

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

**GERİ DÖNÜŞÜMLÜ AGREGA KULLANIMININ
SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILABİLEN BETON
ÖZELİKLERİNE ETKİSİ**

Hojjat HOSSEINNEZHAD

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Şemsi YAZICI

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Sunuş Tarihi : 09.08.2016

Bornova-İZMİR

2016



Hojjat HOSSEINNEZHAD tarafından Yüksek Lisans tezi olarak sunulan “**GERİ DÖNÜŞÜMLÜ AGREGA KULLANIMININ SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILABİLEN BETON ÖZELİKLERİNE ETKİSİ**” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 09.08.2016 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:**İmza**

Jüri Başkanı	: Prof. Dr. Kambiz RAMYAR
Raportör Üye	: Doç. Dr. Şemsi YAZICI
Üye	: Prof. Dr. Selçuk TÜRKEL



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

E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi / Doktora Tezi olarak sunduğum “**GERİ DÖNÜŞÜMLÜ AGREGA KULLANIMININ SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILABİLEN BETON ÖZELİKLERİNE ETKİSİ**” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğumu, 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.

09 /08/ 2016

Hojjat HOSSEINNEZHAD



ÖZET**GERİ DÖNÜŞÜMLÜ AGREGA KULLANIMININ SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILABİLEN BETON ÖZELİKLERİNE ETKİSİ**

HOSSEINNEZHAD, Hojjat

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Şemsi YAZICI

Ağustos, 2016, 90 sayfa

Son yıllarda Türkiye’de uygulanan kentsel dönüşüm programları sonucu meydana çıkan beton atıklarının geri dönüştürülerek silindirle sıkıştırılabilen betonlarda (SSB) kullanımına olanak tanımak amacıyla, bu tez çalışması kapsamında geri dönüşmüş agrega (GDA) silindirle sıkıştırılmış betonda kullanılmıştır. Bu amaçla 150, 200 ve 250 kg/m³ çimento dozajına sahip ve kireç taşı esaslı iri agrega yerine ağırlıkça %0, %25, %50, %75 ve %100 oranlarında geri dönüşüm agrega (GDA) kullanılarak 15 farklı SSB karışımı hazırlanmıştır. Üretilen SSB karışımlarının mekanik özellikleri, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve darbe direnci araştırılmıştır. Dayanıklılık özellikleri ise su emme, kılcal su emme, basınçlı su altında su işleme derinliği, donma çözülme ve yüzeysel aşınma deneyleri uygulanarak belirlenmiştir.

Deneylerden elde edilen sonuçlara göre karışımların mekanik ve dayanıklılık özellikleri GDA ikame oranının artışıyla olumsuz olarak etkilenmiştir. Ancak, %25 oranına kadar GDA kullanımının mekanik özellikleri belirgin oranda etkilemediği tespit edilmiştir. GDA kullanımının olumsuz etkisi, çimento dozajının artmasıyla birlikte azalmıştır.

Anahtar Sözcükler: Silindirle sıkıştırılmış beton, geri dönüşüm agregası, çimento dozajı, optimum su muhtevası, mekanik özellikleri, dayanıklılık özellikleri.



ABSTRACT**EFFECT OF RECYCLED CONCRETE AGREGATE ON PROPERTIES
OF ROLLER COMPACTED CONCRETE**

HOSSEINNEZHAD, Hojjat

MSc in Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Şemsi YAZICI

August 2016, 90 pages

In recent years urban renewal programs implemented huge concrete waste in Turkey. Using these wastes as recycled aggregate in roller compacted concrete (RCC) is one of the possibilities to reduce large amount of them. The object of this thesis is using recycled aggregate in roller compacted concrete. For this purpose 150, 200 and 250 kg/m³ cement dosage were chosen as the binder in RCC mixtures. In all of the mixtures 0%, 25%, 50%, 75% and 100% by weight of crushed coarse limestone aggregate was replaced with recycled concrete aggregate. Water/cement ratios were find by experimental studies and 15 RCC mixtures were prepared. The compressive strength, splitting tensile strength and drop weight impact tests were applied to assess the mechanical properties and water absorption, capillary absorption, permeability, freeze-thaw resistance and superficial abrasion tests were applied to obtain the durability characteristics of the mixtures. The results showed that increasing the amount of recycled aggregate decreased both the mechanical properties and durability characteristics of concrete. However up to 25% replacement level, recycled aggregate had not a significant detrimental effect on the properties of concrete. Besides, the detrimental effect of RCC substitution reduced by increasing the cement content of the mixtures.

Keywords: Roller compacted concrete, recycled aggregate, cement dosages, optimum water content, mechanical properties, durability



TEŞEKKÜR

Bu alıŐma sűresince emeĐi geçen herkese, özellikle kıymetli grűŐlerinden yararlandıĐım ve yakın ilgisini esirgemeyen, deĐerli katkılarını aldıĐım tez yöneticim sayın Doç. Dr. Őemsi YAZICI 'ya, deneysel çalıŐmalarda verdiĐi bilgi ve gösterdiĐi ilgiden dolayı Dr. Ali MARDANI AGHABAGLOU 'ya, deneysel çalıŐmalar ve tez yazımında yardımlarından dolayı Yűksek Lisans Đrencileri İŐŐ. Műh. Arif Emre SON ve İŐŐ. Műh. Onur Can BOYACI 'ya, Doktora Đrencisi İŐŐ. Yűk. Műh. Daniel HATUNGİMANA 'ya ve Ege Ŭniversitesi İŐŐaat MűhendisliĐi Blűmű 'ne teŐekkűrű bir borç bilirim.

Ayrıca, danıŐmanım Doç. Dr. Őemsi YAZICI 'nın yűrűtűcűsű olduĐu 213M485 nolu TŬBİTAK projesinin bir parçası olarak hazırlatılan bu tez çalıŐmasında; gerekli maddi desteĐi saĐlayan TŬBİTAK 'a da teŐekkűr ederim.



İçindekiler Dizini

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	ix
TEŞEKKÜR.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xxi
SİMGE VE KISALTMA DİZİNİ.....	xxiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. AMAÇ.....	3
1.2. KAPSAM.....	3
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	4
3. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	18
3.1. Malzemeler.....	18
3.1.1. Çimento.....	18
3.1.2. Agregalar.....	19
3.1.3. Su.....	24
3.2. SSB Karışımlarını Optimum Su Muhtevasının Belirlenmesi ve Karışım Oranları.....	25
3.3. Örneklerin dökümü ve kuru.....	38
3.4. Çalışma kapsamında uygulanan deneyler.....	38

İçindekiler Dizini (devam)

	<u>Sayfa</u>
4. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	45
4.1. Mekanik özellik sonuçları.....	45
4.1.1. Basınç dayanımı.....	45
4.1.2. Yarmada çekme dayanımı.....	50
4.1.3. Darbe deneyi.....	55
4.2. Durabilite deney sonuçları.....	59
4.2.1. Su emme oranı.....	59
4.2.2. Kılcal su emme.....	61
4.2.3. Basınçlı su altında su işleme derinliği.....	71
4.2.4. Donma çözülme deneyi sonuçları.....	74
4.2.5. Yüzeysel aşınma deney sonuçları.....	77
5. SONUÇLAR.....	83
6. ÖNERİLER.....	84
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	85

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Kireçtaşı iri ve ince agrega karışımının gradasyonu ve ilgili standart sınırlar.....	20
3.2 Beton atıklarının agrega haline getirildiği kırıcının hazne görüntüsü.....	22
3.3 %75 kireçtaşı iri agrega+ %25 GDA iri agrega içeren karışıma ait granülometri eğrisi ve standart sınırları.....	23
3.4 %50 kireçtaşı iri agrega+ %50 GDA iri agrega içeren karışıma ait granülometri eğrisi ve standart sınırları.....	23
3.5 %25 kireçtaşı iri agrega+ %75 GDA iri agrega içeren karışıma ait granülometri eğrisi ve standart sınırları.....	24
3.6 %0 kireçtaşı iri agrega+ %100 GDA iri agrega içeren karışıma ait granülometri eğrisi ve standart sınırları.....	24
3.7 Proje kapsamında üretilen bir SSB karışımına ait görüntü.....	26
3.8 SSB150/0 kodlu karışımın optimum su muhtevası – maksimum kuru birim ağırlık ilişkisi.....	28
3.9 SSB150/25 kodlu karışımın optimum su muhtevası – maksimum kuru birim ağırlık ilişkisi.....	28
3.10 SSB150/50 kodlu karışımın optimum su muhtevası – maksimum kuru birim ağırlık ilişkisi.....	29
3.11 SSB150/75 kodlu karışımın optimum su muhtevası – maksimum kuru birim ağırlık ilişkisi.....	29
3.12 SSB150/100 kodlu karışımın optimum su muhtevası – maksimum kuru birim ağırlık ilişkisi.....	30

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.13 SSB200/0 kodlu karışımın optimum su muhtevası – maksimum kuru birim ağırlık ilişkisi.....	30
3.14 SSB200/25 kodlu karışımın optimum su muhtevası – maksimum kuru birim ağırlık ilişkisi.....	31
3.15 SSB200/50 kodlu karışımın optimum su muhtevası – maksimum kuru birim ağırlık ilişkisi.....	31
3.16 SSB200/75 kodlu karışımın optimum su muhtevası – maksimum kuru birim ağırlık ilişkisi.....	32
3.17 SSB200/100 kodlu karışımın optimum su muhtevası – maksimum kuru birim ağırlık ilişkisi.....	32
3.18 SSB250/0 kodlu karışımın optimum su muhtevası – maksimum kuru birim ağırlık ilişkisi.....	33
3.19 SSB250/25 kodlu karışımın optimum su muhtevası – maksimum kuru birim ağırlık ilişkisi.....	33
3.20 SSB250/50 kodlu karışımın optimum su muhtevası – maksimum kuru birim ağırlık ilişkisi.....	34
3.21 SSB250/75 kodlu karışımın optimum su muhtevası – maksimum kuru birim ağırlık ilişkisi.....	34
3.22 SSB250/100 kodlu karışımın optimum su muhtevası – maksimum kuru birim ağırlık ilişkisi.....	35
3.23 Darbe deney düzeneğine ait görüntü.....	40
3.24 Basıncılı su altında su işleme derinliğine ait fotoğraf.....	43

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.25	Basınçlı su altında su işleme derinliğine ait fotoğraflar. (Soldaki fotoğraf 150 kg dozajlı karışımda suyun diğer yüze ulaşmadan dışarıya sızdığını gösteren resim. Sağdaki fotoğraf ise 250 dozlu bir örnekte basınçlı suyun nüfuz ettiği bölgeyi gösteren resim.)43
4.1	150 Dozajlı SSB karışımlarında GDA oranı - basınç dayanımı ilişkileri.....48
4.2	200 Dozajlı SSB karışımlarında GDA oranı - basınç dayanımı ilişkileri.48
4.3	250 Dozajlı SSB karışımlarında GDA oranı - basınç dayanımı ilişkileri49
4.4	150 Dozajlı SSB karışımlarında GDA oranı – yarmada çekme dayanımı ilişkileri.....53
4.5	200 Dozajlı SSB karışımlarında GDA oranı – yarmada çekme dayanımı ilişkileri.....53
4.6	250 Dozajlı SSB karışımlarında GDA oranı – yarmada çekme dayanımı ilişkileri.....54
4.7	Tez ve literatürdeki SSB karışımlarında basınç dayanımı-yarmada çekme dayanımı ilişkileri.....55
4.8	Darbe deneyine ait fotoğraflar.....56
4.9	SSB karışımlarında GDA oranının kırılma tokluğuna etkisi (28 gün için)..57
4.10	SSB karışımlarında GDA oranının kırılma tokluğuna etkisi (90 gün için)..57
4.11	SSB karışımlarında GDA oranının kırılma tokluğuna etkisi (180 gün için)58

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.12 Kılcal su emme deneyine ait fotoğraf.....	61
4.13 SSB 150/0 karışımına ait kılcal yolla su emme diyagramı.....	62
4.14 SSB 150/25 karışımına ait kılcal yolla su emme diyagramı.....	63
4.15 SSB 150/50 karışımına ait kılcal yolla su emme diyagramı.....	63
4.16 SSB 150/75 karışımına ait kılcal yolla su emme diyagramı.....	64
4.17 SSB 150/100 karışımına ait kılcal yolla su emme diyagramı.....	64
4.18 SSB 200/0 karışımına ait kılcal yolla su emme diyagramı.....	65
4.19 SSB 200/25 karışımına ait kılcal yolla su emme grafiği.....	65
4.20 SSB 200/50 karışımına ait kılcal yolla su emme grafiği.....	66
4.21 SSB 200/75 karışımına ait kılcal yolla su emme grafiği.....	66
4.22 SSB 200/100 karışımına ait kılcal yolla su emme grafiği.....	67
4.23 SSB 250/0 karışımına ait kılcal yolla su emme grafiği.....	67
4.24 SSB 250/25 karışımına ait kılcal yolla su emme grafiği.....	68
4.25 SSB 250/50 karışımına ait kılcal yolla su emme grafiği.....	68
4.26 SSB 250/75 karışımına ait kılcal yolla su emme grafiği.....	69
4.27 SSB 250/100 karışımına ait kılcal yolla su emme grafiği.....	69
4.28 28 günlük yaşa sahip SSB örneklerin basınçlı altında su işleme derinliğinin GDA oranına bağlı değişimleri.....	71

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.29	90 günlük yaşa sahip SSB örneklerin basınçlı altında su işleme derinliğinin GDA oranına bağlı değişimleri.....72
4.30	180 günlük yaşa sahip SSB örneklerin basınçlı altında su işleme derinliğinin GDA oranına bağlı değişimleri.....72
4.31	Donma çözülme deneyine ait fotoğraf. (Fotoğraf 250 dozajlı karışıma aittir ve numune içindeki boşlukları göstermektedir.)76
4.32	Donma çözülme deneyine ait fotoğraf.(Fotoğraf 250 dozajlı karışıma aittir ve numune içindeki boşlukları göstermektedir.)76
4.33	SSB karışımlarının 28 günlük yüzeysel aşınma kayıpları.....79
4.34	SSB karışımlarının 90 günlük yüzeysel aşınma kayıpları.....79
4.35	SSB karışımlarının 180 günlük yüzeysel aşınma kayıpları.....80



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1	Agrega gradasyon limitleri (PCA, 2006).....6
3.1	Kullanılan çimentonun özellikleri.....18
3.2	Kireçtaşı agregaların elek analizi sonuçları.19
3.3	Agregaların fiziksel özellikleri.....19
3.4	GDA üretimi için kullanılan atık betonların basınç dayanımı.....21
3.5	Beton atıklarından elde edilen GDA ‘nın elek analizi sonuçları.....22
3.6	Beton atıklarından elde edilmiş GDA ‘nın bazı fiziksel özellikleri.....23
3.7	Çimento içeriği ve agrega kompozisyonuna bağlı olarak SSB karışımlarının isimlendirilmesi.....25
3.8	SSB karışımlarının maksimum kuru birim hacim ağırlık - optimum su muhtevasına bağlı olarak saptanan karışım suyu miktarları.....35
3.9	1 m ³ SSB karışımları için teorik malzeme miktarları.....37
3.10	1 m ³ SSB karışımları için düzeltilmiş malzeme miktarları.....38
4.1	SSB karışımlarının basınç dayanımı.....45
4.2	SSB karışımlarının yarmada çekme dayanımı sonuçları.....50
4.3	SSB karışımlarının darbe deneyi sonuçları.....56
4.4	SSB karışımlarının su emme deneyi sonuçları.....60
4.5	90 gün kür edilmiş SSB örneklerin kılcal yolla su emme deneyi.....62
4.6	SSB karışımlarının basınçlı su altında su işleme derinliği.....71
4.7	SSB karışımlarının donma çözülme deneyi sonuçları.....75
4.8	Yüzeysel aşınma deneyi sonuçları.....78



SİMGE VE KISALTMA DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
SSB:	Silindirle sıkıştırılabilen beton
GDA:	Geri dönüşüm agregası
W:	Su muhtevası (%)
W_{Islak} :	Islak numune ağırlığı (g)
W_{kuru} :	Kuru numune ağırlığı (g) olarak ifade edilmiştir
γ_{Max} :	Numunenin maksimum kuru birim hacim ağırlığıdır
S:	1 m ³ karışımdaki su miktarı (kg)
Ç:	1 m ³ karışımdaki çimento miktarı (kg)
V:	Hacim
W_a :	1 m ³ karışımdaki toplam agrega miktarı (kg)
E_f :	Kırılma enerjisi, (N.mm)
m:	Darbe yükü kütlesi, (kg)
g:	Yer çekim ivmesi, (m/sn)
h:	Düşü yüksekliği, (mm)
N_f :	Darbe sayısı, (adet)
V:	Örnek hacmi, (mm ³)

SİMGE VE KISALTMA DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
W_f :	Darbe etkisinde kırılma tokluğu (Nmm/mm ³)
I:	Kılcılık indisi, (mm)
mt:	t zamanında örneğin kütle değişimi, (g)
a:	Örneğin su ile temas eden yüzey alanı, (mm ²)
d:	Suyun yoğunluğu, (0.001 g/mm ³)



1. GİRİŞ

Büyük kentlerde ekonomik ömrünü tamamlamış pek çok betonarme yapı bulunmaktadır. Bu yapıların yıkılarak yerine ihtiyaçlara bağlı olarak yenilerinin yapılması gerekmektedir. Ekonomik ömrünü veya işlevini tamamlamış betonarme yapıların yıkılması sonucunda büyük hacimde beton atıkları ortaya çıkmakta ve bunların depolanabilmesi için büyük alanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Çevre bilincinin artmasına bağlı olarak bu beton atıklarının depolanması hem alan işgali hem de yeni çevre kirliliği yaratmaktadır.

Özellikle büyük kentlerde eski yapıların yıkılarak yerine yeni betonarme yapıların yapılması büyük hacimde yeni agrega kaynaklarının kullanılmasını da gerektirmektedir. Kentlerde mevcut agreganın kaynaklarının azalması daha uzaklardaki kaynakların devreye girmesine neden olmaktadır. Bu durumda beton üretiminde kullanılacak olan agrega maliyetini yükseltmektedir. Beton atıklarından elde edilecek olan geri dönüşüm agregalarının beton üretiminde kullanılması doğal agregaya alternatif oluşturacaktır. Bu kullanım ile daha az doğal kaynak tüketilecek, daha az çevre kirliliği sağlanacaktır.

Nüfusunun ve şehirleşmenin hızla artmasıyla, tabii kaynaklar ve bunların sürdürülebilirliği üzerinde tehlike oluşmaktadır. Bu artışa bağlı olarak tabii kaynakların tükeneceğini ya da elde edilmelerinin zorlaşacağını tahmin etmek zor değildir. Bu yüzden atık malzemelerin geri dönüştürülmesi ülkelerin kaynakların devamı açısından çok önemlidir. Atık olarak nitelendirilen malzemeler işlenerek geri dönüştürülmekte ve hammadde olarak kullanılarak tekrar yeni malzemeler elde edilmektedir. Bu işlem “geri dönüşüm” olarak tanımlanmaktadır. Çağımızda, bazı ülkelerde atık agrega, beton, ahşap, asfalt gibi inşaat malzemeleri işlenerek yeniden hammadde olarak değerlendirilmektedir. Böylece hem ekonomiye katkı sağlamakta hem de atıkların çevreye olan zararlı etkileri en aza indirilmeye çalışılmaktadır. Türkiye’de ise inşaat malzemelerinin geri dönüşümü konusunda henüz kayda değer bir çalışma bulunmamaktadır (Gürer v.d., 2004, Gönen v.d., 2012).

Atık malzemelerin bertaraf edilmesi veya depolanması, gelecekte en büyük sorunlardan biri olarak düşünülmektedir. Bu sorunun en makul çözümlerinden biri de atık malzemelerin yeniden kullanımını sağlamaktır. Bundan 40-50 yıl öncesine kadar atık malzeme olarak kabul edilen uçucu kül, yüksek fırın cürufu, silis dumanı gibi malzemelerin beton ve çimento endüstrisinde yaygın kullanım alanına sahip olması, çimento ve beton özelliklerini geliştirmesi, atıkların inşaat sektöründe kullanılması konusunda ilginin artmasına sebep olmuştur. Atıkların kullanımıyla sağlanan bu gelişmeler çimento ve betonun özelliklerini geliştirdiği gibi bu atıkların geri kazanımı ve bunlara bağlı sanayi kolları oluşması konusunda oldukça önemlidir (Gönen v.d., 2012).

Son yıllarda kentlerdeki eski ve niteliksiz binaların sayılarının artması, mevcut yapıların deprem performanslarının zayıf olması kentsel yenilemeyi gündeme getirmiştir. Kentsel yenileme sonucu ortaya çıkacak olan çok büyük miktardaki beton atıklarının geri kazanılarak tekrar beton üretiminde değerlendirilmesi güncel bir konu haline gelmektedir. Beton atıklarının bu şekilde betonda kullanımı 2. Dünya savaşı sırasında ve sonrasında başlamıştır. Bu dönemde savaşta yıkılan veya hasara uğrayan binaların molozları özellikle Almanya ve İngiltere'nin yeniden inşasında kullanılmıştır (Gönen v.d., 2012).

Doğal hayatın korunmasında ana amaçlardan biri de doğal kaynakların kullanımını azaltacak şekilde atıkların geri kazanılması ve değerlendirilmesidir. Çağımızda kentsel depo alanlarına bırakılan atıkların büyük bir kısmını inşaat atıkları oluşturmaktadır. İnşaat atıkları içerisinde metal esaslı olanlar kolaylıkla ayırt edilmekte ve geri kazanılmaktadır. Buna karşın özellikle beton atıkları moloz olarak tarımsal alanlar veya depo sahalarına dökülerek depolanmaktadır. Bu atıklarında diğer inşaat atıklarından ayrıştırılarak kırılıp agrega haline getirilmesi mümkündür. Bu tür geri kazanılmış beton atık agregasının beton üretiminde yeniden kullanımı bu atıkların çevreye verdiği zararı ve doğal agrega tüketiminin azaltılması sağlayacaktır. Doğal kaynakların zamanla azalması veya tükenmesi, mevcut kaynakların kullanım yerlerinden uzakta olması, inşaat atıklarının geri kazanımına ilgiyi artırmaktadır. Kentsel dönüşüm sürecinde yıkılan veya yıkılacak

olan binaların büyük bir kısmının betonarme olması, bunlardan elde edilecek atıkların betonda agrega yerine kullanılmasına olanak tanıyacaktır.

Ancak beton atıklarının da kendi içerisinde özellikle yoğunluk ve agrega kökenine bağlı olarak ayrıştırılması, kırılması, yıkanması ve elenmesinden sonra belirli bir kalitede kullanım sürekliliği yaratacak şekilde kullanıma sunulması da son derece önemlidir. Bu tür geri kazanılmış beton agregalarının düşük dayanımlı betonların üretiminde kullanılmasını teşvik etmektedir.

1.1. AMAÇ

Bu tez çalışmasının amacı; son yıllarda Türkiye’de yapı stokunun yeni deprem yönetmeliklerine uygun olarak yenilenmesi ve kentsel dönüşüm programları sonucu ortaya çıkan ve çıkacak olan büyük miktarlardaki beton atıklarının geri dönüştürülerek silindirle sıkıştırılabilen betonlarda kullanımına olanak tanımak, geleneksel kireçtaşı agregaya alternatif oluşturmak ve çevre sorunlarına çözüm üretmektir.

1.2. KAPSAM

Bu tez kapsamında;
150, 200 ve 250 (kg/m³) bağlayıcı dozajına sahip ve kireç taşı esaslı iri agrega yerine yüzde 0, 25, 50, 75 ve 100 oranında GDA kullanarak 15 adet SSB karışımı zemin yaklaşımı ile oluşturulmuştur. Daha sonra üretilen 15 adet SSB karışımında GDA kullanımının üretilen betonların basınç, yarmada çekme, birim hacim ağırlığı, su emme, kılcal su emme, basınçlı su altında su işleme derinliği, donma çözülme, aşınma ve darbe direnci gibi özelliklerine etkisi incelenmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Baraj yapımında ve yol kaplamalarında kullanılan silindirle sıkıştırılmış beton (SSB), dayanıklılığı, ekonomikliğı ve hızlı yerleştirmeye olanak tanınması ile ilgi uyandıran bir özel beton türüdür. Yol kaplamaları ve beton ağırlık barajlarının yapımında başarı ile kullanılmış olan SSB'nin, bu kullanım alanları dışında birçok kullanım alanı mevcuttur. Bu kullanım alanlarından bazıları; park alanları, servis alanları, şehirler içi ve şehirlerarası yollar, fabrika içi yollar, geçici yollar, malzeme stok alanları, havaalanı pisti ve ulaştırma yolları, ağır trafiğe maruz yollar ve otoyolların temel ve kaplama katmanlarıdır (Atış, 2001).

1970'lerdeki petrol krizinden dolayı, özellikle yol yapımında kaplama malzemesi olan bitümün fiyatının aşırı olarak yükselmesi nedeniyle, SSB kaplamalarının kullanımı gündeme gelmiştir. SSB yol kaplamasının bilinen ilk modern örneğı, 1970 yılında İspanya'da düşük trafik yoğunluğuna sahip bir yol yapımında kullanılmasıdır. Yüksek trafik yoğunluğuna sahip diğeri bir SSB yol kaplaması uygulaması 1976 yılında Kanada'da yapılmıştır. Daha sonraki yıllarda ABD, Fransa, Almanya, Norveç, İsveç, Finlandiya, Danimarka, Almanya, Avusturya, Arjantin, İspanya ve Japonya gibi ülkelerde büyük hacimlerde SSB uygulamaları yapılmıştır. SSB'nin bu kadar yaygın kullanılmasının nedeni, özel ekipmana ihtiyaç duyulmadan, asfalt kaplamaların yapıldığı makinelerle inşa edilebilmesidir. Ayrıca, uygulama kolaylığı, çalışan işçi sayısını azaltması, üretim hızının yüksek olması ve bunlarla birlikte maliyetinin az olması yaygın olarak kullanılmasına neden olduğu söylenebilir (Ağar ve Taşdemir, 2007).

SSB, Türkiye'de ilk olarak Karakaya Barajı memba batardosunda uygulanmıştır. Bunu takip eden yıllarda Atatürk, Sır, Berke, Kürtün barajlarının belirli kısımlarında, Çindere ve Çine Barajı gövde yapılarında da SSB kullanılmıştır (Çakmakoğlu, 2002).

Silindirle sıkıştırılmış beton, normal betona göre su içeriğı az ve işlenebilirliğı yok denecek düzeyde olan, taze durumda iken normal betondan

farklı olarak zemin dolgu malzemesini andıran, katılaştığında ise normal beton gibi davranan bir malzemedir (Atiş, 2001).

Geleneksel beton kaplamalara göre daha düşük su/bağlayıcı oranına sahip olan SSB kaplamalar, bitümlü kaplama uygulamasında kullanılan araçlarla taşınabilmekte, yerine serilebilmekte ve sıkıştırılabilmektedir. Ayrıca hem süreksiz hem de sürekli karıştırma tesislerinde üretilebilmektedir. SSB, üretim yerinden uygulama alanına damperli kamyon ile taşınabilmekte ve sericiye doğrudan dökülmektedir. SSB karışımları istenilen kotta serim yapabilen titreşimli mastar ve en az bir tokmağa sahip olan beton asfalt sericiler yardımıyla serilmekte ve istenilen performans elde edilmektedir. Serilen SSB tabakalarında ilk sıkıştırma işlemi 10 tonluk çift tamburlu titreşimli silindir ile en az dört geçişte yapılmaktadır. İlk sıkıştırmanın ardından 20-30 tonluk lastik tekerlekli silindir ile iki veya daha fazla geçiş de yapılarak istenilen sıklık elde edilmektedir. Serilen ve sıkıştırılan SSB tabakalarında enine derzler, iklim koşullarına ve SSB 'nin dayanımına bağlı olarak birkaç saat ile birkaç gün içinde kesilerek oluşturulmaktadır. SSB kaplamanın istenilen performansa sahip olabilmesi için gerekli olan kür işlemi en basit şekilde su püskürtülerek veya ıslak örtüler serilerek de yapılabilmektedir (Ağar ve Taşdemir, 2007).

Diğer beton tiplerinde olduğu gibi SSB'nin ekonomikliğini ve kalitesini belirleyen en önemli parametrelerden biri uygun agrega kaynağının seçilmesidir. Agrega SSB karışımlarının hacminin %70-80'ini oluşturduğundan, taze ve sertleşmiş hal özelliklerini büyük oranda değiştirmektedir (Ragan, 1988; Taşdemir v.d., 2002; Üte, 2008; Yazıcı v.d., 2015).

SSB'de karışımında kullanılan agregalarda genellikle yıkanma ve temizlenme işlemlerine gereksinim duyulmamaktadır. SSB karışımlarında iri agrega olarak kırılmış veya kırılmamış doğal çakıl, kırılmış beton atıkları, kırmataş veya bunların karışımı kullanılabilir. Kaplamanın yüzey dokusunun önemli olduğu uygulamalarda agreganın maksimum tane boyutunun 19 mm'yi, ayrışmayı önlemek ve karıştırma işlemini kolaylaştırmak için maksimum tane

boyutunun 25 mm'yi aşmaması önerilmektedir. İnce agrega olarak, doğal kum, kırma kum veya her ikisi birlikte kullanılabilir (DOA, 1995; Taşdemir v.d., 2002; Üte, 2008).

SSB'de ve geleneksel betonda kullanılan agregalar arasındaki en belirgin farklılıklardan biri agreganın tane dağılımıdır. Portland Cement Association [PCA] (2006)'nın, SSB yol kaplamaları için önerdiği agrega gradasyon limitleri Tablo 2.1'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1: Agrega gradasyon limitleri (PCA, 2006).

Elek boyutu	% Geçen (Ağırlıkça)	
	Minimum	Maksimum
1-in. (25 mm)	100	100
3/4-in. (19 mm)	90	100
1/2-in. (12.5 mm)	70	90
3/8-in. (9.5 mm)	60	85
No. 4 (4.75 mm)	40	60
No. 16 (1.18 mm)	20	40
No. 100 (150 µm)	6	18
No. 200 (75 µm)	2	8

Tablo 1'de verilen gradasyon limitlerinde, SSB karışımlarında kullanılan 200 no.lu elekten geçen ince tane oranının geleneksel betona göre daha fazla olduğu görülmektedir. 200 no.lu elekten geçen, plastik olmayan az miktarda ince malzemenin (ağırlıkça %2 ile %8 oranında) varlığı SSB'nin sıkışma özelliklerini sağlaması için yeterli olmaktadır. Ayrıca agrega içerisinde yeteri kadar ince malzeme bulunmaması durumunda, ince malzeme olarak uçucu kül kullanılabilir (PCA, 2006).

SSB karışımlarında sıkıştırma işleminin başarılı olması ve yoğunluğun artırılması için sürekli gradasyona sahip agrega kullanılması, SSB uygulamasında düzgün yüzey oluşturabilmek için ise ince agrega oranının iyi seçilmesine ve ince agrega oranının normal betona kıyasla daha fazla olması gerektiği farklı araştırmacılar tarafından söylenmiştir (Schrader ve McKinnon, 1984; Atış, 2001, Üte, 2008). SSB karışımlarında ince ve iri agreganın ya da çimentonun bir kısmı yerine uçucu kül ya da benzeri mineral katkı kullanmak SSB'de daha önce

söylenen özelliklerin sağlanması için faydalı olabilir. SSB'de uçucu kül veya diğer mineral katkıların kullanılması hem karışımın işlenebilirliğini artırmakta hem de karışımın daha ekonomik olmasını sağlamaktadır. SSB karışımı uygun şekilde tasarlandığında puzolanik etki göstermeyen mineral katkı karışımında belirli oranda agrega yerine, puzolanik etkiye sahip olan mineral katkı ise belirli bir orana kadar çimento yerine kullanılmaktadır (Kajorncheappungam ve Stewart, 1992; Atış, 2001; Yazıcı v.d., 2015).

PCA (2006)'ya göre, SSB karışımlarında %40'a kadar puzolan içeren veya modifiye portland çimentoları ile F yada C sınıfı uçucu kül, silis dumanı ve granüle yüksek fırın cürufunun bağlayıcı malzeme olarak kullanılabilmesi uygundur. SSB'de karışımında kullanılacak bağlayıcı malzeme (çimento+puzolan) seçimi uygulanacak yapının amacı ve boyutu, çevre koşulları ve agreganın özelliklerine bağlı olarak seçilmelidir. SSB'nin dayanımı öncelikle agrega kalitesi, sıkışma derecesi ile su/bağlayıcı oranına bağlıdır. Karışımında kullanılan bağlayıcı malzeme türünün dayanım gelişimi ve hidrasyon hızı üzerinde önemli etkisi vardır (Koçak, 1998).

