

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

**FARKLI İRİ AGREGA İÇERİĞİNİN KENDİLİĞİNDEN
YERLEŞEN BETONLARIN YÜZEY AŞINMA
DİRENCİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. İbrahim ATLI

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : YAPI MALZEMESİ
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Mücteba UYSAL

Temmuz 2012

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI İRİ AGREGA İÇERİĞİNİN KENDİLİĞİNDEN
YERLEŞEN BETONLARIN YÜZEY AŞINMA
DİRENCİNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ


İnş. Müh. İbrahim ATLI


Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : YAPI MALZEMESİ

Bu tez 17/07/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr.
Kemalettin YILMAZ
Jüri Başkanı


Yrd. Doç. Dr.
Mücteba UYSAL
Üye


Yrd. Doç. Dr.
Metin İPEK
Üye

ÖNSÖZ

Yapılan bu tez çalışmasında doğada atık ya da yan ürün olarak depolanan malzemeleri kullanarak KYB'lerin üretimi amaçlanmış ve inşaat mühendisliği uygulamalarında çığır açan bu betonların ülkemizde daha yaygın kullanılmasına yönelik katkı sağlanmaya çalışılmıştır.

Yüksek lisans öğrenimimin son aşaması olan bu çalışmanın hazırlanmasında her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen, değerli düşünceleri ile beni doğruya yönlendiren danışmanım Yrd. Doç. Dr. Mücteba UYSAL gönülden teşekkürlerimi arz ederim.

Bölümümüz Yapı Malzemesi Laboratuvarında gerçekleştirdiğim deneylerin yapılmasında desteğini hissettiğim, birlikte çalışmaktan mutluluk duyduğum Sayın Yrd. Doç. Dr. Mensur SÜMER'e ve laboratuvarımızın değerli personeline teşekkürü bir borç bilirim.

Gerek malzemelerin temini ve gerekse deneylerin yapılması sırasında her zaman yanımda olan ve yardımlarını eksik etmeyen başta İnci Beton Santrali ve Oyak Sakarya Beton Santrali yetkilileri ve çalışanlarına, ayrıca Akçansa Büyükçekmece Çimento Fabrikası ve Nuh Çimento Fabrikası yetkililerine teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca yüksek lisans tezimin başından sonuna kadar beni gönülden destekleyen değerli eşime ve öğrenimim boyunca büyük fedakarlıklarda bulunan aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY.....	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON.....	4
2.1. KYB'lerin Tarihsel Gelişimi	5
2.2. KYB'lerin Kullanım Alanları.....	6
2.3. KYB'lerin Beton Teknolojisine Kazandırdığı Özellikler.....	10
2.4. Tasarım Yöntemleri.....	11
2.5. Karışımda Kullanılan Malzemeler ve KYB'lere Etkileri.....	14
2.5.1. Çimento.....	15
2.5.2. Agregalar.....	16
2.5.3. Su.....	17
2.5.4. Kimyasal katkılar.....	17
2.5.4.1. Süperakışkanlaştırıcı katkılar.....	17
2.5.5. Mineral katkılar.....	18
2.5.5.1. Uçucu kül	18
2.6. Kendiliğinden Yerleşen Taze Beton Özellikleri.....	21
2.6.1. İşlenebilirlik.....	21

2.6.1.1. Doldurma yeteneği.....	22
2.6.1.2. Geçiş yeteneği.....	22
2.6.1.3. Ayrışmaya karşı direnç.....	23
2.6.2. Taze beton deney yöntemleri.....	24
2.6.2.1. Çökme-yayılma (slump-flow) deneyi.....	25
2.6.2.2. V-hunisi deneyi.....	27
2.7. KYB'nin Mekanik Özellikleri.....	27
2.8. Aşınma Direnci	28
BÖLÜM 3.	29
DENEYSEL ÇALIşMALAR.....	29
3.1. Deneylerde kullanılan malzemeler.....	29
3.2. Deney numunelerinin üretimi.....	33
3.3. Deney yöntemleri.....	34
3.3.1. Taze beton deneyleri.....	34
3.3.1.1. Çökme-yayılma (slump-flow) deneyi.....	34
3.3.1.2. V-hunisi deneyi.....	35
3.3.2. Sertleşmiş beton deneyleri.....	35
3.3.2.1. Basınç dayanımı deneyi.....	35
3.3.2.2. Ultrases geçiş hızı deneyi.....	35
3.3.2.3. Statik ve dinamik elastisite modülü deneyleri....	36
3.3.2.4. Aşınma direnci deneyi.....	37
BÖLÜM 4.	39
DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	39
4.1. Taze Beton Deney Sonuçları ve değerlendirilmesi.....	39
4.2. Sertleşmiş beton deney sonuçları ve değerlendirilmesi.....	42
4.2.1. Mekanik özellikler deney sonuçları ve değerlendirilmesi....	42
4.2.1.1. Basınç dayanımı sonuçları ve değerlendirilmesi....	42
4.2.1.2. Aşınma deney sonuçları ve değerlendirilmesi.....	43
4.2.1.3. Ultrases geçiş hızı deneyleri ve değerlendirilmesi	44
4.2.1.4. Statik ve dinamik elastisite modülü deneyleri ve değerlendirilmesi.....	46
4.3. Sonuçlar.....	47

KAYNAKLAR.....	49
ÖZGEÇMİŞ.....	52

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ACI	: Amerikan beton enstitüsü
Al_2O_3	: Aluminyum oksit
ASTM	: Amerikan standardı
BSE	: Back scattered electron mikroskobu
BT	: Bazalt tozu
$CaCO_3$: Kalsiyum karbonat
CaO	: Kalsiyum oksit
$Ca(OH)_2$: Kalsiyum hidroksit
$Ca(SO_4)$: Kalsiyum sülfat
CEB	: İsviçre standardı
CEM	: Avrupada çimento türlerine verilen genel ad
C-S-H	: Kalsiyum silika hidrate
C_3A	: Tri kalsiyum alüminat
C_3S	: Tri kalsiyum silikat
Ç	: Çimento
D_{max}	: Maksimum tane çapı
DIN	: Alman standardı
DZ	: Doğal zeolit
E	: Elastisite modülü
Fe_2O_3	: Demir oksit
GYFC	: Granüle yüksek fırın cürufu
KT	: Kalker tozu
KYB	:Kendiliğinden yerleşen beton
K_2O	: Potasyum oksit
MgO	: Magnezyum oksit
$Mg(OH)_2$: Brüsit
$MgSO_4$: Magnezyum sülfat

MnO	: Mangan oksit
MT	: Mermer tozu
NaCl	: Sodyum klorür
NaOH	: Sodyum hidroksit
NaSO ₄	: Sodyum sülfat
Na ₂ O	: Sodyum oksit
NS	: Norveç standardı
PZÇ	: Puzolanik çimento
S	: Su
S	: Kükürt
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
SF	: Slump akışı
SiO ₂	: Silisyum oksit
T	: Ses üstü dalğanın numunenin içinden geçiş süresi
TÇ	: Traslı çimento
TS	: Türk standardı
T ₅₀	: Taze betonun 50 cm'lik çapa ulaşma süresi
UK	: Uçucu kül
V	: Ses üstü dalga hızı
VDK	: Viskozite düzenleyici katkı
VS	: Viskozite sınıfı
YDB	: Yüksek dayanımlı beton
YPB	: Yüksek performanslı beton
Δ	: Numune birim ağırlığı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Prefabrike beton üretiminde KYB uygulamaları.....	7
Şekil 2.2.	KYB ile betonarme manto uygulamaları.....	8
Şekil 2.3.	Kendiliğinden yerleşen beton uygulamaları.....	9
Şekil 2.4.	Kimyasal katkıların geçmişten günümüze gelişimi.....	18
Şekil 2.5.	Agregaların kemerlenme oluşturma mekanizması.....	23
Şekil 2.6.	Çökme-yayılma deney aparatı.....	26
Şekil 2.7.	Çökme-yayılma deneyi yapılışı.....	27
Şekil 2.8.	V- hunisi deney aparatı.....	27
Şekil 2.9.	V hunisi deney aparatı ölçüleri.....	27
Şekil 3.1.	Statik elastisite modülü deneyi ve ölçüm çerçevesi.....	37
Şekil 3.2.	Aşınma Test aparatı.....	38
Şekil 4.1.	KYB Karışımının çökme-yayılma ve T50 deney sonuçları.....	40
Şekil 4.2.	KYB karışımlarının V- hunisi deney sonuçları	41
Şekil 4.3.	Basınç dayanımı deney sonuçları	43
Şekil 4.4.	Statik ve dinamik elastisite modülü	47

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Betonun reolojik özellikleri.....	15
Tablo 2.2.	Deney yöntemleri ve kabul edilebilir limit değerler.....	26
Tablo 3.1.	CEM II/A-M 42.5 R çimentosununve uçucu külün kimyasal ve fiziksel analizi.....	30
Tablo 3.2.	Agregaların Elek Analizi	31
Tablo 3.3.	Süperakışkanlaştırıcı katkıların teknik özellikleri.....	31
Tablo 3.4.	1 m ³ İçin Karışım Oranları	32
Tablo 3.5.	Ultrasonik deney yöntemiyle beton kalitesinin değerlendirilmesi	73
Tablo 4.1.	TS EN 206-1:2000'e göre KYB'lerin genel kabul kriterleri.....	40
Tablo 4.2.	KYB karışımlarının aşınma derinliği ve kütle kaybı sonuçları	45
Tablo 4.3.	KYB karışımlarının ultra ses deney sonuçları.....	47

ÖZET

Anahtar kelimeler: Kendiliğinden Yerleşen Beton, Aşınma Deneyi, Basınç Dayanımı,

Bu çalışma farklı agregaların değişik miktarlarda kullanılmasıyla üretilen KYB'lerin taze haldeki işlenebilirlik, sertleşmiş halde ise mekanik özellikleri ve aşınma deneyi özelliklerinin incelenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu sebeple ilk olarak uçucu kül, farklı agregaların farklı yer değiştirme oranlarında kullanılması ile üretilen betonların taze beton deneyleri ile kendiliğinden yerleşebilirlik özelliklerini sağlayıp sağlamadıklarına bakılmış ve bu özelliği sağlayan farklı agregaların değişik ikame oranlarındaki karışımları kullanılarak bu özelliği sağlayan betonların mekanik özellikleri incelenmiştir.

Taze beton deneyleri olarak çökme-yayılma (slump-flow), T_{50} süresi, V hunisi deneyleri yapılarak farklı agregaların değişik miktarlarda kullanılmasıyla üretilen karışımların "kendiliğinden yerleşebilirlik" özellikleri araştırılmıştır. Mekanik özellikler ise, basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı ve elastisite modülü deneyleri ile belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca, 7x7 cm'lik boyutlardaki numunelerden her seri için 3 adet numune üretilerek bunlar üzerinde aşınma deneyi yapılarak üretilen farklı agregaların aşınmaya karşı gösterdiği direnç belirlenmiştir.

THE EFFECT OF VARIOUS COARSE AGGREGATES ON THE ABRASION RESISTANCE PROPERTIES OF SELF COMPACTING CONCRETE

SUMMARY

Key words: Self-compacting concrete, Wear tests, compressive strength,

This work is produced using different amounts of different aggregates KYB workability of fresh state, although hardened in order to examine the mechanical properties and wear characteristics of the experiment was carried out. Therefore, the first fly ash concretes produced with the use of different rates of change in aggregate concrete different experiments provide the properties of self- compactability evaluated and that this property of aggregates of different rates in different substituents concrete mixtures providing this feature mechanical properties are investigated.

Sedimentation-diffusion experiments in fresh concrete (slump-flow), duration of T50, V-funnel tests to mixtures of different aggregates produced using different amounts of "self- compactability " properties were investigated. The mechanical properties, compressive strength, ultrasonic pulse velocity and modulus of elasticity experiments have been determined from the transition. In addition, three pieces of 7x7 cm sized samples for each series of samples produced by these experiments on the wear resistance to abrasion of different aggregates were produced.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Beton; çimento, su, agrega ve gerektiğinde katkı maddelerinin belirli oranlarda homojen olarak karıştırılmasından oluşan, istenilen şekil ve boyutta kalıp içerisine boşluksuz olarak yerleştirilebilen ve uygun bakım koşulları altında zamanla katılaşıp sertleşerek dayanım kazanan önemli bir kompozit malzemedir. Beton, inşaat mühendisliği uygulamalarında vazgeçilmez bir yapı malzemesidir. Beton hangi koşullarda ve hangi amaçla üretilirse üretilsin taze halde iken daima işlenebilir olmalı ve sertleşmiş halde hedeflenen dayanımı sağlayarak servis ömrü boyunca kendisinden istenen performansı eksiksiz olarak yerine getirmelidir.

Beton teknolojisinde yeterli dayanım ve dayanıklılığı sağlamanın en önemli yollarından biri de kalıbına dökülen betonun kurallara uygun şekilde sıkıştırılmasıdır. Yeterli ölçüde sıkıştırılma yapılmayan betonlarda boşluklar meydana gelmekte ve bunun sonucu olarak, sadece dayanım kaybı olmamakta, aynı zamanda da beton kimyasal ve fiziksel saldırılara maruz kalarak bünyesindeki donatıyı ve kendini koruyamaz duruma düşmektedir. Bununla birlikte beton ve donatıda meydana gelen nitelik kaybının yanı sıra bu iki malzeme arasındaki temas yüzeyi aderansı zayıfladığından betonarme elemanlardaki monolitik davranış yeterli düzeyde gerçekleşmemektedir. Normal şartlarda vibratörlerle yerine yerleştirilen beton, çoğunlukla gerekli eğitime sahip olmayan işgücü ve denetim eksiklikleri nedeniyle standartlara uygun olarak yeterince sıkıştırılamamakta ve bunun sonucunda da kendisine yüklenen misyonu tam manasıyla ifa edememektedir. Ayrıca sıkıştırılma esnasında sadece beton değil aynı zamanda da insan sağlığı ve güvenliği, yüksek miktarlarda gürültü nedeniyle çevreye verilen rahatsızlıklar da dikkate alınması gereken hususlardır.

Ülkemizin aktif bir deprem kuşağında yer alması, betonun tasarımından yerine yerleştirilmesine, sıkıştırılmasından kürlenmesine kadar bütün aşamalarının titizlikle yerine getirilmesini zorunlu kılmaktadır. Özellikle nitelikli işgücünün sınırlı olması da betonun üretim aşamasında vibrasyonunun sağlıklı olmasını zorlaştırmaktadır.

Ayrıca 17 Ağustos 1999 tarihinde yaşadığımız ve binlerce insanımızı yitirdiğimiz depremden sonra hazırlanan ve son hali verilen deprem yönetmeliği, özellikle kolon-kiriş birleşim bölgelerinde donatı sıkılaştırmasını zorunlu görerek ve ısrarla uygulanmasını isteyerek yapıların taşıma gücü için önemli bir hususu gözler önüne sermektedir. Böyle bir durumda yani, sıkı donatılı yapı elemanlarında ya da dar kesitli kalıplar içerisinde betonun hareket ederek uygun koşullarda yerine yerleştirilmesi oldukça zordur ve ülkemizin nitelikli işgücü eksikliği de dikkate alındığında kalıbına tam manasıyla yerleşemeyen ve boşluklu kalan bir beton, olası bir deprem durumunda yapının ayakta kalmasını zorlaştıracak aşikârdır. Bununla birlikte, prekast endüstrisinde önemli sorunlardan birisi de betonun kalıbına yerleştirildikten sonra vibratörle sıkıştırılması esnasında açığa çıkan ve çevresindeki canlıları ciddi manada rahatsız eden vibrasyondan kaynaklanan gürültü kirliliği konusudur. Özellikle tünel inşaatlarında oldukça dar kesitli kalıplar içerisinde betonun sıkıştırılması da ayrı bir sorundur. Bazı projelerde vibratör kullanımının imkânsız olduğu durumlar da ortaya çıkmaktadır. Betonun sıkıştırılması gerekli bir durum olduğuna göre bu sorunları ortadan kaldıracak başka yeniliklere ihtiyaç olduğu muhakkaktır.

