

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(DOKTORA TEZİ)

**YÜKSEK KIVAMA SAHİP BARİT AGREGALI AĞIR
BETONLARIN SEGREGASYON ÖZELLİKLERİ VE
GAMA IŞINI SOĞURMA KATSAYILARININ
BELİRLENMESİ**

H. Süleyman GÖKÇE

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Özge ANDIÇ-ÇAKIR

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Sunuş Tarihi : 22.02.2018

Bornova-İZMİR

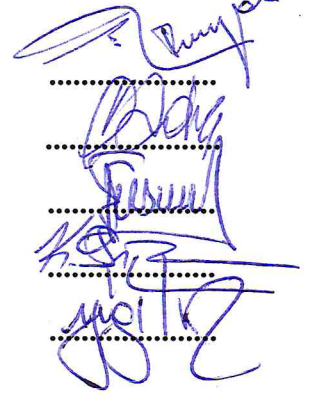
2018

H. Süleyman GÖKÇE tarafından Doktora tezi olarak sunulan “**Yüksek Kıvama Sahip Barit Agregalı Ağır Betonların Segregasyon Özellikleri ve Gama Işını Soğurma Katsayılarının Belirlenmesi**” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 22/02/2018 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

Jüri Başkanı : Prof. Dr. Kambiz RAMYAR
Raportör Üye : Doç. Dr. Özge ANDIÇ-ÇAKIR
Üye : Prof. Dr. N. Füsun ÇAM
Üye : Doç. Dr. Tahir Kemal ERDEM
Üye : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin YİĞİTER

İmza



EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI**

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Doktora Tezi olarak sunduğum “Yüksek Kıvama Sahip Barit Agregalı Ağır Betonların Segregasyon Özellikleri ve Gama Işını Soğurma Katsayılarının Belirlenmesi” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

22/02/2018

**H. Süleyman GÖKÇE**



ÖZET**YÜKSEK KIVAMA SAHİP BARİT AGREGALI AĞIR
BETONLARIN SEGREGASYON ÖZELLİKLERİ VE GAMA IŞINI
SOĞURMA KATSAYILARININ BELİRLENMESİ**

GÖKÇE, H. Süleyman

Doktora Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Özge ANDIÇ-ÇAKIR

Şubat 2018, 127 sayfa

Bu tez kapsamında, yüksek kıvamlı ağır beton ve ağır kendiliğinden yerleşen beton karışımları barit agregası kullanılarak üretilmiştir. Bağlayıcı dozajları ile su/bağlayıcı oranları değiştirilerek viskozite düzenleyici, silis dumanı ve uçucu kül içeren toplamda 43 farklı ağır beton karışımı hazırlanmıştır. Yüksek kıvamlı karışımlarında terleme belirlenmiş ve her iki ağır beton grubu için düşey kalıpta kolon segregasyon yöntemi ile segregasyon direnci belirlenmiştir. Geliştirilen alternatif segregasyon yöntemleriyle de (yoğunluk segregasyon yöntemi ve 3 bölmeli elek yöntemi) karışımların segregasyon performansları araştırılmıştır. ¹³⁷Cs (662 keV) ve ⁶⁰Co (1173 ve 1332 keV) radyonüklitleri kullanılarak gama ışını soğurma katsayıları, buna bağlı yarı değer ve onda bir değer kalınlıkları belirlenmiştir. Ayrıca kütle soğurma katsayıları teorik olarak (XCOM) hesaplanarak deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Yüksek kıvamlı ağır betonların terleme kapasiteleri %11.7 ve terleme hızları 6.9 kg/m².saat değerine kadar ulaşmaktadır. Bu betonlarda yoğunluk segregasyon yöntemi limiti %1.6 olarak belirlenmiştir. Ağır kendiliğinden yerleşen betonlarda ise yoğunluk segregasyon yöntemi için %1 ve 3 bölmeli elek yöntemi için de %6.3 olarak önerilmektedir. Genel olarak çalışma kapsamında elde edilen betonlar normal ve yüksek dayanımlı ağır beton olarak tanımlanabilir. Çalışma kapsamında lineer soğurma katsayıları 0.145 ile 0.264 cm⁻¹ aralığında ve kütle soğurma katsayıları 0.0527 ile 0.0800 cm²/g aralığında bulunmuştur. Lineer soğurma katsayıları ile beton yoğunlukları arasında kayda değer doğrusal bir ilişki (R²>0.95) vardır. Viskozite düzenleyici, silis dumanı ve uçucu kül katkılarının ikamesi ağır beton karışımlarında lineer soğurma katsayılarını azaltmaktadır.

Anahtar sözcükler: Ağır beton, barit, yüksek kıvam, segregasyon, gama ışını soğurma katsayısı



ABSTRACT**SEGREGATION PROPERTIES AND GAMMA RAY
ATTENUATION COEFFICIENTS OF HIGH CONSISTENCY
BARITE AGGREGATE HEAVYWEIGHT CONCRETE**

GÖKÇE, H. Süleyman

Ph.D in Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Özge ANDIÇ-ÇAKIR

February 2018, 127 pages

In the thesis, mixtures of high consistency heavyweight concrete and self-consolidating heavyweight concrete were produced by using barite aggregate. Totally, 43 heavyweight mixtures containing viscosity modifier, silica fume and fly ash were prepared by variation of binder contents and water/binder ratios. Bleeding was determined for only high consistency heavyweight concrete, and segregation resistance was researched for both concrete types with column segregation method. Moreover, segregation performance of the concrete mixtures was researched by suggested novel methods, i.e density segregation method and 3-compartment sieve test. Gamma-ray attenuation coefficients, half- and tenth-value layers were determined by using radionuclides of ^{137}Cs (662 keV) and ^{60}Co (1173 ve 1332 keV). Moreover, mass attenuation coefficients were theoretically determined by using XCOM software, and compared by experimental results.

Bleeding rate and capacity of the high consistency heavyweight concrete reached up to 11.7% and 6.9 kg/m².hour, respectively. Limit for density segregation method was determined as 1.6%. For self-consolidating heavyweight concrete, the limit is recommended as 1% for density segregation method, and 6.3% for 3-compartment sieve test. Generally, concrete produced in the study can be classified as normal and high strength heavyweight concrete. In the study, linear attenuation coefficient and mass attenuation coefficient are ranged between 0.145 and 0.264 cm⁻¹, and between 0.0527 ile 0.0800 cm²/g, respectively. Remarkable linear relation ($R^2>0.95$) was observed between linear attenuation coefficient and density values. Viscosity modifier, silica fume and fly ash incorporation reduce the linear attenuation coefficients of the concrete mixtures.

Keywords: Heavyweight concrete, barite, high consistency, segregation, gamma ray attenuation coefficient



TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması süresince, benden bilgi ve birikimini hiçbir zaman esirgemeyen ve her konuda bana yardımcı olan tez danışmanın Sayın Doç. Dr. Özge ANDIÇ-ÇAKIR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması kapsamında her türlü destek, engin tecrübe, bilgi ve birikimi ile yol gösteren, akademik hayatıma duruşu ile farklı bir bakış açısı kazandıran Sayın Prof. Dr. Kambiz RAMYAR'a teşekkürü borç bilirim.

Tez çalışmasında her türlü destek ve bilgi birikimi ile yanımda olan Sayın Prof. Dr. Füsun ÇAM ve Sayın Araş. Gör. Dr. Buket CANBAZ ÖZTÜRK'e katkılarından dolayı teşekkürü borç bilirim.

Tez çalışmasında desteklerini esirgemeyen jüri üyeleri Sayın Doç. Dr. Tahir Kemal ERDEM'e ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Hüseyin YİĞİTER'e teze katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Tezin deneysel çalışma safhasında desteklerini esirgemeyen Burak YANARDAĞ, Ekrem Özer ERÖZKAN, Vedat BARAN, Seyfettin TAŞ, Umut AKSAN ve Berkan ÖZARSLAN'a teşekkürü borç bilirim.

Tezin deneysel kısmında malzeme temininde desteklerini esirgemeyen Sayın Gökhan GÜMÜŞ'e, Sayın Gökhan YILMAZ'a, BATIÇİM ve DRACO Yapı Kimyasalları ailelerine teşekkürü borç bilirim.

Tezin deneysel çalışma ve yazım aşamalarında desteğinden dolayı Sayın Araş. Gör. Dr. Murat TUYAN'a, değerli oda arkadaşım Sayın Araş. Gör. Yılmaz Öğünç TETİK'e ve desteklerinden dolayı Sayın Araş. Gör. İrem KALIPÇILAR'a teşekkürü borç bilirim.

Tezimin her aşamasında bana desteğini esirgemeyen, maddi ve manevi her zaman yanımda olan biricik annem Akgül KOÇBAY'a ve manevi teyzem Nevin ÖĞÜT'e teşekkürü bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
TEŞEKKÜR	xi
İÇİNDEKİLER	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xvii
TABLolar DİZİNİ.....	xxii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Ağır Beton	1
1.2 Segregasyon.....	5
1.3 Radyoaktif Koruma	8
1.3.1 Gama radyasyonu	8
1.3.2 Soğurma.....	10
1.3.3 Önemli radyonüklitler (^{137}Cs ile ^{60}Co) ve kullanım alanları	13
1.3.4 Beton zırhlar	13
1.4 Tez Çalışmasının Önemi.....	14
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	17
3. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	25

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.1 Amaç	25
3.2 Kapsam.....	25
3.3 Kullanılan Malzemeler.....	26
3.3.1 Agregası.....	26
3.3.2 Toz malzeme ve ikame katkıları	28
3.3.3 Akışkanlaştırıcılar	29
3.4 Yöntem.....	29
3.4.1 Karışımların hazırlanması	31
3.4.2 Terleme	38
3.4.3 Çökme yayılması, akış hızı ve görsel stabilite indeksi	39
3.4.4 J halkası yayılması ve bloklanma.....	40
3.4.5 Kolon segregasyon yöntemi.....	40
3.4.6 Yoğunluk segregasyon yöntemi.....	42
3.4.7 3 bölmeli elek testi	42
3.4.8 Su emme.....	44
3.4.9 Gama ışını soğurma katsayıları.....	44
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	51

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.1 YKAB'lerin Taze Hal Özellikleri.....	51
4.1.1 Çökme.....	51
4.1.2 Yoğunluk	52
4.1.3 Terleme	54
4.1.4 Kolon segregasyon yöntemi sonuçları.....	62
4.1.5 Yoğunluk segregasyon yöntemi sonuçları.....	64
4.1.6 Kolon ve yoğunluk segregasyon yöntemleri arasındaki ilişki	67
4.2 YKAB Sertleşmiş Hal Özellikleri	68
4.2.1 Su emme	68
4.2.2 Yoğunluk	71
4.2.3 Basınç dayanımı.....	73
4.2.4 Lineer soğurma katsayıları	76
4.2.5 Yarı değer ve onda bir değer kalınlıkları.....	83
4.2.6 Kütle soğurma katsayıları	85
4.2.7 Zırh kalınlıkları üzerine örnek bir kıyaslama	89
4.3 AKYB Taze Hal Özellikleri	92
4.3.1 Çökme yayılması, T ₅₀ süresi ve görsel stabilite indeksi.....	92

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.3.2 J halkası yayılması ve bloklanma.....	93
4.3.3 Kolon segregasyon yöntemi sonuçları	94
4.3.4 Yoğunluk segregasyon yöntemi sonuçları	95
4.3.5 3 bölmeli elek yöntemi sonuçları	95
4.3.6 Segregasyon sonuçları arasındaki ilişkiler	96
4.4 AKYB'nin Sertleşmiş Hal Özellikleri	98
4.4.1 Su emme.....	99
4.4.2 Yoğunluk.....	100
4.4.3 Basınç dayanımı	101
5. SONUÇLAR	103
6. ÖNERİLER.....	109
KAYNAKLAR DİZİNİ	111
ÖZGEÇMİŞ	127
EKLER.....

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Demir cevheri (a), ilmenit (b), kolemanit (c) ve metalik cüruf (d) agregaları..	2
1.2. Türkiye barit yatakları haritası-ıçi dolu daireler maden yataklarını gösterir....	3
1.3. Gama ışınlarının madde ile etkileşme mekanizmaları.....	8
1.4. Fotoelektrik olay.....	9
1.5. Compton olayı	9
1.6. Çift oluşumu olayı	10
1.7. NaI kristaline ait toplam lineer soğurma katsayıları.....	11
2.1. Lineer soğurma katsayılarının enerji ve yoğunluğa bağlı olarak değişimi.....	18
3.1. Barit agregasının elek analiz sonuçları	27
3.2. Beton karışımında kullanılan agrega gradasyonu ve bazı limitler.....	28
3.3. Barit agregasının alkali silis reaktivitesi.....	28
3.4. YKAB karışımlarının örnek kodlanması	34
3.5. AKYB karışımlarının örnek kodlaması	36
3.6. Terleme tayininde kullanılan standart kalıp	38
3.7. Çökme yayılması ve J halkası deneylerinin uygulanışı.....	40
3.8. Kolon segregasyon yönteminin uygulanışı.....	41
3.9. 3 bölmeli elek testinin uygulama ayrıntıları	43

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.10. Hazırlanan kolimatör düzeneği ve betonların yerleştirilmesi	45
3.11. Numune varken (20 cm) ve yokken 450-0.56-ref kodlu numune için alınan spektrumlar.....	45
3.12. Sayım değerleri oranının doğal logaritması ile numune kalınlığı ilişkisi	46
3.13. Sayım değerleri oranının doğal logaritması ile numune kütle kalınlığı ilişkisi	48
3.14. XCOM programına ait örnek bir web arayüzü	49
4.1. YKAB karışımlarının taze hal yoğunlukları, kg/m ³	53
4.2. YKAB karışımlarının göreceli taze hal yoğunluk değişimleri, %	53
4.3. 350 dozlu 0.56 s/b oranındaki YKAB'lerin terleme kapasiteleri, %	54
4.4. 350 dozlu 0.48 s/b oranındaki YKAB'lerin terleme kapasiteleri, %	55
4.5. 450 dozlu 0.56 s/b oranındaki YKAB'lerin terleme kapasiteleri, %	55
4.6. 450 dozlu 0.48 s/b oranındaki YKAB'lerin terleme kapasiteleri, %	56
4.7. 450 dozlu 0.40 s/b oranındaki YKAB'lerin terleme kapasiteleri, %	56
4.8. Viskozite düzenleyici ikameli YKAB'lerin nihai terleme kapasiteleri, %	57
4.9. Silis dumanı ikameli YKAB'lerin nihai terleme kapasiteleri, %.....	58
4.10. Uçucu kül ikameli YKAB'lerin nihai terleme kapasiteleri, %	58
4.11. 350 dozlu 0.56 s/b oranındaki YKAB'lerin terleme hızları, kg/m ² .saat	59

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.12. 350 dozlu 0.48 s/b oranındaki YKAB'lerin terleme hızları, kg/m ² .saat.....	60
4.13. 450 dozlu 0.56 s/b oranındaki YKAB'lerin terleme hızları, kg/m ² .saat.....	60
4.14. 450 dozlu 0.48 s/b oranındaki YKAB'lerin terleme hızları, kg/m ² .saat.....	61
4.15. 450 dozlu 0.40 s/b oranındaki YKAB'lerin terleme hızları, kg/m ² .saat.....	61
4.16. YKAB karışımlarına ait kolon segregasyon katsayıları (SK _{kol}), %	62
4.17. Viskozite düzenleyici ikameli YKAB'lerin göreceli SK _{kol} , %	63
4.18. Silis dumanı ikameli YKAB'lerin göreceli SK _{kol} , %	63
4.19. Uçucu kül ikameli YKAB'lerin göreceli SK _{kol} , %	64
4.20. YKAB karışımlarına ait yoğunluk segregasyon katsayıları (SK _{yoğ}), %	65
4.21. Viskozite düzenleyici ikameli YKAB'lerin göreceli SK _{yoğ} , %	66
4.22. Silis dumanı ikameli YKAB'lerin göreceli SK _{yoğ} , %	66
4.23. Uçucu kül ikameli YKAB'lerin göreceli SK _{yoğ} , %	67
4.24. YKAB'de kolon ve yoğunluk segregasyon yöntemleri arasındaki ilişki	68
4.25. YKAB'lerin su emme oranları, %	69
4.26. Viskozite düzenleyici ikameli YKAB'lerin göreceli su emme oranları, %..	70
4.27. Silis dumanı ikameli YKAB'lerin göreceli su emme oranları, %	70
4.28. Uçucu kül ikameli YKAB'lerin göreceli su emme oranları, %.....	71

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.29. YKAB'lerin sertleşmiş hal yoğunluk değerleri, kg/m^3	72
4.30. Viskozite düzenleyici ikameli YKAB'lerin göreceli sertleşmiş hal yoğunlukları, %.....	72
4.31. Silis dumanı ikameli YKAB'lerin göreceli sertleşmiş hal yoğunlukları, %.	73
4.32. Uçucu kül ikameli YKAB'lerin göreceli sertleşmiş hal yoğunlukları, %.....	73
4.33. YKAB numunelerinin basınç dayanımı değerleri, MPa	74
4.34. Viskozite düzenleyici ikameli YKAB'lerin göreceli basınç dayanımları, %	75
4.35. Silis dumanı ikameli YKAB'lerin göreceli basınç dayanımları, %	75
4.36. Uçucu kül ikameli YKAB'lerin göreceli basınç dayanımları, %.....	76
4.37. YKAB'lerin karışım kodlarına göre gama ışını lineer soğurma katsayıları (μ)	77
4.38. Viskozite düzenleyicinin göreceli lineer soğurma katsayılarına etkisi	79
4.39. Silis dumanının göreceli lineer soğurma katsayılarına etkisi.....	80
4.40. Uçucu külün göreceli lineer soğurma katsayılarına etkisi	81
4.41. Lineer soğurma katsayısının (μ) beton yoğunluğuna göre değişimi.....	82
4.42. Yarı değer kalınlığının ($x_{1/2}$) beton yoğunluğuna göre değişimi	84
4.43. Onda bir değer kalınlığının ($x_{1/10}$) beton yoğunluğuna göre değişimi	85

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.44. YKAB'lerin karışım kodlarına göre gama ışını kütle soğurma katsayıları (μ_m)	86
4.45. 662 keV'de deneysel ve teorik kütle soğurma katsayıları arasındaki ilişki..	87
4.46. 1173 keV'de deneysel ve teorik kütle soğurma katsayıları arasındaki ilişki	88
4.47. 1332 keV'de deneysel ve teorik kütle soğurma katsayıları arasındaki ilişki	89
4.48. Ağır ve normal betonların 662 keV'de geçiş oranı ve kalınlık ilişkisi.....	90
4.49. Ağır ve normal betonların 1173 keV'de geçiş oranı ve kalınlık ilişkisi.....	91
4.50. Ağır ve normal betonların 1332 keV'de geçiş oranı ve kalınlık ilişkisi.....	91
4.51. AKYB karışımlarında GSİ değerlerine göre SK_{kol} limitinin belirlenmesi ..	97
4.52. AKYB karışımlarında GSİ değerlerine göre $SK_{yoğ}$ limitinin belirlenmesi .	97
4.53. AKYB karışımlarında GSİ değerlerine göre SK_{elek} limitinin belirlenmesi .	98
4.54. AKYB karışımlarının göreceli su emme oranları, %	100
4.55. AKYB karışımlarının göreceli yoğunluk değerleri, %	101
4.56. AKYB karışımlarının göreceli basınç dayanımları, %	102

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo	Sayfa
1.1. Ağır agregalar ve özellikleri	2
3.1. Barit agregasına ait kimyasal içerikler	26
3.2. Barit agregasının yoğunluk, su emme ve nem durumu.....	27
3.3. Çimento, silis dumanı ve uçucu küle ait kimyasal ve fiziksel özellikler	29
3.4. Tez çalışması kapsamında yapılan deneyler ve ilgili metotlar	30
3.5. YKAB karışım oranları	32
3.6. AKYB karışım oranları	35
3.7. AKYB'lerin karışım özellikleri, m ³	37
4.1. YKAB karışımlarının çökme değerleri ve SA katkı oranları.....	51
4.2. YKAB'de segregasyon yöntemleri arasında kurulan ilişkiler	67
4.3. Karışım parametrelerinin lineer soğurma katsayılarına etkisi	83
4.4. Ağır ve normal betonların yarı değer ($x_{1/2}$) ve onda bir değer kalınlıkları ($x_{1/10}$), cm.....	92
4.5. Ağır betonların benzer gama ışını geçiş oranında soğurma kalınlığı azalma oranları, %	92
4.6. AKYB karışımlarının çökme yayılması ve HA katkı oranları.....	92
4.7. AKYB karışımlarının T ₅₀ süreleri ve GSİ değerleri	93
4.8. AKYB karışımlarının J-halkası yayılmaları ve bloklanma miktarları	94

TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
4.9. AKYB karışımlarının kolon segregasyon katsayıları, SK_{kol}	94
4.10. AKYB karışımlarının yoğunluk segregasyon katsayıları, $SK_{yoğ}$	95
4.11. AKYB karışımlarının 3 bölmeli elek segregasyon katsayıları, SK_{elek}	95
4.12. AKYB’de segregasyon yöntemleri arasında kurulan ilişkiler	96
4.13. AKYB karışımlarının su emme oranları, %	99
4.14. AKYB’lerin yoğunluk değerleri, kg/m^3	100
4.15. AKYB’lerin basınç dayanımları, MPa	101



1. GİRİŞ

Beton, günümüz dünyasında hacmen en çok kullanılan insan yapımı ürün olması sebebiyle, inşaat mühendisleri ve mimarların, hakkında diğer yapı malzemelerine oranla daha çok bilgi sahibi olması ihtiyacı doğmuştur. Geleneksel portland çimentolu beton karışımlarının özel ihtiyaçları karşılamada belli başlı eksikliklerinin olması ve bunların giderilmesi için yapılan girişimler özel beton türlerinin gelişimi ile sonuçlanmıştır. Tez çalışmasının konusu olan ağır beton, nükleer enerji santrallerinde, sağlık birimlerinde, nükleer araştırma ve test merkezlerinde yaygın olarak biyolojik zırhlama için kullanılan özel bir beton çeşididir. Kullanılabilir alanların sınırlı olduğu yerlerde zırhlama kalınlığını, ağır betonların kullanımı ile azaltmak mümkündür (Mehta ve Monteiro, 2006). Yüksek yoğunluğu ve düşük maliyeti ile özel yapıların (baraj, istinat duvarı vb.) kayma ve devrilmeye karşı emniyetlerinin sağlanmasında da bu betonlar önemli bir alternatiftir (Özturan, 2013). Son yıllarda radyasyon sızıntı kazalarında radyoaktif olarak kirlenen atık yapı malzemelerinin depolanması için oluşturulan konteynirlerin duvarlarında da kullanıldığı kaydedilen ağır betonlar konusunda, araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin devam ettiği bilinmektedir (Igawa vd., 2017; Sakamoto, 2016).

1.1 Ağır Beton

Ağır beton, etüv kuru durumuyla yoğunluğu 2600 kg/m^3 'ten büyük olan betonlar olarak tanımlanmaktadır (TS EN 206:2013+A1, 2017). Ağır betonların birim ağırlıkları, normal ağırlıklı agregalarla üretilen betonların birim ağırlıklarından yaklaşık olarak %50 daha fazladır. Ağır beton, yüksek birim ağırlığı ile özel yapıların denge ağırlıklarında, baraj kapakları ve benzeri yerlerde kullanımı ile ilgi çekmektedir. Çeşitli nükleer cihazların radyasyon zırhlamasındaki ihtiyacı da bu betonun kullanım alanlarını artırdığı kaydedilmiştir (STP 169-A, 1966). Birim ağırlığı yaklaşık olarak 2400 kg/m^3 olan normal betonlara göre kıyaslandığında yoğunluğu 2900 ile 6100 kg/m^3 aralığında olan ağır betonlar temel olarak nükleer radyasyon zırhlamasında kullanılmaktadır (Mehta ve Monteiro, 2006). Genel olarak bir malzemenin yoğunluğu ne kadar büyükse, radyasyona karşı zırhlama kabiliyeti de o kadar yüksektir (STP 169-A, 1966). Betonun birim ağırlığının artmasıyla radyasyona karşı soğurma performansı da artmaktadır (Özen vd., 2016).

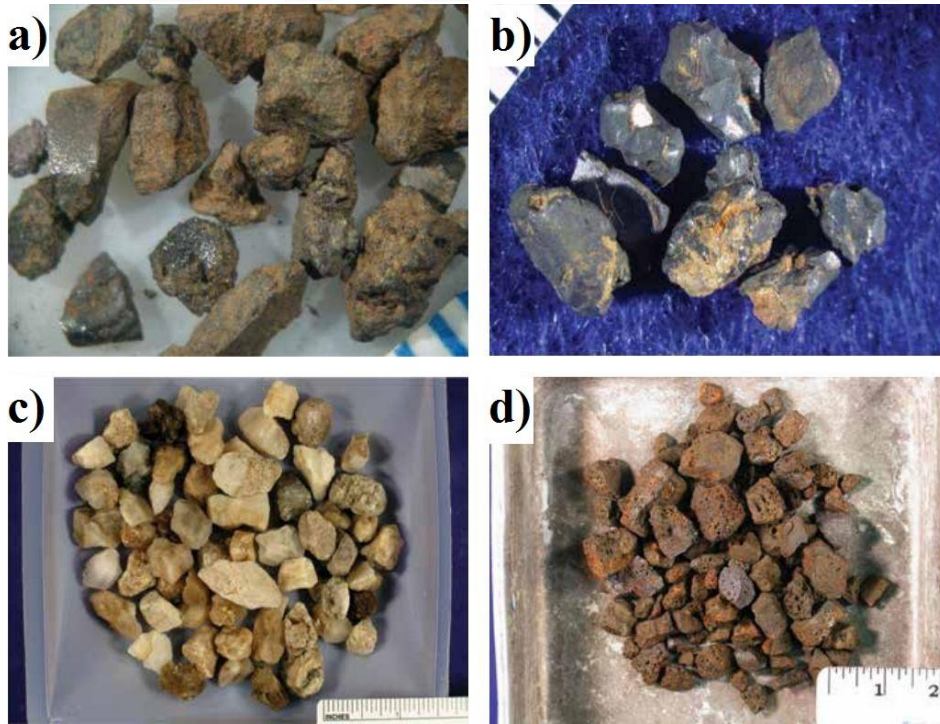
Ağır betonlar, genel olarak doğal ağır agregalar kullanılarak üretilir. Ağır agrega, TS EN 1097-6'ya (2013) uygun olarak tayin edilen etüv kuru tane

yoğunluğu 3000 kg/m^3 ve üzerinde olan agregalar olarak tanımlanmaktadır (TS EN 206:2013+A1, 2017). Ağır betonlarda kullanılan ağır agregalara ait kimyasal kompozisyon ve birtakım fiziksel özellikler, Tablo 1’de verilmektedir (Mehta ve Monterio, 2006).

Tablo 1.1. Ağır agregalar ve özellikleri (Mehta ve Monterio, 2006)

Agrega tipi	Mineralin kimyasal kompozisyon	Saf mineralin özgül ağırlığı	Yığın yoğunluğu, kg/m^3
Viterit	BaCO_3	4.29	2320
Barit	BaSO_4	4.50	2560
Magnetit	Fe_3O_4	5.17	2720
Hematit	Fe_2O_3	4.9-5.3	3040
Lepidokrokit	%8-12 su içeren hidrojenli demir cevheri	3.4-4.0	2240
Geotit			
Limonit			
İlmenit	FeTiO_3	4.72	2560
Ferrofosfor	Fe_3P , Fe_2P , FeP	5.7-6.5	3680
Çelik	Fe	7.8	4480

Ayrıca radyasyon zırlama betonlarında ağır olmayan farklı mineralojik yapıda agregalar da tercih edilebilmektedir. Lee vd. (2013) yaptıkları çalışmada, radyasyon zırlamasında kullanılan farklı tipteki agregalar hakkında geniş bilgi vermektedir. Bu agregaların bazılarını ait görünüşler Şekil 1.1’de verilmektedir.



Şekil 1.1. Demir cevheri (a), ilmenit (b), kolemanit (c) ve metalik cüruf (d) agregaları (Lee vd., 2013)

1961 yıllarına kadar yapılan ağır beton çalışmalarında; ferrofosfor, barit, magnetit, ilmenit, magentit-çelik, limonit-çelik, demir cevheri ve demir cevheri-hurda demir karışımlarının ağır agrega olarak kullanıldığı belirtilmektedir (STP169, 1956; Walker ve Grotenhuis, 1961). Günümüzde gama ışını için radyasyon zırlama betonlarında yaygın olarak hematit, ilmenit, magnetit ve barit gibi yüksek yoğunluklu doğal mineral kökenli agregalar kullanılır (Lee vd., 2013). Genel olarak beton üretiminde agregaların seçimi fiziksel özellikleri, erişilebilirliği ve maliyetleri dikkate alınarak belirlenir (Kosmatka vd., 2013). Radyoaktif zırlama için doğrudan veya beton içerisinde agrega olarak değerlendirilen barit (Shirmardi vd., 2013), ağır beton üretiminde kullanılan en yaygın agregadır (Topçu, 2003). Baritin ülkemizdeki toplam rezervi 20.000.000 ton olmakla beraber dünya rezervinin %4.2'sini oluşturmaktadır (MTA, 2001). Ayrıca MTA kurumunun internet sitesinde verilen barit maden yatakları haritasına göre, baritin Türkiye'de geniş bir coğrafyada bulunduğu görülmektedir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Türkiye barit yatakları haritası-içi dolu daireler maden yatakları gösterir (MTA, 2018)

Türkiye'de baritin maden olarak yüksek oranda bulunabilirliğine rağmen, 1980'li yılların ortasından 2000'li yıllara kadar ülkemizde sadece maden mühendisliği, jeoloji mühendisliği ve metalürji mühendisliği lisansüstü araştırma tezlerinde yer almıştır (Öteyaka, 1985; Yalçın, 1991; Delice, 1991; Alp, 1992; Nizamlıoğlu, 1992; Kayabalı, 1992; Gündüz, 1992; Özbaş, 1993; Ghaemi, 1995; Aydın, 1996; Ulusoy, 1996; Demirkaya, 1996; Albayrak, 1998; Taşkın, 1998; Teke, 1998; Çolakoğlu, 2000). 2000'li yılların başından günümüze kadar belirtilen çalışma alanlarının yanı sıra inşaat mühendisliği araştırma konularında da yer almış ve yapılan tezlerde beton ve benzeri yapı malzemelerinin fiziksel, mekanik ve radyasyon soğurma özellikleri araştırılmıştır (Uçar, 2001; Can, 2001; Sönmez,

2002; Osma, 2002; Coşkun, 2010; Dolak, 2010; Aras, 2011; Seven, 2011; Çakı, 2013; Demirci, 2015).

Ülkemizde gelişen teknoloji ve nükleer teknolojiye geçiş ile ilgili adımlar neticesinde insan sağlığını tehdit eden radyasyon riskinin azaltılmasında yerel kaynakların alternatif olarak kullanımı hız kazanmıştır. Baritin artan üretimi ve agrega olarak araştırmacılar tarafından erişebilirliği neticesinde, özellikle de barit kaynaklarına yakın konumlanmış olan üniversite ve araştırma merkezlerinde, radyasyona karşı soğurucu ağır betonlar hakkında bir takım mühendislik özelliklerinin araştırıldığı görülmektedir.

Ağır beton ve agregaları ile ilgili olan ASTM C 637 (2014), ASTM C 638 (2014), ACI 211.1 (1991), ACI 221R (1996), ACI 304R (2000) ve ACI 304.3R (1996) gibi standart ve raporlar genel olarak agregaların özellikleri ve beton karışım oranları hakkında bir takım bilgi ve öneriler vermektedir. Ayrıca normal ağırlıklı betonlar için geliştirilen mutlak hacim yöntemine göre beton tasarımı, genel olarak ağır beton karışımları için de kabul görmektedir (Kaplan, 1989). Bu yöntem ile tasarlandığında, ağır beton karışımlarının daha yoğun olarak üretilmesi de mümkündür (Ouda, 2015).

Ağır zırh betonlarının yapısal dayanımları yüksek çimento içeriği ve kalın kesitleri sebebiyle sorun oluşturmamaktadır. Taşıyıcı zırh betonlarının basınç dayanımları 21-34 MPa aralığında yeterli iken kütle duvarlar için 14 MPa minimum dayanım yeterlidir. Ancak, radyasyon zırlaması söz konusu olduğunda, servis ömrü süresince çatlak oluşumuna direnmesi için bu betonların daha yüksek basınç dayanım sınıflarında tasarlanması bir ihtiyaçtır (STP 169-A, 1966). Nükleer reaktörler genel olarak kalın beton tabakaları ile çevrilidir. Bu betonların reaktör ve ilgili ekipmanlarını desteklemek ve yüksek radyasyon seviyesinden korunmak gibi iki temel rolü vardır (Yousef vd., 2008). Radyasyona karşı koruyucu yapısal beton duvarlarda ağır betonun basınç dayanımları 20-35 MPa aralığında olması yeterli iken, ön germeli reaktör betonlarında bu dayanımların 60-75 MPa aralığına kadar yükseltildiği belirtilmektedir (Mehta ve Monteiro, 2006).

Ağır agregalar, şekilleri ve yüzey dokuları nedeniyle dişli beton karışımlarına yol açmaya eğilimlidir. Bunun engellenmesi için beton karışımlarında düşük incelik modülüne sahip ince agrega veya yüksek ince agrega/iri agrega oranı tercih edilmelidir (Mindess vd., 2003). Ayrıca yeterli işlenebilirlik ve kohezifliği sağlamak için genel olarak özel bir karışım tasarımı ve yerleştirme yöntemi

gerektirebilmektedir. Beton karışımında kullanılan yüksek yoğunluklu agregaların segregasyona yatkınlığını azaltmak için, kaba agrega ile birlikte ince agreganın da yüksek yoğunlukta seçilmesi gereklidir (Alexander ve Mindess, 2010). Çelik bilye ve saçmaların kullanılmasında, belirli alanlarda ve bir takım gömülü parçaların etrafının betonlanması, ön agrega yerleştirme yöntemi ile iki aşamalı betonlama iri agrega segregasyonunun azaltılmasında bir yöntem olarak düşünülebilir (Kosmatka vd., 2003).

Ağır betonun kalıba düzgün bir şekilde yerleşmesi ve segregasyon ve soğuk derz olmaksızın zırh içerisindeki sürekliliğinin garantilenmesi için, beton karışımın işlenebilir olması zorunludur (STP 169-A, 1966). Ağır beton, dişli karışım oluşturmaya ve agrega fazı ile çimento hamuru arasındaki yoğunluk farklılığının artması sebebiyle segregasyona, normal ağırlıklı betona göre daha yatkındır (STP 169-A, 1966; Waddell, 1998; Topçu, 2003). Agrega taneleri harç tarafından uygulanan kaldırma kuvvetini aşacak kadar ağır ise aşağı doğru batmaya başlar ve beton segregasyona uğrar (Esmailkhanian vd., 2014).

1.2 Segregasyon

Betonun üretimi, taşınması ve yerleştirilmesi esnasındaki homojenliği ne kadar iyi ise arzulanan sertleşmiş hal özelliklerinin sağlanması da o kadar başarılı olacaktır (STP 169D, 2006). Beton teknolojisindeki ilerleme ve süper akışkanlaştırıcıların ortaya çıkması ile birlikte daha düşük su/bağlayıcı oranlarında işlenebilir betonların üretimine ve böylece şantiye ortamında dayanımların artırılmasına olanak sağlanmıştır (Domone, 2003). Yüksek oranda su azaltıcı katkı kullanımı, düşük su/çimento oranına sahip normal betonlarda işlenebilirlikleri önemli ölçüde artırırken, yüksek su/çimento oranına sahip betonlarda etkisiz hale gelebilmekte ve segregasyon ile terlemeye yol açabilmektedir (Faroug vd., 1999; Leemann ve Winnefeld, 2007).

Çimento hamuru ve betonlarda, eşik kayma gerilmesinin artması ile çökme değerinin azalışı arasında bir ilişkinin olduğundan söz edilebilir. Ayrıca, plastik viskozite ile betonun kohezifliği, yerleştirilebilmesi, pompalanabilmesi, perdahlanabilmesi ve segregasyonu arasında bir ilişkinin olduğu açıktır. Yüksek akıcılığa sahip betonlarda düşük plastik viskozitenin segregasyona yol açtığı ve tasarımlarında plastik viskozitenin artırılması gerektiği anlaşılmaktadır. Süper akışkanlaştırıcı katkı maddelerinin kullanımı betonların eşik kayma gerilmesi ve plastik viskozitesini önemli oranda azaltmaktadır. Çimentolu sistemlerde uçucu kül ve silis dumanı gibi katkı maddelerinin de dozaja bağlı olarak eşik kayma gerilmesi

ve plastik viskoziteyi artırdığı görülmektedir (Ferraris ve de Larrard, 1999; Ferraris vd., 2001; Park vd., 2005).

Son 50 yılda taze betonun reolojisi üzerinde yapılan çalışmalarda “karışım tasarımı ve reolojik özellikler arasındaki ilişki” veya “betonun reolojik özelliklerinin tam olarak ölçülmesi ve sayısallaştırılması” konularına cevap aransa da, betonun verilen bir kalıbı kusursuz olarak doldurup dolduramayacağı konusu cevap bulmuştur. Akışkan beton alanında kayda değer bir ilerleme olmasına rağmen, betonun hala belirli bir eleman kalıbını kolayca doldurabilecek kadar akışkan olması, daha fazla akışkan olmaması uygun görülmektedir. Fazlası veya gereksiz akıcılık daima süper akışkanlaştırıcı miktarından dolayı maliyet, mekanik direnç kaybı veya segregasyon riskine yol açabilmektedir. Bu nedenle, beton tasarımında, verilen bir kalıbın kolay bir biçimde doldurulmasını sağlayacak en düşük işlenebilirlik hedeflenmelidir (STAR 222-SCF, 2014).

Taze betonda hamur kıvamının artmasıyla yerleştirme esnasında iri agreganın daha rahat hareket etmesi mümkün olduğundan, segregasyon riskinin arttığı bilinmektedir (Alami, 2014). Waddell (1998) yaklaşık olarak 2.5 cm ile 10 cm aralığında çökme değerine sahip betonların segregasyon direnci açısından daha sağlıklı olduğunu belirtmiştir. Ayrıca betonların çökme değeri 7.5 cm ile 15 cm aralığında olduğunda işlenebilirliklerinin de daha iyi olduğu görülmektedir (Waddell, 1998). Araştırmacılar genel olarak düşük çökme değerlerinde (10 cm altındaki) ağır beton karışımlarını tercih etmektedir (Graham, 1986; Sakr, 2006; Topçu, 2003; Kharita vd., 2011; Kılınçarslan vd., 2007). Düşük kıvamlı ağır beton karışımlarında segregasyon ve terleme riski ortadan kaldırılırken, bu betonların uygulama alanlarında yerleştirme ve sıkıştırma gibi bir takım işlenebilirlik sıkıntılarının da ortaya çıktığı bilinmektedir. Ayrıca, çok kuru dişli karışımların da segregasyona yol açabildiği rapor edilmiştir (Waddell, 1998). Yeterli bağlayıcı içeriği ve ortalama su/bağlayıcı oranında bile betonların akıcılığının artması, terleme ve segregasyon riskini de artırabilir (Vanhove ve Khayat, 2016). Kendiliğinden yerleşen betonlarda da harç kısımlarının yetersiz viskoziteye sahip olması durumunda, büyük ve yoğun iri agrega taneleri bu betonların segregasyon riskini artırmaktadır (El-Chabib ve Nehdi, 2006).

Ağır betonda düşük segregasyona eğilim ve yüksek birim ağırlık bakış açısı ile hem ince hem iri agregaların yüksek yoğunluklu kayaç ve minerallerden üretilmesi arzulanır. Kıırma agrega tanelerinin yüzeyleri ve pürüzlü şekilleri yüzünden ağır beton karışımları dişli olmaya yatkındır. Bu problemin üstesinden

gelmek için, daha ince bir kum kullanmak, agregadaki kum oranının normal betona göre daha fazla olması ve çimento içeriğinin 350-360 kg/m³ den daha fazla olması önerilmektedir (Mehta ve Monteiro, 2006; Mindess vd., 2003). Diğer taraftan betonda artan çimento hamuru ile birlikte kimyasal olarak bağlı su içeriğinin artması, radyasyon koruma özelliğini iyileştirecektir (Mindess vd., 2003).

Segregasyon genel olarak dinamik segregasyon ve statik segregasyon olmak üzere iki ana başlıkta incelenmektedir. Betonların kalıba yerleştirmesi esnasında uygulanan yetersiz, aşırı, uygun olmayan sıkıştırma işlemi; kalıplarda beklenmeyen dış titreşim; kendiliğinden yerleşen betonlarda serbest veya engelli ortamda (özellikle sık donatı bulunması veya kalıp kesitlerinde daralma olması gibi) yayılması sonrasında düşey, yatay ve eğimli doğrultularda meydana gelen segregasyon dinamik segregasyon olarak tanımlanabilir. Betonlu oluşturan malzemelerin yoğunluk farklılıklarından dolayı yerçekimi ile ağır tanelerin zamanla aşağıda toplanması olarak bilinen statik segregasyon ise, genel olarak yüksek akıcılığa sahip betonların prizini alıncaya kadar, iri tanelerinin düşey doğrultuda zati ağırlığı sebebiyle gösterdikleri segregasyon olarak tanımlanabilir. Ayrıca, beton içerisinde agrega gibi katı ve yoğun tanelerin aşağı çökmesi sebebiyle, karışım suyunun yukarı doğru hareketi veya beton yüzeyine ulaşarak toplanması olarak bilinen terleme de bir çeşit statik segregasyondur.

Terleme ve segregasyonun beton, harç ve hamurların fiziksel, mekanik ve durabilite özelliklerini olumsuz etkilediği bilinmektedir (Kosmatka vd., 2003; Josserand vd., 2006; Jo vd., 2014; Ben aicha vd., 2017; Han ve Wang, 2016; Mouret vd., 2008; Wang vd., 2013; Keske vd., 2016). Özellikle kendiliğinden yerleşen betonlar (KYB'ler) gibi yüksek akıcılığa sahip betonların üretiminde yeterli statik ve dinamik segregasyon direncinin sağlanması önemlidir.

Genel olarak belirli bir kalınlık değeri için radyasyon zırlamasındaki etkinlik, betonun yoğunluk ve homojenliği ile sağlanır. Betonun yoğunluğu, çeşitli yoğunluk değerlerindeki agregaların uygun oranlarda kullanımı ile kontrol edilebilir. Zırlama kalitesinin bir ölçüğü olan homojen soğurma performansı ise, düzgün agrega dağılımına sahip homojen kütleli bir beton gerektirmektedir. Aşırı plastik oturma, segregasyon veya yerleştirme sırasında boşlukların oluşması, betonun kusurlu bölgelerinden aşırı radyasyon geçişine yol açabilir (STP 169-A, 1966).

1.3 Radyoaktif Koruma

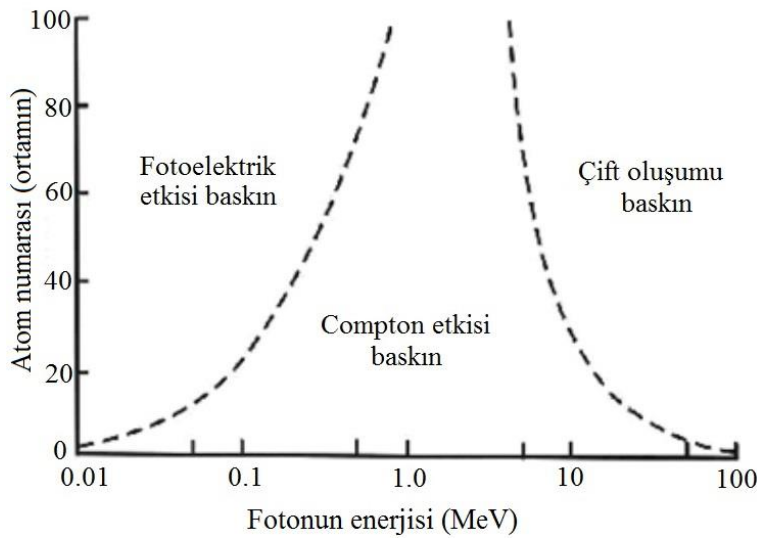
Hubbell (1999) çalışmasında, Röntgen (1895) tarafından X ışınlarının keşfedilmesinden hemen sonra, dar demet ışınlarının farklı maddelerden geçişinin (gama ışınının enerjisine ve maddelerin atom numarasına göre) Barkla ve Sadler (1907 ve 1909) tarafından incelendiğini açıklamıştır.

İnsanoğlunun iyonize radyasyonun zararlarından yeterli seviyede korunması konularının 1920'li yıllara dayandığı, bu sorunların birçok ülkenin desteği ile ele alındığı anlaşılmaktadır (Mehl, 1968).

1.3.1 Gama radyasyonu

Gama radyasyonu, bir alfa ya da bir beta bozunumu sonucunda kararlı hale geçemeyen çekirdeğin kararlı hale geçebilmek için yaydığı elektromanyetik dalgalar ($\lambda > 10^{-12}$ m) olup, yüksüzdürler ve yüksek enerjilere sahiptirler. Bu nedenle parçacık tipi (alfa, beta) iyonlayıcı radyasyonlara göre yüksek giriciliğe sahiptir (Knoll, 1999; Tsoulfanidis, 1995).

Gama ışınları madde içerisinden geçerken ya soğurulur ya da saçılır. Enerjilerine bağlı olarak madde ile fotoelektrik olay, Compton olayı ve çift oluşumu olayı ile etkileşirler. Bu etkileşimler arasındaki baskınlık, maddenin atom numarası (0'dan 100'e kadar) ve gelen gama fotonunun enerjisine (0.01 MeV'den 100 MeV'e kadar) bağlı olarak Şekil 1.3'de verilmektedir (Knoll, 1999; Tsoulfanidis, 1995).



Şekil 1.3. Gama ışınlarının madde ile etkileşme mekanizmaları (Knoll, 1999; Tsoulfanidis, 1995)

1.3.1.1 Fotoelektrik etki

Fotoelektrik etkide belli bir $E_\gamma = h\nu$ (h : Planck sabiti; ν : frekans) enerjisine sahip foton, enerjisinin tamamını bir atomun bağlı elektronuna aktararak tamamen yok olur. Serbest hale geçen elektron fotoelektron adını alır. Gelen fotonun enerjisi Denklem 1.1'de verildiği üzere; elektronun bağlanma enerjisi (E_b) ve kinetik enerjisi (E_k) olarak harcanır (Tsoulfanidis, 1995).

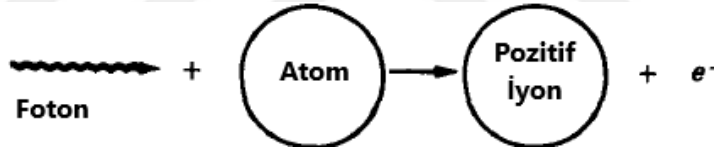
$$E_\gamma = E_b + E_k \quad (1.1)$$

$E_\gamma = h\nu$: Fotonun enerjisi

E_b : Elektronun eşik bağlanma enerjisi

E_k : Fotoelektronun (kopan elektron) kinetik enerjisi

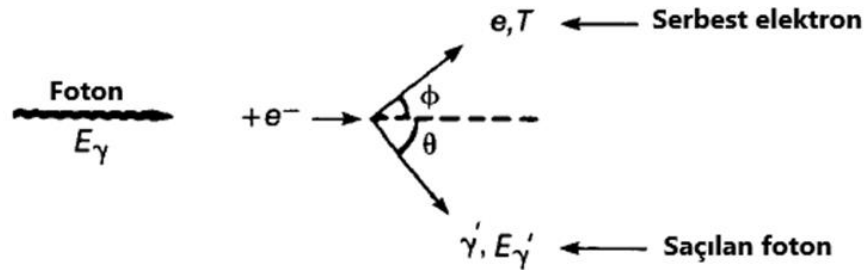
Genelde atomun iç yörünge elektronlarıyla (K tabakası) gerçekleşen bu olayda foton bir miktar enerjisini elektrona atomdan sökmek için kullanır (Şekil 1.4). Geri kalan fazla enerjiyi de elektrona kinetik enerji olarak aktararak soğurur (Tsoulfanidis, 1995).



Şekil 1.4. Fotoelektrik olay (Tsoulfanidis, 1995)

1.3.1.2 Compton Olayı

Compton olayı bir foton ile atomun zayıf bağlı bir elektronu arasındaki çarpışmadır. Gelen foton, enerjisinin bir kısmını saçılan elektrona verdiği için enerjisi azalır ve geliş doğrultusuyla θ açısı yaparak daha düşük enerji ile yoluna devam eder (Şekil 1.5) (Tsoulfanidis, 1995).