Ayrıca, bağlayıcı malzemenin seçimi ve kullanım oranı, hedeflenen dayanıma, dayanım kazanma hızına ve durabilite kriterlerine bağlıdır. Yol kaplamaları için üretilen SSB karışımlarında çimento dozajı genellikle metreküpte 250-350 kg arasında değişmektedir. Bu çimento kullanım oranı karışımındaki toplam kuru malzemenin ağırlıkça %12-16'sına karşılık gelmektedir. SSB'de çimento dozajının önerilen değerlerin üzerine çıkması durumunda, üretim maliyetinin artacağı ve büzülme çatlaklarının oluşacağı belirtilmiştir (Gauthier ve Marchand, 2005, Üte, 2008; Yazıcı v.d., 2015).

SSB karışımlarında kullanılan karışım suyunun niteliği, geleneksel beton karışımlarında kullanılan su ile benzer olması gerekmektedir. SSB karışımlarında kullanılan karışım suyunun miktarı metreküpte 90 ile 120 kg arasında, karışım suyunun bağlayıcı malzemeye oranı ise genellikle 0.30 ile 0.45 arasında olmaktadır. SSB karışımlarında kullanılan toplam suyun ağırlığı kuru malzemelerin ağırlığına oranı ise genellikle %4.6 ile %5.6 arasındadır. SSB

karışımlarında su/bağlayıcı oranı bu aralıkta kullanıldığı takdirde 28 günlük basınç dayanımında 40 MPa'ı geçen dayanımlar elde edilebilmektedir (PCA, 2006; Gauthier ve Marchand, 2005).

Normal betonlarda kullanılan kimyasal katkıların birçoğu SSB karışımlarında da kullanılabilir. Ancak, SSB karışımlarında kullanılan katkı oranı normal betondan daha farklıdır. SSB karışımlarının su içeriğinin daha az olmasından ve karıştırma süresinin daha kısa olmasından dolayı SSB'de kimyasal katkıların etkisi belirgin değildir. SSB karışımlarında kullanılan katkının etkisini gösterebilmesi için yüksek oranda kullanılması gerekmektedir (Gauthier ve Marchand, 2005). Su azaltıcı ve priz geciktirici katkıların eklenmesi bağlayıcı malzemenin priz süresini geciktirir. Bu durumun SSB'nin üretildiği yer ile uygulama alanı arasındaki mesafenin fazla olması durumunda faydalı olabilir. Su azaltıcı katkılar, çimento hamurunun karışımda dağılımının homojen bir biçimde olmasını sağlamak ve işlenebilirliği iyileştirmek için SSB karışımlarında başarı ile uygulanmaktadır. Karışımın kuru olarak üretildiği santrallerde üretim sırasında işlenebilirliği arttırmak ve karıştırma süresini azaltmak amacıyla polikarboksilat esaslı süper akışkanlaştırıcı katkılar karışıma eklenebilmektedir. Bu katkıların kullanımı üretimi önemli derecede hızlandırmaktadır. SSB karışımlarında erken dayanımın gerektiği durumlarda priz hızlandırıcı katkılar da kullanılabilir (PCA, 2006).

İstenilen performansa sahip SSB karışımı üretebilmek için SSB karışımındaki malzeme oranlarının doğru olarak belirlenmesi gereklidir. SSB karışımlarında kullanılan malzeme karışım oranlarını saptamak için genellikle; optimal hamur hacmi, katı askı, zemin sıkıştırma ve Ve-Be deneyleri uygulanmaktadır. Bu deney yöntemlerinden hangisi kullanılırsa kullanılsın deneyin amacı, karışımda agregayı saran ve boşlukları dolduran yeterli hamur hacmine ve mümkün olan maksimum birim hacim ağırlığa sahip bir karışım oluşturmaktır (ACI Committee 325.10, 1995; PCA, 2006).

Optimal hamur hacmi yöntemi; silindirle sıkıştırılmış kütle beton karışımlarını uygun şekilde oluşturmak amacıyla geliştirilmiştir. Bu metot

kullanılarak, sıkıştırma işlemi sırasında granüler yapının maksimum yoğunluğa ulaşmasıyla, taneler arasında kalan boşlukların yeterli miktarda hamurla doldurulması amaçlanır. Karışımdaki hamur miktarı gerekenden daha az olduğu takdirde, sıkıştırma işleminde kalan boşluklar, SSB'nin mekanik özelliklerini olumsuz etkiler ve geçirgenliği artırır. Optimal hamur hacmi yöntemi üç temel aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama, belirli bir sıkıştırma enerjisi uygulandığında minimum boşluk hacmi içeren agrega tane dağılımının seçilmesidir. İkinci aşama, gereken işlenebilirliği sağlamak için kalan boşluk hacminden yararlanarak optimum hamur hacminin belirlenmesidir. Son aşamada ise, istenilen dayanımı sağlamak için gerekli bağlayıcı hacmine sahip hamur üretilerek, su/bağlayıcı oranı ile çimento ve puzolanik malzeme miktarlarının belirlenmesidir (PCA, 2004).

Katı askı yönteminde; kuru malzemelerin (çimento, uçucu kül, silis dumanı, ince agrega ve kaba agrega) oranları belirlenmekte ve SSB karışımının kuru olarak sıkışma oranı optimize edilmektedir. Optimum kuru sıkışma yoğunluğu kullanılarak, kuru malzemeler arasındaki boşlukları dolduracak yeterli su miktarı belirlenebilmektedir (PCA, 2006, Gauthier ve Marchand, 2005).

Zemin sıkıştırma yöntemi ise maksimum tane boyutunun küçük ve bağlayıcı oranının daha yüksek olduğu SSB karışımları için daha uygundur (ACI Committee 207, 1988). Bu yöntemin amacı SSB karışımının su içeriği ile birim hacim ağırlığı arasındaki ilişkiyi belirlemektir. Bu metotta standart Proktor (ASTM D 698) veya modifiye Proktor testleri (ASTM D 1557) kullanılmaktadır. Her iki yöntemde optimum su içeriğine karşılık gelen maksimum kuru birim ağırlığı hesaplamak için uygulanmaktadır (PCA, 2004). Bu yöntemlerde; su, zemin taneleri arasındaki sürtünmeyi azaltmakta ve sıkıştırma işlemi esnasında tanelerin birbirinin üstünden kayarak daha sıkı bir şekilde düzenlenmeleri amaçlanmaktadır (PCA, 2006). Bu deneyde; ilk aşamada, ince ve iri agregalar SSB karışımının hacimce %90'ını oluşturduğundan, düzgün tane boyutu dağılımına sahip uygun agrega seçilmelidir. Daha sonra farklı oranlarda bağlayıcı içeren deneme karışımları hazırlanmaktadır. Bağlayıcı malzeme içeriği kuru malzeme ağırlığının %12-17'si arasında değişebilmektedir. SSB karışımlarındaki su içeriği, karışımların maksimum sıkışma yoğunluğuna, uygulamadaki kriterlere

ve karışımda kullanılan kimyasal katkıının özelliklerine göre değişkenlik göstermektedir. Su içeriği genellikle karışımdaki toplam katı malzeme miktarının ağırlıkça yüzdesi olarak ifade edilmektedir (PCA, 2006).

Ve-Be deney yönteminde (beton kıvam yönteminde); ilk aşamada, minimum hamur hacmini saptayabilmek için farklı su/bağlayıcı ve ince agrega/bağlayıcı oranlarına sahip deneme karışımları hazırlanmakta ve her karışımın birim hacim ağırlığı ölçülmektedir. Karışımın optimum birim hacim ağırlığı, sabit bir su/bağlayıcı oranında ve belli bir ince agrega/bağlayıcı oranında hesaplanmaktadır. İkinci aşamada, gereken dayanımı sağlayan su/bağlayıcı oranı seçilmekte, üçüncü aşamada ise, hesaplanan su/bağlayıcı ve ince agrega/bağlayıcı oranları ile gereken işlenebilirliği karşılayacak şekilde ince ve kaba agregaların oranları belirlenmektedir (Gauthier ve Marchand, 2005).

Courard v.d. (2010) beton yoldan geri dönüştürülen agreganın doğal agrega yerine silindirle sıkıştırılmış betonda kullanımını araştırmıştır. Sonuç olarak silindirle sıkıştırılmış beton içerisinde geri dönüşüm agregası kullanımı ile doğal agrega kullanımının sıkıştırılabilirlik bakımından benzer nitelikte olduğunu ve beton karışımlarının ihtiyaç duyduğu çimento oranına dikkate değer etkisinin olmadığını gözlemlemiştir. Ancak, doğal agrega ile hazırlanan silindirle sıkıştırılmış beton karışımlarında basınç dayanımlarının daha yüksek olduğu ifade edilmiştir. Çalışma sonunda beton yoldan geri dönüştürülen agreganın temel uygulamasında silindirle sıkıştırılmış beton içerisinde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Debieb v.d.(2009) yaptıkları araştırmada, doğal agrega ile üretilmiş beton plaklarını su, deniz suyu, klorür veya sülfat çözeltisinde kür ettikten sonra kırarak kirlenmiş geri dönüşüm agregası elde etmişlerdir. Elde edilen geri dönüşüm agregasını silindirle sıkıştırılmış beton içerisinde iri ve ince agrega yerine kullanarak mekanik ve dayanıklılık özelliklerine olan etkisini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışma sonunda, geri dönüşüm agregasının içerdiği hidrate olmamış çimento taneciklerinin karışımın su ihtiyacını artırdığını gözlemlenmiştir. Ayrıca, geri dönüşüm agregası kullanılarak hazırlanan silindirle sıkıştırılmış betonların

mekanik özelliklerinin doğal agrega ile hazırlanan karışıma kıyasla daha iyi olduğunu, geri dönüşüm agregasının yol kaplamalarında özellikle de alt temel uygulamalarında verimli olacağını söylemişlerdir. Kirlenmiş geri dönüşüm agregası ile hazırlanan beton karışımlarının klorür içeriklerinin sülfat içeriklerine kıyasla daha yüksek olduğunu ve bu yüzden ancak iki haftalık yıkama sürecinden sonra beton uygulamalarında veya betonarmede yapılarda kullanımının uygun olduğu belirlenmiştir.

Tabsh ve Abdelfatah (2009), yaptıkları çalışmada geri dönüştürülmüş iri agreganın betonun mekanik özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Yaptıkları tokluk deneylerinin sonuçlarına göre geri dönüşüm agregasının doğal agregaya göre daha düşük dayanım gösterdiğini ancak yine de kabul edilebilir aralık içerisinde olduğunu kaydetmişlerdir. Geri dönüştürülmüş agrega kullanılarak üretilen beton karışımlarının basınç ve yarmada çekme dayanımlarının karışım oranlarına bağlı olarak değiştiğini vurgulamışlardır. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre, geri dönüşüm agregası ile hazırlanan betonların dayanımlarının doğal agrega ile hazırlanan karışıma kıyasla yaklaşık olarak %10 ile %25 oranında daha düşük olduğu sonucuna varmışlardır.

Bir başka çalışmada, geri dönüşüm agrega kalitesinin bu agrega ile üretilen yüksek performanslı betonların mekanik ve dayanıklılık özelliklerine etkisi incelenmiştir (Kou ve Poon, 2015). Bu kapsamda, basınç dayanımları 30 ile 100 MPa arasında değişen betonlar geri dönüştürülerek tane boyutları 20 mm'nin altında olan iri agregalar elde edilmiş ve bu agregalar kullanılarak normal ve yüksek performanslı beton karışımları hazırlanmıştır. Çalışma sonucunda 80 ile 100 MPa arasında basınç dayanımına sahip betonların kırılmasından elde edilen agrega ile hazırlanan betonların basınç dayanımlarının geleneksel betona benzer veya biraz daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, bu betonların kuruma büzülme ve klor-iyon geçirimsizlik değerlerinin daha düşük olduğu açıklanmıştır. Özetle, 80 ile 100 MPa basınç dayanımına sahip betondan dönüştürülen agreganın yüksek performanslı beton üretiminde doğal agreganın tamamı yerine kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

Xiao v.d. (2015), geri dönüşüm agregasının betonda kaba agrega yerine değişik oranlarda kullanımının geri dönüşüm agregası ile hazırlanmış betonların değişik deformasyon hızları altındaki basınç davranışına etkisini araştırmışlardır. Deformasyon hızının kırılma şekline, basınç dayanımına, başlangıç elastisite modülüne ve maksimum deformasyona olan etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, deformasyon hızının artışıyla birlikte basınç dayanımının ve başlangıç elastisite modülünün arttığını tespit etmişlerdir. En yüksek deformasyon hızında, geri dönüşüm agregasının kullanım oranı arttıkça basınç dayanımlarının azaldığını vurgulamışlardır.

Arezoumandi v.d. (2015), doğal agrega ile üretilmiş beton ve geri dönüştürülmüş agrega ile üretilmiş beton kullanılarak hazırlanan donatılı betonarme kirişlerin eğilme dayanımlarını araştırmışlardır. Kirişlerin çatlama, akma ve maksimum moment değerleri standartlarla karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda normal beton ile hazırlanmış kirişe kıyasla geri dönüşüm agregası ile hazırlanan beton kirişlerin benzer nihai eğilme dayanımına ve yaklaşık %13 daha yüksek sehime sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Mukharjee ve Barai (2014), nano silis ve geri dönüşüm agregası içeren betonların geçiş bölgesi özelliklerini ve basınç dayanımlarını araştırmışlardır. Bu amaçla, 7, 28, 90 ve 365 günlük basınç dayanımlarını belirlemişler ve Vickers sertlik testi uygulamışlardır. Ayrıca, geçiş bölgesi özelliklerini belirlemek amacıyla taramalı elektron mikroskopunda analizler gerçekleştirmişlerdir. Çalışma neticesinde, doğal agreganın tamamı yerine geri dönüşüm agregası kullanımının betonun basınç dayanımını ve geçiş bölgesi özelliklerini önemli ölçüde etkilediğini gözlemlemişlerdir. Beton basınç dayanımlarının azaldığını, sertlik değerlerinin düştüğünü ve geçiş bölgesi porozitesinin arttığını vurgulamışlardır. Ancak, beton dayanımlarının ve mikro yapısının nano silis kullanımı ile iyileştiğini tespit etmişlerdir.

Brito v.d. (2014), prefabrik beton elemanlarda C35-C40 sınıfı betonların kırılmasıyla elde edilen geri dönüşüm agregası kullanımının etkilerini değerlendirmişlerdir. Bu amaçla kaba agrega yerine değişik oranlarda (%10-100)

geri dönüşüm agregası kullanmışlardır. Hazırlanan beton karışımların mekanik ve dayanıklılık (basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, elastisite modülü, aşınma direnci, büzülme, su emme, kapiler su emme, karbonatlaşma direnci, klor iyon geçirimsizliği) özelliklerini araştırmışlardır. Çalışma neticesinde incelenen pek çok özelliğe geri dönüşüm agregası ile hazırlanan betonların kontrol betonuyla benzer performans gösterdiğini tespit etmişlerdir. Prefabrik elemanların hazırlanmasında kullanılan geri dönüşüm agregası iyi kalitede olduğu için üretilen betonların kalitesinin de yüksek olduğunu ve bunun ölçülen sertleşmiş beton özelliklerine olumlu yansıdığını vurgulamışlardır.

Faleschini v.d. (2014), betonda geri dönüşüm agregası kullanımının taze betonun reolojisine olan etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla kaba agreganın %20 ve %35 'i yerine geri dönüşüm agregası kullanarak beton karışımları hazırlamışlardır. Çalışma sonucunda geri dönüşüm agregası kullanılarak hazırlanmış betonların Bingham cismi ile modellenilebileceğini belirtmişlerdir.

Kou v.d. (2014), yüksek sıcaklığın geri dönüşüm agregası ile hazırlanmış betonlar üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla betonların basınç dayanımını, kapiler su emmesini ve tane boyu dağılımlarını incelemişlerdir. Bunun yanısıra uçucu kül ve granüle yüksek fırın cürufunu da mineral katkı olarak beton karışımlarında kullanmışlardır. Geri dönüşüm agregasını betonda %50 ve %100 oranlarında kullanmış ve hazırlanan betonları 300, 500, 800 °C olmak üzere üç farklı sıcaklığa maruz bırakmışlardır. Çalışma sonucunda geri dönüşüm agregası ile hazırlanan betonların yüksek sıcaklık etkisinde mekanik ve dayanıklılık özelliklerinin kontrol beton karışımlarından daha az zarar gördüğü tespit edilmiştir.

Pedro v.d. (2014) tarafından, farklı kaynaklardan elde edilen geri dönüşüm agregaları kullanılarak hazırlanmış betonların mekanik dayanımları araştırılmıştır. Bu amaçla üç dayanım seviyesinde (15-25, 35-45, 65-75 MPa) geri dönüşüm agregalarını %100 kaba agrega yerine kullanmışlardır. Çalışma sonucunda, kullanılan geri dönüşüm agregalarının performansı arasında önemli bir farklılık olmadığını ancak, geri dönüşüm agregası kullanımıyla ortaya çıkan performans

kaybının orta ve yüksek dayanım seviyesine sahip geri dönüşüm agregası kullanımıyla önemli oranda azaltılabileceğini tespit etmişlerdir.

Khoshkenari v.d. (2014), 0-2 mm boyutlu geri dönüşüm agregası kullanımı ile hazırlanmış normal ve yüksek dayanıma sahip beton karışımlarının 3, 7 ve 28 günlük basınç ve yarmada çekme dayanımlarını incelemişlerdir. Çalışma neticesinde, geri dönüşüm agregası kullanımının betonun su emme değerlerini arttırdığını, basınç ve yarmada çekme dayanımlarını düşürdüğünü tespit etmişlerdir. Yarmada çekme dayanımındaki düşüşün basınç dayanımındakine kıyasla daha çarpıcı olduğunu vurgulamışlardır.

Gai-Fei v.d. (2013), yaptıkları çalışmada geri dönüştürülmüş agreganın farklı su/bağlayıcı oranlarında, betonun mekanik özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Karışımlar, 0.255 ve 0.586 su/bağlayıcı oranlarında ve kireçtaşı ile GDA ikame oranı %100 olacak şekilde hazırlanmıştır. Çalışma neticesinde, GDA kullanımının doğal agregaya göre betonun su emme değerlerini arttırdığını, basınç dayanımını ise düşürdüğünü tespit etmişlerdir. Basınç dayanımındaki düşüşe, GDA'nın içyapısında bulunan mikro çatlakların sebep olduğu belirtilmiştir.

Meesala v.d. (2011), GDA kullanımının betonun darbe dayanımına etkisini incelemişler. Hazırlanan karışımlarda kireçtaşı yüzde 0, 25, 50, 75 ve 100 oranlarında GDA ile hacimce yer değişmiştir. Tüm karışımlarda su/çimento oranı 0.43 ve çökme değerleri 50-60 mm olarak sabit tutulmuştur. Yaptıkları deneylere göre, GDA'nın kireçtaşına göre daha pürüzlü bir yüzeye sahip olduğu için, betonun işlenebilirliğini düşürdüğü gözlemlenmiştir. Basınç dayanımları karşılaştırıldığında, %25 GDA ile kireçtaşı ikamesinde gözle görülür bir düşüş gözlemlenmezken, ikame oranları arttıkça bariz bir düşüş gözlemlenmiştir. Darbe deneyleri sonucuna göre, %50 ve %100 GDA kullanımında darbe dayanımında en fazla düşüş gözlemlenmiştir. Bu sonuçlara göre, darbe dayanımında agregaların etkisinin, hamura göre daha etkin olduğu tespit edilmiştir.

Weerachart v.d. (2010), yaptıkları deneysel çalışmada uçucu kül ve GDA kullanımını betonda incelemişler. İri agregalar olarak kireçtaşı, GDA ile ağırlıkça %0-%50 ve %100 oranlarında, ince agregalar ise dere agregasıyla aynı oranlarda ağırlıkça ikame edilmiştir. Tüm karışımlarda su/çimento oranı 0.48, çökme değerleri 50 ve 100 mm olarak sabit tutulmuştur. SSB karışımlarında, çimento yerine kullanılan %35 ve %50 oranlarında uçucu külün ağırlıkça çimento ile değiştirilmesi çökme kaybını azaltmıştır. 90 günlük dayanım sonuçlarına göre, iri agreganın tamamında kullanılan GDA, çimento yerine %35 uçucu kül ve %50 dere agregası (ince agregalar yerine) kullandıkları karışımlar kontrol betonuna göre daha iyi performans göstermiştir. Uçucu külün kullanımı yarmada çekme dayanımını etkilememiştir.

İsmail v.d. (2009), yaptıkları çalışmada, betonda kullanılan geri dönüştürülmüş agreganın en büyük tane boyunun, beton dayanımına etkisini normal beton ile kıyaslayarak incelemişlerdir. Hazırlanan karışımlarda kireçtaşı %100 GDA ile hacimce yer değişmiştir. Araştırmada üç farklı agregalar maksimum tane boyutu (10, 14 ve 20 mm) kullanılmıştır. 28 günlük dayanımlara göre geri dönmüş agregasının en büyük tane boyu arttıkça dayanımlar düşmüştür. GDA'nın yüksek su emmesinden dolayı çökme kaybının yüksek olduğu belirtilmiştir.

Ivana v.d. (2014), yaptıkları çalışmada GDA'nın betonda doğal agregalar yerine kullanımının onun mekanik ve dayanıklılık özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Hazırlanan karışımlarda kireç taşı yüzde 40, 50 ve 60 oranlarında GDA ile hacimce yer değişmiştir. Karışımlarda su/çimento oranı 0.42 ve çimento dozajı 400 kg olarak sabit tutulmuştur. Karışımlarda hava sürükleyici ve akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Deneysel çalışmadan elde edilen verilere göre, GDA'nın %50 oranında kullanımı betonun 1 günlük dayanımını artırırken 28 günlük dayanımlarda gözle görülür bir düşüş gözlemlenmiştir. GDA kullanımı, donma-çözünme direnci artırmış, basınç altında su işleme derinliğini olumsuz yönde etkileyerek geçirgenliği artırmıştır.

Marius ve Radu (2011), GDA'nın kullanımını rijit yüzeylerde incelemiştir. Bu çalışmanın amacı SSB karışımları için en uygun oranı bulmaktır. Yapılan deneyler sonucundan elde edilen verilere göre doğal agrega yerine %30 GDA kullanıldığında mekanik özelliklerinde kayda değer bir değişim kaydedilmemiştir. Bu karışımın yol betonlarında ve kaplamalarda kullanımı uygun bulunmuştur.

Suvash Chandra ve Gideon (2013), GDA kullanımının betonun mekanik ve durabilite (dayanıklılık) özelliklerine etkisini incelemiştir. Hazırlanan karışımlarda iri kireçtaşı yüzde 30 ve 100 oranlarında GDA ile yer değişmiştir. Bu çalışmada, su/çimento oranı 0.5 ve 0.55 olarak sabit tutulmuştur. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre GDA kullanımı işlenebilirliği düşürmüştür. Basınç dayanımından elde edilen sonuçlarda %100 GDA kullanımında, %65 dayanım düşüşü tespit edilmiştir. GDA'nın %30 kullanımı %2 büzülme neden olmuştur. Kılcal su emme deneyleri elde edilen değerlere göre GDA'nın %30 kullanımı kılcal su emmeyi %14 artırmıştır.

Tushar ve Sunil (2015), GDA'nın betonda kullanımını incelemiştir. GDA'nın %30 a kadar ikamesi kuruma büzülme ve dayanım açısından kayda değer bir düşüğe neden olmamıştır. Bu araştırmaların sonucunda GDA kullanımının, hem enerji ve nakliye masrafını hem de doğa kirliliğini azaltılmasında etkili olduğu görülmüştür.

Miren v.d. (2007), yaptıkları çalışmada doğal agrega yerine yüzde 0, 25, 50, 75 ve 100 oranlarında GDA kullanmıştır. Elde edilmiş sonuçlara göre %25'e kadar GDA kullanımını uygun bulmuşlardır. GDA'nın %100 oranında kullanımında ise basınç dayanımlarında %25'e varan düşüş gözlemlemiştir. Bunun yanı sıra %50 GDA kullanımında ise dayanımda %18'lik bir düşüş tespit etmişlerdir. Buna neden olarak, GDA'ların ara yüz bölgesinin zayıflığı ve eski geçiş bölgeleri ile yeni oluşanların zayıf bağlantısı gösterilmiştir. Yarmada çekme dayanımlarında çok fark görülmemiş.

Keun v.d. (2008), yaptıkları çalışmada düşük ve yüksek dayanımlı GDA kullanılmıştır. Deneylelerden elde edilen sonuçlara göre GDA'ların dayanımları düştükçe su emmeleri artmış, buna bağlı olarak basınç dayanımları azalmıştır. Aynı sonuçlar yarmada çekme dayanımlarına da yansımıştır.

Ahmed (2015), GDA 'dan üretilmiş betonları üç farklı kür işlemine tabi tutmuştur. Bu kapsamda 5 farklı beton karışımı hazırlanmış ve hazırlanan numuneleri suda, havada ve özel üretilmiş kimyasal kaplama malzemesi ile kaplanmış olarak kür işlemleri yapmıştır. Hazırlanan karışımlarda kireçtaşı %0, %25, %50, %75 ve %100 oranlarında GDA ile hacimce yer değişmiştir ve su/çimento oranı 0.55 olarak tüm karışımlar için sabit tutulmuştur. Sonuçta %50 GDA içeren karışımlar hava ve kaplama kürlenmesinde en iyi performansı göstermiştir. GDA oranı arttıkça geçirgenliğin artmasından dolayı su içinde kürlenme yarmada çekme ve basınç dayanımlarını kötü yönde etkilemiştir. Bunun nedeni ise suyun betonda var olan tuz kristallerini çözmesi ve dışarı çıkarması şeklinde açıklanmıştır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1.Malzemeler

3.1.1. Çimento

Tezde üretilen SSB karışımları için gerekli olan çimento yöresel kaynaklardan temin edilmiş ve laboratuvar ortamında depolanmıştır. Kullanılan CEM II/A-M (P-L) 42.5R tip çimentoya ait bazı kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikler Tablo 3.1 'de sunulmuştur. Bu değerler üretici firmadan temin edilmiştir.

Tablo 3.1: Kullanılan çimentonun özellikleri

Kimyasal özellikler	Miktar (%)
SiO ₂	21,68
Al ₂ O ₃	6,43
Fe ₂ O ₃	2,43
CaO	57,99
MgO	1,36
Na ₂ O	0,36
K ₂ O	1,08
SO ₃	2,987
Kızdırma Kaybı	5,18
Cl	0,0095
Çözünmeyen Kalıntı	7,83
Serbest CaO	0,83
Fiziksel özellikler	
Özgül Ağırlık	3,12
Özgül Yüzey (cm ² /g)	4535
Priz başlangıç Süresi, (dak.)	175
Priz Sona Erme Süresi, (dak.)	225
Mekanik özellikler	
Basınç Dayanımı (MPa)	
1 gün	14,4
2 gün	26,7
7 gün	39,3
28 gün	47,0

* Tabloda sunulan bu özellikler çimento üreticisinden alınmıştır.

3.1.2. Agregalar

3.1.2.1. Kireçtaşı kökenli agregalar

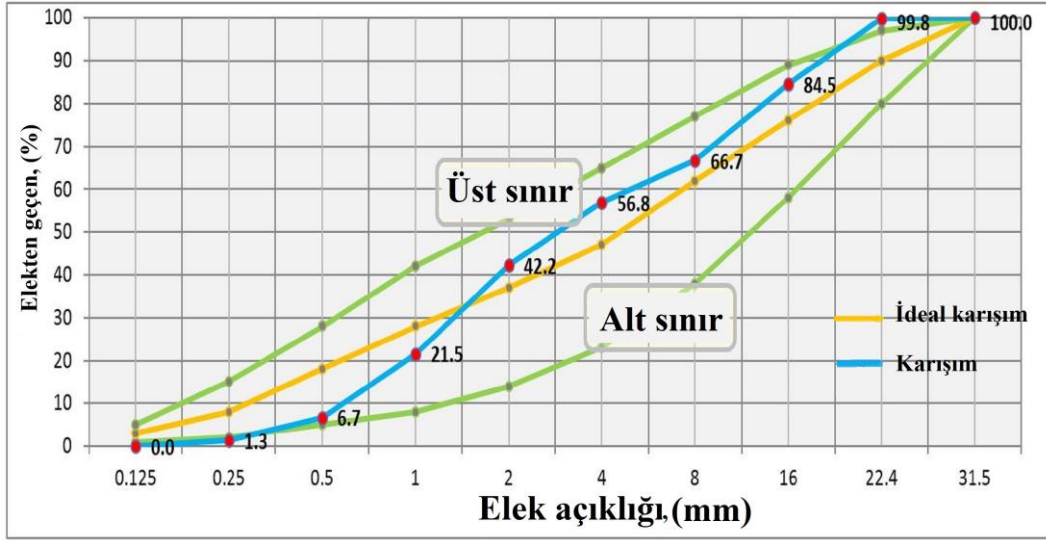
Tez kapsamında üretilen SSB karışımlarında iki farklı agrega kullanılmıştır. Bu agregalardan birincisi kireçtaşı esaslı kırma iri ve ince agregadır. İkicisi ise beton atıklarından elde edilen geri dönüşüm iri agregasıdır (GDA). Kireçtaşı kökenli agrega İzmir yöresindeki bir agrega üreticisinden 0-5 mm, 5-15 mm ve 15-25 mm tane sınıflarında temin edilmiş ve depolanmıştır. Kullanılacak agregadaki en büyük agrega tane boyutu 25 mm 'dir. Beton karışımları için agrega kompozisyonu; 15-25 mm iri agrega %21+5-15 mm iri agrega %21+0-5 mm ince agrega %58 olarak ağırlıkça alınarak saptanmıştır. Kireçtaşı kökenli iri ve ince agregaların elek analizi sonuçları Tablo 3.2 'de, bazı fiziksel özellikleri ise Tablo 3.3 'de ve kireçtaşı iri ve ince agrega karışımına ait gradasyon eğrisi ve TS 3530 EN 933-1 standardında tanımlanan sınırlar ise Şekil 3.1 'de sunulmuştur.

Tablo 3.2: Kireçtaşı agregaların elek analizi sonuçları

Elek Açıklığı (mm)	Geçen (%)		
	15-25 mm	5-15 mm	0-5 mm
31,5	100	100	100
25	99	100	100
16	27	100	100
8	0	41	100
4	0	6	97
2	0	2	75
1	0	0	51
0.5	0	0	31
0.25	0	0	20
0.125	0	0	12

Tablo 3.3: Agregaların fiziksel özellikleri

Özellikler	Kireçtaşı Agregası		
	0-5 mm	5-15 mm	15-25 mm
Sıkışık birim hacim ağırlık, (kg/m ³)	1889	1573	1548
Gevşek birim hacim ağırlık, (kg/m ³)	1673	1480	1466
Özgül ağırlık (Doygun yüzey kuru),	2.654	2.676	2.711
Su emme oranı (%)	0.92	0.30	0.23



Şekil 3.1: Kireçtaşı iri ve ince agrega karışımının gradasyonu ve ilgili standart sınırları

3.1.2.2. Geri dönüşüm agregası

Kireçtaşı iri agreganın yerine %0, %25, %50, %75 ve %100 'ü oranlarında kullanılan geri dönüşüm iri agregası, kentsel dönüşüm kapsamında yıkılmış değişik yapıların betonarme betonu atıklarının depolandığı atık depo alanından değişik tarihlerde toplanmıştır. Bu atık betonlardan karot alınabilecek büyüklükte olanlardan 93 mm çaplı karotlar alınmış ve geri dönüşüm agregası üretilen atık betonların basınç dayanımları tespit edilmeye çalışılmıştır. Karot alma işlemi atık betonlardan örneği temsil edebilecek şekilde rastgele seçilerek alınmaya çalışılmıştır. GDA üretimi için kullanılan atık betonlardan rastgele seçilen 15 adet karotun basınç dayanımları Tablo 3.4 'de görülmektedir.