Yukarıda ifade edilen ve inşaat mühendisliği uygulamalarında sıkça karşılaşılan bu problemleri ortadan kaldırmak için en ideal çözümlerin başında kendiliğinden yerleşen beton gelmektedir. Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB), kendi ağırlığı ile döküldüğü kalıba yerleşebilen ve vibratör kullanılmasına gerek duyulmaksızın en sık donatılı bölgelerde ve en dar kesitlerde bile hava boşluğunu dışarı atarak ve sıkışarak düzlenen, ayrışma ve terleme gibi problemler oluşturmayan, kohezyonunu koruyan, çok akıcı kıvamlı özel bir beton türüdür. KYB'lerin kullanımının ülkemizde yaygın hale gelmesi yapıların daha güvenli olmasını sağlayacağı muhakkaktır. Fakat geleneksel betonlarla kıyaslandığında bu betonlar kullanıcıya daha pahalıya mal olmaktadır. Bunun nedeni olarak KYB'lerde kullanılan kimyasal katkı malzemelerinin pahalı olması ve geleneksel betonlara göre daha fazla bağlayıcı malzeme içermesi gösterilebilir. Bu sebeplerden ötürü bu betonların ülkemizdeki kullanım oranı gelişmiş ülkelerle kıyaslandığında oldukça düşüktür.

KYB'ler kendi ağırlığı ile homojen bir şekilde hareket ederken doldurma yeteneği sağlayarak, en dar ve sıkı donatılar arasından ayrışma göstermeden geçebilmesi için karışımında kullanılacak çimento, agrega ve su gibi malzemeler dışında yüksek oranda su azaltıcı özelliğe sahip akışkanlaştırıcı kimyasal katkı maddesi ile viskozite düzenleyici kimyasal katkı maddesine ihtiyaç duyulmaktadır. Beton karışımlarının viskozitesini artırmanın kimyasal katkı kullanımı dışında bir başka yolu da beton bileşenlerinde değişikliğe giderek, yani ince taneli malzeme miktarını artırmak suretiyle, sağlanmasıdır. Bu sayede, bu betonların daha ekonomik üretimi fırsatı da doğmaktadır.

BÖLÜM 2. KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLAR

Beton teknolojisinde yeterli dayanım sağlamanın en önemli yollarından biri de kalıbına dökülen betonların sıkıştırılması olmaktadır. Yeterli ölçüde sıkıştırılma yapılmayan betonlarda boşluklar meydana gelmekte ve bunun sonucu olarak, sadece dayanım kaybı olmamakta, aynı zamanda da beton kimyasal ve fiziksel saldırılara maruz kalarak bünyesindeki donatıyı ve kendini koruyamaz duruma düşmektedir. Normal şartlarda vibratörlerle yerine yerleştirilen beton, çoğunlukla gerekli eğitime sahip olmayan işgücü ve denetim eksiklikleri nedeniyle standartlara uygun olarak yeterince sıkıştırılamamakta ve bunun sonucunda da kendisine yüklenen misyonu tam manasıyla ifa edememektedir. Ayrıca sıkıştırılma esnasında sadece beton değil aynı zamanda da insan sağlığı ve güvenliği, yüksek miktarlarda gürültü nedeniyle çevreye verilen rahatsızlıklar da dikkate alınması gereken hususlardır. Süper akışkanlaştırıcı ve diğer katkıları beton dünyasına girmeden önce betonu işlenebilir kılmak için yüksek miktarlarda su kullanılması gerekiyordu. Yüksek oranlarda kullanılan suyu dengelemek için aynı zamanda da yüksek miktarlarda çimento kullanılmaktaydı. Bu da beton maliyetini önemli ölçüde arttıran bir husustu. Günümüzde, su azaltıcı katkıların kullanılmasıyla beraber yüksek işlenebilirlikte ve yüksek dayanımda betonlar yüksek miktarlarda çimento kullanmadan kolayca üretilebilmektedir. Bununla birlikte üretim ve uygulama sırasındaki birçok sorun da giderilmektedir [1].

Kimya alanındaki gelişmeler ve polimer teknolojisinin ilerlemesiyle elde edilen özel tür akışkanlaştırıcılar betonda kullanılmaya başlanınca özel beton kavramı da zamanla gündeme gelmiştir. Özel betonlar içerisinde de kendiliğinden yerleşen beton kavramı ortaya çıkmıştır. Ancak 70'lerde bulunan akışkanlaştırıcılar, betonun akıcılığını arttırırken, kendiliğinden yayılabilme özelliği sağlamıyordu. 1980'li yılların başında Japonya'da betonarme yapılarda kalıcılık sorunları incelenmiş ve bu sorunların en önemli sebeplerinden birinin, taze betonun sıkıştırma ve yerleştirme işleminin yeterli olmadığı tespit edilmiştir.

Bu problemi çözmek amacıyla sıkıştırma enerjisine ihtiyaç olmadan, kendi ağırlığı ile sıkıştırarak yerleşebilecek özel bir tip beton üretilmesi tasarlanmıştır.

1990'lı yıllarda yeni nesil süper akışkanlaştırıcıların ortaya çıkmasıyla su-çimento (s-ç) oranının 0.40 veya daha düşük değerler almasıyla birlikte, kendiliğinden yerleşen betonlar elde edilmiştir [2].

KYB, kendi ağırlığı ile döküldüğü kalıba yerleşebilen ve vibratör kullanılmasına gerek duyulmaksızın en sık donatılı bölgelerde ve en dar kesitlerde bile hava boşluğunu dışarı atarak ve sıkışarak düzlenen, ayrışma ve terleme gibi problemler oluşturmayan, kohezyonunu koruyan, çok akıcı kıvamlı özel bir beton türüdür [1]. Kendi ağırlığı ile segregasyona uğramadan kalıbını doldurabilmesi yanında, vibrasyona gerek duymaksızın kolayca kalıbına yerleşebilmesi ve bu sayede enerji ve para kaybını önlemesi, yapıda hızlı üretim sağlaması, şantiyede iş gücünde azalma sağlaması, tasarımındaki özgünlük, dar kesitlerde çalışma imkanı sağlaması, dayanıklılığının yüksek olması, yapı elemanlarında daha iyi yüzey bitişi ve görüntüsü sağlaması, şantiye ortamında betona su katılmasını önlemesi, beton dökümü esnasında sıkıştırma uygulanmadığından daha az gürültü meydana getirmesi, efektif kimyasal katkıların KYB üretiminde kullanımıyla, prefabrike sektöründe erken kalıp alma için, özellikle kış aylarında uygulanan buhar kürünü ortadan kaldırılabilmesi bu betonların popülaritesini artırmış ve özellikle gelişmiş ülkelerde ciddi manada kullanımını sağlamıştır [13].

2.1. KYB'lerin Tarihsel Gelişimi

KYB ilk kez 1980'li yıllarda Japonya'da su altı beton uygulamalarında suda ayrışmayan beton üretim amacı ile geliştirilmiştir. Betonda "kendiliğinden yerleşebilirlik" kavramı ise ilk olarak Okamura tarafından ortaya atılmıştır [1]. Su altında beton dökümü uygulamalarında, vibrasyonsuz beton dökümlerinden edinilen deneyim ile KYB üretilmesi amaçlanmıştır. Okamura'nın başlattığı çalışmaları Ozawa, Ouchi ve Maekawa devam ettirmiştir. 1988 yılında Tokyo'da yüksek performanslı KYB prototipi üretilmiş ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

Bu özel tip betonun geliştirilmesinde öncelikli amaç, dayanımın yanısıra dayanıklılık açısından da yüksek performansı sağlamaktır [5]. Kendiliğinden yerleşen beton konusunda ilk bildiri de, 1989 yılında Ozawa tarafından Doğu Asya ve Pasifik Yapı Mühendisliği Konferansı'nda (EASEC) sunulmuştur [6].

İlk KYB uygulaması ise 1980'lerin başında İtalya'da bir deniz yapısı inşasında sualtı temel betonu olarak reoplastik özelliklerde bir beton dökümü gerçekleştirilerek yapılmıştır. Üretilen bu beton, oldukça yüksek viskoziteli (kohezif), sıkıştırmaya gerek kalmadan su altında kalıba kolayca yerleşebilen ve bu kohezyonuyla deniz ortamının yıkayıcı etkisine karşı durabilen bir beton olmuştur [7]. KYB ile ilgili ilk çalışmaların Kuzey Amerika ayağı olarak 1996 yılında ABD'de Ferguson, Kanada'da ise Aitcin ve arkadaşları önderliğindedir [7]. Avrupa'da ise özellikle Almanya, İngiltere, Hollanda, İtalya ve Norveç bu betonların tasarımı, üretimi ve uygulaması konusunda oldukça başarılı çalışmalar gerçekleştirmiştir [8-11].

2.2. KYB'nin Kullanım Alanları

KYB, tasarımından sahada uygulamasına kadar özel bir titizlik gerektirmesi ve maliyetinin geleneksel betonlara göre daha yüksek olması nedeniyle özel bir beton türü olarak, genellikle prefabrik sektöründe, estetik amaçlı tasarlanan detaylı ve karmaşık şekilli kalıplar içeren yapı elemanlarında, tamir, bakım ve yenileme işlerinde, sık donatılı ve dar kesitli betonarme yapı elemanlarında, saha betonlarında, mimari paneller, cephe elemanları ve geniş yapı elemanlarında kullanılabilir.

Teknik açıdan taze betonun sıkıştırma işleminin çok zor ve güç olduğu durumlarda örneğin tünel inşaatlarında, dar donatılı yapı elemanı olarak kolon-kiriş birleşim bölgelerinde, güçlendirme inşaatlarında ve vibrasyon nedeniyle meydana gelecek gürültünün insan sağlığını ciddi manada etkilediği prefabrikasyon sektöründe en ideal ve akılcı çözüm yöntemidir.

KYB'nin kullanım alanlarını biraz daha ayrıntılı inceleyecek olursak, prefabrike beton sektöründe KYB, betonun kalitesini arttırmak, estetik görüntüsünü iyileştirmek ve geleneksel üretim yöntemlerinden kaynaklanan dolaylı maliyetleri azaltmak

amacıyla kullanılmaktadır. Bu sektörde KYB kullanımı kalıba vibrasyon uygulanmasını ortadan kaldırdığından kalıbın maruz kalacağı dinamik yükler de tamamen ortadan kalkmaktadır. Böylelikle, manyetik bağlayıcılarla daha ince et kalınlıklı kalıplar kullanılabilir [12]. Kalıp ömrü de vibrasyonun kalkmasıyla önemli oranda artmaktadır. Diğer taraftan, kalıplar hafifleyeceğinden taşıma ve bakım işleri kolaylaşmakta ve kalıp söküm ve yeniden kurulum işlemlerinde de zamandan % 50 tasarruf sağlanabilmektedir [13,14].

KYB'nun prefabrike beton üretiminde kullanıldığı bir üretim tesisinde standart panel elemanın dökümü 3-4 dakika sürerken, aynı elemanın geleneksel yöntemler kullanılarak yerleştirme işlemi 10-14 dakika ve perdahlama ile beraber toplam döküm süresi 30 dakika sürmektedir. Üstelik bu işlemler iki veya üç işçi tarafından gerçekleştirilmektedir. Şekil 2.1'den de görüleceği üzere KYB dökümü için tek bir işçi yeterli olmaktadır. Fakat üretim tesisinin bu hızı yakalayabilmesi için, KYB üretim ve yerleştirme yönteminin iyi bir şekilde kavranması, sistemli çalışılması ve işçilerin deneyim kazanması gerekmektedir [15].



Şekil 2.1. Prefabrike beton üretiminde KYB uygulamaları

KYB, homojen yapısı ile boşluksuz bir yapı oluşturması, en sık donatılı kalıplarda bile vibrasyon gerektirmeden kendiliğinden yerleşmesi sayesinde güçlendirme projeleri için ideal bir çözümdür.

Güçlendirme işlerinde ilk akla gelen yöntemlerden biri olarak mantolamada (Şekil 2.2) KYB kolaylıkla kullanılabilir. KYB kullanımı ise bu durumu büyük ölçüde ortadan kaldırmaktadır.



Şekil 2.2. KYB ile betonarme manto uygulamaları

Bir güçlendirme yöntemi olarak mantolama uygulamalarında olabildiğince ince tutulan kalıp genişlikleri, birbirine yaklaşan donatılar arasında standart betonun yerleşmesini ve sıkışmasını imkansız hale getirmekte vebrüt beton kullanılarak aşılmaya çalışılan bu problem, sık donatılar arasında vibrasyon yapılamaması sebebiyle ayrılmaya neden olmaktadır. KYB kullanımı ise bu durumu büyük ölçüde ortadan kaldırmaktadır.

Bir başka uygulama örneği de Şekil 2.3'te görülen, kolon yüksekliği 7 m olan mantonun,kendiliğinden yerleşebilen betonların yerleşmesindeki kolaylık sayesinde, vibratörsüz olarak bir defada kolayca dökülebilesidir. Mantonun üst katlara devam etmesi durumunda, manto betonu olarak KYB'nin dökümü, kolon kenarından bırakılan küçük boşluklardan rahatlıkla yapılabilir.

Mevcut taşıyıcı elemanlarla yeni taşıyıcı duvarların bütünleştirilmesi esnasında, bu elemanların çerçevelerindeki kolon ve kirişlerin istenilen şekilde bütünleştirilmesinde güçlükler yaşanmaktadır. Yeni ve eski elemanların birbirlerine temas ettiği ara yüzeylerin bazı bölümlerinde gerilme yığılmalarının oluşması, bazen eski elemanlarla yeniler arasında, boşluklara uyum sağlayacak yüksek dayanımlı

geçiş bölgeleri oluşturmayı zorunlu kılmaktadır. KYBise bu amaçlara hizmet eden ideal bir çözüm yöntemidir [12].



Şekil 2.3. Kendiliğinden yerleşen beton uygulamaları

Ülkemizin aktif bir deprem kuşağında yer alması, betonun tasarımından yerine yerleştirilmesine, sıkıştırılmasından kürlenmesine kadar bütün aşamalarının titizlikle yerine getirilmesini zorunlu kılmaktadır. Özellikle nitelikli işgücünün sınırlı olması da betonun üretim aşamasında vibrasyonunun sağlıklı olmasını zorlaştırmaktadır. KYB'ler ise bu sorunları ortadan kaldıracak en etkili çözümdür. Ancak günümüzde KYB'lerde kullanılan kimyasal katkı malzemelerinin pahalı olması ve geleneksel betonlara göre daha fazla bağlayıcı malzeme içermesi bu betonların ülkemizdeki kullanımını gelişmiş ülkeler seviyesine çıkarmayı mümkün kılmamaktadır. Ancak kalkınmayla beraber, yerli kimyasal katkıların üretimi ve böylelikle daha ekonomik KYB'lerin üretimi, özel tasarımlı yapıların sayısının artması, KYB'nin prefabrike beton sektöründe betonun kalitesini ve estetik görüntüsünü arttırmak ve geleneksel üretim yöntemlerinden kaynaklanan dolaylı maliyetleri azaltmak amacıyla başarıyla uygulanabilmesi, gelecekte ülkemizde de KYB uygulamalarını arttıracaktır. Dünyada ise polimer teknolojisinin sürekli gelişimiyle gelecekte çok daha düşük su/toz oranına sahip, dayanım ve dayanıklılık bakımından yüksek performanslı KYB'ler üretilmesi beklenmektedir.

2.3. KYB'nin Beton Teknolojisine Kazandırdığı Özellikler

Kendiliğinden yerleşen beton taze halde iken mükemmel bir karışım halindedir. Bu karışım betona doldurma yeteneği, geçiş yeteneği ve ayrışmaya karşı direnç sağlar. Bu özellikler sayesinde KYB, kendi ağırlığı altında hareket edip, uygulandığı her şekildeki yapı kalıbında tüm köşelere ve dar bölgelere yayılarak, yerleşmenin ve hareketin çok zor olduğu yoğun donatılı kısımlarda dahi vibratör gerektirmeden boşlukları doldurabilmektedir. Bu betonlar, döşeme ve kalıp yerleştirme alanında önemli bir teknolojik ilerleme olmuş, bu tip beton kullanımı sadece iş süresini azaltmakla kalmayıp özellikle yoğun donatılı bölgelerdeki kompaksiyon için gerekli nitelikli işçilik ihtiyacını da önemli oranda azaltmış ve gerek işçileri, gerekse etraftaki insanları rahatsız edici vibratörle beton sıkıştırma gürültüsünden kurtarmış ve kalıbında daha uzun süreli dayanmasını sağlamıştır. Beton dökümünü çok kısa sürede gerçekleştirmeyi sağladığı için, inşaat yapım süresini de kısaltır. Yoğun ve sık donatılar arasında kolaylıkla akar ve boşluksuz olarak yerleşir. Betonun demir donatıyı çok iyi sarması ve boşluksuz bir yapı oluşturması, yapının korozyona karşı dayanıklılığını, yani durabilitesini artırır. Özellikle, depremde zarar görmüş binaların güçlendirilmesinde, tek bir noktadan döküm yapıldığında kalıp içerisinde, kendiliğinden yerleşmesi ve kendiliğinden seviyelenmesi sayesinde, güçlendirme projeleri için çok iyi bir çözüm yöntemidir. Yerleştirme sırasında işçilikten kaynaklanan uygulama hatalarını ortadan kaldırır. KYB sertleştiğinde ise geleneksel betonlara göre daha geçirimsiz yapıya sahip olduğu için, durabilite açısından yapıların çok daha avantajlı bir konuma gelmesini sağlamaktadır. Kendiliğinden yerleşen betonların donma-çözülme direnci, klorür, nitrat, sülfat ve asitli ortamlara karşı direnci, karbonatlaşma direnci, su emme direnci, basınçlı su geçirimsizliği direnci ve buz çözücü tuzlara karşı direnci geleneksel betonlara göre yüksektir.

