



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

**DİSİPLİNLERARASI KOMPOZİT MALZEME TEKNOLOJİLERİ**

**ANABİLİM DALI**

**STİREN BÜTADİEN KOPOLİMERLER İLE MODİFİYE EDİLMİŞ  
YÜKSEK DAYANIMLI BETON ÜRETİLEBİLİRLİĞİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MURAT DOĞAN**

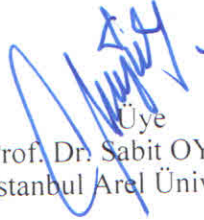
**ARALIK 2015**

**DÜZCE**

## KABUL VE ONAY BELGESİ

Murat DOĞAN tarafından hazırlanan Stiren Bütadien Kopolimerler İle Modifiye Edilmiş Yüksek Dayanımlı Beton Üretilirliğinin Araştırılması isimli lisansüstü tez çalışması, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 14.12.2015 tarih ve 2015-1090 sayılı kararı ile oluşturulan jüri tarafından Disiplinlerarası Kompozit Malzeme Teknolojileri Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

  
(Tez Danışmanı)  
Yrd. Doç. Dr. Alper BİDECI  
Düzce Üniversitesi

  
Üye  
Prof. Dr. Sabit OYMAEL  
İstanbul Arel Üniversitesi

  
Üye  
Prof. Dr. Serkan SUBAŞI  
Düzce Üniversitesi

Tezin Savunulduğu Tarih: 28.12.2015

### ONAY

Bu tez ile Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Murat DOĞAN'ın Disiplinlerarası Kompozit Malzeme Teknolojileri Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans derecesini almasını onamıştır.

Prof. Dr. Haldun MÜDERRİSOĞLU  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

28 Aralık 2015



Murat DOĞAN

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim süresince bana göstermiş olduğu ailesel yakınlığından ve bu tezin hazırlanması süresince gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Yrd. Doç. Dr Alper BİDECİ'ye en içten dileklerle teşekkür ederim. Tez çalışmam boyunca değerli katkılarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Özlem SALLI BİDECİ'ye şükranlarımı sunarım.

Ayrıca yapmış olduğum laboratuvar çalışmalarında tüm olanakları sağlayan Epo Yapı Kimya San. Tic. Ltd. çalışanlarına, çalışmalarımın bir bölümünde laboratuvarlarını kullanmama izin veren İston İstanbul Beton Elemanları ve Hazır Beton Fabrikaları San. ve Tic. A.Ş Arge Şefi Sayın Fatih ÖZALP Bey'e, Düzce Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Prof. Dr. Serkan SUBAŞI'na desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Tez çalışmam ve akademik yaşantım süresince, gösterdiği büyük ilgi, sabır, hoşgörü ve bilgisiyle çalışmalarında bana destek olan sevgili eşim Songül DOĞAN ve canlarım oğlum Yusuf Burak DOĞAN ve kızım Elif Nur DOĞAN'a, tüm yaşantım boyunca her konuda desteğini esirgemeyen annelerime, babalarıma ve çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

**28 Aralık 2015**

**Murat DOĞAN**

## İÇİNDEKİLER

## Sayfa

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
ÖZET.....	1
ABSTRACT.....	2
EXTENDED ABSTRACT.....	3
1. GİRİŞ.....	6
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI...	8
2.1. BETON VE ÖZELLİKLERİ.....	10
2.1.1. Kendiliğinden Yerleşen Betonlar (KYB).....	22
2.1.1.1. Kendiliğinden yerleşen betonlar ile ilgili yapılan çalışmalar.....	24
2.2. POLİMER VE KOPOLİMERİLERİN ÖZELLİKLERİ.....	26
2.2.1. Stiren Bütadien Kopolimerleri (SBK) .....	28
2.3. BETON KATKI MADDELERİ.....	32
3. MATERYAL VE METOD.....	39
3.1. MATERYAL.....	39
3.1.1. Agregası.....	39
3.1.2. Çimento.....	41
3.1.3. Stiren Bütadien Kopolimer.....	42
3.1.4. Su.....	43
3.1.5. Akışkanlaştırıcı.....	44
3.2. METOD.....	44
3.2.1. Agregası Deneyleri .....	47
3.2.1.1. Elek Analizi.....	47
3.2.1.2. Su emme .....	48

3.2.1.3. Özgül ağırlık .....	48
<b>3.2.2. Beton Karışım Dizaynı ve Hazırlanması.....</b>	<b>49</b>
<b>3.2.3. Taze Beton Deneyleri .....</b>	<b>51</b>
3.2.3.1. Çökme-Yayılma deneyi.....	51
3.2.3.2. Birim ağırlık deneyi .....	52
<b>3.2.4. Sertleşmiş Beton Deneyleri .....</b>	<b>53</b>
<b>3.2.4.1. Kuru Birim Ağırlık .....</b>	<b>53</b>
3.2.4.2. Basınç dayanımı .....	53
3.2.4.3. Su emme deneyi .....	55
3.2.4.4. Yarmada çekme dayanımı .....	55
3.2.4.5. Donma-çözülme deneyi .....	55
3.2.4.6. Kılcal su emme deneyi .....	56
3.2.4.7. Ultrases hızı .....	58
3.2.4.8. SEM analizleri.....	58
3.2.4.9. EDS analizi .....	58
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....</b>	<b>60</b>
<b>4.1. AGREGA DENEY SONUÇLARI .....</b>	<b>60</b>
4.1.1. Su Emme Oranı .....	60
4.1.2. Özgül Ağırlık .....	60
<b>4.2. TAZE BETON SONUÇLARI.....</b>	<b>61</b>
4.2.1. Çökme-Yayılma Testi .....	61
4.2.2. Birim Ağırlık Deneyi .....	62
<b>4.3. SERTLEŞMİŞ BETON NUMUNELERİN FİZİKSEL VE</b>	<b>63</b>
<b>MEKANİK ÖZELLİKLERİ .....</b>	<b>63</b>
4.3.1. Birim Ağırlık.....	63
4.3.2. Basınç Dayanımı.....	63
4.3.3. Beton Numunelerin Su Emme Oranı.....	65
4.3.4. Yarmada Çekme Dayanımı .....	66
4.3.5. Donma-Çözülme Deneyi .....	68
4.3.6. Kılcal Su Emme.....	68
4.3.7. Ultrases Hızı .....	69
4.3.8. SEM-EDS Analizi.....	70
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>76</b>

<b>5.1. SONUÇLAR.....</b>	<b>76</b>
<b>5.2. ÖNERİLER .....</b>	<b>78</b>
<b>6. KAYNAKLAR.....</b>	<b>79</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>84</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

		<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1	Betonu oluşturan malzemelerin yaklaşık hacimce oranları	10
Şekil 2.2	Sertleşmiş beton kesiti, çimento hamuru ve agrega	11
Şekil 2.3	Beton dayanımına etki eden faktörler	13
Şekil 2.4	Emülsiyon prosesi	31
Şekil 2.5	Stiren bütadien kopolimeri üretimi akım şeması	32
Şekil 2.6	Çimento tanesiyle akışkanlaştırıcı molekülünün etkileşimi	33
Şekil 2.7	Çimento + su+ akışkanlaştırıcı ortamda çimento tanecikleri	35
Şekil 2.8	Hava kabarcıklarının etkileşimi	36
Şekil 2.9	SA'ların dağılma etkisi ve PC'lerin etkisi	37
Şekil 2.10	Agregalar arası hava boşluklarının etkileşim mekanizması	38
Şekil 3.1	Ocaktan alınan 0-4 mm doğal kum	40
Şekil 3.2	Ocaktan alınan 0-7 mm kırma taş agregalar	40
Şekil 3.3	Ocağından alınan 5-15 mm agregalar	40
Şekil 3.4	Stiren bütadien kopolimerin görünümü	43
Şekil 3.5	Polikarboksilat akışkanlaştırıcının formülü	44
Şekil 3.6	Deney akış şeması	46
Şekil 3.7	Elek analizinin yapılması	47
Şekil 3.8	Stiren bütadien tartımı	49
Şekil 3.9	SBR katkılı kendiliğinden yerleşen beton yayılımı	51
Şekil 3.10	Beton karışımının kalıplara yerleştirilmesi	52
Şekil 3.11	Beton numunelerinin kür havuzuna yerleştirilmesi	53
Şekil 3.12	Beton numunelerin üzerinde basınç deneylerinin yapılması	54
Şekil 3.13	Çözünme kabinde dondurulan numuneler	56
Şekil 3.14	Kılcal su emme için parafin ile sarılmış numuneler	57
Şekil 4.1	Beton karışımında slump bakılması	61
Şekil 4.2	Beton numunelerin basınç dayanımları	65
Şekil 4.3	Beton numunelerin su emme değerleri	66
Şekil 4.4	Yarmada çekme dayanım değerlerinde değişim	67



Şekil 4.5	Malzemelerin yığılımlı miktar grafiği	68
Şekil 4.6	Kılcal su emme grafiği	69
Şekil 4.7	Kontrol ve SBK katkılı numunelerin SEM-EDS görünümü	71
Şekil 4.8	%1SBK katkılı numunelerin SEM-EDS görünümü	72
Şekil 4.9	%3SBK katkılı numunelerin SEM-EDS görünümü	73
Şekil 4.10	%5SBK katkılı numunelerin SEM-EDS görünümü	74
Şekil 4.11	%8SBK katkılı numunelerin SEM-EDS görünümü	75



## ÇİZELGE LİSTESİ

		<u>Sayfa No</u>
Çizelge 2.1	Kıvamlarına göre betonların çökme değerleri	20
Çizelge 2.2	En büyük agrega tane büyüklüklerine göre betonlar	20
Çizelge 2.3	Karakteristik basınç dayanımlarına göre betonların	21
Çizelge 2.4	Birim ağırlıklarına göre betonların sınıflandırılması	21
Çizelge 2.5	Lâteks modifiye beton polimerlerin genel özellikleri	28
Çizelge 3.1	Bazı tip agregaların özgül ağırlık ve su emme oranları	41
Çizelge 3.2	Çimentonun kimyasal analizi	42
Çizelge 3.3	Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri	42
Çizelge 3.4	Stiren bütadien kopolimerin fiziksel ve kimyasal özellikleri	43
Çizelge 3.5	Akışkanlaştırıcının fiziksel ve kimyasal özellikleri	44
Çizelge 3.6	Karışım granülometrisi	47
Çizelge 3.7	Doğal kum ve agregaların özellikleri	49
Çizelge 3.8	Beton karışım bilgileri	50
Çizelge 3.9	Beton karışım dizayn bilgileri	50
Çizelge 3.10	Beton karışım rutubet düzeltmeleri	51
Çizelge 3.11	Ultrases – beton kalitesi ilişkisi	58
Çizelge 4.1	Agregaların su emme oranı	60
Çizelge 4.2	Agregaların özgül ağırlık değerleri	61
Çizelge 4.3	Beton numunelerin yayılma sonuçları	62
Çizelge 4.4	Taze betonların birim ağırlık deney sonuçları	62
Çizelge 4.5	Birim ağırlıkları	63
Çizelge 4.6	Beton numunelerin basınç dayanımları	64
Çizelge 4.7	Su emme oranı	65
Çizelge 4.8	Yarmada çekme dayanımları	67
Çizelge 4.9	Kılcal su emme değerleri	68
Çizelge 4.10	Ultrases hızları	69

## SİMGELER VE KISALTMALAR

SBK	Stiren bütadien kopolimer
YDB	Yüksek dayanımlı beton
Lb	Libre
ft <sup>3</sup>	Fitküp
yd <sup>3</sup>	Yardaküp
MPa	Megapascal
TS EN	Türk Standartları
ACI	Amerikan Beton Enstitüsü
DKY	Doğun kuru yüzey
d	Yoğunluk
ASTM	American Society for Testing and Materials
NA	Normal akışkanlaştırıcı katkı
SA	Süper akışkanlaştırıcı katkı
TÇMB	Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği
Rf	Eğilme dayanımı
Rc	Basınç dayanımı
Fc	Kırılmadaki en büyük yük
Sn	n döngü sonrası yığıntı miktarı
NSF	Naftalin sülfonat formaldehit
MSF	Melamin sülfonat formaldehit
PC	Polikarbosilat
LMB	Lateks modifiye beton
SEM	Taramalı elektron mikroskop
EDS	Enerji dağılımı spektroskopisi

## ÖZET

### STİREN BÜTADIEN KOPOLİMERLER İLE MODİFİYE EDİLMİŞ YÜKSEK DAYANIMLI BETON ÜRETİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Murat DOĞAN

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Disiplinlerarası Kompozit Malzeme Teknolojileri

Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Alper BİDECİ

Aralık 2015, 84 sayfa

Polimer modifiye edilmiş betonun kullanımı tüm dünyada ve ülkemizde oldukça yaygınlaşmaktadır. Betona polimer modifiye edilerek yüksek dayanımlı beton (YDB) elde edilmektedir. YDB kullanımı ile betonarme eleman kesitlerinin küçülmesi ve daha geniş açıklıklarının geçilmesi sağlanmaktadır. Bununla beraber yüksek dayanımlı betonun çevresel etkilere olan dayanıklılığı daha yüksek olduğundan, bakım giderlerini düşürebilmekte ve yapının hizmet ömrünü uzatabilmektedir. Beton karışımlarına polimer olarak non-iyonik karboksile edilmiş stiren bütadien ilave edilmesi taze haldeki betonun işlenebilmesini büyük ölçüde artırmaktadır.

Çalışmada, C50/60 dayanım sınıfında tasarlanan tasarımlarında üretilen yüksek dayanımlı betona Stiren Bütadien Kopolimeri (SBK) çimento yerine ağırlıkça %0, %1, %3, %5 ve %8 ikame edilmiştir. Üretilen betonların fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Bunun için, birim ağırlık, su emme oranları, 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları, yarmada çekme dayanımları, kılcal su emme, ultrases geçiş hızı ve donma çözülme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Ayrıca, numunelerin SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) ve EDS (Enerji Dağılımı Spektroskopisi) analizleri incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda, %1 SBK katkılı beton numunelerin daha yüksek değerler verdiği ve dayanıma katkıda bulunduğu belirlenmiştir.

**Anahtar sözcükler:** Stiren Bütadien Kopolimer (SBK), Yüksek dayanımlı beton (YDB), Dayanım, SEM-EDS analizleri

## **ABSTRACT**

### **INVESTIGATION OF HIGH STRENGTH CONCRETE PRODUCIBILITY MODIFIED WITH STYRENE-BUTADIENE COPOLYMERS**

Murat DOĞAN  
Düzce University

Institute Of Science and Technology, Department of Interdisciplinary Composite  
Material Technologies  
Postgraduate Thesis

Advisor: Assistant Professor Doctor Alper BİDECI  
December 2015, 84 pages

The use of polymer modified concrete is becoming quite common all over the world and in our country. Especially the use of high strength concrete (HSC) on highways, allows to decrease number of beam in bridges and viaducts, short depth of beams and increase traversed span. Crossing the longer openings can cause a decrease in the bridge feet and reduce complexity of the project, construction time, cost. However, because of the higher resistance of high strength to the environmental impact, can decrease maintenance costs and extend service life of construction. Addition of non-ionic karboksil styrene budatiene as a polymer affects greatly the workability of fresh concrete and benefits to the country's economy by decreasing time spent for labor.

In the study, physical and mechanical properties of high strength concretes produced in C50/60 desings has been investigated by adding styrene budatiene copolymer (SBC) percentage by weight different rates Control (0%), %1, %3 %5 and %8 instead of cement. Therefore, unit weight, water absorption ratios, 3, 7 and 28-day compressive strength, splitting tensile strength, ultrasonic pulse velocity and frost resistance tests were performed. Also SEM (Scanning Electron Microscopy) and EDS (Energy Dispersion Spectroscopy) analysis of samples were investigated. As a result of study, these has been identified that %1SBC concrete samples gave higher values and contributed to strength.

**Keywords:** High Strength Concrete (HSC), SEM-EDS, Strength, Styrene Budatiene Copolymers (SBC)

## **EXTENDED ABSTRACT**

### **INVESTIGATION OF HIGH STRENGTH CONCRETE PRODUCIBILITY MODIFIED WITH STYRENE-BUTADIENE COPOLYMERS**

Murat DOĞAN

Düzce University

Institute Of ScienceandTechnology, Department of InterdisciplinaryCompositeMaterial  
Technologies

PostgraduateThesis

Advisor: Assistant Professor Doctor Alper BİDECI

December 2015, 84 pages

#### **1. INTRODUCTION:**

The use of polymer-modified concrete is becoming quite common all over the world and in our country. High strength concrete (HSC) is obtained by modifying polymer. Polymer occurs with a chain structure obtained from a chemical reaction by a large number of organic molecules called monomer. Styrene-butadiene copolymers produced by the polymerization of styrene and copolymers butadien. Styrene-butadiene copolymers show rubber and plastic characteristic according to amount of comonomers. The amount of styrene increased plastic properties also increases. In the study, styrene-butadiene copolymers (SBC) have been substituted instead of percentage %0, %1, %3, %5 and %8 by weight of cement. Physical and mechanical properties of concrete produced were investigated. For this, unit weight, water absorption ratio, 3, 7 and 28-day compressive strength, splitting tensile strength, capillary water absorption, ultrasonic pulse velocity and freeze-thaw resistance strength tests were carried out. Additionally SEM (scanning electron microscopy) and EDS (energy dispersion Spectroscopy) analysis of samples were investigated. As a result of study, concrete samples containing 1% SBC gave higher values and contributed to strength.

#### **2. MATERIAL AND METHODS:**

Aggregates used in the study, has been provided chossing homogeneously from quarry of Gebze Kibsaş Corporation according to aggregate particle size. The aggregates obtained, was broken three different sizes. 5-15 mm, 0-7 mm and 0-4 mm are washed natural sand. Used

aggregates origin limestone and all aggregate experiments were performed according to TS 706 EN 121620+A1 standarts.

CEM I 42.5 R type of Portland cement is used as a binding material in the production of concrete and provided from Nuh Cement Indusrty Corporation. Styrene-butadiene (SBC) used in research provided from Univar Company and water from the Kocaeli city water supply network were used. In the study, polycarboxylate based (PC) plasticizer was used. For each experiment, 15 concrete mixtures, 150x150x150 mm sizes, percentage control(%0SBC), %1SBC, %3SBC, %5SBC, %8SBC by the weight of cement were designed for desing of C50/60 SBC concrete contributed SBC and plasticizing agent. The granulometry of the concrete mixture produced in the study has been chosen according to B32 TS en 933-1:2012. Inmixtures, 500 kg/m<sup>3</sup> dosage concrete is manufactured by using CEM I 42.5 R cement that specific gravity 3.15 g/cm<sup>3</sup>. Produced on fresh concrete Unit weight and span (flow), on samples of hardened concrete, dry unit weight, water absorption, capillary water absorption, freeze-thaw splitting tensile strength, compressive strength, ultrasonic pulse velocity SEM-EDS analyses were done.

### **3. RESULTS AND DISCUSSIONS:**

In this study, in consideration of results of experiments and analysis performed according to TS EN and ASTM standarts, in the concrete samples prepared with the SBC contribution %0, %1, %3, %5, %8 rates by weight of cement, suitable SBC rate were investigated. SBC samples according to the concrete contribution is coded as follows.

%0SBC concretes %0Control

%1SBC concretes %1SBC

%3SBC concretes %3SBC

%5SBC concretes %5SBC

%8SBC concretes %8SBC

The water absorption percentage upon air dry weight of aggregates and the specific gravity of the aggregates were determined on the basis volume displacement aggregate and water. For the purpose of determine workability of fresh concrete, slump test with slump cone method, slump test for the spread of concrete samples (SBC), unit weight test of produced concrete were investigated performing unit weight, 3, 7 and 28-day compressive strength, water absorption ratio, splitting tensile strength, freeze-thaw test, capillary water absorption, ultrasonic pulse velocity and the SEM-EDS analysis of hardened concrete samples.

#### **4. CONCLUSION AND OUTLOOK:**

In the results of the aggregate experiments; water absorption rates; %0.7- %1.4 for 0-15 mm, %0.6 for natural sand and specific weights were determined between rates of 2.63–2.70 g/cm<sup>3</sup>. As a result of the fresh concrete tests; slump value of the control concrete (%0SBC) is S4 consistency, spread values of concretes are between 73-75 mm and unit weights of concretes produced with SBC are between 2290-2340 kg/m<sup>3</sup>. As a result of tests on hardened concrete; weights units are ranged between 2305 kg/m<sup>3</sup> 2230 kg/m<sup>3</sup>, the highest compressive strength at 28 day sobtained from %1SBC samples (65.58 MPa) and low strength obtained from %8SBC samples (35.66 MPa), depending on increase of SBC water absorption of the samples is reduced, the 28-day splitting tensile strength of samples were, respectively, between 3.58-4.76 MPa, cumulative weights are reduced in samples exposed to freze and thaw influence due to the increase of SBC and ultrasonic pulse velocity was found to be between 3.94 km/s 4.12 km/s.

As a result of the study, it was determined that %1 SBC concrete samples are participate in high strength concrete category and have optimum results compared to other series.



## 1.GİRİŞ

Ülkemizde meydana gelen depremler ve akabinde oluşan büyük hasarlı yapılar dikkate alındığında kaliteli ve yüksek dayanımlı betonların önemi ortaya çıkmıştır. Beton her ne kadar düşük teknoloji isteyen, yapımı kolay bir malzeme olsa da belirli bir basınç dayanımına sahip, dizaynı ve üretiminde bazı hususlara dikkat edilmesi gerekir. Bunlardan bazılarını şöyle sıralanabilir; dizayn edilen bir betonun su/çimento oranı kesinlikle bozulmamalı ve işlenebilirliği artırmak için herhangi bir taze beton karışımına hesap dışı su ilave edilmemelidir. Aksi takdirde karışımın su/çimento oranı değişecek, dolayısıyla beton karışımı, dizayn karışımından farklı olacağı gibi beton dayanımında da düşüşler gözlenecektir. Beton karışımına konulacak suyun içeriğinde tuz ve asit gibi betona zarar verecek kimyasal bileşenler olmamalı ya da şartnameler ile sınırlandırılmış değerlerin altında olmalıdır.