Tablo 3.4: GDA üretimi için kullanılan atık betonların basınç dayanımı

Karot No	Ortalama Çapı (mm)	Başlıklık Yüksekliği (mm)	Basınç Yüzeği (mm ²)	Basınç Yüğü (kN)	Basınç Dayanımı (MPa)
1	93	94,5	6789	120,2	17,7
2	93	94	6789	95,7	14,1
3	93	95	6789	96,8	14,3
4	93	94,5	6789	78,5	11,6
5	93	94	6789	112,2	16,5
6	93	95	6789	64,8	9,5
7	93	95	6789	98,5	14,5
8	93	94	6789	78,3	11,5
9	93	94	6789	66,8	9,8
10	93	94	6789	164,8	24,3
11	93	95	6789	71,2	10,5
12	93	94	6789	63,8	9,4
13	93	94,5	6789	45,5	6,7
14	93	94	6789	74,7	11,0
15	93	95	6789	91,6	13,5

Tablo 3.4 'deki karot basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde; tez kapsamında kullanılan GDA 'nın üretildiği betonların 150 mm ayrıtlı küp basınç dayanımlarının yaklaşık olarak 7 MPa ile 25 MPa arasında olduğu görülmektedir.

Atık depo alanından toplanarak laboratuvara getirilen beton parçaları önce balyoz yardımıyla küçük parçalara bölünmüş, daha sonrada laboratuvar tipi çeneli bir kırıcı (Şekil 3.2) yardımıyla agrega boyutuna getirilmeye çalışılmıştır. Çeneli kırıcıdan çıkan agrega boyutundaki malzeme özel olarak yaptırılmış göz açıklığı 25 mm, 15 mm ve 5 mm olan kare gözlü elekten elenerek 5-15 mm ve 15-25 mm boyutlarında olanlar SSB karışımlarının üretiminde kullanılmak üzere özel plastik variller içerisinde depolanmıştır.



Şekil 3.2: Beton atıklarının agrega haline getirildiği kırıcının hazne görüntüsü

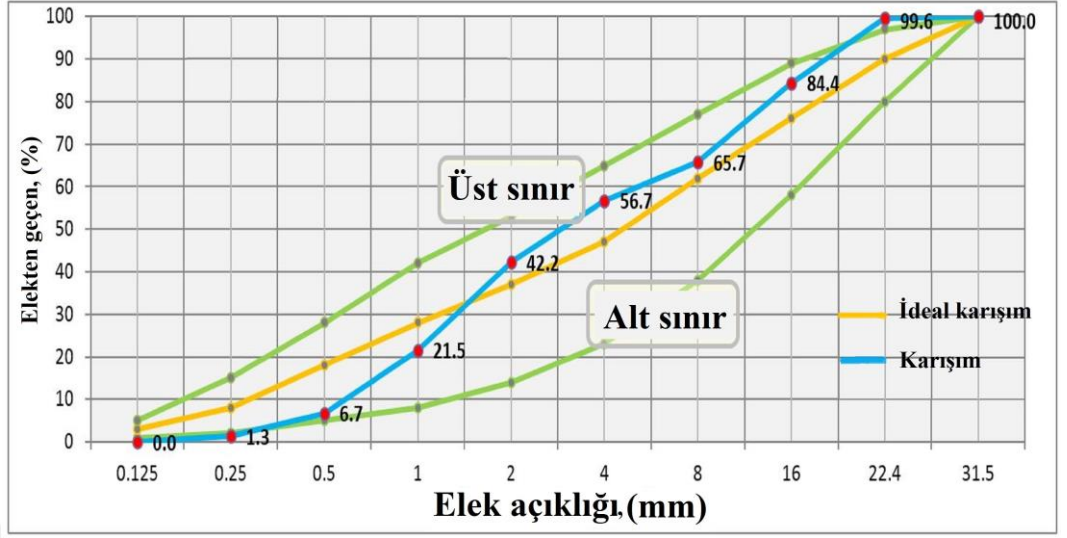
Tez kapsamında atık betonlardan üretilen 5-15 mm ve 15- 25 mm boyutlarındaki GDA iri agregalarının beton üretimi için gerekli özellikleri saptanmıştır. Beton atıklarından elde edilen GDA 'nın elek analizi ve bazı fiziksel özellikleri Tablo 3.5 ve Tablo 3.6 'de sunulmuştur. Ayrıca %75 kireçtaşı iri agrega +%25 GDA iri agrega, %50 kireçtaşı iri agrega +%50 GDA iri agrega, %25 kireçtaşı iri agrega +%75 GDA ve %0 kireçtaşı iri agrega +%100 GDA iri agrega içeren karışımlara ait granülometri eğrileri de şekil 3.3-3.6 'da verilmiştir:

Tablo 3.5: Beton atıklarından elde edilen GDA 'nın elek analizi sonuçları

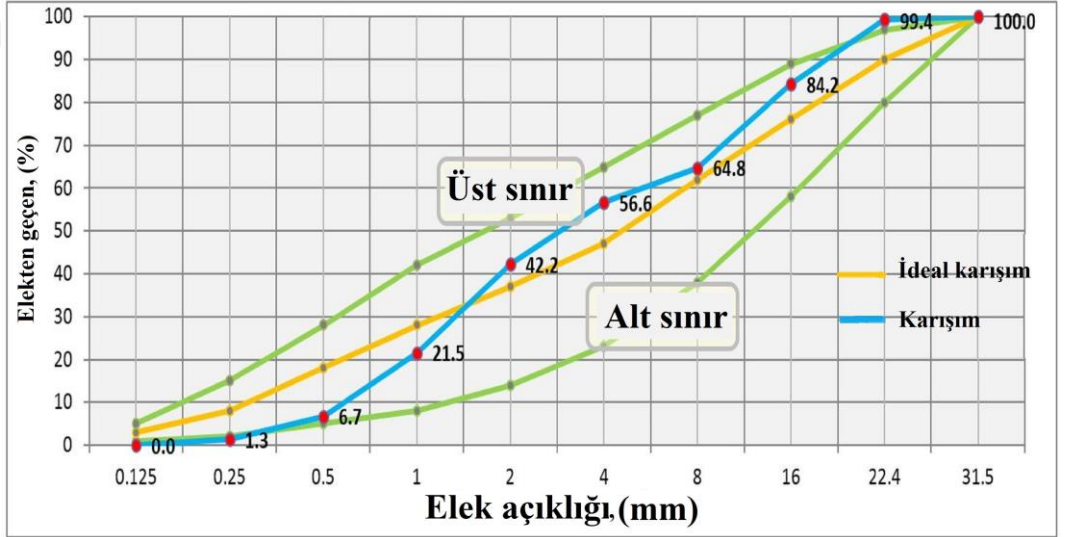
Elek Açıklığı (mm)	Geçen (%)	
	15-25 mm	5-15 mm
31,5	100	100
25	100	100
16	95	100
8	25	23
4	1	1
2	0	0

Tablo 3.6: Beton atıklarından elde edilmiş GDA 'nın bazı fiziksel özellikleri

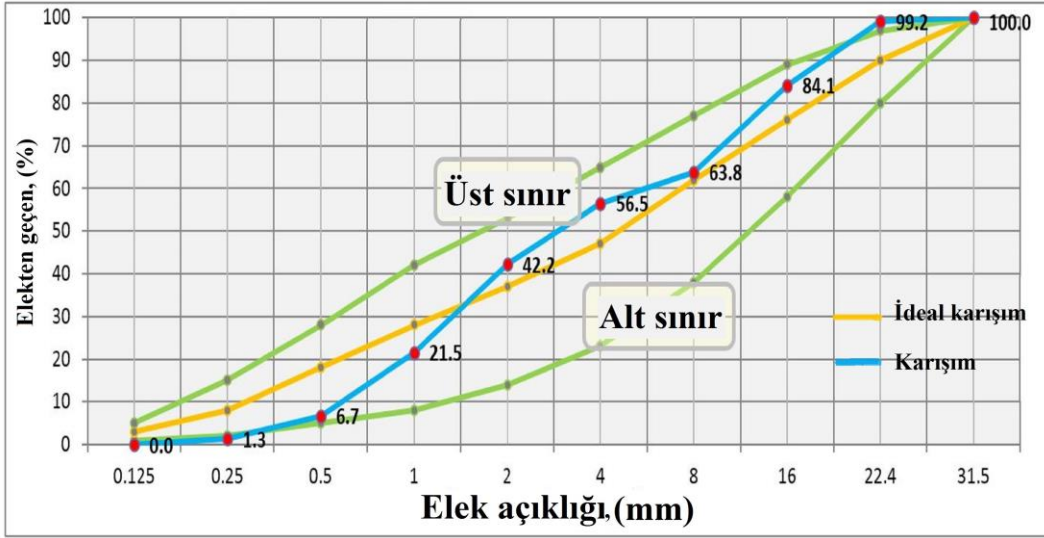
Özellikler	Geri dönüşüm agregası	
	5-15 mm	15-25 mm
Sıkışık birim hacim ağırlık, (kg/m ³)	1368	1308
Gevşek birim hacim ağırlık, (kg/m ³)	1215	1196
Özgül ağırlık (Doğgun yüzey kuru),	2.446	2.44
Su emme oranı (%)	4.88	5.04
Toplam nem, (%)	2.05	1.85



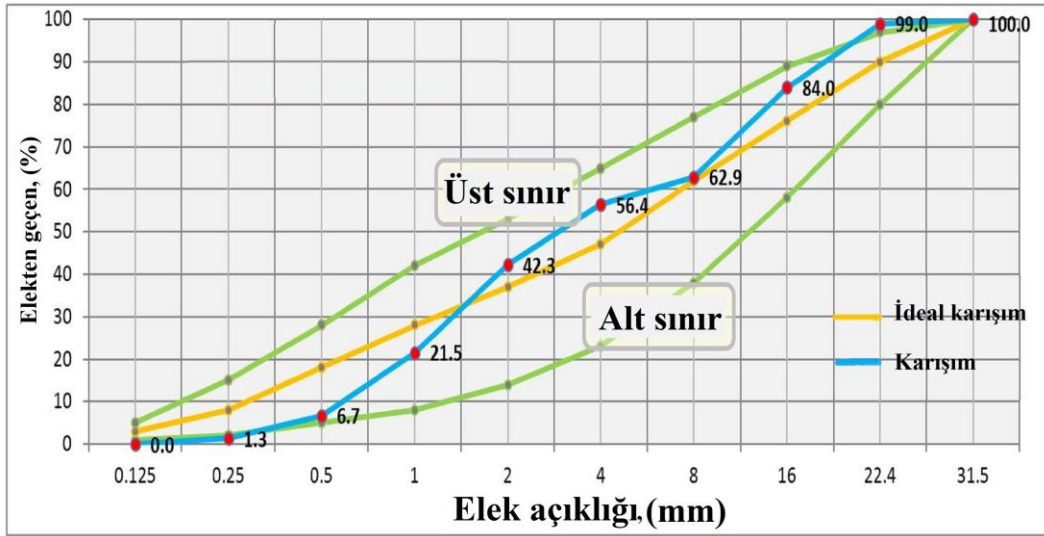
Şekil 3.3: %75 kireçtaşı iri agrega+ %25 GDA iri agrega içeren karışıma ait granülometri eğrisi ve standart sınırları



Şekil 3.4: %50 kireçtaşı iri agrega+ %50 GDA iri agrega içeren karışıma ait granülometri eğrisi ve standart sınırları



Şekil 3.5: %25 kireçtaşı iri agrega+ %75 GDA iri agrega içeren karışıma ait granülometri eğrisi ve standart sınırları



Şekil 3.6: %0 kireçtaşı iri agrega+ %100 GDA iri agrega içeren karışıma ait granülometri eğrisi ve standart sınırları

3.1.3. Su

Tezde beton üretiminde pH değeri yaklaşık olarak 7.4 olan Bornova şebeke suyu kullanılmıştır.

3.2.SSB Karışımlarını Optimum Su Muhtevasının Belirlenmesi ve Karışım Oranları

Tez kapsamında 150, 200 ve 250 kg/m³ bağlayıcı dozajına sahip ve kireçtaşı esaslı iri agregaya yerine %0, %25, %50, %75 ve %100 oranlarında GDA kullanılarak üretilen 15 adet SSB karışımının zemin yaklaşımı yöntemi ile (maksimum kuru birim ağırlık-optimum su muhtevası yöntemi ile) malzeme karışım oranlarının saptanması işlemleri yapılmıştır. Bunlara ilişkin detaylı bilgiler aşağıda sunulmuştur. Tez kapsamında üretilen SSB karışımlarının kullanılan çimento miktarına ve iri agregaya ikame oranına bağlı olarak isimlendirilmesi Tablo 3.7 'de görülmektedir. Örneğin SSB 150/25 sembolünde SSB silindire sıkıştırılmış betonu, 150 karışımın çimento içeriğini (kg/m³ olarak), 25 rakamı ise GDA iri agregasının ikame oranını (% olarak) göstermektedir.

Tablo 3.7: Çimento içeriği ve agregaya kompozisyonuna bağlı olarak SSB karışımlarının isimlendirilmesi

Karışım	Çimento Dozajı (kg/m ³)	Kaba Agregaya (5-25 mm)		
		Toplam iri agregaya (%)	Kireçtaşı (%)	GDA (%)
1 SSB150/0	150	100	100	0
2 SSB150/25		100	75	25
3 SSB150/50		100	50	50
4 SSB150/75		100	25	75
5 SSB150/100		100	0	100
6 SSB200/0	200	100	100	0
7 SSB200/25		100	75	25
8 SSB200/50		100	50	50
9 SSB200/75		100	25	75
10 SSB200/100		100	0	100
11 SSB250/0	250	100	100	0
12 SSB250/25		100	75	25
13 SSB250/50		100	50	50
14 SSB250/75		100	25	75
15 SSB250/100		100	0	100

SSB karışımlarında çimento dozajı 150, 200 ve 250 kg/m³ olarak sabit tutulmuştur. Karışımlarda maksimum tane boyutu 25 mm olan kireç taşı kökenli iri agregaların yerine %0, %25, %50, %75 ve %100 oranlarında beton atıklarından elde edilmiş olan GDA Kullanılmıştır. Tüm SSB karışımlarında agrega kompozisyonu; %58 ince agrega (0-5 mm), %21 kaba agrega (5-15 mm) ve %21 kaba agrega (15-25 mm) oranlarında olacak şekilde ağırlık esasına göre oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında üretilen silindire sıkıştırılabilen betonların karışım oranları zemin yaklaşımına göre saptanmaya çalışılmıştır. Söz konusu 15 adet SSB karışımının optimum su muhtevasının tayini için ASTM D 1557 'ye uygun olarak deneme karışımları tasarlanmıştır. Her karışım için en az dört farklı su içeriğinde deneme karışımları oluşturulmuştur. Üretilen 15 adet SSB 'nin deneme karışımları 150/300 mm ayrıtlı silindir kalıplara üç ayrı tabaka halinde yerleştirilmiştir. Her tabaka ASTM C 1435 prosedürüne uygun olarak Bosch GSH 11 E tipi beton kırıcı kullanılarak, belirli bir enerji seviyesinde yaklaşık 15-20 sn sıkıştırılmıştır. En üst tabakanın sıkıştırılması esnasında silindir kalıba sıfır yüzey elde etmek için ilave yaka kullanılmış, her tabakanın sıkıştırılması esnasında beton kırıcının uyguladığı yükün homojen dağılabilmesi için ve pürüzsüz bir yüzey elde edilebilmesi için 5 kg ağırlığında çelik bastırma plakası da kullanılmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7: Proje kapsamında üretilen bir SSB karışımına ait görüntü

SSB karışımlarının sıkıştırılmış örneklerinin ıslak birim ağırlıkları ölçüldükten sonra örnekler silindir kalıptan çıkartılmış ve değişik bölgelerinden yaklaşık 600 g olacak şekilde yaş örnek alınmıştır. Yaş örnekler mikrodalga fırın içinde sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Kurutulan örneklerin kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Aşağıda verilen bağıntı yardımıyla nem içerikleri hesaplanmıştır. Taze betonun ıslak birim ağırlığı ile nem oranı ilişkisinden her karışımın kuru birim ağırlığı hesaplanmıştır.

$$w = \frac{W_{\text{ıslak}} - W_{\text{kuru}}}{W_{\text{kuru}}} \times 100$$

Burada;

w : su muhtevası (%),

$W_{\text{ıslak}}$: ıslak numune ağırlığı (g),

W_{kuru} : kuru numune ağırlığı (g) olarak ifade edilmiştir.

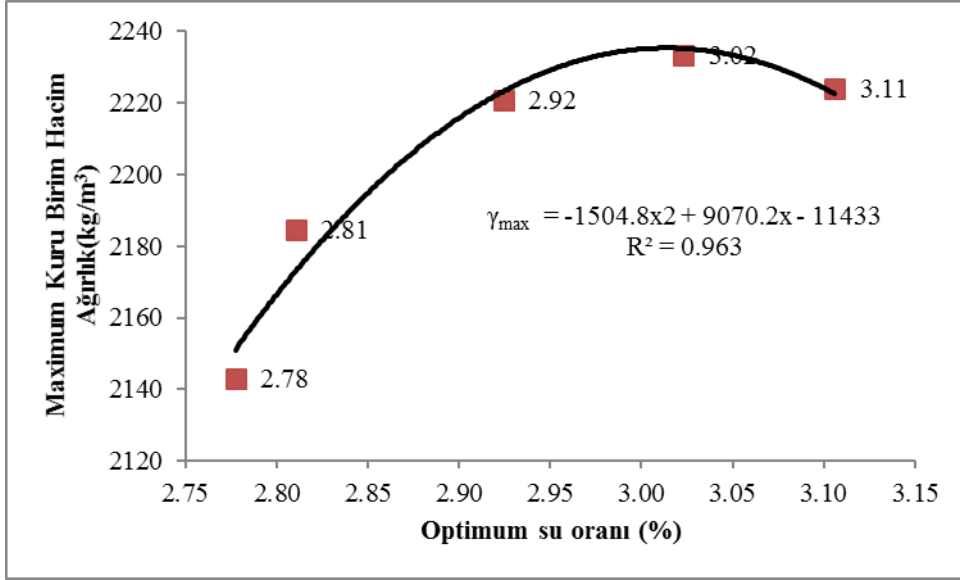
Numune kalıba sıkıştırıldıktan sonra yerleştirilmiş taze betonun ağırlığı tartılmıştır (m). Numune ağırlığı kalıp hacmine (v) bölünerek ıslak birim hacim ağırlığı elde edilmiştir. Aşağıdaki denkleme göre maksimum kuru birim hacim ağırlığı hesaplanmıştır.

$$\gamma_{\text{Max}} = \frac{\frac{m}{v}}{1+w}$$

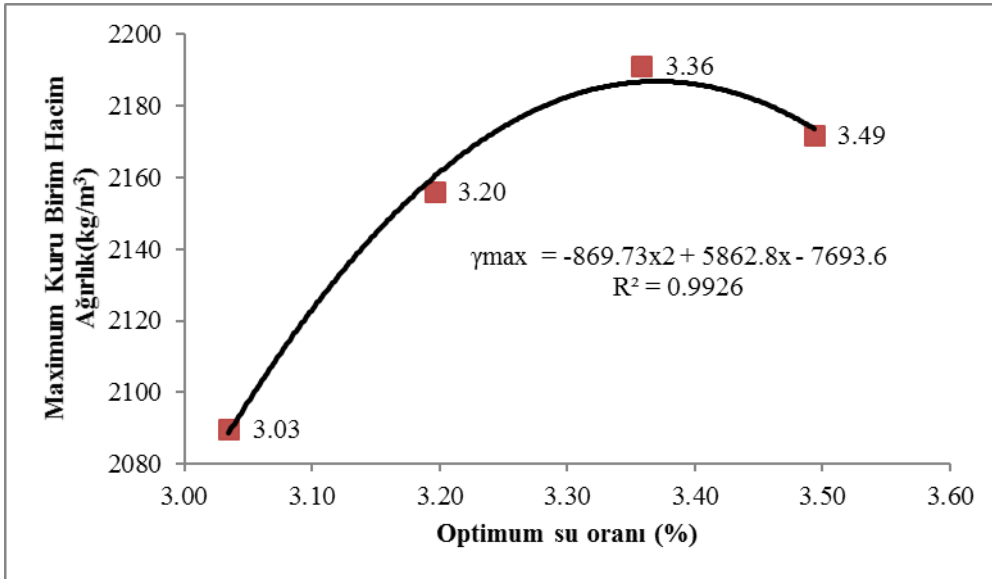
γ_{Max} : numunenin maksimum kuru birim hacim ağırlığıdır.

Her SSB karışımı için bulunan kuru haldeki birim ağırlık değerleri ordinatta ve nem oranları apsiste olmak üzere çizilen noktaları birleştiren eğriler elde edilmiştir. Her karışım için elde edilen eğrilerde maksimum kuru birim ağırlığa karşılık gelen optimum su muhtevaları karışım dizaynında esas alınmıştır.

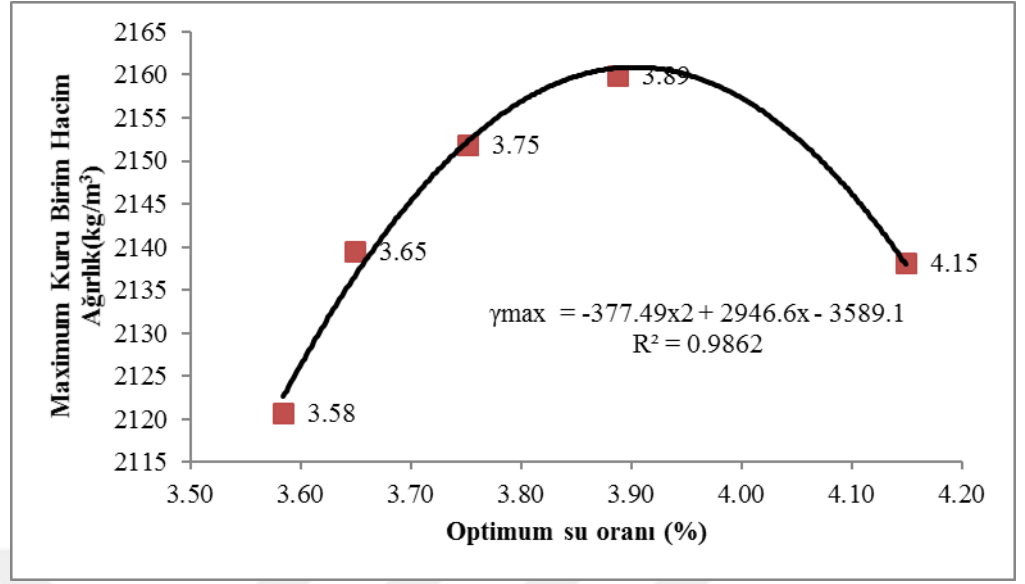
Tezde 15 adet SSB karışımının maksimum kuru birim hacim ağırlık – optimum su muhtevaları belirlenmiş olup, bunlara ilişkin grafikler Şekil 3.8-22 arasında sunulmuştur.



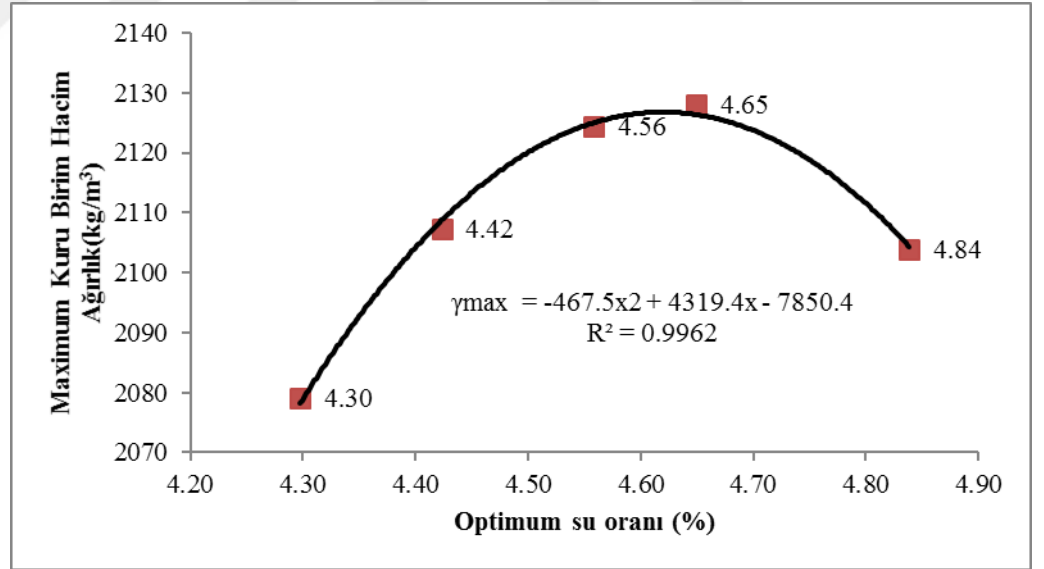
Şekil 3.8: SSB150/0 kodlu karışımın optimum su muhtevası – maksimum kuru birim ağırlık ilişkisi



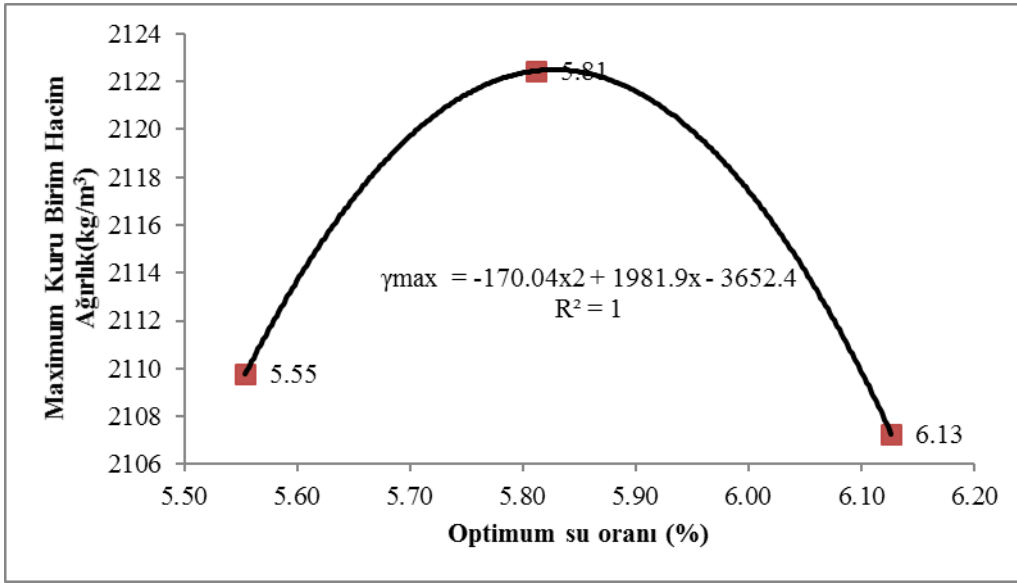
Şekil 3.9: SSB150/25 kodlu karışımın optimum su muhtevası – maksimum kuru birim ağırlık ilişkisi



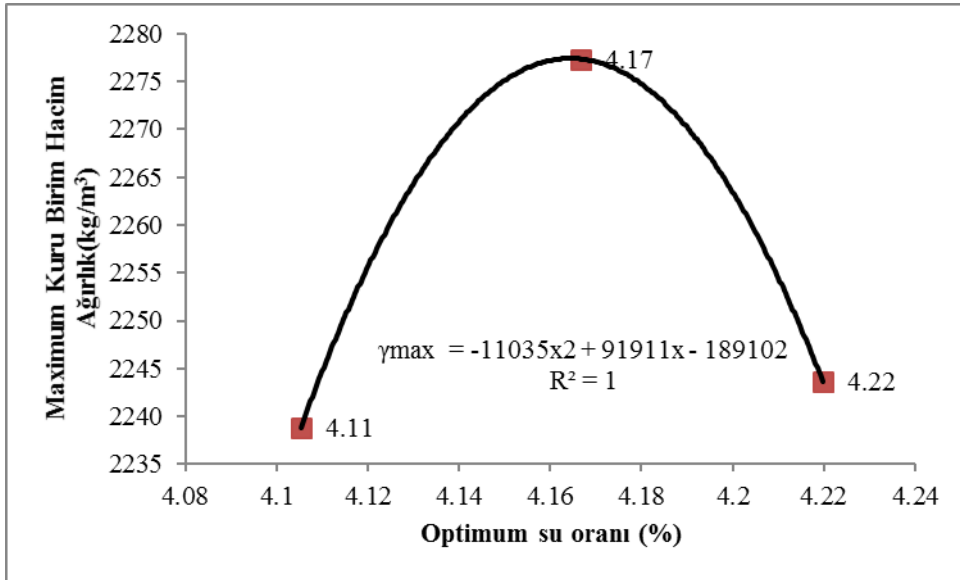
Şekil 3.10: SSB150/50 kodlu karışımın optimum su muhtevası – maksimum kuru birim ağırlık ilişkisi



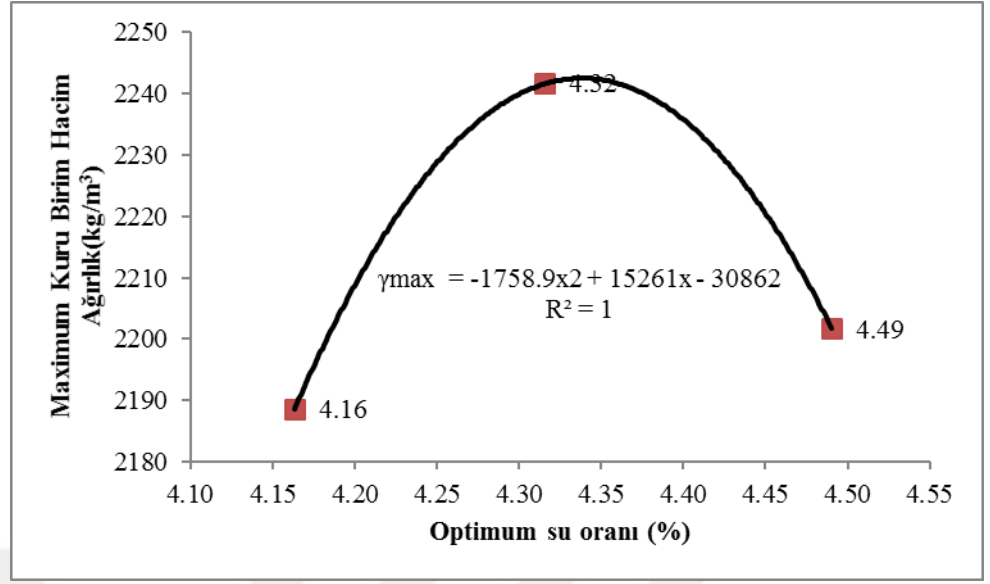
Şekil 3.11: SSB150/75 kodlu karışımın optimum su muhtevası – maksimum kuru birim ağırlık ilişkisi



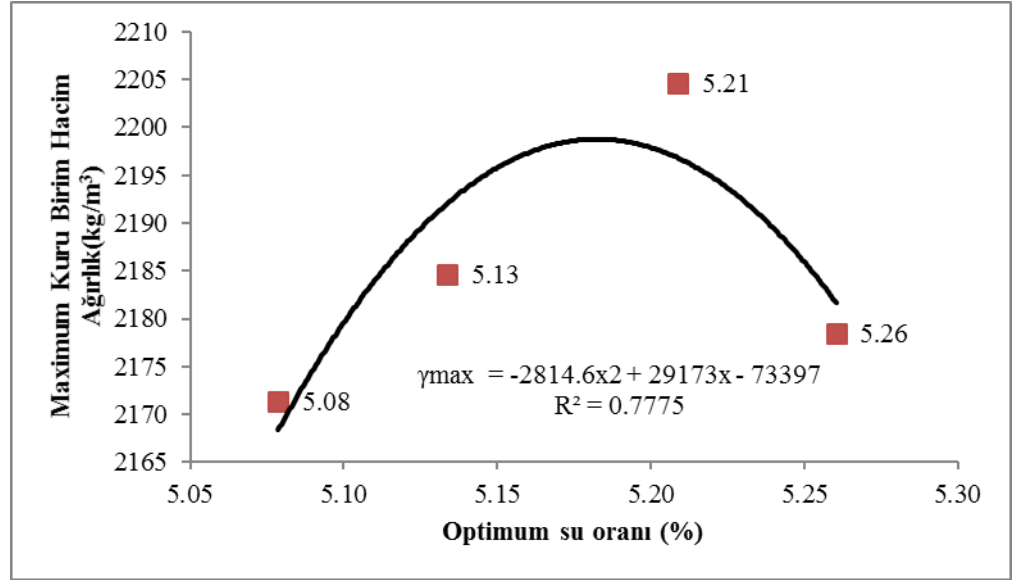
Şekil 3.12: SSB150/100 kodlu karışımın optimum su muhtevası – maksimum kuru birim ağırlık ilişkisi



