

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

**MİNERAL KATKILAR KULLANILARAK ÜRETİLEN
KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARIN
MEKANİK ÖZELİKLERİNİN VE DAYANIKLILIĞININ
İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

İnş.Y. Müh. Mücteba UYSAL

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : YAPI MALZEMESİ
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Kemalettin YILMAZ

Ağustos 2010

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MINERAL KATKILAR KULLANILARAK ÜRETİLEN
KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARIN
MEKANİK ÖZELİKLERİNİN VE DAYANIKLILIĞININ
İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ

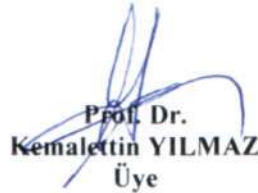
İnş. Y. Müh. Mücteba UYSAL

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ


Bu tez 04/08/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.



Prof. Dr.
İlker Bekir TOPÇU
Jüri Başkanı



Prof. Dr.
Kemalettin YILMAZ
Üye



Doç. Dr.
Nabi YÜZER
Üye



Yrd. Doç. Dr.
Hüseyin KASAP
Üye



Yrd. Doç. Dr.
Mansur SÜMER
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.

Doktora öğrenimimin son aşaması olan bu çalışmanın hazırlanmasında her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen, değerli düşünceleri ile beni doğruya yönlendiren danışmanım Prof. Dr. Kemalettin Yılmaz'a 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. Ayrıca çalışmalarında bana yol gösteren, bilgi ve birikimini esirgmeden katkılarda bulunan Sayın Doç. Dr. Mehmet Sarıbyık'a şükranlarımı sunarım.

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.

Doktora öğrenimim boyunca "TÜBİTAK-BİDEB 2211-Yurtiçi Doktora Burs Programı" çerçevesinde destekte bulunan TÜBİTAK'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca doktora 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.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xviii
SUMMARY.....	xix
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON.....	4
2.1. KYB'lerin Tarihsel Gelişimi	5
2.2. KYB'lerin Kullanım Alanları.....	5
2.3. KYB'lerin Beton Teknolojisine Kazandırdığı Özellikler.....	9
2.4. Konu ile İlgili Yapılan Çalışmalar.....	10
2.5. Tasarım Yöntemleri.....	20
2.6. Karışımda Kullanılan Malzemeler ve KYB'lere Etkileri.....	24
2.6.1. Çimento.....	25
2.6.2. Agregası.....	26
2.6.3. Su.....	26
2.6.4. Kimyasal katkıları.....	27
2.6.4.1. Akışlanlaştırıcı katkıları.....	27
2.6.4.2. Viskosite düzenleyici katkıları.....	28
2.6.5. Mineral katkıları.....	29
2.6.5.1. Granüle yüksek fırın cürufu.....	29

2.6.5.2. Uçucu kül.....	30
2.6.5.3. Doğal zeolit.....	33
2.6.5.4. Kalker tozu.....	34
2.6.5.5. Bazalt tozu.....	36
2.6.5.6. Mermer tozu.....	37
2.6.6. Polipropilen lifler.....	38
2.7. Kendiliğinden Yerleşen Taze Beton Özellikleri.....	39
2.7.1. Kendiliğinden yerleşen taze beton reolojisi.....	40
2.7.2. İşlenebilirlik.....	40
2.7.2.1. Doldurma yeteneği.....	40
2.7.2.2. Geçiş yeteneği.....	41
2.7.2.3. Ayrışmaya karşı direnç.....	42
2.7.3. Taze beton deney yöntemleri.....	44
2.7.3.1. Çökme-yayıma (slump-flow) deneyi.....	45
2.7.3.2. V-hunisi deneyi.....	46
2.7.3.3. L- kutusu deneyi.....	48
2.7.3.4. Doldurma kutusu deneyi	48
2.7.3.5. U kutusu deneyi.....	49
2.7.3.6. Fill-box metodu.....	50
2.7.3.7. J-ring deneyi.....	50
2.8. KYB'nin Mekanik Özellikleri.....	51
2.9. KYB'nin Dayanıklılığı	52
2.9.1. Hızlı klorür geçirgenliği.....	53
2.9.2. Basınçlı su derinliği (impermeabilite deneyi).....	54
2.9.3. Yüksek sıcaklık etkisi.....	55
2.9.4. Sülfatlı ortamların betona etkileri.....	58

BÖLÜM 3.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	62
3.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler.....	63
3.1.1. Çimento.....	63
3.1.2. Uçucu kül.....	67
3.1.3. Yüksek fırın cürufu	69

3.1.4. Doğal zeolit.....	71
3.1.5. Kalker tozu.....	73
3.1.6. Bazalt tozu.....	75
3.1.7. Mermer tozu.....	77
3.1.8. Su.....	79
3.1.9. Agregası.....	79
3.1.10. Akışkanlaştırıcı katkı.....	81
3.1.11. Polipropilen lif.....	82
3.1.12. Sodyum sülfat (Na ₂ SO ₄).....	83
3.1.13. Magnezyum sülfat (Mg ₂ SO ₄).....	83
3.2. Beton Karışımları.....	83
3.3. Deney Numunelerinin Üretimi.....	87
3.4. Deney Yöntemleri.....	88
3.4.1. Taze beton deneyleri.....	88
3.4.1.1. Çökme-yayıma (slump-flow) deneyi.....	88
3.4.1.2. V-hunisi deneyi.....	89
3.4.1.3. L- kutusu deneyi.....	89
3.4.2. Sertleşmiş beton deneyleri.....	89
3.4.2.1. Basınç dayanımı deneyi.....	89
3.4.2.2. Birim ağırlık ve su emme oranı deneyleri.....	90
3.4.2.3. Ultrases geçiş hızı deneyi.....	90
3.4.2.4. Statik ve dinamik elastisite modülü deneyleri....	91
3.4.3. Yapısal perde elemanları deneyleri.....	93
3.5. Dayanıklılık Deneyleri.....	99
3.5.1. Hızlı klorür geçirgenliği deneyi.....	99
3.5.2. Basınçlı su derinliği (impermeabilite deneyi).....	101
3.5.3. Sülfat direnci deneyi.....	102
3.5.4. Yüksek sıcaklık deneyi.....	103

BÖLÜM 4.

DENEY SONUÇLARI.....	104
4.1. Taze Beton Deney Sonuçları.....	104
4.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları.....	106

4.2.1. Mekanik özellikler deney sonuçları.....	106
4.2.1.1. Basınç dayanımı.....	106
4.2.1.2. Birim ağırlık deneyleri.....	107
4.2.1.3. Ultrases geçiş hızı deneyleri.....	108
4.2.1.4. Statik ve dinamik elastisite modülü deneyleri.....	109
4.2.2. Yapısal perde elemanları deneyleri.....	112
4.2.3. Dayanıklılık deney sonuçları.....	129
4.2.3.1. Hızlı klorür geçirgenliği deneyi.....	129
4.2.3.2. Basınçlı su derinliği (İmpermeabilite) deneyi.....	130
4.2.3.3. Sülfat direnci deneyleri.....	131
4.2.3.4. Yüksek sıcaklık deneyi.....	136
4.3. Maliyet Analizi Sonuçları.....	140

BÖLÜM 5.

DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	141
5.1. Taze Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	141
5.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	153
5.2.1. Mekanik özelliklere ait deneyler.....	153
5.2.1.1. Basınç dayanımı deneyi.....	153
5.2.1.2. Ultrases geçiş hızı deneyi.....	158
5.2.1.3. Statik ve dinamik elastisite modülü deneyleri.....	160
5.2.2. Yapısal perde elemanlarına ait deneyler.....	163
5.2.3. Dayanıklılık'a ait deneyler.....	197
5.2.3.1. Hızlı klorür geçirgenliği deneyi.....	197
5.2.3.2. Basınçlı su derinliği (İmpermeabilite) deneyi.....	199
5.2.3.3. Sülfat direnci deneyleri.....	201
5.2.3.4. Yüksek sıcaklık deneyi.....	210
5.3. Maliyet Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	220

BÖLÜM 6.

SONUÇ VE ÖNERİLER.....	222
KAYNAKLAR.....	231
ÖZGEÇMİŞ.....	248

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.....	7
Şekil 2.3.	Kendiliğinden yerleşen beton uygulamaları.....	8
Şekil 2.4.	Betonun reolojik özellikleri.....	25
Şekil 2.5.	Kimyasal katkıların geçmişten günümüze gelişimi.....	27
Şekil 2.6.	Agregaların kemerlenme oluşturma mekanizması	42
Şekil 2.7.	Çökme-yayılma deney aparatı.....	45
Şekil 2.8.	Çökme-yayılma deneyi yapılışı.....	46
Şekil 2.9.	V- hunisi deney aparatı.....	47
Şekil 2.10.	V hunisi deney aparatı ölçüleri.....	47
Şekil 2.11.	L kutusu deney aparatı.....	48
Şekil 2.12.	Doldurma kutusu deney aparatı.....	49
Şekil 2.13.	U kutusu deney aparatı.....	49
Şekil 2.14.	Fill-box aleti ve alet detayı.....	50
Şekil 2.15.	J Ring deney aparatı.....	51
Şekil 3.1.	CEM I 42.5 R çimentosunun (a) 500 kat büyütme (b) 2000 kat büyütme SEM cihazı görüntüleri.....	65
Şekil 3.2.	Uçucu küle ait SEM cihazı görüntüleri (a), (b) ve (d) Tam küresel ve yüzeyinde birikinti olan taneler, (c) Taneciklerin genel dağılımı.....	68
Şekil 3.3.	Yüksek fırın cürufuna ait SEM cihazı görüntüleri (a) Taneciklerin genel dağılımı, (b), (c) ve (d) Köşeli ve yüzeyinde birikinti olan taneler.....	70
Şekil 3.4.	Doğal zeolite ait SEM cihazı görüntüleri (a) Taneciklerin genel dağılımı, (b), (c) ve (d) Köşeli ve yüzeyinde birikinti olan taneler.....	72

Şekil 3.5.	Kalker tozuna ait SEM cihazı görüntüleri (a) Taneciklerin genel dağılımı, (b) ve (c) Köşeli ve yüzeyinde birikinti olan taneler, (d) Yüzeyi pürüzsüz taneler.....	74
Şekil 3.6.	Bazalt tozuna ait SEM cihazı görüntüleri (a) Taneciklerin genel dağılımı, (b) ve (c) Köşeli ve yüzeyinde birikinti olan taneler (d) Yüzeyi düzgün ve az birikinti olan taneler.....	76
Şekil 3.7.	Mermer tozuna ait SEM cihazı görüntüleri (a) Taneciklerin genel dağılımı, (b) (c) ve (d) Yuvarlak, köşeli ve yüzeyinde birikinti olan taneler.....	78
Şekil 3.8.	Karışımında kullanılan agregaların tane dağılımı (granülometri) eğrisi.....	80
Şekil 3.9.	İnce toz malzemelerin tane dağılımları eğrisi.....	81
Şekil 3.10.	Arşimet terazisi.....	90
Şekil 3.11.	Statik elastisite modülü deneyi ve ölçüm çerçevesi.....	92
Şekil 3.12.	Perde elemanına ait donatı resmi.....	94
Şekil 3.13.	Perde elemanına ait donatı boyutlandırması.....	94
Şekil 3.14.	Perde elemanına ait kalıp resmi.....	95
Şekil 3.15.	Perde elemanlarına beton dökümü için hazırlanan kalıp.....	96
Şekil 3.16.	Kalıbından sökülen ve karot alınımına hazır halde bulunan perde elemanı.....	97
Şekil 3.17.	Perde elemanında karot numune noktalarının belirlenmesi.....	98
Şekil 3.18.	Karot numune alınmış perde elemanları.....	99
Şekil 3.19.	Hızlı klor iyon geçirgenliği test cihazı.....	100
Şekil 3.20.	Basıncılı su işleme derinliği (İmpermeabilite) cihazı.....	102
Şekil 5.1.	KYB karışımlarının sabit s/ç oranında yayılma değerleri.....	143
Şekil 5.2.	KYB karışımlarının T ₅₀ deney sonuçları.....	147
Şekil 5.3.	KYB karışımlarının V-hunisi deney sonuçları.....	149
Şekil 5.4.	KYB karışımlarının L-kutusu oranı deney sonuçları.....	150
Şekil 5.5.	Taze haldeki KYB karışımlarının % hava miktarları.....	152
Şekil 5.6.	KYB karışımlarının 7, 28, 90 ve 400 günlük basınç dayanımı sonuçları.....	154

Şekil 5.7.	KYB karışımlarının dayanım değerleri ile ultrases geçiş süresi değerleri arasındaki ilişki.....	159
Şekil 5.8.	KYB karışımlarının statik ve dinamik elastisite modülü sonuçları..	161
Şekil 5.9.	KYB karışımlarının statik ve dinamik elastisite modüllerinin geleneksel betonlar için çeşitli komiteler tarafından önerilen elastisite modülü denklemleri ile karşılaştırılması.....	162
Şekil 5.10.	Geleneksel beton olarak isimlendirilen ve C50 sınıfında dizayn edilen perde elemanının yatay ve düşey eleman boyunca karot basınç dayanımının değişimi.....	164
Şekil 5.11.	Geleneksel beton olarak isimlendirilen ve C50 sınıfında dizayn edilen perde elemanının yatay ve düşey eleman boyunca su emme oranı değişimi.....	165
Şekil 5.12.	Geleneksel beton olarak isimlendirilen ve C50 sınıfında dizayn edilen perde elemanının yatay ve düşey eleman boyunca birim ağırlık değişimi.....	166
Şekil 5.13.	Şahit beton olarak isimlendirilen perde elemanının yatay ve düşey eleman boyunca karot basınç dayanımının değişimi.....	167
Şekil 5.14.	Şahit beton perde elemanının yatay ve düşeyde su emme oranının değişimi.....	169
Şekil 5.15.	Şahit beton perde elemanının yatay ve düşey eleman boyunca birim ağırlık değişimi.....	170
Şekil 5.16.	Uçucu külün çimento ile %15 oranında ikame edilmesiyle üretilen perde elemanının yatay ve düşey eleman boyunca karot basınç dayanımının değişimi.....	170
Şekil 5.17.	Uçucu külün çimento ile %15 oranında ikame edilmesiyle üretilen perde elemanının yatay ve düşey eleman boyunca su emme oranı değişimi.....	172
Şekil 5.18.	Uçucu külün çimento ile %15 oranında ikame edilmesiyle üretilen perde elemanının yatay ve düşey eleman boyunca birim ağırlık değişimi.....	173
Şekil 5.19.	Uçucu külün çimento ile %35 oranında ikame edilmesiyle üretilen perde elemanının yatay ve düşey eleman boyunca karot basınç dayanımının değişimi.....	173

Şekil 5.20.	Uçucu külün çimento ile %35 oranında ikame edilmesiyle üretilen perde elemanının yatay ve düşey eleman boyunca su emme oranı değişimi.....	176
Şekil 5.21.	Uçucu külün çimento ile %35 oranında ikame edilmesiyle üretilen perde elemanının yatay ve düşey eleman boyunca birim ağırlık değişimi.....	176
Şekil 5.22.	Kalker tozunun çimento ile %15 oranında ikame edilmesiyle üretilen perde elemanının yatay ve düşey eleman boyunca karot basınç dayanımının değişimi.....	177
Şekil 5.23.	Kalker tozunun çimento ile %15 oranında ikame edilmesiyle üretilen perde elemanının yatay ve düşey eleman boyunca su emme oranı değişimi.....	179
Şekil 5.24.	Kalker tozunun çimento ile %15 oranında ikame edilmesiyle üretilen perde elemanının yatay ve düşey eleman boyunca birim ağırlık değişimi.....	180
Şekil 5.25.	Kalker tozunun çimento ile %30 oranında ikame edilmesiyle üretilen perde elemanının yatay ve düşey eleman boyunca karot basınç dayanımının değişimi.....	180
Şekil 5.26.	Kalker tozunun çimento ile %30 oranında ikame edilmesiyle üretilen perde elemanının yatay ve düşey eleman boyunca su emme oranı değişimi.....	183
Şekil 5.27.	Kalker tozunun çimento ile %30 oranında ikame edilmesiyle üretilen perde elemanının yatay ve düşey eleman boyunca birim ağırlık değişimi.....	183
Şekil 5.28.	Mermer tozunun çimento ile %15 oranında ikame edilmesiyle üretilen perde elemanının yatay ve düşey eleman boyunca karot basınç dayanımının değişimi.....	184
Şekil 5.29.	Mermer tozunun çimento ile %15 oranında ikame edilmesiyle üretilen perde elemanının yatay ve düşey eleman boyunca su emme oranı değişimi.....	186

Şekil 5.30.	Mermer tozunun çimento ile %15 oranında ikame edilmesiyle üretilen perde elemanının yatay ve düşey eleman boyunca birim ağırlık değişimi.....	186
Şekil 5.31.	Geleneksel beton olarak isimlendirilen ve C50/60 sınıfında dizayn edilen perde elemanının basınç dayanımı - su emme oranı ilişkisi.....	187
Şekil 5.32.	Şahit KYB perde elemanının basınç dayanımı - su emme oranı ilişkisi.....	188
Şekil 5.33.	Çimento ile %15 oranında uçucu kül ikameli KYB perde elemanının basınç dayanımı - su emme oranı ilişkisi.....	188
Şekil 5.34.	Çimento ile %35 oranında uçucu kül ikameli KYB perde elemanının basınç dayanımı - su emme oranı ilişkisi.....	189
Şekil 5.35.	Çimento ile %15 oranında kalker tozu ikameli KYB perde elemanının basınç dayanımı - su emme oranı ilişkisi.....	190
Şekil 5.36.	Çimento ile %30 oranında kalker tozu ikameli KYB perde elemanının basınç dayanımı - su emme oranı ilişkisi.....	191
Şekil 5.37.	Çimento ile %15 oranında mermer tozu ikameli KYB perde elemanının basınç dayanımı - su emme oranı ilişkisi.....	191
Şekil 5.38.	Geleneksel beton olarak isimlendirilen ve C50 sınıfında dizayn edilen perde elemanının basınç dayanımı - birim ağırlık ilişkisi	192
Şekil 5.39.	Şahit beton olarak isimlendirilen KYB perde elemanının basınç dayanımı – birim ağırlık ilişkisi.....	193
Şekil 5.40.	Çimento ile %15 oranında uçucu kül ikameli KYB perde elemanının basınç dayanımı – birim ağırlık ilişkisi.....	193
Şekil 5.41.	Çimento ile %35 oranında uçucu kül ikameli KYB perde elemanının basınç dayanımı – birim ağırlık ilişkisi.....	194
Şekil 5.42.	Çimento ile %15 oranında kalker tozu ikameli KYB perde elemanının basınç dayanımı – birim ağırlık ilişkisi.....	195
Şekil 5.43.	Çimento ile %30 oranında kalker tozu ikameli KYB perde elemanının basınç dayanımı – birim ağırlık ilişkisi.....	195
Şekil 5.44.	Çimento ile %15 oranında mermer tozu ikameli KYB perde elemanının basınç dayanımı – birim ağırlık ilişkisi.....	196
Şekil 5.45.	KYB karışımlarının hızlı klorür geçirgenliği deney sonuçları	198

Şekil 5.46.	Beton karışımlarının basınçlı su işleme derinliği deney sonuçları	200
Şekil 5.47.	KYB karışımlarının %10 NaSO ₄ çözeltisine maruz kalmaları durumunda dayanım kaybı değişimleri.....	202
Şekil 5.48.	KYB karışımlarının %10 MgSO ₄ çözeltisine maruz kalmaları durumunda dayanım kaybı değişimleri.....	204
Şekil 5.49.	%10 MgSO ₄ çözeltisine maruz bırakılan KYB deney numunelerinin ağırlık değişimleri.....	206
Şekil 5.50.	%10 NaSO ₄ çözeltisine maruz bırakılan KYB deney numunelerinin ağırlık değişimleri.....	209
Şekil 5.51.	Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan uçucu kül ikameli KYB'lerin bağıl basınç dayanımları.....	211
Şekil 5.52.	Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan yüksek fırın cürufu ve doğal zeolit ikameli KYB'lerin bağıl basınç dayanımları.....	212
Şekil 5.53.	Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan kalker tozu ikameli KYB'lerin bağıl basınç dayanımları.....	214
Şekil 5.54.	Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan bazalt tozu ikameli KYB'lerin bağıl basınç dayanımları.....	215
Şekil 5.55.	Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan mermer tozu ikameli KYB'lerin bağıl basınç dayanımları.....	217
Şekil 5.56.	KYB karışımlarının 1 m ³ için beton maliyetleri.....	221

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Deney yöntemleri ve kabul edilebilir limit değerler.....	45
Tablo 3.1.	CEM I 42.5 R çimentosunun kimyasal ve fiziksel analizi.....	64
Tablo 3.2.	CEM II/A-M 42.5 R çimentosunun kimyasal ve fiziksel analizi...	66
Tablo 3.3.	Uçucu külün fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	67
Tablo 3.4.	Yüksek fırın cürufunun fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	69
Tablo 3.5.	Doğal zeolitın kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri	71
Tablo 3.6.	Kalker tozunun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri.....	73
Tablo 3.7.	Bazalt tozuna ait kimyasal ve fiziksel özellikler.....	75
Tablo 3.8.	Mermer tozuna ait kimyasal ve fiziksel özellikler.....	77
Tablo 3.9.	Agregaların tane büyüklüğü dağılımları (granülometri) ve fiziksel özellikleri.....	79
Tablo 3.10.	Süperakışkanlaştırıcı katkıların teknik özellikleri.....	82
Tablo 3.11.	Polipropilen lifin teknik özellikleri	83
Tablo 3.12.	Beton karışımlarının kodları.....	84
Tablo 3.13.	Üretilen betonların karışım oranları.....	86
Tablo 3.14.	Ultrasonik deney yöntemiyle beton kalitesinin değerlendirilmesi.	91
Tablo 3.15.	Hızlı klor iyon geçirgenliği deneyi sonucu elde edilen yük değerleri ile beton geçirgenlik sınıflarının yorumlanması.....	101
Tablo 4.1.	Kendiliğinden yerleşen taze beton deney sonuçları	104
Tablo 4.2.	Taze betonların birim ağırlık ve hava miktarı deney sonuçları...	105
Tablo 4.3.	Sertleşmiş beton numunelerinin 7, 28, 90 ve 400 günlük basınç dayanımı deneyi sonuçları.....	106
Tablo 4.4.	Sertleşmiş beton numunelerinin 7, 28, 90 ve 400 günlük birim ağırlık deneyi sonuçları.....	107
Tablo 4.5.	Sertleşmiş beton numuneleri üzerinde yapılan ultrases geçiş hızı sonuçları.....	108

Tablo 4.6.	Deney numunelerinin statik ve dinamik elastisite modülü değerleri ve statik elastisite modülünün ilgili standartların önerdiği bağıntılar ile karşılaştırılması.....	110
Tablo 4.7.	Geleneksel beton olarak isimlendirilen L şekilli perde elemanından alınan karot numunelerin basınç dayanımı, birim ağırlık ve su emme oranı sonuçları.....	113
Tablo 4.8.	Şahit beton olarak isimlendirilen L şekilli perde elemanından alınan karot numunelerin basınç dayanımı, birim ağırlık ve su emme oranı sonuçları.....	115
Tablo 4.9.	Çimento ile %15 uçucu kül ikameli olarak üretilen L şekilli perde elemanından alınan karot numunelerin basınç dayanımı, birim ağırlık ve su emme oranı sonuçları.....	117
Tablo 4.10.	Çimento ile %35 uçucu kül ikameli olarak üretilen L şekilli perde elemanından alınan karot numunelerin basınç dayanımı, birim ağırlık ve su emme oranı sonuçları.....	119
Tablo 4.11.	Çimento ile %15 kalker tozu ikameli olarak üretilen L şekilli perde elemanından alınan karot numunelerin basınç dayanımı, birim ağırlık ve su emme oranı sonuçları.....	121
Tablo 4.12.	Çimento ile %30 kalker tozu ikameli olarak üretilen L şekilli perde elemanından alınan karot numunelerin basınç dayanımı, birim ağırlık ve su emme oranı sonuçları.....	123
Tablo 4.13.	Çimento ile %15 mermer tozu ikameli olarak üretilen L şekilli perde elemanından alınan karot numunelerin basınç dayanımı, birim ağırlık ve su emme oranı sonuçları.....	125
Tablo 4.14.	Perde elemanlarının ortalama basınç dayanımı ile laboratuvar koşullarının basınç dayanımının karşılaştırılması.....	127
Tablo 4.15.	Perde elemanlarının schmidt çekici (geri tepme değeri) okumaları	128
Tablo 4.16.	KYB numunelerinin hızlı klorür geçirgenliği deney sonuçları.	129
Tablo 4.17.	Farklı bileşimlerde üretilen KYB deney numunelerinin basınçlı su işleme derinliği sonuçları.....	130
Tablo 4.18.	%10 NaSO ₄ çözeltisinde bekletilen numunelerinin dayanım kayıpları.....	131

Tablo 4.19.	% 10 MgSO ₄ çözeltisi içerisinde bekletilen deney numunelerinin basınç dayanım kayıpları	132
Tablo 4.20.	% 10 MgSO ₄ çözeltisi içerisinde bekletilen deney numunelerinin ağırlık değişimleri.....	133
Tablo 4.21.	% 10 NaSO ₄ çözeltisi içerisinde bekletilen deney numunelerinin ağırlık değişimleri.....	135
Tablo 4.22.	200 °C, 400 °C, 600 °C ve 800 °C sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin basınç dayanımı değerleri.....	137
Tablo 4.23.	200 °C, 400 °C, 600 °C ve 800 °C sıcaklığa maruz bırakılan numunelerde meydana gelen basınç dayanımı kayıpları....	139
Tablo 4.24.	KYB numunelerine ait 1 m ³ için beton maliyetleri.....	140
Tablo 5.1.	TS EN 206-1:2000'e göre KYB'lerin genel kabul kriterleri	141
Tablo 5.2.	KYB karışımlarının yayılma ve viskozite değerleri esas alınarak sınıflandırılması.....	142

ÖZET

Anahtar kelimeler: Kendiliğinden yerleşen beton, işlenebilirlik, dayanım, dayanıklılık, perde elemanı

Bu çalışma, mineral katkıların çimento ile değişik ikame oranlarında kullanılmasıyla üretilen KYB'lerin taze haldeki işlenebilirlik, sertleşmiş halde ise mekanik ve dayanıklılık özelliklerinin incelenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu sebeple ilk olarak uçucu kül, yüksek fırın cürufu (YFC), doğal zeolit, kalker tozu, bazalt tozu ve mermer tozunun farklı yer değiştirme 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 elenerek bu özelliği sağlayan betonların ise mekanik ve dayanıklılık özellikleri incelenmiştir.

Taze beton deneyleri olarak çökme-yayıma (slump-flow), T₅₀ süresi, V hunisi ve L kutusu deneyleri yapılarak mineral katkıların çimento ile farklı ikame oranlarındaki karışımlarının “kendiliğinden yerleşebilirlik” özellikleri araştırılmıştır. Mekanik özellikler ise, basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı ve elastisite modülü deneyleri ile belirlenmeye çalışılmıştır. Laboratuvar ortamından çıkarak sahada bu betonların “kendiliğinden yerleşebilirlik” özelliklerini incelemek amacıyla farklı karışımlarda, büyük boyutlu (300x150x20cm), L şekilli ve sıkı donatılı yapısal perde elemanları üretilmiştir. Bu elemanların değişik bölgelerinden karot numuneler alınarak, yatayda ve düşeyde kendi ağırlığı ile herhangi bir sıkıştırma uygulanmadan sıkı donatılı kalıbına yerleşen betonların döküm noktası uzaklığına göre dayanım değişimleri, birim ağırlıkları ve su emme oranları incelenmiştir. Ayrıca bu perde elemanlara Schmidt çekici uygulanarak yatay ve düşeyde dayanımın üniformluluğu belirlenmeye çalışılmıştır.

Dayanıklılık deneyleri olarak su emme, hızlı klorür geçirgenliği, basınçlı su derinliği (impermeabilite), yüksek sıcaklık etkisi ve sülfat direnci deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Deney sonucu elde edilen veriler değerlendirildiğinde, YFC'nin çimento ile % 60 oranında ikame edilmesiyle üretilen karışım işlenebilirlik deneylerinde en yüksek işlenebilirlik değerleri vermiştir. Erken yaş dayanımı olarak (7. gün) en yüksek dayanımı çimentonun mermer tozu ile % 10 oranında ikame edilmesiyle üretilen karışım, 400 günlük numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı sonucunda ise en yüksek dayanımı uçucu külün çimento ile % 25 oranında ikame edilmesiyle üretilen karışım vermiştir. Farklı bileşimde üretilip perde elemanlarına yerleştirilen KYB'lerin dar ve sıkı donatılı kalıplar içerisinde homojen olarak yayıldığı görülmüştür. Durabilite deneyleri sonucunda, uçucu kül ve YFC ikameli karışımların diğer karışımlara göre daha iyi performans sergilediği gözlemlenmiştir.

THE EFFECT OF MINERAL ADDITIVES ON THE MECHANICAL AND DURABILITY PROPERTIES OF SELF COMPACTING CONCRETE

SUMMARY

Key Words: Self compacting concrete, Workability, Strength, Durability, Shear wall

In this study, it was investigated that the effect of different mineral additives on the workability, mechanical and durability properties of self compacting concrete. For this reason, fly ash, granulated blast furnace slag (GBFS), natural zeolite, limestone powder, basalt powder and marble powder were used in different substitution rates and it was carried out the workability tests to determine ‘self compactibility’ and the mixtures which provided this qualification, tests proceeded to determine mechanical and durability properties of SCC.

As workability tests, slump-flow, T_{50} , V-funnel and L-box tests were performed and ‘self compactibility’ were determined. Mechanical properties were determined by compressive strength tests, ultra-sound velocity tests and elastic modulus tests. Moreover, large-sized (300x150x20 cm), L-shaped and double-sided reinforcement mesh equipment which was designed often combined with a special pre-screen in the form of equipment and placed in molds and different SCC mixtures were produced. Afterwards, by taking into account reinforcement points, the different height levels of the curtain wall core samples taken and these samples were made on the compressive strength, unit weight and water absorption tests.

Impermeability tests, rapid chloride ion permeability tests, high temperature effect tests and sulphate resistance tests were performed as durability tests on the SCC.

When test results were evaluated it can be seen that, the best results were obtained in the workability tests by granulated blast furnace slag 60% substitution rate with cement in SCC. As early age compressive strength, marble powder has shown the best performance by 10% substitution rate with cement. According to 400 days compressive strength test results, fly ash shown the best performance by 25% substitution rate with cement. It can be seen that self compacting concretes consolidated by its own weight homogeneously in the narrow curtain wall reinforcement construction elements. Finally, GBFS and fly ash SCC mixtures performed better performance than other mixtures as durability properties.

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 sıkıştırılmamakta 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 aşikardır. 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 imkansız 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 karışımda 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.

Mermer tozu, kalker tozu, bazalt tozu, uçucu kül, doğal zeolit ve granüle yüksek fırın cürufu gibi ince taneli malzemeler doğada atık ya da yan ürün olarak atıl durumda bekleyen malzemelerdir. Bu malzemelerin KYB üretiminde kullanılması hem bu betonların daha ekonomik olarak üretimine olanak sağlayacak hem de çevresel faktörler göz önüne alındığında atık ya da yan ürün olarak ortaya çıkan malzemelerin değerlendirilmesi fırsatını doğuracaktır. Böylece, bu betonların en önemli dezavantajlarından birisi olan ve ülkemizde yaygın kullanım alanı bulmasını engelleyen husus bertaraf edilecektir.

BÖLÜM 2. KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON

Kimya alanındaki gelişmeler ve polimer teknolojisinin ilerlemesiyle elde edilen özel tür akışkanlaştırıcı katkıları betonda kullanılmaya başlanınca özel beton kavramı da zaman içinde gündeme gelmiştir. Özel betonlar içerisinde de kendiliğinden yerleşen beton kavramı ortaya çıkmıştır. Bu kavramın ortaya çıkmasında, 1980'li yılların başında Japonya'da betonarme yapılarda kalıcılık sorunlarının incelenmesi ve bu sorunların en önemli sebeplerinden birinin, taze betonun sıkıştırma ve yerleştirme işleminin yeterli ölçülerde yapılamadığının tespit edilmesi önemli bir etkidir. Bu problemi çözmek amacıyla sıkıştırma enerjisine ihtiyaç olmadan, kendi ağırlığı ile sıkışarak yerleşebilecek özel bir tip beton üretilmesi tasarlanmış ve 1990'lı yıllarda yeni nesil süper akışkanlaştırıcıların ortaya çıkmasıyla ve su-çimento oranı 0.40 veya daha düşük değerlerde olan betonlar üretilmesiyle, kendiliğinden yerleşen betonlar elde edilmiştir [1].

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 [2]. 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 bu betonlara olan ilgiyi artırmış ve özellikle gelişmiş ülkelerde ciddi manada kullanımını sağlamıştır [2-4].

2.1. KYB'lerin Tarihsel Gelişimi

KYB ilk kez 1980'li yıllarda Japonya'da su altı beton uygulamalarında suda ayrıışmayan 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 elemanının 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

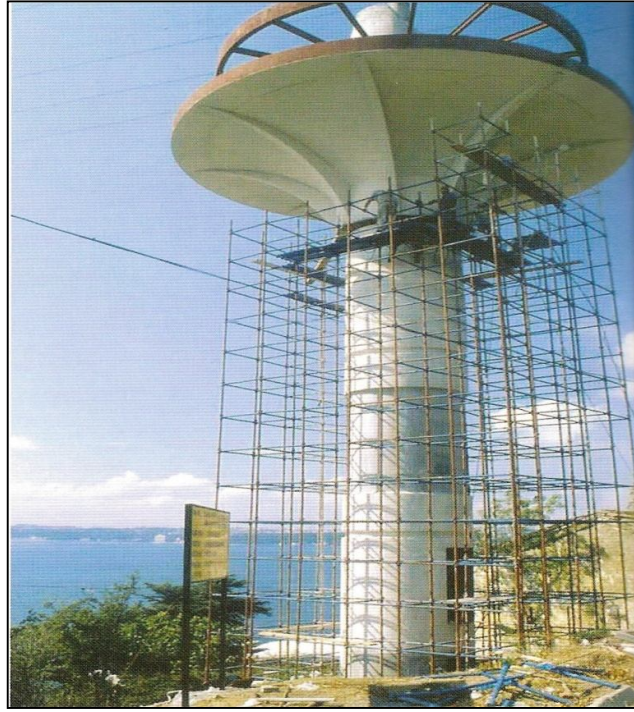
KYB, homojen yapısı ile boşluksuz bir yapı oluşturması, en sık donatılı kalıplarda bile vibrasyon gerektirmeden kendiliğinden yerleşmesi sayesinde güçlendirme projeleri için ideal bir çözümdür. Güçlendirme işlerinde ilk akla gelen yöntemlerden biri olarak mantolamada (Şekil 2.2) KYB kolaylıkla kullanılabilir.



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 ve brüt beton kullanılarak aşılıma çalışılan bu problem, sık donatılar arasında vibrasyon yapılamaması sebebiyle ayrılmaya neden olmaktadır. KYB kullanımını 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.



Şekil 2.3. Kendiliğinden yerleşen beton uygulamaları

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. KYB ise bu amaçlara hizmet eden ideal bir çözüm yöntemidir [12].

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 kaldıracabilecek 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 tasarımı 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 artıracaktır. 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

KYB taze halde iken mükemmel bir karışım halindedir. Bu karışım betona doldurma yeteneği, geçiş yeteneği ve ayrışmaya karşı direnç sağlamaktadır. Bu özellikler sayesinde KYB, kendi ağırlığı altında hareket ederek uygulandığı her şekildeki kalıbın tüm köşeleri ve dar bölgelerine 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 meydana getirmiş ve KYB kullanımını sadece iş süresini azaltmakla kalmayıp özellikle yoğun donatılı bölgelerdeki kompaksiyon için gerekli nitelikli işçilik ihtiyacını da önemli oranda azaltarak, gerek işçileri, gerekse etraftaki insanları vibratör gürültüsünden kurtarmış ve ayrıca kalıbın da uzun ömürlü olmasını

sağlamıştır. Beton dökümünü çok kısa sürede gerçekleştirmeyi sağladığı için, inşaat yapım süresini de kısaltmaktadır. Yoğun ve sık donatılar arasında kolaylıkla akması boşluksuz bir yerleştirme olanağı sağlamaktadır. Betonun demir donatıyı çok iyi sarması ve boşluksuz bir yapı oluşturması, yapının korozyona karşı dayanıklılığının, yani durabilitesinin artmasına imkan vermektedir. Özellikle, depremde zarar görmüş binaların güçlendirilmesinde, tek bir noktadan döküm yapıldığında kalıp içerisinde, kendiliğinden yerleşmesi ve kendiliğinden seviyelenmesi sayesinde, güçlendirme projeleri için ideal bir çözüm yöntemidir. 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. Konu ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Felekoğlu tarafından yapılan çalışmada KYB üretiminde kullanılan ince agregaların fiziksel özelliklerindeki (ince malzeme miktarı ve türü) değişimin, KYB'lerin performans özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Bu bağlamda, dört farklı kumla (yıkılmış doğal kum, yıkılmış kırma taştuzu kumu, siltli kırma taştuzu kumu ve killi kırma taştuzu kumu) üretilen KYB'lerin akışkanlaştırıcı katkı ihtiyaçları belirlenmeye çalışılmıştır. Deney sonuçlarına göre aynı kıvamda KYB'ler üretebilmek için ihtiyaç duyulan katkı miktarları kumların fiziksel özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. İnce taneli malzeme miktarı az olan kumun siltli kırma taştuzu kumuna göre basınç dayanımları benzerlik göstermiştir. Diğer taraftan, killi kırma taştuzu kumu ile üretilen betonlar istenen yayılma değerini elde edebilmek için daha fazla katkı ihtiyacı duymuş ve dayanım kaybına uğramıştır [16].

Persson tarafından yapılan bir çalışmada geleneksel betonların mekanik özellikleri ile KYB'lerin mekanik özellikleri (basınç dayanımı, Elastisite modülü, sünme ve rötire) karşılaştırılmıştır. 0,24 ila 0,80 arasında s/ç oranları değişen, sekiz farklı karışımda, suda ve havada kürlenmiş betonların yarısı geleneksel beton diğer yarısı ise KYB olacak şekilde tasarlanmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre KYB'lerin elastisite

modülü, sünme ve rötre değerlerinin geleneksel betonlara göre önemli ölçüde değişiklik göstermediği görülmüştür [17].

Almayaç ve İnce tarafından yapılan bir çalışmada, mermer tozu içeren KYB'lerin taze ve sertleşmiş beton özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla Montero ve arkadaşları tarafından geleneksel betonlar için geliştirilen karışım tasarım yöntemi KYB'lere uyarlanmıştır. Farklı s/ç ve su/toz oranlarında üretilen betonlara taze halde çökme-yayıma, T_{50} , L-kutusu ve elek ayrışma direnci, sertleşmiş halde ise basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Netice olarak, bu tasarım yönteminin mermer tozu ile üretilen KYB'lerde kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır [18].

Elinwa ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, talaş külü katılarak üretilen KYB'lerin naftalin ve melamin sülfonat esaslı akışkanlaştırıcı katkılarla birlikte taze beton özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre, yayılma değerleri optimum işlenebilirlik olarak 665-680 mm arasında bulunmuştur. V-hunisi deney sonuçları ise 8,2-8,4 sn. arasındadır. Bu sonuçlara göre karışım stabilitesi ve kendiliğinden yerleşebilirlik açısından sorunsuz bir KYB üretimi gerçekleştirilebileceği görülmüştür [19].

Poppe ve Schutter tarafından yapılan bir çalışmada yüksek oranda filler malzeme kullanılarak üretilen KYB'lerin çimento hidratasyonları incelenmiştir. Bu amaçla iki farklı (kalker tozu ve kuvarsit tozu) filler malzeme ile farklı Portland çimentoları bir arada kullanılarak KYB üretimi gerçekleştirilmiştir. Filler malzemelerin inert malzeme kabul edilmelerine rağmen hidratasyon prosesini etkiledikleri görülmüştür. Hidratasyon derecesi olarak çimento/toz malzeme oranının çimento-filler sisteminde hidratasyon açısından önemli bir parametre olduğu görülmüştür [20].

Nehdi ve arkadaşları tarafında yapılan bir çalışmada ise çimento ile yüksek oranda ikili, üçlü ve dördü yerdeğiştirme ile üretilen KYB karışımlarının hızlı klorür iyon geçirgenliği, sülfat genleşmesi ve buz çözücü tuzların etkilerine dayanıklılık özellikleri incelenmiştir. Üretilen KYB'lerin taze beton özellikleri ve 1, 7, 28 ve 91 günlük basınç dayanım deneyleri yapılmıştır. Hızlı klorür iyon geçirgenliği 28 ve 91 günlük numunelere uygulanmış, buz çözücü tuzların etkilerine dayanıklılık deneyleri

50 donma-çözülme çevrimi sonucunda belirlenmiş, sülfat genleşmesi deneyi ise %5 Na₂SO₄ çözeltisinde 9 ay süreyle bekleyen numunelerin genleşme miktarları ölçülerek belirlenmiştir. Deney sonuçlarına göre çimento ile yüksek oranda yerdeğiştirme sonucu üretilen KYB'lerde ideal işlenebilirlik, yüksek uzun süreli dayanım, yüksek buz çözücü tuzların etkilerine dayanıklılık, düşük sülfat genleşmesi ve çok düşük klorür iyon geçirgenliği değerleri elde edilmiştir [21].

Corinaldesi ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada ince prekast elemanların üretiminde KYB'ler kullanılmıştır. Bu kapsamda, ağırlıkça % 10 oranında çelik tel, betonarme donatısı yerine kullanılmıştır. s-ç oranı 0.40 olduğunda ideal basınç dayanımı elde edilmiştir. İnce beton elemanların dayanımını değerlendirmek için basınç ve eğilme deneyleri gerçekleştirilmiştir. İlk olarak düşük agrega-çimento oranı nedeni ile betonun yüksek şekil değiştirmesine karşı koyacak betonda yayılı bulunan çelik tellerin etkinliğini belirlemek için kuruma büzülmesi deneyleri yapılmıştır. İkinci olarak, beton numunelerinin donma-çözülme deneyleri yapılmış son olarak da karbonatlaşma ve klorür geçirgenliği deneyleri yapılarak bu beton karışımlarının dayanıklılık özellikleri incelenmiştir. Düşük klorür geçirgenliği, düşük kuruma rötresi ve düşük karbonatlaşma değerleri elde edilmiş, donma-çözülme değerlerinin ise orta düzeyde olduğu belirlenmiştir [22].

Şahmaran ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada ise farklı mineral ve kimyasal katkıların kendiliğinden yerleşen harç üretiminde kullanılabilirliği incelenmiştir. Bu amaçla, dört değişik mineral katkı (uçucu kül, tuğla tozu, kalker tozu ve kaolinit) üç değişik süperakışkanlaştırıcı katkı ve iki farklı viskozite düzenleyici katkı kullanılmıştır. Deneysel çalışmada karışım suyu miktarı ve toplam toz miktarı (portland çimentosu ve mineral katkılar) sabit olacak şekilde 43 farklı karışımda kendiliğinden yerleşen harç üretilmiştir. Harçların işlenebilirliği mini V-hunisi ve mini çökme-yayılma deneyleriyle belirlenmiştir. Harçların priz alma süreleri belirlendikten sonra sertleşmiş beton deneylerine geçilmiş ve beton özellikleri hasarsız olarak ultrases geçiş hızı deneyi ile basınç dayanımları ise 28. ve 56. günlerde basınç dayanımı deneyi ile belirlenmiştir. Mineral katkıların içerisinde uçucu kül ve kalker tozu içeren katkılar harçların işlenebilirliğini önemli ölçüde artırmıştır. Uçucu kül ve kalker tozu içeren üçlü karışımlar içerisinde özellikle uçucu

kül priz alma süresini artırmıştır. İki farklı polikarboksilat bazlı süperakışkanlaştırıcı katkı yaklaşık olarak benzer işlenebilirlik göstermiş, melamin formaldehit bazlı süperakışkanlaştırıcı katkı ise diğer iki katkıya göre daha az etkili olmuştur [23].

Esping tarafından yapılan çalışmada farklı yüzey alanına sahip kalker tozu içeren KYB karışımlarının taze ve sertleşmiş beton özelliklerine etkileri incelenmiştir. Taze betonun işlenebilirlik özelliklerini belirlemek için rheometre ve yayılma tablası deneyi yapılmıştır. Beton numunelerinin otojen büzülmesini belirlemek için beton dilatometresi, plastik çatlak eğilimini belirlemek için ring deneyi uygulanmıştır. Basınç dayanımı deneyleri 28. günde yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre geniş yüzey alanına sahip filler kullanımı beton numunelerinin otojen büzülmesini artırmış, buharlaşmayı azaltmış, daha düşük plastik çatlak eğilimi ve daha yüksek basınç dayanımı değerleri elde edilmesini sağlamıştır. İlave su kullanımı ise bu sonuçları olumsuz yönde etkilemiştir [24].

Felekoğlu ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada s-ç oranı değişiminin KYB'lerin taze ve sertleşmiş haldeki özelliklerine etkileri incelenmiştir. Bu amaçla, beş farklı s/ç oranında ve süperakışkanlaştırıcı katkı dozajında numuneler üretilmiştir. Karışımların kendiliğinden yerleşebilirliklerinin optimum parametrelerini belirlemek için çökme-yayılma, V-hunisi ve L-kutusu deneyleri yapılmıştır. Numunelerin basınç dayanımı gelişimi, elastisite modülü ve yarmada çekme dayanımı deneyleri yapılmış ve deney sonuçlarına göre hacimce optimum s/ç oranı 0.84-1.07 arasında bulunmuş, bu oranların dışındaki numunelerde ayrışma ve blokaj görülmüştür. Normal betona göre kıyaslandığında, KYB numuneleri daha yüksek yarmada çekme dayanımı değerleri vermiş, elastisite modülü değerleri olarak da daha düşük sonuçlar vermiştir [25].

Sukumar ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada yüksek oranda uçucu kül içeren KYB karışımlarının erken yaş dayanım gelişimleri incelenmiştir. Bu amaçla, dayanım gelişim süreleri olarak, aynı oranlarda farklı bileşimlere sahip geleneksel betonlar ve KYB numuneleri ve 12 saat, 18 saat, 1gün, 3 gün, 7 gün, 21 gün ve 28 günlük basınç dayanım deneyine tabi tutulmuş ve erken yaş dayanım kazanma durumları incelenmiştir. Basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı sonuçlarına

göre farklı bileşimdeki KYB'ler için bir formülasyon geliştirilmiştir. Farklı bileşimlerdeki KYB'ler için dayanım kazanma hızı aynı bileşimdeki geleneksel betonlar için beklenen değerlerden daha yüksek değerler vermiştir. 12 saatlik numuneler, 28 günlük numunelerin dayanım olarak % 10'unu, 1 günlük numuneler de 28 günlük numunelerin % 18-20'sini sağlamıştır [26].

Bouzoubaa ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, yüksek oranda F tipi uçucu kül ile üretilen KYB'lerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Çalışmada dokuz KYB karışımı ve bir kontrol karışımı üretilmiş, çimento miktarı 400 kg/m^3 olarak sabitlenmiş, s-ç oranı da 0.35 ila 0.45 arasında değişecek şekilde düzenlenmiştir. KYB karışımlarında F tipi uçucu külün % 40, % 50 ve % 60 ikame oranlarında çimento ile yerdeğiştirmesi sonucu üretilen numuneler üzerinde taze beton özellikleri olarak viskozite ve stabilite deneyleri yapılmış, sertleşmiş haldeki mekanik özellikler olarak da basınç dayanımı ve kuruma büzülmesi deneyleri yapılmıştır. KYB numunelerinin 28 günlük basınç dayanımları 26 ila 48 MPa arasında elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre yüksek oranda uçucu kül ikame ederek ekonomik KYB üretimi gerçekleştirilebileceği görülmüştür [27].

Dinakar ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada yüksek oranda uçucu kül ikame edilerek üretilen KYB'lerin dayanıklılık özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla, değişik dayanım sınıflarında tasarlanan geleneksel betonlar ile farklı bileşimlerde KYB üretebilmek için şahit beton ve % 10, % 30, % 50, % 70 ve % 85 ikame oranlarındaki uçucu külün çimento ile yerdeğiştirilmesi suretiyle üretilen betonlar karşılaştırılmıştır. Bu betonların dayanıklılık özellikleri olarak permeabilite, su emme, asit saldırısı etkisi ve hızlı klorür geçirgenliği deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre, aynı dayanım sınıfındaki KYB numuneleri geleneksel betonlara göre daha yüksek permeabilite ve su emme değerleri vermiş, asit saldırısı etkisi ve klorür difüzyonu deney sonuçlarına göre ise KYB numuneleri geleneksel betonlara göre daha düşük değerler vermiştir [28].

Mnahoncakova ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada ise farklı filler malzemeleri içeren KYB karışımlarının mekanik ve termal özellikleri incelenmiştir. Bu kapsamda, uçucu kül ve kalker tozu içeren KYB karışımlarının donma direnci,

basınç dayanımı, ısı iletkenliği, su geirirnililiği, su emme ve su buharı difüzyon deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre, kalker tozu içeren karışımların dayanım gelişiminin ilk günlerde daha hızlı olduğu, 90. günden sonra ise uçucu külle benzer olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, kalker tozu içeren numunelerin su ve ısı iletiminin daha hızlı olduğu, uçucu kül içeren numunelerin ise su buharı iletiminin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, uçucu kül içeren numunelerde donma direncinin kalker tozu içeren numunelere göre daha yüksek olduğu anlaşılmıştır [29].

Persson tarafından yapılan bir başka çalışmada farklı hava miktarlarına sahip, yüksek miktarda filler malzeme içeren KYB karışımlarının i donma direnci ve buz çözücü tuzların bu betonlar üzerindeki etkinliği incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aynı s- oranına (0.39) sahip ve aynı hava miktarı içeren (% 6) geleneksel betonlarla karşılaştırılmıştır. Deneylere beton yaşı olarak 28 ve 90. günlerde başlanmıştır. Beton dayanım gelişimi 6 farklı KYB bileşiminde ve 2 farklı geleneksel beton bileşiminde değerlendirilmiştir. KYB'lere farklı karıştırma yöntemlerinin etkisi, yüksek oranda filler kullanımının etkisi, filler malzemelerin inceliğinin etkisi, betonun bünyesindeki artan hava miktarının etkisi ve yüksek oranda hidrostatik beton basıncının etkisi bu çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Deney sonuçlarına göre KYB karışımlarının i donma direncinin geleneksel betonlara kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiş, buz çözücü tuzların KYB'ler üzerindeki etkinliği geleneksel betonlarla kıyaslandığında ise net olarak herhangi bir değerimin olmadığı anlaşılmıştır. Betonun hava-boşluk yapısının donma direncine etkisi hususunda herhangi bir ilişki saptanamamıştır [30].

Su ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada KYB'ler için basit bir tasarım yöntemi geliştirilmeye çalışılmıştır. İşlenebilirlik, kendiliğinden yerleşebilirlik ve KYB'lerin sahip olması gereken diğer özellikleri sağlayabilmek için ilk olarak karışımda bulunması gereken agrega miktarı belirlenmiş daha sonra ise agregaların arasındaki boşlukları dolduracak bağlayıcı hamuru miktarı saptanmıştır. KYB özelliklerini etkileyen en önemli faktörler olarak süperakışkanlaştırıcı katkı miktarı ve tipi, agrega, bağlayıcı ve karışımdaki su miktarı gösterilebilir. KYB'lerin performans özelliklerini belirlemek için çökme-yayıma, V-hunisi, L-kutusu, U-kutusu, basınç dayanımı deneyleri yapılmış ve çalışmada önerilen karışım tasarım

yönteminin KYB üretiminde başarılı olduğu görülmüştür. Japon Hazır Beton Birliği tarafından önerilen yöntemle kıyaslandığında bu yöntem, daha basit, uygulanması daha kolay, daha az zaman alan ve daha az bağlayıcı gerektirerek daha ekonomik beton üretimine imkan sağladığı sonucuna varılmıştır [31].

Khatib tarafından yapılan bir çalışmada ise uçucu kül kullanımının KYB'ler üzerindeki etkinliği araştırılmıştır. % 0 ila % 80 arasındaki uçucu külün çimento ile ikame edilmesi sonucunda KYB'ler üretilmiştir. s-ç oranı tüm karışımlarda 0.36 kabul edilmiştir. İncelenen KYB özellikleri olarak işlenebilirlik, basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı, su emme ve rötre sayılabilir. Deney sonuçlarına göre yüksek oranda uçucu kül ikame edilerek yüksek dayanımlı ve düşük büzümeye sahip betonlar üretilebildiği görülmüştür. Bununla birlikte, çimentonun uçucu kül ile % 40 ikame oranında kullanılmasıyla üretilen karışım 56. günde 65 MPa dayanım değeri vermiştir. Karışımda uçucu kül miktarı arttıkça su emme oranı değeri de artmaktadır. Yine de tüm uçucu kül ikameli karışımlar % 2'den daha az su emme değeri vermiştir. Karışımdaki uçucu kül miktarı arttıkça sistematik olarak büzülme de azalmış, 56. günde % 80 ikame oranında şahit betonun 2/3'ü kadar olmuştur. 56. günde büzülme ile uçucu kül miktarı arasında lineer bir bağıntı elde edilmiştir. Artan katkı miktarı, belli bir noktadan sonra dayanımda azalmaya, su emme oranı değerinde de artışa neden olmuştur. Basınç dayanımı ile su emme oranı arasındaki ilişkiye bakıldığında su emme % 1'den % 2'ye yükseldiğinde basınç dayanımı ani bir düşüğe geçmiştir. % 2 su emme oranı değerinden sonra ise dayanım çok hızlı bir şekilde azalmıştır [32].

Arkam ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada posa külü kullanarak düşük maliyetli KYB üretimi tasarlanmıştır. Çalışmada ana değişkenler posa külü miktarları, işlenebilirlik için süperakışkanlaştırıcı katkı miktarları ve su/toz malzeme oranlarıdır. Çalışmada çimento ve su miktarları sabit tutulmuştur. Deney sonuçlarına göre posa külü kullanarak düşük maliyetli KYB'lerin üretilebileceği görülmüştür. Taze haldeki KYB'lerin farklı karışımlarının çökme-yayılma değerleri 333 mm ile 815 mm arasında değişmektedir. L-kutusu deneyinde ise değerler 0-1 arasında elde edilmiştir. Posa külü katılarak üretilen KYB'lerin 28. gündeki basınç dayanımları kontrol betonuna göre karşılaştırma yapılabilir oranda elde edilmiştir. Maliyet analizi değerlendirmeleri yapıldığında, 34 MPa basınç dayanımı değeri elde edebilmek için

şahit betonla kıyaslandığında posa külü katılarak üretilen KYB'lerin maliyetlerinin % 35.63 daha az olduğu görülmüştür [33].

Felekoğlu tarafından yapılan bir çalışmada ise kırma kalker tozu malzemesinin kendiliğinden yerleşen hamur ve betonda kullanılabilirliği araştırılmıştır. İlk olarak çimento hamurunun ve taş ocaklarında filtreleme yolu ile elde edilen kalker tozunun ve ayrıca öğütme yoluyla elde edilen kalker tozunun fiziksel ve mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır. İkinci olarak, taşocaklarında filtreleme ile elde edilen kalker tozunun KYB uygulamalarındaki performansı test edilmiştir. Deney sonuçları değerlendirildiğinde, yüksek miktarda kalker tozu ikame edilmiş karışımlarla ideal özellikte normal dayanımlı KYB'ler üretilebileceği görülmüştür. Filtreleme yolu ile elde edilen kalker tozunun mekanik özelliklerinin ve işlenebilirliğinin öğütme yoluyla elde edilen kalker tozuna göre daha iyi olması ve bununla beraber daha düşük maliyetli KYB'lerin üretilebilmesi bu çalışmanın başlıca sonuçlarından [34].

Schwartzentruber ve arkadaşları tarafından yapılan bir başka çalışmada ise KYB'lerden formüle edilen taze çimento hamurlarının reolojik özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmanın ana konusu, yayılma ve akış zamanı gibi ampirik testlerin diğer karmaşık testlere gerek olmaksızın çimento hamurlarının reolojik özelliklerini belirlemede kullanılabileceğini göstermektir. Reolojik özellikler olarak viskozite ve akma kayma gerilmesi gibi parametrelerin, akışkanlığı yüksek karışımlarda elde edilen ampirik testlerle iyi bir korelasyon oluşturduğu görülmüştür. Ayrıca, çimento hamurunun reolojik özelliklerini belirlemede karışım prosedürlerinin etkileri de bu çalışmada vurgulanmaktadır. Son olarak da test sonuçları dikkate alınarak, KYB'lerde kullanılan viskozite düzenleyici katkılar ile süperakışkanlaştırıcı katkıları arasında reolojik özellikleri sağlamada bir ilişki olduğu görülmüştür [35].

Ghrici ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada ise doğal puzolan ve kalker tozu katkılı çimentolar ile üretilen betonların mekanik ve dayanıklılık özellikleri incelenmiştir. Portland çimentosuna kalker tozu ilave edilerek üretilen betonların erken yaş dayanımları hidrasyonu hızlandırmaları nedeniyle yüksek, ileriki yaş dayanımları ise seyreltme etkisiyle düşük olduğu görülmüştür. Diğer yandan doğal

puzolan ile üretilen betonların ise ileri yaş dayanımlarının yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu sebeplerden ötürü üçlü karışım (Portland çimentosu-kalkertozu-doğal puzolan) yoluyla hazırlanan karışımların daha iyi performans sağlayacağı düşünüerek bir çalışma ortaya konmuştur. Çalışmada ilk olarak, portland çimentosuyla % 20 ikame oranında kalker tozu ve % 30 ikame oranında ise doğal puzolan katılarak üretilen betonların 2, 7, 28 ve 90. günlerdeki basınç dayanımları ile eğilme dayanımları test edilmiştir. Bazı numunelere sülfat, klorür geçirgenliği ve asit etkisi deneyleri uygulanmış ve sonuç olarak üçlü karışımların erken ve ileri yaşlardaki basınç ve eğilme dayanımını artırdığı ve aynı zamanda dayanıklılık deneylerinde de başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür [36].

Li tarafından yapılan bir çalışmada Japonya'da üretilen hazır betonların taze haldeki işlenebilirlik özelliklerini tasarlama yöntemlerinin etkinlikleri incelenmiştir. Bu kapsamda mevcut durum, karşılaşılan problemler ve işlenebilirlik yöntemlerinin etkinliğinin genel bir görünüşü ortaya konmuş ve karşılaşılan olumsuz durumlar için çözüm önerileri sunulmuştur [37].

Persson tarafından yapılan bir başka çalışmada ise KYB'lerin sülfatlı ortamlardaki davranışı incelenmiştir. Bu kapsamda 40'tan fazla silindir numune 900 gün boyunca saf suda, deniz suyunda ve sodyum sülfat çözeltisinde bekletilerek KYB'lerin sülfat direnci belirlenmeye çalışılmıştır. 28 ya da 90 günlük numuneler ilgili deneylere tabi tutulmuştur. Ağırlık ve iç temel frekans ölçümleri yapılarak geleneksel betonlarla karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre, numuneler sodyum sülfat çözeltisinde bekletildiğinde, KYB karışımlarında kalker tozu bulunması nedeniyle, geleneksel betonlara göre daha fazla ağırlık kaybı meydana gelmiştir. Deniz ya da saf suda bekleyen numunelerde ağırlık farklılıkları oluşmamıştır [38].

Felekoğlu ve arkadaşları tarafından yapılan bir başka çalışmada, öncelikle KYB'lerde kullanılmak üzere polikarboksilat bazlı süperakışkanlaştırıcı katkıları radikal polimerizasyon yöntemiyle bileşim haline getirilmiş ve bu katkıların KYB'lerin basınç dayanımı gelişimine, zamana bağlı işlenebilirliğine ve çimento hamurlarının priz alma sürelerine etkileri incelenmiştir. Deney sonuçlarına göre, kimyasal yapıları bakımından, polikarboksilat bazlı süperakışkanlaştırıcı katkıların

işlenebilirlik koruma etkisi, kopolimerin kenar zincirleri ve ana arka omurgası arasındaki bağın modifiye edilmesiyle geliştirilebileceği görülmüştür. Polikarboksilat bazlı süperakışkanlaştırıcı katkıların ester bağına sahip olması, bu bağın alkali saldırılarına karşı savunmasız olması nedeniyle, taze betonun işlenebilirliğine olumlu bir etki meydana getirmemiştir. Diğer yandan, kopolimerin arka kısmına polietilen kenar zincirinin direk bağlanması, taze haldeki KYB'lerin işlenebilirliklerini en az 2 saat boyunca sürdürebilmelerini sağlamıştır. Süperakışkanlaştırıcı türüne ilaveten, su-toz malzeme oranı da KYB'lerin uzun süreli işlenebilirlik koruma performanslarını etkilemektedir [39].

Felekoğlu ve arkadaşları tarafından yapılan bir başka çalışmada uçucu kül ve kalker tozunun kendiliğinden yerleşen tamir harçlarının viskozite ve basınç dayanımlarına etkisi araştırılmıştır. Bu bağlamda, ilk olarak mekanik özellikler ve taze durum reolojisi dikkate alınarak toz malzemenin türü ve miktarı belirlenmeye çalışılmıştır. Toz malzemenin kendiliğinden yerleşebilirliğe, viskoziteye ve dayanıma etkisi bu betonlar için tasarlanan deney yöntemleriyle (mini yayılma, V-hunisi, viskozite ölçümü, basınç dayanımı deneyi) belirlenmiştir. Her çimento-mineral katkı ya da filler malzeme-akışkanlaştırıcı karışımında istenen işlenebilirliği sağlamak için optimum miktarı ve malzeme türünü belirlemede yukarıda ifade edilen deney yöntemleri yeterli olmuştur. Basınç dayanımları olarak ilk zamanlarda kalker tozu katkılı betonlar, uçucu kül katkılı betonlara göre daha yüksek dayanım değerleri vermiş, ileriki zamanlarda ise uçucu kül katkılı betonlar puzolanik etkinin sonucu olarak daha yüksek dayanım değerleri vermiştir [40].

Yazıcı tarafından yapılan bir çalışmada silis dumanı ve yüksek miktarda uçucu külün KYB'lerin mekanik özelliklerine, klorür geçirgenliğine ve donma-çözülme direncine etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla ilk olarak, C tipi uçucu kül, çimento ile % 30'dan % 60'a kadar ikameli olarak kullanılmış, daha sonra ise aynı karışımlarda silis dumanı çimento ile % 10 ikame oranında kullanılarak KYB'ler üretilmiştir. Üretilen bu betonların mekanik özellikleri, klorür geçirgenlikleri ve donma-çözülme dirençleri incelenmiştir. Test sonuçlarına göre yüksek oranda uçucu kül ile KYB'lerin elde edilebileceği, %10 oranında silis dumanı katılarak yüksek uçucu kül ikameli ve aynı zamanda yüksek performanslı kendiliğinden yerleşen betonların

üretilebileceği görülmüştür. Karışımlarda oldukça az miktarda çimento kullanılmasına rağmen üretilen betonların mekanik ve donma-çözülme özellikleri ile klorür penetrasyon direncinin oldukça iyi olduğu belirlenmiştir [41].

Zhu ve Gibbs tarafından yapılan bir çalışmada ise kalker tozu ve tebeşir tozunun filler malzeme olarak KYB'lerde kullanılabilirliği ve bu malzemelerin KYB'lerde kullanımının süperakışkanlaştırıcı katkı ihtiyacına ve basınç dayanımlarına etkisi araştırılmıştır. Deneylelerden elde edilen sonuçlara göre, bu iki filler malzeme ile süperakışkanlaştırıcı katkı miktarını iyi ayarlayarak KYB'lerin kolayca üretilebileceği görülmüştür. Aynı işlenebilirliği sağlayabilmek için, kalker tozu içeren KYB'lerin kalker tozuna oranla daha fazla süperakışkanlaştırıcı katkı ihtiyacı olmuştur. Süperakışkanlaştırıcı katkı ihtiyacına filler malzemelerin inceliği önemli miktarda etki yapmamıştır. Erken yaşlarda ve aynı s/ç oranında kalker tozu ya da tebeşir tozu içeren KYB'lerin basınç dayanımı değerlerinin, geleneksel betonlarla kıyaslandığında oldukça yüksek olduğu görülmüştür [42].

Petit ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada kendiliğinden yerleşen harç ve betonların akma gerilmeleri ve viskoziteleri incelenmiştir. Bu çalışma bünyesinde 10 ila 33 °C sıcaklıkta farklı karışımlardaki KYB'ler ve harçlar iki farklı tipte yüksek oranda su azaltıcı kimyasal katkı ile hazırlanmıştır. Hazırlanan beton ve harç numuneler üzerinde yapılan viskozite deneyleri sonucunda çeşitli modeller üretilmiş ve bir veri tabanı oluşturulmuştur [43].

2.5. 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 [44]. Bu dökümanda verilen tasarım yöntemi, önerilen bir tasarım yöntemidir.

Yayılabılme özelliğini 65 cm 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 [45]. 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 [46-49]. Bunlar;

- Harcın taze haldeki özellikleri,
- Karışımdaki iri agrega içeriği,

- 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 agrega içeriği sadece işlenebilirliği etkilemekle kalmayıp, ayrışma direncinde de önemli rol oynamaktadır [50]. Ayrıca iri agrega miktarı, mekanik özelliklerin istenen seviyede olmasını sağlamada ve karışımın işlenebilirliğinin istenen ölçülerde olmasında önemli bir role sahiptir [45]. Yüksek agrega içeriği ayrışma direncini azaltırken, karışımın donatılar arasından geçerken bloke olmasına neden olmaktadır [49]. Çarpışma frekansı ve agrega taneleri arasındaki bağlantı, taneler arasındaki göreceli mesafenin azalması nedeniyle artarak, iç gerilmenin de artmasına neden olmaktadır [51]. İri agrega miktarını sınırlamak, karışımın bloke olmasına neden olan iç gerilme potansiyelini azaltır. Okamura ve Owaza yukarıda açıklanan nedenlerden dolayı, KYB’lerde iri agrega hacminin yaklaşık olarak % 50 ile sınırlandırılmasını önermiştir [50]. Yarugi ve arkadaşları ise karışımın harç kısmındaki kum içeriğinin % 75 düzeyinde olabilmesi için, iri agrega hacminin % 33’ten az olmasını önermiştir [51].

KYB’lerin üretimlerinde geniş bir malzeme yelpazesi kullanıldığı için tek bir karışım tasarım çözümü de yoktur [52]. Genellikle KYB’lerin üretiminde su/bağlayıcı oranları 0.5’den azdır ve geleneksel betonlara göre, karışımlardaki iri agrega içeriği daha az hamur miktarı ise daha yüksektir [49].

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 [53]. 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;

- İri agrega miktarı, betonun katı hacminin % 50'si olacak şekilde ayarlanmalıdır.
- İnce agrega miktarı, harç hacminin % 40'ı olacak şekilde ayarlanmalıdır.
- Su/bağlayıcı oranı, bağlayıcıların özelliklerine bağlı olarak hacimce % 0.9 - % 1 arasında olmalıdır.
- 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 [54].

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

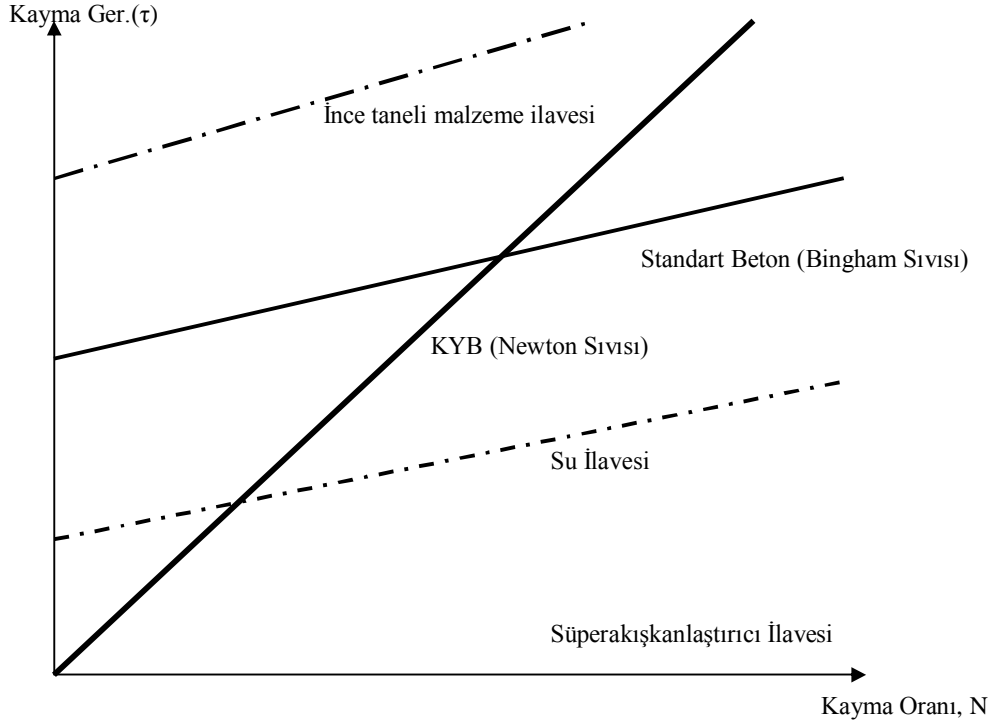
kısının ise işlenebilirliği kontrol etmek için kullanılması esasına dayanır. Dolayısıyla, beton iskeletinin bünyesindeki boşluklar minimize edilirse, işlenebilirlik aynı su miktarında kolaylıkla artırılabilir. Bu yöntemin ortaya çıkmasıyla beraber, beton ve harçların plastik viskozitesi ile akma-kayma gerilmelerini ölçmeye yarayan rheometre olarak ifade edilen bir alet geliştirilmiştir [57].

2.6. Karışımda 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 gösterebilme yeteneğidir. Bu özellikleri sağlayabilmek için ilk olarak KYB'ler tasarlanırken 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 geçmektedir [2]. Geleneksel betonlardan farklı olarak KYB tasarlanırken bilinmesi gereken en önemli husus, bu betonu diğer betonlardan farklı kılan özellikleri sağlamak için malzeme karışım oranlarını klasik ölçülerin dışına çıkarmaktır. Daha tasarım 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 kohezyonu da düşürür. Bununla birlikte, beton karışımına süperakışkanlaştırıcı katkı ilave etmek akma gerilmesini düşürürken, aynı zamanda da viskoziteyi azaltırken kohezyonu yükseltmektedir. 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 2.4 kayma oranıyla, kayma gerilmesi arasındaki ilişkiyi göstermesi açısından önemlidir.



Şekil 2.4. Betonun reolojik özellikleri [58]

2.6.1. Çimento

Günümüzde çimento standartlarının gelişmesiyle beraber, artış gösteren farklı talepleri karşılayabilmek için beton teknolojisine katkı sağlayan bağlayıcı kombinasyonlu malzemeler yaygın olarak kullanılmaktadır [48]. Bu nedenle, dayanım ve dayanıklılıkta artış sağlayan ve yüksek performanslı beton üretimine olanak sağlayan çimentolar rahatlıkla temin edilebilmektedir. KYB konulu çalışmaların çoğunda bağlayıcı olarak geleneksel betonda da yaygın olarak kullanılan Normal Portland Çimentosu kullanılmıştır [45]. KYB'nin öncüleri olarak Japonya'da Okamura ve İngiltere'de Bartos, bu betonların üretiminde PÇ kullanımına öncelik vermişlerdir [59]. 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 [60]. Ancak katkı teknolojisindeki hızlı gelişmeler bu problemi ortadan kaldırmış ve bu uyum sorunu azaltılmıştır. KYB’de kullanılacak çimento TS EN 197-1 standardına uygun olmalıdır [61]. Bünyesinde Al_2O_3 miktarı % 10’un üzerinde olan çimentolar çalışma süresinin kısılmasına neden olacağından işlenebilirliği azaltarak kendiliğinden yerleşebilirliği sağlamada olumsuz sonuçlar verebilirler.

2.6.2. Agregası

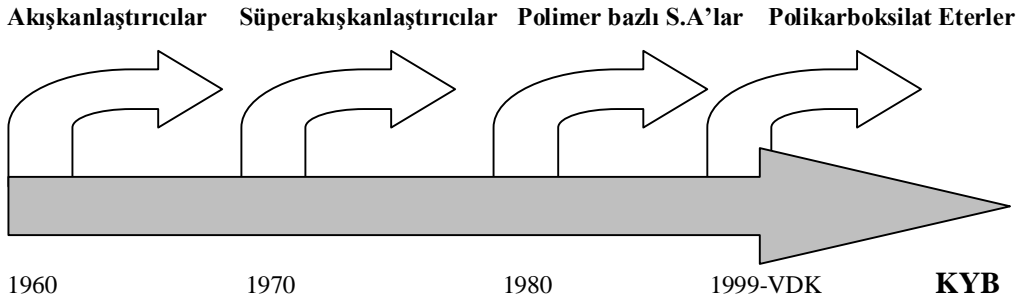
Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde ince taneli agrega kullanımı, beton karışımlarının stabilitesini ve işlenebilirliğini sağlamada çok önemli bir rol oynamaktadır. Beton karışımındaki toplam ince malzeme miktarı agrega tane dağılımı, ince agrega miktarı ve filler malzeme ile beraber bağlayıcı miktarının bir fonksiyonudur [45]. Bu betonların üretiminde karışımındaki toplam ince taneli malzeme miktarı, agrega tane boyutu ve tane dağılımı dikkate alınarak, gerekli stabiliteyi sağlayabilmek için geleneksel betonlara göre daha fazla, 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 indirilebilir [48]. KYB üretiminde kullanılacak agregalar TS EN 12620’ye uygun olmalıdır [62]. Bu betonların üretiminde kullanılacak olan kumların incelik modülü 2.4 ila 2.6 arasında değişmektedir [52]. Agreganın içindeki tane boyutu 0.125 mm’nin altında olan malzemeler, tasarımda ince malzeme miktarına dahil edilmektedir.

2.6.3. Su

KYB üretiminde kullanılacak karışım suyu TS EN 1008 standardına uygun olmalıdır [63].

2.6.4. Kimyasal katkılar

KYB kendisinden istenen stabiliteyi sağlarken aynı zamanda da yüksek seviyede işlenebilirlik özelliklerine sahip olmalıdır. KYB üretiminde taze betonların işlenebilirlik özelliklerini artırmak 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 malzemelerin bu betonların üretiminde kullanılmasını sağlamıştır [45]. Kimyasal katkıların zaman içerisindeki gelişimi Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Kimyasal katkıların geçmişten günümüze gelişimi

2.6.4.1. Akışkanlaştırıcı katkılar

KYB üretiminde en önemli parametrelerden biri de süperakışkanlaştırıcı katkı kullanımınıdır. 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 azaltarak taze betona geçiş yeteneği ve doldurma yeteneği kazandırmaktadır [64]. KYB üretiminde kullanılan akışkanlaştırıcı katkıların içerisinde polikarboksilat bazlı katkıların, modifiye lignosülfonatlar, melamin ve naftalin formaldehitlere göre akışkanlığı artırma açısından önemli üstünlükleri vardır [2]. Polikarboksilat eter bazlı modern süper akışkanlaştırıcı katkılar taze betonun işlenebilirliğinin uzun süreli olarak kalıcı olmasını sağlarken üretim mekanizmasının her aşamasında betona katılabilmektedir. Katkı maddeleri bu özelliklerini yapısal engelleme kombinasyonlu (steric hindrance) elektrostatik itme

mekanizmasıyla sağlarlar. Standart olarak akışkanlaştırıcı özellikteki katkı TS EN 934-2'ye uygun özellikte olmalıdır [65]. Süperakışkanlaştırıcı katkı, KYB'nin çalışma süresinin ayarlanmasındaki asıl bileşendir. Bu nedenle kimyasal katkı seçiminde, erken dayanım kaybı oluşturmayacak (geciktirici özellikli olmayan) ve aynı zamanda da betona en az bir saat çalışma süresi sağlayabilecek özellikte bir katkı kullanılmasına dikkat gösterilmelidir.

2.6.4.2. Viskozite düzenleyici katkıları

Viskozite düzenleyici katkıları, betonun viskozitesini artırarak ayrışmayı (terleme dahil) azaltan, betonun stabil olmasını sağlayan ve agreganın çimento hamuru içinde askıda kalmasını sağlayan maddelerdir. Bu katkıları, tipik olarak yüksek moleküler ağırlıklı çözülebilir polimerlerdir. Yapılarındaki su ile olan etkileşimleri nedeniyle sıvı ortamda viskoziteyi artırır [66]. Bu katkıları taze beton reolojisini stabil kılarken beton bünyesinde mevcut bulunan iri agreganın ayrışmasını önler [54]. En etkili viskozite düzenleyici katkılarından birisi Welan gum'dur. Bu katkıları doğal polisakkarit yapılarıyla betonun viskozitesini ayarlayarak ederek stabiliteyi sürekli hale getirirler [67]. Çok pahalı bir malzeme olduklarından KYB üretim maliyetini çok ciddi şekilde arttırır [68]. Yurugi ve arkadaşları glikoz bazlı viskozite düzenleyici katkıları ile kendiliğinden yerleşen beton üretiminin mümkün olabileceğini yaptıkları çalışmalarla ortaya koymuşlardır [69]. Diğer tipik viskozite düzenleyici katkıları olarak selülozik eterler, alginatlar ve polietilen oksitler suyun hidrojen bağıyla ikinci kez etkileşime girerek viskoziteyi arttırır [66]. Bu amaçla polikarboksilat veya naftalin esaslı polimerler yaygın olarak kullanılan katkılarıdır.

Viskozite düzenleyici katkıları (VDK), suda çözünen polimerik maddeler olarak, şu şekilde sınıflandırılmıştır.

- Nişasta ve doğal zamk (sakız) gibi doğal polimerler,
- Ayrışmış nişasta, selüloz eter türevleri (hidroksipropil metil selüloz gibi), yarı sentetik polimerler,

- Etilen kökenli (polietilen oksit gibi) ve vinil kökenli (polivinil alkol gibi) sentetik polimerler.

Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde viskozite düzenleyici katkı kullanımı birçok avantaj sağlarken, iyi bir tasarımla viskozite ayarlayıcıya ihtiyaç duyulmadan da bu betonlar üretilebilir. Bu katkının herhangi bir standardı yoktur. VDK, taze betonda kullanılacaksa TS EN 934-2 standardının genel özelliklerini mutlaka sağlamalıdır [70].