Kaliteli, yüksek dayanımlı ve performanslı beton üretiminde işçiliğin ve çalışan işçilerin de önemli katkısı bulunmaktadır. 1000 yıla dayanacak yekpare monolitik bir temelin beton dizaynını yapan Mehta ve Langley, uygulamada işçiliğin ve bu işte çalışan elemanların çok önemli olduğunu vurgulamıştır [1].

Günümüz beton teknolojisinde akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanımı işlenebilirlik açısından sağladığı kolaylıklarla ve ekonomik faydalarıyla bir zorunluluk haline gelmiştir. Kendiliğinden Yerleşen Betonun (KYB) kullanımıyla vibrasyon olmaksızın, işçilik kusurlarının azaltılabilmesi, üretimin hızlanması, çalışma koşullarının iyileşmesi gibi pek çok avantaj, üreticiyi KYB kullanımına yöneltmektedir [2].

Son yıllarda beton teknolojisinde kaydedilen yeni gelişmelerin başında iki önemli konu göze çarpmaktadır:

1. Dayanım sınıfı yüksek ve saldırgan ortamlarda (çevresel etkilerde) daha dirençli yüksek performanslı beton üretimine sıkça başvurulması,
2. Buna bağlı olarak işlenebilirlik koşullarının, diğer bir anlatımla taze betonun kıvamının, su/çimento oranının düşürülmesi yoluyla iyileştirilmesine gidilmesidir.

Şu halde, gerek dayanım sınıfının ve gerekse dayanıklılığının üst düzeyde sayılabilmesi için betona iki özelliğin yüksek değerlilikte kazandırılması gerekir.

1. Beton basınç dayanımı yüksek olmalıdır ( $\geq C 30/37$ ).

2. Beton sıkı yapılı olmalı ve olabildiğince geçirimsiz özellik göstermelidir.

Ancak beton teknolojisinde bilinen bir gerçek vardır. Betonun kendisinden beklenen bu özelliklere sahip olabilmesi için öncelikle sık donatı aralıklarından kendiliğinden geçebilecek ve kalıp içerisinde rahatlıkla yerleşebilecek bir kıvamda olması istenmektedir.

Bu çalışmada, C50/60 beton tasarımlarına çimento ile ağırlıkça %0, %1, %3, %5, %8 oranlarında Stiren Bütadien kopolimer (SBK) ikame edilmiştir. Elde edilen beton numunelerin, birim hacim ağırlık (BHA), su emme, donatı dayanım, 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları, yarmada çekme dayanımları, ultrases ve kılcak su emme deneyleri TS EN ve ASTM standartları esas alınarak incelenmiştir.

Yapılan bu tez çalışmasında amaç ve yenilikler şunlardır:

Amaçlar;

- SBK katkısının kullanım alanının artırılması,
- Polimer malzemelerin farklı kullanım şekillerinin bulunması,
- Su emmesi düşük yeni beton türünün elde edilmesi,

Yenilikler;

- SBK akışkan katkılı yeni beton türünün oluşturulması,
- Literatüre, SBK ile üretilen beton konusunda özgün bir çalışma yaparak katkıda bulunulması,
- Literatüre polimer malzemelerin farklı kullanım şekillerinin olabileceği, SBK malzemenin betonda dayanımın artmasına sebep olabileceğinin belirlenebilmesidir.

## 2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Uzun yıllardan beri en önemli yapı malzemesi olma özelliğini koruyan ve güncelliğini kaybetmeyen beton, inşaat uygulamalarında, özellikle mühendislik yapılarında bu önemini daha da artırmıştır. Bu yapılar arasında; yollar, sulama kanalları, köprüler, barajlar ve konutlar sayılabilir. Betonun tercih edilme nedeni; şekil verilebilme kolaylığı, fiziksel ve kimyasal kaynaklı dış etkilere karşı dayanıklılığı, ekonomik oluşu, üretimi ve yerine yerleştirmedeki kolaylık olarak sıralanabilir [3].

Essa M.S ve Hassan N.F. (2008), Stiren Bütadien Kauçuk (SBR) katkısının eski ve yeni betonlara etkisini araştırdıkları çalışmalarında; çimento harçlarına su ile hacimce % 10, % 25 ve % 35 oranlarında SBR ikame ederek, 7, 28 ve 60 günlük basınç ve eğilme dayanımlarını incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda; eski ve yeni betonlarda SBR ilavesinin basınç ve eğilme dayanımlarının kür süresi ile doğru orantılı arttığını belirtmişlerdir. 7, 28, 60 gün basınç dayanımlarında, kontrol numunesine göre SBR ilavesi arttıkça basınç dayanımları azaldığı görülmüştür [4].

Rossignolo ve Agnessini (2002), polimer ile modifiye edilmiş hafif betonların iki çeşit Brezilya hafif agregalarına polimer olarak stiren-bütadien lateks (SBR) ilave edilerek mekanik özellikleri üzerine yaptıkları çalışmada, elde edilen betonların 7 günlük basınç dayanımlarının 39.7-51.9 MPa arasında değiştiğini, çalışmanın sonucunda Brezilya hafif agregalarına SBR modifiye edilerek ince prefabrik komponent malzeme üretilebileceğini tespit etmişlerdir [5].

M. Shafieyzadeh (2013), Stiren Bütadien Kopolimer (SBK) ile ilgili bir çalışmada SBK ve Silis Dumanı içeren betonların basınç dayanımlarını incelemiştir. Çalışmada agrega, çimento, SBK ve işlenebilirliği ayarlamak içinde akışkanlaştırıcı kullanmıştır. Çalışmada %0, %5, %10, %15 SBK ve %0, %5, %7,5, %10 Silika dumanı kullanarak beton karışımlarını hazırlamışlardır. Polimer oranının artışıyla basınç dayanımlarının azaldığını ve en ideal oranın %5 SBK olduğunu belirtmişlerdir [6].

Şengül ve Doğan (2003), polimer katkıli betonların mekanik ve durabilite özellikleri konulu çalışmalarında; normal dayanımlı bir beton ile aynı karışıma çimento ağırlığının %5'i oranında polimer ilave edilen betonlar üretmişlerdir. Çalışmanın sonucunda polimer (non-iyonik karboksile edilmiş stiren bütadien kopolimer lâteks) ilave edilmesinin taze haldeki betonun işlenebilmesini büyük ölçüde etkilediğini belirtmişlerdir [7].

Karahan ve Atiş, tarafından laboratuvar ortamında gerçekleştirilen araştırmada, beton karışımında çimento miktarının yerine (% 40'ına kadar) mineral katkı malzemesi olarak kullanılan uçucu kül'ünün, YDB'nin özellikleri üzerindeki etkileri incelemişlerdir. Karışımdaki su/bağlayıcı (çimento+kül) oranı 0,35'lere çekilen, işlenebilirliği arttırmak için hiper akışkanlaştırıcı kullanılan 150×150×150 mm küp numunelerin 7, 28, 90 ve 365 günlük beton basınç dayanımları sırasıyla 65, 78, 87 ve 103 MPa olarak ölçülmüştür. Termik santralinde ikincil ürün olarak meydana çıkan uçucu külün beton karışımında kullanılmasının hem ekonomik hem de ekolojik olarak fayda elde edilebileceğini vurgulamışlardır [8].

Çimentoların içyapısı incelendiğinde, C<sub>3</sub>S ve C<sub>2</sub>S'in hidrasyonu sonunda meydana gelen Ca(OH)<sub>2</sub> veya portlandit, hegzogonal kristallerden oluştuğu ve yığınlar halinde hidrate elemanların arasındaki boşlukları doldurduğu görülür. Hidrasyonunu tamamlamış, boşluklar dışındaki çimento hamuru hacminin; %58'i (C-S-H)'den, %27'si Ca(OH)<sub>2</sub> veya portlandit'ten, %15'i diğer hidrate elemanlardan meydana gelir. Bu demektir ki, hidrasyonunu tamamlamış bir çimento hamuru C-S-H (calcium-silicate-hydrate) ve portlandit'ten oluşan bir matris ile diğer hidrate elemanlardan oluşur [9].

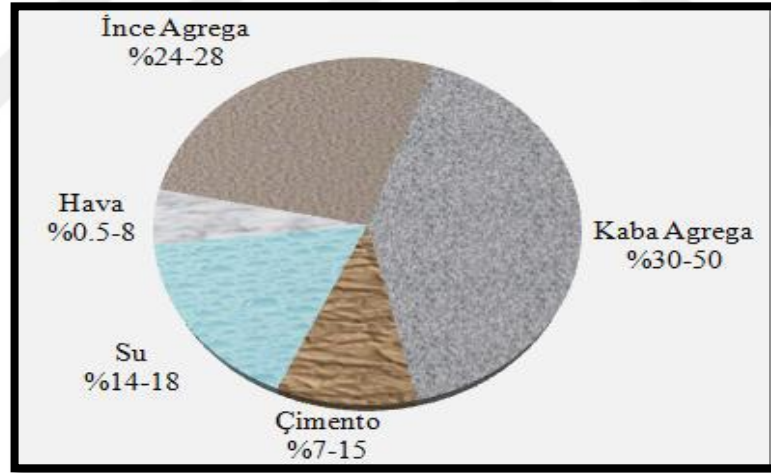
Sağlam, Parlak, Doğan ve Özkul (2004), KYB ve katkı-çimento uyumu adlı çalışmalarında, değişik adet ve değişik çimento çeşitleriyle deneyler gerçekleştirerek yayılma hızlarını tespit etmişlerdir. Denenen betonların 1 günlük dayanımlarının hem çimento, hem de katkı cinsinden etkilendiği, ayrıca bazı çimento ve katkıların birlikte kullanılmaları durumunda büyük miktarda hava sürüklendiği ve bunun da dayanımlarını etkilediği belirlenmiştir. Taze beton özellikleri ve dayanımlar açısından çimento-katkı etkileşmesinin önemli olduğunu, bu nedenle uygulamaya geçmeden önce çimento-katkı uyum deneylerinin yapılması gerektiği sonucuna varmışlardır [10].

Şimşek, Bektaş ve Erdal (2002), vibrasyon süresinin betonun basınç dayanımına ve birim ağırlığına etkisi adlı çalışmalarında, 10x10x10 cm'lik küp numuneler hazırlayarak masa vibratörü ile değişik sürelerde vibrasyon uygulamışlardır. Üzerinde numunelerin basınç dayanım değerleri ve birim ağırlıklarını belirlemişlerdir. Vibrasyonun betonarme için önemli olduğunu ortaya koydukları çalışmada, KYB de herhangi bir vibrasyona gerek olmadığı için hem zaman, hem gürültü hem de ekonomik açıdan büyük bir avantaj sağladığını belirtmişlerdir [11].

## 2.1. BETON VE ÖZELLİKLERİ

En genel ifade ile beton; çimento, agrega, su ve gerektiğinde bazı mineral ve/veya kimyasal katkı maddelerinin birlikte karıştırılmaları sonucunda elde edilebilen bir malzemedir[12].

Şekil ve boyutları belirli kalıplara yerleştirilen ve bir süre sonra dayanım kazanmakta olan betonun karışımı belirli oranlara göre yapılır (Şekil 2.1)[13].

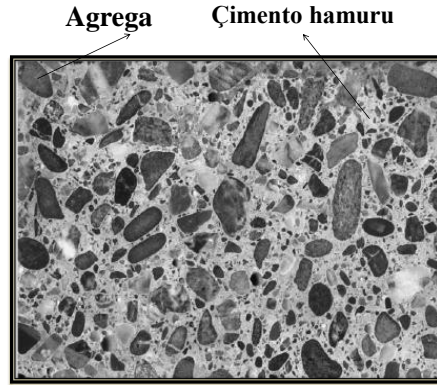


Şekil 2.1. Betonun oluşturan malzemelerin yaklaşık hacimce oranları.

Betonarme yapıların, alternatif malzemelerle inşa edilen diğer yapılara göre üstün yönleri, betonun tercih edilmesinin temel nedenidir. Çelik ve ahşaba nazaran betonarme yapıların rijitliği daha yüksek olup bu sayede sınırları aşan titreşimler ve büyük yer değiştirmeler oluşmamaktadır. Çelik ve ahşaba göre, dış etkilere karşı daha dayanıklı olan beton elemanların ömrü daha uzun ve bakımları daha kolaydır. Kalıp işçiliği sayesinde betonarme taşıyıcı sistem elemanlarına istenilen şekil verilebilmekte, ahşap ve çelikte olduğu gibi elemanlarının birleşme sorunu olmamaktadır. Dayanımı yüksek olan beton ile yüksek yapılar yapmak mümkündür [14].

Betonda aranılan en önemli özellik, basınç mukavemeti olarak görülmektedir. Beton basınç mukavemetini etkileyen faktörlerden en önemlileri; agrega tane dayanımı ve granülometrisi, çimento standart dayanımı, su/çimento oranı ve betonun doluluk oranı olarak sıralanabilir. Betonun olabildiğince sıkı yapılı olması, onun mekanik dayanımının da yüksek olabileceğinin en önemli göstergesidir. Beton birim kütlelerinin yüksek olması için kaba agrega miktarının standart dağılım ölçüleri içerisinde mümkün olduğu kadar fazla olması gerekmektedir. Diğer taraftan ince agrega miktarının da kaba agrega boşluklarını doldurabilecek miktar ve dağılımda olması kaçınılmazdır [15].

Karışıma dahil edilen çimento, su ile birleşerek çimento hamurunu oluşturmaktadır. Çimento hamuru agrega tanelerinin yüzeyini kaplayarak aderansı sağladığı gibi taneler arasındaki boşlukları da kısmen doldurmaktadır (Şekil 2.2). Bu işlevi ile çimento esas olarak bağlayıcılık görevini yapmakta; agrega ise, betonun asıl yük taşıma iskeletini oluşturan kum, çakıl, kırma taş gibi ince ve iri tanelerden meydana gelmektedir. Butaneler genellikle doğal yollardan oluşmuş mineral malzemelerdir [16].



**Şekil 2.2.** Sertleşmiş beton kesiti, çimento hamuru ve agrega.

Çakıl ve kumun dayanımı hiçbir zaman çimento dayanımından daha düşük olmamalıdır. Agreganın dayanımı çimento dayanımından düşük olursa, yapılan betonun gücü çimento dayanımına erişilmeden agreganın kırılması ile tükenecektir. Bu durumda, karışım oranlarını değiştirerek veya çimento miktarını artırarak dayanımı yükseltmek olanaksız olacaktır [17].

Beton dayanımının, ince malzeme ve çimentonun oluşturduğu hamurun agrega tanelerini bağlama gücüne ve agrega tanelerinin dayanımına bağlı olarak pekiştirdir. Çimentoyla suyun karışımından oluşan çimento hamuru zamanla katılaşıp sertleşerek agrega tanelerini birbirine bağlar ve yapıştırır. Böylece betonun dayanım

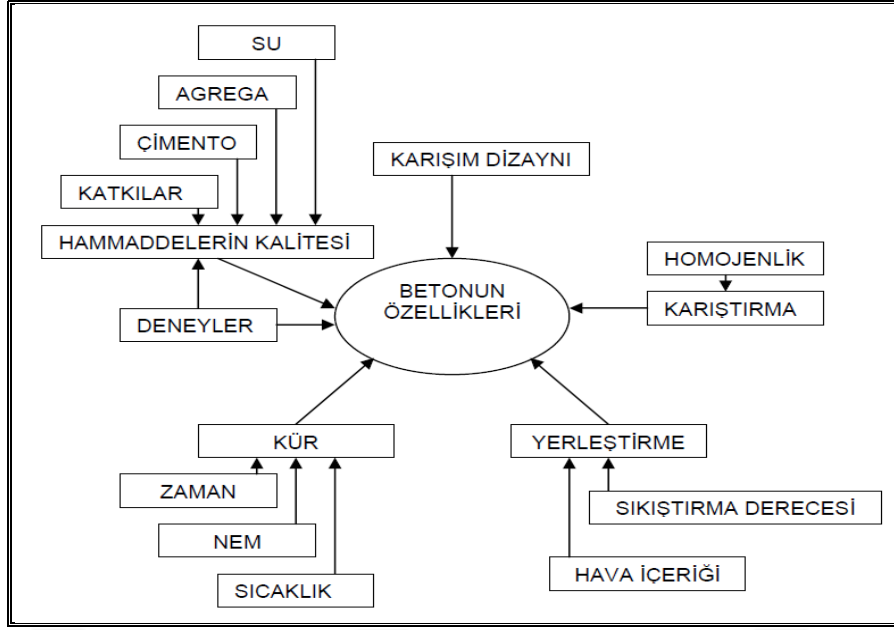
kazanması da gerçekleşmiş olur. Agrega tanelerinin arasında kalan boşluk miktarının olabildiğince az olmasının dayanımı artırıcı bir faktör olduğu açıktır. İnce malzemeler, çimentonun su ile hidratasyonu sırasında oluşan jeller arasındaki boşlukları doldurarak bağlayıcılık etkinliğini artırır [18].

Türkiye’de genellikle çimento fabrikalarına yakın mesafede olan ve büyük kaynağı bulunan ocaklardan kırma taş ile birlikte önemli miktarda kırmataş tozu da yan ürün olarak elde edilmektedir. Bu toz malzemenin ekonomiye kazandırılması anılan nedenlerle büyük önem taşımaktadır.

Klinker ile birlikte öğütülerek veya ince toz haline dönüştürüldükten sonra çimentonun sınırlı bir bölümüyle yer değiştirilip kullanılması olanaklarının araştırılmasına gereksinim vardır. Böyle bir çaba, daha az yakıt kullanılmasını sağlayacak ve çevrenin daha az kirlenmesine katkıda bulunacaktır. Öte yandan, kalker tozu betonun ince agregasının bir bölümüyle yer değiştirilerek de kullanılabilir. Bundan dolayı, hem beton niteliğini yükseltme hem de iktisatlı üretim gerçekleştirme düşüncesi, uygun oranlarda ince taneli mineral malzeme kullanımını gerekli kılmaktadır. İyi beton; maruz kaldığı yüklere ve çevre etkilerine karşı hizmet ömrü boyunca, fiziksel ve kimyasal bütünlüğünü koruyabilen, dayanımı yüksek, geçirimsiz betondur. Betonda kalitenin ölçüsü, basınç dayanımına göre değil, betonun ekonomik ömrü boyunca maruz kaldığı çevre etkilerine ve yüklere karşı dayanıklılığıdır [19].

Betonun dayanım ve dayanıklılığı, birçok parametrenin etkisi altında şekillenmektedir. (Şekil 2.3)

- Kullanılan malzeme (agrega, çimento, su, kimyasal ve mineral katkıları)
- Uygun tasarım
- Su/çimento oranı
- Üretim teknolojisi
- Yerleştirme, sıkıştırma
- Bakım (kür)



**Şekil 2.3.** Beton dayanımına etki eden faktörler.

Agregalar; beton içerisinde hacimsel olarak %60-75 oranında yer işgal ederler. Agregalar,

- Doğal kum-çakıl, ocaklarından yani akarsu yataklarından, alüvyon deltalarından,
- Doğal Taş Ocaklarından kayaların kırılması ve elenmesi ile elde edilirler.

Beton agregalarının,

- Tane büyüklüğü dağılımlarının (granülometri) birbirlerinin boşluklarını dolduracak şekilde olması,
- Yassı ve uzun taneler yerine kübik ve küresel olması,
- Sert, dayanıklı ve boşluksuz olması, kavkı gibi zayıf maddeler içermemesi,
- İçerisindeki ince malzemenin kalitesi (kil, silt, mil vb. içermemesi),
- İçerisinde organik maddeler bulundurmaması,
- Tanelerin yoğunluklarının yüksek ve su emme oranının düşük olması,
- Parçalanmaya ve aşınmaya karşı direncinin yüksek olması,
- Donma ve çözülmeye karşı direncinin yüksek olması,
- Çimento ile zararlı kimyasal reaksiyonlara girerek Alkali-Silika Reaksiyonu oluşturumaması gerekir.



Portland çimentolar; %79 kalker, %21 kil yaş veya kuru yöntemle değirmenlerde karıştırılıp 1400-1500 °C'de döner fırınlarda pişirilmesiyle üretilir. Elde edilen klinkere öğütme aşamasında %4-5 oranında alçı taşı ilave edilir. Bunların dışında tek veya birkaçı bir arada olmak üzere tras, fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı gibi puzolanlar katılarak katkılı çimentolar elde edilir. Çimentoların fiziksel, mekanik (2, 7 ve 28 günlük basınç ve eğilme dayanımları, genleşme değerleri, priz süreleri, inceliği) ve kimyasal özellikleri TS EN 197-1 standardına uygun olmalıdır.

Betonda kullanılan karışım suyunun iki önemli işlevi vardır.

- Kuru haldeki çimento ve agregayı ıslatarak plastik hale getirmek,
- Çimento ile kimyasal reaksiyonu gerçekleştirmek ve plastik kütlede sertleşmesini sağlamaktır.

İçilebilir nitelikte olan tüm sular beton karışımında kullanılabilir. Su mümkün olduğu kadar temiz olmalı, yağmur ve kar suları kullanılmamalı, içerisinde şeker, klor, sülfat, yağ, kil, silt ve kimyasal atıklar bulunmamalıdır. Karışımında suyun yeteri kadar olmaması durumunda çimento hidratasyonunu tam olarak yapamayacak, agrega tanelerinin yüzeyi tam olarak ıslanamayacak, agrega tanesi ile çimento pastası arasındaki aderans zayıf olacak ve yeterli işlenebilirlik elde edilemeyecektir. Taze betona kıvam kazandırmak amacıyla fazladan su katılması durumunda ise, betonun bünyesinde çimento ile reaksiyona girmeyen fazla suyun bıraktığı boşluklar yalnız dayanımı düşürmekle kalmayacak boşluklardan içeri giren klor, sülfat gibi zararlı unsurlar beton ve donatıya zarar verecek betonun dayanıklılığını da düşecektir.