2.4. Tasarım Yöntemleri

KYB'lerin tasarım kriterleri geleneksel betonlara göre farklılık arz etmektedir. Karışım tasarımı yöntemleri ve "kendiliğinden yerleşebilirlik" deney yöntemleri araştırmaları, kendiliğinden yerleşen betonu standart beton haline getirmiştir. Bu araştırmaların sonucunda KYB'nin test edilebilmesi için bazı

deneysel yöntemler ve tasarım yöntemleri ortaya çıkmıştır. EFNARC komitesi 2002 yılında KYB ile ilgili gerekli tüm bilgileri içeren "Specification and Guidelines for SCC" isimli dokümanı yayınlamıştır [16]. Bu dökümanda verilen tasarım yöntemi, önerilen bir tasarım yöntemidir.

Yayılabılme özelliğini 65cm ile 80 cm arasında sağlayabilmek ve işlenebilirliğini en az bir saat muhafaza etmek ve bunları yaparken de betonun ayrışmasını ve terlemesini engellemek tasarımın en önemli hedeflerinden biridir. KYB süper akışkanlaştırıcı katkı maddeleri sayesinde yüksek akışkanlık özelliğine sahip olsa da herhangi bir ayrışma meydana getirmeden aynı zamanda uzun çalışma süresine sahip olabilmesi, ancak iyi bir karışım tasarımı ve doğru kimyasal katkıları kullanmakla mümkün olabilir.

KYB'lerin karışım tasarım yöntemleri çeşitlilik arz etmesine rağmen temel olarak iki fazlı bir kompozit olarak düşünülüp tasarlanabilir [18]. Süreklilik ifade eden fazın içerisinde su, katkı maddeleri, çimento ve tane boyutu 0.1 mm den daha küçük filler malzemeler bulunurken, tane fazı olarak ifade edilen fazda ise ince ve iri agregalar bulunur. Diğer özel beton türleri ile kıyaslandığında, kendiliğinden yerleşen betondaki 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 granülometrisindeki değişkenliklere hassasiyeti artmaktadır [2]. EFNARC'a göre KYB tasarım oranlarının ve miktarlarının belirlenmesinde hacimsel oranlar daha önemlidir.

KYB karışım oranlarını belirlemek amacıyla geliştirilen ilk model, 1988 yılında geleneksel betonları meydana getiren malzemeler kullanılarak ortaya atılmıştır [46]. Bu modelde temel amaç, taze beton özelliklerinin ve yoğunluk, büzülme gibi uzun süreli sertleşmiş beton özelliklerinin istenen ölçülerde olmasını sağlamaktır. Ayrıca bu modelde, geleneksel betonlara göre bağlayıcı malzeme miktarları fazla, iri agrega içeriği ise az olarak düşünülmüştür. Birçok araştırmacı KYB'lerin geliştirilmesinde taze beton özelliklerini belirlerken genellikle üç temel faktörü esas almıştır [19].

Bunlar;

1. Harcın taze haldeki özellikleri,
2. Karışımdaki iri agreganın içeriği,
3. İşlenebilirliği sağlayabilmek için süperakışkanlaştırıcı katkı kullanımı, olarak ifade edilebilir.

Çimento hamuru ve harcın taze haldeki özellikleri geleneksel betonlarda olduğu gibi KYB'de de taze beton özelliklerine etki etmektedir. Su/bağlayıcı oranı karışımın işlenebilirliğini belirlemede ağırlıklı etken olmakla beraber, harç fazındaki kum miktarı da bir etkidir [47]. Karışımdaki iri agreganın içeriği sadece işlenebilirliği etkilemekle kalmayıp, ayrışma direncinde de önemli rol oynamaktadır [50]. Ayrıca iri agreganın miktarı, mekanik özelliklerin istenen seviyede olmasını sağlamada ve karışımın işlenebilirliğinin istenen ölçülerde olmasında önemli bir role sahiptir [45]. Yüksek agreganın içeriği ayrışma direncini azaltırken, karışımın donatılar arasından geçerken bloke olmasına neden olmaktadır [49]. Çarpışma frekansı ve agreganın taneleri arasındaki bağlantı, taneler arasındaki göreceli mesafenin azalması nedeniyle artarak, iç gerilmenin de artmasına neden olmaktadır. İri agreganın miktarını sınırlamak, karışımın bloke olmasına neden olan iç gerilme potansiyelini azaltır. Okamura ve Owaza yukarıda açıklanan nedenlerden dolayı, KYB'lerde iri agreganın hacminin yaklaşık olarak %50 ile sınırlandırılmasını önermiştir. Yarugi ve arkadaşları ise karışımın harç kısmındaki kum içeriğinin %75 düzeyinde olabilmesi için, iri agreganın hacminin % 33'ten az olmasını önermiştir.

KYB'lerin üretimlerinde geniş bir malzeme yelpazesi kullanıldığı için tek bir karışım tasarımı çözümü de yoktur.

Genellikle KYB'lerin üretiminde su/bağlayıcı oranları 0.5'den azdır ve geleneksel betonlara göre, karışımlardaki iri agreganın içeriği daha az hamur miktarı ise daha yüksektir.

Okamura ve Owaza tarafından 1995 yılında oransal karışım tasarım yöntemi olarak isimlendirilen basit bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem, betonun kendiliğinden yerleşebilirliği üzerine kurulmuş ve kendiliğinden yerleşebilirliğin de karışım oranları ve malzeme karakteristikleri tarafından belirlendiğini ortaya konmuştur . Bu karışım tasarım yöntemi, iri ve ince agrega miktarını belirlerken aynı zamanda da taze betonun kendiliğinden yerleşebilirliğinin su/bağlayıcı oranı ve süperakışkanlaştırıcı katkı miktarını ayarlamak suretiyle sağlanabileceği prensibi üzerine kurulmuştur. Bu yöntemin temel adımları aşağıdaki gibidir;

1. İri agrega miktarı, betonun katı hacminin %50'si olacak şekilde ayarlanmalıdır.
2. İnce agrega miktarı, harç hacminin %40'ı olacak şekilde ayarlanmalıdır.
3. Süperakışkanlaştırıcı katkı dozajı ve son su/bağlayıcı oranı kendiliğinden yerleşebilirliği sağlayacak şekilde ayarlanmalıdır.

Geleneksel betonların karışım oranlarını belirlerken, su/bağlayıcı oranı gerekli basınç dayanımını sağlamak için ayarlanırken, kendiliğinden yerleşen betonlarda ise gerekli basınç dayanımını sağlamaktan çok istenen işlenebilirliği sağlamak için ayarlanır .

Domone ve arkadaşları tarafından geliştirilen ve lineer optimizasyon karışım oranlama tasarım yöntemi olarak isimlendirilen yöntem ise temel olarak oransal karışım tasarım yöntemine benzer [52]. Fakat bu modelde su, toz malzemeler ve agregaların optimum karışımı, lineer optimizasyon matematiksel yaklaşımı kullanılarak belirlenmektedir.

Petersson ve arkadaşları tarafından geliştirilen model ise karışım oranlarının minimum çimento hamuru içeriği esasına göre düzenlenmesini öngörür. [55]. Bu model, diğer modellere göre daha düşük çimento miktarları içerdiğinden daha düşük maliyetli KYB üretimine olanak sağlamaktadır.

Karışım tasarımlarının sonuncusu ise Sedran ve arkadaşları tarafından 1996 yılında geliştirilen Katı Süspansiyon modelli karışım tasarım yöntemidir[56]. Bu yöntem

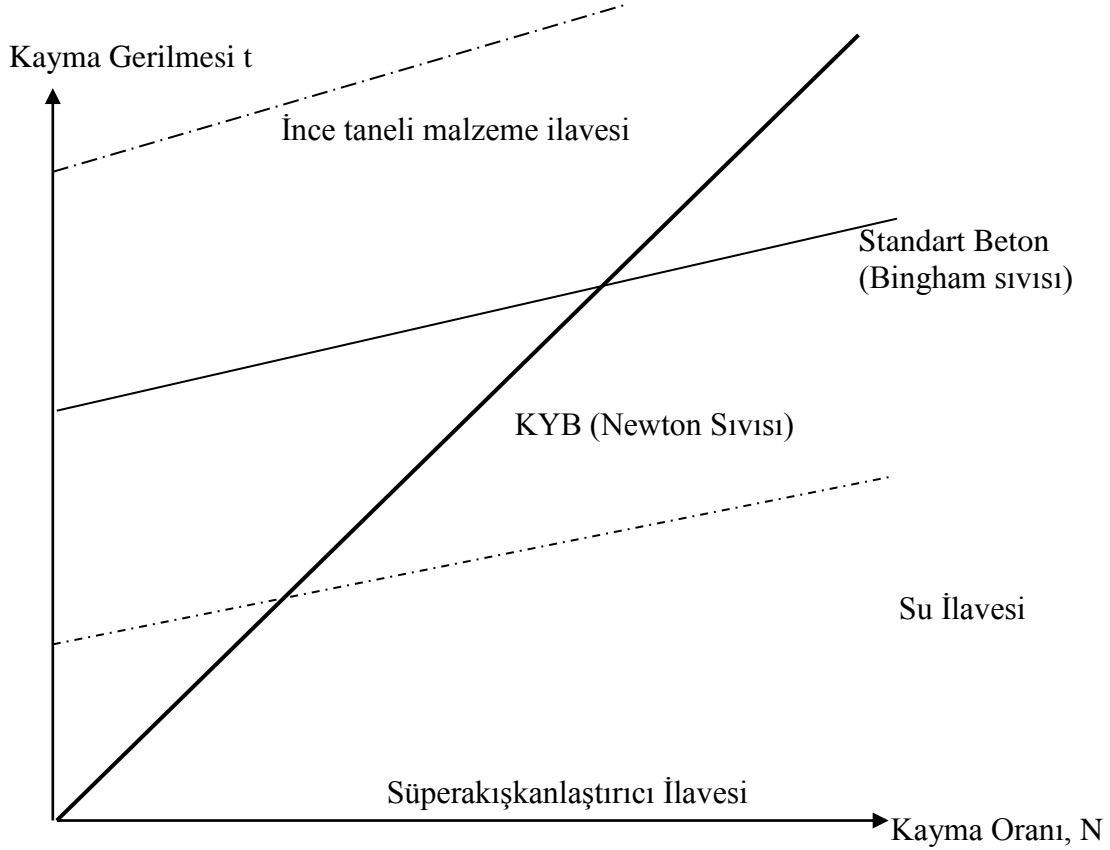
prensip olarak, beton karışımında bulunan suyun bir kısmının iskelet olarak ifade edilen bağlayıcı ile iri agrega taneleri arasındaki boşluğu doldururken geriye kalan kısmının ise işlenebilirliği kontrol etmek için kullanılması esasına dayanır. Bu yöntemin ortaya çıkmasıyla beraber, beton ve harçların plastik viskozitesi ile akma-kayma gerilmelerini ölçmeye yarayan rheometre olarak ifade edilen bir alet geliştirilmiştir.

2.5. Karışımında Kullanılan Malzemeler ve KYB'lere Etkileri

Kendiliğinden yerleşen betonları diğer betonlardan ayıran en temel özellikler yüksek doldurma yeteneği, en dar donatılardan kolaylıkla geçiş yeteneği ve kalıbını doldururken aynı zamanda da ayrışmaya karşı yüksek direnç gösterebilmesidir. Bu özellikleri sağlayabilmek için ilk olarak KYB'ler dizayn edilirken belli hususlara dikkat edilmesi gerekir. Betondaki her bileşenin kendiliğinden yerleşebilirliğe 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 [35]. Geleneksel betonlardan farklı olarak KYB dizayn edilirken bilinmesi gereken en önemli husus, bu betonu diğer betonlardan farklı kılan özellikleri sağlamak için malzeme karışım oranlarını klasik ölçülerin dışına çıkarmaktır. Daha dizayn yapılmadan kendiliğinden yerleşebilirlik için gerekli özellikleri bilmek ve mevcut malzemelerle bu betonların kullanımının optimize edilmesi gerekir. Bir betonun yüksek bir akışkanlık özelliğine sahip olabilmesi için akma direncinin düşük olması, yüksek bir ayrışma direnci gösterebilmesi için ise yüksek viskoziteye sahip malzemelerin beton karışımında kullanılması gerekir. Akma gerilmesini düşürmek için beton karışımına su ilave etmek basit bir çözüm olabilir. Fakat, su ilavesi aynı zamanda da viskoziteyi düşürür. Bununla birlikte, beton karışımına süperakışkanlaştırıcı katkı ilave etmek akma gerilmesini düşürürken, aynı zamanda da viskoziteyi azaltır.

Beton karışımlarının viskozitesini artırmanın yolu ya beton bileşenlerinde değişikliğe giderek (ince taneli malzeme miktarını artırmak yolu ile) ya da viskozite düzenleyici katkı ilavesiyle mümkündür. Bu durumda da çimento hamurunun akma gerilmesinin

(direnci) artması gibi bir durum söz konusudur. Böylece, bu iki parametre arasında bir orta yol bulabilmek bir zorunluluk arz etmektedir. Şekil kayma oranıyla, kayma gerilmesi arasındaki ilişkiyi göstermesi açısından önemlidir.



Şekil 2.1. Betonun reolojik özellikleri [15]

2.5.1. Çimento

Günümüzde çimento standartlarının gelişmesiyle beraber, artış gösteren farklı talepleri karşılayabilmek için beton teknolojisine katkı sağlayan bağlayıcı kombinasyonlu malzemeleri kolayca bulabilmek mümkündür. Bu sayede, dayanım ve durabilitede artış sağlayan ve yüksek performanslı beton üretimine olanak sağlayan çimentolar günümüzde mevcuttur.

KYB konulu çalışmaların çoğunda bağlayıcı olarak geleneksel betonlarda da yaygın olarak kullanılan Normal Portland Çimentoları kullanılmıştır. KYB'nin öncüleri olarak Japonya'da Okamura ve İngiltere'de Bartos, bu betonların üretiminde PÇ kullanımına öncelik vermişlerdir (Okamura ve Ouchi, 1999, Bartos, 1999). Bununla birlikte, bazı çimentolar KYB üretiminde daha başarılı sonuçlar verirken bazı

çimentolar ise bu betonların ilk defa kullanılmaya başlandığı dönemlerde başarısız olmuşlardır. Bu konuda yapılan bir çalışmada TÇ 32.5 ve PZÇ 32.5 çimentolarının kendiliğinden yerleşen beton katkılarının ilk kuşak türleri ile uyumsuzluk gösterdiği görülmüştür [28]. Ancak katkı teknolojisindeki hızlı gelişmeler bu problemi ortadan kaldırmış ve bu uyum sorunu azaltılmıştır. KYB’de kullanılacak çimento TS EN 197-1’deki standartlara uygun olmalıdır [11]. Bünyesinde Al_2O_3 miktarı % 10’un üzerinde olan çimentolar, çalışma süresinin kısılmasına neden olacağından işlenebilirliği azaltı kendiliğinden yerleşebilirliği sağlamada olumsuz sonuçlar verebilirler.

2.5.2. Agregası

Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde ince taneli agrega kullanımı, beton karışımlarının stabilitesini ve işlenebilirliğini sağlamada çok önemli bir rol oynamaktadır. Beton karışımındaki toplam ince malzeme miktarı agrega tane dağılımı, ince agrega miktarı ve filler malzeme ile beraber bağlayıcı miktarının bir fonksiyonudur. Bu betonların üretiminde, beton karışımındaki toplam ince taneli malzeme miktarı, agrega tane boyutu ve tane dağılımı dikkate alınarak, gerekli stabiliteyi sağlayabilmek için geleneksel betonlara göre daha fazla tutulmuş, buna karşılık iri agrega miktarı ise daha az tutulmuştur. Bununla beraber, geleneksel betonda kullanılan ince ve iri agregalar KYB’de de kullanılabilir. Ancak en büyük agrega boyutu geleneksel betondakinden daha küçüktür, genellikle 20 mm’nin altında kalır ve donatı durumu dikkate alınarak bazen de 10 mm’ye kadar iri agrega kullanılabilir [30]. Agregalar, TS EN 12620’ye uygun olmalıdır [11]. Bu betonların üretiminde kullanılacak olan kumların incelik modülü 2.4 ile 2.6 arasında değişmektedir [31]. Partikül boyutları uygulama yapılacak yere göre değişmekle birlikte, D_{max} için genellikle üst limit değer 20 mm’dir.