2.6.5. Mineral katkılar

KYB üretiminde mineral katkılar olarak ince taneli malzemelerin kullanımı, taze beton karışımlarının işlenebilirliğini artırırken, bununla birlikte çimento kullanım miktarını azaltarak hidrasyon ısını düşürdüklerinden kendiliğinden yerleşen beton uygulamalarında pratik kullanımları nedeniyle çok yaygındır [71]. KYB uygulamalarında mineral katkılar olarak uçucu kül, granüle yüksek fırın cürufu, doğal zeolit, silis dumanı ve metakaolin uygulamaları mevcuttur [48]. Özellikle uçucu küller günümüzde küresel yapıları nedeniyle taze betonun işlenebilirliğini artırdıklarından, bu betonların birçok uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Tasarıma bağlı olarak KYB üretiminde kullanılan mineral içerikli katkılar aşağıda verilmiştir.

2.6.5.1. Granüle yüksek fırın cürufu

Demir elde edebilmek için, demir cevherlerinin, "yüksek fırın" olarak adlandırılan fırınlarda çok yüksek sıcaklıklara kadar (yaklaşık 1600 °C sıcaklığa kadar) ısıtılmaları, böylece oksijenden ve yabancı maddelerden arındırılmaları gerekmektedir. Kok kömürünün (karbon'un) yakıt olarak kullanıldığı bu fırınlarda, ayrıca, arıtma işlemine yardımcı olabilmesi için kalkertaşı da cevherle birlikte ısıtılmaktadır. Yüksek sıcaklığın etkisiyle, kok kömürünün karbonu ile demir oksitteki oksijen birleşerek karbon monoksit ve karbon dioksit gazları oluşturarak fırını terketmektedir. Geride, eriyik durumda demir ve eriyik durumda olan CaO, SiO₂, Al₂O₃, MgO, MnO, S gibi yabancı maddeler topluluğu kalmaktadır. Demirin yoğunluğu, yabancı maddeler topluluğunun yoğunluğundan daha yüksek olduğu için,

eriyik durumdaki demir, fırının en alt bölümünde ve eriyik durumdaki diğer malzemeler ise demirin hemen üzerinde yer almaktadır. Demir ve diğer malzeme topluluğu ayrı ayrı çıkışlardan dışarı çıkartılmaktadır. Elde edilen yabancı maddeler topluluğu "yüksek fırın cürufu" olarak adlandırılmaktadır.

Amorf yapıya sahip olan ve büyük miktarda SiO_2 ve Al_2O_3 içeren granüle yüksek fırın cürufu, öğütülerek çok ince taneli duruma getirildiği takdirde, doğal puzolanların ve uçucu küllerin puzolanik özelliklerine benzer özellikler göstermektedir. Ayrıca, büyük miktarda CaO içermesi nedeniyle, öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun kendiliğinden de bir miktar bağlayıcı özelliği bulunmaktadır.

Granüle Yüksek Fırın Cürufunun (GYFC) beton katkı maddesi olarak kullanılması Güney Afrika'da Stutterheim tarafından 1947-1953 yılları arasında yapılan araştırmalardan sonra başlamıştır.

GYFC taze beton ya da harçların işlenebilirliğini artırırken terlemeyi azaltmaktadır. Dayanımı geliştirirken hidrasyon ısısını düşürmekte, permeabilite ve poroziteyi azaltarak alkali-agrega genişmesini düşürmektedir [72-75]. Bu özelliklere sahip olması nedeniyle günümüzde birçok KYB uygulamalarında kullanılmaktadır. KYB üretiminde mineral katkı olarak kullanılacak olan GYFC standart olarak BS 6699'a uygun olmalıdır [76].

2.6.5.2. Uçucu kül

Elektrik enerjisi üretimi için, termik santrallerin çoğunda yakıt olarak pulverize kömür kullanılmaktadır. Pulverize kömürün yanmasıyla büyük bir miktarı çok ince olan, bir miktarı da kısmen 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. Kısmen ağır olan iri kül tanecikleri taban külü olarak ocağın tabanına toplanmaktadır.

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.

Uçucu külde yüksek miktarda yer alan oksitler SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 'tür. Bunların yanısıra, bir miktar CaO , MgO , C (çok ince taneli durumda olan yanmamış kömür) ve Na_2O bulunabilmektedir. Uçucu külün yapısının büyük bir bölümü (% 60 - % 90'ı) amorf durumdadır. Geri kalan bölümünde, mullit, kuvars, magnetit, hematit gibi kristaller yer alabilmektedir [77,78]. Uçucu kül taneleri genellikle küresel şekilli katı parçacıklardır. Uçucu kül taneciklerinin boyutları 1-150 μm arasında değişiklik göstermektedir. Normal olarak, 2.1-2.7 g/cm^3 yoğunluğa sahiptir. Daha çok miktarda karbon içeren küller koyu gri renkte, daha çok demir içerenler ise açık gri renktedir.

Silisli ve alüminli amorf yapıya sahip olduğu ve çok ince taneli olarak elde edildiği için uçucu kül de aynen ince taneli doğal puzolanlar gibi puzolanik özellik göstermektedir. O nedenle, hem portland-puzolan tipi çimento üretiminde, hem de beton katkı maddesi olarak doğrudan kullanımı mümkündür. Genellikle, beton katkı maddesi olarak çok büyük miktarlarda kullanılabilir. 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 800 milyon ton değerine ulaşması beklenmekte olduğundan bu malzemelerin beton üretiminde değerlendirilmesi önem arz etmektedir [79].

Uçucu kül günümüzde KYB uygulamalarında ince taneli malzeme olarak taş tozuyla beraber en yaygın kullanım alanı bulmuş malzemedir. Taze betona "kendiliğinden yerleşebilirlik" özelliği sağlamada uçucu kül çok önemli bir yere sahiptir. Küresel ve düzgün yüzeyle yapısı nedeniyle taze betonun işlenebilirliğini ve yayılmasını artırır. Uçucu kül, düşük eşik kayma gerilmesi değeriyle kalker tozu ile kıyaslandığında daha yüksek viskozite elde edilmesini sağlar ve KYB viskozitesini arttırmada etkili ince taneli malzemelerden biridir [80]. Ayrıca düşük maliyetli KYB uygulamalarında da uçucu kül önemli bir yere sahiptir. Bouzouba ve Lachemi tarafından yapılan bir çalışmada, yüksek miktarda uçucu kül içeren KYB'lerin performans özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmada, uçucu kül ile çimentonun %60

ikame oranında yer değiştirmesiyle 28 günde 35 ila 40 MPa basınç dayanımına ulaşan aynı zamanda da kendiliğinden yerleşebilirlik gösteren beton üretilebildiği ve beton maliyetinin de ciddi miktarda düştüğü görülmüştür. [81]. Benzer şekilde Ribeiro ve Goncalves de yüksek dozajlarda uçucu külü düşük maliyetli süperakışkanlaştırıcı katkılarla ve yüksek su içeriğinde kullanarak düşük maliyetli KYB üretmiştir [82]. Ghezal ve Khayat ise belli oranda uçucu kül ve 120 kg/m³ e kadar kalker tozu içeren KYB numunelerinin maliyet etkinliğini optimize etmek için, istatistiki deneysel tasarım yöntemi geliştirmiştir [83]. 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 [84].

Uçucu külün KYB uygulamalarında kullanımının yararlarını şu şekilde özetleyebiliriz;

- Uçucu kül hidratasyon ürünlerini arttırarak betonun porozitesini azaltır.
- Mikro agrega etkisi yaparak tane dağılımını düzenler ve optimum sıkışmayı sağlar. Böylece betonun dış etkilere karşı dayanıklılığı artar.
- Hidratasyon hızını ve ısısını düşürür. Sıcaklık yükselmesinden doğan su kaybını ve çatlakları azaltır. Fakat priz alma süresini geciktirmesi erken dayanım sürecini olumsuz etkilemektedir.
- KYB'nin viskozitesini arttırarak ayrışmaya karşı direnç sağlar.
- 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 mevcuttur [64].

KYB üretiminde kullanılacak uçucu kül, TS EN 450'ye uygun olmalıdır ve beton üretiminde kullanılmadan önce mutlaka standarda uygunluğu kontrol edilmelidir [85].

2.6.5.3. Doğal zeolit

Zeolit, 1756 yılında İsveçli mineralog Fredrich Cronstedt tarafından bulunmuştur. Zeolitin mineralojik yapısını SiO_2 ve/veya Al_2O_3 oluşturur. Bu yapının en önemli özelliği, büyük oranda boşluk ve kanal içermesi; bu boşluk ve kanallarda yer alan suyu yüksek sıcaklıklarda yapı bozulmadan kaybedebilmesi ve yapı içerisinde gevşek bağlı olarak değiştirilebilir özellikte bulunan katyonlara sahip olmasıdır. Dünya üzerinde birkaç tip zeolit endüstride kullanılabilir saflıkta ve kalitededir. Bu tiplerden silis içeriği açısından zengin olan klinoptilolit ve mordenit endüstriyel anlamda önemli malzemelerdir. Zeolitin önemli kullanım alanları arasında su sertliğinin azaltılması, gaz ve petrol işleme merkezleri, atık su temizlemesi ve kağıt endüstrisidir. Zeolitin volkanik kökenli olması ve amorf yapılı yüksek silis içeriği puzolanik aktivitesini ortaya çıkarmaktadır [86]. Zeolit, beton içerisinde uçucu kül ve silis dumanı gibi mineral katkıları $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile reaksiyona girerek bağlayıcı özellik kazanmaktadır. Puzolanik olarak doğal zeolitin, uçucu külle silis dumanı arasında bir aktiviteye sahip olduğu yapılan çalışmalarda ifade edilmiştir [87]. Yugoslavya, Bulgaristan, Rodos ve Çin ana bileşeni klinoptilolit ve analsimden oluşan zeolitin, çimento katkı maddesi olarak geniş kullanım alanı bulduğu bölgelerdir [88]. Zeolit boşluklu bir malzeme olup bünyesinde suyu tuttuğu için beton üretiminde kullanılırken dikkatli olunmalıdır. Yapılan çalışmalarda zeolit katkılı beton karışımlarının reolojik özelliklerini kontrol altında tutmak için süperakışkanlaştırıcı beton katkısı kullanılması gerektiği önerilmektedir [89]. Yapılan çalışmalarda zeolit kullanılarak hazırlanan çimento hamuru numunelerindeki boşluk oranının zamanla azaldığı gözlenmiştir. Böylece çimento hamuruyla agrega fazı arasındaki bağın kuvvetli olması sağlanmaktadır. Kompozit yapının kuvvetli olması, betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini olumlu yönde etkileyen bir faktördür [87,89,90].

Ülkemizin doğal zeolit kaynaklarınca zengin olması, bu malzemenin çimento endüstrisinde kullanılarak ülke ekonomisine kazandırılmasını önemli kılmaktadır. Özellikle dünyanın en büyük çimento üreticilerinden birisi olan Çin'de yılda çimento üretimi için 30 milyon ton zeolit kullanılmaktadır [87,90]. Türkiye de her ne kadar özellikle Batı Anadolu Bölgesi'nde zengin zeolit yatakları olsa da zeolitin endüstriyel kullanımını henüz tam olarak gerçekleştirmemiştir. Son yıllarda zeolit

kullanımı daha çok atık suların sertliğinin azaltılması ve zirai uygulamalar üzerine yoğunlaşmıştır [91].

Doğal zeolitin diğer mineral katkıları gibi KYB üretiminde kullanılması üzerine bazı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda, doğal zeolitin çeşitli ikame oranlarında çimento ile yerdeğiştirilmesiyle KYB'ler üretilebileceği görülmüştür [92].

2.6.5.4. Kalker tozu

KYB üretiminde yaygın kullanım sahası bulan ince taneli inert malzemeler bu betonların üretiminde artan ince malzeme gereksinimini sağlamada mineral katkılarıyla beraber etkin role sahiptir. İncert malzemeler, beton karışımına dahil edildiklerinde taze betonun stabilitesini ve viskozitesini artırır. Viskozite aynı zamanda taze betona VDK ilavesi ile de artırılabilir. Fakat bu katkıların maliyeti oldukça yüksektir. Böylece filler malzemeler, daha ekonomik KYB üretimine olanak sağlarlar. Filler malzemeler yüksek işlenebilirlikte gerekli stabiliteyi sağlamaya yardımcı olurken KYB'lerin basınç dayanım gelişmelerine olumsuz katkı yapmazlar [93]. Bu katkıları yüksek portland çimentosu içeriğinde karışımların hidrasyon ısılarını kontrol etmeye de yardımcı olur [94]. Toz malzemelerin viskoziteyi artırma mekanizması, parçacık boyutunun küçülmesi ile parçacıklar arası etkileşimin artması ve bu etkileşim sayesinde viskozitenin artması şeklindedir [95]. İnce malzemeler beton karışımına dahil edildiklerinde betona yapacakları katkı tane boyutuyla da ilgilidir. Yapılan bir araştırmada % 10'u 0.2 mm'den geçip 0.1 mm üzerinde kalan tozlar KYB için olumsuz performans göstermiştir [96]. İnce taneli malzeme oranının KYB'lerde 400 ila 650 kg/m³ arasında olması tavsiye edilmektedir. Bu miktar kum ve agrega tanecikleri arasındaki boşlukların doldurması için ve daha iyi sıkışma sağlanması için önerilmektedir [95]. Filler malzeme kullanımı, karışımın katı iskeletini zenginleştirmekte, betonu daha kompakt hale getirmekte ve harcın agregaları daha iyi sarmasını sağlamaktadır. Filler malzemelerin betonun doldurma kapasitesini artırabilmesi için eş boyutlu, çok küçük çaplı öğütülmüş halde kullanılması da mümkündür [97]. Kalker tozunun beton karışımında homojen dağılması sağlanmazsa, dayanım ve dayanıklılık açısından olumsuz etkiler meydana getirebilir [2]. Filler malzemeler ile üretilen KYB'ler, diğer puzolanik maddelerin

kullanıldığı KYB'lere kıyasla, kür işlemine daha az hassastır. Pürüzlü mikro yüzeyleri nedeniyle, yüksek oranda karışım suyu absorbe etmeleri ve erken dayanımı hızlandırıcı etkide bulunmaları sebepleriyle küre hassasiyetlerinin azaldığı kabul edilebilir [98].

Filler malzemeler olarak en yaygın kullanım alanı bulan malzeme ise kalker tozudur [55,57,93]. Ayrıca KYB karışımlarına dahil olan filler malzemeler olarak mermer tozu, tebeşir tozu, granit tozu, kuvarz kumu tozu uygulamaları da mevcuttur [45].

Kalker tozu dünyanın çeşitli ülkelerinde çimento üretiminde yıllardır kullanılan bir malzemedir. Portlant kalker tozu çimentosu ve Portlant kompoze çimento üretiminde kalker tozu, bileşime %35 oranına kadar katılarak üretim yapılmaktadır. Kalker tozunun filler malzeme olarak betonda kullanılmasının amaçlarından biri çimento maliyetini bir miktar düşürmek ve ayrıca taze betonun işlenebilirliğini ve stabilitesini iyileştirmektir [100-102]. Kalker tozunun beton karışıma dahil edilmesi, çimento hidrasyon oranını ve dayanım gelişimini artırır [103]. Ayrıca, taze haldeki KYB'lerin stabilitesini ve hareket kabiliyetini artırır [104,105]. İnce taneli malzeme olarak KYB üretiminde kullanılan kalker tozu, betonun taze haldeki özelliklerini iyileştirirken, basınç dayanımı ve yüzey bitirme özelliklerinin beklenen değerlerden daha yüksek olmasını sağlar [106]. Kalker tozunun beton karışıma ilave edilmesiyle belirli oranlarda basınç dayanımında artışlar meydana gelmektedir. Bu artış, kalker tozunun bünyesinde bulunan CaCO_3 'ün çimento ile kimyasal reaksiyona girmesi ile seyreltme ve hetorejen çekirdeklenme etkisi sayesinde gerçekleşmektedir [107,108]. Kalker tozunun çimento özelliklerine etkileri üzerine birçok araştırma yapılmıştır. Yapılan birçok çalışmada, kalker fillerinin %5-%6 oranında beton bileşimine dahil edilmesinin beton basınç dayanımına negatif bir etki meydana getirmediği görülmüştür [109]. Betonda kalker tozu kullanımının etkileri üzerine yapılan benzer bir çalışmada ise karışımdaki ince agreganın %7-10'unun kalker tozuyla yer değiştirilmesi ile betonun basınç dayanımı ve diğer özelliklerinin olumlu yönde geliştiği görülmüştür [110]. Krstulovic ve arkadaşları ise kalker tozunun çimentodaki hacimsel konsantrasyonunun harç ve beton mukavemetine etkisiyle ilgili istatistiksel değerlendirmeler yaparak lineer bağıntılar önermiştir [111]. Uchikawa ve arkadaşları tarafından yapılan bir başka

çalışmada ise, betonda kalker filleri, yüksek fırın cürufu tozu ve silisli taş tozu kullanımının taze betonun plastik viskozitesini arttırdığı sonucuna varılmıştır [112].

2.6.5.5. Bazalt tozu

Bazalt, yerkabuğunun çatlaklarından dışarı çıkan erimiş lavların soğuyup katılaşmasıyla oluşan volkanik bir kayaç türüdür. Bazaltların rengi kurşuni ya da siyah, yoğunluğu da diğer volkanik kayaçların çoğundan daha fazladır. Yeryüzünde çok yaygın olan volkanik kayaçlara, örneğin riyolite oranla silis içeriği daha düşük, demir ve magnezyum oranı ise oldukça yüksektir. Yapısındaki başlıca mineraller feldispat, piroksen, olivin ve demir oksitleridir. Bazalt kayaçlarının hemen hepsi kristalli yapıdadır; yalnız lavların hızla soğumasıyla oluşan bazaltlar camsı bir görünüm kazanır. Bazaltın kayaç olarak, özgül ağırlığının ve sertliğinin diğer kayaçlara göre daha yüksek olması, bazaltın beton üretiminde beton agregası olarak kullanılmasını gündeme getirmiş ve bazalt agregası kullanılarak yüksek dayanımlı betonlar üretilmesine olanak sağlamıştır. Giaccio ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada; bazalt, granit ve kireçtaşı agregası kullanılarak üretilen betonlar üzerinde basınç dayanımı, elastisite modülü, çekme dayanımı ve eğilme deneyleri yapılmıştır [113]. Bu deneylerde betonun iç bağındaki çözümler ve süreksizlik sınırları incelenmiştir. Deney sonuçlarına göre, beton iç bağındaki çözümlerin nedenini, agreganın temizliğine, sıkıştırılmasına, karışımına ve agregası türüne göre değiştiği, süreksizlik sınırının ise agregaya göre değişmediği görülmüştür. Bununla birlikte, daha sert kayaçlardan elde edilen agregaların, basınç dayanımı değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüş, bazalt, granit ve kireçtaşı içermeyen betonların, basınç dayanımı değerlerinin ise daha düşük çıktığı belirtilmiştir [113]. KYB’lerde taze betonun viskozitesi ve stabilitesini artırma yolunun, VDK’lar kullanmaya gerek duymaksızın, ince taneli filler malzemeler kullanmak olduğu daha önce belirtilmişti. Bu meyanda, bazalt agregasının toz halinin de KYB üretiminde kullanılabileceği gündeme gelmiştir ve KYB’lerde filler malzeme olarak kalker tozu yerine bazalt tozu kullanımının daha yüksek beton basınç dayanımı elde edilmesini sağlayacağı tahmin edilmektedir.

2.6.5.6. Mermer tozu

Mermer, kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşlarının sıcaklık etkisinde başkalaşıma uğrayarak yeniden kristalleşmesi ile oluşan metamorfik bir kayaç olup, kimyasal bileşiminde büyük oranda kalsiyum karbonat ve magnezyum karbonatın yanı sıra silisyum dioksit ile değişik metal oksitleri ve silikat mineralleri görülür. Mermerlerin ticari tanımlanması ise, blok verebilen, kesilip cilalandığında parlayabilen, dayanıklı ve görünümlü her türden (magmatik, sedimanter, metamorfik) kayaçların bütünü için kullanılan terimdir [114].

Günümüzde mermer sektörü, başta İtalya olmak üzere İspanya, Portekiz, Yunanistan, Brezilya, Güney Afrika, Çin ve daha bir çok ülkede ileri teknolojilerin kullanıldığı son derece önemli bir sektör durumundadır [115]. Ülkemizde mermercilik 1980'li yıllardan sonra gelişmeye başlamıştır. Önemli rezervler Anadolu ve Trakya boyunca geniş bir bölgeye yayılmıştır. Afyon, Balıkesir, Denizli, Tokat, Bilecik, Muğla, Eskişehir ve Çanakkale, rezervlerin ve mermer işletmelerinin yoğunlaştığı illerdir. Mermer işletmelerinde açığa çıkan ve değerlendirilemeyen mermer havuz çökelti malzemesi yapısal olarak filler malzemesine benzemektedir. Bu açıdan, havuz çökeltileri ve diğer kırıntı mermerlerin çeşitli sektörlerde değerlendirilmesi ekonomi ve çevresel kirliliği önlemesi açısından önemli yararlar sağlayacağı düşünülebilir.

Mermer endüstrisini son yıllarda ilgilendiren en önemli konulardan birisi çevresel kirliliğe neden olan atıklardır. Ancak mermer işletmeciliğinde moloz toz ve paledyen ürünleri satılabilir ve değerlendirilebilir bir hammadde olmaları sebebiyle artık bir madde olup, üretim esnasında ortaya çıkan havuz çökeltileri de çeşitli işlemlerden sonra işe yarayan hem bir hammadde hem de ekonomik açıdan değeri olabilen bir malzeme olabilir [116]. Mermer atıkları ekolojik dengeyi bozmayan, hava kirliliğine neden olmayan, iklim değişikliklerini etkilemeyen, su kirliliği oluşturmayan radyoaktif olmayan, inşaat sektöründe değerlendirilebilen bir yan üründür. Mermer atıklarının değerlendirilmesi halinde çevre kirliliğine neden olan olumsuz etkinin azaltılabilmesi için havuz çökeltilerinin atık bir malzeme olarak kontrol altına

alınması ve beton teknolojisinde değerlendirilerek ekonomik yararlar sağlanabileceği düşünülmüştür.

Mermer tozu, en küçük boyutlu mermer atıklarıdır. Mermer işleme tesislerinde blokların ve plakaların kesilmesi esnasında açığa çıkan ve büyük çoğunluğu 1 mm'nin altında olan mermer tanecikleridir. Kesme işleminin suyla yapılması nedeniyle bu atıklar direkt olarak suya karışmakta ve çöktürme havuzlarından veya kek olarak arıtma tesislerinden alınmaktadır [110]. Almayaç ve İnce tarafından yapılan bir çalışmada, mermer tozu içeren KYB'lerin taze ve sertleşmiş beton özellikleri incelenmiştir [18]. Bu amaçla Montero ve arkadaşları tarafından geleneksel betonlar için geliştirilen karışım dizayn metodu KYB'lere uyarlanmıştır. Farklı s/ç ve su/toz oranlarında üretilen betonlara taze halde çökme-yayılma, T₅₀, L-kutusu ve elek ayırma direnci, sertleşmiş halde ise basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Netice olarak, bu dizayn metodunun mermer tozu ile üretilen KYB'lerde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Mermer tozunun çevresel bir atık olarak KYB üretiminde değerlendirilmesi pek çok yönden fayda sağlamaktadır. Ülkemizin özellikle mermer üretimi ve işleminin yoğun olarak yapıldığı bölgelerinde KYB üretiminde filler malzeme olarak, herhangi bir öğütmeye tabi tutulmadan (doğal haliyle), mermer tozu kullanımının önemli yararlar meydana getireceği düşünülmektedir. Bu sayede bir atık olarak mermer tozu hem ekonomiye kazandırılarak değerlendirilecek hem de özellikle mimari ve estetik açıdan dizayn edilen yapılarda kendiliğinden yerleşen beyaz beton üretimine olanak sağlanacaktır.

2.6.6. Polipropilen lifler

Gevrek bir malzeme olan betona karışım sırasında lif ilave edilmesiyle daha sünek bir yapı oluşturulur ve betonun bazı mekanik özelliklerinde iyileşme sağlanır. Lifler; tipi, boyutu, narinlik oranı (boy/çap), geometrisi, miktarı, çekme dayanımı, yüzey özellikleri ve lif-matris aderansı gibi birçok parametreye bağlı olarak betonda dayanımı, çatlak kontrolünü, şekil değiştirme kapasitesini, darbe dayanımını ve durabiliteyi artırır. Sentetik lif çeşidi olan polipropilen lifler ise özellikle rötre

çatlaklarının önlenip durabilitenin artırılması amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca, polipropilen lifler betonun yangına karşı dayanımını da arttırmaktadır [117]. Betonun mekanik özelliklerini iyileştirip yüksek deformasyon değerlerinde betonun taşıma kapasitesini koruyarak enerji yutma kapasitesini arttıran çelik liflerden ise beklenen performans; lif boyuna, narinlik oranına, lif geometrisine, dayanımına ve lif- matris aderansına büyük ölçüde bağlıdır [118]. KYB'lerde su/bağlayıcı oranının düşük olması, terlemeyi önleyici katkı kullanılması ve uçucu kül gibi mineral katkıların kullanılması veya kalker tozu gibi filler malzemeler kullanılarak ince malzeme miktarının artırılması ve böylece terlemenin neredeyse tamamen yok edilmesi betonu plastik rötreye karşı hassas bir duruma getirmektedir. Bu nedenle oluşabilecek plastik rötreye çatlaklarını önlemek amacıyla çok az miktarda da olsa polipropilen lif kullanılması çatlakları önlemede ve betonun durabilitesinin artırılması yönünde önemli yararlar sağlamaktadır [119].

2.7. 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.

2.7.1. Kendiliğinden yerleşen taze beton reolojisi

Taze betonun dökülmesi ve sıkıştırılmasında davranışını etkileyen temel özelliği betonun reolojisidir. Taze betonun, harcın ve çimento pastasının reolojileri, davranışını anlamada ve optimizasyon sürecinde önemli parametrelerdir [120].

Taze beton, geniş bir aralıkta dağılan tanecik yapısına ve kimyasal reaksiyonların olduğu zamana bağlı davranışına rağmen, katı süspansiyonu olarak tanımlanabilir. Süspansiyon yaklaşımında, taneciklerin ve sıvı fazın tanımlanması geniş tane boyutu dağılımı nedeniyle değişebilmektedir. Bu tanım örneğin, kaba tanenin sıvı harç fazı

içinde olması (fazın su, çimento ve ince taneciklerden oluşması) veya kum taneciklerinin sıvı pasta içinde olması (sürekli fazın su, çimento ve toz boyutundaki diğer taneciklerden oluşması) şeklinde yapılabilir [121].

Taze betonun reolojisine etkiyen ana faktörler, tane dağılımına ve yüzey gerilimine bağlı olarak, serbest su içeriği ve tanecikler arası sürtünmedir. Bunlar, sırası ile uygun süper akışkanlaştırıcı kullanımı ve çimentoyu da içerecek şekilde ince tanelerin dengeli boyut dağılımı ile geliştirilebilir. Bunlara ek olarak, plastik viskoziteyi geliştirmek için VDK'lar da kullanılabilir [121].

KYB'ler için hedeflenen reolojik özellikler, yeterli plastik viskozite ile birlikte çok düşük kayma eşiğidir. Plastik viskozite, kullanılan malzemeye, döküm tekniğine, döküm tipine ve inşa edilen elemanın şekline bağlıdır. Taze beton, harç ve çimento pastasının reolojik özelliklerinin elde edilmesinde değişik tip aletler mevcuttur. Örneğin, BML ve BTREOM gibi aletler, değişik ölçüm prensipleri ile çalıştılarından, alınan ölçümlerin sonuçları kolaylıkla kıyaslanamaz [120].

2.7.2. İşlenebilirlik

KYB'lerin performansları ile taze beton özellikleri arasında önemli bir ilişki vardır. Reoloji ve işlenebilirlik parametreleri KYB'nin pratikteki kullanım performansını etkilemektedir [12]. KYB'nin işlenebilirliği, pompanın ucundan çıkan betonun kendi ağırlığı ile boşluksuz biçimde kalıbın şeklini alması ve üniform kaliteyi sağlamasıdır [122]. Taze haldeki kendiliğinden yerleşme kabiliyeti üç parametre ile karakterize edilmektedir: i) Doldurma yeteneği, ii) Dar kesitlerden ve donatılar arasından geçiş yeteneği, iii) Ayrışmaya karşı direnç yeteneği [123].

2.7.2.1. 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 birlikte betonun yayılma çapı ve bu çapa ulaşılması için geçen süre belirlendiğinde

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. Ayrıca, çimento hamuru fazı da iyi deforme olabilmelidir. Yüksek akışkanlıkla birlikte ayrılmaya karşı yüksek direncin sağlanması, KYB'nin engellerin arasından geçerek doldurma kapasitesinin artırılması açısından önemlidir. Uygun doldurma yeteneği sağlamak için aşağıdaki hususlar göz önünde bulundurulmalıdır [124]:

Çimento hamuru fazının deformasyon yeteneğinin artırılması için:

- Süper akışkanlaştırıcı katkı kullanımı,
- Dengelenmiş su-bağlayıcı oranına dikkat gösterilmelidir.

Tanecikler arası sürtünmenin azaltılması için ise;

- Düşük iri agrega hacmi (yüksek çimento hamuru fazı içeriği),
- Agregalara ve kullanılan çimentoya bağlı olarak optimum granülometriye sahip toz malzeme kullanımı gereklidir.

2.7.2.2. Geçiş yeteneği

KYB yeterli akıcılığa ve aynı zamanda ayrılmaya 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 oluşturmamasıdır. 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 olarak Şekil 2.3'de görülmektedir.



Şekil 2.6. Agregaların kemerlenme oluşturma mekanizması [122]

Kemerlenme oluşumu, agrega boyutu büyük ve agrega içeriğinin de fazla olması durumunda daha kolay gelişir. Agrega boyutunun küçültülmesi durumunda kemerlenme oluşumu yüksek agrega içeriğinde oluşabilir. Bununla birlikte eğer agrega taneleri geçtikleri boşluğun boyutlarına kıyasla çok küçükse kemerlenme oluşumu gerçekleşmeyebilir. Mükemmel doldurma yeteneğine ve ayrışma direncine sahip olan bir KYB’de bile en büyük agrega boyutunun çok fazla olması ve iri agrega içeriğinin yüksek olması durumlarında blokaj riski vardır [125].

Ayrıca, uygun geçiş yeteneği için aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır:

- Agrega ayrışmasını azaltmak için kohezyonu arttırmak,
- Düşük su-bağlayıcı oranı,
- Viskozite arttırıcı katkı kullanılmasıdır.

Uygun geçiş açıklığı ve iri agrega özellikleri için ise;

- Düşük iri agrega içeriği,
- En büyük agrega boyutunun azaltılması gerekmektedir.

2.7.2.3. 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 [126].

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

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

1) Katkı malzemelerin ayrışmasının önlenmesi sağlanmalıdır. Bunun için:

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

2) Serbest terlemenin minimize edilmesi gerekmektedir. Bunu sağlamak için ise:

- Düşük su içeriği kullanımı,
- Düşük su/bağlayıcı oranı,
- Viskozite arttırıcı malzemeler kullanımı,

- Yüksek yüzey alana sahip bağlayıcılar kullanımınıdır.

2.7.3. Taze beton deney yöntemleri

Geleneksel betonlar performans özellikleri olarak pratikte, sahip olmaları gereken basınç dayanımına göre tasarlanırken 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. Sahip olmaları gereken “kendiliğinden yerleşebilirlik” özelliklerini sağlayabilmek için basınç dayanımından önce taze haldeki özellikleri ile tanımlanırlar [127].

Taze betonun kendiliğinden yerleşebilirliğinin laboratuvar koşullarında belirlenebilmesi ve uygulamada kontrolü için bir çok araştırmacı ve komite tarafından çok sayıda deney yöntemi geliştirilmiştir. Ancak hiçbir yöntem tüm reolojik parametreleri tek başına belirleyememekte, hepsinin eksik yönleri bulunmaktadır [2]. 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 [128]. 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 (Tablo 2.1) içinde kalması gerekir. Bu özellikler şu şekildedir;

- Doldurma yeteneği “Filling ability”,
- Geçiş yeteneği “Passing ability”,
- Ayrışmaya karşı direnç yeteneği “Segregation resistance”.

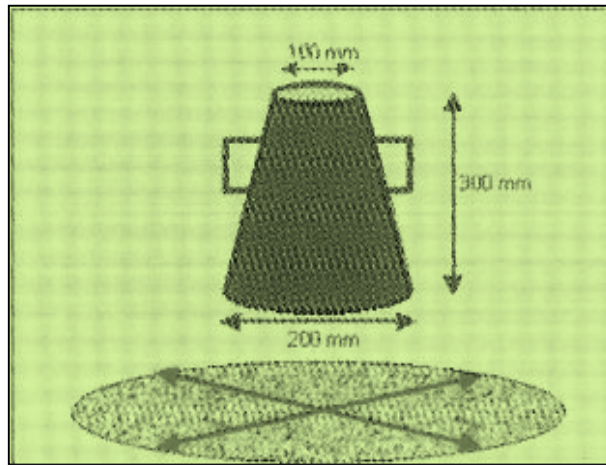
EFNARC (2002) standardında önerilen deney yöntemleri ve ölçülen kendiliğinden yerleşebilirlik özellikleri topluca Tablo 2.1'de gösterilmiştir [129].

Tablo 2.1. Deney yöntemleri ve kabul edilebilir limit değerler [130]

Deney Yöntemi	Ölçülecek Özellik	Birimi	Limit Değerler	
			En küçük	En büyük
Yayılma tablası deneyi	Doldurma yeteneği	mm	650	800
Yayılma tablasında ilk 50 cm yayılma için geçen süre (T_{50} Deneyi)	Doldurma yeteneği	sn	2	5
V- hunisi deneyi	Doldurma yeteneği	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

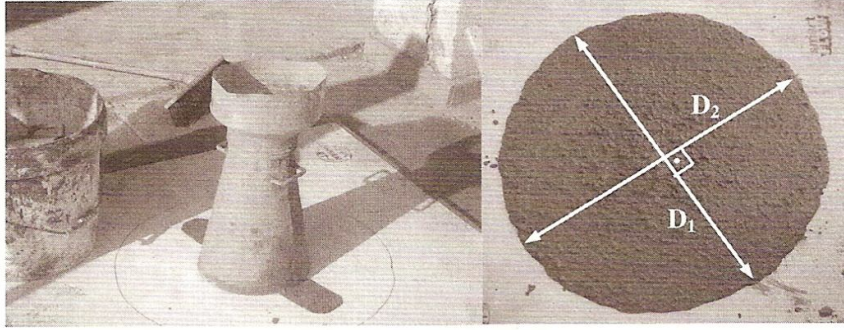
2.7.3.1. Çökme-yayılma (slump-flow) deneyi

Bu deney, taze haldeki KYB'nin 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 2.7 ve Şekil 2.8).



Şekil 2.7. Çökme-yayılma deney aparatı

Bu deney yöntemi, betonun kendiliğinden yayılma özelliği yani “doldurma yeteneğini” ölçmek için kullanılan en yaygın yöntemdir. 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 beklenir. Yayılma çapları iki farklı noktadan ölçülerek kaydedilir (Şekil 2.8). Ayrıca bir kronometre ile 50 cm yayılma değeri için geçen zaman belirlenir.



Şekil 2.8. Çökme-yayılma deneyi yapılışı

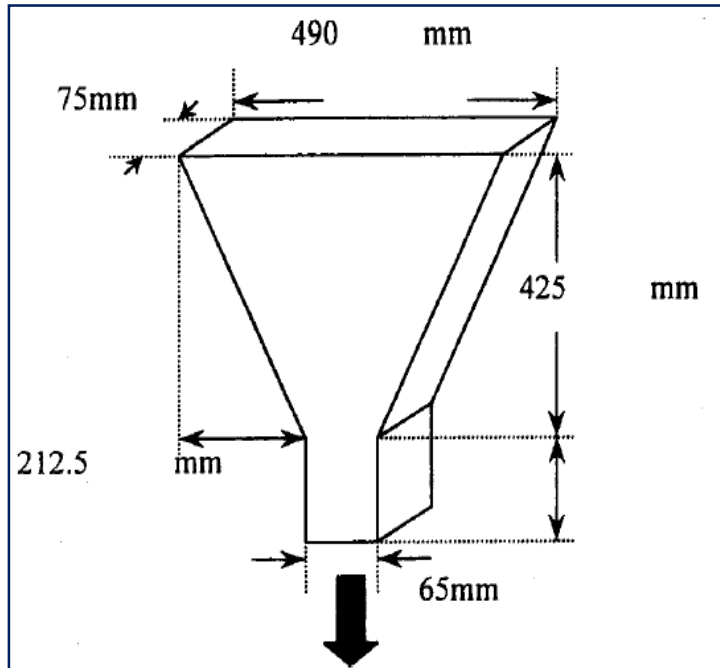
2.7.3.2. V-hunisi deneyi

Bu deney, taze haldeki KYB'nin kendi ağırlığı ile özel tasarlanmış bir huninin dar olan ağzından boşalma süresinin ölçülmesini kapsamaktadır. Betonun boşluklardan geçebilme yeteneğini ölçmek için yapılan kendiliğinden yerleşebilirlik deneyidir. Bu deney yöntemi, KYB'nin viskozitesi ve doldurma yeteneği hakkında fikir vermektedir.

Aparat olarak Şekil 2.9'da resmedilen ve Şekil 2.10'da ölçüleri verilen özel bir huni kullanılır. Huniye KYB doldurulduktan sonra en altta bulunan sürgülü kapak açılır ve huni içindeki tüm betonun alttaki kovayı doldurma süresi kaydedilir.



Şekil 2.9. V- hunisi deney aparatı



Şekil 2.10. V hunisi deney aparatı ölçüleri

2.7.3.3. L- kutusu deneyi

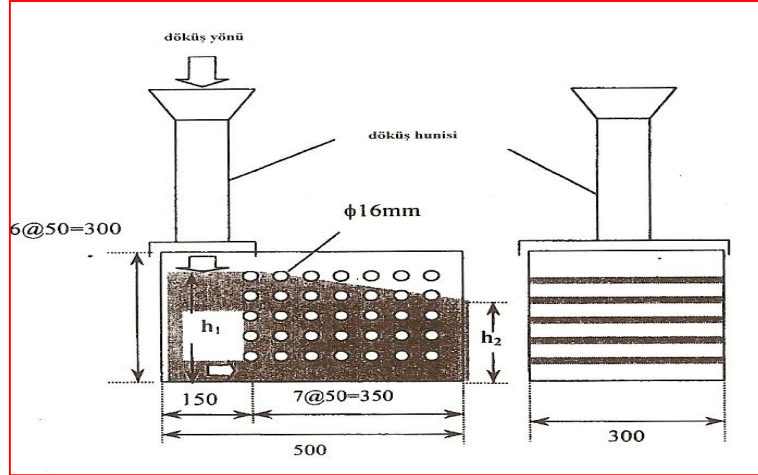
Bu deney yöntem olarak, taze haldeki KYB'nin kendiliğinden yerleşme yeteneğinin, doldurma yeteneğinin, geçiş yeteneğinin ve ayrışmaya karşı direncinin L şeklindeki bir kutu içerisinde gözlenmesini kapsar. L kutusu Şekil 2.11'de görülen plywood ya da metalden yapılmış belirli ölçülerde dizayn edilmiş bir kutu şeklindedir. Kutunun alt ortasında sürgülü bir kapak ve aynı zamanda engel teşkil edecek demir çubuklar bulunmaktadır. Sürgülü kapak çekilerek betonun diğer bölüme 20 cm ve 40 cm ilerlemesinin süreleri ölçülür. Aynı zamanda kutunun her iki tarafındaki seviye farkı tespit edilir.



Şekil 2.11. L kutusu deney aparatı

2.7.3.4. Doldurma kutusu deneyi

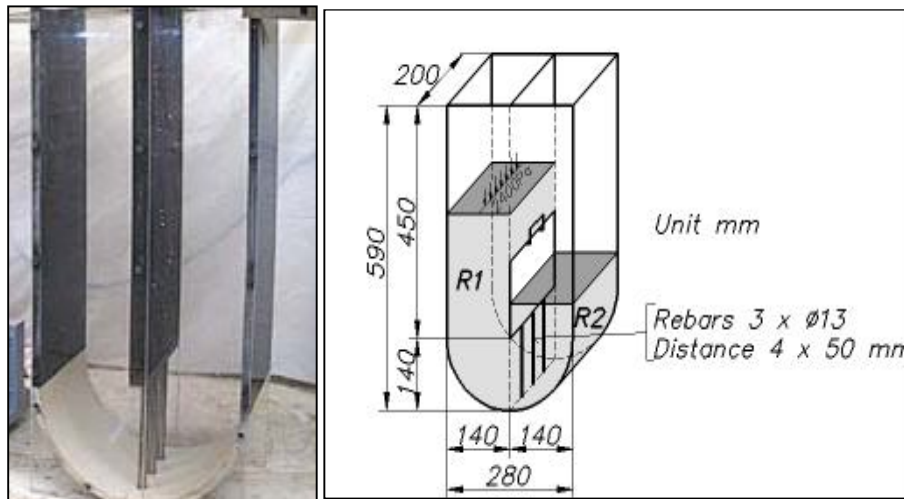
Bu deney yöntem olarak, KYB'nin akış hareketinin ve özel şeffaf bir kutu içerisinde yükselme yeteneğinin gözlenmesini kapsar. Şekil 2.12'de kullanılan şeffaf ve içinde engeller bulunan bir kutuya KYB boşaltılarak kutunun iki ucundaki seviye farkı ölçülür ve böylece bu deney metodu, kendiliğinden yerleşen betonun geçiş yeteneği hakkında bilgi verir.



Şekil 2.12. Doldurma kutusu deney aparatı

2.7.3.5. U kutusu deneyi

Bu deney yöntemi, taze haldeki KYB'nin kendiliğinden yerleşme yeteneğinin ve numunenin özel bir kutu içerisinde, kendi ağırlığı ile yükselmesinin gözlenmesini kapsar. Aparat olarak U şeklinde, alt ortasında sürgülü bir kapak olan ve aynı zamanda engel teşkil edecek demir çubuklar bulunan bir kutu kullanılır. KYB doldurulduktan sonra sürgülü kapak çekilerek betonun diğer kısma doğru dolarak yükselmesinin hızı ölçülür (Şekil 2.13).



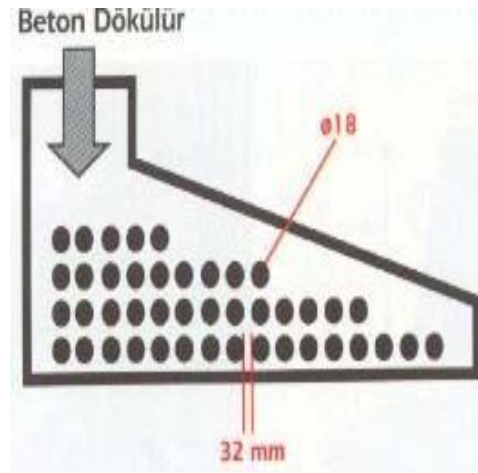
Şekil 2.13. U kutusu deney aparatı

2.7.3.6. Fill-box metodu

Betonun kendi ağırlığı altında sıkı donatı çubukları arasından akarak, doldurma kabiliyetini ölçmek için kullanılan ve Şekil 2.14’de gösterilen bir deney yöntemidir. Betonun ayrışma ve terleme yapmadan sıkı donatı çubukları arasından akışını gözlemleyerek ölçülür. Doldurma kutusu deney yönteminden farklı olarak bu deneyde kutunun beton döküm noktasından uzaklaştıkça daralması nedeniyle KYB’nin doldurma yeteneği farklı bir açıdan değerlendirilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 2.14. Fill box aleti (a), Fill box aleti detayı (b)

2.7.3.7. J ring deneyi

Bu deney yöntemi, taze haldeki KYB’nin geçiş yeteneğini belirlemek için kullanılır. Deney aleti, Şekil 2.15’te görüldüğü gibi çökme hunisi ile beraber ortası açık çelik bir halkanın üzerine döşenmiş aynı aralıklardaki çubuklardan oluşur.



Şekil 2.15. J Ring deney aparatı

Çökme hunisine beton doldurulduktan sonra yayılma deneyinde olduğu gibi huni yukarı doğru kaldırılarak halkayla birleşik bulunan donatı çubuklarının arasından betonun geçmesi sağlanır. Daha sonra halkanın içindeki beton yüksekliği ile donatı engelinden geçen yani halkanın dışındaki beton yüksekliği ölçülür. Yükseklikler arasındaki fark derece olarak geçiş yeteneği hakkında bilgi verir.

2.8. KYB'nin Mekanik Özellikleri

Özel betonlar olarak KYB'ler, diğer betonlardan kendilerini ayıran en temel vasıf 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 tasarlandıklarında ve üretildiklerinde, homojen, akıcı, ayrışmaya karşı 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 mikroyapıları gereğince dayanım

gelişimleri, geçirimsizlikleri ve dayanıklılıkları geleneksel betonlara göre daha yüksek ve nihayetinde servis ömürleri de geleneksel betonlara göre daha uzundur. Karot numuneler alınarak yerinde dayanımın belirlenmeye çalışıldığı durumlarda KYB'lerin, geleneksel betonlara göre standart küp dayanımları ile yerinde dayanımları arasındaki korelasyonun daha kuvvetli olduğu görülür. Aynı zamanda yapılan çalışmalarda görüldüğü üzere, KYB kullanılan kolonlarda, yükseklik arttıkça basınç dayanımındaki azalma, KYB'nin daha homojen bir yapı göstermesi nedeniyle, daha az telaffuz edilir [131]. Baştopçu tarafından yapılan bir çalışmada ise farklı mineral katkıları kullanılarak üretilen KYB'lerin yerinde dayanımlarının belirlenmesi amacıyla kolon numuneler hazırlanmış ve beton sertleşmesini tamamladıktan sonra kolonların farklı bölgelerinden karot numuneler alınmış ve yerinde beton dayanımı ile standart basınç dayanımı arasında korelasyon değerlendirilmiş ve ideal bir ilişki elde edilmiştir [132].

Basınç dayanımı gelişimine paralel olarak ultrases geçiş hızları değerlendirildiğinde; taze betonlar kendiliğinden yerleşebilirliği yeterli miktarda sağlandığında daha yüksek geçiş hızları ve karot numuneler alınarak birim ağırlıkları tespit edildiğinde ise daha yüksek birim ağırlık değerlerinin elde edildiği görülmüştür [133].

Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde viskozite ve stabilizeyi artırmak için kullanılan mineral katkıları gerek puzolanik özellikleri gerekse boşluk doldurma etkileri nedeniyle dayanım gelişimine yardımcı olmaktadır. En yaygın filler malzeme olarak KYB üretiminde kullanılan kalker tozunun bünyesinde bulunan CaCO_3 'ün çimento ile kimyasal reaksiyona girmesi ile seyreltme ve hetorejen çekirdeklenme etkisi ile dayanım gelişimine olumlu katkısı vardır.

2.9. KYB'nin Dayanıklılığı

Durabilite yani dayanıklılık, bir yapının içinde bulunduğu ya da bulunacağı çevresel etkiler altında, servis ömrü boyunca, dayanım ve diğer işlevlerini koruyabilmesi özelliğidir [133]. Yapılar, çoğunlukla inşaat mühendisleri tarafından dayanıklılık kavramı önemsenmeden sadece betonun standart dayanımı dikkate alınarak tasarlanmaktadır. Betonun standart dayanımı elbette güvenli yapı tasarımı ve

hesaplamalar için betonun bu dayanımı tüm ömrü boyunca koruyacağı varsayılırsa, dikkate alınması gereken bir unsurdur [134]. Geçmiş yıllarda üretilen birçok betonarme yapı örneğinde yeterli standart dayanımını sağlayan betonlar, zamanla etkisinde kaldıkları çevresel koşullar ya da üretim aşamasında uygulanan kür koşullarının eksik ve yetersiz olması sonucu kalitelerini zamanla yitirebilmektedir [135].

Beton dayanıklılığı çevresel koşullar ve bünyesinde bulunan kimyasallar ile ilgili bir konudur. Çimentonun kimyasal özellikleri, betonun dayanıklılığı üzerinde önemli etkide bulunur [136]. Bununla birlikte ortamda su ve nemin varlığı beton içine zararlı maddeleri taşıyacağından dayanıklılıkta önemli bir faktördür. Betonun içerisine sızan su, karbondioksit, oksijen, sülfat, asit ve klor gibi maddeler, betonda değişik türlerdeki kimyasal olayların oluşmasına neden olmaktadır. Betonda yer alan kimyasal ve fiziksel olaylar sonucunda, beton daha boşluklu bir malzeme durumuna gelebilmekte, içerisindeki demir donatılar paslanabilmekte, aşınabilmekte ve iç bünyede çok büyük gerilmeler oluşabilmektedir [137]. Bütün bu kimyasal ve fiziksel olaylar betonun hasar görmesine ve beklenen hizmeti veremez duruma gelmesine yol açmaktadır [134].

KYB'ler gerek dayanım gerekse dayanıklılık açısından geleneksel betonlara göre daha üstün konumdadırlar. Özellikle su/bağlayıcı oranlarının diğer betonlara göre daha düşük olması dayanımı artırırken aynı zamanda da geçirimsiz bir beton oluşması nedeniyle çevresel etkilere karşı betonun performansının daha iyi olmasını sağlamaktadır.

2.9.1. Hızlı klorür geçirgenliği

Klorür geçirgenliği betonun en önemli dayanıklılık kriterlerinden biridir. Betonarme yapılara klorür iyonları nüfuz ettiğinde özellikle deniz yapılarında donatı korozyonunu hızlandırır ve betonun bünyesinde de bir takım mekanizmalar oluşturarak betonda bozulmalar meydana getirir.

Kendiliğinden yerleşen betonların klorür geçirgenliğini belirlemek amacıyla birçok araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalardan birisi olarak, Khayat ASTM C 1202 standardını esas alarak 95 mm çapında ve 50 mm uzunluğundaki numuneleri 28. ve 35. günlerde hızlı klorür geçirgenliği testine tabi tutmuştur. % 3 silis dumanı ile % 20 uçucu kül ikame edilmiş ve s/ç oranı 0,45 olan numunelerin, uçucu kül yerine %40 yüksek fırın cürufu ikame edilmiş numunelere göre daha kötü performans gösterdiği sonucuna varmıştır. Toplam akım ise 880 ve 2000 Cloumb olarak ölçülmüştür [138].

Pattel ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada ise % 30 ile % 60 arasında uçucu kül ikame edilmiş KYB'lerin hızlı klorür geçirgenliği deneyleri yapılmış ve test sonucu olarak çok düşük klorür geçirgenliği değerleri elde edilmiştir. Bu deney sonuçlarına göre, uçucu küllerin betonun bünyesindeki boşlukları filler etkisiyle azaltarak daha geçirimsiz bir beton üretilmesine olanak sağladıkları görülmüştür [139].

Hawkins ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada ise KYB'lerin basınç dayanımı ile hacim stabilitesi, karbonatlaşma, korozyon ve klorür difüzyon deneyleri yapılmıştır. Mineral katkı olarak silis dumanı, yüksek fırın cürufu ve tras kullanılmış, numuneler deniz ortamında ıslanma ve kuruma çevrimleri ve değişik kür koşullarında simüle edilmiştir. Genel olarak, mineral katkıların beton özelliklerini geliştirdiği görülmüştür. En iyi sonucun silis dumanı içeren KYB numunelerinden elde edildiği sonucuna varılmıştır [140].

2.9.2. Basınçlı su derinliği (impermeabilite deneyi)

Belirli bir basınç altındaki sıvının, pratikte en çok karşılaşılan suyun, cismin bir yüzünden girmesi, cismin içerisinde ilerlemesi ve karşı yüzden dışarı çıkması geçirimsizlik olayı olarak tanımlanmaktadır [141]. Betonun dayanıklılığı birinci derecede betonun geçirimsizliğine bağlıdır. Eğer beton geçirimsiz ise suda erimiş halde bulunan zararlı maddeler beton içerisine nüfuz edemez, dolayısıyla beton dayanıklılık gösterir. Betonun geçirimsizliği, kütle içindeki boşlukların mevcudiyetiyle doğrudan ilişkilidir. Eğer boşluklar birbirleri ile bağlantılı, sayı ve

boyut olarak büyükse, zararlı maddeler bu yollardan beton kütesine girerek hasara yol açacaktır [142].

KYB'lerin basınçlı su geçirimsizliğini belirlemek amacıyla Özbay ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada Taguchi dizayn metodu kullanılarak yüksek dayanımlı KYB'lerin karışım oranları parametreleri incelenmiştir. Bu kapsamda, karışım oranları için en uygun parametreler tanımlanarak ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı değerlerinin maksimize edilmesiyle hava miktarı, basınçlı su geçirimsizliği ve su emme oranı değerlerinin en aza indirilebileceği görülmüştür. Yapılan çalışma neticesinde, optimum karışım belirlenerek üretilen KYB'lerin 4 mm basınçlı su geçirimsizliği değeri verdiği görülmüş ve bu değerin oldukça düşük olduğu anlaşılmıştır [143].

2.9.3. Yüksek sıcaklık etkisi

Beton birçok yapı malzemesine göre yüksek sıcaklık ve yangın etkisine karşı daha dayanıklı bir malzemedir. Yüksek sıcaklık altındaki beton belirli bir süre için önemli bir zarar görmez, zehirleyici gaz ve duman çıkarmaz [144]. Betonarme yapılarda, termik iletkenlik katsayısının düşük olması nedeniyle beton donatı çeliğini yüksek sıcaklığa karşı korur. Ancak bu dayanıklılık sınırlı süreler ve belirli sıcaklık dereceleri için geçerlidir. Sınır değerlerin aşılması durumunda betonda çatlama ve kabuk atma gözlenirken, aderans bağı azalmaktadır [145].

Betonun maruz kalacağı yüksek sıcaklık etkisine karşı davranışını ortaya koymak üzere yapılan çalışmalar sonucunda yüksek sıcaklıkların hidrate çimento hamuruna etkisinin hamurun hidratasyon derecesi ile nem içeriğine bağlı olduğu belirlenmiştir. Artan sıcaklıkla birlikte hidrate çimento hamuru içindeki serbest su, kılcal su ve jel suyu ortamdan ayrılmaktadır. İlk olarak 100°C sıcaklıkta kılcal boşluklardaki serbest su buharlaşıp ortamdan ayrılır [146]. Hızlı soğumayan düşük geçirimsizliğe sahip hamurda yüzeysel kapak atma olayı meydana gelebilmektedir. Çimento hamurunda sıcaklık 300°C'ye ulaştığı zaman C-S-H ara yüzeylerdeki suyun bir bölümü kaybedilir. Mikro çatlaklar önce 300°C'de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'in toplandığı bölgelerde ve daha sonra hidrate olmamış tanelerin bulunduğu bölgede görülür. Sıcaklığın 400-600°C

arasında olması durumunda, sertleşmiş çimento hamurunda bir dizi reaksiyonlar başlayabilir. Bu reaksiyonlar boşluk sisteminin tamamen kuruması ile başlar ve bunu hidrasyon ürünlerinin ayrılarak C-S-H jellerinin parçalanması izler [147].

Yüksek performanslı betonların, bu betonlar içerisinde de KYB'lerin, geleneksel betonlarla karşılaştırıldığında yüksek sıcaklık etkisindeki davranışları arasında belirgin farklılıklar vardır [148,149,150,151,152,153,154]. KYB'lerin karışım dizaynı geleneksel betonlara göre daha düşük s/ç oranı ve işlenebilirliği artırmak için daha fazla süperakışkanlaştırıcı katkı içerir. Bu sebeple, geleneksel betonlar ile KYB'lerin yüksek sıcaklık etkisi altındaki davranışları büyük oranda mikroyapı özellikleri ile ilgilidir [155,156]. Bu hususta yapılan çalışmaların çoğunda büyük ebatlı numuneler ve az bir kısmında ise mikroyapı değişiklikleri, örneğin; boşluk miktarındaki değişiklikler, boşluk çapı ve boşlukların birbiri ile bağlantısı dikkate alınmıştır [149]. KYB'nin yüksek performanslı çimento hamurunun porozitesinin daha düşük olması ve boşluk bağlantılarının daha az olması, yüksek sıcaklık etkisinde oluşan su buharı ve nemin dışarı rahatça çıkmasını zorlaştırır [149]. Bu durum geleneksel betonlara göre KYB'lerin yüksek sıcaklık etkisine karşı davranışlarında ciddi problemler oluşturur. Yüksek performanslı betonların yüksek sıcaklık etkisine maruz kalmaları durumunda hasar durumları birçok değişken tarafından etkilenmektedir. Bu parametreler betonun dayanımı, betonun yaşı, birim ağırlığı, betonun bünyesindeki su miktarı, agrega tipi, mineral katkı yada lif ilavesi, deney koşulları, numune boyutu ve ısınma hızı vb. dir [157]. Bu problemlerin sonucu olarak mikroyapı değişimleri ve çimento matrisinin bozulması nedeniyle yüksek sıcaklık etkisinde kapak atmalar meydana gelir [149,155,156]. KYB'lerin geleneksel betonlara göre kapak atmasında önemli faktörler düşük permeabilite, düşük porozite, düşük ısı iletimi ve yüksek nem içeriği olarak sıralanabilir.

Ye ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan KYB'lerin mikroyapı değişikliklerini belirlemek için, agrega kullanımının mikroyapı değişikliklerini incelemede zorluklara neden olacağı gerekçesiyle, kendiliğinden yerleşen çimento hamuru, yüksek performanslı çimento hamuru ve geleneksel çimento hamuru numuneleri aynı karışım oranlarında üretilmiştir [158]. Benzer çalışmalarda da görüldüğü üzere, aynı s/b oranında kendiliğinden yerleşen

çimento hamurlarının porozite ve boşluk dağılımları, yüksek performanslı çimento hamurları ile oldukça benzerdir [159,160]. Bu durumda KYB'ler ile YDB'lerin yüksek sıcaklık etkisinde maruz kalacakları riskler (kapak atma vb.) benzerlik göstermektedir. Yine bu çalışmada görüldüğü üzere, filler malzeme olarak kalker tozu içeren kendiliğinden yerleşen çimento harçlarının, kalker tozu partiküllerinin sıcaklık olarak 700 C°'nin üzerinde bozulması nedeniyle, ağırlık kaybı yüksek performanslı çimento harçlarına göre çok daha azdır. Aynı karışım oranlarında yüksek sıcaklık etkisine maruz kaldıklarında KYB'lerin elastisite modülleri geleneksel betonlara göre daha azdır [148].

Polipropilen lifler yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan yüksek performanslı betonların hasara uğramasını azaltmada önemli fonksiyona sahiptir ve yapı endüstrisinde geniş bir kullanım alanına sahiptir [149,155,156,161.162]. Bu hususta yapılan bir çalışmada ısıya maruz kalan beton yüzeyinin farklı derinliklerinden numuneler alınması sonucu toplam porozitenin polipropilen lif artışıyla birlikte azaldığı görülmüştür [158]. KYB'ler kendiliğinden yerleşen çimento hamurlarından, YPB'ler ise yüksek performanslı çimento hamurlarından oluştuğuna göre yüksek sıcaklık etkisinde oluşacak etkiler benzer olacaktır.

Polipropilen lifler, beton yüksek sıcaklık etkisine maruz kaldığında 160 C° civarında beton bünyesinde eriyerek, bu sayede ilave boşluklar ve küçük kanallar meydana getirerek, yüksek sıcaklık etkisine maruz kalmış betona yardımcı olmaktadır. Ayrıca, beton bünyesindeki su buharının dışarıya transfer olmasını sağlayarak kapak atmaları engellemektedir [163]. Yapılan bir çalışmada, 1 m³'te 0,5 kg ile 1 kg arasında polipropilen lif kullanımının hasar oluşumunu engellediği belirlenmiştir [158]. Bir başka çalışmada ise s/b oranı 0,32'den küçük olduğunda polipropilen lif kullanımının 1 m³'te 2 kg, s/b oranı 0,28'ten küçük olduğunda ise 4 kg polipropilen lif kullanımının hasar oluşumunu engellediği görülmüştür [164].

Liu ve arkadaşları tarafından yapılan bir başka çalışmada ise yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan kendiliğinden yerleşen çimento hamurlarına farklı lif oranlarında polipropilen lif ilave etmenin mikro ve makro seviyedeki özelliklerine etkisi incelenmiştir. Mikro özellikler BSE elektron mikroskobu ve civa porozometresi

deneylemleri ile saptanmıştır. Makro özellikler olarak ise kendiliğinden yerleşen çimento hamuru numunelerinin farklı sıcaklıklara maruz kalma durumuna göre gaz geçirgenlikleri incelenmiştir. Buhar geçirgenliğini etkileyen faktörler analiz edilmiştir. Deney sonuçlarına göre polipropilen liflerin sıcaklık etkisinde erimesinin toplam boşluk hacminde önemli bir artışa neden olmadığı görülmüştür. Bununla birlikte izole olmuş boşlukların birbiriyle bağlantısı artmış ve gaz geçirgenliğinde de artışa neden olmuştur. Artan sıcaklıkla beraber polipropilen lif ilavesi çimento hamurunun hasar derecesini azaltmıştır. Ayrıca, yapılan incelemelere göre yüksek sıcaklık etkisine maruz kaldıktan sonra gaz geçirimsizliğini tanımlamada, mikro çatlaklar meydana getirerek boşlukların birbiriyle bağlantısının artması esas faktördür [165].

2.9.4. Sülfatlı ortamların betona etkileri

Sülfat, çimentonun bazı bileşenleri ile reaksiyona girerek betonun zamanla bozulmasına neden olan bir iyondur. Bu saldırı sülfat iyonlarının, sertleşmiş betondaki alüminli ve kalsiyumlu bileşenlerle kimyasal reaksiyona girmesi, etrenjit ve alçı taşı oluşturması ile gerçekleşir. Reaksiyon ürünleri betonda genişleme meydana getirerek çatlaklara ve dağılmalara yol açar, agrega-çimento aderansının etkilenmesiyle betonun dayanımı düşer. Sülfat saldırısına uğramış betonun karakteristik görünümü, özellikle köşe ve kenarlardan başlayarak tüm kütleyle yayılan beyaz lekeler, çatlaklar ve dökülmelerdir. Betonun kolayca ufalanabildiği ve yumuşadığı görülür [144].

Özellikle deniz yapılarında, deniz suyundaki sülfatlar ıslanma-kuruma bölgesinde buharlaşma nedeniyle betonun sülfat yoğunluğunun artmasına yol açabilirler. Sülfat etkisine yol açan bir diğer kaynak çimentodur. Çimentonun C₃A bileşeninin ani prizini önlemek için üretim aşamasında çimentoya az miktarda alçıtaşı (kalsiyum sülfat) katılır. Zamana bağlı genişlemenin ve beton dayanımının etkilenmesini önlemek için genelde katılan alçıtaşının oluşturacağı SO₃ miktarı çimento ağırlığının %3'ü ile sınırlanmıştır.

Sülfat iyonları başta çimentonun ana bileşenlerinden olan C_3S ve C_2S 'in hidratasyon ürünü olan ve çimentoya bazik özellik kazandıran $Ca(OH)_2$ ile birleşerek kalsiyum sülfatı ($CaSO_4$), C_3A ile birleştirilerek candlot tuzunu ($3CaO.Al_2O_3.3CaSO_4.32H_2O$) oluşturur [144,166]. Candlot tuzunun 32 molekül su içermesi nedeniyle hacim artışı meydana getirmesi betonda çatlak oluşturur. Şiddetli bir sülfat hasarına uğramış betonun geçmişi yüksek oranda C_3A içeren Portland çimentosu ve ortamdaki yoğun SO_3 ile ilişkilidir. Betonda sülfat oluşumunu azaltmak için C_3A bileşen oranı % 5'in altında olan sülfata dayanıklı çimentolar geliştirilmiştir [167]. Sülfata dayanıklı çimentolar dışında puzolan katkılı çimentolar genellikle betonun sülfat etkisine karşı dayanıklılığını artırmaktadır. Portland çimentosu ile karşılaştırıldığında katkılı çimento hamurunun kimyasal saldırılara karşı olan dayanıklılığı, düşük geçirimsizlik ve düşük klinker içeriği ve ileri yaşlarda gelişen puzolanik reaksiyonla ilişkilidir [168,169].

Betonda sülfat etkisini azaltmak için düşünülmesi gereken ve yukarıda sıralanan hususlar değerlendirildiğinde KYB'lerin sülfat etkisini azaltmada ideal bir özel beton türü olduğu rahatlıkla söylenebilir. Bu hususta yapılan çalışmalardan birisi olarak Nehdi ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada mineral katkıların çimento ile yüksek oranda ikili, üçlü ve dördümlü yer değiştirmesi ile üretilen KYB karışımlarının hızlı klorür iyon geçirgenliği, sülfat genişmesi ve buz çözücü tuzların etkilerine dayanıklılık özellikleri incelenmiştir. Üretilen KYB'lerin taze beton özellikleri ve 1, 7, 28 ve 91 günlük basınç dayanım deneyleri yapılmıştır. Hızlı klorür iyon geçirgenliği 28 ve 91 günlük numunelere uygulanmış, buz çözücü tuzların etkilerine dayanıklılık deneyleri 50 donma-çözülme çevrimi sonucunda belirlenmiş, sülfat genişmesi deneyi ise %5 Na_2SO_4 çözeltisinde 9 ay süreyle bekleyen numunelerin genişleme miktarları ölçülerek belirlenmiştir. Deney sonuçlarına göre, çimento ile yüksek oranda mineral katkı ve filler malzemelerin yer değiştirmesi sonucu üretilen KYB'lerde ideal işlenebilirlik, uzun süreli dayanım, buz çözücü tuzların etkilerine dayanıklılık, düşük sülfat genişmesi ve çok düşük klorür iyon geçirgenliği değerleri elde edilmiştir [21].

Ghrici ve arkadaşları tarafından yapılan bir başka çalışmada ise doğal puzolan ve kalker tozu katkılı çimentolar ile üretilen betonların mekanik ve durabilite özellikleri

incelenmiştir. Portland çimentosuna kalker tozu ilave edilerek üretilen betonların erken yaş dayanımları hidrasyonu hızlandırmaları nedeniyle yüksek, ileriki yaş dayanımları ise seyreltme etkisiyle düşüktür. Diğer yandan doğal puzolan ile üretilen betonların ise ileriki yaşlarda dayanımı yüksektir. Bu sebeplerden ötürü üçlü karışım (Portland çimentosu-kalker tozu-doğal puzolan) yoluyla hazırlanan karışımların daha iyi performans sağlayacağı düşünülerek bu çalışma ortaya konmuştur. Çalışmada ilk olarak, portland çimentosuyla %20 ikame oranında kalker tozu ve %30 ikame oranında ise doğal puzolan katılarak üretilen betonların 2, 7, 28 ve 90. günlerdeki basınç dayanımları ile eğilme dayanımları test edilmiştir. Bazı numunelere sülfat, klorür geçirgenliği ve asit etkisi deneyleri uygulanmış ve sonuç olarak üçlü karışımların erken ve ileri yaşlardaki basınç ve eğilme dayanımını artırdığı, aynı zamanda durabilite deneyleri olarak da sülfat etkisine karşı başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür [36].

Persson tarafından yapılan bir başka çalışmada ise KYB'lerin sülfatlı ortamlardaki davranışı incelenmiştir. Bu kapsamda 40'tan fazla silindir numune 900 gün boyunca saf suda, deniz suyunda ve sodyum sülfat çözeltisinde bekletilerek kendiliğinden yerleşen betonların sülfat direnci belirlenmeye çalışılmıştır. 28 ve 90 günlük numuneler ilgili deneylere tabi tutulmuştur. Ağırlık ve iç temel frekans ölçümleri yapılarak geleneksel betonlarla karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre, numuneler sodyum sülfat çözeltisinde bekletildiğinde, KYB karışımlarında kalker tozu bulunması nedeniyle, geleneksel betonlara göre daha fazla ağırlık kaybı meydana gelmiştir. Deniz ya da saf suda bekleyen numunelerde ağırlık farklılıkları oluşmamıştır [38].

Literatürde açıklanan hususlar bir araya getirildiğinde mermer tozu ve bazalt tozunun inert malzemeler olarak KYB üretiminde değerlendirilmesi hususunda yeterince çalışma yapılmadığı görülmüştür. Ülkemizde atık olarak doğada depolanan mermer tozunun KYB üretiminde kullanılmasının KYB teknolojisine önemli yararlar sağlayacağı düşünülmektedir. Böylece mermer tozunun bir atık olarak değerlendirilmesi, çevresel hususlar da göz önüne alındığında, ülkemiz için önem taşımaktadır.

Literatürde genel olarak KYB'lerin "kendiliğinden yerleşebilirlik" özellikleri laboratuvar ortamında kendiliğinden yerleşen taze beton deney yöntemleri ile belirlenmiştir. Bu çalışmada ise laboratuvar ortamından çıkarak saha koşullarında KYB'lerin kendi ağırlığı ile kalıbına yerleşme özellikleri dar kalıp ve sıkı donatılı yapı elemanlarında uygulanmış ve böylece, kendiliğinden yerleşebilirliğe bağlı olarak beton döküm noktasından uzaklaştıkça sertleşmiş beton özelliklerinin hangi düzeyde değiştiğinin incelenmesi bu çalışmanın diğer bir özgün yönünü oluşturmaktadır.

BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışma, mineral katkıların çimento ile farklı ikame oranlarında kullanılmasıyla üretilen KYB'lerin taze haldeki işlenebilirlik, sertleşmiş halde ise mekanik ve dayanıklılık 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 $450-550 \text{ kg/m}^3$) 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, yüksek fırın cürufu, doğal zeolit, kalker tozu, bazalt tozu ve mermer tozunun 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), T_{50} süresi, V hunisi ve L kutusu deneyleri yapılarak mineral katkıların çimento ile farklı ikame oranlarında kullanılmasıyla üretilen betonların “kendiliğinden yerleşebilirlik” özellikleri araştırılmıştır. Mekanik özellikler ise basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı ve elastisite modülü deneyleri ile belirlenmeye çalışılmıştır. Laboratuvar ortamından çıkarak sahada bu betonların “kendiliğinden yerleşebilirlik” özelliklerini incelemek amacıyla farklı karışımlarda, büyük boyutlu ($300 \times 150 \times 20 \text{ cm}$), L şekilli ve sıkı donatılı yapısal perde elemanları üretilmiştir. Bu elemanların değişik bölgelerinden karot numuneler alınarak, yatayda ve düşeyde kendi ağırlığı ile herhangi bir sıkıştırma uygulanmadan

sıkı donatılı kalıbına yerleşen betonların döküm noktası uzaklığına göre dayanım değişimleri, birim ağırlıkları ve su emme oranları incelenmiştir. Ayrıca bu perde elemanlara Schmidt çekici uygulanarak yatay ve düşeyde dayanımın üniformalılığı belirlenmeye çalışılmıştır.

Dayanıklılık deneyleri olarak ise su emme, hızlı klorür geçirgenliği, basınçlı su derinliği (impermeabilite), yüksek sıcaklık etkisi ve sülfat direnci deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Yukarıda ifade edilen işlenebilirlik, mekanik, yapısal perde elemanları ve dayanıklılık deneyleri ile birlikte bu çalışmayı bütünlemek amacıyla KYB üretiminde mineral katkıların kullanımının bu betonlara sağladığı ekonomik durumu maliyet analizi ile belirlenerek şahit betonla kıyaslanmış ve sonuçların tamamı birlikte değerlendirilmiştir.

3.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

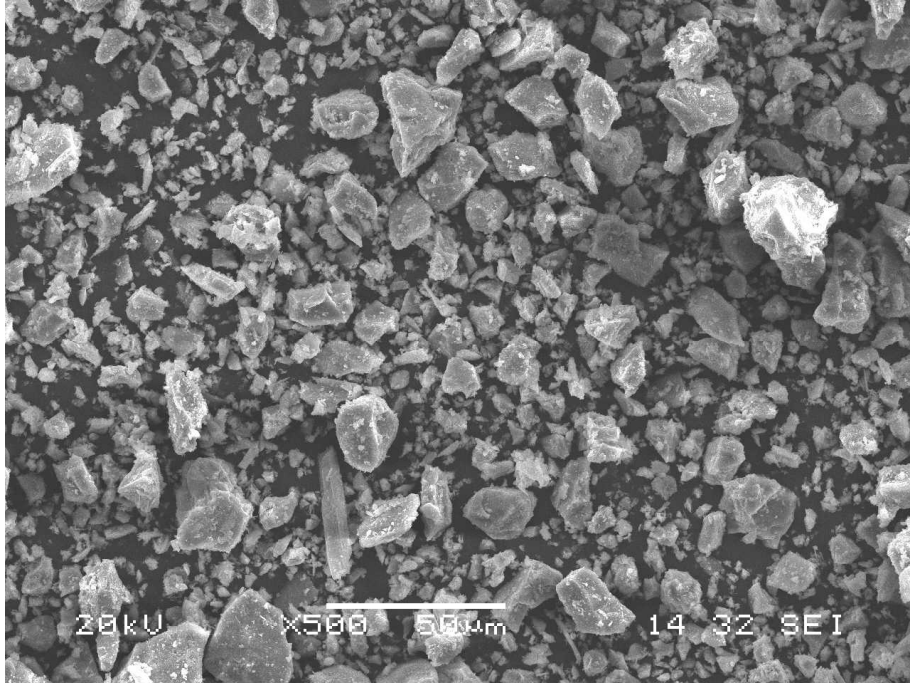
3.1.1. Çimento

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.

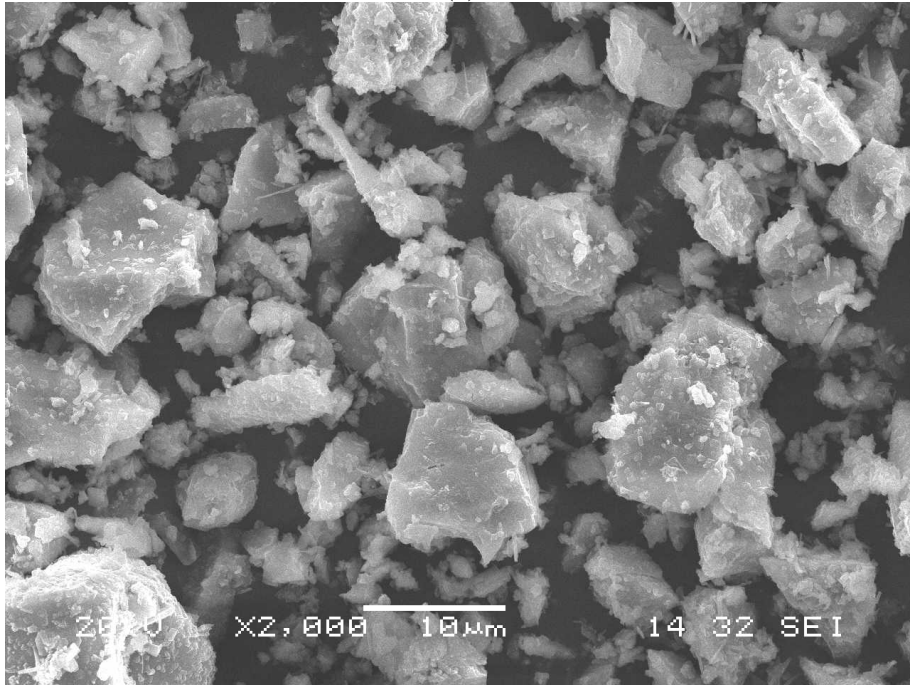
Tablo 3.1. CEM I 42.5 R çimentosunun kimyasal ve fiziksel analizi

KİMYASAL ANALİZ	Standartlar (%)	Analiz Sonuçları (%)	FİZİKSEL DENEMELER		Standartlar	Analiz Sonuçları (%)
	TEST METODU	EN 196-2	TEST YÖNTEMİ EN 196-3 ve EN 196-6			
SiO ₂ Çözünen		19.10	Özgül Ağırlık			3.08
Çözünmez kalıntı	max. 5.0	1.50	Vicat Zamanı	Başlangıç s:dak	min 60 dak	2:50
Al ₂ O ₃		4.85		Son, s:dak		
Fe ₂ O ₃		3.24	Hacim Sabitliği (Le Chatelier) mm		max 10 mm	0.5
CaO		61.86	İncelik	Özgül Yüzev-Blaine cm ² /gr		3996
MgO		2.02		0.045 mm elekte kalıntı (%)		3.4
SO ₃	max. 4.0	2.63		0.09 mm elekte kalıntı (%)		0.1
Kızdırma Kaybı	max. 5.0	2.90	DAYANIM DENEMELERİ TEST YÖNTEMİ EN 196-1			
CI	max. 0.1	0.00				
Tayin Edilemeyen		1.90	Rilem-Cembureau Metodu: 40*40*160 mm lik prizmalar			
Serbest CaO		1.51	Karışım 1/3, s/ç=0.50, Kum: CEN standart kum			
Mineralojik Bileşim	C ₃ S	55.77	Basınç Dayanımı (MPa)			
	C ₂ S	12.69				
	C ₃ A	7.37	Gün	Standart	Deney Sonucu	
	C ₄ AF	9.86	2	min. 20 MPa	28.3	
	L.S.F	0.98	28	min. 42.5 MPa-max. 62.5 MPa		51.6

Ayrıca bu çimentonun tane yapısını görüntülemek amacıyla SEM cihazı ile taneler resimlendirilerek Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.1. CEM I 42.5 R çimentosunun (a) 500 kat büyütme (b) 2000 kat büyütme SEM cihazı görüntüleri

Çalışmada geleneksel beton deney numuneleri üretiminde ise Lafarge Aslan Çimento Sanayi A.Ş. tarafından temin edilen CEM II/A-M 42.5 R çimentosu kullanılmıştır. Bu çimentoya ait fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. CEM II/A-M 42.5 R çimentosunun kimyasal ve fiziksel analizi

KİMYASAL ANALİZ	Analiz Sonuçları (%)	FİZİKSEL DENEMELER		Analiz Sonuçları (%)	
		TEST YÖNTEMİ EN 196-3 ve EN 196-6			
SiO ₂	21,90	Özgül Ağırlık		3,14	
Al ₂ O ₃	5,17	Vicat Zamanı	Başlangıç s:dak	140	
Fe ₂ O ₃	2,85		Son, s:dak	165	
K ₂ O	0,67	Hacim Sabitliği (Le Chatelier) mm		1,0	
CaO	61,88				
MgO	1,96	İncelik	Özgül Yüzey-Blaine cm ² /gr	4310	
SO ₃	2,60		0.032 mm elekte kalıntı (%)	6,6	
Çözünmez kalıntı	0,57		0.045 mm elekte kalıntı (%)	1,45	
Densite (g/L)	938		0.090 mm elekte kalıntı (%)	0,1	
Kızdırma Kaybı	3,09		0.200 mm elekte kalıntı (%)	0,0	
CI	-	DAYANIM DENEMELERİ TEST YÖNTEMİ EN 196-1			
Tayin Edilemeyen	0,12	Rilem-Cembureau Metodu: 40*40*160 mm lik prizmalar Karışım 1/3, s/ç=0.50, kum:CEN standart kum			
Serbest CaO	0,60				
Mineralojik Bileşim			Basınç Dayanımı (MPa)		
	C ₃ S	56,43	Gün	Standart	Deney Sonucu
	C ₂ S	12,28	1		22,5
	C ₃ A	7,20	2		31,5
	C ₄ AF	8,99	7		46,4
	L.S.F	0,92	28		58,3

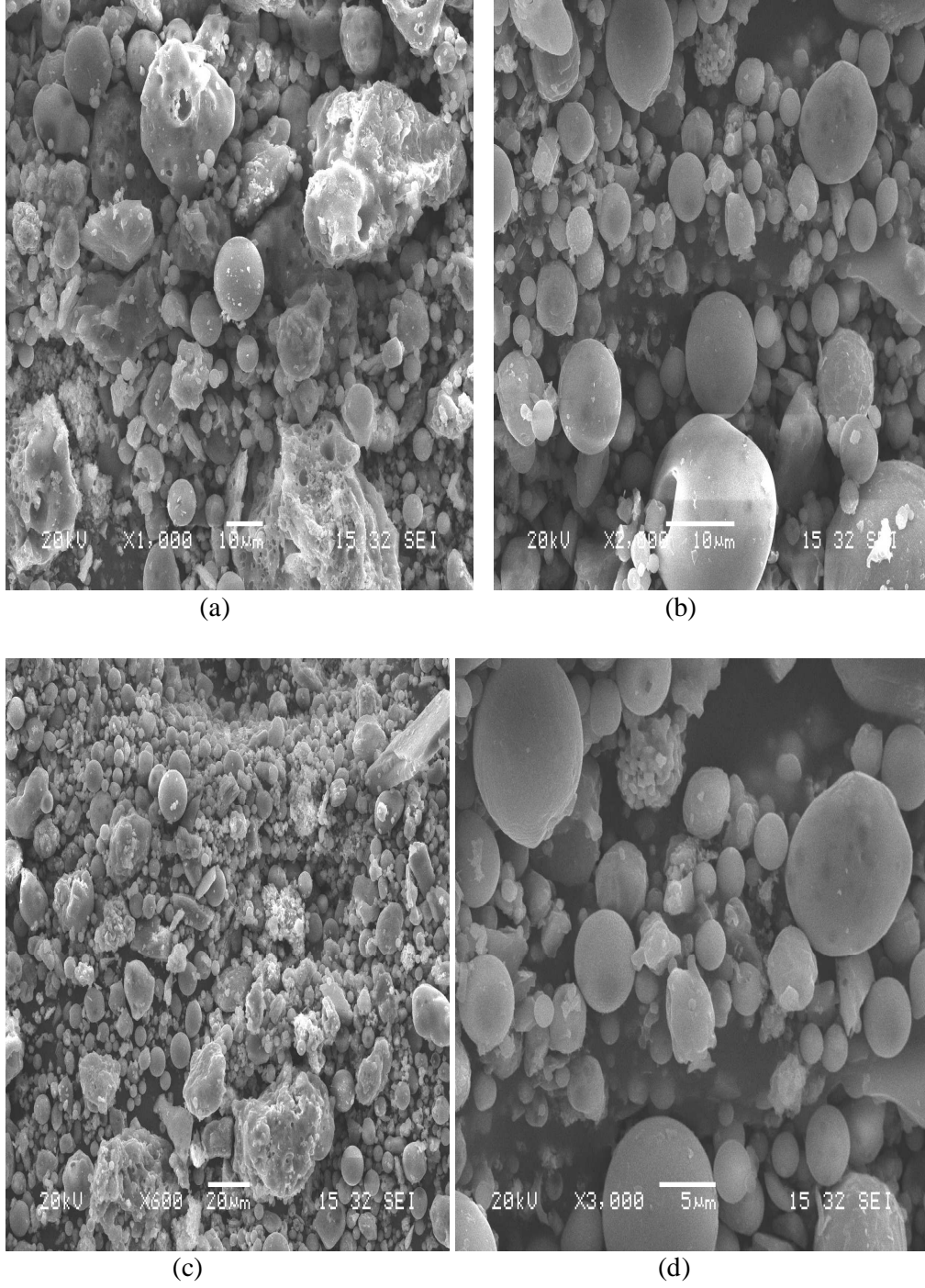
3.1.2. Uçucu kül

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 $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 > \% 70$ 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.