Karışımındaki su Miktarı ile dayanım arasında ilişki vardır. Şöyle ki;

Suyun %20 fazla olması dayanımda %30 azalmaya,

Suyun %30 fazla olması dayanımda %50 azalmaya

Suyun %100 fazla olması dayanımda %80 azalmaya neden olmaktadır.

Kimyasal beton katkı maddeleri, betonun bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri de değişiklik yapmak amacıyla, beton karışım suyuna belirli oranlarda katılan katılardır.

En yaygın kullanılan kimyasal katkılar;

- Su azaltıcılar (akışkanlaştırıcılar)
- Priz geciktiriciler,
- Priz hızlandırıcılar,

- Hava sürükleyiciler,
- Su geçirimsizlik sağlayıcılar,
- Antifrizlerdir [20].

İyi bir beton üretimi için agregalarda bulunması gereken şartlar şunlardır.

1. Tane dağılımı (granülometrik bileşim) TS 706 EN 12620+A1'nın gereklerini yerine getirmelidir. Boşluksuz bir beton karışımı elde edilmesine elverişli olmalıdır [21].

2. Tane şekli kübik olmalıdır. Şekilce kusurlu (yassı ve uzun) taneler içermemelidir.

3. Tane dayanımı, istenen özellikte bir betonun yapımı için yeterli olmalıdır. Sert, dayanıklı ve boşluksuz ve aşınmaya dayanımlı olmalıdır.

4. Sık sık donma-çözülme etkisinde kalan betonlar için, dona dayanıklı olmalıdır.

5. Kil, silt, mil ve toz gibi beton dayanımını ve aderansı olumsuz etkileyen zararlı maddeleri içermemelidir.

6. Organik kökenli maddeler içermemeli özgül ağırlığı ile dayanım ilişkisi dikkate alınmalı.

7. Beton ve betonarmenin durabilitesini olumsuz yönde etkilememelidir. Agregalar sertleşmiş betonda zararlı hacim artışına ve bu nedenle tahribata neden olabilen sülfatlar, donatı korozyonuna neden olabilecek bazı tuzlar ve klorür içermemelidir.

8. Betonda alkali-silika reaksiyonuna neden olabilecek aktif silisleri içermemelidir [22].

Taze betonun kolayca karılabilmesi, segregasyon yapılmadan taşınabilmesi, yerleştirilebilmesi, sıkıştırılabilmesi ve yüzeyinin düzeltilmesi, betonun ne ölçüde işlenebilir olduğunu göstermektedir. O nedenle, bu özelliklerin tümü, işlenebilme adı altında tek bir özellik olarak ifade edilmektedir. İşlenebilme, taze betonun katılma göstermeden önceki durumuyla ilgili bir özellik olduğundan, betonun karıştırma işleminden itibaren ne kadar süre içerisinde katılma göstereceği (yani priz süresi), betonun kullanılacağı yapı tipi için oldukça önemli olmaktadır. Çimento ve su arasındaki kimyasal reaksiyonların yer alma hızı (hidratasyon hızı), priz süresinin kısalığı veya uzunluğu etkileyen önemli bir faktördür. İşlenebilme, taze betonun en önemli özeliğidir. Yeterli işlenebilmeye sahip olmayan taze beton, sertleştiğinde yeterli dayanımı ve dayanıklılığı göstermez [23].

Kıvam, taze beton karışımının ıslaklık derecesi anlamına gelmektedir. Kıvam teriminin taze betondaki su miktarı olarak tanımlanması yanlıştır. Kıvam, betonun ne ölçüde ıslak veya kuru olduğunu tanımlamaktadır. Kıvamı çok yüksek olan bir taze beton, düşük kıvamdaki bir betona göre daha rahat karılabilmekte daha rahat pompalanabilmekte ve çoğu kez daha rahat yerleştirilebilmektedir. Ancak beton kıvamının çok yüksek olması, betonun işlenebilirliğinin mutlaka yeterli olduğu anlamına gelmemektedir. Zira aşırı derecede sulu bir beton karışımının kalıplara yerleştirilmesi ve sıkıştırılması işlemlerinde betondaki çimento harcı ile iri agregalar kolayca segregasyon gösterebilmektedir; yani bu tür betonlar yeterli işlenebilmeye sahip olamamaktadırlar. Sertleşmiş betonun içerisindeki boşlukların tümü suyla dolu durumda değil ise, ıslak ortamda, betonun içerisindeki boşluklara dışarıdan su girebilmektedir. Bu işlem, betonun suya doymun duruma gelmesine kadar devam edebilmektedir. Beton tarafından içerisindeki boşluklara fiziksel olarak su çekilmesi işlemine su emme denilir. Betonun emebileceği su miktarı, betonun içerisindeki boşlukların toplam hacmi ile ilgilidir. Betondaki toplam boşluk hacmi ise, betonda kullanılan su / çimento oranı, agrega cinsi, kür koşulları, kür süresi, karbonatlaşma, beton elemanın boyutu gibi birçok faktör tarafından etkilenmektedir. Su emme kapasitesi yüksek olan betonların dayanımları daha düşük olmaktadır. Sülfat, asit, klor ve benzeri zararlı maddeleri içeren suların beton tarafından emilmesi, betonda hasar yaratacak kimyasal olayların başlamasına neden olmaktadır. Betonun geçirimsizliği beton içerisinden su akışını gösterdiği için, geçirimsizlik ve su emme farklı özelliklerdir. Ancak su emme betonun geçirimsizliğini de etkileyen önemli bir özellik durumundadır. Geçirimsizlik, sıvıların ve gazların, betonun içerisinde akış gösterebilmelerine imkân tanıyan bir özelliktir. Sıvıların ve gazların betonun içerisinde akış gösterebilmeleri betonda yer alan boşlukların birbiriyle bağlantılı olması nedeniyle gerçekleşebilmektedir. Geçirimsiz betonların içerisine sızan sular ve bu sulardaki yabancı maddeler, betonda bazı kimyasal ve fiziksel olaylara yol açmaktadır. Beton teknolojisinde betonun dayanımı, üzerine gelen yüklerin neden olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı, betonun gösterebileceği maksimum direnme olarak tanımlanmaktadır. Beton üzerine değişik yönlerde uygulanan yükler, değişik etkiler yaratabilmektedir. Basınç, çekme, eğilme ve kayma etkisi yaratacak yükler altında betonun şekil değiştirmeye ve kırılmaya karşı göstereceği dirençtir. Sertleşmiş betonun belirli dayanımda olmasının yanı sıra, yeterli dayanıklılığı göstermesi, su geçirimsizliğinin az olması gibi diğer bazı özelliklere de sahip olması gerekmektedir. Bu özelliklerin her biri çok önemli olmakla beraber beton özellikleri

arasında en çok aranılan ve kullanılan ‘dayanım özelliği’dir. Sertleşmiş betonda aranılan hacim sabitliği, dayanıklılık, su geçirimsizlik ve dayanım gibi birçok özellik arasında deneysel olarak en kolay tespit edileni, betonun dayanım özelliğidir. Betonun içerisine sızan su, karbon dioksit, oksijen, sülfat, asit ve klor gibi maddeler, betonda değişik türdeki kimyasal olayların yer almasına neden olmaktadır. Betonun içerisindeki alkalilerle reaktif agregalar arasında gelişen ve sertleşmiş betonun genişerek yıpranmasına yol açan reaksiyonlar da kimyasal olaylar sınıfında yer almaktadır. Islanma-kuruma, donma-çözülme, ısınma-soğuma ve aşınma gibi betonun yıpranmasına yol açacak nitelikteki fiziksel olaylardır. Beton dayanıklılığı, hava koşullarından, sülfatlı veya asitli sulardan veya betonun kullanıldığı ortam koşullarından kaynaklanan yıpratıcı kimyasal ve fiziksel olaylar karşısında, betonun hizmet süresi boyunca gösterebileceği direnme kabiliyeti olarak tanımlanmaktadır. Dayanıklılık, “durabilite” veya “kalıcılık” olarak da adlandırılmaktadır”[23]. Beton çeşitleri birim ağırlıklarına ve basınç dayanımlarına göre sınıflandırılabilir.

Birim ağırlıklarına göre betonlar;

**1. Hafif Beton:** Birim hacim ağırlığı (yoğunluğu) 0.7- 2.0 kg/dm<sup>3</sup> arasında olan betonlara “hafif beton” denir. Genellikle bu betonlar atık maddeleri değerlendirmek veya yapı elemanından ses, ısı ve hafiflik özelliklerinin arandığı durumlarda yapılan betonlardır.

**2. Normal Beton:** Normal doğal taneli agrega ile üretilen ve birim ağırlığı 1.8 - 2.8kg/dm<sup>3</sup> arasında değişen betonlardır. Bu betonlar önemli bir ayrıcalık özellik istenmeyen bina inşaatlarında kullanılmaktadır. Normal yoğun agrega ile üretilmektedir. Maliyetinin ucuzluğu, yüksek dayanımı, kolay işlenebilme özelliklerinden dolayı diğer yapı malzemelerine göre daha fazla kullanılmaktadır. Ancak bu betondan inşa edilen yapı elemanlarının birim ağırlıklarının fazla olması istenmeyen bir durumdur. Bu elemanlar kendi öz ağırlıklarını taşıya bilmeleri için oldukça fazla enerjiye ihtiyaç duymaktadırlar.

**3. Ağır Beton:** Ağır betonlar özellikle zararlı ışınlara karşı bir perde oluşturmak amacıyla kullanılan, birim ağırlıkları 2.8-5.0kg/dm<sup>3</sup> arasında olan betonlardır. Kullanım yerleri arasında nükleer reaktörler yani atom santralleri, hastanelerin ışın tedavisi yapılan bölümleri gösterilebilir. Ağır betonların agregaları ağırdır. Bu agregalar barit (baryum sülfat BaSO<sub>4</sub>), limonit, magnetit vb. demirli minerallerdir. Yoğunlukları 3.2

kg/dm<sup>3</sup>'ün üstündedir. Bunlarla üretilen betonların yoğunlukları 2.8 kg/dm<sup>3</sup>den yüksek olmaktadır. Nükleer çalışma gereği betonların içine bor tuzları katılır. Söz konusu tuzlar beton prizinde geciktirici etki yapar. Ağır agregalar normal beton agregalarına göre daha mukavemetli ve aşınmaya dayanıklıdır.

Basınç dayanımlarına göre betonlar;

**1. Normal Dayanımlı Beton:** Basınç dayanımı C50'ye kadar olan betonlar normal dayanımlı olarak adlandırılırlar. Bu betonların yapımında tabii karışık tüvanan agrega kullanılabilceği gibi TS EN 802'de öngörülen agrega grupları da kullanılır [24].

**2. Yüksek Dayanımlı Beton:** Basınç dayanımı C50 ve daha büyük betonlardır. Bu tür betonların üretiminde kullanılacak agregalar mutlaka TS EN 802'de öngörülen koşulları sağlamalıdır [24].

Yüksek dayanımlı betonun (YDB) kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır. Bunun nedeni, yapılan binaların giderek daha yüksek katlı inşa edilmeleri ve köprülerin giderek daha uzun açıklıkları geçme ihtiyacıdır. YDB, performans açısından normal dayanımlı betona (NDB) göre daha niteliklidir. NDB ile karşılaştırıldığında, YDB ile daha geniş açıklıklar geçilip, daha az yapısal eleman kullanılması mümkündür. YDB sadece betonun dayanımının artması demek değil, aynı zamanda yapının çevresel etkilere karşı dayanıklılığının da artması ve buna bağlı olarak da ömrünün uzaması demektir. YDB'nin yapısal tasarımı için Türkiye'de herhangi bir standart bulunmamaktadır. Avustralya'nın Melbourne şehrine yapılan Bourke Place isimli 220,5 metre yüksekliğindeki binanın kolonlarının kullanılan beton basınç dayanımını 40 MPa'dan 60 MPa'ya çıkarmak, kat başına 27 m<sup>2</sup>lik bir alanın kazanılmasına ve toplamda kat başına 100.000 dolarlık bir kazancın oluşmasını sağlamıştır [25].

Betonların/çimentoların üretiminde silis dumanı ve uçucu kül gibi mineral katkıları kullanılmak bilinen ve yaygın bir yöntemdir. Silisyum mineralinin veya ferrosilisyum alaşımlarının çeliğin üretimi sırasında kullanılan elektrik ark fırınlarında (yüksek saflıktaki kuvarsitin kömür ve odun parçacıkları ile indirgenmesi sonucu) bir yan ürün olarak elde edilen çok ince taneli, toz halindeki endüstriyel atık maddeye silis dumanı adı verilir. YDB için, beton karışımının içindeki agreganın dayanımı ve karakteristik özelliği, önemli bir rol almaktadır. Agrega-bağlayıcı ara yerinin betonun en zayıf

bölgesi olduğu bilinir, bu zayıflık çatlak artışına ve geçirimsizliğin bozulmasına yol açabilir [26].

Kullanılan bu mineral katkılar çok küçük yapıda oldukları için, agrega ve çimento hamuru arasındaki boşlukları doldurarak çimento hamurunun agregaya daha iyi tutunmasını sağlar. Silisli ve alüminli amorf yapıya sahip oldukları ve çok ince taneli olarak elde edildikleri için uçucu küller de, aynen ince taneli doğal puzolanlar gibi, puzolanik özellik göstermektedirler; kalsiyum hidroksitle sulu ortamda birleştiklerinde, hidrolik bağlayıcılığa sahip olmaktadır. Genellikle, beton katkı maddesi olarak çok büyük miktarlarda kullanılabilirler. Beton karışımının içerisinde yer alan uçucu kül miktarı, çimento ağırlığının %15-%50'si civarında değişebilmektedir [27].

Bu zayıf ara yüzey, YDB'da en zayıf halka olmaktan çıkarak, agreganın dayanımının üzerine çıkar. Dolayısıyla, agreganın dayanımı YDB'nun dayanımını belirleyen ana malzeme olur. Beton dayanımının daha da arttırılabilmesi için, agregaların da yüksek dayanıma sahip malzemelerden (bazalt, granit, vb.) üretilmesi gerekmektedir. Kullanılan iri agreganın boyutlarının küçültülmesinin de, dayanımı arttırdığı gözlenmiştir. Eğer düşük dayanıma sahip bir agrega kullanılırsa, YDB elde edilemeyebilir. YDB kullanılarak yapılan binalarda, binanın iskeletini oluşturan kolonlarda YDB kullanıldığı zaman, kat başına düşen kullanılabilir alanda ciddi bir artış olabilmektedir. Bu yöntemle yapılan binalarda kullanılan donatı miktarı da azalabilmektedir. Böylelikle hem kullanılabilir alan artarken, hem de malzemedan tasarruf edilmiş olunur. Ancak Türkiye'de YDB'nin yapısal tasarımı ile ilgili belirli bir standardın olmaması, YDB kullanımını kısıtlayan en büyük etmendir. Sektörde yer alan üretici firmalar tarafından yapılan araştırmalar deneme çalışmasından ileriye gidememektedir. Deneme amaçlı olarak yapılan beton dökümlerinde, yüksek mukavemet elde edebilen beton üreticileri bulunmaktadır. Hatta nitelikli hazır beton santralleri, gerçekleştirilecek proje doğrultusunda 50 MPa ve üzeri basınç dayanımına sahip betonların üretimini yapabilmektedir [29].

Hazır Beton Sınıfları (TS EN 206-1) [30].

**I.** Kıvamlarına göre betonlar beş gruba ayrılırlar. (Çizelge 2.1) de verilmiştir.

**II.** En büyük agrega tane boyutuna göre betonlar dört gruba ayrılırlar. (Çizelge2.2) de söz konusu betonların sınıflandırılma verilmiştir.

**III.** Karakteristik basınç dayanımlarına göre on altı gruba ayrılırlar. (Çizelge 2.3) de söz konusu betonların sınıflandırma verilmiştir.

**IV.** Birim ağırlıklarına göre üç sınıfa ayrılırlar. (Çizelge 2.4) [28].

**Çizelge 2.1.** Kıvamlarına göre betonların çökme (slump) değerleri.

Beton Sınıfı	Kıvam	Çökme (cm)
S 1	Kuru	$0 \leq \text{çökme} < 5$
S 2	Plastik	$5 \leq \text{çökme} < 10$
S 3	Akıcı	$10 \leq \text{çökme} < 16$
S 4	Çok akıcı	$16 \leq \text{çökme} < 22$
S 5	Yayılan	$22 \leq \text{çökme}$

**Çizelge 2.2.** En büyük agrega tane büyüklüklerine (Dmax) göre betonlar.

Beton Sınıfı	En Büyük Agrega Tane Büyüklüğü (mm)
D1 (1 no.lu)	12
D2 (2 no.lu)	22
D3 (3 no.lu)	32
D4 (4 no.lu)	64

**Çizelge 2.3.** Karakteristik basınç dayanımlarına (fck) göre betonların sınıflandırılması.

Basınç Dayanım Sınıfı	En düşük karakteristik silindir dayanımı fck, silindir, N/mm <sup>2</sup>	En düşük karakteristik küp dayanımı fck, küp, N/mm <sup>2</sup>
C 8/10	8	10
C 12/15	12	15
C 16/20	16	20
C 20/25	20	25
C 25/30	25	30
C 30/37	30	37
C 35/45	35	45
C 40/50	40	50
C 45/55	45	55
C 50/60	50	60
C 55/67	55	67
C 60/75	60	75
C 70/85	70	85
C 80/95	80	95
C 90/105	90	105
C 100/115	100	115

**Çizelge 2.4.** Birim ağırlıklarına göre betonların sınıflandırılması.

Beton Sınıfı	Birim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )
Hafif Beton	Birim Ağırlık ≤ 2000
Normal Ağırlıklı Beton	2000 < Birim Ağırlık ≤ 2600
Ağır Beton	2600 < Birim Ağırlık



### 2.1.1. Kendiliğinden Yerleşen Betonlar (KYB)

Kendiliğinden yerleşen beton (KYB) önemli ölçüde akışkanlık özelliği ve kendi ağırlığı ile yerleşme yeteneği olan beton olup sıkıştırma ve yerleştirme için vibrasyon gerektirmez. Akışkanlığı ve ayrışma direnci, yüksek seviyede homojenlik, minimum beton boşlukları ve üniform beton dayanımını garanti eder ve yapı için daha üstün seviyede dayanıklılık ve bitirme kolaylığı sağlar. KYB genellikle potansiyel olarak erken yaşta yüksek dayanım sağlar [31].

Düşük su/çimento oranı ile üretilmesi, erken yaşta kalıptan alınması ve yapıların daha hızlı kullanımına imkân sağlaması önemli avantajlarından. KYB'yi geleneksel betonlarla karşılaştırdığımızda birçok avantajı vardır. Akıcı olması, minimum işçilik gerektirmesi, ekonomik olması, hızlı uygulanması, gürültü kirliliğine engel olup sık donatı arasında ayrışma oluşmadan kalıp içerisini kolaylıkla doldurabilmesi, vibrasyona gerek duymadan her türlü kalıba kendi ağırlığı ile yerleşebilmesi, geleneksel betonlara göre daha yüksek performans sağlaması avantajlı yönleridir. Özellikle güçlendirme projelerinde kullanılır. Çünkü dar kalıplarda en uzak noktalara betonun homojen olarak yayılabilmesi bu tip betonlarla mümkün olabilmektedir. KYB üretiminde çoğunlukla yeni kuşak kimyasal katkıları kullanılmaktadır. Dağıtma (dispersiyon) gücü yüksek olan kimyasal katkıların beton içerisinde belirli oranlarda kullanılması esastır. Kimyasal katkı içeriği, taze beton sıcaklığı en uygun seviyede kullanılmadığı takdirde, taze ve sertleşmiş beton özellikleri etkilenecektir [31].

Geleneksel beton dökümünde vibrasyon, betonu kalıba boşluksuz olarak yerleştirmek ve sıkıştırmak için uygulanır. Vibrasyonla, betonu kalıbın her tarafına yayılarak donatıların devamlı bir şekilde kaplanmasını sağlar, hava boşluklarının dışarıya çıkartılması sağlanır. Vibrasyon uygulanmamış betonların basınç dayanımı, boşluklu bir yapı oluşacağı için, vibrasyon uygulanmış betonlara göre daha düşük olur. Ayrıca yeterli vibrasyon yapılmayan beton elemanların yüzeyi de düzgün olmaz. Özellikle binaların depreme karşı güçlendirilmesi için yapılan projelerde tüm bu etkenlere dar beton kesitleri ve sık donatı eklenince, vibrasyon uygulaması daha da zor, bazen de imkânsız hale gelir. Oysa KYB, kendi kendine sıkışma yeteneği sayesinde vibrasyon gerektirmez ve tüm olumsuz etkenleri ortadan kaldırarak, işçilikten ve zamandan tasarruf sağlar. Ayrıca gürültü probleminin ortadan kalkması, şehir merkezlerinde gece beton dökümlerinde üstünlük sağlar.

KYB' ların kullanım alanları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Güçlendirme projelerinde,
- Sık donatılı elemanlarda,
- Estetik kalıp tasarımlarında,
- Zor ve ulaşılmaz kalıplarda,
- Vibratör kullanımının imkânsız olduğu yerlerde

KYB' de akışkanlığı yüksek olan yeni kuşak kimyasal katkıları kullanılmaktadır. Bu sebepten dolayı ayrışma oluşmaması için karışım içinde ince malzeme miktarı yüksek tutulur [31].

Çalışmadaki taze haldeki KYB karışımlarındaki özelliklerin gerekli bileşimi elde etmek için:

- Hamurun akışkanlık ve viskozitesi, çimentolarla mineral katkıların dikkatli seçimi ve oranlamasıyla, su/ince madde oranını sınırlandırmayla ve süper akışkanlaştırıcı ve (isteğe bağlı olarak) viskozite düzenleyici katkı ilave ederek ayarlanır ve dengelenir. KYB'nin bu bileşenlerinin doğru bir şekilde kontrolü, uygunluk ve etkileşimleri; iyi doldurma yeteneği, geçme yeteneği ve ayrışmaya karşı direnç elde etmede anahtardır.
- Hamur, agreganın taşınması için bir araçtır; bu yüzden bütün agrega taneciklerinin bir hamur tabakası tarafından tamamen kaplanması için hamur hacmi agregadaki boşluk hacminden büyük olmalıdır. Bu akışkanlığı artırır ve agrega sürtünmesini azaltır.
- Karışımındaki iri agreganın ince agregaya oranı, tekil iri agrega taneciklerinin bir harç tabakası tarafından tamamen çevrelenmesi için azaltılır. Bu, betonun donatılar arasındaki dar açıklıklardan veya boşluklardan geçerken, agrega kenetlenmesini sağlar, köprülenmeyi azaltır ve KYB'nin geçme yeteneğini artırır.