Şekil 1.5. Compton olayı (Tsoulfanidis, 1995)

Çarpışma ile hem foton hem de elektron saçılmaya uğrar. Çarpışmadan önce elektronun hareketsiz olduğu varsayılarak enerji ve momentumun korunumu ilkeleri gereğince elektrona aktarılan enerji Denklem 1.2 ile, saçılan fotonun enerjisi ise Denklem 1.3 ile belirlenmektedir (Tsoulfanidis, 1995).

$$T = E_{\gamma} - E_{\gamma'} \quad (1.2)$$

$$E_{\gamma'} = \frac{E_{\gamma}}{1 + (1 - \cos\theta)E_{\gamma}/m_e c^2} \quad (1.3)$$

T : Saçılan elektronun enerjisi

E_{γ} : Gelen fotonun enerjisi

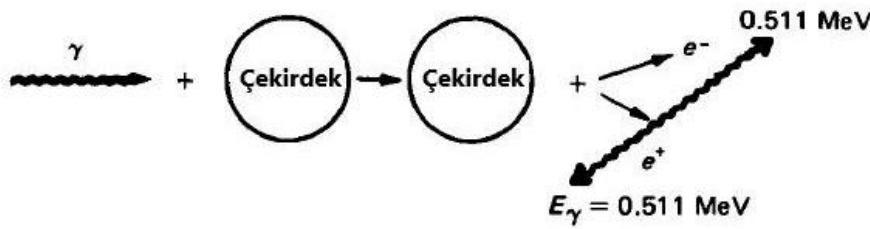
$E_{\gamma'}$: Saçılan fotonun enerjisi

θ : Fotonun saçılma açısı

$m_e c^2$: Elektronun durgun kütle enerjisi

1.3.1.3 Çift oluşumu

Çift oluşumu bir foton ile çekirdek arasındaki etkileşmedir. Bu etkileşmenin bir sonucu olarak foton yok olur ve bir elektron-pozitron çifti oluşur. Elektronun ve pozitronun durgun kütle enerjileri ($m_e c^2$) 0.511 MeV olduğundan, çift oluşum olayının gerçekleşmesi için fotonun sahip olması gereken en düşük enerji elektronun ve pozitronun durgun kütle enerjisinin iki katı olan ($2m_e c^2$) 1.022 MeV olması gerekir. Gelen fotonun enerjisi 1.022 MeV'den düşük ise elektron-pozitron çifti meydana gelmez ve çift oluşumu olayı gözlenmez (Şekil 1.6) (Tsoulfanidis, 1995).



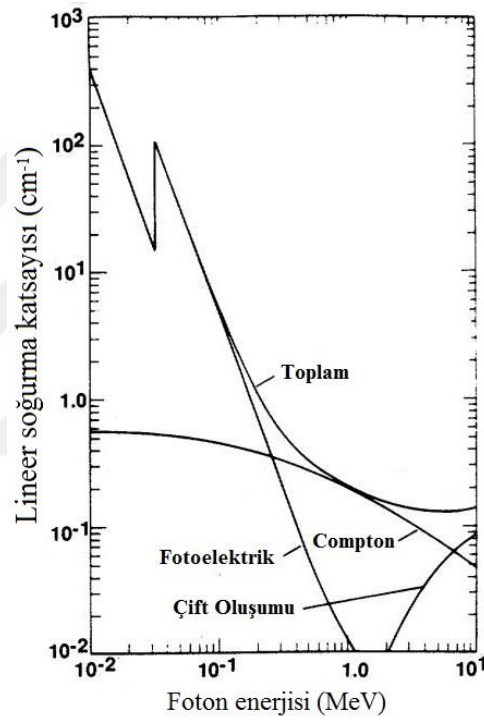
Şekil 1.6. Çift oluşumu olayı (Tsoulfanidis, 1995)

1.3.2 Soğurma

Gama radyasyonunun difüzyonunu ve penetrasyonunu karakterize eden en önemli değer lineer soğurma katsayısıdır (Hubbell ve Berger, 1968). Lineer soğurma katsayısı, ışının verilen bir malzemede birim geçiş uzunluğunda

etkileşiminin ifadesi olarak belirtilmektedir (Bashter, 1997a). Numuneye gelen ışın siddetini yarıya düşürebilmek için gereken malzeme kalınlığı yarı değer kalınlığı (HVL, the half-value layer); benzer şekilde gelen ışın siddetini onda bir düşürmek için gerekli kalınlık ise onda bir değer kalınlığı (TVL, the tenth-value layer) olarak isimlendirilmektedir (NCRP Report, 2005).

Belirtilen etkileşimlerde lineer soğurma katsayısı, fotoelektrik, Compton ve çift oluşumu ile elde edilen soğurma katsayıları dikkate alınarak Şekil 1.7'de sodyum iyodür (NaI) kristali için verilen örnekte olduğu gibi toplam olarak ifade edilmektedir (Nelson ve Reilly, 1991).



Şekil 1.7. NaI kristaline ait toplam lineer soğurma katsayıları (Nelson ve Reilly, 1991)

Kütle soğurma katsayısı ise, malzemenin birim alan ve birim kalınlığı için kütlelerini oluşturan madde (kütle kalınlığı) ve ışının arasındaki etkileşimin ortalama değerinin bir ölçüğüdür (Hubbell, 1977). Belirli bir gama enerjisi için kütle soğurma katsayısı verilen bir soğurucunun fiziksel durumu ile değişmez. Lineer soğurma katsayısı, soğurucunun yoğunluğuna bağlı olması nedeni ile nükleer fizik alanında kütle soğurma katsayısının kullanımı daha yaygındır.

STP169'da (1956) atom bombası ve patlaması sonrasında açığa çıkabilecek yüksek ısı riskinin güvenlik önlemleri açısından, betonun yangın ve radyasyon direncini önemli hale getirdiği Praeger (1946) tarafından vurgulanmıştır. Walker ve

Grotenhuis (1961) tarafından derlenen raporda ve STP169'da (1956) ağır betonların zırhlama sabitleri üzerine sayısız çalışmaların yapıldığı, nükleer reaktörlerde yaşanabilecek olayların radyasyon soğurma özelliklerine etkisinin araştırıldığı ve atomik patlamaya karşı direnebilmesi için beton ve betonarme yapıların tasarımı üzerine çalışıldığı anlaşılmaktadır.

Biyolojik zırhların dizaynında radyasyonun 2 tipi dikkate alınmalıdır (Mehta ve Monteiro, 2006):

- Yüksek giriciliğe sahip X ve gama ışınları
- Elektrik yükü taşımayan atom çekirdeğinin ağır kısımları olan nötronlar.

X ve gama ışınları :

X ve gama ışınları herhangi bir malzemenin uygun kütlesi ile yeterli biçimde absorbe edilebilir. Birçok malzeme radyasyona maruz kaldığında, yaklaşık olarak yoğunluklarıyla orantılı olacak şekilde bu yüksek enerji ve yüksek frekanslı elektromanyetik dalgaları soğurur (Mehta ve Monteiro, 2006).

Genel olarak gama ışınları maddenin atomik kütlesiyle orantılı olarak soğurulur (Walker ve Grotenhuis, 1961). Betalardan 100 ve alfalardan 10000 kat daha fazla giriciliğe sahip olan gama ışınları yüksek yoğunlukta ve yüksek atom numaralı malzemelerle zırhlanmalıdır (Kılınçarslan vd., 2011). Ayrıca yüksek yoğunluğa sahip malzemelerin gama ışını zırhlamasında kullanılması ekonomik açıdan mantıklı olacaktır (Walker ve Grotenhuis, 1961).

Radyoaktif koruma amaçlı kullanılan yapı malzemeleri zırhlanacak radyasyon türüne göre farklılık gösterir (Kılınçarslan vd., 2011). Yüksek giricilik enerjisine sahip X ve gama ışınlarının ikisinin de yeterli bir beton zırh kalınlığı ile tatmin edici seviyede soğurulabileceği ifade edilmiştir (STP 169-A, 1966).

Nötron radyasyonu :

Radyasyonun ikinci tipi elektrik yükü taşımayan ve atom çekirdeğinin ağır kısımları olan nötronlardır. Nötronlar, kendilerini çevreleyen elektrik alanlardan etkilenmez ve yalnız atom çekirdeği ile çarpışma ile yavaşlarlar. Etkin bir nötron zırhlaması için sırayla üç sınıf malzeme birleştirilmelidir. Zırh, atom kütlesi 56 olan demir gibi bazı ağır malzemeler veya atom numarası daha yüksek olan elementler

içermelidir. Bu ağır elementler, hızlı nötronları elastik olmayan çarpışma ile yavaşlatır. Genellikle hidrojen gibi hafif elementler, bir miktar yavaşlamış bu hızlı nötronların elastik çarpışmasıyla daha fazla yavaşlaması için tercih edilir. Hidrojen özellikle bir nötronla yaklaşık olarak aynı ağırlıkta olması sebebiyle etkilidir. Son olarak, yavaş termal nötronların da soğurularak ortadan kaldırılmasına ihtiyaç vardır. Hidrojen bu konuda yeterli bir element olsa da, bu işlem sırasında kayda değer bir soğurmaya ihtiyaç duyulan 2.2 milyon volt gama ışını yayılır. Diğer taraftan bor, nötron ışınlarının soğurulmasında etkili olmasının yanında, yalnızca 0.478 milyon volt gama ışını yaymaktadır (Mehta ve Monteiro, 2006).

1.3.3 Önemli radyonüklitler (^{137}Cs ile ^{60}Co) ve kullanım alanları

662 keV enerji üreten ve sezyumun radyoaktif izotopu olan ^{137}Cs nükleer dedektörleri kalibre etmek için kullanılır. ^{137}Cs bazen ışın tedavisi, tıbbi, sağlık ve sterilizasyon faaliyetlerinde ve ayrıca endüstriyel olarak malzeme kalınlığı ile sıvı akışlarının ölçülmesi için bazı ölçerlerde kullanılır. ^{60}Co ise bir nötron aktivasyonu ile elde edilen bir radyo izotoptur. Yüksek girciliğe sahip 1173 ve 1332 keV enerjili iki gama ışını yayar. ^{60}Co genelde tıbbi tedavide, tıbbi ekipmanların sterilizasyonunda, endüstride ise radyografi ve bazı ölçerler için radyasyon kaynağı olarak kullanılmaktadır. Bu gama ışını kaynaklarının belirtilen sayısız uygulama alanları nedeniyle, nükleer araştırma ve tıp merkezlerinde bu radyasyon kaynaklarına karşı kullanılan betonların tasarımı ve zırhlama özelliklerinin araştırılması gereklidir (Shirmardi vd., 2013).

1.3.4 Beton zırhlar

Literatürde yapılan çalışmalar temel olarak sırasıyla elementlerin, bunlardan oluşan bileşiklerin, bazı temel karışımların ve sonrasında özel kompozitlerin (ağır betonlar gibi) belirli enerji aralıklarında deneysel olarak soğurma özelliklerinin belirlenmesi ve sonrasında geniş enerji aralıklarında teorik olarak hesaplanması yolunda ilerlemektedir (Hubbell, 1977; Hubbell, 1982; Hubbell ve Seltzer, 1995; Makarios vd., 1996; Bashter vd., 1996; Bashter, 1997a). Yapılan çalışmalar neticesinde elde edilen deneysel verilerin, sürekli olarak geliştirilen XCOM ve Monte Carlo gibi simülasyon programlarına dâhil edilmesi ile deneysel sonuçlara yakın olarak elde edilen teorik hesaplamalar çalışmalara yeni bir ışık tutmaktadır.

Beton, hidrojen ve diğer hafif çekirdekler (oksijen, silisyum vb.) ile mineral kökenli yüksek atom numaralı çekirdeklerin (baryum vb.) karışımı olması ve ayrıca

geniş bir yoğunluk aralığında üretilebiliyor olması sebebiyle gama ışınlarının soğurulmasında, hızlı nötronların yavaşlatılmasında ve rezonans ile yavaş nötronların soğurulmasında etkilidir. Hidrate olmuş çimentonun içerisindeki kimyasal olarak bağlı hidrojen ve oksijen nötron akısını tatmin edici oranda hafifletir. Ayrıca beton, su ve silis agregası içerisinde farklı formlarda bulunan oksijen bakımından da önemli ölçüde zengindir. Söz konusu oksijen de soğurma özelliklerine katkı sağlamaktadır (Mehta ve Monteiro, 2006).

Genel olarak araştırmacılar, betonların gama ışını soğurma katsayılarının belirlendiği çalışmalarda Sezyum-137 (^{137}Cs) ve Kobalt-60 (^{60}Co) kaynaklarından yayılan 662, 1173 ve 1332 keV enerjili gama ışınlarını kullanmaktadırlar (Mostofinejad vd., 2012; Sakr ve El-Hakim, 2005; Akkurt vd., 2006; Shirmardi vd., 2013; Demir vd., 2011; Akkurt vd., 2010a; Akkurt vd., 2010b; Ouda, 2015).

Sonuç olarak beton, tatmin edici mekanik özelliği, düşük ilk üretim ve bakım maliyeti, nötron ve gama ışınlarının ikisini birden soğurmak için ihtiyaç duyulan karakterizasyona sahip olması sebebiyle mükemmel bir soğurucu malzemedir. Ayrıca imalatının kolay olması da betonları özellikle uygun bir zırhlama malzemesi yapmaktadır (Mehta ve Monteiro, 2006). Akkurt vd. (2005) tarafından yapılan çalışmada, Wood (1982) lineer soğurma katsayılarının, foton enerji büyüklüğüne, soğurucu malzemeyi oluşturan elementlerin atom numarası ve yoğunluğuna bağlı olduğunu belirtmiştir. Gama ışınları için lineer soğurma katsayıları betonun yoğunluğunun artmasıyla doğrusal bir artış göstermekte ve enerji seviyesinin artmasıyla azalmaktadır (Akkurt vd., 2010a). Nötronların soğurulmasında ise betonun kimyasal içeriği önemli olsa da, genel olarak betonun birim kalınlığındaki yoğunluğu soğurucunun etkinliğiyle orantılıdır. Bu sebepten dolayı, karışım dizaynlarında betonların işlenebilirliklerini göz ardı etmeden yüksek yoğunluklu betonların oluşturulmasına çalışılır (Revulta vd., 2009). Diğer taraftan gama radyasyonu açısından sadece yüksek yoğunluk önemli iken, yüksek yoğunluklu betonlarda yeterli miktarda bağlı suyun olması nötronların soğurulması açısından da önemlidir (Bartos, 1992). Akkurt ve El-Khayatt (2013) çalışmalarında, gama ışını ve nötronun birlikte dengeli soğurma katsayılarının elde edilmesi için, betonlardan beklenen optimum bir yoğunluk değerinin olduğunu göstermiştir.

1.4 Tez Çalışmasının Önemi

Günümüze kadar yapılan ağır beton çalışmaları incelendiğinde, ağır betonların ilk zamanlar normal betonlara göre yüksek olan birim ağırlıkları sayesinde yapıların kayma ve devrilmeye karşı güvenliklerinin sağlanmasında

kullanıldığı anlaşılmaktadır. İlerleyen yıllarda tırmanan radyasyon riskleri, ekonomik olarak üretilebilen ağır betonların zengin element çeşitliliği sayesinde gama ışını ve nötronların zararlı etkilerine karşı kullanılmasına yol açmıştır.

Ağır betonlarla ilgili çalışmalar incelendiğinde,

- farklı ağır agrega tipleri ve kullanım oranlarının betonların yoğunluk, basınç dayanımı, elastisite modülü ve radyasyon soğurma özellikleri üzerine etkisi;
- su/çimento oranlarının, çimento dozajlarının ve suya doygunluk seviyelerinin radyasyon soğurma özellikleri üzerine etkisi;
- yüksek sıcaklığın basınç dayanımı ve soğurma özellikleri üzerine etkisi; numune kalınlıklarının radyasyon soğurma özellikleri üzerine etkisi;
- silis dumanı, kolemanit ve bor katkısının karışımlarının soğurma özellikleri üzerine etkisi;
- farklı radyasyon kaynaklarının ve enerji seviyelerinin soğurma özellikleri üzerine etkisi

konularının araştırıldığı anlaşılmaktadır (STP169, 1956; Walker ve Grotenhuis, 1961; STP 169-A, 1966; STP 169B, 1978; STP 169C, 1994; Bashter, 1997a; Abdel-Rahman vd., 2000; El-Sayed Abdo, 2002; Topçu, 2003; Sakr ve El-Hakim, 2005; Akkurt vd., 2005; STP 169D, 2006; Başyigit, 2006; Akkurt vd., 2006; Kılınçarslan vd., 2006; Yousef vd., 2008; Akkurt vd., 2010a; Akkurt vd., 2010b; Akkurt vd., 2010c; El-Khayatt, 2010; Demir vd., 2011; Kharita vd., 2011; Demir vd., 2011; Mostofinejad vd., 2012; Alwaeli ve Nadziakiewicz, 2012; Akkurt ve El-Khayatt, 2013). Ayrıca son zamanlarda radyoaktif atık depolarının zırh duvarlarında kullanılacak ağır betonların kuruma büzülmesinde radyoaktif sızıntı oluşturabilecek çatlaklarının kendini iyileştirebilme potansiyeli için lif, genişlen katkı (etrenjit benzeri) ve uçucu kül içeren alternatif karışım tasarımları ile kür koşullarının etkisinin de çalışıldığı bilinmektedir (Igawa vd., 2017).

İncelenen ağır beton çalışmalarında işlenebilirlik parametresi olarak çökme ve çökme yayılması değerlerinin ölçülmesinden ileriye gidilememiştir. Yüksek işlenebilirlik değerlerinde ağır betonların üretilmesi, segregasyon özelliklerinin

araştırılması (Revulta vd., 2009) ve puzolanların kullanımı ile soğurma özelliklerinin araştırılması (Mostofinejad vd., 2012) üzerine yapılan çalışmalar sınırlıdır. Sonuç olarak yüksek kıvam değerlerinde üretilen ağır betonların, segregasyon bakımından normal betonlara göre daha riskli olabileceği ve bu sebeple farklı betonlama yöntemlerinin (ön agrega yerleştirme yöntemi veya sıfır kıvam özellikli betonlar gibi) tercih edilebildiği anlaşılmaktadır. Ayrıca bu betonların sığınak, radyasyona karşı zırh duvarı ve nükleer araştırma birimlerinde reaktör zırhları gibi özel kullanım yerleri göz önüne alındığında, karışımların homojenliği, normal ağırlıklı betonlara göre daha fazla özen gerektirmektedir. Bu betonların önümüzdeki yıllarda ülkemizde yapılması planlanan nükleer santral projelerinde kullanılabileceği de göz önüne alındığında terleme ve segregasyon direnci bakımından kalite kontrollerinin yapılması, yüksek dayanım değerlerinde üretilip soğurma özelliklerinin belirlenmesi önem kazanmaktadır.

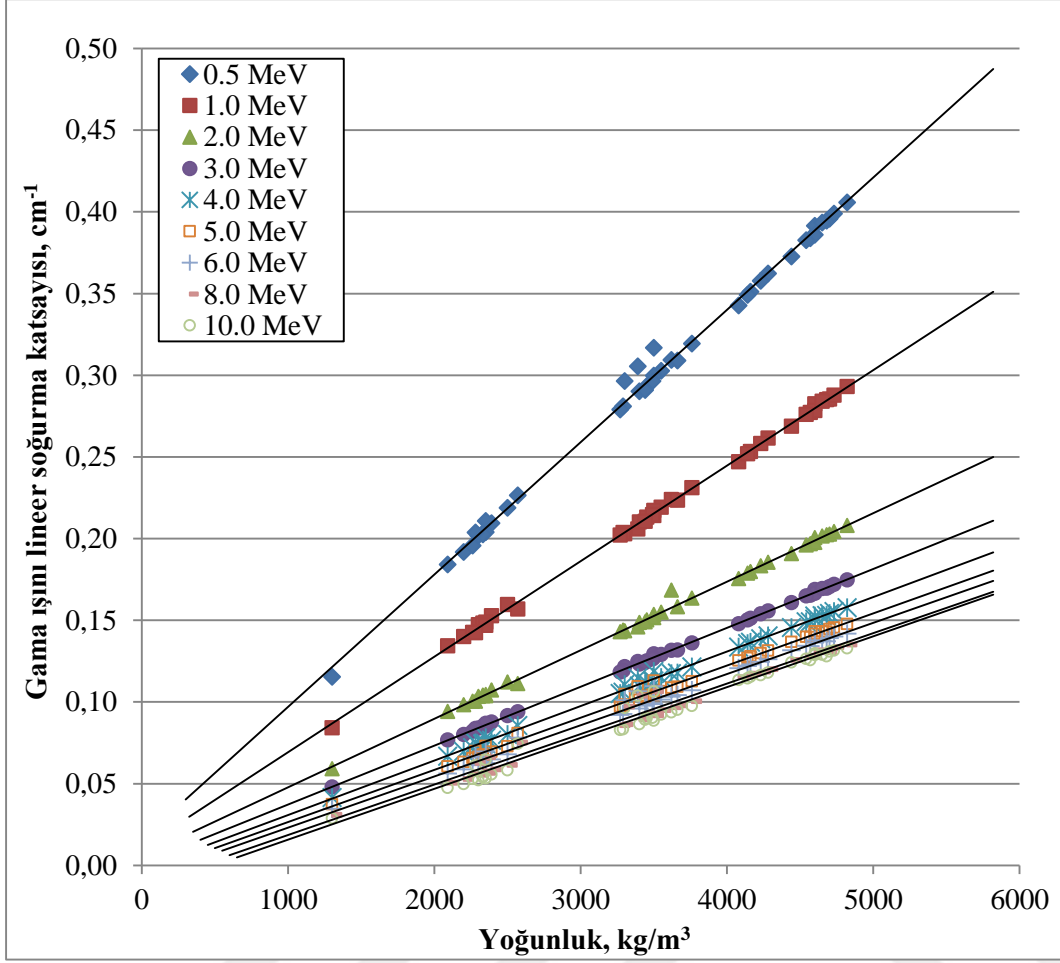
Bu tez kapsamında, farklı tip ve miktarlardaki akışkanlaştırıcı katkıların kullanımı ile 15 cm üzeri çökme değeri ile yüksek kıvamlı ağır beton (YKAB) karışımları ve düşük çökme yayılması sınıfında (SF1: 55 ile 65 cm çökme yayılması aralığında) ağır kendiliğinden yerleşen beton (AKYB) karışımları; farklı bağlayıcı dozajı, su/bağlayıcı oranı, viskozite düzenleyici katkı, silis dumanı ve uçucu kül kullanımı ile barit agregalı olarak hazırlanmıştır. YKAB karışımlarında çökme değerlerinin belirlenmesinden sonra terleme tayini yapılmıştır. Hazırlanan YKAB ve AKYB karışımlarının segregasyon özellikleri geleneksel olarak dilimlenebilir kolon kalıpta ıslak eleme yöntemi ile (kolon segregasyon yöntemi) ve ayrıca geliştirilen alternatif segregasyon yöntemleriyle de (yoğunluk segregasyon yöntemi ve 3-bölmeli elek yöntemi) araştırılmıştır. Sertleşmiş ağır beton numunelerin su emme, yoğunluk ve basınç dayanımı özellikleri belirlenmiştir. Gama spektrometre sisteminde NaI(Tl) sintilasyon dedektörü ile YKAB karışımları için ^{137}Cs ve ^{60}Co kaynakları ile 662, 1173 ve 1332 keV enerji seviyelerinde, lineer ve kütle soğurma katsayıları, yarı değer ile onda bir değer kalınlıkları belirlenmiş ve sonuçlar XCOM programı ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

STP 169-A'da (1966) Keyser (1932) tarafından bir baskül köprüde denge ağırlığı yapılması için ağır beton çalışıldığı belirtilmiştir. Bu betonda ince ve iri demir cevherleri ile çelik parçalar agrega olarak kullanılmıştır. Üretilen ağır betonların yoğunlukları 4350 kg/m^3 'lere kadar ulaşmıştır. Segregasyondan kaçınmak için harç miktarı iri agreganın boşluklarını dolduracak miktarın çok az üzerinde seçilmiş ve beton çökmesiz olarak üretilmiştir (STP 169-A, 1966).

STP169'da (1956) belirtildiği kadarıyla Callan (1954) maksimum tane boyutu 38 mm, iri agreganın kuru şişlenmiş birim ağırlığı 2500 kg/m^3 ve ince agreganın kuru şişlenmiş birim ağırlığı 2600 kg/m^3 olan barit agregasıyla ağır beton karışımları hazırlamıştır. Callan (1954), normal betonun yeterli kalınlıkla tatmin edici bir zırhlama sağlayacağını belirtmesine rağmen, ağır betonun yüksek yoğunluklu özel agregalarıyla daha az kalınlık gerektiren mükemmel bir zırh malzemesi olduğunu ifade etmiştir (STP169, 1956).

Walker ve Grotenhuis (1961) hazırladıkları raporda genel olarak gama ve nötron ışınlarına karşı hazırlanan ağır betonlarda ferfosfor, barit, magnetit, ilmenit, magnetit-çelik ve limonit-çelik agregası içeren 1949 ve 1961 yılları arasında yapılan çalışmaları derlemiştir. Üretilen ağır betonların yoğunlukları, ferfosfor agregasıyla 4820 kg/m^3 , barit agregasıyla 3500 kg/m^3 , magnetit agregasıyla 3620 kg/m^3 , ilmenit agregasıyla 3760 kg/m^3 , magnetit-çelik agregasıyla 4730 kg/m^3 ve limonit-çelik agregasıyla 4650 kg/m^3 değerlerine ulaşmaktadır. Genel olarak yüksek çimento içeriklerinde ($433\text{-}581 \text{ kg/m}^3$ aralığında) hazırlanan ağır beton karışımlarının suya doygunluk seviyesi ve yüksek sıcaklığın radyasyon koruma ve mekanik özelliklerine etkisi üzerine çalışılmıştır. Bu derleme çalışmada ağır betonların elementel içerikleri, 0.5 MeV ile 10 MeV arasında farklı enerji seviyelerindeki gama ve nötron soğurma özellikleri, sabitleri, etkili atom numaraları normal betonlarla kıyaslamalı olarak tablo haline getirilmiştir. Tablo olarak verilen bu gama ışını lineer soğurma katsayıları, beton yoğunluğu ve enerji seviyelerine göre grafikleştirilmiştir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Lineer soğurma katsayılarının enerji ve yoğunluğa bağlı olarak değişimi (Walker ve Grotenhuis; 1961)

Şekil 2.1'e bakıldığında, beton yoğunluğunun artması ve gama ışını enerjisinin azalması ile lineer soğurma katsayılarının artış gösterdiği net bir şekilde anlaşılmaktadır.

Graham (1986) normal agregata ile magnetit ve çelik bilye gibi ağır agregaları kullanarak birim ağırlıkları 2372 ile 4775 kg/m³ aralığında değişen beton karışımları hazırlamıştır. 377 kg/m³ çimento dozajında hazırlanan beton karışımlarının kıvamları ağır agregaların kullanımına bağlı olarak azaltılmıştır. Normal betonların çökme miktarı 8-10 cm aralığında, magnetit agregalı betonların çökme miktarı 7 cm ve çelik bilye agregalı betonların çökme miktarı 4 cm olduğu bildirilmiştir. Genel olarak farklı günlerde uygulanan dinamik ve statik yüklemeler altında normal betonların ve nükleer enerji santrali için oluşturulan ağır betonların basınç dayanımı, elastisite modülü, Poison oranı, yarmada-çekme dayanımları gibi malzeme sabitleri araştırılmıştır. Dinamik yüklemeler altında betonların basınç dayanımları, elastisite modülleri ve Poison oranları artış göstermiştir. ACI 318

(2008) tarafından betonun elastik modülün birim ağırlık ve basınç dayanımına göre hesaplanmasını öneren eşitlik, ağır betonların elastik modüllerini % 30 ile % 50 aralığında fazla hesaplamaktadır.

Nilsen ve Aitcin (1992) normal agrega, iki farklı hafif agrega ve ilmenit agregası kullanarak hazırladıkları yüksek dayanımlı betonların, kuruma büzülmesi, basınç dayanımı ve elastisite modüllerini araştırmıştır. 500 kg/m³ bağlayıcı dozajında hazırlanan beton karışımlarının hazırlanmasında yüksek oranda süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmış ve su/bağlayıcı oranları 0.27 olarak ayarlanmıştır. Hacmen karışım oranları normal ağırlıklı betonlara göre muadil olan ağır betonların kuruma büzülmesi ve basınç dayanımlarının daha düşük, elastisite modüllerin daha yüksek olduğu görülmüştür. Çalışmada, genel olarak basınç dayanımı ve yoğunluğa bağlı olarak önerilen elastisite modülü hesaplama eşitliklerin, bu betonlarda elastisite modüllerini önemli oranda gerçeğin üstünde hesapladığı belirtilmiştir.

Bashter vd. (1996) yaptıkları çalışmada hematit-serpentin ve ilmenit-limonit betonların hızlı nötron ve gama ışını için soğurma özelliklerini araştırmıştır. Genel olarak ilmenit-limonit betonlarda farklı enerji seviyelerinde hızlı nötron ve gama ışını soğurma katsayılarının hematit-serpentin betonlara göre daha iyi olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca çalışma kapsamında nötron ve gama ışını soğurma katsayılarının belirlenmesi için geliştirilen üstsel formüllerin ölçülen değerler ile kabul edilebilir seviyede yakın sonuçlar verdiği kaydedilmiştir.

Bashter (1997b) çalışmasında çelik hurda kullanarak hazırladığı ağır betonların bir takım soğurma özelliklerini normal betonlarla karşılaştırarak araştırmıştır. Ayrıca, hematit-serpentin, ilmenit-limonit ve ilmenit betonlarının soğurma özellikleri araştırılmış ve çelik hurda kullanılarak hazırlanan betonların sonuçları ile kıyaslanmıştır. Çelik hurdalı betonların belli bir kalınlık değerinde, nötron ve gama akışlarının bahsedilen beton tiplerine göre oldukça az olduğu vurgulanmıştır. Yarı değer kalınlıkları dikkate alınarak hem gama hem nötron için normal betondan çok daha iyi bir soğurucu olduğu anlaşılmıştır.

Başığit (2006) barit agregası ve normal agreganın ayrı ayrı ve birlikte kullanımları ile farklı su/çimento oranlarında normal ve ağır beton karışımları hazırlamıştır. Çalışmada, 310 ve 425 kg/m³ çimento dozajında, çökme değerleri 7.5 cm'ye varan betonların basınç dayanımları, beton çekici geri tepme sayıları, ultrases geçiş hızları ve gama ışını lineer soğurma katsayıları araştırılmıştır. 28 günlük basınç dayanımları 25 ile 52 MPa aralığında ve yoğunlukları 2406 ile 3507

kg/m³ aralığında değişen ağır betonların yoğunluklarının artmasıyla lineer soğurma katsayıları artış göstermiştir. ⁶⁰Co kaynağı için ortalama 1250 keV enerji seviyesinde ölçülen lineer soğurma katsayıları, XCOM'da kimyasal parametrelere göre teorik olarak hesaplanan lineer soğurma katsayılarından genel olarak daha düşük değerler verdiği görülmüştür.

Başığit vd. (2006), normal ve barit agregalı olarak 310 ve 425 kg/m³ çimento dozajında hazırladığı beton karışımlarında su/bağlayıcı oranı ve donma-çözünmenin lineer soğurma katsayıları üzerindeki etkisini araştırmıştır. Çalışmada, ⁶⁰Co kaynağının ortalama gama ışını enerjisinde (1250 keV), normal beton karışımlarına göre barit agregalı ağır beton karışımlarında daha yüksek soğurma katsayıları elde edilmiştir. Ağır betonların donma-çözünme etkisiyle lineer soğurma katsayılarının, düşük su/çimento oranında normal betonlara göre daha fazla azaldığı bildirilmiştir.

Yılmaz vd. (2011), silis dumanı, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu ikameli harçların 59.5 keV ve 661 keV enerjilerinde soğurma katsayılarını, yarı değer kalınlıklarını, etkili atom numaralarını ve etkin elektron yoğunluklarını belirlemiştir. Genel olarak radyasyon zırhlaması bakımından silis dumanı, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu harçlarda az miktarda değişikliklere yol açtığı ifade edilmiştir. Çimento yerine kullanılan ikame katkıların çevreci etkisi ve maliyetler üzerine olumlu etkisine dikkat çekilmiştir.

Topçu ve Uğurlu (2012), 350 kg/m³ çimento içeriği ile 0.30'dan 0.60'a kadar artan su/çimento oranında hazırladıkları barit agregalı ağır beton karışımlarının çökme değerleri, 0.5 cm ile 7 cm aralığındadır. 2 farklı çimento tipi ile (portland çimentosu ve portland kompoze çimento) hazırlanan betonların yoğunlukları, 3203 ile 3359 kg/m³ aralığında, 28 günlük basınç dayanımları ise, 26 ile 43 MPa aralığında değişmektedir. Genel olarak 0.40 su/çimento oranında hazırlanan ağır betonların, basınç dayanımları açısından daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Her iki çimento çeşidinin de gerek dayanım gerek birim ağırlık açısından bir farklılık oluşturmadığı ve çalışmada kullanılan barit agregasıyla hazırlanan ağır betonun, taşıyıcı beton olarak kullanabilir olduğu vurgulanmıştır.

Ün ve Demir (2013) farklı normal ve ağır kaynakların kullanılması ile yoğunlukları 2200 ile 2300 kg/m³ aralığında olan hafif betonlar ve yoğunlukları 3100 ile 5800 kg/m³ aralığında olan ağır betonlar hazırlamıştır. Toplamda hazırlanan 16 farklı beton grubunda 1 keV ile 100 GeV aralığında betonların kütle

soğurma katsayıları, efektif atom numaraları ve efektif elektron sayıları belirlenmiştir. Kütle soğurma katsayılarının çift oluşumu, foto-elektrik etki ve Compton saçılımına bağlı olduğu vurgulanmıştır. Etkin atom numarası ve elektron sayısı, normal ve ağır betonların element kompozisyonuna bağlı olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca betonların demir, baryum ve kalsiyum konsantrasyonlarının çalışmada kullanılan diğer element konsantrasyonlarına göre belirtilen özellikler üzerinde daha etkili olduğu anlaşılmıştır. Ağır betonların etkin atom numaraları ve elektron numaralarının normal betonlardan daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

Ouda (2015), barit ve magnetit gibi ağır agregalar ile geotit ve serpentin gibi normal ağırlıklı agregalar kullanarak 450 kg/m^3 çimento dozajlı silis dumanı, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu içeren ağır beton karışımlarını mutlak hacim yöntemine göre hazırlamıştır. Yüksek miktarda süper akışkanlaştırıcı kullanımıyla çökme değerleri 8 ile 12 cm aralığında olan betonların yoğunlukları 2430 ile 3510 kg/m^3 aralığında değiştiği ve 28 günlük basınç dayanımları ise 80 MPa değerine ulaştığı bildirilmiştir. Çalışmada yalnızca magnetit içeren beton karışımların ^{60}Co ve ^{137}Cs kaynakları için lineer soğurma katsayıları, yarı değer ve onda bir değer kalınlıkları belirlenmiştir.

Revulta vd. (2009) yaptıkları çalışmada, farklı oranlarda akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanarak çökme değerleri 3.5 cm'den 20 cm üzeri değerlere varan ağır beton karışımları hazırlamıştır. Betonların görsel açıdan segregasyon performansları incelenmiş ve basınç dayanımları araştırılmıştır. Akışkanlaştırıcı katkı maddesi ve çökme değerlerinin artışıyla yoğunluk ve dayanım değerlerinde bir olumsuzluk görülmemiştir. Ayrıca yüksek kıvam değerine sahip kendiliğinden yerleşen, görsel açıdan terleme ve segregasyona dirençli olarak hazırlanan bir ağır beton karışımında da düşey kalıpta üst ve alt tabakaların iri agrega dağılımı araştırılmış ve yeterli segregasyon direncini sağladığı görülmüştür. Çökme yayılması 630 mm olan bu betonun 500 mm yayılma süresi (T_{50}) 3 saniye, V hunisi akış süresi (T_v) 4 saniye ve bloklanma oranı 0.75 olarak bulunmuş ve bu betonların ilgili yerel kendiliğinden yerleşen beton yönetmelik kriterlerini sağladığı belirtilmiştir.

Igawa vd. (2017), yüksek oranlarda demir ve metal cürufu kullanarak çökme yayılmaları 41 ile 52 cm aralığında değişen farklı tip ve miktarlarda sentetik lif katkılı ağır beton karışımları hazırlamıştır. Radyoaktif maddelerin depolandığı yapı ve konteynirlerin duvarlarında radyoaktif sızıntı oluşturabilecek çatlakların önlenmesi için tasarlanan yüksek dayanımlı ağır betonların buhar küre ile

kendini iyileştirebilme performansları araştırılmıştır. Karışım metodunda genleşen malzemeler ve uçucu kül kullanımı ile kendini kür edebilme özelliği maksimize edilmiştir. Ayrıca beton karışımında sentetik liflerin kullanılmasının, ağır betonların kendini iyileştirme özelliklerine katkı sağladığı vurgulanmıştır.

Genel olarak bugüne kadar yapılan temel çalışmalarla enerji seviyesi, lineer soğurma katsayısı, soğurucu malzeme kalınlığı, gama ışını geçiş kalınlıkları (yarı değer, onda bir değer gibi) ve element yoğunlukları gibi bir takım temel özellikler arasındaki ilişkiler, nükleer fizik alanında iyi derecede bilinmektedir (Walker and Grotenhuis, 1961; Reilly et al., 1991; Tsoulfanidis, 1995; Knoll, 1999; Bartos, 1992). Ancak temel bilgilerin aksine, hafif element içeriğine sahip agregaların gama ışını soğurma özelliklerinin araştırılması ve yüksek element yoğunluğuna sahip karışımlarda ise nötron soğurma performansının araştırılması sonrasında beton karışımında kullanılan malzemelerin radyasyon zırhlamasına uygun olup olmadığına karar verilmesi, inşaat mühendisliğinde zırhlama malzemeleri çalışan araştırmacılar tarafından radyasyondan korunma konusunun tam olarak anlaşılmadığını göstermektedir. Radyoaktif soğurma çalışmalarında elde edilen bir takım sonuçların (lineer ve kütle soğurma katsayıları, yarı değer ve onda bir değer kalınlıkları) beton özellikleri ile (yoğunluk ve soğurucu kalınlığı) ilişkilerin hatalı olabildiği anlaşılmaktadır. Ayrıca elde edilen deneysel ölçümlerin gerekli düzeltme işlemlerinin yapılmadan (fotoelektrik etki, Compton saçılması, çift oluşumu ve doğal radyoaktivite girişimleri için kanal aralığı düzeltmeleri gibi) hesaplanan soğurma katsayılarının, XCOM ve Monte Carlo gibi programlarla hesaplanan teorik ölçümlerden çok uzaklaşabildiği anlaşılmaktadır.

Bor benzeri hafif elementleri içeren kaynakların beton karışımlarında kullanılmasının literatürün aksine nötronların soğurulmasında olumsuz ve gama ışınlarının soğurulmasında olumlu etkisinin olduğunu vurgulayan çalışmalar mevcuttur (Kharita vd., 2011; Demir ve Keleş, 2006). Ouda (2015) yaptığı çalışmada gama ışını lineer soğurma katsayıları ve yarı değer kalınlıklarının beton kalınlığına göre değiştiğini ifade etmiş ve grafiklendirmiştir. Ayrıca, gama ışını soğurma katsayılarının 660 keV ile 1330 keV aralığında araştırıldığı çalışmalarda enerji seviyesinin artmasıyla lineer soğurma katsayılarının arttığı ve yarı değer kalınlıklarının azaldığı bulgularına yer verilmiştir (Sakr, 2006; Sakr and El-Hakim, 2005).

Demir vd. (2011), yaptıkları çalışmada yüksek yoğunluklu barit agregasına ikame ettikleri bor içeren mineral olan kolemanit ve normal yoğunluklu beton

agregaların betonların lineer ve kütle soğurma katsayıları üzerindeki etkisini araştırmıştır. Genel olarak 663 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayılarının önemli ölçüde azaldığı ve kütle soğurma katsayılarında ise kayda değer bir değişim olmamak üzere artış ve azalışlar gösterdiği görülmüştür. Benzer şekilde gama ışınlarının soğurulmasında zeolit gibi hafif element kompozisyonuna sahip agregaların radyasyon zırlamasında uygun bir seçenek olmadığına karar verilmiştir (Akkurt vd., 2010c).

Gencel vd. (2011), yaptıkları çalışmada farklı oranlarda hematit agregası içeren betonların gama ışını ve nötron soğurma özelliklerini deneysel ve teorik olarak belirlemiştir. Ayrıca çalışmada hematit agregası oranlarının betonların basınç dayanımları üzerine etkisi araştırılmıştır. Genel olarak Monte Carlo simülasyon programı ve deneysel olarak belirlenen nötron ve gama ışını soğurma katsayılarının örtüşmediği anlaşılmaktadır. Ayrıca, teorik hesaplamada hematit içeriğine bağlı olarak artan beton yoğunlukları ile gama ışını lineer soğurma katsayıları arasında bir uyum görülmemiştir.

Tez çalışması kapsamında odaklanılan ağır beton ve soğurma özellikleri üzerine güncel literatürde bulunan çelişkili sonuçlar, bu kapsamda çalışmaların devam etmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, bir takım ikame katkılarının bu betonların taze ve sertleşmiş hal özellikleri ile gama ışını soğurma özellikleri üzerine etkisinin araştırıldığı çalışmaların da yetersiz olduğu anlaşılmaktadır.



3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1 Amaç

Bu tez çalışması kapsamında, ağır beton karışımlarının üretiminde kullanılan agrega yoğunluğunun betonun diğer bileşenlerine oranla çok yüksek olması sebebiyle yaşanan segregasyon ve düşük kıvamla üretim zorunluluğu gibi sıkıntıların üstesinden gelinerek ağır betonların iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Özellikle yeni nesil akışkanlaştırıcı, vizkozite düzenleyici katkı, silis dumanı ve uçucu kül gibi katkılardan yararlanarak daha işlenebilir ve segregasyon direncine sahip ağır beton üretimi hedeflenmiştir. Segregasyon açısından kalite kontrollerinin geleneksel segregasyon yöntemlerine göre daha pratik yöntemlerle yapılabilmesi için alternatif segregasyon belirleme yöntemleri de geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında, basınç dayanımları 30 ile 100 MPa aralığında olan ağır beton karışımları oluşturulmuştur. Bu karışımların yapısal ve ön germeli reaktör betonlarında kullanımı hedeflenmiştir. Ayrıca, karışımların hazırlanmasında %100 barit agregası kullanıldığı için, γ ışını lineer ve kütle soğurma katsayılarının normal betonlara göre kayda değer oranda yüksek olması hedeflenmiştir.

3.2 Kapsam

Tez çalışması kapsamında deneysel çalışma; (1) yüksek kıvamlı ağır beton (YKAB) karışımlarının oluşturulması ve karakterizasyonu, (2) kendiliğinden yerleşen ağır beton (AKYB) karışımlarının tasarımı ve karakterizasyonu olarak 2 aşamada gerçekleştirilmiştir.

Farklı tip ve miktarlardaki akışkanlaştırıcı katkıların kullanımı ile 15 cm üzeri çökme değeri ile yüksek kıvamlı ağır beton (YKAB) karışımları ve düşük çökme yayılması sınıfında (SF1: 55 ile 65 cm çökme yayılması aralığında) kendiliğinden yerleşen ağır beton (AKYB) karışımları; farklı bağlayıcı dozajı, su/bağlayıcı oranı, viskozite düzenleyici katkı, silis dumanı ve uçucu kül kullanımı ile barit agregalı olarak hazırlanmıştır. YKAB karışımlarında çökme değerlerinin belirlenmesinden sonra terleme tayini yapılmıştır. Hazırlanan YKAB ve AKYB karışımlarının segregasyon özellikleri geleneksel olarak kullanılan dilimlenebilir kolon kalıpta ıslak eleme yöntemi ile (kolon segregasyon yöntemi) ve ayrıca geliştirilen alternatif segregasyon yöntemleriyle de (yoğunluk segregasyon yöntemi ve 3-bölmeli elek yöntemi) araştırılmıştır. Sertleşmiş ağır beton numunelerin su emme, yoğunluk ve basınç dayanımı özellikleri belirlenmiştir. NaI(Tl) sintilasyon dedektörünün kullanıldığı gama spektrometre sistemi ile YKAB karışımlarından hazırlanan

numunelerin ^{137}Cs ve ^{60}Co kaynakları ile 662, 1173 ve 1332 keV enerjileri için lineer ve kütle soğurma katsayıları, yarı değer ile onda bir değer kalınlıkları belirlenmiş ve XCOM programı (başlık 3.4.9.4'e bakınız) ile teorik hesaplamaları yapılmıştır.

3.3 Kullanılan Malzemeler

Tez kapsamında şehir şebeke suyu ile hazırlanan beton karışımlarında kullanılan agrega, bağlayıcı ve kimyasal malzemelere ait detaylı bilgiler alt başlıklarda verilmektedir.

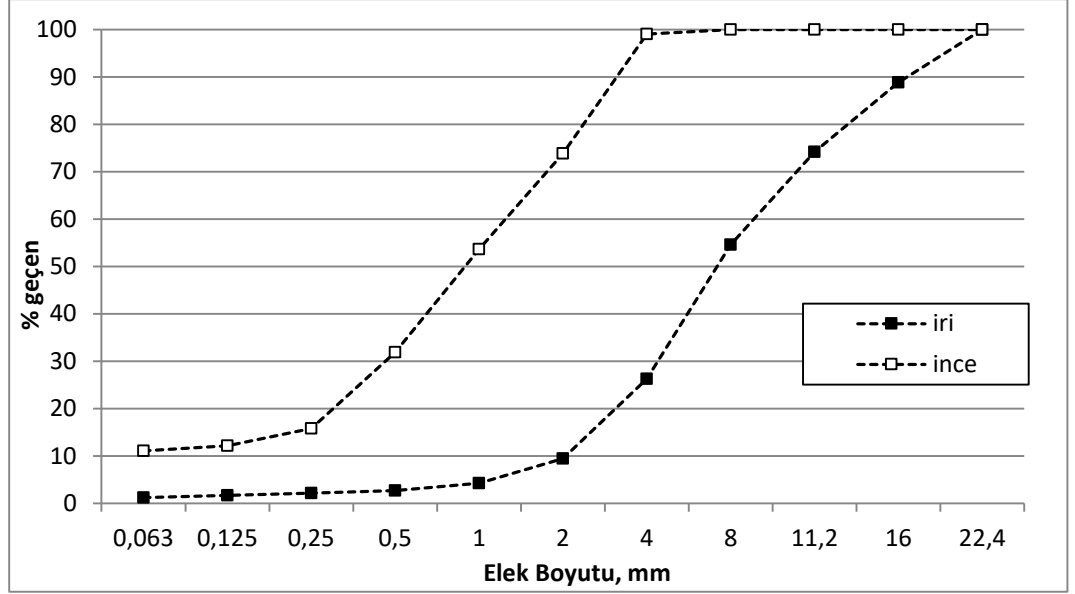
3.3.1 Agrega

Tez kapsamında, ASTM C 637 ve ASTM C 638 standartlarında tanımlanan ve radyasyon zırlama betonları için uygun olduğu belirtilen barit agregası kullanılmıştır. Isparta-Şarkikaraağaç mevkiinde bulunan Başer Madencilik'e ait tesisten 0-5 mm ve 5-20 mm elek aralığında temin edilen barit agregasının kimyasal kompozisyonu (Tablo 3.1), hazırlanan toz malzeme üzerinde EGE-MATAL'da yaptırılmıştır.

Tablo 3.1. Barit agregasına ait kimyasal içerikler

Oksitler	%, ağırlıkça
BaSO ₄	74.31
SiO ₂	14.80
Fe ₂ O ₃	0.53
Al ₂ O ₃	4.67
CaO	1.06
K ₂ O	0.85
MgO	0.42
P ₂ O ₅	0.07
MnO	0.25
SrO	0.75
V ₂ O ₅	1.17
Nd ₂ O ₃	0.83
Ta ₂ O ₅	0.01
Sc ₂ O ₃	0.09
Sm ₂ O ₃	0.08
Toplam	99.89

Barit agregaları üzerinde elek analizi TS EN 933-1'e (2012) göre yapılmış olup agregalara ait gradasyonlar Şekil 3.1'de verilmektedir.