Agreganın içindeki partikül boyutu 0,125 mm’nin altında olan malzemeler, tasarımda ince malzeme miktarına dahil edilmelidir.

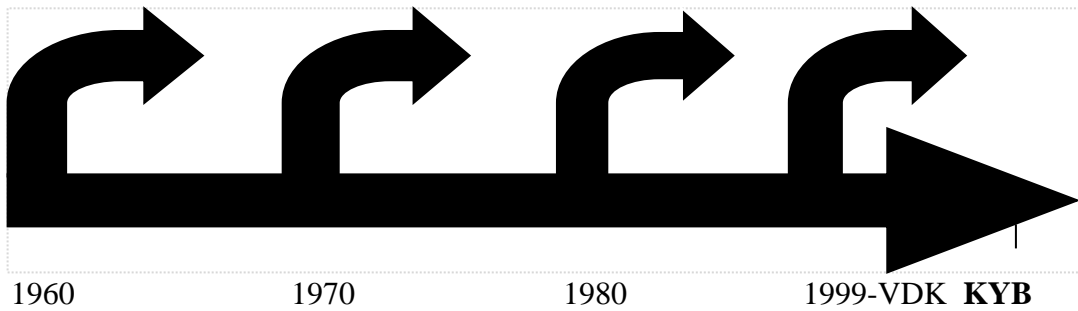
2.5.3. Su

Karışım suyu TS EN 1008’e uygun olmalıdır [11].

2.5.4. Kimyasal katkılar

KYB'ler kendilerinden istenen stabiliteyi sağlarken aynı zamanda da yüksek seviyede de işlenebilirlik özelliklerine sahip olmaları gerekir. KYB üretiminde taze betonların işlenebilirliğini sağlamak için yüksek oranda su kullanımı fizibil bir yöntem değildir. Çünkü istenen basınç dayanımını sağlayabilmek için yüksek miktarda da çimento kullanmak gerekir. Kimyasal katkı teknolojisindeki gelişmeler ve süper akışkanlaştırıcı katkıların keşfi, günümüzde KYB üretimini oldukça kolaylaştırmış ve çok çeşitli malzemelerinde bu betonların üretiminde kullanılmasını sağlamıştır [4].

Akışkanlaştırıcılar Süperakışkanlaştırıcılar Polimer bazlı S.A'lar Polik Eterler.



Şekil 2.4. Kimyasal katkıların geçmişten günümüze gelişimi (Sika)

2.5.4.1. Süperakışkanlaştırıcı katkılar

KYB üretiminde en önemli parametrelerden biri de süperakışkanlaştırıcı katkı kullanımınıdır. Özellikle akışkanlaştırıcı özellikteki katkıların gelişmesiyle beraber taze betonda kendiliğinden yerleşebilirlik fikri gelişmeye başlamış ve başarılı uygulamalar elde edilmiştir.

Akışkanlaştırıcı katkılar taze betonda eşik kayma gerilmesini ve plastik viskoziteyi azaltırlar [36]. Bu sayede, geçiş yeteneği ve doldurma yeteneği sağlarlar. KYB üretiminde kullanılan akışkanlaştırıcı katkıları içerisinde polikarboksilat bazlı katkıların, modifiye lignosulfonatlar, melamin ve naftalin formaldehit kondensatlarına göre akışkanlığı artırma açısından da önemli üstünlükleri vardır [25]

Polikarboksilat eter bazlı modern süper akışkanlaştırıcı katkılar taze betonun işlenebilirliğinin uzun süreli olarak kalıcı olmasını sağlarken üretim mekanizmasının her aşamasında betona katılabilirler. Katkı maddeleri bu özelliklerini yapısal engelleme kombinasyonlu (steric hindrance) elektrostatik itme mekanizmasıyla sağlarlar ve standart olarak akışkanlaştırıcı özellikteki katkılar TS EN 934-2'ye uygun özellikte olmalıdırlar [11]. Süperakışkanlaştırıcı katkı, KYB'un çalışma süresinin ayarlanmasındaki asıl bileşendir. Bu nedenle kimyasal katkı seçiminde, erken dayanım kaybı oluşturmayacak (geciktirici özellikli olmayan) ve aynı zamanda, betona en az bir saat çalışma süresi özelliği katabilecek özellikte bir katkı olmalıdır.

2.5.5. Mineral katkılar

2.5.5.1. Uçucu kül

Elektrik enerjisi üretimi için, termik santrallerin çoğunda yakıt olarak pulverize kömür kullanılmaktadır. Kömür, %80'inin 75 µm elekten geçebilecek inceliğe sahip olacak tarzda öğütülmekte ve havayla birlikte, buhar üretici kazanları ısıtmak amacıyla, yakıt olarak püskürtülmektedir [21].

Pulverize kömürün yanmasıyla büyük bir miktarı çok ince olan, bir miktarı da nispeten biraz daha iri boyutlara sahip kül tanecikleri ortaya çıkmaktadır. Çok ince tanelere sahip olan küller, yakıt gazlarıyla beraber "uçarak" bacadan dışarı çıkmak üzere hareket etmektedirler. Nispeten ağır olan iri kül tanecikleri taban külü olarak ocağın tabanına düşmektedirler.

Atık malzeme olarak ortaya çıkan küllerin yaklaşık %75 - %80'i, gazlarla birlikte bacadan çıkma eğilimi gösteren çok ince taneli küllerdir. Bu küllere "uçucu kül" denilmektedir.

Gazlarla birlikte çok büyük miktarda külün dışarı çıkması durumunda, termik santralin çevresi kısa sürede küllerle kaplanacağından, bacadan dışarıya çıkacak küller birtakım elektrostatik veya elektromekanik yöntemler vasıtasıyla tutulmakta ve kül toplayıcı silolara kanalize edilmektedir. Daha sonra da, silolardan, konveyör bantlarla veya başka yöntemlerle, termik santrallerin uzağındaki bir yere atık olarak depolanmaktadır.

Uçucu küllerde çok yüksek miktarlarda yer alan oksitler SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 'dür. Bunların yanısıra, bir miktar CaO , MgO , C (çok ince taneli durumda olan yanmamış kömür) ve Na_2O 'da bulunabilmektedir.

Uçucu küllerin yapısının büyük bir bölümü (%60 - %90'ı) amorf durumdadır. Geri kalan bölümünde, mullit, kuvars, magnetit, hematit gibi kristaller yer alabilmektedir [21]. Uçucu kül taneleri genellikle küresel şekilli katı parçacıklardır. Ağırlığının yaklaşık %5'i (hacminin %20'si) içi boş (nitrojen veya karbondioksitle dolu) parçacıklardan oluşmaktadır.

Uçucu kül taneciklerinin boyutları 1-150 μm arasında değişiklik göstermektedir. Normal olarak, 2.1 - 2.7 (ortalama 2.4) g/cm^3 yoğunluğa sahiptirler. Renkleri açık griden koyu griye uzanan değişikliktedir. Daha çok miktarda karbon içeren küller koyu gri renkte, daha çok demir içerenler ise açık gri renktedir.

Silisli ve alüminli amorf yapıya sahip oldukları ve çok ince taneli olarak elde edildikleri için, uçucu küller de, aynen ince taneli doğal puzolanlar gibi, puzolanik özellik göstermektedirler. O nedenle, hem portland-puzolan tipi çimento üretiminde, hem de beton katkı maddesi olarak doğrudan kullanılmaktadırlar. Genellikle, beton katkı maddesi olarak çok büyük miktarlarda kullanılabilirler. Beton karışımının içerisinde yer alan uçucu kül miktarı, çimento ağırlığının %15 - %50'si civarında değişebilmektedir. Bazı araştırmacılara göre 2010 yılında çevreye bırakılan uçucu kül miktarının günümüzdeki oranın 3 katı artışla 800 milyon ton değerine ulaşması beklenmektedir [32].

Uçucu küller günümüzde KYB uygulamalarında ince taneli malzemeler olarak taştuzuyla beraber en yaygın kullanım alanı bulmuş malzemelerdir. Taze betona kendiliğinden yerleşebilirlik özelliği sağlamada uçucu küllerin çok önemli katkıları mevcuttur. Küresel ve düzgün yüzeli yapıları nedeniyle taze betonun işlenebilirliğini ve yayılmasını artırır.

Uçucu küller, düşük eşik kayma gerilmesi değerleriyle kalker tozu ile kıyaslandığında daha yüksek viskozite elde edilmesini sağlarlar [39]. Kendiliğinden yerleşen beton viskozitesini arttırmada etkili bir ince taneli malzemelerden biridir. Ayrıca düşük maliyetli KYB uygulamalarında da uçucu küller önemli bir yere

sahiptir. Bouzouba ve Lachemi tarafından yapılan bir çalışmada, yüksek miktarda uçucu kül içeren KYB'lerin performans özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmada, Uçucu küller ile çimentoların %60 ikame oranında yer değiştirmelerinde 28. günde 35 ila 40 MPa basınç dayanımına ulaşan aynı zamanda da kendiliğinden yerleşebilirlik gösteren betonlar üretilebildiği ve beton maliyetlerinin de ciddi miktarda düştüğü görülmüştür. [27]. Benzer şekilde Ribeiro ve Goncalves de yüksek dozajlarda uçucu külü düşük maliyetli süperakışkanlaştırıcı katkılarla ve yüksek su içeriğinde kullanarak düşük maliyetli KYB'ler üretmişlerdir [33] Ghezal ve Khayat ise 120 kg/m³ e kadar kalker tozu içeren KYB numunelerinin maliyet etkinliğini optimize etmek için, istatistiki deneysel tasarım yöntemi geliştirmişlerdir [34]. Nehdi ve arkadaşları ise derin temel uygulamalarında mineral katkı olarak %50 ikame oranına kadar granüle yüksek fırın cürufu, uçucu kül ve kalker tozu kullanarak düşük maliyetli KYB'ler üretilebileceğini ortaya koymuşlardır.

Uçucu külün KYB uygulamalarında kullanımının yararlarını şu şekilde özetleyebiliriz;

1. Uçucu küller hidrasyon ürünlerini artırır ve betonun porozitesini azaltırlar. Mikro agrega etkisi yaparak gradasyonu düzenler ve optimum sıkışmayı sağlarlar. Böylece betonun dış etkilere karşı dayanıklılığı artar.
2. Hidrasyon hızını ve ısını düşürür. Sıcaklık yükselmesinden doğan su kaybını ve çatlakları azaltır. Fakat priz alma süresini geciktirmesi erken dayanımı olumsuz etkiler.
3. KYB'nin viskozitesini artırarak 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 [22].

KYB üretiminde kullanılacak uçucu küller, TS EN 450'ye uygun olmalıdır ve kullanımından önce mutlaka standarda uygunluğu kontrol edilmelidir [11].

2.6. Kendiliğinden yerleşen taze beton özellikleri

KYB'ler taze halde iken kendiliğinden yerleşebilirliği sağlayabilmek için hem reolojik açıdan hem de işlenebilirlik özellikleri açısından belli kriterlere sahip olmak durumundadır. Reolojik kavramlar, KYB'nin geliştirilmesi ve taze haldeki davranışının daha iyi anlaşılması için kullanılmaktadır. İşlenebilirlik ise, taze betonun uygulamadaki davranışına yönelik olarak akma ve deformasyon yeteneğini tanımlayan bir özellik olarak ifade edilebilir.

2.6.1. İşlenebilirlik

KYB'ların performansları ile taze beton özellikleri arasında önemli bir ilişki vardır. Reoloji ve işlenebilirlik parametreleri KYB'un pratikteki kullanım performansını etkilemektedir. KYB'nin işlenebilirliği, pompanın ucundan çıkan betonun kendi ağırlığı ile boşluksuz biçimde kalıbın şeklini alması ve üniform kaliteyi sağlamasıdır[Endüstriyel Zemin Betonları]. Taze haldeki kendiliğinden yerleşme kabiliyeti üç parametre ile karakterize edilebilir: i) Doldurma yeteneği, ii) Dar kesitlerden ve donatılar arasından geçiş yeteneği, iii) ayrışmaya karşı direnç [5].

2.6.1.1. Doldurma yeteneği

KYB kendi ağırlığı ile şeklini değiştirme ve deforme olma özelliğine sahip olmalıdır. Doldurma yeteneği, betonun boşaltma noktasından ne kadar uzaklığa akabildiği ve bu akışın hızı (deformasyon hızı) kavramlarını içermektedir. Yayılma deneyi ile, betonun yayılma çapı ve bu çapa ulaşılması için geçen süre ile, söz konusu özellik değerlendirilebilir. İyi bir doldurma yeteneği için, deformasyon kapasitesi ile deformasyon hızı arasında bir denge olmalıdır. Betonun iyi deforme olabilmesi için, iri agrega, ince agrega ve her türlü bağlayıcı dahil katı tanecikler arasındaki sürtünmenin azaltılması faydalıdır. Ancak bu yeterli değildir. Çimento hamuru fazı da iyi deforme olabilmelidir. Yüksek akışkanlıkla birlikte ayrışmaya karşı yüksek direncin sağlanması, KYB'un engellerin arasından geçerek doldurma kapasitesinin

arttırılması açısından önemlidir. Uygun doldurma yeteneği sağlama için aşağıdaki hususlar göz önünde bulundurulmalıdır [6]:

Çimento hamuru fazının deformasyon yeteneğinin arttırılması için:

1. Süper akışkanlaştırıcı katkı kullanımı,
2. Dengelenmiş su-bağlayıcı oranı.

Tanecikler arası sürtünmenin azaltılması için ise;

1. Düşük iri agreganın hacmi (yüksek çimento hamuru fazı içeriği),
2. Agregalara ve kullanılan çimentoya bağlı olarak optimum granülometriye sahip toz malzeme

2.6.1.2. Geçiş yeteneği

KYB yeterli akıcılığa ve aynı zamanda ayrışmaya karşı dirence sahip olduğunda etkili bir işlev görür. Ancak dar geçişler ve çok sık donatı söz konusu olduğunda, ekstra bir ihtiyaç daha doğmaktadır ki, bu da iri agregaların birbirine yaslanarak kemerlenme oluşmamasıdır. KYB'deki iri agregaların boyut ve içeriği ile kalıpla donatı arasındaki mesafenin uyumlu olması gerekir. Böyle bir kemerlenme mekanizması, betonun bir delikten aktığı iki boyutlu bir model Şekil 2.5 'de görülmektedir.



Şekil 2.5 Agregaların kemerlenme oluşturma mekanizması

Kemerlenme oluşumu, agreganın boyutu büyük ve agreganın içeriğinin de fazla olması durumunda daha kolay gelişir. Agreganın boyutunun küçültülmesi durumunda kemer oluşumu yüksek agreganın içeriğinde oluşabilir. Bununla birlikte eğer agreganın taneleri geçtikleri boşluğun boyutlarına kıyasla çok küçükse kemer oluşumu gerçekleşmeyebilir. Mükemmel doldurma yeteneğine ve ayrışma direncine sahip olan bir KYB'de bile aşağıdaki durumlarda blokaj riski vardır [8,9].

1. En büyük agrega boyutunun çok fazla olması,
2. İri agrega içeriğinin çok yüksek olması

Uygun geçiş yeteneği için aşağıdakiler dikkate alınmalıdır:

1. Agrega ayrışmasını azaltmak için kohezyonu arttırmak,
2. Düşük su-bağlayıcı oranı,
3. Viskozite arttırıcı katkı kullanılması

Uygun geçiş açıklığı ve iri agrega özellikleri için ise; Düşük iri agrega içeriği ve en büyük agrega boyutunun azaltılması gerekmektedir.

2.6.1.3. Ayrışmaya karşı direnç

Taze betonda ayrışma (segregasyon), bileşen malzemelerin, homojen olmaksızın dağılarak, yapıdaki özellikleri de dağılıma uğratması olayıdır. Normal akışta ayrışma göstermeyen taze beton, örneğin sık donatıların bulunması durumunda ayrışmaya uğrayabilir. KYB gerek durağan, gerekse akış halinde aşağıdaki tip ayrışmaları göstermemelidir [7].

1. Terleme,
2. Çimento hamuru fazı ve agreganın ayrışması,
3. Blokaja (kilitlenme) neden olan iri agrega ayrışması,
4. Hava boşluğu dağılımının homojen olmaması.

Ayrışmaya karşın uygun bir direnç sağlamak için aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır:

Katkı malzemelerin ayrışmasının önlenmesi:

1. Sınırlı agrega içeriği,
2. Azaltılmış en büyük agrega tane çapı,
3. Düşük su / bağlayıcı oranı,
4. Viskozite arttırıcı katkı kullanımı.