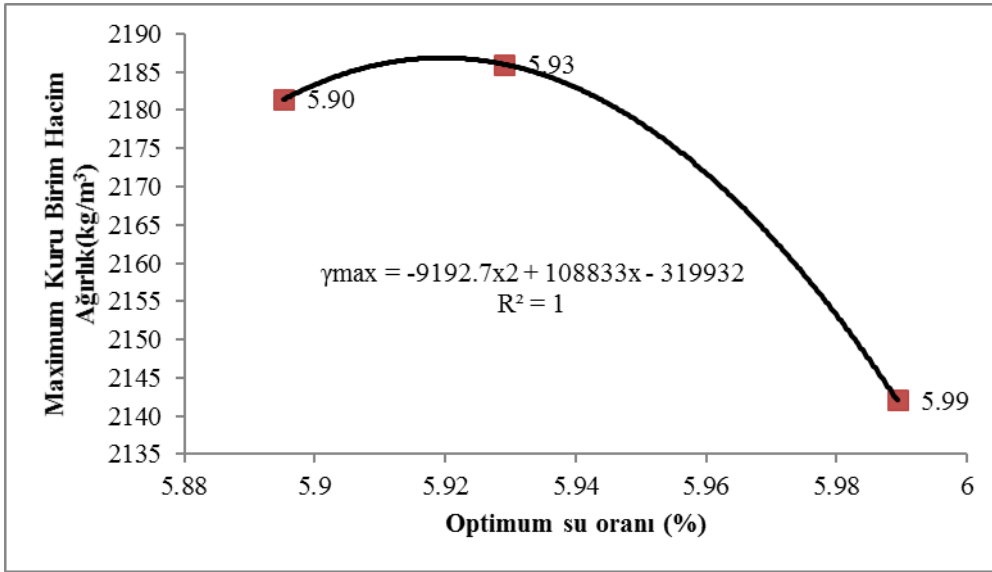
Şekil 3.13: SSB200/0 kodlu karışımın optimum su muhtevası – maksimum kuru birim ağırlık ilişkisi



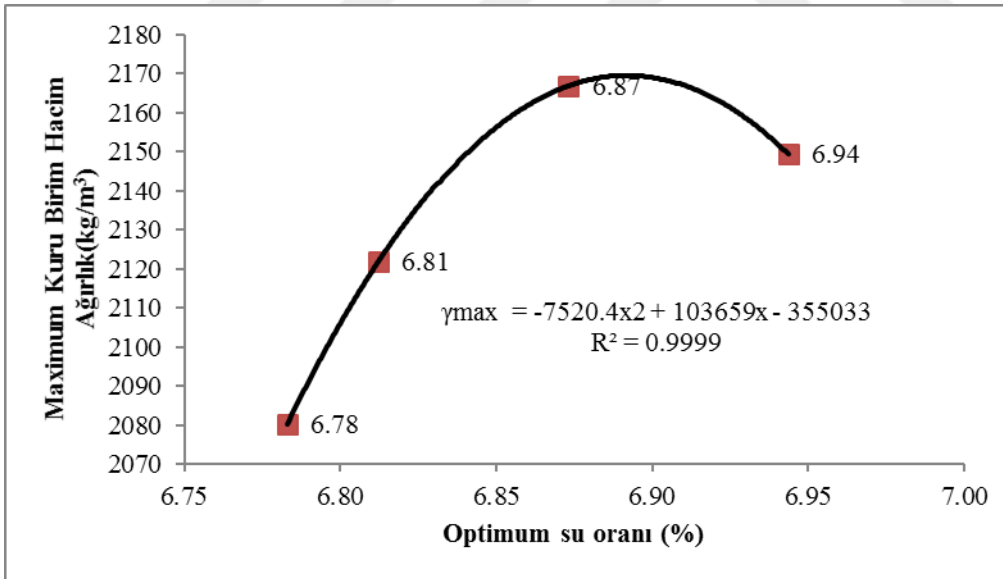
Şekil 3.14: SSB200/25 kodlu karışımın optimum su muhtevası – maksimum kuru birim ağırlık ilişkisi



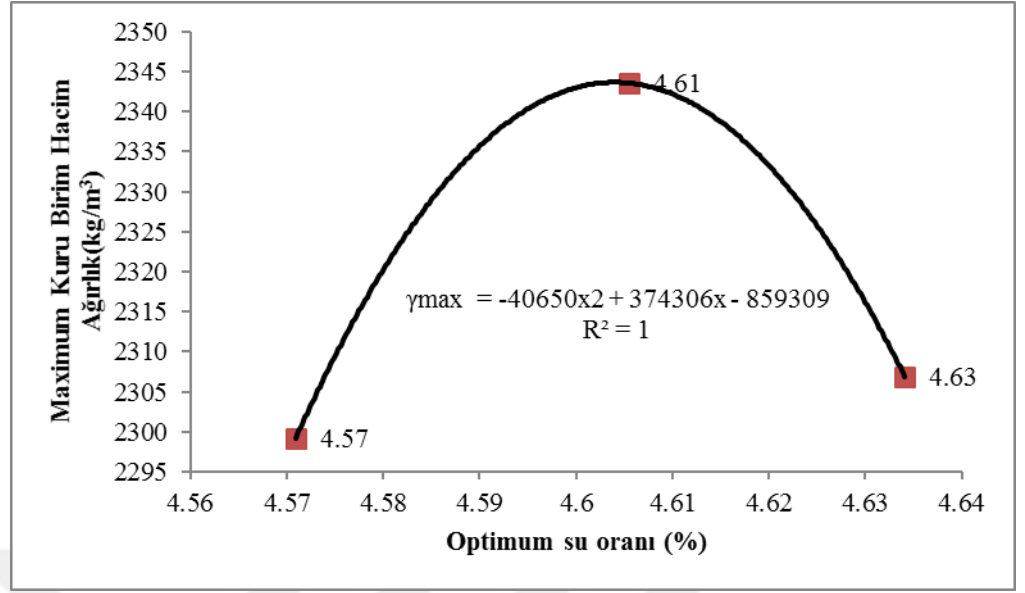
Şekil 3.15: SSB200/50 kodlu karışımın optimum su muhtevası – maksimum kuru birim ağırlık ilişkisi



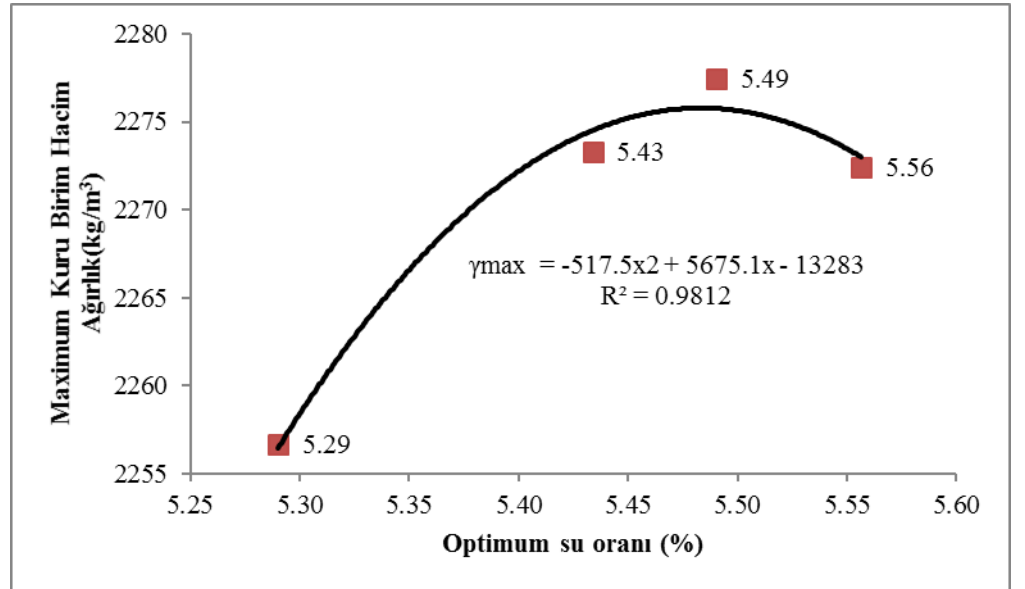
Şekil 3.16: SSB200/75 kodlu karışımın optimum su muhtevası – maksimum kuru birim ağırlık ilişkisi



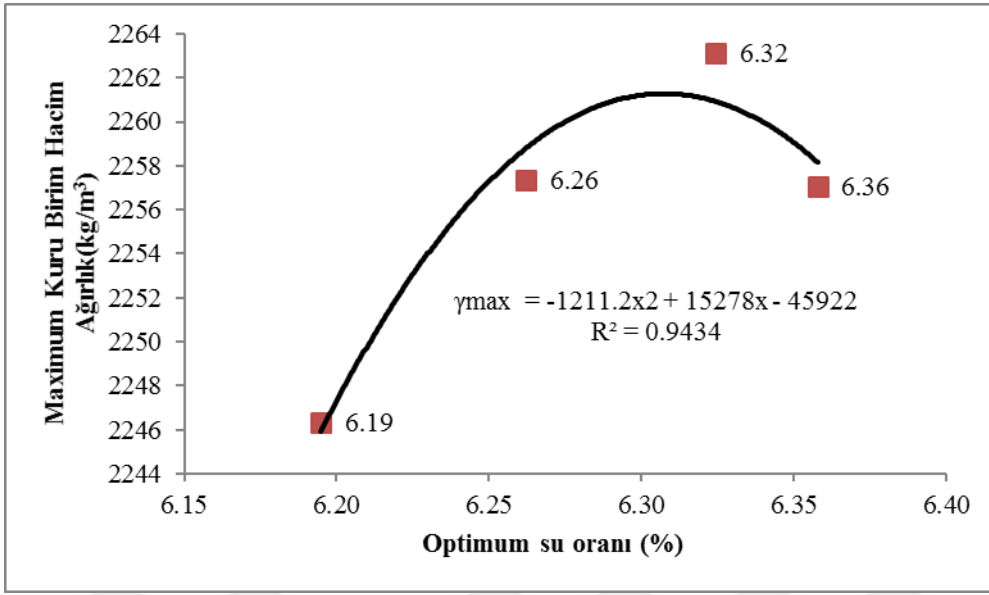
Şekil 3.17: SSB200/100 kodlu karışımın optimum su muhtevası – maksimum kuru birim ağırlık ilişkisi



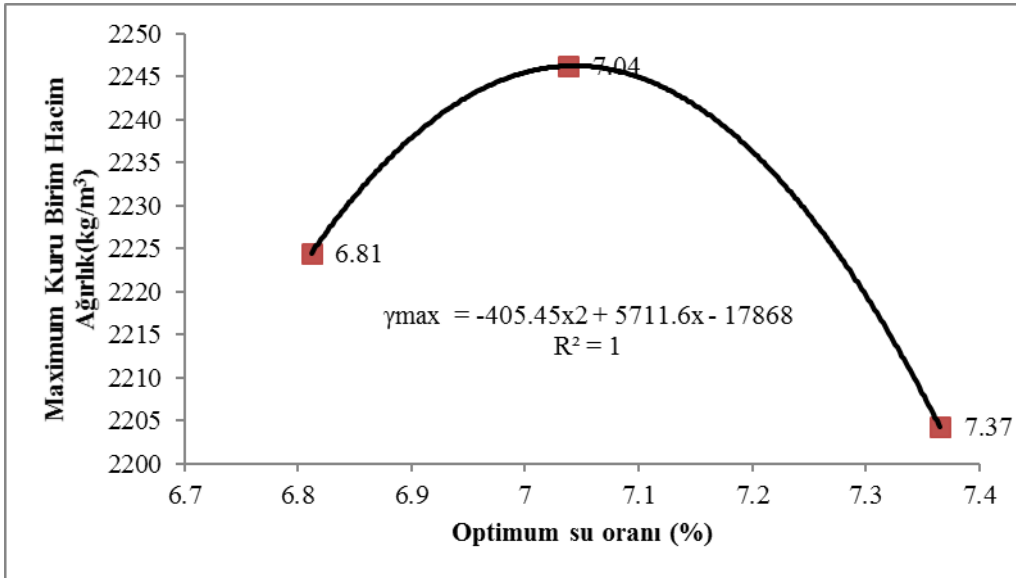
Şekil 3.18: SSB250/0 kodlu karışımın optimum su muhtevası – maksimum kuru birim ağırlık ilişkisi



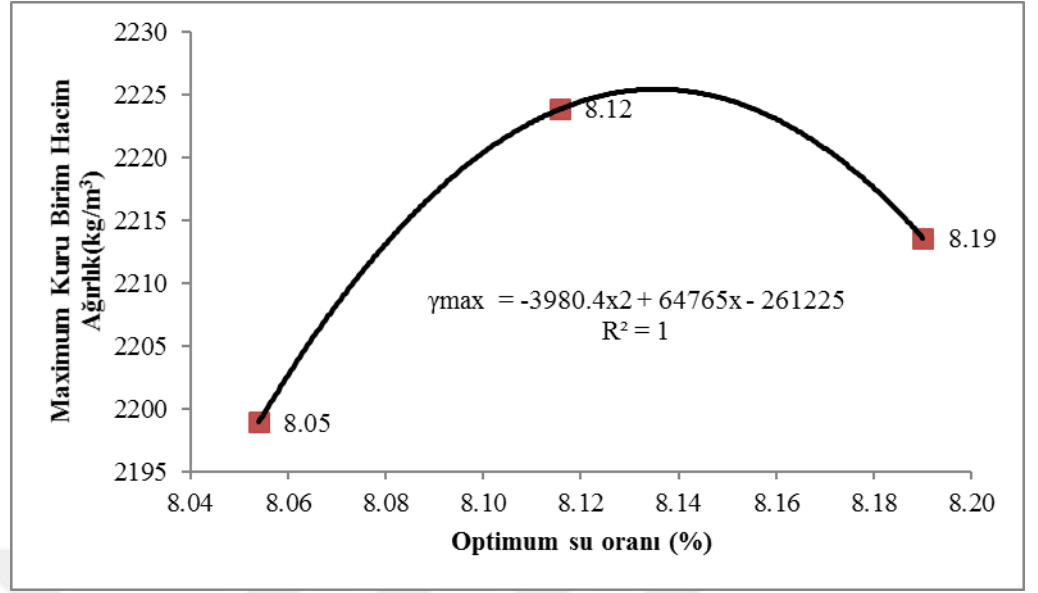
Şekil 3.19: SSB250/25 kodlu karışımın optimum su muhtevası – maksimum kuru birim ağırlık ilişkisi



Şekil 3.20: SSB250/50 kodlu karışımın optimum su muhtevası – maksimum kuru birim ağırlık ilişkisi



Şekil 3.21: SSB250/75 kodlu karışımın optimum su muhtevası – maksimum kuru birim ağırlık ilişkisi



Şekil 3.22: SSB250/100 kodlu karışımın optimum su muhtevası – maksimum kuru birim ağırlık ilişkisi

15 adet SSB karışımının maksimum kuru birim hacim ağırlık – optimum su muhtevası sonuçları özet halinde Tablo 3.8 ‘de de sunulmuştur.

Tablo 3.8: SSB karışımlarının maksimum kuru birim hacim ağırlık - optimum su muhtevasına bağlı olarak saptanan karışım suyu miktarları

	Karışım	Optimum su muhtevası	Maksimum kuru birim hacim ağırlık	S/Ç oranı	Karışım suyu miktarı
		w (%)	γ_{mak} , (kg/m ³)		(kg/m ³)
1	SSB150/0	3,01	2235	0,417	62,6
2	SSB150/25	3,37	2187	0,422	63,3
3	SSB150/50	3,93	2147	0,466	69,9
4	SSB150/75	4,6	2128	0,473	71
5	SSB150/100	5,84	2123	0,482	72,3
6	SSB200/0	4,17	2280	0,421	84,2
7	SSB200/25	4,35	2241	0,424	84,8
8	SSB200/50	5,18	2202	0,469	93,8
9	SSB200/75	5,93	2188	0,475	95
10	SSB200/100	6,89	2168	0,505	101
11	SSB250/0	4,61	2344	0,423	105,8
12	SSB250/25	5,48	2276	0,436	109
13	SSB250/50	6,31	2257	0,475	118,8
14	SSB250/75	7,04	2247	0,500	125
15	SSB250/100	8,14	2222	0,527	131,8

Maksimum kuru birim hacim ağırlığı (MKBHA) veren optimum su muhtevasına bağlı olarak 15 adet SSB karışımının malzeme karışım oranları mutlak hacim denklemi yardımıyla teorik olarak saptanarak Tablo 3.9 'da ve SSB karışımların düzeltilmiş (gerçek) malzeme miktarları da Tablo 3.10 'da verilmiştir. Aşağıda örnek olarak 150 dozajlı kontrol karışımda seçilen S/Ç oranı ile karışımların teorik olarak nasıl hesaplandığı verilmiştir.

$$S/\text{Ç}=0,42$$

$$S = 0,42 \times 150 = 62,6 \text{ kg/m}^3$$

$$V_{\text{çimento}} = (150/(3,12 \times 1000)) = 0,0481 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{su}} = 0,0626 \text{ m}^3 = (62,6/(1 \times 1000)) = 0,0626 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{hava}} = (1/100) = 0,01 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{agrega}} = 1 - (0,048 + 0,0626 + 0,01) = 0,88 \text{ m}^3$$

$$0,88 = ((W_a \times 0,58)/2654) + ((W_a \times 0,21)/2676) + ((W_a \times 0,21)/2711)$$

$$W_a = 2653 \text{ kg/m}^3$$

$$(0-5)\text{mm}: 0,58 \times 0,88 \times 2653 = 1354 \text{ kg/m}^3$$

$$(5-15)\text{mm}: 0,21 \times 0,88 \times 2653 = 490 \text{ kg/m}^3$$

$$(15-25)\text{mm}: 0,21 \times 0,88 \times 2653 = 490 \text{ kg/m}^3$$

Burada;

S: 1 m³ karışımdaki su miktarı (kg),

Ç: 1 m³ karışımdaki çimento miktarı (kg),

V: hacim,

W_a: 1 m³ karışımdaki toplam agrega miktarı (kg),

Tablo 3.9: 1 m³ SSB karışımları için teorik malzeme miktarları

	Karışım	S/Ç Oranı	Malzemeler, kg/m ³					
			Çimento	Su	Kireçtaşı agregası			GDA
					0-5 mm	5-15 mm	15-25 mm	
1	SSB150/0	0,417	150	62,6	1354	490	490	0
2	SSB150/25	0,422	150	63,3	1338	363	363	242
3	SSB150/50	0,466	150	69,9	1314	238	238	476
4	SSB150/75	0,473	150	71,0	1299	118	118	706
5	SSB150/100	0,482	150	72,3	1284	0	0	930
6	SSB200/0	0,421	200	84,2	1295	469	469	0
7	SSB200/25	0,424	200	84,8	1281	348	348	232
8	SSB200/50	0,469	200	93,8	1254	227	227	454
9	SSB200/75	0,475	200	95,0	1239	112	112	673
10	SSB200/100	0,505	200	101,0	1217	0	0	881
11	SSB250/0	0,423	250	105,8	1237	448	448	0
12	SSB250/25	0,436	250	109,0	1219	331	331	221
13	SSB250/50	0,475	250	118,8	1191	216	216	431
14	SSB250/75	0,500	250	125,0	1170	106	106	635
15	SSB250/100	0,527	250	131,8	1148	0	0	831

Tablo 3.10: 1 m³ SSB karışımları için düzeltilmiş malzeme miktarları

Karışım	S/Ç Oranı	Malzemeler, kg/m ³						*Hava oranı, %	BHA, kg/m ³
		Çimento	Su	Kireçtaşı agregası			GDA		
				0-5	5-15	15-25	5-25		
				mm	mm	mm	mm		
SSB150/0	0,417	144	60,2	1302	472	472	0	5,3	2450
SSB150/25	0,422	144	60,6	1281	348	348	232	5,8	2412
SSB150/50	0,466	144	67,1	1261	228	228	457	5,4	2386
SSB150/75	0,473	143	67,5	1235	112	112	671	6,3	2340
SSB150/100	0,482	142	68,6	1219	0	0	882	6,4	2312
SSB200/0	0,421	197	83,0	1276	462	462	0	3,1	2480
SSB200/25	0,424	197	83,3	1258	342	342	228	3,2	2450
SSB200/50	0,469	196	92,0	1229	223	223	445	3,4	2408
SSB200/75	0,475	196	93,0	1212	110	110	658	3,6	2379
SSB200/100	0,505	195	98,5	1187	0	0	860	3,8	2341
SSB250/0	0,423	249	105,4	1233	446	446	0	2,0	2480
SSB250/25	0,436	249	108,5	1214	330	330	220	2,0	2450
SSB250/50	0,475	248	117,6	1180	214	214	427	2,5	2399
SSB250/75	0,500	247	123,3	1154	104	104	627	2,8	2360
SSB250/100	0,527	247	129,9	1132	0	0	820	2,8	2328

*Hesaplanan hava oranı

3.3.Örneklerin dökümü ve kürü

Tez kapsamında üretilen SSB betonlarda 150/300 mm boyutunda silindir örnekler dökülmüştür. Bölüm 3.2 'de anlattığı gibi silindir numuneler 3 tabakada silindirlere yerleşmiştir. Bir gün kalıpta bekledikten sonra kalıptan alınıp kür havuzunda su içinde kür edilmiştir.

3.4.Çalışma kapsamında uygulanan deneyler

Tez kapsamında üretilen SSB karışımlarından hazırlanan örnekler üzerinde; çökme (TS EN 12390-2), tek eksenli basınç (TS EN 12390-3) ve yarmada çekme (TS EN 12390-6), su emme (TS 3624), kılcal su emme (ASTM C1585-13), basınç altında su işleme derinliği (TS EN 12390-8), gradasyonu ve ilgili standart sınırları (TS 3530 EN 933-1), ağırlık düşürmek suretiyle darbe (ACI Committee 544),

donma-çözünme (TS 3449) ve yüzeysel aşınma (TS 2824 EN 1338) deneyleri yapılmıştır.

Tek eksenli basınç, yarmada çekme ve ultra ses deneyleri 150 mm çaplı 300 mm yüksekliğe sahip örnekler üzerinde ilgili standartlara uygun olarak 7, 28, 90 ve 180 günlük su kürüne tabi tutulmuş örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada darbe testleri ACI Committe 544 'de önerilen deney düzeneği yardımıyla yapılmıştır. Bu düzeneğe 150/64 mm beton disklere 4.5 kg 'lık ağırlık 450 mm yükseklikten ardışık olarak düşürülerek darbe etkisi yaratılmaktadır (Şekil 3.23). Teste tabi tutulan örnekler sürekli olarak gözlenerek kırılma oluşturan darbe sayıları belirlenmiştir. Test edilen numunelerin kırıldığı andaki darbe sayılarından kırılma toklukları da hesaplanmıştır. Darbe deneylerinde kullanılan 64 mm yükseklikli 150 mm çaplı örnekler; 150 mm çaplı 300 mm yükseklikli örneklerin kesilmesinden elde edilmiştir. Ağırlık düşürmek suretiyle yapılan darbe deneylerinde 28, 90 ve 180 gün suda kür edilmiş örnekler kullanılmıştır. Darbe etkisi ile oluşan kırılma tokluğu aşağıdaki bağıntılar yardımıyla hesaplanmıştır.

$$E_f = mghN_f$$

$$W_f = E_f/V$$

Bu bağıntılarda:

E_f : Kırılma enerjisi, (N.mm)

m : darbe yükü kütlesi, (kg)

g : yer çekim ivmesi, (m/sn)

h : düşü yüksekliği, (mm)

N_f : darbe sayısı, (adet)

V : örnek hacmi, (mm³)

W_f : Darbe etkisinde kırılma tokluğu, (N.mm/mm³)



Şekil 3.23: Darbe deney düzeneğine ait görüntü

SSB örneklerin sürtünme yolu ile aşınma kayıpları Böhme deney düzeneği yardımıyla saptanmıştır. Bu deneyde düzeneğinde 30 ± 1 devir/dk hızla dönen yaklaşık 750 mm çaplı yatay olarak yerleştirilmiş döner bir aşındırma diski bulunmaktadır. Kurutulmuş örneğe dönen disk üzerinde yaklaşık olarak 294 N luk bir kuvvet uygulanmış ve yüzey aşındırıcı yardımıyla örnek aşınmaya maruz bırakılmıştır. Sürtünme ile aşınma kaybı deneyi için TS 2824 EN 1338 'e uygun olarak boyutları 71mm olan küp örnekler test edilmiştir. 71 mm ayrıtlı küp örneklerin SSB olarak üretimi mümkün olmadığından bu örnekler 150 mm çaplı 300 mm yükseklikli silindir örneklerden özel olarak kesilerek elde edilmiştir. Deneyde düzenek içerisine yerleştirilen 71 mm ayrıtlı küp örnekler 22 devirde aşındırıldıktan sonra örnek düşey eksen etrafında 90° çevrilip ve bu işlem 20 defa tekrar edilerek deneyler sonlandırılmıştır. Örnekler tozlarından arındırıldıktan sonra numune boyutları 0.001 mm hassasiyetli kumpas yardımıyla ölçülmüş ve 20 çevrim (toplam 440 devir) sonundaki aşınma; numunelerin boyutlarındaki azalma olarak saptanmıştır. Yüzeysel aşınma deneylerinde 28, 90 ve 180 günlük yaşa sahip örnekler kullanılmıştır.

Su emme deneylerinde SSB karışımlarından dökülmüş 150 x 300 mm silindir numune kullanılmış ve TS 3624 e uygun olarak deneyler yapılmıştır. Sertleşmiş betonda su emme betonun etüv kuru ağırlığı ile suya doymuş ağırlığı arasındaki farktan belirlenmektedir. Deneyde numuneler tartıldıktan sonra 100°C - 110°C arasındaki sıcaklıkta bir etüvde, 24 saat kurutulmuştur. Etüvden çıkarılan numuneler kuru havada, tartılmıştır. Birbirini izleyen bu iki tartımdan elde edilen ağırlık farkı küçük ağırlığın % 0,5 inden fazla ise, deney numuneleri yeniden bir 24 saatlik kuruma süreci için etüve konulmuştur. Bu işleme birbirini izleyen iki tartım arasındaki fark elde edilen en düşük ağırlığın % 0,5 inden daha küçük bir değere ininceye kadar devam edilmiş ve bu noktaya erişildikten sonraki kuru ağırlık saptanmıştır (A). Yukarıda belirtilen şekilde etüv kuru ağırlığı saptanmış numuneler 20°C ± 5°C ye kadar soğutulduktan sonra 21°C ± 2°C sıcaklıktaki su içine batırılmıştır. Numuneler su içinde 24 saat bekletilmiş ve bu sürenin sonunda sudan çıkarılan numunelerin yüzey ıslaklığı bir havlu ile alınıp tartılmıştır. Tekrar suya konulan numuneler 24 saatlik bir süre sonunda tekrar sudan çıkarılarak yüzey ıslaklığı alınmış ve tartılmıştır. Birbirlerini izleyen iki tartım arasındaki fark büyük ağırlığın % 0.5 inden az oluncaya kadar 24 saatlik aralıklarla suda tutma ve tartma işlemi sürdürülmüştür. Ardışık iki tartım arasındaki farkı %0,5 ten az olan son tartım değeri, doymuş kuru yüzeyli numune ağırlığı olarak kaydedilmiştir (B).

$$\text{Su emme oranı (\%)} = \frac{B - A}{A} \times 100$$

$$\text{Boşluk oranı (\%)} = \left(\frac{B - A}{A} \right) \times \left(\frac{C}{1000} \right) \times 100$$

Yukarıdaki formüller; A, B ve C sırasıyla kuru ağırlık, doymuş yüzey kuru ağırlık ve kuru halde birim hacim ağırlıktır.

Kılcal su emme deneyi ASTM C1585 standardına uygun olacak şekilde yapılmıştır. Bu deney için 150x300 mm 'lik silindir numuneler kullanılmıştır. Numuneler 90 gün havuzunda bekletilmiştir. Kür havuzundan çıkarıldıktan sonra kılcal çatlak oluşumunun engellenmesi için 50±2 C° deki fırında 3 gün boyunca kurutulmuştur. Numuneler fırından çıkarıldıktan sonra, sadece bir yüzeyden suyla

temas etmesi için suya gelecek yüzeyin etrafı silikon ile geçirimsiz hale getirilmiştir. Silikonun kuruması için numuneler 1 gün oda sıcaklığında bekletilmiştir. Deneye başlamadan önce numunelerin ağırlıkları ölçülmüştür ve numuneler bir kabın içine numunenin tabanından su temas eder şekilde yerleştirilmiştir. Birinci gün 1, 5, 10, 20, 30, 60, 120, 180, 240, 300, 360 dakikalık ölçümler alınmıştır. Deneyi takip eden 6 gün boyunca günde birer kez ölçüm alınmıştır. Ölçüm yapılırken sudan çıkarılan numunelerin ıslak yüzeyleri kurulandıktan sonra ağırlıkları tespit edilmiştir. Bu deneyin sonucunda elde edilen verilerle ilk 6 saat için ‘başlangıç su emme’ sonraki 7 gün için ‘nihai su emme’ indisleri elde edilip grafikleri çizilmiştir. Kılcallık indisi şu şekilde hesaplanır;

$$I = m_t / (a \times d)$$

- I : kılcallık indisi, (mm),
 m_t : t zamanında örneğin kütle değişimi, (g)
a : örneğin su ile temas eden yüzey alanı, (mm²)
d : suyun yoğunluğu, (0.001 g/mm³)

Çalışma kapsamında hazırlanan SSB örnekleri üzerinde basınç altında su işleme deneyi TS EN 12390-8 e uygun olarak yapılmıştır. Bu deney 28, 90 ve 180 günlük yaşa sahip örnekler üzerinde yapılmıştır. Bu deneyde; deney numunesinin su basıncı uygulanacak yüzeyi, numune kalıptan çıkartıldıktan hemen sonra, tel fırça ile pürüzlendirilmiştir. Su basıncı, numunenin fırçalanmış yüzeyine uygulanmıştır. Numune, cihaza yerleştirilmiş ve (72 ± 2) saat süreyle (500 ± 50) kPa su basıncı uygulanmıştır. Basıncın, belirtilen süreyle uygulanmasından sonra deneye son verilmiş ve numune cihazdan çıkartılmıştır. Basıncılı su uygulanan yüzeydeki fazla su silinerek temizlenmiştir. Numune, basınçlı su uygulanan yüzeye dik şekilde, ortasından yarılarak ikiye bölünmüştür. Numunenin bölünmesi ve incelenmesi esnasında, basınçlı su uygulanan yüzey alt tarafa getirilmiştir. Numunenin bölünmesiyle ortaya çıkan yüzeyinin, su işleyen kısım kesitinin belirgin şekilde görülünceye kadar (Şekil 3.24) kurutulmasından hemen sonra, ıslak alanın sınırları işaretlenmiştir. Basınç uygulanan deney alanından itibaren, suyun işlediği en büyük derinlik, ölçülerek en yakın milimetreye

yuvarlatılmak suretiyle kaydedilmiştir. Şekil 3.25 'te basınçlı su altında su işleme derinliği ile ilgili fotoğraflar verilmiştir.



Şekil 3.24: Basınçlı su altında su işleme derinliğine ait fotoğraf



Şekil 3.25: Basınçlı su altında su işleme derinliğine ait fotoğraflar. (Soldaki fotoğraf 150 kg dozajlı karışımda suyun diğer yüze ulaşmadan dışarıya sızdığını gösteren resim. Sağdaki fotoğraf ise 250 dozlu bir örnekte basınçlı suyun nüfuz ettiği bölgeyi gösteren resim.)

Tez kapsamında hazırlanan 28, 90 ve 180 günlük yaşa sahip SSB örnekleri üzerinde donma çözülme deneyleri TS EN 12390-8 e uygun olarak yapılmıştır. Deneyde örnekler su içerisinde $-20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$ ile $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$ arasında 50, 75 ve 100 çevrim yapılarak donma çözülmeye maruz bırakılmıştır. Deney sonucunda örneklerin donma çözülme dirençleri ağırlık kayıplarına göre saptanmaya çalışılmıştır.



4. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1.Mekanik özellik sonuçları

4.1.1. Basınç dayanımı

Tez kapsamında üretilen SSB örnekleri üzerinde 7, 28, 90 ve 180 gün sonunda yapılan tek eksenli basınç deneyi sonuçları Tablo 4.1 ve Şekil 4.1-3' de verilmiştir. Sunulan sonuçlar 3 adet 150/300 mm boyutlu silindir örneğin ortalamasıdır. Tek eksenli basınç deneylerinde silindir örneklerin döküm yüzeyi aşındırma makinesi ile düzeltilerek başlık yapılmadan deneye tabi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4.1: SSB karışımlarının basınç dayanımı

	Karışım	Ortalama basınç dayanımı, MPa			
		7 gün	28 gün	90 gün	180 gün
1	SSB150/0	18,7	23,6	25,5	28,1
2	SSB150/25	17,8	22,4	24,7	27,1
3	SSB150/50	17,7	21,1	23,2	25,6
4	SSB150/75	17,6	20,0	21,2	23,4
5	SSB150/100	14,4	17,0	17,7	19,4
6	SSB200/0/0	25,4	32,0	34,3	38,1
7	SSB200/25	24,6	29,2	32,7	36,3
8	SSB200/50	24,4	28,0	30,8	34,2
9	SSB200/75	23,1	26,2	29,5	32,7
10	SSB200/100	18,5	21,5	24,3	27,0
11	SSB250/0	33,8	38,2	43,9	49,1
12	SSB250/25	29,2	34,7	39,3	44,0
13	SSB250/50	27,4	32,4	37,5	41,9
14	SSB250/75	26,5	31,5	34,8	39,0
15	SSB250/100	26,0	30,3	33,4	37,4

Tablo 4.1 ve Şekil 4.1 deki sonuçlar incelendiğinde; 150 dozlu SSB karışımlarında 7, 28, 90 ve 180 günlük basınç dayanımının 14.4 MPa ile 28.1 MPa arasında değiştiği görülmektedir. Söz konusu kür sürelerinde 150 dozlu SSB karışımlarında en yüksek basınç dayanımlarının GDA kullanılmayan SSB

karışımlarında, en düşük basınç dayanımlarının ise kireçtaşı yerine %100 GDA iri agregaya kullanılarak üretilen SSB karışımlarında elde edildiği görülmektedir.

150 dozlu SSB karışımlarında kireçtaşı iri agregaya yerine %25 ile %100 oranları arasında GDA kullanımı kontrol betonuna kıyasla 7 günlük basınç dayanımlarını % 5 ile %23 arasında düşürmektedir. Basınç dayanımındaki bu düşüş 28 günlük basınç dayanımlarında %5 ile %28 arasında, 90 günlük basınç dayanımlarında %3 ile %31, 180 günlük basınç dayanımlarında ise %4 ile %31 arasındadır.

Tablo 4.1 ve Şekil 4.2 deki sonuçlar incelendiğinde; 200 dozlu SSB karışımlarında 7, 28, 90 ve 180 günlük basınç dayanımının 18.5 MPa ile 38.1 MPa arasında değiştiği görülmektedir. Söz konusu kür sürelerinde 200 dozlu SSB karışımlarında en yüksek basınç dayanımlarının GDA kullanılmayan SSB karışımlarında, en düşük basınç dayanımlarının ise kireç taşı yerine %100 GDA iri agregaya kullanılarak üretilen SSB karışımlarında elde edildiği görülmektedir.

200 dozlu SSB karışımlarında kireçtaşı iri agregaya yerine %25 ile %100 oranları arasında GDA kullanımı kontrol betonuna kıyasla 7 günlük basınç dayanımlarını % 3 ile %27 arasında düşürmektedir. Basınç dayanımındaki bu düşüş 28 günlük basınç dayanımlarında %9 ile %33 arasında, 90 günlük basınç dayanımlarında %5 ile %29, 180 günlük basınç dayanımlarında ise %5 ile %29 arasındadır.

Tablo 4.1 ve Şekil 4.3 deki sonuçlar incelendiğinde; 250 dozlu SSB karışımlarında 7, 28, 90 ve 180 günlük basınç dayanımının 26 MPa ile 49.1 MPa arasında değiştiği görülmektedir. Söz konusu kür sürelerinde 250 dozlu SSB karışımlarında en yüksek basınç dayanımlarının GDA kullanılmayan SSB karışımlarında, en düşük basınç dayanımlarının ise kireç taşı yerine %100 GDA iri agregaya kullanılarak üretilen SSB karışımlarında elde edildiği görülmektedir.

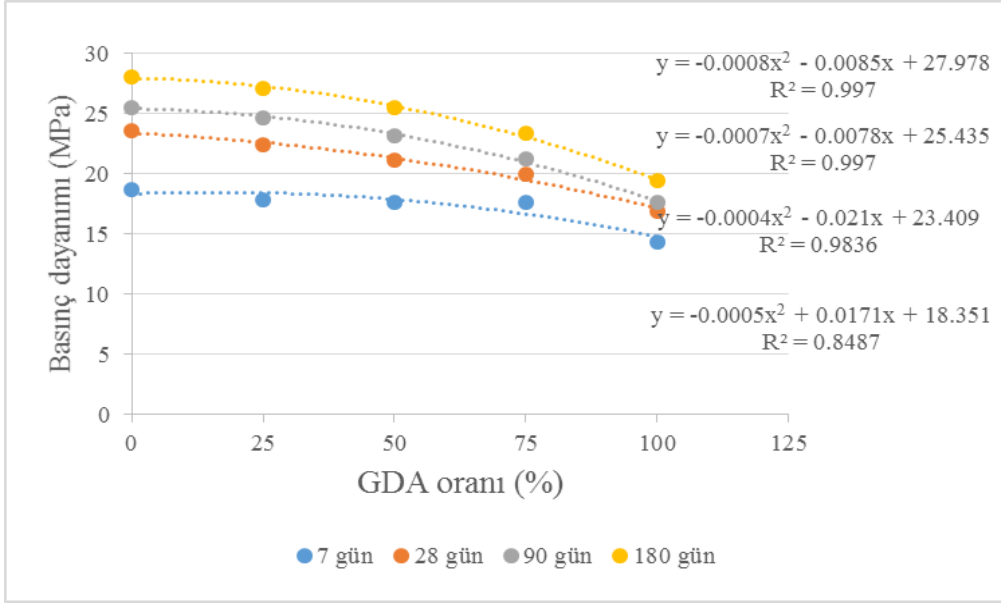
250 dozlu SSB karışımlarında kireçtaşı iri agregaya yerine %25 ile %100 oranları arasında GDA kullanımı kontrol betonuna kıyasla 7 günlük basınç

dayanımlarını % 14 ile %23 arasında düşürmektedir. Basınç dayanımındaki bu düşüş 28 günlük basınç dayanımlarında %9 ile %21 arasında, 90 günlük basınç dayanımlarında %11 ile %24, 180 günlük basınç dayanımlarında ise %10 ile %24 arasındadır.

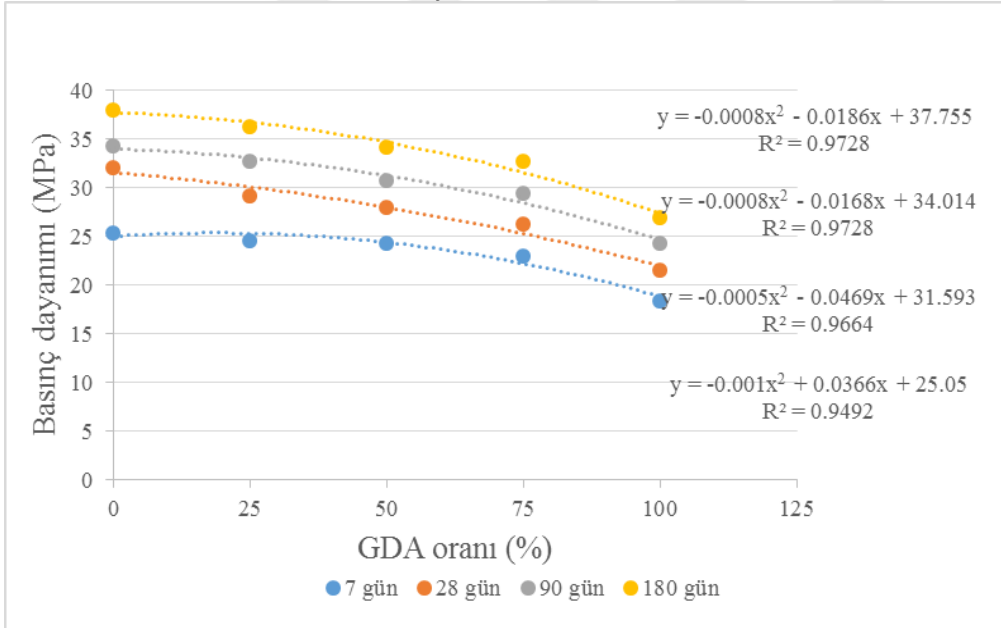
SSB karışımları üzerinde yapılan tek eksenli basınç deneyleri sonucunda; kireçtaşı iri agrega yerine %100 GDA iri agrega kullanımı ile 150, 200 ve 250 dozlu karışımlarda 180 günlük basınç dayanımı sırasıyla 19 MPa, 27 MPa ve 37 MPa olan SSB üretmek mümkün olabilmektedir.

SSB karışımlarında çimento dozajının artması ile basınç dayanımlarının artması beklenen bir sonuçtur. SSB karışımlarında çimento dozajının 150 kg/m³ den 200 kg/m³ ve 250 kg/m³ e çıkması ile SSB karışımlarındaki çimento hamuru hacminin artacağı, buna bağlı olarak da boşluk oranının azalacağı ve sonuç olarak da basınç dayanımının yükseleceği açıktır.

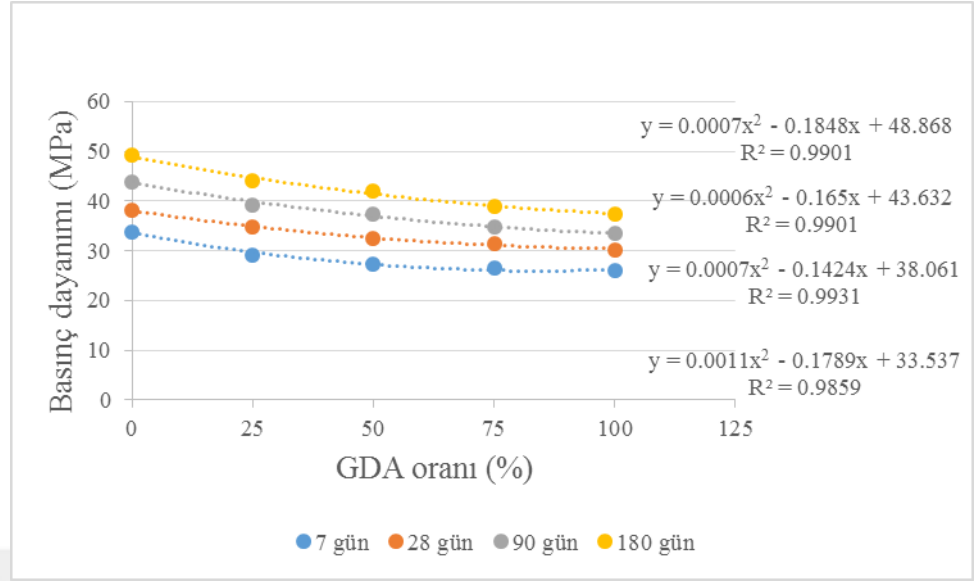
Yine SSB karışımlarında kireçtaşı iri agrega yerine GDA kullanımı ile üretilen SSB karışımlarının basınç dayanımları düşmektedir. Bu basınç dayanımının düşüşünün nedeni olarak geri dönüşüm agregası ile çimento hamuru arasındaki aderansın kireçtaşı kırma agregaya kıyasla düşük olması, GDA agreganın yüzeyinin bir kısmını kaplamış olan eski hamur tabakanın gözenekli ve zayıf olması, GDA agrega yüzeyindeki geçiş bölgesindeki eski hamur tabakası ile yeni hamurun farklı dayanım ve elastisite modülü sahip olmasının etkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, GDA'nın kireçtaşı iri agregaya kıyasla su emme oranının yüksek olması, GDA içeren karışımlarda optimum su muhtevallarının yükselmesiyle s/ç oranları artırmış bunun sonucunda da basınç dayanımları düşmüştür.



Şekil 4.1: 150 Dozajlı SSB karışımlarında GDA oranı - basınç dayanımı ilişkileri



Şekil 4.2: 200 Dozajlı SSB karışımlarında GDA oranı - basınç dayanımı ilişkileri



Şekil 4.3: 250 Dozajlı SSB karışımlarında GDA oranı - basınç dayanımı ilişkileri

Beklenildiği gibi GDA ikame oranı arttıkça basınç dayanımları azalmıştır. Bunun yanı sıra karışımdaki çimento miktarı arttıkça basınç dayanımları artmıştır. 150 kg ve 200 kg dozajlı GDA ile %75 ikame oranına kadar üretilen betonların erken basınç dayanımlarında gözle görülür bir düşüş gözlemlenmemiştir. Nihai dayanımlarda ise %50 ikame oranına kadar önemli bir düşüş gözlemlenmemiştir. Bunun nedeni, basınç altındaki kırılmanın zayıf olan hamur fazında gerçekleşmesidir. 250 kg dozajlı karışımların ise %25 ikame oranında dahi basınç dayanımında kayda değer düşüş gözlemlenmiştir. %50 ikame oranından sonra basınç dayanımlarında önemli bir değişiklik görülmemiştir. Bunun nedeni hamur fazının yeterince güçlü olması ve kırılmanın agregada gerçekleşmesidir.

150 ile 200 kg dozlu karışımların 180 günlük dayanımları karşılaştırıldığında, 50 kg'lık çimento miktarı artışı, yaklaşık %45 oranında basınç dayanımında artışı sağladığı anlaşılmıştır. 150 ile 250 kg dozlu karışımların 180 günlük dayanımları karşılaştırıldığında ise, 100 kg'lık çimento miktarı artışı dayanımlarda yaklaşık %80 oranında yükselme sağlamıştır. 200 ile 250 kg dozlu karışımların 180 günlük dayanımları karşılaştırıldığında da, 50 kg'lık çimento miktarı artışı dayanımlarda yaklaşık %25 oranında artış sağlamıştır.

4.1.2. Yarmada çekme dayanımı

Çalışma kapsamında üretilen SSB örnekleri üzerinde 7, 28, 90 ve 180 gün sonunda yapılan yarmada çekme deneyi sonuçları Tablo 4.2 ve Şekil 4.4-6' de verilmiştir. Verilen sonuçlar 3 adet 3 adet 150/300 mm boyutlu silindir örneğin ortalamasıdır.

Tablo 4.2: SSB karışımlarının yarmada çekme dayanımı sonuçları

	Karışım	Ortalama yarmada çekme dayanımı, MPa			
		7 gün	28 gün	90 gün	180 gün
1	SSB150/0	1,43	1,83	2,12	2,21
2	SSB150/25	1,24	1,76	1,93	2,12
3	SSB150/50	1,11	1,67	1,73	1,92
4	SSB150/75	0,91	1,46	1,6	1,76
5	SSB150/100	0,61	0,96	1,1	1,21
6	SSB200/0/0	2,73	3,29	3,53	3,85
7	SSB200/25	2,56	2,73	2,95	3,25
8	SSB200/50	2,26	2,42	2,73	3,03
9	SSB200/75	2,08	2,36	2,55	3,07
10	SSB200/100	1,83	2,26	2,52	2,81
11	SSB250/0	3,32	3,91	4,17	4,58
12	SSB250/25	3,01	3,92	4,11	4,52
13	SSB250/50	2,86	3,71	3,9	4,29
14	SSB250/75	2,61	3,64	3,78	4,16
15	SSB250/100	2,49	3,41	3,67	4,04

Tablo 4.2 ve Şekil 4.4 deki sonuçlar incelendiğinde; 150 dozlu SSB karışımlarında 7, 28, 90 ve 180 günlük yarmada çekme dayanımının 0.61 MPa ile 2.21 MPa arasında değiştiği görülmektedir. Söz konusu kür sürelerinde 150 dozlu SSB karışımlarında en yüksek yarmada çekme dayanımlarının GDA kullanılmayan SSB karışımlarında, en düşük yarmada çekme dayanımlarının ise kireçtaşı yerine %100 GDA iri agrega kullanılarak üretilen SSB karışımlarında elde edildiği görülmektedir.

150 dozlu SSB karışımlarında kireçtaşı iri agregaya yerine %25 ile %100 oranları arasında GDA kullanımı kontrol betonuna kıyasla 7 günlük yarmada çekme dayanımlarını %13 ile %57 arasında düşürmektedir. Yarmada çekme dayanımındaki bu düşüş 28 günlük basınç dayanımlarında %4 ile %48 arasında, 90 günlük basınç dayanımlarında %9 ile %48, 180 günlük yarmada çekme dayanımlarında ise %4 ile %45 arasındadır.

Tablo 4.2 ve Şekil 4.5 deki sonuçlar incelendiğinde; 200 dozlu SSB karışımlarında 7, 28, 90 ve 180 günlük yarmada çekme dayanımının 1.83 MPa ile 3.25 MPa arasında değiştiği görülmektedir. Söz konusu kür sürelerinde 200 dozlu SSB karışımlarında en yüksek yarmada çekme dayanımlarının GDA kullanılmayan SSB karışımlarında, en düşük yarmada çekme dayanımlarının ise kireçtaşı yerine %100 GDA iri agregaya kullanılarak üretilen SSB karışımlarında elde edildiği görülmektedir.

200 dozlu SSB karışımlarında kireçtaşı iri agregaya yerine %25 ile %100 oranları arasında GDA kullanımı kontrol betonuna kıyasla 7 günlük yarmada çekme dayanımlarını %6 ile %33 arasında düşürmektedir. Yarmada çekme dayanımındaki bu düşüş 28 günlük basınç dayanımlarında %17 ile %31 arasında, 90 günlük basınç dayanımlarında %16 ile %29, 180 günlük yarmada çekme dayanımlarında ise %16 ile %27 arasındadır.

Tablo 4.2 ve Şekil 4.6 daki sonuçlar incelendiğinde; 250 dozlu SSB karışımlarında 7, 28, 90 ve 180 günlük yarmada çekme dayanımının 2.49 MPa ile 4.52 MPa arasında değiştiği görülmektedir. Söz konusu kür sürelerinde 250 dozlu SSB karışımlarında en yüksek yarmada çekme dayanımlarının GDA kullanılmayan SSB karışımlarında, en düşük yarmada çekme dayanımlarının ise kireçtaşı yerine %100 GDA iri agregaya kullanılarak üretilen SSB karışımlarında elde edildiği görülmektedir.

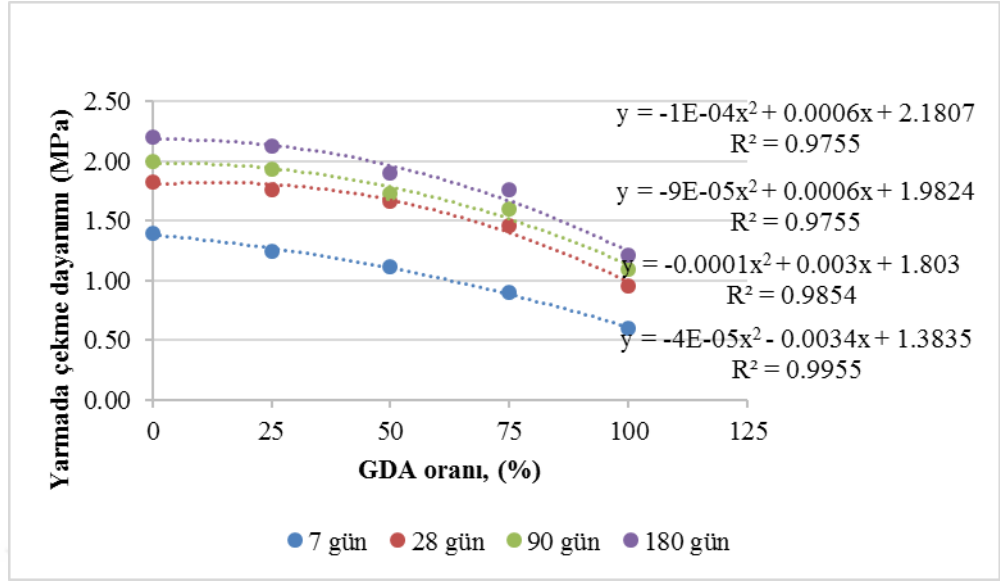
250 dozlu SSB karışımlarında kireçtaşı iri agregaya yerine %25 ile %100 oranları arasında GDA kullanımı kontrol betonuna kıyasla 7 günlük yarmada çekme dayanımlarını % 9 ile %25 arasında düşürmektedir. Yarmada çekme

dayanımındaki bu düşüş 28 günlük numunelerde %0 ile %13 arasında, 90 günlük numunelerde %1 ile %12, 180 günlük numunelerde ise %1 ile %12 arasındadır.

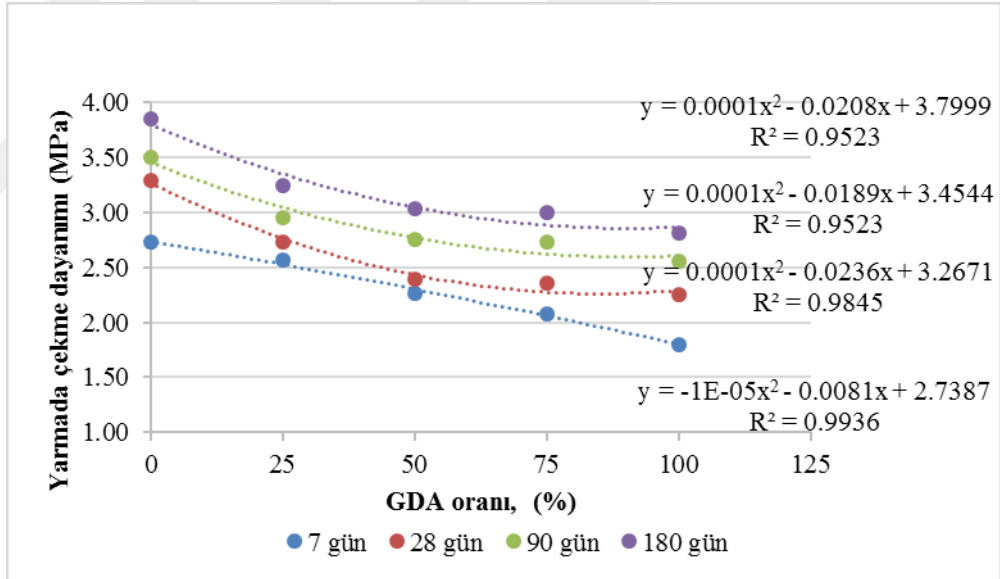
SSB karışımları üzerinde yapılan yarmada çekme deneyleri sonucunda; kireçtaşı iri agregaya yerine %100 GDA iri agregaya kullanımı ile 150, 200 ve 250 dozlu karışımlarda 180 günlük yarmada çekme dayanımı sırasıyla 1.21 MPa, 2.84 MPa ve 4.04 MPa olan SSB üretmek mümkün olabilmektedir.

SSB karışımlarında çimento dozajının artması ile yarmada çekme dayanımlarının artması beklenen bir sonuçtur. SSB karışımlarında çimento dozajının 150 kg/m³ den 200 kg/m³ ve 250 kg/m³ e çıkması ile SSB karışımlarındaki çimento hamuru hacminin artacağı, buna bağlı olarak da boşluk oranının azalacağı ve sonuç olarak da yarmada çekme dayanımının yükseleceği açıktır.

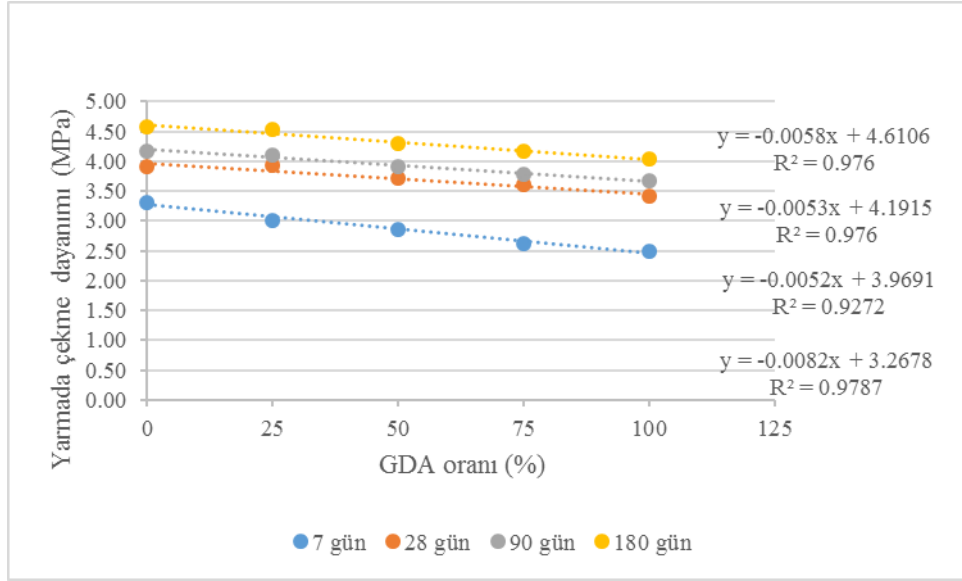
Yine SSB karışımlarında kireçtaşı iri agregaya yerine GDA kullanımı ile üretilen SSB karışımlarının yarmada çekme dayanımları düşmektedir. Bu düşüşün nedeni olarak geri dönüşüm agregası ile çimento hamuru arasındaki aderansın kireçtaşı kırma agregaya kıyasla düşük olması, GDA agreganın yüzeyinin bir kısmını kaplamış olan eski hamur tabakanın gözenekli ve zayıf olması, GDA agregaya yüzeyindeki geçiş bölgesindeki eski hamur tabakası ile yeni hamurun farklı dayanım ve elastisite modülüne sahip olmasının etkili olduğu düşünülmektedir. GDA'nın kireçtaşı iri agregaya kıyasla su emme oranının yüksek olması GDA içeren karışımlarda optimum su muhtevalarının yükselmesiyle s/ç oranlarını artırmış bunun sonucunda da yarmada çekme dayanımları düşmüştür.



Şekil 4.4: 150 Dozajlı SSB karışımlarında GDA oranı – yarmada çekme dayanımı ilişkileri



Şekil 4.5: 200 Dozajlı SSB karışımlarında GDA oranı – yarmada çekme dayanımı ilişkileri

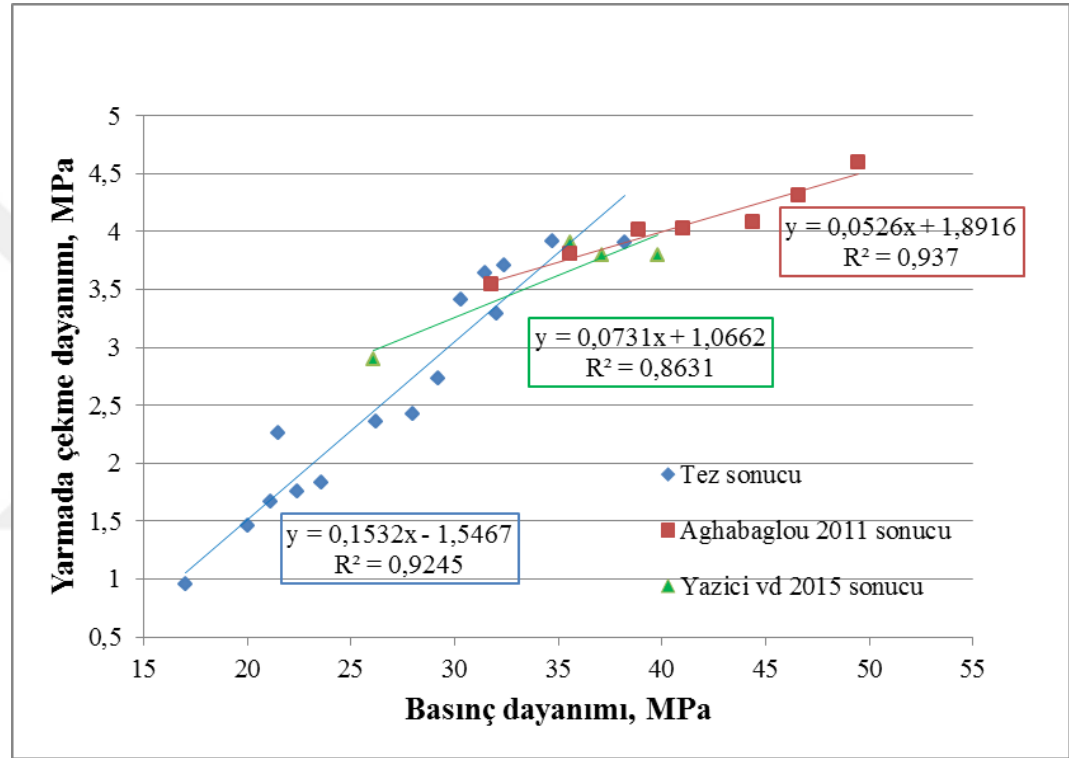


Şekil 4.6: 250 Dozajlı SSB karışımlarında GDA oranı – yarmada çekme dayanımı ilişkileri

Beklenildiği gibi GDA ikame oranı arttıkça yarmada çekme dayanımları azalmıştır. Bunun yanı sıra karışımdaki çimento miktarı arttıkça yarmada çekme dayanımları artmıştır. 150 dozlu karışımlarda %25 ikame oranına kadar önemli bir düşüş gözlemlenmemiştir. Ancak, ikame oranı arttıkça her yaşta kayda değer düşüş yaşanmıştır. 200 dozlu karışımlarda %50 ikame oranına kadar önemli bir düşüş yaşanmış daha sonra dayanımlarda gözle görülür bir düşüş görülmemiştir. 250 dozlu karışımlarda ise basınç dayanımında olduğu gibi hamur fazının güçlü olduğundan dolayı kırılmanın agregada gerçekleşmesi sonucu, 7. gün hariç herhangi bir yaşta ikame oranı arttıkça yarmada çekme dayanımında önemli bir azalma gözlemlenmemiştir.

Ayrıca üretilen SSB'nin 28 günlük basınç dayanımları ile 28 günlük yarmada çekme dayanımları arasında aşağıda şekil 4.7 de verilen ilişki türetilmeye çalışılmıştır. Türetilen bu ilişkide uyum kat sayısı %96 olarak tespit edilmiştir. Üretilen SSB'de basınç dayanımı/yarmada çekme dayanımı oranlarının 150 dozlu betonlarda 10-17 arasında, 200 dozlu betonlarda 9-13 arasında, 250 dozlu betonlarda ise 9-10 arasında değerler aldığı görülmektedir. Ayrıca, benzer ilişki Yazıcı vd (2015) ve Aghabaglou (2011) tarafından SSB üzerinde yapılan çalışmalardan elde edilmiş veriler üzerinde de türetilmeye çalışılarak Şekil 4.7 de verilmiştir. Bu iki çalışmada uyum kat sayısının 92 ile 96 arasında olduğu da

açıktır. Bu iki çalışmada 250 ve üzerinde dozaja sahip SSB 'nın basınç dayanımı/yarmada çekme dayanımı oranlarının 9 ile 11 arasında değiştiği anlaşılmaktadır. Bu tez çalışmasında 250 dozlu SSB dan elde edilmiş olan basınç dayanımı/yarmada çekme dayanımı oranlarının söz konusu araştırmalardaki sonuçlarla uyumlu olduğu da görülmektedir.



Şekil 4.7: Tez ve literatürdeki SSB karışımlarında basınç dayanımı-yarmada çekme dayanımı ilişkileri

4.1.3. Darbe deneyi

Çalışma kapsamında üretilen SSB örnekleri üzerinde 28, 90 ve 180 gün sonunda yapılan ağırlık düşürmek suretiyle darbe deneyi sonuçları Tablo 4.3 ve Şekil 4.9-11' de verilmiştir. Sunulan sonuçlar 3 adet örneğin ortalamasıdır. Yapılan deneyde, test edilen örnek üzerine ağırlık sürekli düşürülmüş ve örnek yüzeyi gözle kontrol edilerek kırılma oluşturan darbe sayıları belirlenmiştir. Darbe deneyine ait fotoğraflar Şekil 4.8'de verilmiştir.