KYB'li karışımların tasarım prensipleri geleneksel vibrasyonlu betona kıyasla normalde aşağıdaki özelliklere sahiptir.

- Daha az iri agrega miktarı,
- Arttırılmış hamur miktarı,
- Düşük su/ince madde oranı,
- Arttırılmış süper akışkanlaştırıcı ve viskozite düzenleyici katkı.

### 2.1.1.1. Kendinden yerleşen beton ile ilgili çalışmalar

Kendiliğinden yerleşen beton konusunda ilk makale, 1989 yılında Ozawa tarafından Doğu Asya ve Pasifik Yapı Mühendisliği Konferansında (EASEC) sunulmuştur. KYB konusunda ilk kitap Okamura tarafından yazılmış olup, 1993 yılında Japonca olarak yayınlanmıştır. Kendiliğinden yerleşen betonun dünyaya tanıtılmasında, Ozawa'nın 1992 yılında İstanbul'daki Uluslararası Canmet-ACI konferansında yaptığı sunum hızlandırıcı bir etki yapmıştır.

EFNARC [Özel Yapı Kimyasalları ve Beton Sistemleri Avrupa Federasyonu], 2002 yılında KYB ile ilgili gerekli tüm bilgileri içeren "Specification and Guidelines for SCC" isimli dökümanı yayınlamıştır. Burada verilen tasarım yöntemi, önerilen bir tasarım yöntemidir. Yayılabilme özelliğini 65–80 cm sağlayabilmek, islenebilirliğini en az bir saat koruyabilmek, bunları yaparken de betonun ayrışmasını ve terlemesini engellemek tasarımın en önemli hedefleridir. Hacimsel olarak, KYB' nin % 50'si harç ve % 50'si kaba agregadan oluşmalıdır. % 50'lik harç kısmında % 30'u çimento, % 30'u su ve % 40'ı ince agregadan oluşmalıdır. Düşük su/çimento oranı elde edebilmek ve uzun süreli islenebilirlik için, polikarboksilik eter esaslı hiperakışkanlaştırıcı katkıları kullanılabilir [32].

Felekoğlu ve Barada'nın (2004) KYB'lerin mekanik özellikleri ile ilgili yaptığı deneylerde sabit bir çimento dozajında, akışkanlaştırıcı katkı miktarı artırılıp karışım suyu azaltıldıkça, yayılma değeri belirli sınırlar arasında tutulmakta ve viskozite hızla artmaktadır. Sabit bir çimento dozajı ve agrega gradasyonunda, su/çimento oranı artışıyla aynı anda katkı dozajının azaltılması, taze betonun donatılar arasından geçiş yeteneğini arttırmaktadır. Söz konusu çalışmada üretilen KYB'lerin çekme dayanımları aynı dayanım sınıfındaki normal betonlara kıyasla %3 ile %17 arasında değişen mertebelerde daha yüksektir. Ayrıca, üretilen KYB'lerin elastisite modülünde normal betonlara kıyasla önemli bir farklılık gözlenmemiştir. L-kutusu karot deneyleri ile KYB'nin yatay yönde akışında ayrışma meydana gelip gelmediği belirlenebilir [2].

Sağlam, Parlak, Doğan ve Özkul (2004)'un KYB ve katkı-çimento uyumu adlı çalışmalarında, değişik adet ve değişik çimento çeşitleriyle deneyler gerçekleştirerek yayılma hızlarını tespit etmişlerdir. Denenen betonların bir günlük dayanımlarının hem çimento, hem de katkı cinsinden etkilendiği, ayrıca bazı çimento ve katkıların birlikte kullanılmaları durumunda büyük miktarda hava sürüklendiği ve bunun da dayanımları

etkilediğini belirlenmişlerdir. Taze beton özellikleri ve dayanımlar açısından çimento-katkı etkileşmesinin önemli olduğu, bu nedenle uygulamaya geçmeden önce çimento-katkı uyum deneylerinin yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır[10].

Gürdal ve Yüceer'e (2004) göre, KYB üretimi, titizlik gerektirmekte ve çok sıkı denetleme işlemlerini zorunlu kılmaktadır. KYB' nin her türlü karmaşık kalıplarda, vibrasyonun mümkün olmadığı durumlarda, dar ve sık donatılı kesitlerde kullanımı inşaat teknolojisi açısından çok büyük bir kolaylıktır. KYB' nin geliştirilmesi ve hafif agregalı KYB, çelik tel donatılı KYB, polipropilen lif donatılı KYB üzerinde çalışmalar dünya çapında devam etmektedir[64].

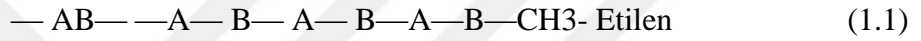
Wenzhong Zhu, Peter J.M. Bartos (2002), tarafından yapılan bir çalışmada, kendiliğinden yerleşen betonun yayılma özelliği incelenmiştir. Söz konusu makalede yayılma özelliği, geçirgenlik, apsorpsiyon, yayılma gücü v.b ile beton dayanıklılık karakteristiklerinin yaygın olarak kullanılmalarını içermiştir. Aynı mukavemet derecelerine sahip geleneksel vibrasyon referanslı beton ile KYB karışımlarının farklı bölgelerdeki yayılma özelliklerinin karşılaştırılması ile ilgili deneysel bir çalışma olarak sunulmuştur. KYB karışımlarının karakteristik küp basınç dayanımları 40 ve 60 MPa olarak dizayn edilmiş, ilave olarak ne dolgu gereci olarak toz malzeme nede herhangi bir dolgu gereci kullanılmamıştır. Sonuçlar göstermiştir ki, KYB karışımları normal vibrasyona tabi tutulmuş aynı mukavemet derecesine sahip normal beton referansından önemli derecede düşük oksijen geçirimliliğine sahiptir[65].

Şahmaran, Yaman ve Tokyay (2004) tarafından yapılan bir çalışmada, yüksek hacimli uçucu kül kullanarak KYB üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Yayılma testi sonunda betonun yayılma çapı 730 ile 800 mm, 500 mm yayılma genişliğine ulaşma süresi ise 2 ile 4 arasında değişmektedir. Yayılma testi sonunda bütün karışımların KYB özelliği gösterdiği gözlenmiştir. V-Hunisi testi sonunda elde edilen akma sürelerinde, karışımların viskozitesi KYB olma standartlarına göre biraz yüksek olduğu gözlenmiştir. Sertleşmiş KYB' ler üzerinde yapılan basınç dayanım deneyi sonuçlarına göre, 28 günlük basınç dayanımları 46MPa ile 30 MPa arasında değişmektedir. Uçucu kül miktarının toplam bağlayıcı miktarına ağırlıkça %50'sine kadar olan karışımlarda ilk günlerdeki basınç dayanımı farkı kapanmaktadır[66].

## 2.2. POLİMER VE KOPOLİMERİN ÖZELLİKLERİ

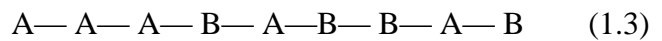
Polimer, monomer denen çok sayıda organik molekülün polimerizasyon adı verilen kimyasal bir reaksiyon sonunda bir zincir yapı oluşturmasıyla meydana gelmektedir. Polimerler termoplastik ve termoset olarak iki temel guruba ayrılmaktadırlar. Termoplastikler paralel doğrusal zincir yapısına sahiptirler ve ısıtma-soğutma çevrimleriyle yumuşama-sertleşme dönüşümleri yaparlar. Termosetler ise, rastgele düzenlenmiş ve birbirleriyle bağlar kurmuş zincirlerden oluşmakta ve polimerizasyon işlemi ile sertleştikten sonra ısıtma ile yumuşamazlar.

Kopolimer; zincirlerinde kimyasal yapısı farklı birden fazla monomer birimi bulunan polimerdir.

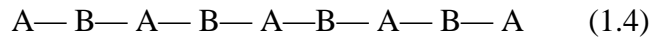


Kopolimerlerin özelliğini, yapısını oluşturan monomerlerin miktarı belirler. Ayrıca kopolimer üzerindeki monomerin diziliş şekli de önemlidir. Kopolimerleri gelişigüzel, ardışık, blok ve aşırı polimerleri olarak dört gruba ayırabiliriz.

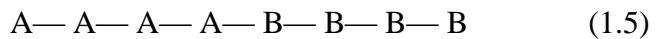
**Gelişigüzel kopolimer;** Bu tip kopolimerlerde, zincirde bulunan monomer birimlerinin zincir boyunca sıralanmasında belli bir düzen yoktur. Kopolimerin özelliği monomerlerden farklıdır.



**Ardışık kopolimer;** Kopolimer zinciri üzerinde bulunan monomerler düzenli bir şekilde sıralanmıştır. Bu tür kopolimerlerin özellikleri kendisini oluşturan monomerlerin özelliklerinden farklıdır.



**Blok kopolimer;** Kimyasal yapısı farklı iki monomer zincirinin uçlarından birbirine bağlanmasıyla oluşur. A ve B monomerlerinin oluşturduğu iki bloklu kopolimerde, zincirin bir bölümünü A kopolimeri bir bölümünü B kopolimeri oluşturur. Bu iki bloklu bir kopolimerdir.



Kopolimer zincirini önce A, sonra B, daha sonra tekrar A monomer zinciri oluşturuyorsa bu tip kopolimerler üç blokludur. Benzer işlemlerle blok sayısı artırılabilir. Blok kopolimerlerin çoğunun fiziksel özellikleri diğer kopolimer türlerinin tersine kendisini oluşturan monomerlerin özellikleri arasındadır [33].



Kimyasal aktivitesi olmayan polimerler normal betondan daha yüksek basınç ve çekme dayanımlarına sahiptirler. Ancak, elastisite modülleri daha düşük, sünme deformasyonları daha yüksektir. Dolayısıyla betonun zayıf olan çekme dayanımı polimerik malzemelerin kullanımıyla iyileştirilebilir. Bu amaçla üç grup polimer betonu tanımlanmıştır. Kullanılacak polimerin miktarını en aza indirebilmek için agrega karışım oranlarının ve granülometrisinin maksimum doluluğu sağlayacak şekilde ayarlanması gereklidir. Ohama (2001), maksimum agrega tane boyutu 19 mm olan iki farklı iri agrega ile beş farklı ince agregayı maksimum doluluğu sağlayacak şekilde Fuller parabolüne uyumlu granülometride karıştırarak, agrega taneleri arasındaki %20-25 oranındaki boşluğu bir kısım doymuş olmayan polimer reçine ve bir kısım ince kırmataş unu karışımı ile doldurmayı amaçlamıştır. Ohama çalışmasında polimer betona iki farklı sıcaklıkta (20°C ve 50-70°C) kür uygulamış ve yüksek sıcaklıkta kürlenmiş betonda beş saatte 140 MPa, normal sıcaklıkta kürlenmiş betonda ise yedi günde 105 MPa basınç dayanımı elde etmiştir. Genelde polimer betonlarda sonradan bozulmayı engellemek için agreganın kuru olması gerekmektedir. Ancak, epoksi reçinelerin kullanılması durumunda agreganın rutubeti sorun yaratmamaktadır [34].

Polimer betonda bağlayıcı olarak poliester reçine kullanımı düşük maliyeti açısından cazip olurken, stiren monomer ve benzol peroksit katalist ile amin ön polimer içeren metilmetakrilat karışımlar son zamanlarda daha çok kullanılmaktadırlar. Polimer beton yüksek erken dayanım ve elastisite modülüne sahip olması ve kimyasal dayanıklılığının iyi olması nedeniyle çoğunlukla endüstriyel betonlarda, döşeme kaplamalarında ve onarım işlerinde kullanılmaktadır.

Yapısal beton uygulamalarında yoğun kullanımını engelleyen unsur ise, ısıl özellikleri ile sünme deformasyonunun uygun olmamasıdır. Çeşitli polimer betonların normal portland çimentosu ile karşılaştırılmalı özellikleri ve uygulama alanları Çizelge 2.5'te verilmektedir. Polimer betonların mekanik özellikleri ve deformasyon davranışları kullanılan polimer tipine ve miktarına göre değişmektedir. Metil metakrilat ile üretilen

polimer betonlar nerdeyse tümüyle doğrusal gerilme–deformasyon diyagramına sahip olup, oldukça gevrek bir davranış göstermekte ve yüksek dayanımlara ulaşmaktadır. Ancak, bütillakrilat ilavesiyle kompozitin daha sünek bir davranış gösterdiği anlaşılmaktadır.

**Lâteksler:** Bunlarla Lâteks beton üretimi söz konusudur.

**Lâteks modifiye beton (LMB);** Özel bir beton olmamasına rağmen bir lâteks 0.05–1 µm çapında ve yüksek moleküler ağırlıklı küresel polimer parçacıklarından oluşan ve yüzey aktif maddelerin kullanılmasıyla suda asılı duran bir polimer sistemidir. Lâteks çok küçük (kolloidal) boyutlu polimer parçacıkların su içindeki emülsiyonudur. Lâteks modifiye betonlar kullanılan malzemeler ve üretim tekniği açısından normal beton ile aynı olup tek fark lâteksin karıştırma sırasında betona katkı olarak ilave edilmesidir. Günümüzde en çok kullanılan lateksler Stiren bütadien ve poliakrilat kopolimer bazlı elastomer kauçuk polimerlerdir. Lateks modifiye betonlar için kullanılan bazı polimerlerin genel özellikleri Çizelge 2.5’te görülmektedir [35].

**Çizelge 2.5.** Lateks modifiye betonlar için kullanılan bazı polimerlerin genel özellikleri.

Polimer Türü	Polivinil Asetat	Stiren Bütadien	Akrilik	Neopren
Katı Oranı(%)	50	48	46	42
Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	1.09	1.01	1.05	1.10
pH	2.5	10	9.5	9.0
Tane Boyutu (A°)	-	2000	-	-
Donma-Çözünme (döngü sayısı)	-	5	5	-
Viskozite (cp)	17	24	250	10

### 2.2.1. Stiren Bütadien Kopolimerleri (SBK)

Kauçuklar, polimerik malzemeler içinde önemli bir sınıftır. Çapraz bağlanabilen, yüksek molekül ağırlıklı moleküllerden oluşurlar. Çapraz bağlanma, kauçuğun kimyasal yapı değişikliğine uğrayarak (vulkanizasyon reaksiyonu) ve geri dönüşümsüz olarak elastik özelliklere sahip bir duruma gelmesi ve getirilmesi işidir. Vulkanizasyon öncesi yüksek plastik özellikler, vulkanizasyon sonrası yerini yüksek elastik özelliklere bırakır.

Kauçuğun çapraz bağlanmış halinin çapraz bağ miktarı çok yüksek değilse, orijinal şeklini muhafaza edebilir ve üzerine uygulanan kuvvet kaldırıldığında eski şeklini kazanabilir yani elastiktir. Vulkanize kauçuğun özellikleri çapraz bağlanma şekline ve yoğunluğuna bağlıdır. Bu özelliğinin yanı sıra hafif olmaları ve kolay işlenebilirlikleri yaygın olarak kullanılmalarının sebeplerindedir. Ayrıca, kauçuktan üretilmiş ürünlerin yerine kullanmak için başka bir kauçuk malzeme dışında malzemelerin alternatif olarak kullanılması güçtür.

Kauçuklar, doğal ve sentetik kauçuklar olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Poliisopren kauçuk (IR), bütadien kauçuk (BR), akrilonitril-bütadien kauçuk (NBR), etilen-propilen-dien kauçuk (EPDM), polikloropren (CR), butil kauçuk (IIR) ve stiren-bütadien kauçuk (SBR), başlıca kullanılan sentetik kauçuklardandır. Bunların dışında özel amaçlar için kullanılan florosilikon kauçuk, akrilik kauçuk, etilen-akrilik kauçuk, polinorbornen, hidrojenizenitril kauçuk, karboksillinitril kauçuk, florokarbon kauçuk gibi çeşitleri de vardır. SBR, stiren ve butadien monomerlerinin emülsiyon ya da süspansiyon polimerizasyonu ile elde edilen sentetik bir kauçuk türüdür. Butadien/stiren oranı genellikle 75/25'tir. SBR, genelde 250000-800000 arasında ortalama molekül ağırlığı değerlerine sahip olarak üretilir [48].

Polimerizasyon tipi, SBR'nin özellikleri üzerinde etkilidir. Örneğin; çözültü polimerizasyonunda elde edilen SBR'nin molekül ağırlığı dağılımı dar iken, emülsiyon polimerizasyonu ile elde edilen SBR'nin molekül ağırlığı dağılımı geniş olmaktadır. SBR'nin yapısındaki stiren oranı da özelliklerini etkileyen bir başka parametredir. SBR'nin yapısındaki stiren miktarı arttıkça elastikiyeti azalır, işlenmesi daha zor hale gelir fakat mekanik özellikleri, içinde daha az stiren bulunan SBR'ye göre daha iyidir. Yapı, içerisinde stiren halkası bulundurduğu için düzensiz olduğundan kristallenmeye yatkın değildir. Birçok uygulamada doğal kauçuk (NR) yerine kullanılır. SBR, NR'a göre daha kolay işlenebilir. Elastik davranışları NR kadar iyi olmasa da aşınma ve ısıya dayanım özellikleri NR'dan daha üstündür. Polar olmayan sıvılara, çözücülere, seyreltik asit ve bazlara dayanıklı olup yakıt ve yağlara dayanıksızdır. Tüm sentetik kauçuk üretiminin yarısına karşılık gelir ve sanayide en çok otomobil lastiği üretiminde kullanılır. İstenilen özelliklere göre ayarlanmış, kauçuk ve diğer hammaddeler ile katkı maddelerinden oluşan, vulkanize edilebilen bir karışımdır. Kauçukların tek başına kullanılması mümkün değildir ve bazı katkı maddeleriyle karışım haline getirilmesi gerekir. Bu katkı maddeleri, çapraz bağlanma maddeleri (çapraz bağlanma ajanları,



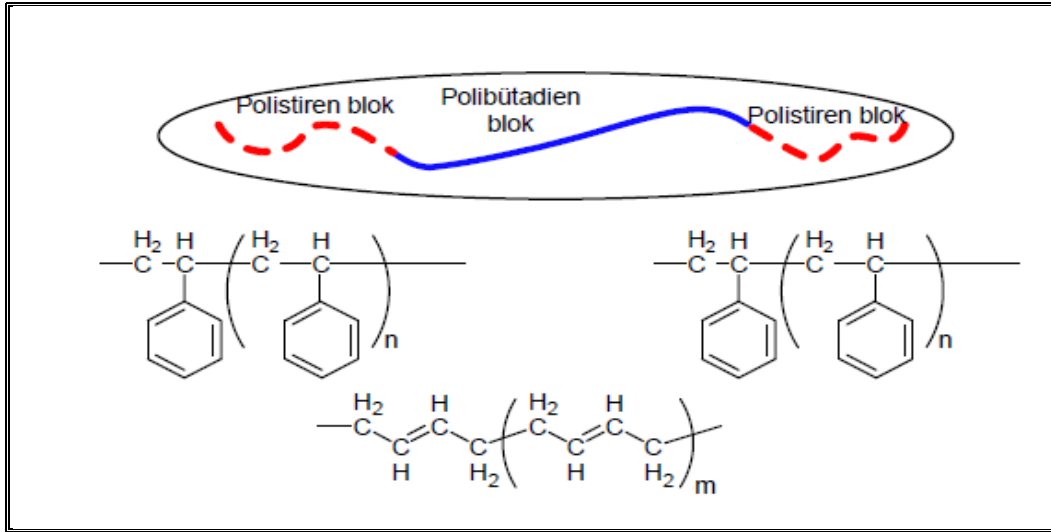
aktivatörler, hızlandırıcılar, geciktiriciler), güçlendirici ya da güçlendirici olmayan dolgular, plastikleştiriciler, proses kolaylaştırıcılar, yaşlanma önleyiciler, koruyucular, şişme ajanları, renklendiriciler ya da özel amaçlar için kullanılan malzemelerdir. Dolgu maddeleri temel olarak; güçlendirici dolgu maddeleri, yarı güçlendirici dolgu maddeleri ya da güçlendirici olmayan dolgu maddeleri olarak üçe ayrılır. Optik özellikler, renk, yüzey özellikleri, yapısal kararlılık, termal, manyetik, elektriksel özellikler, mekanik özellikler, dayanıklılık, reolojik özellikler, kimyasal reaktivite ve biyobozunurluğu etkileyen bir bileşendir. Çoğu kauçuk türü gibi SBR de, güçlendirici dolgu maddesi kullanılmadığı durumlarda çoğu uygulama için uygun değildir [48].

SBR karışımlarında yaygın olarak kullanılan dolgu maddeleri; karbon karası (CB), silika ve killerdir. Kauçuk-kil nanokompozitleri konusu birçok araştırmacı tarafından ilgi görmüş ve günümüzde de ilgi görmektedir. Nano boyutta kil içeren nanokompozitler; gelişmiş mekanik, termal ve gaz bariyeri özelliği, yüksek alev geciktiricilik, çözücü emiliminin daha düşük olması, kimyasal madde ve şekil hafızası gibi özelliklere sahiptir. Halositnanotüp (HNTs), son zamanlarda sıkça araştırılan bir malzemedir. Kaolinit grubuna ait bir nanokil türüdür. HNTs'in kimyasal yapısı  $Al_2[Si_2O_5(OH)_4].2H_2O$ 'dur ve topraktan elde edilir [48].