Serbest terlemenin minimize edilmesi:

5. Düşük su içeriği,
6. Düşük su/bağlayıcı oranı,
7. Viskozite arttırıcı,
8. Yüksek yüzey alana sahip bağlayıcılar.

2.6.2. Taze beton deney yöntemleri

Geleneksel betonlar performans özellikleri olarak pratikte, sahip olmaları gereken basınç dayanımına göre dizayn edilirken aynı zamanda da işlenebilirlik özellikleri olarak belli bir çökme değerine sahip olmaları gerekir. Bu sebeple, geleneksel betonlar basınç dayanımına göre tasnif edilir. KYB'ler ise özel bir beton türü olarak daha farklı amaçlara hizmet etmektedir. Sağlamaları gereken kendiliğinden yerleşebilirlik özelliklerini sağlayabilmek için basınç dayanımından önce taze haldeki özellikleri ile tanımlanırlar. [37]

Taze betonun kendiliğinden yerleşebilirliğinin laboratuvar koşullarında belirlenebilmesi ve uygulamada kontrolü için bir çok araştırmacı ve komite tarafından çok sayıda deney metodu geliştirilmiştir. Ancak hiçbir yöntem tüm reolojik parametreleri tek başına belirleyememekte, hepsinin eksik yönleri bulunmaktadır.[35] Bu deneyler taze betonun akışkanlığını, ayrışmasını, yerleşmesini ve sıkışmasını test ederler. KYB'ler kıvam değeri olarak TS EN 206-1'deki en yüksek kıvam değerinden daha yüksek kıvama sahiptir [11]. Bu nedenle de, bu standartta tarif edilmemiş bazı özelliklere sahip olmalıdır. Daha öncede ifade edildiği gibi, bir betona “Kendiliğinden Yerleşen Beton” denilebilmesi için aşağıdaki özelliklerin ölçülmesi ve ölçüm sonuçlarının da verilen sınır değerleri (Çizelge 21.2) içinde kalması gerekir. Bu özellikler şu şekildedir;

1. Doldurma Kabiliyeti “Filling Ability”,
2. Geçme Kabiliyeti “Passing Ability”,
3. Ayrışmaya karşı direnç “Segregation Resistance”.

EFNARC (2002)'de standardında önerilen deney yöntemleri ve ölçtüğü kendiliğinden yerleşebilirlik özellikleri topluca Tablo 2,4 'de gösterilmiştir.

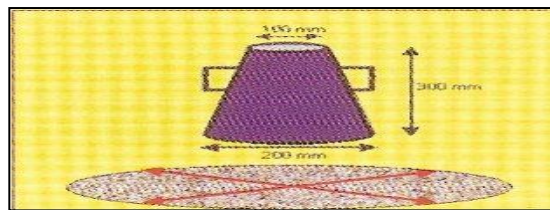
Tablo 2.4. Deney yöntemleri ve kabul edilebilir limit değerler [13]

Deney Metodu	Ölçülecek Özellik	Birimi	Limit Değerler	
			En küçük	En büyük
Yayılma tablası Deneyi	Doldurma Kabiliyeti	mm	650	800
Yayılma Tablasında İlk 50 cm yayılma için geçen süre (T ₅₀ Deneyi)	Doldurma Kabiliyeti	sn	2	5
V- Hunisi Deneyi	Doldurma Kabiliyeti	sn	8	20
U-Kutusu Deneyi	Geçiş yeteneği	(h ₂ /h ₁)	0	30
L- Kutusu Deneyi	Geçiş yeteneği	(h ₂ /h ₁)	0,8	1,00
Doldurma Kutusu Deneyi	Geçiş yeteneği	%	90	100
J- Halkası Deneyi	Geçiş yeteneği	mm	0	10
GTM Deneyi	Ayrışmaya karşı direnç	%	0	15

2.6.2.1. Çökme-Yayılma (Slump-Flow) deneyi

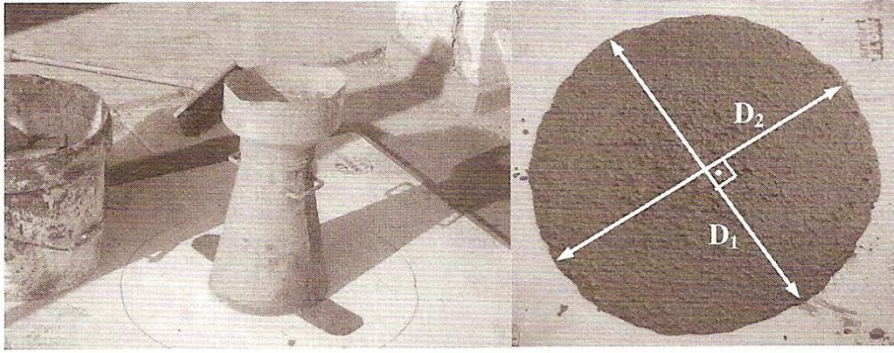
Bu deney taze KYB'un deformasyon hızının gözlenmesini ve numunenin kendi ağırlığı ile yayılarak oluşturacağı çapın ölçülmesini kapsar.

Deney aparatı olarak çökme (slump) hunisi ve 100x100 cm boyutlarında bir tabla kullanılır (Şekil 2.6 ve 2.7) [9,13].



Şekil 2.6. Çökme-yayılma deney aparatı

Betonun kendiliğinden yayılma özelliği yani “doldurma kabiliyetini” ölçmek için kullanılan en yaygın yöntemdir. Yayılma tablası üzerine konulan slump hunisi içerisinde, beton şişleme yapılmadan dondurulduktan sonra, slump hunisi yukarıya çekilerek betonun herhangi bir sarsma yapmadan kendi ağırlığı ile yayılması beklenir. Yayılma çapları iki farklı noktadan ölçülerek kaydedilir (Şekil 2.7). Ayrıca bir kronometre ile 50 cm yayılma değeri için geçen zaman belirlenir.



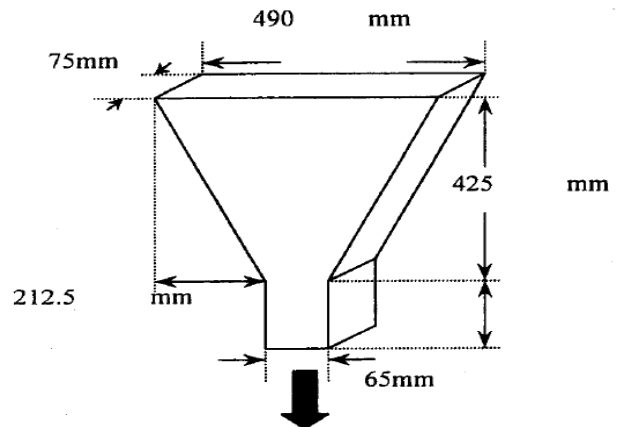
Şekil 2.7. Çökme-yayılma deneyi yapılışı

2.6.2.2. V-hunisi deneyi

Bu deney, taze KYB’un kendi ağırlığı ile özel tasarlanmış bir huninin dar olan ağzından boşalma süresinin ölçülmesini içerir. Betonun boşluklardan geçebilme yeteneğini ölçmek için yapılan kendiliğinden yerleşebilirlik deneyidir. Deney, KYB’un viskozitesi ve geçiş yeteneği hakkında fikir vermektedir. Aparat olarak özel bir huni kullanılır.



Şekil 2.8 V hunisi deney aparatı



Şekil 2.9 V hunisi deney aparatı ölçüleri

Huniye KYB doldurulduktan sonra en altta bulunan sürgülü kapak açılır ve huni içindeki tüm betonun alttaki kovayı doldurma süresi kaydedilir (Şekil 2.8) [9,13].

2.7. KYB'nin Mekanik Özellikleri

Özel betonlar olarak KYB'ler diğer betonlardan kendilerini ayıran en temel özellik olarak kendiliğinden yerleşebilirlik özelliklerini sağlayabilmek için düşük su/bağlayıcı oranlarında üretilmek durumundadırlar. O halde, geleneksel betonlarla kıyaslandığında daha düşük su/bağlayıcı oranı, basınç dayanımı olarak daha yüksek dayanım anlamına gelmektedir. Normal beton vibrasyona tabi tutulduğunda taze betonun bünyesinde bulunan su, iri agregaların etrafına toplanarak agrega ile çimento hamuru arasındaki bağı zayıflatır ve boşluklu bir yapı oluşmasına neden olur. KYB'ler ise usulüne uygun dizayn edildiklerinde ve üretildiklerinde, homojen, akıcı, ayrışmaya dirençli ve herhangi bir sıkıştırmaya gerek olmaksızın kalıbına kolayca yerleşebilen bir yapıda olur. Bu durum, iri agrega ile harç fazı arasında kuvvetli bir bağ oluşumu sonucunu doğurur. Böylece, KYB'lerin ifade edilen mikro yapıları gereğince dayanım gelişimleri, geçirimsizlikleri daha iyi ve nihayetinde daha uzun servis ömrüne sahip bir beton oluşur.

Basınç dayanımı gelişimine paralel olarak ultrases geçiş hızları değerlendirildiğinde taze betonların kendiliğinden yerleşebilirliği yeterince miktarda sağlandığında, daha yüksek geçiş hızları edildiği görülür [7].

2.8. Aşınma Direnci

Cisimlerde meydana gelen mekanik aşınma kaybı, başka bir maddeyle hareketli teması sebebiyle aradaki sürtünmeden dolayı oluşur. Bu kayıp, yol yüzeylerinde çoğunlukla kar küreme bıçakları, lastik zincirleri ve çivili lastiklerce yapılır. Yavaş gelişen fiziksel ve mekanik bir olay olmasına rağmen zaman içindeki süreklilik, olayı büyük boyutlara taşıdığından ve yolun yüzey özellikleri araçların seyir güvenliği açısından kritik olduğundan, konu son derece önemlidir. Kompozit bir malzeme olan

beton, iri agrega fazı ve ince agregayla beraber çimentonun oluşturmuş olduğu hamur fazı olmak üzere iki ana fazdan oluşmaktadır. Betonun aşınma direnci bu ikisinden daha dirençli olana göre gelişmektedir [1]. Aşınma direnci yüksek olan bazalt, granit gibi doğal ve yüksek fırın çürüğü gibi yapay sert agregalarla üretilen betonun aşınma direnci de yüksek olmaktadır. Diğer yandan sert agregalar, aşınma dirençlerinin daha iyi olmasına karşın konkasör tesislerindeki mekanik akşamlarda daha fazla aşınma ve yıpranmaya neden olduklarından işletme masraflarını da artırmaktadırlar. Fakat yine de sert agregaların bu dirençli halinden beton yol kaplamalarında yararlanmak gerekmektedir. Deneysel yöntemlerle aşınma direnci ölçülerek yol beton kaplamalarının aşındırıcı mekanik etkilere karşı dayanıklılığı etkin olarak belirlenebilmektedir. Beton yollarda yüzeydeki birkaç mm'lik kısımda, iri agrega danelerinden daha çok ince agrega daneleri ve çimentonun oluşturduğu hamur fazı bulunduğundan [2,3] bu deneysel çalışmada, aşındırıcı mekanik etkilere karşı beton yol yüzeyinin göstereceği direnci belirlemek amacıyla, kalker türü iri agregası ve diğer kriterleri sabit tutulan betonlarda, farklı sertlikteki kayaç türlerinden elde edilmiş kırmataş ince agreganın betonun aşınma direncine ne derecede etki göstereceği araştırılmıştır.

BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışma, farklı agregaların çimento ile farklı ikame oranlarında kullanılmasıyla üretilen KYB'lerin taze haldeki işlenebilirlik, sertleşmiş halde ise mekanik özelliklerinin incelenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Önceki bölümde ifade edildiği üzere KYB'ler, "kendiliğinden yerleşebilirlik" özelliklerini sağlayabilmeleri için geleneksel betonlardan farklı olarak daha fazla ince taneli malzemeye (yaklaşık 450-550 kg/m³) ihtiyaç duymaktadır. Bu ihtiyacı sadece çimento ile dengelemek ekonomik bir yaklaşım olmayacağından bu betonlarda mineral katkıların kullanımı, kendi ağırlığı ile kalıbını doldururken herhangi bir ayrışmaya neden olmadan en dar kesitlerden rahatlıkla geçerek aynı zamanda da gerekli stabilite ve viskoziteyi sağlayabilmesi amacıyla, bir zorunluluk arz etmektedir. Bu sebeple ilk olarak uçucu kül, farklı ikame oranlarında kullanılması ile üretilen betonların taze beton deneyleri ile kendiliğinden yerleşebilirlik özelliklerini sağlayıp sağlamadıklarına bakılmış ve bu özelliği sağlamayan mineral katkıların değişik ikame oranlarındaki karışımları elenmiş ve daha sonra sadece bu özelliği sağlayan betonların mekanik ve dayanıklılık özellikleri incelenmiştir.

Taze beton deneyleri olarak çökme-yayıma (slump-flow), T₅₀ süresi, V hunisi deneyleri yapılarak mineral katkıların çimento ile farklı ikame oranlarında kullanılmasıyla üretilen betonların "kendiliğinden yerleşebilirlik" özellikleri araştırılmıştır. Mekanik özellikler ise aşınma deneyi, basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı ve elastisite modülü deneyleri ile belirlenmeye çalışılmıştır.

3.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada, kendiliğinden yerleşen beton deney numuneleri üretiminde çimento olarak TS EN 197-1 standardına uygun olarak üretilen, Akçansa Çimento Sanayi

A.Ş. Çanakkale fabrikasından tedarik edilen CEM I 42.5 R çimentosu kullanılmıştır. Bu çimentoya ait kimyasal ve fiziksel analiz sonuçları Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. CEM I 42.5 R çimentosunun ve uçucu külün özellikleri

Kimyasal Bileşimi (%)		
Bileşen (%)	Çimento	Uçucu Kül
SiO ₂	19.10	47.09
Al ₂ O ₃	4.85	17.41
Fe ₂ O ₃	3.24	8.34
CaO	61.86	13.98
MgO	2.02	1.85
SO ₃	2.63	4.65
Kızdırma kaybı	2.90	1.79
Cl	---	---
Na ₂ O	---	2.44
K ₂ O	---	1.80
Fiziksel Özellikler		
Özgül Ağırlık	3.08	2.17
Blaine (cm ² /g)	3996	2469
Mekanik Özellikler		
Basınç Dayanımı (MPa)		
28 gün	28.3	
56 gün	41.9	
90 gün	51.6	

Bu çalışmada KYB deney numunelerinin üretiminde kullanılan uçucu kül, Çayırhan Termik Santrali’nden tedarik edilmiştir. Bu uçucu kül, Tablo 3.3’de görüleceği üzere ASTM C 618 standardına göre SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ > % 70 olduğundan F sınıfı olarak ifade edilen bir uçucu küldür. Ayrıca % 10’dan daha çok CaO içerdiği için, "yüksek kireçli uçucu küller" olarak adlandırılmaktadır. Çalışmada kullanılan uçucu küle ait fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları Tablo 3.3’te verilmiştir.

Kendiliğinden yerleşen beton numunelerinin üretiminde karışım suyu olarak Sakarya şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan suyun sülfat içeriği 20 mg/lt, klorür içeriği 9.89 mg/lt, ve pH değeri 7.88 olarak belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan agregalardan kumtaşı ve kalker agregası Sakarya-Geyve yöresinden, dolomit agregası,

Sakarya Ferizli bölgesinden mermer agregası Bilecik'ten ve bazalt agregası Tekirdağ Çorlu'dan temin edilmiş olup ince agregası olarak doğal kum (0-4) mm elek aralığında, iri agregası olarak ise kırmataş I (5-12) mm ve kırmataş II (12-16) mm elek aralığında kullanılmıştır. Agregaların maksimum tane boyutu 16 mm olarak alınmıştır.