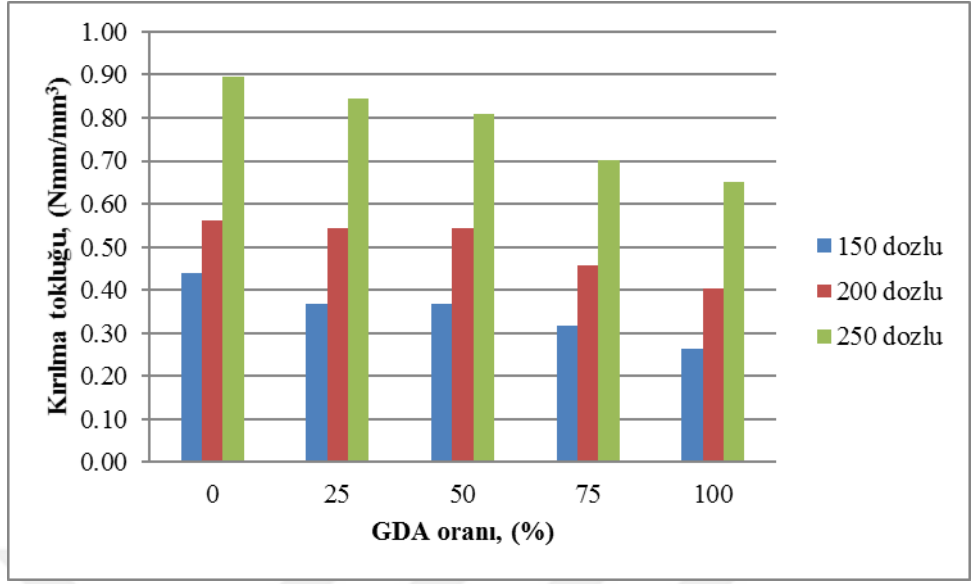


Şekil 4.8: Darbe deneyine ait fotoğraflar

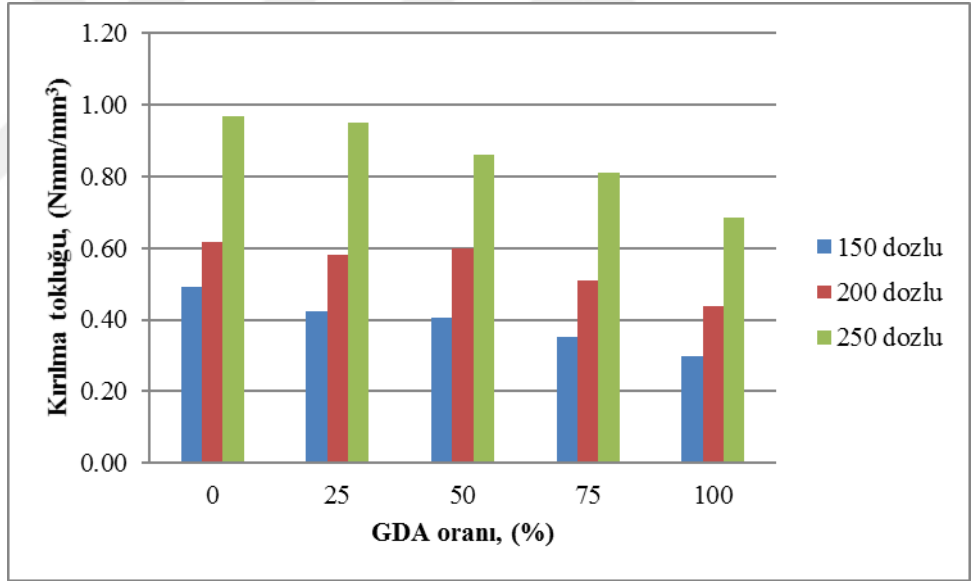
Tablo 4.3: SSB karışımlarının darbe deneyi sonuçları

	Karışım	28 Gün		90 gün		180 gün	
		*N _f	Tokluk	*N _f	Tokluk	*N _f	Tokluk
		(Adet)	(Nmm/mm ³)	(Adet)	(Nmm/mm ³)	(Adet)	(Nmm/mm ³)
1	SSB150/0	25	0,44	28	0,49	29	0,51
2	SSB150/25	21	0,37	24	0,42	24	0,42
3	SSB150/50	21	0,37	23	0,40	23	0,40
4	SSB150/75	18	0,32	20	0,35	21	0,37
5	SSB150/100	15	0,26	17	0,30	18	0,32
6	SSB200/0/0	32	0,56	35	0,62	37	0,65
7	SSB200/25	31	0,54	33	0,58	36	0,63
8	SSB200/50	31	0,54	34	0,60	36	0,63
9	SSB200/75	26	0,46	29	0,51	30	0,53
10	SSB200/100	23	0,40	25	0,44	27	0,47
11	SSB250/0	51	0,90	55	0,97	57	1,00
12	SSB250/25	48	0,84	54	0,95	55	0,97
13	SSB250/50	46	0,81	49	0,86	51	0,90
14	SSB250/75	40	0,70	46	0,81	47	0,83
15	SSB250/100	37	0,65	39	0,69	41	0,72

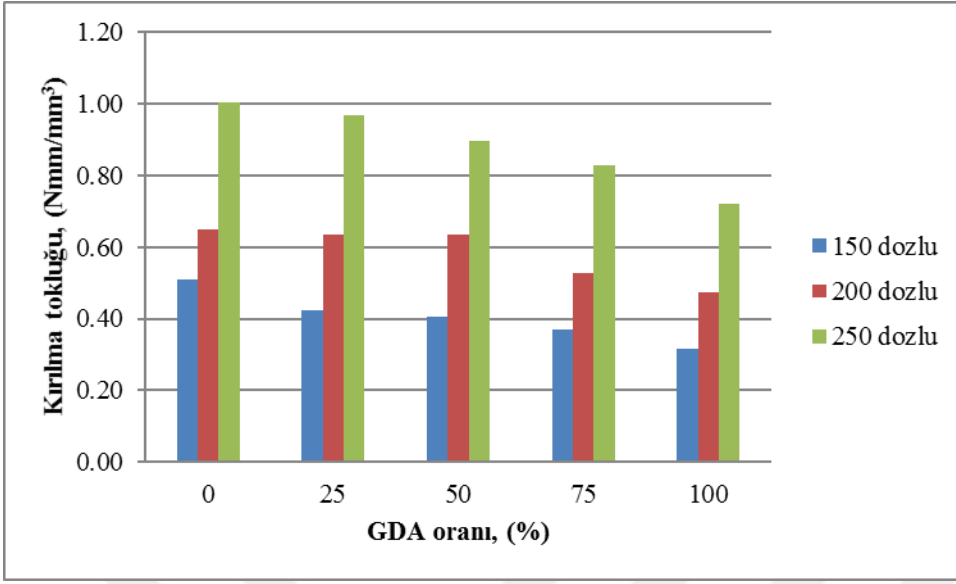
*N_f: darbe sayısı



Şekil 4.9: SSB karışımlarında GDA oranının kırılma tokluğuna etkisi (28 gün için)



Şekil 4.10: SSB karışımlarında GDA oranının kırılma tokluğuna etkisi (90 gün için)



Şekil 4.11: SSB karışımlarında GDA oranının kırılma tokluğuna etkisi (180 gün için)

Tablo 4.3 ve Şekil 4.9-11 daki darbe deneyi sonuçları incelendiğinde; 150 dozlu SSB karışımlarının 28 günlük yaşa sahip örneklerinin 15 ile 25 arasında, 90 günlük yaşa sahip örneklerinin 17 ile 28 arasında, 180 günlük yaşa sahip örneklerinin 18 ile 29 arasında değişen darbe uygulamasında kırıldıkları görülmüştür. 200 dozlu SSB karışımlarının 28 günlük yaşa sahip örneklerinin 23 ile 32 arasında, 90 günlük yaşa sahip örneklerinin 25 ile 35 arasında, 180 günlük yaşa sahip örneklerinin 27 ile 37 arasında değişen darbe uygulamasında kırıldıkları anlaşılmaktadır. Yine 250 dozlu SSB karışımlarının 28 günlük yaşa sahip örneklerinin 37 ile 51 arasında, 90 günlük yaşa sahip örneklerinin 39 ile 55 arasında, 180 günlük yaşa sahip örneklerinin 41 ile 57 arasında değişen darbe uygulamasında kırıldıkları tespit edilmiştir.

Ayrıca SSB karışımlarından hazırlanan örneklerin kırılma oluşturan darbe sayılarına bağlı olarak hesap edilen 180 günlük kırılma tokluklarının 150 dozlu betonlar için 0.32 Nmm/mm^3 ile 0.51 Nmm/mm^3 arasında, 200 dozlu betonlar için 0.47 Nmm/mm^3 ile 0.65 Nmm/mm^3 arasında, 250 dozlu betonlar için ise 0.72 Nmm/mm^3 ile 1.00 Nmm/mm^3 arasında değerler aldığı görülmektedir. En düşük kırılma enerjilerinin %100 GDA içeren SSB karışımlarında en yüksek kırılma enerjilerinin ise %0 GDA içeren karışımlarda elde edildiği anlaşılmaktadır. GDA oranının artması ile 180 gün için darbe tokluğundaki kayıpların 150, 200 ve 250

dozlu SSB karışımlarında sırasıyla %38, %27 ve %28 seviyesinde olduğu da görülmektedir.

Üretilen SSB karışımlarından hazırlanan örneklerin ağırlık düşürmek suretiyle yapılan darbe deneylerinde kırılma oluşturan darbe sayıları ile kırılma enerjilerinin kireçtaşı iri agrega yerine GDA kullanım oranının artması ile düştüğü, çimento dozajının ve kür süresinin artması ile yükseldiği tespit edilmiştir.

SSB karışımlarında çimento dozajının düşmesine bağlı olarak karışımdaki çimento hamuru azalmakta, beton daha da gevrekleşmektedir. Bu olay sonucunda SSB örneklerin hem mekanik özellikleri hem de darbeye dirençleri azalmaktadır.

Yine SSB karışımlarında kireçtaşı iri agrega yerine %0 ile %100 arasında değişen oranlarda kullanılan GDA oranının artması da dayanımlarda olduğu gibi darbeye direnç açısından da olumsuzluklar yaratmıştır. Bu olumsuzlukların nedenin de geri dönüşüm iri agregasının yüzey özelliklerinin (eski beton kalıntılarının boşluklu, çatlaklı ve kireç taşına kıyasla daha düşük dayanımlı olması gibi) ara yüzeyi olumsuz etkilemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca, kireçtaşı iri agregaya göre enerji yutma kapasitesi düşük olan GDA'nın darbe etkisiyle oluşan gerilmeyi hamur fazıyla birlikte yeterince karşılamaması ve bunun sonucunda daha erken klivaj düzlemleri oluşturmasıdır.

4.2.Durabilite deney sonuçları

4.2.1. Su emme oranı

Tez kapsamında üretilen SSB örnekleri üzerinde 28, 90 ve 180 gün sonunda yapılan su emme deneyi sonuçları Tablo 4.4 'de verilmiştir. Bu deneylerde her karışım için 3'er adet 150 x 300 mm silindir numune kullanılmıştır. Ayrıca deneyle sonucunda üretilen betonların su emme oranlarının yanı sıra kuru halde BHA ve boşluk oranları da saptanarak Tablo 4.4 'de sunulmuştur.

Tablo 4.4: SSB karışımlarının su emme deneyi sonuçları

Karışım	28 gün			90 gün			180 gün			
	Su emme oranı %	Kuru BHA kg/m ³	Boşluk oranları %	Su emme oranı %	Kuru BHA, kg/m ³	Boşluk oranları %	Su emme oranı %	Kuru BHA kg/m ³	Boşluk oranları %	
1	SSB150/0	8,31	2307	19,2	8,22	2312	19,0	8,15	2336	19,0
2	SSB150/25	8,42	2291	19,3	8,31	2301	19,1	8,25	2325	19,2
3	SSB150/50	8,89	2268	20,2	8,71	2278	19,8	8,62	2291	19,7
4	SSB150/75	9,30	2251	20,9	8,84	2266	20,0	8,75	2279	19,9
5	SSB150/100	9,14	2233	20,4	8,78	2265	19,9	8,87	2241	19,9
6	SSB200/0/0	3,65	2383	8,7	3,51	2397	8,4	3,38	2412	8,2
7	SSB200/25	3,92	2375	9,3	3,72	2391	8,9	3,42	2411	8,2
8	SSB200/50	3,98	2361	9,4	3,79	2379	9,0	3,45	2396	8,3
9	SSB200/75	4,14	2354	9,7	3,82	2371	9,1	3,55	2385	8,5
10	SSB200/100	4,30	2349	10,1	3,96	2370	9,4	3,62	2389	8,6
11	SSB250/0	1,73	2475	4,3	1,58	2488	3,9	1,48	2491	3,7
12	SSB250/25	1,92	2470	4,7	1,65	2481	4,1	1,60	2498	4,0
13	SSB250/50	2,06	2463	5,1	1,74	2476	4,3	1,54	2493	3,8
14	SSB250/75	2,13	2459	5,2	1,78	2468	4,4	1,45	2478	3,6
15	SSB250/100	2,24	2452	5,5	1,96	2465	4,8	1,41	2471	3,5

Tablo 4.4 deki su emme deneyi sonuçları incelendiğinde; üretilen SSB karışımlarında su emme oranlarının 150 dozlu betonlarda %8-%9 aralığında, 200 dozlu betonlarda %3-%4 aralığında, 250 dozlu betonlarda ise %1-%2 aralığında olduğu görülmektedir. Üretilen SSB karışımlarında su emme değerlerinin 28, 90 ve 180 günlük kür sürelerinde benzer şekilde geliştiği kayda değer oranda değişmediği de anlaşılmaktadır. Her üç dozajlar için kireçtaşı iri agregaya yerine GDA kullanım oranı arttıkça su emme oranları artmaktadır. Bu olayın sebebi olarak geri dönüşüm iri agregasının yüzey özellikleri nedeniyle kireçtaşı iri agregaya kıyasla daha fazla su emme kapasitesine sahip olmasıdır.

Tablo 4.4 deki birim hacim ağırlık sonuçları incelendiğinde; üretilen SSB karışımlarında BHA değerlerinin 150 dozlu betonlarda 2241 kg/m³ ile 2378 kg/m³ arasında, 200 dozlu betonlarda 2389 kg/m³ ile 2425 kg/m³ arasında, 250 dozlu betonlarda ise 2342 kg/m³ ile 2491kg/m³ arasında değerler aldığı görülmektedir.

Her üç dozajlar için kireç taşı iri agrega yerine GDA kullanım oranı arttıkça birim ağırlıklar düşmektedir. Bu olayın sebebinin GDA agreganın birim ağırlığının kireç taşı iri agregaya kıyasla daha düşük olmasıdır.

Tablo 4.4 'den de görüleceği üzere SSB betonlarında görünür porozitenin çimento dozajının artmasına bağlı olarak önemli oranda değiştiği anlaşılmaktadır. Üretilen SSB karışımlarında görünür porozitenin 150 dozlu betonlarda ortalama olarak %19, 200 dozlu betonlarda %9 ve 250 dozlu betonlarda ise %4 civarında olduğu belirlenmiştir. Üretilen SSB karışımlarında görünür porozitenin GDA oranının artmasına bağlı olarak kontrol betonuna kıyasla en çok %2 civarında arttığı da görülmektedir. Bu sonuçlar görünür poroziteye GDA oranının değişiminden ziyade çimento dozajı değişiminin etkisinin daha ön planda olduğunu göstermektedir. Çünkü görünür porozite betondaki çimento hamuru varlığı ile yakından ilişkilidir. Çimento hamuru miktarı arttıkça betondaki doluluk oranının artacağı, çimento hamuru miktarı düştükçe betondaki doluluk oranının düşeceği açıktır.

4.2.2. Kılcal su emme

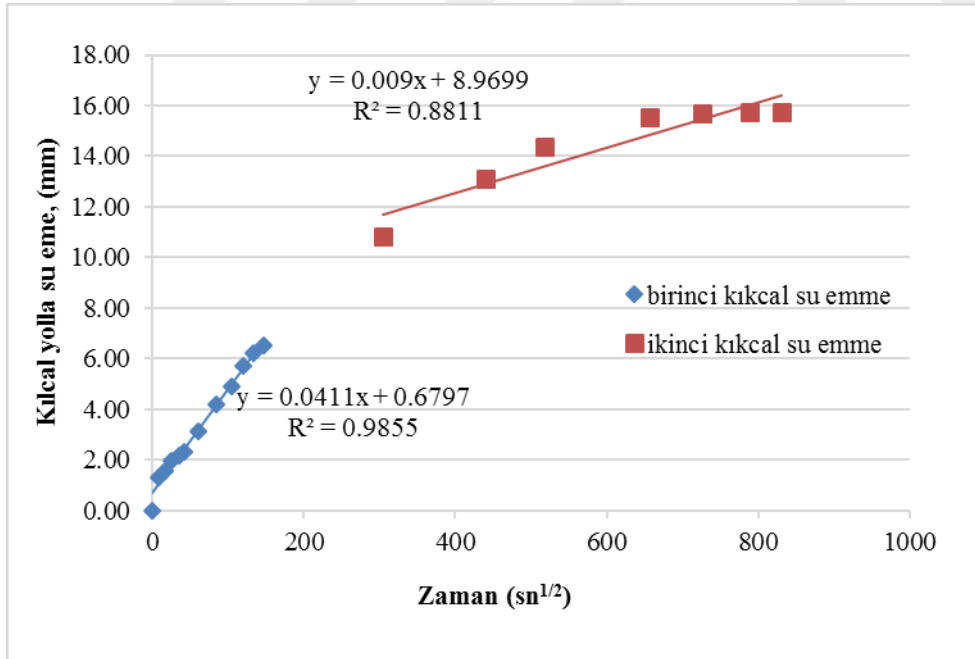
Üretilen SSB örnekleri üzerinde 90 gün sonunda yapılan kılcal yolla su emme deneyleri ASTM C1585 standardına uygun olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Kılcal yolla su emme deneyine ilişkin bazı fotoğraflar şekil 4.12'de ve deney sonuçları Tablo 4.5 ve Şekil 4.13-27'da verilmiştir.

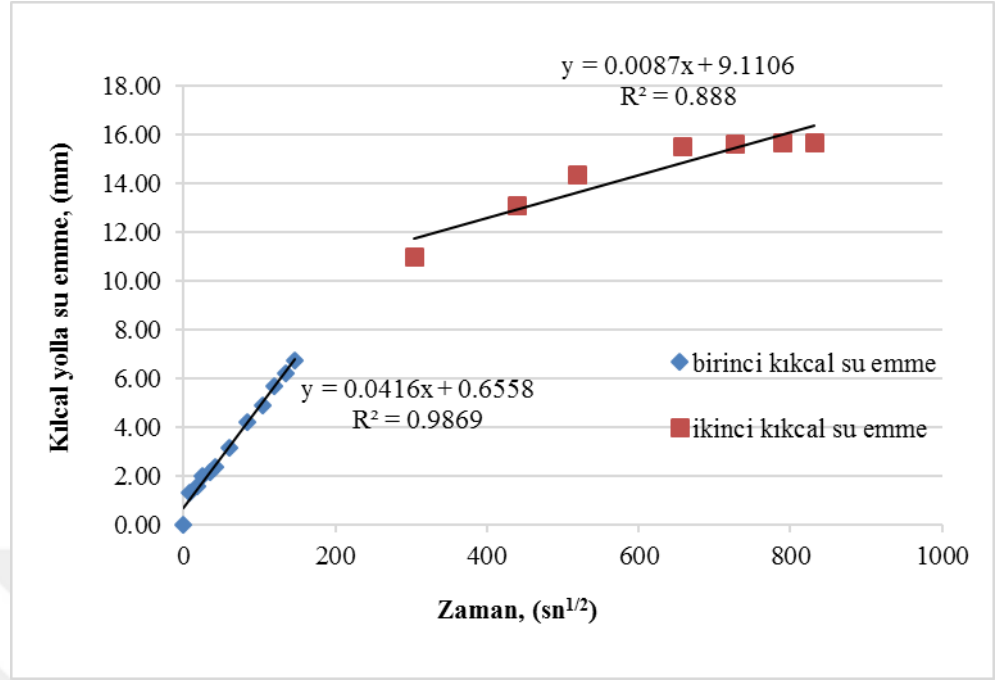


Şekil 4.12: Kılcal su emme deneyine ait fotoğraf

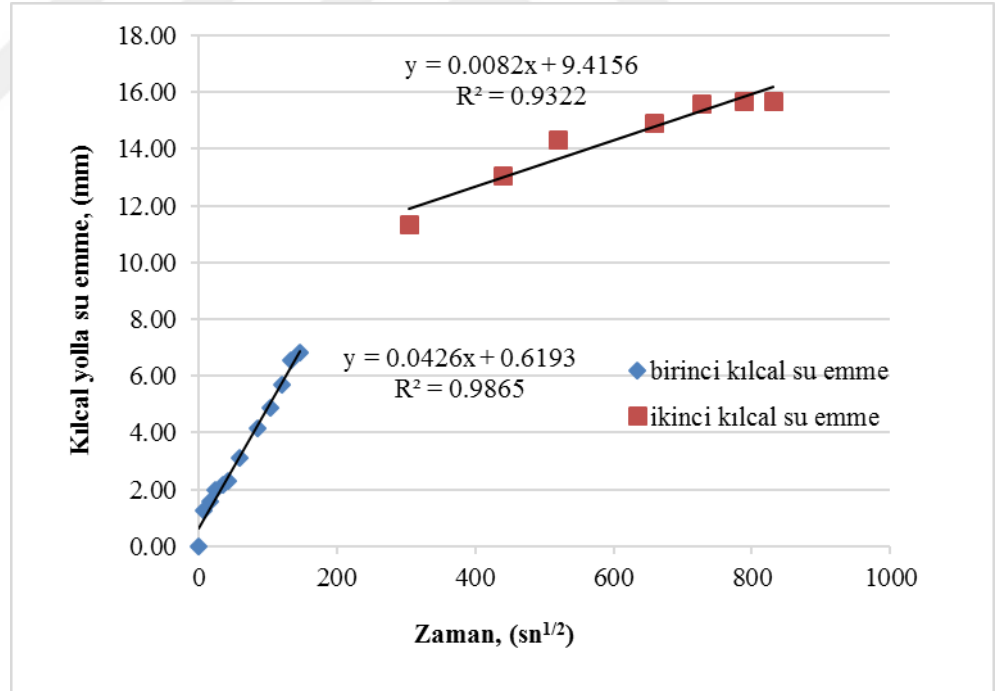
Tablo 4.5: 90 gün kür edilmiş SSB örneklerin kılcal yolla su emme deneyi

Karışım	Birinci su emme, (I_1)(mm/sn ^{1/2})	İkinci su emme, (I_2)(mm/sn ^{1/2})
SSB150/0	0,0041	0,0009
SSB150/25	0,0042	0,0009
SSB150/50	0,0043	0,0008
SSB150/75	0,0044	0,0008
SSB150/100	0,0044	0,0008
SSB200/0	0,0032	0,0008
SSB200/25	0,0033	0,0008
SSB200/50	0,0031	0,0009
SSB200/75	0,0032	0,0009
SSB200/100	0,0032	0,001
SSB250/0	0,0022	0,0005
SSB250/25	0,0023	0,0005
SSB250/50	0,0024	0,0006
SSB250/75	0,0024	0,0006
SSB250/100	0,0024	0,0007

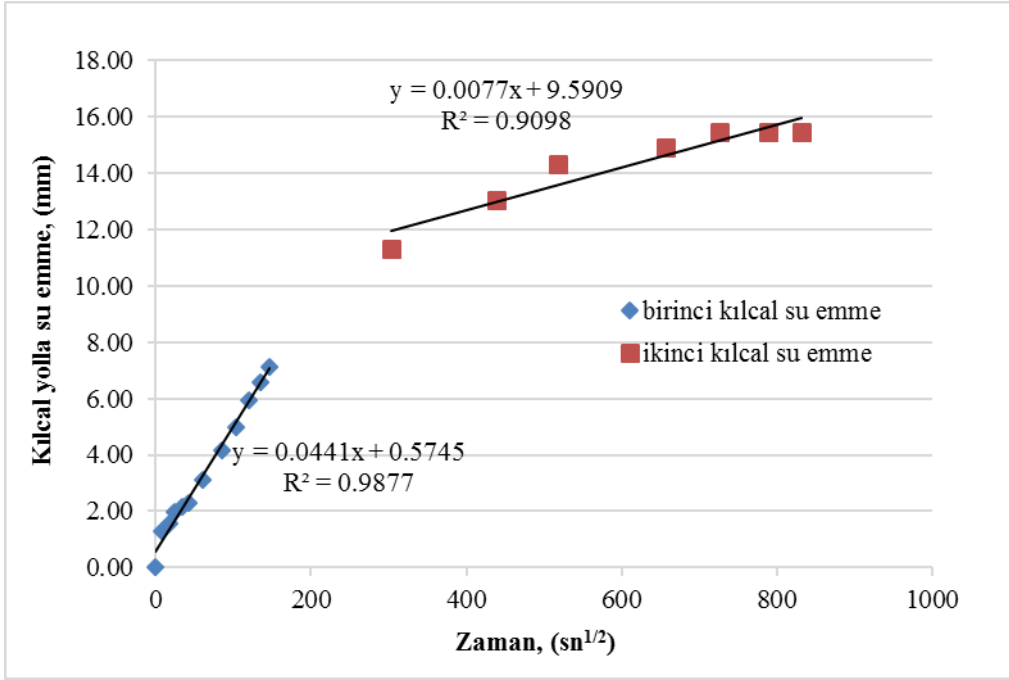
**Şekil 4.13:** SSB 150/0 karışımına ait kılcal yolla su emme diyagramı



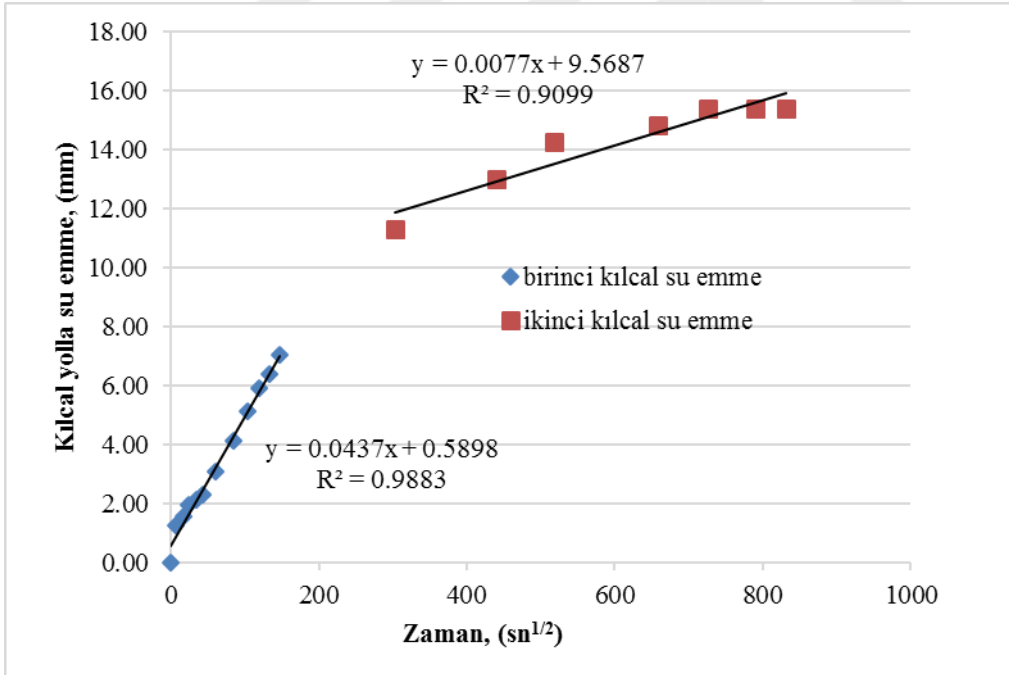
Şekil 4.14: SSB 150/25 karışımına ait kılcal yolla su emme diyagramı



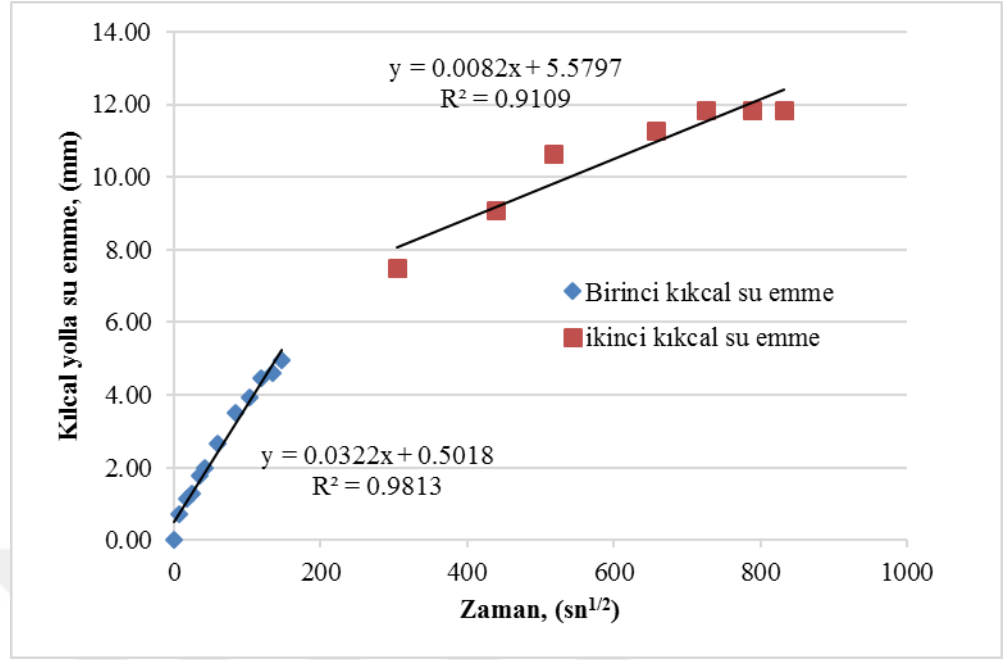
Şekil 4.15: SSB 150/50 karışımına ait kılcal yolla su emme diyagramı



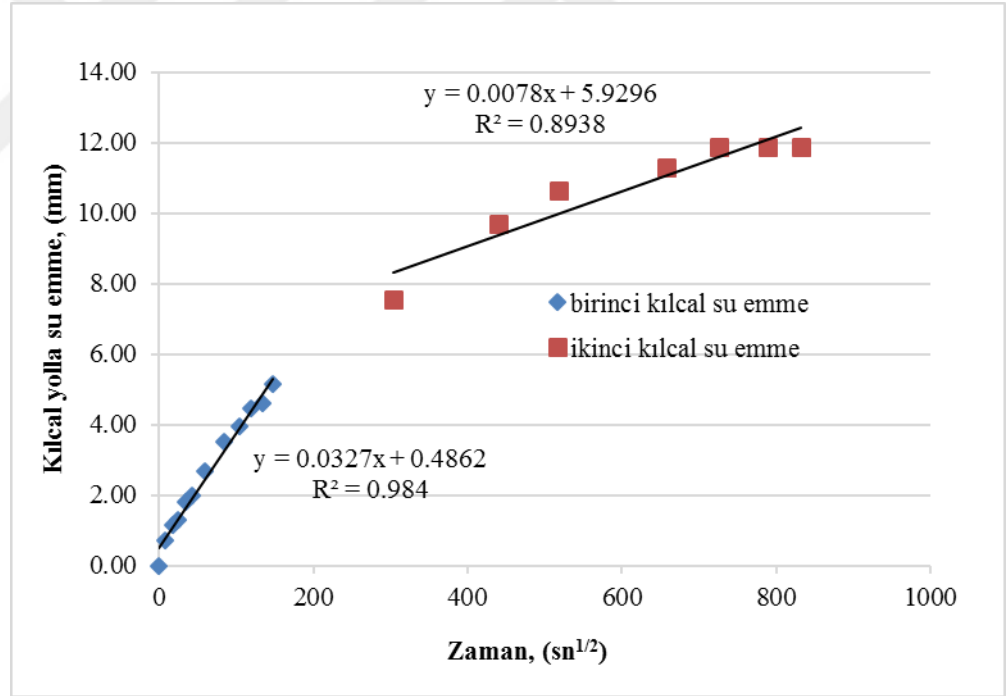
Şekil 4.16: SSB 150/75 karışımına ait kılcal yolla su emme diyagramı