Kompozit malzeme olarak kullanımı çok yaygın değildir ve yeni keşfedilmektedir. İki katmanlı bir yapıya sahiptir ve kimyasal olarak yapısı kaoline benzer. Silikon dioksit ve alüminyum oksit tabakaları arasındaki uyumsuzluktan kaynaklanan gerilimden dolayı tüp şeklini alır. İç yarıçapı 10-30 nm, dış yarıçapı 30-100 nm, uzunluğu ise yaklaşık 10µm'dir. Yüksek L/D oranı, polimerlerin birçok özelliğini geliştirir. Yapılan çalışmalarda, HNTs birçok plastik ve kauçuk için takviye edici ve özellikleri geliştiren bir dolgu maddesi olarak kullanılmıştır. Eşsiz kristal yapıdaki HNTs doğadan mineral olarak elde edilmektedir ve yapı olarak benzeri olan fakat elde edilmesi oldukça pahalı olan karbon nanotüp (CNT)'e bir alternatif olma özelliği taşımaktadır [48].

Stiren bütadien kopolimerleri stiren ve bütadienin polimerizasyonu ile üretilen kopolimerlerdir. İçerdiği komonomer miktarına göre kauçuksu veya plastik özellikler gösterir. Ağırlıkça %45'den daha az stiren içeriyorsa stiren-bütadien kauçuğu (SBR) olarak bilinir. Stiren miktarı arttıkça plastik özellikler de artar.

Stiren bütadien kopolimerleri emülsiyon ve süspansiyon polimerizasyonu ile elde edilir. Şekil 2.4'te bir emülsiyon prosesi örneği verilmiştir.



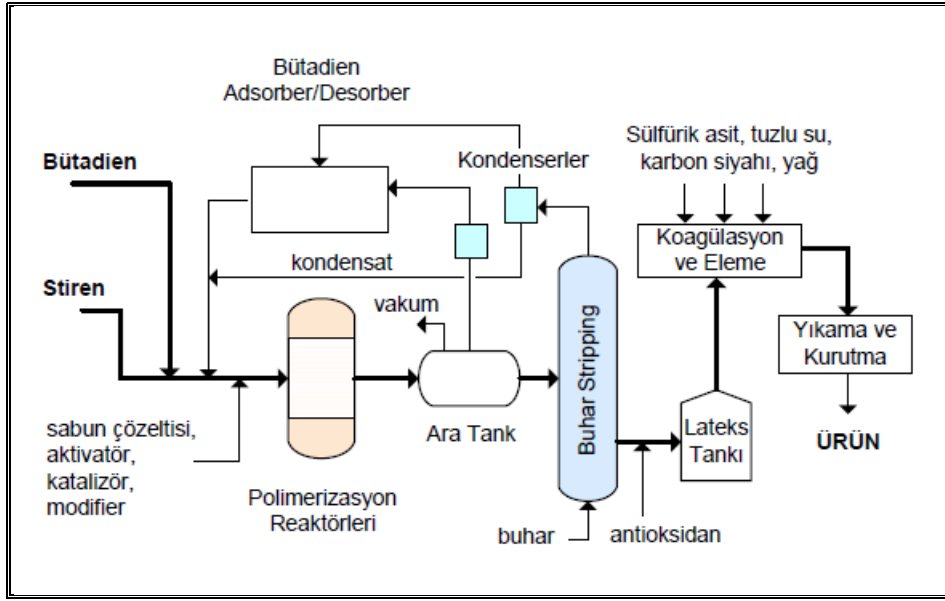
**Şekil 2.4.** Emülsiyon prosesi.

Şekil 2.4'te görüldüğü gibi, stiren (inhibitörden arındırılmış) ve bütadien reaktöre beslenir. Şekil 2.5'te stiren bütadien kopolimeri üretiminde polimerizasyon süreklidir; reaksiyonlar emülsiyon fazında gerçekleşir ve süt görümlü beyaz 'lateks' denilen ürün meydana gelir. Reaksiyonlar monomerlerin %60 kadarı polimerleşinceye kadar devam ettirilir; bu noktadan sonra reaksiyon hızı düşer ve polimer kalitesi bozulmaya başlar. Reaktör ürünleri bir ara tanka alınarak vakum uygulanır; reaksiyona girmemiş bütadien ayrılır, sıkıştırılır ve yoğunlaştırılarak tekrar reaktöre döndürülür. Yoğunlaşamayan gazlar bütadien adsorber/desorber ünitesinden geçirilir, kalan bütadien kazanılır, kalıntı gazlar ise atmosfere veya yakma fırınlarına verilir [33].

Bütadieni ayrılan lateks akımı buharla stiren sıyırma (stripping) kolonuna verilir, burada reaksiyona girmemiş stiren ve lateks birbirinden ayrılır; tepeden alınan gazlardan kazanılan stiren reaktörlere döndürülür, lateks harmanlama tanklarına gönderilir.

Tanktaki lateks koagülasyon tankına (atmosfere açık) pompalanır, seyreltik sülfürik asit (pH 4-4.5) ve sodyum klorür çözeltisi ilave edilerek emülsiyon bozulur ve stiren-bütadien kopolimeri toz katı tanecikler halinde ayrılır [33].

Koagülasyondan çıkan polimer ve salamura asit karışımı süzülerek sıvı kısım ayrılır, katı kopolimer döner buharlaştırıcıdan geçirilerek yıkanır (ve suyun büyük bir kısmı uzaklaştırılır) ve kurutularak ürün SBR elde edilir. Sıvı kısımlar koagülasyona döndürülür [33].



Şekil 2.5. Stiren bütadien kopolimeri üretimi akım şeması.

### 2.3. BETON KATKI MADDELERİ

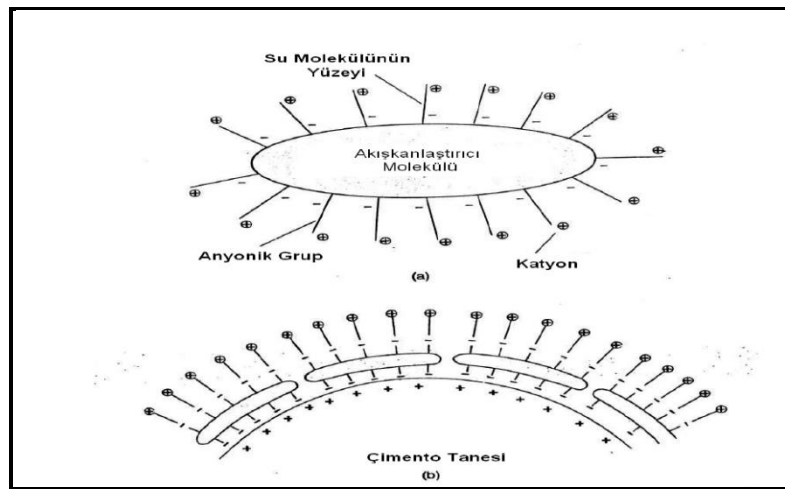
Betonun özelliklerini geliştirmek üzere üretim sırasında veya dökümden önce trans mikserde az miktarda ilave edilen maddelere katkı adı verilir. Katkı maddelerin kökenine göre kimyasal ve mineral katkı olarak ikiye ayırmak mümkündür. Beton katkı maddeleri “betona; üretim sırasında su, agrega ve çimento dışında, küçük miktarlarda, betonun niteliklerinde istenilen yönde değişiklik sağlamak için katılan kimyasal maddeler” olarak tanımlanabilir [36].

Beton katkı maddeleri beton içerisine karışımdan önce veya karışım sırasında çok düşük miktarlarda ilave edilen organik veya inorganik maddelerdir. Mineral ve kimyasal olarak iki gruba ayrılırlar. Kimyasal katkı betonun akışkanlığının artırılması, erken ve yüksek dayanıma ulaşması, geçirimsizliğin ve dona dayanımının sağlanması yanında priz sürelerini değiştirmek gibi amaçlarla kullanılmaktadır [37].

**Akışkanlaştırıcılar;** uygulamada su/çimento oranını azaltarak daha yüksek dayanım kazanabilmek, kütle betonlarında hidrasyon ısısını düşürmek için çimento miktarının azaltılması veya aynı işlenebilmeyi sağlamak ve kolay yerleşmeyi sağlamak amaçlarıyla kullanılmaktadırlar [38]. Ayrıca bu kimyasal katkı betonun ayrışmayı azaltarak pompalanabilirliği iyileştirmek için de kullanılmaktadır [36].

Akışkanlaştırıcı kimyasal katkı maddeleri, esas itibariyle bir ucu su çekici (hidrofil) diğer ucu su itici (hidrofob) özelliğinde uzun zincir biçiminde organik moleküler yapı gösteren maddelerdir. Su indirgeyicilerin ana bileşenleri ligno sülfonatlar, hidroksi karboksilik asitler ve karbonhidratlar; yüksek mertebede su indirgeyicilerin ana bileşenleri sülfone melamin formaldehit ve sülfone naftalin formaldehit polikondansesi ile modifiye ligno sülfonat polimerleridir. Suyun sahip olduğu yüksek yüzey gerilimi, çimento taneciklerinin pozitif ve negatif kısımları arasında meydana gelen çekim kuvvetlerinin etkisi sonucu oluşan topaklaşma isteğiyle birleşince az miktarda su kullanarak iyi ve homojen dağılıma sahip bir su/çimento sistemi elde etmek mümkün olmaz. Su indirgeyici kimyasal katkı maddelerinin kullanıldığı su çimento sisteminde katkı maddelerinin çimento taneciklerince adsorbe olması sonucu hem suyun yüzey gerilimi azalır hem de çimento taneciklerinin hidrofob özellik kazanması sağlanır ve sonuçta iyi ve homojen dağılıma sahip bir su-çimento sistemi elde edilmiş olur.

Hava sürükleyici kimyasal katkı maddeleri de benzer şekilde, bir taraftan suyun yüzey gerilimini azaltırken diğer taraftan sistemde hava kabarcıklarının meydana gelmesini sağlamakta ve aynı zamanda oluşan bu hava kabarcıklarının birleşme eğilimlerini engellemektedir. Sonuçta, hidrofob özellik kazanan çimento taneciklerinin yüzeyleri tarafından tutulmuş hava, su ile yer değiştirmek suretiyle kabarcıklar halinde çimento taneciklerinin yüzeylerine yapışır ve bu şekilde hava sürükleyicinin etkinliği ortaya çıkmış olur. Şekil 2.6'da çimento tanesiyle akışkanlaştırıcı molekülünün etkileşimi verilmiştir[38].



Şekil 2.6. Çimento tanesiyle akışkanlaştırıcı molekülünün etkileşimi [38].

ASTM C494'ye uyumlu kimyasal katkıları şu şekilde sınıflandırılır [39].

Tip A: Su azaltıcı

Tip B: Geciktirici

Tip C: Hızlandırıcı

Tip D: Su azaltıcı ve priz geciktirici

Tip E: Su azaltıcı ve hızlandırıcı

Tip F: Su azaltıcı, yüksek oranda

Tip G: Yüksek oranda su azaltıcı ve geciktirici

TS EN 934-2+A1 :2014'e göre kimyasal katkıların özellikleri ve çeşitleri aşağıda sıralanmıştır [40]:

- Su azaltıcı / akışkanlaştırıcı kimyasal katkı
- Yüksek oranda su azaltıcı / süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı
- Su tutucu kimyasal katkı
- Hava sürükleyici kimyasal katkı
- Priz hızlandırıcı kimyasal katkı
- Sertleşmeyi hızlandırıcı kimyasal katkı
- Priz geciktirici kimyasal katkı
- Su geçirimsizlik kimyasal katkısı
- Priz geciktirici / su azaltıcı / akışkanlaştırıcı kimyasal katkı
- Priz geciktirici / yüksek oranda su azaltıcı / süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı
- Priz hızlandırıcı / su azaltıcı / akışkanlaştırıcı kimyasal katkı

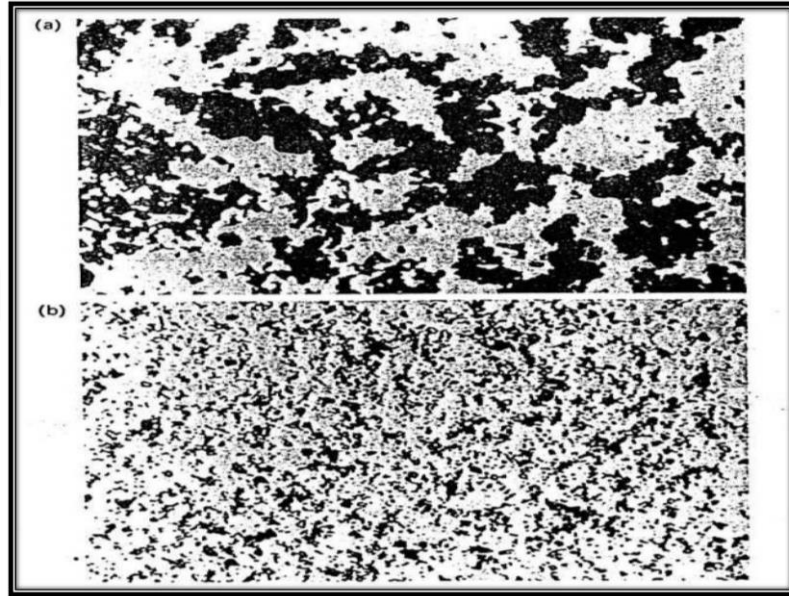
#### a) Su Azaltıcılar (Akışkanlaştırıcılar)

Betonda aynı kıvamın veya işlenebilirliğin daha az su ile elde edilmesini sağlarlar. Tazebetonda kullanılan su miktarı azaldıkça betonun dayanımı artar. Azalttığı su miktarı ileorantılı olarak normal ve süper olarak ayrılırlar.

Normal Akışkanlaştırıcı Katkılar: Beton üretiminde kullanılması gereken çimento miktarında bir azaltışa gitmeden veya mukavemetten ödün vermeden imal edilen betonun, akıcı ve kolay yerleşebilir olmasını sağlamaktır. Ayrıca su/çimento oranını düşürerek yüksek dayanımlı beton elde etmek istediğimizde, işlenebilirliği sağlamak için, su/çimento oranı sabit kalmak kaydı ile hem su hem de çimento miktarında

azalmaya giderek tasarruf yapılması durumunda işlenebilirliği ilk seviyesinde tutabilmek amacı ile kullanılır [41].

Çimento partikülleri birbiriyle birleşmek suretiyle küçük topaklar oluşturmaya meyillidirler. Akışkanlaştırıcılar su ile birleşerek beton içerisindeki suyun yüzey gerilimlerini ve çekim gücünü azaltırlar. Akışkanlaştırıcılar negatif elektriksel yüke sahip olup su yüzeyinde hareket etme eğilimindedirler. Bu etkileri dolayısı ile topaklaşmayı önlemeleri ve aynı zamanda tanelerin birbiri üzerinden kaymalarını kolaylaştırmak ve yağlayıcı etki göstermeleri betonun iç sürtünmesini azaltmakta ve işlenebilirliğini artırmaktadır. Şekil 2.7.'de (a) karışımda akışkanlaştırıcı olmadığı zaman çimento tanelerinin nasıl topak halinde kaldığı (b) de ise akışkanlaştırıcı varlığında çimento tanelerinin nasıl homojen dağıldığı gösterilmiştir [42].



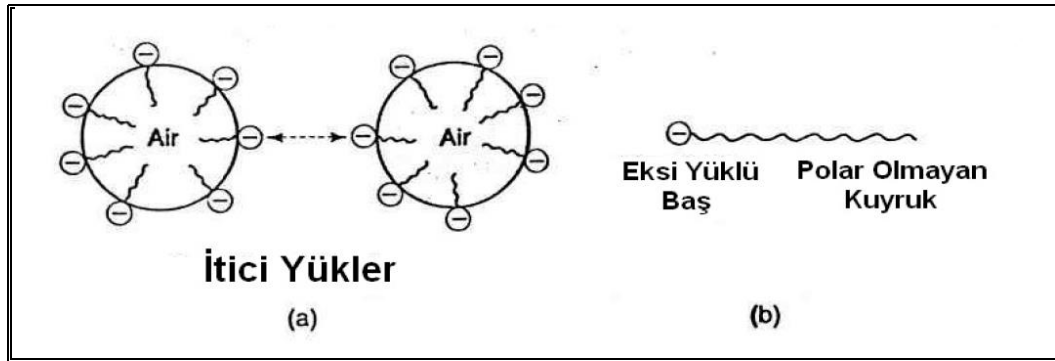
**Şekil 2.7.** (a) Çimento su süspansiyonunda topaklanmış çimento tanecikleri  
(b) Çimento+ su + akışkanlaştırıcı katkı varlığında çimento tanecikleri.

Akışkanlaştırıcılar, genellikle taşıma betonlarında, kütle betonlarında, pompa betonlarında, hazır betonda, düzgün yüzey istenen her yerde, çelik donatının yoğun olduğu yerlerde, vb. kullanılır.

Yüksek Oranda Su Azaltıcı/Süper Akışkanlaştırıcı Katkılar: Günümüzde dayanıklı betonlar genellikle süper akışkanlaştırıcılar kullanarak üretilmektedir. Süper akışkanlaştırıcılar, yüksek oranda su indirgeyiciler olarak da bilinir. 1970'lerde Naftalin Sülfonat Formaldehit (NSF) esaslı süper akışkanlaştırıcılar Japonya'da Melamin Sülfonat Formaldehit esaslı süper akışkanlaştırıcılar (MSF) Batı Almanya'da üretildi.

Aniyonik uzun zincir moleküller, çimento parçacıklarını (partikülleri) sararak elektrik şarjı ile yüklediler. Böylelikle çimento partikülleri birbirini iterek, topaklaşmadılar. Betonun akışkanlığı ve işlenebilirliği arttı. Tüm olumlu özelliklerine rağmen NSF ve MSF bazlı süper akışkanlaştırıcılar ilk 30-60 dakika arasında hızlı bir çökme kaybına uğruyorlardı. İlk zamanlar bu sorun şantiyede ekstra katkı ilave ederek veya priz geciktiği yan etkili süper akışkanlaştırıcı beton katkıları ile çözülmeye çalışıldı. 1986 yılında ise Japonya’da uzun süre işlenebilirliği koruyan yeni kuşak Hiper akışkanlaştırıcılar geliştirildi. Polikarboksilat (PC) bazlı süper akışkanlaştırıcıların yüksek akışkanlık ve yüksek segregasyon direnci bulunduğu ayrıca işlenebilirliğinin uzun süre devam ederek işlenebilme kayıplarının azaltılabileceği görüldü. Yeni yüksek performanslı hiper akışkanlaştırıcılar, düşük çimento dozlarına rağmen, çok düşük su/çimento oranlarını (<0.4) ve çok akıcı kıvamları (22cm’den yüksek çökmeli) mümkün kılar [41].

Süper akışkanlaştırıcı (SA) yüksek derecede su azaltıcı bir katkı maddesidir. Normal su azaltıcı akışkanlaştırıcı katkılara göre 3-4 kat daha fazla etki gösterirler. SA katkılar, yüksek molekül ağırlıklı, zincir biçimli anyonik yüzey aktif maddeleridir. Zincir boyunca çok sayıda polar aktif grup içerir. Bu moleküller çimento taneciğinin üzerine yapışarak çevrelerinde bulunan suyun yüzey gerilimini çok düşürürler. Böylece sistem içinde tam bir dağılım ve büyük bir akıcılık sağlarlar. Hava kabarcıklarının etkileşimi ve anyonik hava sürükleyicinin en sık görünen tipi şekil 2.8’de gösterilmektedir.

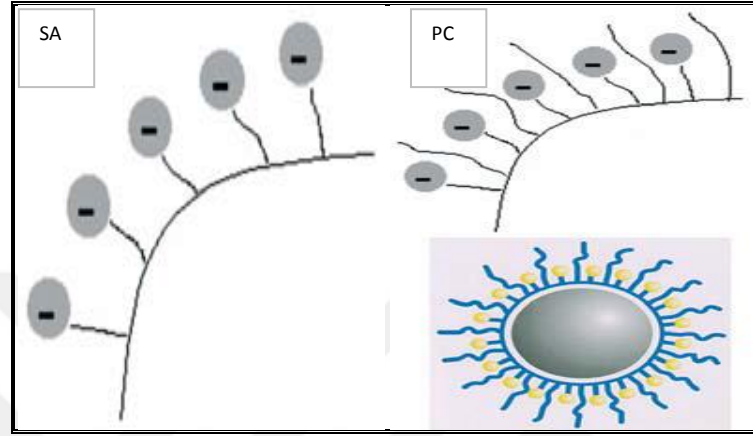


**Şekil 2.8.** (a) Hava kabarcıklarının etkileşimi (b) Anyonik hava sürükleyicinin en sıklıkla görülen tipi [38].

SA’ ların bu üstün özellikleri sonucu, normal katkı maddeleri ile yaklaşık olarak %5-10 oranında azaltabilen su/çimento oranı SA’lar ile mukavemeti düşürmeden %20-25

oranında azaltılabilir. Eğer beton kıvamı sabit tutulacaksa SA katkı ile beton başlangıç mukavemeti büyük ölçüde artırılabilir [43].

Yeni yüksek performanslı hiper akışkanlaştırıcılar, düşük çimento dozlarına rağmen, çok düşük su/çimento oranlarını ( $<0.4$ ) ve çok akıcı kıvamları (22 cm'den yüksek çökmeli) mümkün kılar.



**Şekil 2.9.** SA'ların dağılma etkisi, PC'lerin elektrostatik ve sterik etkisi.

PC molekülleri Şekil 2.9'da, yumuşak çimento granülleri tarafından çekilir ve karıştırma sırasında çimentonun etrafına sarılırlar. Bu oluşum, çimento partiküllerinin yüzeydeki negatif yüklerini artırır ve elektrostatik itmeye neden olur. Çimento granüllerinin çok miktarda dağılımı bunun sonucudur.

#### b) Priz Geciktiriciler

Taze betonun katılaşmaya başlama süresini uzatan katılardır. Uzun mesafeye taşınan betonlar veya sıcak hava dökümleri için en ideal sonuç verirler.