Tablo 3.2. Agregaların Elek Analizi

Elek (mm)	% Geçen				
	Agrega Tipi				
	Kalker	Dolomit	Mermer	Bazalt	Kumtaşı
16	100	100	100	100	100
8	70	82	71	75	72
4	60	72	62	68	64
2	48	60	46	57	42
1	28	45	34	42	30
0.50	15	32	17	30	19
0.25	5	16	8	13	6

Tablo 3.3. Süperakışkanlaştırıcı katkıların teknik özellikleri

Katkı Türü	A FİRMASI	
	Limit Değerler	Test Sonucu
Özellik		
Homojenlik	Ayrışmamalı	Ayrışmadı
Renk	Açık Yeşil	Açık Yeşil
Bağıl Yoğunluk 20 °C(g/ml)	1.023-1.063	1.045
Katı Madde (%)	19.0-21.0	20.57
pH, (%10'luk çözelti)	6.0-7.0	6.07
Suda Çözünebilir Klorür (%)	< %0.1 (kütlece)	0.0148
Alkali Miktarı (Na ₂ O)	max %3	1.140

Çalışmada KYB karışımlarında akışkanlaştırıcı katkı olarak A firmasına ait polikarbosilik eter esaslı, yüksek oranda su azaltıcı yeni nesil süperakışkanlaştırıcı beton katkısı, Akışkanlaştırıcı katkıların teknik özellikleri Tablo 3.3’da verilmiştir. Farklı iri agregaların değişik oranlarda kullanılmasıyla üretilen KYB’lerin taze halde işlenebilirlik, sertleşmiş halde ise mekanik özelliklerinin incelendiği bu çalışmada, 11 farklı karışımda beton dizaynı yapılmış ve bu beton karışımlarının “kendiliğinden yerleşebilirlik” özelliklerini sağlayıp sağlamadıklarına taze haldeki işlenebilirlik deneyleri ile bakılmıştır.

Kendiliğinden yerleşebilirlik özelliğini sağlayan karışımlarla mekanik deneylerine geçilmiştir. Tüm karışımlarda toplam ince taneli malzeme miktarı (çimento+mineral katkı) 550 kg/m^3 olarak alınmıştır. Deneyler kapsamında 5 seri olarak kumtaşı, kalker, bazalt, mermer ve dolomit agregalı KYB ile bu agregaların farklı oranlarda yer değiştirmesiyle 6 seri olmak üzere toplam 11 seri beton üretilmiştir.

Tablo 3.4 1 m^3 İçin Karışım Oranları

Malzemele (kg/m^3)	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M1 0	M1 1
Çimento	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
Uçucu kül	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Su	184	184	184	184	184	184	184	184	184	184	184
w/c	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
Kum	857	857	857	857	857	857	857	857	857	857	857
CSI (Bazalt)	-	-	-	-	770	395	473	552	631	710	394
CSI (Mermer)	-	-	731	-	-	-	-	-	-	-	-
CSI (Dolomit)	-	769	-	-	-	384	307	230	154	77	-
CSI (Kumtaşı)	-	-	-	742	-	-	-	-	-	-	370
CSI (Kireçtaşı)	726	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Yapılan deneme karışımları neticesinde optimum su ve süperakışkanlaştırıcı katkı miktarı belirlenmiştir. Bu denemeler esnasında karışımların genel olarak çökme-yayılma, segregasyon, stabilite ve terleme durumları incelenmiştir. Sonuç olarak tüm karışımlarda su/toz malzeme oranı 0.33, toplam ince taneli malzeme ($<0,125 \text{ mm}$) miktarı 550 kg/m^3 olarak sabitlenmiştir. Süperakışkanlaştırıcı katkı miktarı, tüm

karışımlarda herhangi bir ayrışmaya neden olmadan kendiliğinden yerleşebilirliği sağlayacak ve 650-750 mm yayılma değerini elde edecek şekilde, toplam ince taneli malzeme miktarının %1,45 ila %1,80'i arasında kullanılmıştır. Üretilen tüm karışımların kodları Tablo 3.4'de verilmiştir.

3.2. Deney numunelerinin üretimi

Çalışmada farklı karışımlarda tasarlanan deney numuneleri 40 dm³ lük pan mikserinde karıştırılarak ASTM C 192 standardına uygun olarak üretilmiştir [23].

KYB olarak tasarlanıp üretilen tüm numuneler kalıba yerleştirildikten sonra herhangi bir sıkıştırmaya tabi tutulmamıştır. Ancak geleneksel beton olarak üretilen numune, bilinen şekliyle vibratör vasıtasıyla sıkıştırmaya tabi tutulmuştur. Numuneler kalıba yerleştirildikten sonra laboratuvar koşullarında muhafaza edilmiş ve TS EN 12390-2 standardına uygun olarak 24 saat bekletildikten sonra kalıptan çıkarılmış ve deney zamanı gelene kadar da su içerisinde kür edilmiştir [24].

KYB'lerin tasarımı ve üretimi geleneksel betonlara göre farklılık arz etmektedir. Karışıma dahil edilen malzemelerin beton pan mikserine belli bir sıra ile konulması ve karıştırma işleminin belli bir ahenk içerisinde gerçekleştirilmesi gerekir. Bu hususta özel bir karışım prosedürü geliştirilmiştir [25]. Bu prosedüre göre aşağıdaki sıra takip edilerek beton bileşenlerinin miksere konulması ve karıştırma zamanlarına titizlik gösterilmesi gerekmektedir.

Bu işlemler aşağıdaki sıra dahilinde gerçekleştirilir;

1. Beton karışımına dahil olan tüm malzemeler 40 dm³ lük pan mikserinde karıştırmaya tabi tutulur.
2. İlk olarak kum ve iri agrega 30 sn. karıştırılarak homojen bir karışım elde edilir.

3. Daha sonra karışım suyunun % 75'i ve süperakışkanlaştırıcı katkı önceki karışıma ilave edilerek 30 sn daha karıştırma yapılır.
4. Çimento ve mineral katkıları ilave edilerek 1 dk. daha karıştırmaya devam edilir.
5. Arta kalan su (toplam suyun $\frac{1}{4}$ 'ü) karışıma ilave edilerek 3 dk. daha ilave karıştırma yapılır.

3.3. Deney Yöntemleri

Değişik agrega çeşitleriyle üretilen KYB'lerin taze haldeki işlenebilirlik, sertleşmiş halde ise mekanik özelliklerinin incelendiği bu çalışmada yapılan deneyler aşağıdaki yöntemler esas alınarak gerçekleştirilmiştir.

3.3.1. Taze beton deneyleri

KYB'lere özel olarak taze haldeki özelliklerini belirlemek amacıyla tüm dünyada kabul gören çeşitli deney yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemlerle yapılan deneyler aşağıda açıklanmıştır. Deneyler esnasında taze haldeki KYB üzerinde gözlem yapılarak, beton kendi ağırlığı ile hareket ederken, bünyesinde kusma, ayrışma, viskozite ve stabilite sorunları oluştuğunda beton tasarımı değiştirilerek deneyler yeniden yapılmıştır.

3.3.1.1. Çökme-yayılma (slump-flow) deneyi

Bu deney Bölüm 2.6.3.1'de ifade edildiği üzere taze haldeki KYB'nin deformasyon hızının gözlenmesini ve numunenin kendi ağırlığı ile yayılarak oluşturacağı çapın ölçülmesini kapsamaktadır. Betonun kendiliğinden yayılma özelliğini, yani "doldurma yeteneğini" ölçmek için kullanılan en yaygın yöntemdir. Deney aparatı olarak çökme (slump) hunisi ve 100x100 cm boyutlarında bir tabla kullanılmıştır. Yayılma tablası üzerine konulan slump hunisi içerisine, beton şişleme yapılmadan doldurulduktan sonra, slump hunisi yukarıya çekilerek betonun herhangi bir sarsma yapmadan kendi ağırlığı ile yayılması beklenmiştir.

Yayılma çapları birbirine dik olacak şekilde (D_1 , D_2) iki farklı noktadan ölçülerek kaydedilmiştir. Ölçüm neticesinde birbirine dik iki noktadan alınan ölçüm değerinin ortalaması 650 mm ile 800 mm arasında olduğu görülerek “kendiliğinden yerleşebilirlik” kriterini sağladığı kanaatine varılmıştır. Bununla beraber, bir kronometre ile 50 cm yayılma değeri için geçen zaman belirlenmiş, bu değerin de 2 sn. ile 5 sn. arasında olmasına dikkat edilmiştir.

3.3.1.2. V-hunisi deneyi

Bu deney, KYB karışımlarının viskozitesi hakkında bilgi verir ve aparat olarak özel bir huni kullanılmıştır. Huniye taze haldeki KYB doldurulduktan sonra yüzey düzeltilerek ve yaklaşık 1 dk. beklenerek en altta bulunan sürgülü kapak açılmış ve huni içerisindeki tüm betonun alttaki kovayı doldurma süresi belirlenmiştir. KYB kriterlerine göre, bu sürenin 9 sn ile 27 sn arasında olup olmadığı gözlemlenmiştir.

3.3.2. Sertleşmiş beton deneyleri

3.3.2.1. Basınç dayanımı deneyi

Çalışmada üretilen betonların taze halde işlenebilirlik deneyleri ile “kendiliğinden yerleşebilirlik” özelliği sağladıkları belirlendikten sonra KYB’lerin sertleşmiş beton deneyleri olarak küp numuneler üzerinde TS EN 12390-3 standardına uygun olarak basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır [26]. Basınç dayanımı deneyleri 15*15*15 cm ebatındaki standart boyutlu küp numuneler üzerinde 28. gün, 56. gün, 90. gün günlerde olmak üzere 3 farklı yaşta gerçekleştirilmiştir. Deney zamanına kadar tüm numuneler su içerisinde kür edilmiştir. Her seri için basınç dayanımı deneyi 3 adet numune üzerinde gerçekleştirilmiş ve bu üç numunenin ortalaması alınarak ilgili yaşlardaki basınç dayanımları belirlenmiştir.

3.3.2.2. Ultrases geçiş hızı deneyi

Sertleşmiş betonun basınç dayanımını belirlemek için kullanılan ve tahribatsız deney yöntemlerinden biri olarak isimlendirilen ultrases geçiş hızı deneyi farklı

karışımlarda hazırlanan KYB deney numuneleri üzerinde yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Beton dayanımının hasarsız bir şekilde belirlenmesini sağlayan ultrases geçiş hızı deneyi, ASTM C 597-71 standardına uygun olarak, beton basınç deneyi için hazırlanan numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir [27]. Bu deneyde yöntem olarak, ses üstü dalganın geçiş süresi ölçülür ve daha sonra ultrases geçiş hızı aşağıdaki denklem (3.1) yardımıyla belirlenir. Bu formülde, V: ses üstü dalga hızı (m/sn), x: numunenin boyu (m), t: ses üstü dalganın numune içinden geçiş süresidir.

$$V = \frac{x}{t} \cdot 10^3 \quad (3.1)$$

ASTM C 597-71 standardı, dalga hızına bağlı olarak beton kalitesini Tablo 3. 14'te görüldüğü üzere sınıflandırmıştır.

Tablo 3.5. Ultrasonik deney yöntemiyle beton kalitesinin değerlendirilmesi

Dalga Hızı, (m/sn)	Beton Kalitesi
> 4500	Mükemmel
3500-4500	İyi
3000-3500	Şüpheli
2000-3000	Zayıf
< 2000	Çok Zayıf

3.3.2.3. Statik ve dinamik elastisite modülü deneyleri

Statik ve dinamik elastisite modülü deneyleri 15 cm çapında ve 30 cm yüksekliğindeki silindir numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler için hazırlanan silindir numuneler 28 gün boyunca su içerisinde kür edilmiş ve her seri için 3 adet numune üzerinde bu deneyler yapılmış ve elde edilen sonuçların ortalamaları alınarak statik ve dinamik elastisite modülü değerleri belirlenmiştir. Statik elastisite modülü için deney numuneleri basınç dayanım deneyine tabi tutulmadan önce % 70 kükürt ve % 30 grafit tozundan oluşan karışım ile başlıklanmıştır. Daha sonra TS 3502 ve ASTM C 469'a göre başlangıç ve sınır

yükleri bulunarak numune sınır yüküne kadar yüklenip Şekil 3.11’de görülen deformasyon çerçevesinin üzerindeki “birim kısalma ölçer” göstergesinin hareket edip etmediği gözlemlenmiştir [177,178]. Başlangıç ve sınır yükleri 10 parçaya bölünerek başlangıç yükünden sınır yüküne kadar her parçadaki kısalma değerleri okunmuştur. Bu çalışmada başlangıç yükü 5000 kg, sınır yükü numunelerin basınç dayanımının % 40’ı olarak alınmıştır. Elde edilen sonuçlar ilgili standartlara göre değerlendirilerek numunelerin statik elastisite modülü değerleri belirlenmiştir.



Şekil 3.1. Statik elastisite modülü deneyi ve ölçüm çerçevesi

Dinamik elastisite modülü ise, aşağıda görülen (3.2) eşitliğinden yararlanılarak bulunmuştur.

$$E_d = 10^5 \times V^2 \times \left(\frac{\Delta}{g}\right) \quad (3.2)$$

Burada; E_d = dinamik elastisite modülü, V = ultrases dalga hızı (m/sn), Δ = numunenin birim ağırlığı (kg/dm^3), g = yerçekimi ivmesi ($9.81 \text{ m}/\text{sn}^2$).

Dinamik elastisite modülü değerlerini belirlemek amacıyla, statik elastisite modülü için hazırlanan deney numunelerinden faydalanılmıştır. Numunelerin öncelikle birim ağırlıkları TS EN 12390-7’ye belirlenmiş, daha sonra ise ultrasonik ses cihazı ile ultrases dalga hızları belirlenerek (3.2) eşitliği yardımıyla dinamik elastisite modülü değerleri hesaplanmıştır [28].

3.3.2.4. Aşınma direnci deneyi

Bu çalışmada betonun aşınma direncinin belirlenmesinde Böhme aşınma deneyi (TS 2824, EN 1338, DIN52108) kullanılmıştır. Bu deneyde dakikada 30 ± 1 devir hızla dönen 750 mm çapında yatay olarak yerleştirilmiş döner bir aşındırıcı çelik disk bulunmaktadır. Döner disk üzerindeki yerine konulup sabitlenen beton numuneye çelik bir manivela ile 294 ± 3 N düşey yük uygulanmaktadır. Düzenek üzerinde diskin 22 devrinden sonra otomatik durdurma tertibatı bulunmaktadır. Her bir beton karışımı temsilen üçer adet numune, kiriş kalıplardaki betonlardan, TS 2824'e uygun olarak kenar uzunluğu $71 \pm 1,5$ mm olan küp şeklinde kesilip taban alanı 50 cm^2 olacak şekilde gerekli düzeltmeleri yapılarak hazırlanmıştır. Deney aletine yerleştirilen beton numunenin sürtünme yolu üzerine $20 \pm 0,5$ gr aşındırıcı suni korondum tozu serpilmiştir. Sistem çalıştırılmasından 22 devir sonra durmuştur. Beton numune düşey eksenini etrafında saat yönünde 90° çevrilmiş ve uygun bir fırçayla sürtünme yolu üzerindeki toz ve numune artıkları temizlenip tekrar yeni toz serpilmiştir. Çalışma kapsamındaki numunelere bu şekilde her bir numune için 20 kez 22 devir yani toplamda 440 devir yaptırılmıştır. Üretilen betonlardan belirtilen kıstaslara ve ölçüye göre kesilen numunelerin deney sonrasındaki aşınma miktarını belirlemek amacıyla deney öncesi ve sonrasında kalınlık ölçümleri yapılmıştır. Numunelerin her bir kenarında üç nokta ve ortada bir nokta olmak üzere belirlenen dokuz noktada 0,01 hassasiyette kumpas ile yükseklik ölçümleri alınmıştır.



Şekil 3.2. Aşınma test aparatı

BÖLÜM 4. DENEYSEL SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

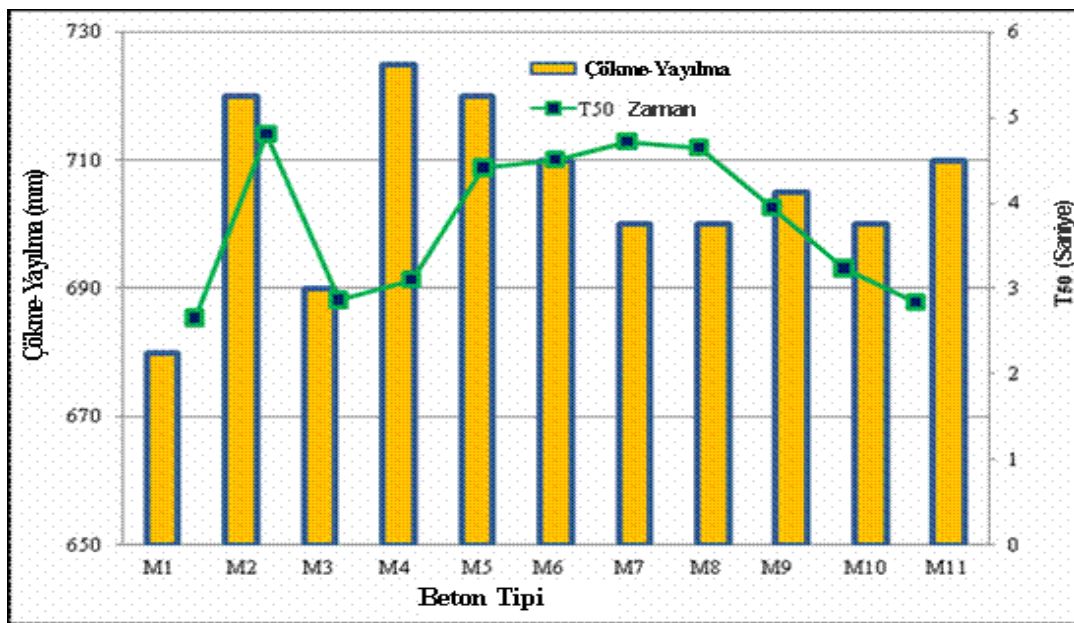
Değişik agregalardan oluşan farklı ikame oranlarında çimento ile yer değiştirmesiyle üretilen KYB numuneleri üzerinde yapılan çeşitli deneyler sonucunda elde edilen değerlerin değerlendirilmesi ve sonuçların çeşitli açılardan birbiri ile ilişkilendirilerek irdelenmesi bu bölümde sunulmuştur.

