üretilen numunelerin çekme dayanımlarına bakıldığında, bazalt çakıllı KYB karışımlarına ait çekme dayanımı değerleri en yüksek iken nehir çakıllı karışımlarının en düşük olduğu görülmüştür. Bu durum, köşeli ve yüzeyleri pürüzlü agregaların yuvarlak taneli olanlara göre çimento hamuru ile daha kuvvetli bağ oluşturduğu ve agrega yüzeyinin gözenekli olması durumunda ise çimento tanelerinin bu bağ daha da kuvvetlendirdiğine dayandırılabilir.
8. KYB karışım numunelerine ait 28 ve 56 günlük ultrases değerleri arasındaki fark az iken, 3 günlük nehir çakıllı KYB karışımlarının ultrases hızı değerlerinin düşük olduğu görülmüştür. Bu ileriki yaşlarda hidrasyon ürünlerinin (C-S-H jelleri ve CH) daha fazla miktarda gelişmesine dayandırılabilir.
9. Her iki nem durum için nehir çakıllı KYB karışımları genelde en düşük kılcal su emme katsayısına sahip iken, K-ISL numunelerine ait kılcal su emme katsayısının en yüksek olduğu görülmüştür.



10. Her iki nem durumuna sahip agregalı karışımların basınç ve ultrases hızı değerleri arasında iyi bir korelasyon olduğu görülürken, ISL nem durumundaki agregalarla üretilen KYB numunelerinin dayanım değerleri arasında en iyi korelasyonun olduğu tespit edilmiştir.
11. Hem FK hem de ISL nem durumları için KYB numunelerinin kılcal su emme katsayıları ile KYB karışımlarında kullanılan çakılların su emmeleri arasında çok iyi bir ilişki ( $R^2 > 0.90$ ) olduğu tespit edilmiştir.
12. FK nem durumuna sahip agregalarla üretilen KYB karışımlarının basınç dayanımı ve kılcal su emme katsayısı değerleri arasında iyi bir korelasyon ( $R^2 = 0.86$ ) olduğu bulunmuştur.

## 5.2. Öneriler

Karışım suyunun su emmesi en düşük agregaya göre belirlenmesi sonucu yapılacak bir çalışma daha ilginç sonuçlar elde edilebilir. Ayrıca karışımlarda priz geciktirici kullanarak daha kapsamlı bir çalışma yapılabilir.

## KAYNAKLAR

- ALHOZAIMY, A., 2009. Effect of Absorption of Limestone Aggregates on Strength and Slump Loss of Concrete. *Journal of Cement and Concrete Composites*, 31: 470-473.
- BEYAZIT, Ö.L., 1988. Beton ve Deneylemleri, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Yayınları. DSİ Matbaası, s. 46–60.
- BILLBERG, P., 1999. Self-compacting concrete for civil engineering structures. Swedish Experience, Summary, CBI report/report 2:99.
- BOUZOUBAA, N., LACHEMI, M., 2001. Self-compacting concrete incorporating high volumes of class F fly ash Preliminary results, *Cem. Concr. Res.*, 31: 413-420.
- BUI, V.K., MONTGOMERY, D., HINCZAK, I., TURNER, K., 2002. Rapid testing method for segregation resistance of self-compacting concrete. *Cement and Concrete Research*, 32(9): 1489–1496
- CONSTANTINER, D., DACZKO, J.A., 2002. Not All Applications are Created Equal; Selecting the Appropriate SCC Performance Targets. First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, s. 179-184.
- ÇALIŞKAN, S., 2003. Agregâ Cinsi ve Tane boyunun Ara yüzey Aderans Dayanımına Etkisi. *Çimento ve Beton Dünyası*, Ankara, 41: s. 65-66.
- DANZINGER, M.W., SAITOH, K., JOST, P., 2002. Self-Consolidating Concrete: Key Learning and Their Effects on Current Applications. First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, s. 417-422.
- DEKELBAB, W., 2002. Particle Packing Using Computational and Experimental Simulation. Doctor of Philosophy, Wayne State University Detroit Michigan.
- DESHPANDE, Y. S., 2006. Development of Rapid-Setting Self-Compacting Concrete to Production Variabilities, Purdue University.
- EFNARC, 2002. Specification and Guidelines of SCC. The European Federation for Specialist Construction Chemicals, 32 s.
- EFNARC, 2005. European Guidelines for Self-Compacting Concrete, Specification and Production and Use. The European Federation for Specialist Construction Chemicals, 63 s.
- ERDOĞAN, Y. T., 2003. Beton. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, Ankara, 741 s.
- FELEKOĞLU, B., 2003. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. DEÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 219 s.
- FULLER, W. B., E. THOMPSON, (1907). The laws of Proportioning Concrete. *ASCE Transactions LIX*: s. 67-118.
- G. De SCHUTTER, 2005. Guidelines for Testing Fresh Self Compacting Concrete. European Research Project: Measurement of Properties of Fresh Self-Compacting Concrete, 24s.
- GLAVIND, M., PEDERSEN, E. J., 1999. Packing Calculations Applied For Concrete, Mix Design. Proceedings Creating with Concrete, May 1999, University of Dundee.
- GÜROL, G., 1999. Ekonomik beton için beton bileşenleri çimento/su/ince ve kaba