#### c) Priz Hızlandırıcılar

Priz geciktiricilerin aksine, bu katkılar betonun katılaşma süresini kısaltırlar. Bazı uygulamalarda, erken kalıp almada ve soğuk hava dökümlerinde don ayrıca priz geçikme olayı başlamadan betonun katılaşmış olmasını sağlamak için kullanılırlar.

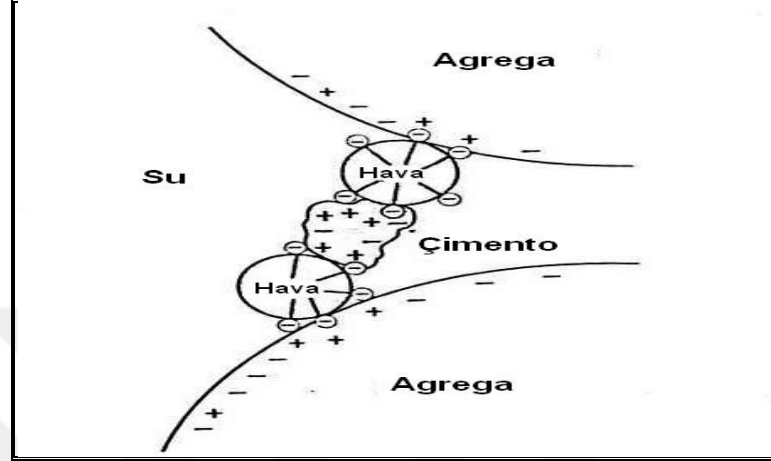
#### d) Antifrizler

Betonun donmaya karşı kendisini korumasını ve geç priz almamasını sağlar. Antifriz suyun donma sıcaklığının üzerindeki hava sıcaklığında kullanılmalıdır.



e) Hava Sürükleyici Katkılar

Şekil 2.10'da hava sürükleyici katkıları beton içinde çok küçük boyutlu ve eşit dağılan hava kabarcıkları oluşturarak betonun geçirimsizliğini ve donma karşı direncini ve işlenebilirliğini artırır.



Şekil 2.10. Agregalar arası hava boşluklarının etkileşim mekanizması.

f) Su Geçirimsizlik Katkıları

Sınırlı miktarda hava sürükleyen katkılarıdır ancak yerine yerleşmiş betonun su sızdırmazlığının sağlanması uygun yerleştirme tekniğinin iyi bir şekilde yapılmasına bağlıdır. Bazı betonlarda birden fazla katkı türü birlikte kullanılabilir. Ancak bu katkıların birbirlerinin etkilerini bozmadıkları denlenmelidir.

g) Püskürtme Beton Katkıları

Püskürtme beton, yüksek hava basıncı sayesinde uygun ekipman ile bir yüzeye püskürtülen ve kendi momentumu ile sıkışan betondur. Püskürtme betonun uygulandığı yüzeye yapışması daha kalın katmanlar halinde dikeyde ve tavanda uygulanabilmesi ve ilk kaya desteğini sağlayabilmesi için erken priz alması ve mukavemet kazanması gerekmektedir. Bu amaçla püskürtme beton karışımında priz hızlandırıcı kullanılır. Püskürtme betonu, kuru sistem ve yaş sistem olmak üzere iki şekilde uygulanır. Kuru sistemde kullanılan toz hem yaş hem de kuru sisteme uygulanabilen sıvı priz hızlandırıcıları vardır [43].

### **3. MATERYAL VE METOD**

#### **3.1. MATERYAL**

Beton karışımlarının hazırlanmasında Portland çimentosu, ince ve iri agregası, SBK, akışkanlaştırıcı kimyasal katkıları kullanılmıştır.

##### **3.1.1. Agregası**

Agregası, beton yapımında çimento ve su karışımından oluşan bağlayıcı madde yardımı ile bir araya getirilen organik olmayan, kum, çakıl, kırma taş gibi doğal kaynaklı veya yüksek fırın cürufu, genleştirilmiş perlit, genleştirilmiş kil gibi yapay kaynaklı olan taneli bir yapıdadır. Beton kullanımına paralel olarak, beton agregasına olan talepte artmaktadır. Doğal agregası kaynaklarının sınırlı olması ya da uygun olmaması, çevrenin korunması ve yüksek dayanımlı betona olan talep betonda kırma-taş kullanımını gerekli kılmaktadır [44].

Agregasının kimyasal ve mineralojik bileşimi, petrografik yapısı, özgül ağırlığı, sertliği, dayanımı, fiziksel ve kimyasal kararlılığı, boşluk yapısı ve rengi gibi özellikleri, kayacın özelliklerine bağlıdır. Ancak, uygulamada genellikle agregasının tane şekli ve boyutu, yüzey yapısı ve su emmesi gibi özellikleri göz önüne alınır. Tüm bu agregası özelliklerinin beton özellikleri üzerinde önemli etkisi vardır[45].

Kullanılan agregaları Gebze Kibsaş A.Ş ocağından agregası büyüklüklerine göre homojen bir şekilde seçilerek alınmıştır.

Temin edilen agregaları üç farklı boyutta kırılmıştır. 5-15 mm, 0-7 mm ve 0-4mm yıkanmış doğal kumdur. Kullanılan agregaları kalker kökenli olup tüm agregası deneyleri TS706 EN 12620+A1 'e göre yapılmıştır. Kullanılan agregaları Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Ocaktan alınan 0-4 mm doğal kum.



Şekil 3.2. Ocaktan alınan 0-7 mm kırma taş agregalar.



Şekil 3.3. Ocaktan alınan 5-15 mm agregalar.

Kullanılan agregaya ve benzer agregaların karşılaştırılması için özgül ağırlık ve su emme oranları bulunmuş ve Çizelge 3.1’de verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Bazı tip agregaların Özgül ağırlık ve Su emme oranları [46].

Agrega Özellikleri		Özgül ağırlık(gr/cm <sup>3</sup> )	Su emme (%)
Bazalt	Kırma kum	2,84	0,20
	Kırma taş No I	2,81	0,14
	Kırma taş No II	2,84	0,14
Çatalca Kalkeri	Kırma kum	2,64	2,00
	Kırma taş No I	2,62	1,40
	Kırma taş No II	2,61	1,40
Cebeci Kalkeri	Kırma kum	2,71	1,30
	Kırma taş No I	2,72	0,90
	Kırma taş No II	2,72	0,90
Gebze (Kıbsaş) Kalkeri	Kırma kum	2,69	1,40
	Kırma taş No I	2,71	0,70
	Kırma taş No II	2,71	0,80
Doğal Kum		2,63	0,60

### 3.1.2. Çimento

Beton üretiminde bağlayıcı malzeme olarak CEM I 42,5 R tipi Portland Çimentosu kullanılmış olup, Nuh Çimento Sanayi A.Ş.’den sağlanmıştır.

Çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik analizi fabrikadan temin edilmiş olup Çizelge 3.2’de çimentonun kimyasal analizi, Çizelge 3.3’te ise fiziksel ve mekanik özellikleri verilmiştir.

**Çizelge 3.2.** Çimentonun kimyasal analizi [47].

Kimyasal Analiz	Analiz Değerleri (%)
SiO <sub>2</sub>	19.49
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.36
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.40
CaO	63.93
MgO	1.67
SO <sub>3</sub>	2.81
Çözünmeyen Kalıntı	0.57
Kızdırma Kaybı	2.91
Serbest Kireç	1.42
Toplam Alkali Na <sub>2</sub> O + 0,658 K <sub>2</sub> O	0.32
Klorür	0.0079

**Çizelge 3.3.** Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri [47].

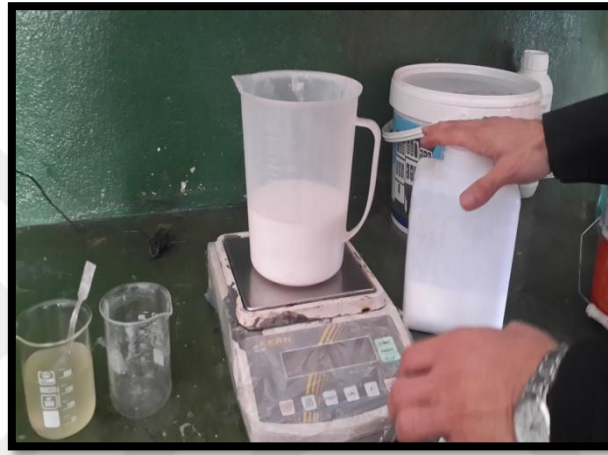
Fiziksel Analiz Sonuçları	Analiz Değerleri	
Özgül Ağırlık	3.15g/cm <sup>3</sup>	
Kıvam (Su/Çimento)	%28,5	
Priz başlangıç-Son (Vicat)	Başlangıç	Son
	141 dk.	202 dk.
Hacim Sabitliği (Le Chatelier)	1 mm	
Özgül Yüzey (Blaine)	3866 cm <sup>2</sup> /g	
90 µm elek bakiye	%0.1	
32 µm elek bakiye	%7.7	
Basınç Dayanımı	2 gün	28.1 MPa
	7 Gün	45.7 MPa
	28 Gün	56.8 MPa

### 3.1.3. Stiren bütadien kopolimer

Araştırmada kullanılan Stiren Bütadien (SBK) Univar firmasından temin edilmiş ve fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.4’de verilmiştir.

**Çizelge 3.4.** Stiren bütadien kopolimerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri [49].

Stiren Bütadien Kopolimerin Özellikleri	
Görünüm	Beyaz, düşük viskoziteli emülsiyon
Polimer Tipi	Stiren – Bütadien
Emülsifiye edici sistem	Anyonik / noniyonik
Viskozitesi (RVT 10 rpm, 20°C)	< 300 cps
Kati Madde	47.0 +/- 1 %
pH	8,5 – 9,5
Partikül büyüklüğü	ca. 175 nm



**Şekil 3.4.** Stiren bütadien kopolimerin görünümü.

#### 3.1.4. Su

Beton yapımında ve bakımında kullanılacak su Kocaeli şehir içme suyu şebekesinden temin edilmiştir. Özellikleri şartnamenin öngördüğü temiz olmalı ve içerisinde taze ve sertleşmiş betonun özelliklerine zararlı etki yapabilecek miktarda kil, silt, organik madde, asit, klorür, sülfat yağı ve endüstri atıkları gibi yabancı madde bulundurmamalı şartlarına uygundur [27].

Araştırmada Kocaeli şehir içme suyu şebekesinden temin edilen su kullanılmıştır.

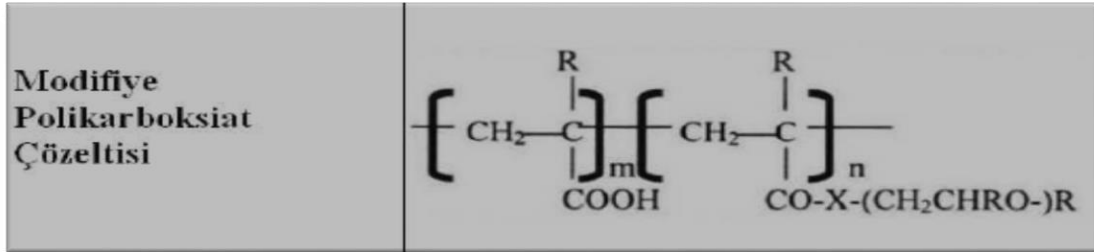
### 3.1.5. Akışkanlaştırıcı

Bu çalışmada kullanılan akışkanlaştırıcı polikarboksilat bazlı (PC) bir katkıdır. Bu katkının özellikleri Çizelge 3.5'te gösterilmiştir [50].

**Çizelge 3.5.** Kullanılan akışkanlaştırıcının kimyasal ve fiziksel özellikleri [50].

Teknik Özellikleri	
Kimyasal İçeriği	Polikarboksilat esaslı
Form	Likit
Renk	Açık kahve
Ph	6.5± 1.5
Yoğunluk	1.095 ± 0.02 kg/l (20°C)
Klor (EN 480-10)	% < 0.1
Alkali (EN 480-12)	% < 2.5

Çalışmada kullanılan polikarboksilat esaslı akışkanlaştırıcı katkıların özelliği çok bağlı (zincirle) bir yapı sergilemesi ve malzemenin çimento dozajına göre kullanılarak betona çok akışkan bir yapıya sokmasından kaynaklanmaktadır. Kullanılan polikarboksilat ASTM C494-Type G standardına göre yüksek oranda su azaltıcı sınıfındadır. PC esaslı akışkanlaştırıcıların kimyasal formülü Şekil 3.5'de verilmiştir.



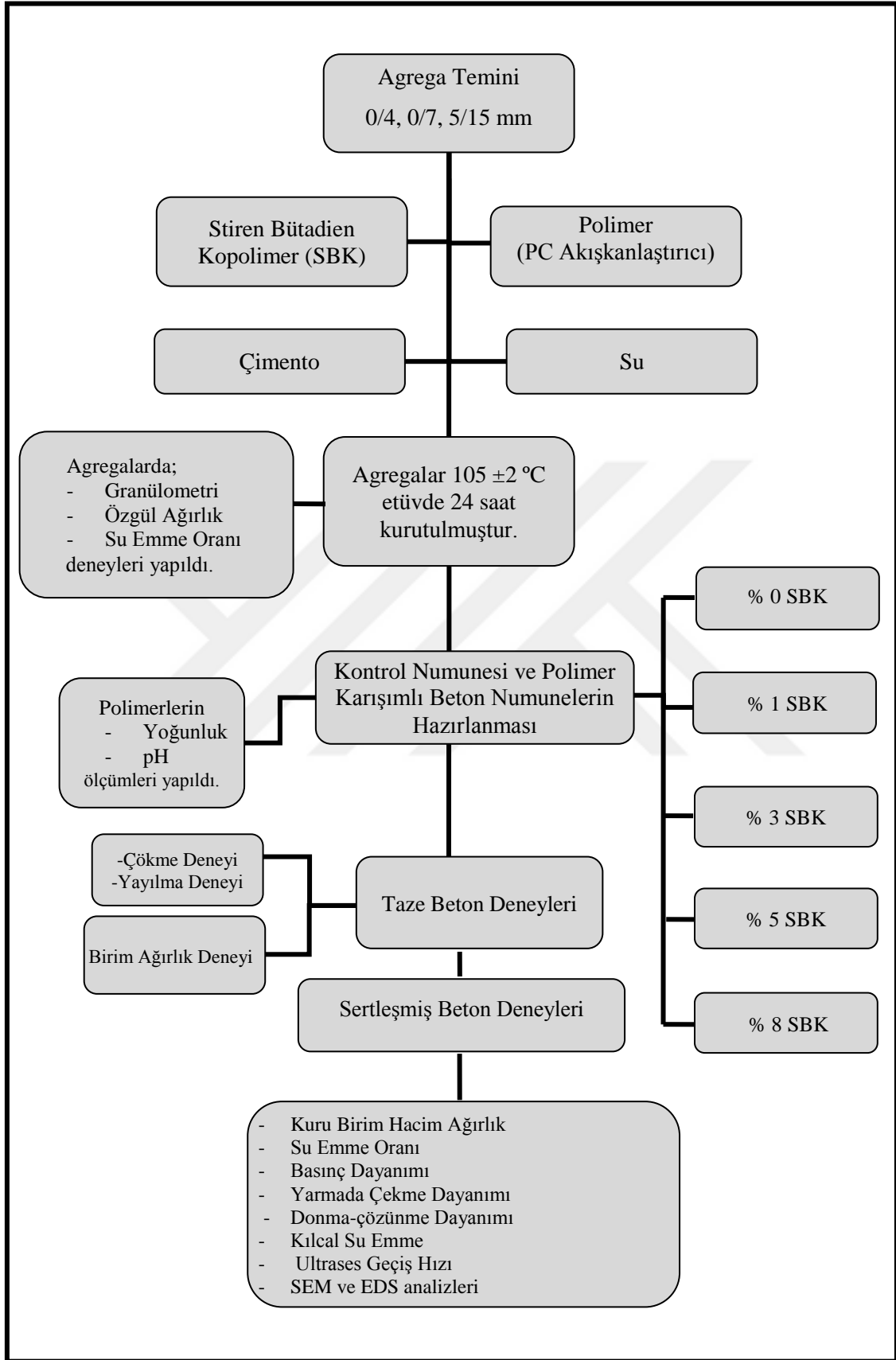
**Şekil 3.5.** Polikarboksilat akışkanlaştırıcının formülü.

### 3.2. METOD

SBK ve akışkanlaştırıcı katkıli betonların C50/60 tasarımlarında çimento yerine ağırlıkça Kontrol(%0), %1SBK %3SBK, %5SBK ve %8SBK oranlarında her deney için 15 adet 150x150x150 mm ebadında beton karışımlar dizayn edilmiştir. Çalışmada üretilen betonların karışım granülometrisi B32, TS EN 933-1:2012 uygun seçilmiştir. Karışımlarda özgül ağırlığı 3.15g/cm<sup>3</sup> olan CEM I 42.5R çimentosu kullanılarak 500 kg/m<sup>3</sup> dozlu betonlar üretilmiştir. Yapılan bu denemede üretilen taze betonlar üzerinde birim hacim ağırlığı (BHA) ve yayılma (flow), sertleşmiş beton numuneleri üzerinde ise kuru birim ağırlık, su emme, kılcal su emme, donma-çözünme, yarmada çekme dayanımı, basınç dayanımı, ultrases geçiş hızları, SEM-EDS analizleri deneysel olarak yapılmıştır.

Çalışmanın deney akış şeması Şekil 3.6'da verilmiştir. Çalışmanın sonucunda, %1SBK ile elde edilen beton numunelerin diğer beton numunelerine göre daha iyi sonuçlar verdiği ve dayanıma katkıda bulunduğu, betona SBK ilavesinin su emme oranını önemli derecede (%40-49) azalttığı tespit edilmiştir. Yüksek dayanımlı bir beton istenildiğinde bu tür bir beton üretilebileceği ortaya konmuştur.





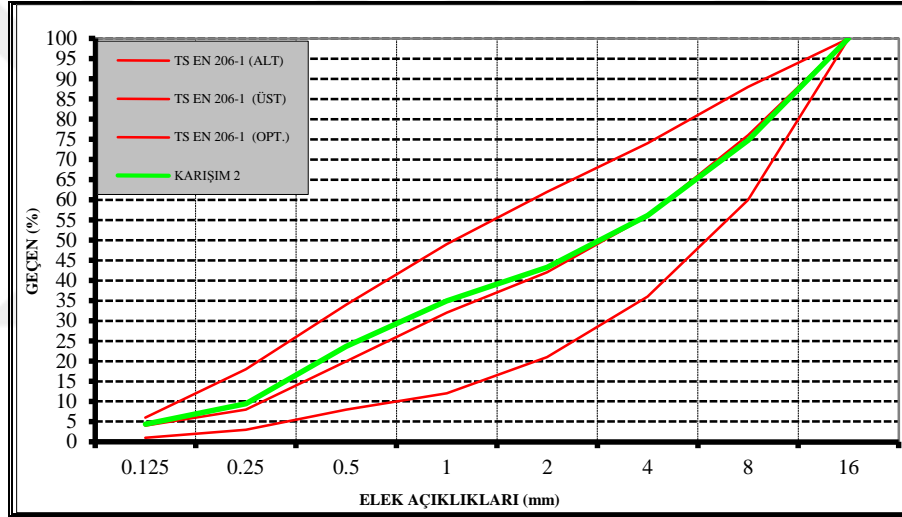
Şekil 3.6. Deney akış şeması.

### 3.2.1. Agrega deneyleri

#### 3.2.1.1. Elek analizi

Yığınının farklı noktalarından alınan agrega iyice karıştırılarak homojen duruma getirilmiştir. Deney numunesi etüvde 105 °C ( $\pm 5$  °C) sıcaklıkta değişmez ağırlığa kadar kurutulmuştur. Değişmez ağırlıkta, belirli bir sıcaklıkta bekletilen agreganın 2 saat ara ile yapılan ardışık tartımında %0,5'ten fazla ağırlık değişmesi olmaması istenir. Agrega numunesi seri numaralarına göre sıralanarak elenmiştir. Her eleğin üstüne kalan malzeme tartılarak bütün deney numunesi ağırlığının yüzdesi olarak hesaplanmıştır. Bulunan % geçen değerlerin standard eğrinin arasında kaldığı anlaşılmıştır.

Çizelge 3.6. Karışım granülometrisi.



Şekil 3.7. Elek analizinin yapılması.

### 3.2.1.2. Su emme

Su emme oranı tayini için öncelikle piknometre, huni ve ızgara tartılmıştır (m1). Deney numunesi, agrega etüvde 105±5 °C sıcaklıkta sabit kütleye gelinceye kadar kurutulmuştur. Söz konusu numuneler ortam sıcaklığına gelinceye kadar soğumaya bırakılmış ve piknometreye dikkatlice yerleştirilerek tartılmıştır (m2). Piknometre su ile doldurularak 24 saat bekletilmiştir. Daha sonra sudan çıkartılan agregalar kuru bir bez üzerine alınmış, yüzey suyu uzaklaştırılarak agrega taneleri tartılmıştır (Mw).

TS EN 1097-6'ya uygun olarak yapılan su emme oranlarının tayini hesaplanmıştır [51].

$$W_f = [M_w - (m_2 - m_1)] / [m_2 - m_1] \times 100 \quad (3.1)$$

Burada;

Wf: Nihai ölçme zamanındaki su emme oranı (%)

Mw: Deney sonunda yüzeyi kurutulmuş deney numunesinin kütlesi (g).

m1: Piknometre, huni ve ızgaranın kütlesi (g).

m2: Piknometre, huni, kuru deney numunesi ve ızgaranın kütlesi (g).