4.1. Taze Beton Deney Sonuçları Ve Değerlendirilmesi

KYB olarak dizayn edilen ve farklı karışımlarda üretilen betonlar üzerinde yapılan taze beton deneyleri sonucunda elde edilen değerler Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Taze beton deneyleri olarak tariflenen deneyler, KYB’lerin “kendiliğinden yerleşebilirlik” özelliğini ifade etmek için kullanılan özel deneylerdir. Deney sonuçları neticesinde elde edilen değerler irdelendiğinde, KYB sınıfları olarak değişik agregalarla farklı ikame oranlarında üretilen KYB karışımlarının taze haldeki özelliklerinin genel kabul kriterleri çerçevesinde ideal olduğu ve standart değerler olarak istenen koşulları rahatlıkla sağladığı görülmektedir. Bu durum, KYB deney numunelerinin tasarım ve üretiminde titizlik gösterildiği ve yapılan işlemlerin ilgili standartlar çerçevesinde ve uyulması gereken tüm koşul ve şartlara riayet edilerek yapıldığını işaret etmektedir. KYB deney numunelerinin “kendiliğinden yerleşebilirlik” özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan taze beton deneyleri çökme-yayıma, V-hunisi ve T_{50} deneyleri olarak belirlenmiştir. KYB’lerin genel kabul kriterleri TS EN 206-1:2000 standardı esas alınarak değerlendirildiğinde taze beton deneyleri neticesinde elde edilen değerlerin Tablo 5.1’de görülen değer aralıklarında olması tavsiye edilmektedir.

Tablo 4.1 TS EN 206-1:2000'e göre KYB'lerin genel kabul kriterleri

Deney Metodu	KYB sınıfları ve standart değerler		
	En düşük değer		En yüksek değer
Yayılma (mm)	500-650 (SF1)	651-750 (SF2)	751-850 (SF3)
V-hunisi (sn)	≤ 8 (VF1)		9-27 (VF2)
T ₅₀ (sn)	≤ 2 (VS1)		> 2 (VS2)



Şekil 4.1. KYB karışımlarının çökme –yayılma ve T50 deney sonuçları

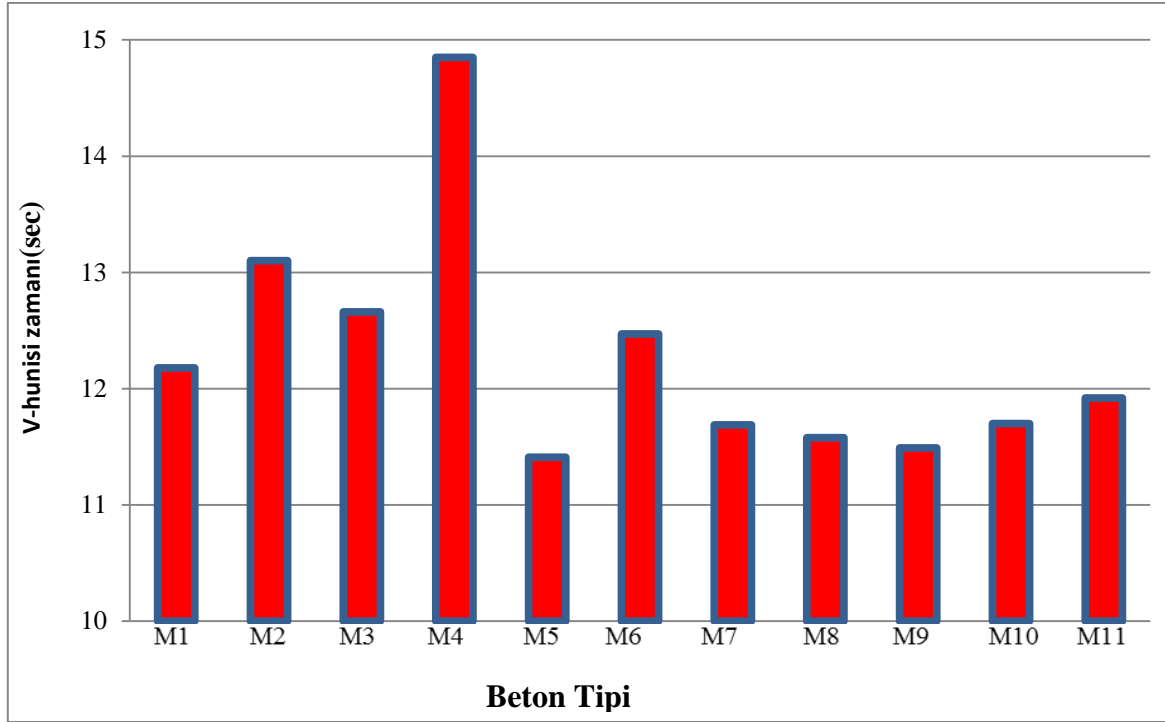
KYB karışımlarının çökme-yayılma deneyleri esnasında yapılan ve slump hunisinin merkezini esas alarak 50 cm çapındaki mesafeyi kat etme süresini ifade eden T₅₀ süresi deneyleri sonucunda 50 cm lik mesafeyi en hızlı M4 beton tipi üretilen karışım kat etmiştir. Burada M4 sınıfı betonun T₅₀ değerine 3sn'de ulaştığı görülmektedir. Ayrıca 50 cm'lik mesafeyi en hızlı ulaşan M4 beton tipi karışımında kumtaşının %31,8 oranında ikame edilmesiyle yaklaşık 720 mm yayıldığı saptanmıştır. 50 cm lik mesafeye en geç ulaşan M1 beton tipi üretilen karışım kat etmiştir. Burada M1 sınıfı betonun T₅₀ değerine 2,8 sn'de ulaştığı görülmektedir. Ayrıca 50 cm'lik mesafeyi en geç ulaşan M1 beton tipi karışımında ise kireçtaşının %31,3 oranında ikame edilmesiyle yaklaşık 680 mm yayıldığı saptanmıştır.

Şekil 4,2 'de görüldüğü gibi Çökme - Yayılma değerlerinin 680 mm ile 720 mm arasında , T_{50} değerlerinde 2,6 ile 4,7 arasında değiştiği görülmektedir. Genel olarak tüm karışımlar 50 cm lik mesafeyi 2-5 sn arasında geçerek KYB genel kriterleri çerçevesinde T_{50} deneyi için uygun değerler vermişlerdir. Ayrıca, genel olarak birçok karışım şahit betona göre daha kısa sürede bu mesafeyi aşarak şahit betona göre daha iyi işlenebilirlik değerleri vermişlerdir.

Sabit s/ç oranında, değişik agrega malzemeleri kullanılarak üretilen KYB karışımlarının viskozite özellikleri V-hunisi deneyi ile incelendiğinde tüm karışımların KYB genel kriterleri içerisinde uygun viskozite özellikleri gösterdiği görülmüştür. Viskozitenin çok düşük olması betonun kendi ağırlığı ile hareket ederken segregasyona uğramasına neden olurken, çok yüksek olması ise betonun, en dar donatılardan geçerek “kendiliğinden yerleşebilirlik” özelliği gösterebilmesi için, hareketini zorlaştırmaktadır.

Şekil 4.2'de görüldüğü gibi viskozite M4 beton tipinde en yük değere ulaşırken, M5 Beton tipi karışımda en düşük viskozite değerine ulaşılmıştır. Viskozite ölçümünde 11 farklı karışımda geçen zaman aralığının 11,5 sn ile 14,8 sn arasında değiştiği görülmektedir. Bu durumda en az viskozite değerini veren M4 beton tipi karışımında %32.6 oranında bazalt ihtiva ettiği görülmektedir. En yüksek viskozite değerini veren M4 beton tipi karışımın %31.8 inin kumtaşı olduğu şekil 4.3 te gösterilmiştir.

Farklı agregalarla oluşturulan KYB'lerin viskozitesine etkisini tam olarak ortaya koyabilmek için o malzemelerin yüzey dokusunu, mikro yapısını, tanelerin pürüzlülüğünü ve tane dağılımlarını bilmek de önemli bir husustur.



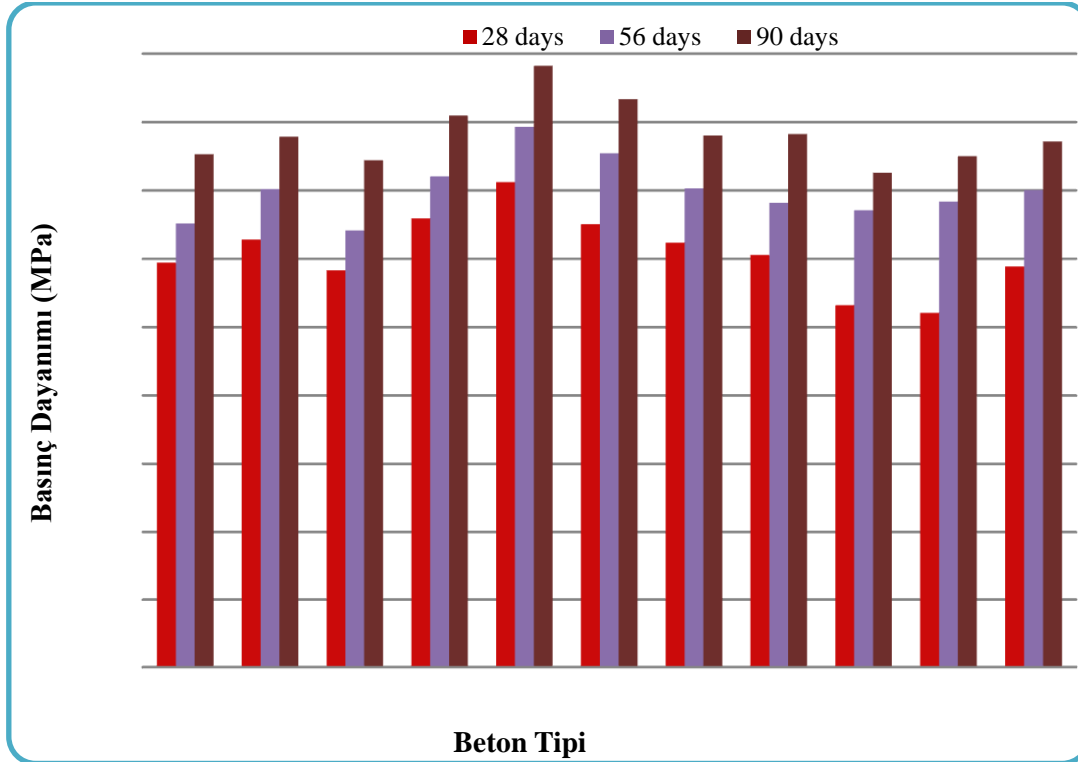
Şekil 4.2 KYB karışımlarının V- hunisi deney sonuçları

4.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları Ve Değerlendirilmesi

4.2.1. Mekanik özellikler ve deney sonuçları ve değerlendirilmesi

4.2.1.1. Basınç dayanımı deney sonuçları ve değerlendirilmesi

Sertleşmiş betonun mekanik özellikleri kapsamında KYB deney numunelerinin basınç dayanımlarını belirlemek amacıyla yapılan 28, 56, 90 günlük basınç dayanımı deneyleri sonucunda KYB deney numuneleri, s/ç oranlarının düşük olması, mineral katkılarla ikame edilerek üretilen betonların bünyesindeki boşlukların minimize edilmesi gibi sebeplerden dolayı yüksek basınç dayanımı değerleri vermiştir. Basınç dayanımı deneyleri 15 cm'lik standart küp numuneler üzerinde 28, 56, 90. günlerde gerçekleştirilmiştir. Üretilen numuneler 20 ± 2 °C sıcaklıkta kirece doymuş su içerisinde deney gününe kadar kür edilmiştir. Deney numuneleri, basınç dayanımı deneyine tabi tutulmadan önce numuneler üzerinde ultrases geçiş hızı ve birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Sertleşmiş beton numunelerinin basınç dayanımı deneyleri sonucunda elde edilen değerler Tablo 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Basınç dayanımı deney sonuçları

KYB numunelerinin 28 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında en yüksek basınç dayanımı değerini M5 beton tipi karışımı vermiş ve bu karışımında %32.6 oranında bazalt kullanılmıştır. 28 günlük basınç dayanımları içerisinde en düşük basınç dayanımı değeri ise M10 beton tipi karışımından elde edilmiş ve bu karışımında % 33 olan agrega oranının %3,2 sinin dolomit olduğu görülmektedir. KYB numunelerinin 56 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında en yüksek basınç dayanımı değerini M5 beton tipi karışımı vermiştir. KYB numunelerinin M3 beton tipi karışımı ise 56 günlük numuneler içerisinde en düşük basınç dayanımı değerini vermiştir. 90 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında en yüksek basınç dayanımı değerinin M5 beton tipi karışımından elde edildiği anlaşılmıştır. 90 günlük basınç dayanımı değerleri içerisinde en düşük dayanım değeri ise M9 beton tipi karışımından elde edilmiştir. Şekil 4.3 'te farklı agregalar kullanılarak üretilen KYB'lere ait 28, 56 ve 90 günlük basınç dayanımı sonuçları görülmektedir.

4.2.1.2. Aşınma deney sonuçları ve değerlendirilmesi

Sertleşmiş betonun mekanik özellikleri kapsamında KYB deney numunelerinin aşınmasını belirlemek amacıyla yapılan 28, 56, 90 günlük 11 farklı beton tipinde aşınma deneyi yapılmıştır. Aşınma deneyleri yaklaşık 7 cm'lik standart küp numuneler üzerinde 28, 56, 90. günlerde gerçekleştirilmiştir. Üretilen numuneler 20 ± 2 °C sıcaklıkta kirece doymun su içerisinde deney gününe kadar kür edilmiştir. Yapılan KYB deney numunelerinin 28,56, ve 90 günlük aşınma deney sonuçlarına göre tablo 4,4 te gösterilmiştir.

KYB deney numunelerinin 28 günlük beton tipi karışımlarda en yüksek aşınma derinliğini M11 beton tipi karışında 3,02 mm olarak ölçülmüş, en düşük aşınma derinliğini M5 beton tipi karışında 1,29 mm olarak ölçülmüştür. KYB deney numunelerinin 28 günlük beton tipi karışımlarda en yüksek kütle kaybı M3 beton tipi karışında % 3,24 olarak ölçülmüş, en düşük kütle kaybı M5 beton tipi karışında %0,90 olarak ölçülmüştür.

KYB deney numunelerinin 56 günlük beton tipi karışımlarda en yüksek aşınma derinliğini M11 beton tipi karışında 2,94 mm olarak ölçülmüş, en düşük aşınma derinliğini M5 beton tipi karışında 1,12 mm olarak ölçülmüştür.

KYB deney numunelerinin 56 günlük beton tipi karışımlarda en yüksek kütle kaybı M3 beton tipi karışında % 3,01 olarak ölçülmüş, en düşük kütle kaybı M5 beton tipi karışında %0,85 olarak ölçülmüştür.

KYB deney numunelerinin 90 günlük beton tipi karışımlarda en yüksek aşınma derinliğini M11 beton tipi karışında 3,01 mm olarak ölçülmüş, en düşük aşınma derinliğini M5 beton tipi karışında 0,98 mm olarak ölçülmüştür. KYB deney numunelerinin 90 günlük beton tipi karışımlarda en yüksek kütle kaybı M10 beton tipi karışında % 2,96 olarak ölçülmüş, en düşük kütle kaybı M5 beton tipi karışında %0,71 olarak ölçülmüştür.