Tablo 3.3. Uçucu külün fiziksel ve kimyasal özellikleri

KİMYASAL ANALİZ	Standartlar (%)	Analiz Sonuçları (%)	FİZİKSEL DENEMELER		Standartlar	Analiz Sonuçları (%)
	ASTM C 618		TEST YÖNTEMİ EN 196-3 ve EN 196-6			
SiO ₂ Çözünen	-	47.09	Özgül Ağırlık			2,17
K ₂ O	-	1.80	Donma (Vicat) Setting Time	Başlangıç s:dak	min 60 dak	-
Al ₂ O ₃	-	17.41		Son, s:dak	-	-
Fe ₂ O ₃	-	8.34	Hacim Sabitliği (Le Chatelier) mm		max 10 mm	-
CaO	-	13.98	İncelik	Özgül Yüzey-Blaine cm ² /gr	-	2469
MgO	-	1.85		0.032 mm elekte kalıntı (%)	-	65,8
SO ₃	<5	4.65		0.045 mm elekte kalıntı (%)	-	58,2
Na ₂ O	-	2.44		0.090 mm elekte kalıntı (%)	-	41,4
Kızdırma Kaybı	<10.0	1.79		0.200 mm elekte kalıntı (%)	-	17,5
S+A+F	>70.0	72.84				
TS EN 450	≥70.0	-				

Ayrıca Çayırhan uçucu külüne ait yüzey ve mikroyapı fotoğrafları Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Uçucu küle ait SEM cihazı görüntüleri (a), (b) ve (d) Tam küresel ve yüzeyinde birikinti olan taneler, (c) Taneciklerin genel dağılımı (x600)

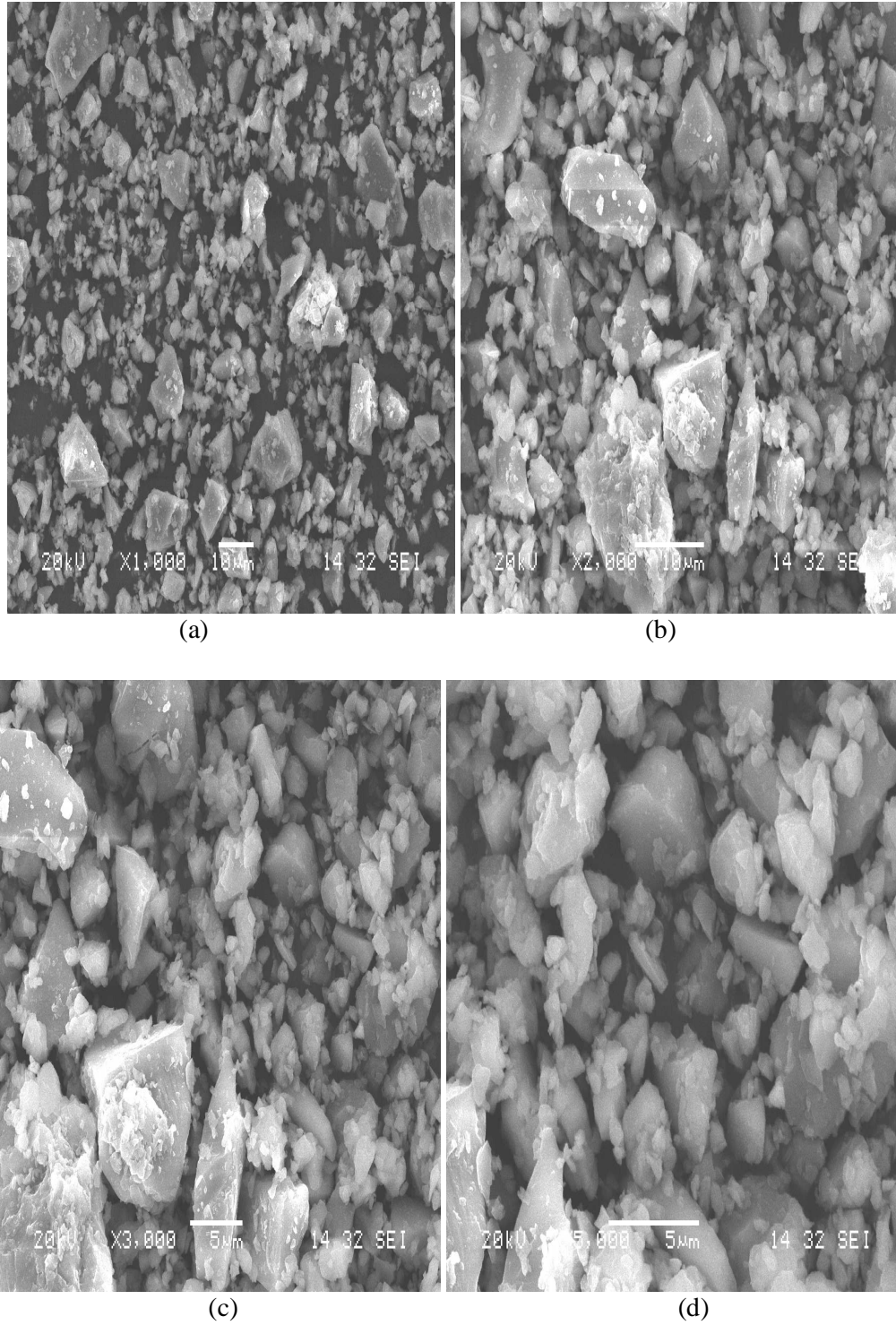
3.1.3. Yüksek fırın cürufu

Çalışmada kullanılan yüksek fırın cürufu Karabük Kardemir demir çelik fabrikasından sağlanmıştır. Bu malzeme Akçansa Büyükçekmece çimento fabrikası öğütme tesislerinde 2610 cm²/gr özgül yüzey alanı değerine kadar öğütülmüş ve KYB deney numunelerinin üretiminde kullanılmıştır. Bu malzemeye ait fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları Tablo 3.4'te verilmiştir.

Tablo 3.4. Yüksek fırın cürufunun fiziksel ve kimyasal özellikleri

KİMYASAL ANALİZ	Analiz Sonuçları (%)	FİZİKSEL DENEMELER		Analiz Sonuçları (%)
		TEST YÖNTEMİ EN 196-3 ve EN 196-6		
SiO ₂ Çözünen	40.98	Özgül Ağırlık		2.92
H ₂ O	7.66	Harca verilen Su Miktarı (%)		274
Al ₂ O ₃	10.82			
Fe ₂ O ₃	1.95	Harca verilen Curuf Miktarı (%)		398
K ₂ O	1.13			
CaO	34.85	İncelik	Özgül Yüzey- Blaine cm ² /gr	2610
MgO	8.24		0.045 mm elekte kalıntı (%)	22.7
S	0.80		0.09 mm elekte kalıntı (%)	3.1
Kızdırma Kaybı	0.00		0.2 mm elekte kalıntı (%)	0.0
CI	0.0170		DAYANIM DENEMELERİ TEST YÖNTEMİ EN 196-1	
Na ₂ O	0.36			
Tayin Edilemeyen	-	Rilem-Cembureau Metodu: 40*40*160 mm lik prizmalar Karışım 1/3, s/ç=0.50, kum:CEN standart kum		
Serbest CaO	-			
		Basınç Dayanımı (MPa)		
		Gün	Deney Sonucu	
			-	
		7	10.8	
			-	

Ayrıca yüksek fırın cürufuna ait yüzey ve mikroyapı fotoğrafları Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3. Yüksek fırın cürufuna ait SEM cihazı görüntüleri (a) Taneciklerin genel dağılımı (x1000), (b), (c) ve (d) Köşeli ve yüzeyinde birikinti olan taneler

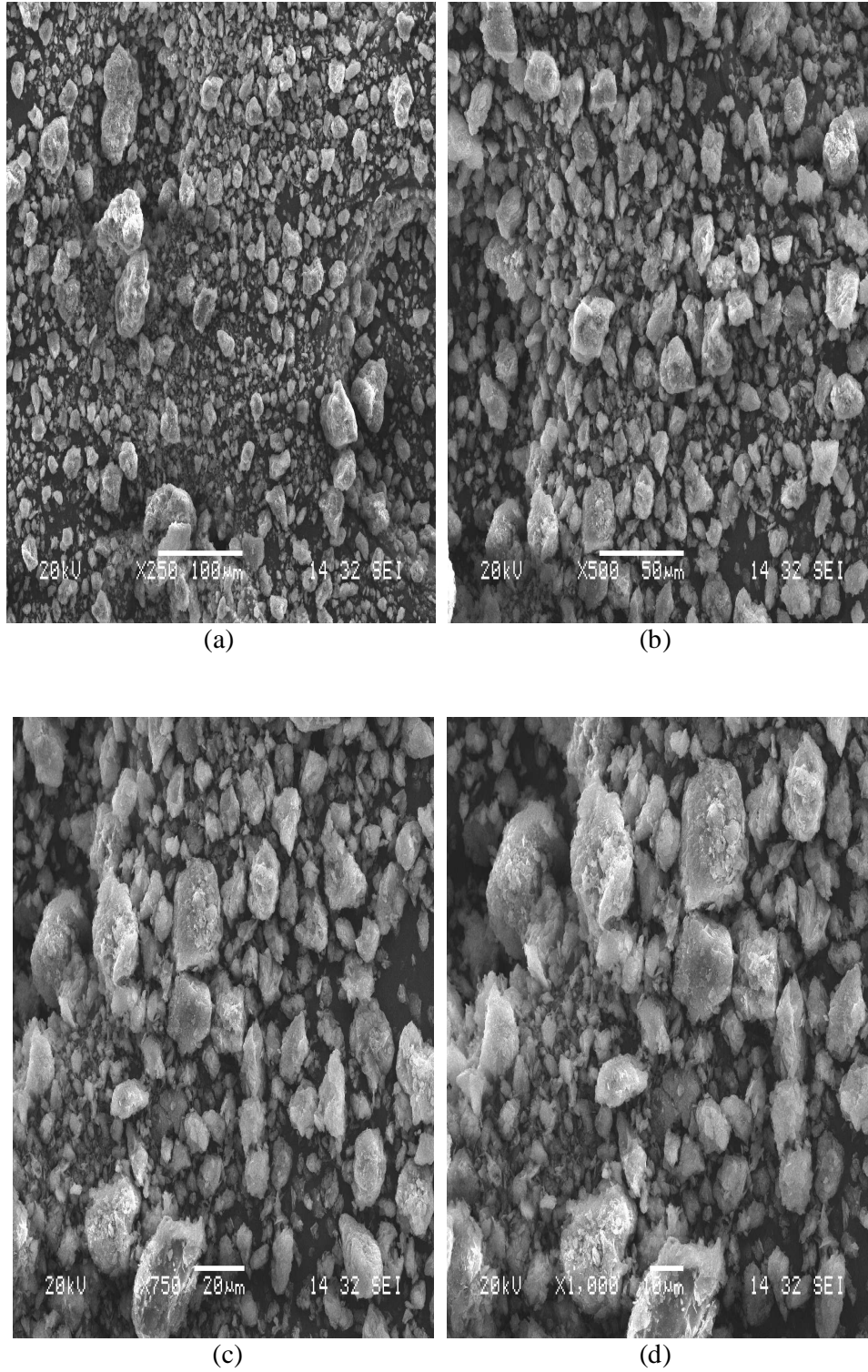
3.1.4. Doğal zeolit

Çalışmada kullanılan doğal zeolit Manisa-Gördes yöresine ait olup Rota Madencilik tarafından temin edilmiştir. Klinoptilolit formundaki doğal zeolit, elek altında kalan kırma atığı malzemedan alınmıştır. Deneyleerde kullanılan doğal zeolitin kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.5. Doğal zeolitin kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri

KİMYASAL ANALİZ	Analiz Sonuçları (%)	FİZİKSEL DENEMELER	Analiz Sonuçları (%)
		TEST YÖNTEMİ EN 196-3 ve EN 196-6	
SiO ₂ Çözünen	71.0	Özgül Ağırlık	2.14
H ₂ O		Parlaklık	70
Al ₂ O ₃	11.8		
Fe ₂ O ₃	1.7	Boşluk	49.3
K ₂ O	2.4		
CaO	3.4	Özgül Yüze/ Blaine cm ² /gr	-
MgO	1.4		
S	-		
TiO ₂	0.10	Su emme kapasitesi (%)	46.5
Na ₂ O	0.4	Aşınma (mg/100g)	87
Kızdırma Kaybı	12,20	Yağ absorpsiyonu (mg/100g)	57
		Kasyon değişim kapasitesi (meq/gr)	1.5-1.8
		Sertlik (mohs)	2-3
		Görünüm	Ivory, Odourless

Ayrıca doğal zeolite ait yüzey ve mikroyapı fotoğrafları Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Doğal zeolite ait SEM cihazı görüntüleri (a) Taneciklerin genel dağılımı (x250), (b), (c) ve (d) Köşeli ve yüzeyinde birikinti olan taneler

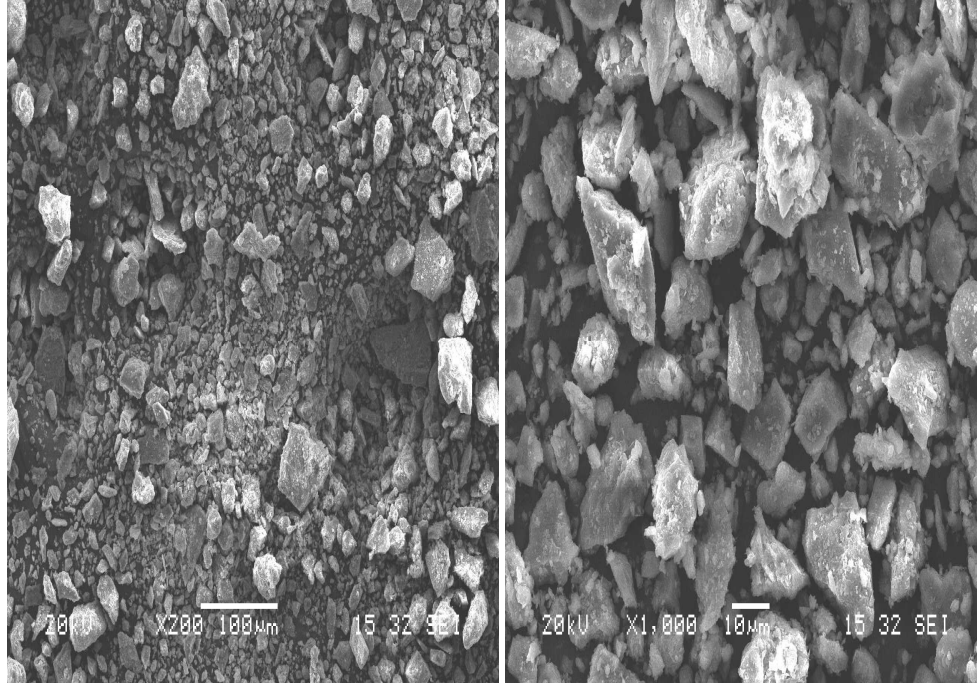
3.1.5. Kalker tozu

Çalışmada kullanılan kalker tozu, agrega ocaklarında farklı tane boyutlarında üretilmek üzere agregaların kırılması sonucu öğütülmüş hale gelen tozların filtreleme sayesinde tutulması sonucu elde edilen, bir inert malzemedir. Bu malzeme Ayhanlar Hazır Beton A.Ş. tarafından temin edilmiştir. Kalker tozuna ait fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları Tablo 3.6’da verilmiştir.

Tablo 3.6. Kalker tozunun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri

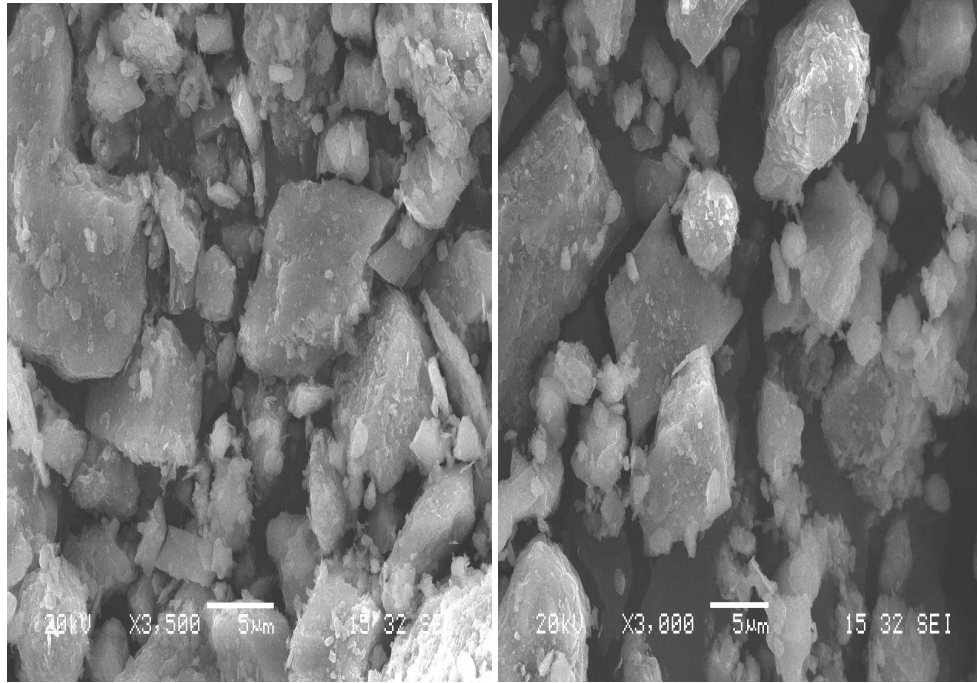
KİMYASAL ANALİZ	Analiz Sonuçları (%)	FİZİKSEL DENEMELER		Analiz Sonuçları (%)
	ASTM C 618	TEST YÖNTEMİ EN 196-3 ve EN 196-6		
SiO ₂ Çözünen	4.93	Özgül Ağırlık		2.79
K ₂ O	-	Vicat Zamanı	Başlangıç s:dak	-
Al ₂ O ₃	0.82		Son, s:dak	-
Fe ₂ O ₃	0.58	Hacim Sabitliği (Le Chatelier) mm		-
CaO	51.97	İncecik	Özgül Yüzey-Blaine cm ² /gr	2500
MgO	0.58		0.032 mm elekte kalıntı (%)	34.4
SO ₃	-		0.045 mm elekte kalıntı (%)	23.3
			0.090 mm elekte kalıntı (%)	7.3
Na ₂ O	-		0.200 mm elekte kalıntı (%)	0.5
Kızdırma Kaybı	40.40			

Ayrıca kalker tozuna ait yüzey ve mikroyapı fotoğrafları Şekil 3.5’te verilmiştir.



(a)

(b)



(c)

(d)

Şekil 3.5. Kalker tozuna ait SEM cihazı görüntüleri (a) Taneciklerin genel dağılımı (x250), (b) ve (c) Köşeli ve yüzeyinde birikinti olan taneler, (d) Yüzeyi pürüzsüz taneler

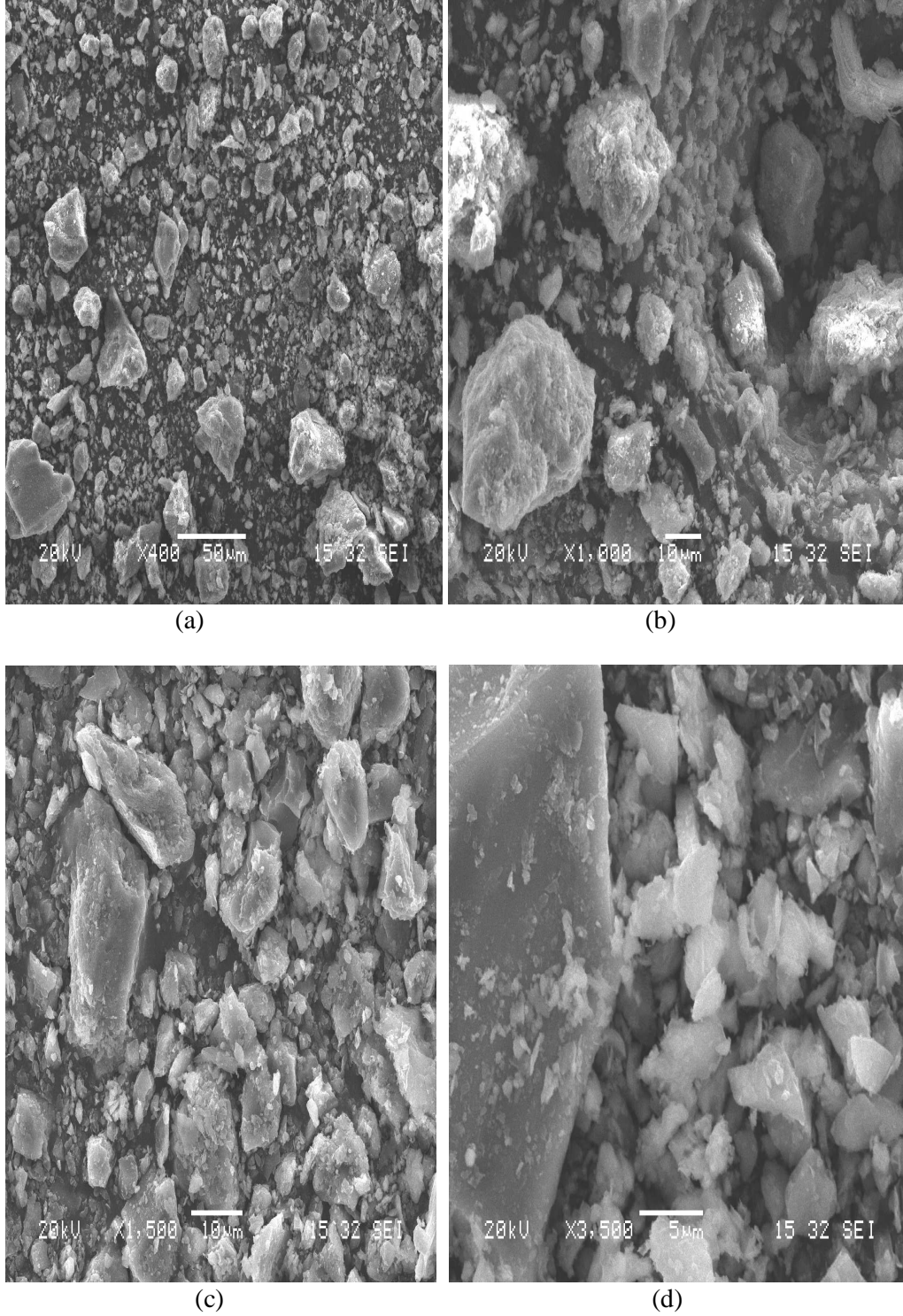
3.1.6. Bazalt tozu

Çalışmada kullanılan bazalt tozu Sakarya-Geyve yöresinin bazalt kökenli agrega üretimi yapılan bir ocağından temin edilmiştir. Bu malzeme Nuh çimento fabrikası öğütme tesislerinde 6284 cm²/gr özgül yüzey alanı değerine kadar öğütülmüş ve KYB deney numunelerinin üretiminde kullanılmıştır. Bazalt tozuna ait kimyasal ve fiziksel özellikler Tablo 3.7’de verilmiştir.

Tablo 3.7. Bazalt tozuna ait kimyasal ve fiziksel özellikler

KİMYASAL ANALİZ	Analiz Sonuçları (%)	FİZİKSEL DENEMELER		Analiz Sonuçları (%)
	ASTM C 618	TEST YÖNTEMİ EN 196-3 ve EN 196-6		
SiO ₂ Çözünen	54,62	Özgül Ağırlık		2,76
K ₂ O	1,62	Vicat Zamanı	Başlangıç s:dak	-
Al ₂ O ₃	9,60		Son, s:dak	-
Fe ₂ O ₃	4,14	Hacim Sabitliği (Le Chatelier) mm		-
CaO	12,80	İncelik	Özgül Yüzey-Blaine cm ² /gr	6284
MgO	4,66		0.032 mm elekte kalıntı (%)	28,3
SO ₃	0,66		0.045 mm elekte kalıntı (%)	15,6
Na ₂ O	0,84		0.090 mm elekte kalıntı (%)	3,4
Kızdırma Kaybı	9,94		0.200 mm elekte kalıntı (%)	0,0

Ayrıca bazalt tozuna ait yüzey ve mikroyapı fotoğrafları Şekil 3.6’da verilmiştir.



Şekil 3.6. Bazalt tozuna ait SEM cihazı görüntüleri (a) Taneciklerin genel dağılımı (x400), (b) ve (c) Köşeli ve yüzeyinde birikinti olan taneler (d) Yüzeyi düzgün ve az birikinti olan taneler

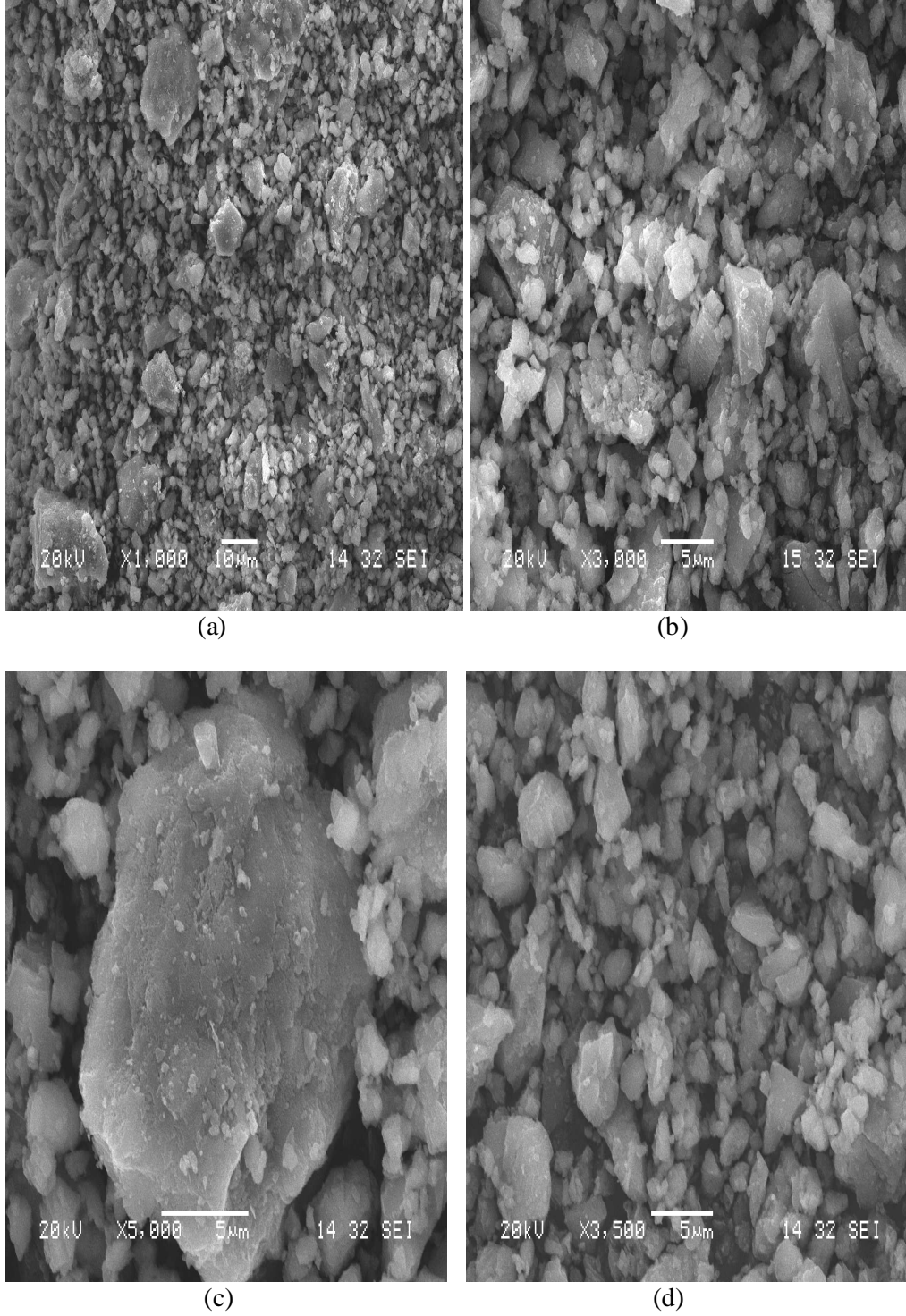
3.1.7. Mermer tozu

Çalışmada kullanılan mermer tozu Bilecik yöresine ait beyaz mermerlerin çeşitli boyutlarla su ile birlikte kesilmesi sonucu elde edilen tozların çökelti havuzlarında biriktirilmesi sonucu elde edilen bir malzemedir. Mermer tozuna ait kimyasal ve fiziksel özellikler Tablo 3. 8’de verilmiştir.

Tablo 3.8. Mermer tozuna ait kimyasal ve fiziksel özellikler

KİMYASAL ANALİZ	Analiz Sonuçları (%)	FİZİKSEL DENEMELER		Analiz Sonuçları (%)
	ASTM C 618	TEST YÖNTEMİ EN 196-3 ve EN 196-6		
SiO ₂ Çözünen	0.70	Özgül Ağırlık		2.71
K ₂ O	-	Vicat Zamanı	Başlangıç s:dak	-
Al ₂ O ₃	0.29		Son, s:dak	-
Fe ₂ O ₃	0.12	Hacim Sabitliği (Le Chatelier) mm		-
CaO	55.49	İncelik	Özgül Yüzey-Blaine cm ² /gr	8889
MgO	0.23		0.032 mm elekte kalıntı (%)	20.0
SO ₃	-		0.045 mm elekte kalıntı (%)	4.5
			0.090 mm elekte kalıntı (%)	0.9
Na ₂ O	-		0.200 mm elekte kalıntı (%)	0.0
Kızdırma Kaybı	42.83			

Ayrıca mermer tozuna ait yüzey ve mikroyapı fotoğrafları Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7. Mermer tozuna ait SEM cihazı görüntüleri (a) Taneciklerin genel dağılımı (x1000), (b) (c) ve (d) Yuvarlak, köşeli ve yüzeyinde birikinti olan taneler

3.1.8. Su

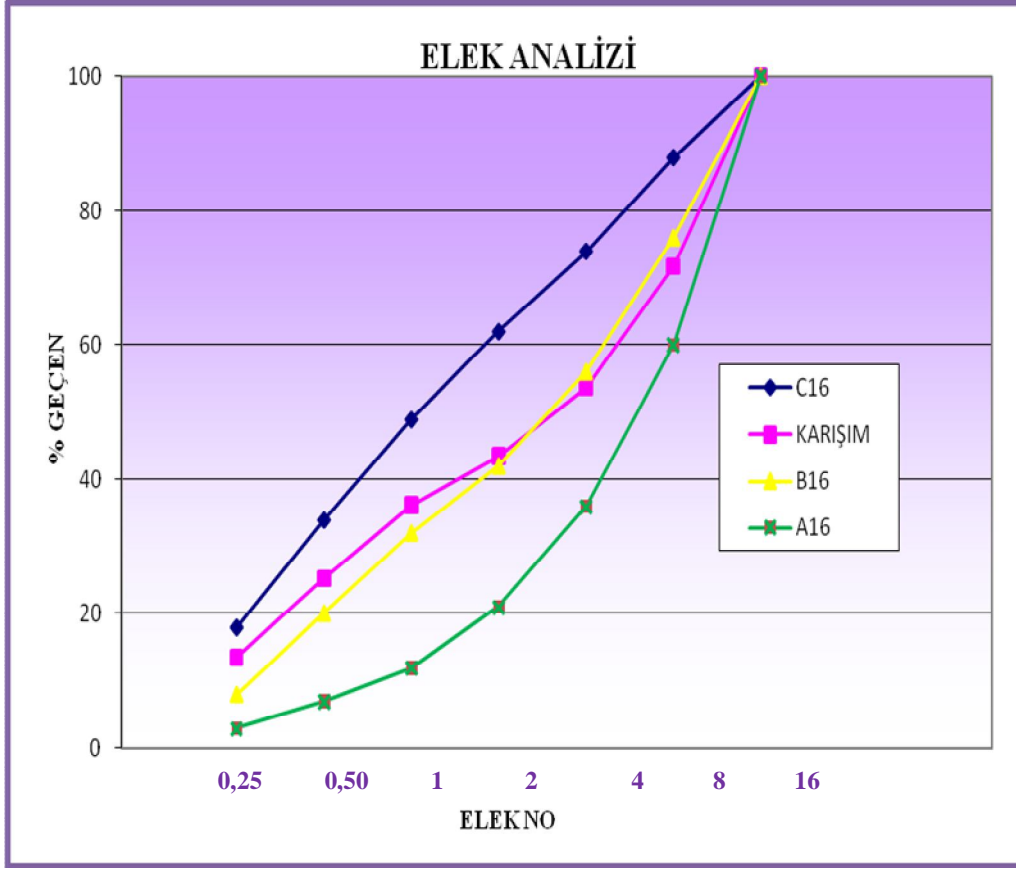
Kendiliğinden yerleşen beton numunelerinin üretiminde karışım suyu olarak Sakarya şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan suyun sülfat içeriği 20 mg/lt, klorür içeriği 9.89 mg/lt, ve pH değeri 7.88 olarak belirlenmiştir.

3.1.9. Agregata

Çalışmada kullanılan agregalar Sakarya-Geyve yöresinden temin edilmiş olup ince agrega olarak doğal kum (0-5) mm elek aralığında, iri agrega olarak ise kırmataş I (5-12) mm ve kırmataş II (12-16) mm elek aralığında kullanılmıştır. Agregaların maksimum tane boyutu 16 mm olarak alınmıştır. Beton karışımlarında kullanılan agregalara ait elek analizi ve fiziksel özellikler Tablo 3.9'da, granülometri eğrisi de Şekil 3.8'te verilmiştir.

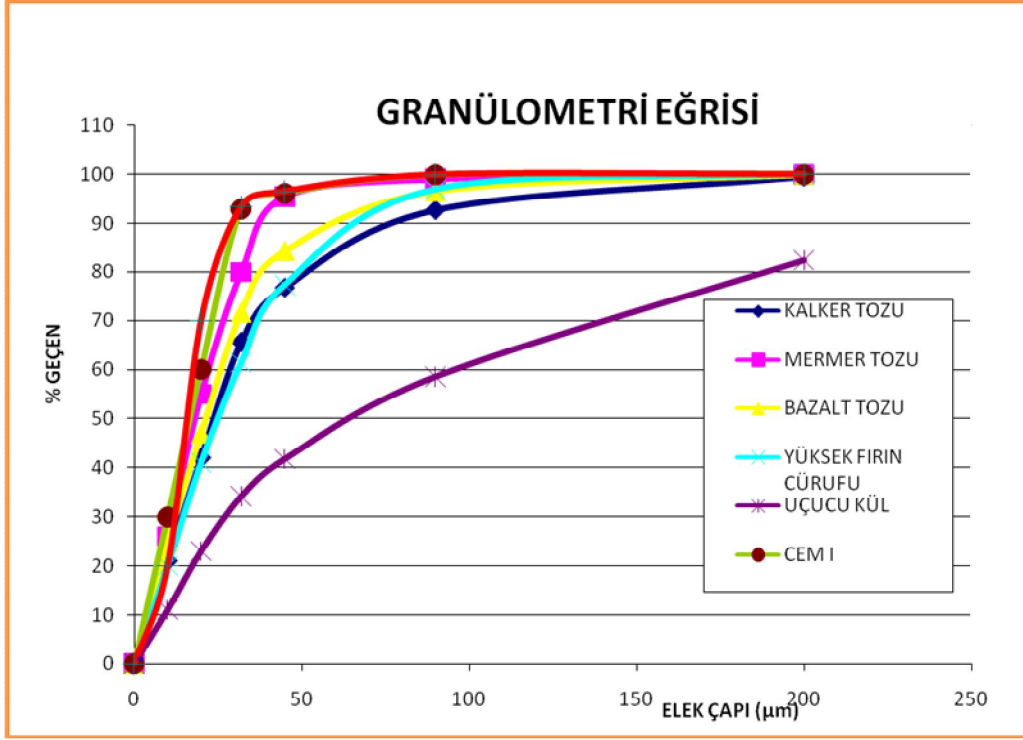
Tablo 3.9. Agregaların tane büyüklüğü dağılımları (granülometri) ve fiziksel özellikleri

ELEK SERİSİ (mm)	ELEKTEN GEÇEN MALZEME MİKTARI (%)		
	DOĞAL KUM (0-5)	NO I (5-12)	NO II (12-16)
31,5	100	100	100
16	100	100	100
8	100	57,4	14,6
4	96,6	9,7	0,7
2	81,4	1,8	0,6
1	67,8	1,4	0,5
0,50	47,4	0,7	0,5
0,25	25,3	0,7	0,5
0,125	6,1	0,7	0,5
0,063	3,3	0,7	0,5
Özgül Ağırlık	2,59	2,73	2,73
Su Emme (%)	1,44	0,27	0,17



Şekil 3.8. Karışımda kullanılan agregaların tane dağılımı (granülometri) eğrisi

Ayrıca beton karışımlarında kullanılan ince toz malzemelerin granülometri eğrisi Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. İnce toz malzemelerin tane dağılımları (granülometri) eğrisi

3.1.10. Akışkanlaştırıcı Katkı

Çalışmada KYB karışımlarında akışkanlaştırıcı katkı olarak A firmasına ait polikarbosilik eter esaslı, yüksek oranda su azaltıcı yeni nesil süperakışkanlaştırıcı beton katkısı, geleneksel beton karışımlarında ise B firmasına ait süperakışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Akışkanlaştırıcı katkıların teknik özellikleri Tablo 3.10'da verilmiştir.

Tablo 3.10. Süperakışkanlaştırıcı katkıların teknik özellikleri

Katkı Türü	A FİRMASI		B FİRMASI		
	Limit Değerler	Test Sonucu	Limit Değerler		Test Sonucu
Homojenlik	Ayrışmamalı	Ayrışmadı	Homojen		Homojen
Renk	Açık Yeşil	Açık Yeşil	Kahverengi		Kahverengi
Bağlı Yoğunluk 20 °C(g/ml)	1.023-1.063	1.045	1,16	1,2	1.1854
Katı Madde (%)	19.0-21.0	20.57	37	41	40,12
pH, (%10'luk çözelti)	6.0-7.0	6.07	3	7	6,65
Suda Çözünebilir Klorür (%)	< %0.1 (kütlece)	0.0148	max 0,10		0,0421
Alkali Miktarı (Na₂O)	max %3	1.140	---		---

3.1.11. Polipropilen lif

Çalışmada yüksek sıcaklık etkilerinin incelendiği KYB deney numunelerinde kullanılan Duomix markalı polipropilen lifler Beksa Bekaert tarafından temin edilmiştir. Polipropilen liflerin teknik özellikleri Tablo 3.11'de verilmiştir. Liflerin homojen dağılımlarına destek sağlayan katkı maddesi bu çalışmada kullanılmamış, ancak gözle gözlemlenerek liflerin beton içerisine homojen dağıldıkları gözlemlenmiştir.

Tablo 3.11. Polipropilen lifin teknik özellikleri

Lif Özellikleri	PF
Boy (mm)	20
Çap (mm)	0,05
Narinlik	400
Özgül Ağırlık	910
Elastisite Modülü (MPa)	3500-3900
Çekme Dayanımı (MPa)	320-400
Kilogramdaki Lif Sayısı (Adet)	82 Milyon

3.1.12. Sodyum sülfat (Na_2SO_4)

Çalışmada KYB deney numunelerinin sülfatlı ortama karşı dayanıklılığının belirlenmesi için yapılan sülfat dayanıklılığı deneylerinde saf sodyum sülfat (Na_2SO_4) kullanılmıştır. Sülfatlı ortamların KYB'lere etkilerinin incelendiği çalışmada deney numuneleri %10 Na_2SO_4 çözeltisi içerisinde bekletilmiş ve çözelti her ay yenilenmiştir.

3.1.13. Magnezyum sülfat (Mg_2SO_4)

Çalışmada KYB deney numunelerinin sülfatlı ortama karşı dayanıklılığının belirlenmesi için yapılan sülfat dayanıklılığı deneylerinde aynı zamanda $\text{Mg}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (Magnezyum Sülfat Heptahidrat) da kullanılmıştır. Deney numuneleri %10 Mg_2SO_4 çözeltisinde bekletilerek çözelti her ay yenilenmiştir.

3.2. Beton Karışımları

Farklı mineral katkıların çimento ile değişik oranlarda kullanılmasıyla üretilen KYB'lerin taze halde işlenebilirlik, sertleşmiş halde ise mekanik ve durabilite özelliklerinin incelendiği bu çalışmada, 19 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 ve dayanıklılık deneylerine geçilmiştir. Tüm karışımlarda toplam ince taneli malzeme miktarı (çimento+mineral katkı) 550 kg/m^3 olarak alınmıştır. Deneyler kapsamında kontrol karışımı ile beraber uçucu külün çimento ile % 15, % 25, % 35 ikame oranlarındaki karışımı, yüksek fırın cürufunun % 20, % 40 ve % 60 ikame oranlarındaki karışımı, doğal zeolitin % 5 ikame oranlarındaki karışımı, kalker tozu, bazalt tozu ve mermer tozunun % 10, % 20 ve % 30 ikame oranlarındaki karışımı olmak üzere toplam 17 seri beton üretilmiştir.

Tablo 3.12. Beton karışımlarının kodları

	Beton Kodu	Açıklama
1	ŞAHİTKYB	Normal Portland çimentolu beton
2	UK15KYB	%85 Çimento+% 15 Uçucu kül ikame oranlı beton
3	UK25KYB	%75 Çimento+% 25 Uçucu kül ikame oranlı beton
4	UK35KYB	%65 Çimento+% 35 Uçucu kül ikame oranlı beton
5	YFC20KYB	%80 Çimento+%20 Yüksek fırın cürufu ikame oranlı beton
6	YFC40KYB	%60 Çimento+%40 Yüksek fırın cürufu ikame oranlı beton
7	YFC60KYB	%40 Çimento+%60 Yüksek fırın cürufu ikame oranlı beton
8	KT10KYB	%90 Çimento+%10 Kalker tozu ikame oranlı beton
9	KT20KYB	%80 Çimento+%20 Kalker tozu ikame oranlı beton
10	KT30KYB	%70 Çimento+%30 Kalker tozu ikame oranlı beton
11	BT10KYB	%90 Çimento+%10 Bazalt tozu ikame oranlı beton
12	BT20KYB	%80 Çimento+%20 Bazalt tozu ikame oranlı beton
13	BT30KYB	%70 Çimento+%30 Bazalt tozu ikame oranlı beton
14	DZ5KYB	%95 Çimento+%5 Doğal zeolit ikame oranlı beton
15	MT10KYB	%90 Çimento+%10 Mermer tozu ikame oranlı beton
16	MT20KYB	%80 Çimento+%20 Mermer tozu ikame oranlı beton
17	MT30KYB	%70 Çimento+%30 Mermer tozu ikame oranlı beton

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 ($<0,125$ 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 3.12'de karışım oranları ise Tablo 3.13'te verilmiştir.

Tablo 3.13. Üretilen betonların karışım oranları

Karışım no	Beton kodu	Çimento (kg/m ³)	Uçucu kül (kg/m ³)	Yüksek fırın cürufu (kg/m ³)	Doğal zeolit (kg/m ³)	Kalker tozu (kg/m ³)	Bazalt tozu (kg/m ³)	Mermer tozu (kg/m ³)	Su (kg/m ³)	Su / Çimento	Su / Toz malzeme	Doğal kum (kg/m ³)	İnorganik kırmataş (kg/m ³)	İnorganik kırmataş (kg/m ³)	Süperakışkanlaştırıcı katkı (kg/m ³)
1	Şahit	550	-	-	-	-	-	-	182	0,33	0,33	869	467	311	8,80
2	UK15KYB	467	83	-	-	-	-	-	182	0,39	0,33	865	457	305	8,53
3	UK25 KYB	412	138	-	-	-	-	-	182	0,44	0,33	887	451	301	8,25
4	UK35 KYB	357	193	-	-	-	-	-	182	0,51	0,33	878	445	297	7,98
5	YFC20 KYB	440	-	110	-	-	-	-	182	0,41	0,33	866	465	310	9,35
6	YFC40 KYB	330	-	220	-	-	-	-	182	0,55	0,33	863	463	309	9,08
7	YFC60KYB	220	-	330	-	-	-	-	182	0,83	0,33	861	461	308	8,80
8	KT10KYB	495	-	-	-	55	-	-	182	0,37	0,33	866	464	311	9,08
9	KT20KYB	440	-	-	-	110	-	-	182	0,41	0,33	863	463	308	8,80
10	KT30KYB	385	-	-	-	165	-	-	182	0,47	0,33	860	461	307	8,53
11	BT10KYB	495	-	-	-	-	55	-	182	0,37	0,33	866	465	310	9,63
12	BT20KYB	440	-	-	-	-	110	-	182	0,41	0,33	863	463	309	9,63
13	BT30KYB	385	-	-	-	-	165	-	182	0,47	0,33	861	462	307	9,90
14	DZ5KYB	522	-	-	28	-	-	-	182	0,35	0,33	865	464	310	9,63
15	MT10KYB	495	-	-	-	-	-	55	182	0,37	0,33	867	466	311	8,90
16	MT20KYB	440	-	-	-	-	-	110	182	0,41	0,33	865	465	309	9,08
17	MT30KYB	385	-	-	-	-	-	165	182	0,47	0,33	863	463	312	9,85

3.3. Deney Numunelerinin Üretimi

Çalışmada farklı karışımlarda tasarlanan deney numuneleri 40 dm³ lük pan mikserinde karıştırılarak ASTM C 192 standardına uygun olarak üretilmiştir [171].

Büyük boyutlu L şekilli sıkı donatılı yapısal perde elemanları ise Lafarge-İnci beton Sakarya tesislerinde 4 m³ kapasiteli karıştırıcılarda üretilerek transmikserle kalıbına dökülmüştür. 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 [172].

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 [173]. Bu prosedüre göre aşağıdaki sıra takip edilerek beton bileşenlerinin mikserine konulması ve karıştırma zamanlarına titizlik gösterilmesi gerekmektedir.

Bu işlemler aşağıdaki sıra dahilinde gerçekleştirilir;

- Beton karışımına dahil olan tüm malzemeler 40 dm³ lük pan mikserinde karıştırılmaya tabi tutulur.
- İlk olarak kum ve iri agrega 30 sn. karıştırılarak homojen bir karışım elde edilir.
- Daha sonra karışım suyunun % 75'i ve süperakışkanlaştırıcı katkı önceki karışıma ilave edilerek 30 sn daha karıştırma yapılır.
- Çimento ve mineral katkıları ilave edilerek 1 dk. daha karıştırılmaya devam edilir.

- Arta kalan su (toplam suyun $\frac{1}{4}$ 'ü) karışıma ilave edilerek 3 dk. daha ilave karıştırma yapılır.

3.4. Deney Yöntemleri

Değişik mineral katkı ve filler malzemelerle üretilen KYB'lerin taze haldeki işlenebilirlik, sertleşmiş halde ise mekanik ve dayanıklılık özelliklerinin incelendiği bu çalışmada yapılan deneyler aşağıdaki yöntemler esas alınarak gerçekleştirilmiştir.

3.4.1. 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 kuma, ayrışma, viskozite ve stabilite sorunları oluştuğunda beton tasarımı değiştirilerek deneyler yeniden yapılmıştır.

3.4.1.1. Çökme-yayılma (slump-flow) deneyi

Bu deney Bölüm 2.7.3.1'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 işleme 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.

3.4.1.2. 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. beklenecek 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.

3.4.1.3. L- kutusu deneyi

Bu deney, taze haldeki KYB karışımlarının doldurma yeteneğinin, geçiş yeteneğinin ve ayrılmaya karşı direncinin L şeklindeki bir kutu içerisinde gözlenmesini sağlar. Kutunun alt ortasında sürgülü bir kapak ve aynı zamanda engel teşkil edecek demir çubuklar bulunmaktadır. Sürgülü kapak çekilerek betonun diğer bölüme 20 cm ve 40 cm ilerlemesinin süreleri ölçülmüştür. Aynı zamanda kutunun yüzeye paralel kısmının her iki tarafındaki seviye farkı tespit edilmiştir. KYB kriterleri dahilinde seviye farkı oranının 0,8 ila 1 arasında olup olmadığı gözlemlenmiştir.

3.4.2. Sertleşmiş beton deneyleri

3.4.2.1. 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 [174]. Basınç dayanımı deneyleri 15*15*15 cm ebatındaki standart boyutlu küp numuneler üzerinde 7. gün, 28. gün, 90. gün ve 400. günlerde olmak üzere 4 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.

3.4.2.2. Birim ağırlık ve su emme oranı deneyleri

Basınç dayanımı deneyine tabi tutulmak üzere üretilen farklı karışımlardaki KYB deney numuneleri basınç dayanımı deneyinden önce 7. gün, 28. gün, 90. gün ve 400. günler olmak üzere 4 farklı numune yaşında birim ağırlık ve su emme deneylerine tabi tutulmuştur. Deney zamanına kadar su içerisinde kür edilen deney numuneleri birim ağırlık deneyi için yüzeyleri kurutularak doygun ağırlıkları ve su içerisindeki ağırlıkları ölçülmüştür. Numunelerin boyutları 1 mm duyarlılıkla ölçülerek 105 °C sıcaklıkta etüv içerisinde kurumaya bırakılmıştır. Etüvde kurutulan numuneler soğutularak kuru ağırlıkları ölçülmüştür. Birim ağırlık deneyleri TS EN 12390-7 standardına uygun olarak yapılmış ve deneyde Şekil 3.10'da görülen Arşimet terazisinden faydalanılmıştır [175].



Şekil 3.10. Arşimet terazisi

3.4.2.3. Ultrases geçiş hızı deneyi

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 [176]. 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 3.14. 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

3.4.2.4. 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 başkılanmıştır. 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 3.11. 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 m/sn^2).

Dinamik elastisite modülü değerlerini belirlemek amacıyla, statik elastisite modülü için hazırlanan deney numunelerinden faydalanılmıştır. Numunelerin öncelikle birim

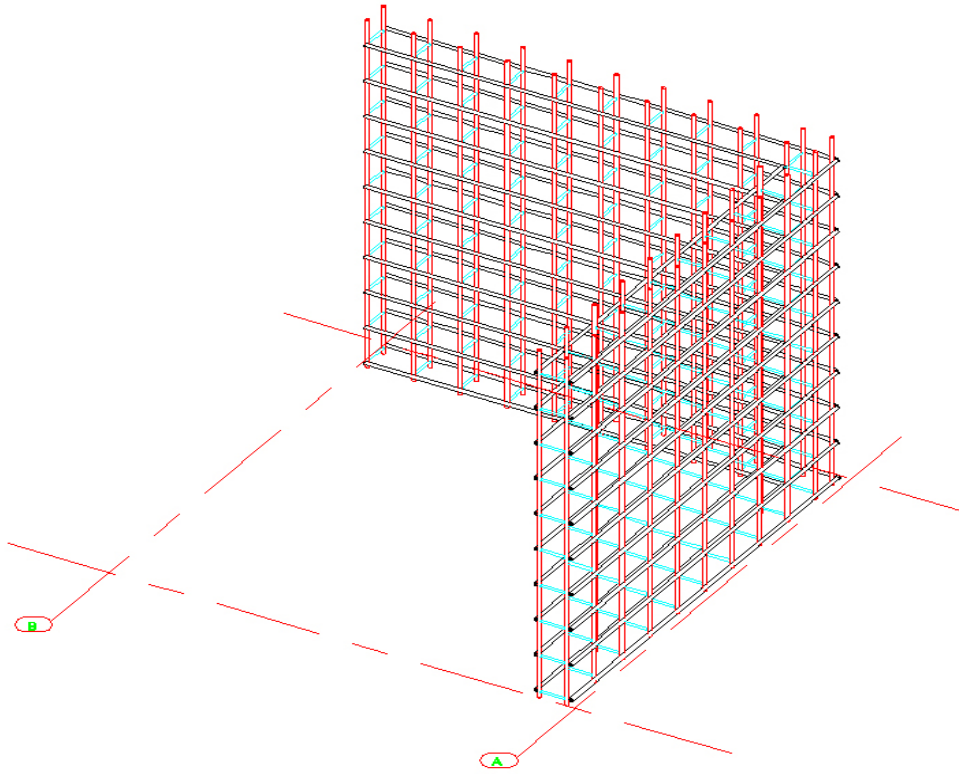
ağırlıkları TS EN 12390-7'ye belirlenmiş, daha sonra ise ultrasonik ses cihazı ile ultrases dalga hızları belirlenerek (3.2) eşitliği yardımıyla dinamik elastisite modülü değerleri hesaplanmıştır [175].

3.4.3. Yapısal perde elemanları deneyleri

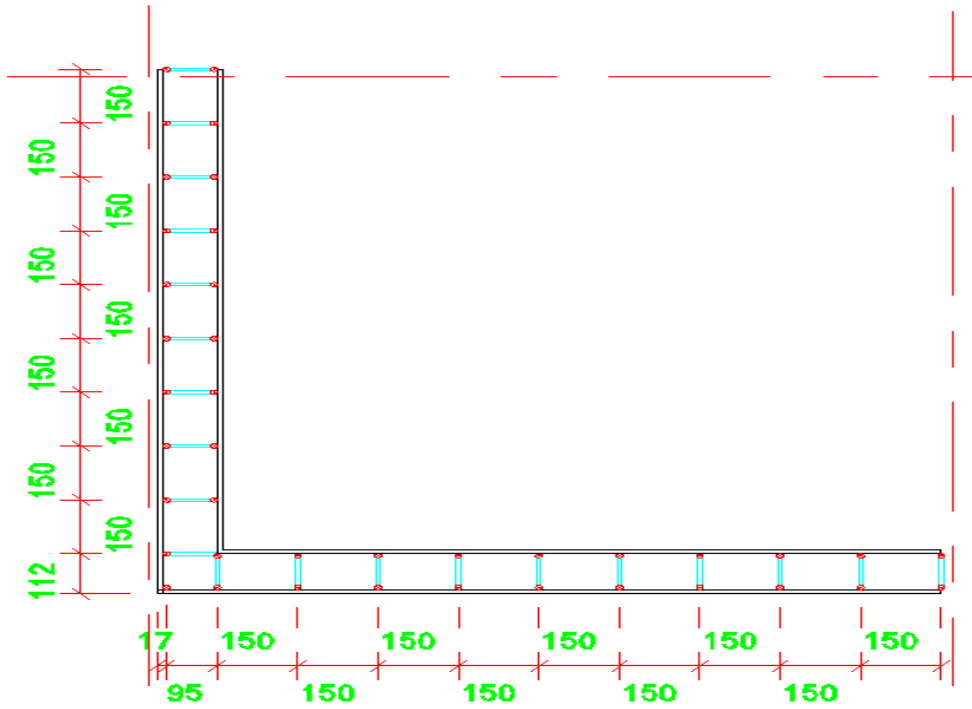
KYB'lerin sıkı donatılı, dar kesitli yapısal perde elemanlarında herhangi bir sıkıştırmaya tabi tutulmadan kendiliğinden yerleşebilirliklerinin laboratuvar ortamının dışına çıkılarak belirlenmeye çalışıldığı bu deneylerde L şekilli, 300 cm x 150 cm x 20 cm ebatlarındaki yapısal perde elemanları kullanılmıştır. Bu perde elemanlarına saha koşullarında tek bir noktadan beton dökülerek eleman boyunca dar kesit ve sıkı donatılar arasından geçen betonun yatay ve düşeyde beton kalitesinin değişimi karşılaştırmalı olarak çeşitli deneylerle değerlendirilmiştir. Bu deneyler;

- Perde elemanlarının yatay ve düşeyde homojen olarak basınç dayanım değişimlerini belirlemek amacıyla ve perde elemanlarını bütünüyle temsil edecek şekilde yatay ve düşeyde farklı bölgelerden 12 cm çapında ve 12 cm yüksekliğinde karot numuneler alınarak yapılan beton basınç dayanımı deneyi,
- Perde elemanlarının karot alınmak üzere tespit edilen noktalarına betonun üniformluluğu ve yüzey kalitesini belirlemek amacıyla uygulanan yüzey sertliği okumaları (Schmidt çekici) deneyi,
- Beton basınç dayanımı değişimlerini belirlemek amacıyla alınan karot numunelere uygulanan birim ağırlık ve su emme oranı deneyleri şeklindedir.

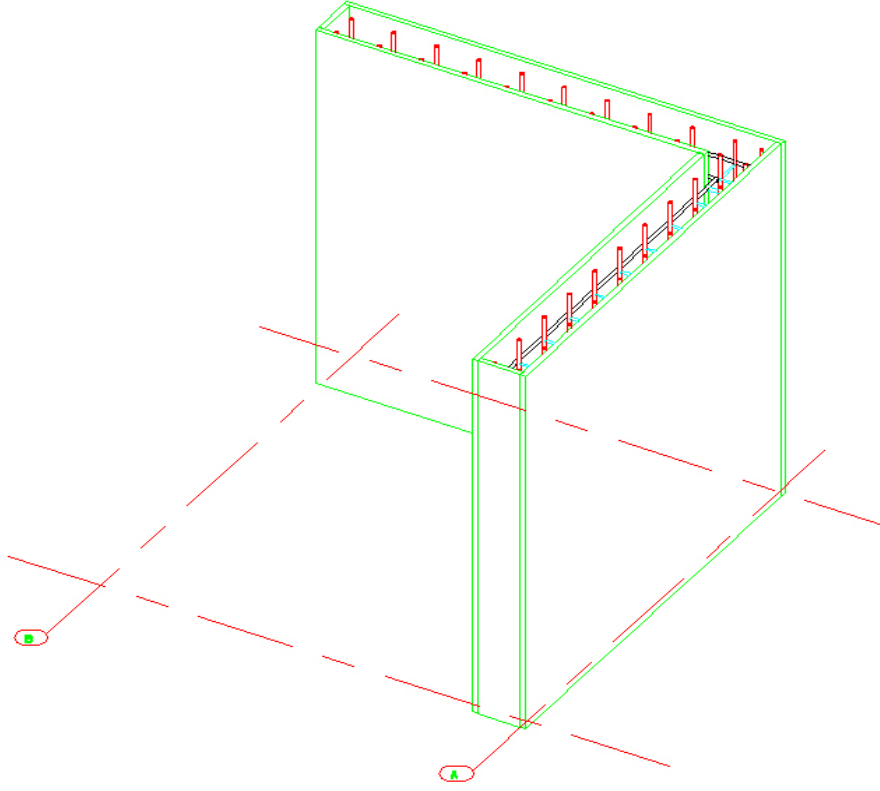
Perde elemanları 550 dozajlı geleneksel beton (vibratörle sıkıştırma uygulanmış), 550 dozajlı şahit KYB, çimento ile % 15 kalker tozu ikameli KYB, çimento ile % 30 kalker tozu ikameli KYB, çimento ile % 15 uçucu kül ikameli KYB, çimento ile % 35 uçucu kül ikameli KYB ve çimento ile % 15 mermer tozu ikameli KYB olmak üzere, agrega miktarları sabit olmak üzere 7 farklı bileşimde üretilmiştir. Perde elemanlarına ait donatı resmi (Şekil 3.12), donatı boyutlandırması (Şekil 3.13) ve kalıp resmi (Şekil 3.14) aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Perde elemanına ait donatı resmi



Şekil 3.13. Perde elemanına ait donatı yerleşimi



Şekil 3.14. Perde elemanına ait kalıp resmi

Perde elamanları beton dökümünden önce plywood kalıp ile iyice yağlanmıştır. Ayrıca, geleneksel betonlara göre KYB'lerin taze halde hidrostatik basınçlarının çok daha yüksek olması nedeniyle, kalıp beton dökümü esnasında herhangi bir deformasyona uğramaması için Şekil 3.15'te görüleceği üzere yanlardan da desteklenmiştir.

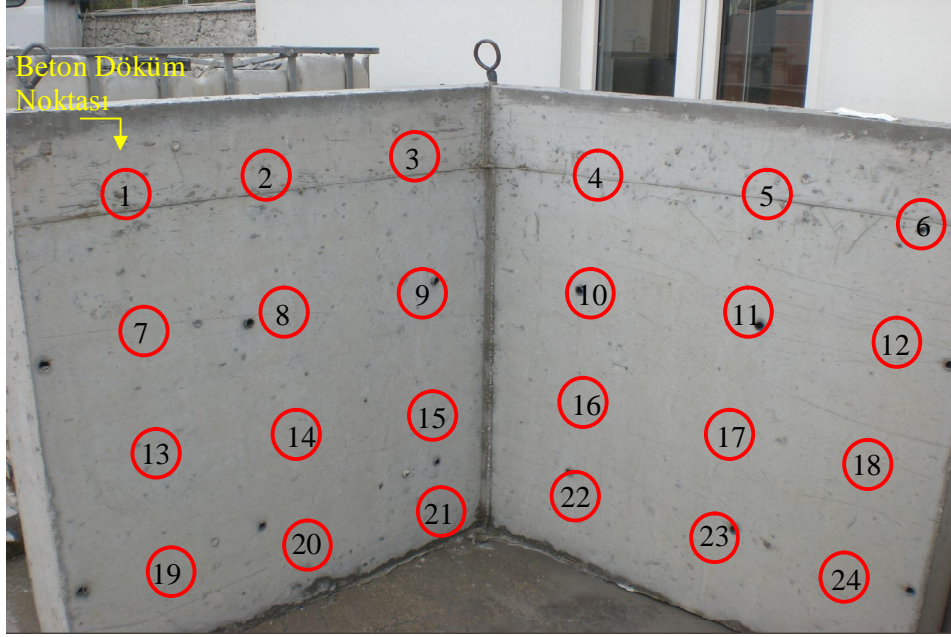


Şekil 3.15. Perde elemanlarına beton dökümü için hazırlanan kalıp

Hazırlanan kalıplara sıkı donatılı sistem uygulandıktan sonra beton dökümüne geçilmiş, hazır beton santralinde üretimi gerçekleştirilen farklı bileşimdeki KYB'ler transmikser vasıtasıyla kalıba dökülmüştür. Beton dökümü esnasında kalıbın uç noktasına transmikser oluğu yaklaştırılarak tek noktadan beton dökümü gerçekleştirilmiş ve vibrasyon uygulanmadan dar kesitli ve sıkı donatılı bir sistemden betonun kendi ağırlığı ile geçişi sağlanmıştır. Perde elemanları beton döküm tarihinden itibaren 7 gün boyunca kürlenerek bu süre sonunda kalıbından sökülmüş (Şekil 3.16) ve daha önceden belirlenmiş ve numaralandırılmış (Şekil 3.17) noktalardan 28. günde karot numune alımına geçilmiştir.



Şekil 3.16. Kalıbından sökülen ve karot alımına hazır halde bulunan perde elemanı



Şekil 3.17. Perde elemanında karot numune noktalarının belirlenmesi

Şekil 3.18’de ise daha önceden belirlenen noktalardan alınan karot numuneler görülmektedir.



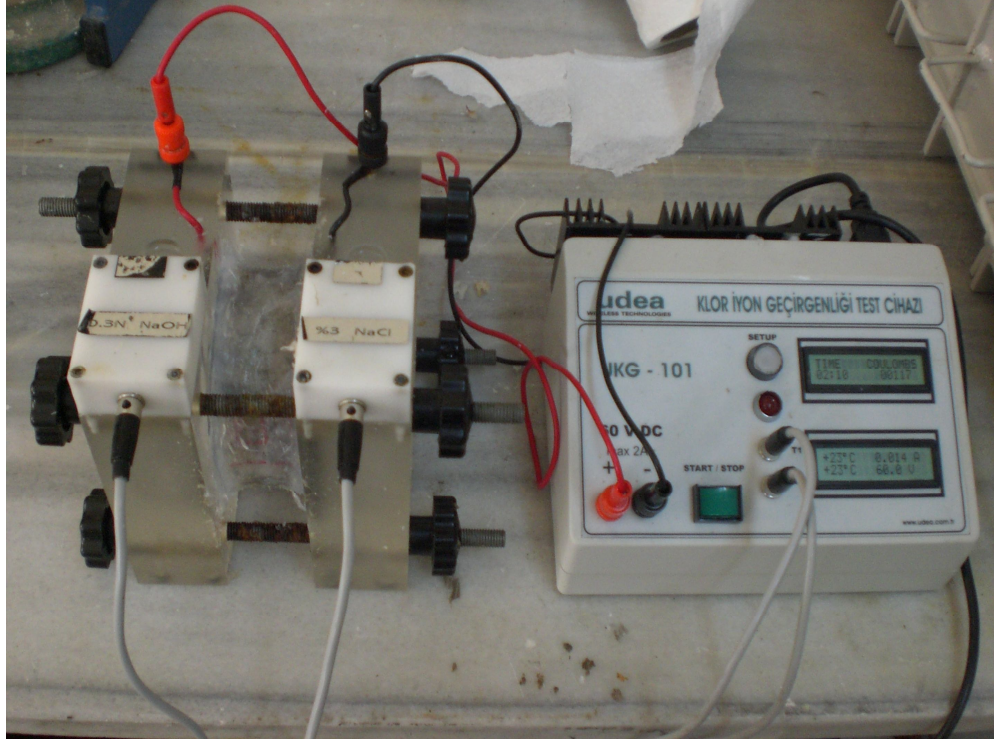
Şekil 3.18. Karot numune alınmış perde elemanları

3.5. Dayanıklılık Deneyleri

3.5.1. Hızlı klorür geçirgenliği deneyi

Çalışmanın bu bölümünde, farklı bileşimlerde tasarlanarak üretilen KYB deney numunelerinin dayanıklılık özelliklerinden birisi olarak klorür geçirgenlik özellikleri incelenmiştir. Bu deney yöntemi ASTM C 1202-97 standardı referans alınarak, beton için hızlandırılmış klor iyon geçirgenliği deneyi olarak adlandırılmıştır [179]. Bu amaçla 10 cm çapında ve 20 cm yüksekliğinde üretilen silindirik numuneler 28 gün boyunca su içerisinde kür edildikten sonra uçlarından kesilerek ortada kalan 5 cm kalınlığındaki dilim deney için kullanılmıştır. Bu dilim, hızlı klorür geçirgenliği deney aletine yerleştirilmeden önce bazı işlemlerden geçirilmiştir. Deneye başlanmadan önce deney numunelerinin yan yüzleri silikonla kaplanıp kurumaya bırakılmıştır. Daha sonra numuneler desikatöre yerleştirilerek 3 saat boyunca vakumlanmıştır. Ardından vakum haznesine su doldurularak numunelere vakum

etkisinde 1 saat su emdirilmiştir. Deney numuneleri, ayrıca su içerisinde 18 saat bekletildikten sonra deneye hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.19. Hızlı klor iyon geçirgenliği test cihazı

Hızlı klor iyon geçirgenliği test cihazı Şekil 3.19'da görüldüğü üzere elektronik ölçüm ve değerlendirme ünitesi ile pleksiglastan üretilmiş iki adet hücreden oluşmaktadır. 100 mm çapında ve 51 mm boyundaki deney numuneleri deney hücrelerine hücre ile arasında metal elek ve conta olmak üzere düzgün bir şekilde yerleştirilmiş ve test hücresi üzerindeki vidalar iyice sıkıştırılmıştır. Sızıntıları engellemek amacıyla beton ile test hücrelerinin birleştiği bölge silikonla kaplanmıştır. Mevcut iki test hücresinin birine % 3'lük kütleli olarak saf su ile hazırlanmış NaCl solüsyonu, diğerine ise 0,3 N (yine saf su ile) NaOH solüsyonu doldurularak deneye başlanmıştır. Hızlı klor geçirgenliği deneyi, betonun elektriksel iletkenliği esasına dayanmaktadır. Deney numunelerine 60 V sabit potansiyel farkı uygulanarak beton diskten geçen elektrik akım şiddeti miktarı belirli aralıklarla kaydedilmiştir. 6 saat boyunca her yarım saatte numunelerden geçen akım şiddeti ölçüldükten sonra akım şiddeti-zaman grafiği çizilerek grafik altındaki alan

yardımıyla bu sürede iletilen elektrik akımı miktarı Coulomb cinsinden hesaplanmıştır. İlgili standarda göre deney sonunda elde edilen Coulomb cinsinden yük miktarı değerlendirildiğinde Tablo 3.15'te görülen beton geçirgenliği sınıfları elde edilir [179].

Tablo 3.15. Hızlı klor iyon geçirgenliği deneyi sonuçları ile beton geçirgenlik sınıflarının yorumlanması

YÜK (COULOMB)	GEÇİRGENLİK SINIFI
>4000	YÜKSEK
4000-2000	ORTA
2000-1000	DÜŞÜK
1000-100	ÇOK DÜŞÜK
<100	İHMAL EDİLEBİLİR

3.5.2. Basıncı su derinliği (impermeabilite deneyi)

Basıncı su geçirimsizliği deneyleri 15 cm'lik standart küp numuneler üzerinde 28. günde gerçekleştirilmiştir. Her karışım için 3 adet numune üretilmiş ve üretilen numuneler 28 gün boyunca 20 ± 2 °C sıcaklıkta kirece doymuş su içerisinde bekletilerek kür edilmiştir. Daha sonra beton numuneleri su içerisinden çıkarılarak kuru ağırlıklarının belirlenmesi için etüv içerisinde kurumaya bırakılmıştır. Numuneler Şekil 3.20'de görüldüğü üzere impermeabilite cihazına yerleştirilmiş ve üzerlerine şebeke suyu basıncı kadar basınç uygulanarak su tüpleri doldurulmuştur. Su tüplerinin cetvelinden ilk okumaları yapılmış ve daha sonra DIN 1048 standardına göre bu numuneler 48 saat 1 bar, 24 saat 3 bar ve 24 saat 7 bar basınç altında bekletilerek işlemler tamamlanmış ve su tüplerinin cetvelinden numunelerin emdiği su miktarı ve numunelerin ağırlıkları belirlenmiştir [180]. Deney sonunda numuneler üzerinde yarma deneyi yapılarak su işleme derinlikleri bulunmuştur.



Şekil 3.20. Basınçlı su işleme derinliği (İmpermeabilite) cihazı

3.5.3. Sülfat direnci deneyi

Farklı bileşimlerdeki KYB deney numunelerinin sülfat dirençlerini belirlemek amacıyla 10 cm'lik küp numuneler, sülfat etkisi deneyleri için %10 $MgSO_4$ çözeltisi ve %10 $NaSO_4$ çözeltisi içerisinde 400 gün boyunca bekletilmiştir. Zamanla deney numunelerinin bünyesinde bulunan kirecin çözünmesi nedeniyle çözeltilerin pH değerleri yükselmiştir. Bu yüzden çözeltiler 30 günde bir yenilenmiştir. Her karışım için 9 adet numune üretilmiş ve bu numunelerin 3 tanesi $MgSO_4$ çözeltisine, diğer 3 tanesi $NaSO_4$ çözeltisine maruz bırakılmış, ayrıca karşılaştırma yapmak amacıyla 3 adet numune de 20 ± 2 °C sıcaklıkta kirece doymuş su içerisinde bekletilerek 400 gün boyunca standart küre tabi tutulmuştur. Deney numuneleri üretim tarihinden itibaren 14. günde sülfat etkisine maruz bırakılmıştır. Numunelerin sülfat etkisine maruz bırakılmadan önce ağırlıkları ölçülmüş ve her üç ayda bir $MgSO_4$ ve $NaSO_4$ çözelti içerisinde çıkarılarak ağırlık değişimleri belirlenmiştir. Numunelerin, 400 gün boyunca $MgSO_4$ ve $NaSO_4$ çözeltisi içerisinde bekletildikten sonra, ağırlık ve basınç dayanımı değişimlerine bakılmış ve normal su içerisinde bekletilen numunelerle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma neticesinde farklı bileşimlerde üretilen deney

numunelerinin sülfatlı ortamlara maruz bırakıldıklarında nasıl bir performans gösterdiği belirlenmiştir.

3.5.4. Yüksek sıcaklık deneyi

Çalışmanın bu bölümünde, mineral katkıların çimento ile değişik ikame oranlarında kullanılmasıyla üretilen KYB deney numunelerinin yüksek sıcaklık etkisi altındaki davranışlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Beton üretiminde kullanılan agregaların sabit özeliğe olmaları nedeniyle yüksek sıcaklıkla ortaya çıkan farklılıklar kullanılan mineral katkıların yüksek sıcaklık sonrası değişimlerine bağlıdır. Her karışım için 30 adet numune üretilmiş ve bu numuneler 28 gün boyunca 20 ± 2 °C sıcaklıkta kirece doygun su içerisinde standart küre tabii tutulmuştur. Beton üretimi esnasında, polipropilen lif katılmış deney numunelerinin polipropilen lifsiz deney numunelerine göre yüksek sıcaklık etkisi altındaki davranışlarını belirlemek amacıyla, 12 adet numuneye 4 farklı sıcaklık derecesine maruz bırakılmak üzere 2.75 kg/m^3 polipropilen lif katılmıştır. 12 adet numune ise polipropilen lifsiz üretilerek aynı şekilde 4 farklı sıcaklık derecesine maruz bırakılmıştır. $10 \times 10 \times 10$ cm ebadında üretilen küp numuneler 200 °C, 400 °C, 600 °C ve 800 °C sıcaklığa maruz bırakılmıştır. 3 adet numune ise yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmadan 28. günde lifli olarak, geriye kalan 3 adet numune ise lifsiz olarak beton basınç dayanımı deneyine tabii tutulmuştur. Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan deney numuneleri yüksek sıcaklık fırınında TS EN 1363-1'e göre ısınma hızı 6 °C/dk olacak şekilde ve 3 saat süreyle ısıtılmıştır [181]. Isıl işlem süresi sonunda numuneler 24 saat süreyle havada yavaş soğumaya bırakılmıştır. Soğuyan numuneler üzerinde basınç dayanımı deneyleri yapılarak, yüksek sıcaklık etkisine maruz kalmış polipropilen lif katılı ve katısız numunelerin yüksek sıcaklık etkisine maruz kalmamış deney numunelerine göre, basınç dayanımlarındaki değişimler belirlenmiştir.