- agrega/kimyasal ve mineral katkıları. *Dizayn ve Konstrüksiyon Dergisi*, 1999/164: s. 66–74.
- HIGUCHI, M., 1998. State of the Art Report on Manufacturing of Self-Compacting Concrete. *Proceedings of the International Workshop on Self-Compacting Concrete*, Kochi, Japan, s.360-367.
- HO, D.W.S., SHEINN, A.M.M., NG, C.C., TAM, C.T., 2002. The use of quarry dust for SCC applications. *Cem. Concr. Res.*, 32: 505-511.
- JIANXIONG, C., XINCHENG, P., YUBIN, H., 1999. A study of self-compacting HPC with superfine sand and pozzolanic additives. *Proceedings of the First International RILEM Symposium*, Edited by A.Skarendahl and Ö. Petersson, s. 549-560.
- KANDEMİR, A., 2005. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Kalıcılık Özelliklerinin İncelenmesi. Dokuz Eylül, Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 177s.
- KHAYAT, K.H., DACZKO, J.A., 2002. The Holsitic Approach to Self-Consolidating Concrete. *First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete*, s. 3-8.
- KILINÇ, C., 2007. Katkı Dozajı ve Taze Beton Sıcaklığının Kendiliğinden Yerleşen Beton Özelliklerine Etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 92s.
- KOCATAŞKIN, F., 1991. Yüksek Dayanımlı Beton. *Betonun Dünü Bugünü Yarını*, 2. Ulusal Beton Kongresi, Kardeşler Matbaası, (TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası ) s. 23-42.
- MALHOTRA, V. M. and CARETTE, G. G., 1983. Silica Fume Concrete-Properties. Applications. and Limitations, *Concrete International*, ACI, s. 40–46.
- MINDESS, S., YOUNG, F. J., 1981. *Concrete*. Prentice-Hall, New Jersey.
- MORI, H., TANIGAWA, Y., WAKABYASHI, S., and YOSHIKANE, T., 1996. Effect of Characteristics of Aggregate on Properties of High-Fluidity Concrete. *Transactions of the Japan Concrete Institute*, 18: 53-60.
- NISHIZAKI, T., KAMADA, F., CHIKAMATSU, R., and KAWASHIMA, H., 1999. Application of High-Strength Self-Compacting Concrete to Prestressed Concrete Outer Tank for LNG Storage. *Proceedings of the First International Rilem Symposium on Self-Compacting Concrete*, Stockholm, Sweden, s.629-638.
- OKAMURA, H., 1997. Self-compacting high performance concrete. *Concrete International*,19(7): 50–54.
- OUCHI, M., 1999, Self-compacting concrete – Development, applications and Investigations. *Nordic Concrete Research Committee Publications*, 5 s.
- OZAWA, K., MAEKAWA, K. and KUNISHIMA M., OKAMURA H., 1989. Devolopment of high performance concrete based on the durability design of concrete structures. In *Proceedings of the Second East-Asia and Pasific Conference on Structural Engineering and Construction 1*, s. 445-450.
- ÖZKUL, M. H., 2002. Beton Teknolojisinde bir devrim: Kendiliğinden Yerleşen – Sıkışan Beton., *THBB Hazır Beton Dergisi*, 52:64-71.
- POSTACIOĞLU, B., 1987. Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton. *Matbaa Teknisyenleri Basımevi*, İstanbul, II: s. 211,323.