Tablo 4.2. KYB karışımlarının aşınma derinliği ve kütle kaybı sonuçları

“	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
Kur zamanı (28 gün)											
Aşınma Derinliği (mm)	2.68	1.59	2.54	1.70	1.29	1.92	2.10	2.50	2.35	2.77	3.02
Kütle Kaybı (%)	1.90	2.32	3.24	2.12	0.90	1.72	1.97	2.51	2.52	2.98	2.77
Kür zamanı (56 gün)											
Aşınma Derinliği (mm)	2.41	1.58	2.25	1.91	1.12	1.76	1.83	2.21	2.05	2.69	2.94
Kütle Kaybı (%)	1.75	2.29	3.01	1.97	0.85	1.65	1.85	2.50	2.38	2.91	2.55
Kür zamanı (90 gün)											
Aşınma Derinliği (mm)	2.26	1.45	2.31	1.58	0.98	1.69	1.79	2.09	2.02	2.60	3.01
Kütle Kaybı (%)	1.63	2.26	2.95	1.92	0.71	1.56	1.81	2.33	2.31	2.96	2.44

4.2.1 3 Ultrases geçiş hızı deney sonuçları ve değerlendirilmesi

Sertleşmiş betonun basınç dayanımını belirlemek için kullanılan ve tahribatsız deney yöntemlerinden biri olarak isimlendirilen ultrases geçiş hızı deneyi farklı karışımlarda hazırlanan KYB deney numuneleri üzerinde yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Ultrases geçiş hızı deneyleri sertleşmiş beton numunelerinin basınç dayanımı deneyleri yapılmadan önce 15 cm'lik standart küp numuneler üzerinde 28, 56, 90. günlerde gerçekleştirilmiştir.

Numuneler, buldukları ortamdan çıkarıldıktan sonra bir havlu ile silinerek yüzeylerinin kuruması beklenmiş, düz bir zemin üzerine konularak deneyler gerçekleştirilmiştir. Ultrases geçiş hızı ölçümü sırasında, numunenin deneye tabi tutulacak yüzeyleri özel bir gres yağı ile yağlanarak ultrases cihazına ait probalar ile numunelerin arasındaki hava boşluğu giderilmiştir. Numune, ultrases cihazının alıcısı (receiver) ile vericisi (transmitter) arasına yerleştirilerek, numune üzerinden ses

dalgası geçirilmiş ve bu sesin numuneden geçiş zamanı μs olarak ölçülmüştür. Daha sonra sesin numune üzerinden geçtiği mesafe ölçülerek, geçiş mesafesi geçiş zamanına bölünmüş ve ultrases geçiş hızı m/s olarak bulunmuştur.

Deney sonuçlarına göre 28 günlük ultrases geçiş hızı değerleri karşılaştırıldığında M9 beton tipi karışımından en düşük ultrases geçiş hızı değeri, M5 karışımından ise en yüksek ultrases geçiş hızı değeri elde edilmiştir

56 günlük ultrases geçiş hızı değerleri karşılaştırıldığında, M9 karışımı en düşük ultrases geçiş hızı değerini verirken, M5 karışımı ise en yüksek ultrases geçiş hızı değerini vermiştir

90 günlük ultrases geçiş hızı değerleri karşılaştırıldığında M3 karışımı en düşük ultrases geçiş hızı değerini, M5 karışımı ise en yüksek ultrases geçiş hızı değerini vermiştir.

Deney sonuçları irdelendiğinde KYB karışımlarının basınç dayanımı değerleri ile ultrases geçiş hızı değerleri arasında ciddi bir korelasyon olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, KYB'ler üzerinde yapılan ultrases geçiş hızı deney sonuçları değerlendirildiğinde aynı s/ç oranı KYB'lerin geleneksel betonlara göre daha yüksek ultrases geçiş hızı değerleri verdiği anlaşılmıştır. Bu durum, KYB'lerin çok düşük boşluk yapısına sahip olmasına bağlanabilir.

Tablo 4.3 KYB karışımlarının ultra ses deney sonuçları

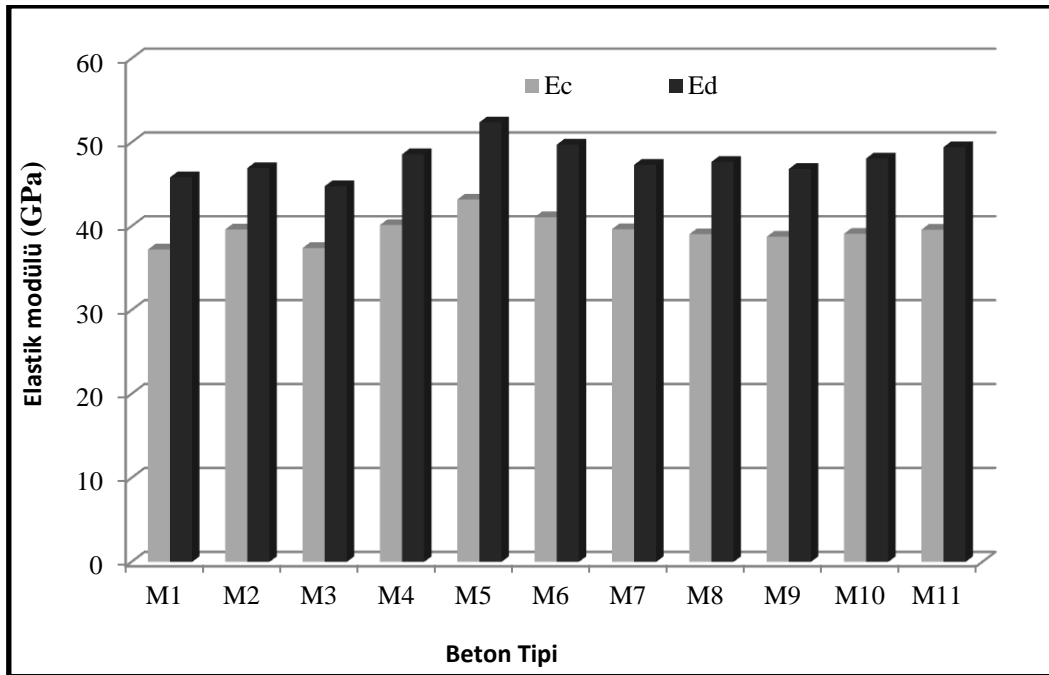
Ultrases geçiş hızı (m/s)			
Kod	28 gün	56 gün	90 gün
M1	4235	4588	4759
M2	4299	4519	4788
M3	4235	4503	4702
M4	4419	4608	4829
M5	4551	4842	4993
M6	4523	4765	4815
M7	4192	4517	4804
M8	4190	4507	4812
M9	4162	4495	4727
M10	4197	4569	4780
M11	4284	4519	4806

4.2.1.4. Statik ve dinamik elastisite modülü sonuçları ve değerlendirilmesi

Statik ve dinamik elastisite modülü deneyleri 15 cm çapında 30 cm yüksekliğinde standart silindir numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deney numuneleri 28 gün boyunca 20 ± 2 °C sıcaklıkta kirece doymun su içerisinde kür edilmiştir. Numuneler daha sonra su içerisinde çıkarılarak kurumaya bırakılmış ve düz bir zemin üzerine konularak öncelikle dinamik elastisite modüllerinin belirlenebilmesi için ultrases geçiş hızı ve birim ağırlık değerleri bulunmuştur. Daha sonra Bölüm 3.4.2.4'te verilen (3.2) eşitliğinden yararlanılarak numunelerin dinamik elastisite modülleri hesaplanmıştır.

Statik elastisite modülü deneyleri ise, numunelerin dinamik elastisite modülleri belirlendikten sonra yapılmıştır. Bu deneyde esas olarak deformasyon çerçevesinden yararlanılmıştır. Başlangıç ve sınır yükleri 10 parçaya bölünerek başlangıç yükünden sınır yüküne kadar her parçadaki kısıalma değerleri okunmuştur. Bu çalışmada başlangıç yükü 5000 kg, sınır yükü numunelerin basınç dayanımının % 40'ı olarak alınmıştır. Elde edilen değerler TS 3502'ye göre değerlendirilerek numunelerin statik elastisite modülü değerleri bulunmuştur [177]

Deney sonuçları değerlendirildiğinde en yüksek statik elastisite modülü (E_c) değerini M5 beton tipi karışımı, en düşük E_c değerini ise M3 beton tipi karışımı vermiştir. Dinamik elastisite modülleri değerlendirildiğinde ise KYB karışımları içerisinde en yüksek dinamik elastisite modülü (E_d) değerini M5 beton tipi karışımı, en düşük E_d değerini ise M3 karışımı vermiştir.



Şekil 4.4 Statik ve dinamik elastisite modülü

4.2. Sonuçlar

1- Deneysel sonuçları neticesinde elde edilen değerler irdelendiğinde, KYB sınıfları olarak değişik agregalarla farklı ikame oranlarında üretilen KYB karışımlarının taze haldeki özelliklerinin genel kabul kriterleri çerçevesinde ideal olduğu ve standart değerler olarak istenen koşulları rahatlıkla sağladığı görülmektedir. Bu durum, KYB deney numunelerinin tasarım ve üretiminde titizlik gösterildiği ve yapılan işlemlerin ilgili standartlar çerçevesinde ve uyulması gereken tüm koşul ve şartlara riayet edilerek yapıldığını işaret etmektedir.

2- Sabit s/ç oranında, değişik agrega malzemeleri kullanılarak üretilen KYB karışımlarının viskozite özellikleri V-hunisi deneyi ile incelendiğinde tüm karışımların KYB genel kriterleri içerisinde uygun viskozite özellikleri gösterdiği görülmüştür.

3- Basınç dayanımı deneyleri sonucunda KYB deney numuneleri, s/ç oranlarının düşük olması, mineral katkılarla ikame edilerek üretilen betonların bünyesindeki boşlukların minimize edilmesi gibi sebeplerden dolayı yüksek basınç dayanımı değerleri vermiştir.

4- KYB'lerin ultrases geçiş hızı deney sonuçları incelendiğinde, hazırlanan karışımlarının basınç dayanımı değerleri ile ultrases geçiş hızı değerleri arasında ciddi bir korelasyon olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, elde edilen ultrases geçiş hızı değerlerinin aynı s/ oranı ve dayanım sınıfındaki geleneksel betonlara göre genellikle daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. Bu durum KYB'lerin çok düşük boşluk yapısına sahip olmasına bağlanabilir. Ultrases hızı deneyi sonuçları ile basınç dayanımı sonuçları bir arada kıyaslandığında basınç dayanımı değeri diğer karışımlara göre yüksek olan betonların ultrases geçiş hızı değerleri de yüksek çıkmıştır.

5- KYB deney numuneleri üzerinde 28. günde yapılan statik ve dinamik elastisite modülü deneyleri sonucunda KYB'lerin elastisite modülleri ile aynı s- oranı ve dayanım sınıfındaki geleneksel betonların elastisite modülleri arasında önemli bir farklılık bulunmadığı görülmüştür.

6- Yapılan deney çalışmalarında kullanılan agrega malzemelerin magmatik kökenli olanlarının alterasyona uğramış sedimanter ve metamorfik olan agregalardan daha sağlam ve daha yüksek aşınma direncine sahip olduğu görülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] BARADAN B., FELEKOĞLU B., Kendiliğinden Yerleşen Betonların Mekanik Özellikleri, THBB Dergisi, No. 222, Haziran 2004.
- [2] OKAMURA H., Self-Compacting High-Performance Concrete, Concrete International, 19, s. 50-54, 1997.
- [3] WALRAVEN J., “Self-Compacting Concrete in the Netherlands”, First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, 2002.
- [4] CORRADI M., KHURANA R., MAGAROTTO R., TORRESAN I., “Zero Energy System: An Innovative Approach for Rationalized Precast Concrete Production”, BIBM 17th International Congress of the Precast Concrete Industry, Istanbul (Turkey), 2002.
- [5] OUCHI M., “Self-compacting concrete – Development, applications and investigations”, Nordic Concrete Research Committee Publications, 5p., 1999.
- [6] SARIDEMİR H., “Mineral ve süperakışkanlaştırıcı katkıların kendiliğinden yerleşen betonun işlenebilirlik ve basınç dayanımına etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 2006.
- [7] COLLEPARDI M., “A Very Close Precursor of Self-Compacting Concrete (SCC)”, unpublished data, 10p., 2001.
- [8] WALRAVEN J., “Self-Compacting Concrete in the Netherlands”, First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, pp.399-404, 2002.
- [9] DEHN F., “High Performance Self-Compacting Concretes for Bridge Construction”, First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, pp. 433-438, 2002.
- [10] BRAMESHUBER W., UEBACHS S., “The Application of Self-Compacting Concrete in Germany under Special Consideration of Rheological Aspects”, First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, pp. 225-234, 2002.

- [13] J. WALRAVEN, “Self Compacting Concrete in the Netherlands”, First North American Conference on the Design and use of the Precast Concrete Industry, İstanbul (Turkey), 5p, 2002.
- [14] B. BARADAN, B. FELEKOĞLU, “Prefabrikasyonda Kendiliğinden Yerleşen Beton Kullanımı”, Türkiye Prefabrik Birliği, Prefabrikasyon Dergisi, sayı 74,Nisan, 2005.
- [15] D. G. HUGHES, G. F. KNIGHT, E. F. MANSKY, “Self Compacting Concrete-Case Studies Show Benefits to Precast Concrete Producers”, First North American Conference on the Design and use of Self-Consolidating Concrete, pp. 405-412, 2002.
- [16] NEWMAN J., CHOO B.S., Advanced Concrete Technology, Butterworth-Heinemann, pp.9/1-17, 2003.
- [17] EFNARC, Specification and Guidelines for SCC, 2002.
- [18] ALYAMAÇ K. E., INCE R., “A preliminary concrete mix design for SCC with marble powders”, Construction and Building Materials, pp. 1-10, 2008.
- [19] OZAWA K., MAEKAWA K., KUNISHAMA M., OKAMURA H. Development of high performance concrete based on the durability desing of concrete structures, Proceedings of the 2nd East-Asia and Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC-2), Vol.1, pp. 445-450, 1989.
- [20] POPPE A. M., SCHUTTER G. De., Cement hydration in the presence of high filler contents Cement and Concrete Research 35 pp. 2290 – 2299, 2005.
- [21] NEHDİ M., PARDHANB M., KOSHOWSKİC S., “Durability of self-consolidating concrete incorporating high-volume replacement composite cements”, Cement and Concrete Research Vol. 34 pp. 2103– 2112, 2004.
- [22] CORİNALDESİ V., MORİCONİ G., “Durable fiber reinforced self-compacting concrete” Cement and Concrete Research, Vol. 34 pp.249–254, 2004.
- [23] ŞAHMARAN M., CHRİSTİANTO H. A., YAMAN İ. Ö., “The effect of chemical admixtures and mineral additives on the properties of self-compacting mortars”, Cement&Concrete Composites Vol. 28 pp. 432–440, 2006.
- [24] ESPİNG O., “Effect of limestone filler BET(H₂O)-area on the fresh and hardened properties of self-compacting concrete”, Cement and Concrete Research, pp. 938-944, 2008.

- [25] FELEKOĞLU B., TÜRKEL S., BARADAN B., “Effect of water/cement ratio on the fresh and hardened properties of self-compacting concrete”, *Building and Environment*, pp.1-8, 2006.
- [26] SUKUMAR B., NAGAMANI K., RAGHAVAN S.R., “Evaluation of strength at early ages of self-compacting concrete with high volume fly ash”, *Construction and Building Materials*, Vol. 22, pp. 1394–1401, 2008.
- [27] BOUZOUBAA N., LACHEMIB M.,” Self-compacting concrete incorporating high volumes of class F fly ash Preliminary results”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 31, pp. 413-420, 2001.
- [28] DĪNAKAR P., BABU K. G., SANTHANAM M., “Durability Properties of High Volume Fly Ash Self Compacting Concretes” *Cement & Concrete Composites* pp. 1-22, 2008.

ÖZGEÇMİŞ

İbrahim ATLI, 15.08.1980'de Sakarya'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya 'da tamamladıktan sonra 2002 yılında Isparta Süleyman Demirel Üniversitesini Jeofizik Mühendisliğini kazandı. 2003 yılında Sakarya Üniversitesi'ne geçiş yaptı. 2003 yılında çift anadal programından (çap) yararlanarak inşaat mühendisliğine başladı. Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği ve Jeofizik Mühendisliği Bölümlerini 2008 yılında bitirdi. Yüksek lisans eğitimine 2009 yılında, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Yrd. Doç. Dr. Mücteba UYSAL danışmanlığında başladı. Kocaeli Büyükşehir Belediyesinde Kent konut bünyesinde 2010 yılına kadar çalıştı. 2011 mart ayında Sakarya Sasaki Genel Müdürlüğüne kontrol mühendisi olarak çalışmaya başladı. Aynı kurumda halen görevine devam etmektedir.