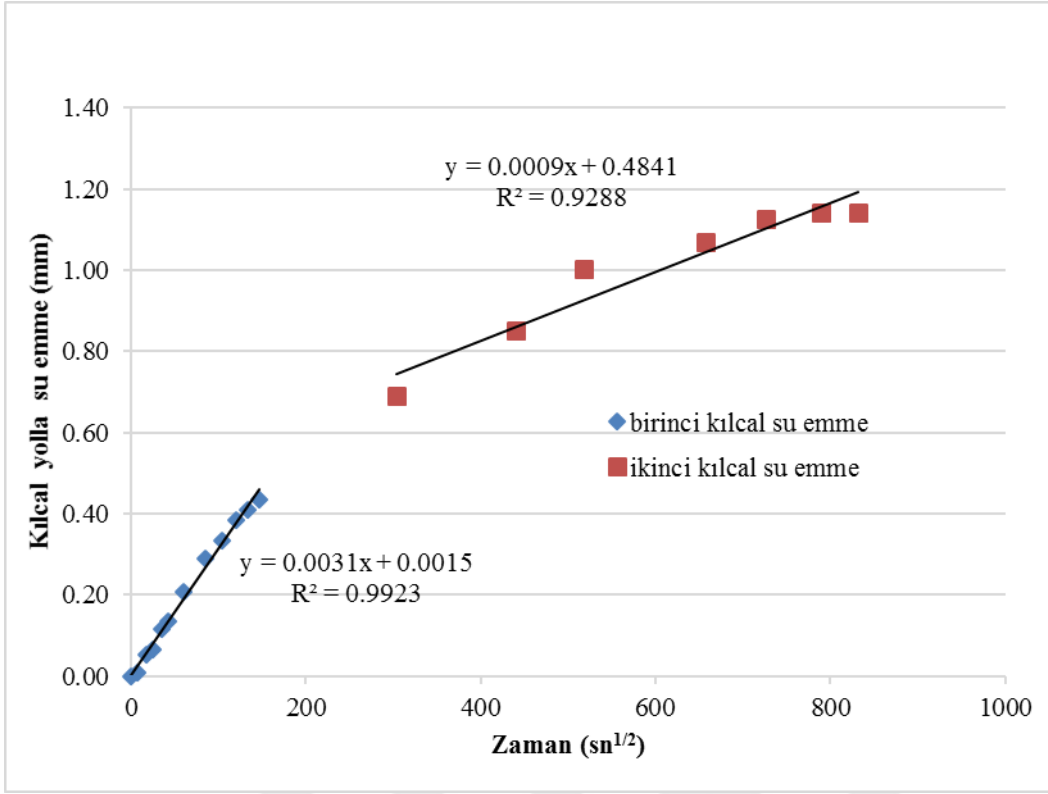
Şekil 4.17: SSB 150/100 karışımına ait kılcal yolla su emme diyagramı



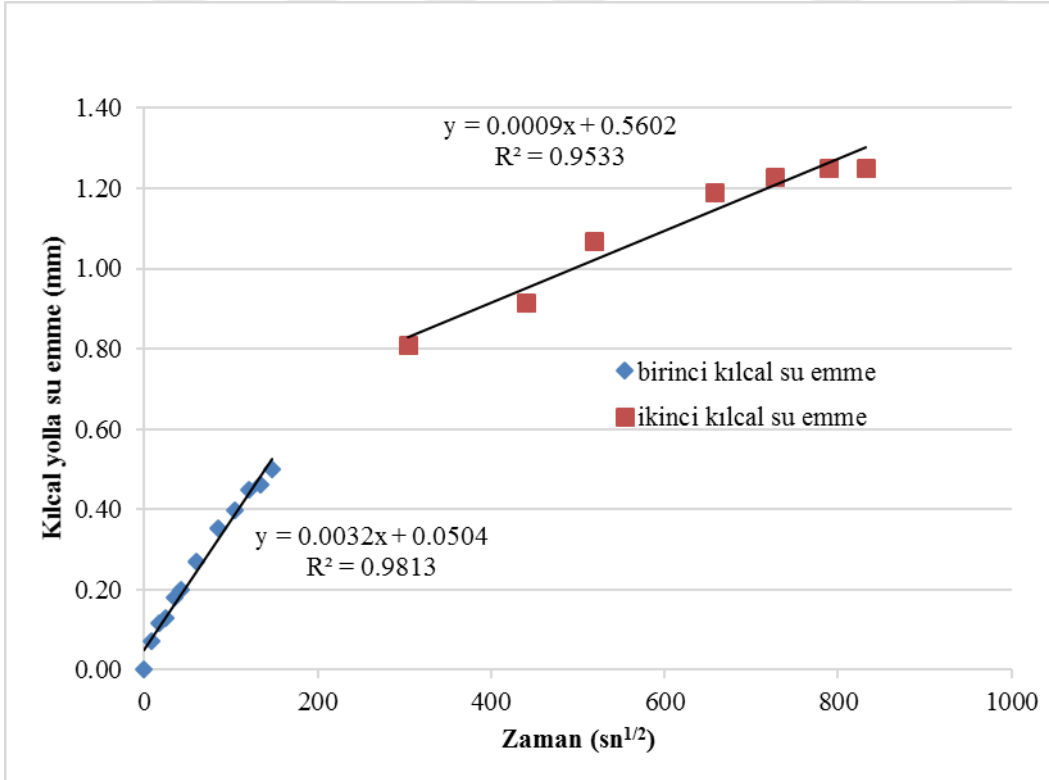
Şekil 4.18: SSB 200/0 karışımına ait kılcal yolla su emme diyagramı



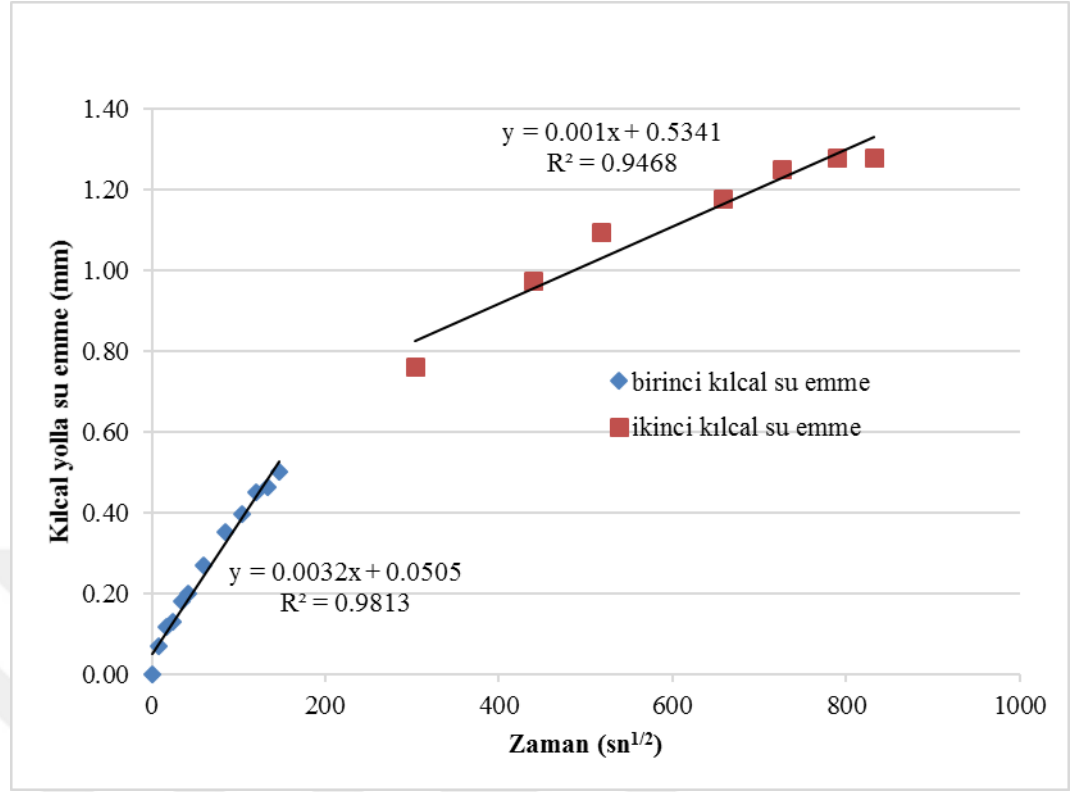
Şekil 4.19: SSB 200/25 karışımına ait kılcal yolla su emme grafiği



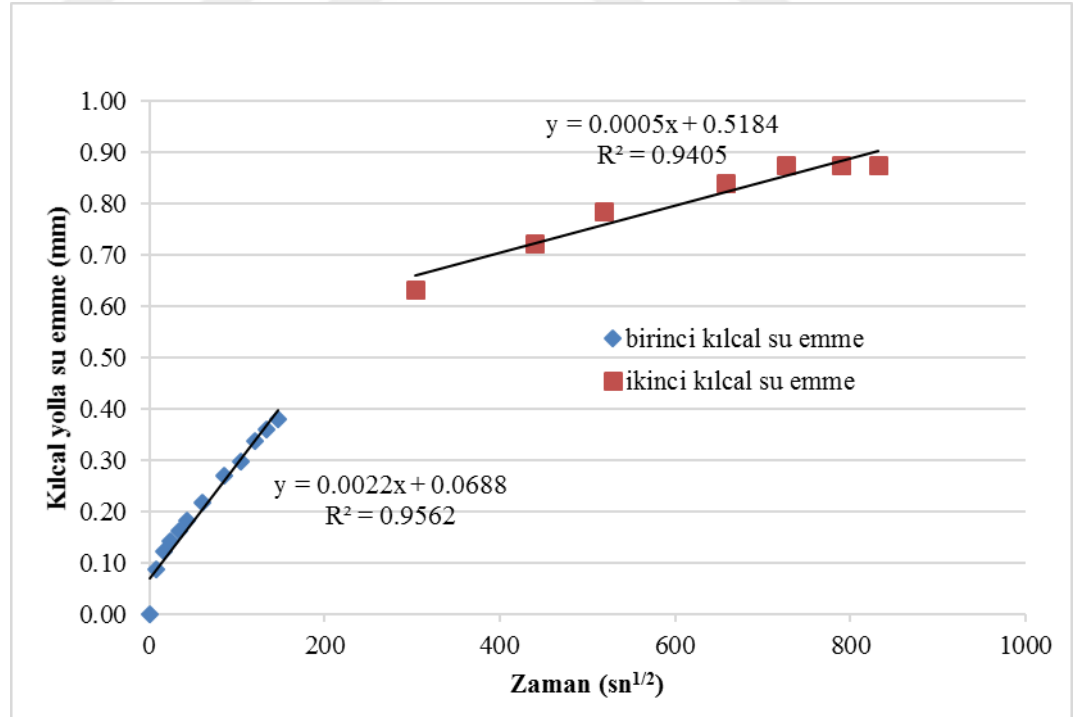
Şekil 4.20: SSB 200/50 karışımına ait kılcal yolla su emme grafiği



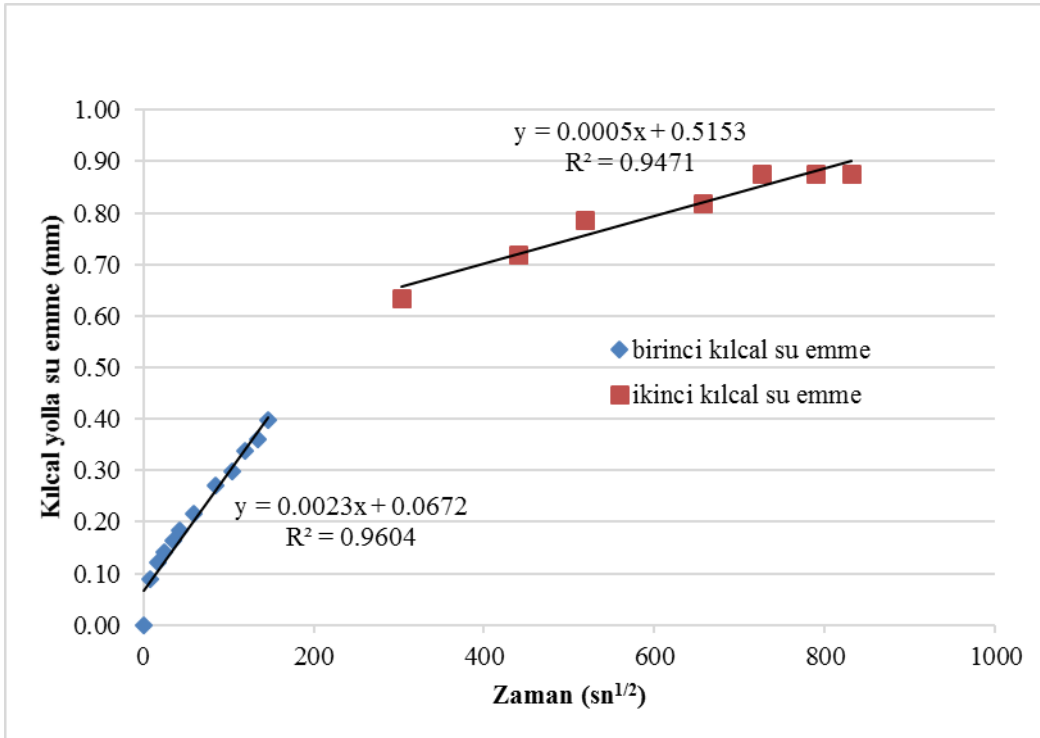
Şekil 4.21: SSB 200/75 karışımına ait kılcal yolla su emme grafiği



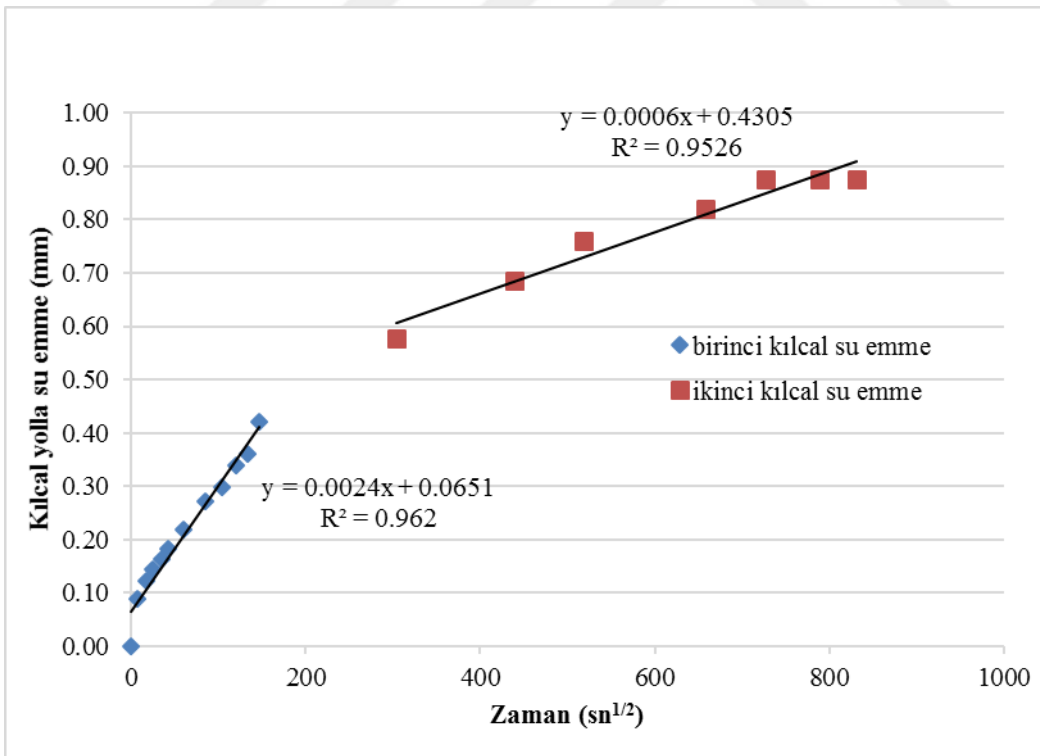
Şekil 4.22: SSB 200/100 karışımına ait kılcal yolla su emme grafiği



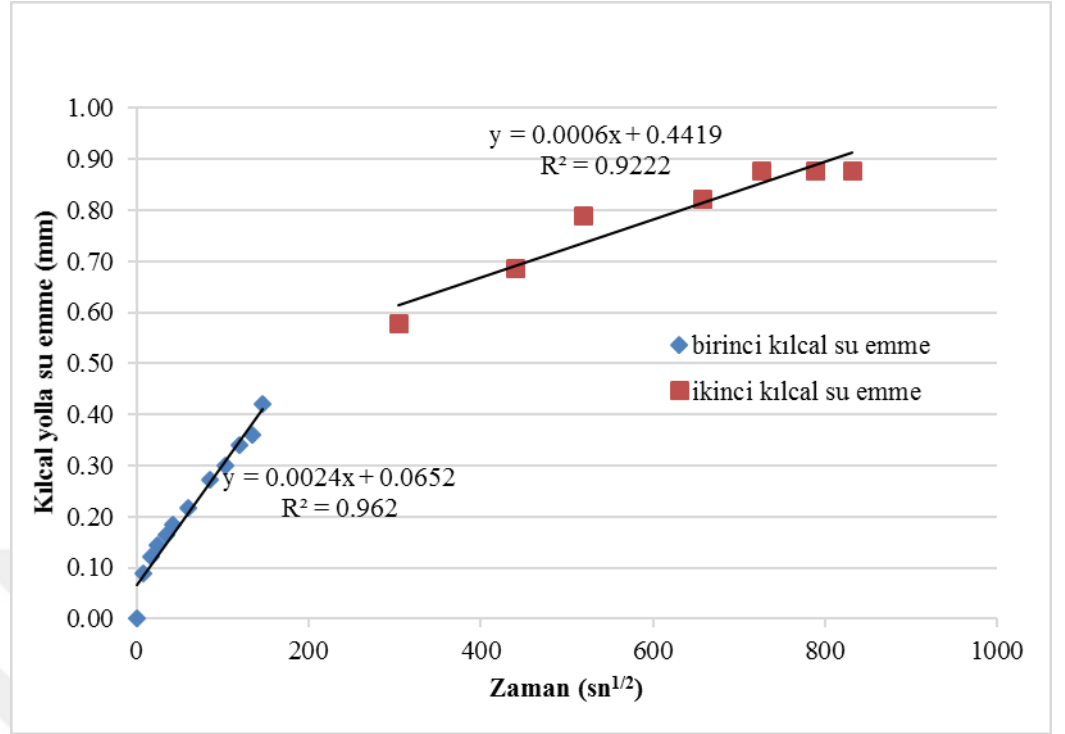
Şekil 4.23: SSB 250/0 karışımına ait kılcal yolla su emme grafiği



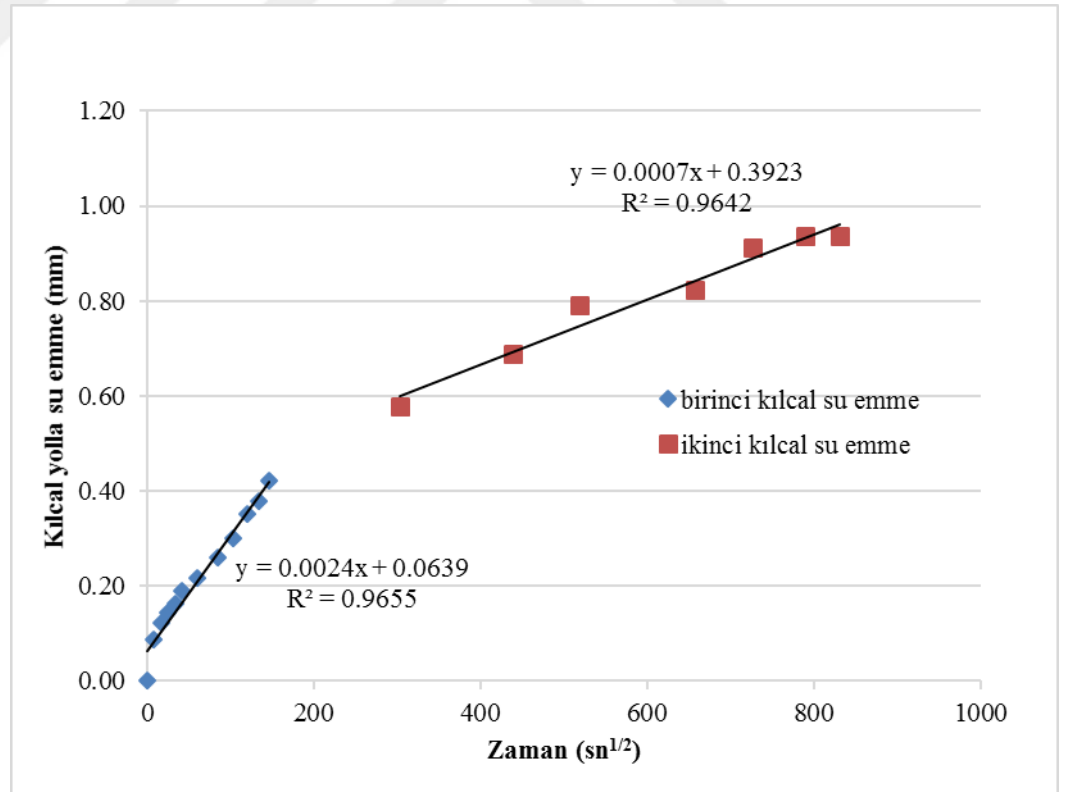
Şekil 4.24: SSB 250/25 karışımına ait kılcal yolla su emme grafiği



Şekil 4.25: SSB 250/50 karışımına ait kılcal yolla su emme grafiği



Şekil 4.26: SSB 250/75 karışımına ait kılcal yolla su emme grafiği



Şekil 4.27: SSB 250/100 karışımına ait kılcal yolla su emme grafiği

Tablo 4.5 ve Şekil 4.13-27 arasındaki grafiklerden de görüleceği üzere, 150, 200 ve 250 dozlu SSB karışımlarında GDA kullanım oranının artması kılcal yolla birincil su emme değerlerini kayda değer oranda etkilememiştir. Yapılan kılcallık deneylerinde birincil kılcal su emme değerlerini asıl etkileyen unsurun SSB karışımlarının çimento miktarı olduğu tespit edilmiştir. Deneylerde ortalama birincil su emme oranlarının SSB150 kodlu karışımlarda $0.0042 \text{ mm/sn}^{1/2}$, SSB200 kodlu karışımlarda $0.0031 \text{ mm/sn}^{1/2}$ ve SSB250 kodlu karışımlarda ise $0.0023 \text{ mm/sn}^{1/2}$ seviyesinde olduğu görülmektedir. Bu sonuçlardan da anlaşılacağı üzere SSB karışımlarında çimento dozajının artmasına bağlı olarak birincil su emme değerlerinin düştüğü görülmektedir. Deneyler sonucunda elde edilen birincil su emme değerleri, çimento hamuru miktarı daha düşük olan SSB karışımlarının çimento hamuru miktarı daha yüksek olan SSB karışımlarından ilk 6 saatte daha kısa sürede daha yüksek oranda su emdiklerini göstermektedir. Bu olayın nedeni olarak düşük dozlu SSB karışımlarının daha yüksek dozlu SSB karışımlarından daha fazla oranda kılcal boşluk içermeleridir.

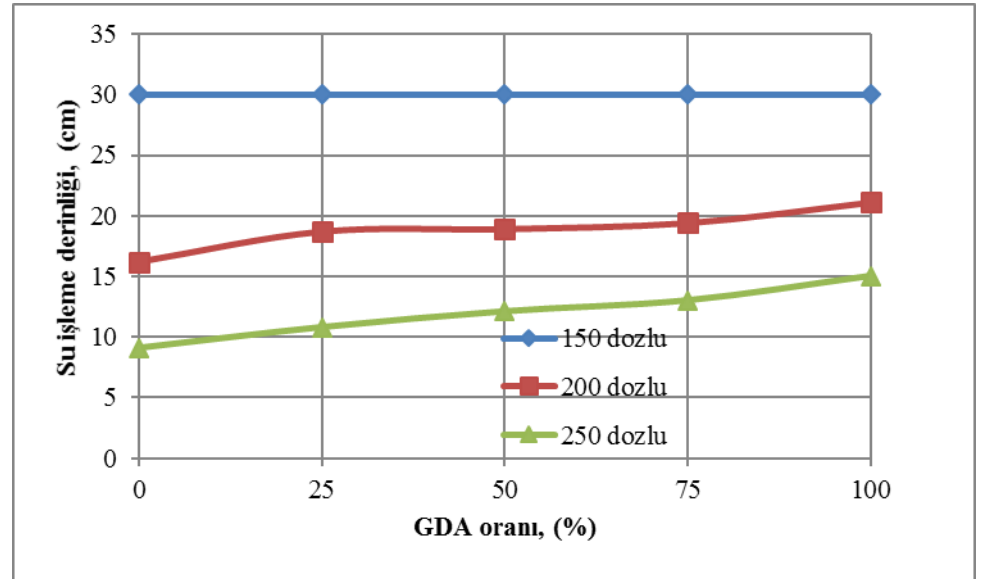
Yine, Tablo 4.5 ve Şekil 4.13-27 arasındaki grafiklerden de görüleceği üzere, 1 ile 8 günlük zaman aralığında yapılan kılcallık deneylerinde ise ikincil su emme sonuçlarının 150 ve 200 dozlu SSB karışımlarında benzer değerler aldığı ve bu değerlerin ortalama olarak $0.0008 \text{ mm/sn}^{1/2}$ seviyesinde olduğu görülmektedir. Buna karşın 250 dozlu SSB karışımlarında ise ikincil su emme değerinin ortalama olarak $0.0006 \text{ mm/sn}^{1/2}$ seviyesinde olduğu da tespit edilmiştir. Bu sonuçlardan da görüleceği üzere SSB karışımlarında 250 dozlu SSB karışımlarının diğer iki karışıma kıyasla daha yüksek çimento hamuru içermesi ve buna bağlı olarak kılcal boşluk oranının azalması neden olarak gösterilebilir. Ayrıca aynı deney sonuçlarına göre SSB karışımlarında kireçtaşı iri agrega yerine değişik oranlarda GDA kullanımının GDA kullanılmayan karışıma kıyasla ikincil su emme değerlerini etkilemediği de anlaşılmaktadır.

4.2.3. Basıncı su altında su işleme derinliği

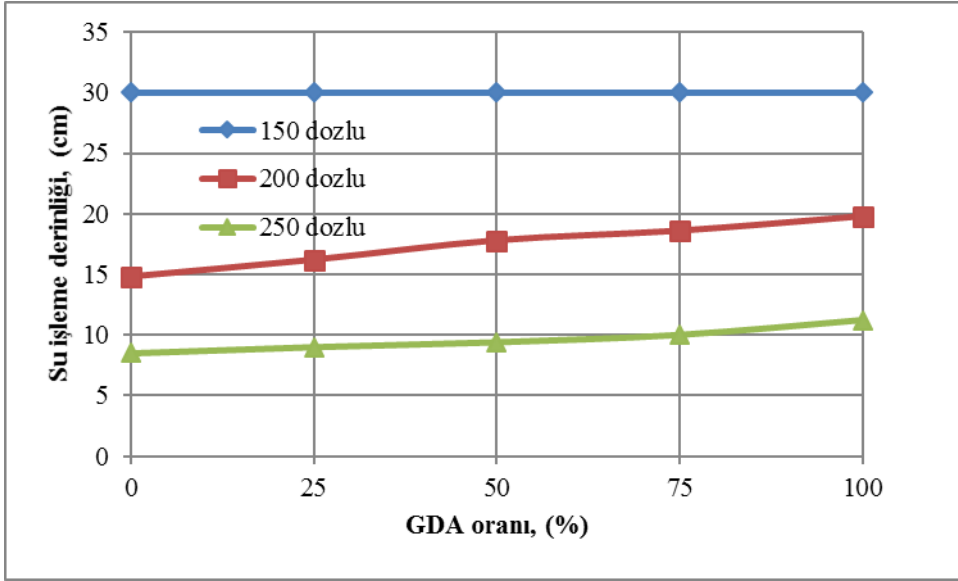
SSB karışımları üzerinde 28, 90 ve 180 günlük yaşlarda yapılan basınç altında su işleme deneylerine ait sonuçlar Tablo 4.6 ve Şekil 4.28-30'de verilmiştir.

Tablo 4.6: SSB karışımlarının basınçlı su altında su işleme derinliği

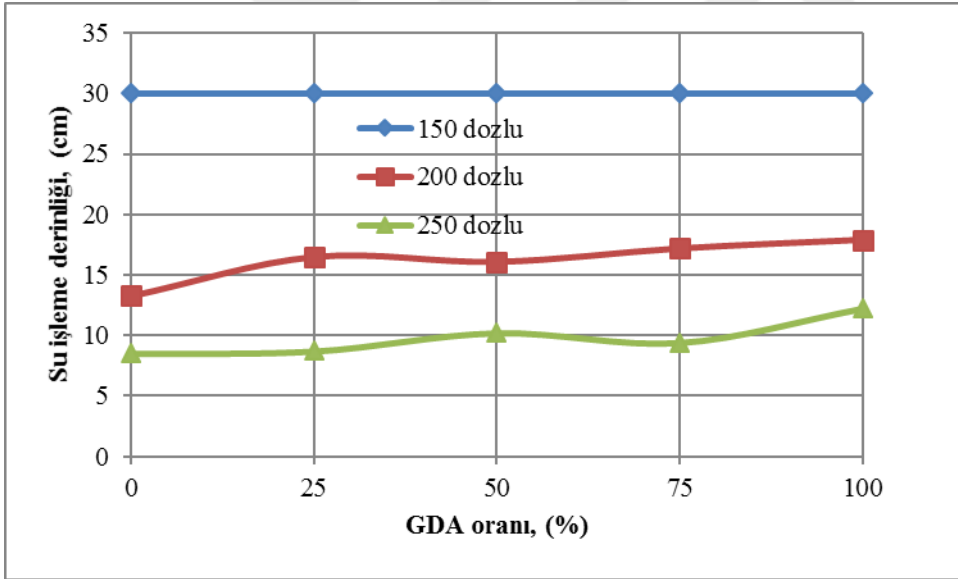
Karışım		Ortama sızma derinliği, cm		
		28 gün	90 gün	180 gün
1	SSB150/0	30,0	30,0	30,0
2	SSB150/25	30,0	30,0	30,0
3	SSB150/50	30,0	30,0	30,0
4	SSB150/75	30,0	30,0	30,0
5	SSB150/100	30,0	30,0	30,0
6	SSB200/0/0	16,2	14,8	13,3
7	SSB200/25	18,7	16,2	16,5
8	SSB200/50	18,9	17,8	16,1
9	SSB200/75	19,4	18,6	17,2
10	SSB200/100	21,1	19,8	17,9
11	SSB250/0	9,1	8,5	8,5
12	SSB250/25	10,8	9,0	8,7
13	SSB250/50	12,1	9,4	10,2
14	SSB250/75	13,0	10,0	9,4
15	SSB250/100	15,0	11,2	12,2



Şekil 4.28: 28 günlük yaşa sahip SSB örneklerin basınçlı altında su işleme derinliğinin GDA oranına bağlı değişimleri



Şekil 4.29: 90 günlük yaşa sahip SSB örneklerin basınçlı altında su işleme derinliğinin GDA oranına bağlı değişimleri



Şekil 4.30: 180 günlük yaşa sahip SSB örneklerin basınçlı altında su işleme derinliğinin GDA oranına bağlı değişimleri

Tablo 4.6 ve Şekil 4.28-30 'de verilen sonuçlar incelendiğinde, 150 dozlu SSB karışımlarının 28, 90 ve 180 günlük yaşa sahip örneklerinde basınç ilk uygulanan suyun deney süresi olan 72 saatten çok daha önceki sürelerde örneğin bir yüzünden diğer yüzüne ulaştığı görülmüştür. Buna karşın, 200 ve 250 dozlu

SSB örneklerinde 72 saatlik deney süresi sonunda basınçlı suyun örneklerin diğer yüzüne ulaşamadığı da görülmektedir.