BÖLÜM 4. DENEY SONUÇLARI

4.1. Taze Beton Deney Sonuçları

KYB olarak dizayn edilen ve farklı karışımlarda üretilen betonlar üzerinde yapılan taze beton deneyleri sonucunda elde edilen değerler Tablo 4.1’de gösterilmiştir. Taze beton deneyleri olarak tariflenen deneyler, KYB’lerin “kendiliğinden yerleşebilirlik” özelliğini ifade etmek için kullanılan özel deneylerdir.

Tablo 4.1. Kendiliğinden yerleşen taze beton deney sonuçları

	Beton türü	Yayıma (mm)	T ₅₀ (sn)	V _{hünisi} (sn)	T ₂₀ (sn)	T ₄₀ (sn)	H ₂ /H ₁	Katkı (%)	Ayrışma Direnci
1	ŞAHİT550KYB	690	4,25	14,44	2,47	5,71	0,820	1,60	İyi
2	UK15KYB	710	3,13	9,34	3,53	4,91	0,908	1,55	İyi
3	UK25KYB	740	2,22	11,58	3,78	7,20	0,924	1,50	İyi
4	UK35KYB	740	2,18	16,97	4,57	9,39	0,905	1,45	İyi
5	YFC20KYB	700	3,09	12,00	4,02	7,98	0,932	1,70	İyi
6	YFC40KYB	740	2,10	14,32	3,57	7,23	1,000	1,65	İyi
7	YFC60KYB	750	2,02	10,03	2,59	6,73	0,980	1,60	İyi
8	KT10KYB	710	4,15	14,12	5,42	10,97	0,880	1,65	İyi
9	KT20KYB	720	3,81	12,75	2,26	5,53	0,914	1,60	İyi
10	KT30KYB	710	4,03	13,91	3,67	9,79	0,900	1,55	İyi
11	BT10KYB	690	4,57	15,57	4,06	10,32	0,840	1,75	İyi
12	BT20KYB	700	4,34	13,83	3,46	6,10	0,820	1,75	İyi
13	BT30KYB	690	5,00	18,35	2,56	6,25	0,820	1,80	İyi
14	DZ5KYB	710	3,25	8,58	3,69	7,41	0,880	1,75	İyi
15	MT10KYB	710	2,34	16,13	2,25	5,36	0,930	1,65	İyi
16	MT20KYB	710	3,22	13,25	1,46	3,50	0,943	1,75	İyi
17	MT30KYB	700	2,53	12,21	3,00	7,12	1,000	1,80	İyi

Ayrıca taze betonda birim ağırlık deneyi yapılmış, TS EN 12350-6 standardına göre taze beton, darası bilinen iç hacmi 7,12 lt olan hava tayin cihazı kabına doldurularak

herhangi bir sıkıştırma yapılmadan tartılmıştır [182]. Taze betonda hava tayini deneyi ise TS EN 12350-7 standardı esas alınarak yapılmış, ilgili standarda göre tartılan taze betonun yüzeyi iyice düzeltilerek kenarları nemli bezle silinmiş ve hava tayin cihazının kapağı kapatılmıştır [183]. Düzeneğin içerisi su ile doldurularak kapak ile beton arasındaki hava tahliye edilmiştir. Tüm vanalar kapatılıp basınç verilmiş ve bu suretle taze beton içerisindeki hava miktarı % cinsinden ifade edilmiştir. Taze beton üzerinde yapılan birim ağırlık ve hava tayin deneyleri sonucu elde edilen değerler Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Taze betonların birim ağırlık ve hava miktarı deney sonuçları

	Beton türü	Teorik Bir. Ağ. (kg/m ³)	Gerçek Bir. Ağ. (kg/m ³)	Hava Miktarı (%)
1	ŞAHİT550KYB	2398	2383	1,63
2	UK15KYB	2385	2364	2,09
3	UK25KYB	2364	2345	2,23
4	UK35KYB	2345	2321	2,14
5	YFC20KYB	2399	2377	2,00
6	YFC40KYB	2391	2370	2,44
7	YFC60KYB	2387	2363	2,16
8	KT10KYB	2395	2362	2,08
9	KT20KYB	2386	2366	2,20
10	KT30KYB	2378	2359	2,76
11	BT10KYB	2390	2371	2,18
12	BT20KYB	2384	2366	2,15
13	BT30KYB	2380	2358	2,88
14	DZ5KYB	2404	2391	1,64
15	MT10KYB	2395	2375	1,60
16	MT20KYB	2,393	2371	2,10
17	MT30KYB	2387	2368	2,35

4.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

4.2.1. Mekanik özellikler deney sonuçları

4.2.1.1. Basınç dayanımı

Basınç dayanımı deneyleri 15 cm'lik standart küp numuneler üzerinde 7., 28., 90. ve 400. günlerde gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4.3. Sertleşmiş beton numunelerinin 7, 28, 90 ve 400 günlük basınç dayanımı deney sonuçları

	Beton türü	7 Gün (MPa)	28 GÜN (MPa)	7/28	90 GÜN (MPa)	400 GÜN (MPa)
1	ŞAHİT550KYB	64,87 (0,85)	75,89 (1,00)*	0,85	85,08 (1,12)	102,45 (1,35)
2	UK15KYB	62,09 (0,82)	74,21 (0,98)	0,84	87,05 (1,15)	102,03 (1,34)
3	UK25KYB	61,38 (0,81)	73,36 (0,97)	0,84	86,34 (1,14)	105,69 (1,39)
4	UK35KYB	55,13 (0,73)	67,47 (0,89)	0,82	79,35 (1,05)	92,21 (1,22)
5	YFC20KYB	62,30 (0,82)	77,17 (1,02)	0,81	87,86 (1,16)	101,79 (1,34)
6	YFC40KYB	63,43 (0,84)	74,77 (0,99)	0,83	89,08 (1,17)	96,84 (1,28)
7	YFC60KYB	58,14 (0,77)	71,59 (0,94)	0,81	80,65 (1,06)	85,47 (1,13)
8	KT10KYB	60,35 (0,80)	69,30 (0,91)	0,87	80,18 (1,06)	86,00 (1,13)
9	KT20KYB	57,41 (0,76)	65,17 (0,86)	0,88	74,22 (0,98)	78,61 (1,04)
10	KT30KYB	54,84 (0,72)	60,21 (0,79)	0,91	67,20 (0,89)	72,42 (0,95)
11	BT10KYB	64,86 (0,85)	72,09 (0,95)	0,90	83,25 (1,10)	89,49 (1,18)
12	BT20KYB	59,74 (0,79)	65,91 (0,87)	0,91	77,34 (1,02)	81,87 (1,08)
13	BT30KYB	51,65 (0,68)	62,20 (0,82)	0,83	72,42 (0,95)	78,38 (1,03)
14	DZ5KYB	63,00 (0,83)	73,39 (0,97)	0,86	84,00 (1,11)	101,68 (1,34)
15	MT10KYB	65,95 (0,87)	76,28 (1,01)	0,86	86,33 (1,14)	102,59 (1,35)
16	MT20KYB	67,04 (0,88)	77,47 (1,02)	0,87	82,22 (1,08)	96,77 (1,28)
17	MT30KYB	59,38 (0,78)	70,80 (0,93)	0,84	80,58 (1,06)	93,40 (1,23)

*Şahit betonun 28 günlük dayanımı referans alınmıştır.

Üretilen numuneler 20 ± 2 °C sıcaklıkta kirece doymun 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.

4.2.1.2. Birim ağırlık deneyleri

Birim ağırlık deneyleri 15 cm'lik standart küp numuneler üzerinde 7., 28., 90. ve 400. günlerde gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4.4. Sertleşmiş beton numunelerinin 7, 28, 90 ve 400 günlük birim ağırlık deney sonuçları

	Beton türü	7 Gün (kg/m ³)	28 Gün (kg/m ³)	90 Gün (kg/m ³)	400 Gün (kg/m ³)
1	ŞAHİT550KYB	2,425	2,427	2,430	2,435
2	UK15KYB	2,409	2,411	2,412	2,418
3	UK25KYB	2,392	2,394	2,396	2,402
4	UK35KYB	2,377	2,382	2,384	2,389
5	YFC20KYB	2,434	2,435	2,437	2,440
6	YFC40KYB	2,428	2,430	2,434	2,440
7	YFC60KYB	2,410	2,413	2,414	2,419
8	KT10KYB	2,431	2,432	2,432	2,436
9	KT20KYB	2,428	2,430	2,431	2,430
10	KT30KYB	2,418	2,419	2,419	2,423
11	BT10KYB	2,434	2,435	2,436	2,441
12	BT20KYB	2,419	2,422	2,423	2,424
13	BT30KYB	2,424	2,425	2,427	2,431
14	DZ5KYB	2,432	2,434	2,435	2,442
15	MT10KYB	2,420	2,421	2,423	2,429
16	MT20KYB	2,428	2,428	2,429	2,432
17	MT30KYB	2,419	2,419	2,420	2,420

Sertleşmiş beton deney numuneleri üzerinde yapılan birim ağırlık deneyleri sonucunda elde edilen değerler Tablo 4.4’de gösterilmiştir. Birim ağırlık deney sonuçları, dinamik elastisite modüllerinin (E_d) bulunmasında ilgili formüllerde de kullanılarak E_d için gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

4.2.1.3. Ultrases geçiş hızı deneyleri

Ultrases geçiş hızı deneyleri sertleşmiş beton numunelerinin basınç dayanımı deneyleri yapılmadan önce 15 cm’lik standart küp numuneler üzerinde 7., 28., 90. ve 400. günlerde gerçekleştirilmiştir. Numuneler, buldukları ortamdaki ortamdan çıkarıldıktan sonra bir havlu ile silinerek yüzeylerinin kurumaması beklenmiş, düz bir zemin üzerine konularak deneyler gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4.5. Sertleşmiş beton numuneleri üzerinde yapılan ultrases geçiş hızı deney sonuçları

	Beton türü	7 GÜN (m/sn)	28 GÜN (m/sn)	90 GÜN (m/sn)	400 GÜN (m/sn)
1	ŞAHİT550KYB	4416	4650	4796	4995
2	UK15KYB	4375	4621	4750	4992
3	UK25KYB	4286	4593	4808	5014
4	UK35KYB	4210	4535	4702	4935
5	YFC20KYB	4292	4680	4823	4989
6	YFC40KYB	4399	4620	4886	4960
7	YFC60KYB	4284	4551	4715	4797
8	KT10KYB	4195	4506	4702	4812
9	KT20KYB	4280	4440	4630	4698
10	KT30KYB	4193	4222	4502	4611
11	BT10KYB	4425	4600	4755	4891
12	BT20KYB	4233	4462	4688	4729
13	BT30KYB	4161	4380	4587	4693
14	DZ5KYB	4386	4598	4773	4970
15	MT10KYB	4446	4679	4808	4998
16	MT20KYB	4527	4694	4735	4969
17	MT30KYB	4230	4550	4709	4948

Ultrases geçiş hızı ölçümü sırasında, numunenin deneye tabi tutulacak yüzeyleri özel bir gres yağı ile yağlanarak ultrases cihazına ait problar 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. Sertleşmiş beton deney numuneleri üzerinde yapılan ultrases geçiş hızı deneyleri ile elde edilen sonuçlar Tablo 4.5'te gösterilmiştir.

4.2.1.4. Statik ve dinamik elastisite modülü deneyleri

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 doymuş 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 kısılma 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].

Tablo 4.6. Deney numunelerinin statik ve dinamik elastisite modülü deney sonuçları ve statik elastisite modülünün ilgili standartların önerdiği bağıntılar ile karşılaştırılması

	Beton Türü	Ed (GPa)	E _c (GPa)	TS 500 (GPa)	E _{TS500} /E _C	ACI 318-95 (GPa)	E _{ACI318-95} /E _C
1	ŞAHİT550KYB	49,30	41,62	42,31	1,02	41,21	0,99
2	UK15KYB	47,75	41,47	42,00	1,01	40,75	0,98
3	UK25KYB	47,12	39,18	41,84	1,07	40,51	1,03
4	UK35KYB	45,45	37,37	40,70	1,09	38,85	1,04
5	YFC20KYB	50,18	42,09	42,55	1,01	41,55	0,99
6	YFC40KYB	48,90	41,18	42,10	1,02	40,90	0,99
7	YFC60KYB	46,33	40,35	41,50	1,03	40,02	0,99
8	KT10KYB	46,92	39,43	41,06	1,04	39,38	1,00
9	KT20KYB	46,54	38,75	40,24	1,04	38,18	0,99
10	KT30KYB	43,29	35,32	39,22	1,11	36,70	1,04
11	BT10KYB	48,18	40,40	41,59	1,03	40,16	0,99
12	BT20KYB	49,16	39,77	40,39	1,02	38,40	0,97
13	BT30KYB	46,29	37,38	39,63	1,06	37,30	1,00
14	DZ5KYB	46,81	39,54	41,84	1,06	40,52	1,02
15	MT10KYB	49,39	40,51	42,38	1,05	41,31	1,02
16	MT20KYB	49,16	44,15	42,61	0,97	41,63	0,94
17	MT30KYB	49,06	40,69	41,35	1,02	39,80	0,98

Ayrıca belirlenen statik elastisite modülü değerleri TS 500’de önerilen (4.1) bağıntısı ile [184],

$$E_c = 3,25.(f_c)^{1/2} + 14 \quad (4.1)$$

Amerikan Beton enstitüsünün (ACI 318-95) önerdiği (4.2) bağıntısı ile [185],

$$E_c = 4,73.(f_c)^{1/2} \quad (4.2)$$

Tablo 4.6. (Devam) Deney numunelerinin statik ve dinamik elastisite modülleri sonuçları ve statik elastisite modülü değerlerinin ilgili standartların önerdiği bağıntılar ile karşılaştırılması

	Beton Türü	ACI 363 (GPa)	E_{ACI} $_{363}/E_C$	CEB- FIB 90 (GPa)	E_{CEB-} FIB $_{90}/E_C$	NS 3473 (GPa)	E_{NS} $_{3473}/E_C$
1	ŞAHİT550KYB	35,82	0,86	43,78	1,05	34,82	0,84
2	UK15KYB	35,50	0,86	43,48	1,05	34,58	0,83
3	UK25KYB	35,34	0,90	43,33	1,11	34,46	0,88
4	UK35KYB	34,17	0,91	42,26	1,13	33,61	0,90
5	YFC20KYB	36,07	0,86	44,00	1,05	34,99	0,83
6	YFC40KYB	35,61	0,86	43,58	1,06	34,66	0,84
7	YFC60KYB	34,99	0,87	43,01	1,07	34,21	0,85
8	KT10KYB	34,54	0,88	42,60	1,08	33,88	0,86
9	KT20KYB	33,70	0,87	41,83	1,08	33,26	0,86
10	KT30KYB	32,66	0,92	40,86	1,16	32,48	0,92
11	BT10KYB	35,09	0,87	43,10	1,07	34,28	0,85
12	BT20KYB	33,85	0,85	41,97	1,06	33,37	0,84
13	BT30KYB	33,08	0,89	41,25	1,10	32,80	0,88
14	DZ5KYB	35,34	0,89	43,34	1,10	34,47	0,87
15	MT10KYB	35,90	0,89	43,84	1,08	34,87	0,86
16	MT20KYB	36,12	0,82	44,05	1,00	35,03	0,79
17	MT30KYB	34,84	0,86	42,87	1,05	34,10	0,84

CEB-FIB 90 standardı tarafından önerilen (4.3) bağıntısı ile [186],

$$E_c = 10.(f_c+8)^{1/3} \quad (4.3)$$

Amerikan Beton Enstitüsü (ACI 363) tarafından önerilen (4.4) bağıntısı ile [187],

$$E_c = 3,32.(f_c)^{1/2}+6,9 \quad (4.4)$$

ve Norveç standardı (NS 3473) tarafından önerilen (4.5) bağıntısı ile [188]

$$E_c = 9,5.(f_c)^{0,3} \quad (4.5)$$

karşılaştırılarak ilgili standartlar ile arasındaki ilişki belirlenmiş ve Tablo 4.6’da gösterilmiştir.

4.2.2. Yapısal perde elemanları deneyleri

KYB’lerin sıkı donatılı, dar kesitli yapısal perde elemanlarında herhangi bir sıkıştırmaya tabi tutulmadan “kendiliğinden yerleşebilirlik” özelliklerinin saha koşullarında belirlendiği 300 cm x 150 cm x 20 cm ebatlarındaki yapısal perde elemanlarına tek bir noktadan beton dökülerek eleman boyunca dar kesit ve sıkı donatılar arasından geçen betonun yatay ve düşeydeki dayanım, su emme ve birim ağırlık değişimi beton döküm noktasına göre karşılaştırmalı olarak belirlenmiştir. Şekil 3.17’de görüleceği üzere daha önceden belirlenen noktalardan alınan karot numunelere basınç dayanımı deneyleri yapılmadan önce birim ağırlık ve su emme oranı deneyleri yapılmıştır.

Perde beton deneylerinin ilki, geleneksel beton (550 dozajlı) olarak dizayn edilen ve vibratör vasıtasıyla sıkıştırma uygulanan L şekilli perde elemanından (betonun döküldüğü nokta esas alınarak belirlenen A yüzeyinden ve diğer yüzey olarak B yüzeyinden) alınan karot numuneler üzerinde yapılmış ve basınç dayanımı, birim ağırlık ve su emme oranı deneyleri sonucunda bulunan değerler Tablo 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.7. Geleneksel beton olarak üretilen L şekilli perde elemanından alınan karot numunelerinin basınç dayanımı, birim ağırlık ve su emme oranı sonuçları (A yüzeyi)

Betonun döküldüğü nokta

45,07*		48,14		46,35
(1,00)**		(1,07)		(1,03)
2,418***		2,415		2,414
4,25****		3,87		4,06
48,94		51,04		61,31
(1,09)		(1,13)		(1,36)
2,415		2,422		2,440
3,98		3,63		2,71
54,77		58,17		58,59
(1,22)		(1,29)		(1,30)
2,426		2,432		2,436
3,30		3,16		3,01
61,14		60,37		59,77
(1,36)		(1,34)		(1,33)
2,438		2,434		2,434
2,76		2,80		2,95
52,48*****		54,43		56,50

*Karot basınç dayanımı, **Beton döküm noktası referans alınarak basınç dayanımı oranları, *** Birim ağırlık değerleri, ****Su emme oranı değerleri, *****Düşeyde karot basınç dayanımı ortalaması alınmıştır.

Tablo 4.7. (Devam) Geleneksel beton olarak üretilen L şekilli perde elemanından alınan karot numunelerin basınç dayanımı, birim ağırlık ve su emme oranı sonuçları (B yüzeyi)

44,20 (0,98) 2,411 4,24		42,61 (0,95) 2,405 4,44		43,00 (0,95) 2,410 4,39	44,90* *****
55,83 (1,24) 2,437 3,15		53,87 (1,20) 2,432 3,47		57,08 (1,27) 2,430 3,14	54,67
50,31 (1,12) 2,420 3,86		51,60 (1,14) 2,421 3,55		50,54 (1,12) 2,425 3,79	53,99
55,52 (1,23) 2,429 3,27		55,99 (1,24) 2,429 3,18		57,43 (1,27) 2,435 3,11	58,37
51,47		51,02		52,01	

***** Yatayda karot basınç dayanımı ortalaması alınmıştır.

Tablo 4.8. Şahit beton olarak isimlendirilen L şekilli perde elemanından alınan karot numunelerinin basınç dayanımı, birim ağırlık ve su emme oranı sonuçları (A yüzeyi)

Betonun döküldüğü nokta

40,00 (1,00) 2,402 2,40		46,09 (1,15) 2,417 1,50		41,40 (1,04) 2,408 2,23
44,50 (1,11) 2,406 1,61		49,88 (1,25) 2,427 1,35		48,31 (1,21) 2,417 1,46
47,67 (1,19) 2,418 1,50		44,30 (1,11) 2,409 1,72		42,55 (1,06) 2,409 1,95
49,35 (1,23) 2,423 1,24		50,23 (1,26) 2,425 1,22		46,66 (1,17) 2,417 1,58
45,38		47,63		44,73

Perde beton deneylerinin ikincisi, 550 dozda şahit KYB olarak isimlendirilen ve herhangi bir sıkıştırma uygulanmayan L şekilli perde elemanından alınan karot

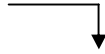
numuneler üzerinde yapılmış ve basınç dayanımı, birim ağırlık ve su emme oranı deneyleri sonucunda bulunan değerler Tablo 4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.8. (Devam) Şahit beton olarak isimlendirilen L şekilli perde elemanından alınan karot numunelerin basınç dayanımı, birim ağırlık ve su emme oranı sonuçları (B yüzeyi)

43,70		44,45		43,17	43,14
(1,09)		(1,11)		(1,08)	
2,408		2,410		2,404	
1,80		1,56		1,89	
48,40		50,06		46,78	47,99
(1,21)		(1,25)		(1,17)	
2,424		2,412		2,409	
1,41		1,25		1,61	
46,23		42,94		40,35	44,00
(1,16)		(1,07)		(1,01)	
2,415		2,425		2,413	
1,61		2,05		2,38	
47,20		49,35		44,54	47,89
(1,18)		(1,23)		(1,11)	
2,419		2,427		2,413	
1,53		1,40		1,65	
46,38		46,70		43,71	

Tablo 4.9. Çimento ile %15 uçucu kül ikameli olarak üretilen L şekilli perde elemanından alınan karot numunelerin basınç dayanımı, birim ağırlık ve su emme oranı sonuçları (A yüzeyi)

Betonun döküldüğü nokta



53,60 (1,00) 2,375 2,82			54,88 (1,02) 2,389 2,63			54,02 (1,01) 2,380 2,60
56,48 (1,05) 2,396 2,19			57,23 (1,07) 2,394 1,93			55,97 (1,04) 2,379 2,75
55,68 (1,04) 2,388 2,40			56,09 (1,05) 2,380 2,08			57,50 (1,07) 2,374 1,85
55,89 (1,04) 2,391 2,13			56,17 (1,05) 2,392 1,97			53,99 (1,01) 2,381 2,54
55,41			56,09			55,37

Perde beton deneylerinin üçüncüsü, çimentonun %15 oranındaki uçucu kül ile ikame edilmesiyle üretilen ve KYB olarak dizayn edilen L şekilli perde elemanından alınan

karot numuneler üzerinde yapılmış ve basınç dayanımı, birim ağırlık ve su emme oranı deneyleri sonucunda bulunan değerler Tablo 4.9'da verilmiştir.

Tablo 4.9. (Devam) Çimento ile %15 uçucu kül ikameli olarak üretilen L şekilli perde elemanından alınan karot numunelerin basınç dayanımı, birim ağırlık ve su emme oranı sonuçları (B yüzeyi)

53,01 (0,99) 2,376 3,05		46,45 (0,87) 2,372 3,27		43,88 (0,82) 2,370 3,38	50,97
54,02 (1,01) 2,388 2,42		54,07 (1,01) 2,385 2,55		47,87 (0,89) 2,375 3,19	54,27
53,78 (1,01) 2,379 2,13		54,11 (1,01) 2,380 2,15		52,32 (0,98) 2,376 3,01	54,91
53,69 (1,01) 2,388 2,19		55,18 (1,03) 2,391 1,82		54,87 (1,02) 2,399 2,03	55,00
53,69		52,45		49,74	

Tablo 4.10. Çimento ile %35 uçucu kül ikameli olarak üretilen L şekilli perde elemanından alınan karot numunelerin basınç dayanımı, birim ağırlık ve su emme oranı sonuçları (A yüzeyi)

Betonun döküldüğü nokta

42,71 (1,00) 2,352 3,05			40,37 (0,95) 2,340 3,40			41,33 (0,97) 2,344 3,30
45,37 (1,06) 2,358 2,56			47,83 (1,12) 2,356 2,48			43,76 (1,02) 2,346 3,27
44,79 (1,05) 2,350 2,85			46,34 (1,08) 2,357 2,54			45,28 (1,06) 2,360 2,69
43,80 (1,03) 2,365 2,68			44,90 (1,05) 2,370 2,63			46,76 (1,09) 2,362 2,51
44,17			44,86			44,28

Perde beton deneylerinin dördüncüsü, çimentonun %35 oranında uçucu kül ile ikame edilmesiyle üretilen ve KYB olarak dizayn edilen L şekilli perde elemanından alınan

karot numuneler üzerinde yapılmış ve basınç dayanımı, birim ağırlık ve su emme oranı deneyleri sonucunda bulunan değerler Tablo 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4.10. (Devam) Çimento ile %35 uçucu kül ikameli olarak üretilen L şekilli perde elemanından alınan karot numunelerin basınç dayanımı, birim ağırlık ve su emme oranı sonuçları (B yüzeyi)

42,15		41,48		42,94	41,83
(0,99)		(0,97)		(1,01)	
2,350		2,345		2,350	
3,74		3,19		2,97	
43,94		44,52		43,08	44,75
(1,03)		(1,04)		(1,01)	
2,348		2,360		2,359	
3,15		2,89		3,01	
45,73		44,87		43,11	45,02
(1,07)		(1,05)		(1,01)	
2,355		2,348		2,355	
2,46		2,82		2,89	
45,14		42,04		44,23	44,48
(1,06)		(0,98)		(1,04)	
2,364		2,358		2,359	
2,64		3,46		2,77	
44,24		43,23		43,34	

Tablo 4.11. Çimento ile %15 kalker tozu ikameli olarak üretilen L şekilli perde elemanından alınan karot numunelerin basınç dayanımı, birim ağırlık ve su emme oranı sonuçları (A yüzeyi)

Betonun döküldüğü nokta



45,43 (1,00) 2,401 3,56		45,38 (0,99) 2,408 3,55		44,71 (0,98) 2,403 3,61
43,86 (0,97) 2,394 3,64		44,84 (0,99) 2,398 3,45		49,93 (1,10) 2,408 2,86
45,90 (1,01) 2,405 3,50		42,09 (0,93) 2,394 3,84		43,41 (0,96) 2,399 3,69
46,55 (1,02) 2,422 3,39		46,07 (1,01) 2,414 3,40		46,91 (1,03) 2,417 3,35
45,44		44,60		46,24

Perde beton deneylerinin beşincisi, çimentonun %15 oranında kalker tozu ile ikame edilmesiyle üretilen ve KYB olarak dizayn edilen L şekilli perde elemanından alınan

karot numuneler üzerinde yapılmış ve basınç dayanımı, birim ağırlık ve su emme oranı deneyleri sonucunda bulunan değerler Tablo 4.11’de verilmiştir.

Tablo 4.11. (Devam) Çimento ile %15 kalker tozu ikameli olarak üretilen L şekilli perde elemanından alınan karot numunelerin basınç dayanımı, birim ağırlık ve su emme oranı sonuçları (B yüzeyi)

46,50		48,10		45,03	45,86
(1,02)		(1,06)		(0,99)	
2,413		2,415		2,400	
3,32		3,11		3,55	
45,88		47,99		45,77	46,38
(1,01)		(1,06)		(1,01)	
2,403		2,416		2,401	
3,35		2,94		3,46	
50,03		48,06		46,95	46,07
(1,10)		(1,06)		(1,03)	
2,428		2,414		2,407	
2,82		3,00		3,37	
51,74		52,27		51,86	49,23
(1,14)		(1,15)		(1,14)	
2,426		2,421		2,417	
2,67		2,53		2,57	
48,54		49,10		47,40	

Tablo 4.12. Çimento ile %30 kalker tozu ikameli olarak üretilen L şekilli perde elemanından alınan karot numunelerin basınç dayanımı, birim ağırlık ve su emme oranı sonuçları (A yüzeyi)

Betonun döküldüğü nokta

42,38 (1,00) 2,396 4,02		36,92 (0,87) 2,382 5,36		37,44 (0,88) 2,391 5,33
38,08 (0,90) 2,389 5,07		40,72 (0,96) 2,397 4,57		38,87 (0,92) 2,389 4,91
40,75 (0,96) 2,399 4,83		43,19 (1,02) 2,407 3,98		44,93 (1,06) 2,412 3,71
44,58 (1,05) 2,410 3,45		45,79 (1,08) 2,420 3,89		45,80 (1,08) 2,414 3,37
41,45		41,66		41,76

Perde beton deneylerinin altıncısı, çimentonun %30 oranında kalker tozu ile ikame edilmesiyle üretilen ve KYB olarak dizayn edilen L şekilli perde elemanından alınan karot numuneler üzerinde yapılmış ve basınç dayanımı, birim ağırlık ve su emme oranı deneyleri sonucunda bulunan değerler Tablo 4.12’de verilmiştir.

Tablo 4.12. (Devam) Çimento ile %30 kalker tozu ikameli olarak üretilen L şekilli perde elemanından alınan karot numunelerin basınç dayanımı, birim ağırlık ve su emme oranı sonuçları (B yüzeyi)

38,50 (0,91) 2,399 5,29		36,96 (0,87) 2,378 5,67		37,77 (0,89) 2,376 5,38	38,33
44,70 (1,05) 2,401 3,66		42,00 (0,99) 2,399 4,10		40,78 (0,96) 2,388 4,82	40,86
45,81 (1,08) 2,410 3,54		44,13 (1,04) 2,403 3,79		41,53 (0,98) 2,381 4,05	43,39
43,75 (1,03) 2,412 3,91		42,20 (0,99) 2,408 4,19		42,04 (0,99) 2,401 4,15	44,03
43,19		41,32		40,53	

Tablo 4.13. Çimento ile %15 mermer tozu ikameli olarak üretilen L şekilli perde elemanından alınan karot numunelerin basınç dayanımı, birim ağırlık ve su emme oranı sonuçları (A yüzeyi)

Betonun döküldüğü nokta

51,35 (1,00) 2,393 4,62				52,51 (1,02) 2,400 4,47				49,53 (0,96) 2,390 4,75
55,53 (1,08) 2,402 4,35				50,49 (0,98) 2,389 4,71				53,13 (1,03) 2,404 4,27
55,91 (1,09) 2,405 4,33				56,54 (1,10) 2,409 4,13				56,06 (1,09) 2,407 4,25
56,60 (1,10) 2,415 4,07				48,91 (0,95) 2,417 4,80				55,89 (1,09) 2,409 4,18
54,85				52,11				53,65

Perde beton deneylerinin sonucunu, çimentonun %15 oranında mermer tozu ile ikame edilmesiyle üretilen ve KYB olarak dizayn edilen L şekilli perde elemanından alınan karot numuneler üzerinde yapılmış ve basınç dayanımı, birim ağırlık ve su emme oranı deneyleri sonucunda bulunan değerler Tablo 4.13'te verilmiştir.

Tablo 4.13. (Devam) Çimento ile %15 mermer tozu ikameli olarak üretilen L şekilli perde elemanından alınan karot numunelerin basınç dayanımı, birim ağırlık ve su emme oranı sonuçları (B yüzeyi)

50,07			52,60			49,77	50,97
(0,98)			(1,02)			(0,97)	
2,393			2,401			2,396	
4,80			4,48			4,68	
52,02			46,57			53,46	51,87
(1,01)			(0,91)			(1,04)	
2,400			2,385			2,409	
4,62			4,92			4,40	
54,08			54,25			46,52	53,89
(1,05)			(1,06)			(0,91)	
2,412			2,413			2,382	
4,25			4,20			4,90	
51,10			49,84			53,83	52,70
(1,00)			(0,97)			(1,05)	
2,409			2,410			2,414	
4,39			4,60			4,43	
51,82			50,82			50,90	

Tablo 4.14. Perde elemanlarının ortalama basınç dayanımı ile laboratuvar koşullarının basınç dayanımının karşılaştırılması

BETON TÜRÜ	Perde Elemanının Ort. Karot Bas. Day. (MPa) (1)	Laboratuvar numunelerinin Ort. Standart Küp Bas. Day. (MPa) (2)	Laboratuvar numunelerinin Ort. Eşdeğer Standart Sil. Bas. Day. (MPa) (3)	Perde Karot/Standart Silindir (%) (1/3)
GELENEKSEL BETON	52,99	76,40	61,12	87
ŞAHİT550KYB	45,75	75,89	60,71	76
UK15KYB	53,79	73,78	58,29	92
UK35KYB	44,02	67,47	53,97	82
KT10KYB	46,89	69,30	55,44	85
KT30KYB	41,65	60,21	48,17	86
MT15KYB	52,36	70,80	56,64	93

Tablo 4.14'te perde elemanlarının her birinden alınan karot numunelerin basınç dayanımı değerlerinin ortalaması gösterilmiştir. Her bir perde elemanı için 24 noktadan karot numunesi alınmış ve tüm değerler toplanarak ortalama karot basınç dayanımı değerleri belirlenmiştir. Perde elemanlarının karot numune basınç dayanımı ortalamaları, aynı bileşimde laboratuvar koşullarında üretilen numunelerin basınç dayanımı ortalaması ile karşılaştırılmıştır. Böylece saha koşullarında üretilen beton numuneleri ile laboratuvar koşullarında üretilen beton numuneleri arasındaki ilişki % cinsinden belirlenmiştir.

Tablo 4.15'te ise perde elemanlarının Schmidt çekici (geri tepme değeri) okumaları verilmiştir. Schmidt çekici deneyi, karot numune alımı için belirlenen noktalara karot numune alınmadan önce uygulanmıştır. Bir nokta için 10 adet geri tepme okuması yapılmış ve bu okumaların ortalaması alınarak her bir nokta için geri tepme değerleri ölçülmüştür.

Tablo 4.15. Perde elemanlarının Schmidt çekici (geri tepme değeri) okumaları

PERDE NO	GEL. BETON	ŞAHİT 550KYB	UK15 KYB	UK35 KYB	KT10 KYB	KT30 KYB	MT15 KYB
P11	41	43	42	42	40	39	40
P12	40	43	44	43	41	44	40
P13	42	42	46	44	40	40	41
P14	42	40	42	38	42	39	41
P15	42	42	43	39	43	38	40
P16	42	40	46	38	44	40	41
P21	41	44	47	42	41	39	42
P22	43	47	48	43	40	40	41
P23	44	48	48	44	42	40	41
P24	43	43	44	40	42	40	41
P25	42	40	47	38	42	40	42
P26	43	43	47	39	42	40	42
P31	46	48	48	42	40	40	42
P32	43	46	50	44	41	40	41
P33	42	46	48	45	41	40	42
P34	42	42	45	39	42	41	42
P35	42	44	46	41	43	40	43
P36	40	42	48	40	45	40	41
P41	44	44	48	42	42	39	42
P42	41	48	47	41	41	42	41
P43	42	46	48	41	41	41	41
P44	42	45	46	38	42	40	42
P45	43	44	47	40	43	41	43
P46	41	43	47	41	45	40	43
Ort.	42,20	43,87	46,33	41,00	41,88	40,13	41,45

4.2.3. Dayanıklılık deney sonuçları

4.2.3.1. Hızlı klorür geçirgenliği deneyi

Farklı karışımlarda dizayn edilerek üretilen KYB'ler üzerinde yapılan hızlı klorür geçirgenliği deneyleri sonucunda elde edilen değerler Tablo 4.16'da verilmiştir. Deneyler, 10 cm çapında ve 20 cm silindir numunelerin uçlarının kesilmesi sonucu 5 cm kalınlığında kalan dilim üzerinde yapılmış ve numuneler 28 günlük kür sonunda deneye tabi tutulmuştur. Yük değerlerine karşılık gelen geçirgenlik sınıfları ASTM C 1202-97 standardı esas alınarak belirlenmiştir.

Tablo 4.16. KYB numunelerinin hızlı klorür geçirgenliği deney sonuçları

	BETON TÜRÜ	YÜK (COULOMB)	GEÇİRGENLİK SINIFI
1	ŞAHİT550KYB	1249	DÜŞÜK
2	UK15KYB	459	ÇOK DÜŞÜK
3	UK25KYB	290	ÇOK DÜŞÜK
4	UK35KYB	157	ÇOK DÜŞÜK
5	YFC20KYB	456	ÇOK DÜŞÜK
6	YFC40KYB	163	ÇOK DÜŞÜK
7	YFC60KYB	116	ÇOK DÜŞÜK
8	KT10KYB	992	ÇOK DÜŞÜK
9	KT20KYB	1192	DÜŞÜK
10	KT30KYB	1467	DÜŞÜK
11	BT10KYB	1060	DÜŞÜK
12	BT20KYB	1203	DÜŞÜK
13	BT30KYB	990	ÇOK DÜŞÜK
14	DZ5KYB	1196	DÜŞÜK
15	MT10KYB	708	ÇOK DÜŞÜK
16	MT20KYB	686	ÇOK DÜŞÜK
17	MT30KYB	645	ÇOK DÜŞÜK

4.2.3.2. Basınçlı su derinliği (İmpermeabilite) deneyi

15*15*15 cm standart küp numunelerin 48 saat 1 bar, 24 saat 3 bar ve 24 saat 7 bar basınç altında tutulması sonucu yapılan basınçlı su derinliği (İmpermeabilite) deneyleri sonucu elde edilen değerler Tablo 4.17’de gösterilmiştir. Numune üzerinde yarma deneyi yapılarak su işleme derinliği ölçülmüştür. Numuneler 28 gün standartlara uygun olarak su içerisinde kür edildikten sonra basınçlı su derinliği deneyleri yapılmış ve derinlikler ölçülmüştür.

Tablo 4.17. Farklı bileşimlerde üretilen KYB numunelerinin basınçlı su işleme derinliği sonuçları

	Beton Türü	Basınçlı Su Derinliği (mm)
1	ŞAHİT550KYB	5,68
2	UK15KYB	4,79
3	UK25KYB	5,90
4	UK35KYB	8,73
5	YFC20KYB	4,42
6	YFC40KYB	7,79
7	YFC60KYB	10,57
8	KT10KYB	8,25
9	KT20KYB	10,34
10	KT30KYB	12,58
11	BT10KYB	8,06
12	BT20KYB	10,10
13	BT30KYB	11,97
14	DZ5KYB	5,55
15	MT10KYB	5,41
16	MT20KYB	7,25
17	MT30KYB	8,34

4.2.3.3. Sülfat direnci deneyleri

Sülfat etkisi deneyleri için farklı karışımlarda hazırlanan KYB deney numuneleri 400 gün boyunca %10 NaSO₄ ve %10 MgSO₄ çözeltisi içerisinde bekletilerek normal suda kür edilen numunelere göre basınç dayanımlarındaki değişimler kıyaslanmış ve Tablo 4.18 ve Tablo 4.19'da gösterilmiştir.

Tablo 4.18. %10 NaSO₄ çözeltisinde bekletilen numunelerin dayanım kayıpları

	BETON TÜRÜ	BASINÇ DAY. (SUDA) (MPa)	BASINÇ DAY. (%10 NaSO₄) (MPa)	BASINÇ DAY. KAYBI (%)
1	ŞAHİT550KYB	102,45	92,78	9,44
2	UK15KYB	102,03	94,90	6,99
3	UK25KYB	105,69	101,22	4,23
4	UK35KYB	92,21	89,38	3,07
5	YFC20KYB	101,79	98,24	3,49
6	YFC40KYB	96,84	95,37	1,52
7	YFC60KYB	85,47	82,26	3,75
8	KT10KYB	86,00	78,35	8,89
9	KT20KYB	78,61	73,85	6,05
10	KT30KYB	72,42	67,96	6,16
11	BT10KYB	89,49	82,87	7,40
12	BT20KYB	81,87	77,50	5,34
13	BT30KYB	78,38	73,68	6,00
14	DZ5KYB	101,68	92,22	9,30
15	MT10KYB	102,59	92,66	9,68
16	MT20KYB	96,77	88,65	8,39
17	MT30KYB	93,40	88,22	5,55

Tablo 4.19. %10 MgSO₄ çözeltisi içerisinde bekletilen deney numunelerinin basınç dayanım kayıpları

	BETON TÜRÜ	BASINÇ DAYANIMI (SUDA) (MPa)	BASINÇ DAYANIMI (%10 MgSO₄) (MPa)	BASINÇ DAYANIM KAYBI (%)
1	ŞAHİT550KYB	102,45	89,04	13,09
2	UK15KYB	102,03	91,48	10,34
3	UK25KYB	105,69	96,39	8,80
4	UK35KYB	92,21	85,84	6,91
5	YFC20KYB	101,79	96,06	5,63
6	YFC40KYB	96,84	92,43	4,55
7	YFC60KYB	85,47	81,47	4,68
8	KT10KYB	86,00	75,29	12,45
9	KT20KYB	78,61	71,44	9,12
10	KT30KYB	72,42	65,98	8,89
11	BT10KYB	89,49	79,20	11,50
12	BT20KYB	81,87	74,11	9,48
13	BT30KYB	78,38	71,53	8,74
14	DZ5KYB	101,68	89,85	11,63
15	MT10KYB	102,59	90,08	12,19
16	MT20KYB	96,77	84,80	12,37
17	MT30KYB	93,40	84,40	9,64

Deney numuneleri %10 NaSO₄ ve %10 MgSO₄ çözeltisine 400 gün boyunca maruz bırakılmadan önce ağırlıkları tartılmış ve daha sonra çözeltilere konulmuştur. Ağırlık değişimleri üçer aylık sürelerle değerlendirilerek 400 gün sonunda oluşan ağırlıklardaki değişim belirlenmiştir. Her iki çözelti için KYB deney numunelerinin

ilk ağırlık referans alınarak üçer aylık periyotlarla ölçülen numune ağırlıklarındaki değişim Tablo 4.20 ve Tablo 4.21’de verilmiştir.

Tablo 4.20. %10 MgSO₄ çözeltisi içerisinde bekletilen deney numunelerinin ağırlık değişimleri

	Beton türü	İlk Ağırlık (gr)	3 Ay Sonundaki Ağırlık (gr)	% Değ.	6 Ay Sonundaki Ağırlık (gr)	% Değ.
1	ŞAHİT550KYB	2407,84	2416,32	0,35	2438,50	1,26
2	UK15KYB	2348,57	2357,14	0,36	2368,85	0,86
3	UK25KYB	2365,98	2373,05	0,30	2377,60	0,49
4	UK35KYB	2438,96	2447,20	0,34	2462,10	0,94
5	YFC20KYB	2407,93	2414,30	0,26	2426,90	0,78
6	YFC40KYB	2364,76	2377,09	0,52	2377,25	0,53
7	YFC60KYB	2387,84	2397,30	0,39	2400,50	0,53
8	KT10KYB	2375,94	2382,07	0,26	2394,75	0,79
9	KT20KYB	2403,78	2412,11	0,35	2417,05	0,55
10	KT30KYB	2340,07	2351,00	0,46	2361,40	0,90
11	BT10KYB	2350,56	2359,05	0,36	2362,70	0,51
12	BT20KYB	2340,46	2354,31	0,59	2367,60	1,15
13	BT30KYB	2330,56	2341,09	0,45	2371,15	1,71
14	DZ5KYB	2386,98	2397,32	0,43	2425,60	1,59
15	MT10KYB	2407,54	2419,31	0,49	2430,80	0,96
16	MT20KYB	2390,67	2400,02	0,39	2421,90	1,29
17	MT30KYB	2414,91	2416,08	0,05	2421,10	0,26

Tablo 4.20. (Devam) %10 MgSO₄ çözeltisi içerisinde bekletilen deney numunelerinin ağırlık değişimleri

	Beton türü	9 Ay Sonundaki Ağırlık (gr)	% Değ.	400 Gün Sonundaki Ağırlık (gr)	% Değ.
1	ŞAHİT550KYB	2444,95	1,52	2454,10	1,89
2	UK15KYB	2389,80	1,73	2395,85	1,97
3	UK25KYB	2386,40	0,86	2400,30	1,43
4	UK35KYB	2472,75	1,37	2473,10	1,38
5	YFC20KYB	2432,05	0,99	2434,40	1,09
6	YFC40KYB	2396,15	1,31	2403,20	1,60
7	YFC60KYB	2418,80	1,28	2428,30	1,67
8	KT10KYB	2411,85	1,49	2417,95	1,74
9	KT20KYB	2431,85	1,15	2437,25	1,37
10	KT30KYB	2378,95	1,63	2389,0	2,05
11	BT10KYB	2379,10	1,20	2399,95	2,06
12	BT20KYB	2383,00	1,79	2386,60	1,93
13	BT30KYB	2381,90	2,16	2398,85	2,85
14	DZ5KYB	2438,30	2,10	2443,20	2,30
15	MT10KYB	2443,35	1,47	2446,70	1,60
16	MT20KYB	2426,25	1,47	2425,60	1,44
17	MT30KYB	2429,65	0,60	2435,40	0,84

Tablo 4.21. %10 NaSO₄ çözeltisi içerisinde bekletilen deney numunelerinin ağırlık değişimleri

	Beton Türü	İlk Ağırlık (gr)	3 Ay Sonundaki Ağırlık (gr)	% Değ.	6 Ay Sonundaki Ağırlık (gr)	% Değ.
1	ŞAHİT550KYB	2376,50	2383,00	0,27	2398,75	0,93
2	UK15KYB	2388,40	2396,00	0,32	2414,90	1,10
3	UK25KYB	2329,78	2334,15	0,19	2335,30	0,24
4	UK35KYB	2360,00	2372,40	0,52	2383,25	0,98
5	YFC20KYB	2426,80	2434,19	0,30	2446,05	0,79
6	YFC40KYB	2405,80	2411,09	0,22	2414,50	0,36
7	YFC60KYB	2420,50	2430,11	0,40	2442,45	0,90
8	KT10KYB	2460,85	2469,25	0,34	2457,10	-0,15
9	KT20KYB	2426,80	2433,17	0,26	2425,80	-0,04
10	KT30KYB	2366,80	2375,00	0,35	2383,20	0,69
11	BT10KYB	2365,70	2377,40	0,49	2391,00	1,06
12	BT20KYB	2378,45	2386,34	0,33	2381,85	0,14
13	BT30KYB	2314,65	2325,14	0,45	2338,85	1,03
14	DZ5KYB	2392,80	2402,20	0,39	2410,25	0,72
15	MT10KYB	2428,75	2439,00	0,42	2444,65	0,65
16	MT20KYB	2398,90	2407,28	0,35	2406,05	0,30
17	MT30KYB	2426,65	2435,00	0,34	2443,15	0,68

Tablo 4.21. (Devam) %10 NaSO₄ çözeltisi içerisinde bekletilen deney numunelerinin ağırlık değişimleri

	Beton Türü	9 Ay Sonundaki Ağırlık (gr)	% Değ.	400 Gün Sonundaki Ağırlık (gr)	% Değ.
1	ŞAHİT550KYB	2398,70	0,93	2405,40	1,20
2	UK15KYB	2448,55	2,46	2442,50	2,21
3	UK25KYB	2340,25	0,45	2342,50	0,54
4	UK35KYB	2384,85	1,04	2386,70	1,12
5	YFC20KYB	2462,35	1,44	2465,80	1,58
6	YFC40KYB	2417,95	0,50	2425,70	0,82
7	YFC60KYB	2453,20	1,33	2453,85	1,36
8	KT10KYB	2490,70	1,20	2492,25	1,26
9	KT20KYB	2449,05	0,91	2454,00	1,11
10	KT30KYB	2392,70	1,08	2399,90	1,38
11	BT10KYB	2420,60	2,27	2426,70	2,51
12	BT20KYB	2404,75	1,09	2422,85	1,83
13	BT30KYB	2381,30	2,80	2390,90	3,19
14	DZ5KYB	2436,00	1,77	2443,55	2,08
15	MT10KYB	2477,45	1,97	2489,85	2,45
16	MT20KYB	2440,90	1,72	2460,70	2,51
17	MT30KYB	2482,75	2,26	2494,95	2,74

4.2.3.4. Yüksek sıcaklık deneyi

Bu kısımda, farklı karışımlarda tasarlanarak üretilen KYB deney numunelerinin 4 farklı sıcaklık derecesine maruz bırakılması sonucu basınç dayanımlarındaki değişim açıklanmaktadır. Polipropilen liflerin yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan betonlardaki etkinliğini belirlemek amacıyla numuneler hem lifli hem de liffsiz olarak üretilmiş ve 28 gün boyunca standartlara uygun olarak kür edilen numuneler 200 °C, 400 °C, 600 °C ve 800 °C’de yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmıştır.

Tablo 4.22. 200 °C, 400 °C, 600 °C ve 800 °C sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin basınç dayanımı değerleri

Deney No	Beton Türü	Şahit (MPa)	200 °C (MPa)	400 °C (MPa)	600 °C (MPa)	800 °C (MPa)
1	ŞAHİT550KYB	75,89	78,82	62,49	38,67	18,96
1L		74,77	65,97	56,50	31,44	13,29
2	UK15KYB	74,21	76,59	62,40	37,54	17,55
2L		73,40	62,38	54,33	28,87	13,00
3	UK25KYB	73,36	71,68	60,53	33,77	17,12
3L		72,30	61,90	50,89	27,76	12,85
4	UK35KYB	67,47	66,00	56,32	30,58	14,21
4L		67,40	49,67	44,77	24,83	10,70
5	YFC20KYB	69,30	68,93	56,42	29,69	15,26
5L		68,51	53,33	45,90	26,94	10,10
6	YFC40KYB	65,17	67,50	52,27	28,02	12,94
6L		65,29	52,00	42,48	25,14	9,40
7	YFC60KYB	60,21	56,65	48,11	27,35	10,87
7L		60,00	43,45	40,81	19,69	8,16
8	KT10KYB	72,09	71,10	60,00	33,90	16,40
8L		72,10	56,51	49,89	28,84	13,87
9	KT20KYB	65,91	64,85	52,01	33,83	13,85
9L		64,89	50,09	43,74	27,47	10,87
10	KT30KYB	62,20	60,06	48,08	30,05	12,44
10L		62,30	49,95	40,50	23,77	8,83
11	BT10KYB	73,39	74,20	59,66	37,03	17,31
11L		72,70	61,29	55,98	31,58	11,63
12	BT20KYB	77,17	77,30	64,89	40,00	18,87
12L		76,09	60,05	55,87	32,21	13,90
13	BT30KYB	74,77	77,51	60,78	39,59	16,90
13L		73,19	57,57	53,61	29,57	9,95
14	DZ5KYB	71,59	72,96	54,43	35,32	16,90
14L		70,41	53,92	48,30	26,33	12,63
15	MT10KYB	76,28	72,82	60,25	37,70	16,78
15L		76,22	62,89	57,43	30,81	12,03
16	MT20KYB	77,47	71,61	60,51	39,86	16,29
16L		77,45	62,12	49,75	28,74	11,57
17	MT30KYB	70,80	65,09	56,12	36,91	13,86
17L		70,92	53,57	40,68	26,38	10,45

Daha sonra etüvden çıkarılarak soğumaya bırakılmış ve numuneler üzerinde basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Ayrıca, diğer KYB deney numuneleri de (yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan numuneler ile kıyaslama yapmak amacıyla) herhangi bir sıcaklığa maruz bırakılmadan basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuş, böylece yüksek sıcaklık etkisinde oluşan basınç dayanımı kayıpları belirlenmeye çalışılmıştır. Tablo 4.22’de 200 °C, 400 °C, 600 °C ve 800 °C sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin basınç dayanımı değerleri verilmiştir. Tablo 4.23’te ise 4 farklı sıcaklık derecesinde meydana gelen dayanım kayıpları görülmektedir.

Tablo 23’te verilen sonuçlar içerisinde bazı değerlerin negatif olduğu görülmektedir. Özellikle 200 °C sıcaklığa maruz kalmış bazı numuneler yüksek sıcaklık etkisinde beklenenin aksine basınç dayanımında azalma değil de artış göstermiştir. Bu durum Bölüm 5’te açıklanmaktadır. Ayrıca Tablo 22 ve Tablo 23’te L ile yapılan numaralandırmalar o numunelerin polipropilen lif katılmak suretiyle üretildiklerini ifade etmektedir. Farklı karışımlarda üretilen kendiliğinden yerleşen beton numuneleri taze halde iken polipropilen lif ilave edilmeleri sonucunda bir miktar işlenebilirlik kaybına uğramıştır. Bu yüzden yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılacak numunelere ilave edilen polipropilen liflerden dolayı oluşacak ‘‘kendiliğinden yerleşebilirlik’’ sorunlarına karşı karışım tasarımında herhangi bir değişikliğe gidilmeden süper akışkanlaştırıcı katkı ilavesiyle bu özellik sağlanarak beton üretimi gerçekleştirilmiş ve bu betonların yüksek sıcaklık etkisi altında nasıl bir performans sergiledikleri belirlenmiştir.

Tablo 4.23. 200 °C, 400 °C, 600 °C ve 800 °C sıcaklığa maruz bırakılan numunelerde meydana gelen basınç dayanımı kayıpları

Deney No	Beton Türü	200 °C Day. Kaybı (%)	400 °C Day. Kaybı (%)	600 °C Day. Kaybı (%)	800 °C Day. Kaybı (%)
1	ŞAHİT550KYB	-4	18	49	75
1L		14	24	58	82
2	UK15KYB	-3	16	49	76
2L		15	26	61	82
3	UK25KYB	2	17	54	77
3L		15	30	62	82
4	UK35KYB	2	17	55	79
4L		25	34	63	84
5	YFC20KYB	1	19	57	78
5L		23	33	61	85
6	YFC40KYB	-4	20	57	80
6L		20	35	61	86
7	YFC60KYB	6	20	55	82
7L		28	32	67	86
8	KT10KYB	1	17	53	77
8L		22	31	60	81
9	KT20KYB	2	21	49	79
9L		23	33	58	84
10	KT30KYB	3	23	52	80
10L		20	35	62	86
11	BT10KYB	-1	19	50	76
11L		16	23	57	84
12	BT20KYB	0	16	48	76
12L		21	27	57	82
13	BT30KYB	-4	19	47	77
13L		23	27	60	87
14	DZ5KYB	-2	24	51	76
14L		25	32	63	82
15	MT10KYB	5	21	51	78
15L		18	25	60	84
16	MT20KYB	8	22	49	79
16L		20	36	63	85
17	MT30KYB	8	21	48	80
17L		24	43	63	85

4.3. Maliyet Analizi Sonuçları

KYB üretiminde mineral katkıların kullanımının bu betonlara sağladığı ekonomiklik durumu maliyet analizi ile belirlenmiş ve şahit beton dahil olmak üzere 17 farklı beton karışımına ait m^3 başına beton maliyetleri Tablo 4.24'te verilmiştir.

Tablo 4.24. KYB numunelerine ait $1 m^3$ için beton maliyetleri

	Beton Türü	Beton Maliyeti (TL/m^3)
1	ŞAHİT550KYB	95,20
2	UK15KYB	90,34
3	UK25KYB	87,16
4	UK35KYB	83,63
5	YFC20KYB	94,54
6	YFC40KYB	91,77
7	YFC60KYB	89,02
8	KT10KYB	92,27
9	KT20KYB	87,91
10	KT30KYB	83,59
11	BT10KYB	95,68
12	BT20KYB	94,07
13	BT30KYB	93,05
14	DZ5KYB	98,31
15	MT10KYB	91,99
16	MT20KYB	89,00
17	MT30KYB	87,49

BÖLÜM 5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Değişik mineral katkıların farklı ikame oranlarında çimento ile yer değiştirmesiyle üretilen KYB numuneleri üzerinde yapılan taze ve sertleşmiş beton deneyleri sonucunda elde edilen değerlerin irdelenmesi ve sonuçların karşılaştırılarak değerlendirilmesi bu bölümde sunulmuştur.

5.1. Taze Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

KYB deney numunelerinin “kendiliğinden yerleşebilirlik” özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan taze beton deneyleri çökme-yayılma, T_{50} , V-hunisi ve L-kutusu deneyleri olarak belirlenmiştir. KYB’lerin genel kabul kriterleri TS EN 206-1:2000 standardı esas alınarak değerlendirildiğinde taze beton deneyleri neticesinde elde edilen sonuçların Tablo 5.1’de görülen sınır değerleri arasında kalması önerilmektedir [189].

Tablo 5.1. TS EN 206-1:2000’e göre KYB’lerin genel kabul kriterleri

Deney Yöntemi	KYB sınıfları ve standart değerler		
	En düşük değer		En yüksek değer
Yayılma (mm)	500-650 (SF1)	651-750 (SF2)	751-850 (SF3)
L-kutusu (H_2/H_1)	0,8		1,0
V-hunisi (sn)	≤ 8 (VF1)		9-27 (VF2)
T_{50} (sn)	≤ 2 (VS1)		> 2 (VS2)

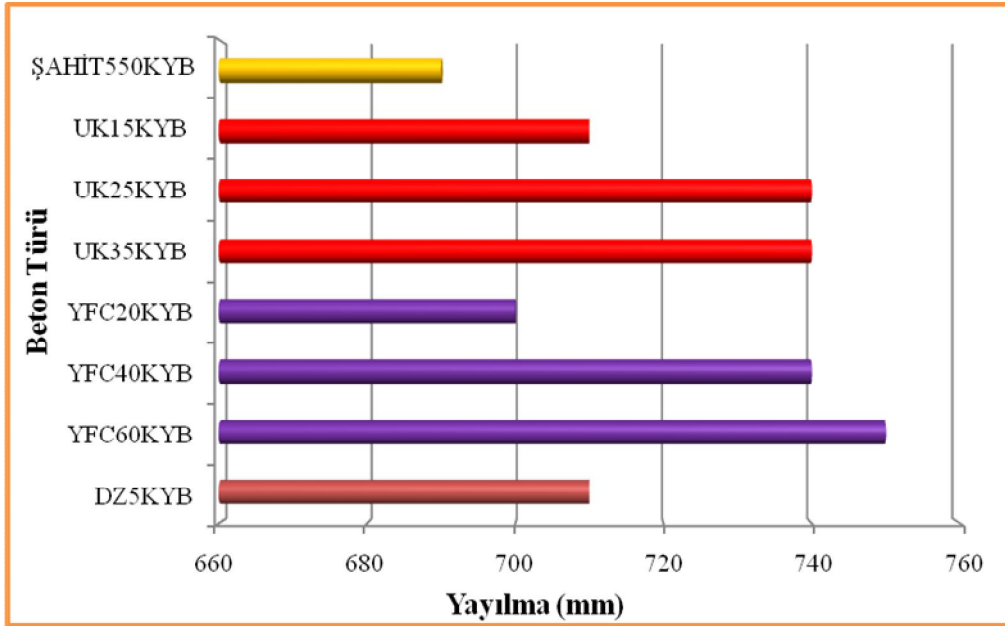
Deneyler neticesinde elde edilen değerler irdelendiğinde, KYB sınıfları olarak değişik mineral katkılarla farklı ikame oranlarında üretilen KYB karışımlarının taze haldeki özelliklerinin genel kabul kriterleri çerçevesinde ideal olduğu ve standart değerler olarak istenen koşulları sağladığı görülmektedir. Üretilen KYB karışımlarının çökme-yayılma (SF) değerleri esas alınarak sınıflandırılması

neticesinde hangi sınıfa ait olduğu, viskozitelerinin ise T_{50} değerleri (VS) ve V-hunisi (VF) değerleri esas alındığında hangi sınıfa ait olduğu Tablo 5.2’de verilmektedir.

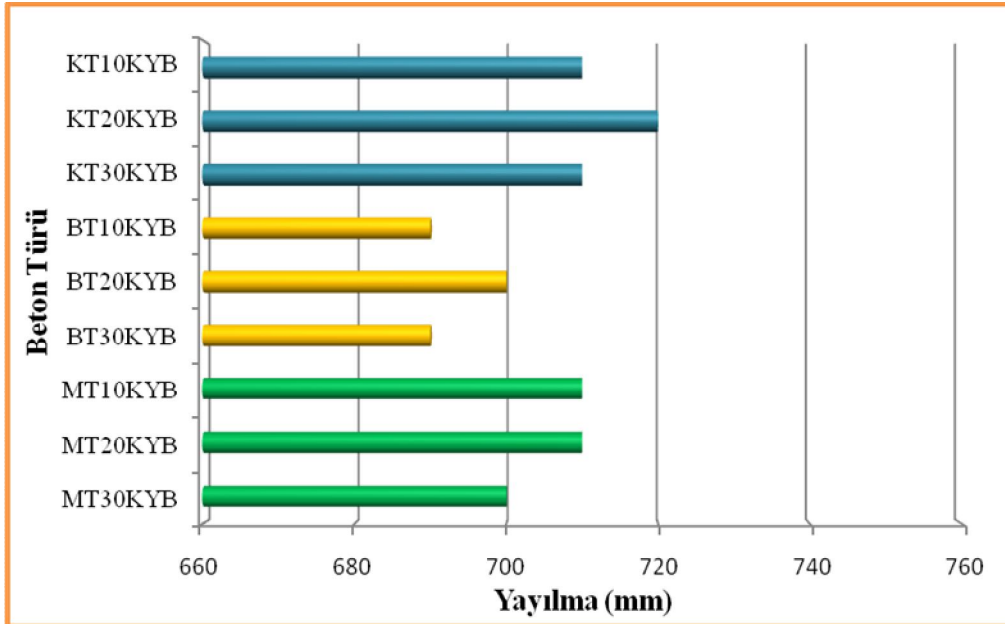
Tablo 5.2. KYB karışımlarının yayılma ve viskozite değerleri esas alınarak sınıflandırılması

	Yayılma Sınıfı	Viskozite Sınıfı (VS)	Viskozite Sınıfı (VF)
ŞAHİT550KYB	SF2	VS2	VF2
UK15KYB	SF2	VS2	VF2
UK25KYB	SF2	VS2	VF2
UK35KYB	SF2	VS2	VF2
YFC20KYB	SF2	VS2	VF2
YFC40KYB	SF2	VS2	VF2
YFC60KYB	SF2	VS2	VF2
KT10KYB	SF2	VS2	VF2
KT20KYB	SF2	VS2	VF2
KT30KYB	SF2	VS2	VF2
BT10KYB	SF2	VS2	VF2
BT20KYB	SF2	VS2	VF2
BT30KYB	SF2	VS2	VF2
DZ5KYB	SF2	VS2	VF2
MT10KYB	SF2	VS2	VF2
MT20KYB	SF2	VS2	VF2
MT30KYB	SF2	VS2	VF2

Sabit s/ç oranında KYB karışımlarının işlenebilirlik özellikleri incelendiğinde, KYB üretiminde süperakışkanlaştırıcı katkı kullanımının bu betonların maliyetlerini etkileyen en önemli faktör olduğu göz önüne alınarak, KYB kriterlerine uygun yayılma değerlerini elde etmek için mümkün olan en az katkı miktarı kullanımına titizlik gösterilmiştir. Çökme-yayılma deneyleri neticesinde Şekil 5.1’de görüleceği üzere, minimum katkı dozajı dikkate alınarak, en yüksek yayılma değerini YFC’nin % 60 ikame oranında kullanılmasıyla üretilen KYB karışımı vermiştir.



Şekil 5.1. KYB karışımlarının sabit s/ç oranında yayılma değerleri



Şekil 5.1. (Devamı) KYB karışımlarının sabit s/ç oranında yayılma değerleri

Burada dikkat edilmesi gereken önemli hususlardan birisi UK ve YFC karışımlarının aynı işlenebilirlik değerlerinde farklı katkı miktarlarına ihtiyaç duymalarıdır. Aynı yayılma değerinde UK25 karışımı %1.50 oranında katkı ihtiyacı duyarken, UK35 karışımı ise %1.45 oranında katkı ihtiyacı duymuştur. Yine aynı yayılma değeri için

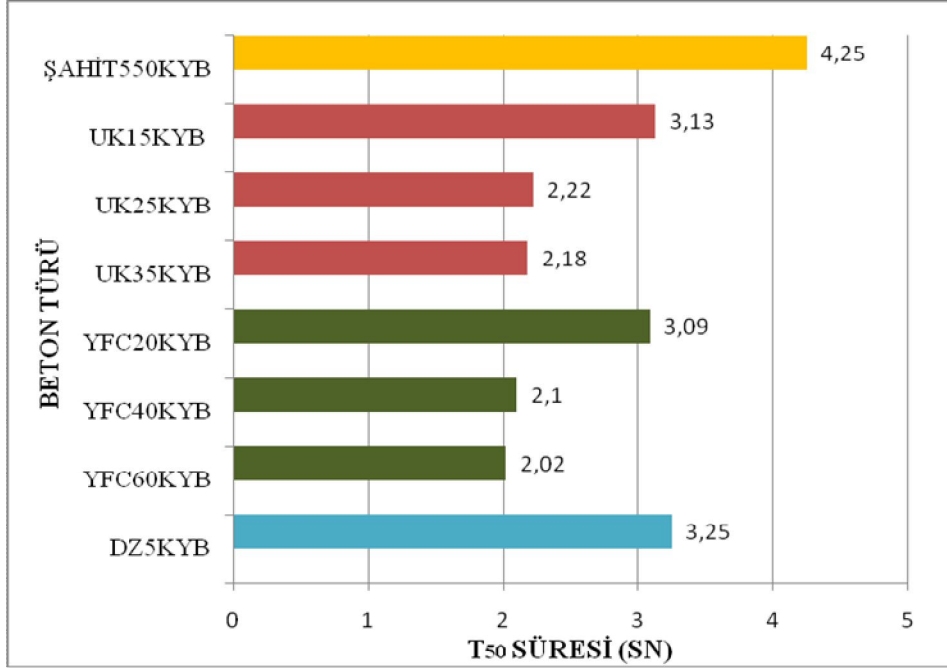
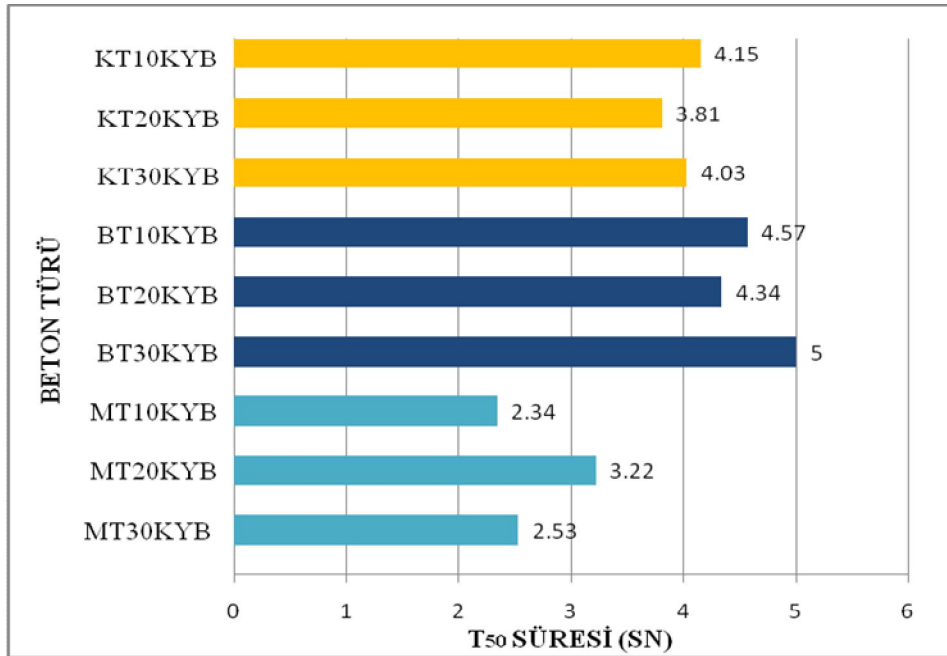
YFC40 karışımı % 1.65 oranında katkı ihtiyacı duymuştur. En yüksek yayılma değerinin elde edildiği YFC60 karışımı ise %1.60 oranında katkı maddesine ihtiyaç duymuştur. Uçucu kül ve YFC'nin çimento ile ikame oranı arttıkça yayılma değerlerinde artış görüldüğü aynı zamanda da bu karışımların katkı ihtiyaçlarının azaldığı bariz olarak görülmektedir. Bununla birlikte katkı miktarları da göz önüne alınarak diğer KYB karışımları ile kıyaslandığında, en ideal yayılma değerinin YFC'nin çimento ile % 60 ikame oranında kullanılmasıyla üretilen KYB karışımından elde edildiği görülmüştür. Özellikle inert malzemeler ile kıyaslandığında, puzolan içeren KYB karışımlarının daha iyi işlenebilirlik değerleri verdiği görülmektedir. Beton karışımlarında çimento miktarını azaltarak daha ekonomik KYB üretimine olanak tanıyan mineral katkılar içerisinde uçucu külün en yüksek ve ideal işlenebilirlik değerleri vermesi uçucu külün özellikleri ile yakından ilgilidir. Bir malzemenin işlenebilirliği ve su ihtiyacı, o malzemenin mikro yapısı, tanelerinin yüzey şekli, tane dağılımı, yüzey dokusu (boşluğu ve pürüzlülüğü) ve tanelerin birbirini doldurma etkisi tarafından kontrol edildiği dikkate alındığında, uçucu külün Bölüm 3'te verilen SEM mikro yapı analizleri de incelendiğinde, diğer malzemelere göre neden daha yüksek işlenebilirlik ve su azaltma değerleri verdiği ortaya çıkmaktadır. Uçucu kül tanelerinin köşeli ve pürüzlü değil de küresel ve pürüzsüz bir şekle sahip olması ve bu sayede yüzey hacminin az olması taneler arası sürtünmeyi azaltarak daha yüksek işlenebilirlik değerlerinin elde edilmesini sağlamıştır.

İnert malzemeler puzolanik malzemelerle kıyaslandığında daha düşük işlenebilirlik değerleri vermiştir. Bunun nedenlerinin başında kalker tozu, bazalt tozu ve mermer tozunun köşeli, pürüzlü ve boşluklu bir yapıya sahip olmasıdır. Bu yapı dolayısıyla inert malzemelerin yüzey hacimleri puzolanik katkılarla kıyaslandığında daha yüksektir ve bu durum taneler arasındaki iç sürtünmenin artmasına ve dolayısıyla işlenebilirliğin azalmasına neden olmaktadır. İnert malzemeler içerisinde en yüksek yayılma değerini kalker tozunu % 20 ikame oranında kullanılmasıyla üretilen karışım vermiştir. Genellikle inert malzemelerin ikame oranları arttıkça yayılma değerleri bir miktar azalmıştır. İnert malzemeler içerisinde bazalt tozu ikame edilmiş karışımlar diğer malzemelere göre daha yüksek katkı ihtiyacı duymuş ve karışımlarda bazalt miktarı arttıkça katkı ihtiyacı da artmıştır. Ancak yayılma, yaklaşık olarak aynı

değerlerde kalmıştır. Bazalt tozunun diğer inert malzemelere göre daha fazla katkıya ihtiyaç duyması ve dolayısıyla daha az işlenebilirlik göstermesi bazalt tozunun tane yapısıyla yakından ilgilidir. Kalker tozu içeren karışımlara göre bazalt tozunun inceliği ($6284 \text{ cm}^2/\text{gr}$) daha yüksektir. Bu durum bazalt tozunun daha fazla yüzey alanına sahip olmasını ve dolayısıyla daha yüksek miktarda suya ihtiyaç duyması sonucunu doğurmuştur. Karışımdaki s/ç oranı sabit alındığına göre su ihtiyacı katkı miktarını artırmak suretiyle sağlanmıştır. Ayrıca, Bölüm 3'de verilen SEM mikro yapı analizleri de incelendiğinde, bazalt tozunun tane yapısı olarak mermer tozu ve kalker tozu ile kıyaslandığında tane yüzeyinde daha fazla pürüzlülük olduğu ve daha köşeli bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Kalker tozu ile mermer tozu kıyaslandığında ise mermer tozunun tane yüzeyinin daha yüksek poroziteye sahip olduğu ve inceliğinin çok daha yüksek olduğu ($8889 \text{ cm}^2/\text{gr}$) anlaşılmaktadır. Bu durum, mermer tozunun daha yüksek su ihtiyacını ve daha az işlenebilirlik değerlerinin elde edilmesi sonucunu doğurmuştur. Dolayısıyla kalker tozu içeren karışımların yüzeylerinin diğer filler malzemelere göre daha az köşeli olması, yüzeylerinde daha az pürüzlülük bulunması ve boşluklu yapının daha az olması, tane yüzey karakteristikleri ve yüzey porozitesinin daha düzgün olması sonucunu doğurmuş ve bu durum işlenebilirliğe dolayısıyla daha yüksek yayılma değerlerinin elde edilmesine olanak sağlamıştır. Yayılma deneyleri esnasında betonun kendi ağırlığı ile hareketi gözlemlenerek ayrışma meydana gelmediği anlaşılmıştır.

KYB karışımlarının çökme-yayılma deneyleri esnasında yapılan ve slump hunisinin merkezini esas alarak 50 cm çapındaki mesafeyi kat etme süresini ifade eden T_{50} süresi deneyleri sonucunda bu mesafeyi en hızlı YFC'nin %60 oranında ikame edilmesiyle üretilen karışım kat etmiştir. 50 cm lik mesafeye en geç ulaşan beton karışımı ise bazalt tozunun %30 oranında ikame edilmesiyle üretilen karışımdır. Genel olarak tüm karışımlar 50 cm lik mesafeyi 2-5 sn arasında geçerek KYB genel kriterleri çerçevesinde T_{50} deneyi için uygun değerler vermiştir. Karışımların çoğunun şahit betona göre daha kısa sürede bu mesafeyi aşarak daha iyi işlenebilirlik değerleri verdiği görülmüştür. UK'nın çimento ile ikame oranı arttıkça bu sürenin kısılması işlenebilirliğin de artması anlamını taşımaktadır. Aynı şekilde YFC'nin ikame oranı arttıkça T_{50} süresi kısalmaktadır. Puzolanik katkıları ikame edilerek üretilen KYB'ler diğer beton karışımlarına göre daha düşük T_{50} süresi değerleri

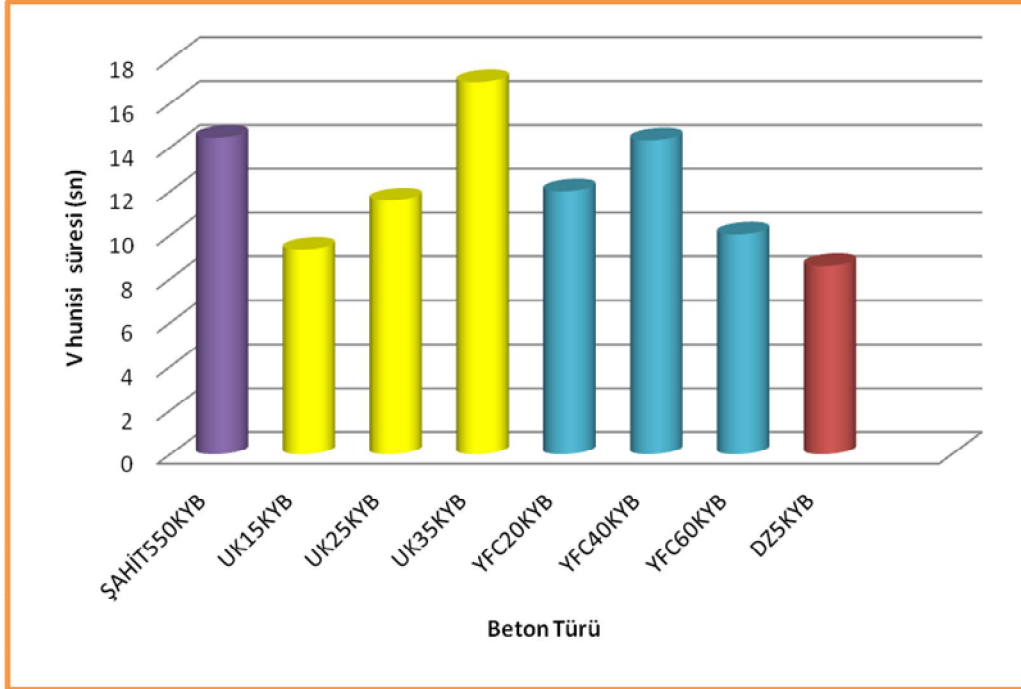
vermiştir. İnerit malzemeler içerisinde ise mermer tozu ikameli beton karışımları bazalt tozu ve kalker tozu katkılı beton karışımlarına göre T_{50} süresini daha kısa sürede kat etmiştir. Puzolanik katkılarla kıyaslandığında inerte malzemeler içeren karışımlarda inerte malzeme ikame oranı arttıkça T_{50} süresinin ne yönde değiştiğine dair net bir durum ortaya konamamıştır. UK ve YFC ikameli beton karışımlarında ise Şekil 5.2’de görüleceği üzere ikame oranı arttıkça T_{50} süresi de kısalmıştır.

Şekil 5.2. KYB karışımlarının T₅₀ deney sonuçlarıŞekil 5.2. (Devamı) KYB karışımlarının T₅₀ deney sonuçları

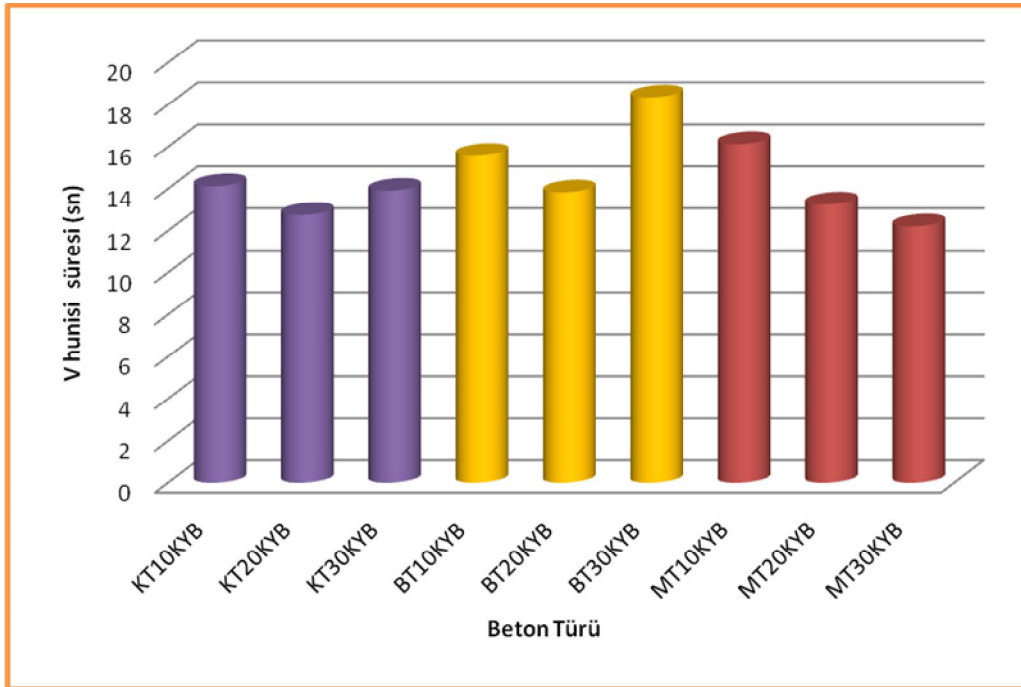
Sabit s/ç oranında, değişik mineral katkıları kullanılarak üretilen KYB karışımlarının viskozite özellikleri V-hunisi deneyi ile incelendiğinde tüm karışımların KYB genel kriterleri içerisinde uygun viskozite özellikleri gösterdiği görülmüştür. Viskozitenin

çok düşük olması betonun kendi ağırlığı ile hareket ederken segregasyona uğramasına neden olurken, çok yüksek olması ise betonun, en dar donatılardan geçerek hareket etmesini zorlaştırmaktadır. Deney sonuçları değerlendirildiğinde, şahit betona göre farklı ikame oranlarında puzolanik katkı kullanımının viskoziteyi azalttığı görülmüştür. Mineral katkılar içerisinde en yüksek viskozite değerini BT30 karışımı, en düşük viskozite değerini ise DZ5 karışımı vermiştir. Puzolanik katkılar içerisinde UK'nın çimento ile ikame oranı arttıkça viskozitesi de artmıştır. Bu durum UK'nın özgül ağırlığının çimentoya göre daha düşük olmasına bağlanabilir. Daha düşük özgül ağırlığı olan malzeme aynı yağlama özelliğini sağlayabilmek için daha fazla suya ihtiyaç duymaktadır. Sabit s/ç oranında UK'nın ikame oranı arttıkça aynı yağlama (lubrication) özelliğini sağlayabilmesi için ikame oranı artan UK daha fazla suya ihtiyaç duymaktadır. Su miktarı sabit olduğundan UK miktarı arttıkça viskozite de artmaktadır. Tang ve arkadaşları UK'nın ikame oranı arttıkça viskozitesinin artmasını yeterli işlenebilirliğe ulaşmak için artan enerji ihtiyacına bağlamışlardır [190]. YFC'nin tüm ikame oranlarında kontrol betonuna göre daha düşük viskozite değerleri elde edilmiştir. Çimentoya inert malzemelerin ikame edilmesi, genellikle şahit betona göre viskoziteyi azaltmıştır. Ayrıca, inert malzemelerin çimento ile ikame oranı arttıkça viskozite de azalmaktadır.