Şekil 3.1. Barit agregasının elek analiz sonuçları

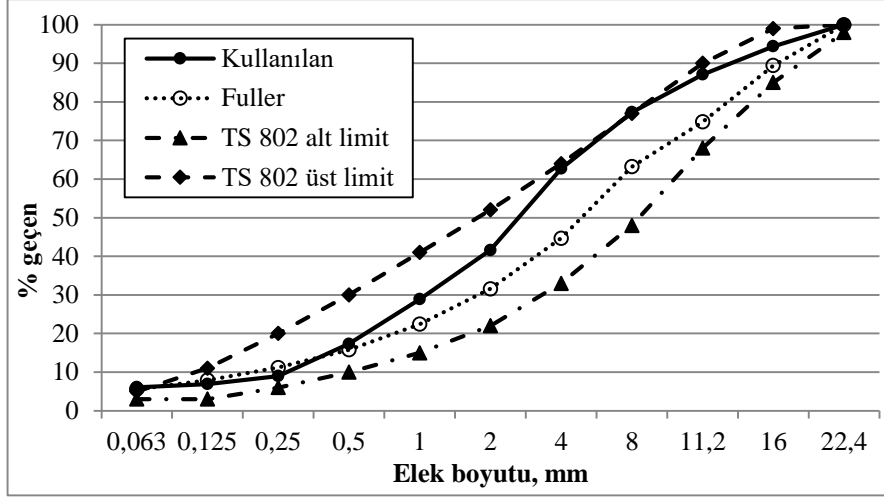
Ağır agregalar karışımları keskin köşeli kenar yapıları sebebiyle dişli olmaya daha yatkındır. Bu nedenle ağır betonlar, normal betondan daha fazla ince agregalar içermeli ve bu agregalar karışımında 150 μm altı malzeme içeriği % 10-16 aralığında olmalıdır (STP 169-A, 1966). Şekil 3.1'e bakıldığında ince barit agregasının toz içeriğinin (125 μm altı) yeterli olduğu anlaşılmaktadır.

Ayrıca agregaların TS EN 1097-6'ya (2013) göre belirlenmiş yoğunluk, su emme oranı ve nem içerikleri Tablo 3.2'de verilmektedir. Kendiliğinden yerleşen ağır beton (AKYB) karışımlarının tasarımında gerekli olan 125 μm altı barit tozunun yoğunluğu piknometre yöntemi ile 4127 kg/m^3 olarak bulunmuştur.

Tablo 3.2. Barit agregasının yoğunluk, su emme ve nem durumu

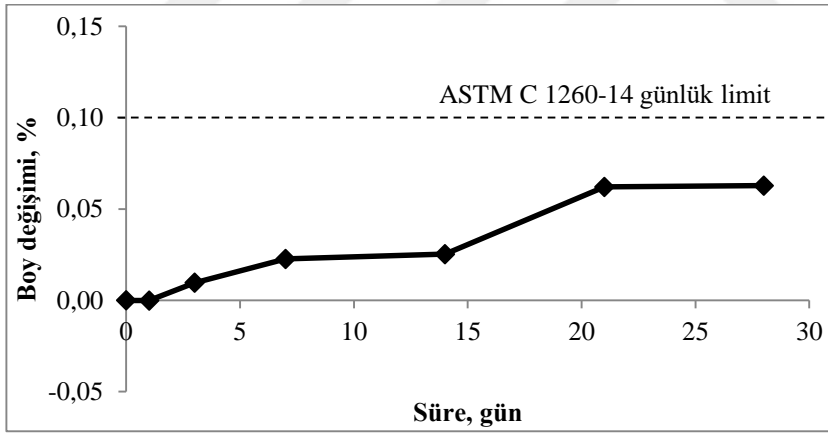
	$\gamma_{\text{dyk}}, \text{kg}/\text{m}^3$	$\gamma_{\text{kuru}}, \text{kg}/\text{m}^3$	su emme, %	nem, %
ince	4105	4083	0.54	0.15
iri	4015	3983	0.82	0.13

Tez kapsamında üretilen beton karışımlarında kullanılan agregalar karışımına ait gradasyon, Fuller eğrisi ($D_{\text{max}} 22.4 \text{ mm}$ için) ve TS 802 (2016) limitleri ($D_{\text{max}} 16 \text{ mm}$ için) Şekil 3.2'de verilmektedir. Betonlarda oluşabilecek dişli karışımın önlenmesi için daha fazla ince agregalar kullanılmıştır. Buna rağmen, barit agregası karışımının gradasyonu TS limitleri içerisinde tutulmuştur.



Şekil 3.2. Beton karışımında kullanılan agrega gradasyonu ve bazı limitler

Ayrıca barit agregasının potensiyel alkali reaktivitesi, ASTM C 1260'da verilen hızlandırılmış harç çubuğu yöntemine göre belirlenmiş ve 28 güne varan boy değişimleri yüzde Şekil 3.3'de sunulmuştur. Zamana bağlı boy değişimleri incelendiğinde, ilgili standart limitleri çerçevesinde bir miktar silis içeren barit agregasının reaktif olmadığı anlaşılmaktadır.



Şekil 3.3. Barit agregasının alkali silis reaktivitesi

3.3.2 Toz malzeme ve ikame katkıları

Tez kapsamında hazırlanan karışımlarda, Batıçim AŞ'den temin edilen CEM I 42.5 R tipi portland çimentosu kullanılmıştır. Çimentoya ikame edilerek kullanılan silis dumanı (SD) Antalya Etibank Ferrokrom İşletmesi'nden, F tipi uçucu kül (UK) Biga Termik Santralinden ve toz viskozite düzenleyici katkı (VISCOBETON-PD) Draco Yapı Kimyasalları AŞ'den temin edilmiştir. Çimento, viskozite düzenleyici katkı, silis dumanı ve uçucu küle ait bir takım kimyasal analiz

sonuçları (EGE-MATAL'da yapılmıştır) ve fiziksel özellikler Tablo 3.3'de verilmektedir.

Tablo 3.3. Çimento, silis dumanı ve uçucu küle ait kimyasal ve fiziksel özellikler

Bileşen (%)	Çimento	VD	SD	UK
SiO ₂	18.07	67.1	78.82	60.60
Fe ₂ O ₃	2.20	1.58	0.98	5.48
Al ₂ O ₃	5.76	1.15	0.00	23.00
CaO	62.92	14.5	2.35	2.18
MgO	1.54	5.47	6.41	0.79
Na ₂ O	0.35	2.20	1.68	-
K ₂ O	0.92	1.45	3.28	3.69
SO ₃	3.37	1.54	1.21	1.00
P ₂ O ₅	-	0.15	0.07	0.20
TiO ₂	-	0.06	0.00	2.32
Cr ₂ O ₃	-	3.13	-	0.04
Eu ₂ O ₃	-	0.04	-	0.02
PbO	-	0.05	-	0.01
ZnO	-	0.90	-	0.02
BaO	-	-	-	0.10
Cl	-	0.35	-	-
Kızdırma Kaybı	4.38	-	6.33	3.01
Özgül ağırlık	3.10	-	2.37	2.19
Özgül yüzey (cm ² /g)	3210	-	200000*	3030
0.090 mm elek üstü (%)	-	-	-	6.6
0.045 mm elek üstü (%)	0.5	-	-	23.1

* BET ile belirlenmiştir.

3.3.3 Akışkanlaştırıcılar

Tez kapsamında hazırlanan taze beton karışımlarının yüksek kıvam değerlerinde (15 cm ve üzeri çökme) elde edilmesinde kullanılan FLUICON 275 ve kendiliğinden yerleşen ağır betonlarda kullanılan LEVECON 5000 isimli yüksek oranda su azaltıcı katkı maddeleri Draco Yapı Kimyasalları AŞ'den temin edilmiştir. Çalışmada, sentetik polimer esaslı yüksek oranda su azaltıcı katkı maddesi olan FLUICON 275, süper akışkanlaştırıcı (SA) katkı maddesi olarak anılacaktır. Modifiye polikarboksilik eter polimer esaslı yüksek oranda su azaltıcı katkı olan LEVELCON 5000 ise, hiper akışkanlaştırıcı (HA) katkı maddesi olarak anılmıştır.

3.4 Yöntem

Tez çalışması kapsamında kullanılan agregaların tane boyu dağılımları TS EN 933-1' e (2012) göre, TS EN 933-2'de (1996) belirtilen elekler ve ilave olarak

11.2 ile 22.4 mm ara elekler kullanılarak yapılmıştır. İnce ve iri agregaların yoğunluk ve su emme değerleri TS EN 1097-6' ya (2013) göre, 0.125 mm altı barit tozu ve diğer toz malzemelerin yoğunluğu TS EN 1097-7' ye (2009) göre yapılmıştır.

Tez çalışması kapsamında ön laboratuvar çalışmalarındaki ve literatürdeki karışımlar göz önüne alınarak, ağır beton karışımları TS 802' de (2016) belirtilen mutlak hacim yöntemine göre yapılmıştır. İlk aşamada yüksek kıvamlı ağır beton (YKAB) karışımları oluşturulup ve ikinci aşamada kendiliğinden yerleşen ağır betonların (AKYB) karışımları oluşturulmuştur.

Hazırlanan beton karışımları, TS EN 12390-2' ye (2010) göre 100 mm ayrıtlı küp kalıplara yerleştirilmiş ve bir gün sonra kalıptan çıkarılan numunelere 28 günlük standart su kürü işlemi uygulanmıştır. Sertleşmiş numuneler üzerinde yapılan yoğunluk ve basınç dayanımı deneyleri Tablo 3.4'de verilen ilgili standartlara göre 100 mm ayrıtlı küp numuneler üzerinde yapılmıştır. Ağır betonların taze ve sertleşmiş hal özellikleri üzerinde yapılan temel fiziksel ve mekanik testler ile radyasyon testleri Tablo 3.4'de verilmektedir.

Tablo 3.4. Tez çalışması kapsamında yapılan deneyler ve ilgili metotlar

I. Aşama: Yüksek Kıvamlı Ağır Betonlar (YKAB)		
Betonun durumu	Deney	İlgili standart veya metot
Taze	Çökme	TS EN 12350-2 (2010)
	Yoğunluk	TS EN 12350-6 (2010)
	Terleme	TS EN 480-4 (2008) *
	Kolon segregasyon yöntemi	*
	Yoğunluk segregasyon yöntemi	*
Sertleşmiş	Yoğunluk	TS EN 12390-7 (2010)
	Su emme	*
	Basınç dayanımı	TS EN 12390-3 (2010)
	Gama ışını soğurma katsayıları	NaI(Tl) sintilasyon dedektörlü γ spektrometri sistemi *
II. Aşama: Ağır Kendiliğinden Yerleşen Betonlar (AKYB)		
Betonun durumu	Deney	İlgili standart veya metot
Taze	Çökme yayılması	ASTM C 1611 (2014) *
	T ₅₀	ASTM C 1611 (2014) *
	Görsel stabilite indeksi	ASTM C 1611 (2014) *
	J halkası yayılması	ASTM C 1621 (2014) *
	Bloklanma	ASTM C 1621 (2014) *
	Kolon segregasyon yöntemi	*
	Yoğunluk segregasyon yöntemi	*
Sertleşmiş	3 bölmeli elek testi	*
	Yoğunluk	TS EN 12390-7 (2010)
	Su emme	*
	Basınç dayanımı	TS EN 12390-3 (2010)

* Alt başlıklarda detaylı olarak anlatılmaktadır.

3.4.1 Karışımların hazırlanması

Normal ağırlıklı beton karışımlarının hazırlanması için geliştirilen birim hacim yöntemi, ağır betonların karışımları için de kullanılabilir (Bunsell ve Renard, 2005). Ağır betonlarda hedeflenen işlenebilirlik veya sabit su içeriği için çimento içeriği genel olarak daha fazladır (STP 169-A, 1966). Ağır kırma agregalar keskin kenar yapıları sebebiyle, normal betonlara göre dişli olmaya ve segregasyona uğramaya daha yatkındır. Ağır beton karışımlarının tasarımı genel olarak normal betonlarla benzer şekilde yapılmakla birlikte, bağlayıcı malzemenin dozajı 350 kg/m^3 'ün üzerinde olması önerilmektedir (Mehta ve Monteiro, 2006; Mindess vd., 2003).

Tez çalışması kapsamında ilk aşamada farklı oranlarda SA katkı maddesi kullanılarak 150 mm ve üzerinde çökme değerlerine sahip YKAB karışımları hazırlanmıştır. Bu karışımlarda viskozite düzenleyici (VD) katkı %0.2 ve 0.4, silis dumanı (SD) %10 ve 20 ve uçucu kül (UK) %15 ve 30 oranlarında çimento yerine ikame edilerek farklı bağlayıcı karışımları oluşturulmuştur. Su/bağlayıcı (s/b) oranları 0.48 ve 0.56 olan 350 kg/m^3 bağlayıcı dozajlı ve s/b oranları 0.40, 0.48 ve 0.56 olan 450 kg/m^3 bağlayıcı dozajlı toplam 35 ağır beton karışımının 1 m^3 için karışım oranları Tablo 3.5'de verilmektedir.

Tablo 3.5. YKAB karışım oranları

Karışım Kodu	Malzeme, kg/m ³								
	Çimento	VD	Katkı SD	UK	Su	Su/bağlayıcı	SA	Agrega*	
								0-5	5-20
350-0.56-ref	350.0	-	-	-	195.8		0.26	1364.0	1364.0
350-0.56-0.2VD	349.3	0.7	-	-	196.0		-	1362.9	1362.9
350-0.56-0.4VD	348.6	1.4	-	-	196.0		-	1361.6	1361.6
350-0.56-10SD	315.0	-	35	-	194.0	0.56	3.30	1351.2	1351.2
350-0.56-20SD	280.0	-	70	-	192.8		5.30	1339.0	1339.0
350-0.56-15UK	297.5	-	-	52.5	195.8		0.40	1349.7	1349.7
350-0.56-30UK	245.0	-	-	105	195.8		0.32	1335.4	1335.4
350-0.48-ref	350.0	-	-	-	164.6		5.60	1413.4	1413.5
350-0.48-0.2VD	349.3	0.7	-	-	164.5		5.83	1413.3	1413.3
350-0.48-0.4VD	348.6	1.4	-	-	162.0		10.00	1410.7	1410.7
350-0.48-10SD	315.0	-	35	-	165.0	0.48	5.03	1402.9	1402.9
350-0.48-20SD	280.0	-	70	-	164.2		6.36	1459.3	1459.4
350-0.48-15UK	297.5	-	-	52.5	165.6		4.02	1400.2	1400.2
350-0.48-30UK	245.0	-	-	105	165.9		3.45	1386.2	1386.2

* Agregalara ait nem düzeltilmesi yapılmış ve doygun yüzey kuru ağırlıkları verilmektedir.

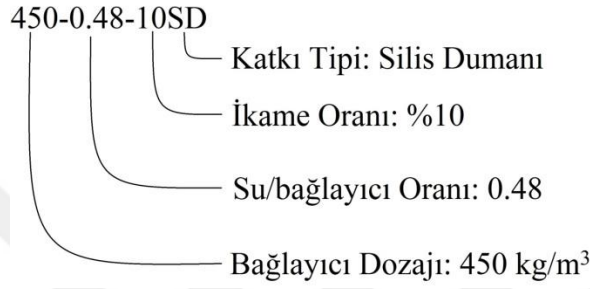
Tablo 3.5. (Devamı)

Karışım Kodu	Malzeme, kg/m ³								
	Çimento	VD	Katkı		Su	Su/bağlayıcı	S.A.	Agrega*	
			SD	UK				0-4	4-20
450-0.56-ref	450.0	-	-	-	-	-	-	1185.0	1185.0
450-0.56-0.2VD	449.1	0.9	-	-	-	-	-	1184.8	1184.8
450-0.56-0.4VD	448.2	1.8	-	-	-	-	-	1184.5	1184.5
450-0.56-10SD	405.0	-	45	-	252.0	0.56	-	1171.0	1171.0
450-0.56-20SD	360.0	-	90	-	-	-	-	1157.0	1157.0
450-0.56-15UK	382.5	-	-	67.5	-	-	-	1166.7	1166.7
450-0.56-30UK	315.0	-	-	135	-	-	-	1148.3	1148.3
450-0.48-ref	450.0	-	-	-	215.0	-	1.64	1250.7	1250.7
450-0.48-0.2VD	449.1	0.9	-	-	215.0	-	1.62	1252.8	1252.8
450-0.48-0.4VD	448.2	1.8	-	-	215.6	-	0.74	1253.0	1253.0
450-0.48-10SD	405.0	-	45	-	212.8	0.48	5.30	1236.7	1236.7
450-0.48-20SD	360.0	-	90	-	212.2	-	6.37	1222.0	1222.0
450-0.48-15UK	382.5	-	-	67.5	215.5	-	0.78	1235.2	1235.2
450-0.48-30UK	315.0	-	-	135	216.0	-	-	1217.3	1217.3
450-0.40-ref	450.0	-	-	-	177.3	-	7.60	1312.2	1312.2
450-0.40-0.2VD	449.1	0.9	-	-	175.0	-	8.37	1321.6	1321.6
450-0.40-0.4VD	448.2	1.8	-	-	174.0	-	10.03	1320.3	1320.3
450-0.40-10SD	405.0	-	45	-	175.6	0.40	7.38	1308.5	1308.5
450-0.40-20SD	360.0	-	90	-	174.1	-	9.81	1292.9	1292.9
450-0.40-15UK	382.5	-	-	67.5	175.4	-	7.63	1304.0	1304.0
450-0.40-30UK	315.0	-	-	135	176.4	-	6.00	1286.6	1286.6

* Agregalara ait nem düzeltmesi yapılmış ve doygun yüzey kuru ağırlıkları verilmektedir.

Tablo 3.5'e bakıldığında bağlayıcı dozajının azalması ve su/bağlayıcı oranlarının azalması SA katkı maddesinin kullanım oranlarını önemli ölçüde artırmaktadır. 350 kg/m³ bağlayıcı dozajlı, 0.40 su/bağlayıcı oranında SA katkı maddesi, YKAB karışımlarının hedeflenen yüksek kıvam değerlerinde üretilmesine izin vermemiştir. Bu karışım serisi çalışma kapsamından çıkarılmıştır.

Tez çalışmasında, YKAB karışımları sırasıyla; bağlayıcı dozajı, su/bağlayıcı oranı, ikame katkı oranı ve tipi olacak şekilde kodlanmıştır. Bu karışım kodlamasıyla ilgili bir örnek Şekil 3.4'de verilmektedir.



Şekil 3.4. YKAB karışımlarının örnek kodlanması

Tez çalışması kapsamında ikinci aşamada farklı oranlarda HA katkı maddesi kullanılarak EFNARC'a (2005) göre SF1 sınıfında (55-65 cm çökme yayılması aralığında) AKYB karışımları hazırlanmıştır. Bu karışımlarda viskozite düzenleyici (VD) katkı %0.4, silis dumanı (SD) %20 ve uçucu kül (UK) %30 oranlarında çimento yerine ikame edilerek farklı bağlayıcı karışımları oluşturulmuştur. Su/bağlayıcı (s/b) oranları 0.32 ve 0.40 olan 450 kg/m³ bağlayıcı dozajlı toplam 8 ağır beton karışımının 1 m³ için karışım oranları Tablo 3.6'da verilmektedir.

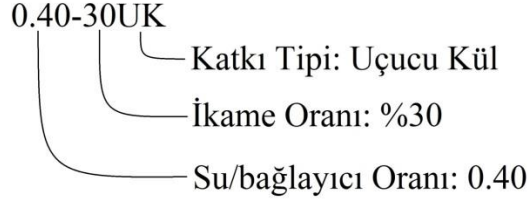
Tablo 3.6. AKYB karışım oranları

Karışım Kodu	Malzeme, kg/m ³								
	Çimento	VD	Katkı		Su	su/bağlayıcı	HA	Agrega*	
			SD	UK				0-4	4-20
0.40-ref	450.0	-	-	-	178.8		2.06	1325.8	1325.8
0.40-0.4VD	448.2	1.8	-	-	178.7	0.40	2.18	1325.2	1325.2
0.40-20SD	360.0	-	90	-	177.8		3.60	1296.8	1296.8
0.40-30UK	315.0	-	-	135	179.0		1.60	1289.4	1289.4
0.32-ref	450.0	-	-	-	139.2		7.94	1395.2	1395.2
0.32-0.4VD	448.2	1.8	-	-	139.2	0.32	8.00	1394.6	1394.6
0.32-20SD	360.0	-	90	-	140.6		5.62	1368.6	1368.6
0.32-30UK	315.0	-	-	135	139.6		7.30	1358.9	1358.9

* Agregalara ait nem düzeltmesi yapılmış ve doymun yüzey kuru ağırlıkları verilmektedir.

Su/bağlayıcı oranının azalması ile AKYB karışımlarının HA katkı kullanım oranlarını benzer yayılma değerleri için önemli oranda artığı anlaşılmaktadır.

Tez çalışmasında, AKYB karışımları sırasıyla; su/bağlayıcı oranı, ikame katkı oranı ve tipi olacak şekilde kodlanmıştır. Bu karışım kodlamasıyla ilgili bir örnek Şekil 3.5’de verilmektedir.



Şekil 3.5. AKYB karışımlarının örnek kodlaması

AKYB karışımlarına ait bir takım karışım özellikleri, EFNARC (2005) raporunun KYB’ler için önerdiği aralıklarla ile birlikte Tablo 3.7’de verilmektedir.

Tablo 3.7. AKYB'lerin karışım özellikleri, m³

Karışım Kodu	Toz (DTİ*) kg/m ³	Hamur lt/m ³	Su lt/m ³	İri Agrega lt/m ³	İnce/Toplam Agrega (Ağırlıkça)	Su/Toz (Hacimce)
0.40-ref	633.0 (569.7)	370.9	180.0	330.2	0.50	0.95
0.40-0.4VD	632.9 (569.6)	371.2	180.0	330.1	0.50	0.94
0.40-20SD	629.0 (567.1)	384.2	180.0	323.0	0.50	0.89
0.40-30UK	627.9 (566.4)	387.6	180.0	321.1	0.50	0.87
0.32-ref	642.5 (576.0)	339.0	144.0	347.5	0.50	0.75
0.32-0.4VD	642.5 (575.9)	339.3	144.0	347.4	0.50	0.75
0.32-20SD	638.9 (573.6)	351.2	144.0	340.9	0.50	0.70
0.32-30UK	637.5 (572.7)	355.7	144.0	338.5	0.50	0.69
EFNARC, 2005	380-600	300-380	150-210	270-360	0.48-0.55	0.85-1.10

* Düzeltilmiş toz içeriği (DTİ) Denklem 3.1'e göre hesaplanmıştır.

EFNARC (2005) tarafından önerilen toz içeriği limitleri normal ağırlıklı KYB karışımları için ağırlıkça ($380-600 \text{ kg/m}^3$ aralığında) verilmektedir. Çalışmada ağır barit agregasından gelen 0.125 mm altı ağır toz malzemenin toz içeriğini bu limitin üstüne çıkarttığı görülmektedir. 0.125 mm altı ağır barit tozunun kütlesi, ortalama kireçtaşı tozunun yoğunluğuna bağlı olarak Denklem 3.1'e göre düzeltilmiştir. Ayrıca su/bağlayıcı oranı düşük olan karışım serilerinde (0.32), hacimce su/toz içeriği önerilen limit değerlerin altında kalmaktadır.

$$DT\dot{I} = B + [W_{bt} \times (2.7 / \gamma_{bt})] \quad (3.1)$$

DTİ: Düzeltilmiş toz içeriği, kg/m^3

B: Bağlayıcı miktarı, kg/m^3

W_{bt} : 0.125 mm altı barit tozu miktarı, kg/m^3

γ_{bt} : 0.125 mm altı barit tozunun yoğunluğu, kg/m^3

3.4.2 Terleme

Tez çalışması kapsamında hazırlanan YKAB karışımlarının üzerinde terleme tayini deneyi TS EN 480-4' e (2008) göre Şekil 3.6'da verilen standart özelliklerde silindirik kap kullanılarak yapılmıştır. Taze beton karışımın yatay konumdaki zemin üzerinde bulunan terleme kabı içerisine 3 katman halinde 25 kez şişlenerek yerleştirilmesinden ve hafif bir şekilde perdahlamasından sonra deney süresi başlatılmıştır. Deneyde 40. dakikaya kadar 10'ar dakika arayla ve sonrasında 30 dakikada bir, terleme kabının yatay konumdan sarsılmadan kontrollü bir şekilde eğilmesi sonrasında, terleme suyu toplandığı kenardan enjektör yardımı ile alınmış ve terleme sona erinceye kadar bu işleme devam edilmiştir.



Şekil 3.6. Terleme tayininde kullanılan standart kalıp

Her bir terleme süresi ve toplam terleme miktarları için terleme kapasitesi (TK), beton numunesinde bulunan toplam su kütlesine oranla %'ce Denklem 3.2'ye göre hesaplanmıştır.

$$TK = (M_{ter} / M_{su}) \times 100 \quad (3.2)$$

TK: Terleme kapasitesi, %

M_{ter} : Terleme miktarı, kg

M_{su} : Numunede bulunan toplam su kütlesi, kg

Ayrıca betonların birim zamanda (saat) ve birim alanda (m^2) gerçekleştirdiği terleme miktarları (kg), terleme süresine bağlı olarak kümülatif bir şekilde Denklem 3.3'e göre belirlenmiş ve terleme hızı (TH) olarak ifade edilmiştir.

$$TH = M_t / t \times A \quad (3.3)$$

TH : Terleme hızı, $kg / m^2 \cdot saat$

M_t : Terleme miktarı, kg

t : Terleme süresi, saat

A : Terleme yüzey alanı, m^2

3.4.3 Çökme yayılması, akış hızı ve görsel stabilite indeksi

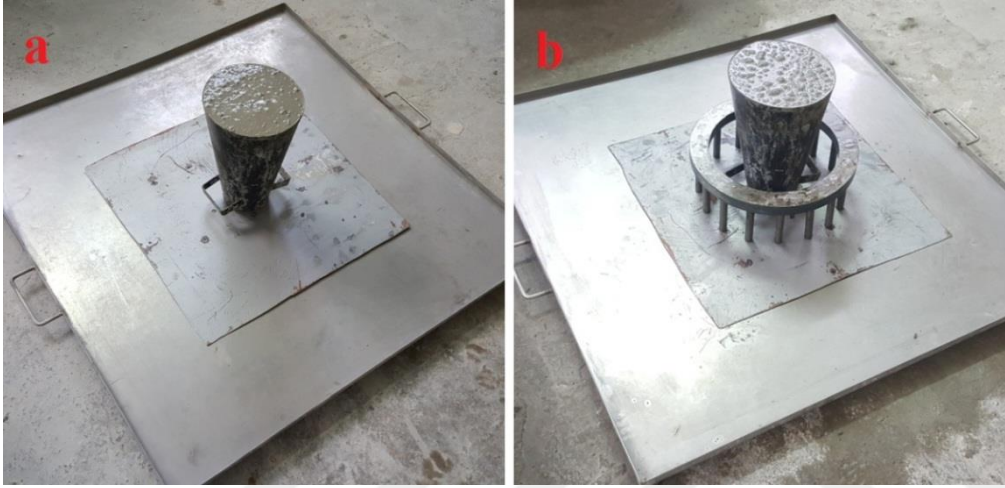
Tez çalışması kapsamında hazırlanan AKYB karışımlarının doldurma özelliklerinin araştırılması için, ASTM C 1611'e (2014) uygun olarak standart çökme konisi ters kullanılmak suretiyle çökme yayılma çapları belirlenmiştir.

Koninin çekildiği andan itibaren betonların çökme yayılması ortalama 50 cm çapa ulaşıncaya kadar geçen süre T_{50} süresi olarak 0.1 saniye hassasiyetle belirlenmiştir. Kendiliğinden yerleşen betonun akış hızı betonun viskozitesi ile doğrudan ilişkili olduğu için T_{50} süresi bu betonların göreceli viskozite değerleri hakkında fikir vermektedir.

Ayrıca çökme yayılması sonrasında betonların göstermiş oldukları statik segregasyon, ilgili standartta yer alan görsel stabilite indeksi nitel sınıflama tablosuna bakılarak; 0 (fazlasıyla segregasyona dirençli), 1 (segregasyona dirençli), 2 (segregasyon var) ve 3 (aşırı segregasyon var) olarak sayısallaştırılmıştır.

3.4.4 J halkası yayılması ve bloklanma

Tez çalışması kapsamında hazırlanan AKYB karışımlarının geçiş özelliklerinin belirlenmesi için ASTM C 1621'e (2014) göre J halkası yayılması deneyi yapılmıştır. İlgili standarda göre üretilmiş J halkası aparatının engellerinden geçerek yayılan AKYB karışımlarının nihai yayılma çapları ölçülmüştür. KYB'nin geçiş performansının bir ifadesi olan bloklanma, standart çökme yayılması (Şekil 3.7a) ile J halkası yayılmalarının (Şekil 3.7b) farkıdır.



Şekil 3.7. Çökme yayılması ve J halkası deneylerinin uygulanışı

3.4.5 Kolon segregasyon yöntemi

Genel olarak katmanlar halinde iri agrega dağılımını araştıran testlerden elde edilen segregasyon parametreleri güvenilir kabul edilmekte, alternatif segregasyon yöntemlerinin geçerliliğinin sorgulanmasında geleneksel ve standart bir test yöntemi olarak kullanılmaktadır (Safawi et al., 2004; Safawi et al., 2005; Otsuki et al., 1996; ASTM C 1610, 2014; Bartos et al., 2002; Sonebi et al., 2007; Mouret et al., 2008).

Tez çalışması kapsamında kızaklar vasıtasıyla düşey doğrultuda 3 katmana ayrılabilir 150x150x454 mm ebatında kolon kalıp tasarlanmıştır. Kalıbın her katmanı net 150 mm ayrıtlı küp ebatındadır. Bu kalıpta taze betonlar 3 bölmede ayrı ayrı ıslak elenerek 5 mm üzeri iri agrega dağılımları kaydedilmiştir. Bu yöntem kolon segregasyon yöntemi (KSY) olarak adlandırılmaktadır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Kolon segregasyon yönteminin uygulaması

Tez çalışması kapsamında hazırlanan YKAB karışımlarının segregasyon kalıbına şişleme çubuğu ile 3 katman halinde sıkıştırılarak yerleştirilmesinden sonra dinamik segregasyon durumları KSY ile araştırılmıştır.

Ayrıca AKYB karışımlarının herhangi bir dinamik etki uygulanmadan bu kalıba akıtılıp 15 dakika bekletilmesinden sonra statik segregasyon durumları da KSY ile araştırılmıştır.

KSY’de kalıbın katmanlarında elde edilen 5 mm üzeri agrega taneleri doygun kuru yüzey haline getirilmiştir. Katmanlardaki iri agrega kütleleri arasındaki fark, istatistikte bilinen varyasyon katsayısı eşitliği ile anlamlandırılmış ve kolon segregasyon katsayısı (SK_{kol}) olarak ifade edilmiştir. YKAB ve AKYB karışımlarının dinamik ve statik kolon segregasyon katsayıları, Denklem 3.4’e göre %’ce hesaplanmıştır.

$$SK_{kol} = \sqrt{\frac{\sum(x_i - x_o)^2}{n-1}} \times 100 \quad (3.4)$$

SK_{kol} : Kolon segregasyon katsayısı, %

x_i : Her bir katmandaki 5 mm üzeri agreganın doygun kuru yüzey ağırlığı, g

x_o : Kalıbın katmanlarındaki iri agrega kütlelerinin aritmetik ortalaması, g

n: Katman sayısı

3.4.6 Yoğunluk segregasyon yöntemi

Wang vd. (2013) tarafından ilk kez normal ağırlıklı betonlar için uygulanan bu yöntemde betonun düşey kalıbın üst ve alt katmanlarında ağırlık farklılıklarının segregasyon derecesi olarak değerlendirilebileceği gösterilmiştir.

Yoğunluk segregasyon yöntemi (YSY) tez çalışması kapsamında YKAB ve AKYB karışımlarının Şekil 3.8’de verilen kalıp kullanılarak eş hacimli düşey katmanlardaki betonların kütle farklılıklarını göz önüne alarak bu betonların segregasyon durumlarının araştırıldığı alternatif bir yöntemdir.

Tez çalışması kapsamında hazırlanan YKAB karışımlarının segregasyon kalıbına şişleme çubuğu ile 3 katman halinde şişlenerek yerleştirilmesinden sonra dinamik segregasyon durumları YSY ile araştırılmıştır.

Ayrıca AKYB karışımlarının herhangi bir dinamik etki uygulanmadan bu kalıba akıtılıp 15 dakika bekletilmesinden sonra statik segregasyon durumları da YSY ile araştırılmıştır.

YSY’de kalıbın katmanlardaki betonun kütleleri arasındaki fark, istatistikte bilinen varyasyon katsayısı eşitliği ile sayısallaştırılmış ve yoğunluk segregasyon katsayısı ($SK_{yoğ}$) olarak ifade edilmiştir. YKAB ve AKYB karışımlarının dinamik ve statik yoğunluk segregasyon katsayıları, Denklem 3.5’e göre %’ce hesaplanmıştır.

$$SK_{yoğ} = \frac{\sqrt{\frac{\sum(x_i - x_o)^2}{n-1}}}{x_o} \times 100 \quad (3.5)$$

$SK_{yoğ}$: Yoğunluk segregasyon katsayısı, %

x_i : Her bir katmandaki betonun kütlesi, g

x_o : Kalıbın katmanlardaki beton kütlelerinin aritmetik ortalaması, g

n: Katman sayısı

3.4.7 3 bölmeli elek testi

Tez çalışması kapsamında kullanılan 3 bölmeli elek testi, AKYB’nin dinamik segregasyonunu belirlemek için geliştirilen yeni bir yöntemdir. Temel olarak AKYB’nin çökme yayılması sonrasında 10 mm üzeri iri agreganın dağılımı 3

dairesel bölmede araştırılmaktadır. Her bir dairese bölme eşit alana sahiptir. AKYB'nin çökme yayılması ve J halkası yayılmasından sonra elek taze betonun merkezine dikkatli bir biçimde yerleştirilir. Ardından elek, alt plakası ile birlikte dikkatlice ters çevrilerek plaka çıkarılır. Elek içerisindeki betonun ıslak olarak elenmesinin ardından her bir bölmedeki iri agregalar (10 mm üzeri) ayrı ayrı tartılır. Tez çalışması kapsamında 50 cm çapında üretilen 3 bölmeli elek testinin uygulama ayrıntıları Şekil 3.9.'da verilmektedir.



Şekil 3.9. 3 bölmeli elek testinin uygulama ayrıntıları

3 bölmeli elek testinde eleğin bölmelerinde bulunan 10 mm üzeri iri agreganın kütleleri arasındaki fark, istatistikte bilinen varyasyon katsayısı eşitliği ile sayısallaştırılmış ve elek segregasyon katsayısı (SK_{elek}) olarak ifade edilmiştir. AKYB karışımlarının dinamik elek segregasyon katsayıları, Denklem 3.6'ya göre %'ce hesaplanmıştır.

$$SK_{elek} = \frac{\sqrt{\frac{\sum(x_i - x_o)^2}{n-1}}}{x_o} \times 100 \quad (3.6)$$

SK_{elek} : Elek segregasyon katsayısı, %

x_i : Her bir bölmedeki agrega kütlesi, g

x_o : Eleğin bölmelerindeki agrega kütlelerinin aritmetik ortalaması, g

n: Katman sayısı

3.4.8 Su emme

Tez çalışması kapsamında hazırlanan 100 mm ayrıtlı küp numunelerin 28 günlük standart kütleme işlemi sonrasında su emme özellikleri TS EN 12390-7 (2010) standardına uygun olarak Denklem 3.7'ye göre %'ce belirlenmiştir.

$$w = [(DKY-K) / K] \times 100 \quad (3.7)$$

w: Su emme oranı, %

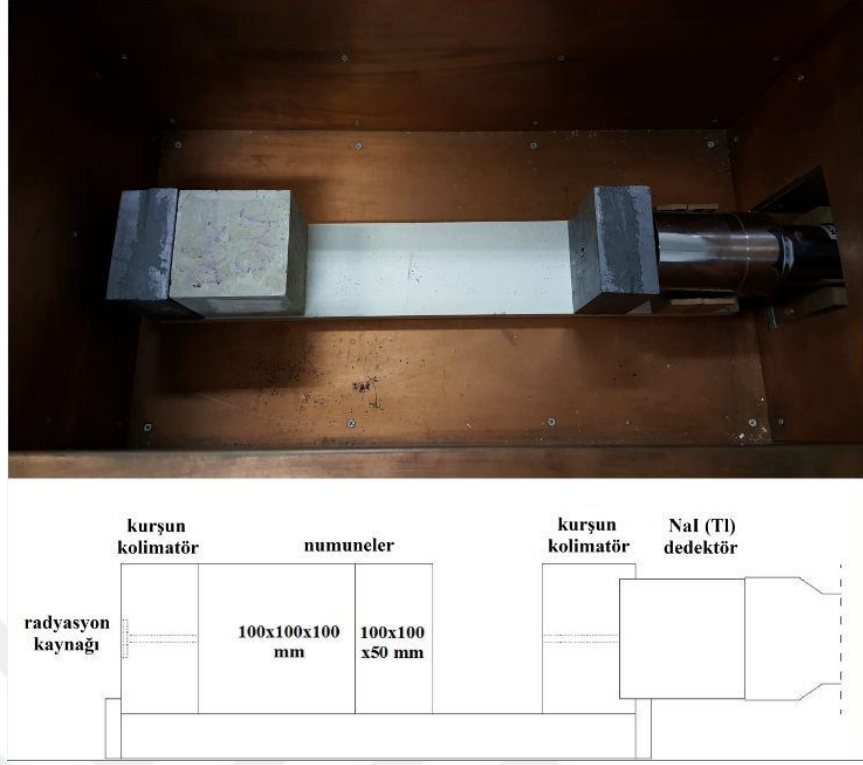
DKY: Doygun kuru yüzey ağırlığı, g

K: Etüv kurusu ağırlığı, g

3.4.9 Gama ışını soğurma katsayıları

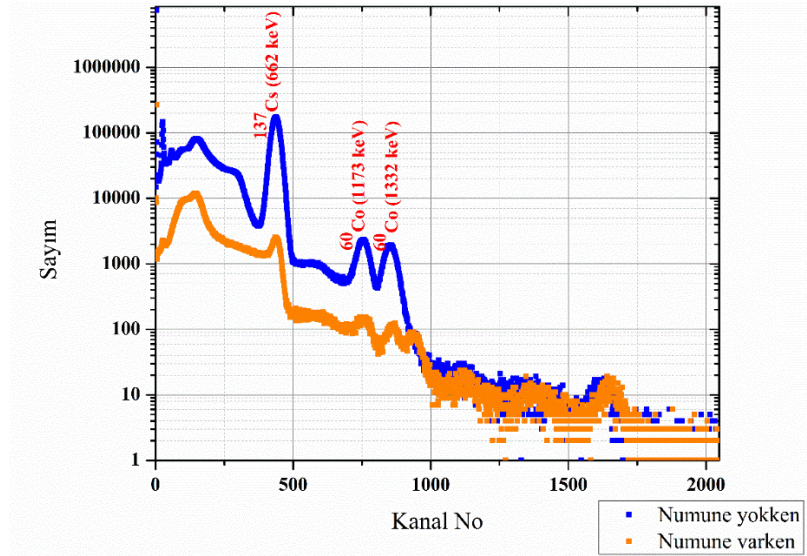
Gama spektroskopik ölçümler Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarında gama ışınları için yüksek verime sahip CANBERRA marka 3x3" (inç) NaI(Tl) sintilasyon dedektörü, PC-bazlı çok kanallı plus yüksekliği analizörü (4096 kanal) ve buna bağlı elektronik donanımdan oluşan gama spektrometre sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Enerji rezülasyonu (ayırma gücü) ¹³⁷Cs'nin 662 keV enerjili gamaları için %7.5 olan dedeksiyon sistemi 1.5 mm kalınlığında bakır folyo ile kaplanmış olan 110 mm kalınlığında kurşun ile zırhlanmıştır.

Tez çalışması kapsamında gama ışınları için lineer soğurma katsayıları belirlenecek olan YKAB karışımları ile hazırlanan 3'er adet 100 mm ayrıtlı küp numuneler, 28 günlük standart su küre işlemine tabi tutulmuş ve 1 tanesi kesilerek yarım kalınlığa (50 mm) indirilmiştir. Sertleşmiş numunelerin 24 saat boyunca 105±5°C'de etüv kurusu haline getirilmesinden sonra gama ışını soğurma katsayıları belirlenmesi için deneysel ölçümler yapılmıştır. Deneysel ölçümlerde Şekil 3.10'da verilen kolimatör düzeneği kullanılarak, IAEA (Uluslararası Atom Enerji Kurumu) standardında nokta kaynaktan çıkan gama ışınlarının dar paralel demet olarak beton numuneler üzerine düşmesi sağlanmıştır.



Şekil 3.10. Hazırlanan kolimatör düzeneği ve betonların yerleştirilmesi

Tez çalışmasında hazırlanan YKAB numunelerin radyasyon zırlama amacı ile kullanımının araştırılması hedefi ile ^{137}Cs (662 keV) ve ^{60}Co (1172 ve 1332 keV) gama kaynakları kullanılarak, 10000 saniye boyunca farklı numune kalınlıkları için gama spektrometrik ölçümler alınmıştır. İlgili ölçümlerden 450-0.56-ref kodlu numunenin 10000 saniye süre ile alınan gama spektrumu Şekil 3.11’de örnek olarak verilmiştir.



Şekil 3.11. Numune varken (20 cm) ve yokken 450-0.56-ref kodlu numune için alınan spektrumlar

3.4.9.1 Lineer soğurma katsayıları

Hubbell'in (1999) çalışmasında belirttiği Bouguer-Lambert-Beer üstel soğurma yasasına göre hesaplanan lineer soğurma katsayısı Denklem 3.8'den elde edilmiştir.

$$\mu = \frac{\ln\left(\frac{N_0}{N_x}\right)}{x} \quad (3.8)$$

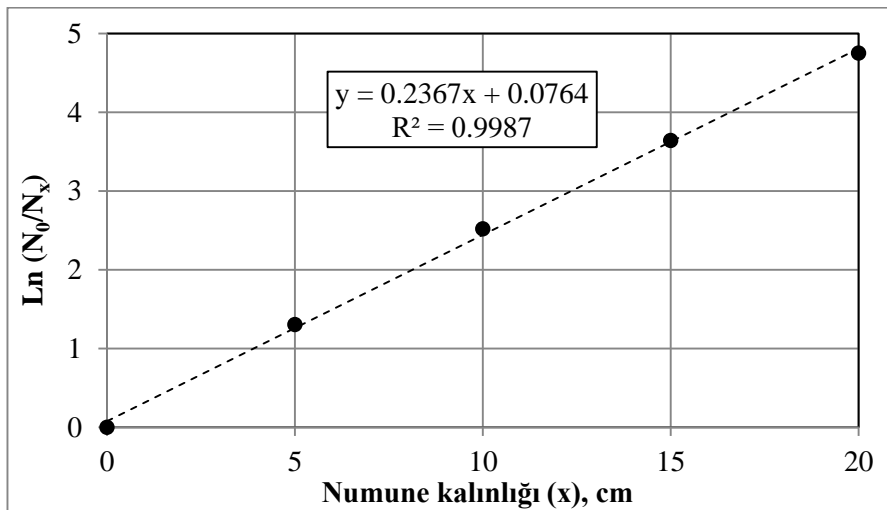
N_0 : Numune yokken alınan sayım değeri

N_x : Her bir numune kalınlığı için alınan sayım değeri

x : Numune kalınlığı, cm

μ : Lineer soğurma katsayısı, cm^{-1}

NaI(Tl) sintilasyon dedektörü kullanılarak, ilk önce kaynak ile dedektör arasında numune yokken gama radyasyonu şiddeti ölçülmüş ve N_0 olarak kaydedilmiştir. Daha sonra, dedektör ile kaynak arasına beton numuneler yerleştirilerek 4 farklı beton kalınlığı (50, 100, 150 ve 200 mm) için gama radyasyonu şiddetleri ile orantılı olan ve pik alanlarını içeren N_x sayım hızları ölçülmüştür. Denklem 3.8 ile verilen Bouguer-Lambert-Beer üstel soğurma yasası kullanılarak üretilen her bir numune için lineer soğurma katsayıları hesaplanmıştır. Şekil 3.12 örneğinde, 450-0.56-ref kodlu numunenin ^{137}Cs 'un 662 keV enerjili gama ışınları için lineer soğurma katsayısının belirlenmesinde kullanılan regresyon doğrusu, 5 farklı kalınlık değeri (cm) için sayım miktarlarının oranının doğal logaritmaları (\ln) alınarak lineer olarak oluşturulmuştur. Bu işlemler çalışmadaki tüm YKAB serileri için tekrar edilmiştir.



Şekil 3.12. Sayım değerleri oranının doğal logaritması ile numune kalınlığı ilişkisi

Şekil 3.12’de gösterildiği şekilde elde edilen lineer doğrunun eğimi, YKAB karışımlarının ortalama lineer soğurma katsayısını (μ) Denklem 3.8’e uygun olarak cm^{-1} biriminde ifade etmektedir.

3.4.9.2 Yarı ve onda bir değer kalınlıklarının belirlenmesi

Bu çalışmada, yarı değer kalınlıkları Denklem 3.9 ve onda bir değer kalınlıkları Denklem 3.10 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$x_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (3.9)$$

$$x_{1/10} = \frac{\ln 10}{\mu} \quad (3.10)$$

$x_{1/2}$: Yarı değer kalınlığı, cm

$x_{1/10}$: Onda bir değer kalınlığı, cm

μ : Lineer soğurma katsayısı, cm^{-1}

3.4.9.3 Kütle soğurma katsayıları

Tez çalışması kapsamında, kütle soğurma katsayısı numunenin lineer soğurma katsayısına ve yoğunluğuna bağlı olarak Denklem 3.11’e göre belirlenmiştir.

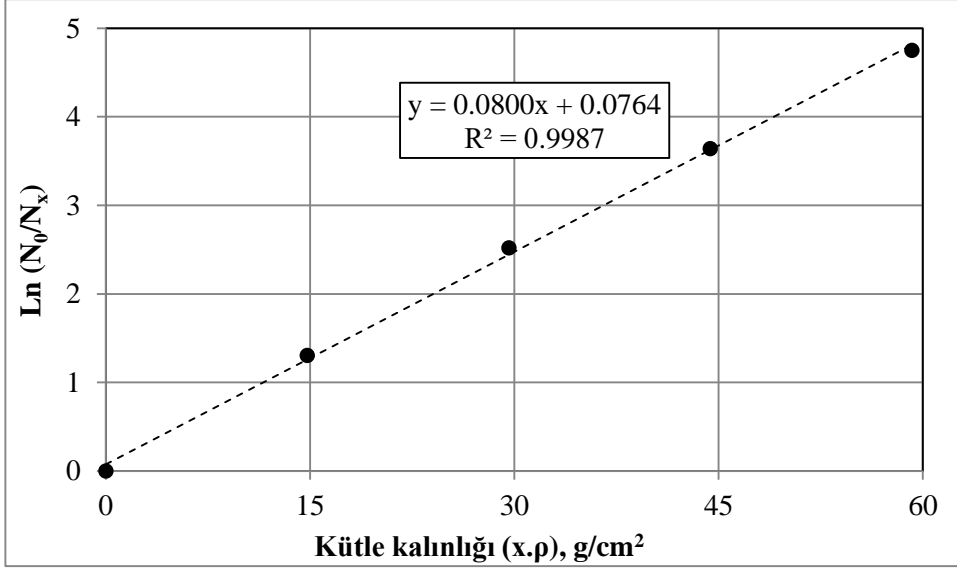
$$\mu_m = \mu / \rho \quad (3.11)$$

μ : Lineer soğurma katsayısı, cm^{-1}

ρ : Numunenin yoğunluğu, g/cm^3

μ_m : Kütle soğurma katsayısı, cm^2/g

Şekil 3.13’de gösterilen, 450-0.56-ref kodlu numunenin ^{137}Cs ’un 662 keV enerjili gama ışınları için kütle soğurma katsayısının belirlenmesinde kullanılan regresyon doğrusudur. Bu doğru, 5 farklı kütle kalınlığı (g/cm^2) için sayım miktarlarının oranının doğal logaritmalarına (\ln) bağlı olarak oluşturulmuştur. Benzer grafikler çalışmadaki tüm YKAB serileri için hazırlanmıştır.



Şekil 3.13. Sayım değerleri oranının doğal logaritması ile numune kütle kalınlığı ilişkisi

Şekil 3.13’de elde edilen doğrunun eğimi, YKAB karışımlarının ortalama kütle soğurma katsayısını (μ_m) Denklem 3.9’a uygun olarak cm^2/g biriminde ifade etmektedir.

3.4.9.4 Teorik kütle soğurma katsayıları (XCOM)

Deneysel hesaplamaların yanı sıra, tüm YKAB karışımlarının kütle soğurma katsayıları teorik olarak XCOM programı yardımıyla da hesaplanmıştır. XCOM kodu herhangi bir element, bileşik veya karışım için foton tesir kesitlerinin elde edildiği bir veri tabanıdır. Bu kod, koherent ve inkoherent saçılmalar, fotoelektrik soğurma ve çift oluşumu için önceden var olan veri tabanlarını kullanarak kütle soğurma katsayısını hesaplamaktadır (Berger vd., 1998). Bu programa ait örnek bir web arayüzü Şekil 3.14’de verilmektedir.