- ROLS, S., AMBROISE, J., PERA, J., 1999. Effect of different viscosity agents on the properties of self-leveling concrete. *Cement and Concrete Research*, 29: 261-266.
- SAFAWI, MI., IWAKI, I., MIURA, T., 2004. The segregation tendency in the vibration of high fluidity concrete. *Cement and Concrete Research*, 34: 219-226.
- SAĞLAM, A.R., 2000. Süperakışkanlaştırıcı ve viskozite arttırıcı katkıların kendiliğinden yerleşen beton özelliklerine etkisi. *Sika Teknik Bülten*, 2000/4, s. 9-16.
- SAKAI, G., SHGEMATSU, K., YURUGI, M., and SAKATA, N., 1994. Flow Stabilizing Properties of Special Viscosity Agent. *The 37th Japan Congress on Materials Research*.
- SEMİOLİ, W. J., 2001. Self-Placing Concrete. *Concrete International*, 23(12): 69-72.
- SKARP, U., ENGSTRAND, J., JANSSON, I., 2002. A Concept for Enhancing Early Strength Development in Self-Consolidating and Normal Concrete by Means of Increased Stability and Homogeneity. *First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete*, s. 363-370.
- SU, N., HSU, K. C., CHAI, H. W., 2001. A Simple Mix Design of Self-Compacting Concrete. *Cement Concrete Research*, 31:1799-1807.
- TANDIRLI, E., AKALIN, Ö., ARCA, E., 2000. The effect of melamine based superplasticizers on the properties of concrete. *Second International Symposium on Cement and Conc. Tech. in the 2000s*, 1, Istanbul, Turkey, s. 453-462.
- TETİK, A. S., 2005. *Kendiliğinden Yerleşen Beton*, Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Lisans Tezi, Ankara, 65s.
- TS EN 12390-6: Beton-Sertleşmiş Beton Deneylemi, 2002. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 8s.
- TS 706 EN 12620 - Beton Agregaları, 2003. Turk Standartları Enstitusu, Ankara, 2003, 40 s.
- USHIJIMA, S., HARADA, K., and TANIGUCHI, H., 1995. *Fundamental Study in the Practical Use of High Performance Concrete*. Concrete Under Severe Conditions, E& FN SPON.
- WANG, Z., 2012. "The Effects of Aggregate Moisture Conditions on Rheological Behaviors of High-Workability Mortar Prepared With Fine Recycled-Concrete Aggregate". *Texas State University, ENSTİTÜ, Yüksek Lisans Tezi*, Texas, s. 56-67.
- YAHIA, A., TANIMURA, M., SHIMABUKURO, A., SHIMOYAMA, Y., 1999. Effect of rheological parameters on self compactability of concrete containing various mineral admixtures. *Proceedings of the First International RILEM Symposium*. Edited by A.Skarendahl and Ö. Petersson, s. 523-536.
- YAMADA, K., TAKAHASHI, T., HANEHARA, S., MATSUHISA, M., 2000. Effects of the chemical structure on the properties of polycarboxylate-type superplasticizer. *Cem. Concr. Res.*, 30: 197-207.
- YEĞİNOBALI, A., 1999. *Betonun İç Yapısı*. Türkiye Çimento Mustahsilleri Birliği Notları, Ankara, 3.
- YENİGÜN, İ., 2009. *Harran Ovası Derin Akiferinin Bazı Su Kalitesi Parametrelerinin Belirlenmesi*, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 102s.

YOSHIOKA, K., TAZAWA, E.-I., KAWAI, K., ENOHATA, T., 2000. Adsorption characteristics of superplasticizers on cement component minerals. *Cem. Concr. Res.*, 32: 1507–1513.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Bilal ÇELİK  
Uyruğu: T.C.  
Doğum Yeri ve Tarihi: Bingöl / 20.01.1985  
Telefon: (414) 316 72 70  
Faks: (414) 316 72 71  
e-mail: bilal.celik@hotmail.com

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise:	S.D.A.L. / Ankara	2003
Üniversite	Harran Üni. / Ş. Urfa	2009
Yüksek Lisans	Harran Üni. / Ş. Urfa	Devam Ediyor

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2008-2009	GÜRBAĞ A.Ş.	Proje Mühendisi
2009-2010	GÜRBAĞ A.Ş.	Proje Müdürü
2011-2013	Harran Üni.	Arş. Gör.

Halen kurucusu olduğu ÇELİKBEY İnşaat Ltd. Şti. 'de çeşitli mühendislik projeleri yapım ve uygulama işlerini yürütmektedir.

Yabancı Diller: İngilizce