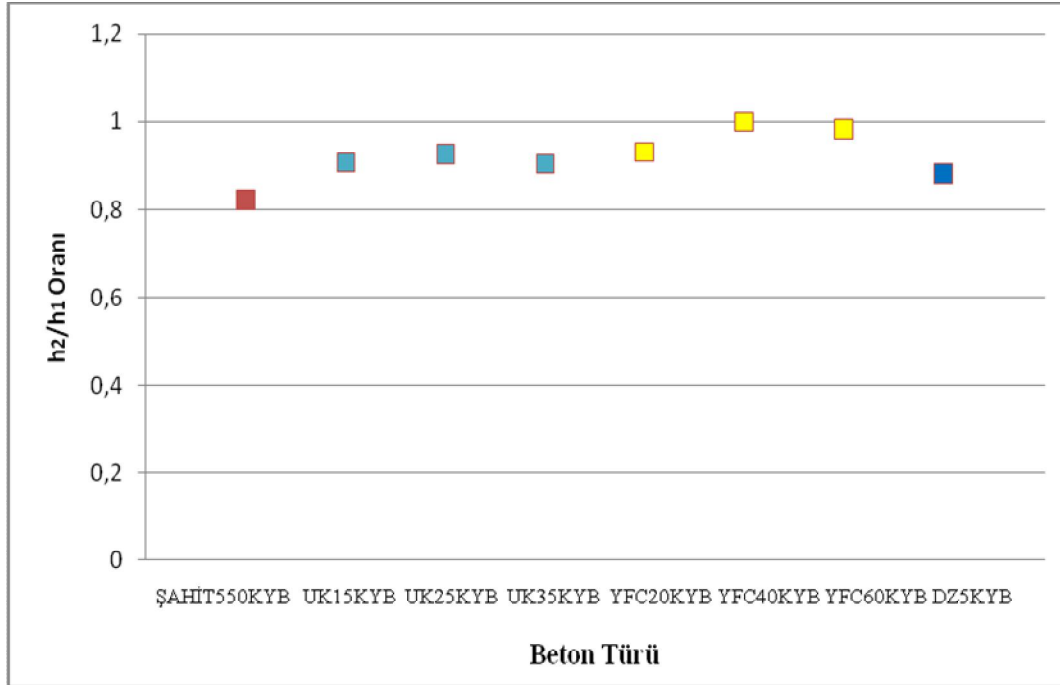
Farklı mineral katkıların KYB'lerin viskozitesine etkisini tam olarak ortaya koyabilmek için o malzemelerin yüzey dokusunu, mikro yapısını, tanelerin pürüzlülüğünü ve tane dağılımlarını bilmek de önemli bir husustur. Mineral katkılar içerisinde bazalt tozunun diğer malzemelere göre daha yüksek viskozite değerleri vermesinin bir nedeni olarak, bazalt tozunun su tutma kapasitesinin yüksek olması nedeniyle daha yüksek viskozite değerine sahip olması ile açıklanabilir. Değişik mineral katkılar kullanılarak üretilen KYB karışımlarının viskozite özelliklerinin V-hunisi deneyi ile belirlenmesi sonucu elde edilen değerler Şekil 5.3'te verilmiştir.



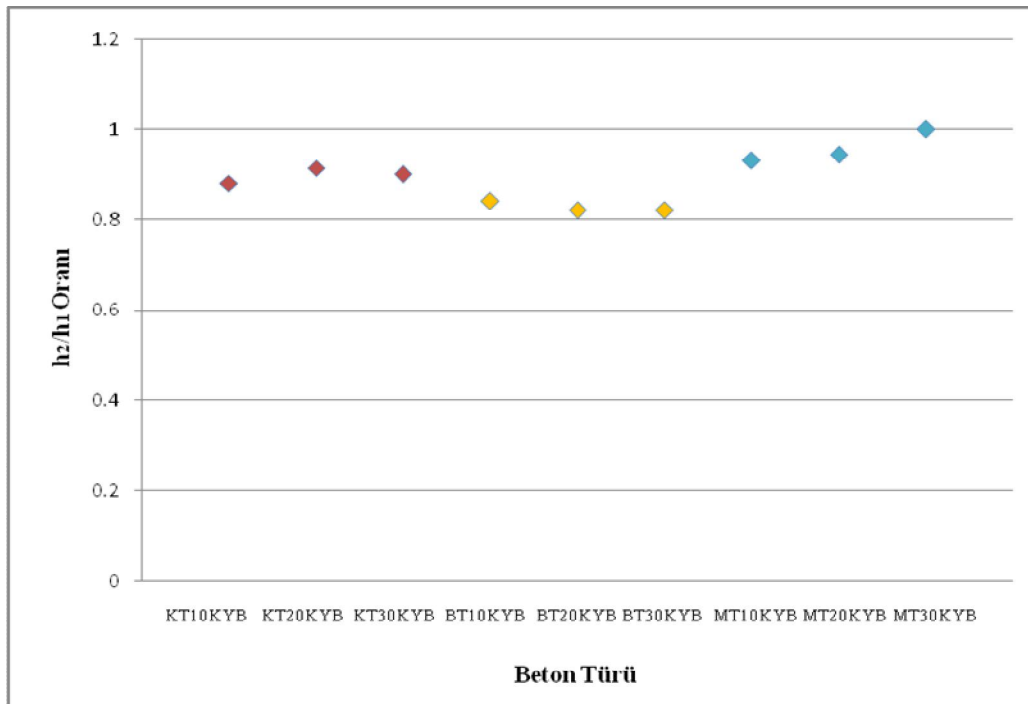
Şekil 5.3. KYB karışımlarının V-hunisi deney sonuçları



Şekil 5.3. (Devamı) KYB karışımlarının V-hunisi deney sonuçları



Şekil 5.4. KYB karışımlarının L-kutusu oranı deney sonuçları

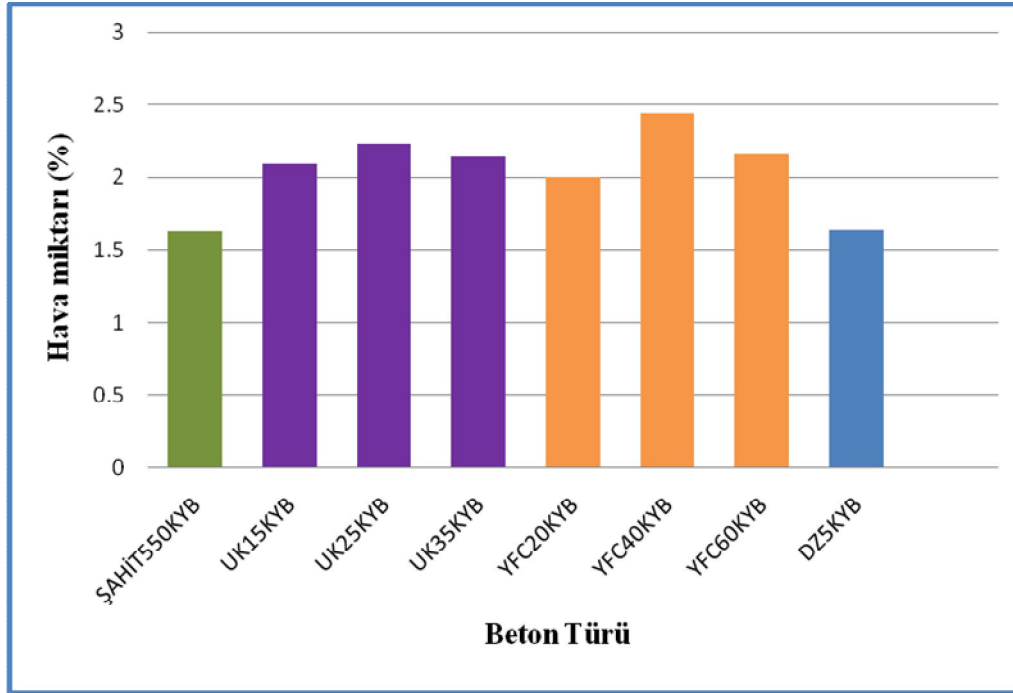


Şekil 5.4. (Devamı) KYB karışımlarının L-kutusu oranı deney sonuçları

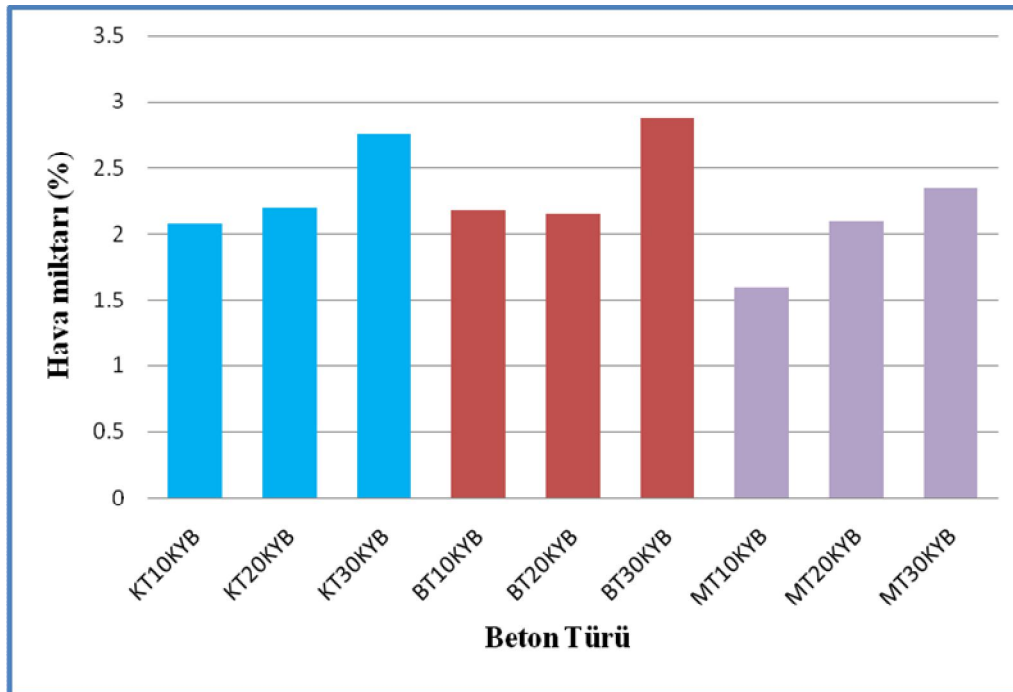
KYB karışımlarının L-kutusu oranı, bu betonların doldurma ve geçiş yeteneği hakkında bilgi vermektedir. Farklı karışımlarda hazırlanan KYB'ler üzerinde yapılan L-kutusu oranı deneyi sonucunda tüm karışımlar h_2/h_1 oranı olarak standart değerler arasında sonuçlar vermiştir. Bu değerler 0,8 ile 1,0 arasında olmalıdır ve tüm karışımların bu değerler arasında olduğu görülmüştür. h_2/h_1 oranının 0,8'den az olması karışımların dar donatılar arasından geçerken bloklanma (kenetlenme) riskini doğurmaktadır. Ancak yapılan deneyler sonucu hiçbir karışım 0,8 değerinin altında kalmamış, böylece bloklanma riski de oluşmamıştır. Mineral katkıların değişik ikame oranlarında üretilmesiyle elde edilen karışımlar şahit betonla kıyaslandığında daha yüksek h_2/h_1 oranı değerleri vermiştir. Mineral katkıları içerisinde en düşük h_2/h_1 oranı değerini, BT20 ve BT30 karışımları, en yüksek h_2/h_1 oranı değerini ise YFC40 ve MT30 karışımları vermiştir.

Mineral katkıların farklı ikame oranlarında kullanılmasıyla üretilen kendiliğinden yerleşen beton karışımlarının L-kutusu oranı deney sonuçları Şekil 5.4'te verilmiştir.

Farklı mineral katkıları kullanılarak dizayn edilen KYB karışımlarının hava ölçer deney aleti ile belirlenen % cinsinden hava miktarları Şekil 5.5'te verilmiştir. Mineral katkıları içerisinde en yüksek hava miktarına sahip taze betonun BT30 karışımı olduğu görülmüştür. MT10 karışımının ise en düşük hava miktarına sahip taze beton karışımı olduğu anlaşılmaktadır. BT30 karışımı, şahit betona kıyasla %43 daha fazla hava içermekte iken, MT10 karışımı ise %1,8 daha az hava içermektedir. Aynı su/toz oranında mineral katkıların ikame oranlarının artması mineral katkı tanelerinin şahit betona göre aynı yağlama (lubrication) özelliği gösterebilmesi için gereken su ihtiyacını artırmaktadır. Bu durum nedeniyle kalıbına düzgün olarak yerleşemeyen betonda hapsolmuş hava miktarı artmaktadır.



Şekil 5.5. Taze haldeki KYB karışımlarının % hava miktarları



Şekil 5.5. (Devamı) Taze haldeki KYB karışımlarının % hava miktarları

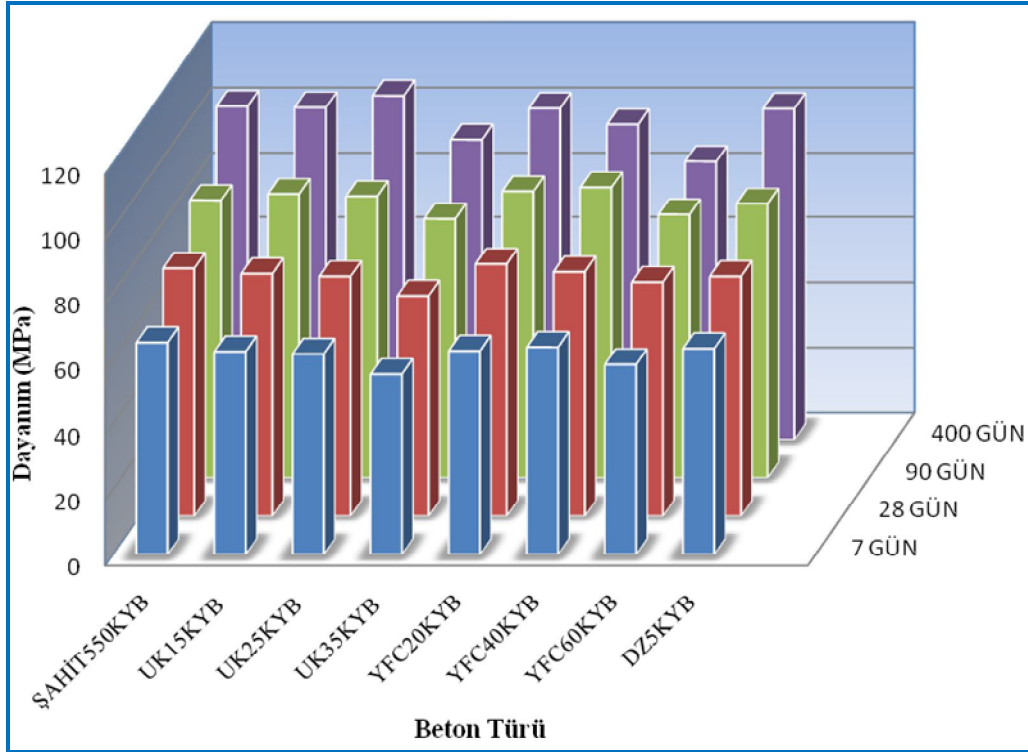
5.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

5.2.1. Mekanik özelliklere ait deneyler

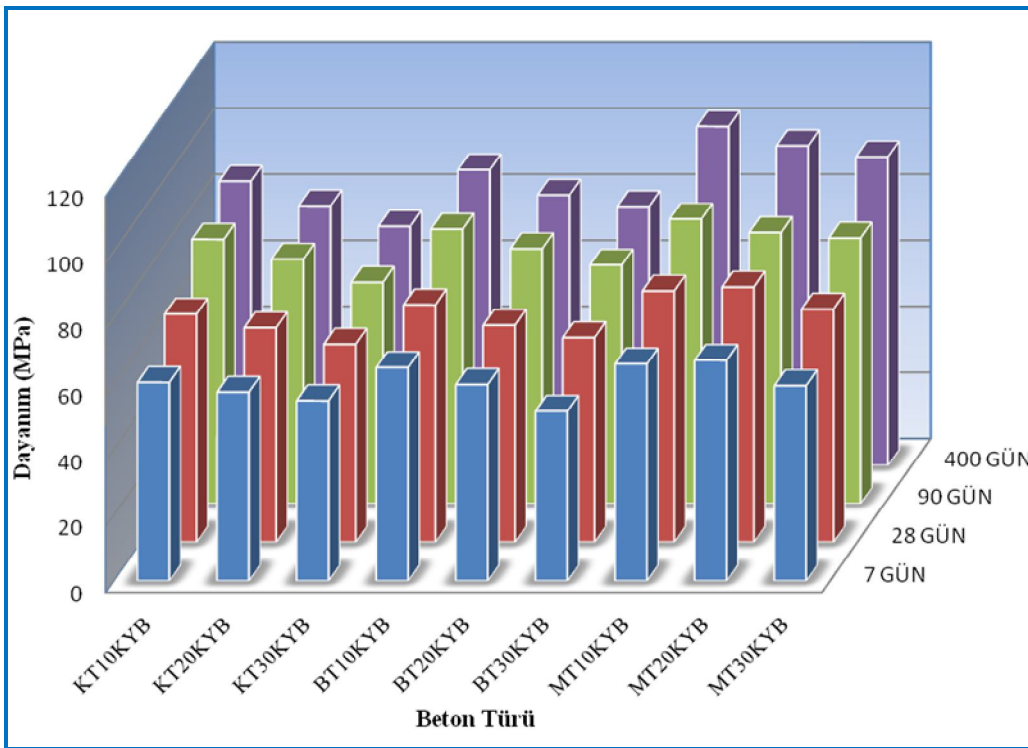
5.2.1.1. Basınç dayanımı deneyi

Sertleşmiş betonun mekanik özellikleri kapsamında KYB deney numunelerinin basınç dayanımlarını belirlemek amacıyla yapılan 7, 28, 90 ve 400 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.

7 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında en yüksek basınç dayanımı değerini MT20 karışımı vermiştir. Bu karışıma ait basınç dayanımı değerinin şahit beton dayanımına kıyasla % 3.23 daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. 7 günlük basınç dayanımları içerisinde en düşük basınç dayanımı değeri ise BT30 karışımından elde edilmiştir. KYB numunelerinin 28 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında en yüksek basınç dayanımı değerini MT20 karışımı vermiştir. Bu karışım kullanılarak üretilen betondan, şahit betona kıyasla % 2.02 daha yüksek basınç dayanımı değeri elde edilmiştir. KT30 karışımı ise 28 günlük numuneler içerisinde en düşük basınç dayanımı değerini vermiştir. 90 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında en yüksek basınç dayanımı değerinin YFC40 karışımından elde edildiği anlaşılmıştır. Bu karışımın şahit betona kıyasla % 4.44 daha fazla basınç dayanımı değeri verdiği görülmüştür. 90 günlük basınç dayanımı değerleri içerisinde en düşük dayanım değeri ise KT30 karışımından elde edilmiştir. Şekil 5.6'da farklı mineral katkıları kullanılarak üretilen KYB'lere ait 7, 28, 90 ve 400 günlük basınç dayanımı sonuçları görülmektedir.



Şekil 5.6. KYB karışımlarının 7, 28, 90 ve 400 günlük basınç dayanımı sonuçları



Şekil 5.6. (Devamı) KYB karışımlarının 7, 28, 90 ve 400 günlük basınç dayanımı sonuçları

400 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında en yüksek basınç dayanımı değerinin UK25 karışımından elde edildiği görülmüştür. Bu karışım kullanılarak üretilen beton, şahit betona kıyasla % 3.46 daha fazla basınç dayanımı değeri vermiştir. KT30 karışımından ise 400 gün sonunda en düşük basınç dayanımı değeri elde edilmiştir.

Tüm deney zamanlarında, UK'nın çimento ile ikame oranı arttıkça basınç dayanımı değerleri azalmaktadır. Bu durum azalan bağlayıcı malzeme miktarına bağlanabilir. Şahit beton karışımının erken dayanım özelliklerinin uçucu kül ve YFC içeren karışımlara göre daha iyi olması, erken yaşlarda puzolanik reaksiyonların yavaş olması nedeniyle puzolanik etkinin dayanıma olumlu bir katkı yapamamasına bağlanabilir. UK'nın 90 ve 400 günlük basınç dayanımı sonuçları 28 günlük dayanımla kıyaslandığında, beton yaşının artmasına bağlı olarak (özellikle inert malzemelere göre) basınç dayanımında önemli artışlar meydana geldiği görülmüştür. Bu durum YFC içeren karışımlar için de geçerlidir. Betonun yaşı ilerledikçe dayanımın önemli miktarlarda artış göstermesinin nedeni olarak, UK'nın zaman içerisinde puzolanik reaksiyonlar sayesinde çimentonun bünyesinde bulunan serbest kireci bağlayarak ikincil reaksiyonları başlatması ve böylece hidrate ürünlerin artması nedeniyle ileriki yaşlardaki basınç dayanımının artması gösterilebilir. Bu nedenle, UK25 karışımından 400. günde en yüksek basınç dayanımı değeri elde edilmiştir. YFC'de mineral bir katkı olarak UK gibi puzolanik etki göstermiş ve çimentoya benzer yapısı nedeniyle (çimento ile yüksek oranlarda ikame edildiğinde bağlayıcı miktarı azalmasına rağmen) dayanımda önemli düşüşler meydana getirmemiştir. YFC ikame edilmiş betonların ileriki yaş dayanım değerleri, 28 günlük dayanımla kıyaslandığında puzolanik etki sayesinde oldukça yüksektir. Bu yüzden, YFC40 karışımı tüm yaşlarda şahit betona yakın basınç dayanımı değerleri vermiştir.

İnert malzemeler olarak kalker tozu, bazalt tozu ve mermer tozunun çeşitli ikame oranlarında kullanılmasıyla üretilen karışımların puzolanik katkıları kullanılarak üretilen karışımlara kıyasla erken yaş dayanımlarının daha yüksek, ileriki yaş dayanımlarının ise daha düşük olduğu görülmüştür. Bu durum, inert malzemelerin C₃S hidratasyonu hızlandırarak erken dayanım özelliği sağlamasından

kaynaklanmaktadır. Bu yüzden, inert malzemeler kullanılarak üretilen KYB karışımlarının 7 günlük dayanımlarının 28 günlük dayanımlara oranı, şahit beton ve çimento ile çeşitli ikame oranlarında puzolanik katkıları kullanılarak üretilen karışımlara kıyasla daha yüksektir.

İnert malzemelerin çimento ile % 10 ve % 20 ikame oranlarında kullanılmasıyla elde edilen KYB karışımlarının 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı değerleri, şahit beton karışımı ile benzer sonuçlar vermiştir. Bu durum inert malzemelerin çimento hamuru-agrega ara yüzeyinin yoğunluğunu artırıcı özelliğine ve kullanılan akışkanlaştırıcı katkı malzemesinin çimentoyu daha iyi dağıtıcı etkisine bağlanabilir.

İnert malzemelerin puzolanik etki gösterememesine ve çimento ile ikame edilmeleri sonucu toplam bağlayıcı madde miktarını azaltmalarına rağmen şahit betona yakın basınç dayanımı değerleri vermesi bu malzemelerin, boşluk doldurma etkisine ve ayrıca inert katkı ve ultra ince taneli malzeme olarak hidrasyon için uygun çekirdeklenme meydana getirmesine ve bu sayede hidrasyona katalizör etkisi sağlamasından kaynaklanmaktadır [191]. Diğer bir ifadeyle, inert malzemelerin düşük ikame oranlarında kullanılması sonucu basınç dayanımını artırmaları, inert malzeme tanelerinin CH kristallerinin çekirdeklenme bölgeleri olarak davranmasına bağlanabilir [192,193]. Bir başka faktör de inert malzemelerin bir kısmının hidrasyonun silika fazı esnasında C-S-H jeliyle birleşmesi neticesinde karbone hidrat kalsiyum silikat bileşimlerini oluşturarak dayanıma olumlu katkı sağlamasıdır [194,195]. İnert malzemeler içerisinde kalker tozu, çimentonun C_3A fazı ile reaksiyona girerek monokarboalüminat formasyonu oluşturmaktadır. Böylece, kısmen etrenjit rolü üstlenerek erken dayanım artışı sağlamaktadır [196]. Erken dayanım özellikleri kıyaslandığında, inert malzemeler içeren karışımların puzolanik katkı içeren karışımlara göre erken yaş dayanımlarının daha yüksek olması puzolanik katkıları içeren karışımların erken yaşlarda çimento ile puzolanik reaksiyonlarının daha yavaş olmasına bağlanabilir ve bu durum benzer çalışmalarla uyusmaktadır [197]. Fakat, çimentoya inert malzeme ikame edilmiş karışımlar hidrasyona ilave bir katkı yapmamış, bu nedenle de ileriki yaş dayanımlarına katkı sağlamamıştır.

İnert malzemelerin çimento ile % 10'dan daha fazla ikame oranlarında kullanılmaları durumunda, şahit betonla kıyaslandığında daha düşük basınç dayanımı değerleri vermesi, sadece filler malzeme olarak işlev görmelerinden kaynaklanmaktadır.

İnert malzemelerin çimento ile % 10'dan daha düşük ikame oranlarında kullanılması durumunda basınç dayanımına olumlu katkıda bulunmalarının nedenlerinden biri olarak açıklanan heterojen çekirdeklenme fiziksel bir etki türü olarak ifade edilmektedir. Heterojen çekirdeklenme, çimento hidrasyonunun kimyasal aktivasyonunu artırarak çimento yerine betonun bünyesinde bulunan inert malzemelerin hidrasyonda katkı sağlaması esasına dayanmaktadır. Bu fiziksel etki inert malzemelerin inceliğine ve miktarına bağlıdır [198,199,200]. İnert malzemelerin beton basınç dayanımına olumlu katkıda bulunmasının nedenlerinden biri olarak ifade edilen seyreltme (dilution) etkisi, çimentonun bir kısmının inert malzemeler ile yer değiştirmesi sonucu çimento miktarının azalması ve bu durumun karışımın su/çimento oranını artırarak seyreltme etkisi göstermesi olarak açıklanmaktadır.

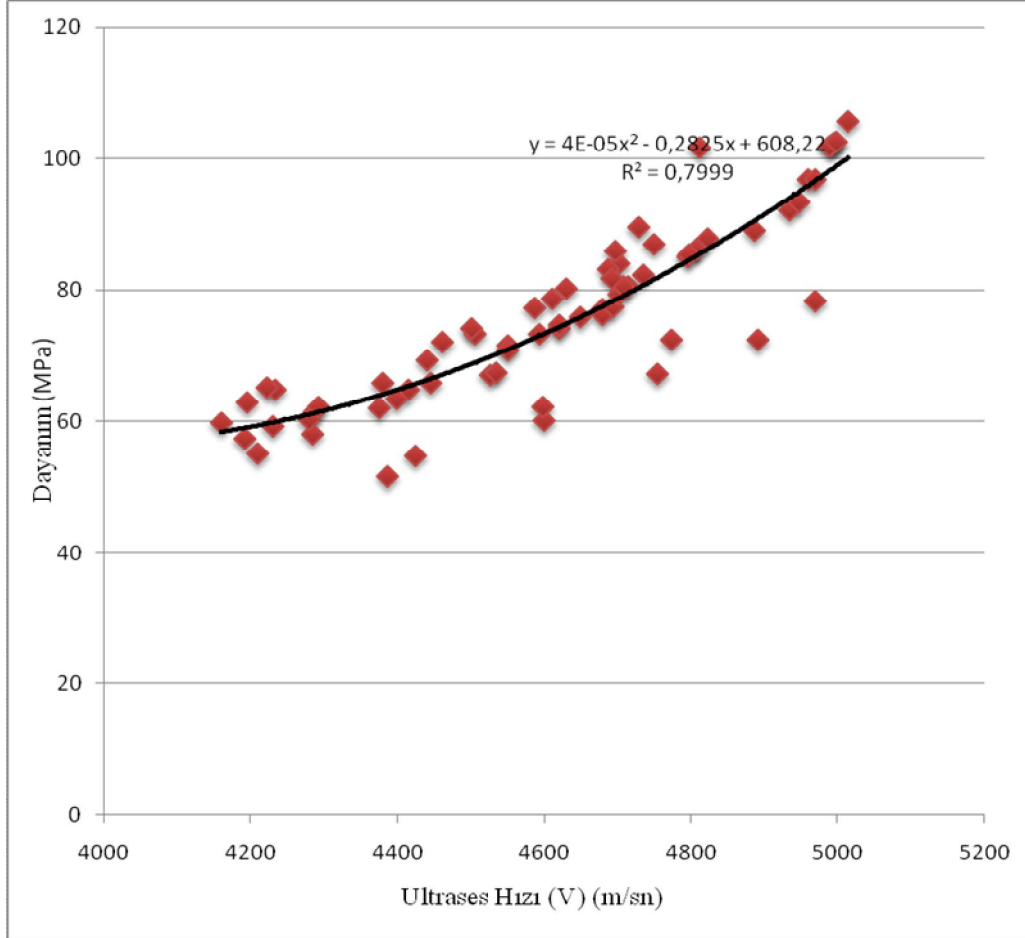
İnert malzemeler içerisinde çimentonun MT ile ikame edilmesiyle üretilen karışımlar, BT ve KT tozu ile ikame edilen karışımlara göre daha yüksek basınç dayanımı değerleri vermiştir. Bunun nedeni olarak MT'nin inceliğinin diğer inert malzemelere göre daha yüksek olması gösterilebilir [103,106]. İnceliğin yüksek olması tanelerin daha sıkı bir yapı oluşturmalarına ve kimyasal aktivitenin artmasına sebebiyet vererek basınç dayanımının diğer inert malzemelere göre daha yüksek olmasını sağlamıştır [42]. Ayrıca, SEM mikroyapı analizleri değerlendirildiğinde, MT'nin diğer inert malzemelere göre daha yüksek yüzey porozitesine sahip olması daha fazla kalsit reaktivitesi oluşturarak basınç dayanımının daha yüksek olması sonucunu doğurmuştur.

5.2.1.2. 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. Deney sonuçlarına göre 7 günlük ultrases geçiş hızı değerleri karşılaştırıldığında BT30 karışımından en düşük ultrases geçiş hızı değeri, MT10 karışımından ise en yüksek ultrases geçiş hızı değeri elde edilmiştir. Şahit betonla kıyaslandığında BT30 karışımı % 5.77 daha düşük ultrases geçiş hızı değeri vermiş, şahit betona kıyaslandığında MT10 karışımından ise % 6.74 daha yüksek ultrases geçiş hızı değeri elde edilmiştir. 28 günlük ultrases geçiş hızı değerleri karşılaştırıldığında, KT30 karışımı en düşük ultrases geçiş hızı değerini verirken, YFC20 karışımı ise en yüksek ultrases geçiş hızı değerini vermiştir. KT30 karışımı şahit betona kıyasla % 9.21 daha düşük ultases geçiş hızı değeri vermiş, YFC20 karışımından ise şahit betona göre % 6.13 daha yüksek ultrases geçiş hızı değeri elde edilmiştir. 90 günlük ultrases geçiş hızı değerleri karşılaştırıldığında KT30 karışımı en düşük ultrases geçiş hızı değerini, YFC40 karışımı ise en yüksek ultrases geçiş hızı değerini vermiştir. Diğer bir ifadeyle, KT30 karışımı şahit betona kıyasla % 6.13 daha az ultrases geçiş hızı sağlamış, YFC40 karışımı ise % 1.84 daha yüksek ultrases geçiş hızı değeri vermiştir. 400 günlük ultrases geçiş hızı değerleri karşılaştırıldığında KT30 karışımının en düşük ultrases geçiş hızı değerini verdiği, UK25 karışımından ise en yüksek ultrases geçiş hızı değerinin elde edildiği görülmüştür. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde, KT30 karışımının şahit betona kıyasla % 7.68 daha düşük ultrases geçiş hızı değeri verdiği UK25 karışımından ise % 0.3 daha yüksek ultrases geçiş hızı değeri elde edildiği görülmüştür.

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 ve beton sınıfında KYB'lerin geleneksel betonlara göre daha yüksek ultrases geçiş hızı değerleri verdiği anlaşılmıştır. Bu durum, KYB'lerin çok düşük boşluk yapısına sahip olmasına bağlanabilir. Şekil 5.7'de KYB

karışımlarının 7, 28, 90 ve 400 günlük basınç dayanımı değerleri ile ultrases geçiş süresi değerleri arasındaki ilişki görülmektedir.



Şekil 5.7. KYB karışımlarının dayanım değerleri ile ultrases geçiş hızı değerleri arasındaki ilişki

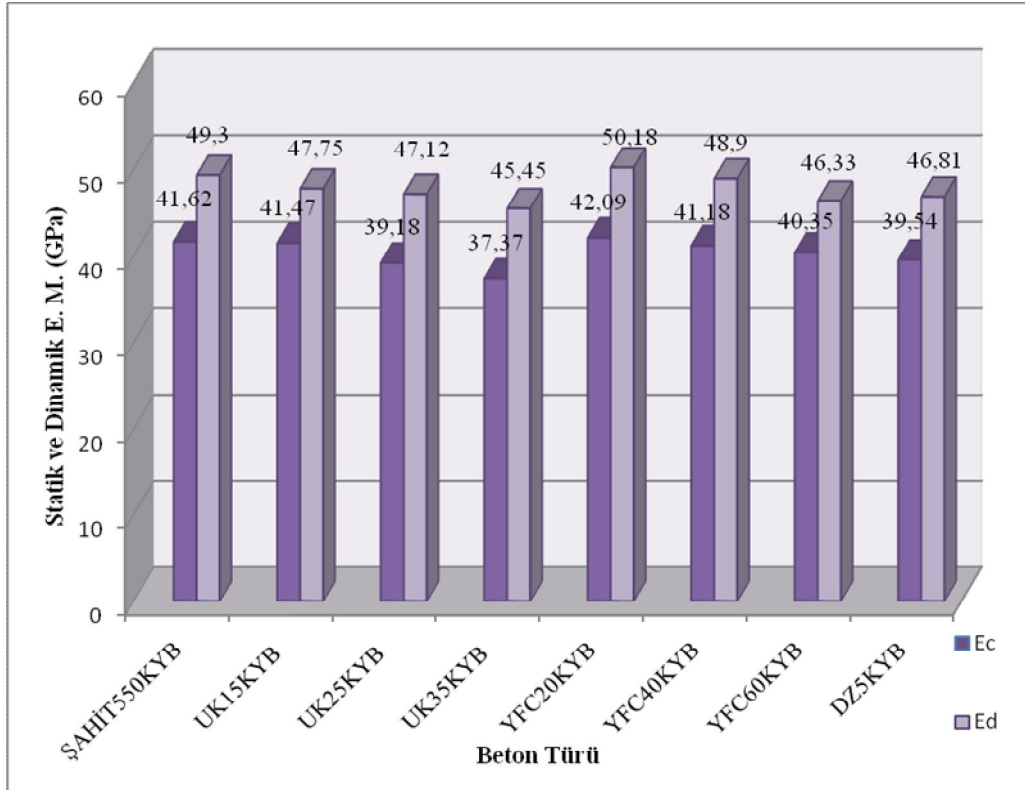
Deney sonuçları değerlendirildiğinde, mineral katkıları içerisinde puzolanik katkı ikame edilerek üretilen KYB deney numunelerinin ultrases geçiş hızı değerlerinin inert malzemeler kullanılarak üretilen KYB deney karışımlarına göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

5.2.1.3. Statik ve dinamik elastisite modülü deneyleri

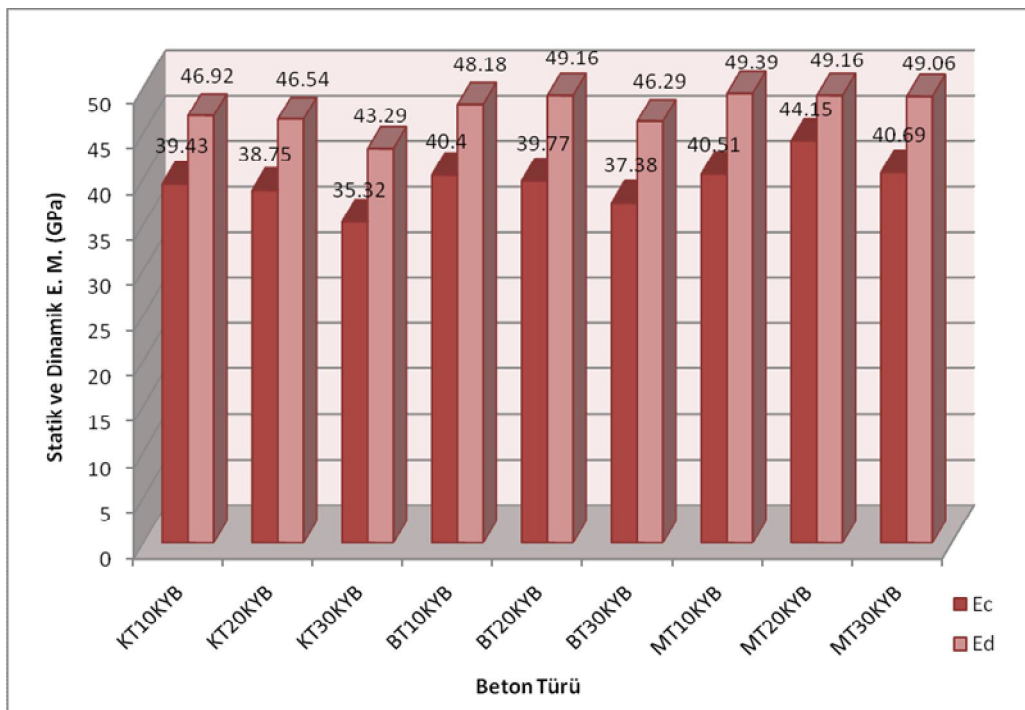
KYB deney numuneleri üzerinde yapılan statik ve dinamik elastisite modülü deneyleri sonucunda elde edilen değerler Şekil 5.8'de görülmektedir. Geleneksel betonlar için çeşitli komiteler tarafından önerilen elastisite modülü denklemlerinden faydalanılarak bir karşılaştırma yapıldığında, KYB'lerde yüksek oranda toz malzeme kullanılmasına ve betonun hamur fazının yüksek olmasına rağmen, elastisite modülü değerlerinin aynı s/ç oranı ve dayanım sınıfındaki geleneksel betonlara göre daha düşük olmadığı anlaşılmaktadır.

Deney sonuçları değerlendirildiğinde en yüksek statik elastisite modülü (E_c) değerini MT20 karışımı, en düşük E_c değerini ise KT30 karışımı vermiştir. MT20 karışımının E_c değerinin şahit betona kıyasla % 5.73 daha fazla olduğu görülmüş, KT30 karışımı ise şahit betona kıyasla % 15.13 daha az E_c değeri vermiştir. Puzolanik katkıları içerisinde UK ve YFC'nin çimento ile ikame oranı arttıkça ilgili karışımların statik elastisite modülü değerlerinin düştüğü görülmüştür.

Dinamik elastisite modülleri değerlendirildiğinde ise KYB karışımları içerisinde en yüksek dinamik elastisite modülü (E_d) değerini YFC20 karışımı, en düşük E_d değerini ise KT30 karışımı vermiştir. Şahit betonla kıyaslandığında YFC20 karışımı % 1.75 daha yüksek E_d değeri, KT30 karışımı ise % 12.19 daha düşük E_d değeri vermiştir.

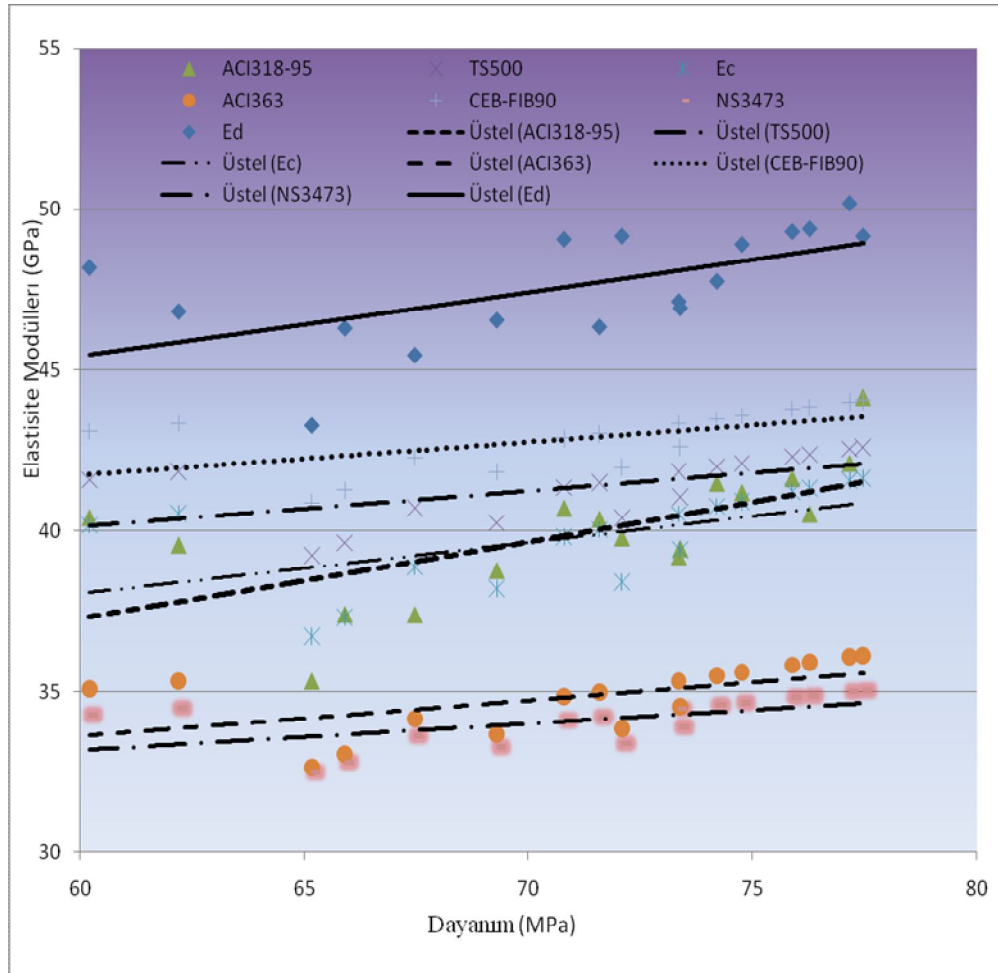


Şekil 5.8. KYB karışımlarının statik ve dinamik elastisite modülü sonuçları



Şekil 5.8. (Devamı) KYB karışımlarının statik ve dinamik elastisite modülü sonuçları

Şekil 5.9'da basınç dayanımı değerleri referans alınarak KYB karışımlarının statik ve dinamik elastisite modüllerinin aynı dayanım sınıfında geleneksel betonlar için çeşitli komiteler tarafından önerilen elastisite modülü denklemleri ile karşılaştırılması yapılmıştır. KYB karışımlarının deney sonucu bulunan E_c değerleri ile basınç dayanımı değerleri referans alınarak geleneksel betonlar için ilgili denklemler yardımıyla bulunan elastisite modülü değerleri arasında önemli farklılıklar bulunmadığı görülmüştür.



Şekil 5.9. KYB karışımlarının statik ve dinamik elastisite modüllerinin geleneksel betonlar için çeşitli komiteler tarafından önerilen elastisite modülü denklemleri ile karşılaştırılması

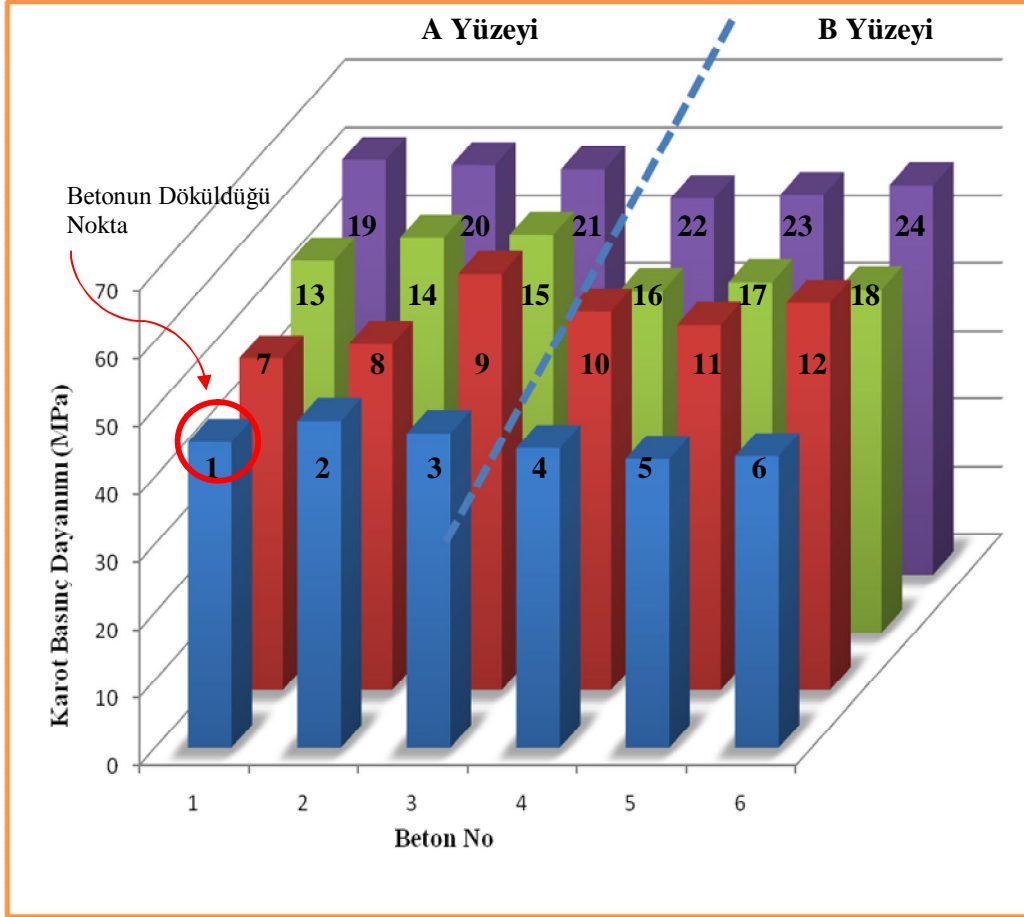
Şekil 5.9 incelendiğinde, basınç dayanımı değerleri referans alınarak CEB-FIB 90 (İsviçre) komitesinin önerdiği denklem yardımıyla elde edilen elastisite modülü değerlerinin, deneysel olarak bulunan elastisite modülü değerlerinden daha yüksek

olduğu görülmektedir [186]. Aynı şekilde TS500 standardının önerdiği denklem yardımıyla elde edilen elastisite modülü değerlerinin, deneysel olarak bulunan elastisite modülü değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir [184]. Ancak, NS3473 (Norveç) standardı ile ACI 318-95 ve ACI 363 komitesinin önerdiği denklemler yardımıyla elde edilen elastisite modülü değerleri, deneysel olarak bulunan elastisite modülü değerlerinden daha düşük olduğu görülmektedir [185,187,188].

5.2.2. Yapısal perde elemanlarına ait deneyler

Farklı bileşimlerde hazırlanan KYB'lerin sıkı donatılı, dar kesitli yapısal perde elemanlarında herhangi bir sıkıştırmaya tabi tutulmadan "kendiliğinden yerleşebilirlik" özelliklerinin saha koşullarında belirlenmesini amaçlayan 300 cm x 150 cm x 20cm ebatlarındaki yapısal perde elemanlarına tek bir noktadan beton dökülerek dar kesit ve sıkı donatılar arasından geçen betonun yatay ve düşey doğrultuda eleman boyunca basınç dayanımı, su emme, birim ağırlık ve Schmidt çekici deneyleri yapılarak deney sonuçları irdelenmiştir.

Perde elemanları, agrega ve toplam ince taneli malzeme miktarları sabit olmak üzere, 7 farklı bileşimde hazırlanarak tek bir noktadan beton dökümü gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, 28 gün boyunca standart küre tabi tutulan perde elemanlarından yatay doğrultuda 4 sıra halinde, düşey doğrultuda ise 6 sıra halinde karot numuneler alınarak ilgili deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapısal perde elemanlarının ilki olarak, geleneksel beton perde elemanından 28. günde karot numuneler alınarak (Şekil 3.17'de gösterilen ve numaralandırılan noktalardan) bu numuneler üzerinde basınç dayanımı, su emme ve birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Bu perde elemanı vibratörle sıkıştırma işlemi neticesinde kalıbına yerleştirilmiştir. Karot basınç dayanımı deneyi neticesinde elde edilen değerler Şekil 5.10'da gösterilmiştir. Bu şekilden görüleceği üzere, betonun döküldüğü nokta esas alınarak yatay doğrultudaki basınç dayanımı değişimleri eleman derinliği boyunca incelendiğinde, perde elemanının derinliği arttıkça basınç dayanımı değerlerinin de arttığı görülmüştür.

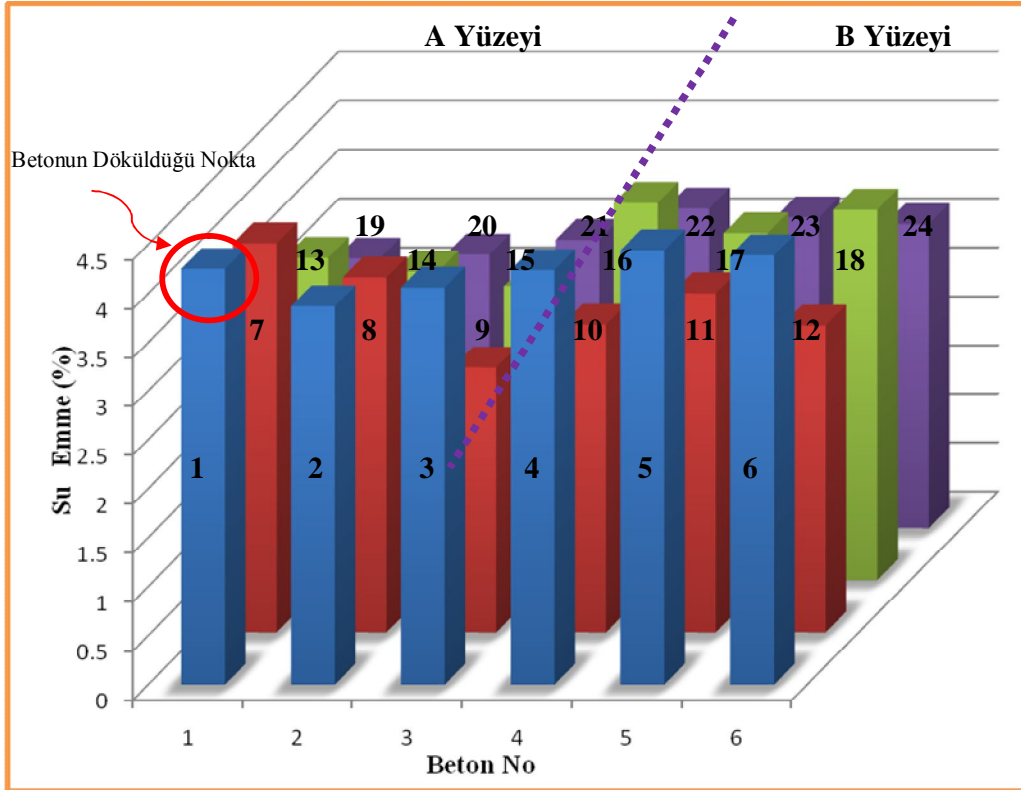


Şekil 5.10. Geleneksel beton olarak isimlendirilen ve C50 sınıfında dizayn edilen perde elemanın yatay ve düşey eleman boyunca karot basınç dayanımının değişimi

Perde elemanın alt kısmından alınan numunelerin ortalama basınç dayanımı üst kısımdan alınan numunelerin ortalama basınç dayanımına göre %30 daha fazladır. Dolayısıyla, eleman derinliği arttıkça perde elemanın basınç dayanımı da artmaktadır. Bu durum, betonun hidrostatik özelliğine bağlanabilir. Şöyle ki; taze beton kalıbına yerleştirildiğinde hidrostatik nedenlerle agrega taneleri çökmeye çalışırken betonun bünyesindeki su ise yukarı doğru yükselmeye çalışır ve dolayısıyla betonun alt bölgesi daha iyi yerleşir. Ayrıca betonun alt kısmı, üstündeki ağırlık nedeniyle daha iyi sıkışır. Böylece alt noktadaki basınç dayanımı daha yüksek olmaktadır.

Geleneksel beton olarak üretilen perde elemanın düşey doğrultudaki basınç dayanımı değişimleri eleman uzunluğu boyunca incelendiğinde, perde elemanın

döküm noktasından uzaklaştıkça basınç dayanımı değerlerinde belirgin bir değişme olmadığı görülmüştür.

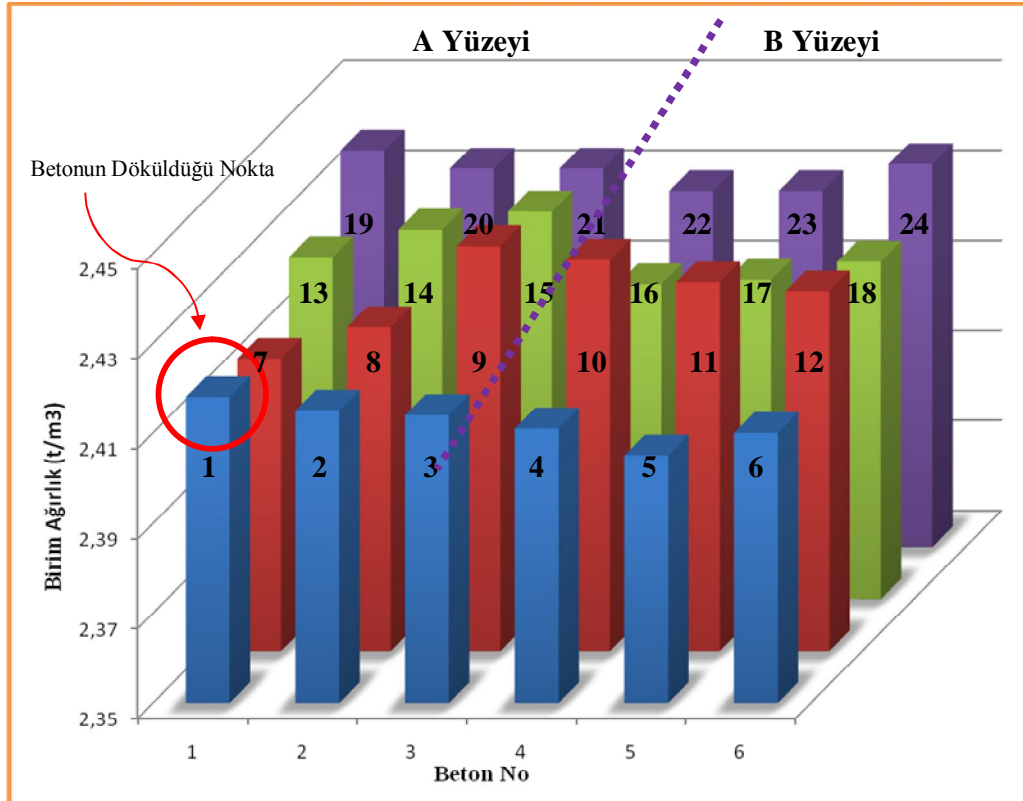


Şekil 5.11. Geleneksel beton olarak isimlendirilen ve C50/60 sınıfında tasarlanan perde elemanın yatay ve düşey eleman boyunca su emme oranı değişimi

Geleneksel beton olarak üretilen L şekilli perde elemanın her iki yüzeyine de ayrı ayrı vibratörle sıkıştırma işlemi uygulandığından her iki yüzey için ortalama basınç dayanımlarının benzer olduğu görülmüştür. Geleneksel betondan alınan karot numunelerin yatay ve düşeyde toplam ortalama basınç dayanımı değeri ise 52.99 MPa elde edilmiştir. Bu değer laboratuvar şartlarında geleneksel beton için elde edilen 61.12 MPa ortalama basınç dayanımı değeri ile kıyaslandığında saha ortamının laboratuvar şartlarını % 87 oranında sağladığı görülmüştür.

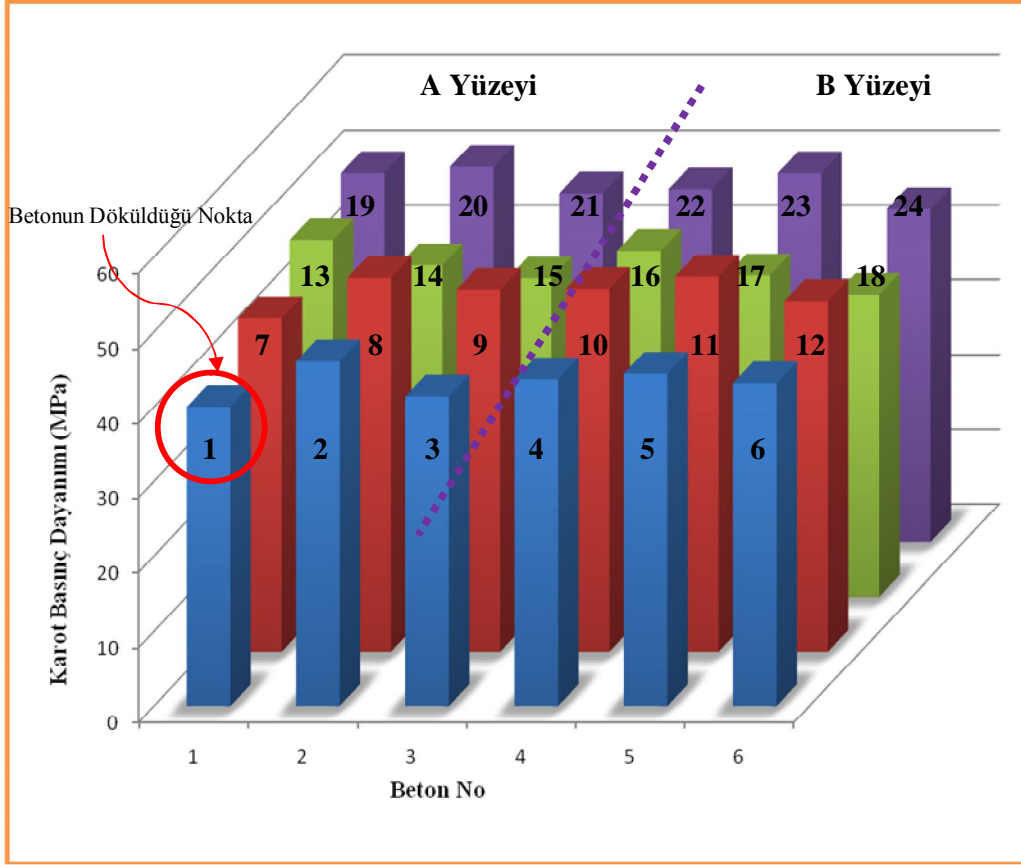
Geleneksel betondan alınan karot numunelere basınç dayanımı deneyleri yapılmadan önce bu numunelerin su emme oranı değerleri ve birim ağırlıkları da belirlenmiştir. Şekil 5.11'de görüleceği üzere beton derinliği arttıkça su emme oranı değerleri de azalmaktadır. Bu durum, perde elemanın alt noktalarının daha iyi sıkışması

nedeniyle daha geçirimsiz olmasına bağlanabilir. Perde elemanı boyunca beton döküm noktasından uzaklaştıkça ise su emme oranı değerleri arasında belirgin bir fark görülmemiştir.



Şekil 5.12. Geleneksel beton olarak isimlendirilen ve C50/60 sınıfında tasarlanan perde elemanın yatay ve düşey eleman boyunca birim ağırlık değişimi

Şekil 5.12’de ise geleneksel betondan alınan karot numunelerin perde elemanı boyunca yatay ve düşeyde birim ağırlık değişimleri görülmektedir. Alt noktalardan alınan karot numunelerin birim ağırlık değerleri üst noktalardan alınan karot numunelere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum, perde elemanının alt noktalarının daha iyi sıkışması nedeniyle daha boşluksuz bir yapıda olmasına bağlanabilir. Ayrıca, perde elemanı boyunca beton döküm noktasından uzaklaştıkça birim ağırlık değerleri arasında belirgin fark görülmemiştir.



Şekil 5.13. Şahit beton olarak isimlendirilen perde elemanının yatay ve düşey eleman boyunca karot basınç dayanımının değişimi

İkinci olarak, şahit beton şeklinde isimlendirilen ve KYB olarak dizayn edildiği için herhangi bir sıkıştırma işlemi uygulanmayan beton kalıbına yerleştirilmiştir. Şahit beton perde elemanından 28. günde karot numuneler alınarak bu numuneler üzerinde basınç dayanımı, su emme ve birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Karot basınç dayanımı deneyi neticesinde elde edilen değerler Şekil 5.13’de gösterilmiştir. Bu şekilden görüleceği üzere betonun döküldüğü nokta esas alınarak, yatay doğrultudaki basınç dayanımı değişimleri eleman derinliği boyunca incelendiğinde, perde elemanının derinliği arttıkça ortalama basınç dayanımı değerlerinin de arttığı görülmüştür.

Perde elemanının alt kısmından alınan numunelerin ortalama basınç dayanımı üst kısımdan alınan numunelerin ortalama basınç dayanımına göre % 11 daha fazladır. Dolayısıyla, eleman derinliği arttıkça perde elemanının basınç dayanımı artmaktadır.

Bu durum, geleneksel betonda olduğu gibi KYB'nin de hidrostatik özelliğine ve betonun alt kısmı üstündeki ağırlık nedeniyle daha iyi sıkışmasına bağlanabilir. Ancak, şahit KYB'nin alt ve üst noktalarının ortalama basınç dayanımı oranı geleneksel betonla kıyaslandığında yaklaşık olarak % 65 daha azdır. Bu durum, KYB'lerin genel özellikleri ile bağlantılıdır. Şöyle ki, KYB'ler geleneksel betonlara göre daha homojen yapıdadır ve KYB'lere vibratör uygulanmadığı için iri taneler ayrışarak perde elemanının alt kısmında birikmemektedir. Bununla birlikte, KYB'lerin maksimum tane boyutunun sınırlanması ve agrega granülometrisinin daha hassas olması agregaların perde elemanının her bölgesinde aynı granülometride olmasını kolaylaştırmaktadır. Ayrıca, KYB'lerde geleneksel betonlara göre daha fazla miktarda kullanılan ince taneli malzemeler bu betonların stabilitesini artırarak bu oranın daha az olmasına neden olmuştur.

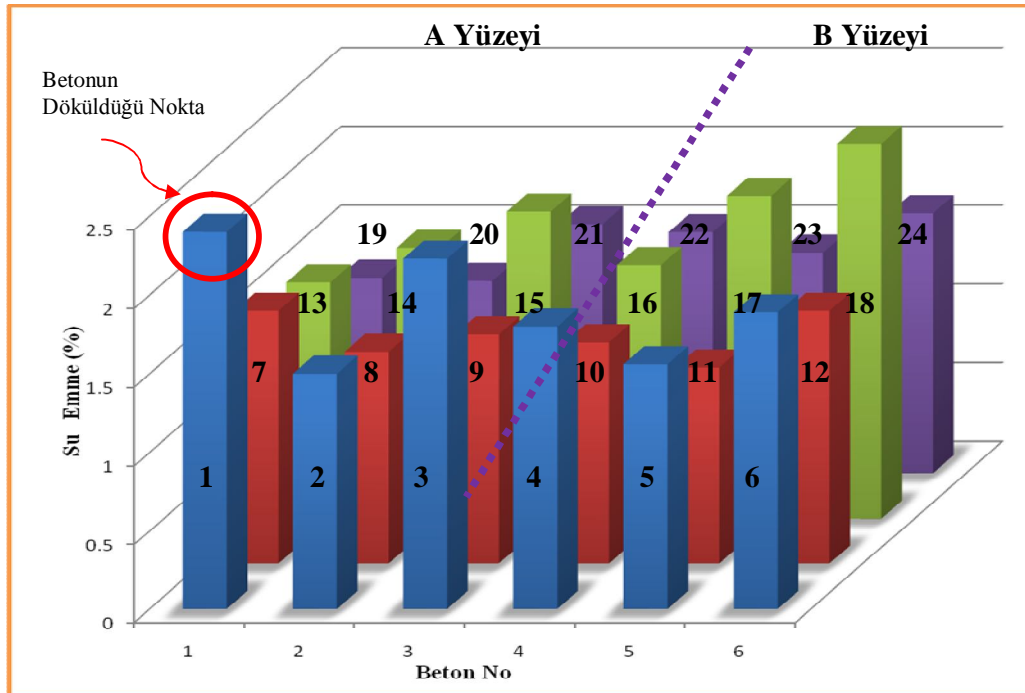
Şahit KYB perde elemanının düşey doğrultudaki basınç dayanımı değişimleri eleman uzunluğu boyunca incelendiğinde karot basınç dayanımı değerlerinin döküm noktasından uzaklaştıkça belirgin olarak değişmediği görülmüştür. Bu durum KYB'lerin "kendiliğinden yerleşebilirlik" özelliğinden kaynaklanmaktadır. KYB dar kesitli ve sıkı donatılı yapı elemanlarından kendi ağırlığı ile rahatça geçerek kalıbını doldurabilir. Ayrıca, en dar donatılı kesitlerden kolayca geçerken stabilitesini koruyarak ve ayrışmayı önleyerek hareket edebilir. Böylece, tek noktadan beton döküldüğünde eleman uzunluğu boyunca engelleri aşarak yatay ve düşey doğrultuda homojen bir davranış gösterebilir.

Şahit KYB'den alınan karot numunelerin yatay ve düşeydeki toplam ortalama basınç dayanımı değeri 45.75 MPa elde edilmiştir. Bu değer laboratuvar şartlarında şahit beton için elde edilen (60.71 MPa) basınç dayanımı değeri ile kıyaslandığında saha ortamının laboratuvar şartlarını % 76 oranında sağladığı görülmüştür.

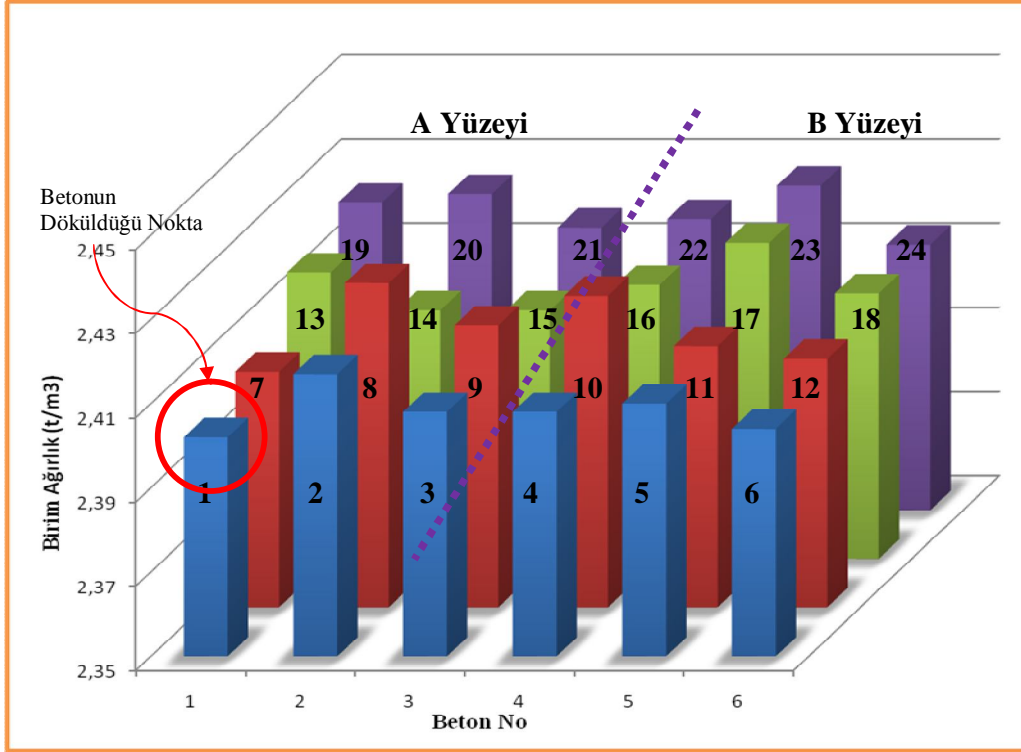
Şahit KYB'den alınan karot numunelere basınç dayanımı deneyleri yapılmadan önce bu numunelerin su emme oranı değerleri ve birim ağırlıkları da belirlenmiştir. Şekil 5.14'de görüleceği üzere beton derinliği arttıkça su emme oranı değerleri de azalmaktadır. Bu durum, perde elemanının alt noktalarının üst noktalardan gelen ağırlık etkisiyle daha iyi sıkışması sonucu daha geçirimsiz olmasına bağlanabilir.

Ancak, şahit betonun ortalama su emme oranı (% 1.66) değeri geleneksel betonla (% 3.50) kıyaslandığında % 110 daha azdır. Bu durum, KYB'nin daha homojen ve geçirimsiz yapısına ve kendi ağırlığı ile daha iyi sıkışmasına bağlanabilir. Perde elemanı boyunca beton döküm noktasından uzaklaştıkça su emme oranı değerleri arasında belirgin fark görülmemiştir. Bu durum KYB'nin “kendiliğinden yerleşebilirlik” özelliği ile açıklanabilir.

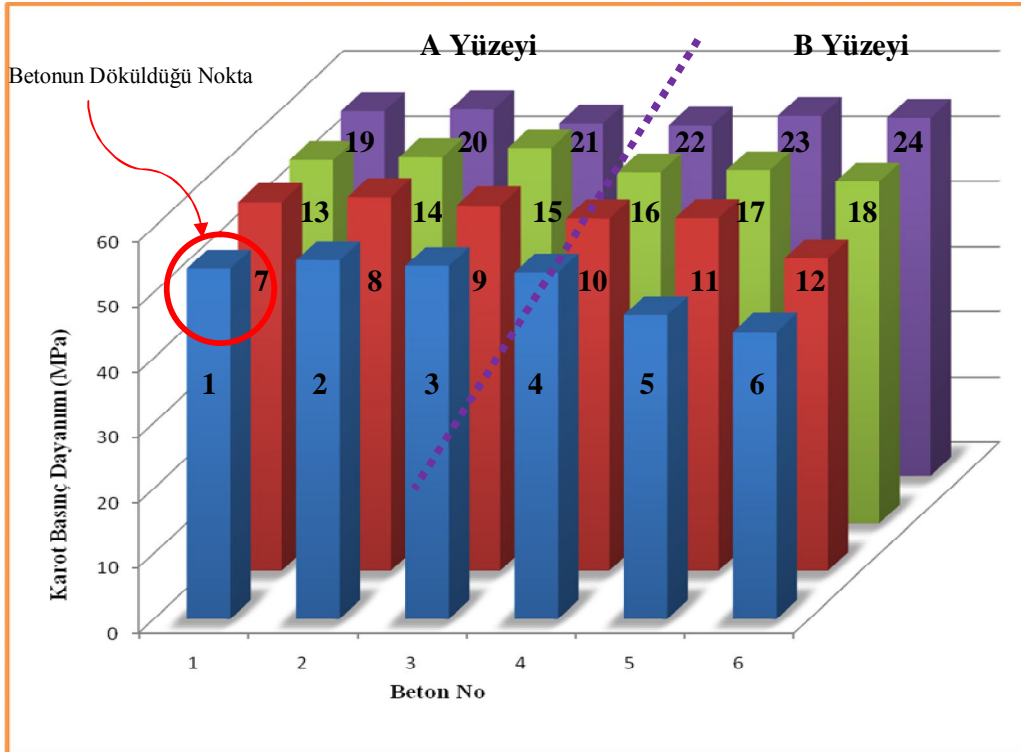
Şekil 5.15'te ise şahit betondan alınan karot numunelerin perde elemanı boyunca yatay ve düşeyde birim ağırlık değişimleri görülmektedir. Alt noktalardan alınan karot numunelerin birim ağırlık değerleri ile üst noktalardan alınan karot numunelerin birim ağırlıkları arasında belirgin bir fark görülmemiştir. Bu durum, KYB'lerin geleneksel betona göre daha homojen yapıda olmasına bağlanabilir. Bununla birlikte, şahit beton perde elemanının yatay ve düşeyde toplam ortalama birim ağırlık değeri (2.415 t/m^3), geleneksel betonla (2.425 t/m^3) kıyaslandığında % 0.41 daha azdır. Ancak bu oran dikkate değer görülmemiştir. Ayrıca, perde elemanı boyunca beton döküm noktasından uzaklaştıkça birim ağırlık değerleri arasında belirgin bir fark ortaya çıkmamıştır. Bu sonuç beklenen bir durumdur.



Şekil 5.14. Şahit beton perde elemanının yatay ve düşeyde su emme oranının değişimi



Şekil 5.15. Şahit beton perde elemanının yatay ve düşey eleman boyunca birim ağırlık değişimi



Şekil 5.16. Uçucu külün çimento ile %15 oranında ikame edilmesiyle üretilen perde elemanının yatay ve düşey eleman boyunca kerot basınç dayanımının değişimi

Üçüncü olarak, uçucu külün çimento ile % 15 oranında ikame edilmesiyle üretilen KYB herhangi bir sıkıştırma işlemi uygulanmadan kalıbına yerleştirilmiştir. Bu perde elemanından 28. günde karot numuneler alınarak bu numuneler üzerinde basınç dayanımı, su emme ve birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Karot basınç dayanımı deneyi neticesinde elde edilen değerler Şekil 5.16'da gösterilmiştir. Bu şekilden görüleceği üzere betonun döküldüğü nokta esas alınarak yatay doğrultudaki basınç dayanımı değişimleri eleman derinliği boyunca incelendiğinde ortalama karot basınç dayanımı değerlerinin perde derinliği boyunca arttığı görülmüştür.

Perde elemanının alt kısmından alınan numunelerin ortalama basınç dayanımı üst kısımdan alınan numunelerin ortalama basınç dayanımına göre % 7.91 daha fazladır. Ancak, % 15 oranında uçucu kül içeren KYB'nin alt ve üst noktalarının ortalama basınç dayanımı oranı geleneksel betonla kıyaslandığında % 75 daha azdır.

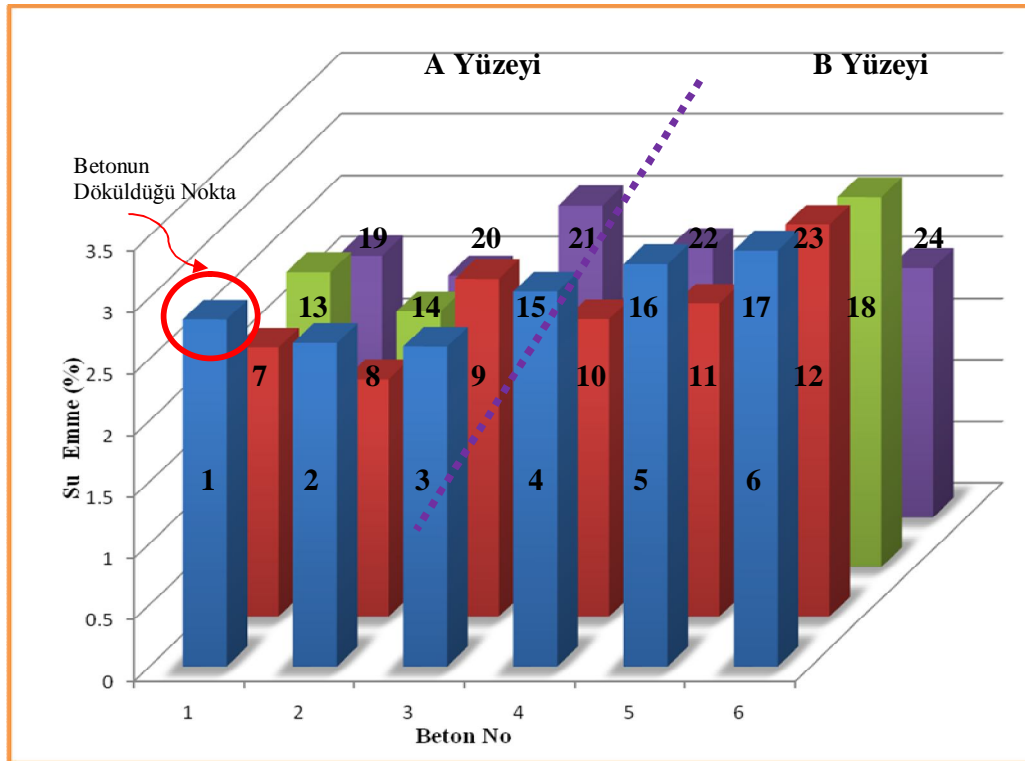
Uçucu külün çimento ile % 15 oranında ikame edilmesiyle üretilen ve KYB olarak tasarlanan perde elemanının düşey doğrultudaki basınç dayanımı değişimleri eleman uzunluğu boyunca irdelendiğinde perde elemanının döküm noktasından uzaklaştıkça ortalama basınç dayanımı değerlerinin belirgin olarak değişmediği görülmüştür.