← → ↻ Güvenli | https://physics.nist.gov/cgi-bin/Xcom/xcom3_3

XCOM

Constituents (Atomic Number : Fraction by Weight)

```

Z=1 : 0.031639
Z=7 : 0.040047
Z=8 : 0.076711
Z=12 : 0.004915
Z=13 : 0.045693
Z=14 : 0.131251
Z=15 : 0.000591
Z=16 : 0.053869
Z=18 : 0.000510
Z=19 : 0.011451
Z=20 : 0.074138
Z=23 : 0.002182
Z=25 : 0.002362
Z=26 : 0.010010
Z=38 : 0.007827
Z=50 : 0.000711
Z=53 : 0.000621
Z=56 : 0.473596
Z=60 : 0.000698
Z=62 : 0.001451
Z=63 : 0.010169

```

To download data in spreadsheet (array) form, choose a delimiter and use the checkboxes in the table heading. After downloading, save the output by using your browser's save as feature.

Delimiter:

- space
- | (vertical bar)
- tab
- newline

Download data | Reset

Edge	(required) Photon Energy MeV	Scattering		Photoelectric Absorption cm ² /g	Pair Production		Total Attenuation	
		Coherent cm ² /g	Incoherent cm ² /g		In Nuclear Field cm ² /g	In Electron Field cm ² /g	With Coherent Scattering cm ² /g	Without Coherent Scattering cm ² /g
		6.617E-01	1.871E-03		7.180E-02	6.124E-03	0.000E+00	0.000E+00
1.173E+00	6.043E-04	5.485E-02	1.819E-03	4.439E-05	0.000E+00	5.732E-02	5.672E-02	
1.333E+00	4.692E-04	5.141E-02	1.431E-03	2.347E-04	0.000E+00	5.354E-02	5.308E-02	

Şekil 3.14. XCOM programına ait örnek bir web arayüzü

XCOM programında girdi numunelerin kimyasal içeriği iken çıktı numunelerin kütle soğurma katsayısıdır. Bu bağlamda, XCOM programında teorik hesaplamaların yapılabilmesi için kullanılan YKAB numunelerinin kimyasal içerikleri beton karışımına giren her bir bileşenin (barit agregası, çimento, su, viskozite düzenleyici, silis dumanı ve uçucu kül) elemental analizi dikkate alınarak kütlece teorik olarak hesaplanmış ve Ek 1'de verilmiştir. Beton numuneler 1 gün, 105 ± 5 °C'de etüv kurusu haline getirildikten sonra radyasyon ölçümleri yapılmıştır. Bu nedenle hesaplamalarda betonun su içeriği, teorik olarak buharlaşmayan su içeriği olacak şekilde (çimento kütlelerinin %23'ü) olarak dikkate alınmıştır. Ayrıca betonların etüv kurusu durumunda uzaklaşan su hacmi yerine, atmosferde bulunan havanın (N:0.78, O:0.21 ve Ar:0.01 olarak dikkate alınmıştır) hapsediği ve elemental hesaplamalarda betonların bir parçası olduğu kabul edilmiştir.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tez çalışması kapsamında 35 farklı YKAB karışımı ile 8 farklı AKYB karışımı hazırlanmış ve bu karışımların bir takım taze ve sertleşmiş hal özellikleri belirlenmiştir. Bu kapsamda elde edilen test sonuçları ve birbirleri arasındaki ilişkiler alt başlıklar halinde sunulmaktadır.

4.1 YKAB'lerin Taze Hal Özellikleri

Tez çalışması kapsamında hazırlanan 35 farklı YKAB karışımında taze halde çökme miktarları, yoğunluk değerleri, terleme kapasiteleri, terleme hızları, kolon ve yoğunluk segregasyon katsayıları araştırılmıştır.

4.1.1 Çökme

YKAB karışımlarının çökme miktarları ve bu çökme miktarlarının sağlanabilmesi için kullanılan SA katkı miktarları, karışım kodlamaları ile birlikte Tablo 4.1'de verilmektedir.

Tablo 4.1. YKAB karışımlarının çökme değerleri ve SA katkı oranları

Karışım	Çökme, cm	SA, %	Karışım	Çökme, cm	SA, %
350-0.56-ref	15.0	0.07	450-0.56-ref	22.0	0.00
350-0.56-0.2VD	19.0	0.00	450-0.56-0.2VD	22.5	0.00
350-0.56-0.4VD	18.0	0.00	450-0.56-0.4VD	24.0	0.00
350-0.56-10SD	18.5	0.94	450-0.56-10SD	19.0	0.00
350-0.56-20SD	18.5	1.51	450-0.56-20SD	21.5	0.00
350-0.56-15UK	18.5	0.11	450-0.56-15UK	24.0	0.00
350-0.56-30UK	18.5	0.09	450-0.56-30UK	23.0	0.00
350-0.48-ref	15.0	1.60	450-0.48-ref	19.0	0.36
350-0.48-0.2VD	20.0	1.67	450-0.48-0.2VD	23.0	0.36
350-0.48-0.4VD	19.5	2.86	450-0.48-0.4VD	21.5	0.16
350-0.48-10SD	19.0	1.44	450-0.48-10SD	23.0	1.17
350-0.48-20SD	19.5	1.82	450-0.48-20SD	22.0	1.42
350-0.48-15UK	20.5	1.15	450-0.48-15UK	20.0	0.17
350-0.48-30UK	20.5	0.99	450-0.48-30UK	19.5	0.00
			450-0.40-ref	23.0	1.69
			450-0.40-0.2VD	21.0	1.86
			450-0.40-0.4VD	21.0	2.23
-	-	-	450-0.40-10SD	21.0	1.64
			450-0.40-20SD	20.5	2.18
			450-0.40-15UK	21.5	1.70
			450-0.40-30UK	20.0	1.33

*SA katkı oranları, toplam bağlayıcı kütlelerine oranla %'ce verilmektedir.

350 ve 450 kg/m³ bağlayıcı dozajına sahip 0.40, 0.48 ve 0.56 s/b oranında, % 0.2 ve % 0.4 VD; % 10 ve % 20 SD; % 15 ve % 30 UK ikame oranlarında hazırlanan

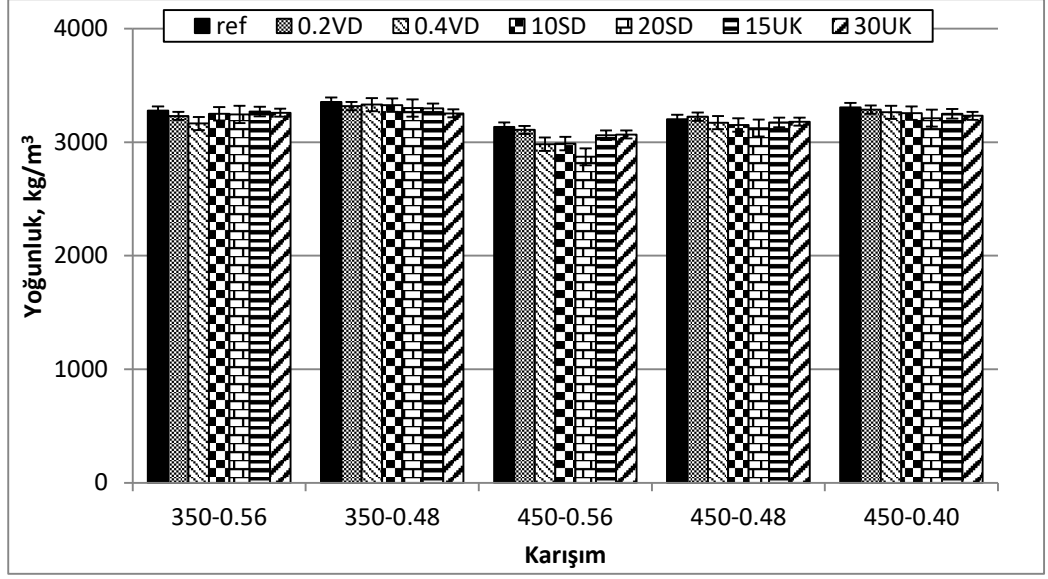
YKAB karışımları, farklı oranlarda SA katkı maddesi kullanılarak 15.0 cm üzeri çökme değerlerinde üretilmiştir. Karışımlarda bağlayıcı dozajının ve su/bağlayıcı oranının azalması ile birlikte işlenebilirlikler azalmıştır. Hedeflenen kıvam değerlerinin sağlanabilmesi için SA katkı kullanım oranları artırılmıştır.

Sakr (2006), barit ve ilmenit agregalarının keskin kenar yapıları sebebiyle ağır betonlarda çökme değerlerinin, benzer karışım oranlarındaki normal agregalı betonların çökme değerlerinden daha düşük olduğunu ve bu nedenle akışkanlaştırıcı ihtiyacını artırdığını vurgulamıştır. Ayrıca, Khayat ve Guizani (1997), yaptığı çalışmada s/b oranı, agrega içeriği, viskozite düzenleyici katkı ve silis dumanı ikamesi gibi karışım parametrelerinin, çökme miktarları 14 ile 22 cm aralığında olan yüksek kıvamlı beton karışımlarının süper akışkanlaştırıcı gereksinimlerini önemli oranda artırdığını göstermiştir. Diğer taraftan Nehdi vd. (1998), yaptığı çalışmada artan katı madde yüzey alanının sabit çökmedeki (20 ± 2 cm) betonların süper akışkanlaştırıcı miktarını artırmada tek bir etken olmadığını, özellikle silis dumanı gibi çok ince tanelerin akışkanlaştırıcı moleküllerinin üzerinde farklı fiziksel etkilerinin olabileceğini vurgulamıştır.

Ağır beton karışımlarında dişli karışımın önlenmesi için seçilen yüksek oranda ince agrega ve toz içerikleri, betonların kıvam parametrelerini olumsuz etkileyebilmektedir. Diğer taraftan ağır betonlarda düşük bağlayıcı içeriğinin ve düşük su/bağlayıcı oranının tercih edilmesi de betonların kıvam özelliklerini azaltmaktadır. Sonuç olarak, aşırı SA katkı kullanım oranlarında bile 350 kg/m^3 bağlayıcı dozajına sahip 0.40 s/b oranındaki YKAB karışımları hedeflenen 15.0 cm üzeri çökme değerlerinde üretilmemiş ve tez çalışması kapsamında çıkarılmıştır.

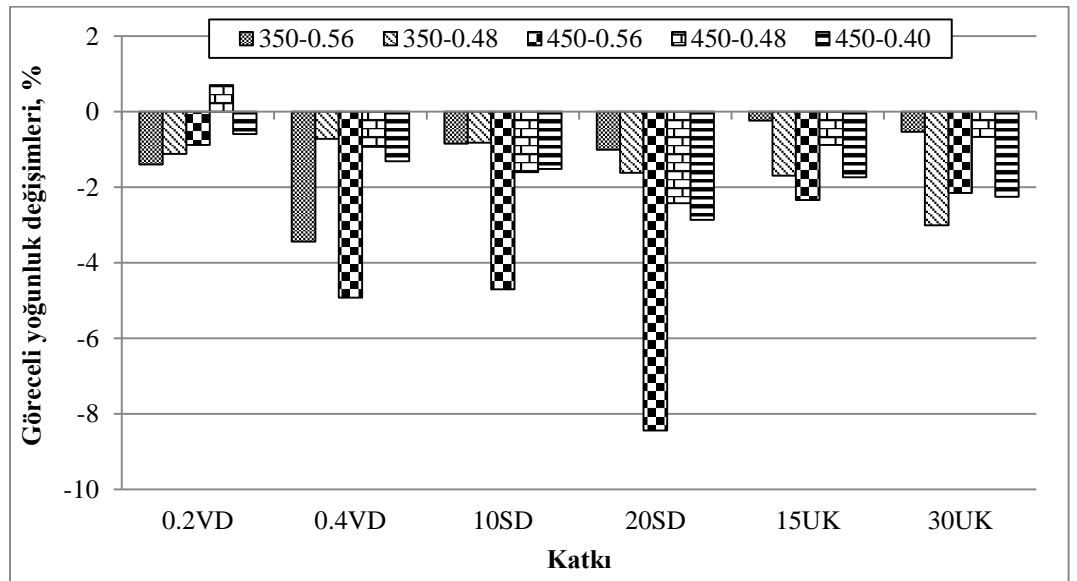
4.1.2 Yoğunluk

Tez çalışması kapsamında hazırlanan YKAB karışımlarına ait taze hal yoğunluk değerleri, Şekil 4.1'de verilmektedir. YKAB karışımlarının taze hal yoğunlukları 2871 kg/m^3 ile 3355 kg/m^3 aralığında değişmektedir.



Şekil 4.1. YKAB karışımlarının taze hal yoğunlukları, kg/m^3

YKAB karışımlarında, katkısız referans serilerine göre taze hal yoğunluk değerlerinin göreceli değişimleri her bir ikame katkı tipi ve ikame oranı için Şekil 4.2’de verilmektedir. Farklı bağlayıcı dozajı ve s/b oranında hazırlanan YKAB karışımlarının yoğunluk değerleri, ikame katkılarının kullanımı ile katkısız karışımlara göre % +0.7 ile % -8.4 aralığında değişimler göstermiştir. Genel olarak ikame katkı malzemelerinin kullanımı, su/bağlayıcı oranı ile bağlayıcı dozajının artması, YKAB’lerin taze hal yoğunluklarını azaltmaktadır. Ayrıca, yüksek oranda silis dumanı ikamesinin ağır betonların yoğunluk değerlerini önemli oranda azalttığı görülmektedir.



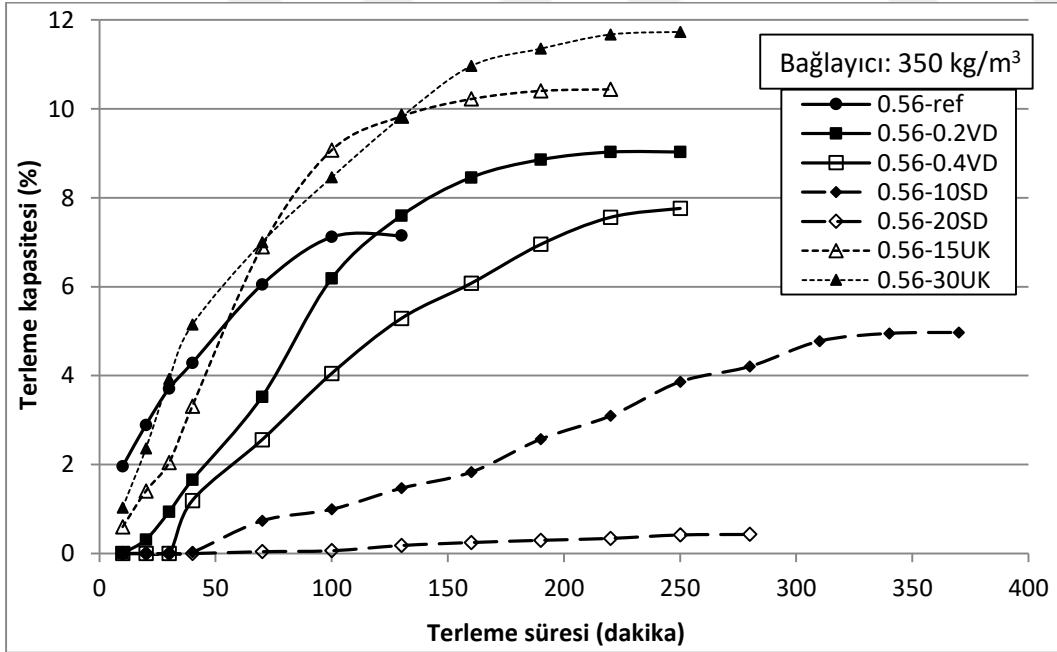
Şekil 4.2. YKAB karışımlarının göreceli taze hal yoğunluk değişimleri, %

4.1.3 Terleme

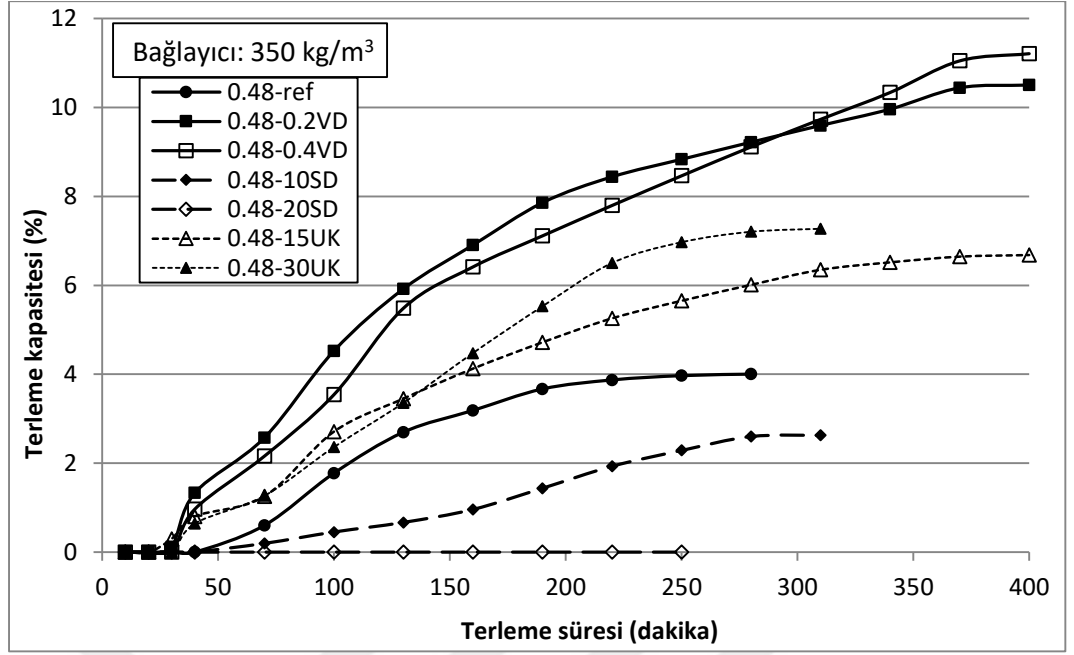
Terleme, taze beton prizini alıncaya kadar, beton bileşenlerindeki yoğunluk farklılığı sebebiyle beton içerisinde bulunan serbest suyun yer yer tutunamayan hafif toz malzemelerle birlikte betonun üst katmanlarında birikmesi olayıdır. Genellikle yüksek kıvamlı karışımlarda zaman içerisinde olduğu için statik segregasyonun da bir ifadesidir. Kötü beton tasarımı, aşırı su içeriği, bileşenlerindeki yoğunluk farklılığı, yüksek s/b oranı, yetersiz bağlayıcı dozajı ve toz malzeme içeriği ile kimyasal katkıların kullanımı gibi birçok neden terlemeyi artırabilen etkilere sahiptir.

4.1.3.1 Terleme Kapasitesi

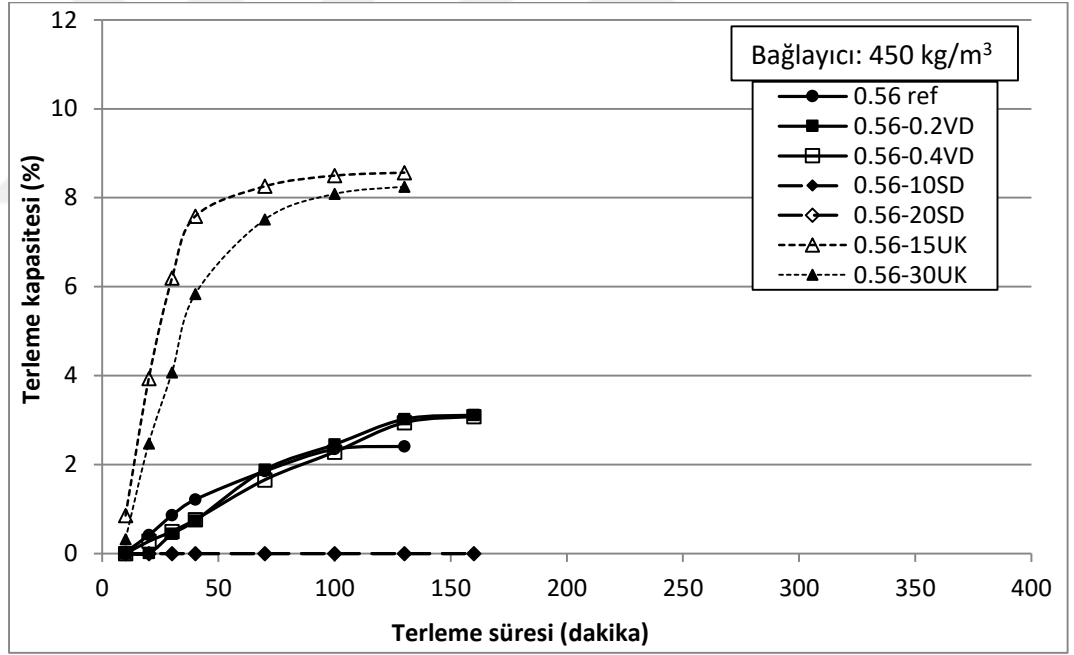
YKAB karışımlarının terleme kapasiteleri, bağlayıcı dozajı ve s/b oranına göre Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de verilmektedir. YKAB karışımlarının nihai terleme değerlerinin 0 ile %11.7 aralığında değiştiği görülmektedir. Gökçe ve Andiç-Çakır (2018) çalışmasında yüksek kıvam değerlerinde (21 cm çökme değerlerine varan) üretilen normal ağırlıklı betonların terleme oranlarının %21’lere ulaşabileceğini göstermiştir.



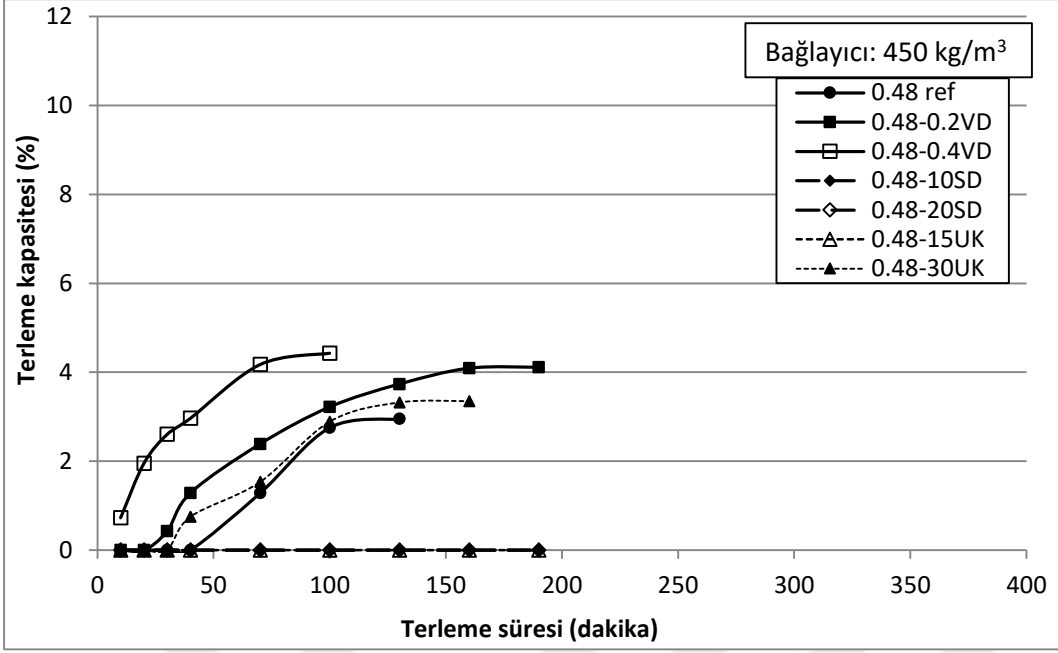
Şekil 4.3. 350 dozlu 0.56 s/b oranındaki YKAB’lerin terleme kapasiteleri, %



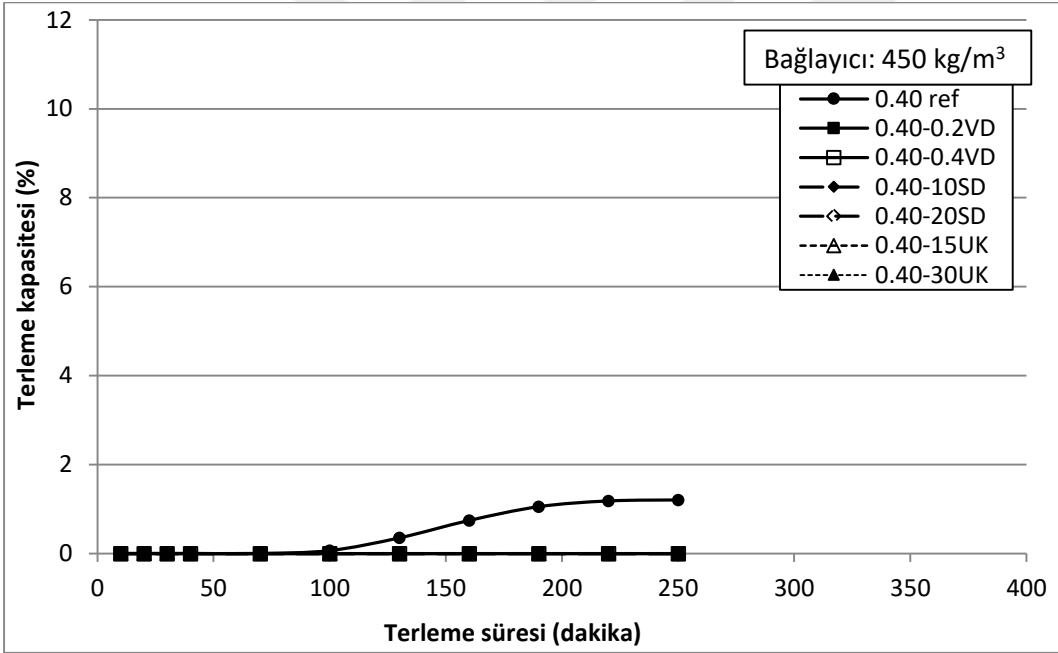
Şekil 4.4. 350 dozlu 0.48 s/b oranındaki YKAB'lerin terleme kapasiteleri, %



Şekil 4.5. 450 dozlu 0.56 s/b oranındaki YKAB'lerin terleme kapasiteleri, %



Şekil 4.6. 450 dozlu 0.48 s/b oranındaki YKAB'lerin terleme kapasiteleri, %



Şekil 4.7. 450 dozlu 0.40 s/b oranındaki YKAB'lerin terleme kapasiteleri, %

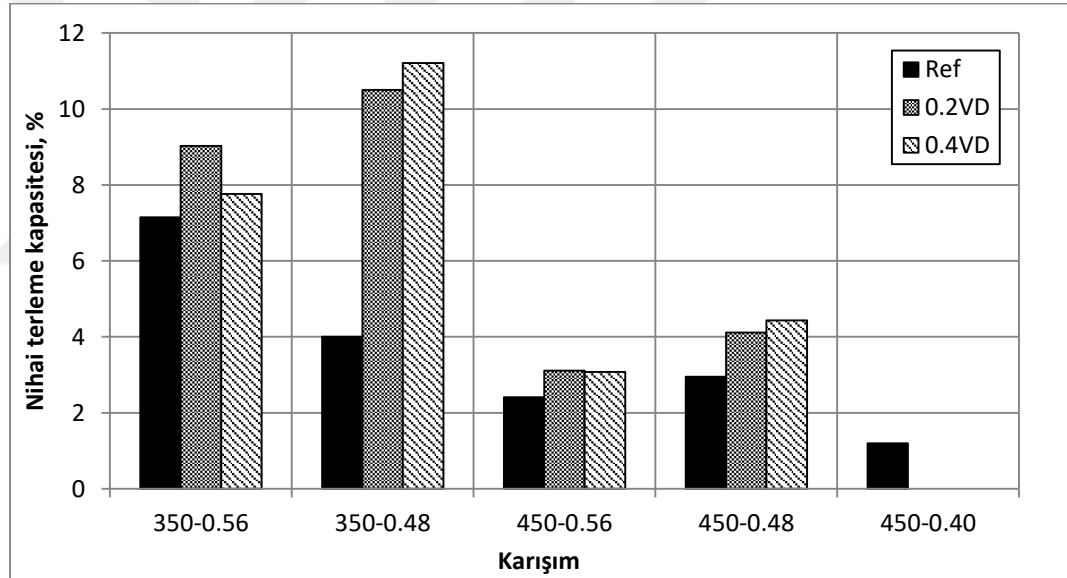
YKAB karışımlarının s/b oranlarındaki azalma ile SA katkı maddesi kullanım oranının artması, betonların prizine bağlı olarak nihai terleme sürelerini etkilediği gözlenmiştir. Özellikle s/b oranındaki azalma ile betonların ilk terlemelerinin ötelenmesine katkı sağlanırken uzayan priz ve nihai terleme süreleri ile nihai terleme kapasiteleri önemli ölçüde artmıştır. Benzer şekilde Khayat (1995)

çalışmasında, viskozite düzenleyici katkıların yüksek oranda su azaltıcılarla birlikte kullanıldıklarında priz sürelerinde gecikmelere yol açabildiği vurgulanmaktadır.

Bağlayıcı dozajındaki artış ile nihai terleme kapasiteleri ve süreleri önemli ölçüde azalmaktadır. Genel olarak viskozite düzenleyici katkı ve uçucu kül ikamesi katkısız karışımlara göre terleme kapasitelerinde artış ve azalış eğilimleri gösterebilirken, silis dumanı kullanımı betonlarda terleme kapasitesini önemli oranda azaltmış veya ortadan kaldırmıştır.

4.1.3.2 İkame malzemelerinin nihai terleme kapasitesine etkisi

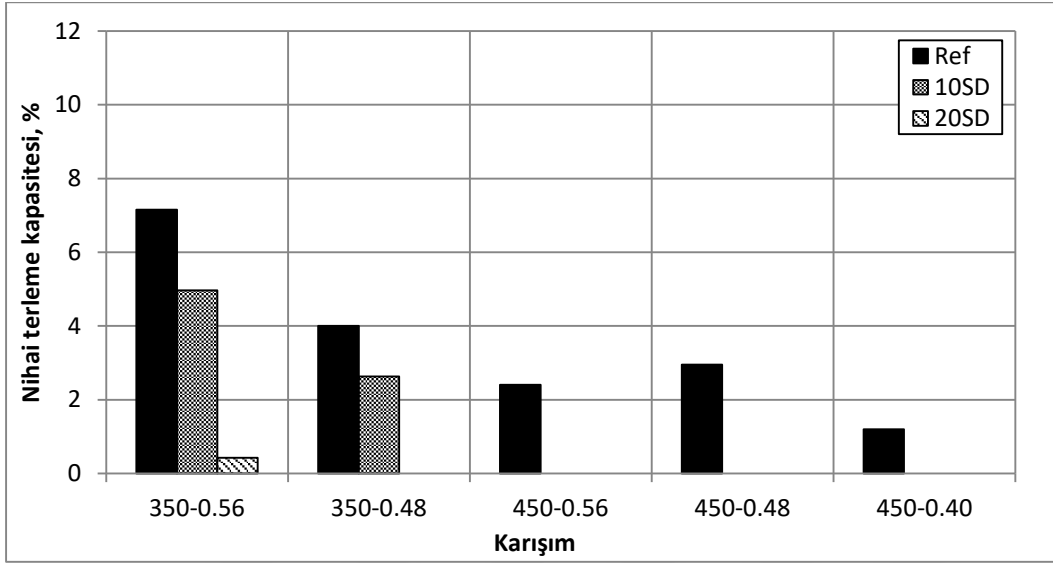
Çalışma kapsamında hazırlanan YKAB karışımlarının ikame malzemesi tipine göre nihai terleme kapasiteleri Şekil 4.8, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da verilmektedir.



Şekil 4.8. Viskozite düzenleyici ikameli YKAB'lerin nihai terleme kapasiteleri, %

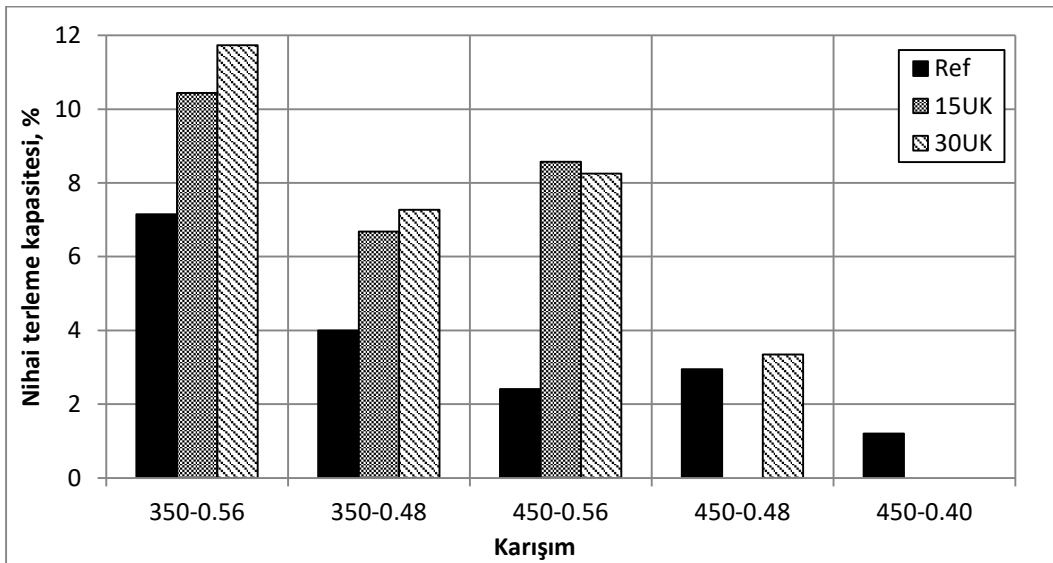
Viskozite düzenleyici katkı kullanımı beklentinin aksine YKAB karışımlarının nihai terleme kapasitelerini 450-0.40 serileri haricinde artırmıştır. Rols vd. (1999) farklı tipte viskozite düzenleyici katkıların düşük çökme yayılması aralığındaki (60 ile 64 cm aralığında) kendiliğinden yerleşen betonun terleme oranları üzerindeki etkisini araştırmış ve terlemelerin karışımlarda kullanılan viskozite düzenleyici katkı tipine göre azaldığını veya değişmediğini göstermiştir. Khayat (1995) çalışmasında, viskozite düzenleyici katkıların terleme özellikleri üzerindeki olumlu etkisinin olduğunu vurgulamasına rağmen, bu tez çalışması

kapsamında kullanılan viskozite düzenleyici katkının, genel olarak terleme sonuçları üzerinde olumlu bir etkisinin olmadığı anlaşılmaktadır.



Şekil 4.9. Silis dumanı ikameli YKAB'lerin nihai terleme kapasiteleri, %

Silis dumanı, YKAB karışımlarının nihai terleme kapasitelerinin azaltılması veya ortadan kaldırılmasında çalışma kapsamında en etkili ikame malzemesi olmuştur. Benzer şekilde, Nehdi vd. (1998), kireçtaşı tozu, öğütülmüş silis ve silis dumanı gibi farklı mikro malzemeleri çalışmalarında kullanmış ve terlemelerin azaltılmasında silis dumanı için oldukça iyi bir performans gösterdiği açıklanmıştır. Ayrıca, Bleszynski vd. de (2002), silis dumanı gibi ultra ince puzolanların aşırı terleme problemlerini önleyebileceğini ifade etmişlerdir.



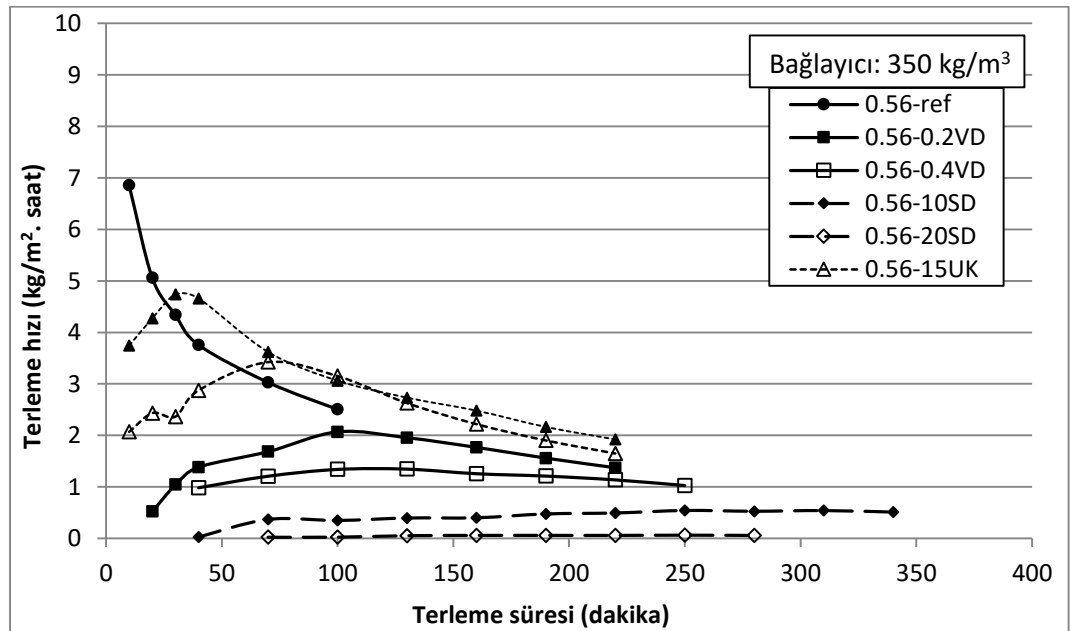
Şekil 4.10. Uçucu kül ikameli YKAB'lerin nihai terleme kapasiteleri, %

Uçucu kül ikamesi, düşük bağlayıcı oranına sahip (350 kg/m^3) YKAB karışımlarında terleme kapasitelerini önemli ölçüde artırmaktadır. Ayrıca s/b oranlarının azalması, YKAB karışımlarının nihai terleme kapasitelerinde artış ve azalışlara yol açabilmektedir. Mehdipour vd. (2013) yaptığı çalışmada kendiliğinden yerleşen harç karışımlarının terleme miktarlarını uçucu kül ikame oranındaki ve s/b oranındaki artışla arttığını göstermiştir. Bu karışımlarda çok yüksek özgül yüzeye sahip metakaolinin de kullanımı ile terlemelerin kontrol altına alındığı kaydedilmiştir.

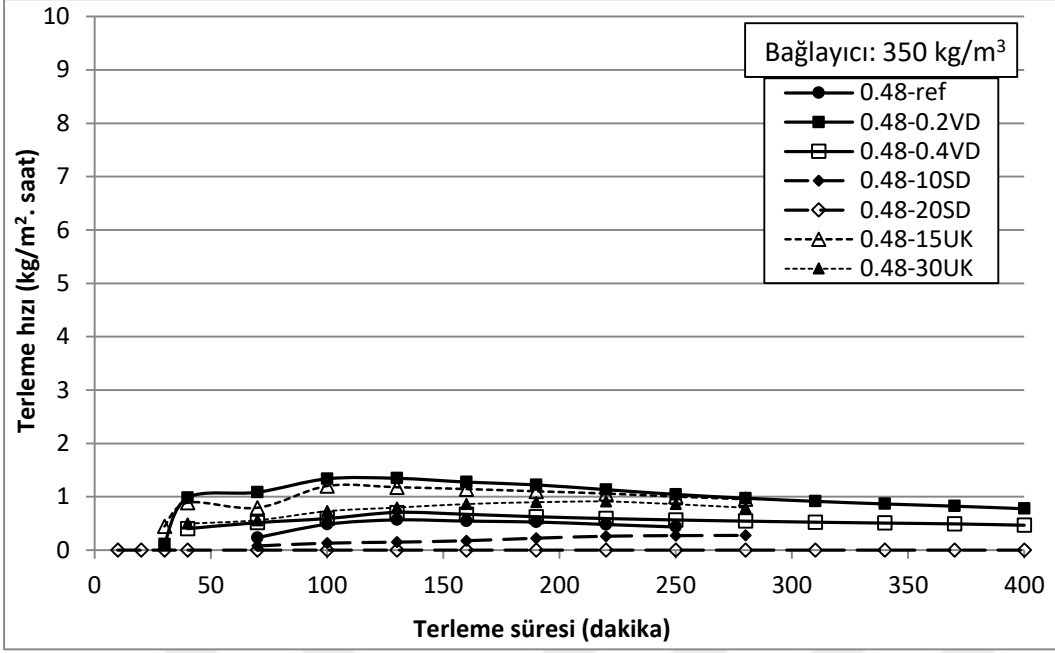
Genel olarak bağlayıcı sistemlerde terleme, serbest suyun tutunabileceği katı tanelerin toplam yüzey alanının artırılması ile kontrol edilebilmektedir. Beton karışımında tanelerin yüzey yapıları, karışımın kohezyonu ve priz süresi terleme kapasitesinde önemli bir etkiye sahiptir. Çalışma kapsamında kullanılan ikame malzemelerinden küresel forma sahip olduğu bilinen uçucu kül (Tuyan, 2017), çimentoya kıyasla daha iri tanelerden oluşuyor olması karışımlarda geciken priz süreleri ile birlikte nihai terlemeyi olumsuz etkileyebilmektedir.

4.1.3.3 Terleme hızı

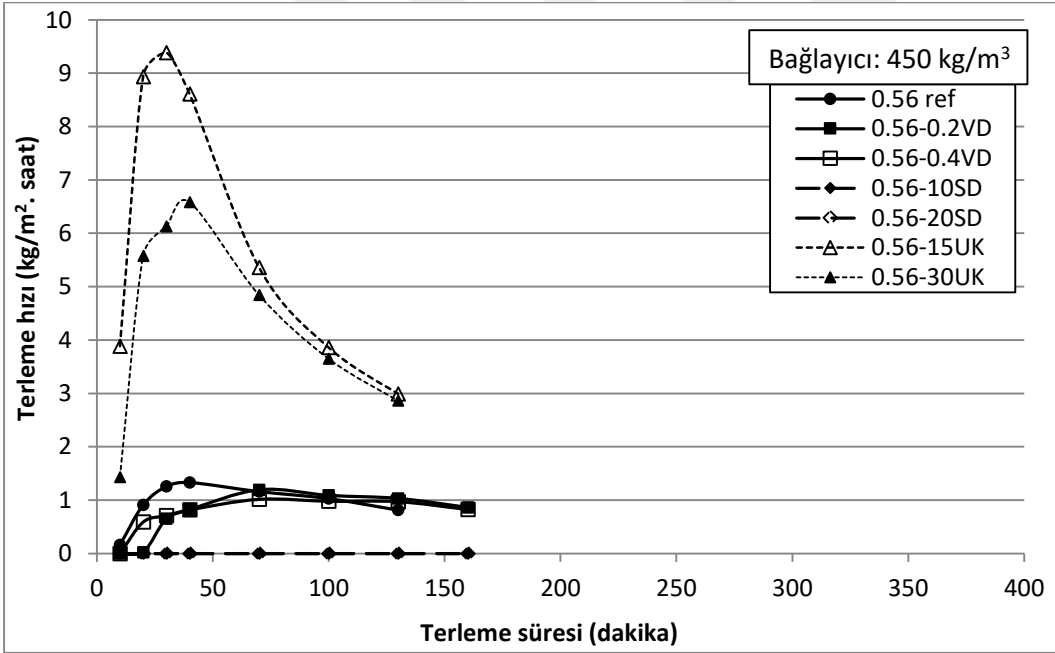
YKAB karışımlarının birim zaman ve birim alanda gerçekleşen terleme hızları ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{saat}$), bağlayıcı dozajı ve s/b oranına göre Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’de verilmektedir. Görüldüğü gibi YKAB karışımlarının terleme hızları $9.4 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{saat}$ değerlerine kadar ulaşmıştır.



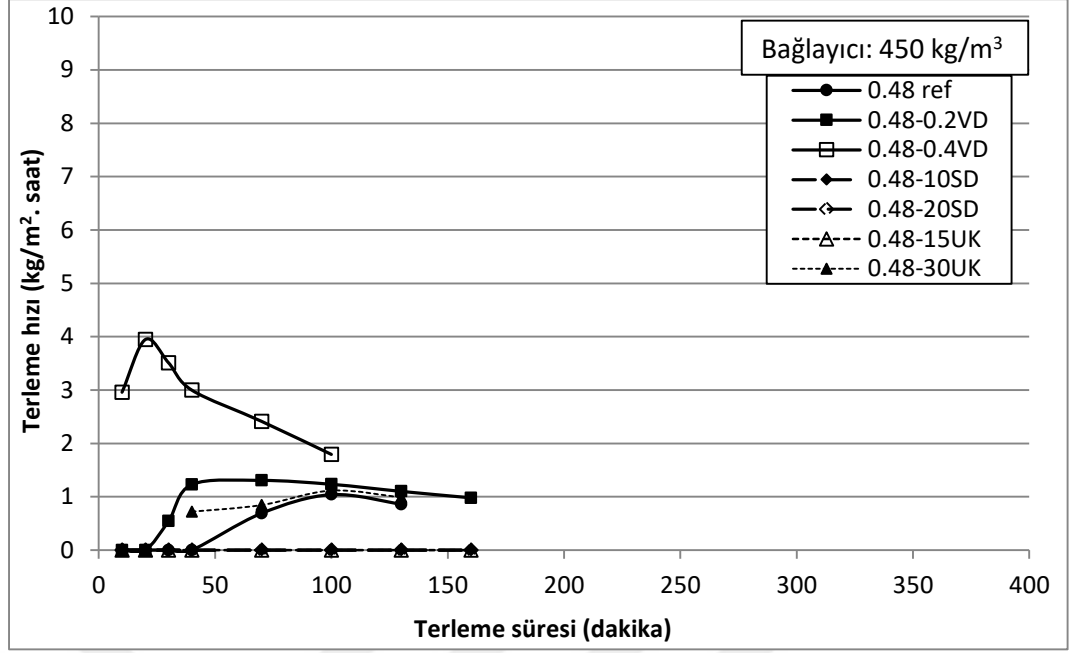
Şekil 4.11. 350 dozlu 0.56 s/b oranındaki YKAB’lerin terleme hızları, $\text{kg/m}^2 \cdot \text{saat}$



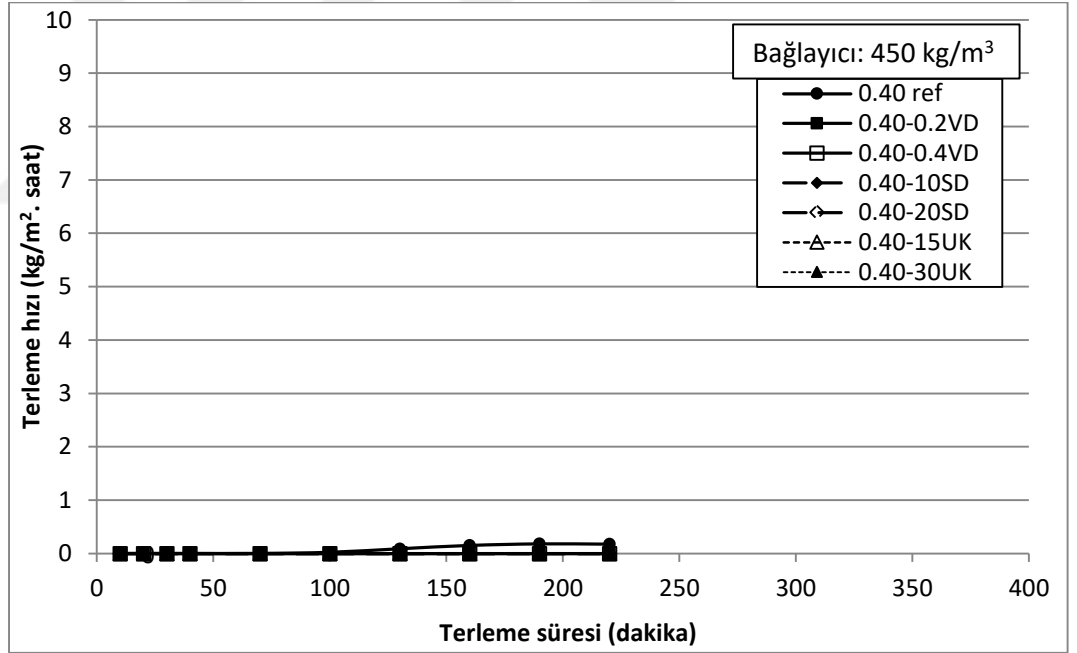
Şekil 4.12. 350 dozlu 0.48 s/b oranındaki YKAB'lerin terleme hızları, kg/m².saat



Şekil 4.13. 450 dozlu 0.56 s/b oranındaki YKAB'lerin terleme hızları, kg/m².saat



Şekil 4.14. 450 dozlu 0.48 s/b oranındaki YKAB'lerin terleme hızları, kg/m².saat



Şekil 4.15. 450 dozlu 0.40 s/b oranındaki YKAB'lerin terleme hızları, kg/m².saat

Bağlayıcı dozajı ve s/b oranlarının artması ile terleme hızlarında ilk dakikalarda önemli bir artış gözlenmektedir. Genel olarak YKAB karışımlarının statik segregasyonlarının bir ifadesi olan terleme sonuçlarının oldukça yüksek değerlere ulaşabildiği anlaşılmaktadır. Silis dumanı ikamesi, bütün karışım serilerinde terleme hızlarını azaltırken veya ortadan kaldırırken, viskozite düzenleyici ve uçucu kül ikamesinde net bir etki gözlenmemiştir. 450 kg/m³

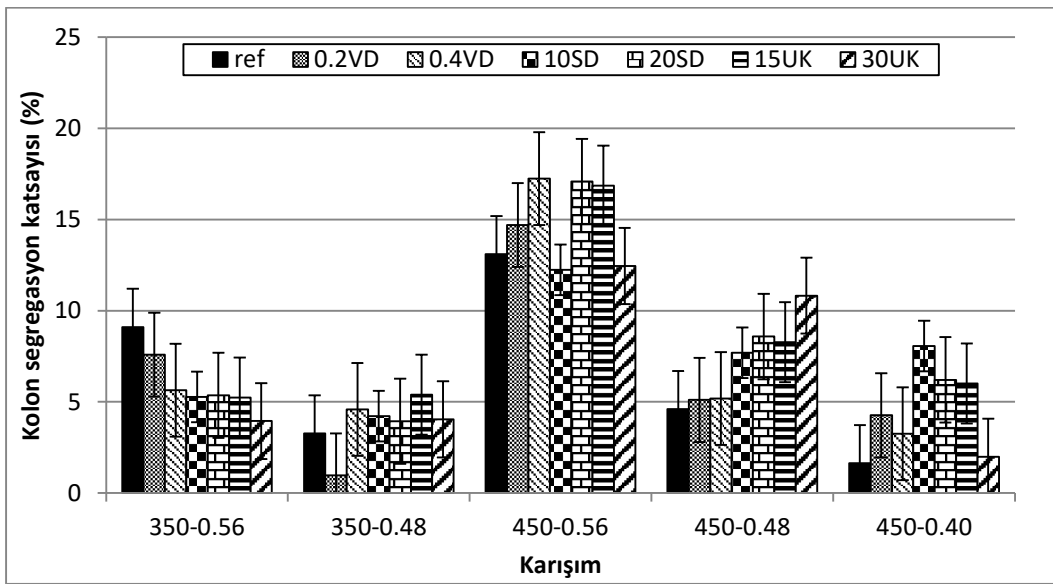
bağlayıcı dozajlı 0.40 s/b içeriğindeki karışımlarda, terlemenin olmadığı ve sadece katkısız referans karışımın düşük bir terleme hızına ($0.18 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{saat}$) sahip olduğu görülmektedir.