### 3.2.1.3. Özgül ağırlık

Deneyde, agreganın hava kurusu ağırlığı (Pa) bulunmuştur. İçi su ile doldurulmuş 500 ml ölçü kabı alınarak hava kabarcığı kalmaması için üzerine cam levha kapatılmıştır. Su dolu kap tartılarak (A) ağırlığı bulunmuştur. Kaptaki su bir miktar boşaltılarak, Pa ağırlığındaki agrega aynı cam kaba konulmuş ve üzeri su ile tamamlanmıştır. Agregaya ve su dolu kap tartılarak A1 ağırlığı bulunmuştur. Agregaların özgül ağırlığı aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmıştır. Deneyde kullanılan agregaların özellikleri Çizelge 3.7'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} \delta &= Pa / V(\text{g/cm}^3) \\ V &= Pa + (A - A_1)(\text{cm}^3) \end{aligned} \quad (3.2)$$

Burada;

$\delta$ : Özgül ağırlık (g/cm<sup>3</sup>)

V: Agregaya hacmi (cm<sup>3</sup>)

Pa: Agregaya hava kurusu ağırlığı (g)

A: Su dolu kap ağırlığı (g)

A1: Agregaya ve su dolu kap ağırlığı (g)

**Çizelge 3.7.** Kullanılan doğal kum ve agregaların özellikleri.

Agrega Cinsi		Özgül ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )
Agrega (0-15 mm)	Kırma kum	2,69
	Kırma taş No I	2,71
Doğal Kum		2,63

### 3.2.2. Beton Karışım Dizaynı ve Hazırlanması

Yapılan çalışmada agreganın birim hacim ağırlık, su emme değerleri belirlendikten sonra beton dizayn bilgileri B32 referans eğrisine yakın agreganın granülometrisi ölçüsünde malzemeler tartılmış ve C50/60 %0SBK katkısız betonla denemeye başlanılmış ve %1SBK, %3SBK, %5SBK, %8SBK oranlarında Stiren bütadien kopolimer ikame edilmiştir.



**Şekil 3.8.** Stiren bütadien tartımı.

Betonun karılmasında 50 dm<sup>3</sup> hacime sahip düşey eksenli laboratuvar tipi pan mikser kullanılmıştır. Karışımda ince ve iri agreganın mikserine konulmuş 1 dakika kuru olarak karıştırılmıştır. Sonrasında çimento eklenmiş ve 2 dakika daha karıştırılmıştır. Karışım suyunun 2/3'ü, akışkanlaştırıcı ve SBK karışıma ilave edildikten sonra (Şekil 3.8) 2 dakika çalıştırılmış, geri kalan suyun tamamı karışıma eklenerek 3 dakika daha

karıştırma işlemine devam edilmiştir. Taze beton yerleştirilirken, betonun homojenliğini kaybetmemesi ve segregasyona uğramaması dikkate alınarak numune kaplarına yerleştirilmiştir. Numunelerin prizini tamamlaması için üzeri nemli bezle örtülerek bir gün beklenmiş ve sonrasında su sıcaklığı  $20\pm 2$  °C olan kür havuzunda 3, 7 ve 28 gün bekletilmiştir. Bu parametrelerin beton karışım bilgileri Çizelge 3.8’de, beton karışım dizayn bilgileri Çizelge 3.9’da, karışım rutubet düzeltmeleri Çizelge 3.10’da verilmiştir.

**Çizelge 3.8.** Beton karışım bilgileri.

Malzeme	Hesaplamalar			Hacim (m <sup>3</sup> )	Doygun yüzey kuru ağırlık (g)	Ağırlık (kg)
Çimento(Kg)	Su	150	500	158,7	3,15	500
	S/C Oranı W/C	0,3				
Su				150,0	1	150
Kısmi hacim toplamı				328,7	-	-
Agregalar	Agrega hacmi (Kısmi hacim toplamı)		VA	671,3	-	-
0-4	Doğal Kum		30	201,4	2,630	529,6
0-7	Kırma Kum		27	181,2	2,700	489,4
5-15	Kırmataş		43	288,6	2,710	782,2
Toplam				1000,0	-	2451,2

**Çizelge 3.9.** Beton karışım dizayn bilgileri.

Karışım Dizaynı (1m <sup>3</sup> beton için)						
	Kontrol %0SBK	Kontrol %1PC	%1SBK	%3SBK	%5SBK	%8SBK
Çimento (kg)	500	500	495	485	475	460
Su (lt)	150	150	136,7	136,7	136,7	136,7
Agrega (kg)	Doğal Kum	541,3	541,3	541,3	541,3	541,3
	Kırma Kum	495,7	495,7	495,7	495,7	495,7
	Kırmataş	777,5	777,5	777,5	777,5	777,5
PC katkı (kg)	-	5	5	5	5	5
SBK (kg)	-	-	5	15	25	40

**Çizelge 3.10.** Beton karışım rutubet düzeltmeleri.

Rutubet Düzeltmesi				
Su emme ve Rutubet	Doğal kum	Kırma Kum	No1	Karışımındaki değişen toplam su( lt.)
Rutubet %	4	3	0	
Su Emme %	1,8	1,7	0,6	
Toplam %	2,2	1,3	-0,6	
Toplam Su lt.	11,7	6,4	-4,7	13,3

### 3.2.3. Taze beton deneyleri

#### 3.2.3.1. Çökme-yayılma deneyi

Çökme-yayılma deneyi geleneksel çökme hunisi ile gerçekleştirilir. Fakat düşey yükseklikten çok yatay yayılma mesafesi ölçülür. Çökme yayılma testi bilinen Abram's konisinden yararlanılarak yapılır. Tamamen düz bir yüzeye yerleştirilen yayılma tablasının yüzeyi nemlendirildikten sonra merkezine Abram's konisi yerleştirilir. Herhangi bir zorlama, sıkıştırma yapmadan tek işlemlerle beton ile doldurulur. Daha sonra koni tablaya dik yukarı çekilir. Beton, yayılma hareketi durduktan sonra, yayılan betonun çapı birbirine dik olarak iki noktadan ölçülür ve her iki çapın aritmetik ortalaması alınır Şekil (3.9) [52].



**Şekil 3.9.** SBK Katkılı Kendinden Yerleşen Beton yayılımı.

### 3.2.3.2. Birim ağırlık deneyi

Birim ağırlık deneyinde, çökme değerinin 70 cm'den fazla olması sebebiyle taze betonun yerleştirilme işleminde şişleme çubuğu kullanılmamıştır. Beton eşit hacimlerde üç tabaka halinde ölçü kabına yerleştirilmiştir. Her tabaka şişlenme yapılmadan sıkıştırılmış, Ölçme kabı üzerindeki fazla beton, sıyırma levhası ile düzeltilerek dolu kap tartılmıştır. Brüt ağırlıktan kabın tara ağırlığı çıkarılarak betonun net ağırlığı tayin edilmiştir ( $W_n$ ). Kalıplara yerleştirilen numuneler isimlendirilir (Şekil 3.10). TS EN 12350-6'ya göre yapılan birim ağırlık deneyi sonuçları aşağıdaki formüle bulunmuştur [53]. Burada 24 saat bekletilen numuneler kalıptan çıkarılarak kür havuzlarına alınmıştır (Şekil 3.11).

$$B = W_n / V_n \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (3.3)$$

Burada;

B: Taze betonun birim ağırlığı (kg/m<sup>3</sup>)

$W_n$ : Ölçme kabındaki betonun net ağırlığı (kg)

$V_n$ : Ölçme kabının kalibre edilmiş hacmi (m<sup>3</sup>)



**Şekil 3.10.** Beton karışımının kalıplara yerleştirilmesi.



**Şekil 3.11.** Beton numunelerinin kür havuzuna yerleştirilmesi.

### **3.2.4. Sertleşmiş beton deneyleri**

#### *3.2.4.1. Kuru birim ağırlık deneyi*

Deneyde 150x150x150 mm boyutlarında her bir deney serisi için üç adet olmak üzere toplam 15 adet küp numune üretilmiştir. Üretilen numuneler 48 saat su küründe bekletildikten sonra etüvde 100–110 °C’de 24 saat kurutulmuştur. Kurutulan numuneler hassas terazide tartılmış ve boyutları kumpasla ölçülerek kuru birim hacim ağırlıkları aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır [30].

$$S_k = W / V \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (3.4)$$

Burada;

$S_k$ : Sertleşmiş betonun kuru birim ağırlığı (kg/m<sup>3</sup>)

$W$ : Numunenin etüv kurusu ağırlığı (kg)

$V$ : Numune hacmi (m<sup>3</sup>)

#### *3.2.4.2. Basınç dayanımı deneyi*

Betonun basınç dayanımı ile eğilmede çekme dayanımı arasında yaklaşık da olsa bir ilişki bulunmaktadır. O nedenle, basınç dayanımı bilindiği takdirde, diğer türdeki dayanımların büyüklükleri hakkında bilgi edinmek mümkündür. Basınç dayanımının



bilinmesi, betonun diğer özellikleri hakkında kalitatif bilgi sağlamak olduğu söylenebilir [54]. Basınç dayanımı deneyi, TS EN 12390-3 "Sertleşmiş beton numunelerinde basınç dayanımı tayini" standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Her bir deney serisi için 3, 7 ve 28 günlük kür süreleri sonunda kırılmak üzere 150x150x150 mm boyutlarında toplam 15 adet küp numune hazırlanmıştır. Deneyde 3000 kN yükleme kapasiteli, dijital kumanda niteli ve yükleme hızı ayarlanabilen tek eksenli beton basınç test cihazı kullanılmış (Şekil 3.12) ve beton numunelerin basınç mukavemetleri aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır [55].

$$F_c = F / A_c \quad (3.5)$$

Burada;

F<sub>c</sub>: Basınç dayanımı (MPa)

F: Kırılma anında ulaşılan en büyük yük (N)

A<sub>c</sub>: Numunenin en kesit alanı (mm<sup>2</sup>)



Şekil 3.12. Beton numunelerin üzerinde basınç deneylerinin yapılması.

#### 3.2.4.3. Su emme deneyi

Her seri beton için su emme yüzdesi deneyleri 28 günlük numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Su emme yüzdesi deneyi için daha önceden kuru ağırlıkları belirlenen numuneler su içerisinde çıkarıldıktan sonra tartılmış ve bu değerler kuru ağırlık değerlerinden çıkarılarak kuru ağırlık değerlerine oranlanmış ve böylelikle her seri için su emme yüzdeleri belirlenmiştir [56].

$$A_s = (W_{sh} - W_0) / W_0 \quad (3.6)$$

$A_s$ = Ağırlıkça su emme (%)

$W_0$ = Numunenin kuru ağırlığı (gr)

$W_{sh}$ = Suya doymuş numunenin havadaki ağırlığı (gr)

#### 3.2.4.4. Yarmada çekme dayanımı deneyi

Her bir deney serisinden 28 günlük 150x150x150 mm boyutlarında, toplam 15 adet küp beton numuneleri üretilmiştir. Üretilen beton numunelerin TS EN 12390-6'ya göre yapılan yarmada çekme dayanımı deney sonuçları Çizelge 4.8'de ve grafik gösterimi Şekil 4.4'de verilmiştir. Yarmada çekme dayanım deney sonuçlarının, basınç dayanım deney sonuçlarıyla karşılaştırılabilmesi için kontrol numunelerin değerleri %100 kabul edilmiştir [57]. Yarmada çekme dayanımının hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$f_{ct} = 2 F / (3.14 L \times d) \quad (3.7)$$

Burada;

$f_{ct}$ : Yarmada çekme dayanımı (MPa)

$F$ : En büyük yük (N)

$L$ : Numunenin yükleme parçasına temas çizgisi uzunluğu (mm),

$d$ : Numunenin seçilen en kesit boyutu (mm).

#### 3.2.4.5. Donma-çözülme deneyi

Betonlar çeşitli doğa tesirlerine maruz kalmaktadır. Bunların içinde en etkilisi donma ve çözülmedir. Zira malzeme boşluklarına dolan su (-) sıcaklıklardaki hava koşullarında donarak hacimce genişleme ve iç gerilmeler meydana getirir. Sonuçta betonda fiziksel bozukluklar, basınç dayanımında azalmalar olur [60]. SBK ile elde edilen beton numunelerinin donma-çözülme karşı davranışını ortaya koymak amacıyla, 10 adet

150x150x150 mm boyutlarında küp numuneler üretilmiş ve numunelere 28 gün su kürü uygulanmıştır. 100x100 mm boyutlarına kesilmiş numuneler 24 saat donma çözünme kabininde +22°C ile -18°C arasında belirlediği set aralıklarında döngüsünü tamamlamıştır. Yapılan donma çözünme işlemine 1 tekrar (çevirim) denir. Deney bu şekilde 28 tekrarlı olarak yapılmıştır. Her ölçüm ve her numune için 28 döngü sonunda birim alan başına (kg/m<sup>2</sup>) kavlayan malzemenin yığılımlı miktarı için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır [58].

$$S_n = (ms, n \times 10^3) / A \quad (3.8)$$

S<sub>n</sub>: n döngü sonrası yığıntı miktarı

ms,n : n adet donma-çözünme döngüsü sonunda yığılımlı kütlesi

A: Numunenin alanı (m<sup>2</sup>)



Şekil 3.13. Çözünme kabininde dondurulan numuneler.

#### 3.2.4.6. Kılcal su emme deneyi

Kılcal su emme deneyi 150x150x150 mm boyutlu 28 gün kür havuzundan çıkan 15 adet numunelerin 10x10 mm'lik yüzeyinde yapılmıştır. Numunelerde 0dk, 5dk, 1 saat, 6 saat ve 1., 2., 3., 4., 5., 6. ve 7. günlerde yapılmıştır. Deneyde öncelikle etüvde 105±5 °C'de

değişmez ağırlığa kadar kurutulup, desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutulan numunelerin kuru ağırlığı belirlenmiştir. Deney esnasında suyun buharlaşarak uzaklaşmasını engellemek amacıyla numuneler parafinle kaplanmıştır (Şekil 3.14). Numunelerin yüzeyden su ile teması sağlanmış, başlangıçtan itibaren 0 dk , 5 dk , 1 saat , 6 saat ve 1.,2.,3.,4.,5.,6.ve 7. günlerde tartım yapılarak yüzeyden kılcallıkla emilen su miktarları ASTM C 1585 standardına göre belirlenmiştir [59].

$$I = mt / (a \times d) \quad (3.9)$$

Burada;

I: Su emme (mm)

mt: Su emilen miktar (g)

a: Alan (mm<sup>2</sup>)

d: Su yoğunluğu (g/mm<sup>3</sup>)



**Şekil 3.14.**Kılcal su emme için parafin ile sarılmış numuneler.

Buradan 7. gün sonunda bulunan kılcal su emme %OSBK betonun değerine oranlanarak bulunan bağıl değerlerinin zamana bağlı değişimi Şekil 4.6'da verilmiştir.

Betonda kılcal gözeneklerin ve çatlakların oluşturduğu deformasyon sistemi çok eğri büğrü ve dolambaçlıdır. Betondaki çatlakların içi boş değilse, akışkanlığı ve yapışkanlığı yüksek bir sıvının çatlakları kapatması zordur.

### 3.2.3.7. Ultrases geçiş hızı

Ultra ses hızı deney yöntemi, bir malzemeden geçen ultrasonik dalganın geçiş hızının hesaplanması prensibine dayanır.

$$V = L / T \quad (3.10)$$

White Hurst tarafından yoğunluğu yaklaşık 2400 kg/m<sup>3</sup> olan betonlar üzerinde yapılan deneysel çalışmalar sonunda, ses üstü dalga hızı bilindiği takdirde beton kalitesinin ne olabileceğine dair önerilen sonuçlar izelge 3.11’de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.11.**Ultrases – Beton kalitesi ilişkisi.

Dalga hızı km/s	>4.5	3.5-4.5	3.0-3.5	2.0-3.0	<2.0
Beton kalitesi	Mükemmel	İyi	şüpheli	Zayıf	çok zayıf

Genel olarak yüksek hızların (> 4500 m/sn) ok kaliteli betonun ve çok düşük hızların da (< 3000 km/sn) kalitesiz betonun göstergesi olduğu bilinmektedir. Deneylerin son kısmında, donma-özölmeye tabi tutulan numunelerin 28 evrimsonrasında TS EN 12504-4standardına göre ölçölen ultrasonik ses geçiş hızına (USH) bağlı olarak (V) değerleri izelge 4.10’da gösterilmiştir [62].

### 3.2.3.8. Taramalı elektron mikroskop (SEM) analizleri

SBK ile elde edilen beton numuneler su kürüne (28 gün) tabii tutularak her bir deney serisinden, kütle halinde yaklaşık 100’er gram parça alınmıştır. Bu parçaların hidratasyonuna devam etmemesi için aseton içerisinde bekletilmişlerdir. Beton numunelerin yüzeyleri ve mikro yapıları, farklı büyütme oranlarında ikincil elektron görüntüsü yöntemiyle Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), (Quanta FEG) ile incelenmiştir.

### 3.2.3.9. Enerji dağılımı spektrometresi (EDS)analizi

Enerji dağılımı spektrometresi (EDS) yüksek özünörlöklö resim oluşturmak için vakum ortamında oluşturulan ve aynı ortamda elektro mağnetik lenslerle inceltölen elektron demeti ile incelenecek malzemeyi analiz etme imkânı sunar. Numunenin yüzeyine yüksek enerjili elektronlar arpıtığında bu çarpışmalardan dolayı, numune

yüzeyinden bazı elektronlar kopar. Eğer bu elektronlar içteki (çekirdeğe yakın) orbitallerden koparılmışlarsa atomlar kararlılıklarını kaybederler. Tekrar karalı hale gelebilmek için dış orbitallerdeki elektronlar iç orbitallerdeki boşlukları doldururlar. Dış orbitallerdeki elektronların enerjileri iç orbitallerdeki elektronların enerjilerinden daha yüksek olduğu için, dış orbital elektronları iç orbitalleri doldururken belli bir miktar enerji kaybetmek zorundadırlar. Bu kaybedilen enerji X-ışını şeklinde ortaya çıkar. Ortaya çıkan X-ışınlarının enerjisi ve dalga boyu sadece atomla ilgili olmayıp o atomun alışverişte bulunan orbitalleri ile ilgili karakteristik bir özelliktir [58].

SBK ile elde edilen beton numuneler su kürüne (28 gün) tabii tutularak her bir deney serisinden, kütle halinde yaklaşık 100'er gram parça alınmıştır. EDASDD Apollo 40 cihazında EDS analizleri yapılmıştır.

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada, çimentonun ağırlıkça yer değiştirmesiyle SBK katkısının ( %0, %1, %3, %5, %8) yüksek dayanımlı betonlara etkisi literatür ve deneysel olarak araştırılmıştır. SBK katkısına göre beton numuneleri aşağıdaki gibi kodlanmıştır.

%0SBK katkılı betonlar %0 kontrol

%1SBK katkılı betonlar %1SBK

%3SBK katkılı betonlar %3SBK

%5SBK katkılı betonlar %5SBK

%8SBK katkılı betonlar %8SBK

### 4.1. AGREGA DENEY SONUÇLARI

#### 4.1.1. Su emme

Agregaların hava kurusu durumundaki ağırlığına göre su emme yüzdeleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Agregaların su emme oranı.

Agrega cinsi		Su emme (%)
Agrega (0-15 mm)	Kırma kum	1,40
	Kırma taş No I	0,70
	Doğal Kum	0,60

Bulunan su emme oranları bazalt ve cebeci agregalarına göre daha düşüktür.

#### 4.1.2. Özgül ağırlık

Agrega ve suyun hacimce yer değiştirme esasına göre, agregaların özgül ağırlıkları bulunmuştur. Özgül ağırlık deneysel sonuçlar Çizelge 4.2’de verilmiştir.

**Çizelge 4.2.** Agregaların özgül ağırlık değerleri.

Agrega cinsi		Özgül ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )
Agrega (0-15mm)	Kırma kum	2,69
	Kırma taş No I	2,70
	Doğal Kum	2,63

Özgül ağırlıkları bazalt ve cebeci agregalarına göre daha hafif olması beton numunelerinin bu agregalara göre birim ağırlıklarının düşük olmasını etkiler.

## 4.2. TAZE BETON NUMUNELERİ DENEY SONUÇLARI

### 4.2.1. Çökme-yayılma Deneyi

Taze betonun işlenebilirliğinin belirlenmesi amacıyla çökme hunisi metodu ile kıvam deneyi yapılmıştır. Çökme hunisi üç tabakada doldurulmuş ve her tabakada 25 kez şişleme çubuğu ile şişlenmiştir. Sonrasında çökme hunisi dikkatli bir şekilde yukarı çekilerek betonun kendi ağırlığı altında yayılması sağlanmıştır. Huni yayılan betonun yanına konularak çökme değeri belirlenmiştir. Deneyde kullanılan çökme hunisi Şekil4.1’de verilmiştir.



**Şekil 4.1.** Beton karışımında slump bakılması.

Beton numunelerin (SBK) yayılımları slump testi yapılmıştır. Huniye konulan beton



yayılma tepsisindeki değeri hunisi ile şişleme yapılmadan direk olarak ölçülmüştür. Beton numunelerin yayılma miktarları Çizelge4.3’de ve 0-30-60 dakikalardaki yayılma kayıpları Şekil 4.1’de verilmiştir.

**Çizelge 4.3.** Beton numunelerin yayılma sonuçları.

Beton numuneleri	Yayılma (cm)		
	0 Dk	30 Dk	60 Dk
%0SBK(Kontrol)	17	15	13
%1PC	64	59	56
%1SBK	73	72,5	72
%3SBK	75	74	73,5
%5SBK	73	72,5	72,5
%8SBK	74	73,5	73

Beton numunelerin yayılma sonuçlarında; SBK ilave edilmesi %0SBK numunesine göre betonun daha yüksek yayılım vermesine neden olmaktadır.

#### 4.2.2. Birim ağırlık sonuçları

Üretilen betonların taze birim ağırlık deneyi sonuçları Çizelge 4.8’de verilmiştir.

**Çizelge 4.4.** Taze betonların birim ağırlık deney sonuçları.

Taze Beton Numuneleri	Birim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )
%0SBK (Kontrol)	2355
%1PC	2352
%1SBK	2340
%3SBK	2330
%5SBK	2310
%8SBK	2290

Kontrol numuneleri ile SBK katkı oranına bağlı olarak değişken üretilen taze betonların birim ağırlıkları karşılaştırıldığında, %1SBK, %3SBK, %5SBK, %8SBK katkılı

numunelerin birim ağırlıkları sırasıyla %0.6, %1.07, %1.95, %2.86 azalmıştır. Söz konusu katkılı taze betonların birim ağırlıklarının 2340 kg/m<sup>3</sup> ile 2290 kg/m<sup>3</sup> arasında değiştiği görülmüştür. Taze betonda, SBK miktarı arttıkça birim ağırlıklarda azalma olduğu görülmüştür. Kontrol numunelerinin taze birim ağırlıkları, SBK elde edilen taze beton numunelerine oranla daha yüksek çıkmıştır.