Çimento ile % 15 oranında uçucu kül ikameli KYB'den alınan karot numunelerin yatay ve düşeyde toplam ortalama basınç dayanımı değeri 53.79 MPa elde edilmiştir. Bu değer laboratuvar şartlarında 58.29 MPa olarak elde edilmiştir. Bu iki değer karşılaştırıldığında, saha ortamının laboratuvar şartlarını % 92 oranında sağladığı görülmüştür.

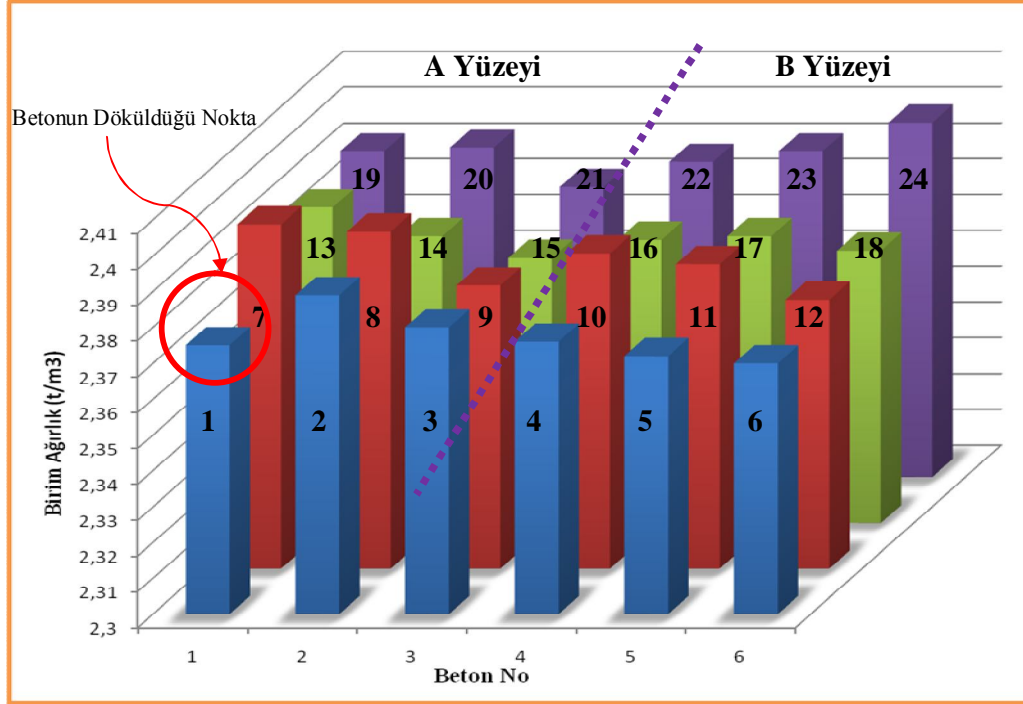
Çimento ile % 15 oranında uçucu kül ikameli KYB'den alınan karot numunelere basınç dayanımı deneyleri yapılmadan önce bu numunelerin su emme oranı değerleri ve birim ağırlıkları da belirlenmiştir. Şekil 5.17'de görüleceği üzere beton derinliği arttıkça su emme oranı değerleri de azalmaktadır. Ancak çimento ile % 15 oranında uçucu kül ikameli KYB'nin ortalama su emme oranı (% 2.46) değeri, geleneksel beton ortalama su emme oranı (% 3.50) değeri ile kıyaslandığında % 30 daha azdır.

Perde elemanı boyunca beton döküm noktasından yatay doğrultuda uzaklaştıkça su emme oranı değerleri arasında belirgin fark görülmemiştir.

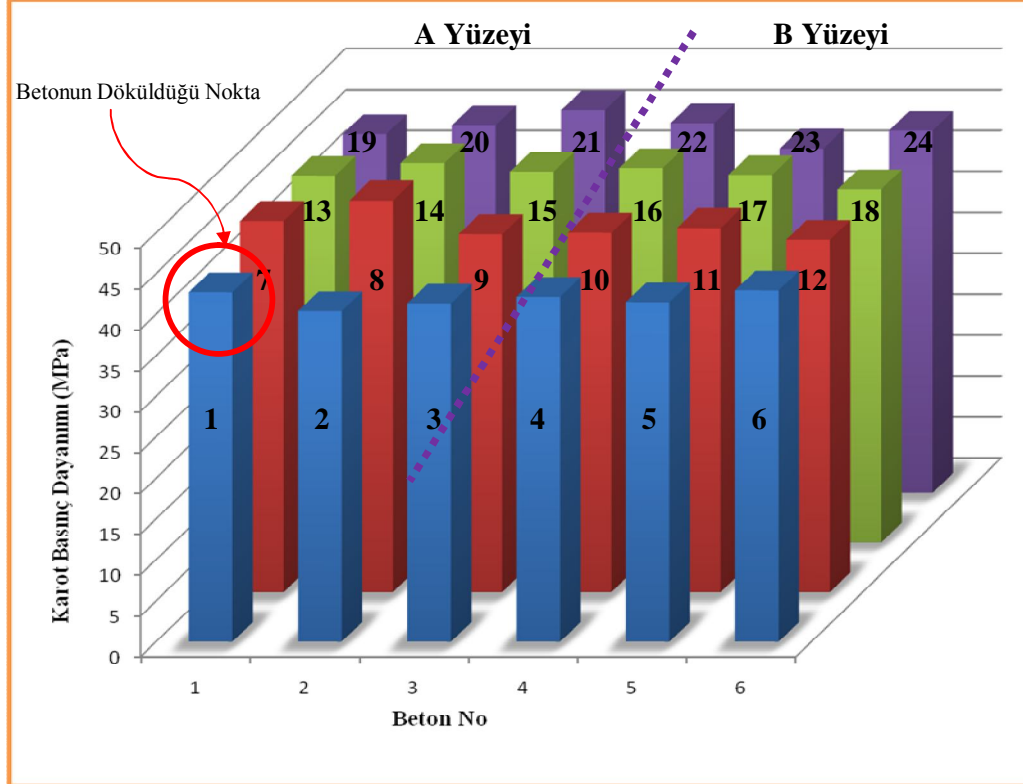
Şekil 5.18’de ise uçucu külün çimento ile % 15 oranında ikame edilmesiyle üretilen perde elemanından alınan karot numunelerin perde elemanı boyunca yatay ve düşeyde birim ağırlık değişimleri görülmektedir. Alt noktalardan alınan karot numunelerin birim ağırlık değerleri ile üst noktalardan alınan karot numunelerin birim ağırlıkları arasında belirgin bir fark görülmemiştir. Bu durum, KYB’lerin geleneksel betona göre daha homojen yapıda olmasına bağlanabilir. % 15 oranında uçucu kül ikameli perde elemanının yatay ve düşeydeki toplam ortalama birim ağırlık değeri (2.383 t/m^3) ise geleneksel betona (2.425 t/m^3) kıyasla % 1.73 daha azdır. Ayrıca, perde elemanı boyunca beton döküm noktasından yatay doğrultuda uzaklaştıkça birim ağırlık değerleri arasında belirgin bir fark gözlemlenmemiştir.



Şekil 5.17. Uçucu külün çimento ile %15 oranında ikame edilmesiyle üretilen perde elemanının yatay ve düşey eleman boyunca su emme oranı değişimi



Şekil 5.18. Uçucu külün çimento ile %15 oranında ikame edilmesiyle üretilen perde elemanın yatay ve düşey eleman boyunca birim ağırlık değişimi



Şekil 5.19. Uçucu külün çimento ile %35 oranında ikame edilmesiyle üretilen perde elemanın yatay ve düşey eleman boyunca karot basınç dayanımının değişimi

Dördüncü olarak, uçucu külün çimento ile % 35 oranında ikame edilmesiyle üretilen KYB herhangi bir sıkıştırma işlemi uygulanmadan kalıbına yerleştirilmiştir. % 35 uçucu kül ikame oranlı perde elemanından 28. günde karot numuneler alınarak bu numuneler üzerinde basınç dayanımı, su emme ve birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Karot basınç dayanımı deneyi neticesinde elde edilen değerler Şekil 5.19'da gösterilmiştir. Bu şekilden görüleceği üzere betonun döküldüğü nokta esas alınarak yatay doğrultudaki basınç dayanımı değişimleri eleman derinliği boyunca incelendiğinde perde elemanının derinliği arttıkça ortalama basınç dayanımı değerlerinin de arttığı görülmüştür.

Perde elemanının alt kısmından alınan numunelerin ortalama basınç dayanımı üst kısımdan alınan numunelerin ortalama basınç dayanımına göre % 6.34 daha fazladır. Dolayısıyla, eleman derinliği arttıkça perde elemanının basınç dayanımı artmaktadır. Ancak % 35 oranında uçucu kül içeren KYB'nin alt ve üst noktalarının ortalama basınç dayanımı değerleri oranı geleneksel betonla kıyaslandığında bu farkın % 79 daha az olduğu anlaşılmıştır. Bu durum, KYB'lerin genel özellikleri ile uyumludur.

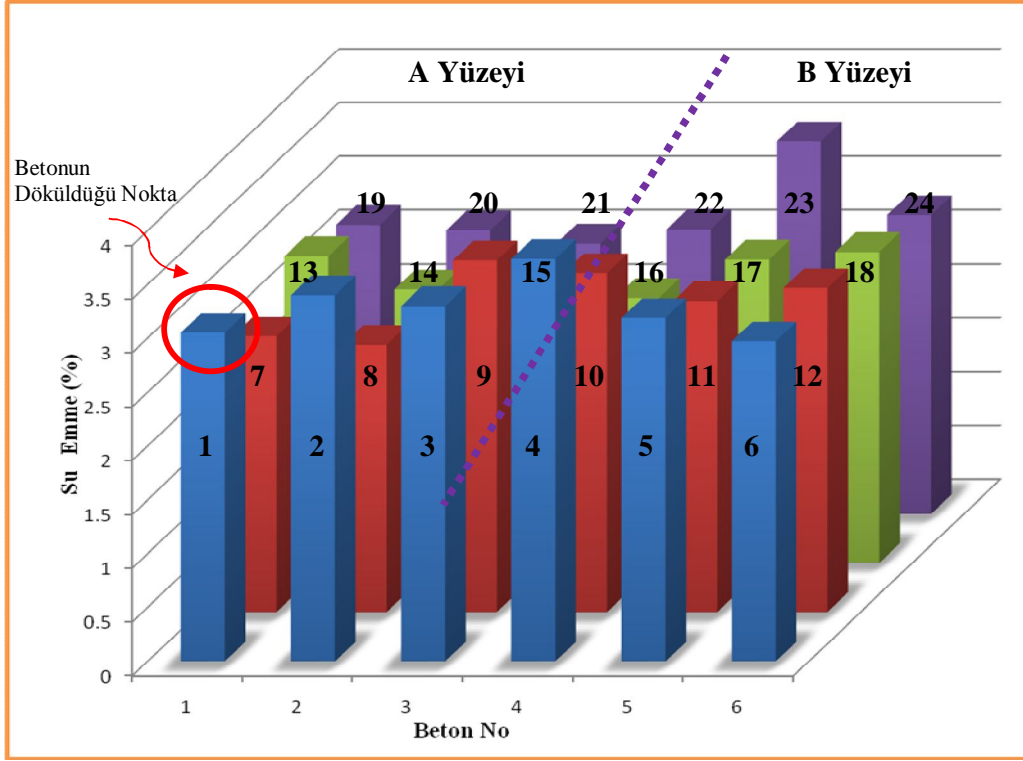
Uçucu külün çimento ile % 35 oranında ikame edilmesiyle üretilen ve KYB olarak tasarlanan perde elemanının düşey doğrultudaki basınç dayanımı değişimleri eleman uzunluğu boyunca irdelendiğinde, perde elemanının döküm noktasından uzaklaştıkça ortalama basınç dayanımı değerlerinin yaklaşık olarak aynı kaldığı görülmüştür.

Çimento ile % 35 oranında uçucu kül ikameli KYB'den alınan karot numunelerin yatay ve düşeyde toplam ortalama basınç dayanımı değeri 44.02 MPa elde edilmiştir. Bu değer laboratuvar şartlarında uçucu külün % 35 ikame oranında kullanılmasıyla elde edilen karışım için ortalama basınç dayanımı değeri olan 53.97 MPa ile kıyaslandığında saha ortamının laboratuvar şartlarını % 82 oranında sağladığı görülmüştür.

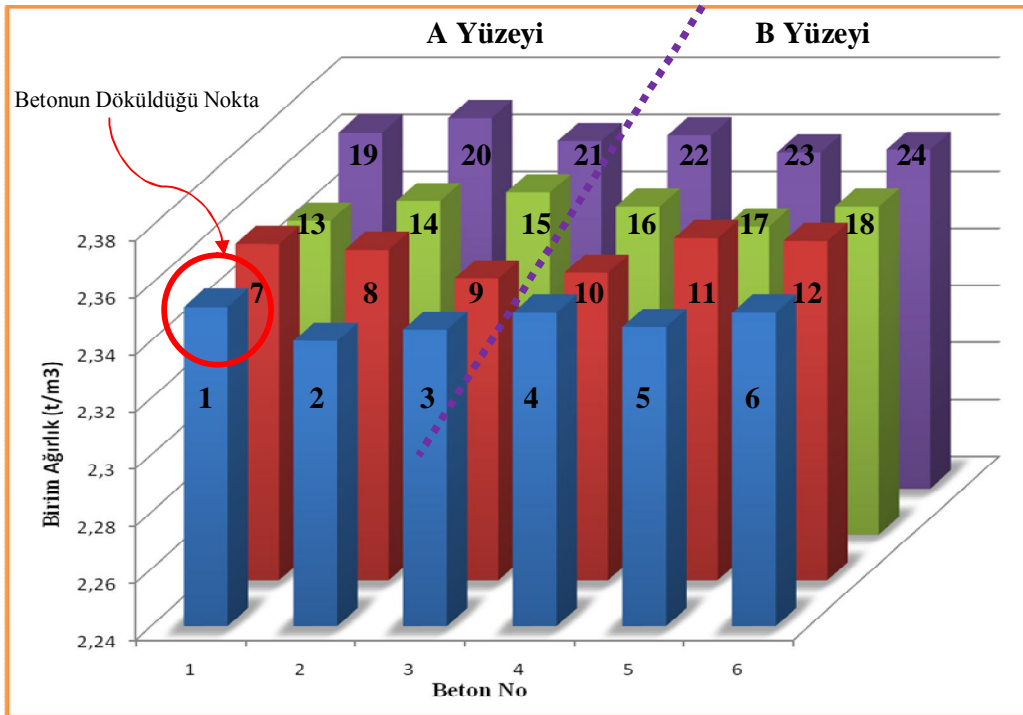
Çimento ile % 35 oranında uçucu kül ikameli KYB'den alınan karot numunelere basınç dayanımı deneyleri yapılmadan önce bu numunelerin su emme oranı değerleri ve birim ağırlıkları da belirlenmiştir. Şekil 5.20'de görüleceği üzere beton derinliği

arttıkça su emme oranı değerleri de azalmaktadır. Ancak, diğer beton karışımları ile kıyaslandığında beton derinliği ile su emme oranı değerleri belirgin olarak değişmemiştir. Bununla birlikte, çimento ile % 35 oranında uçucu kül ikameli KYB'nin ortalama su emme oranı (% 2.91) geleneksel betonla (% 3.50) kıyaslandığında % 17 daha azdır. Bu durum, KYB'nin daha homojen ve geçirimsiz yapısına ve kendi ağırlığı ile daha iyi sıkışmasına bağlanabilir. Perde elemanı boyunca beton döküm noktasından uzaklaştıkça su emme oranı değerleri arasında belirgin bir fark görülmemiştir.

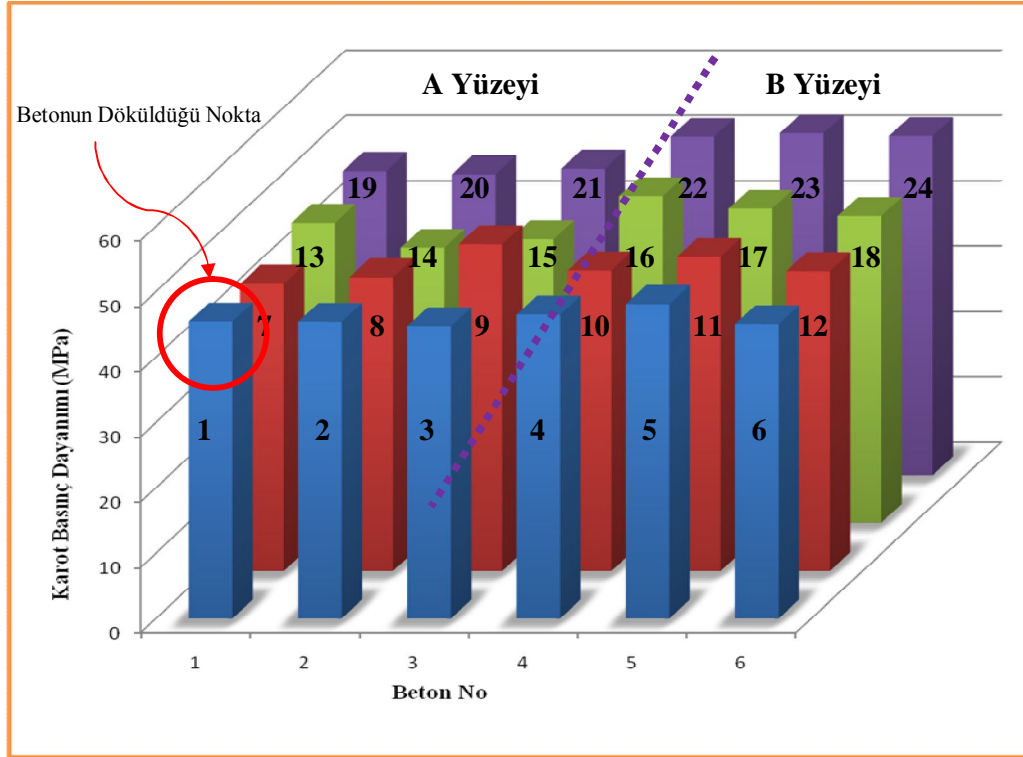
Şekil 5.21'de ise uçucu külün çimento ile % 35 oranında ikame edilmesiyle üretilen perde elemanından alınan karot numunelerin perde elemanı boyunca yatay ve düşeyde birim ağırlık değişimleri görülmektedir. Alt noktalardan alınan karot numunelerin birim ağırlık değerleri ile üst noktalardan alınan karot numunelerin birim ağırlıkları arasında belirgin bir fark görülmemiştir. Uçucu külün çimento ile % 35 ikame edilmesiyle üretilen perde elemanının yatay ve düşeydeki toplam ortalama birim ağırlık değeri (2.354 t/m^3), geleneksel betona (2.425 t/m^3) kıyasla % 2.93 daha azdır. Ayrıca, perde elemanı boyunca beton döküm noktasından uzaklaştıkça birim ağırlık değerleri arasında belirgin bir fark görülmemiştir.



Şekil 5.20. Uçucu külün çimento ile %35 oranında ikame edilmesiyle üretilen perde elemanın yatay ve düşey eleman boyunca su emme oranı değişimi



Şekil 5.21. Uçucu külün çimento ile %35 oranında ikame edilmesiyle üretilen perde elemanın yatay ve düşey eleman boyunca birim ağırlık değişimi



Şekil 5.22. Kalker tozunun çimento ile %15 oranında ikame edilmesiyle üretilen perde elemanın yatay ve düşey eleman boyunca kerol basınç dayanımının değişimi

Beşinci olarak, kalker tozunun çimento ile % 15 oranında ikame edilmesiyle üretilen KYB herhangi bir sıkıştırma işlemi uygulanmadan kalıbına yerleştirilmiştir. Çimento ile % 15 kalker tozu ikameli perde elemanından 28. günde kerol numuneler alınarak bu numuneler üzerinde basınç dayanımı, su emme ve birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Kerol basınç dayanımı deneyi neticesinde elde edilen değerler Şekil 5.22’de gösterilmiştir. Bu şekilden görüleceği üzere betonun döküldüğü nokta esas alınarak yatay doğrultudaki basınç dayanımı değişimleri eleman derinliği boyunca irdelendiğinde, perde elemanının derinliği arttıkça ortalama basınç dayanımı değerlerinin de arttığı görülmüştür.

Perde elemanının alt kısmından alınan numunelerin ortalama basınç dayanımı üst kısımdan alınan numunelerin ortalama basınç dayanımına göre % 7.35 daha fazladır. Dolayısıyla, eleman derinliği arttıkça perde elemanının basınç dayanımı da artmaktadır. Ancak, çimento ile % 15 oranında kalker tozu içeren KYB’nin alt ve üst

noktalarının ortalama basınç dayanımı oranı geleneksel betonla kıyaslandığında % 77 daha azdır.

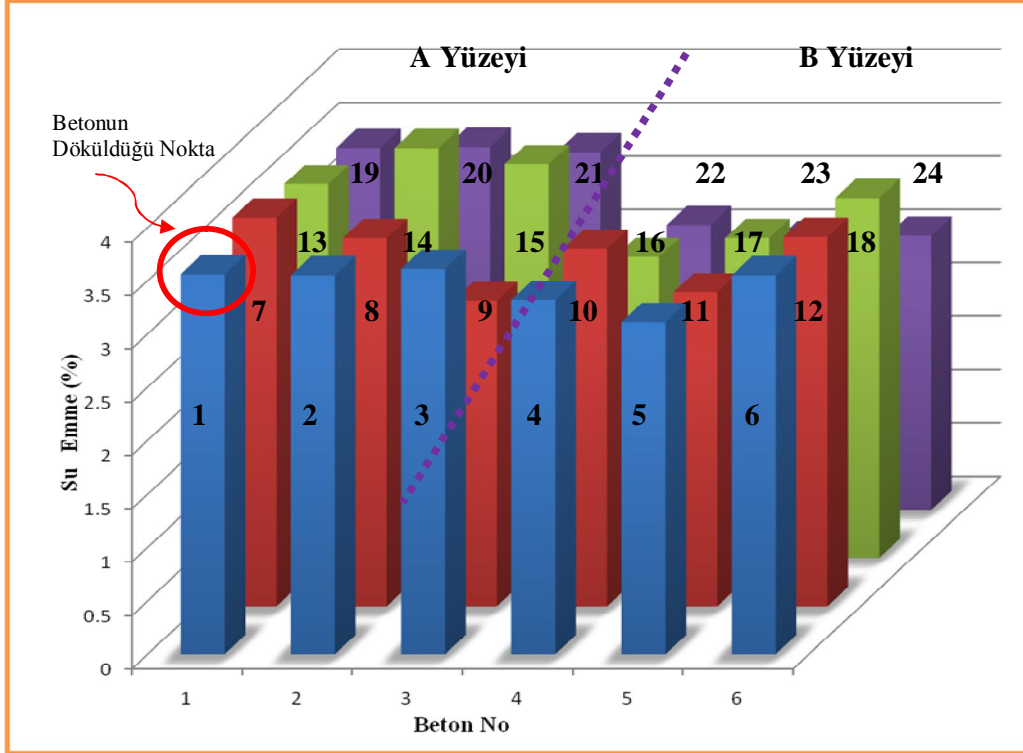
Kalker tozunun çimento ile % 15 oranında ikame edilmesiyle üretilen ve KYB olarak tasarlanan perde elemanının düşey doğrultudaki basınç dayanımı değişimleri eleman uzunluğu boyunca incelendiğinde, perde elemanının döküm noktasından uzaklaştıkça ortalama basınç dayanımı değerlerinin yaklaşık olarak aynı kaldığı görülmüştür. Bu durum KYB'lerin "kendiliğinden yerleşebilirlik" özelliğinden kaynaklanmaktadır.

Çimento ile % 15 oranında kalker tozu ikameli KYB'den alınan karot numunelerin yatay ve düşeyde toplam ortalama basınç dayanımı değeri ise 46.89 MPa elde edilmiştir. Bu değer, laboratuvar şartlarında kalker tozunun çimento ile % 15 ikame oranında kullanılmasıyla elde edilen karışım için ortalama basınç dayanımı değeri olan 55.44 MPa ile kıyaslandığında saha ortamının laboratuvar şartlarını % 85 oranında sağladığı görülmüştür.

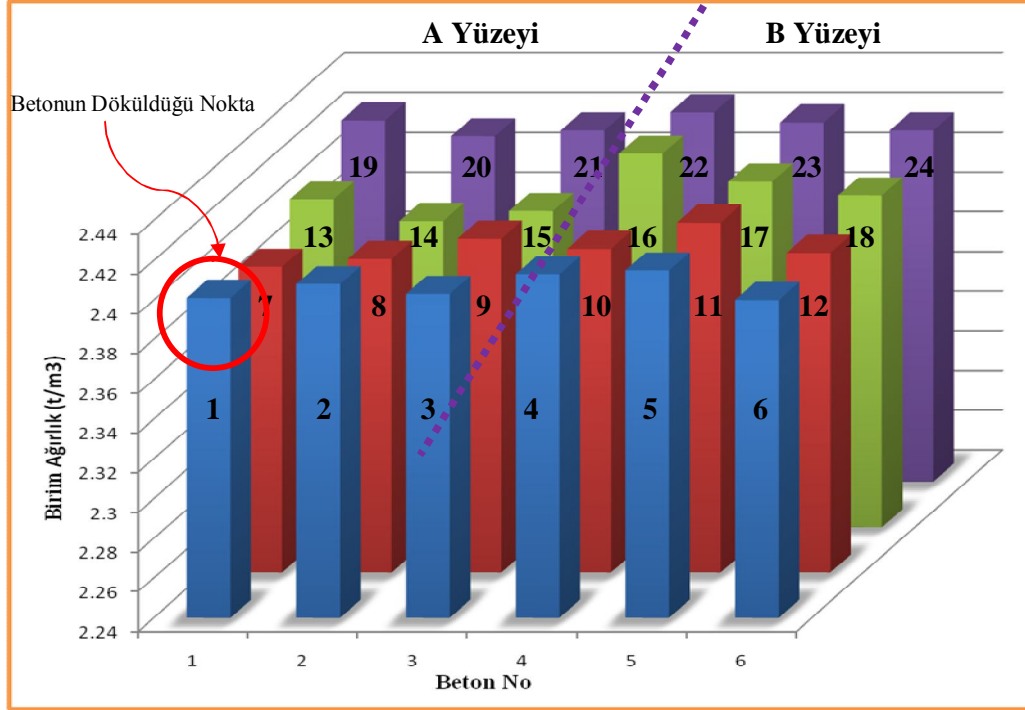
Çimento ile % 15 oranında kalker tozu ikameli KYB'den alınan karot numunelere basınç dayanımı deneyleri yapılmadan önce bu numunelerin su emme oranı değerleri ve birim ağırlıkları da belirlenmiştir. Şekil 5.23'te görüleceği üzere beton derinliği arttıkça su emme oranı değerleri belirgin olarak azalmamaktadır. Ancak, çimento ile % 15 oranında kalker tozu ikameli KYB'nin ortalama su emme oranı (% 3.27) değeri geleneksel betonla (% 3.50) kıyaslandığında % 6.58 daha azdır. Perde elemanı boyunca beton döküm noktasından uzaklaştıkça su emme oranı değerleri arasında belirgin bir fark görülmemiştir.

Şekil 5.24'te ise kalker tozunun çimento ile % 15 oranında ikame edilmesiyle üretilen perde elemanından alınan karot numunelerin perde elemanı boyunca yatay ve düşeyde birim ağırlık değişimleri görülmektedir. Alt noktalardan alınan karot numunelerin birim ağırlık değerleri ile üst noktalardan alınan karot numunelerin birim ağırlıkları arasında belirgin bir fark görülmemiştir. Bununla birlikte, kalker tozunun çimento ile % 15 oranında ikame edilmesiyle üretilen perde elemanının yatay ve düşeydeki toplam ortalama birim ağırlık değeri (2.409 t/m^3) geleneksel

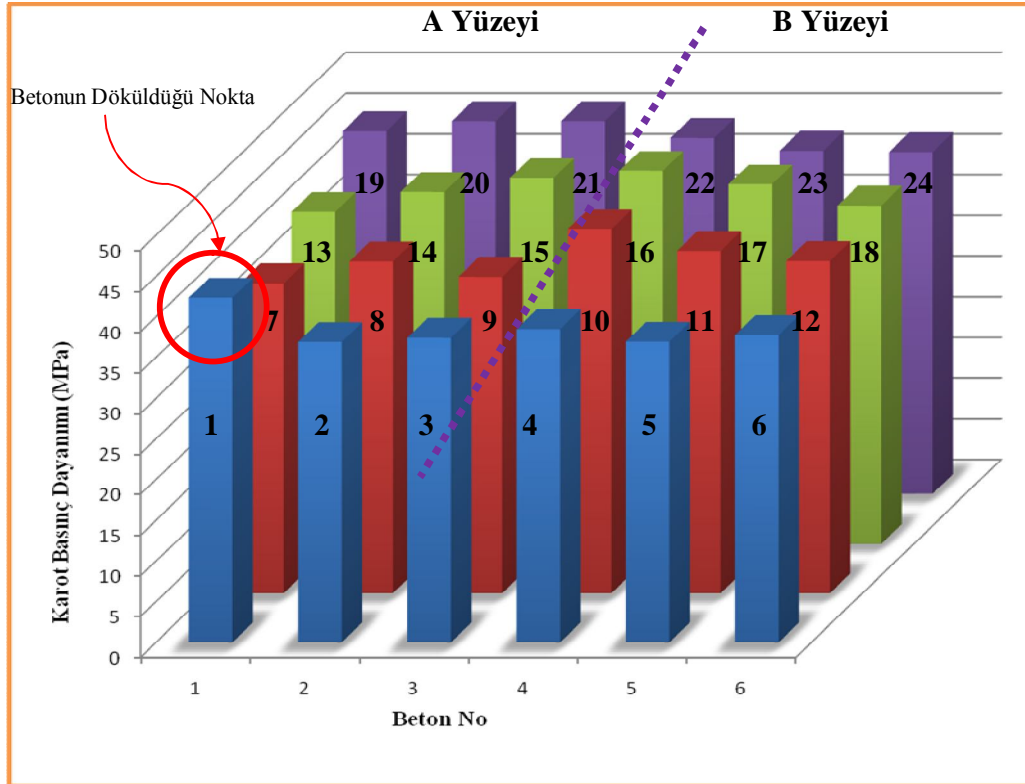
betona (2.425 t/m^3) kıyasla % 0.66 daha azdır. Bu iki perde elemanının birim ağırlık değerleri arasındaki farkın kayda değer olmadığı anlaşılmıştır.



Şekil 5.23. Kalker tozunun çimento ile %15 oranında ikame edilmesiyle üretilen perde elemanının yatay ve düşey eleman boyunca su emme oranı değişimi



Şekil 5.24. Kalker tozunun çimento ile %15 oranında ikame edilmesiyle üretilen perde elemanının yatay ve düşey eleman boyunca birim ağırlık değişimi



Şekil 5.25. Kalker tozunun çimento ile %30 oranında ikame edilmesiyle üretilen perde elemanının yatay ve düşey eleman boyunca karot basınç dayanımının değişimi

Altıncı olarak, kalker tozunun çimento ile %30 oranında ikame edilmesiyle üretilen KYB herhangi bir sıkıştırma işlemi uygulanmadan kalıbına yerleştirilmiştir. %30 kalker tozu ikame oranlı perde elemanından 28. günde karot numuneler alınarak bu numuneler üzerinde basınç dayanımı, su emme ve birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Karot basınç dayanımı deneyi neticesinde elde edilen değerler Şekil 5.25'te gösterilmiştir. Bu şekilden görüleceği üzere betonun döküldüğü nokta esas alınarak yatay doğrultudaki basınç dayanımı değişimleri eleman derinliği boyunca incelendiğinde, perde elemanının derinliği arttıkça ortalama basınç dayanımı değerleri de artmaktadır.

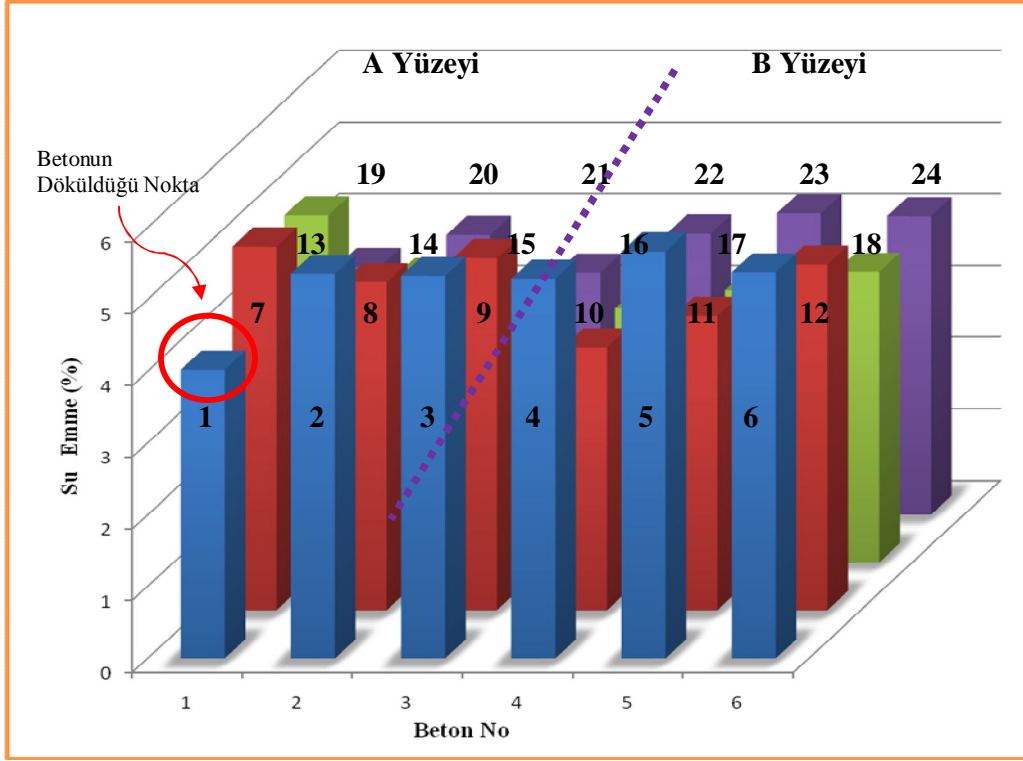
Perde elemanının alt kısmından alınan numunelerin ortalama basınç dayanımı üst kısımdan alınan numunelerin ortalama basınç dayanımına göre % 14.87 daha fazladır. Dolayısıyla, eleman derinliği arttıkça perde elemanının basınç dayanımı diğer perde elemanlarında olduğu gibi artmaktadır. Ancak, % 30 oranında kalker tozu içeren KYB'nin alt ve üst noktalarının ortalama basınç dayanımı oranının geleneksel betona göre yaklaşık olarak % 50 daha az olduğu görülmüştür. Bu durum, KYB'lerde vibratör kullanılmamasına rağmen ne denli etkili bir yerleşebilirliğin sağlandığının bir kanıtı olarak düşünülebilir.

Kalker tozunun çimento ile % 30 oranında ikame edilmesiyle üretilen ve KYB olarak tasarlanan perde elemanının düşey doğrultudaki basınç dayanımı değişimleri eleman uzunluğu boyunca irdelendiğinde, perde elemanının döküm noktasından uzaklaştıkça ortalama basınç dayanımı değerlerinin yaklaşık olarak aynı kaldığı gözlemlenmiştir.

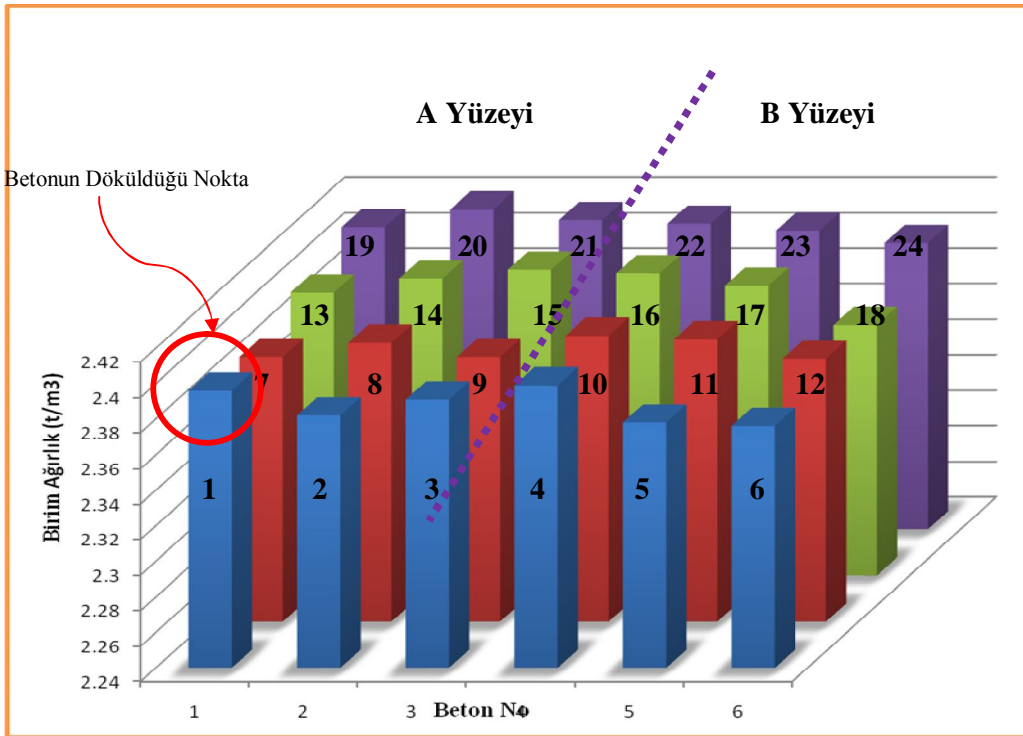
Çimento ile % 30 oranında kalker tozu ikameli KYB'den alınan karot numunelerin yatay ve düşeyde toplam ortalama basınç dayanımı değeri 41.65 MPa elde edilmiştir. Bu değer laboratuvar şartlarında kalker tozunun % 30 ikame oranında kullanılmasıyla elde edilen karışım için ortalama basınç dayanımı değeri olan 48.17 MPa ile kıyaslandığında saha ortamının laboratuvar şartlarını % 86 oranında sağladığı görülmüştür.

Çimento ile % 30 oranında kalker tozu ikameli KYB'den alınan karot numunelere basınç dayanımı deneyleri yapılmadan önce bu numunelerin su emme oranı değerleri ve birim ağırlıkları da belirlenmiştir. Şekil 5.26'da görüleceği üzere beton derinliği arttıkça su emme oranı değerleri belirgin olarak değişmemektedir. Ancak, çimento ile % 30 oranında kalker tozu ikameli KYB'nin ortalama su emme oranı (% 4.38) değeri geleneksel betonla (% 3.50) kıyaslandığında % 25 daha fazladır. Bu durum, geleneksel betona kıyasla % 30 kalker tozu ikameli karışımının daha az bağlayıcı içermesine, bağlayıcı miktarının düşmesinin de geçirimsizliği artırmasına bağlanabilir. Perde elemanı boyunca beton döküm noktasından uzaklaştıkça su emme oranı değerleri arasında belirgin bir fark olmadığı anlaşılmıştır.

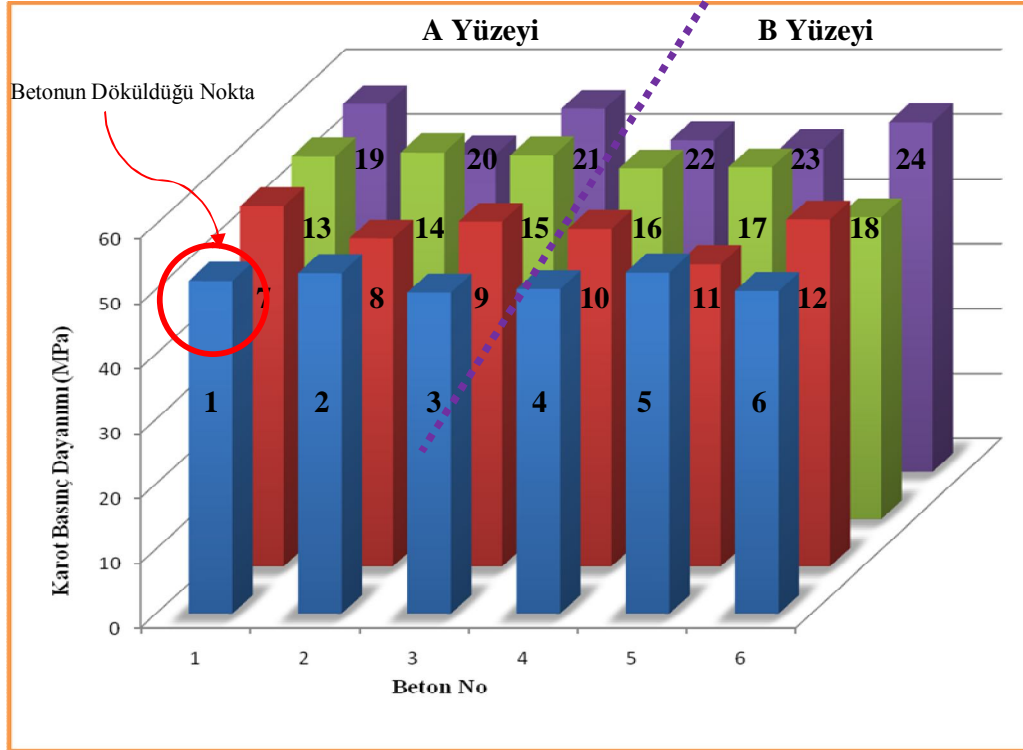
Şekil 5.27'de ise kalker tozunun çimento ile % 30 oranında ikame edilmesiyle üretilen perde elemanından alınan karot numunelerin perde elemanı boyunca yatay ve düşeyde birim ağırlık değişimleri görülmektedir. Alt noktalardan alınan karot numunelerin birim ağırlık değerleri ile üst noktalardan alınan karot numunelerin birim ağırlık değerleri arasında belirgin bir fark görülmemiştir. Kalker tozunun çimento ile % 30 ikame oranında kullanılmasıyla üretilen perde elemanının yatay ve düşeydeki toplam ortalama birim ağırlık değeri (2.398 t/m^3) geleneksel betona kıyasla (2.425 t/m^3) % 1.11 daha azdır. Perde elemanı boyunca beton döküm noktasından uzaklaştıkça birim ağırlık değerleri arasında göze çarpan bir değişim gözlemlenmemiştir.



Şekil 5.26. Kalker tozunun çimento ile %30 oranında ikame edilmesiyle üretilen perde elemanın yatay ve düşey eleman boyunca su emme oranı değişimi



Şekil 5.27. Kalker tozunun çimento ile %30 oranında ikame edilmesiyle üretilen perde elemanın yatay ve düşey eleman boyunca birim ağırlık değişimi



Şekil 5.28. Mermer tozunun çimento ile %15 oranında ikame edilmesiyle üretilen perde elemanının yatay ve düşey eleman boyunca karot basınç dayanımının değişimi

Son olarak, mermer tozunun çimento ile % 15 oranında ikame edilmesiyle üretilen KYB herhangi bir sıkıştırma işlemi uygulanmadan kalıbına yerleştirilmiştir. % 15 mermer tozu ikameli perde elemanından 28. günde karot numuneler alınarak bu numuneler üzerinde basınç dayanımı, su emme ve birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Karot basınç dayanımı deneyi neticesinde elde edilen değerler Şekil 5.28’de gösterilmiştir. Bu şekilden görüleceği üzere betonun döküldüğü nokta esas alınarak yatay doğrultudaki basınç dayanımı değişimleri eleman derinliği boyunca incelendiğinde, perde elemanının derinliği arttıkça ortalama basınç dayanımı değerlerinin de yükseldiği anlaşılmaktadır.

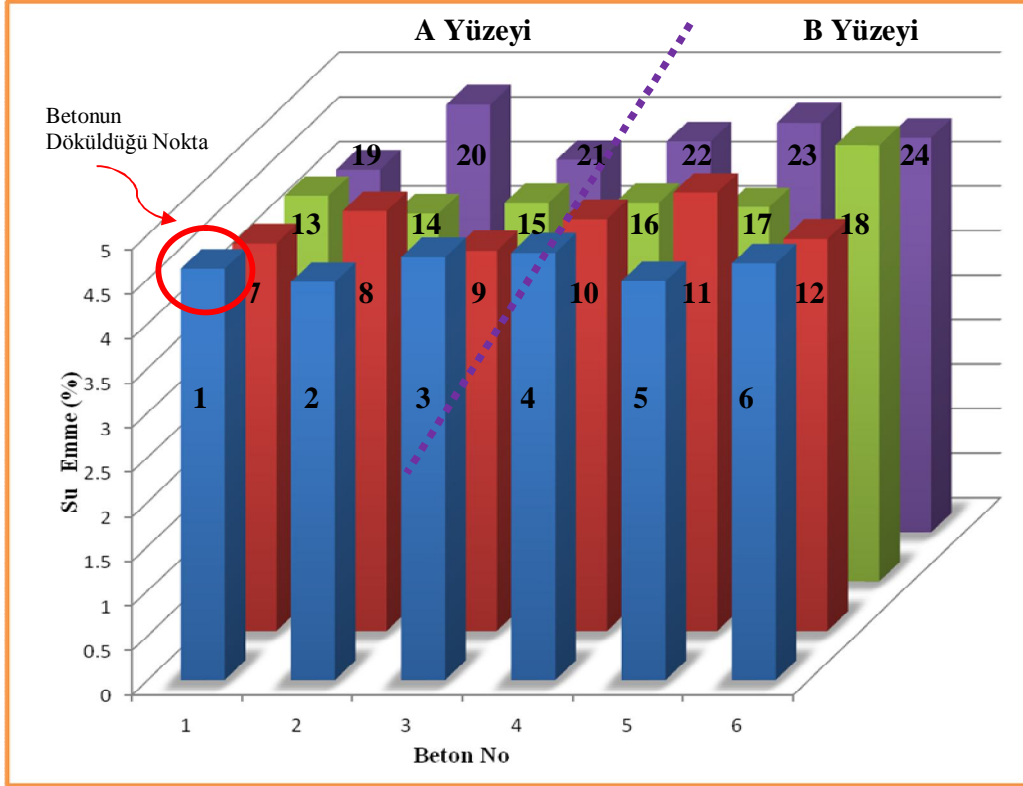
Perde elemanının alt kısmından alınan numunelerin ortalama basınç dayanımı üst kısımdan alınan numunelerin ortalama basınç dayanımına göre % 3.28 daha fazladır. Dolayısıyla, eleman derinliği arttıkça perde elemanının basınç dayanımı artmaktadır. Bununla birlikte, % 15 oranında mermer tozu içeren KYB’nin alt ve üst noktalarının ortalama basınç dayanımı oranı geleneksel betonla kıyaslandığında % 89 daha azdır.

Mermer tozunun çimento ile % 15 oranında ikame edilmesiyle üretilen ve KYB olarak tasarlanan perde elemanının düşey doğrultudaki basınç dayanımı değişimleri eleman uzunluğu boyunca irdelendiğinde, perde elemanının döküm noktasından uzaklaştıkça ortalama basınç dayanımı değerlerinin yaklaşık olarak aynı kaldığı görülmüştür.

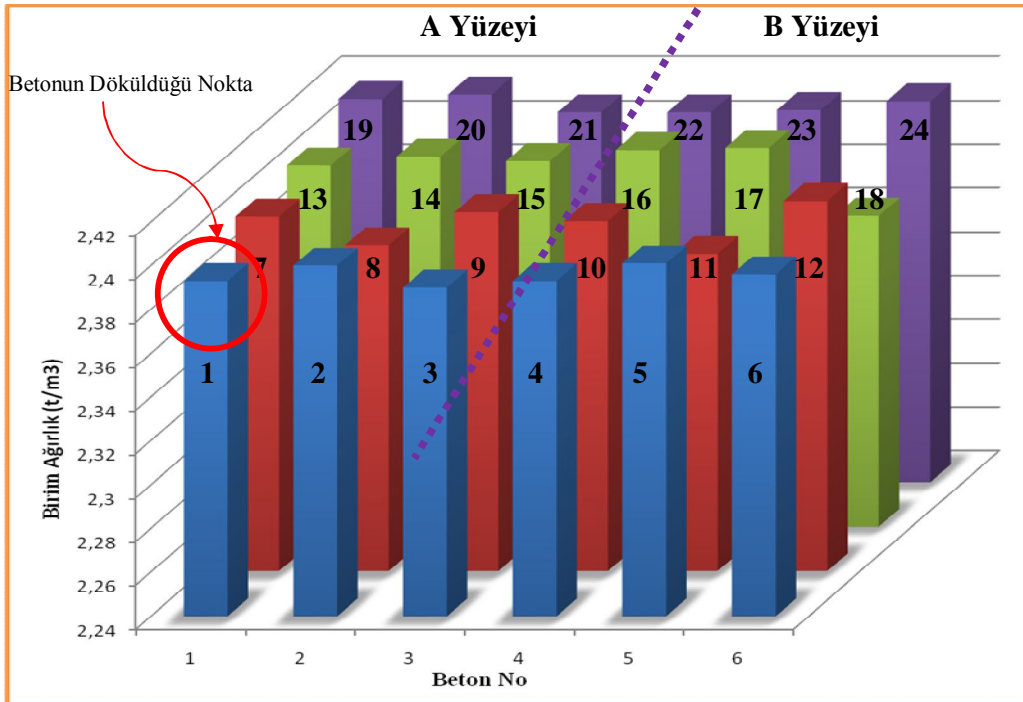
Çimento ile % 15 oranında mermer tozu ikameli KYB'den alınan karot numunelerin yatay ve düşeyde toplam ortalama basınç dayanımı değeri ise 52.36 MPa elde edilmiştir. Bu değer, laboratuvar şartlarında mermer tozunun % 15 ikame oranında kullanılmasıyla elde edilen karışım için ortalama basınç dayanımı değeri olan 56.64 MPa ile kıyaslandığında saha ortamının laboratuvar şartlarını % 93 oranında sağladığı görülmüştür.

Çimento ile % 15 oranında mermer tozu ikameli KYB'den alınan karot numunelere basınç dayanımı deneyleri yapılmadan önce bu numunelerin su emme oranı değerleri ve birim ağırlıkları da belirlenmiştir. Şekil 5.29'da görüleceği üzere beton derinliği arttıkça su emme oranı değerleri belirgin olarak değişmemektedir. Ancak çimento ile % 15 oranında mermer tozu ikameli KYB'nin ortalama su emme oranı (% 4.48) değeri geleneksel betonla (% 3.50) kıyaslandığında % 28 daha fazladır. Perde elemanı boyunca beton döküm noktasından uzaklaştıkça su emme oranı değerleri arasında belirgin bir farkın olmadığı anlaşılmıştır.

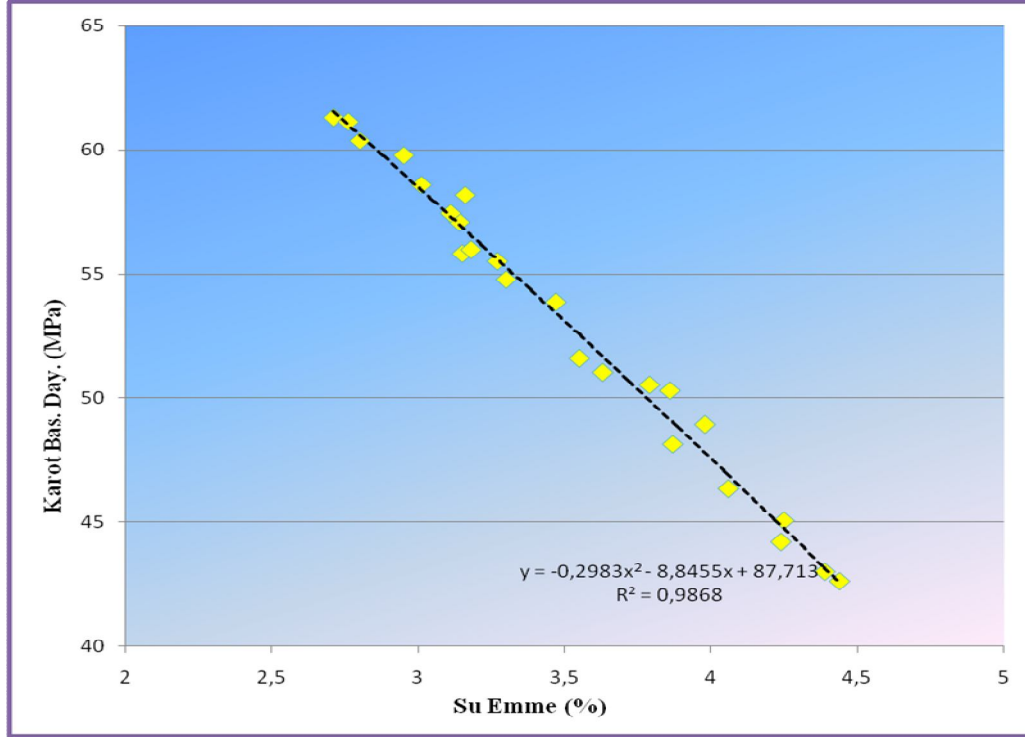
Şekil 5.30'da ise mermer tozunun çimento ile %15 oranında ikame edilmesiyle üretilen perde elemanından alınan karot numunelerin perde elemanı boyunca yatay ve düşeyde birim ağırlık değişimleri görülmektedir. Alt noktalardan alınan karot numunelerin birim ağırlık değerleri ile üst noktalardan alınan karot numunelerin birim ağırlıkları arasında belirgin bir fark görülmemiştir. Bu perde elemanının yatay ve düşeydeki toplam ortalama birim ağırlık değeri (2.402 t/m^3) geleneksel betona (2.425 t/m^3) kıyasla % 0.95 daha azdır. Ayrıca, perde elemanı boyunca beton döküm noktasından uzaklaştıkça diğer KYB perde elemanlarında olduğu gibi birim ağırlık değerleri arasında belirgin bir fark gözlemlenmemiştir.



Şekil 5.29. Mermer tozunun çimento ile %15 oranında ikame edilmesiyle üretilen perde elemanının yatay ve düşey eleman boyunca su emme oranı değişimi



Şekil 5.30. Mermer tozunun çimento ile %15 oranında ikame edilmesiyle üretilen perde elemanının yatay ve düşey eleman boyunca birim ağırlık değişimi

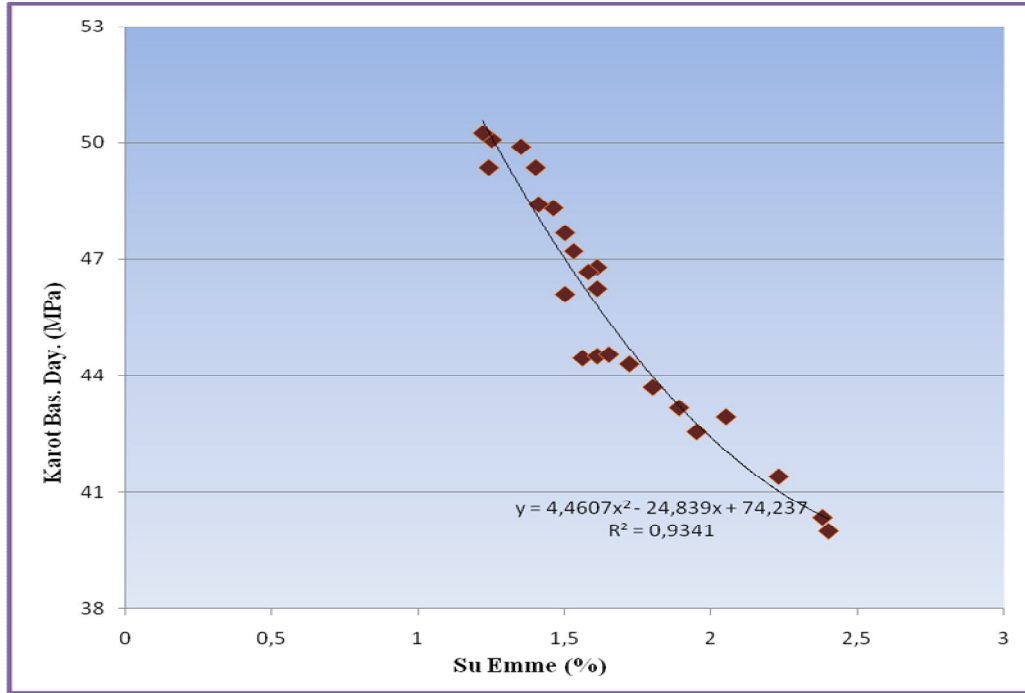


Şekil 5.31. Geleneksel beton olarak isimlendirilen ve C50/60 sınıfında dizayn edilen perde elemanının basınç dayanımı - su emme oranı ilişkisi

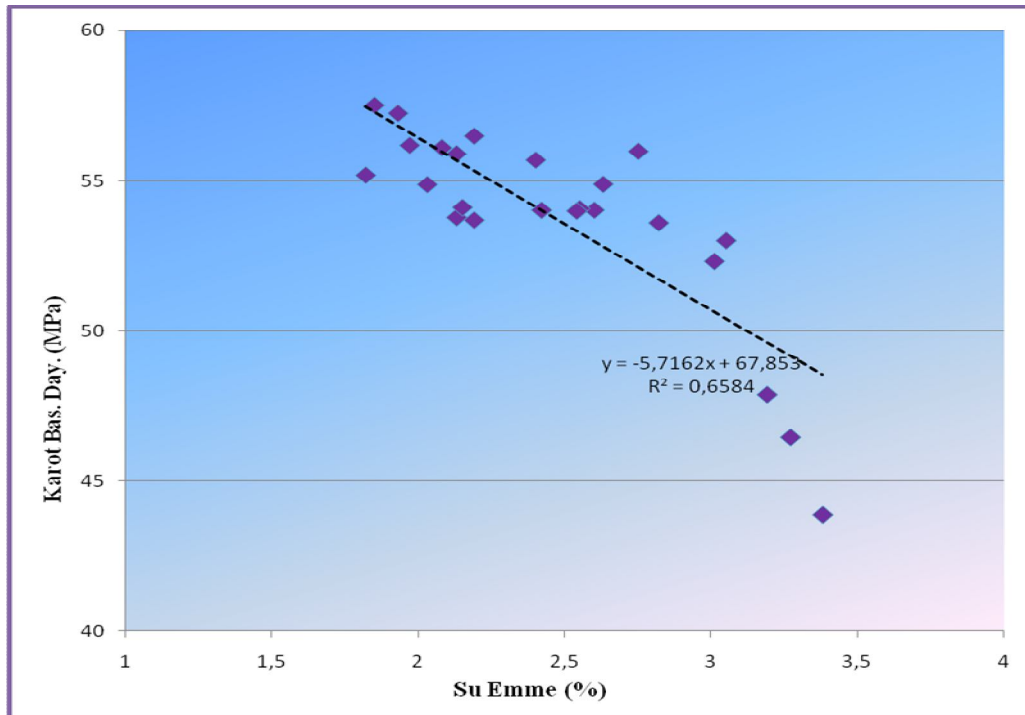
Şekil 5.31’de geleneksel beton olarak tasarlanan ve C50/60 sınıfında üretilen perde elemanının basınç dayanımı ile su emme oranı arasındaki ilişki görülmektedir. Geleneksel beton için karot basınç dayanımı ile su emme oranı arasında çok yüksek bir korelasyon elde edilmiştir ($R^2=0,98$). Bu durum, basınç dayanımın artması ya da azalmasının beton boşluk yapısı ve dolayısıyla geçirimsizlikle oldukça alakalı olduğunu göstermektedir.

Şekil 5.32’de ise şahit beton perde elemanının basınç dayanımı ile su emme oranı arasındaki ilişki görülmektedir. Şahit beton olarak üretilen KYB için karot basınç dayanımı ile su emme oranı arasında oldukça yüksek bir korelasyon elde edilmiştir ($R^2=0,93$).

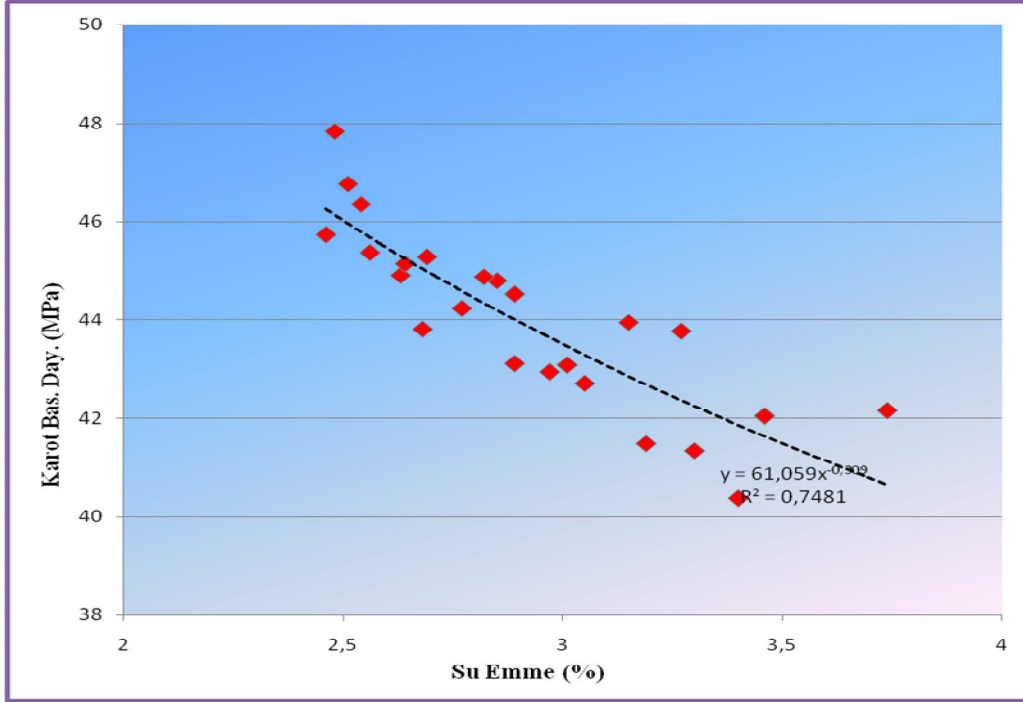
Şekil 5.33’te ise çimento ile % 15 oranında uçucu kül ikameli KYB perde elemanının basınç dayanımı ile su emme oranı arasındaki ilişki görülmektedir. Çimentoya % 15 oranında uçucu kül ikame edilerek üretilen KYB için karot basınç dayanımı ile su emme oranı arasında ($R^2=0,66$) belirgin bir korelasyon elde edilmiştir.



Şekil 5.32. Şahit KYB perde elemanının basınç dayanımı - su emme oranı ilişkisi



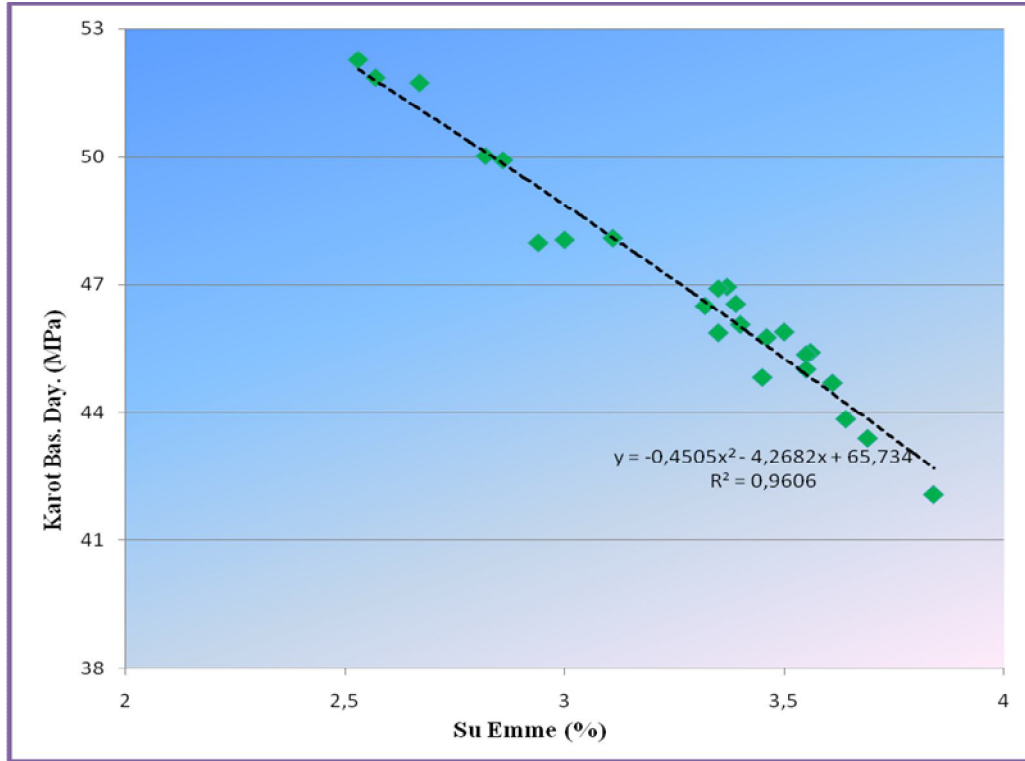
Şekil 5.33. Çimento ile % 15 oranında uçucu kül ikameli KYB perde elemanının basınç dayanımı - su emme oranı ilişkisi



Şekil 5.34. Çimento ile % 35 oranında uçucu kül ikameli KYB perde elemanının basınç dayanımı - su emme oranı ilişkisi

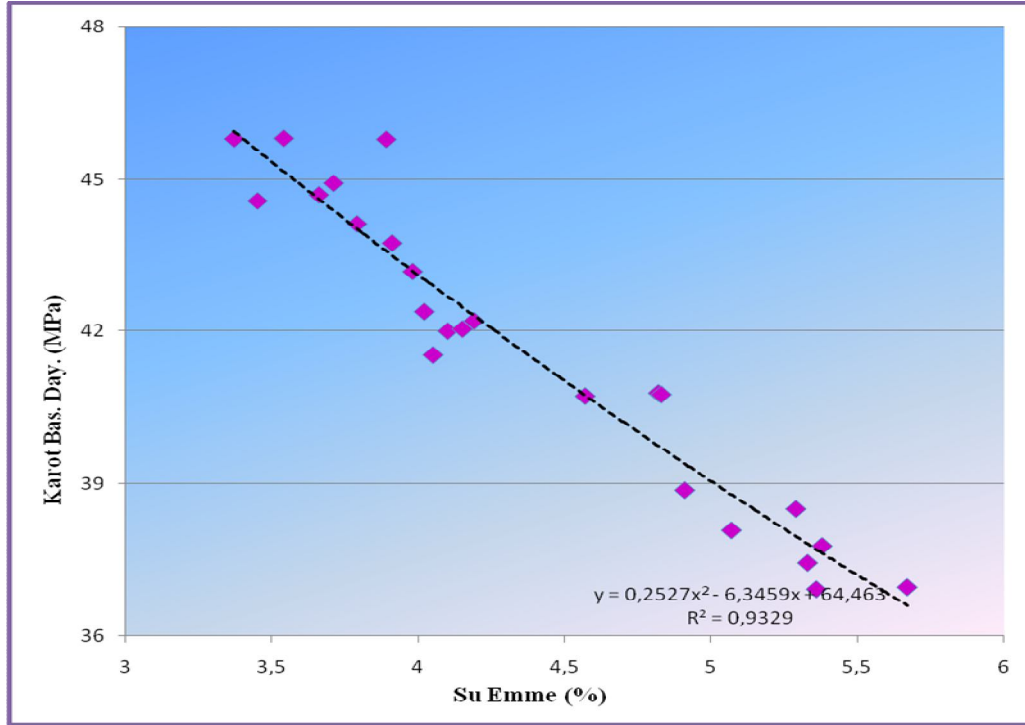
Şekil 5.34'te ise çimento ile % 35 oranında uçucu kül ikameli KYB perde elemanının basınç dayanımı ile su emme oranı arasındaki ilişki görülmektedir. Çimentoya % 35 oranında uçucu kül ikame edilerek üretilen KYB için karot basınç dayanımı ile su emme oranı arasındaki korelasyon katsayısının $R^2=0,75$ olduğu görülmüştür.

Şekil 5.35'te çimento ile % 15 oranında kalker tozu ikameli KYB perde elemanının basınç dayanımı ile su emme oranı arasındaki ilişki görülmektedir. Çimentoya % 15 oranında kalker tozu ikame edilerek üretilen KYB için karot basınç dayanımı ile su emme oranı arasında oldukça iyi bir korelasyon elde edilmiştir ($R^2=0,96$).

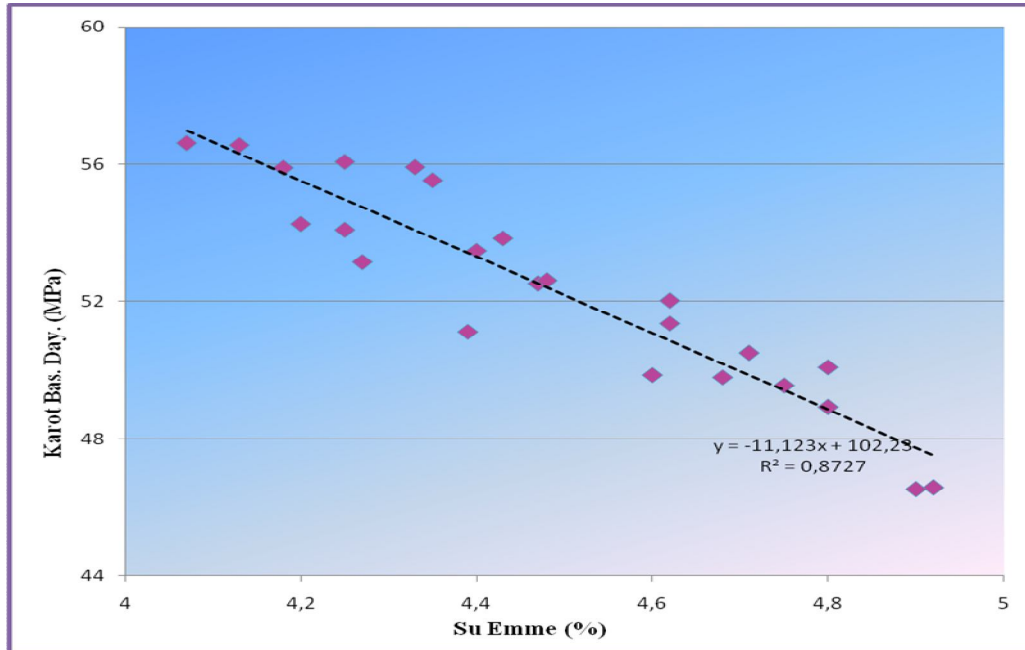


Şekil 5.35. Çimento ile % 15 oranında kalker tozu ikameli KYB perde elemanın basınç dayanımı - su emme oranı ilişkisi

Şekil 5.36'da çimento ile % 30 oranında kalker tozu ikameli KYB perde elemanın basınç dayanımı ile su emme oranı arasındaki ilişki görülmektedir. Çimentoya % 30 oranında kalker tozu ikame edilerek üretilen KYB için karot basınç dayanımı ile su emme oranı arasındaki korelasyon katsayısı $R^2=0,93$ olarak bulunmuştur.



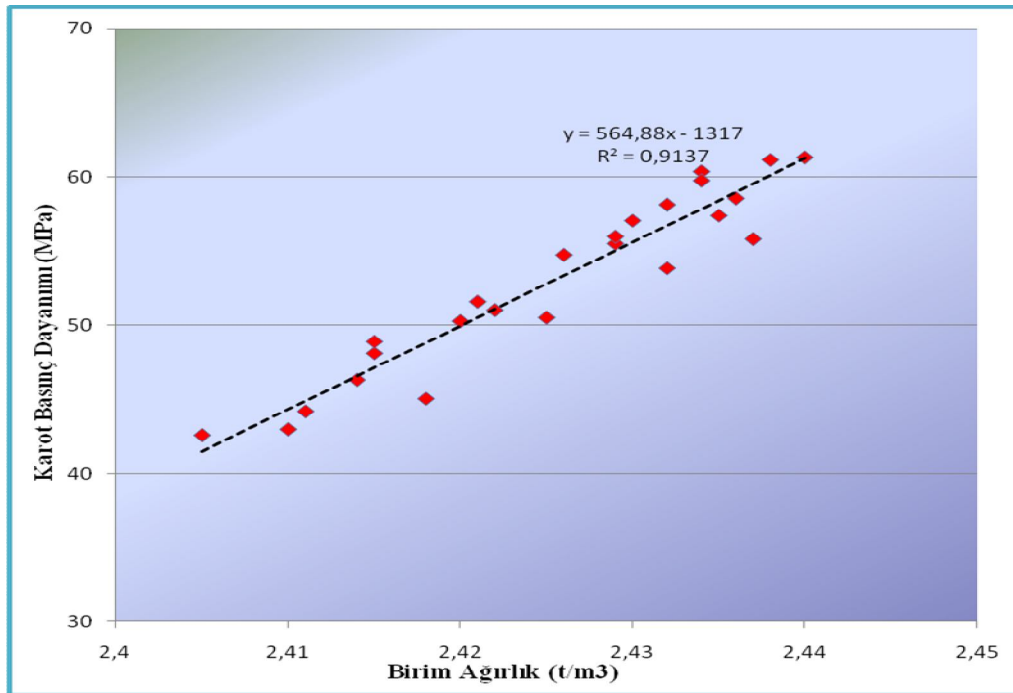
Şekil 5.36. Çimento ile % 30 oranında kalker tozu ikameli KYB perde elemanının basınç dayanımı - su emme oranı ilişkisi



Şekil 5.37. Çimento ile % 15 oranında mermer tozu ikameli KYB perde elemanının basınç dayanımı - su emme oranı ilişkisi

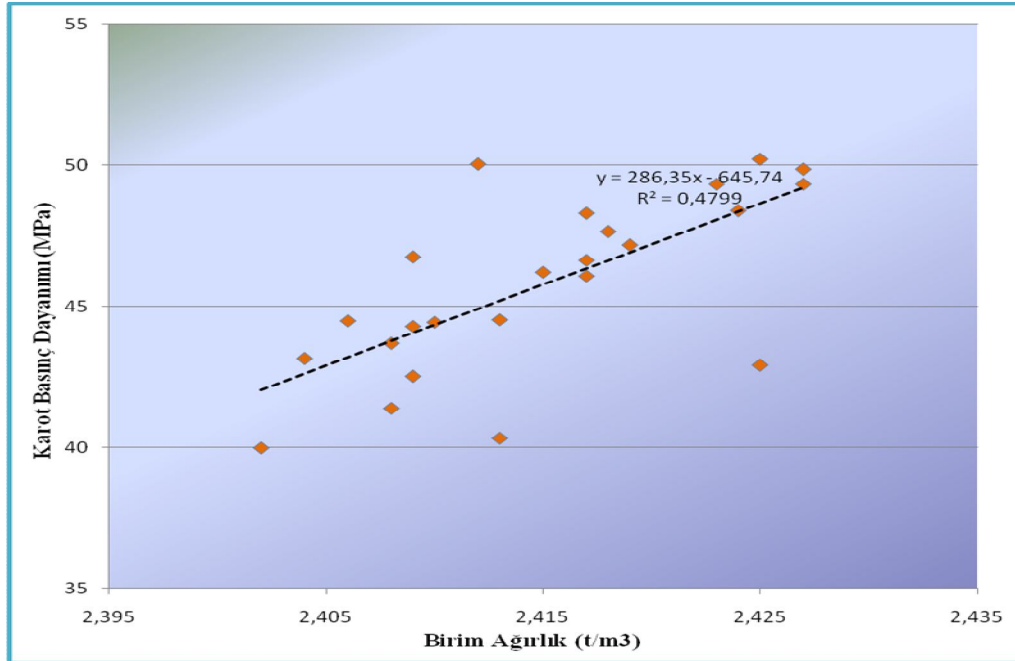
Şekil 5.37’de çimento ile % 15 oranında mermer tozu ikameli KYB perde elemanının basınç dayanımı ile su emme oranı arasındaki ilişki görülmektedir. Çimentoya % 15 oranında mermer tozu ikame edilerek üretilen KYB için karot basınç dayanımı ile su emme oranı arasında kuvvetli bir korelasyon elde edilmiştir ($R^2=0,87$).

Şekil 5.38’de geleneksel beton perde elemanının basınç dayanımı ile birim ağırlığı arasındaki ilişki görülmektedir. Geleneksel beton için karot basınç dayanımı ile birim ağırlık arasında iyi bir korelasyon ilişkisi olduğu ($R^2=0,91$) görülmüştür.

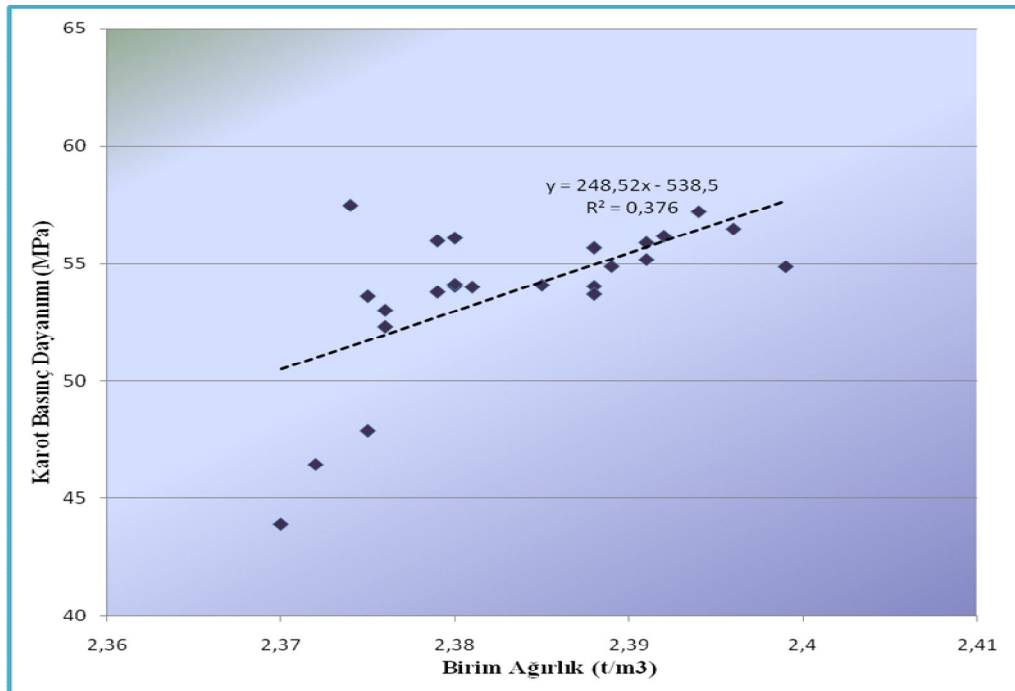


Şekil 5.38. Geleneksel beton olarak isimlendirilen ve C50 sınıfında dizayn edilen perde elemanının basınç dayanımı - birim ağırlık ilişkisi

Şekil 5.39’da ise şahit beton perde elemanının basınç dayanımı ile birim ağırlığı arasındaki ilişki görülmektedir. Şahit beton olarak üretilen KYB için karot basınç dayanımı ile birim ağırlık arasındaki korelasyon katsayısının $R^2=0,48$ olduğu görülmüştür.