Terleme hızları $0.75 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{saat}$ değerinin altında olan tipik betonların plastik büzülme çatlak potansiyelinin olduğu ve bu çatlakların önlenmesi için betonun terleme hızının $1 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{saat}$ olması ACI 305R (1999) tarafından önerilmektedir. YKAB karışımlarında, ikame katkı maddelerinin kullanımı, farklı su/bağlayıcı oranı ve bağlayıcı dozajlarının kullanımı ile plastik büzülmenin kontrol altına alınmasında etkili olabilecek terleme hızları elde edilmiştir.

Diğer taraftan aşırı terleme, beton yüzeyinde yüksek su/çimento oranına sahip kaymak tabakasının oluşmasına ve basınç dayanımı, aşınma direnci ile durabilitenin düşmesine yol açar (Bartos, 1992). Tez çalışması kapsamında plastik büzülme riskinin olmadığı özel uygulamalar için özellikle silis dumanı ikamesi ve düşük s/b oranı ile hiç terleme göstermeyen ağır beton karışımları da üretilmiştir.

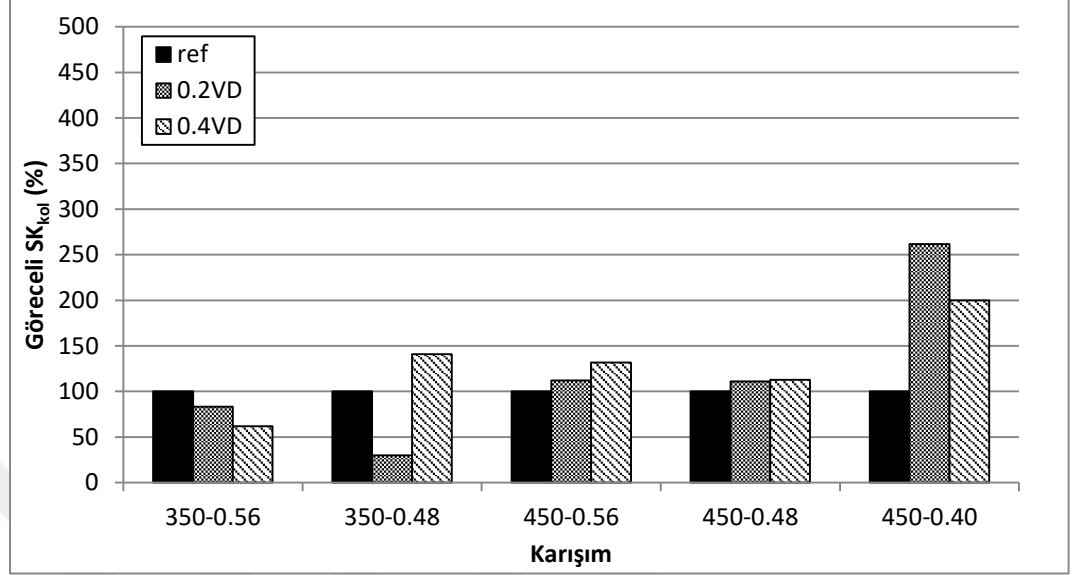
4.1.4 Kolon segregasyon yöntemi sonuçları

Tez çalışması kapsamında hazırlanan düşey kalıba, YKAB karışımlarının şişlenerek yerleştirilmesi ve üç katman halinde 5 mm üzeri agrega dağılımlarının araştırılması sonucu elde edilen kolon segregasyon katsayıları (SK_{kol}) Şekil 4.16'da verilmektedir. Genel olarak, bağlayıcı dozajının ve s/b oranlarının düşmesi ile YKAB karışımlarının segregasyon dirençlerinin arttığı söylenebilir.

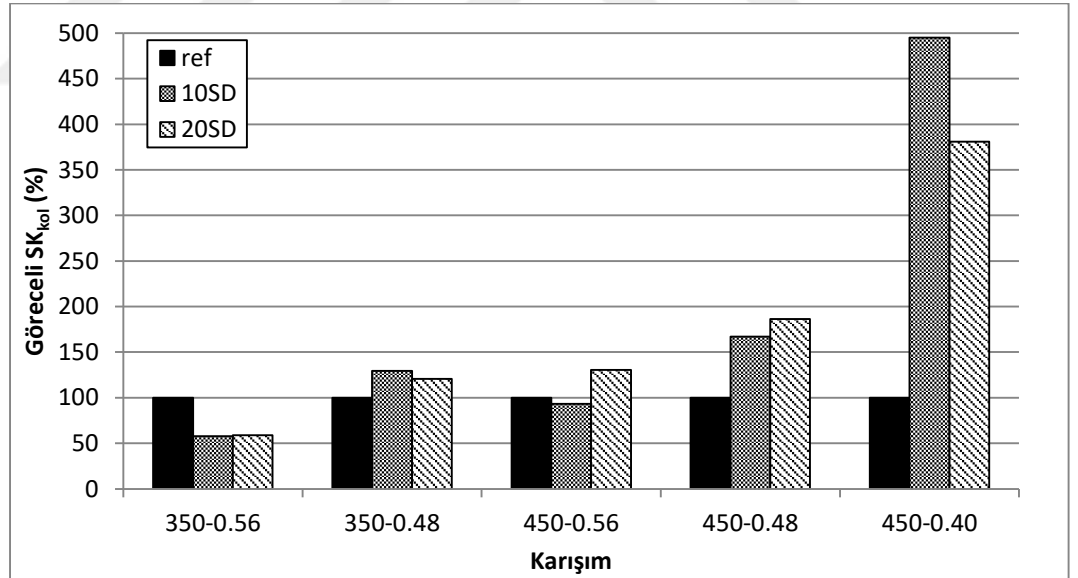


Şekil 4.16. YKAB karışımlarına ait kolon segregasyon katsayıları (SK_{kol}), %

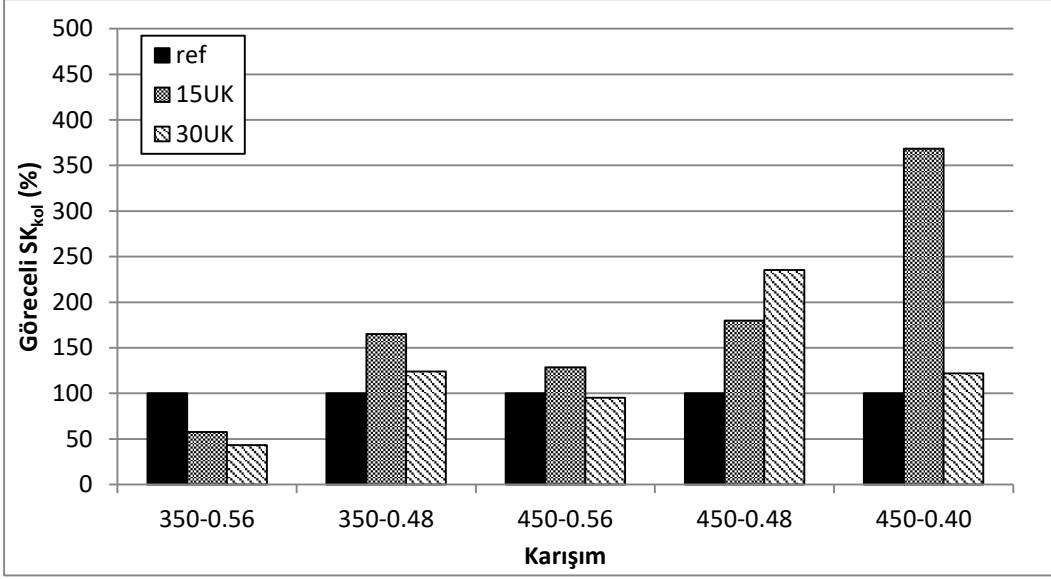
Katkısız referans karışımları %100 olacak şekilde hesaplanan YKAB karışımlarının göreceli kolon segregasyon katsayıları her bir ikame malzemesi için Şekil 4.17, Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’da verilmektedir.



Şekil 4.17. Viskozite düzenleyici ikameli YKAB’lerin göreceli SK_{kol} , %



Şekil 4.18. Silis dumanı ikameli YKAB’lerin göreceli SK_{kol} , %



Şekil 4.19. Uçucu kül ikameli YKAB'lerin göreceli SK_{kol}, %

Genel olarak, ikame katkılarının kullanımı düşük bağlayıcı dozajına sahip (350 kg/m^3) 0.56 s/b oranındaki YKAB serilerde segregasyon dirençlerinin artmasında etkili olmuştur. Yine, s/b oranının düşmesiyle ikame katkılarının kullanımı YKAB karışımlarının segregasyon dirençlerini azaltmaktadır.. Özellikle 0.40 s/b oranına sahip YKAB karışımı %10 silis dumanı ikamesinde katkısız referans karışımının yaklaşık 5 katına varan segregasyon değeri göstermektedir.

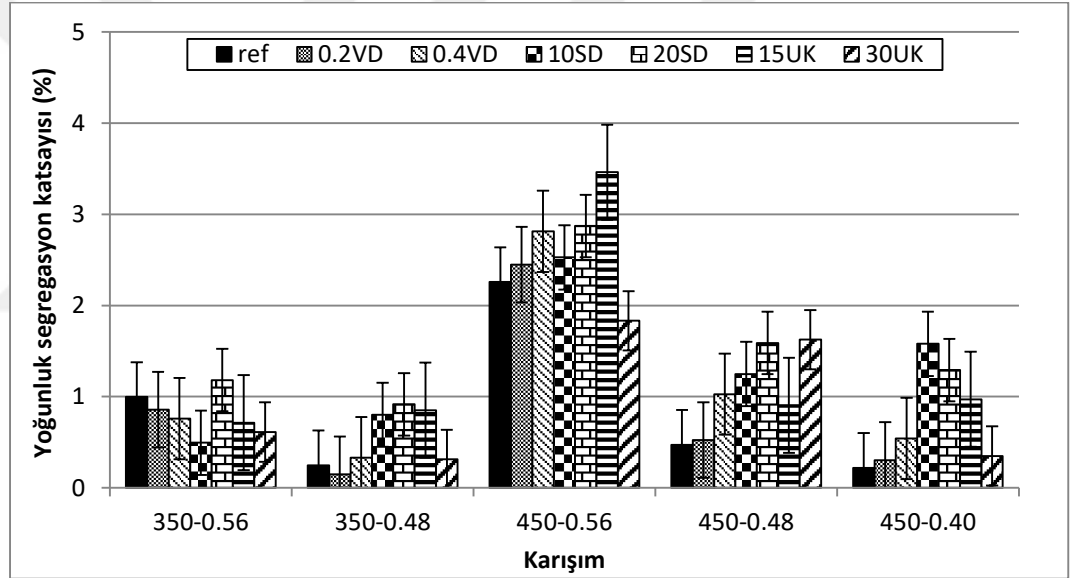
Genel olarak çimento yerine ikame edilen katkıları, hamur fazının kohezifliği, viskozitesi ve yoğunluğunu üzerinde artış ve azalışlara yol açmaktadır. Diğer taraftan bu karışımlarda değişen akışkanlaştırıcı oranları da belirtilen özellikler üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. İkame katkıları ve akışkanlaştırıcıların kullanımı ile hamur fazının yoğunluk, viskozite ve koheziflik özelliklerinin düşmesi, hamur fazında tutunamayan göreceli olarak daha yüksek yoğunluklu agrega fazının segregasyon eğilimini artırır.

4.1.5 Yoğunluk segregasyon yöntemi sonuçları

Wang vd. (2013) düşük ve yüksek kıvamlı (3 ile 20 cm aralığında çökme gösteren) normal ağırlıklı betonlarda benzer bir segregasyon yöntemini kullanmıştır. Bu yöntemde 3 katmana bağlı varyans değerinden ziyade, kalıbın üst ve alt katmanlardaki beton kütlelerinin farkı yüzde belirlenmiştir. Yaklaşık %2 ile %12 aralığında değiştiği görülen segregasyon derecelerinin, benzer şekilde alt ve üst katmanlardaki iri agrega dağılımlarından elde edilen oranlarla ve betonların basınç dayanımlarındaki kayıpla ilişki gösterdiği anlaşılmaktadır. Elde edilen bu

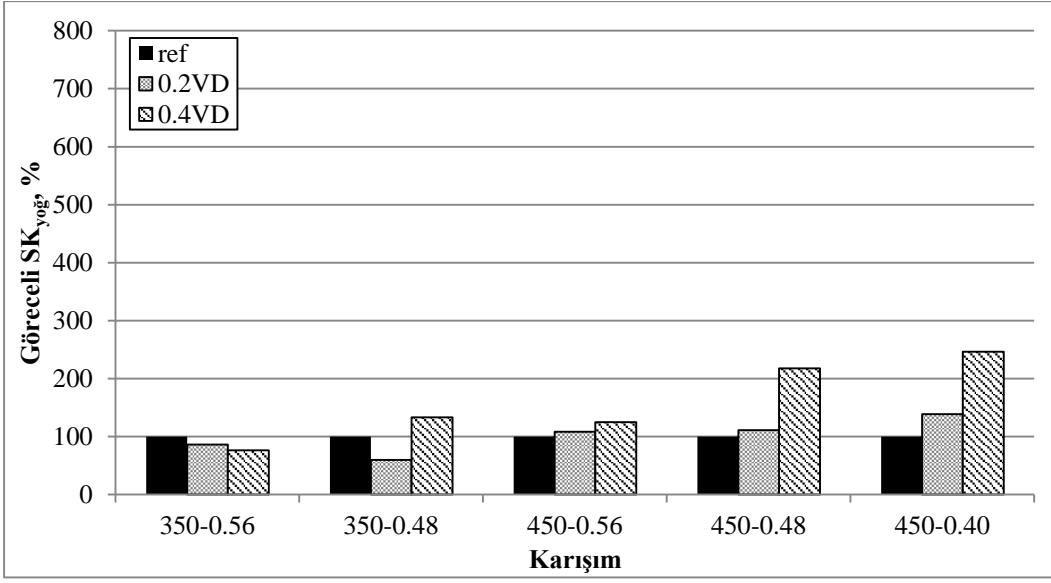
bulgular, tez çalışması kapsamında geliştirilen yoğunluk segregasyon yönteminin ağır betonlar için alternatif olabileceğini göstermiştir. Ayrıca bu yöntemde üç katmanda beton kütlelerine bağlı varyans katsayılarının (segregasyon katsayısı olarak ifade edilen) araştırılması, literatürde bu konuda yapılan çalışmaların genellikle belirlenen üç katmandaki segregasyon katsayıları bulguları ile uyumu artıracaktır.

Tez çalışması kapsamında hazırlanan kolon kalıba, YKAB karışımlarının şişlenerek yerleştirilmesi ve sonrasında 3 katmanda kütlelerindeki değişime bağlı olarak hesaplanan yoğunluk segregasyon katsayıları (SK_{yog}) Şekil 4.20’de verilmektedir. Benzer şekilde, yoğunluk segregasyon katsayılarına bakıldığında, bağlayıcı dozajının ve s/b oranlarının düşmesi ile YKAB karışımlarının segregasyon dirençlerinin arttığı söylenebilir.

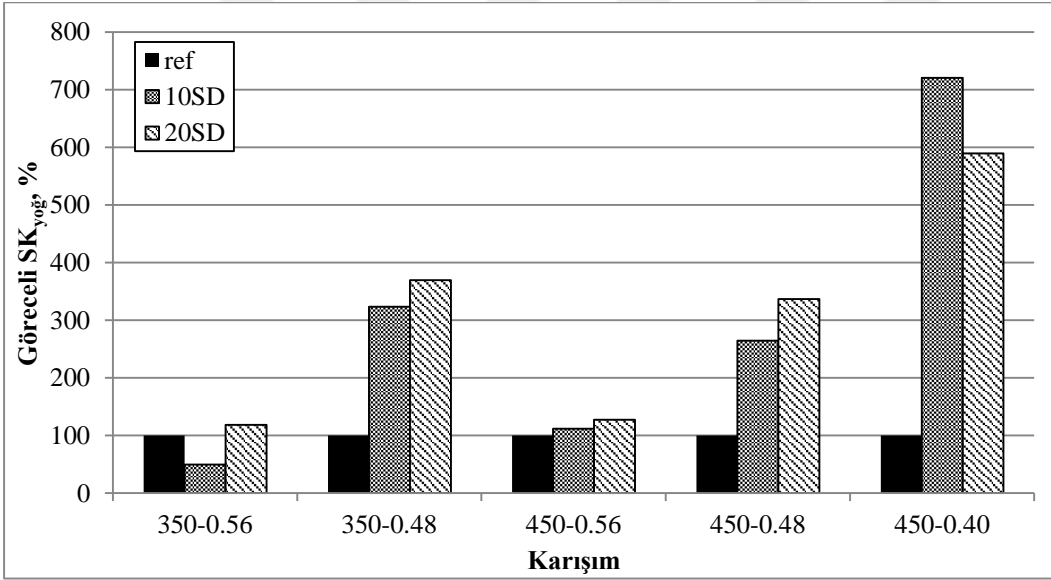


Şekil 4.20. YKAB karışımlarına ait yoğunluk segregasyon katsayıları (SK_{yog}), %

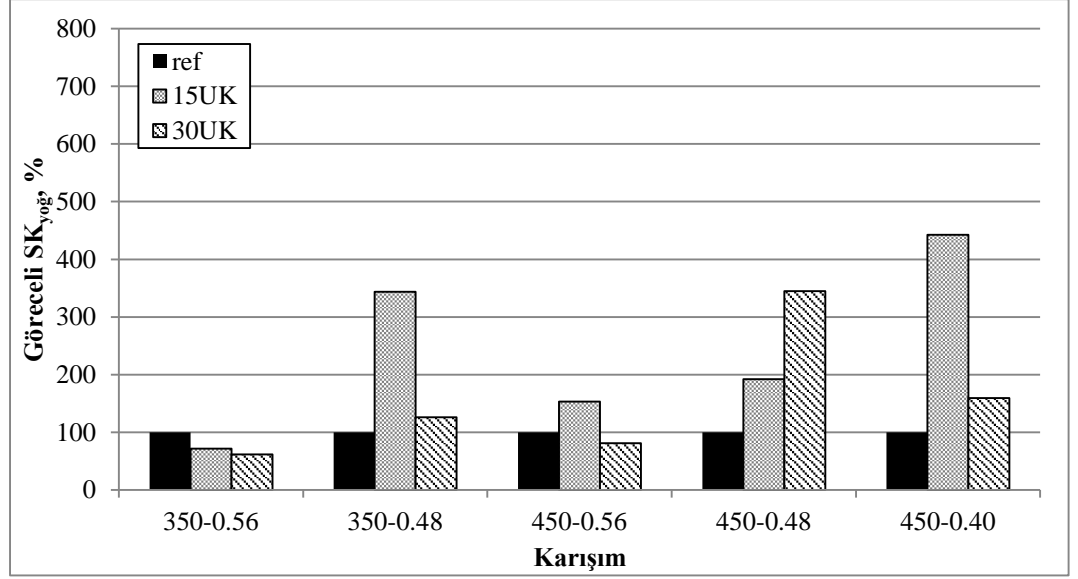
Katkısız referans karışımları %100 olacak şekilde hesaplanan YKAB karışımlarının göreceli yoğunluk segregasyon katsayıları her bir ikame malzemesi için Şekil 4.21, Şekil 4.22 ve Şekil 4.23’de verilmektedir.



Şekil 4.21. Viskozite düzenleyici ikameli YKAB'lerin göreceli SK_{yog} , %



Şekil 4.22. Silis dumanı ikameli YKAB'lerin göreceli SK_{yog} , %



Şekil 4.23. Uçucu kül ikameli YKAB'lerin göreceli SK_{yoğ}, %

Genel olarak s/b oranının düşmesiyle ikame katkılarının kullanımı, YKAB karışımlarının segregasyon dirençlerini azaltmaktadır. Özellikle %10 silis dumanı ikameli YKAB karışımları, katkısız referans karışımının 7 katına varan segregasyon katsayısı değerleri göstermektedir. Yoğunluk segregasyon yönteminde kolon segregasyon yöntemine göre göreceli segregasyon değerlerinin daha yüksek oranlara ulaşması, segregasyonun daha geniş aralıkta derecelendirebildiğini ifade etmektedir.

4.1.6 Kolon ve yoğunluk segregasyon yöntemleri arasındaki ilişki

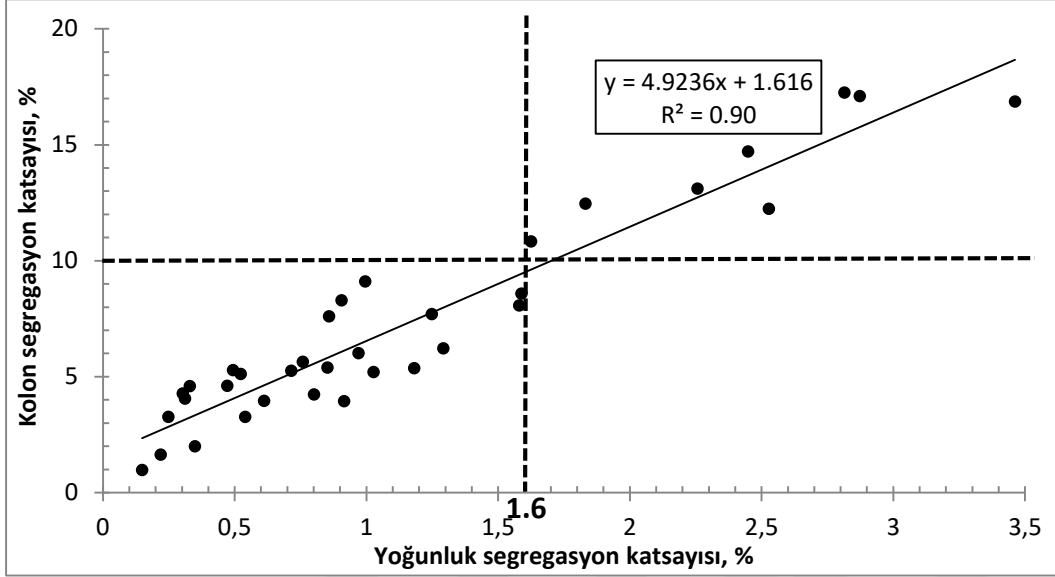
Tez çalışması kapsamında geleneksel yöntem olan kolon segregasyon yöntemi ile alternatif pratik bir yöntem olarak ağır betonda ilk kez kullanılan yoğunluk segregasyon yönteminden elde edilen veriler arasındaki ilişkiler araştırılmıştır (Tablo 4.2).

Tablo 4.2. YKAB'de segregasyon yöntemleri arasında kurulan ilişkiler

İlişki (y) ve (x)	Regresyon tipi	Eğri denklemi	Korelasyon Katsayısı, R ²
SK _{kol} ve SK _{yoğ}	Üstel	$y = 2.8353e^{0.6541x}$	0.73
	Doğrusal	$y = 4.9236x + 1.616$	0.90
	Logaritmik	$y = 4.9009\ln(x) + 7.9919$	0.78
	Polinom	$y = -0.061x^2 + 5.1187x + 1.5164$	0.90
	Üs	$y = 6.7138x^{0.7501}$	0.84

* Çalışma kapsamında elde edilen en düşük ve en yüksek segregasyon katsayıları (x ve y) aralığında geçerli denklemlerdir.

Kolon segregasyon yöntemi ve yoğunluk segregasyon yöntemi arasında iyi derecede ($R^2:0.90$) doğrusal ve polinom regresyon ilişkilerinin olabildiği anlaşılmaktadır. Doğrusal regresyon ilişkisi üzerinde geleneksel yöntem için literatürde önerilen segregasyon limit değerinin YKAB'de yoğunluk segregasyon katsayısındaki karşılığı Şekil 4.24'de gösterilmektedir.



Şekil 4.24. YKAB'de kolon ve yoğunluk segregasyon yöntemleri arasındaki ilişki

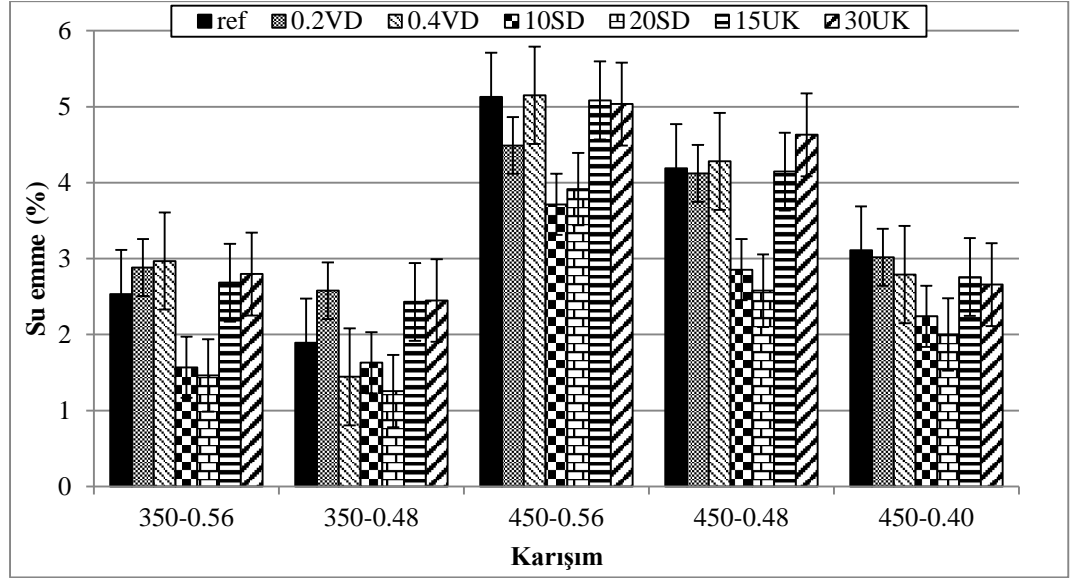
Literatürde benzer şekilde yapılan kolon segregasyon yönteminde iri agrega dağılımı için önerilen %10 segregasyon katsayısı limitinin altı, betonlarda zararlı segregasyonun olmadığı veya ihmal edilebilir düzeyde olduğunu ifade eden limittir (Safawi vd., 2005; Bui vd., 2002; Otsuki vd., 1996). Tez çalışması kapsamında, YKAB karışımları için %10 kolon segregasyon katsayısına göre segregasyona uğrayan karışımlar dikkate alınarak, eşdeğer yoğunluk katsayısı limiti % 1.6 olarak önerilmektedir.

4.2 YKAB Sertleşmiş Hal Özellikleri

Tez çalışması kapsamında sertleşmiş YKAB karışımları üzerinde su emme, yoğunluk, basınç dayanımı, gama ışını lineer soğurma ve kütle soğurma katsayıları belirlenmiştir.

4.2.1 Su emme

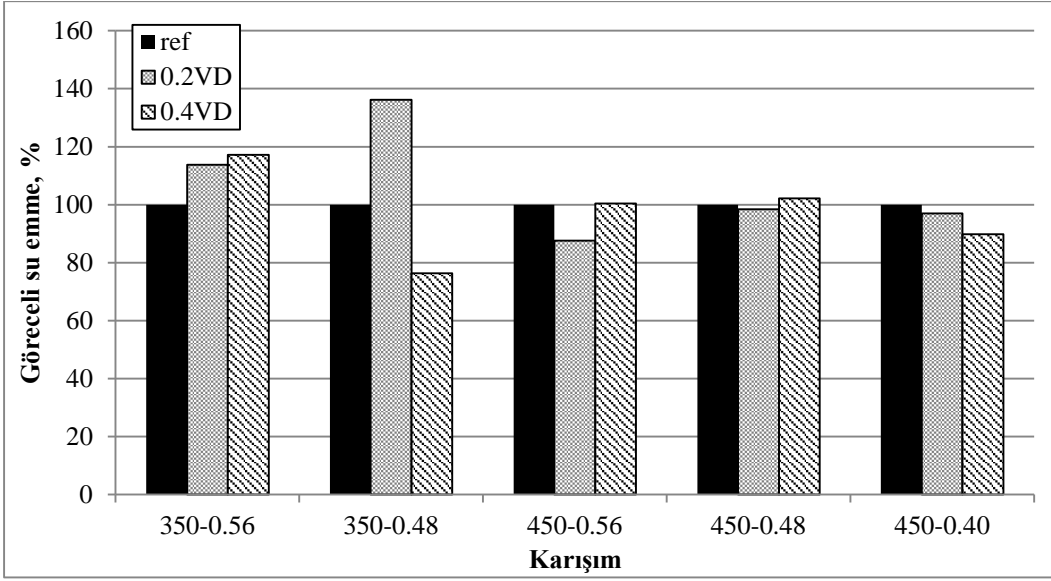
Tez çalışması kapsamında YKAB karışımlarının 28 günlük 100 mm ayrıtlı küp numuneler üzerinde belirlenen su emme değerleri Şekil 4.25'de verilmektedir.



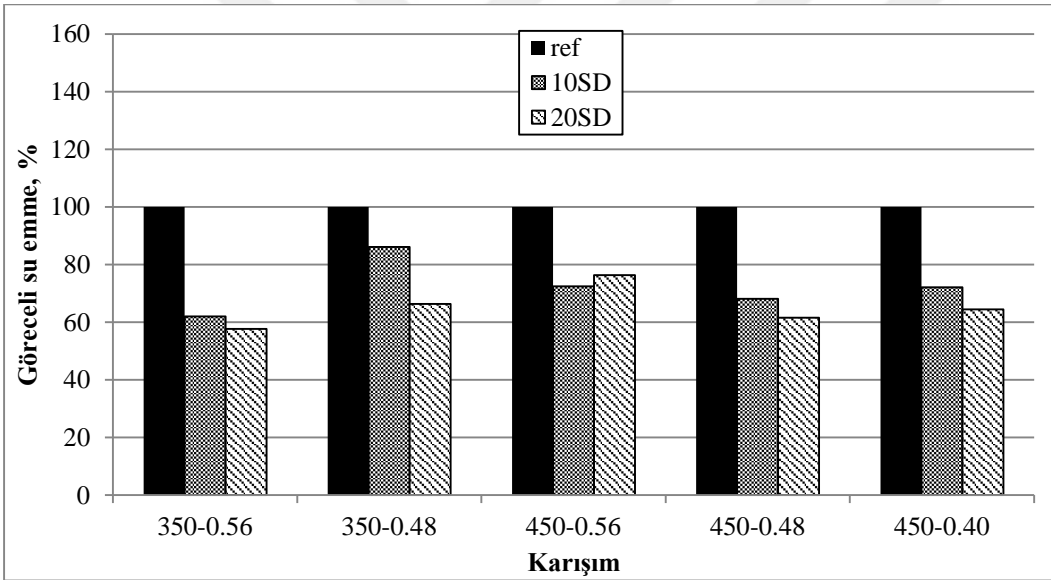
Şekil 4.25. YKAB'lerin su emme oranları, %

Genel olarak, bağlayıcı dozajının artmasıyla YKAB'lerin su emme oranları önemli ölçüde artmaktadır. Ayrıca, s/b oranlarının düşmesi ile su emme oranları da azalma eğilimindedir. Sakr (2006) çalışmasında 370 kg/m^3 bağlayıcı dozajına sahip 0.40 s/b oranındaki düşük çökme miktarına sahip (4 ile 8 cm aralığında) barit agregalı ağır beton karışımı için su emme oranını %2.8 olarak bulmuştur. Tez çalışmasında bu karışım oranlarına en yakın olan 350 kg/m^3 bağlayıcı dozajına sahip 0.48 s/b oranındaki yüksek kıvamlı karışımların su emme oranları %1.3 ile %2.6 aralığında bulunarak, ağır betonların daha düşük su emme oranlarında üretilebildiği anlaşılmaktadır.

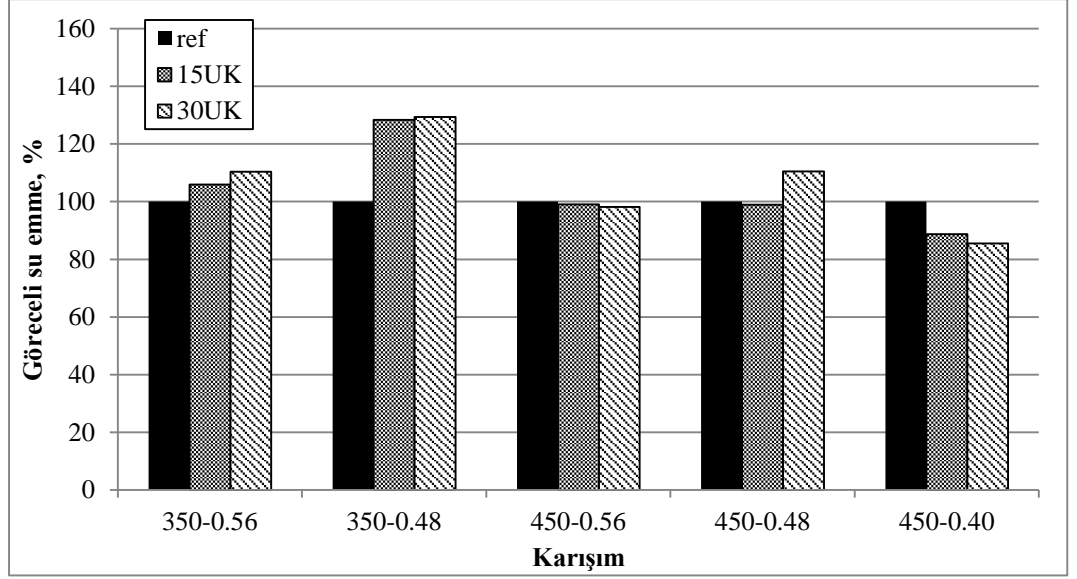
Katkısız referans karışımları %100 olacak şekilde YKAB'lerin göreceli su emme oranları her bir ikame malzemesi için Şekil 4.26, Şekil 4.27 ve Şekil 4.28'de verilmektedir.



Şekil 4.26. Viskozite düzenleyici ikameli YKAB'lerin göreceli su emme oranları, %



Şekil 4.27. Silis dumanı ikameli YKAB'lerin göreceli su emme oranları, %

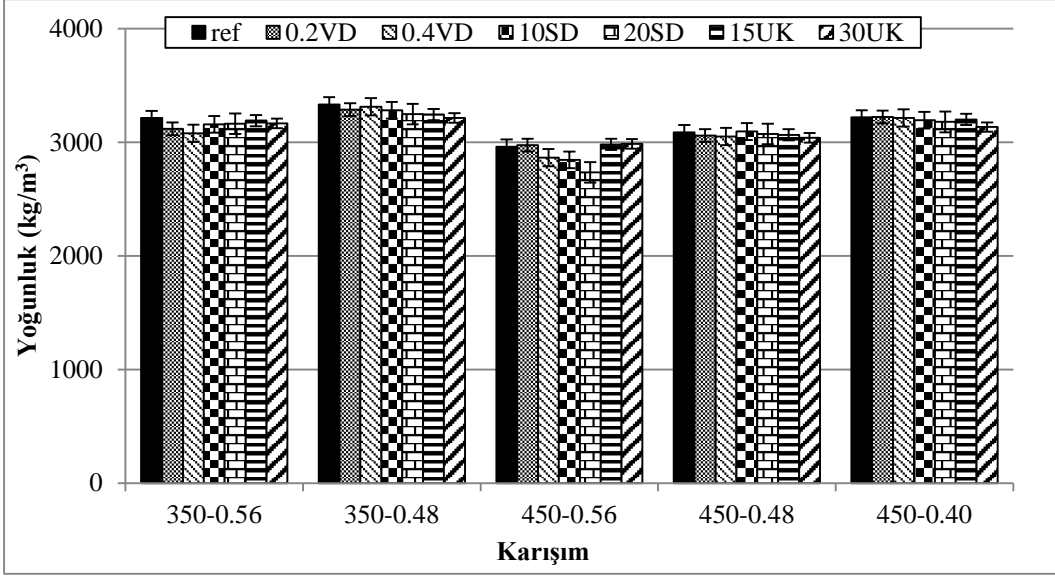


Şekil 4.28. Uçucu kül ikameli YKAB'lerin göreceli su emme oranları, %

350 kg/m³ bağlayıcı dozajında hazırlanan YKAB'lerin göreceli su emme oranlarını, viskozite düzenleyici ve uçucu kül ikamesi arttırmaktadır. Silis dumanı ikamesi bütün YKAB karışımlarında katkısız referans karışımlarına göre göreceli su emme oranlarını önemli ölçüde azaltmaktadır. Benzer şekilde Sakr (2006), ağır betonların su emme oranlarının azalmasında etkili olduğunu göstermiş ve % 11 varan su emme oranında azalmalar kaydetmiştir. Bu çalışmada hazırlanan ağır betonların su emme oranlarında silis dumanı ikamesi %42'ye varan azalma göstermektedir.

4.2.2 Yoğunluk

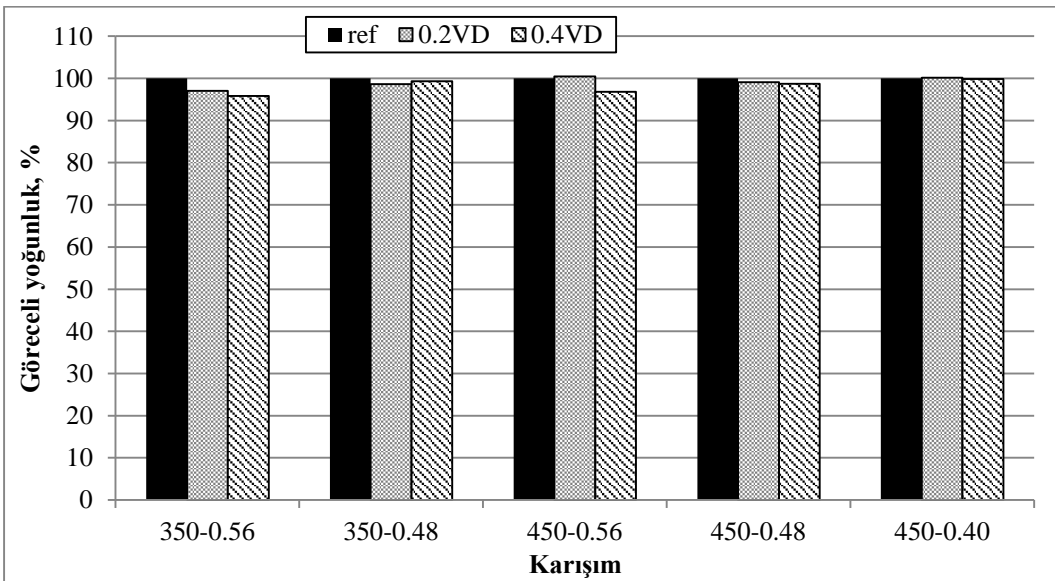
Tez çalışması kapsamında YKAB karışımlarının 28 günlük 100 mm ayrıtlı küp numuneler üzerinde belirlenen etüv kurusu yoğunluk değerleri Şekil 4.29'da verilmektedir.



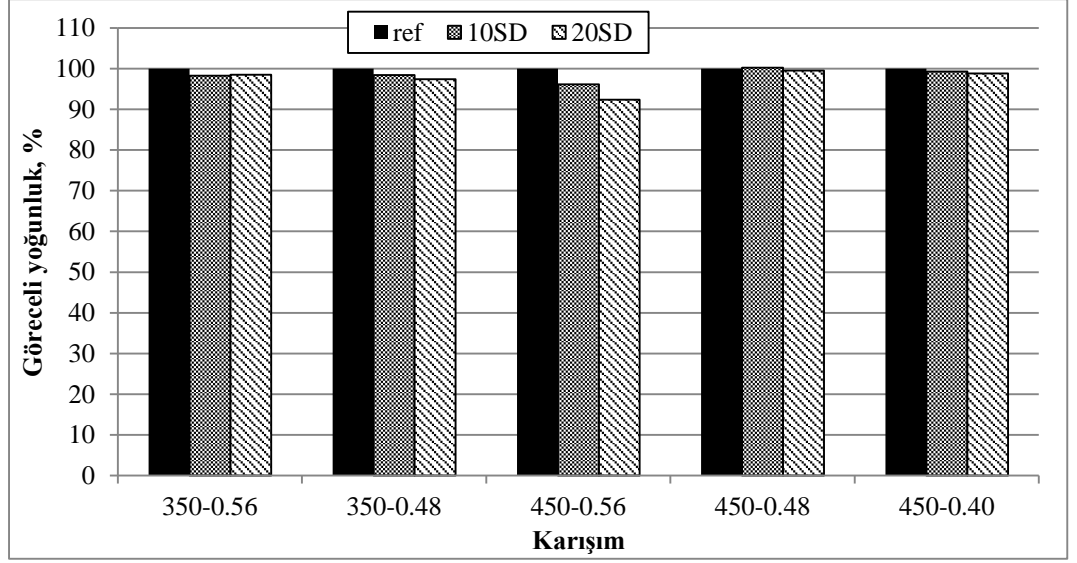
Şekil 4.29. YKAB'lerin sertleşmiş hal yoğunluk değerleri, kg/m^3

Bağlayıcı dozajının artmasıyla YKAB'lerin etüv kuru yoğunluk değerleri önemli ölçüde azalmaktadır. Ayrıca s/b oranlarının düşmesi ile YKAB karışımlarının etüv kuru yoğunlukları artmaktadır. Şekil 4.25'de değişen su emme oranları dikkate alındığında, betonların görünür boşluk oranlarının yoğunluklar üzerinde etkisinin olabileceğinden bahsedebiliriz.

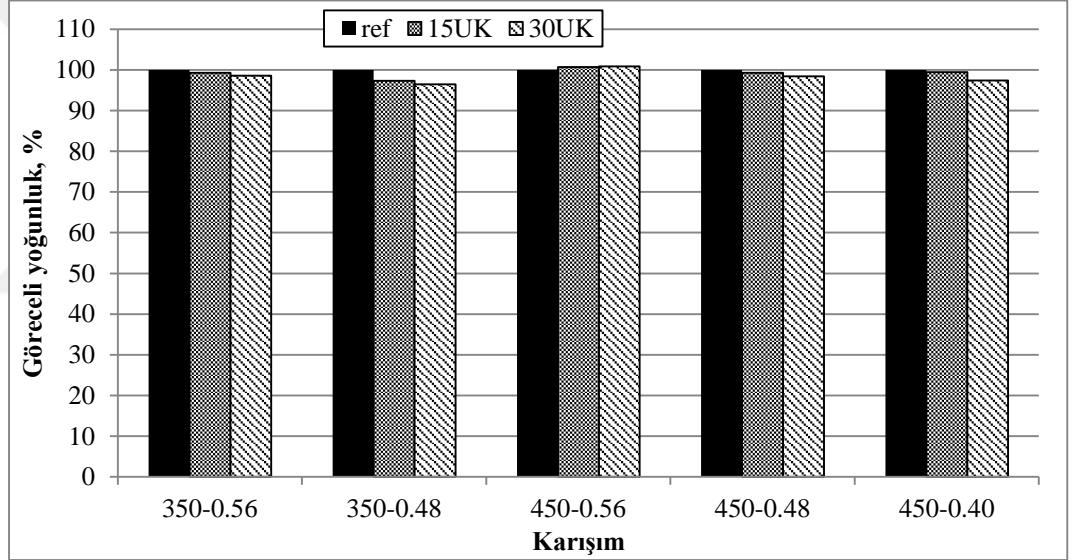
Katkısız referans karışımları %100 olacak şekilde YKAB'lerin göreceli etüv kuru yoğunluk değerleri her bir ikame malzemesi için ayrı ayrı Şekil 4.30, Şekil 4.31 ve Şekil 4.32'de verilmektedir.



Şekil 4.30. Viskozite düzenleyici ikameli YKAB'lerin göreceli sertleşmiş hal yoğunlukları, %



Şekil 4.31. Silis dumanı ikameli YKAB'lerin göreceli sertleşmiş hal yoğunlukları, %



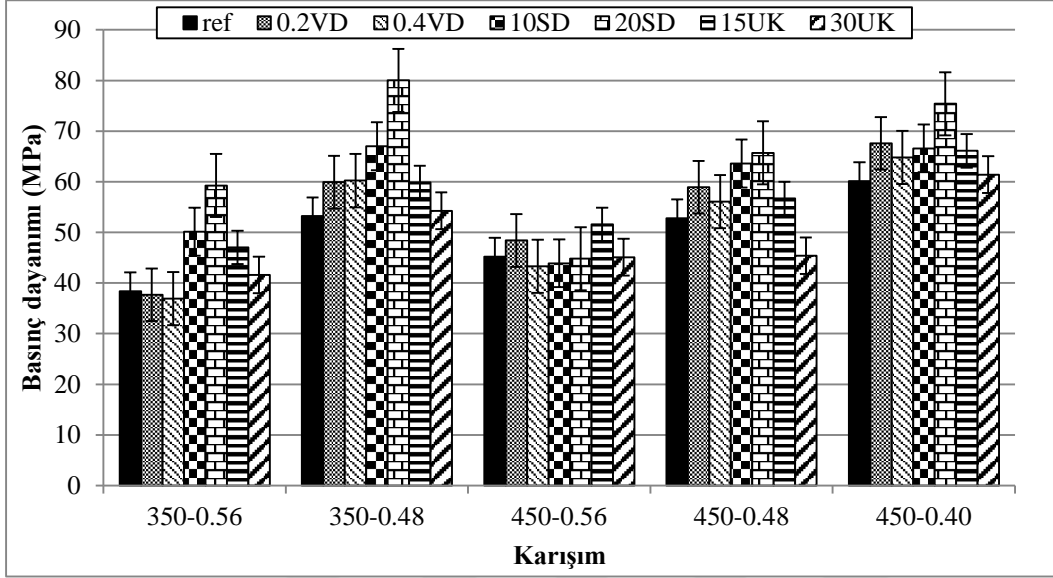
Şekil 4.32. Uçucu kül ikameli YKAB'lerin göreceli sertleşmiş hal yoğunlukları, %

Genel olarak ikame malzemelerinin kullanımı YKAB'lerin göreceli sertleşmiş hal etüv kurusu yoğunluklarını azaltma eğiliminde olduğu anlaşılmaktadır. Silis dumanı diğer bileşenlere göre çok ince yapısıyla YKAB'lerin su emme oranlarını önemli oranda azaltırken, düşük yoğunluğuyla beton yoğunluklarının düşmesinde diğer ikame katkılarına göre daha etkili olmuştur.