Tablo 4.6 ve Şekil 4.28-30 'de verilen sonuçlar incelendiğinde, basınç altında su işleme deneylerinde; 28 günlük yaşa sahip örneklerde ortalama su işleme derinliklerinin 150 dozlu örneklerde 30 cm, 200 dozlu örneklerde 18 cm, 250 dozlu örneklerde ise 11 cm civarında olduğu, görülmektedir. 90 günlük yaşa sahip örneklerde ortalama su işleme derinliklerinin 150 dozlu örneklerde 30 cm, 200 dozlu örneklerde 16 cm, 250 dozlu örneklerde ise 9 cm civarında olduğu anlaşılmaktadır. 180 günlük yaşa sahip örneklerde ise ortalama su işleme derinliklerinin 150 dozlu örneklerde 30 cm, 200 dozlu örneklerde 15 cm, 250 dozlu örneklerde ise 9 cm civarında olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlardan da anlaşılacağı üzere; basınçlı su geçirimsizliğinin SSB karışımlarında çimento dozajının artması ile düştüğü görülmektedir. Bu olayın nedeni, SSB karışımlarında çimento miktarı arttıkça hamur miktarı artması ve agregalar arasındaki boşlukları daha fazla oranda doldurmasıdır. Bunun sonucunda basınç altında su işleme derinliği azalmıştır. 150 kilogram dozlu karışımlarda beton numunelerinin birbiri ile bağlı kapiler boşlukları çok olduğundan basınçla verilen su numunenin en üst noktasına ulaşmış ve yan yüzeylerden su sızmıştır.

Yine aynı deney sonuçları incelendiğinde 150 dozlu SSB Karışımları hariç diğer 200 ve 250 dozlu SSB karışımlarında örneklerde GDA oranı arttıkça su geçirimsizliklerinde arttığı görülmektedir. Bu artışın kontrol karışımına kıyasla %40 'a kadar ulaştığı da tespit edilmiştir. GDA agrega kullanımı ile SSB karışımlarında geçirgenliklerin yükselmesinin nedeni olarak GDA agrega ile hamur arasındaki geçiş bölgesinin zayıflığı ve geçirgenliğinin fazla olması olarak görülmektedir. Yine, 200 ve 250 dozlu SSB karışımlarında 90 güne kadar örnek yaşının artmasıyla su geçirimsizliğinin azaldığı da görülmektedir. Bu olayın nedeni olarak betonun zaman bağlı olarak oluşan yeni hidrasyon ürünlerinin boşlukları tıkaması olarak değerlendirilmektedir.

4.2.4. Donma çözülme deneyi sonuçları

Tez kapsamında üretilen 28, 90 ve 180 günlük yaşa sahip SSB örnekleri üzerinde yapılan donma-çözünme deneyleri TS 3449'a uygun olarak yürütülmüş ve elde edilen sonuçlar Tablo 4.7 da verilmiştir. Donma-çözünme deneyine ait fotoğraflar Şekil 4.31-32'de verilmiştir.

Donma çözülme deneyi sonuçları (Tablo 4.7) incelendiğinde; kireçtaşı iri agrega yerine kullanılan GDA agrega oranı ve çevrim sayısı arttıkça SSB karışımlarının donma çözünme ağırlık kayıplarının arttığı görülmektedir. Genel olarak 150 dozlu SSB örneklerin 50 ve 75 çevrimlerdeki donma çözünme dirençlerinin 200 ve 250 dozlu betonlardan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu olayın sebebi olarak 150 dozlu betonların 200 ve 250 dozlu betonlardan daha fazla boşluklu olmaları, bu boşlukların donma çözünmede ortaya çıkan buz basıncını azaltmaları olarak değerlendirilmektedir. Ancak 150 dozlu SSB örneklerindeki bu olumlu etkinin çevrim sayısı 100 'e çıkması ile ortadan kalktığı da görülmektedir.

Bunun durumun, 150 kg çimento dozajına sahip karışımdaki boşluk miktarının fazla olması nedeniyle, suyun hacminin donma çözülme esnasında bu boşluklara doğru artışı ve yıpratıcı etkisini belli bir oranda azaltmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Daha yüksek çimento dozajına sahip karışımda ise çimento dozajının fazla olmasından dolayı, suyun numune içerisine nüfuz edememesi ve dolayısıyla donma çözülme etkisinden etkilenmemesinden kaynaklandığı öngörülmektedir.

Geri dönüşüm agregasının ikamesiyle birlikte karışımların donma çözülme etkisine karşı direncinin düştüğü görülmüştür. Ancak, çimento dozajının artışıyla birlikte bu etki daha belirgin hale gelmiştir. Bunun nedeni ise, geri dönüşüm agregasının su emme oranının doğal agregaya kıyasla daha fazla olması, buna bağlı olarak geri dönüşüm agreganın içerisine nüfuz eden suyun donma çözünme etkisine maruz kalmasıyla birlikte şişerek numune içerisinde içsel çekme gerilmesine neden olduğu düşünülmektedir.

Tablo 4.7: SSB karışımlarının donma çözülme deneyi sonuçları

Karışım		Ağırlık kaybı oranları (%)								
		28 gün			90 gün			180 gün		
		50 çevrim	75 çevrim	100 çevrim	50 çevrim	75 çevrim	100 çevrim	50 çevrim	75 çevrim	100 çevrim
1	SSB150/0	0,00	4,95	17,01	0	4,05	15,11	0,05	4,02	13,71
2	SSB150/25	0,36	5,26	17,96	0,28	4,45	15,67	0,12	4,25	14,21
3	SSB150/50	0,55	5,62	19,21	0,36	5,54	16,81	0,21	4,68	14,26
4	SSB150/75	0,96	5,66	20,20	0,26	5,32	17,49	0,21	5,12	16,20
5	SSB150/100	1,31	6,84	23,40	0,31	6,4	22	0,15	5,68	18,96
6	SSB200/0/0	2,89	14,59	17,76	2,01	10,59	16,85	1,78	9,59	15,72
7	SSB200/25	2,92	17,08	18,21	2,04	11,15	17,93	2,01	10,08	16,51
8	SSB200/50	3,41	17,43	19,02	2,02	13,43	17,98	1,97	13,01	16,88
9	SSB200/75	3,58	18,06	19,87	2,46	15,06	18,55	2,28	14,21	17,29
10	SSB200/100	4,01	17,47	20,22	2,85	15,89	18,84	2,51	15,13	18,18
11	SSB250/0	2,89	14,59	17,76	2,01	10,59	16,85	1,78	9,59	15,72
12	SSB250/25	2,92	17,08	18,21	2,04	11,15	17,93	2,01	10,08	16,51
13	SSB250/50	3,41	17,43	19,02	2,02	13,43	17,98	1,97	13,01	16,88
14	SSB250/75	3,58	18,06	19,87	2,46	15,06	18,55	2,28	14,21	17,29
15	SSB250/100	4,01	17,47	20,22	2,85	15,89	18,84	2,51	15,13	18,18



Şekil 4.31: Donma çözülme deneyine ait fotoğraf. (Fotoğraf 250 dozajlı karışıma aittir ve numune içindeki boşlukları göstermektedir.)



Şekil 4.32: Donma çözülme deneyine ait fotoğraf. (Fotoğraf 250 dozajlı karışıma aittir ve numune içindeki boşlukları göstermektedir.)

4.2.5. Yüzeysel aşınma deney sonuçları

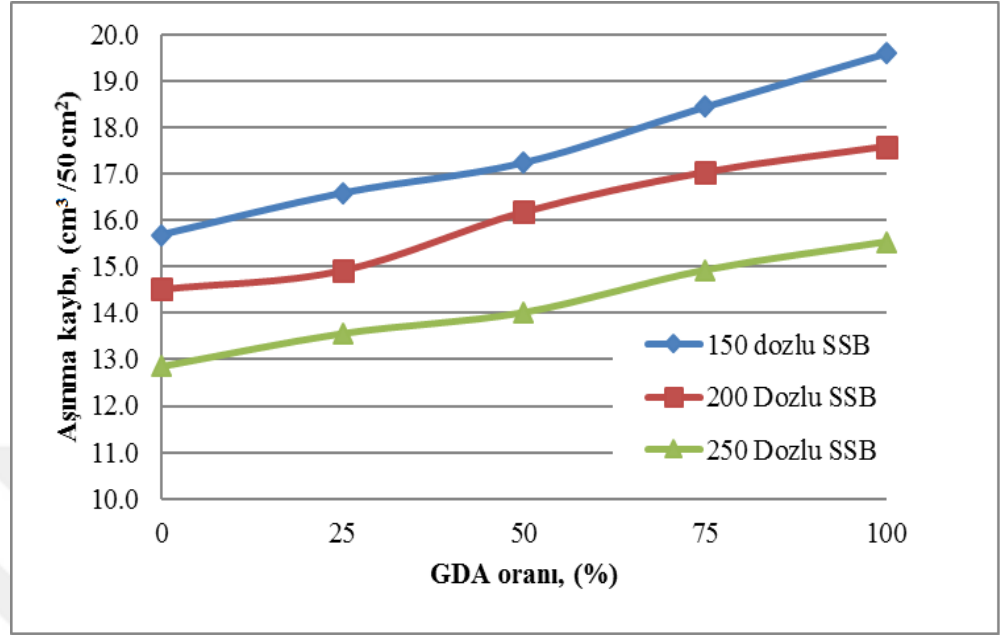
SSB örneklerin sürtünme yolu ile aşınma kayıpları Böhme deney düzeneği yardımıyla TS 2824 EN 1338 'e uygun olarak belirlenmiştir Yüzeysel aşınma deneylerinde 28, 90 ve 180 günlük yaşa sahip SSB örnekler kullanılmıştır. Deney sonuçları Tablo 4.8 ve Şekil 4.33-35 'de verilmiştir.

Tablo 4.8 ve Şekil 4.33-35 'deki veriler incelendiğinde üretilen SSB örneklerde çimento dozajının artması, kür süresinin uzaması yüzeysel aşınma direncini artırdığı görülmektedir ve SSB karışımlarında çimento dozajının 150 kg/m^3 'den 250 kg/m^3 'e çıkması ile yüzeysel aşınma kayıplarının %5 'e varan oranda azaldığı, kür süresinin 28 günden 180 güne çıkmasıyla aşınma kayıplarının yine çimento dozajına bağlı olarak %10 ile %18 arasında değişen oranlarda azaldığı tespit edilmiştir. Buna karşın üretilen SSB karışımlarında kireçtaşı iri agrega yerine GDA kullanım oranının yükselmesiyle yüzeysel aşınmanın düştüğü anlaşılmaktadır. 28 günlük yaşa sahip SSB örneklerde GDA oranının artmasına bağlı olarak yüzeysel aşınma kayıplarının 150 dozlu örneklerde %25, 200 ve 250 dozlu örneklerde %21 seviyesinde olduğu görülmektedir. Buna karşın kür süresi 180 gün olduğunda GDA oranının artmasına bağlı olarak yüzeysel aşınma kayıplarının 150 dozlu örneklerde %20, 200 dozlu örneklerde %18 ve 250 dozlu örneklerde %16 seviyesine indiği belirlenmiştir.

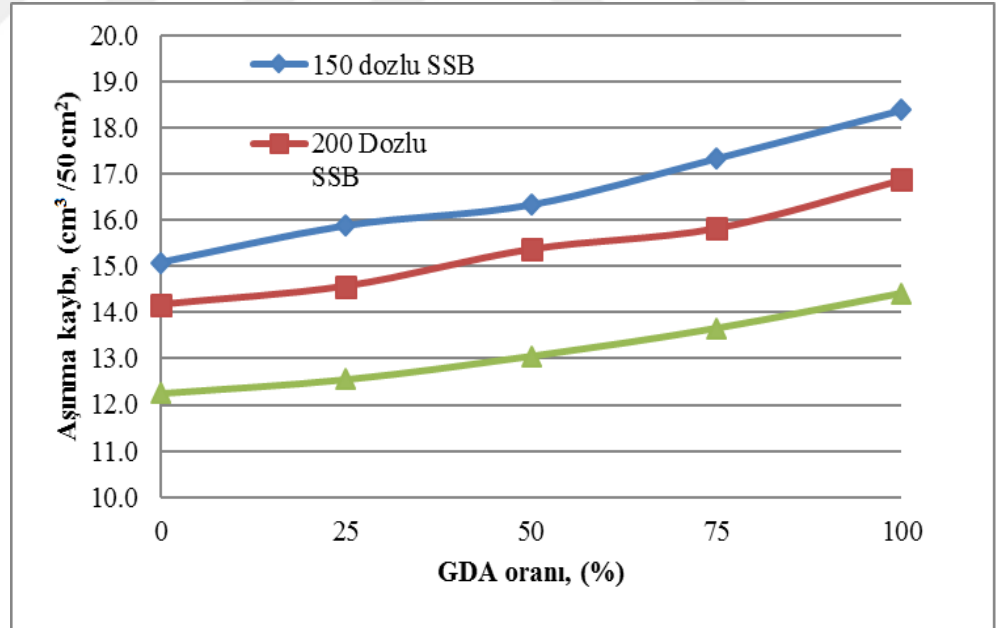
SSB karışımlarındaki GDA oranının artmasının yüzeysel aşınmayı yükseltmesinin sebebi olarak GDA agrega yüzeyini kaplayan iki farklı geçiş bölgesinin bulunması ve bu bölgelerin kireçtaşı iri agrega kıyasla zayıf olması gösterilebilir. Yine çimento dozajının artması ile SSB karışımlarının mekanik özellikleri arttığından yüzeysel aşınmanın azalması da bu olayın sonucu olarak görülmektedir.

Tablo 4.8: Yüzeysel aşınma deneyi sonuçları

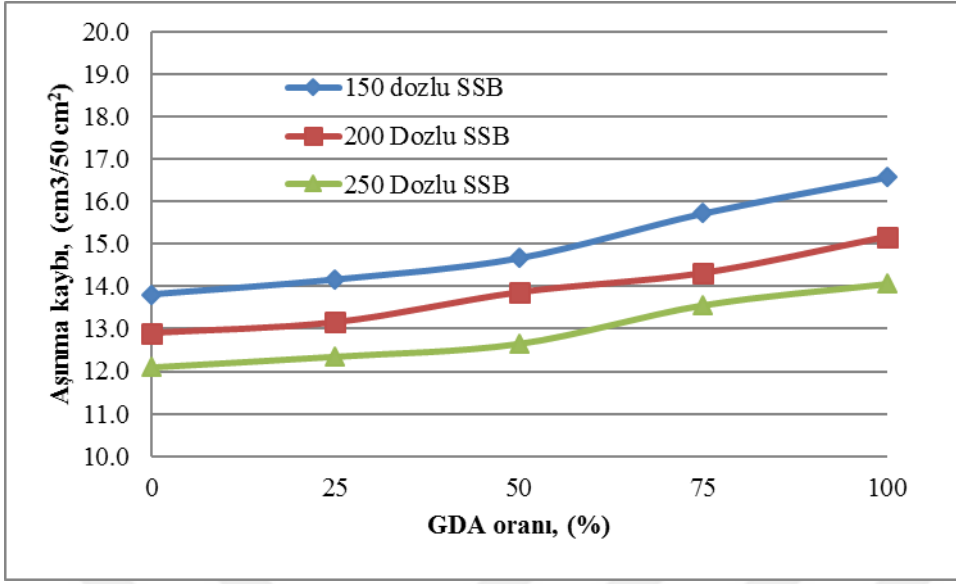
	Karışım	28 gün			90 gün			180 gün		
		Aşınma derinliği	Aşınma kaybı	Relatif aşınma kaybı	Aşınma derinliği	Aşınma kaybı	Relatif aşınma kaybı	Aşınma derinliği	Aşınma kaybı	Relatif aşınma kaybı
		mm	(cm ³ /50 cm ²)	(%)	mm	(cm ³ /50 cm ²)	(%)	mm	(cm ³ /50 cm ²)	(%)
1	RCC150/0/0	3,11	15,7	100	2,99	15,1	100	2,74	13,8	100
2	RCC150/25/0	3,29	16,6	106	3,15	15,9	105	2,81	14,2	103
3	RCC150/50/0	3,42	17,2	110	3,24	16,3	108	2,91	14,7	106
4	RCC150/75/0	3,66	18,5	118	3,44	17,3	115	3,12	15,7	114
5	RCC150/100/0	3,89	19,6	125	3,65	18,4	122	3,29	16,6	120
6	RCC200/0/0	2,88	14,5	100	2,81	14,2	100	2,56	12,9	100
7	RCC200/25/0	2,96	14,9	103	2,89	14,6	103	2,61	13,2	102
8	RCC200/50/0	3,21	16,2	111	3,05	15,4	109	2,75	13,9	107
9	RCC200/75/0	3,38	17,0	117	3,14	15,8	112	2,84	14,3	111
10	RCC200/100/0	3,49	17,6	121	3,35	16,9	119	3,01	15,2	118
11	RCC250/0/0	2,55	12,9	100	2,43	12,2	100	2,4	12,1	100
12	RCC250/25/0	2,69	13,6	105	2,49	12,6	102	2,45	12,4	102
13	RCC250/50/0	2,78	14,0	109	2,59	13,1	107	2,51	12,7	105
14	RCC250/75/0	2,96	14,9	116	2,71	13,7	112	2,69	13,6	112
15	RCC250/100/0	3,08	15,5	121	2,86	14,4	118	2,79	14,1	116



Şekil 4.33: SSB karışımlarının 28 günlük yüzeysel aşınma kayıpları



Şekil 4.34: SSB karışımlarının 90 günlük yüzeysel aşınma kayıpları



Şekil 4.35: SSB karışımlarının 180 günlük yüzeysel aşınma kayıpları

Tez kapsamında yapılan çalışmalar neticesinde SSB karışımlarında kireçtaşı iri agrega yerine %0, %25, %50, %75 ve %100 oranlarında GDA iri agrega kullanımının üretilen SSB karışımlarının su ihtiyacını arttırdığı, basınç ve yarmada çekme dayanımı, birim ağırlığı, su emme oranı, boşluk oranı, aşınmaya karşı direnci, donma çözünmeye direnci ve su işleme derinliğini olumsuz yönde etkilediği görülmektedir. Bu olumsuz etkilerin temel nedenin kireçtaşı geleneksel agregaya kıyasla beton atıklarından kırılmak suretiyle elde edilen GDA iri agreganın birim ağırlığının düşük olması, su emme kapasitesinin yüksek olması, kusurlu malzeme (yassı tanelerin) oranının fazla olması, bu agreganın yüzeyinde kalan eski çimento harcının boşluklu, çatlaklı ve zayıf olması, çimento harcı ile yeni geçiş bölgesinin zayıflığı neden olarak gösterilebilir. Ayrıca eski harç kalıntıları nedeniyle GDA yüzey özelliklerinin yeniden oluşan geçiş bölgesinde hem basınç ve çekme dayanımları hem de elastisite modülü açısından farklılıklar yaratmasıyla oluşan gerilme farklılıklarının da özellikle mekanik özellikleri olumsuz etkilemede rolü olduğu düşünülmektedir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçları destekleyen literatürde pek çok yayın bulunmaktadır. Bu yayınlardan bazıları; Courard v.d. (2010), Debieb v.d.(2009), Tabsh ve Abdelfatah (2009), (Kou ve Poon, 2015), Xiao v.d. (2015), Arezoumandi v.d. (2015), Mukharjee ve Barai (2014), Brito v.d. (2014),

Faleschini v.d. (2014), Pedro v.d. (2014), Khoshkenari v.d. (2014), Gai-Fei v.d. (2013), Weerachart v.d. (2010), İsmail v.d. (2009), Ivana v.d. (2014), Marius ve Radu (2011), Meesala v.d. (2011)', Suvash ve Gideon (2013), Tushar ve Sunil (2015), Miren v.d. (2007), Keun v.d. (2008), Ahmed (2015), Yazici v.d. (2015), Aghabaglou (2011), Üte (2008), tarafından yapılan araştırma sonuçlarıdır. Genel olarak yukarıda sıralan araştırmacılarda bu tezde elde edildiği gibi geleneksel iri agrega yerine beton atıklarından elde edilen geri dönüşüm agregalarının yüzey özelliklerinin geleneksel iri agregaya kıyasla daha kötü bir yapıda olması nedeniyle özellikle geçiş bölgesini zayıflattığı, yüzeyindeki eski harç kalıntılarının yeni harçla iyi bağlantı oluşturmadığı, bu tabakanın boşluklu, çatlaklı olması nedeniyle gerilme farklılıkları oluşturduğu görüşünü taşıdıkları bilinmektedir. Ancak tüm bu çalışma kapsamında üretilen betonlarda geleneksel agrega yerine GDA kullanımı ile mekanik özelliklerinde bir miktar ödün verilerek büyük hacimlerde GDA kullanılabileceği görüşü ortaya çıkmıştır.

Yapılan bu çalışma sonucunda kireçtaşı iri agrega yerine %100 GDA kullanılması durumunda üretilen SSB 'lerde %30 a varan basınç dayanım kaybı olabileceği, buna rağmen bu betonlarda 180 gün sonunda 19 ile 37 MPa arasında dayanım elde edildiği gösterilmiştir. Bu şekilde kullanım ile büyük hacimlerde atık bir malzeme geri kazanılıp çevre kirliliği, depolama sorunları, enerji tasarrufu ve alternatif agrega kaynağı oluşturmada büyük faydalar yaratacağı düşünülmektedir.

5. SONUÇLAR

Tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalar neticesinde aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır. Farklı çimento dozajlarında üretilen SSB karışımlarında:

- GDA kullanım oranının artmasıyla betonların su ihtiyaçlarının arttığı,
- GDA kullanım oranının artmasıyla betonların birim hacim ağırlıklarının, boşluk oranlarının ve su emme oranlarının yükseldiği,
- GDA kullanım oranının artmasıyla betonların basınç dayanımlarının düştüğü,
- GDA kullanım oranının artmasıyla betonların yarmada çekme dayanımlarının azaldığı,
- GDA kullanım oranının artmasıyla betonların darbe dayanımlarının düştüğü,
- GDA kullanım oranının artmasıyla betonların su emme oranının ve basınç altında su işleme derinliğinin yükseldiği,
- GDA kullanım oranının ve çevrim sayısı artmasıyla SSB karışımlarının donma çözülme direncinin düştüğü,
- GDA kullanım oranının artmasıyla yüzeysel aşınmaya direncinin azaldığı, ancak kür süresinin uzamasıyla yüzeysel aşınmaya direncinin artırdığı belirlenmiştir.

6. ÖNERİLER

Yapılan bu yüksek lisans tezinin devamında aşağıdaki araştırmaların yapılabileceği önerilmektedir;

- Çalışma hem iri hem de ince geri dönüşüm agregası kullanılarak geri dönüşüm agregası kullanımının SSB özelliklerine etkisi incelenebilir.
- Araştırmanın devamında, çimento veya ince agrega yerine uçucu kül, yüksek fırın cürufu, tras gibi mineral katkıların kullanımının GDA içeren SSB karışımlarının özelliklerine etkileri incelenebilir.
- Geri dönüşüm agregası ile üretilen beton karışımlarında mineral katkı kullanımının agrega ile matris arasındaki geçiş bölgesine etkisi incelenebilir.
- Daha yüksek çimento dozajları kullanılarak hazırlanan geri dönüşüm agregalı silindire sıkıştırılmış beton karışımlarında, çimento dozajının betonun sıkışma oranı ile birlikte mekanik ve durabilite özelliklerine olan etkisi incelenebilir.
- S/Ç oranı su azaltıcı katkı yardımıyla sabit tutularak benzer çalışma yenilenebilir. Bu uygulamayla S/ç oranı değişimi bertaraf edilerek doğrudan GDA kullanımının SSB özelliklerine etkileri ortaya çıkarılabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- ACI Committee 207**, 1988, Roller Compacted Mass Concrete, ACI Materials Journal, 85.
- ACI Committee 325.10**, 1995, State-of-the-Art Report on Roller Compacted Concrete Pavements, ACI Manual of Concrete Practice.
- ACI Committee 544**, 1988, Design Considerations for Steel Fibre Reinforced Concrete, ACI Structural Journal, pp.563-580.
- Ağar, E. ve Tasdemir, Y.**, 2007, Silindirle Sıkıştırılabilen Beton Yollar, Türkiye Hazır Beton Birliği,
http://www.proksis.com.tr/index/basin_hzb_02.htm.
- Ahmed, SH. A. H.**, 2015, properties of recycled concrete aggregate under different curing conditions, Housing and Building National Research Center, In Press
- Aghabaglou, M.A.**, 2011, Uçucu küllü silindirle sıkıştırılmış betonlarda dayanıklılık, Yüksek Lisans tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Malzemesi Anabilim Dalı, 139 s.
- Arezoumandi M., Smith, A. Volz J.S., Khayat, K.H.**, 2015, An experimental study on flexural strength of reinforced concrete beams with 100% recycled concrete aggregate, Engineering Structures 88: 154–162.
- ASTM D 698**, Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort, Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM C 1435**, 1999, Standard Practice For Molding Roller Compacted Concrete in Cylinder Molds Using a Vibrating Hammer, Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM D 1557**, Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort, Annual Book of ASTM Standard.

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

- Atış, C.D.**, 2001, Uçucu Kül İçeren Silindirle Sıkıştırılabilen Betonların Özellikleri, Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 503-515.
- Courard, L. and Michel, F., Delhez, P.**, 2010, Use of concrete road recycled aggregates for Roller Compacted Concrete, Construction and Building Materials 24: 390–395.
- Çakmaköğlü, A.**, 2002, Silindirle sıkıştırılmış beton (RCC) üretimi için otomasyon, Türkiye Hazır Beton Birliği,
http://www.proksis.com.tr/index/basin_hzb_02.htm.
- De Brito D.S.J., Ferreira, J., Pacheco, J.**, 2014, Use of coarse recycled aggregates from precast concrete rejects: Mechanical and durability performance, Construction and Building Materials 71: 263–272.
- Debieb, F., Courard, L., Kenai, S., Degeimbre, R.**, 2009, Roller compacted concrete with contaminated recycled aggregates, Construction and Building Materials 23: 3382–3387.
- Department of Army (DOA)**, 1995, Engineering and Design Roller Compacted Concrete Pavement Design and Compaction, U.S. Army Corps of Engineering, Technical Letter, No: 1110-3-475.
- Faleschini, F., Jiménez, C., Barra, M., Aponte, D., Vázquez, E., Pellegrino, C.**, 2014, Rheology of fresh concretes with recycled aggregates, Construction and Building Materials 73: 407–416.
- Gai-Feri, P., Yan-Zhu, H., Hai-Sheng, W., jiu-Feng, Z. ve Qi-Bing L.**,
2013, Mechanical properties of recycled aggregate concrete at low and high water/binder ratios, Advances in Materials Science and Engineering, 6P.
- Gauthier, P. and Marchand, J.**, 2005, Design and Construction of Roller Compacted Concrete in Quebec, Canada, 111p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

- Gürer, C. Akbulut, H., Kürklü, G.,** 2004, İnşaat endüstrisinde geri dönüşüm ve bir hammadde kaynağı olarak farklı yapı malzemelerin yeniden değerlendirilmesi”, Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, 28-36.
- Gönen, T., Onat, O. Cemalgil, S., Yilmazer, B., Altuncu, Y.T.,** 2012, Beton teknolojisi için yeni atık malzemeler üzerine bir inceleme”, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 36-43.
- Ismail, A. R., Hasrudin, H. ve Ahmad, M. A. Z.,** 2009, Assessment of recycled aggregate concrete, Modern Applied Science, 3(10): 47-54.
- Ivana, B. P., Nina, S. ve Bojan, M.,** 2014, Durability properties of recycled aggregate, RILEM International Workshop on Performance Based Specification and Control of Concrete Durability, University of Zagreb, Croatia, 11-13.
- Kajorncheappunngam, S. and Steawart D. F.,** 1992, Rice husk ash in roller compacted concrete, Concrete International, 14(4): 38-44.
- Keun, H. Y., Heon, S. CH. ve Ashraf, H. A.,** 2008, Influence of type and replacement level of recycled aggregates on concrete properties. ACI Materials Journal, 105(3): 289–296.
- Khoshkenari, A.G., Shafigh, P., Moghimi, M., Mahmud, H.B.,** 2014, The role of 0–2 mm fine recycled concrete aggregate on the compressive and splitting tensile strengths of recycled concrete aggregate concrete, Materials and Design 64: 345–354.
- Koçak, E.S.,** 1998, A Suitable Roller Compacted Concrete for Kahramanmaraş-Suçatı Dam, MSc Thesis, Middle East Technical Universty, 130p.
- Kou, S.C., Poon , C.S., Etxeberria, M.,** 2014, Residue strength, water absorption and pore size distributions of recycled aggregate concrete after exposure to elevated temperatures, Cement & Concrete Composites 53: 73–82.

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

- Kou, S., Poon, C.**, 2015, Effect of the quality of parent concrete on the properties of high performance recycled aggregate concrete, *Construction and Building Materials* 77 (2015) 501–508.
- Marius, T. M. ve Radu, A.**, 2011, Use of recycled aggregates in rigid pavement construction, *GheorgheAsachi Technical University of Lasi Bulletin*, 70-78.
- Meesala, C. R., Sushanta, K. B. ve Sudhirkumar, V. B.**, 2011, Behaviour of recycled aggregate concrete under drop weight impact load, *Construction and Building Materials*, 25(1): 69-80.
- Miren, E., Enric, V., Antonio, R. M. ve Marilda, B. B.**, 2007, Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete, *Cement and Concrete Research*, 37(5):735-742.
- Mukharjee B.B., Barai, S.V.**, 2014, Influence of incorporation of nano-silica and recycled aggregates on compressive strength and microstructure of concrete, *Construction and Building Materials* 71: 570–578.
- Pedro, D., de Brito, J., Evangelista, L.**, 2014, Influence of the use of recycled concrete aggregates from different sources on structural concrete, *Construction and Building Materials* 71: 141–151.
- Portland Cement Association (PCA)**, 2004, *Roller Compacted Concrete Density: Principles and Practices*.
- Portland Cement Association (PCA)**, 2006, *Production of Roller Compacted Concrete*.
- Ragan, S.A.**, 1988, *Proportioning RCC Pavement Mixtures, Roller Compacted Concrete II*, American Society of Civil Engineers, New York, 380-393.
- Schrader, E. and McKinnon, R.**, 1984, Construction of Willow Creek Dam, *Concrete International*, 6(5), 38-45.

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

- Suvash, C. P. ve Gideon, P. A. G. V. J.,** 2013, Mechanical and durability properties of recycled concrete aggregate for normal strength structural concrete, *International Journal of Sustainable Construction Engineeg & Technology*, 4(1): 80-103.
- Tabsh, S.W., Abdelfatah, A.S.,** 2009, Influence of recycled concrete aggregates on strength properties of concrete, *Construction and Building Materials* 23: 1163–1167.
- Taşdemir, M.A., Vinson, T.S. ve Ağar, E.,** 2002, Roller compacted concrete pavements, *Fifth International Congress on Advances in Civil Engineering*, İstanbul Technical University, İstanbul, 1121-1129.
- TS 3449,** 2009, Çabuk Donma ve Çözülme Koşulları Altında Betonda Dayanırlılık Faktörü Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3624, 1981,** Sertleşmiş Betonda Özgöl Ağırlık, Su Emme ve Boşluk Oranı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-6,** 2002, Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 6: Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-8,** 2010, Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 8: Basınç Altında Su İşleme Derinliğinin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-3,** 2002, Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- ASTM C 1585-13,** 2013, Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water bu Hydraulic Cement Concrete, *Annual Book of ASTM Standards*.
- TS EN 12350-2,** (2002) Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 2: Çökme (slamp) Deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

- TS 2824 EN 1338**, (2005) Zemin Döşemesi İçin Beton Kaplama Blokları - Gerekli Şartlar ve Deney Metotları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 802**, (1985) Beton Karışımı hesaplar esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tushar, R. S. ve Sunil, S. P.**, 2015, Use of recycled aggregates concrete, IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering, 52-59.
- Üte, A.A.**, 2008, Uçucu kül ve polipropilen lif kullanımının silindirle sıkıştırılmış beton özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Malzemesi Anabilim Dalı, 193 s.
- Weerachart, T., Rak, B. ve Chai, J.**, 2010, Use of high fineness of fly ash to improve properties of recycled aggregate concrete, Journal of Materials in Civil Engineering, 22(6): 565-571.
- Xiao, J., Li, L., Shen, L., Poon, C.S.**, 2015, Compressive behaviour of recycled aggregate concrete under impact loading, Cement and Concrete Research 71: 46-55.
- Yazici, Ş., Aghabaglou, M.A., Tuyan, M., Üte, A.A.**, 2015, Mechanical properties and impact resistance of roller-compacted concrete containing polypropylene fibre, Magazine of Concrete Research 67 (16), 867-875

ÖZGEÇMİŞ

Hojjat HOSSEINNEZHAD, 1986 yılında Oroumieh-Iran’da doğdu. İlköğretim, lise ve lisans eğitimini Oroumieh-Iran’da tamamladıktan sonra 2013 yılında Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Yapı Malzemesi Bilim dalı’na girdi. 2016 yılında mezun olma durumu vardır. İyi derecede Farsça, Azerice, Türkçe ve İngilizce bilmektedir.