Şekil 5.39. Şahit beton olarak isimlendirilen KYB perde elemanının basınç dayanımı – birim ağırlık ilişkisi

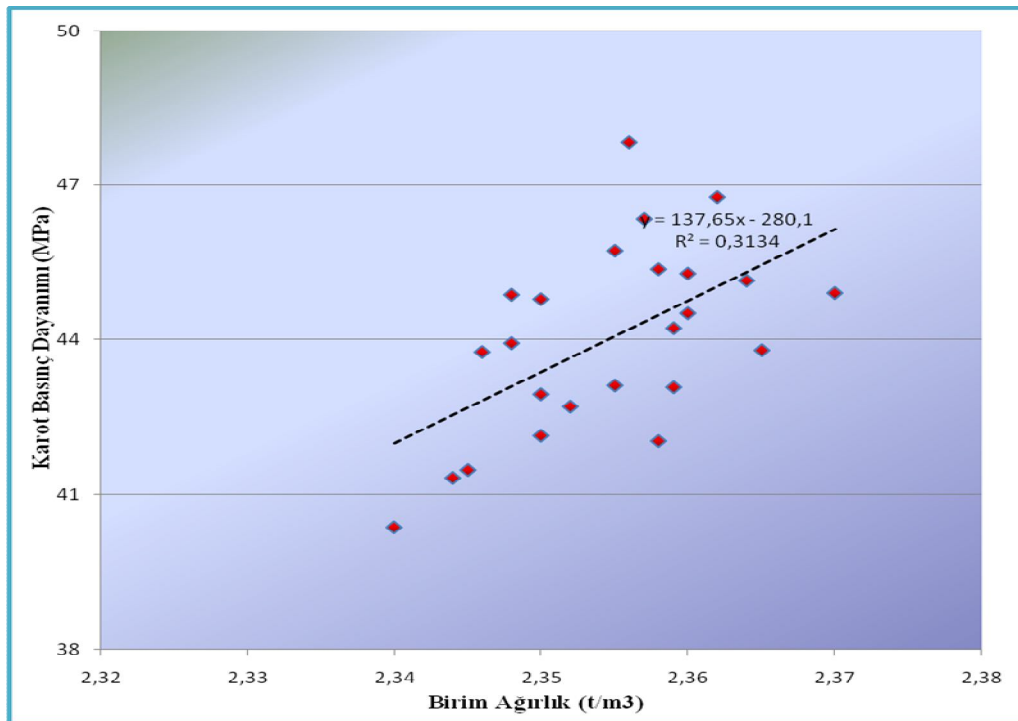


Şekil 5.40. Çimento ile % 15 oranında uçucu kül ikameli KYB perde elemanının basınç dayanımı – birim ağırlık ilişkisi

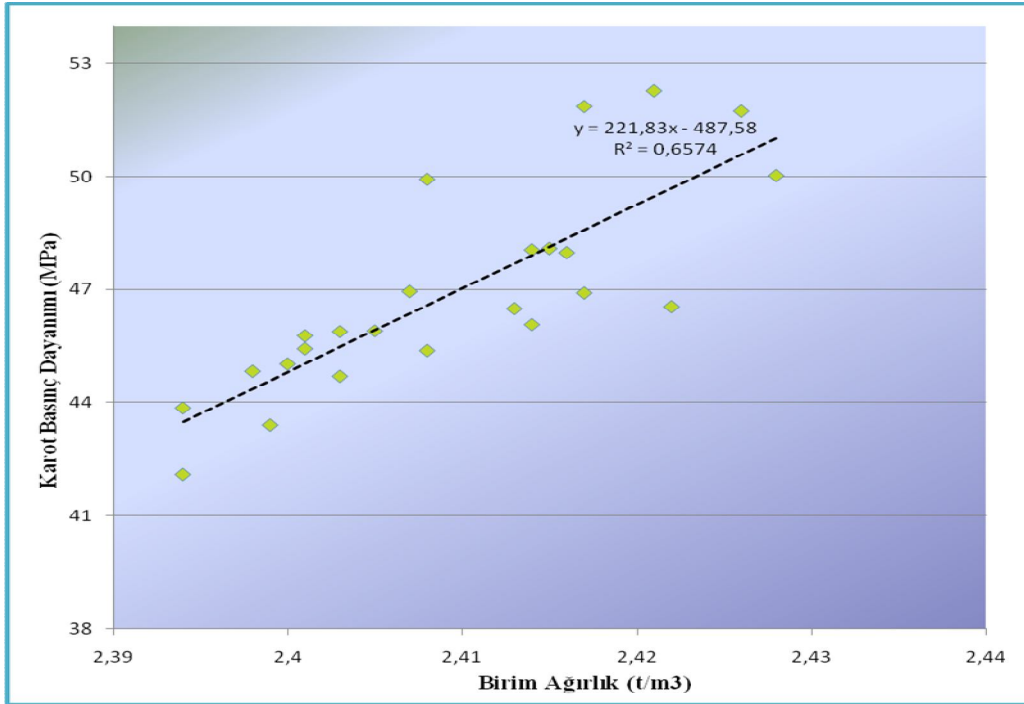
Şekil 5.40'da ise çimento ile % 15 oranında uçucu kül ikameli KYB perde elemanının basınç dayanımı ile birim ağırlığı arasındaki ilişki görülmektedir. Çimentoya % 15 oranında uçucu kül ikame edilerek üretilen KYB için karot basınç dayanımı ile birim ağırlık arasında yüksek bir korelasyon elde edilememiştir ($R^2=0,38$).

Şekil 5.41'de ise çimento ile % 35 oranında uçucu kül ikameli KYB perde elemanının basınç dayanımı ile birim ağırlığı arasındaki ilişki görülmektedir. Çimentoya % 35 oranında uçucu kül ikame edilerek üretilen KYB için karot basınç dayanımı ile birim ağırlık arasındaki korelasyon katsayısının $R^2=0,31$ olduğu görülmüştür.

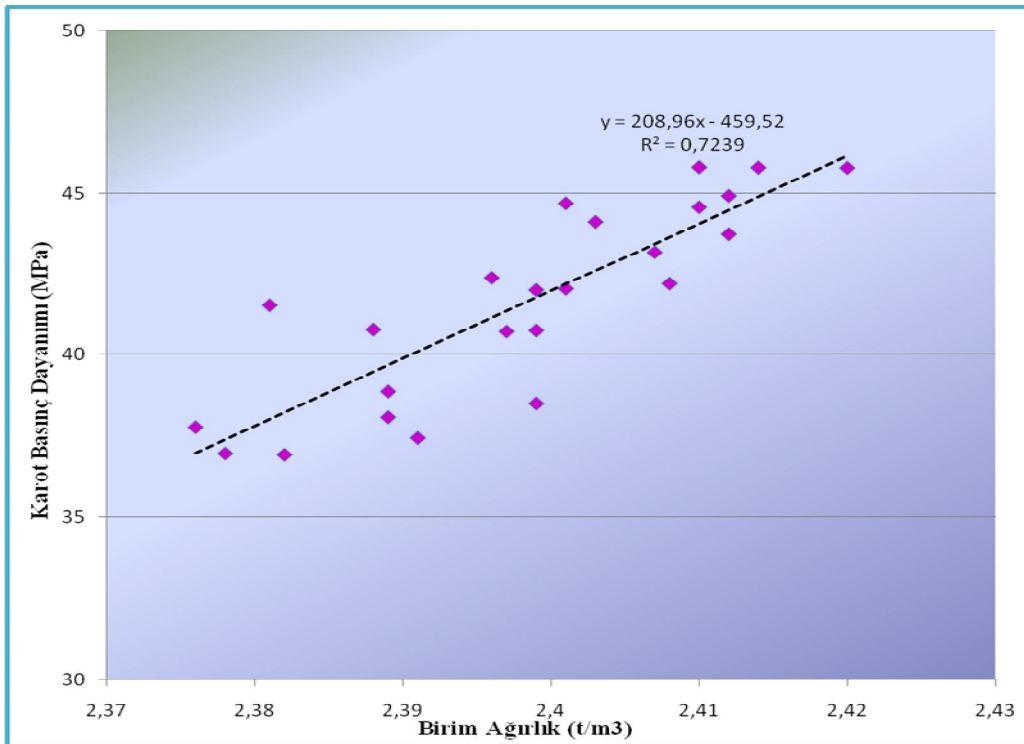
Şekil 5.42'de ise çimento ile % 15 oranında kalker tozu ikameli KYB perde elemanının basınç dayanımı ile birim ağırlığı arasındaki ilişki görülmektedir. Çimentoya % 15 oranında kalker tozu ikame edilerek üretilen KYB için karot basınç dayanımı ile birim ağırlık arasında dikkate değer bir korelasyon elde edilmiştir ($R^2=0,66$).



Şekil 5.41. Çimento ile %35 oranında uçucu kül ikameli KYB perde elemanının basınç dayanımı – birim ağırlık ilişkisi



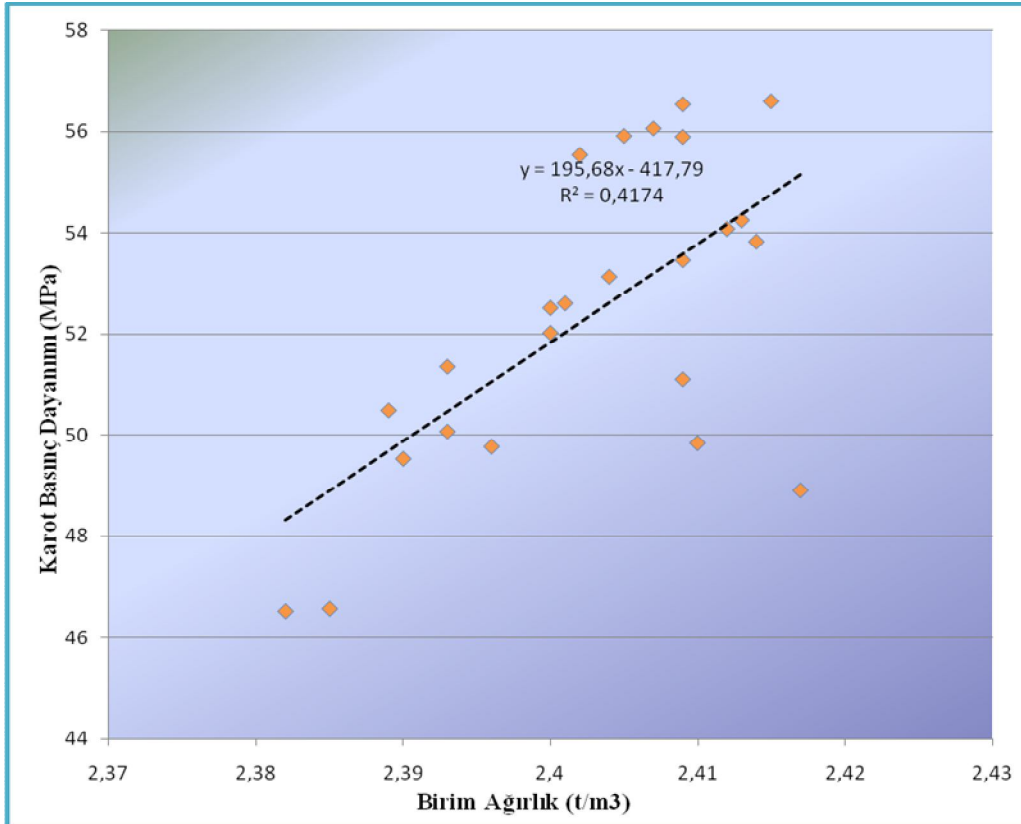
Şekil 5.42. Çimento ile %15 oranında kalker tozu ikameli KYB perde elemanının basınç dayanımı – birim ağırlık ilişkisi



Şekil 5.43. Çimento ile %30 oranında kalker tozu ikameli KYB perde elemanının basınç dayanımı – birim ağırlık ilişkisi

Şekil 5.43'te ise çimento ile % 30 oranında kalker tozu ikameli KYB perde elemanının basınç dayanımı ile birim ağırlığı arasındaki ilişki görülmektedir. Çimentoya % 30 oranında kalker tozu ikame edilerek üretilen KYB için karot basınç dayanımı ile birim ağırlık arasındaki korelasyon katsayısının $R^2=0,72$ olduğu görülmüştür.

Şekil 5.44'te ise çimento ile % 15 oranında mermer tozu ikameli KYB perde elemanının basınç dayanımı ile birim ağırlığı arasındaki ilişki görülmektedir. Çimentoya % 15 oranında mermer tozu ikame edilerek üretilen KYB için karot basınç dayanımı ile birim ağırlık arasındaki korelasyon katsayısının $R^2=0,42$ olduğu görülmüştür.



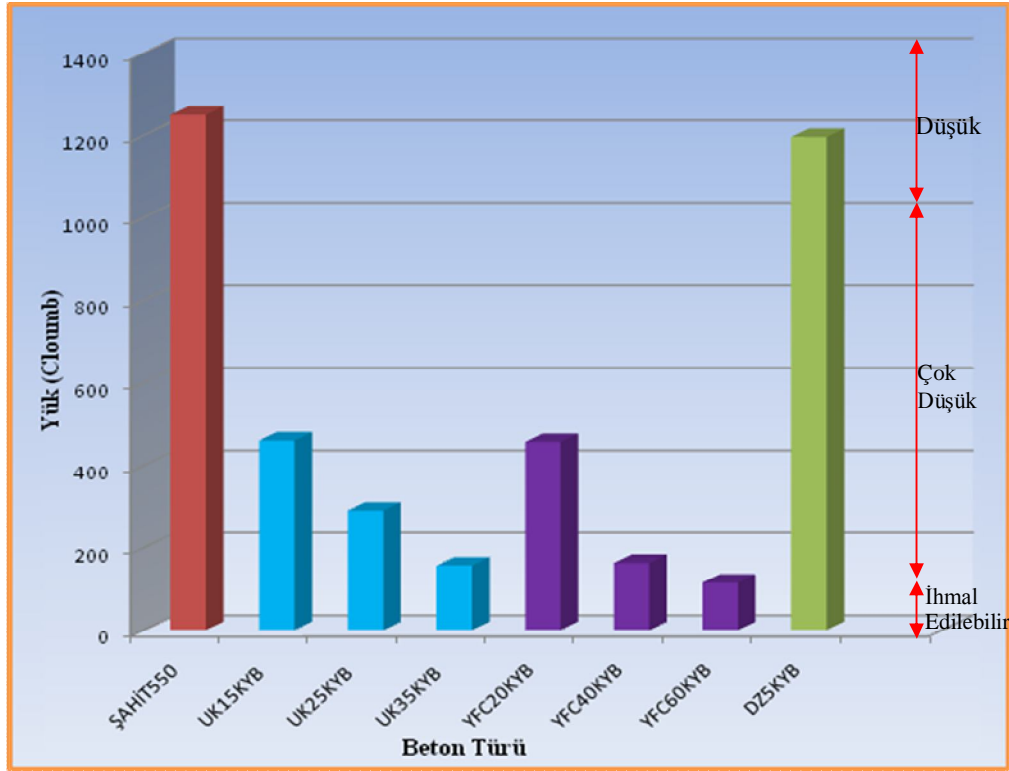
Şekil 5.44. Çimento ile %15 oranında mermer tozu ikameli KYB perde elemanının basınç dayanımı – birim ağırlık ilişkisi

5.2.3. Dayanıklılık'a ait deneyler

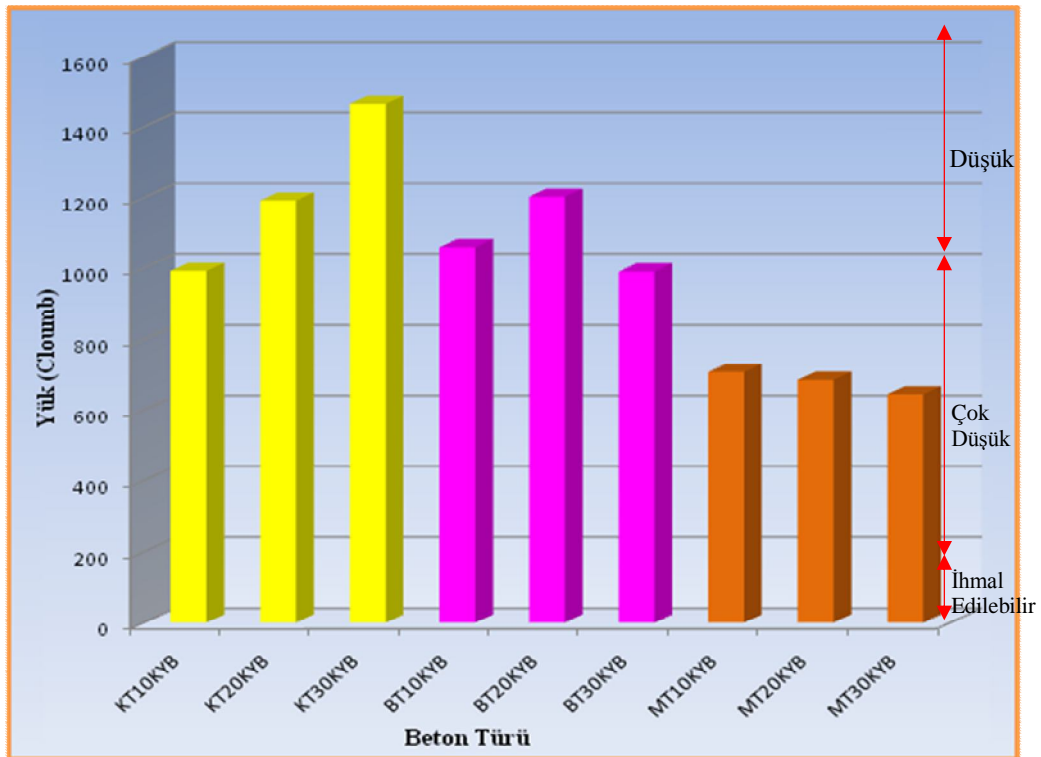
5.2.3.1. Hızlı klorür geçirgenliği deneyi

Farklı karışımlarda hazırlanan KYB deney numuneleri üzerinde 28. günde ASTM C1202 standardı referans alınarak yapılan hızlı klorür geçirgenliği deneyleri sonucunda KYB'lerin klorür geçirgenliği değerlerinin çok düşük olduğu görülmüştür. Tüm karışımlar içerisinde en düşük klorür geçirgenliği değerini YFC'nin çimento ile % 60 oranında ikame edilmesiyle elde edilen karışım vermiştir ve bu değer ASTM C1202 standardına göre çok düşük boyutlardadır [179]. Bu karışım aynı zamanda şahit betona göre % 90.16 daha az klorür geçirgenliği değeri vermiştir. Puzolanik katkıları ikame edilerek üretilen karışımlar şahit betonla kıyaslandığında daha düşük klorür geçirgenlik değerleri vermiştir. Yine aynı şekilde, puzolanik katkıların çimento ile ikame oranı arttıkça Şekil 5.45'te görüleceği üzere klorür geçirgenliği değerlerinde azalma görülmüştür. Ayrıca, YFC ikame edilmiş karışımların hızlı klorür geçirgenliği deneyleri sonucunda, uçucu kül ikameli karışımlara göre daha iyi performans gösterdiği görülmüştür. Karışımlar içerisinde inert malzemeler kullanılarak üretilen betonlar şahit betona kıyasla daha düşük klorür geçirgenliği değerleri vermiştir. Tüm karışımlar içerisinde en yüksek klorür geçirgenliği değerini ise kalker tozunun çimento ile % 30 ikame oranında kullanılmasıyla üretilen karışım vermiştir. Bu karışım kullanılarak üretilen betondan şahit betona kıyasla % 14.86 daha fazla klorür geçirgenliği değeri elde edilmiştir.

Betonda klorür geçirgenliği öncelikle betonun bünyesinde bulunan boşluk sistemi ile ilgilidir. Daha az boşluk içeren, mikroyapısı daha sıkı olan ve boşlukları birbiriyle sürekli olmayan beton daha az iyon yükü ileterek daha düşük klorür geçirgenliği değeri vermektedir. Bu yaklaşımla KYB'lerin gerek mikro yapılarının oldukça sıkı olması ve gerekse bünyelerinde çok az boşluk içerip bu boşlukların sürekli olmaması nedeniyle klorür geçirgenliği değerlerinin düşük olacağı aşikardır. Özellikle yüksek fırın cürufu ve uçucu kül, betonda puzolanik etki meydana getirerek ve betonun bünyesindeki boşlukları doldurarak çok düşük klorür geçirgenliği değerlerinin elde edilmesine olanak tanımıştır.



Şekil 5.45. KYB karışımlarının hızlı klorür geçirgenliği deney sonuçları

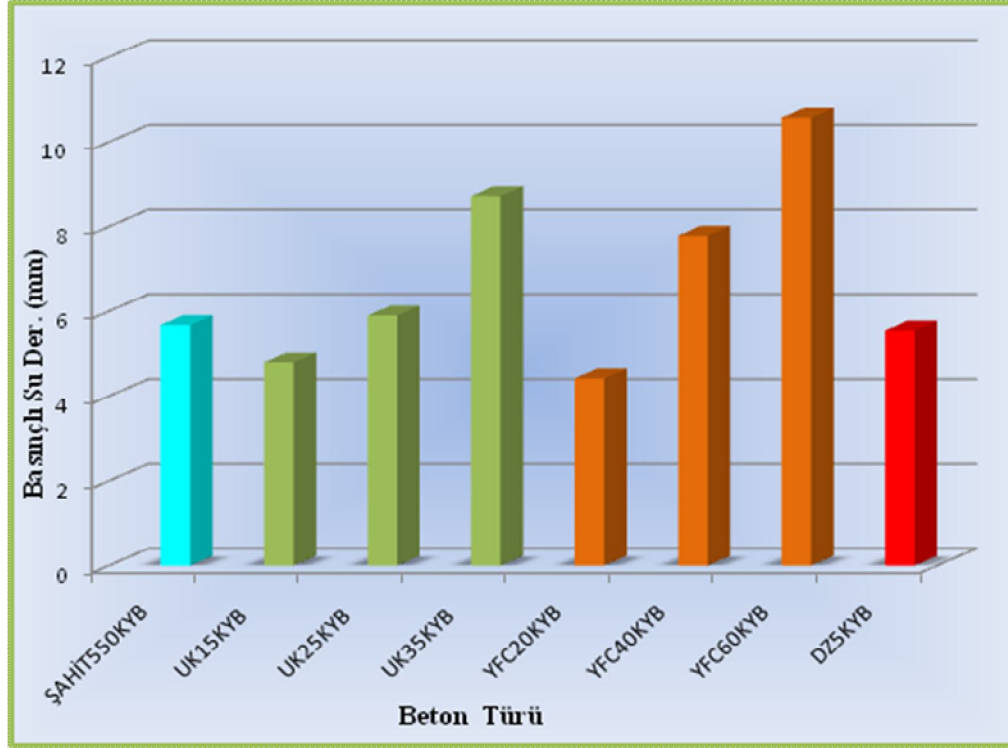


Şekil 5.45. (Devamı) KYB karışımlarının hızlı klorür geçirgenliği deney sonuçları

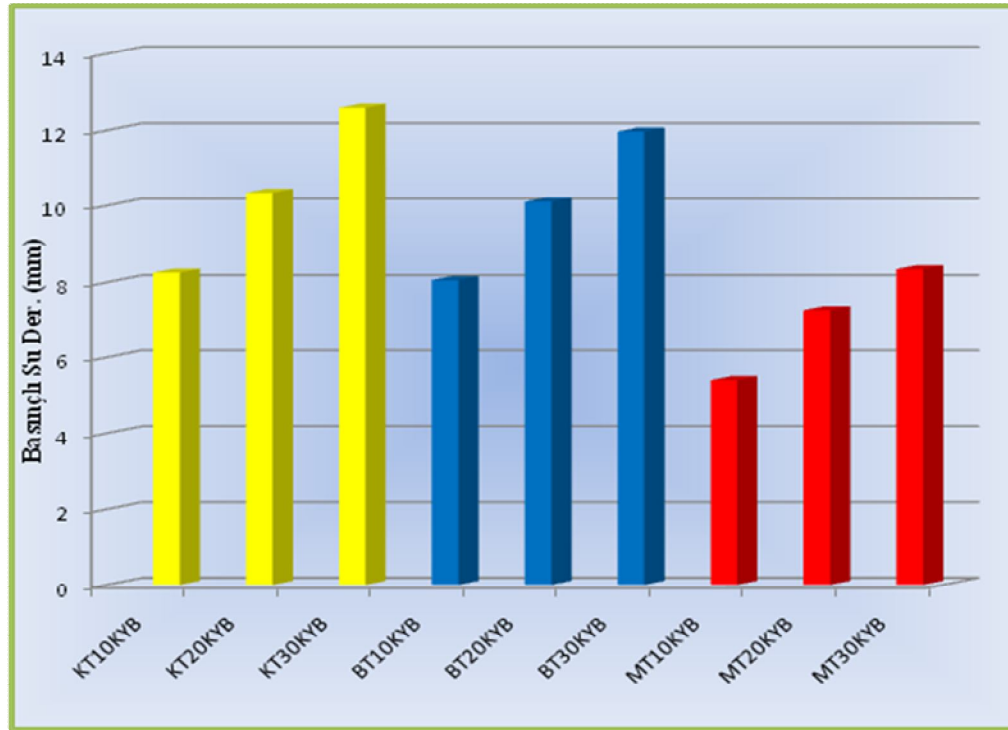
Karışımlar içerisinde şahit beton, diğer karışımlara göre daha fazla bağlayıcı içermesine rağmen, klorür geçirgenliği deneyinde filler ve puzolanik etkinin daha fazla önem taşıması nedeniyle, daha yüksek klorür geçirgenliği değeri verdiği görülmüştür. İnert malzemeler içeren karışımlar ise çok daha az bağlayıcı içermelerine rağmen betonun bünyesindeki boşlukları doldurarak şahit betona kıyasla daha düşük klorür geçirgenliği değeri verdiği anlaşılmıştır.

5.2.3.2. Basınçlı su derinliği (İmpermeabilite) deneyi

Farklı bileşimlerde üretilen KYB deney numunelerinin basınçlı su derinliği deneyleri sonucunda çok düşük su işleme derinliği değerleri verdiği görülmüştür. Şekil 5.46 incelendiğinde görüleceği üzere, tüm karışımlar içerisinde YFC'nin çimento ile %20 oranında ikame edilmesiyle elde edilen karışım en düşük su işleme derinliği değerini vermiştir. Bu karışımdan şahit betona kıyasla % 22.18 daha az su işleme derinliği değeri elde edilmiştir. Kalker tozunun çimento ile % 30 ikame oranında kullanılmasıyla elde edilen karışım ise en yüksek su işleme derinliği sonucunu vermiştir. Bu karışım ise şahit betonla kıyaslandığında % 54.85 daha fazla su işleme derinliği verdiği anlaşılmaktadır. Puzolanik katkıları kullanılarak üretilen karışımlarda ikame oranı arttıkça su işleme derinliklerinin de arttığı görülmüştür. Çimentoya inert malzemeler ikame edilerek hazırlanan karışımlar ise mineral katkıları kullanılarak hazırlanan karışımlara göre daha yüksek su işleme derinliği değerleri vermiştir. İnert malzemelerin çimento ile ikame oranı arttıkça üretilen KYB'lerin su işleme derinliği değerleri de yükselmiştir. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde, puzolanik etkinin filler etkisine göre basınçlı su işleme derinliği deneyinde daha önemli olduğu anlaşılmaktadır. Puzolanik katkı kullanılarak üretilen karışımlarda hem bağlayıcı miktarı puzolanik etki sayesinde zamanla artmış hem de betonların bünyesindeki boşluklar doldurularak su geçişine izin verilmemiştir.



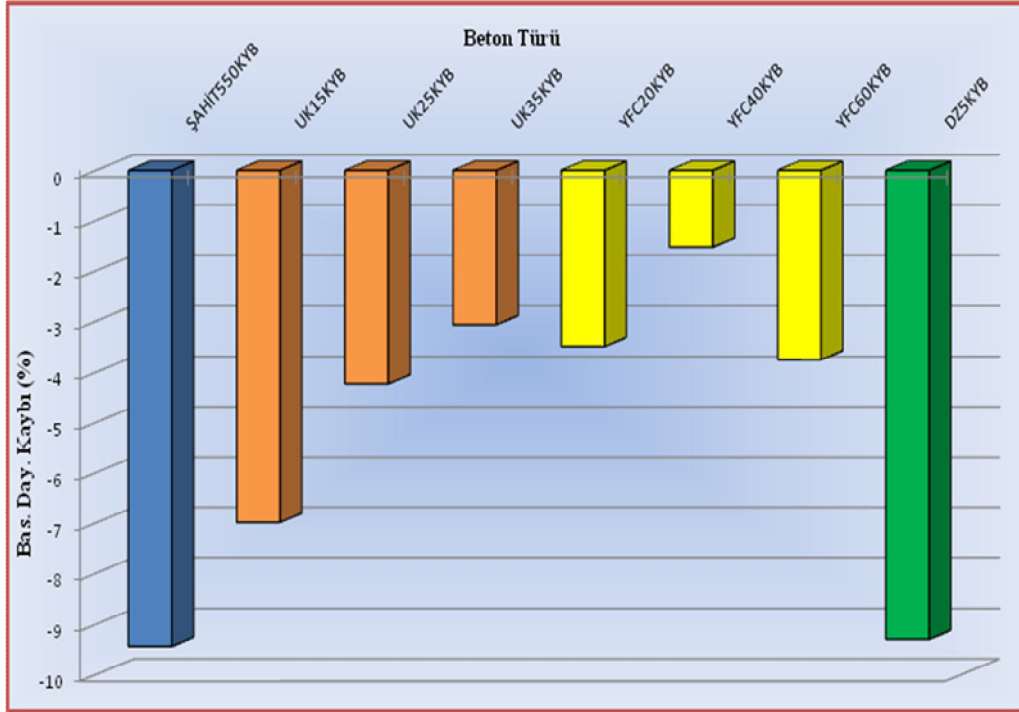
Şekil 5.46. Beton karışımlarının basınçlı su işleme derinliği deney sonuçları



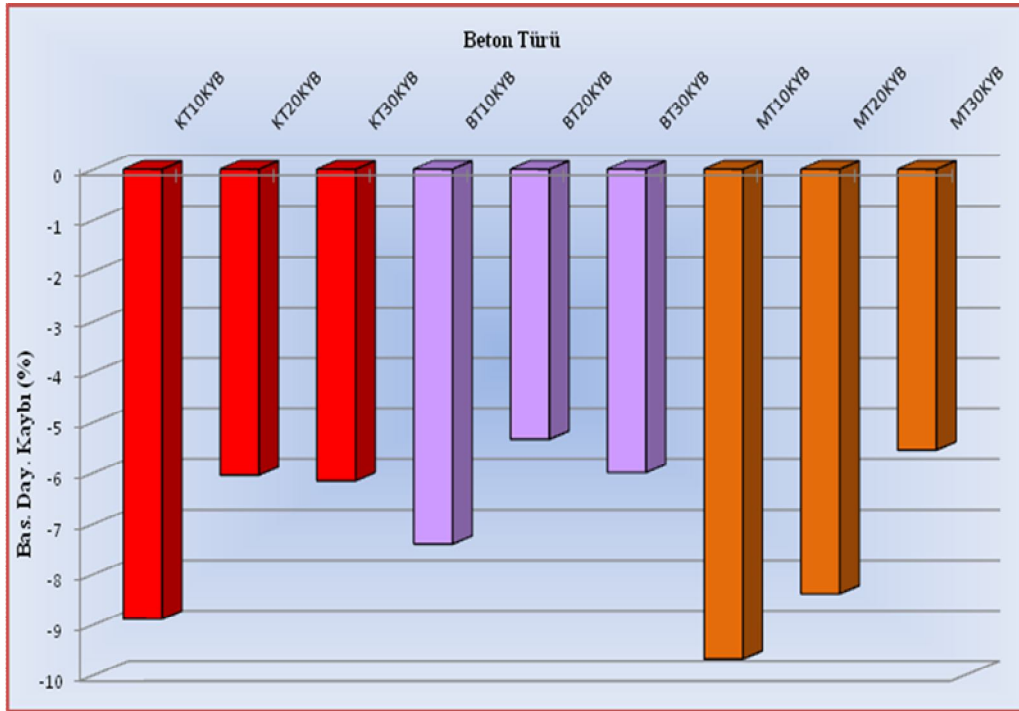
Şekil 5.46. (Devam) KYB karışımlarının basınçlı su işleme derinliği deney sonuçları

5.2.3.3. Sülfat direnci deneyleri

Farklı karışımlardaki KYB deney numunelerinin 400 gün boyunca % 10 NaSO₄ ve % 10 MgSO₄ çözeltisi içinde bekletilmeleri sonucunda basınç dayanımı ve ağırlıklarındaki değişimlerin, aynı süre zarfında normal suda kür edilen numunelere göre kıyaslandığı deney sonuçları bu bölümde değerlendirilmiştir. Öncelikle % 10 NaSO₄ çözeltisinde 400 gün boyunca bekletilen KYB deney numunelerinin basınç dayanımı değişimleri incelendiğinde karışımlar % 1.52 ila % 9.68 arasında basınç dayanımı kaybına uğramıştır. Tüm karışımlar içinde en az dayanım kaybına, YFC'nin çimento ile % 40 oranında ikame edilmesiyle üretilen karışım (% 1.52) uğramıştır. Bu karışım şahit betona kıyasla (% 9.44), yaklaşık altı kat daha iyi performans göstermiştir. Mermer tozunun çimento ile % 10 ikame oranında kullanılmasıyla üretilen karışım (% 9.68) ise şahit betona yakın bir dayanım kaybına uğramıştır. Karışımlar içinde şahit betonun genel olarak diğer karışımlara göre daha yüksek dayanım kaybı değeri verdiği görülmüştür. YFC'nin tüm karışımları ise % 10 NaSO₄ çözeltisi içinde diğer karışımlara kıyasla daha az dayanım kaybına uğramıştır. Karışımların içinde puzolanik katkıları ikame edilerek üretilen karışımlar inert malzemeler kullanılarak üretilen karışımlara göre daha iyi performans göstermiştir. Bununla birlikte, puzolanik katkıların ikame oranları arttıkça % 10 NaSO₄ çözeltisi içerisindeki dayanım kaybı değerleri azalmıştır. Şekil 5.47'de görüleceği üzere, doğal zeolitin % 5 oranında ikame edilmesiyle üretilen karışım şahit betona kıyasla benzer dayanım kaybı değeri vermiştir. Buradan anlaşılacağı üzere, düşük ikame oranlarında mineral katkı kullanımının KYB'lerin sülfat direncine olumlu katkısının pek fazla olmayacağı anlaşılmaktadır.



Şekil 5.47. KYB karışımlarının %10 NaSO₄ çözeltisine maruz kalmaları durumunda dayanım kaybı değişimleri



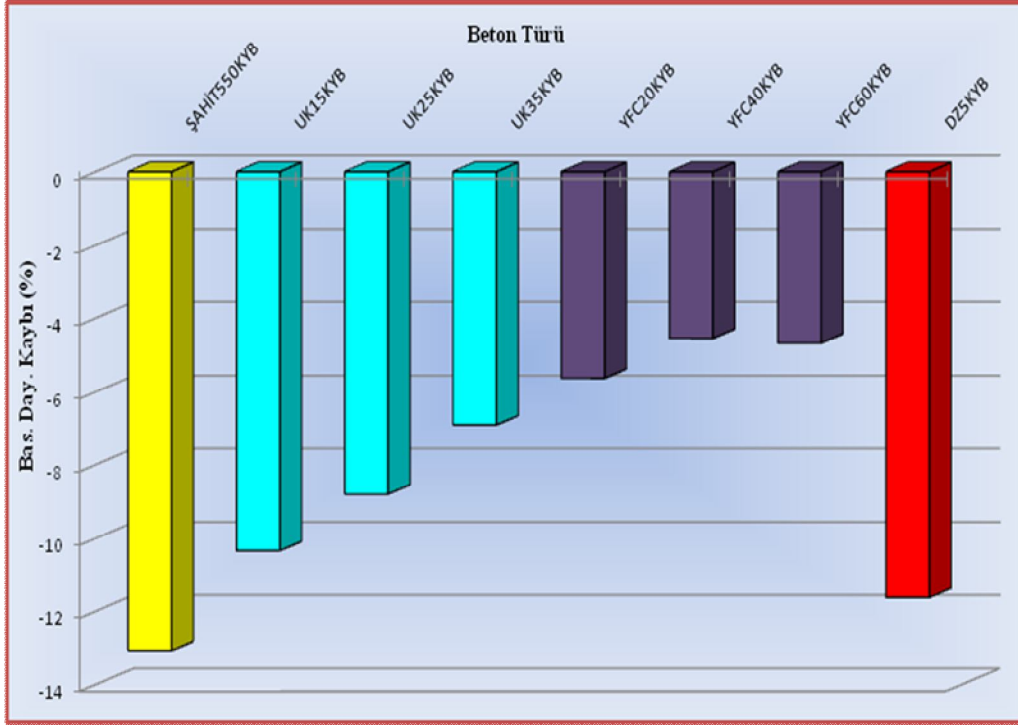
Şekil 5.47. (Devamı) KYB karışımlarının %10 NaSO₄ çözeltisine maruz kalmaları durumunda dayanım kaybı değişimleri

İnert malzemeler ikame edilerek üretilen karışımlar içinde NaSO_4 çözeltisine karşı en iyi performansı bazalt tozu ikame edilerek üretilen karışımlar vermiştir. KYB üretiminde inert malzemelerin çimento ile ikame edilmeleri durumunda toplam bağlayıcı madde miktarı azalmasına rağmen inert malzeme ikameli karışımlar şahit betonla kıyaslandığında NaSO_4 ortamında daha iyi performans göstermiştir. İnert malzemelerin çimento ile ikame oranları arttıkça karışımların NaSO_4 çözeltisi içerisindeki dayanım kaybı değerleri de azalmıştır.

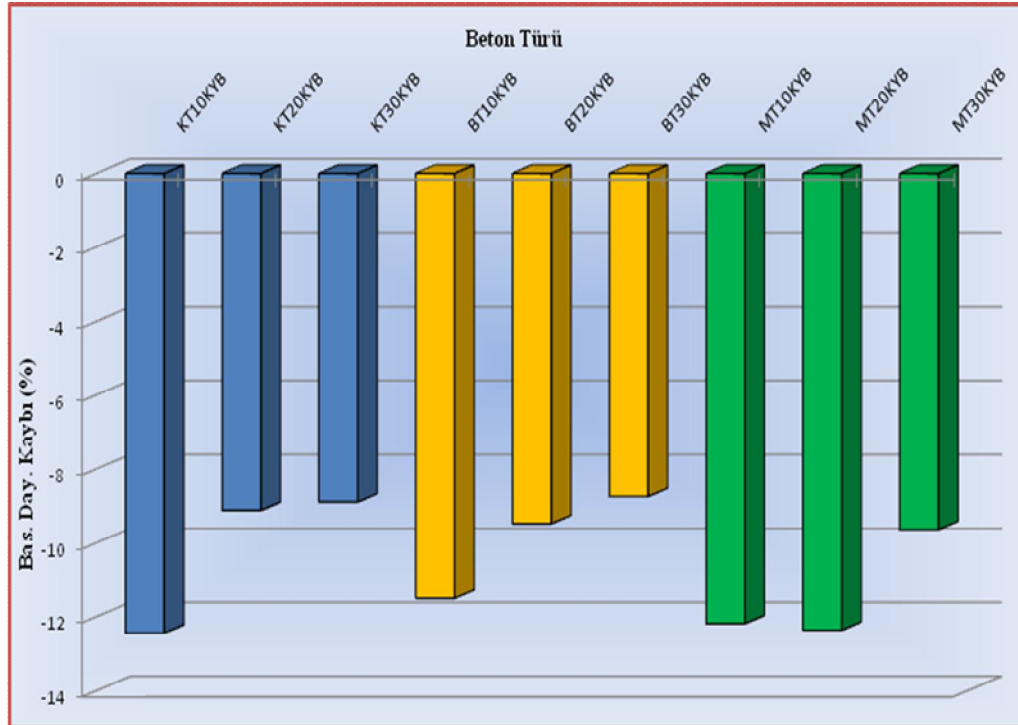
Şekil 5.48'de % 10 MgSO_4 çözeltisi içinde 400 gün boyunca bekletilen KYB deney numunelerinin normal suda kür edilen numunelere göre dayanımlarında meydana gelen değişim gösterilmiştir. MgSO_4 çözeltisine maruz kalan KYB numunelerinin deney sonuçları değerlendirildiğinde meydana gelen dayanım kaybı değerlerinin, NaSO_4 çözeltisine maruz kalan KYB numunelerine göre daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

Karışımlar % 10 MgSO_4 çözeltisine 400 gün boyunca maruz bırakıldığında % 4.55 ila % 13.09 arasında dayanım kaybına uğramıştır. Tüm karışımlar içinde en az dayanım kaybına YFC'nin çimento ile % 40 ikame oranında kullanılmasıyla üretilen karışım uğramıştır. Bu karışım şahit betona kıyasla (% 13.09) yaklaşık üç kat daha iyi performans göstermiştir. Şahit beton ise en yüksek dayanım kaybına uğrayan karışım olmuştur.

NaSO_4 çözeltisinde olduğu gibi MgSO_4 çözeltisinde de en iyi performansı gösteren karışımlar YFC'li karışımlar olmuştur. YFC'nin tüm ikame oranlarında meydana gelen dayanım kaybı değerleri diğer karışımlara nazaran daha azdır. Bununla birlikte, puzolanik katkıları içeren karışımlar inert malzemeler içeren karışımlara göre daha iyi performans göstermiştir. Puzolanik katkıları içeren karışımların çimento ile ikame oranları arttıkça % 10 MgSO_4 çözeltisi içerisinde meydana gelen dayanım kaybı değerleri düşmüştür. Şekil 5.48'de görüleceği üzere, NaSO_4 çözeltisine maruz kalan numunelere benzer şekilde, doğal zeolitin % 5 oranında ikame edilmesiyle üretilen karışım şahit betona kıyasla benzer dayanım kaybı değeri vermiştir.



Şekil 5.48. KYB karışımlarının %10 MgSO₄ çözeltisine maruz kalmaları durumunda dayanım kaybı değişimleri



Şekil 5.48. (Devamı) KYB karışımlarının %10 MgSO₄ çözeltisine maruz kalmaları durumunda ağırlık kaybı değişimleri

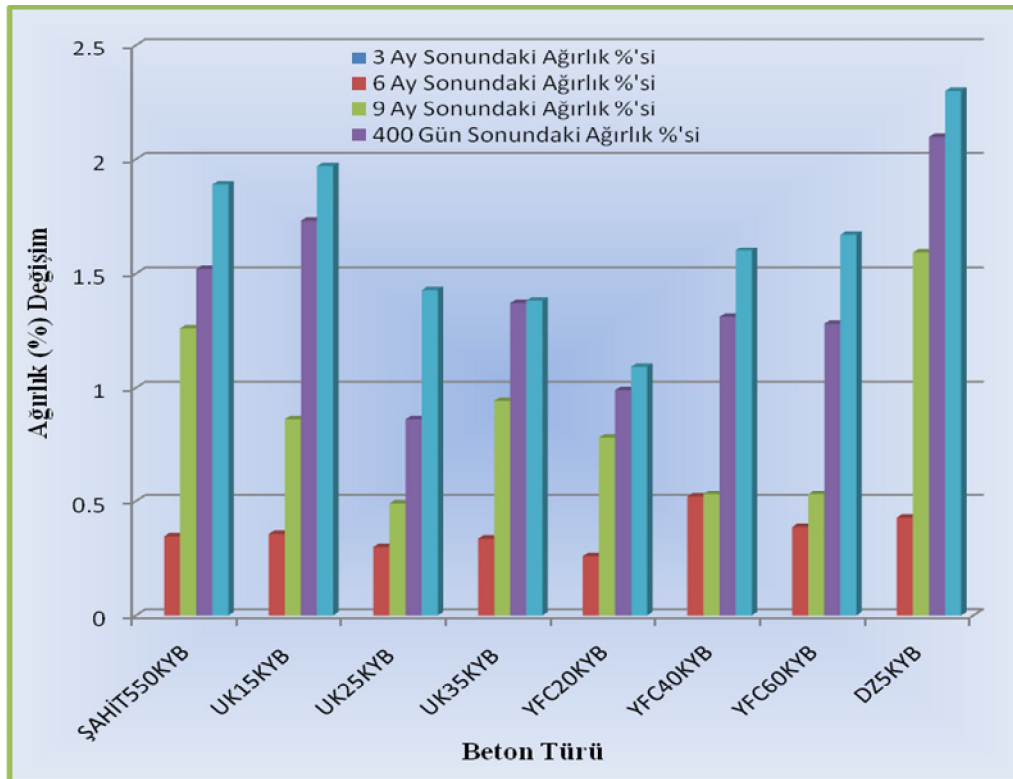
Çimentoya inert malzemeler ikame edilerek üretilen karışımlar içerisinde $MgSO_4$ çözeltisine karşı en iyi performansı bazalt tozu ikame edilerek üretilen karışımlar vermiştir. İntert malzemeler, KYB üretiminde çimento ile ikame edilmeleri durumunda toplam bağlayıcı madde miktarı azalmasına rağmen, şahit betona kıyasla $MgSO_4$ ortamında daha iyi performans göstermiştir. İntert malzemelerin çimento ile ikame oranları arttıkça karışımların $MgSO_4$ çözeltisi içerisindeki dayanım kaybı değerleri azalmıştır.

KYB'lerin $NaSO_4$ çözeltisine maruz kalmaları durumunda meydana gelen dayanım kaybının nedeni olarak, $NaSO_4$ 'ın çimentonun bünyesinde bulunan $Ca(OH)_2$ ve C_3A ile yaptığı reaksiyon neticesinde meydana gelen Candlot tuzu veya etrenjit adı verilen hidrate tuz formatının reaksiyon ürünleri olarak betonda genleşme meydana getirmesi ve bu genleşmenin betonda çatlaklara ve dağılmalara yol açarak agrega-çimento aderansının etkilenmesiyle betonun dayanımını düşürmesi gösterilebilir. Diğer taraftan, Magnezyum sülfat ($MgSO_4$) da çimentonun bünyesinde bulunan $Ca(OH)_2$ ve C_3A 'nın yanı sıra kalsiyum silikat hidratelere de saldırarak magnezyum hidroksitin meydana gelmesine neden olmaktadır. Reaksiyon sonucu oluşan magnezyum hidroksit ($Mg(OH)_2$ -brüsit), çimento hamurunun taşıyıcı iskeleti olan C-S-H yapısını bozmakta ve betonun dayanımı azalmaktadır [144].

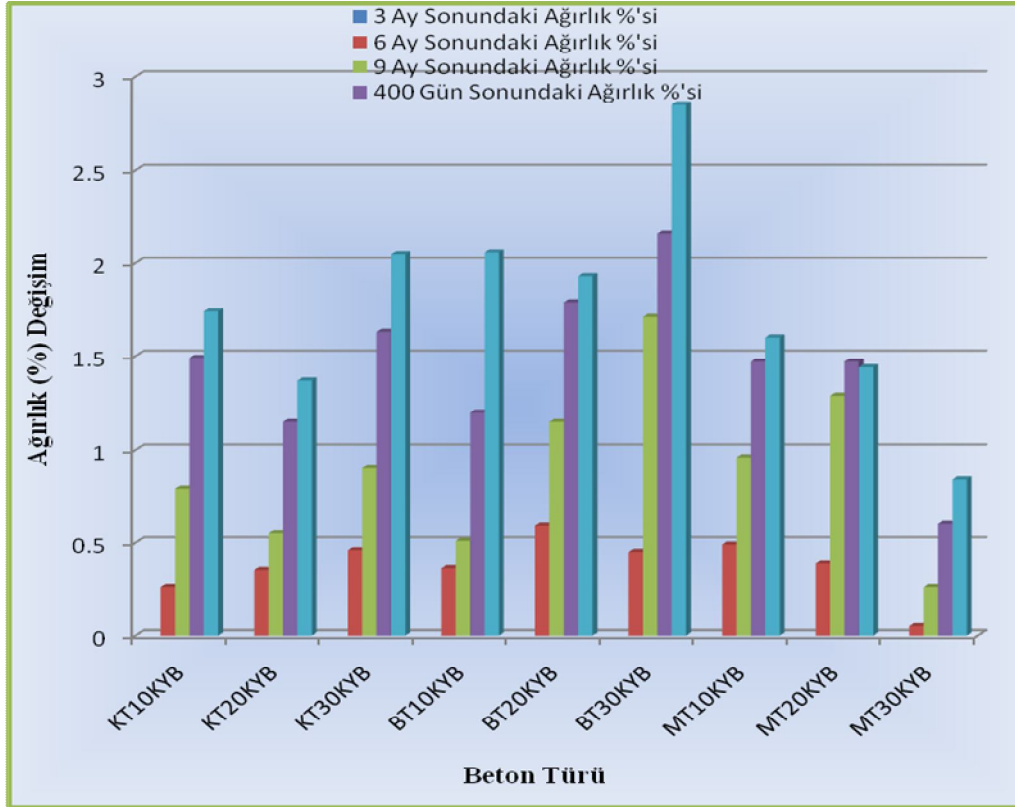
Puzolanik katkılar ikame edilerek üretilen KYB'lerin sülfat direncini artırmalarının nedenlerinden birincisi olarak, puzolanik katkıların çimento ile ikame edilmeleri neticesinde, betonun bünyesinde çimentonun azalması nedeniyle, daha az C_3A meydana getirmeleri gösterilebilir. Daha sonra, mineral katkıların puzolanik özellikte olmaları sebebiyle çimentonun bünyesinde bulunan serbest kireci bağlayarak ve böylece C-S-H jellerini artırarak, betonun bünyesindeki boşlukları azaltması ve daha geçirimsiz bir beton meydana getirmesi sülfat direncinin artmasına olumlu katkı sağlamaktadır. Ayrıca, puzolanik reaksiyon neticesinde oluşan ikincil C-S-H jelleri, ilk oluşan C-S-H jellerine göre daha az sıklıkta olmasına rağmen betonun bünyesinde bulunan kapiler ve sürekli boşlukları daha iyi doldurmada etkin rol oynamaktadır. Böylece betonun permeabilitesi azalmakta ve zararlı iyonlar betonun bünyesine daha az dahil olabilmektedir. Bunlarla birlikte puzolanik katkılar, betonda

filler etkisi meydana getirerek de betonun bünyesindeki boşlukları doldurarak sülfat direncini artırabilmektedir [144]. KYB'lerin $MgSO_4$ çözeltisine maruz kalmaları durumunda meydana gelecek zararlı etkinin $NaSO_4$ çözeltisine göre daha yüksek olduğu yukarıda ifade edilmişti. Bu durum, literatürdeki benzer çalışmalar ile uyumludur [201]. $MgSO_4$ 'ün zararlı etkilerinin daha fazla olmasının nedeni olarak magnezyum sülfatın çimento hamurunun bağlayıcılığını sağlayan C-S-H jellerini, $Ca(OH)_2$ ve hidrate olmuş C_3A 'ya ayrıştırmasıdır. Bunun sonucunda magnezyum silikat oluşmakta ve bu bileşik bağlayıcılık özelliğine sahip bulunmamaktadır [202].

Farklı bileşimlerde hazırlanan KYB karışımlarının 400 gün boyunca sülfatlı ortamlara maruz kalmaları durumunda meydana gelen ağırlık değişimleri üçer aylık sürelerle değerlendirilmiş ve 400 gün sonunda oluşan toplam ağırlık değişimleri Şekil 49 ve Şekil 50'de gösterilmiştir. Deney sonuçları irdelendiğinde, karışımlar % 10 $MgSO_4$ çözeltisine maruz kaldığında tüm karışımlarda pozitif yönde ağırlık değişimleri meydana gelmiştir.



Şekil 5.49. %10 $MgSO_4$ çözeltisine maruz bırakılan KYB deney numunelerinin ağırlık değişimleri



Şekil 5.49. (Devamı) %10 MgSO₄ çözeltisine maruz bırakılan KYB deney numunelerinin ağırlık değişimleri

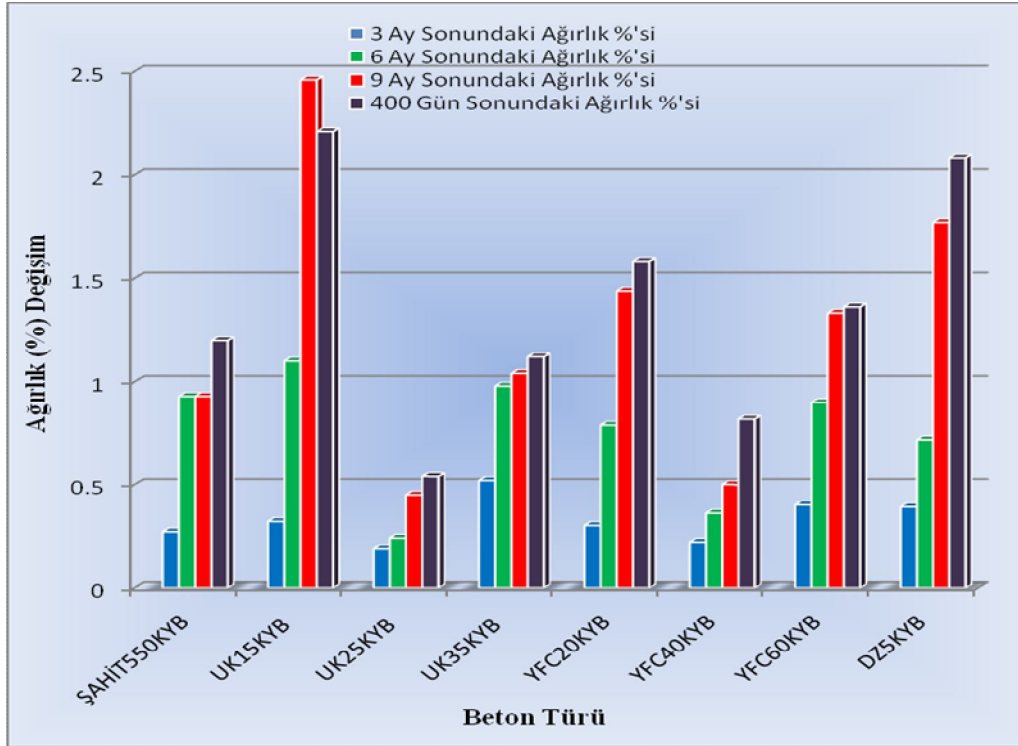
Şekil 5.49'dan anlaşılacağı üzere, 400 gün boyunca % 10 MgSO₄ çözeltisi içerisinde bekletilen tüm karışımlar içerisinde en düşük ağırlık değişimine mermer tozunun çimento ile % 30 oranında ikame edilmesiyle üretilen karışım uğramıştır. Bazalt tozunun çimento ile % 30 oranında ikame edilmesiyle üretilen karışım ise en yüksek ağırlık değişimi değeri vermiştir.

MgSO₄ çözeltisi içerisinde bekletilen karışımlar bir arada değerlendirildiğinde, tüm karışımlar ilk 3 ay sonunda (pozitif yönde) ortalama % 0.37 ağırlık değişimi değeri verirken bu değer 6 ay sonunda (2.4 kat artışla) % 0.89'a yükselmiş, 9 ay sonunda (3.81 kat artışla) % 1.42 olurken, 400 gün sonunda ise (4.74 kat artışla) % 1.72 değerine ulaşmıştır. Bu sonuçlara göre, ilk 3 ay sonundaki değişim referans alınarak ağırlık değişimleri incelendiğinde, 4 zaman periyodu içerisinde ağırlık değişiminde en yüksek artış 3. ay ile 6. ay arasında meydana gelmiştir.

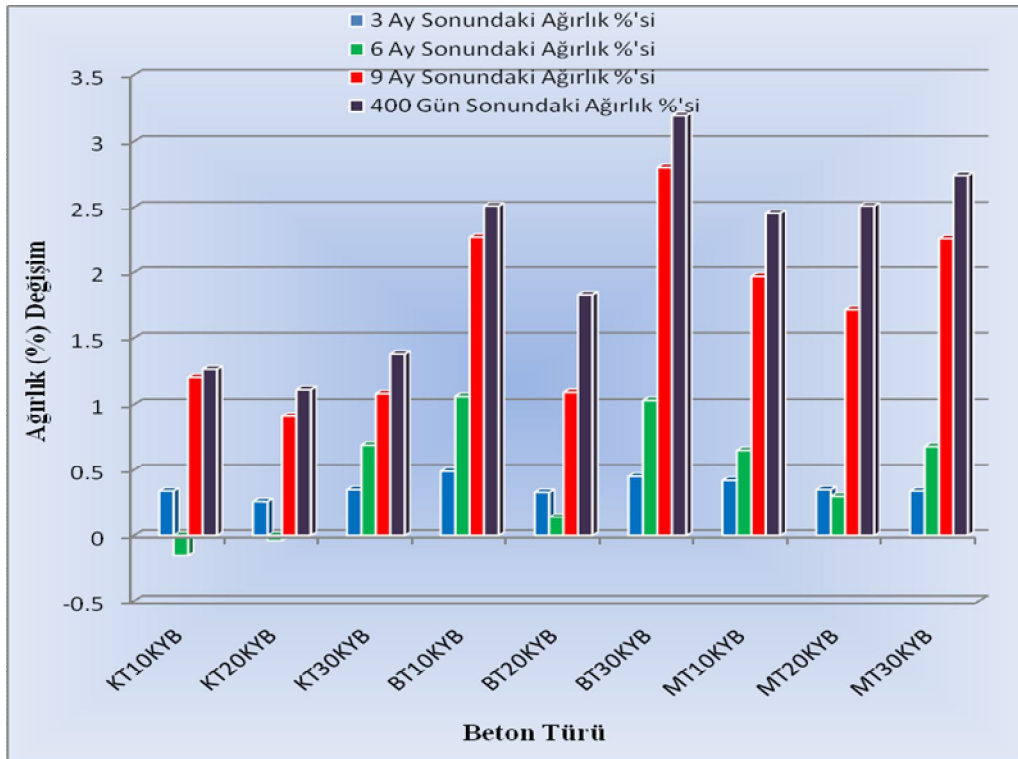
Çimento ya inert malzemeler ikame edilerek üretilen numunelerin $MgSO_4$ çözeltisi içerisinde bekletilmeleri sonucunda puzolanik katkıları içeren karışımlarda olduğu gibi ağırlık değerlerinde artışlar görülmüştür. İnert malzemelerin çimento ile ikame oranları arttıkça genel olarak ağırlık değişimleri de tüm zaman periyotlarında yükselmiştir. Puzolanik katkıları içeren karışımlar için böyle bir durum söz konusu değildir.

Şekil 5.50’de ise KYB karışımlarının 400 gün boyunca $NaSO_4$ çözeltisi içerisinde bekletilmeleri sonucu meydana gelen ağırlık değişimleri üçer aylık periyotlarla gösterilmiştir. KYB deney numunelerinin 400 gün boyunca $NaSO_4$ çözeltisi içerisinde bekletilmesi sonucunda, $MgSO_4$ çözeltisi içerisinde bekletilen numuneler de olduğu gibi ağırlık değerlerinde artışlar görülmüştür. Bu artışlar $MgSO_4$ çözeltisine göre yakın değerlerdedir. Kalker tozunun çimento ile % 10 ve % 20 ikame oranlarında kullanılmasıyla elde edilen karışımlar 6 ay sonunda negatif ağırlık değişimi değeri verirken diğer tüm karışımlar $MgSO_4$ çözeltisinde bekletilen numunelerde olduğu gibi pozitif ağırlık değişimi değeri vermiştir.

$NaSO_4$ çözeltisi içerisinde 400 gün boyunca bekletilen numuneler içerisinde ağırlık değerlerinde en yüksek artış, bazalt tozunun çimento ile % 30 oranında ikame edilmesiyle üretilen karışımdan elde edilmiştir. Bu süre zarfında en düşük artış gösteren karışım ise, uçucu külün çimento ile % 25 oranında ikame edilmesiyle üretilen karışımdır. Bu karışım 400 gün boyunca $NaSO_4$ çözeltisi içerisinde bekletilmesine rağmen ağırlığında pozitif ya da negatif yönde bir değişim meydana gelmemiştir. Puzolanik katkıları içeren karışımların çimento ile ikame oranı arttıkça ağırlık değerleri düşüş göstermiş, inert malzemeler içeren karışımlar için ise bu durumun tersi söz konusu olmuştur.



Şekil 5.50. %10 NaSO₄ çözeltisine maruz bırakılan KYB deney numunelerinin ağırlık değişimleri



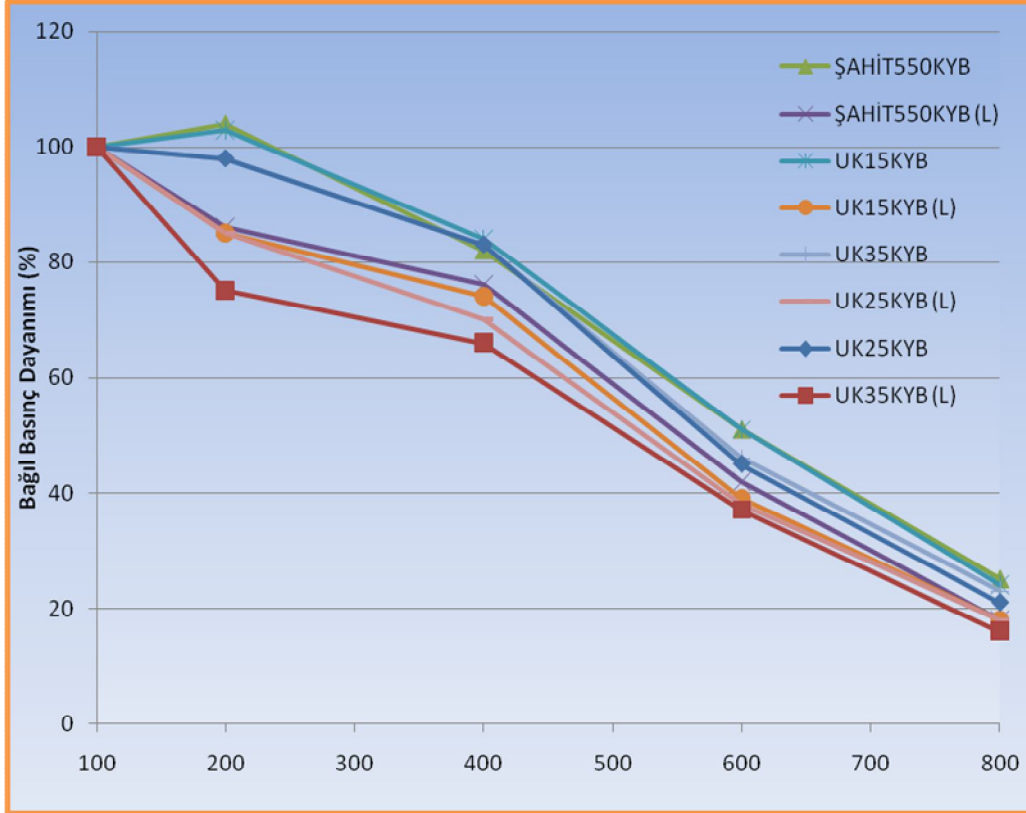
Şekil 5.50. (Devamı) %10 NaSO₄ çözeltisine maruz bırakılan KYB deney numunelerinin ağırlık değişimleri

NaSO₄ çözeltisi içerisinde bekletilen karışımlar bir arada değerlendirildiğinde, tüm karışımlar ilk 3 ay sonunda (pozitif yönde) ortalama % 0.35 ağırlık değişimi değeri verirken bu değer 6 ay sonunda (1.74 kat artışla) % 0.61'e yükselmiş, 9 ay sonunda (4.22 kat artışla) % 1.48 olurken, 400 gün sonunda ise (5.03 kat artışla) % 1.76 değerine ulaşmıştır. Bu sonuçlara göre, ilk 3 ay sonundaki değişim referans alınarak ağırlık değişimleri incelendiğinde, 4 zaman periyodu içerisinde ağırlık değişiminde en yüksek artış 6. ay ile 9. ay arasında meydana gelmiştir.

KYB numunelerinin 400 gün boyunca sülfat etkisine maruz kalmaları sonucunda, normal suda aynı süre boyunca bekletilen numunelere göre, basınç dayanımları azaldığı gibi sülfat iyonlarının meydana getireceği tahribat neticesinde ağırlık değerlerinin de azalacağı tahmin edilmekteydi. Ancak, bu durumun tersi söz konusu olmuştur. KYB deney numunelerinin MgSO₄ ve NaSO₄ çözeltisine maruz bırakılmaları neticesinde beklenenin aksine ağırlık artışları meydana gelmiştir. Bu durum, kimyasal rötre nedeniyle beton bünyesinden kaybolan suyun beton tarafından emilerek karşılanması nedeniyle meydana gelen ağırlık artışına bağlanabilir [144].

5.2.3.4. Yüksek sıcaklık deneyi

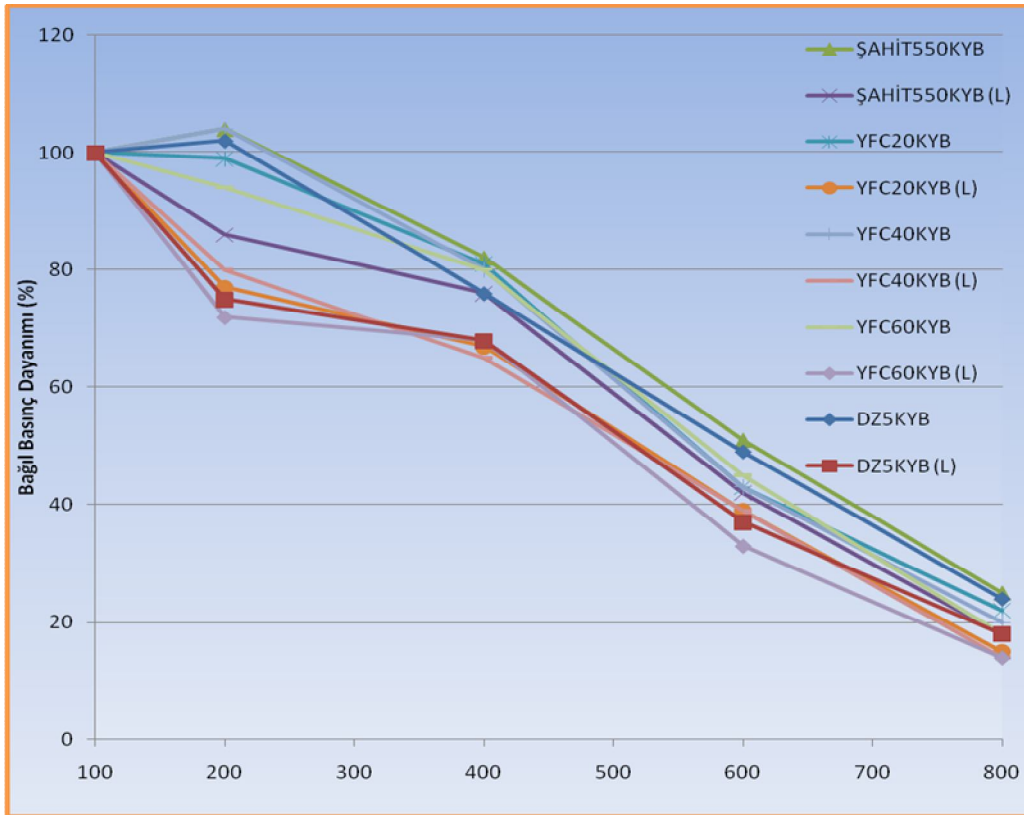
Farklı mineral katkıların değişik ikame oranlarında çimento ile yer değiştirmesi sonucu üretilen KYB deney numunelerinin yüksek sıcaklık etkisine maruz kalması sonucunda dayanımlarında meydana gelen değişimler bu bölümde değerlendirilmiştir. Polipropilen liflerin yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan betonlardaki etkinliğini belirlemek amacıyla aynı kodlu numuneler hem lifli hem de lifsiz olarak üretilmiş ve 28 gün boyunca standartlara uygun olarak kür edildikten sonra 200°C, 400 °C, 600 °C ve 800 °C'de yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmıştır.



Şekil 5.51. Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan uçucu kül ikameli KYB'lerin bağıl basınç dayanımları

Şekil 5.51'de çimento ile uçucu külün çeşitli ikame oranlarında yer değiştirmesiyle üretilen betonların 4 farklı sıcaklık derecesindeki davranışı görülmektedir. Bu şekil incelendiğinde uçucu kül içeren KYB karışımlarının çimento ile ikame oranları arttıkça bağıl basınç dayanımlarında azalma olduğu görülmektedir. Şahit beton ve uçucu külün çimento ile % 15 oranında ikame edilmesiyle üretilen KYB numuneleri 200 °C sıcaklığa maruz kaldığında, yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmamış numunelere göre, bağıl basınç dayanımı değerlerinde % 4 artış meydana gelmiştir. Yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan yüksek dayanımlı betonlarda yapılarının gereği olarak meydana gelen kapak atmalarını önlemek için KYB deney numunelerine ilave edilen polipropilen lifler aynı karışımların lif katılmayan numunelerine göre daha düşük bağıl dayanım değerleri vermiştir. Bu durum, polipropilen liflerin yüksek sıcaklık etkisinde erimeleri sonucu meydana getirdikleri boşlukların beton basınç dayanımını olumsuz etkilemesine bağlanabilir. Yüksek sıcaklık etkisinde kalmış uçucu kül ikameli lifsiz betonlar, yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmamış

numunelere göre, ortalama olarak 200 °C’de dayanımlarının % 0.33’ünü, 400 °C’de % 16.67’sini, 600 °C’de % 52.67’sini, 800 °C’de ise % 77.33’ünü kaybetmiştir. Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmış uçucu kül ikameli ve lifli betonlar, yüksek sıcaklık etkisinde kalmamış numunelere göre ise ortalama olarak 200°C’de dayanımlarının % 18.33’ünü, 400 °C’de % 30’unu, 600 °C’de % 62’sini, 800 °C’de ise % 82.67’sini kaybetmiştir. Bu sonuçlar irdelendiğinde, uçucu külün lifli karışımlarının lifsiz karışımlarına göre %23.83 daha fazla dayanım kaybına uğradığı anlaşılmaktadır. Uçucu kül ikameli karışımlar içerisinde en iyi performansı çimentonun uçucu kül ile % 15 oranında ikame edilmesiyle üretilen KYB karışımı vermiştir ve uçucu külün çimento ile ikame oranı arttıkça diğer bir deyişle, karışımlardaki bağlayıcı miktarı azaldıkça yüksek sıcaklık etkisinde meydana gelen dayanım kaybı değerlerinde artışlar meydana gelmiştir. Ayrıca, % 15 uçucu kül ikameli karışım yaklaşık olarak şahit betonla yüksek sıcaklık etkisinde aynı performansı göstermiştir.



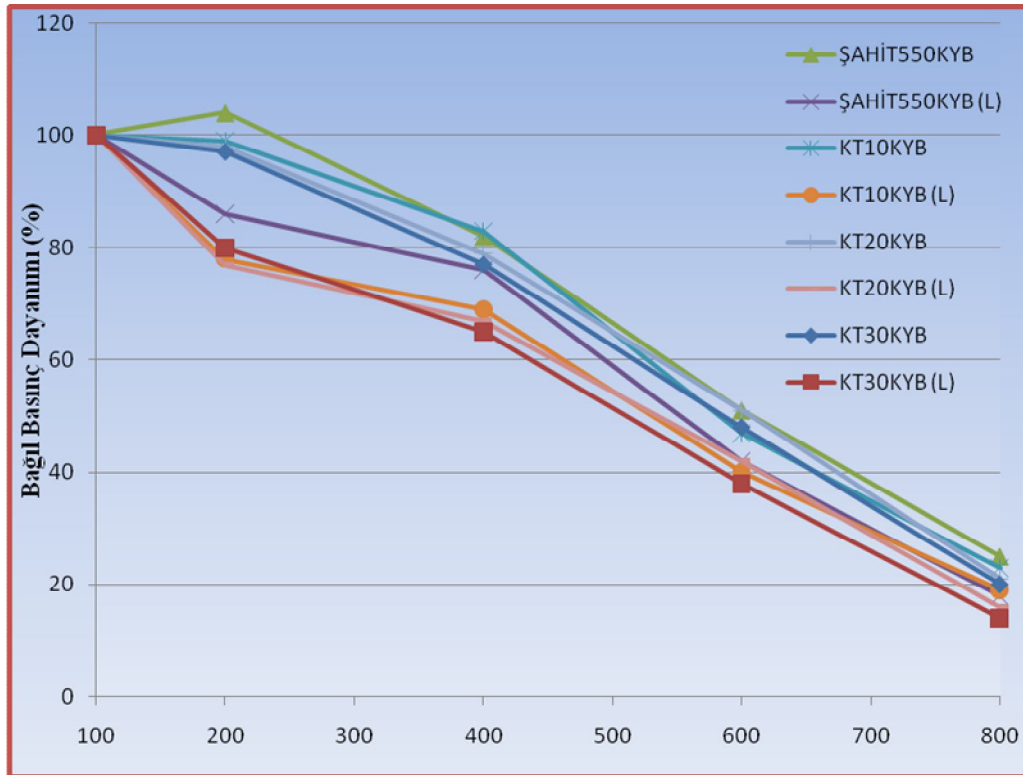
Şekil 5.52. Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan yüksek fırın cürufu ve doğal zeolit ikameli KYB’lerin bağıl basınç dayanımları

Şekil 5.52’de YFC ve doğal zeolitın çeşitli ikame oranlarında yer değiştirmesiyle üretilen betonların 4 farklı sıcaklık derecesindeki davranışı görülmektedir. Yukarıdaki şekil incelendiğinde, YFC ve doğal zeolit içeren KYB karışımlarının çimento ile ikame oranları arttıkça şahit betona göre 200 °C ve 400 °C sıcaklıkta bağıl basınç dayanımları sabit kalmış, 600 °C ve 800 °C’de ise bağıl basınç dayanımlarında azalma olduğu anlaşılmıştır. YFC ve doğal zeolit içeren KYB karışımlarının maruz kaldığı sıcaklık derecesi arttıkça, sıcaklık etkisiyle numunelerde meydana gelen tahribat ve dolayısıyla bağıl basınç dayanımı değerleri azalmıştır. Ancak, YFC’nin çimento ile % 40 oranında ikame edilmesiyle üretilen beton numuneleri 200 °C sıcaklığa maruz bırakıldığında, yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmamış numunelere göre, bağıl basınç dayanımı değerlerinde % 4 artış meydana gelmiştir.

Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmış YFC ikameli lifsiz betonlar, yüksek sıcaklık etkisinde kalmamış numunelere göre, ortalama olarak 200°C’de dayanımlarının % 1’ini, 400 °C’de % 19.67’sini, 600 °C’de % 56.33’ünü, 800 °C’de ise % 80’ini kaybetmiştir. Yüksek sıcaklık etkisinde kalmış YFC ikameli ve lifli betonlar, yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmamış numunelere göre ise ortalama olarak 200 °C’de dayanımlarının % 23.67’sini, 400 °C’de % 33.33’ünü, 600 °C’de % 63’ünü, 800 °C’de ise % 85.67’sini kaybetmiştir. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde, YFC’nin lifli karışımlarının lifsiz karışımlarına göre %23.67 daha fazla dayanım kaybına uğradığı görülmektedir. YFC ikameli karışımlar içerisinde en iyi performansı çimentonun YFC ile % 20 oranında ikame edilmesiyle üretilen KYB karışımı vermiştir. YFC’nin çimento ile ikame oranı arttıkça bir başka ifadeyle, karışımlardaki bağlayıcı miktarı azaldıkça yüksek sıcaklık etkisinde meydana gelen dayanım kaybı değerleri uçucu kül ikameli karışımların aksine YFC’li numunelerde sabit kalmıştır. Çimentonun doğal zeolit ile % 5 oranında ikame edilmesiyle üretilen karışım ise genel olarak şahit betona yakın dayanım kaybı değerleri vermiştir.