4.2.3 Basınç dayanımı

Tez çalışması kapsamında YKAB karışımlarının 28 günlük 100x100x100 mm'lik küp numuneler üzerinde belirlenen basınç dayanımı değerleri Şekil 4.33'de

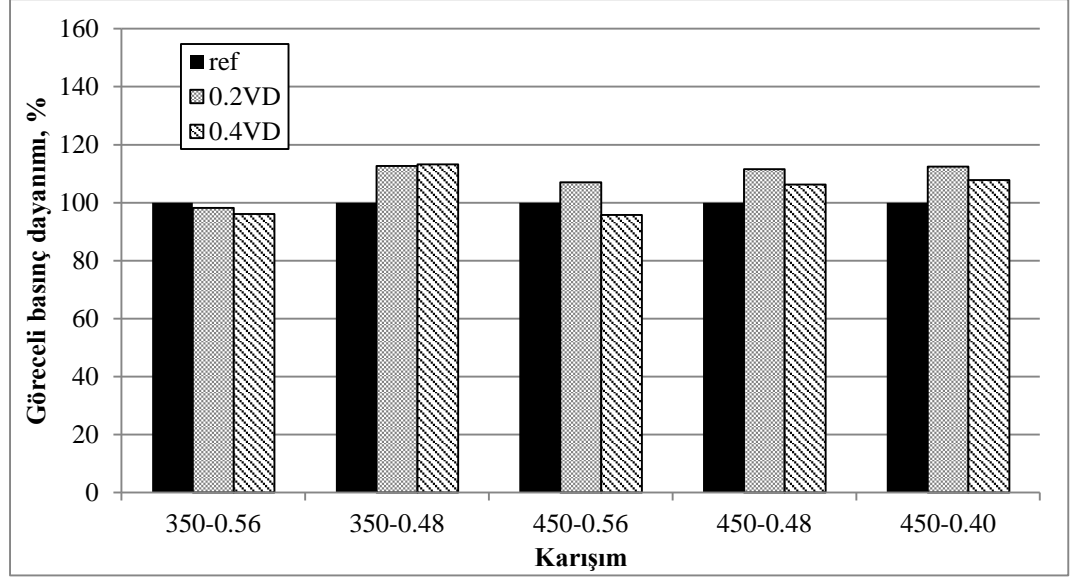
verilmektedir. Ağır betonların basınç dayanımları s/b oranlarının azalması ile artmaktadır. Ayrıca bağlayıcı dozajının artırılmasının dayanımlar üzerinde kayda değer etkisinin olmadığından söz edilebilir.



Şekil 4.33. YKAB numunelerinin basınç dayanımı değerleri, MPa

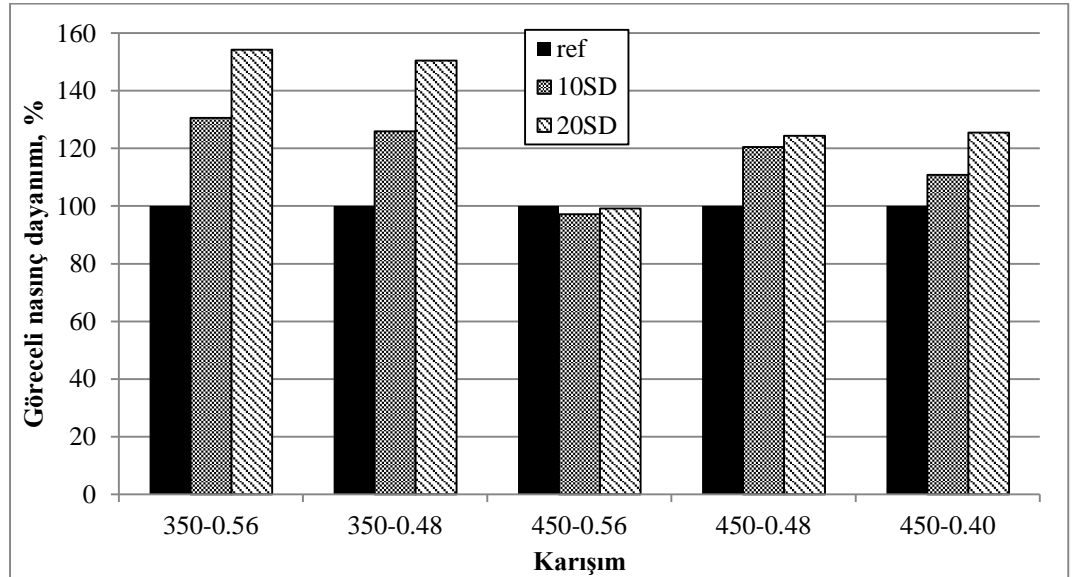
Silis dumanı ikamesinin YKAB karışımlarının basınç dayanımlarını kayda değer oranda artırdığı anlaşılmaktadır. YKAB karışımlarının basınç dayanımları üzerinde viskozite düzenleyici ve uçucu kül ikamesinin net bir etkisinin olmadığı artış ve azalışlara yol açabildiği görülmektedir. Sakr (2006) yaptığı çalışmada %15 silis dumanı ikamesine kadar, ağır betonların basınç dayanımlarını önemli oranda arttırdığını, daha yüksek ikame oranlarında düşüşler gösterdiğini kaydetmiştir.

Katkısız referans karışımları %100 olacak şekilde YKAB serilerinin göreceli basınç dayanımı değerleri her bir ikame malzemesi için ayrı ayrı Şekil 4.34, Şekil 4.35 ve Şekil 4.36'da verilmektedir.



Şekil 4.34. Viskozite düzenleyici ikameli YKAB'lerin göreceli basınç dayanımları, %

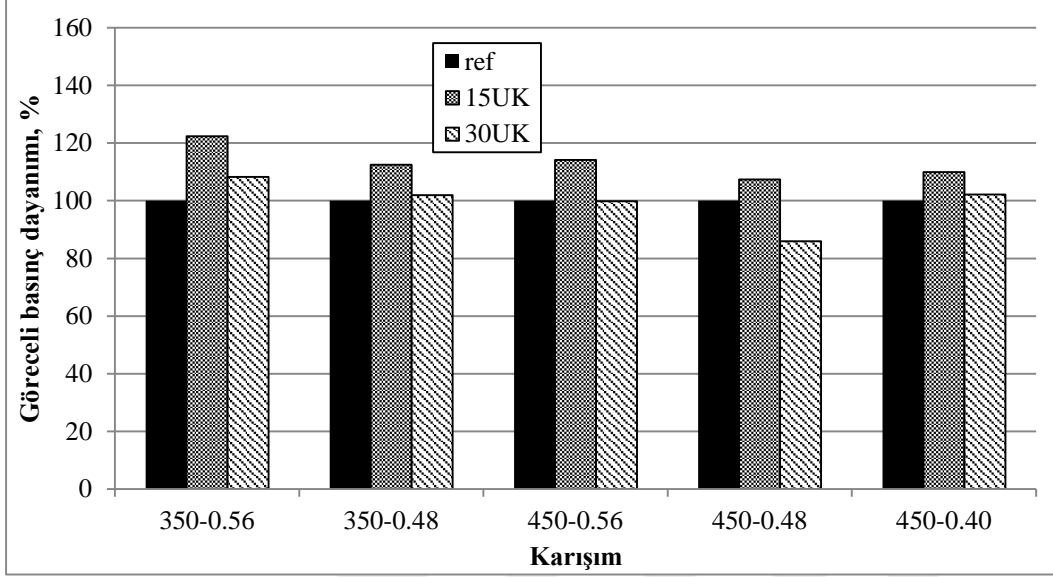
Genel olarak viskozite düzenleyici katkı ikamesinin YKAB numunelerinin göreceli basınç dayanımları üzerinde az miktarda artış ve azalmalara yol açtığı görülmektedir. Tez çalışmasında elde edilen bu bulguların aksine Khayat (1998), betonların s/b oranları azalan (0.32) karışımlarda viskozite düzenleyicilerin basınç dayanımlarını azaltabildiği ve nispeten daha yüksek s/b oranlarında (0.45) dayanımların bir miktar olumlu etkilenebildiğini göstermiştir.



Şekil 4.35. Silis dumanı ikameli YKAB'lerin göreceli basınç dayanımları, %

Silis dumanının özellikle 350 kg/m³ bağlayıcı dozajına sahip YKAB serilerinde göreceli basınç dayanımlarının artırılmasında en etkili katkı olduğu

anlaşılmaktadır. Sakr (2006) yaptığı çalışmada silis dumanı ikamesi ile basınç dayanımlarının ağır betonlarda %23 oranında artırılabilirliğini göstermiştir. Bu çalışma kapsamında elde edilen ağır betonlarda silis dumanı ikamesi ile basınç dayanımlarının artış oranları %50'lerin üzerine çıkabildiği görülmüştür.

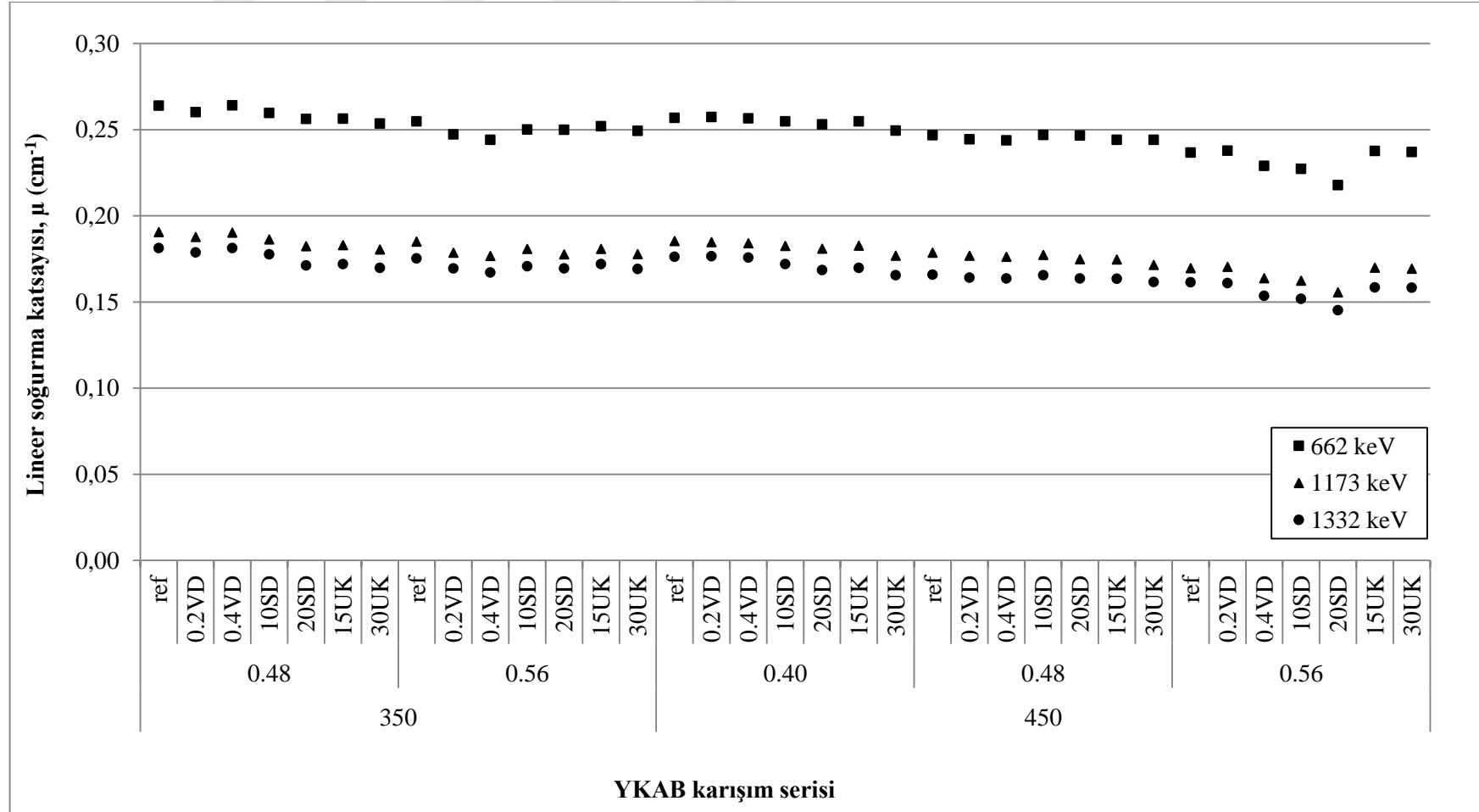


Şekil 4.36. Uçucu kül ikameli YKAB'lerin göreceli basınç dayanımları, %

Uçucu kül ikamesi ise düşük ikame oranlarında göreceli basınç dayanımlarının bir miktar artmasına, yüksek ikame oranlarında net bir etki olmamakla birlikte bir miktar artış ve azalışlara yol açabildiği görülmektedir. Genel olarak uçucu kül gibi puzolanik ikame katkılarının betonların 28 günlük basınç dayanımlarında katkısız beton karışımlarına göre kayıplarının olduğu bilinmektedir (Ramezianpour ve Malhotra, 1995). 56 gün ve ileriki yaş beton dayanımlarında ise uçucu kül kullanımının düşük s/b oranında basınç dayanımlarını katkısız karışımlara göre artırabildiği kaydedilmiştir (Lam vd., 1998).

4.2.4 Lineer soğurma katsayıları

Tez çalışması kapsamında hazırlanan YKAB numunelerinin karışım kodlarına göre ^{137}Cs (662 keV) ve ^{60}Co (1173 ve 1332 keV) kaynakları için belirlenen lineer soğurma katsayısı değişimleri Şekil 4.37'de verilmektedir.



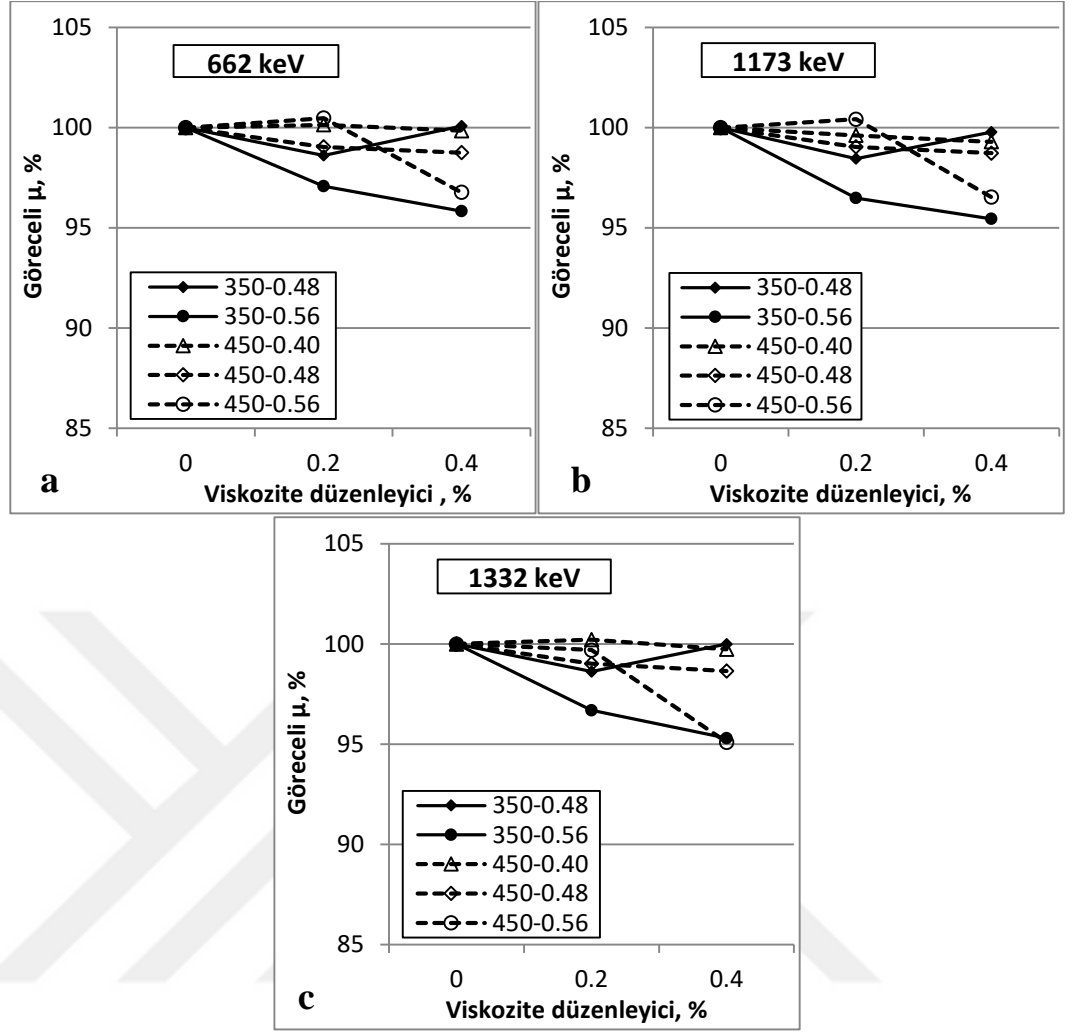
Şekil 4.37. YKAB'lerin karışım kodlarına göre gama ışını lineer soğurma katsayıları (μ)

YKAB'lerin 662 keV'de gama ışını lineer soğurma katsayılarının 0.218 ± 0.013 ile 0.264 ± 0.017 cm^{-1} değerleri arasında, 1173 keV'de 0.156 ± 0.006 ile 0.191 ± 0.008 cm^{-1} değerleri arasında ve 1332 keV'de 0.145 ± 0.006 ile 0.181 ± 0.008 cm^{-1} değerleri arasında değiştiği görülmektedir. Bağlayıcı dozajlarının, su/bağlayıcı oranlarının ve gama ışını enerjilerinin artması YKAB karışımlarının lineer soğurma katsayılarını azaltmaktadır. Ayrıca ikame katkılarının kullanımının da lineer soğurma katsayılarını bir miktar olumsuz etkilediği anlaşılmaktadır.

Al-Humaiqani vd. (2013) 0.30, 0.35 ve 0.40 s/b oranlarında, 400 kg/m^3 bağlayıcı dozajında hazırladığı barit agregalı ağır betonların 663 keV gama enerjisinde lineer soğurma katsayılarını sırasıyla 0.252, 0.245 ve 0.237 cm^{-1} olarak bulmuştur. Tez çalışmasında genel olarak yüksek kıvam değerlerinde hazırlanan ağır beton lineer soğurma katsayılarının literatürle uyumlu ve hatta daha iyi sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır.

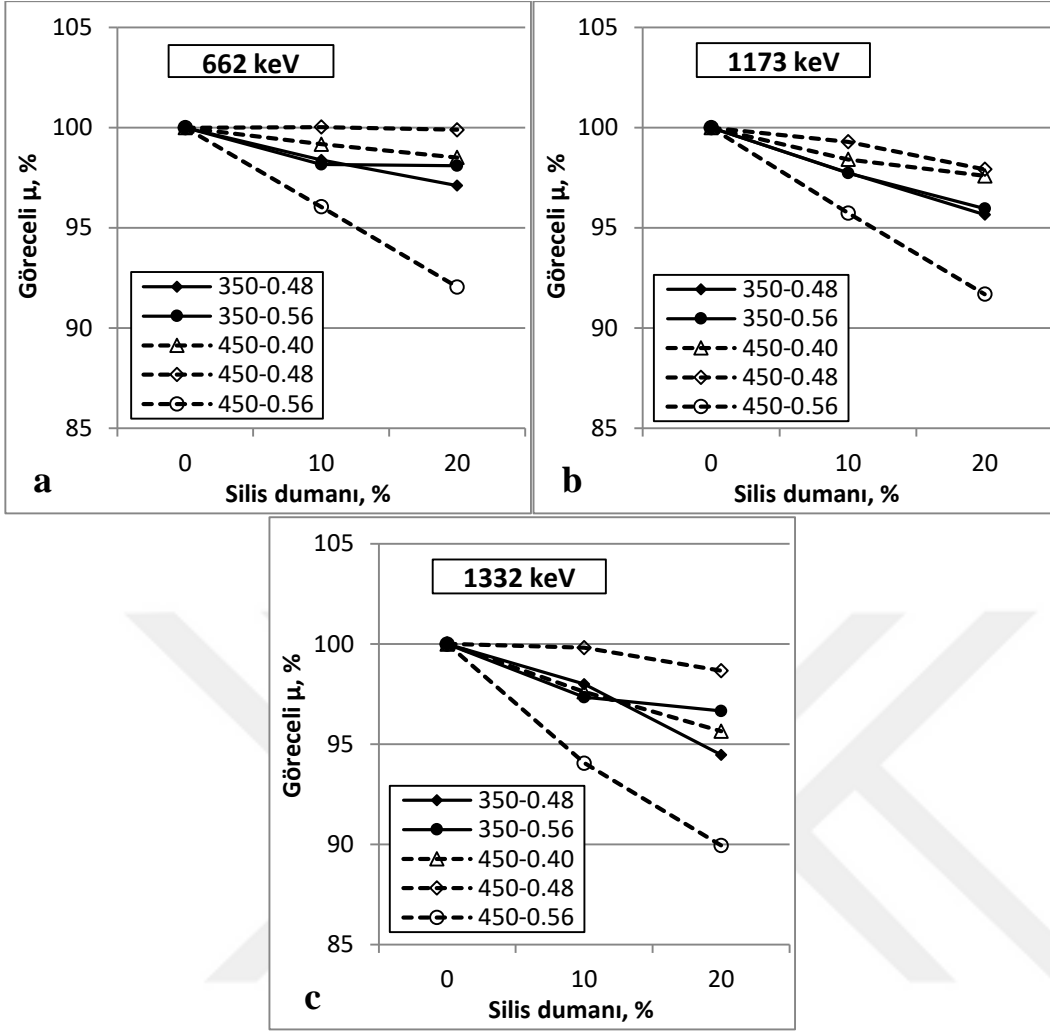
4.2.4.1 İkame katkılarının lineer soğurma katsayıları üzerindeki etkisi

Çalışma kapsamında YKAB'lerin göreceli lineer soğurma katsayıları her bir gama enerjisi için viskozite düzenleyici, silis dumanı ve uçucu kül katkılarının ikame oranlarına göre sırasıyla Şekil 4.38, Şekil 4.39 ve Şekil 4.40'de verilmektedir.



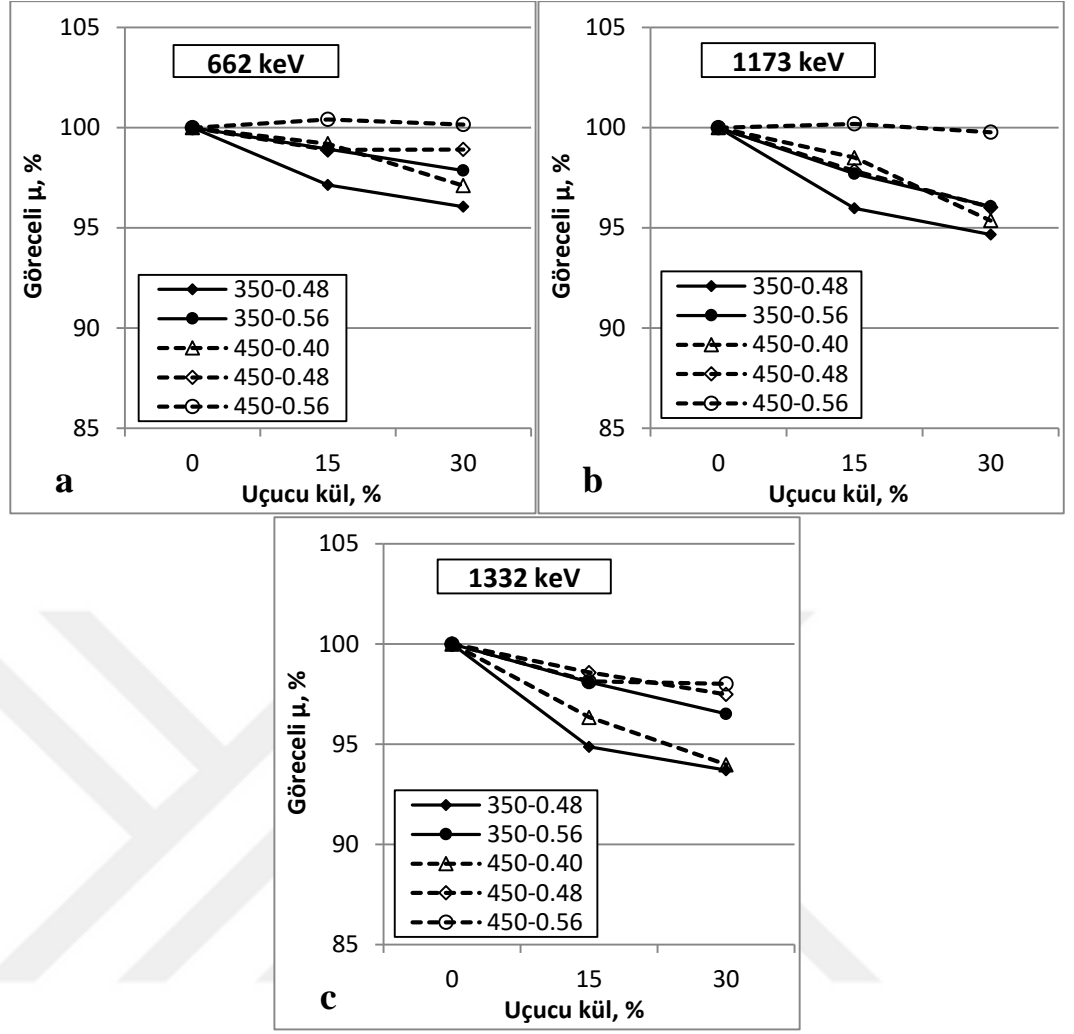
Şekil 4.38. Viskozite düzenleyicinin göreceli lineer soğurma katsayılarına etkisi

Viskozite düzenleyici katkı çalışmada ağır beton karışımlarında oldukça düşük ikame oranlarında kullanılmasına rağmen katksız karışımlara göre %5'e varan oranda lineer soğurma katsayılarını azaltmaktadır. Özellikle yüksek s/b oranındaki (0.56) karışımlarda bu azalma etkisinin %0.4 viskozite düzenleyici ikamesinde daha bariz olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.39. Silis dumanının göreceli lineer soğurma katsayılarına etkisi

Göreceli lineer soğurma katsayılarında %10'lara varan azalmaya yol açan silis dumanı, bu bakımdan diğer katkılara göre en olumsuz ikame katkısıdır. Silis dumanı katkısının ikame oranı arttıkça lineer soğurma katsayılarının katkısız serilere göre azaldığı anlaşılmaktadır. Özellikle yüksek bağlayıcı dozajı (450 kg/m^3) ve yüksek s/b oranındaki karışımda lineer soğurma katsayıları silis dumanı ikamesi ile kayda değer oranda azalmaktadır.



Şekil 4.40. Uçucu külün göreceli lineer soğurma katsayılarına etkisi

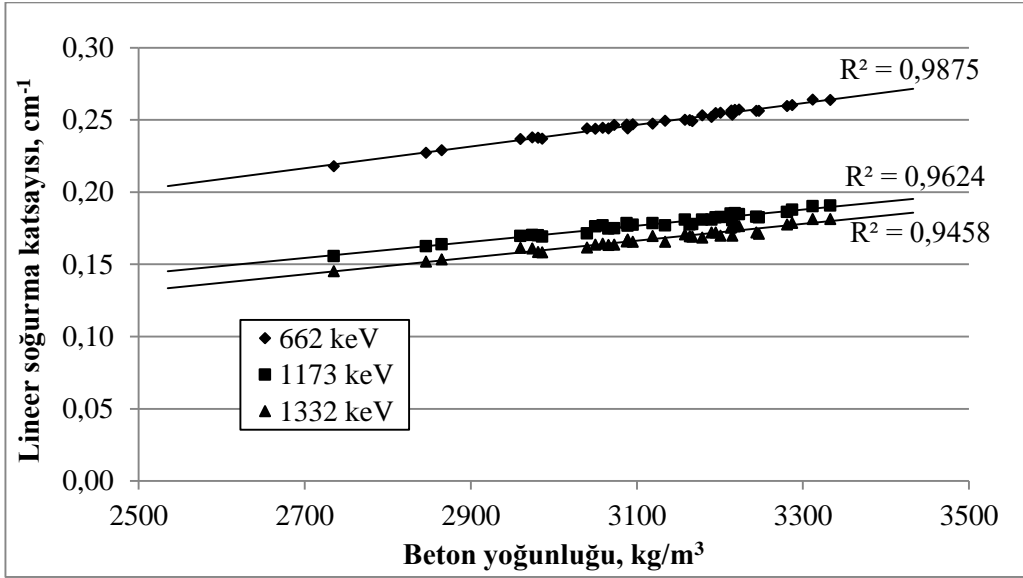
Uçucu kül diğer ikame katkıları ile kıyaslandığında ve yüksek oranda ikame oranları dikkate alındığında lineer soğurma katsayılarının azalmasında nispeten daha az etkili olduğundan söz edilebilir. Uçucu kül diğer katkı tipleri ile zıt olarak her iki bağlayıcı dozajına sahip betonda da düşük s/b dozajlarında lineer soğurma katsayılarını %6'lara varan oranda azaltmaktadır.

Çalışmada elde edilen bulgulara ters olarak Sakr (2006) çalışmasında silis dumanı ikamesinin lineer soğurma katsayıları üzerinde olumlu bir etkisinin olduğunu göstermiştir. Yılmaz vd. (2011) yaptığı çalışmada %10 silis dumanı ikamesine kadar normal ağırlıklı harçların lineer soğurma katsayılarında önemli bir etkinin olmadığını (≤ 3 azalma) göstermiştir. Ancak %30 oranına kadar uçucu kül ikamesinde bu harçların lineer soğurma katsayıları ve yoğunlukları %12'lere varan oranlarda azalmıştır. Rezaei-Ochbelagh vd. de (2012) yaptıkları çalışmada elde ettikleri bulgular, normal ağırlıklı betonların lineer soğurma katsayıları üzerinde

silis dumanı ikamesinin olumlu bir etkisinin olmadığı yönündedir. Diğer taraftan nano silisin de çok düşük kullanım oranlarında lineer soğurma katsayılarını önemli oranda azalttığı kaydedilmiştir (Elsharkawy and Sadawy, 2016).

4.2.4.2 Lineer soğurma katsayıları ve beton yoğunlukları arasındaki ilişki

YKAB karışımlarının lineer soğurma katsayıları, gama ışınlarının enerjilerine ve betonların yoğunluk değerlerine bağlı olarak Şekil 4.41’de verilmektedir.



Şekil 4.41. Lineer soğurma katsayısının (μ) beton yoğunluğuna göre değişimi

Farklı enerjili gama ışınları için, YKAB numunelerinin yoğunlukları ile gama ışını lineer soğurma katsayıları arasında iyi derecede lineer regresyon ilişkilerinin ($0,95 < R^2$) olduğu anlaşılmaktadır. Betonların yoğunluk değerlerinin artması ile deneysel olarak belirlenen lineer soğurma katsayıları artış göstermektedir.

4.2.4.3 Karışım parametrelerinin lineer soğurma katsayıları üzerindeki etkisi

Tez çalışması kapsamında bağlayıcı dozajı, s/b oranları ve ikame katkılarının kullanımı ile elde edilen ağır beton karışımlarının en düşük (min) ve en yüksek (maks) lineer soğurma katsayıları gama enerjilerine bağlı olarak Tablo 4.3’de verilmektedir.

Tablo 4.3. Karışım parametrelerinin lineer soğurma katsayılarına etkisi

Gama ışını enerjisi (keV)	Lineer soğurma katsayısı (cm ⁻¹)		Göreceli değişim* %
	min	maks	
662	0.218±0.013	0.264±0.017	21.1
1173	0.156±0.006	0.191±0.008	22.5
1332	0.145±0.006	0.181±0.008	24.8

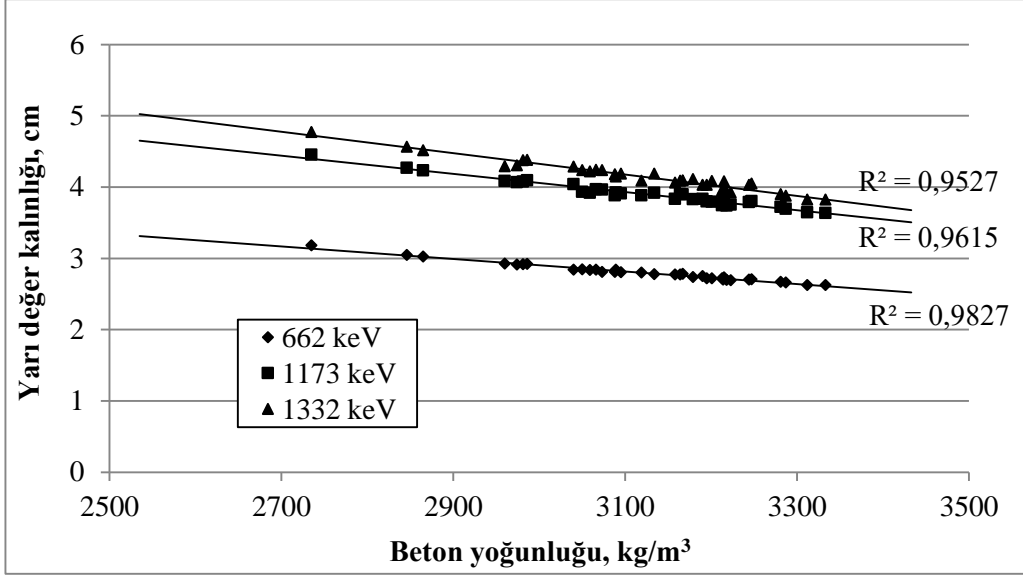
* Göreceli değişim = [(maks-min) / min] × 100

Farklı karışım parametreleri ile elde edilen ağır betonların lineer soğurma katsayılarının geniş bir aralıkta değiştiği anlaşılmaktadır. Gama enerjilerindeki artış ile bir miktar artış gösteren göreceli değişim oranları, tez kapsamında elde edilen lineer soğurma katsayıları açısından en zayıf (450-0.56-20SD) ve en iyi olan betonların (350-0.48-ref) oluşturacağı farkı vurgulamaktadır. Özellikle 1332 keV gama enerjisinde en düşük lineer soğurma katsayısına göre %25'e varan artış görülmektedir.

Al-Humaiqani vd. (2013) yaptıkları çalışmada farklı s/b oranı ile hazırlanan barit agregalı ağır betonların yoğunluklarında kaydadeğer bir değişikliğin olmadığını ve 663 keV gama enerjisinde lineer soğurma katsayılarının s/b oranlarının artmasıyla azaldığını göstermiştir. Silis dumanı içeren ağır beton karışımlarında, s/b oranının 0.30 yerine 0.40 tercih edilmesi durumunda, lineer soğurma katsayısının %12 oranında arttığı anlaşılmaktadır.

4.2.5 Yarı değer ve onda bir değer kalınlıkları

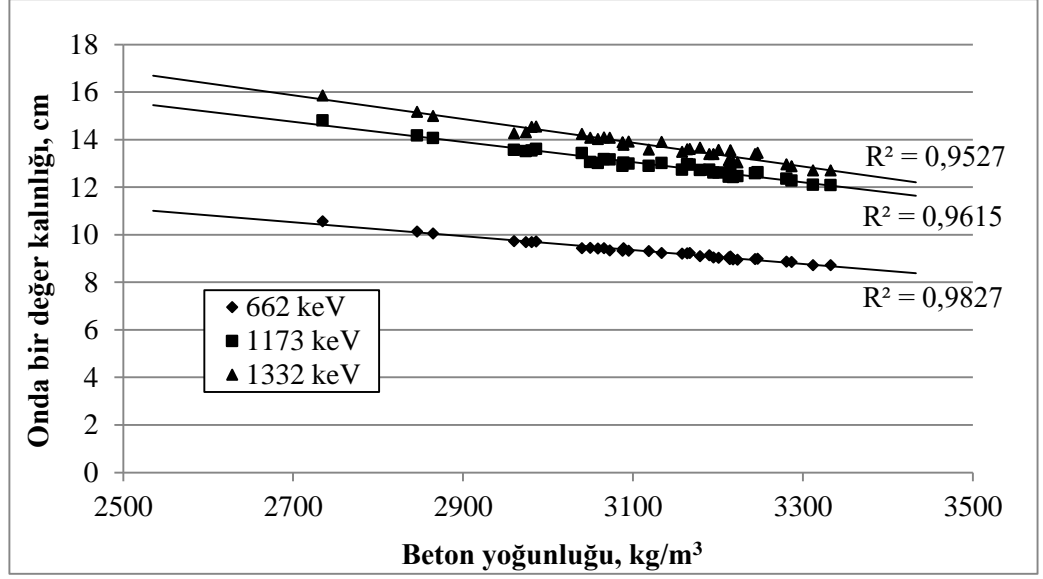
Tez çalışması kapsamında hazırlanan YKAB karışımlarının yarı değer kalınlıkları, gama ışınlarının enerjilerine ve beton yoğunluklarına bağlı olarak Şekil 4.42'de verilmektedir.



Şekil 4.42. Yarı değer kalınlığının ($x_{1/2}$) beton yoğunluğuna göre değişimi

YKAB numunelerinin 662 keV enerjili gama ışınları için 2.6 ile 3.2 cm aralığında, 1173 keV enerjili gama ışınları için 3.6 ile 4.5 cm aralığında ve 1332 keV enerjili gama ışınları için 3.8 ile 4.8 cm aralığında değişen gama ışını yarı değer kalınlıkları ile yoğunlukları arasında iyi derecede lineer regresyon ilişkilerinin ($0.95 < R^2$) olduğu anlaşılmaktadır. Betonların yoğunluk değerlerinin artması ile gama ışını yarı değer kalınlıkları azalmaktadır.

Tez çalışması kapsamında hazırlanan YKAB karışımlarının onda bir değer kalınlıkları, gama ışınlarının enerjilerine ve beton yoğunluklarına bağlı olarak Şekil 4.43'de verilmektedir.

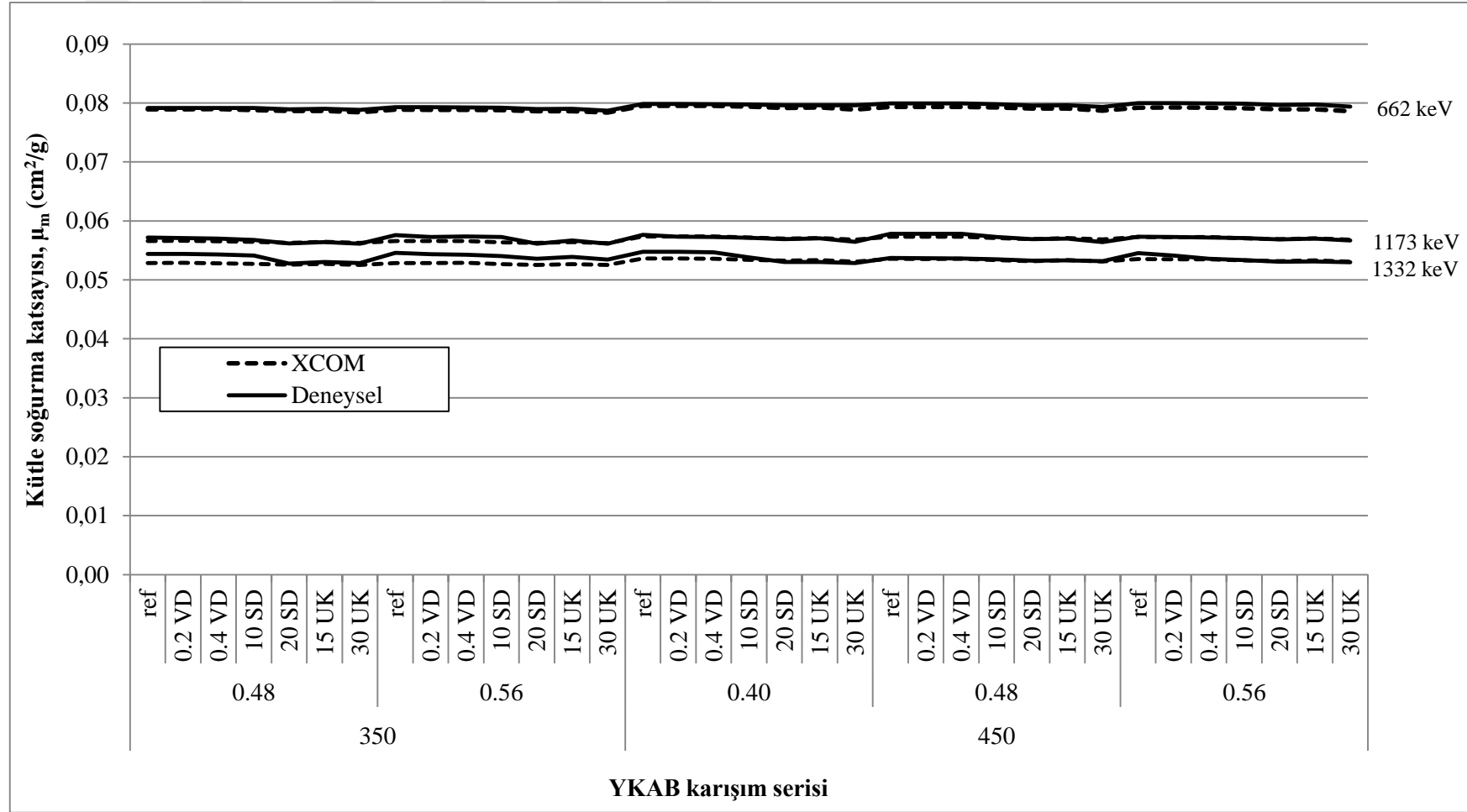


Şekil 4.43. Onda bir değer kalınlığının ($x_{1/10}$) beton yoğunluğuna göre değişimi

YKAB numunelerinin 662 keV enerjili gama ışınları için 8.7 ile 10.6 cm aralığında, 1173 keV enerjili gama ışınları için 12.1 ile 14.8 cm aralığında ve 1332 keV enerjili gama ışınları için 12.7 ile 15.9 cm aralığında değişen gama ışını onda bir değer kalınlıkları ile yoğunlukları arasında iyi derecede lineer regresyon ilişkilerinin ($0.95 < R^2$) olduğu anlaşılmaktadır. Betonların yoğunluk değerlerinin artması ile gama ışını onda bir değer kalınlıkları azalmaktadır.

4.2.6 Kütle soğurma katsayıları

Tez çalışması kapsamında hazırlanan YKAB numunelerinin ^{137}Cs (662 keV) ve ^{60}Co (1173 ve 1332 keV) kaynakları için belirlenen kütle soğurma katsayıları, teorik olarak XCOM programıyla hesaplanan değerler ile karşılaştırmalı olarak karışım kodlamalarına göre Şekil 4.44'de verilmektedir.



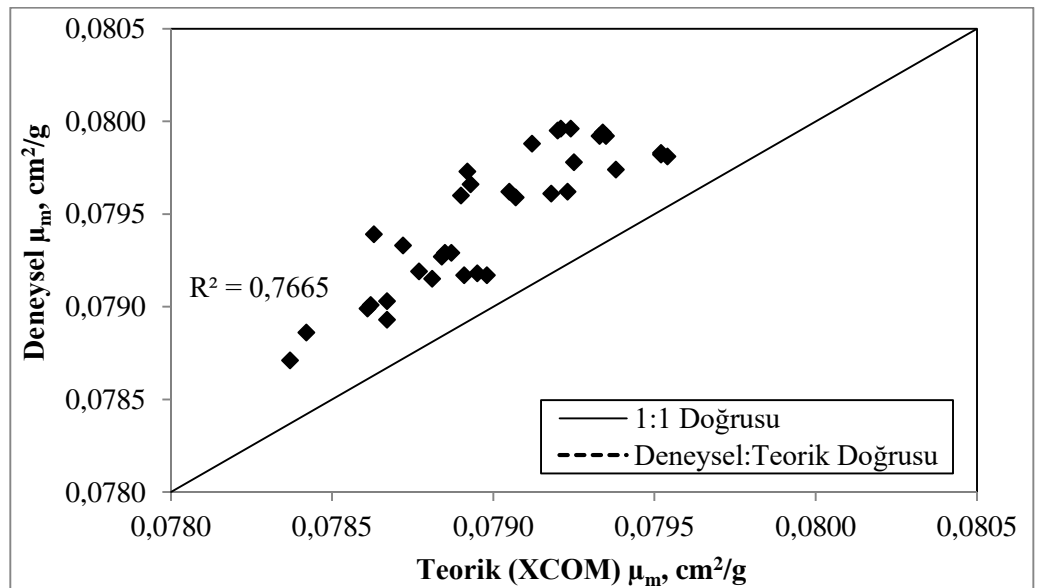
Şekil 4.44. YKAB'lerin karışım kodlarına göre gama ışını kütle soğurma katsayıları (μ_m)

YKAB'lerin 662 keV'de gama ışını kütle soğurma katsayılarının 0.0787 ile 0.0800 cm²/g değerleri arasında, 1173 keV'de 0.0561 ile 0.0578 cm²/g değerleri arasında, 1332 keV'de 0.0527 ile 0.0548 cm²/g değerleri arasında değiştiği görülmektedir. Belirli bir gama enerjisi için kütle soğurma katsayısı verilen bir soğurucunun fiziksel koşullarından bağımsızdır. Çalışmada da kullanılan karışım parametrelerinin kütle soğurma katsayıları üzerinde bir etkisinin olmadığından sözü edilebilir. Al-Humaiqani vd. (2013) çalışmasında, düşük s/b oranlarında (0.30, 0.35 ve 0.40) hazırladığı barit agregalı betonların yoğunluk değerlerinde kayda değer bir değişiklik olmazken, 663 keV gama enerjisinde deneysel kütle soğurma katsayılarının 0.0700 ile 0.0746 aralığında değiştiğini göstermiştir.

Genel olarak tez çalışmasında teorik kütle soğurma katsayılarının, deneysel kütle soğurma katsayılarına yakın olduğu ve çok az altında kalabildiği anlaşılmaktadır. Bu durumun aksine Al-Humaiqani vd. (2013) barit agregalı ağır betonların teorik kütle soğurma katsayılarını deneysel kütle soğurma katsayılarından %11 ile %18 aralığında daha fazla bulmuştur.

Deneysel ve teorik kütle soğurma katsayıları arasındaki ilişki:

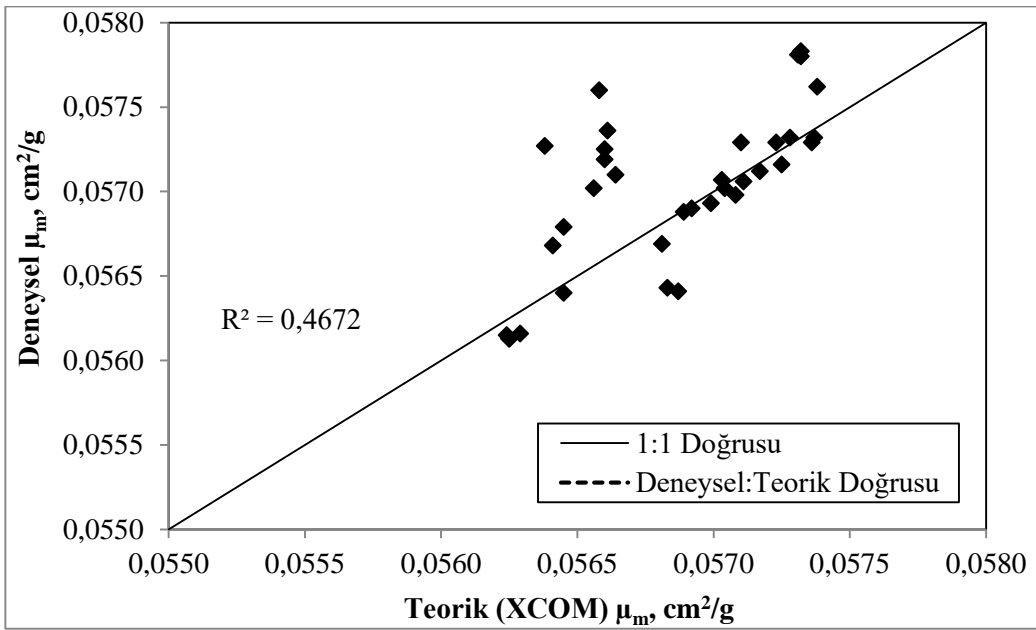
YKAB karışımlarının 662 keV enerjili gama ışınları için deneysel kütle soğurma katsayıları ve teorik (XCOM) kütle soğurma katsayıları arasındaki regresyon ilişkisi Şekil 4.45'te verilmektedir. Ayrıca şekilde deneysel ve teorik kütle soğurma katsayıları arasındaki sapmanın net olarak görülebilmesi için 1:1 doğrusu oluşturulmuştur.