Şekil 5.53’te kalker tozunun çeşitli ikame oranlarında yer değiştirmesiyle elde edilen betonların 4 farklı sıcaklık derecesindeki davranışı ifade edilmektedir. Aşağıdaki şekilden anlaşılacağı üzere, farklı ikame oranlarında kalker tozu içeren KYB karışımlarının çimento ile ikame oranları arttıkça 200 °C, 400 °C ve 800 °C’de bağıl

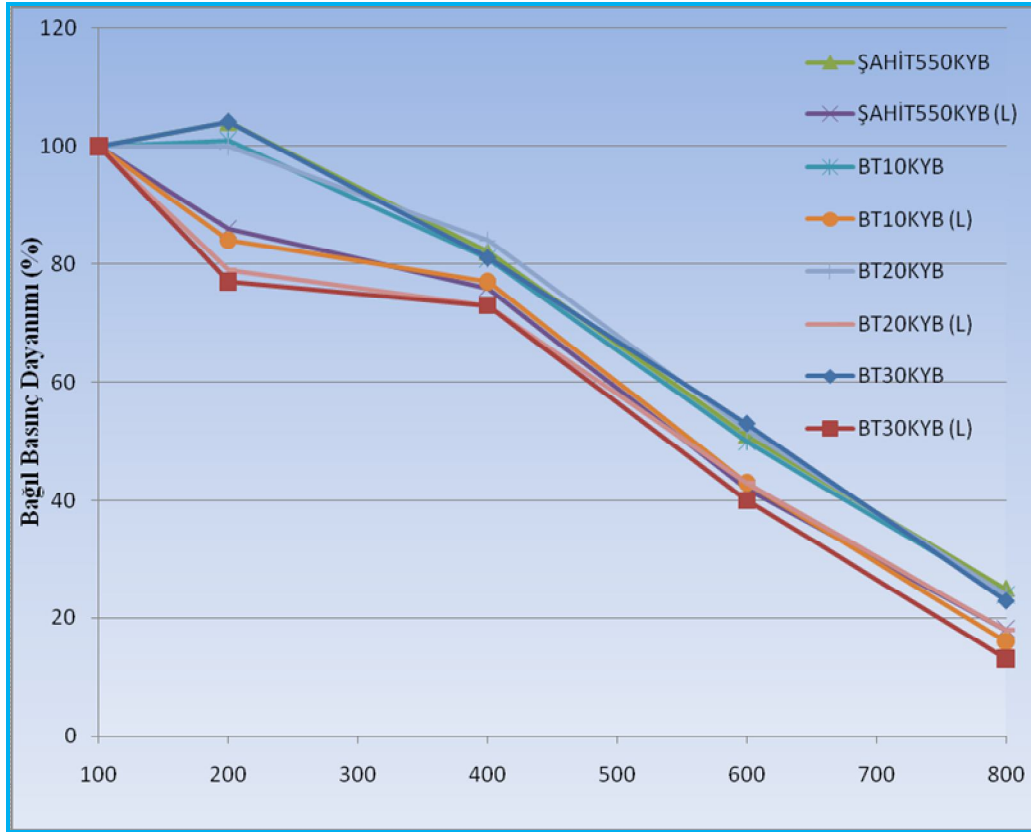
basınç dayanımları azalmış, 600 °C’de ise artış göstermiştir. Farklı ikame oranlarında kalker tozu içeren KYB karışımının maruz kaldığı sıcaklık derecesi arttıkça, sıcaklık etkisiyle numunelerde meydana gelen tahribat ve dolayısıyla bağıl basınç dayanımı değerleri diğer mineral katkılarda olduğu gibi azalmıştır. Aynı şekilde, polipropilen lif içeren numuneler lif katılmayan numunelere göre daha düşük bağıl dayanım değerleri vermiştir.



Şekil 5.53. Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan kalker tozu ikameli KYB’lerin bağıl basınç dayanımları

Yüksek sıcaklık etkisinde kalmış kalker tozu ikameli lifsiz betonlar, yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmamış numunelere göre, ortalama olarak 200°C’de dayanımlarının % 2’sini, 400 °C’de % 20.33’ünü, 600 °C’de % 51.33’ünü, 800 °C’de ise % 78.67’sini kaybetmiştir. Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmış kalker tozu ikameli ve lifli betonlar, yüksek sıcaklık etkisinde kalmamış numunelere göre ise ortalama olarak 200°C’de dayanımlarının % 21.67’sini, 400 °C’de % 33’ünü, 600 °C’de % 60’ını, 800 °C’de ise % 83.67’sini kaybetmiştir. Bu sonuçlara göre, uçucu külün lifli karışımlarının lifsiz karışımlarına göre % 23.20 daha fazla dayanım

kaybına uğradığı anlaşılmaktadır. Kalker tozu ikameli karışımlar içerisinde en iyi performansı çimentonun kalker tozu ile % 10 oranında ikame edilmesiyle üretilen KYB karışımı vermiştir ve kalker tozunun çimento ile ikame oranı arttıkça yüksek sıcaklık etkisinde meydana gelen dayanım kaybı değerleri de yükselmiştir. Ancak bu yükselme, uçucu kül ve YFC katkılı betonlara göre göreceli olarak daha azdır.



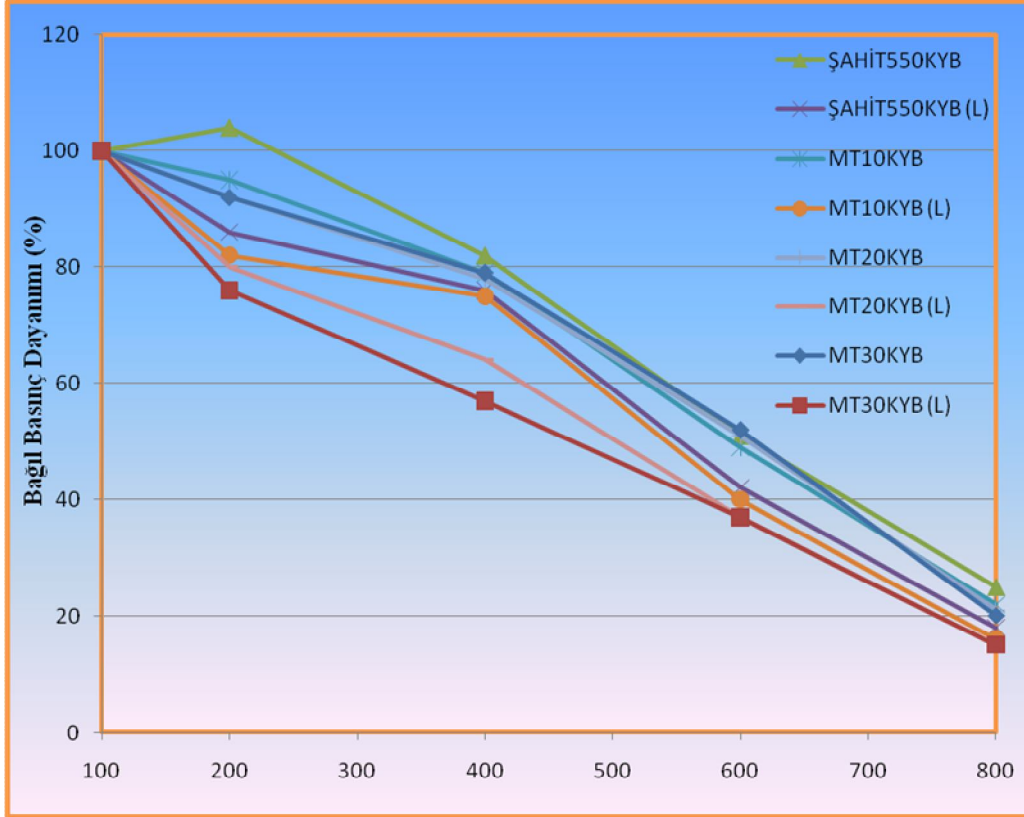
Şekil 5.54. Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan bazalt tozu ikameli KYB'lerin bağıl basınç dayanımları

Şekil 5.54'te yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan bazalt tozu ikameli KYB'lerin bağıl basınç dayanımları ifade edilmiş ve bu betonların yüksek sıcaklık altındaki davranışları gösterilmiştir. Yukarıdaki şekil incelendiğinde, farklı ikame oranlarında bazalt tozu içeren KYB karışımlarının çimento ile ikame oranları arttıkça 200 °C ve 600 °C 'de bağıl basınç dayanımları kısmen de olsa artış göstermiş, 400 °C ve 800°C'de ise bağıl basınç dayanımları sabit kalmıştır. Farklı ikame oranlarında bazalt tozu içeren KYB karışımının maruz kaldığı sıcaklık derecesi arttıkça, sıcaklık etkisiyle numunelerde meydana gelen tahribat ve dolayısıyla bağıl basınç dayanımı

değerleri diğer mineral katkılarda olduğu gibi azalmıştır. Bazalt tozunun çimento ile %30 oranında ikame edilmesiyle üretilen beton numuneleri 200°C sıcaklığa maruz bırakıldığında, yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmamış numunelere göre bağıl basınç dayanım değerlerinde %4 artış meydana gelmiştir.

Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmış bazalt tozu ikameli lifsiz betonlar, yüksek sıcaklık etkisinde kalmamış numunelere göre, ortalama olarak 200°C'de dayanımlarının % -1.67'sini, 400 °C'de % 18'ini, 600 °C'de % 48.33'ünü, 800 °C'de ise % 76.33'ünü kaybetmiştir. Yüksek sıcaklık etkisinde kalmış bazalt tozu ikameli ve lifli betonlar, yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmamış numunelere göre ortalama olarak 200 °C'de dayanımlarının % 20'sini, 400 °C'de % 25.67'sini, 600 °C'de % 58'ini, 800 °C'de ise % 84.33'ünü kaybetmiştir. Bu sonuçlar ışığında, bazalt tozunun lifli karışımlarının lifsiz karışımlarına göre % 25 daha fazla dayanım kaybına uğradığı görülmektedir. Bazalt tozu ikameli karışımlar içerisinde en iyi performansı, çimentonun bazalt tozu ile % 20 oranında ikame edilmesiyle üretilen KYB karışımı vermiştir. Ancak, bazalt tozunun tüm karışımları yüksek sıcaklık etkisinde şahit betona yakın dayanım kaybı sonuçları vermiştir. Sonuç olarak, bazalt tozunun çimento ile ikame oranının artmasının bir başka deyişle, karışımlardaki bağlayıcı miktarının azalmasının yüksek sıcaklık etkisinde meydana gelen dayanım kaybını değiştirmedeği görülmüştür.

Şekil 5.55'te mermer tozunun çeşitli ikame oranlarında yer değiştirmesiyle elde edilen betonların 4 farklı sıcaklık derecesindeki davranışı gösterilmiştir. Aşağıdaki şekil incelendiğinde, farklı ikame oranlarında mermer tozu içeren KYB karışımlarının çimento ile ikame oranları arttıkça 200 °C, 400 °C ve 800 °C sıcaklığa maruz kalan numunelerin bağıl basınç dayanımları az da olsa azalmış, 600 °C sıcaklığa maruz kalan numunelerin ise bağıl basınç dayanımları artış göstermiştir. Farklı ikame oranlarında mermer tozu içeren KYB karışımının maruz kaldığı sıcaklık derecesi arttıkça, sıcaklık etkisiyle numunelerde meydana gelen tahribat ve dolayısıyla bağıl basınç dayanımı değerleri de azalmıştır.



Şekil 5.55. Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan mermer tozu ikameli KYB'lerin bağıl basınç dayanımları

Yüksek sıcaklık etkisinde kalmış mermer tozu ikameli lifsiz betonlar, yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmamış numunelere göre, ortalama olarak 200 °C'de dayanımlarının % 7'sini, 400 °C'de % 21.33'ünü, 600 °C'de % 49.33'ünü, 800 °C'de ise % 79'unu kaybetmiştir. Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmış mermer tozu ikameli ve lifli betonlar, yüksek sıcaklık etkisinde kalmamış numunelere göre ise ortalama olarak 200 °C'de dayanımlarının % 20.67'sini, 400 °C'de % 34.67'sini, 600 °C'de % 62'sini, 800 °C'de ise % 84.67'sini kaybetmiştir. Bu sonuçlara göre, mermer tozunun lifli karışımlarının lifsiz karışımlarına göre % 22.46 daha fazla dayanım kaybına uğradığı görülmektedir. Bununla birlikte, mermer tozunun çimento ile ikame oranı arttıkça yüksek sıcaklık etkisinde meydana gelen dayanım kaybı değerleri de artış göstermiştir.

Karışımların tümü yüksek sıcaklık etkisine karşı kıyaslandığında, 200 °C sıcaklığa maruz kalmış numuneler içerisinde en iyi performansı şahit beton karışımı vermiş, en kötü performansı ise mermer tozunun çimento ile % 30 oranında ikame edilmesiyle elde edilen karışım vermiştir. Yüksek sıcaklık etkisinde 400 °C sıcaklığa maruz kalmış numuneler içerisinde en iyi performans olarak en düşük dayanım kaybı değerini uçucu külün çimento ile % 15 oranında ikame edilmesiyle hazırlanan karışım, en kötü performans olarak en yüksek dayanım kaybı değerini ise doğal zeolitin çimento ile % 5 oranında ikame edilmesiyle üretilen karışım vermiştir. Yüksek sıcaklık etkisinde 600 °C sıcaklığa maruz kalmış numuneler içerisinde en iyi performans bazalt tozunun çimento ile % 30 oranında ikame edilmesiyle hazırlanan karışımdan, en kötü performans ise YFC'nin çimento ile % 20 ve % 40 oranında ikame edilmesiyle üretilen karışımdan elde edilmiştir. Yüksek sıcaklık etkisinde 800 °C sıcaklığa maruz kalmış numuneler içerisinde en düşük dayanım kaybı değerini şahit beton olarak isimlendirilen KYB karışımı, en yüksek dayanım kaybı değerini ise YFC'nin çimento ile % 60 oranında ikame edilmesiyle üretilen karışımın verdiği anlaşılmıştır. Bu sonuçlar ışığında şahit beton ve uçucu kül ikameli karışımların, yüksek sıcaklık etkisine maruz kalmış karışımlar içerisinde en iyi performansı gösterdiği söylenebilir.

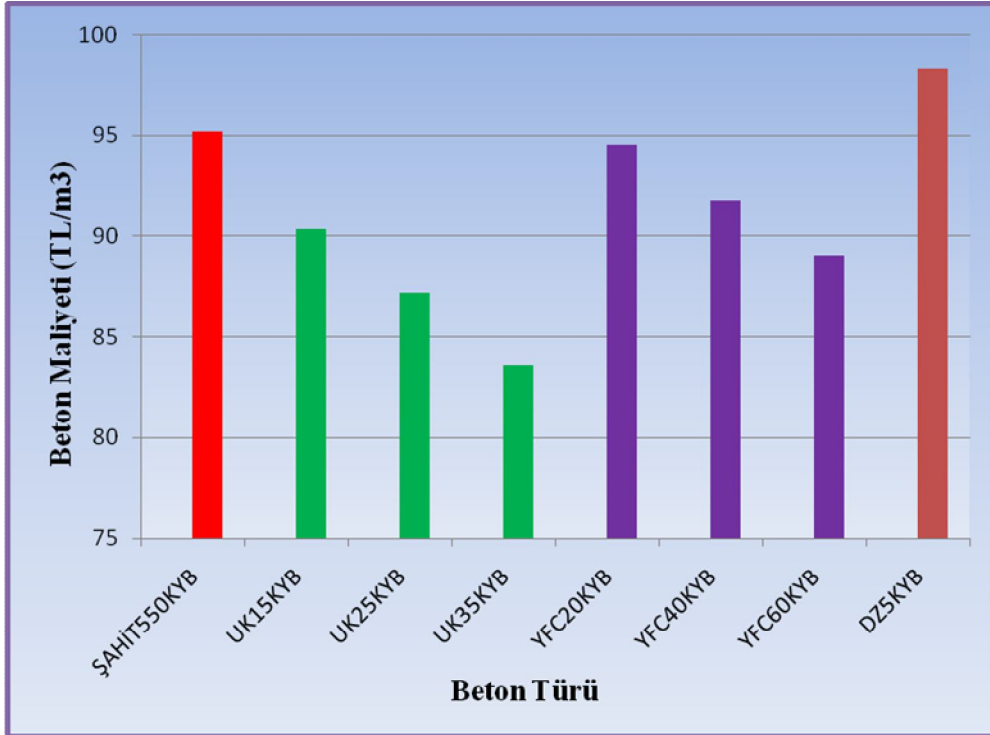
KYB olarak tasarlanan tüm karışımlar özellikle 600 °C'den yüksek sıcaklıklara maruz kaldıklarında dayanımlarını önemli ölçüde kaybetmiştir. Aynı s/ç oranı ve dayanım sınıfındaki geleneksel betonlarla kıyaslandığında, KYB'lerde yüksek sıcaklık etkisinde oluşan tahribat daha yüksek olmaktadır. Bu durum, KYB'lerin daha sıkı mikroyapıya sahip olmalarının sonucu olarak yüksek sıcaklığın etkisinde iç basınçlarının yüksek olması nedeniyle artan buhar basıncının meydana getirdiği tahribata bağlanabilir. 200 °C'yi aşan sıcaklıklarda meydana gelen bağıl basınç dayanımındaki azalma, çimentonun bünyesindeki alüminli ve demir oksitli bileşenlerdeki bünye suyu kaybının, basınç dayanımında düşüş meydana getirmesine bağlanabilir. Ayrıca, 300 °C'yi aşan sıcaklıklarda normal şartlarda buharlaşmayan bağlı suların da uçması hasarın mertebesini artırmaktadır. Böylece, beton basınç dayanımında düşüşler meydana gelmektedir. Bilindiği üzere, betonun bünyesindeki çimento hamurunda bulunan bileşenlerden birisi Ca(OH)_2 'dir. Ca(OH)_2 'in sönmemiş kirece (CaO) dönüşmesi 400 °C civarında olmaktadır. Beton içindeki kirecin,

sönmemiş kirece dönüşmesi yaklaşık % 33 civarında bir büzülme oluşması anlamına gelmektedir. Kısa sürede büzülen ve genişleyen beton içinde oluşan parazit gerilmeler hasarın büyümesine neden olmaktadır. 400 °C'yi aşan sıcaklıklarda ise C-S-H'ların tahrip olmaya başladığı, betonun dayanımının hızla azaldığı, 900 °C civarında ise C-S-H yapısının tamamen dağıldığı görülmektedir. Bu durum, özellikle 800 °C'deki betonun ağır hasarını diğer bir deyişle, yüksek dayanım kaybını izah etmek için yeterli olmaktadır. KYB üretiminde çimento ile ikameli olarak kullanılan uçucu külün diğer mineral katkılara göre yüksek sıcaklık etkisinde daha iyi performans göstermesi, yüksek sıcaklık ve basıncın etkisinde uçucu kül ve kirecin bir ürünü olarak meydana gelen tobermolit jel formasyonunun C-S-H jeline göre iki ya da üç kat daha güçlü ve dayanıklı olmasına bağlanabilir [32].

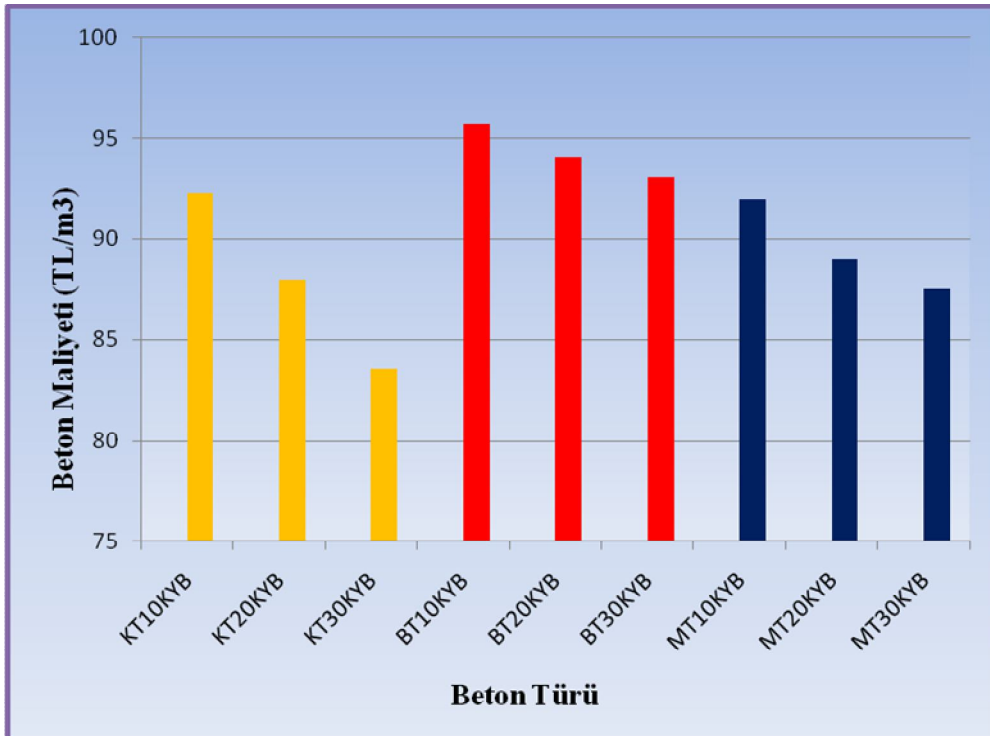
Yüksek performanslı betonlar içerisinde yer alan KYB'lerin geleneksel betonlara göre daha sıkı mikroyapıya sahip olmaları nedeniyle yüksek sıcaklığın etkisinde iç basınçlarının yüksek olmasının sonucu olarak artan buhar basıncının meydana getirdiği tahribat neticesinde beton bünyesinde kapak atmalar meydana gelmektedir. Bu kapak atmaları engellemek için KYB'lere ilave edilen polipropilen lifler aynı karışımların lifsiz olanlarına göre yaklaşık olarak % 23 daha fazla dayanım kaybına uğramıştır. Yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan betonda kapak atmalar meydana geldiğinde donatılar yüksek sıcaklık etkisine maruz kalıp yapının hızlı bir şekilde göçmesine neden olacaktır. Lif ikameli KYB'lerin aynı karışımdaki lifsiz betonlara göre yüksek sıcaklık etkisinde basınç dayanımlarında meydana gelecek kayıplar, donatının betonda meydana gelen kapak atma nedeniyle yalnız başına yüksek sıcaklık etkisine direnmesinden daha az önemli olmaktadır. Bu nedenle, lif ilaveli KYB karışımlarının lifsiz karışımlara göre daha kötü performans göstermesi olumsuz bir durum olarak görünse de, yüksek sıcaklık etkisinde kapak atmaları önleyerek donatının yüksek sıcaklık etkisine maruz kalmasını geciktirerek yapının göçmesini engellemektedir.

5.3. Maliyet Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Farklı mineral katkıların değişik ikame oranlarında çimento ile yer değiştirmesi sonucu üretilen KYB'lerin 1 m³ için maliyet analizi sonuçları değerlendirildiğinde tüm karışımlar içinde en düşük maliyetli KYB, kalker tozunun çimento ile % 30 ikame oranında kullanılmasıyla üretilen betondur. Bu beton şahit betona kıyasla % 12 daha ekonomiktir. Doğal zeolitin çimento ile % 5 oranında kullanılmasıyla elde edilen beton ise en yüksek maliyetli beton olmuştur. Ayrıca, bu beton şahit betona kıyasla % 3 daha fazla maliyetlidir. Bu durum, akışkanlaştırıcı katkının beton maliyetini etkileyen en önemli faktör olduğu göz önüne alındığında, doğal zeolitin yaklaşık olarak % 48 su emme oranına sahip olması nedeniyle şahit betona kıyasla benzer işlenebilirliği sağlamak için daha fazla akışkanlaştırıcı katkı maddesine ihtiyaç duymasına bağlanabilir. Puzolanik katkılar içeren karışımlar içinde uçucu kül ikameli karışımların YFC ve doğal zeolit içeren karışımlara göre daha düşük maliyetli olduğu, inert malzemeler içeren karışımlar içinde ise kalker tozu ikameli karışımların mermer ve bazalt tozu ikameli karışımlara göre daha düşük maliyetli olduğu görülmüştür. Mineral katkılar arasında doğadan alınıp çimento değirmeninde öğütmeye tabi tutularak elde edilen katkılar kullanılarak üretilen betonların, doğal haliyle beton içine katılan katkılar kullanılarak üretilen betonlara göre daha yüksek maliyetli olduğu anlaşılmıştır. Şekil 5.56'da KYB karışımlarının 1 m³ için beton maliyetleri görülmektedir.



Şekil 5.56. KYB karışımlarının 1 m³ için beton maliyetleri



Şekil 5.56. (Devamı) KYB karışımlarının 1 m³ için beton maliyetleri

BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Değişik mineral katkıların farklı oranlarda çimento ile ikame edilmesiyle üretilen kendiliğinden yerleşen betonlar üzerinde yapılan taze halde işlenebilirlik, sertleşmiş halde ise dayanım ve dayanıklılık deneyleri ile yapısal perde elemanları üzerinde yapılan karot basınç dayanımı, su emme oranı ve birim ağırlık deneylerinden elde edilen sonuç ve öneriler aşağıda verilmiştir.

- Kendiliğinden yerleşen taze beton deneyleri sonucunda elde edilen değerler düşünüldüğünde, KYB karışımlarının taze haldeki özelliklerinin genel kabul kriterleri çerçevesinde ideal olduğu ve standart değerler olarak istenen koşulları rahatlıkla sağladığı görülmüştür.
- Taze beton deneyleri çerçevesinde, UK ve YFC'nin çimento ile ikame oranı arttıkça yayılma değerlerinde artış görüldüğü, aynı zamanda da bu karışımların katkı ihtiyaçlarının azaldığı bariz olarak görülmüştür. Ancak katkı miktarları da göz önüne alındığında ve diğer KYB karışımları ile kıyaslandığında, en ideal yayılma değeri YFC'nin çimento ile % 60 ikame oranında kullanılmasıyla üretilen KYB karışımından elde edilmiştir. Özellikle inert malzemeler ile kıyaslandığında puzolanik katkı içeren KYB karışımlarının daha iyi işlenebilirlik değerleri verdiği görülmüştür.
- KYB karışımlarının çökme-yayılma deneyleri esnasında yapılan ve çökme hızının merkezini esas alarak 50 cm çapındaki mesafeyi kat etme süresini ifade eden T_{50} süresi deneyleri sonucunda bu mesafeyi en hızlı YFC'nin % 60 oranında ikame edilmesiyle üretilen karışım kat etmiştir. Genel olarak tüm karışımlar 50 cm lik mesafeyi 2-5 sn arasında geçerek KYB genel kriterleri çerçevesinde T_{50} deneyi için uygun değerler vermişlerdir. Puzolanik katkı

ikame edilerek üretilen KYB'ler diğer beton karışımlarına göre daha düşük T_{50} süresi değerleri vermişlerdir.

- Sabit s/ç oranında, değişik mineral katkıları kullanılarak üretilen KYB karışımlarının viskozite özellikleri V-hunisi deneyi ile incelendiğinde tüm karışımların KYB genel kriterleri içerisinde uygun viskozite özellikleri gösterdiği görülmüştür. Bununla birlikte, şahit beton ile kıyaslandığında farklı ikame oranlarında mineral katkı kullanımının genel olarak viskoziteyi azalttığı görülmüştür. Karışımlar içerisinde en yüksek viskozite değerini bazalt tozunun çimento ile % 30 ikame oranında kullanıldığı karışım vermiştir. Ayrıca, mineral katkıların çimento ile ikame oranı arttıkça viskozite de genel olarak azalmıştır.
- Farklı karışımlarda hazırlanan KYB'ler üzerinde yapılan L-kutusu oranı deneyi sonucunda tüm karışımlar h_2/h_1 oranı olarak standart değerler arasında sonuçlar vermiştir. Bu değerlerin 0.8 ila 1.0 arasında olduğu görülmüştür.
- İşlenebilirlik deneylerinin tümü bir arada değerlendirildiğinde YFC ve UK ikameli karışımların, diğer karışımlara göre daha iyi işlenebilirlik özellikleri sağladığı sonucuna varılmıştır. Bu bağlamda YFC ikameli karışımların işlenebilirlik değerlerinin, uçucu kül ikameli karışımlara göre az da olsa daha iyi olduğu söylenebilir.
- Değişik mineral katkıların farklı ikame oranlarında kullanılmasıyla üretilen KYB karışımlarının hava ölçer deney aleti ile belirlenen % cinsinden hava miktarları incelendiğinde, mineral katkıları içerisinde en yüksek hava miktarına sahip taze beton karışımı, bazalt tozunun çimento ile % 30 oranında ikame edilmesiyle üretilen taze beton karışımı olmuştur. En az hava miktarına sahip karışım ise mermer tozunun çimento ile % 10 oranında ikame edilmesiyle üretilen taze beton karışımıdır. Karışımların tümünde mineral katkıların çimento ile ikame oranı arttıkça taze betonların hava miktarları da artmıştır. Bütün karışımlarda katkı malzemesi vs. nedenlerle hava sürüklenme etkisi gibi bir durum oluşmamış ve hava yüzdeleri beklenen sınırlar içerisinde elde edilmiştir.

- Farklı bileşimlerdeki KYB'lerin basınç dayanımı deneyleri neticesinde elde edilen değerler incelendiğinde, KYB'ler s/ç oranlarının düşük olması, mineral katkılarla ikame edilerek betonların bünyesindeki boşlukların minimize edilmesi gibi sebeplerle yüksek basınç dayanımı sonuçları vermiştir. 7 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında en yüksek basınç dayanımı değerini mermer tozunun çimento ile % 20 oranında ikame edilmesiyle üretilen karışım vermiştir. 7 günlük basınç dayanımları içerisinde en düşük basınç dayanımı değeri ise bazalt tozunun çimento ile % 30 oranında ikame edilmesiyle üretilen karışımdan elde edilmiştir. KYB numunelerinin 28 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında en yüksek basınç dayanımı değerini mermer tozunun çimento ile % 20 oranında ikame edilmesiyle üretilen karışım vermiştir. Kalker tozunun çimento ile % 30 oranında ikame edilmesiyle üretilen karışım ise 28 günlük numuneler içerisinde en düşük basınç dayanımı değerini vermiştir. 90 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında en yüksek basınç dayanımı değerinin YFC'nin çimento ile % 40 oranında ikame edilmesiyle üretilen karışımdan elde edildiği görülmüştür. 90 günlük basınç dayanımı değerleri içerisinde en düşük basınç dayanımı değeri ise kalker tozunun çimento ile % 30 oranında ikame edilmesiyle üretilen karışımdan elde edilmiştir. 400 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında en yüksek basınç dayanımı değerinin uçucu külün çimento ile % 25 oranında ikame edilmesiyle üretilen karışımdan elde edilmiştir. Kalker tozunun çimento ile % 30 oranında ikame edilmesiyle üretilen karışımdan ise 400 gün sonunda en düşük basınç dayanımı değeri elde edilmiştir.
- Erken yaş dayanım sonuçları değerlendirildiğinde, inert malzemelerle üretilen karışımların erken dayanım değerleri puzolanik katkı kullanılarak üretilen karışımların dayanım değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. İleriki yaşlarda ise puzolanik reaksiyonun etkisiyle puzolanik katkı içeren karışımlar inert malzemeler içeren karışımlara göre daha yüksek basınç dayanımı değerleri vermiştir.
- 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/ç oranı ve dayanım sınıfındaki geleneksel betonlara göre genellikle daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. Bu durum KYB'lerin çok düşük boşluk yapısına sahip olmasına bağlanabilir. Ultrases geçiş hızı deney sonuçları değerlendirildiğinde, puzolanik katkıları ikame edilerek üretilen KYB deney numunelerinin ultrases geçiş hızı değerlerinin inert malzemeler kullanılarak üretilen KYB deney karışımlarına göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ultrases hızı deney sonuçları ile basınç dayanımı sonuçları bir arada kıyaslandığında basınç dayanımı değeri diğer karışımlara göre yüksek olan betonların ultrases geçiş hızı değerleri de yüksek çıkmıştır.

- KYB deney numuneleri üzerinde 28. günde yapılan statik ve dinamik elastisite modülü deneyleri sonucunda KYB'lerin elastisite modülleri ile aynı s-ç oranı ve dayanım sınıfındaki geleneksel betonların elastisite modülleri arasında önemli bir farklılık bulunmadığı görülmüştür.
- Kendiliğinden yerleşen betonların saha koşullarındaki performanslarını belirlemek için hazırlanan yapısal perde elemanlarına tek bir noktadan beton dökülerek dar kesit ve sıkı donatılar arasından geçen betonun yatay düşey doğrultuda basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde, KYB olarak tasarlanarak üretilen betonların geleneksel betona göre eleman boyunca yatay ve düşeyde daha homojen değerler verdiği görülmüştür. Perde betonların üst noktalarındaki dayanım ortalamaları ile alt noktalarındaki dayanım ortalamaları oranının geleneksel beton perde elemanında daha yüksek olması bu sonuçla paralellik arz etmektedir. Bu sonucun ortaya çıkmasında en büyük faktör olarak, beton döküm noktasından yatay ve düşeyde uzaklaştıkça, KYB'lerin betonun sıkı donatı ve dar kalıp engelinden rahatça geçerek homojen bir şekilde harekette bulunması gösterilebilir.
- Genel olarak perde elemanlarının tüm karışımlarında, beton derinliği arttıkça su emme oranı değerleri de azalmıştır. Bu durum, perde elemanın alt noktalarının yer çekimi etkisiyle daha iyi sıkışmasının sonucu olarak daha geçirimsiz olmasına bağlanabilir. Perde elemanı boyunca beton döküm noktasından uzaklaştıkça ise su emme oranı değerleri arasında belirgin fark görülmemiştir.

Bu durum, KYB'lerin vibratör kullanımına gerek duymaksızın "kendiliğinden yerleşebilirlik" özelliğine sahip olmalarından kaynaklanmaktadır. Geleneksel betonda ise her iki yüzeye vibratör uygulanarak bu özellik sağlanmıştır.

- Yapılan çalışmalar sonucunda, perde elemanlarının alt noktalarından alınan karot numunelerin birim ağırlık değerlerinin üst noktalardan alınan karot numunelere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum, geleneksel betonda daha belirgindir. Ayrıca, perde elemanı boyunca beton döküm noktasından uzaklaştıkça birim ağırlık değerleri arasında belirgin bir fark görülmemiştir.
- KYB perde elemanlarından alınan karot numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı, su emme oranı ve birim ağırlık deney sonuçları bir arada değerlendirildiğinde, KYB'lerin "kendiliğinden yerleşebilirlik" özelliklerinin perde elemanı boyunca yatay ve düşeyde homojen dağılımı sağladığı görülmüştür.
- Tüm perde elemanlarında, karot basınç dayanımı ile su emme oranı arasında yüksek korelasyonlar elde edilmiştir. Ancak bu durum, karot basınç dayanımı ile birim ağırlık arasındaki korelasyonlarda tam olarak görülememiştir.
- Dayanıklılık deneylerinin ilki olarak, farklı bileşimlerde hazırlanan KYB deney numuneleri üzerinde yapılan hızlı klorür geçirgenliği deneyleri sonucunda KYB'lerin çok düşük boyutlarda klorür geçirgenliği değerleri verdiği görülmüştür. Çimentoya mineral katkıları ikame edilerek üretilen KYB deney numuneleri içerisinde en düşük klorür geçirgenliği değerini YFC'nin çimento ile % 60 oranında ikame edilmesiyle elde edilen karışım vermiştir ve bu değer ASTM C1202 standardına göre çok düşük boyutlardadır. Mineral katkıların çimento ile ikame oranı arttıkça klorür geçirgenliği değerlerinde azalma görülmüştür.
- Farklı bileşimlerde tasarlanarak üretilen KYB deney numunelerinin basınçlı su derinliği deneyleri sonucunda çok düşük su işleme derinliği değerleri verdiği

görülmüştür. Mineral katkıların çimento ile ikame oranları arttıkça su işleme derinliklerinin de arttığı görülmüştür. Tüm karışımlar içerisinde en düşük basınçlı su işleme derinliği değerini YFC'nin çimento ile % 20 oranında ikame edilmesiyle elde edilen karışım vermiştir.

- 400 gün boyunca % 10 NaSO₄ ve % 10 MgSO₄ çözeltisi içerisinde bekletilen farklı karışımlardaki KYB deney numunelerinin normal suda bekletilen numunelere göre basınç dayanımı ve ağırlıklarındaki değişimlerin belirlendiği sülfat direnci deney sonuçlarına göre KYB'ler sülfatlı ortamların yıpratıcı etkilerine karşı arzu edilen performansı göstermiştir. İlk olarak, % 10 NaSO₄ çözeltisinde 400 gün boyunca bekletilen KYB deney numunelerinin basınç dayanımı değişimleri irdelendiğinde, KYB'lerin ciddi manada basınç dayanımı kaybına uğramadıkları görülmüştür. % 10 NaSO₄ çözeltisi içerisinde bekletilen numuneler içerisinde mineral katkıların çimento ile ikame oranları arttıkça meydana gelen dayanım kayıpları azalmıştır. KYB üretiminde inert malzemelerin çimento ile ikame edilmeleri halinde, toplam bağlayıcı madde miktarı azalmasına rağmen, şahit betonla kıyaslandığında NaSO₄ ortamında daha iyi performans göstermişlerdir.
- MgSO₄ çözeltisi içerisinde 400 gün boyunca bekletilen KYB numunelerinin deney sonuçları değerlendirildiğinde genel olarak meydana gelen dayanım kaybı değerlerinin, NaSO₄ çözeltisine maruz kalan KYB numunelerine göre daha yüksek olduğu görülmüştür. % 10 MgSO₄ çözeltisi içerisinde bekletilen numuneler içerisinde mineral katkıların çimento ile ikame oranları arttıkça, % 10 NaSO₄ çözeltisinde bekletilen numunelerde olduğu gibi, meydana gelen dayanım kayıpları azalmıştır. Her iki çözelti bir arada değerlendirildiğinde, YFC'nin çimento ile % 40 oranında ikame edilmesiyle elde edilen karışım sülfatların yıpratıcı etkilerine karşı durarak en düşük dayanım kaybına uğramış ve en iyi performansı göstermiştir.
- KYB karışımlarının % 10 MgSO₄ ve NaSO₄ çözeltisine maruz kalması durumunda ağırlık değişimlerinin pozitif yönde olduğu görülmektedir. KYB

deney numunelerinin $MgSO_4$ ve $NaSO_4$ çözeltisi içerisinde bekleme süreleri arttıkça ağırlık değişimleri de pozitif yönde artmaktadır.

- Değişik mineral katkıların farklı ikame oranlarında kullanılmasıyla üretilen KYB deney numunelerinin yüksek sıcaklık etkisindeki davranışları incelendiğinde, 200 °C sıcaklığa maruz kalmış numuneler içerisinde en iyi performansı şahit beton karışımı vermiştir. Yüksek sıcaklık etkisinde 400 °C sıcaklığa maruz kalmış numuneler içerisinde en iyi performans olarak en düşük dayanım kaybı değeri, uçucu külün çimento ile % 15 oranında ikame edilmesiyle hazırlanan karışımdan elde edilmiştir. Yüksek sıcaklık etkisinde 600 °C sıcaklığa maruz kalmış numuneler içerisinde en iyi performansı bazalt tozunun çimento ile % 30 oranında ikame edilmesiyle hazırlanan karışım verirken, 800 °C sıcaklığa maruz kalmış numuneler içerisinde ise şahit beton karışımı vermiştir. Bu sonuçlar ışığında şahit beton ve uçucu kül ikameli karışımların, yüksek sıcaklık etkisine maruz kalmış karışımlar içerisinde en iyi performansı gösterdiği söylenebilir.
- KYB'lerin yüksek sıcaklık etkisine maruz kalmaları durumunda mineral katkıların ikame edilerek üretilen karışımlarda ikame oranı arttıkça bağıl basınç dayanımında azalmalar görülmüştür. KYB olarak tasarlanan tüm karışımlar özellikle 600 °C'den yüksek sıcaklıklara maruz kaldıklarında dayanımlarını önemli ölçüde kaybetmiştir.
- Yüksek dayanımlı betonlar ve bu kapsamda KYB'lerin yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmaları sonucunda bu betonların sıkı mikroyapıları nedeniyle meydana gelen kapak atmaları engellemek amacıyla katılan polipropilen lifler bağıl basınç dayanımında düşüşler meydana getirmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde, aynı karışımın lifli olanı lifsiz olana göre yaklaşık olarak % 20 ila % 25 oranında daha fazla dayanım kaybına uğramıştır.
- KYB karışımlarının maliyet analizi sonuçları göz önüne alındığında uçucu kül ve kalker tozu ikame edilerek üretilen KYB'lerin diğer mineral katkıları içeren karışımlara göre daha az maliyetli olduğu görülmüştür.

- Farklı mineral katkıların değişik ikame oranlarında çimento ile yerdeğiştirmesiyle üretilen KYB deney numunelerinin taze haldeki işlenebilirlik özellikleri ve sertleşmiş halde ise mekanik ve dayanıklılık özellikleri bir arada değerlendirildiğinde, genel olarak tüm karışımlar içerisinde en iyi performansı gösteren karışım YFC'nin çimento ile % 40 ikame oranında kullanılmasıyla üretilen karışımdır. Bu sonuç ışığında, YFC'nin KYB üretiminde rahatlıkla kullanılabileceği ve en ideal performansın sağlanacağı anlaşılmaktadır. Bununla birlikte maliyet faktörü de gözönüne alındığında uçucu kül ikameli karışımların KYB performans özellikleri düşünüldüğünde diğer mineral katkıları içeren karışımlara göre hem daha ekonomik hem de YFC'ye yakın dayanım ve dayanıklılık özellikleri gösterdiği anlaşılmaktadır. Netice olarak KYB üretiminde uçucu kül kullanımının ekonomik KYB üretimine olanak sağlayacağı, böylece KYB'lerin üretim maliyetlerinin düşeceği ve ülkemiz için bu betonların kullanımının gelişmiş ülkelere göre daha az olmasına neden olan hususun ortadan kalkacağı bu çalışmanın sonucunda ortaya konmuştur.
- Öneriler kısmı olarak, KYB'lerin geleneksel betonlara göre daha maliyetli olmaları ve bu yüzden ülkemizde yeterince kabul görmemesi düşünüldüğünde bu betonların daha ekonomik olarak üretilebilmesine yönelik kimya mühendisliği bölümü ile disiplinler arası çalışmalar yapılarak akışkanlaştırıcı katkıların maliyetleri düşürülebilir ve bu sayede daha ekonomik KYB'ler üretilebilir.
- Ayrıca, KYB'lerin kohezif yapıda olmalarını sağlamak ve viskozitelerini artırmak için viskozite düzenleyici katkıları yerine ülkemizin değişik bölgelerinde atık ya da yan ürün olarak atıl durumda bulunan farklı ince taneli malzemeler kullanarak çalışmalar yapılabilir ve bu sayede daha ekonomik KYB üretilebilme imkanları meydana getirilebilir.
- Bununla birlikte, bu çalışmada kullanılan mineral katkıları, üç farklı ikame oranında incelenerek KYB'ler üretilmiştir. İkame oranları artırılarak KYB'lerin daha ekonomik üretilmeleri denenebilir. Her iki atığın da ülkemizde oldukça büyük miktarda rezervi olduğu düşünüldüğünde, KYB üretiminde bu atıkların değerlendirilmesi çevresel boyutu yönüyle de yararlı olacaktır. Bu bağlamda,

Özellikle KYB uygulamalarında yaygın olarak kullanılan YFC ve uçucu küller üzerine yoğunlaşılarak ayrıca YFC ve uçucu kül ile ikili ya da üçlü karışımlar yapılarak araştırmalar zenginleştirilebilir.

- Çalışmada KYB'lerin dayanıklılık özellikleri detaylı olarak incelenmesine rağmen net hüküm vermek açısından KYB'lerin dayanıklılık özellikleri üzerine daha kapsamlı bir çalışma yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] OKAMURA, H., Self-compacting high-performance concrete, *Concrete International*, 19, s. 50-54, 1997.
- [2] BARADAN, B., FELEKOĞLU, B., Kendiliğinden yerleşen betonların mekanik özellikleri, *THBB Dergisi*, No. 222, Haziran 2004.
- [3] WALRAVEN, J., Self-compacting concrete in the Netherlands, *First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete*, pp. 400, 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 işlenebilme 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.403, 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.
- [11] HAMMER, T.A., ET AL., Development of SCC with focus on low cost, *FNA Conference on the Design and Use of SCC*, pp. 167-172, 2002.

- [12] TOPÇU, İ.B., Beton Teknolojisi, s.365-366, Eskişehir, 2006.
- [13] WALRAVEN, J., 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] BARADAN, B., FELEKOĞLU B., Prefabrikasyonda kendiliğinden yerleşen beton kullanımı, Türkiye Prefabrik Birliği, Prefabrikasyon Dergisi, sayı 74, Nisan, 2005.
- [15] HUGHES, D. G., KNIGHT, G. F., MANSKY, E. F., 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] FELEKOĞLU, B., A comparative study on the performance of sands rich and poor in fines in self-compacting concrete, Construction and Building Materials, pp.646-654, 2006.
- [17] BERTIL, P., A comparison between mechanical properties of self-compacting concrete and the corresponding properties of normal concrete, Cement and Concrete Research, pp. 193-198, 2000.
- [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] ELINWA, A.U., EJEH, S.P., MAMUDA, A.M., Assessing of the fresh concrete properties of self-compacting concrete containing sawdust ash, Construction and Building Materials, pp.1178-1182, 2007.
- [20] POPPE, A.M., SCHUTTER, G.D.E., Cement hydration in the presence of high filler contents, Cement and Concrete Research 35, pp. 2290 – 2299, 2005.
- [21] NEHDI, M., PARDHANB, M., KOSHOWSKIC, S., Durability of self-consolidating concrete incorporating high-volume replacement composite cements, Cement and Concrete Research, Vol. 34, pp. 2103– 2112, 2004.
- [22] CORINALDESI, V., MORICONI, G., Durable fiber reinforced self-compacting concrete, Cement and Concrete Research, Vol. 34, pp.249– 254, 2004.
- [23] ŞAHMARAN, M., CHRISTIANTO, 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] ESPING, 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] DINAKAR, P., BABU, K.G., SANTHANAM, M., Durability properties of high volume fly ash self compacting concretes, *Cement & Concrete Composites*, pp. 1-22, 2008.
- [29] MNAHONCAKOVA, E., PAVLIKOVA, M., GRZESZCZYK, S., ROVNANIKOVA, P., CERNY R., Hydric, thermal and mechanical properties of self-compacting concrete containing different fillers, *Construction and Building Materials*, Vol. 22, pp.1594–1600, 2008.
- [30] PERSSON, B., Internal frost resistance and salt frost scaling of self-compacting concrete, *Cement and Concrete Research*, Vol. 33, pp. 373–379, 2003.
- [31] SU, N., HSUB, K.C., CHAIC, H.W., Simple mix design method for self-compacting concrete, *Cement and Concrete Research*, Vol. 31, pp.1799–1807, 2001.
- [32] KHATĪB, J.M., Performance of self-compacting concrete containing fly ash, *Construction and Building Materials*, Vol.22, pp.1963–1971, 2008.
- [33] ARKAM, T., MEMON, S.A., OBAID, H., Production of low cost self compacting concrete using bagasse ash, *Construction and Building Materials*, pp.1-10, 2008.
- [34] FELEKOĞLU, B., Utilization of high volumes of limestone quarry wastes in concrete industry (self-compacting concrete case), *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 51 pp. 770–791, 2007.
- [35] SCHWARTZENTRUBER, L.D., ROY, R.L., CORDIN, J., Rheological behavior of fresh cement pastes formulated from a Self Compacting Concrete (SCC), *Cement and Concrete Research*, Vol.36, pp. 1203–1213, 2006.

- [36] GHRICI, M., KENAI, S., MANSOUR, M. S., Mechanical properties and durability of mortar and concrete containing natural pozzolana and limestone blended cements, *Cement & Concrete Composites*, Vol.29, pp. 542–549, 2007.
- [37] LI, Z., State of workability design technology for fresh concrete in Japan, *Cement and Concrete Research*, Vol. 37, pp.1308–1320, 2007.
- [38] PERSSON, B., Sulphate resistance of self-compacting concrete, *Cement and Concrete Research*, Vol. 33, pp. 1933–1938, 2003.
- [39] FELEKOĞLU, B., SARIKAHYA, H., Effect of chemical structure of polycarboxylate-based superplasticizers on workability retention of self-compacting concrete, *Construction and Building Materials*, Vol. 22, pp.1972–1980, 2008.
- [40] FELEKOĞLU, B., TOSUN, K., BARADAN, B., ALTUN, A., UYULGAN, B., The effect of fly ash and limestone fillers on the viscosity and compressive strength of self-compacting repair mortars, *Cement and Concrete Research*, Vol.36, pp.1719–1726, 2006.
- [41] YAZICI, H., The effect of silica fume and high-volume Class C fly ash on mechanical properties, chloride penetration and freeze–thaw resistance of self-compacting concrete, *Construction and Building Materials*, Vol. 22, pp. 456–462, 2008.
- [42] ZHU, W., GIBBS, J.C., Use of different limestone and chalk powders in self-compacting concrete, *Cement and Concrete Research*, Vol. 35, pp.1457– 1462, 2005.
- [43] PETIT, J.Y., WIRQUIN, E., VANHOVE, Y., KHAYAT, K., Yield stress and viscosity equations for mortars and self-consolidating concrete, *Cement and Concrete Research*, Vol. 37, pp. 655–670, 2007.
- [44] EFNARC, Specification and Guidelines for SCC, 2002.
- [45] NEWMAN, J., CHOO, B.S., *Advanced Concrete Technology*, Butterworth-Heinemann, pp.9/1-17, 2003.
- [46] OZAWA, K., MAEKAWA, K., KUNISHAMA, M., OKAMURA, H., Development of high performance concrete based on the durability design 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.
- [47] YURUGI, M., SAKATA, N., IWAI, M., SAKAI, G., Mix proportion for highly workable concrete, *Proceedings of the International Conference of Concrete*, Dundee, UK, 2000.

- [48] DOMONE, P.L., CHAI, H.W., Design and testing of self-compacting concrete, Production Methods and Workability of Concrete, RILEM International Conference, Eds P.J.M., Bartos D.L., Marrs and D.J. Cleland, June pp.199-208, 1996.
- [49] OKAMURA, H., OUCHI, M., HIBINO, M., OZAWA, K., A rational mix-design method for mortar in self-compacting concrete, The 6th East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering & Construction, Vol.2, pp. 1307-1312, 1998.
- [50] KHAYAT, K.H., GHEZAL, A., HADRICHÉ, M.S., Factorial design models for proportioning self-consolidating concrete, Materials and Structures, Vol.32, pp. 679-686, 1999.
- [51] OKAMURA, H., OZAWA, K., Self-compactable high performance concrete in Japan SP-169, ACI, Detroit pp.31-44, 1994.
- [52] DOMONE, P.L., JIN, J., CHAI, H.W., Optimum mix proportioning of self-compacting concrete, Innovation in Concrete Structures: Design and Construction, Proceedings of Creating with Concrete, University of Dundee, Dundee, UK, September pp.277-285, 1999.
- [53] OKAMURA, H., ET AL., Mix design for self-compacting concrete, Concrete Library of JSCE, Vol.25, pp.107-120, 1995.
- [54] OKAMURA, H., OZAWA, K., OUCHI, M., Self-compacting concrete, Structural Concrete, Vol.1, pp. 3-17, 2000.
- [55] PETERSSON, Ö., BILLBERG, P., VAN, B.K., A model for self compacting concrete, Proceedings of RILEM International Conference on Production Methods and Workability of Fresh Concrete, Paisley, June 1996.
- [56] DELARRARD, F., HU, C., SZITKAR, J.C., JOLY, M., CLAUX, F., SEDRAN, T., A new reometer for soft-to-fluid fresh concrete, LCPC internal report, 1995.
- [57] SEDRAN, T., DELARRARD, F., Mix design of self-compacting concrete, Proceedings of RILEM International Conference on Production Methods and Workability of Fresh Concrete, Paisley. Eds P.J.M., Bartos D.L., Marr and D.J. Cleland, pp.439-450, 1996.
- [58] KYB, Durumu, stili ve gelecekteki gelişmeler, Concrete Plant International, pp. 50-56, 6 Aralık 2000.
- [59] OKAMURA, H., SCC-development, present use and future, Proceedings of First RILEM International Symposium on SCC, Stockholm, 13-15 September, 1999., Bartos P.J.M, Grauers M., SCC, April 9-13, 1999.

- [60] ÖZKUL, M.H., Beton teknolojisinde bir devrim: Kendiliğinden yerleşen-sıkışan beton, *Hazır Beton Dergisi*, 52, 64-71, 2002.
- [61] TS EN 197-1, Genel çimento bileşimi, özellikler ve uygunluk kriterleri.
- [62] TS EN 12620, Agregat Standartları.
- [63] TS EN 1008, Beton karma suyu-Numune alma, Deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, Suyun, Beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları.
- [64] YAMADA, K., TAKAHASHI, T., HANEHARA, S., MATSUHISA, M., Effects of the chemical structure on the properties of polycarboxylate-type superplasticizer, *Cem. Concr. Res.*, Vol: 30, 2000.
- [65] TS EN 934-2, Beton katkıları-tarifler, özellikler, uygunluk, işaretleme ve etiketleme.
- [66] RAMACHANDRAN, V.S., Concrete admixtures properties, Science and Technology, 2nd edn. Notes, Publications, Parkridge, New Jersey, USA, 1995.
- [67] SAKATA, N., MARUYAMA, K., MINAMI, M., Basic properties and effects of welan gum on self-consolidating concrete, *Proc. RILEM Int.Conf. Production Methods ND Workability of Concrete*, Eds. P.J.M., Bartos D.L., Marrs and D.J. Cleland, pp. 237-253, Scotland, 1996.
- [68] ROLS, S., AMBROISE, J., PERA, J., Effects of different viscosity agents on the properties of self-leveling concrete, *Cement and Concrete Research*, Vol. 29, pp.261-266, 1999.
- [69] YURUGI, M., SAKATA, N., IWAI, M., SAKAI, G., Mix proportion for highly workable concrete, *Proceedings of the International Conference of Concrete 2000*, Dundee, UK, 1993.
- [70] TS EN 934-2/1, Beton katkıları-tarifler, özellikler, uygunluk, işaretleme ve etiketleme kuralları.
- [71] KHAYAT, K.H., ROUSSEL, Y., Testing and performance of fiber-reinforced, self consolidating concrete, *Materials and Structures*, Vol.33, pp. 338-344, 2000, Henderson N.A, Self-compacting concrete at Millennium Point, *Concrete*, April 26-27, 2000.

- [72] ERDOĞAN, T.Y., Concrete. Ankara: Metu Press; 2003 (in Turkish).
- [73] SAKAI, K, WATANABE, H, SUZUKI, M, HAMAZAKI, K., Properties of granulated blast-furnace slag cement concrete, Proceedings of fourth international conference on fly ash, silica fume, slag, and natural pozzolans in concrete, Istanbul, Turkey.
- [74] American Concrete Institute Publication, ACI-SP132; 1992. p. 1367–383.
- [75] ALDEA, C.M., YOUNG, F., WANG, K., SHAH, S.P., Effects of curing on properties of concrete using slag replacement. Cement and Concrete Research, Vol.30(3), pp.465–72, 2000.
- [76] pr EN 13263, Silis dumanı standardı,
- [77] BERRY, E.E., MALHOTRA, V.M., Fly ash for use in concrete-A Critical Review, J. Of American Concrete Institute, pp.59-73, March-April 1980.
- [78] ERDOĞAN, T.Y., High-lime fly ash concretes, Proceedings Cairo First International Conference of Concrete Structures, Vol.1, pp.4-1 to4-9, Jan 1996.
- [79] WESCHE, K., Fly Ash in Concrete Properties and Performance, E and FN Spon., London, 1991.
- [80] YAHIA, A., TANIMURA, M., SHIMOYAMA, Y., Evaluation of deformability of different types of self-consolidating concrete, First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, pp. 303-310, 2002.
- [81] BOUZOUBA, N., LACHEMI, M., Self-compacting concrete incorporating high-volumes of class F fly ash, Cem. Concr. Res. Vol.31 (3), pp.413–420, 2001.
- [82] RIBEIRO, A.B., GONCALVES, A., A low-cost self-compacting concrete, in: K. Ozawa, M. Ouchi (Eds.), Proc. 2nd Inter. Symp. on Self-Compacting Concrete, pp. 339–348, University of Tokyo, Tokyo, Japan, 2001.
- [83] GHEZAL, A., KHAYAT, K.H., Optimization of cost-effective self-consolidating concrete, in: K. Ozawa, M. Ouchi (Eds.), Proc. 2nd Inter. Symp. on Self-compacting Concrete, pp. 329– 338, University of Tokyo, Tokyo, Japan, 2001.
- [84] NEHDI, M., EL CHABIB, H., EL NAGGAR, M.H., Development of cost effective self-consolidating concrete for deep foundation applications, Concr. Int. 25 (3), pp. 49– 57, 2003.
- [85] TS EN 450, Betonda kullanılan uçucu kül-özellikler-tarifler-kalite kontrolü.

- [86] GERVAIS, C., OUKI, S.K., Performance study of cementitious systems containing zeolite and silica fume: effects of four metal nitrates on the setting time, strength and leaching characteristics, *Journal of Hazardous Materials*, B93, 187-200, 2002.
- [87] POON, C.S., LAM, L., KOU, S.C., LIN, Z.S., A study on the hydration rate of natural zeolite blended cement pastes, *Cement and Concrete Research*, 13, 427-432, 1999.
- [88] KURAMA, H., Doğal zeolit (klinoptilolit) ile atık sulardan ağır metal iyonlarının uzaklaştırılması, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, s.131, 1994.
- [89] FRAGOULIS, D., CHANIOTAKIS, E., STAMATAKIS, M.G., Zeolitic tuffs of Kimoslos Island, Aegean Sea, Greece and their industrial potential, *Cement and Concrete Research*, 27, 889-905, 1997.
- [90] CANPOLAT, F., YILMAZ, K., KÖSE, M.M., SÜMER, M., YURDUSEV, M.A., Use of zeolite, coal bottom ash and fly ash as replacement materials in cement production, *Cement and Concrete Research*, 34, 731-735, 2004.
- [91] ERDEM, E., DONAT, R., ÇETİŞLİ, H., Hydration and mechanical properties of cement containing zeolite, *Cement and Concrete World*, 17, pp.22-28, 1999.
- [92] ÖZ, A., Yüksek fırın cürufu ve doğal zeolit katkılı kendiliğinden yerleşen betonların termo-mekanik özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 2006.
- [93] DOMONE, P.L., CHAI, H.W., Testing of binders for high performance concrete, *Cement and Concrete Research*, Vol.27, pp.1141-1147, 1997.
- [94] NAWA, T., IZUMI, T., EDAMATSU, Y., State-of-the-art report on materials and design of self compacting concrete, *Proceedings International Workshop on Self Compacting Concrete*, Kochi University, Japan, August 1998.
- [95] SARI, M., PRAT, E., LABASTIRE, J.F., High strength self-compacting concrete Original solutions associating organic and inorganic admixtures, *Cem. Concr. Res.*, Vol. 29, 1999.
- [96] KHURANA, R., TOPÇU, O., Role of Superplasticizers in the development of self compacting concrete, *Second International Symposium on Cement and Conc. Tech. in the 2000s*, Vol.1, Istanbul, 2000.
- [97] KANDEMİR, A., Kendiliğinden yerleşen betonun kalıcılık özelliklerinin incelenmesi, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 2005.

- [98] HO, D.W.S., SHEINN, A.M.M., NG, C.C., TAM, C.T., The use of quarry dust for SCC applications, *Cem. and Concr. Res.*, Vol: 32, 2002.
- [99] TOPÇU, İ.B., *Beton teknolojisi*, 365-366, Eskişehir, 2006.
- [100] SKARENDAHL, O., Market acceptance of self-compacting concrete, the Swedish experience, in: K. Ozawa, M. Ouchi (Eds.), *Proc. 2nd Inter. Symp. on SCC*, Coms Engineering Corporation, pp. 1-13, Tokyo, 2001.
- [101] EMBORG, M., HEDIN, C., Production of self-compacting concrete for civil engineering-case studies, in: 2. Skarendahl, O . Petersson (Eds.), *Proc. 1st Inter. Symp. on SCC*, RILEM Publications S.A.R.L, pp. 733–742, 1999.
- [102] ROLS, S., AMBROISE, J., PE'RA, J., Effects of different viscosity agents on the properties of self-leveling concrete, *Cem. Concr. Res.* 29, pp.261–266, 1999.
- [103] PE'RA, J., HUSSON, S., GUILHOT, B., Influence of finely ground limestone on cement hydration, *Cem. Concr. Compos.* 21, pp.99-105, 1991.
- [104] GHEZAL, A., KHAYAT, K.H., Optimizing self-consolidating concrete with limestone filler by using statistical factorial design methods, *ACI Mater. J.* 99 (3), pp.264– 272, 2002.
- [105] BOMBLED, J.P., *Rheologie du beton frais: Influence de l'ajout de fillers aux ciments*, *Proc. 8th International Congress on the Chemistry of Cement*, Rio de Janeiro: Abta grafica, vol. IV, pp.190-196, 1986.
- [106] GIBBS, J., BARTOS, P.J.M., ZHU, W., SONEBI, M., TAMIMI, A., Task 4, Properties of Hardened Concrete, Final report of the European SCC project—Rational production and improved working environment through using self-compacting concrete, 1996–2000, web site: <http://scc.ce.luth.se>, 2000.
- [107] LAWRENCE, P., CYR, M., RINGOT, E., Mineral admixtures in mortars effect of inert materials on short-term hydration, *Cem. Concr. Res.* 33 (12), pp.1939–1947, 2003.
- [108] CYR, M., LAWRENCE, P., RINGOT, E., Mineral admixtures in mortars quantification of the physical effects of inert materials on short-term hydration, *Cem. Concr. Res.* 35, pp.719– 730, 2005.
- [109] TOPÇU, İ.B., UGURLU, A., Effect of the Use of Mineral Filler on the Properties of Concrete, *Cement and Concrete Research*, Vol. 33, pp.1071-1075, 2003.

- [110] ÇELİK, M.Y., Mermer artıklarının (Parça-Tozlarının) değerlendirilmesi, AKÜ, FBE Yüksek Lisans Tezi, 1996.
- [111] KRSTULOVIC, P., KAMENIC, N., POPOVIC, K., A New Approach in Evaluation of Filler Effect in Cement, I. Effect on Strength and Workability of Mortar and Concrete, Cem. Con. Res., Vol.24, No.4., pp.721-727, 1994.
- [112] UCHIKAWA, H., HANEHARA, S., HIRAO, H., Influence of Microstructure on the Physical Properties of Concrete Prepared by Substituting Mineral Powder for Part of Fine Aggregate, Cem. Con. Res., Vol.26, No.1, pp.101-111, 1996.
- [113] GIACCIO, G., ET AL., High-strength concretes incorporating different coarse aggregates”, ACI Materials Journal, no 89, pp.242-247, May-June 1992.
- [114] ŞENTÜRK, A., GÜNDÜZ, U., TOSUN, İ.Y., SARIŞIK, A., Mermer teknolojisi, Tuğra Ofset, sayfa 241 Isparta, 1996.
- [115] ALTINÇİÇEK, A., Mermer ocağı açımında temel alınacak temel bölgesel ve temel kriterler”, Türkiye III. Mermer Sempozyumu, 3-5 Mayıs, sayfa 235-247, Afyon, 2001.
- [116] ALBAYRAK, H.F., Beton ve deneyleri el kitabı”, D.S.İ, Ankara, 1985.
- [117] YILDIRIM, H., SERTBAŞ, B., BERBERGİL, V., Kendiliğinden yerleşen betonlarda polipropilen ve celik lif kullanılmasının işlenebilirliğe etkisi, 7. Ulusal Beton Kongresi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, sayfa 65-76, İstanbul, 2007.
- [118] ACI 544.1R-96, 1996.
- [119] ALKAN, G., Polipropilen lifli betonun mekanik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2004.
- [120] SAĞLAM, A.R., Kendiliğinden yerleşen betonun reolojik özelliklerine bileşim parametrelerinin etkisi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul, 2003.
- [121] SKARENDAHL, A., PETERSSON, Ö., Self compacting concrete, RILEM Publications, France, 2000.
- [122] TAŞDEMİR, M.A., ŞENGÜL, Ö., ŞAMHAL, E., YERLİKAYA, M., Endüstriyel zemin betonları, İMO İstanbul Şubesi, s.450, İstanbul, 2006.
- [123] SKARENDAHL, A., PETERSSON, Ö., Self compacting concrete, State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 174-SCC, RILEM publication, 2003.

- [124] OKAMURA, H., OUCHI, M., Self-compacting high performance concrete, Progress in Structural Engineering and Materials 1, 4, s. 378-383, 1998.
- [125] GÜRDAL, H., YÜCEER, Z., Türkiye’de ve dünyada kendiliğinden yerleşen beton uygulamaları, Beton Kongresi Bildiriler Kitabı, İstanbul, s. 244-254, 2004.
- [126] ZHU, W., BARTOS, P. J. M., Permeation properties of self-compacting concrete, Cement and Concrete Research, 33, s. 921-926, 2003.
- [127] PEREZ, N., HERMIDA, G., ROMERO, H., CUELLAR, G., Self-compacting concrete on the search and finding of an optimized design, First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, 2002.
- [128] TS EN 206-1, Beton-özellik, performans, imalat ve uygunluk.
- [129] EFNARC, Specifications and guidelines for self-compacting concrete, EFNARC, Association House, 99 West Street, Farnham, UK, www.efnarc.org, 2002.
- [130] AYKAN, G., GÜROL, G., TEZEL, O.O., YÜCEER, Z., Kendiliğinden yerleşen beton deney metodları ve uygulama örnekleri”, Beton Kongresi Bildiriler Kitabı, İstanbul, s. 266-276, 2004.
- [131] GIBBS, J.C., ZHU, W., Strength of hardened self compacting concrete, International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, pp.199-209, Stockholm, 13-14 September 1999.
- [132] BAŞTOPÇU, M. E., Effect of binder composition on durability and mechanical properties of high performance self-compacting concrete, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi (İngilizce), 2006.
- [133] ÖNER, A., Uçucu kül ve öğütülmüş yüksek fırın cürufu içeren betonların mekanik ve durabilite özellikleri açısından optimum bileşimin belirlenmesi, İTÜ Fen bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 2005.
- [134] KARAKURT, C., Çimento üretiminde doğal zeolit ve volkanik tüflerin endüstriyel atıklarla birlikte kullanılmasının beton performansı üzerine etkileri, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 2008.
- [135] AITCIN, P.C., Cements of yesterday and today concrete of tomorrow, Cement and Concrete Research, Vol.30, pp.1349-1359, 2000.

- [136] SHANNAG, M. J., High strength concrete containing natural pozzolan and silica fume, *Cement and Concrete Composites*, Vol.22, pp.399-406, 2000.
- [137] MASSAZZA, F., Pozzolans and durability of concrete, 1. International Symposium on Mineral Admixtures in Cement, İstanbul, s.1-22, 1997.
- [138] KHAYAT, K. H., Optimization and performance of air-entrained SCC,” *ACI Materials Journal*, pp. 526-535, Sep-Oct 2000.
- [139] PATEL, R., HOSSAIN, K., SHEHATA, M., BOUZOUBAA, M., LACHEMI, M., Development of statistical models for mixture design of high-volume fly ash SCC, *ACI Materials Journal*, v. 101, no. 4, pp. 1841-1845, July, 2004.
- [140] HAWKINS, P., TENNIS, P., DETWILER, R., The use of limestone in portland cement: A state-of-the-art review, *Portland Cement Association Cements Research Progress*, American Ceramic Society, 1998.
- [141] POSTACIOĞLU, B., *Beton*, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, 1986.
- [142] COLLEPARDI, M., GÖKÖZ, N.Ü., Betonda zaman içerisinde dayanıklılık, I. Ulusal Beton Kongresi, s.24-26, 1989.
- [143] OZBAY, E., OZTAS, A., BAYKASOGLU, A., OZBEBEK, H., Investigating mix proportions of high strength self compacting concrete by using Taguchi method, *Construction and Building Materials*, 2008.
- [144] BARADAN, B., YAZICI, H., ÜN, H., *Betonarme yapılarda kalıcılık*, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayınları, 282 s., 2002.
- [145] LIE, T.T., IRWIN, R.J., Method to calculate the fire resistance of reinforced concrete columns with rectangular cross section, *American Concrete Institute Structural Journal*, Vol.90, pp.52-60, 1993.
- [146] AKMAN, M.S., *Betonarme yapılarda yangın hasarı ve yangın sonucunda taşıyıcılığın belirlenmesi*, Sika Teknik Bülten, s.139-146, 2007.
- [147] TOPÇU, İ.B, DEMİR, A., Yüksek sıcaklık uygulama süresinin harç özelliklerine etkisi, 7. Ulusal Beton Kongresi, s.455-463, 2007.
- [148] PERSSON, B., Fire resistance of self-compacting Concrete, *Mat. Struct.* 37 (273), pp.575–584, 2004.
- [149] KALIFA, P., MENNETEAU, F.D., QUENARD, D., Spalling and pore pressure in HPC at high temperatures, *Cem. Concr. Res.* 30 (12), pp.1915–1927, 2000.

- [150] DIEDERICHS, U., JUMPPANEN, U.M., PENTALLA, V., Behaviour of high strength concrete at high temperatures, Report, Vol. 92, pp.76, Helsinki University of Technology, Department of Structural Engineering, Espoo, 1989.
- [151] MALHOTRA, V.M., WILSON, H.S, PAINTER, K.E., Performance of gravel stone concrete incorporating silica fume at elevated temperature”, in: American Concrete Institute (Ed.), Detroit, SP-114-51, pp. 1051-1076, 1989.
- [152] NOUMOWE, A.N., CLASTRES, P., DEBICKI, G., COSTAZ, J.L., High performance concrete for severe thermal conditions, in: Sakai K., Banthia N., Gjorv O.E. (Eds.), Concrete Under Severe Conditions: Environment and Loading, vol. 2, pp.1129–1140, 1995.
- [153] FELICETTI, R., GAMBAROVA, P.G., ROSATI, G.P., CORSI, F., GIANNUZZI, G., Residual mechanical properties of high strength concretes subjected to high temperature cycles, 4th International Symposium on Utilization of High-Strength/High-Performance Concrete, Paris, pp. 579– 588, France, 1996.
- [154] MORITA, T., SAITO, H., KUMAGAI, H., Residual mechanical properties of high strength concrete members exposed to high temperature, Part 1, Test on material properties, in: Architectural Institute of Japan (Ed.), Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Niigata, Japan, 1992.
- [155] BAZANT, Z.P., KAPLAN, M.F., Concrete at high temperatures, Longman Addison-Wesley, London, 1996.
- [156] KALIFA, P., CHÉNÉ, G., GALLÉ, C., High-temperature behaviour of HPC with polypropylene fibres: from spalling to microstructure, Cem. Concr. Res. 31 (10), pp.1487–1499, 2000.
- [157] NOUMOWE, A., Mechanical properties and microstructure of high strength concrete containing polypropylene fibres exposed to temperatures up to 200 °C, Cement and Concrete Research 35, pp. 2192 – 2198, 2005.
- [158] YE, G., LIU, X., SCHUTTER, G., DE TAERWE L, P., VANDEVELDE, T., Phase distribution and microstructural changes of self-compacting cement paste at elevated temperature”, Cement and Concrete Research 37, pp. 978–987, 2007.

- [159] YE, G., LIU, X., DE SCHUTTER, G., POPPE, A.M., TAERWEA, L., Influence of limestone powder used as filler in SCC on hydration and microstructure of cement pastes”, *Cem. Concr. Res.* 29 (2) pp.94-102, 2007.
- [160] POPPE, A.M., Influence of filler on hydration and properties of self-compacting Concrete. (In Dutch), PhD thesis, University of Ghent, Gent, 2004.
- [161] PHAN, L.T., LAWSON, J.R, DAVIS, F.L., Effects of elevated temperature exposure on heating characteristics, spalling, and residual properties of high performance concrete, *Mater. Struct.*, Vol.34 pp.83–91, 2001.
- [162] PERSSON, B., Mitigation of the fire spalling of concrete with fibres, Presentation in RILEM technical committee “Durability of Self-compacting Concrete”, Gent (Belgium), April 2005.
- [163] PHAN, L., High-strength concrete at high temperature-an overview, Symposium on Utilization of High Strength/High Performance Concrete, Ed.: De Larrard, F. and Lacroix, R. (Presses de École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris), pp.501-518, 1996.
- [164] ANDERBERG, Y., OREDSSON, J., RISE, G., HPC constructions-hand book, Swedish Byggtjänst, Stockholm, pp.49-58, 2000.
- [165] LIU, X., YE, G., SCHUTTER, G. D., YUAN, Y., TAERWE, L., On the mechanism of polypropylene fibres in preventing fire spalling in self-compacting and high-performance cement paste, *Cement and Concrete Research* vol.38, pp. 487–499, 2008
- [166] AKÖZ, F., TÜRKER, F., KORAL, S., YÜZER, N., Effects of sodium sulfate concentration on the sulfate resistance of mortars with and without silica fume, *Cement and Concrete Research*, Vol.25, pp.1360-1368, 1995.
- [167] NEVILLE, A.M., The confused world of sulfate attack on concrete, *Cement and Concrete Research*, Vol.34, pp.1275-1296, 2004.
- [168] AL-AMOUDI, O.S.B., Attack on plain and blended cements exposed to aggressive sulfate environments, *Cement and Concrete Composites*, Vol.24, pp.305-316, 2002.
- [169] POON, C.S., AZHAR, S., ANSON, M., WONG, Y.W., Comparison of the strength and durability performance of normal and high strength pozzolanic concretes at elevated temperatures, *Cement and Concrete Research*, Vol.31, pp.1291-1300, 2001.

- [170] GHRICI, M., KENAI, S., MANSOUR, M.S., Mechanical properties and durability of mortar and concrete containing natural pozzolana and limestone blended cements, *Cement & Concrete Composites*, Vol.29, pp. 542–549, 2007.
- [171] ASTM C 192/C192M-07, Standart Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in The Laboratory, ASTM International, pp.01-08, 10-August-2002.
- [172] TS EN 12390-2, Beton-sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm 2: Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin hazırlanması ve kürlenmesi, TSE, Nisan 2002.
- [173] KHAYAT, K.H., GHEZAL, A., HADRICHE, M. S., Development of Factorial Design Models for Proportioning SCC, Shigeyoshi Nagataki Symposium, *Vision of Concrete:21st Century*, 2000.
- [174] TS EN 12390-3, Beton-sertleşmiş beton deneyleri-Bölüm 3: Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini, TSE, Nisan 2003.
- [175] TS EN 12390-7, Beton- Sertleşmiş beton deneyleri-Bölüm 7: Sertleşmiş betonun yoğunluğunun tayini, TSE, Nisan 2002.
- [176] ASTM C 597-71, Standard test method for pulse velocity through concrete, ASTM International, 10-Dec-2002.
- [177] TS 3502, Betonda E-modülü ve poisson oranı tayini, TSE, Ankara 1981.
- [178] ASTM C 469, Standart test method for static modulus of elasticity and poisson's ratio of concrete in compression, *Annual Book of ASTM Standarts*, 1994.
- [179] ASTM C 1202-97, Standart test method for electrical indication of concrete ability to resist chloride ion penetration, *Annual Book of ASTM Standarts*, Philadelphia, USA.
- [180] DIN 1048, Überwachung (Güteüberwachung) im beton-und stahlbetonbau, Deutsches Institut für Normung, 1978.
- [181] TS EN 1363-1, Yangına dayanıklılık deneyleri Bölüm 1: Genel kurallar, Türk Standartları Enstitüsü, 2001.
- [182] TS EN 12350-6, Beton-Taze beton deneyleri-Bölüm 6: Yoğunluk, TSE, Nisan 2002.
- [183] TS EN 12350-7, Taze beton hava içeriğinin tayini, TSE, Nisan 2002.
- [184] TS 500, Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları, TSE, Şubat 2002.

- [185] ACI 318-95, Building Code Requirements for Structural Concrete, American Concrete Institute, 01 Jan 1996.
- [186] CEB-FIB Model Code, Bullation D'Information, CEB, Laussane, Switzerland, 1990.
- [187] ACI COMMITTEE 363, State-of-the-art report on high-strength concrete, ACI 363R-92, p. 55, Farmington Hills, M.I., 1997.
- [188] NORWEGIAN COUNCIL FOR BUILDING STANDARDIZATION, Concrete Structures Design Rules NS 3473 E, Stockholm, 1992.
- [189] TS EN 206-1, Beton- Bölüm 1: Özellik, performans, imalat ve uygunluk, TSE, Nisan 2002.
- [190] TANG, L., ANDALEN, J., HJELM, S.S., Chloride diffusivity of self compacting concrete, Proc. International RILEM Symposium (Self Compacting Concrete), Por. 7, TFB Technical Research and Consulting on Cement Concrete, pp. 187-198, September 1999.
- [191] GÜROL, G., Components for economic concrete, cement/water/fine and coarse aggregate/chemical and mineral admixtures, J. Des. Constr. 164, pp.66–74, (in Turkish), 1999.
- [192] ERDOĞDU, K., Hydration and properties of limestone incorporated cementitious systems, Ph.D. thesis, Middle East Technical University pp.115, 2002, Ankara, Turkey.
- [193] KELHAM, S., Portland-limestone cements, Concrete (London), 32(May):30–1, 1998.
- [194] RAHHAL, V., TALERO, R., Early hydration of portland cement with crystalline mineral additions, Cement and Concrete Research, 35(7), pp.1285–91, 2005.
- [195] FELEKOGLU, B., BARADAN, B., Utilisation of limestone powder in self-leveling binders, In: Proceedings of the International Symposium on Advances in Waste Management and Recycling, Dundee: Thomas Telford Publishing, pp. 475–84, 2003.
- [196] TÜRKER, P., YEŞILKAYA, A., YEĞİNOBALI, A., The hydration process and microstructural development of limestone Portland cements, Cem. Concr. World 48 (8), pp.50–66, March–April 2004.
- [197] VILLAIN, G., BAROGEL-BOUNY, V., KOUNKOU, C., Comparative study on the induced hydration, drying and deformations of self-compacting and ordinary mortars, Proceedings of the First International RILEM Symposium, pp. 131–142, 1999.

- [198] LAWRENCE, P., CYR, M., RINGOT, E., Mineral admixtures in mortars effect of inert materials on short-term hydration, *Cem. Concr. Res.* 33 (12), pp.1939–1947, 2003.
- [199] CYR, M., LAWRENCE, P., RINGOT, E., Mineral admixtures in mortars quantification of the physical effects of inert materials on short-term hydration, *Cem. Concr. Res.* 35, pp.719– 730, 2005.
- [200] LAWRENCE, P., CYR, M., RINGOT, E., Mineral admixtures in mortars effect of type, amount and fineness of fine admixtures on compressive strength, *Cem. Concr. Res.* 35, pp.1092– 1105, 2005.
- [201] NEVILLE, A.M., *Properties of Concrete*, Longman, Essex, 1995.
- [202] YEĞİNOBALI, A., AL-HADRAMI, A., Sulfate resistance of Jordanian cements, In: *symposium on low cost housing for developing countries*, pp.141-9, Bangkok, Thailand, 1987.

ÖZGEÇMİŞ

Mücteba UYSAL, 1979'da Niksar'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Tokat'ta tamamladıktan sonra 1998 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü 2003 yılında bitirdi. Yüksek lisans eğitimini 2005 yılında, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Prof. Dr. Kemalettin YILMAZ danışmanlığında hazırladığı “Şavşat Trasının Katkılı Çimento Üretiminde Kullanılabilirliği” konulu tez çalışmasıyla tamamladı. 2003 yılında Sakarya Üniversitesinde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. Halen görevine devam etmektedir.