Şekil 4.45. 662 keV'de deneysel ve teorik kütle soğurma katsayıları arasındaki ilişki

662 keV enerjili gama ışınları için deneysel ve teorik (XCOM) kütle soğurma katsayıları arasında iyi derecede lineer regresyon ilişkisinin ($R^2:0.77$) olduğu anlaşılmaktadır. Teorik kütle soğurma katsayıları, deneysel kütle soğurma katsayılarına oldukça yakın olup genellikle bir miktar altındadır.

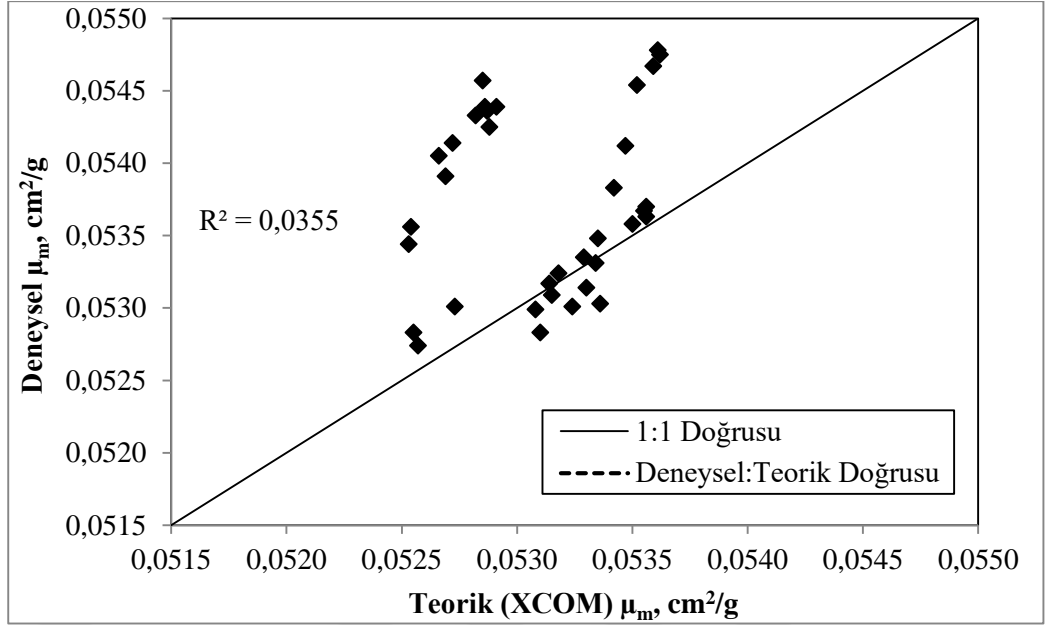
YKAB karışımlarının 1173 keV enerjili gama ışınları için deneysel kütle soğurma katsayıları ve teorik (XCOM) kütle soğurma katsayıları arasındaki regresyon ilişkisi Şekil 4.46'da verilmektedir. Ayrıca şekilde deneysel ve teorik kütle soğurma katsayıları arasındaki sapmanın net olarak görülebilmesi için 1:1 doğrusu oluşturulmuştur.



Şekil 4.46. 1173 keV'de deneysel ve teorik kütle soğurma katsayıları arasındaki ilişki

1173 keV enerjili gama ışınları için deneysel ve teorik (XCOM) kütle soğurma katsayıları arasında yetersiz derecede lineer regresyon ilişkisinin ($R^2:0.47$) olduğu anlaşılmaktadır. Teorik kütle soğurma katsayıları, deneysel kütle soğurma katsayılarına oldukça yakın olup bir miktar sapma gösterebilmektedir.

YKAB karışımlarının 1332 keV enerjili gama ışınları için deneysel kütle soğurma katsayıları ve teorik (XCOM) kütle soğurma katsayıları arasındaki regresyon ilişkisi, oluşturulan 1:1 doğrusu ile birlikte Şekil 4.47'de verilmektedir.



Şekil 4.47. 1332 keV’de deneysel ve teorik kütle soğurma katsayıları arasındaki ilişki

1332 keV enerjili gama ışınları için deneysel ve teorik (XCOM) kütle soğurma katsayıları arasında bir ilişkinin ($R^2:0.04$) olmadığı anlaşılmaktadır. Teorik kütle soğurma katsayıları deneysel kütle soğurma katsayılarına oldukça yakındır ama bir miktar altında değerler görülebilmektedir.

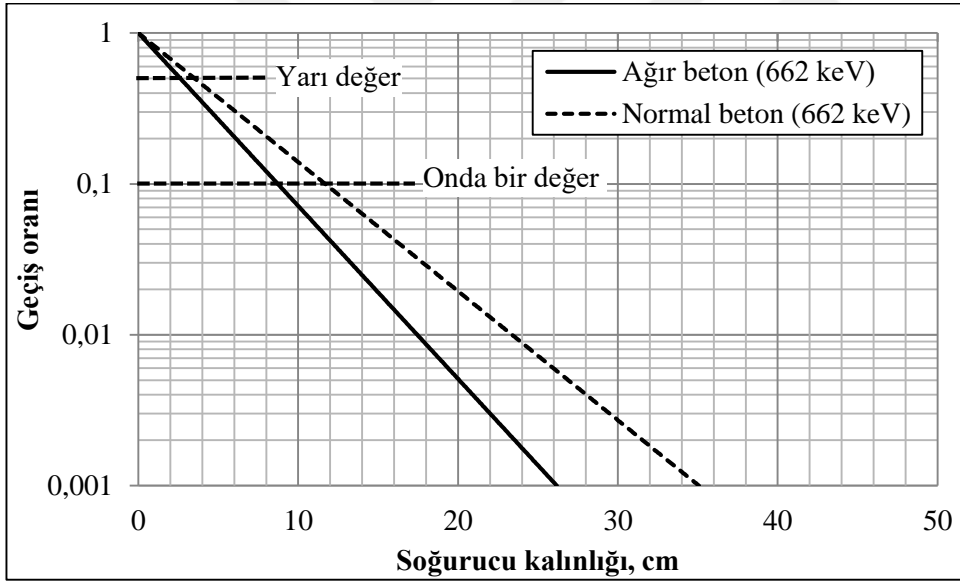
Gama enerjisindeki artışla kaybolan deneysel ve kütle soğurma katsayıları arasındaki ilişkiden yola çıkarak, ^{60}Co kaynaklı gama ışınları için (1332 keV) spektrumlarda Gauss tipi dağılımlarının (Şekil 3.11 örnek spektrumunda görüldüğü üzere) YKAB numunelerinin doğal radyoaktivitelerden (özellikle ^{40}K ve ^{214}Bi) kaynaklı girişimlerden etkilendiği açıktır. ^{60}Co kaynağının iki gama enerjisi için yarı pik yüksekliğindeki kanal aralığına göre düzeltme yapılsa da deneysel sonuçların hesaplanmasını etkileyebildiği anlaşılmaktadır. Ayrıca kütle soğurma katsayılarının birbirine çok yakın olmasından yola çıkarak, bu çalışma kapsamındaki ağır beton yoğunluklarındaki farklılığın, değişen su emme oranlarına bağlı görünür boşluk miktarlarından kaynaklandığını söylebiliriz. Diğer bir deyişle, betonların kütle soğurma katsayılarını doğrudan etkileyebilecek elementel içeriklerin çalışma kapsamında kayda değer bir değişim göstermediği sonucuna varılabilir.

4.2.7 Zırh kalınlıkları üzerine örnek bir kıyaslama

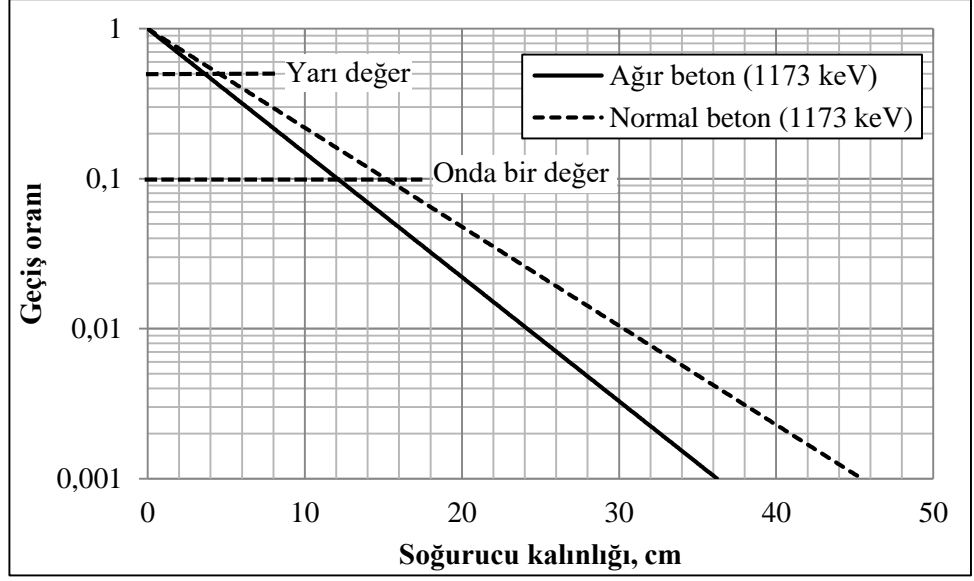
Canlıları radyasyonun zararlı etkilerinden korumak ve radyasyonun etkilerini kabul edilebilir seviyelere indirmek amacıyla zırlama yapılır. Genel olarak

maruziyet süresi, radyoaktif kaynağının enerji aralıkları ve uzaklığı gibi veriler zırhlama malzemelerinin kalınlıklarının hesabında önemlidir (Kılınçarslan vd., 2011). Diğer taraftan bileşenleri ve buna bağlı özellikleri (özellikle kimyasal içeriği ve yoğunluğu) kontrol edilebilen beton karışımlarının, zırh malzemesi olarak kullanımında kalınlık değerleri önemli ölçüde değişebilmektedir (NCRP Report, 2005). Genel olarak zırh hesabı üzerine yapılan çalışmalarda farklı yoğunluktaki betonların, göreceli olarak radyasyon geçiş oranı ile gerekli zırh malzemesi kalınlığı ilişkisi araştırma konusu olmaktadır (Facure ve Silva, 2007; Kılınçarslan vd., 2011).

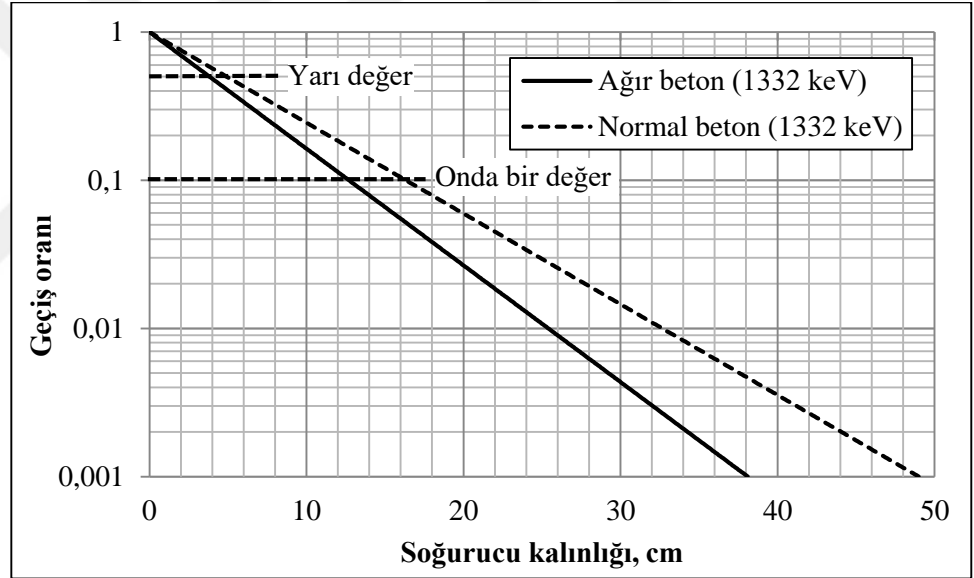
Tez çalışması kapsamında, segregasyon açısından yeterli dirence sahip olduğu anlaşılan 350-0.48-ref karışımı en yüksek lineer soğurma katsayısı değerine sahiptir. Bu ağır beton karışımına ait geçiş oranları ve beton kalınlıkları ilişkisi, Shirmardi vd. (2013) tarafından yapılan çalışmadan elde edilen normal ağırlıklı betonların geçiş oranları ve kalınlıkları ilişkisi ile birlikte Şekil 4.48, Şekil 4.49 ve Şekil 4.50’de gama ışını enerjisine bağlı olarak verilmektedir.



Şekil 4.48. Ağır ve normal betonların 662 keV’de geçiş oranı ve kalınlık ilişkisi



Şekil 4.49. Ağır ve normal betonların 1173 keV'de geçiş oranı ve kalınlık ilişkisi



Şekil 4.50. Ağır ve normal betonların 1332 keV'de geçiş oranı ve kalınlık ilişkisi

Tez çalışması kapsamında elde edilen ağır betonun soğurma kalınlıkları, Shirmardi vd. (2013) tarafından yapılan normal betonların soğurma kalınlıklarına göre kayda değer oranda azaldığı anlaşılmaktadır. Ayrıca bu betonların yarı değer kalınlıkları ($x_{1/2}$) ve onda bir değer kalınlıkları ($x_{1/10}$), gama ışını enerjilerine bağlı olarak Tablo 4.4'de verilmektedir.

Tablo 4.4. Ağır ve normal betonların yarı değer ($x_{1/2}$) ve onda bir değer kalınlıkları ($x_{1/10}$), cm

Beton tipi	662 keV		1173 keV		1332 keV	
	$x_{1/2}$	$x_{1/10}$	$x_{1/2}$	$x_{1/10}$	$x_{1/2}$	$x_{1/10}$
Ağır Beton	2.6	8.7	3.6	12.1	3.8	12.7
Normal Beton	3.5	11.7	4.6	15.1	4.9	16.3

Normal betonların yarı ve onda bir değer kalınlıkları göreceli olarak referans alınarak ağır betonların soğurma kalınlığındaki azalma oranları enerji seviyesine bağlı olarak %'ce Tablo 4.5'de ifade edilmektedir.

Tablo 4.5. Ağır betonların benzer gama ışını geçiş oranında soğurma kalınlığı azalma oranları, %

	662 keV	1173 keV	1332 keV
Azalma oranı, %	-25.4	-20.3	-22.2

662 keV ile 1332 keV aralığındaki gama ışınlarının soğurulmasında, çalışma kapsamında üretilen ağır betonların %20 ile %25 aralığında daha dar kesitler ile normal betonlara göre benzer soğurma performanslarını karşılayabileceği anlaşılmaktadır.

4.3 AKYB Taze Hal Özellikleri

Tez çalışması kapsamında hazırlanan 8 farklı AKYB karışımı üzerinde KYB özelliklerinin (doldurma, viskozite, geçiş ve segregasyon direnci) araştırılması için bir takım deneyler yapılmıştır.

4.3.1 Çökme yayılması, T_{50} süresi ve görsel stabilite indeksi

Tez çalışması kapsamında hazırlanan AKYB karışımlarının çökme yayılmaları ve bu yayılma değerleri için kullanılan HA katkı oranları ile birlikte Tablo 4.6'da verilmektedir.

Tablo 4.6. AKYB karışımlarının çökme yayılması ve HA katkı oranları

Karışım	Çökme		Karışım	Çökme	
	Yayılması (cm)	HA, (%)		Yayılması (cm)	HA, (%)
0.40-ref	58.5	0.46	0.32-ref	56.0	1.76
0.40-0.4VD	56.5	0.48	0.32-0.4VD	58.0	1.78
0.40-20SD	56.0	0.80	0.32-20SD	57.0	1.25
0.40-30UK	57.5	0.36	0.32-30UK	61.0	1.62

ASTM C1611'e (2014) göre ters koni yöntemi kullanılarak yapılan AKYB karışımlarının çökme yayılmaları, TS 802 (2016) ve EFNARC (2005) tarafından

belirtilen KYB'ler için SF1 grubu yayılma sınıfı aralığına girmektedir. Silis dumanı ikamesi yüksek s/b içeriğine sahip AKYB karışımlarında benzer yayılma değerleri için HA katkı kullanımını önemli ölçüde artırırken, düşük s/b oranında ise önemli oranda azaltmaktadır.

AKYB karışımlarında KYB'nin göreceli viskozitesinin bir ifadesi olan T_{50} süresi ve statik segregasyonun bir ifadesi olan görsel stabilite indeksi (GSİ) değerleri belirlenmiş ve Tablo 4.7'de verilmektedir.

Tablo 4.7. AKYB karışımlarının T_{50} süreleri ve GSİ değerleri

Karışım	T_{50} (sn)	GSİ	Karışım	T_{50} (sn)	GSİ
0.40-ref	9.2	1	0.32-ref	31.0	3
0.40-0.4VD	10.1	2	0.32-0.4VD	25.9	1
0.40-20SD	6.9	1	0.32-20SD	14.6	2
0.40-30UK	6.3	1	0.32-30UK	21.2	2

ASTM C 1611'e (2014) göre ters koni prosedürü kullanılarak yapılan AKYB karışımlarının T_{50} süreleri, EFNARC (2005) tarafından belirtilen KYB'ler için VS2 grubu viskozite sınıfına (>2 sn) girmektedir. Yüksek s/b oranında VD katkı ikamesi haricinde bütün AKYB karışımlarının göreceli viskoziteleri katkısız karışım serilerine göre iyileşmektedir. Ayrıca ikame katkılarının düşük s/b oranındaki (0.32) AKYB karışımlarında kullanımı, statik segregasyonların azaltılmasında etkili olmuştur.

Benzer şekilde, Mehdipour vd. (2013) yaptığı çalışmada, kendiliğinden yerleşen harçlarda uçucu kül ikamesinin görsel stabilite indeksini artırabildiği bulgularına yer vermiştir. Özellikle düşük s/b oranındaki karışımlarda uçucu kül ikamesinin segregasyon dirençlerinin daha fazla düşürdüğü kaydedilmiştir.

4.3.2 J halkası yayılması ve bloklanma

Tez çalışması kapsamında hazırlanan AKYB karışımlarında J-halkası yayılmaları ve geçiş özelliğinin bir ifadesi olan bloklanma değerleri Tablo 4.8'de verilmektedir.

Tablo 4.8. AKYB karışımlarının J-halkası yayılmaları ve bloklanma miktarları

Karışım	J-Halkası Yayılması (cm)	Bloklanma (mm)	Karışım	J-Halkası Yayılması (cm)	Bloklanma (mm)
0.40-ref	56.0	25	0.32-ref	53.0	30
0.40-0.4VD	53.5	30	0.32-0.4VD	54.0	40
0.40-20SD	52.5	35	0.32-20SD	54.0	30
0.40-30UK	54.5	30	0.32-30UK	59.0	20

ASTM C 1611'e (2014) göre ters koni prosedürü kullanılarak yapılan AKYB karışımlarında ASTM C 1621'de (2014) KYB'ler için önerilen bloklanma değerlerine göre; görünür bir bloklanmanın olmadığı (≤ 25 mm) veya az miktarda bir bloklanmanın olduğu (25-50 mm) söylenebilir.

4.3.3 Kolon segregasyon yöntemi sonuçları

Tez çalışması kapsamında hazırlanan düşey kalıpta, AKYB karışımlarının statik segregasyonlarının araştırılması sonucu elde edilen kolon segregasyon katsayıları (SK_{kol}) Tablo 4.9'da verilmektedir.

Tablo 4.9. AKYB karışımlarının kolon segregasyon katsayıları, SK_{kol}

Karışım	SK_{kol} %	Göreceli değişim, %	Karışım	SK_{kol} %	Göreceli değişim, %
0.40-ref	6.0	0.0	0.32-ref	17.1	0.0
0.40-0.4VD	14.6	+ 142.6	0.32-0.4VD	6.1	- 64.6
0.40-20SD	6.2	+ 3.2	0.32-20SD	8.3	- 51.4
0.40-30UK	3.2	- 47.6	0.32-30UK	11.1	- 35.1

AKYB karışımlarının kolon segregasyon katsayılarının %3.2 ile %17.1 aralığında değiştiği görülmektedir. Viskozite düzenleyici katkı ikamesi, yüksek s/b oranında (0.40) ağır betonların segregasyon dirençlerini önemli ölçüde azaltırken, düşük s/b oranında (0.32) ise önemli oranda artırmaktadır. Düşük su/bağlayıcı (0.32) oranına sahip AKYB karışımlarında ikame katkılarının kullanımı betonların segregasyon dirençlerini artırmaktadır. Ucucu kül ikamesi katkısız AKYB karışımlarına göre betonların segregasyon direncini artırmaktadır. Kolon segregasyon yönteminde KYB'lerin %10 üzerinde segregasyon katsayısına sahip olmaları durumunda kayda değer bir segregasyonun olduğu ifade edilmektedir (Safawi vd., 2005; Bui vd., 2002; Otsuki vd., 1996). Bu bağlamda tez çalışması kapsamında hazırlanan AKYB karışımlarının segregasyon potansiyellerinin olduğundan söz edilebilir.

4.3.4 Yoğunluk segregasyon yöntemi sonuçları

Tez çalışması kapsamında hazırlanan düşey kalıpta, AKYB karışımlarının statik segregasyonlarının araştırılması sonucu elde edilen yoğunluk segregasyon katsayıları ($SK_{yoğ}$) Tablo 4.10'a verilmektedir.

Tablo 4.10. AKYB karışımlarının yoğunluk segregasyon katsayıları, $SK_{yoğ}$

Karışım	$SK_{yoğ}$ %	Göreceli değişim, %	Karışım	$SK_{yoğ}$ %	Göreceli değişim, %
0.40-ref	0.92	0.0	0.32-ref	2.54	0.0
0.40-0.4VD	2.34	+ 155.2	0.32-0.4VD	0.33	- 87.1
0.40-20SD	0.71	- 22.9	0.32-20SD	1.16	- 54.2
0.40-30UK	0.12	- 86.4	0.32-30UK	1.43	- 43.6

AKYB karışımlarının yoğunluk segregasyon katsayılarının %0.12 ile %2.54 aralığında değiştiği görülmektedir. Viskozite düzenleyici katkı ikamesi, yüksek s/b oranında (0.40) ağır betonların segregasyon dirençlerini önemli ölçüde azaltırken, düşük s/b oranında (0.32) ise önemli oranda artırmaktadır. Silis dumanı ve uçucu kül ikamesi katkısız AKYB karışımlarına göre betonların segregasyon dirençlerini artırmaktadır.

4.3.5 3 bölmeli elek yöntemi sonuçları

Tez çalışması kapsamında AKYB karışımlarının dinamik segregasyonlarının araştırılması sonucu elde edilen 3 bölmeli elek segregasyon katsayıları (SK_{elek}) Tablo 4.11'de verilmektedir.

Tablo 4.11. AKYB karışımlarının 3 bölmeli elek segregasyon katsayıları, SK_{elek}

Karışım	SK_{elek} %	Göreceli değişim, %	Karışım	SK_{elek} %	Göreceli değişim, %
0.40-ref	5.3	0.0	0.32-ref	15.6	0.0
0.40-0.4VD	10.7	+ 101.5	0.32-0.4VD	5.1	- 67.4
0.40-20SD	5.8	+ 9.5	0.32-20SD	6.8	- 56.2
0.40-30UK	2.6	- 51.2	0.32-30UK	7.7	- 50.6

AKYB karışımlarının 3 bölmeli elek segregasyon katsayılarının %2.6 ile %15.6 aralığında değiştiği görülmektedir. Viskozite düzenleyici katkı ikamesi, yüksek s/b oranında (0.40) ağır betonların segregasyon dirençlerini önemli ölçüde azaltırken, düşük s/b oranında (0.32) ise önemli oranda artırmaktadır. Uçucu kül ikamesinin katkısız AKYB karışımlarına göre betonların segregasyon dirençlerini önemli oranda artırdığı anlaşılmaktadır.

4.3.6 Segregasyon sonuçları arasındaki ilişkiler

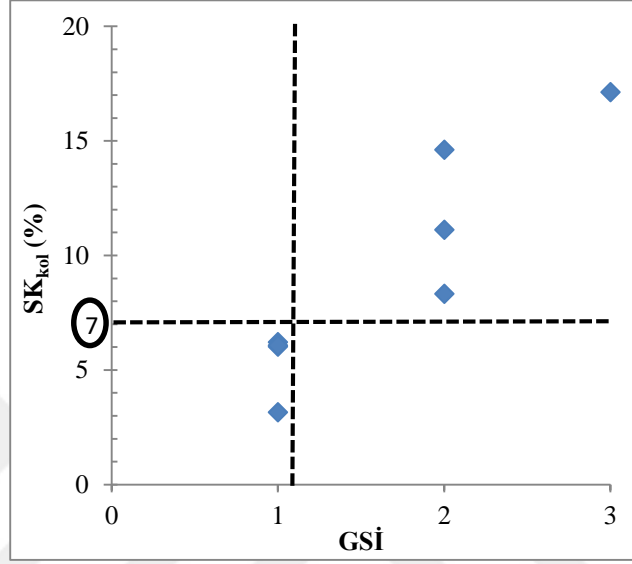
Kolon segregasyon yönteminde araştırılan KYB'lerin iri agrega dağılımı, gerçek segregasyon davranışının ölçülmesi ve önerilen alternatif yöntemlerin geçerlilik veya güvenilirliğinin kontrolü açısından referans olarak değerlendirilmektedir (Bui vd., 2002; Esmailkhanian vd., 2004; Assaad vd., 2004; El-Chabib ve Nehdi, 2006). Tez çalışması kapsamında AKYB karışımları üzerinde yapılan görsel stabilite indeksi ile kolon, yoğunluk ve 3 bölmeli elek segregasyon yöntemlerinden elde edilen statik ve dinamik segregasyon parametreleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır (Tablo 4.12).

Tablo 4.12. AKYB'de segregasyon yöntemleri arasında kurulan ilişkiler

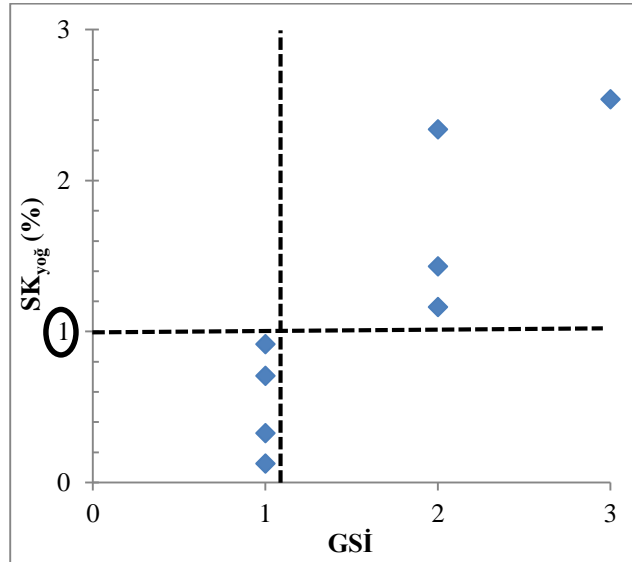
Kurulan ilişkiler (y) ve (x)	Regresyon tipi	Eğri denklemi*	Korelasyon Katsayısı, R ²
SK _{kol} ve GSİ	Üstel	$y = 2.8018e^{0.6449x}$	0.75
	Doğrusal	$y = 5.9106x - 0.5237$	0.84
	Logaritmik	$y = 9.7846\ln(x) + 5.194$	0.82
	Polinom	$y = -0.0992x^2 + 6.2787x - 0.8118$	0.84
	Üs	$y = 5.1789x^{1.0917}$	0.77
SK _{kol} ve SK _{yoğ}	Üstel	$y = 3.9111e^{0.5989x}$	0.90
	Doğrusal	$y = 5.3574x + 2.6895$	0.96
	Logaritmik	$y = 4.1167\ln(x) + 97743$	0.76
	Polinom	$y = 0.6104x^2 + 3.6804x + 3.4105$	0.96
	Üs	$y = 8.7097x^{0.5116}$	0.89
SK _{yoğ} ve GSİ	Üstel	$y = 0.1537e^{1.0487x}$	0.59
	Doğrusal	$y = 1.0437x - 0.5029$	0.78
	Logaritmik	$y = 1.7434\ln(x) + 0.5004$	0.78
	Polinom	$y = -0.1152x^2 + 1.471x - 0.8374$	0.79
	Üs	$y = 0.4126x^{1.8043}$	0.62
SK _{yoğ} ve SK _{elek}	Üstel	$y = 0.1773e^{0.2095x}$	0.69
	Doğrusal	$y = 0.2053x - 0.3365$	0.89
	Logaritmik	$y = 1.5419\ln(x) - 1.7144$	0.89
	Polinom	$y = -0.0107x^2 + 0.4059x - 1.083$	0.93
	Üs	$y = 0.0294x^{1.7818}$	0.88
SK _{elek} ve GSİ	Üstel	$y = 2.4081e^{0.6195x}$	0.74
	Doğrusal	$y = 4.9504x - 0.5927$	0.83
	Logaritmik	$y = 7.9016\ln(x) + 4.3126$	0.76
	Polinom	$y = 1.7428x^2 - 1.5147x + 4.4669$	0.87
	Üs	$y = 4.3915x^{1.0218}$	0.72
SK _{elek} ve SK _{kol}	Üstel	$y = 2.5033e^{0.1066x}$	0.92
	Doğrusal	$y = 0.8141x - 0.059$	0.94
	Logaritmik	$y = 6.7469\ln(x) - 6.5703$	0.85
	Polinom	$y = 0.0292x^2 + 0.2099x + 2.5494$	0.96
	Üs	$y = 0.9107x^{0.9523}$	0.97

* Çalışma kapsamında elde edilen en düşük ve en yüksek segregasyon değerleri (x ve y) aralığında geçerli denklemlerdir.

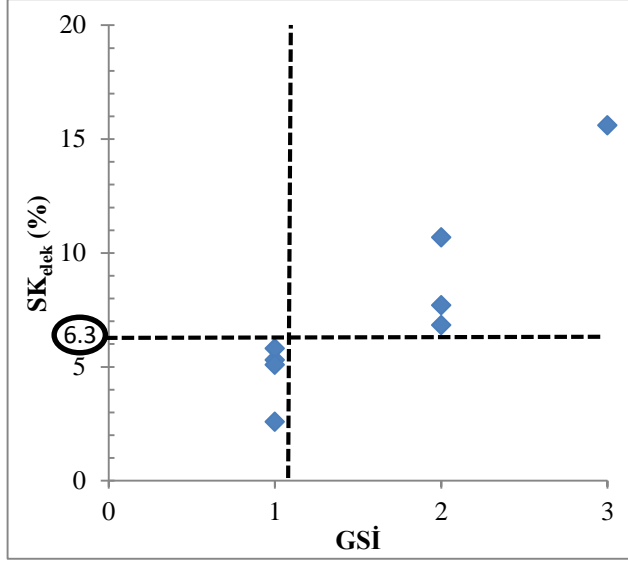
AKYB karışımları için segregasyon yöntemleri arasında iyi derecede ($0.59 \leq R^2 \leq 0.97$) regresyon ilişkilerinin kurulabildiği anlaşılmaktadır. Görsel stabilite açısından segregasyona uğramadığı veya ihmal edilebilir segregasyon gösterdiği ($\leq \text{GSİ}:1$) anlaşılan karışımlara bağlı olarak, AKYB karışımlarının kolon, yoğunluk ve 3 bölmeli elek segregasyon katsayıları limiti Şekil 4.51, Şekil 4.52 ve Şekil 4.53'te oluşturulmaktadır.



Şekil 4.51. AKYB karışımlarında GSİ değerlerine göre SK_{kol} limitinin belirlenmesi



Şekil 4.52. AKYB karışımlarında GSİ değerlerine göre SK_{yoğ} limitinin belirlenmesi



Şekil 4.53. AKYB karışımlarında GSI değerlerine göre SK_{elek} limitinin belirlenmesi

Literatürde benzer şekilde yapılan kolon segregasyon yönteminde iri agrega dağılımı için önerilen %10 segregasyon katsayısı limitinin altı, betonlarda segregasyonun olmadığı veya ihmal edilebilir düzeyde olduğunu ifade eden bir limittir (Safawi vd., 2005; Bui vd., 2002; Otsuki vd., 1996). Tez çalışmasındaki veriler kapsamında, AKYB'lerin görsel stabiliteyi dikkate alınarak kolon segregasyon limiti Şekil 4.51'de %7 olarak önerilmektedir. Eşdeğer yoğunluk katsayısı limiti Şekil 4.52'de %1.0 ve 3 bölmeli elek segregasyon katsayısı limiti Şekil 4.53'te %6.3 olarak önerilmektedir.

Shen vd. (2007) yaptıkları çalışmada KYB'de segregasyonun belirlenmesi için kullanılan bazı yöntemleri değerlendirmiştir. KYB'de hızlı, düşük maliyetli ve saha dostu metotlara olan ihtiyacın önemi vurgulanmaktadır. Bu bağlamda değerlendirildiğinde tez çalışması kapsamında ağır betonlar için geliştirilen ve kullanılan alternatif yöntemler (yoğunluk ve 3 bölmeli elek yöntemi) KYB açısından umut vadedicidir.

4.4 AKYB'nin Sertleşmiş Hal Özellikleri

Betonlarda artan yoğunluk ve kıvam durumlarının beraberinde getirdiği segregasyon ve terleme risklerine karşı sıklıkla viskozite düzenleyici, silis dumanı ve uçucu kül gibi katkıların kullanıldığı görmekteyiz (Khayat and Guizani, 1997; Khayat, 1998; Nehdi vd., 1998; Bousoubaa ve Lachemi, 2001; Bleszynski vd., 2002; Lachemi vd., 2003). Bu katkıların genellikle sertleşmiş betonların boşluk oranı, su emme, yoğunluk, basınç dayanımı ve durabilite gibi parametrelerini

kontrol ettiği bilinmektedir (Thomas vd., 1999; Bousoubaa ve Lachemi, 2001; Hassan vd., 2012; Sabet vd., 2013). Tez çalışması kapsamında hazırlanan 100mm ayrıtlı küp AKYB numunelerinin, 28 günlük standart su kürü sonrasında su emme, yoğunluk ve basınç dayanımları belirlenmiştir.

4.4.1 Su emme

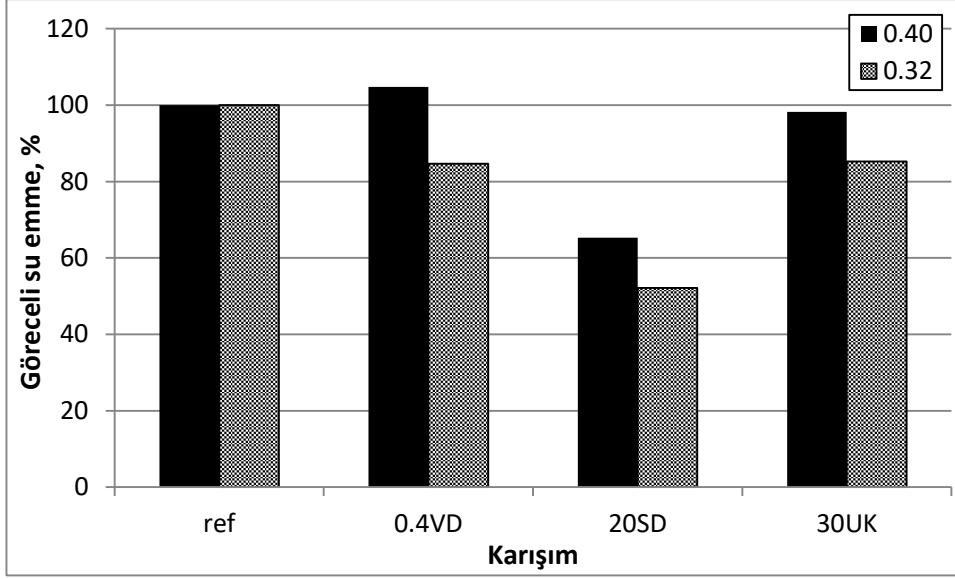
Tez çalışması kapsamında AKYB karışımlarından elde edilen numunelerin su emme değerleri %'ce Tablo 4.13'de verilmektedir.

Tablo 4.13. AKYB karışımlarının su emme oranları, %

Karışım	Su Emme (%)	Karışım	Su Emme (%)
0.40-ref	3.19	0.32-ref	2.46
0.40-0.4VD	3.34	0.32-0.4VD	2.08
0.40-20SD	2.08	0.32-20SD	1.28
0.40-30UK	3.13	0.32-30UK	2.10

Tez kapsamında hazırlanan AKYB karışımlarının su emme oranları %1.28 ile %3.34 aralığında değiştiği anlaşılmaktadır. AKYB karışımlarının s/b oranlarının düşmesi ile su emme oranları önemli ölçüde azalmaktadır. Sabet vd. (2013) yaptığı çalışmada çökme yayılması (60 ± 2.5 cm) ve karışım oranları (500 kg/m^3 bağlayıcı dozajı, %10 ve %20 silis dumanı ve uçucu kül ikamesi, 0.32 s/b oranında) bu tez kapsamındaki AKYB karışımlarına benzer olan normal ağırlıklı betonların su emme oranlarının %2.5 ile %4.5 aralığında değiştiğini göstermiştir.

Katkısız referans karışımları %100 olacak şekilde AKYB karışımlarının göreceli su emme oranları (%) her bir ikame malzemesi için Şekil 4.54'de verilmektedir.



Şekil 4.54. AKYB karışımlarının göreceli su emme oranları, %

Genel olarak tez kapsamında kullanılan ikame katkıları göreceli su emme oranlarını azaltma eğilimindedir. Özellikle silis dumanı ikamesi katkısız AKYB karışımlarının göreceli su emme oranlarını kayda değer oranda azalmaktadır. İkame katkılarının kullanımı ile su emme oranlarındaki bu azalma oranlarının düşük s/b oranındaki karışımlarda daha baskın olduğu anlaşılmaktadır. Sabet vd. (2013) yaptıkları çalışmada normal betonlarda da silis dumanı ve uçucu külün su emme oranlarındaki azaltma eğiliminin benzer olduğunu göstermektedir.

4.4.2 Yoğunluk

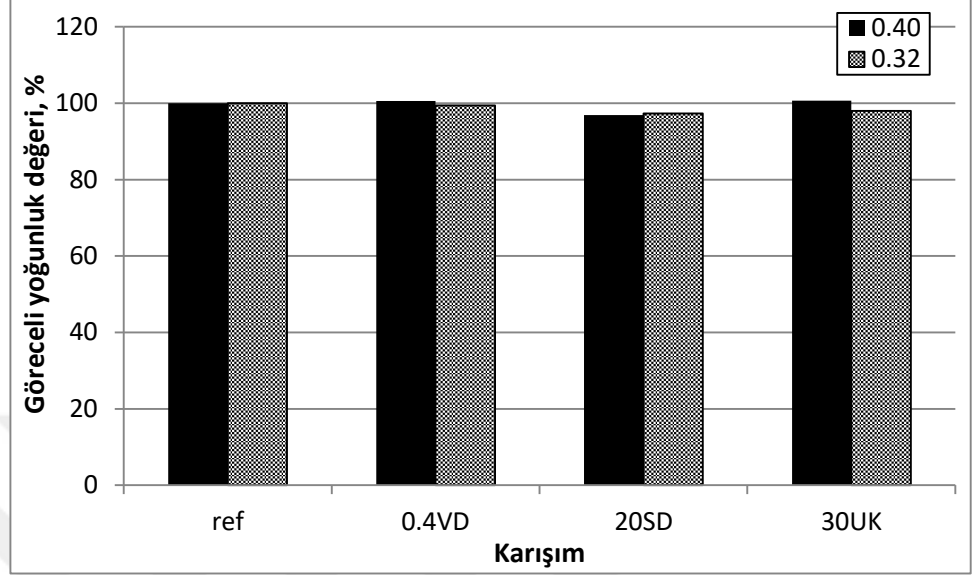
Tez çalışması kapsamında AKYB karışımlarından elde edilen numunelerin etüv kuru yoğunluk değerleri Tablo 4.14’de verilmektedir.

Tablo 4.14. AKYB’lerin yoğunluk değerleri, kg/m³

Karışım	Yoğunluk (kg/m ³)	Karışım	Yoğunluk (kg/m ³)
0.40-ref	3169	0.32-ref	3388
0.40-0.4VD	3187	0.32-0.4VD	3367
0.40-20SD	3069	0.32-20SD	3295
0.40-30UK	3189	0.32-30UK	3319

Tez kapsamında hazırlanan AKYB karışımlarının yoğunluk değerleri 3069 ile 3388 kg/m³ aralığında değiştiği anlaşılmaktadır. AKYB karışımlarının s/b oranlarının düşmesi ile yoğunluk değerleri önemli oranda artmaktadır.

Katkısız referans karışımları %100 olacak şekilde AKYB karışımlarının göreceli yoğunluk değerleri (%) her bir ikame malzemesi için Şekil 4.55'te verilmektedir.



Şekil 4.55. AKYB karışımlarının göreceli yoğunluk değerleri, %

Tez kapsamında kullanılan ikame katkıları, AKYB'lerin göreceli yoğunluk değerlerinde azalış eğilimi göstermektedir. AKYB karışımlarının göreceli yoğunluk değerleri silis dumanı ikamesinde diğer ikame katkılarına oranla daha fazla azalmaktadır.

4.4.3 Basınç dayanımı

Tez çalışması kapsamında AKYB karışımlarından elde edilen numunelerin 28 günlük basınç dayanımı değerleri Tablo 4.15'te verilmektedir.

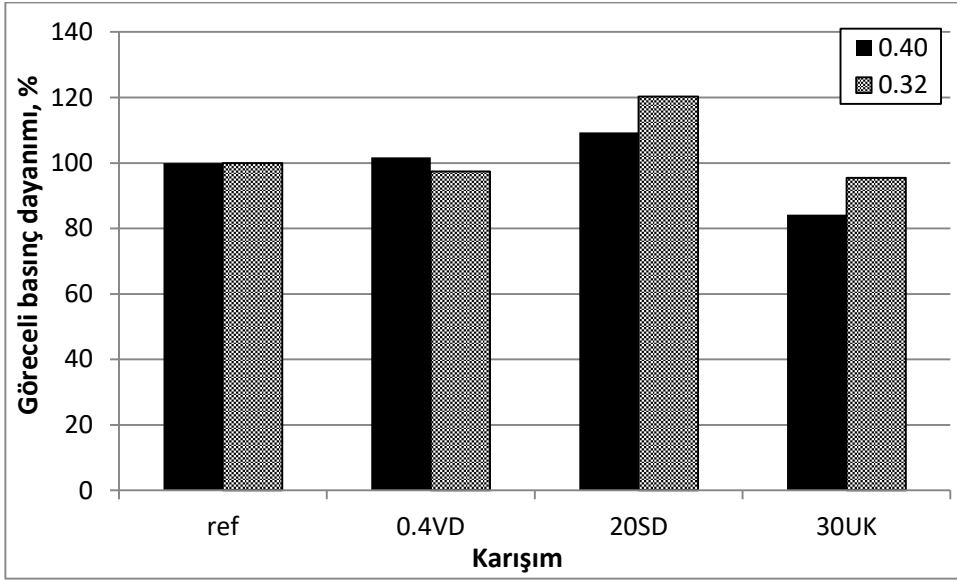
Tablo 4.15. AKYB'lerin basınç dayanımları, MPa

Karışım	Basınç Dayanımı (MPa)	Karışım	Basınç Dayanımı (MPa)
0.40-ref	72.1	0.32-ref	83.4
0.40-0.4VD	73.3	0.32-0.4VD	81.2
0.40-20SD	78.8	0.32-20SD	100.3
0.40-30UK	60.7	0.32-30UK	79.6

Tez kapsamında hazırlanan AKYB karışımlarının basınç dayanımı değerleri 60.7 MPa ile 100.3 MPa aralığında değiştiği görülmektedir. AKYB karışımlarının s/b oranlarının düşmesi ile basınç dayanımı değerleri önemli ölçüde artmaktadır.

Çalışma kapsamında silis dumanı AKYB karışımlarının basınç dayanımlarını kayda değer oranda artırmaktadır. Sabet vd. (2013) yaptığı çalışmada bu tez kapsamındaki 0.32 serisi AKYB karışımlarına çökme yayılması ve karışım oranları açısından benzer özelliklere sahip normal ağırlıklı betonların basınç dayanımlarını katkısız seride 57 MPa, %20 silis dumanı ve uçucu kül ikamesinde yaklaşık 80 MPa olarak bulmuştur. Tez çalışması kapsamında elde edilen barit agregalı ağır betonun basınç dayanımı açısından daha iyi sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır.

Katkısız referans karışımları %100 olacak şekilde AKYB karışımlarının göreceli basınç dayanımları (%) her bir ikame malzemesi için Şekil 4.56'da verilmektedir.



Şekil 4.56. AKYB karışımlarının göreceli basınç dayanımları, %

AKYB karışımlarının göreceli basınç dayanımları silis dumanı ikamesi ile önemli oranda artmakta, uçucu kül ikamesi ile önemli oranda azalmaktadır. Viskozite düzenleyici katkı ikamesinin göreceli basınç dayanımları üzerinde önemli bir etkisi görülmemiştir. Düşen s/b oranlarında silis dumanının basınç dayanımları üzerindeki olumlu etkisinin arttığı anlaşılmaktadır.

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışması kapsamında hazırlanan yüksek kıvamlı ağır beton ve kendiliğinden yerleşen ağır beton karışımlarından elde edilen bulgulardan aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir;

Yüksek kıvamlı ağır betonlar için:

- 350 kg/m³ bağlayıcı dozajlı su/bağlayıcı oranları 0.56 ve 0.48; 450 kg/m³ bağlayıcı dozajlı su/bağlayıcı oranları 0.56, 0.48 ve 0.40 olan karışımlar farklı miktarlarda yüksek oranda su azaltıcı katkı kullanılarak 150 mm ve üzeri çökme değerlerinde üretilebilmiştir. Bağlayıcı dozajı ve su/bağlayıcı oranı azaldıkça, betonların hedeflenen bu çökme değerlerini sağlanması için gerekli akışkanlaştırıcı katkı miktarları artmaktadır. Viskozite düzenleyici, silis dumanı ve uçucu kül ikame malzemeleri ise betonların akışkanlaştırıcı katkı ihtiyaçlarında artış ve azalışlara yol açmaktadır.

- 350 kg/m³ bağlayıcı dozajındaki karışımlarda taze hal yoğunlukları 3165 ile 3355 kg/m³ aralığında ve 450 kg/m³ bağlayıcı dozajındaki karışımlarda ise taze hal yoğunlukları 2871 ile 3287 kg/m³ aralığında değişmektedir. Bağlayıcı dozajının ve su/bağlayıcı oranlarının artması ile ikame katkılarının kullanılması genel olarak ağır betonların taze hal yoğunluklarını azaltmaktadır.

- 350 kg/m³ bağlayıcı dozajlı ağır beton karışımlarının terleme kapasiteleri %11.73'e ve 450 kg/m³ bağlayıcı dozajlı ağır beton karışımlarının terleme kapasiteleri %8.25'e kadar yükselebilmektedir. Genel olarak bağlayıcı dozajının artması, terleme sürelerini ve terleme kapasitelerini azaltırken; su/bağlayıcı oranının azalması da betonlarda ilk terlemenin gecikmesine ve terleme kapasitelerinin azalmasına yol açmaktadır. Su/bağlayıcı oranının azalması ve ikame katkılarının kullanılması, betonlarda artan akışkanlaştırıcı ihtiyacı ve değişen priz sürelerine bağlı olarak terleme sürelerini artırabilmekte ve ayrıca terleme kapasitelerinde de artış ve azalışlara yol açabilmektedir. Silis dumanı ikamesi bütün karışımlarda katkısız serilere göre terlemeleri azaltmakta ve hatta ortadan kaldırmaktadır.

- 350 kg/m³ bağlayıcı dozajlı karışımlarda terleme hızlarının 6.9 kg/m².saat ve 450 kg/m³ bağlayıcı dozajlı karışımlarda 9.4 kg/m².saat değerlerine ulaşabildiği görülmektedir. Farklı bağlayıcı dozajı, su/bağlayıcı oranı ve ikame katkılarının kullanımı ile plastik büzülme açısından yararlı terleme hızlarında (yaklaşık 1

kg/m².saat) veya plastik büzülme riskinin olmadığı uygulamalar için de terlemesiz ağır beton karışımlarının retilibildiği anlaşılmaktadır.

- Betonlarda dinamik segregasyonun bir ifadesi olan kolon segregasyon katsayıları %1.0 ile %17.3 aralığında ve yoğunluk segregasyon katsayıları %0.15 ile %3.46 aralığında değişmektedir. Genel olarak bağlayıcı dozajının ve su/bağlayıcı oranlarının düşmesi, betonların segregasyon dirençlerini artırmaktadır. Ayrıca ikame katkılarının kullanımı, betonların segregasyon dirençlerinde artış ve azalma etkileri gösterebilmektedir. Yoğunluk segregasyon katsayıları ile kolon segregasyon katsayıları arasında kayda değer bir ilişkinin (R²:0.90) olduğu anlaşılmaktadır. Çalışmada yoğunluk segregasyon yöntemi için segregasyon katsayısı limiti yüksek kıvamlı ağır beton serilerinde %1.6 olarak önerilmektedir. Segregasyon katsayıları bu limitin altında kalan yüksek kıvamlı ağır betonların az veya hiç segregasyona uğramadığı kabul edilmektedir. Barit agregalı yüksek kıvamlı ağır betonlar için önerilen yoğunluk segregasyonu yöntemi ve katsayısı, kolon segregasyon yönteminde uygulanan ıslak eleme işlemine ortadan kaldırmakta, hızlı ve daha az iş gücü ile betonların segregasyon potansiyellerinin belirlenmesine imkân vermektedir.

- 350 kg/m³ bağlayıcı dozajında hazırlanan sertleşmiş beton numunelerin su emme oranları %1.3 ile %3.0 aralığında ve 450 kg/m³ bağlayıcı dozajındaki hazırlanan sertleşmiş beton numunelerin su emme oranları %2.0 ile %5.2 aralığında değişmektedir. Genel olarak ikame katkılarının kullanımı, su emme oranlarında artış ve azalışlara yol açabilirken, silis dumanı ikamesi bütün karışım serilerinde su emme oranlarını önemli oranda azaltmıştır. Ayrıca bağlayıcı dozajının azalması da, su emme oranlarının azalmasında etkilidir.

- 350 kg/m³ bağlayıcı dozajında hazırlanan sertleşmiş beton numunelerin etüv kurusu yoğunlukları 3080 ile 3333 kg/m³ aralığında ve 450 kg/m³ bağlayıcı dozajındaki hazırlanan sertleşmiş beton numunelerin etüv kurusu yoğunlukları 2735 ile 3223 kg/m³ aralığında değişmektedir. Bağlayıcı dozajının ve su/bağlayıcı oranlarının artması ile ikame katkılarının kullanılması genel olarak ağır betonların etüv kurusu yoğunlukları azaltmaktadır. Tez alışması kapsamında üretilen yüksek kıvamlı barit agregalı betonların hepsi yoğunluklarının 2600 kg/m³ değerinin üzerinde olması sebebiyle ağır beton sınıfındadır.

- 350 kg/m³ bağlayıcı dozajında 0.56 ve 0.48 su/bağlayıcı oranında hazırlanan sertleşmiş beton numunelerin 28 günlük basınç dayanımları 36.9 MPa ile 80.0 MPa

aralığında değişmektedir. 450 kg/m^3 bağlayıcı dozajında 0.56, 0.48 ve 0.40 su/bağlayıcı oranında hazırlanan sertleşmiş beton numunelerin 28 günlük basınç dayanımları ise 43.3 MPa ile 75.4 MPa aralığında değişmektedir. Genel olarak ikame katkılarının kullanımı ağır betonların basınç dayanımları üzerinde artış ve azalış eğilimleri gösterebilirken, silis dumanı ikamesi betonların basınç dayanımlarını önemli oranda artırmaktadır.

- Ağır betonların lineer soğurma katsayıları 662 keV enerjili gama ışınları için (^{137}Cs) 0.218 ile 0.264 cm^{-1} aralığında, 1173 keV enerjili gama ışınları için (^{60}Co) 0.156 ile 0.191 cm^{-1} aralığında ve 1332 keV enerjili gama ışınları için (^{60}Co) 0.145 ile 0.181 cm^{-1} aralığında değişmektedir. Çalışma kapsamında değiştirilen ağır betonların karışım parametreleri lineer soğurma katsayıları üzerinde kayda değer bir etkiye sahiptir. Genel olarak enerji seviyelerinin, bağlayıcı dozajlarının ve su/bağlayıcı oranlarının artması ile ikame katkılarının kullanımı, betonların lineer soğurma katsayılarını azaltmaktadır. Çalışma kapsamında özellikle silis dumanı ikamesi lineer soğurma katsayılarının önemli oranda azalmasına yol açmaktadır. Beton yoğunlukları ile gama ışını lineer soğurma katsayıları arasında iyi bir ilişkinin ($R^2 \geq 0.95$) olduğu anlaşılmaktadır. Beton yoğunluklarının artması ile lineer soğurma katsayıları artmaktadır.

- Ağır betonların yarı değer kalınlıkları 662 keV enerjili gama ışınları için (^{137}Cs) 2.6 ile 3.2 cm aralığında, 1173 keV enerjili gama ışınları için (^{60}Co) 3.6 ile 4.5 cm aralığında ve 1332 keV enerjili gama ışınları için (^{60}Co) 3.8 ile 4.8 cm aralığında değişmektedir. Onda bir değer kalınlıkları ise 662 keV enerjili gama ışınları için (^{137}Cs) 8.7 ile 10.6 cm aralığında, 1173 keV enerjili gama ışınları için (^{60}Co) 12.1 ile 14.8 cm aralığında ve 1332 keV enerjili gama ışınları için (^{60}Co) 12.7 ile 15.9 cm aralığında değişmektedir. Betonların yoğunluk değerleri ile lineer soğurma katsayıları arasındaki ilişkinin tam tersi olacak şekilde, yoğunlukların artması ile gama ışını yarı değer ve onda bir değer kalınlıkları azalmaktadır.

- Ağır betonların 662 keV enerjili gama ışınları için (^{137}Cs) kütle soğurma katsayıları 0.0787 ile $0.0800 \text{ cm}^2/\text{g}$ aralığında, 1173 keV enerjili gama ışınları için (^{60}Co) 0.0561 ile $0.0578 \text{ cm}^2/\text{g}$ aralığında ve 1332 keV enerjili gama ışınları için (^{60}Co) 0.0527 ile $0.0548 \text{ cm}^2/\text{g}$ aralığında değişmektedir.

- Teorik kütle soğurma katsayılarının deneysel kütle soğurma katsayılarına yakın ve bir miktar altında olabildiği anlaşılmaktadır. 662 keV enerjili gama ışınları için teorik ve deneysel kütle soğurma katsayıları arasında iyi bir ilişkinin ($R^2:0.77$)

olduğu anlaşılmaktadır. Yüksek enerjili gama ışınları için doğal radyoaktiviteden gelen girişimlerin (özellikle 1332 keV' de ⁴⁰K pikinden kaynaklı girişim) bu ilişkiyi bozmakta olduğu ve 1332 keV enerjili gama ışınlarında deneysel ve kütle soğurma katsayıları arasında ilişkinin tamamen ortadan kalktığı anlaşılmaktadır.

- Tez çalışması kapsamında en iyi gama ışını soğurma özelliğine sahip ağır beton karışımı, literatürde normal ağırlıklı bir betonun soğurma kalınlığına göre kıyaslandığında kesitlerde en az %20 azalma sağladığı anlaşılmaktadır.

Kendiliğinden yerleşen ağır betonlar için:

- 450 kg/m³ bağlayıcı dozajlı, su/bağlayıcı oranları 0.40 ve 0.32 olan kendiliğinden yerleşen ağır beton karışımları 56 ile 61 cm çökme yayılması aralığında üretilmiştir. Su/bağlayıcı oranı azaldıkça, betonların hedeflenen bu çökme yayılması değerlerini sağlanması için gerekli akışkanlaştırıcı katkı miktarları artmaktadır. Viskozite düzenleyici, silis dumanı ve uçucu kül ikame malzemeleri ise betonların akışkanlaştırıcı katkı ihtiyaçlarında artış ve azalışlara yol açmaktadır.

- Betonların göreceli viskozitelerinin bir ifadesi olan T₅₀ süreleri 6.3 ile 31.0 sn aralığında elde edilmiştir. Betonların su/bağlayıcı oranlarının düşmesi ile benzer çökme yayılması için T₅₀ sürelerinde kayda değer oranda artışlar görülmektedir. Genel olarak ikame katkılarının kullanımı, betonların göreceli viskozitelerini iyileştirmektedir.

- Betonların statik segregasyonun bir ifadesi olan görsel stabilite indeksleri kendiliğinden yerleşen barit agregalı ağır betonlarda 1 ile 3 aralığında değişmektedir. Yüksek su/bağlayıcı oranında (0.40) viskozite düzenleyici ikameli seri hariç genel olarak kabul edilebilir seviyede (GSİ≤1) statik segregasyon görülmüştür. Su/bağlayıcı oranının azalması ile artan akışkanlaştırıcı katkı ihtiyacı, ağır betonların segregasyon dirençlerini azalttığı anlaşılmaktadır. Ayrıca düşük su/bağlayıcı oranına sahip karışımlarda, ikame katkıların kullanımı ile zararlı seviyede olan görsel segregasyonlar azalmış ve hatta viskozite düzenleyici katkı ikamesi bu segregasyonları kontrol altına almıştır.

- Betonların J-halkası yayılma değerleri çökme yayılması değerlerinden bir miktar daha az, 52.5 ile 59.0 cm aralığında bulunmuştur. KYB'lerde geçiş kabiliyetinin bir ifadesi olan bloklanmanın, ağır beton karışımlarında olmadığı (≤25

mm) veya az miktarda olduğu (25-50 mm) anlaşılmaktadır. Genel olarak yüksek su/bağlayıcı oranında (0.40) ikame katkılarının kullanımı betonların bloklanma değerlerini bir miktar artırırken, düşük su/bağlayıcı oranında (0.32) artış ve azalışlara yol açmaktadır.

- Betonların statik segregasyonlarının bir ifadesi olan kolon segregasyon katsayıları %3.2 ile %17.1 aralığında değişmektedir. Uçucu kül ikamesi bütün ağır beton karışımlarında kolon segregasyon dirençlerini artırmaktadır. Viskozite düzenleyici ve silis dumanı ikamesi, yüksek su/bağlayıcı oranında (0.40) kolon segregasyonu dirençlerini azaltırken, düşük su/bağlayıcı oranında (0.32) betonların bu segregasyon dirençleri önemli oranda artmaktadır.

- Betonların statik segregasyonlarının bir ifadesi olan yoğunluk segregasyon katsayıları %0.12 ile %2.54 aralığında değişmektedir. Genel olarak düşük su/bağlayıcı oranında betonların yoğunluk segregasyon dirençleri azalmaktadır. Yüksek su/bağlayıcı oranında (0.40) viskozite düzenleyici katkı ağır betonun yoğunluk segregasyon direncini önemli oranda azaltırken diğer bütün karışımlarda ikame katkılarının kullanımı betonların bu segregasyon direncini artırmaktadır.

- Betonların statik segregasyonlarının bir ifadesi olan 3 bölmeli elek segregasyon katsayıları %2.6 ile %15.6 aralığında değişmektedir. Uçucu kül ikamesi bütün ağır beton karışımlarında 3 bölmeli elek segregasyon dirençlerini artırmaktadır. Viskozite düzenleyici ve silis dumanı ikamesi, yüksek su/bağlayıcı oranında (0.40) 3 bölmeli elek segregasyonu dirençleri azaltırken, düşük su/bağlayıcı oranında (0.32) betonların bu segregasyon dirençlerini önemli oranda artırmaktadır.

- Görsel stabilite indeksleri, kolon segregasyon katsayıları, yoğunluk segregasyon katsayıları ve 3 bölmeli elek segregasyon katsayıları arasında kayda değer ilişkilerin ($0.97 \geq R^2 \geq 0.59$) olduğu anlaşılmaktadır. Çalışmada yoğunluk segregasyon yöntemi için segregasyon katsayısı limiti ağır kendiliğinden yerleşen beton serilerinde %1 ve 3 bölmeli elek segregasyon katsayısı limiti %6.3 olarak önerilmektedir. Segregasyon katsayıları bu limitin altında kalan ağır kendiliğinden yerleşen barit agregalı betonların az veya hiç segregasyona uğramadığı kabul edilmektedir. Yoğunluk segregasyonu ve 3 bölmeli elek yöntemleri, hızlı ve daha az iş gücü ile ağır kendiliğinden yerleşen betonların statik ve dinamik segregasyon potansiyellerinin belirlenmesine imkân vermektedir. Ayrıca, iri tane dağılımını

yayıma sonrası araştıran 3 bölmeli elek yöntemi, KYB'lerin dinamik segregasyonlarının belirlenmesi için güvenilir bir yöntem olduğu tespit edilmiştir.

- Ağır betonların 0.40 su/bağlayıcı oranında su emme oranları %2.08 ile 3.34 aralığında ve 0.32 su/bağlayıcı oranında %1.28 ile 2.46 aralığında değişmektedir. Betonların su/bağlayıcı oranlarının azalmasıyla su emme oranları önemli ölçüde azalmaktadır. Viskozite düzenleyici ikame katkısı yüksek su/bağlayıcı oranında (0.40) betonların su emme oranını katkısız referans karışımına göre artırırken diğer bütün karışımlarda su emme oranları, ikame katkılarının kullanımı ile azalmaktadır. Düşük su/bağlayıcı oranında (0.32) hazırlanan karışımlarda ikame katkılarının kullanımı su emme oranlarının azaltılmasında daha etkilidir. Ayrıca silis dumanı ikamesi su emme oranlarının azaltılmasında en etkili ikame malzemesidir.

- Ağır betonların 0.40 su/bağlayıcı oranında etüv kuru yoğunlukları 3069 ile 3189 kg/m³ aralığında ve 0.32 su/bağlayıcı oranında 3295 ile 3388 kg/m³ aralığında değişmektedir. Su/bağlayıcı oranının düşmesi ile betonların etüv kuru yoğunlukları önemli ölçüde artmaktadır. İkame katkılarının kullanımı genel olarak betonların etüv kuru yoğunlukları üzerinde bir miktar artış ve azalış etkisi göstermektedir. Silis dumanı ikamesi, bütün serilerde etüv kuru yoğunlukları diğer ikame katkılarına oranla daha fazla azaltmaktadır.

- Ağır betonların 0.40 su/bağlayıcı oranında 28 günlük basınç dayanımları 60.7 MPa ile 78.8 MPa aralığında ve 0.32 su/bağlayıcı oranında 79.6 MPa ile 100.3 MPa aralığında değişmektedir. Su/bağlayıcı oranlarının düşmesi ile betonların basınç dayanımları önemli oranda artmaktadır. Çalışma kapsamında uçucu kül ikamesi betonların basınç dayanımlarını azaltırken, silis dumanı ikamesi önemli oranda artırmaktadır.

6. ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında, hazırlanan yüksek kıvamlı ağır beton (YKAB) ve kendiliğinden yerleşen ağır beton (AKYB) karışımlarından elde edilen bulgular değerlendirildiğinde aşağıdaki öneriler çıkarılabilir;

- Su/bağlayıcı oranları düşen karışımların gerekli kıvam hedeflerinin sağlanabilmesi için uyumlu akışkanlaştırıcı katkı tiplerinin bulunarak istenilen performansı düşük miktarlarda sağlayabilmesi ve betonların dolaylı özelliklerine (priz, dayanım, vizkozite, terleme, segregasyon vb.) etkisinin azaltılması önerilmektedir.

- Viskozite düzenleyici katkının farklı ikame oranlarında çalışılması veya terleme ve segregasyon bakımından daha yüksek performans gösterebilecek alternatif bir viskozite düzenleyici katkının kullanılması önerilmektedir.

- Tez çalışması kapsamında geliştirilen yoğunluk ve 3 bölmeli elek segregasyon yöntemleriyle, literatürde kullanılan diğer statik ve dinamik segregasyon yöntemlerini içeren kapsamlı bir çalışmanın yürütülmesi, bu yöntemlerin beton teknolojisinde kullanılabilirliğinin ispatlanması önerilmektedir.

- Tez çalışması kapsamında etüv kurusu haline getirildikten sonra belirlenen gama ışını soğurma katsayılarının, betonların kullanım yerlerinde suya doymun olma durumları için, doymun olarak da araştırılması önerilmektedir.

- Ağır betonların gama ışını soğurma katsayılarının yanı sıra, nötron soğurma katsayılarının da belirlenip, betonların nükleer reaktör gibi farklı kullanım yerlerindeki bu iki radyasyon tipi için optimum performanslarının araştırılması önerilmektedir.

- ^{60}Co kaynaklı yüksek enerjili gama ışınlarının sayımlarında, ayırma gücü daha yüksek dedektör tiplerinin seçilerek spektrumlarda betonların doğal radyoaktivitelerden kaynaklı (^{40}K ve ^{214}Bi gibi) girişimlerin önüne geçilmesi önerilmektedir.

- Çalışma kapsamında ağır beton karışımlarının doğal radyasyon seviyelerinin ölçülmesi ve insan sağlığına zararlı seviyede olup olmadığının belirlenmesi önerilmektedir.



KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abdel-Rahman, M.A., Badawi, E.A., Abdel-Hady, Y.L. and Kamel, N.,** 2000, Effect of sample thickness on the measured mass attenuation coefficients of some compounds and elements for 59.54, 661.6 and 1332.5 keV γ -rays, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*, 447(3):432–436pp.
- ACI 211.1,** 1991, Standard practice for selecting proportions for normal heavyweight, and mass concrete, American Concrete Institute, USA, 38p.
- ACI 221R,** 1996, Guide for Use of Normal Weight and Heavyweight Aggregates in Concrete (Reapproved 2001),” American Concrete Institute, USA, 29p.
- ACI 304R,** 2000, Guide for measuring, mixing, transporting, and placing concrete, American Concrete Institute, USA, 41p.
- ACI 304.3R,** 1996, Heavyweight concrete: measuring, mixing, transporting, and placing, American Concrete Institute, USA, 8p.
- ACI 305R,** 1999, Hot weather concreting, American Concrete Institute, USA, 20p.
- ACI 318,** 2008, Building code requirements for structural concrete and commentary, American Concrete Institute, USA, 465p.
- Akkurt, I., Basyigit, C., Kilincarslan, Ş., Mavi, B. and Akkurt, A.,** 2006, Radiation shielding of concretes containing different aggregates, *Cement and Concrete Composites*, 28(2):153–157pp.
- Akkurt, I., Akyıldırım, H., Mavi, B., Kilincarslan, Ş. and Basyigit, C.,** 2010a, Gamma-ray shielding properties of concrete including barite at different energies, *Progress in Nuclear Energy*, 52(7):620–623pp.
- Akkurt, I., Akyıldırım, H., Mavi, B., Kilincarslan, Ş. and Basyigit, C.,** 2010b, Photon attenuation coefficients of concrete includes barite in different rate, *Annals of Nuclear Energy*, 37(7):910–914pp.
- Akkurt, I. Akyıldırım, H. Mavi, B. Kılınçarslan, Ş. and Başığit, C.,** 2010c, Radiation shielding of concrete containing zeolite, *Radiation Measurements*, 45(7):827–830pp.
- Akkurt, I., Basyigit, C., Kilincarslan, Ş. and Mavi, B.,** 2005, The shielding of γ -rays by concretes produced with barite, *Progress in Nuclear Energy*, 46(1):1–11pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Akkurt, I. and El-Kyahatt, A.M.**, 2013, The effect of barite proportion on neutron and gamma-ray shielding, *Annals of Nuclear Energy*, 51:5–9pp.
- Al-Humaiqani, M.M., Shuraim, A.B. and Hussain, R.R.**, 2013, Effect of compressive strength on γ -radiation attenuation coefficients for high performance concrete, *IACSIT International Journal of Engineering and Technology*, 5(5):566–572pp.
- Alami, M.M.**, 2014, Development of a new test method to evaluate dynamic stability of self-consolidating concrete, MSc Thesis, İzmir Institute of Technology, 104p.
- Albayrak, Ş.**, 1998, Büyük Kızılılık-Küçükkızılılık (Göksun-Kahramanmaraş) barit cevherleşmelerinin jeolojik-metalojenik ve ekonomik incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, 75s.
- Alexander, M. and Mindess, S.**, 2010, Aggregate in concrete (2. Edition). New York: Taylor & Francis e-Library, 435p.
- Alp, İ.**, 1992, Kütahya Gümüşköy tesis atıklarından gümüş ve barit kazanılması, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, 105s.
- Alwaeli, M. and Nadziakiewicz, J.**, 2012, Recycling of scale and steel chips waste as a partial replacement of sand in concrete, *Construction and Building Materials*, 28(1):157–163pp.
- Aras, Ö.**, 2011, Baryum sülfat kristalizasyonuna polielektrolitlerin etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 101s.
- Assaad, J., Khayat, K.H. and Daczko, J.**, 2004, Evaluation of static stability of self-consolidating concrete, *ACI Materials Journal*, 101(3):207–215pp.
- ASTM C 1260**, 2014, Standard test method for potential alkali reactivity of aggregates (Mortar-bar method), Annual Book of ASTM Standard, USA.
- ASTM C 1610**, 2014, Standard test method for static segregation of self-consolidating concrete using column technique, Annual Book of ASTM Standard, USA.
- ASTM C 1611**, 2014, Standard test method for slump flow of self-consolidating concrete, Annual Book of ASTM Standard, USA.
- ASTM C 1621**, 2014, Standard test method for passing ability of self-consolidating concrete by J-Ring, Annual Book of ASTM Standard, USA.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- ASTM C 637**, 2014, Standard specification for aggregates for radiation-shielding concrete, Annual Book of ASTM Standard, USA.
- ASTM C 638**, 2014, Standard descriptive nomenclature of constituents of aggregates for radiation-shielding concrete, Annual Book of ASTM Standard, USA.
- Aydın, F.**, 1996, Karamustafa ve Hasköy (Gümüşhane) yöresindeki barit yataklarının mineralojik ve jenetik açıdan incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 93s.
- Barkla, C.G. and Sadler, C.A.**, 1907, Secondary x-rays and the atomic weight of nickel, *Philosophical Magazine*, 14:408–422pp.
- Barkla, C.G. and Sadler, C.A.**, 1909, The absorption of Rontgen rays, *Philosophical Magazine*, 17:739–760.
- Bartos, P.**, 1992, Fresh Concrete Properties and Tests, Elsevier Science, 1st Edition, Vol. 38, Netherlands, 292 p.
- Bartos, P. J. M., Sonebi, M. and Tamimi, A.K.**, 2002, Workability and rheology of fresh concrete, Compendium of Tests' Report of RILEM Technical Committee TC 145-WSM, Workability of Special Concrete Mixes, RILEM Publications, France, 76–78pp.
- Bashter, I.I., Makarious, A.S. and El-Sayed Abdo, A.**, 1996, Investigation of hematite-serpentine and ilmenite-limonite concretes for reactor radiation shielding, *Annals of Nuclear Energy*, 23(1):65–71pp.
- Bashter, I.I.**, 1997a, Calculation of radiation attenuation coefficients for shielding concretes, *Annals of Nuclear Energy*, 24(17):1389–1401pp.
- Bashter, I.I.**, 1997b, Radiation attenuation and nuclear properties of high density concrete made with steel aggregates, *Radiation Effects and Defects in Solids: Incorporating Plasma Science and Plasma Technology*, 140(3–4):351–354pp.
- Başığit, C.**, 2006, The physical and mechanical properties of heavyweight concretes used in radiation shielding, *Journal of Applied Sciences*, 6(4):762–766pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Başığit, C., Akkurt, İ., Altındağ, R., Kılınçarslan, Ş., Akkurt, A., Mavi, B. and Karagüzel, R.**, 2006, The effect of freezing-thawing (F-T) cycles on the radiation shielding properties of concretes, *Building and Environment*, 41(8):1070–1073pp.
- Ben aicha, M., Burtshell, Y., Hafidi Alaoui, A., El Harrouni, K. and Jalbaud, O.**, 2017, Correlation between bleeding and rheological characteristics of self-compacting concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 29(6):05017001
- Berger, M.J., Hubbell, J.H., Seltzer, S.M., Chang, J., Coursey, J.S., Sukumar, R., Zucker, D.S. and Olsen, K.**, 1998, NBSIR 87-3597, Photon cross sections on a personal computer, National Institute of Standards, USA, <http://physics.nist.gov/PhysRefData/Xcom/Text/XCOM.html>, (Erişim tarihi: 28 Ocak 2018).
- Bleszynski, R., Hooton, R.D., Thomas, M.D.A. and Rogers, C.A.**, 2002, Durability of ternary blend concrete with silica fume and blast-furnace slag: Laboratory and outdoor exposure site studies, *ACI Materials Journal*, 99(5):499–508pp.
- Bouzoubaa, N. and Lachemi, M.**, 2001, Self-compacting concrete incorporating high volumes of class F fly ash: Preliminary results, *Cement and Concrete Research*, 31(3):413–420pp.
- Bui, V.K., Montgomery, D., Hinczak, I. and Turner, K.**, 2002, Rapid testing method for segregation resistance of self-compacting concrete, *Cement and Concrete Research*, 32(9):1489–1496pp.
- Bunsell, A.R. and Renard, J.**, 2005, Fundamentals of fibre reinforced composite materials, Materials Science and Engineering (1. Edition), CRC Press, 225p.
- Callan, E.J.**, 1954, Concrete for radiation shielding, *ACI Proceedings*, 50:17–44pp.
- Can, C.**, 2001, Barit ile üretilen ağır betonların özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, 45s.
- Coşkun, A.**, 2010, Ağır betonlarda barit agregasının kullanımı ve beton özelliklerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, 65s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Çakı, S.İ.**, 2013, Ağır betonların elastisite modülünün modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, 59s.
- Çolakoğlu, A.R.**, 2000, Akdağmadeni (Yozgat) yöresi kurşun-çinko, fluorit ve barit yatak ve zuhurlarının jeolojik ve kökenselel incelenmesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, 162s.
- Delice, K.**, 1991, Recovery of barite from Gümüşköy silver ore, MSc Thesis, Middle East Technical University, 55p.
- Demir, D. and Keleş, G.**, 2006, Radiation transmission of concrete including boron waste for 59.54 and 80.99 keV gamma rays, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 245(2):501–504pp.
- Demir, F., Budak, G., Sahin, R., Karabulut, A., Oltulu, M. and Un, A.**, 2011, Determination of radiation attenuation coefficients of heavyweight and normal-weight concretes containing colemanite and barite for 0.663 MeV γ -rays, *Annals of Nuclear Energy*, 38(6):1274–1278pp.
- Demirci, S.**, 2015, Yerli baritin baryum içeren pigmentlerin üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, 82s.
- Demirkaya, İ.**, 1996, Yerli solestin ve barit konsantrelerinden SrCO_3 ve BaCO_3 üretimi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 70s.
- Dolak, İ.**, 2010, Nadir toprak elementleri içeren barit ve fluorit cevherinin değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Dicle Üniversitesi, 118s.
- Domone, P.L.**, 2003, Fresh Concrete, 1-29, *Advanced Concrete Technology: Concrete Properties*, Newman, J. and Choo B.S. (Eds.), Butterworth-Heinemann, UK.
- EFNARC 2005**, Self-compacting concrete, European Project Group, The European Guidelines for Self-compacting Concrete: Specification, Production and Use, 63p. <http://www.efnarc.org/pdf/SCCGuidelinesMay2005.pdf>, (Erişim tarihi: 28 Ocak 2018).
- El-Chabib, H. and Nehdi, M.**, 2006, Effect of mixture design parameters on segregation of self-consolidating concrete, *ACI Materials Journal*, 103(5):374–383pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- El-Khayatt, A.M.**, 2010, Radiation shielding of concretes containing different lime/silica ratios, *Annals of Nuclear Energy*, 37(7):991–995pp.
- El-Sayed Abdo, A.**, 2002, Calculation of the cross-section for fast neutrons and gamma-rays in concrete shields, *Annals of Nuclear Energy*, 29(16):1977–1988pp.
- Elsharkawy, E.R. and Sadawy, M.M.**, 2016, Effect of gamma ray energies and addition of Nano-SiO₂ to cement on the mechanical properties and mass attenuation coefficient, *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 13(6):17-22pp.
- Esmailkhanian, B., Feys, D., Khayat, K.H. and Yahia, A.**, 2014, New test method to evaluate dynamic stability of self consolidating concrete, *ACI Materials Journal*, 111(3):299–307pp.
- Facure, A. and Silva, A.X.**, 2007, The use of high-density concretes in radiotherapy treatment room design, *Applied Radiation and Isotopes*, 65(9):1023–1028pp.
- Faroug, F., Szwabowski, J. and Wild, S.**, 1999, Influence of superplasticizers on workability of concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 11(2):151–157pp.
- Ferraris, C.F., Obla, K.H. and Hill, R.**, 2001, The influence of mineral admixtures on the rheology of cement paste and concrete, *Cement and Concrete Research*, 31(2):245–255pp.
- Ferraris, C.F. and de Larrard, C.**, 1998, Testing and Modelling of Fresh Concrete Rheology, National Institute of Standards and Technology, USA, 61p.
- Gencil, O., Bozkurt, A., Kam, E. and Korkut, T.**, 2011, Determination and calculation of gamma and neutron shielding characteristics of concretes containing different hematite proportions, *Annals of Nuclear Energy*, 38(12):2719–2723pp.
- Ghaemi, M.**, 1995, The effect of inorganic agents on flotation characteristics of fluorite and barite, MSc Thesis, Middle East Technical University, 92p.
- Gökçe, H.S. and Andiç-Çakır, Ö.**, 2018, Development of a functional bleeding test apparatus for fresh concrete, *ASTM Journal of Testing and Evaluation*, (kabul edildi)

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Graham, D.E.** 1986, Determining the static and dynamic properties of hardened normal weight and heavy weight concrete, *Cement, Concrete, and Aggregates*, 8(2):57–67pp.
- Gündüz, M.**, 1992, Eskişehir-Sivrihisar kompleks cevherinden fluorit, barit ve bastnasit kazanılması, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, 130s.
- Han, J. and Wang, K.**, 2016, Influence of bleeding on properties and microstructure of fresh and hydrated Portland cement paste, *Construction and Building Materials*, 115:240–246pp.
- Hassan, A.A.A., Lachemi, M. and Hossain, K.M.A.**, 2012, Effect of metakaolin and silica fume on the durability of self-consolidating concrete, *Cement and Concrete Composites*, 34(6):801–807pp.
- Hubbell, J.H. and Seltzer, S.M.**, 1995, Tables of x-ray mass attenuation coefficients and mass energy-absorption coefficients 1 keV to 20 meV for elements $z=1$ to 92 and 48 additional substances of dosimetric interest, Technical Report, PB-95-220539/XAB; NISTIR-5632 TRN: 51812148, National Institute of Standards and Technology, USA.
- Hubbell, J.H.**, 1982, Photon mass attenuation and energy-absorption coefficients, *The International Journal of Applied Radiation and Isotopes*, 33(11):1269–1290pp.
- Hubbell, J.H.**, 1977, Photon mass attenuation and mass energy-absorption coefficients for H, C, N, O, Ar, and seven mixtures from 0.1 keV to 20 MeV, *Radiation Research*, 70(1):58–81pp.
- Hubbell, J.H.**, 1999, Review of photon interaction cross section data in the medical and biological context, *Physics in Medicine and Biology*, 44(1):1–22pp.
- Hubbell, J.H. and Berger, J.**, 1968, Attenuation coefficients, energy absorption coefficients, and related quantities, 167-184, Engineering Compendium on Radiation Shielding, Jaeger, R.G., Blizard, E.P., Chilton, A.B., Grotenhuis, M., Hönig, A., Jacger, Th.A. and Eisenlohr, H.H. (Eds.), Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH, Germany, 537p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Igawa, H., Kitsutaka, Y., Yokomuro, T. and Eguchi, H.,** 2017, Self-healing performance of heavyweight concrete with steam curing, *International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering*, 11(3):270–274pp.
- Jo, B.W., Chakraborty, S. and Kim, K.H.,** 2014, Investigation on the effectiveness of chemically synthesized nano cement in controlling the physical and mechanical performances of concrete, *Construction and Building Materials*, 70:1–8pp.
- Josserand, L. and de Larrard F.,** 2004, A method for concrete bleeding measurement, *Materials and Structures*, 37(10):666–670pp.
- Kaplan, M.F.,** 1989, Concrete Radiation Shielding: Nuclear Physics, Concrete Properties, Design and Construction, Longman, UK, 476p.
- Kayabalı, İ.,** 1992, Alanözü ve Habiller (Karaman) yöresi barit zuhurlarının jeolojik, mineralojik ve jenetik incelemesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, 148s.
- Keske, S.D., Schindler, A.K. and Barnes, R.W.,** 2016, Fresh stability and in-situ hardened uniformity of SCC, 8. International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, 103–112pp.
- Keyser, C.C.,** 1932, Designing concrete for weight of 271 pounds per cubic foot, *ACI Proceedings*, 28:525.
- Kharita, M.H., Yousef, S. and AlNassar, M.,** 2011, Review on the addition of boron compounds to radiation shielding concrete, *Progress in Nuclear Energy*, 53(2):207–211pp.
- Khayat, K.H.,** 1995, Effect of antiwashout admixtures on fresh concrete properties, *ACI Structural Journal*, 92(2):164–171pp.
- Khayat, K.H.,** 1998, Viscosity-enhancing admixtures for cement-based materials- An overview, *Cement and Concrete Research*, 20(2-3):171–188pp.
- Khayat, K.H. and Guizani, Z.,** 1997, Use of viscosity-modifying admixture to enhance stability of fluid concrete, *ACI Materials Journal*, 94(4):332–339pp.
- Kılınçarslan, Ş., Başığit, C. ve Akkurt, İ.,** 2007, Barit agregalı ağır betonların radyasyon zırhlama amacıyla kullanımının araştırılması, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(2):393–399s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kılınçarslan, Ş., Başığit, C., Molla, T. ve Sancar, S.**, 2011, Radyoaktif ışınlardan korunaklı ekolojik yapılar, *Politeknik Dergisi*, 14(2):93–99s.
- Kilincarslan, S., Akkurt, I. and Basyigit, C.**, 2006, The effect of barite rate on some physical and mechanical properties of concrete, *Materials Science and Engineering: A*, 424(1-2):83–86pp.
- Knoll, G.F.**, 1999, Radiation Detection and Measurement (3. Edition), John Wiley and Sons Inc., USA, 802p.
- Kosmatka, S.H., Kerkhoff, B. and Panarese, W.C.**, 2003, Design and Control of Concrete Mixtures (14. Edition). Portland Cement Association, USA, 351p.
- Lachemi, M., Hossain, K.M.A., Lambros, V. and Bouzoubaa, N.**, 2003, Development of cost-effective self-consolidating concrete incorporating fly ash, slag cement, or viscosity-modifying admixtures, *ACI Materials Journal*, 100(5):419–425pp.
- Lam, L., Wong Y.L. and Poon C.S.**, 1998, Effect of fly ash and silica fume on compressive and fracture behaviors of concrete, *Cement and Concrete Research*, 28(2):271–283pp.
- Lee, S.Y., Daugherty, A.M. and Broton, D.J.**, 2013, Assessing aggregates for radiation-shielding concrete, *Concrete International*, 35(5):31–38pp.
- Leemann, A. and Winnefeld, F.**, 2007, The effect of viscosity modifying agents on mortar and concrete, *Cement and Concrete Composites*, 29(5):341–349pp.
- Makarious, A.S., Bashter, I.I., El-Sayed Abdo, A., Samir Abdel Azim, M. and Kansouh, W.A.**, 1996, On the utilization of heavy concrete for radiation shielding, *Annals of Nuclear Energy*, 23(3):195–206pp.
- Mehdipour, I., Razzaghi, M.S., Amini, K. and Shekarchi, M.**, 2013, Effect of mineral admixtures on fluidity and stability of self-consolidating mortar subjected to prolonged mixing time, *Construction and Building Materials*, 40:1029–1037pp.
- Mehl, J.**, 1968, Irradiation limits, 6-12, Engineering Compendium on Radiation Shielding, Jaeger, R.G., Blizard, E.P., Chilton, A.B., Grotenhuis, M., Höning, A., Jacger, Th.A. and Eisenlohr, H.H. (Eds.), Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH, Germany, 537p.
- Mehta, P.K. and Monteiro, P.J.M.**, 2006, Concrete: Microstructure, Properties, and Materials (3. Edition), McGraw-Hill, USA, 659p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Mesbah, H.A., Yahia, A., and Khayat, K.H.**, 2011, Electrical conductivity method to assess static stability of self-consolidating concrete, *Cement and Concrete Research*, 41(5):451–458pp.
- Mindess, S., Young, J.F. and Darwin, D.**, 2003., Concrete (2. Edition), Prentice Hall, USA, 644p.
- Mostofinejad, D., Reisi, M. and Shirani, A.**, 2012, Mix design effective parameters on γ -ray attenuation coefficient and strength of normal and heavyweight concrete, *Construction and Building Materials*, 28(1):224–229pp.
- Mouret, M., Escadeillas, G. and Bascoul, A.**, 2008, Metrological significance of the column test in the assessment of the static segregation of self-compacting concrete concrete in the fresh state, *Materials and Structures*, 41(4):663–679pp.
- MTA**, 2001, Endüstriyel hammaddeler alt komisyonu genel endüstri mineralleri IV (Bentonit-Barit-Diatomit-Aşındırıcılar), Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Sekizinci 5 Yıllık Kalkınma Planı, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, 64s.
- MTA**, 2018, Türkiye Maden Yatakları Haritaları, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, <http://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/maden-yataklari>, (Erişim tarihi: 28 Ocak 2018).
- NCRP Report**, 2005, Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X- and Gamma-Ray Radiotherapy Facilities, Recommendations of the National Council on Radition Protection and Measurements, NCRP, No. 151, USA, 246p.
- Nehdi, M., Mindess, S. and Aitcin, P.C.**, 1998, Rheology of high-performance concrete: effect of ultrafine particles, *Cement and Concrete Research*, 28(5):687–697pp.
- Nilsen, A.U. and Aitcin, P.C.**, 1992, Properties of high-strength concrete containing light-, normal-, and heavyweight aggregate, *Cement, Concrete, and Aggregates*, 14(1):8–12pp.
- Nizamlioğlu, F.**, 1992, Çiftahan-Ardıçlı-Elmalı-Çanakçı (Ulukışla/Niğde) yöresinin jeolojisi ve barit yatakları, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, 64s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Osma, Y.**, 2002, Barit ile elde edilen ağır betonun fiziksel ve mekanik özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, 71s.
- Otsuki, N., Hisada, M., Nagataki, S. and Kamada, T.**, 1996, An experimental study on the fluidity of antiwashout underwater concrete, *ACI Materials Journal*, 93(1):20–25pp.
- Ouda, A.S.**, 2015, Development of high-performance heavy density concrete using different aggregates for gamma-ray shielding, *Progress in Nuclear Energy*, 79:48–55pp.
- Öteyaka, B.**, 1985, Kütahya Gümüşköy-Aktepe baritinin flotasyonla zenginleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, 63s.
- Özbaş, K.E.**, 1993, Concentration of barite and fluorite minerals of Eskişehir-Beylikahır district, MSc Thesis, Middle East Technical University, 61p.
- Özen, S., Şengül, C., Erenoğlu, T., Çolak, Ü., Reyhancan, İ.A. and Taşdemir, M.A.**, 2016, Properties of heavyweight concrete for structural and radiation shielding purposes, *Arabian Journal for Science and Engineering*, 41(4):1573–1584pp.
- Özturan, T.**, 2013, Özel betonlar, *THBB Hazır Beton Dergisi*, 118(Temmuz-Ağustos):70–83s.
- Park, C.K., Noh, M.H. and Park, T.H.**, 2005, Rheological properties of cementitious materials containing mineral admixtures, *Cement and Concrete Research*, 35(5):842–849pp.
- Praeger, E.H.**, 1946, Behavior of concrete structures under atomic bombing, *ACI Proceedings*, 42:709–720pp.
- Ramezaniapour, A.A. and Malhotra, V.M.**, 1995, Effect of curing on the compressive strength, resistance to chloride-ion penetration and porosity of concretes incorporating slag, fly ash or silica fume, *Cement and Concrete Composites*, 17(2):125–133pp.
- Revulta, D., Barona, A. and Navarro, D.**, 2009, Measurement of properties and of the resistance to segregation in heavyweight, self-compacting barite concrete, *Materiales de Construcción*, 59(295):31–44pp.
- Reilly, G., Ensslin, N., Smith, H. and Kreiner, S.**, 1991, Passive Nondestructive Assay of Nuclear Materials, Los Alamos National Laboratory, USA, 700p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Rezaei-Ochbelagh, D., Azimkhani, S. and Dasemzadeh Mosavinejad, H.,** 2012, Shielding and strength tests of silica fume concrete, *Annals of Nuclear Energy*, 45:150–154pp.
- Rols, S., Ambroise, J. and Pera, J.,** 1999, Effects of different viscosity agents on the properties of self-leveling concrete, *Cement and Concrete Research*, 29(2):261–266pp.
- Röntgen, W.C.,** 1895, Ueber eine neue Art von Strahlen, *Sitzungsberichte der Physikalisch-Medicinischen Gesellschaft zu Würzburg*, 9:132–141pp.
- Sabet, F.A., Libre, N.A. and Shekarchi, M.,** 2013, Mechanical and durability properties of self consolidating high performance concrete incorporating natural zeolite, silica fume and fly ash, *Construction and Building Materials*, 44:175-184pp.
- Safawi, M.I., Iwaki, I. and Miura, T.,** 2005, A study on the applicability of vibration in fresh high fluidity concrete, *Cement and Concrete Research*, 35(9):1834–1845pp.
- Safawi, M.I., Iwaki, I. and Miura, T.,** 2004, The segregation tendency in the vibration of high fluidity concrete, *Cement and Concrete Research*, 34(2):219–226pp.
- Sakamoto, H.,** 2016, Shielding of radiation by concrete, *Journal of Concrete Technology*, 31(6):63–68pp.
- Sakr, K. and El-Hakim, E.,** 2005, Effect of high temperature or fire on heavy weight concrete properties, *Cement and Concrete Research*, 35(3):590–596pp.
- Sakr, K.,** 2006, Effect of silica fume and rice husk ash on the properties of heavy weight concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 18(3):367–376pp.
- Seven, A.,** 2011, Baritli hazır sıva kaplamalarının radyasyon zırh elemanı olarak kullanılabilirliğinin görüntü işleme yöntemi ile araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, 87s.
- Shen, L., Struble, L. and Lange, D.,** 2007, New method for measuring static segregation of self-consolidating concrete, *Journal of Testing and Evaluation*, 35(3):303–309pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Shirmardi, S.P., Shamsaei, M. and Naserpour, M.**, 2013, Comparison of photon attenuation coefficients of various barite concrete and lead by MCNP code, XCOM and experimental data, *Annals of Nuclear Energy*, 55:288–291pp.
- Sonebi, M., Rooney, M. and Bartos, P.J.M.**, 2007, Test method to evaluate the dynamic segregation resistance of fresh self-compacting concrete using the settlement column test, 5th International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, Belgium, 43–48pp.
- Sönmez, İ.**, 2002, Bazı tuz tipi minerallerin yağ aglomerasyonu ile zenginleştirilmesi, Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, 302s.
- STAR 222-SCF**, 2014, Simulation of fresh concrete flow, Final Draft Report of RILEM Technical Committee, Roussel, N. (Ed.), France.
- STP 169-A**, 1966, Significance of tests and properties of concrete and concrete-making materials, ASTM Special Technical Publication, USA, 571p.
- STP 169B**, 1978, Significance of tests and properties of concrete and concrete-making materials, ASTM Special Technical Publication, USA, 872p.
- STP 169C**, 1994, Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-Making Materials, ASTM Special Technical Publication, USA, 623p.
- STP 169D**, 2006, Significance of tests and properties of concrete and concrete-making materials, ASTM Special Technical Publication, USA, 664p.
- STP169**, 1956, Significance of tests and properties of concrete and concrete aggregates, ASTM Special Technical Publication, USA, 387p.
- Taşkın, Ş.**, 1998, Kahramanmaraş (Afşin-Göksun-Kavşut-Kömürköy ve Ağboyun köyü mahallesi) arasında yer alan bölgenin jeolojik petrografik ve barit cevherleşmesi bakımından incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, 78s.
- Teke, E.**, 1998, Kalsit ve baritin ince öğütme kinetiğinin analizi, Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, 153s.
- Thomas, M.D.A., Shehata, M.H., Shashiprakash, S.G., Hopkins, D.S. and Cail, K.**, 1999, Use of ternary cementitious systems containing silica fume and fly ash in concrete, *Cement and Concrete Research*, 29(8):1207–1214pp.
- Topçu, İ.B.**, 2003, Properties of heavyweight concrete produced with barite, *Cement and Concrete Research*, 33(6):815–822pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Topçu, İ.B. ve Uğurlu, A.**, 2012, Barit ile üretilmiş ağır betonlar üzerine bir çalışma, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 57(4):51–57s.
- TS 802**, 2016, Beton karışım tasarımı hesap esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-6**, 2013, Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler- Bölüm 6: Tane yoğunluğunun ve su emme oranının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-6**, 2013, Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 6: Tane yoğunluğuve su emme oranının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-7**, 2009, Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler - Bölüm 7: Dolgunun tane yoğunluğu tayini - Piknometre yöntemi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12350-2**, 2010, Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12350-6**, 2010, Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 6: Yoğunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-2**, 2010, Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 2: Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin hazırlanması ve küre tabi tutulması, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-3**, 2010, Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-7**, 2010, Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 7: Sertleşmiş beton yoğunluğunun tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 206:2013+A1**, 2017, Beton-Özellik, performans, imalat ve uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 480-4**, 2008, Kimyasal katkılar - Beton, harç ve şerbet için - Deney metotları - bölüm 4: Betonda terleme miktarının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- TS EN 933-1**, 2012, Agregaların geometrik özellikleri için deneyler - Bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımının tayini - Eleme yöntemi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 933-2**, 1996, Agregaların geometrik özellikleri için deneyler kısım 2: Tane boyutu dağılım tayini-Deney elekleri, elek göz açıklıklarını anma büyüklükleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tsoufanidis, N.**, 1995, Measurement and Detection of Radiation (2. Edition), Taylor and Francis, USA, 614p.
- Tuyan, M.**, 2017, Doğal ve atık malzemelerle geopolimer harç ve beton geliştirilmesi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, 291s.
- Uçar, M.**, 2001, Şekeroba (Türkoğlu-K. Maraş) barit yatağının jeolojisi, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, 49s.
- Ulusoy, U.**, 1996, Effect of shape characteristics of particles on floatability, MSc Thesis, Middle East Technical University, 126p.
- Ün, A. and Demir, F.**, 2013, Determination of mass attenuation coefficients, effective atomic numbers and effective electron numbers for heavy-weight and normal-weight concretes, *Applied Radiation and Isotopes*, 80:3–77pp.
- Vanhove, Y. and Khayat, K.H.**, 2016, Forced bleeding test to assess stability of flowable concrete, *ACI Materials Journal*, 113(6):753–758pp.
- Waddell, J.J.**, 1998, Concrete Manual: Concrete Quality and Field Practices (4. Edition), International Conference of Building Officials, 340p.
- Walker, R.L. and Grotenhuis, M.**, 1961, A summary of shielding constant for concrete, AEC Research and Development Report, Argonne National Laboratory, USA, 77p.
- Wang, G., Kong, Y., Sun, T. and Shui, Z.**, 2013, Effect of water-binder ratio and fly ash on the homogeneity of concrete, *Construction and Building Materials*, 38:1129–1134pp.
- Wood, J.**, 1982, Computational Methods in Reactor Shielding, Pergamon Press, USA, 441p.
- Yalçın, M.G.**, 1991, Feka-Belenköy barit yatakları ve köken sorunları, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, 66s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Yılmaz, E., Baltas, H., Kırıs, E., Ustabas, İ., Cevik, U. and El-Khayatt, A.M.,** 2011, Gamma ray and neutron shielding properties of some concrete materials, *Annals of Nuclear Energy*, 38(10):2204–2212pp.
- Yousef, S., AlNassar, M., Naoom, B., Alhajali, S. and Kharita, M.H.,** 2008, Heat effect on the shielding and strength properties of some local concretes, *Progress in Nuclear Energy*, 50(1):22–26pp.



ÖZGEÇMİŞ

H. Süleyman Gökçe, 1986 yılında İzmir’de doğmuştur. Lise eğitimini İzmir Çınarlı Teknik Lisesi Üst Yapı (İnşaat) Bölümü’nde 2004 yılında bitirmiştir. 2008 ve 2010 yıllarında sırasıyla lisans (Yapı Öğretmenliği Bölümü’nde) ve yüksek lisans (Yapı Eğitimi ABD’de) eğitimlerini Gazi Üniversitesi’nde tamamlamıştır. 2010-2012 yılları arasında Bayburt Üniversitesi ve 2012-2017 yılları arasında Ege Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde araştırma görevlisi olarak görev yapmıştır. Halen Bayburt Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır. Tahribatlı ve tahribatsız test yöntemleri, alkali-silika reaksiyonu, atık beton agregaların kullanımı, hafif reaktif pudra betonu, normal betonda terleme tayininin tespiti ve kendiliğinden yerleşen betonun segregasyon özelliklerinin tespitinde kullanılacak alternatif metotlar üzerinde çalışmaktadır.