### 4.3. SERTLEŞMİŞ BETON NUMUNELERİN FİZİKSEL VE MEKANİKSEL ÖZELLİKLERİ

#### 4.3.1. Birim ağırlık

Her bir deney numunesine ait beton numunelerinin birim ağırlıklarının deney sonuçları Çizelge 4.5'te verilmiştir. Kontrol numuneleri ile SBK katkı oranına bağlı olarak değişken üretilen sertleşmiş betonların birim ağırlıkları karşılaştırıldığında, %1SBK, %3SBK, %5SBK, %8SBK katkılı numunelerde sırasıyla %0,65 , %1,31 %2,19, %3,36lık azalma görülmüştür. Üretilen betonların birim ağırlıkları 2305 kg/m<sup>3</sup> ile 2230 kg/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Kontrol numunelerinin taze beton birim ağırlıkları, SBK elde edilen taze beton numunelerine oranla daha yüksek çıkmıştır.

**Çizelge 4.5.** Birim ağırlıkları.

Sertleşmiş Beton Numuneleri	Birim Hacim Ağırlık(kg/m <sup>3</sup> )
%0SBK(Kontrol)	2305
%1SBK	2290
%3SBK	2275
%5SBK	2255
%8SBK	2230

#### 4.3.2. Basınç dayanımı

Beton denemelerine ağırlıkça; %0SBK, %1SBK, %3SBK, %5SBK, %8SBK kimyasal katkıları katılmış beton deney numunelerinin 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları incelenmiştir. Çalışmada, %1SBK katkılı çimento harçlarından en yüksek basınç dayanımı elde edilmiştir. Her bir deney serisinden 150x150x150 mm boyutlarında

toplam 45 adet 15 cm'lik kp beton numuneleri üretilmiştir. Söz konusu beton numunelerin basınç dayanımı deney sonuçları Çizelge 4.6 ve Şekil 4.2'de verilmiştir.

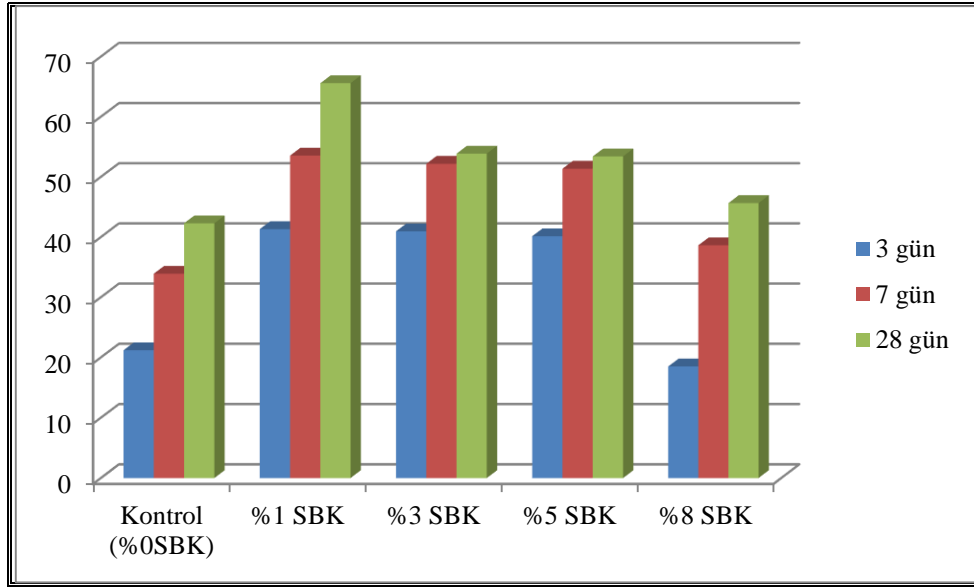
**Çizelge 4.6.** Beton numunelerin basınç dayanımları.

Numuneler	Basınç Dayanımları (MPa)		
	3 Gün	7 Gün	28 Gün
%0SBK (Kontrol)	21,19	33,91	42,29
%1SBK	41,32	53,54	65,58
%3SBK	40,95	52,18	53,87
%5SBK	40,14	51,37	53,41
%8SBK	18,51	28,64	35,66

Beton numunelerinin 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde;

3 günlük basınç dayanımlarında en yüksek değer %1SBK katkılı (41,32 MPa) ve en düşük dayanımın ise %8SBK katkılı (18,51MPa) numunelerden elde edilmiştir. 7 günlük basınç dayanımlarında da en yüksek değerinin %1SBK (53,54 MPa)'lik en düşük değerin ise%8SBK(28,64 MPa)'lik numunelerden elde edilmiştir.28 günlük en yüksek basınç %1SBK katkılı numuneden (65,58 MPa), en düşük dayanım %8SBKnumuneden (35,66 MPa) elde edilmiştir.

Dozajdaki değişkenliğe bağlı olarak beton numunelerin 3 günlük basınç dayanım değerleri karşılaştırıldığında şahit numunelerin basınç dayanımı , %1SBK katkılı numunelere göre %95, %3SBK katkılılara göre %93, %5SBK katkılılara göre %89 artmış fakat %8SBK katkılılara göre %12 azalmıştır. Bu azalmanın SBK numunesinin %5 üzerinde dayanımda olumsuz düşüşlerden kaynaklandığını düşünülmektedir.



Şekil 4.2. Beton numunelerin basınç dayanımları (MPa).

#### 4.3.3. Beton numunelerin su emme oranı

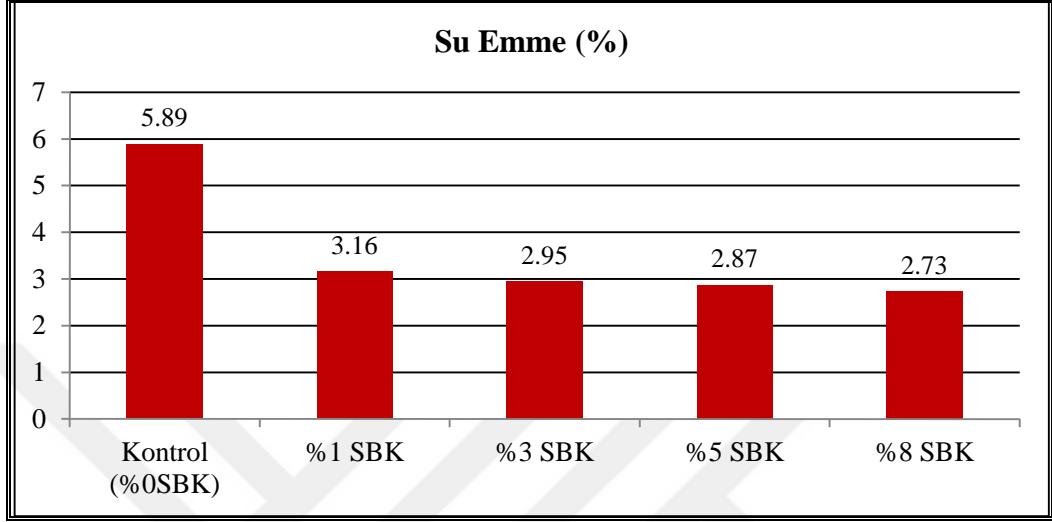
Su emme deneyi için her bir deney serisinden üçer adet olmak üzere toplam 15 adet 15 cm'lik küp numuneler üretilmiştir. SBK katkılı üretilmiş beton numunelerin su emme deneyi sonuçları Çizelge 4.7 ve Şekil 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.7. Su emme oranı.

Numuneler	Su Emme %
%0SBK(Kontrol)	5,3
%1SBK	3,16
%3SBK	2,98
%5SBK	2,87
%8SBK	2,73

Kontrol betonun SBK katkılı beton numunelerine göre su emme oranı yüksektir. SBK oranı artışına bağlı olarak numunelerin su emme oranları da azalmıştır. Bu azalma; %1SBK katkılılarda %67, %3SBK katkılılarda %77, %5SBK katkılılarda %84, %8SBK katkılılarda %94 oranındadır.

SBK katkı miktarına göre beton numunelerin su emme oranları karşılaştırıldığında %3SBK katkılı numunenin su emmesi %1SBK katkılı numuneye göre %6 daha azalırken, %5SBK katkılılarda %10, %8SBK katkılılarda %15 düzeyinde bulunmuştur.



Şekil 4.3. Beton numunelerin su emme değerleri.

Kontrol numunenin su emme oranı %5,89 iken, SBK oranı arttıkça su emme oranının %2,73 değerlerine kadar düşmektedir. Sonuç olarak Kontrol numunelerine göre su geçişinin engellenmesi, SBK katkılı üretilen beton numunelerinde su emme oranının azalmasını sağlamıştır.

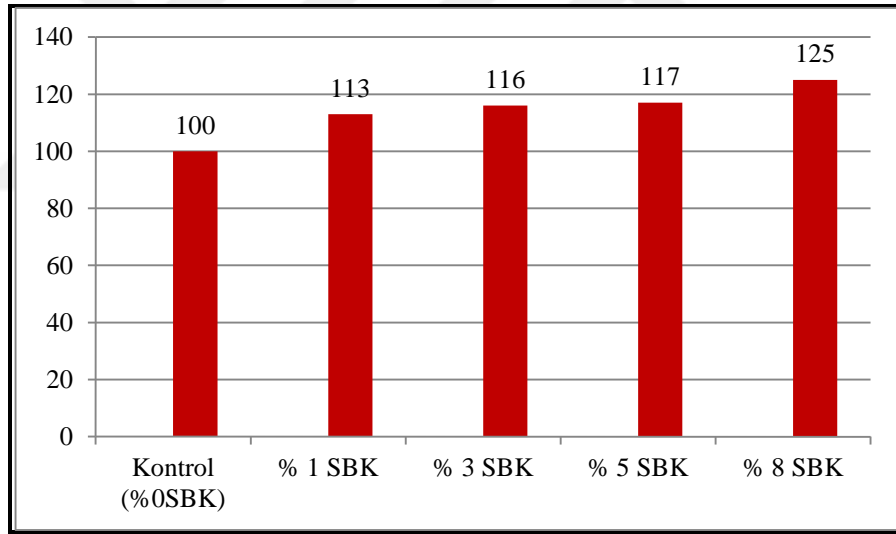
#### 4.3.4. Yarmada çekme dayanımı

Her bir deney serisinden 28 günlük 15cm'lik küp boyutlarında, toplam 15 adet küp beton numuneleri üretilmiştir. Söz konusu numunelerin 28 gün sonunda yarmada çekme dayanımları bulunmuş olup deney sonuçları Çizelge 4.8 ve Şekil 4.4'de verilmiştir. Yarmada çekme dayanım deney sonuçlarının, basınç dayanım deney sonuçlarıyla karşılaştırılabilmesi için kontrol numunelerin değerleri %100 kabul edilmiştir.

**Çizelge 4.8.** 28 günlük yarmada çekme dayanımları.

Deney Numunesi	Basınç Dayanımları		Yarmada Çekme Dayanımları	
	MPa	%	MPa	%
%0SBK (Kontrol)	42,29	100	3,58	100
%1SBK	65,58	155	4,09	113
%3SBK	53,87	127	4,27	116
%5SBK	53,41	126	4,32	117
%8SBK	35,66	85	4,76	125

SBK katkılı 28 günlük beton numunelerin yarmada çekme dayanımları, şahit numuneleri ile kıyaslandığında %1SBK katkılının %13, %3SBK katkılının %16, %5SBK katkılının %17 ve %8SBK katkılının ise %25 oranında dayanımını artmıştır. Burada %8SBK katkılı numunesinin en yüksek dayanım sağladığı belirlenmiştir.

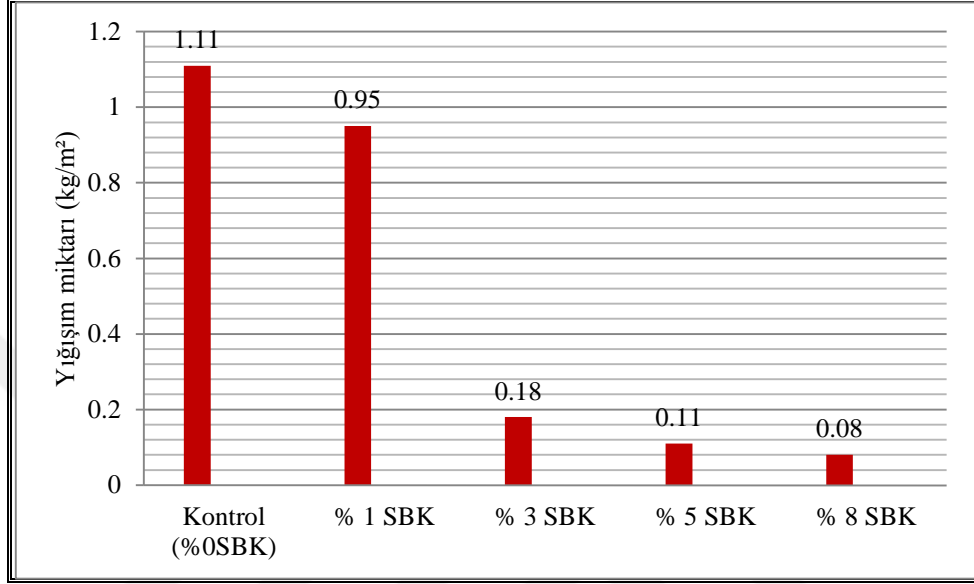


**Şekil 4.4.** Yarmada çekme dayanım değerlerinde değişim.

Basınç mukavemetini etkileyen faktörler aynı etkinliklerini çekme mukavemeti üzerinde gösterirler. SBK numune serisindeki tüm numunelerin yarmada çekme dayanımı sonuçları kontrol beton üretiminden yüksek çıkmıştır. Numunelerdeki SBK miktarına bağlı olarak artması aderansının yüksek olması şeklinde yorumlanabilir.

#### 4.3.5. Donma-çözülme deneyi

Deneyin amacı, polimer SBK ilavesi ile elde edilen beton numunelerinin donma-çözölmeye karşı davranışını ortaya koymaktır. Bu sebeple, 10 adet 100x100 mm boyutlarında numuneler üretilmiştir.



Şekil 4.5. Malzemelerin yığışım miktarı grafiğı.

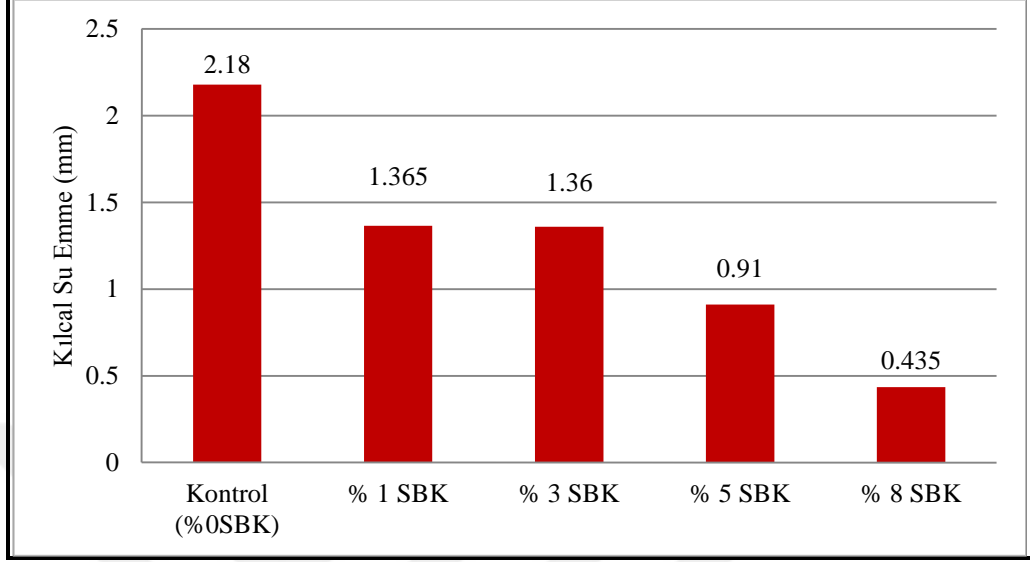
#### 4.3.6. Kılcal su emme

Kontrol numunelerle ve SBK katkı ile üretilmiş numunelerin kılcal su emme testleri e10 adet 10cm'lik küp numuneler üzerinde yapılmıştır. Söz konusu deneye ilişki Çizelge 4.9 ve Şekil 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Kılcal su emme.

Beton numuneleri	Kılcal Su Emme (kg/m²)
Kontrol (%0 SBK)	2,18
%1SBK	1,365
%3SBK	1,36
%5SBK	0,91
%8SBK	0,435

Karışımlarındaki SBK içeriğinin artmasıyla, numunelere ait kılcal su emme % içeriğinde azalma görülmüştür.



Şekil 4.6. Kılcal su emme.

#### 4.3.7. Ultrases hızı

Subaşı (2010), uçucu kül ikameli betonlarda vibrasyon süresinin fiziksel ve mekanik özelliklere etkisi çalışmasında uçucu kül ikameli C30 betonlarda ultrases geçiş hızlarını incelemiştir. Nitekim Subaşı (2010) yaptığı çalışma bu çalışmaya kriter olarak alınabilir. Çalışmanın sonucunda 3.94 km/s ile 4.12 km/s arasında sonuçlar elde etmiştir [63].

Beton numunelerin TS EN 12504-4 standardına göre yapılan ultrases hızlarının deney sonuçları Çizelge 4.10'da verilmiştir [62].

Çizelge 4.10. Ultrases hızları.

Beton Numuneleri	%0SBK (Kontrol)	%1SBK	%3SBK	%5SBK	%8SBK
Ultrases Hızı (km/s)	3.78	3.84	3.90	3.98	4.06



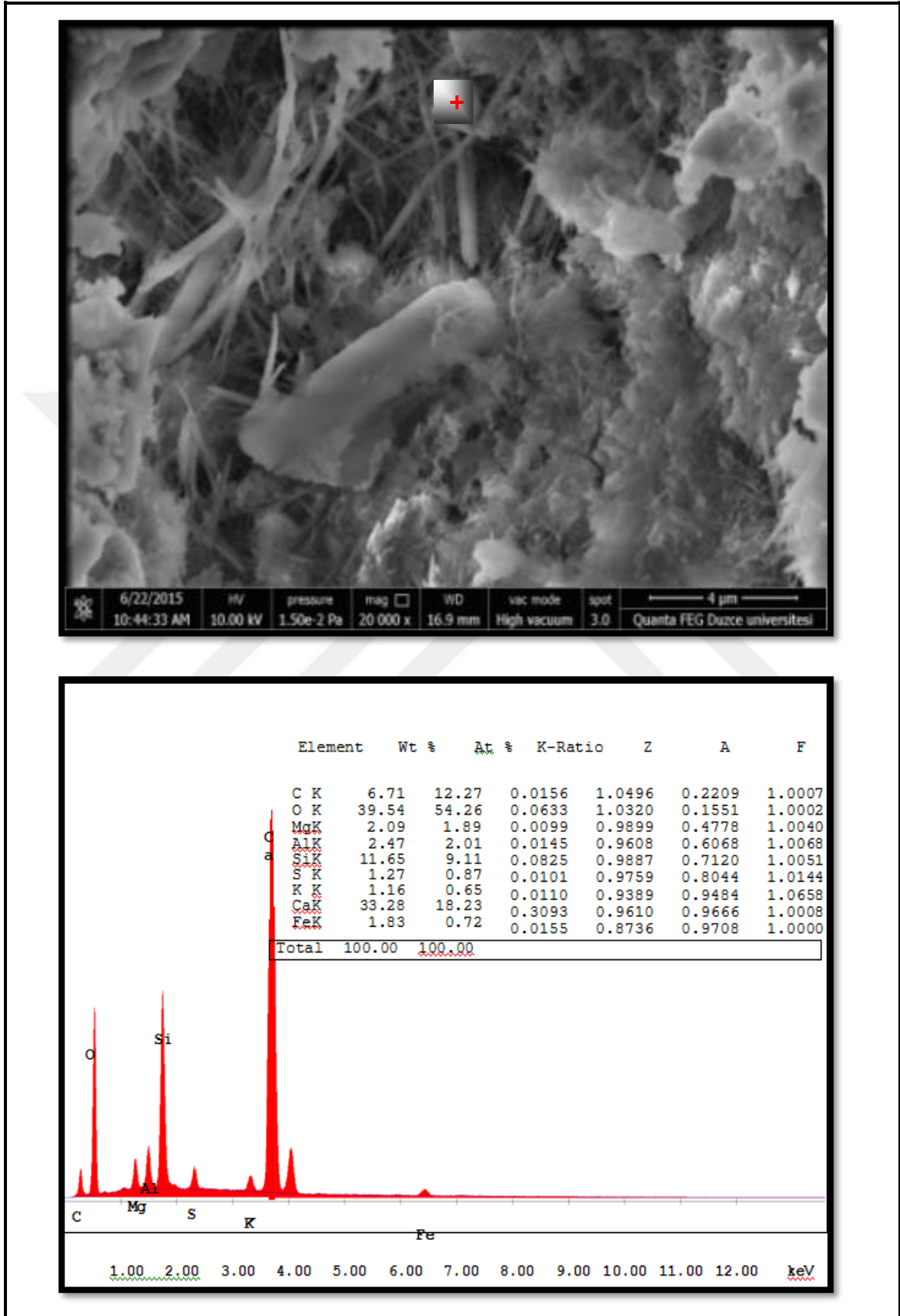
Genel olarak SBK katkılı betonların ultrases hızları 3500-4000 m/s arasında çıkmaktadır. Bulunan değerlere göre SBK katkılı beton numunelerinin normal beton sınıfına girdiğini söyleyebiliriz.

#### **4.3.8. SEM-EDS analizleri**

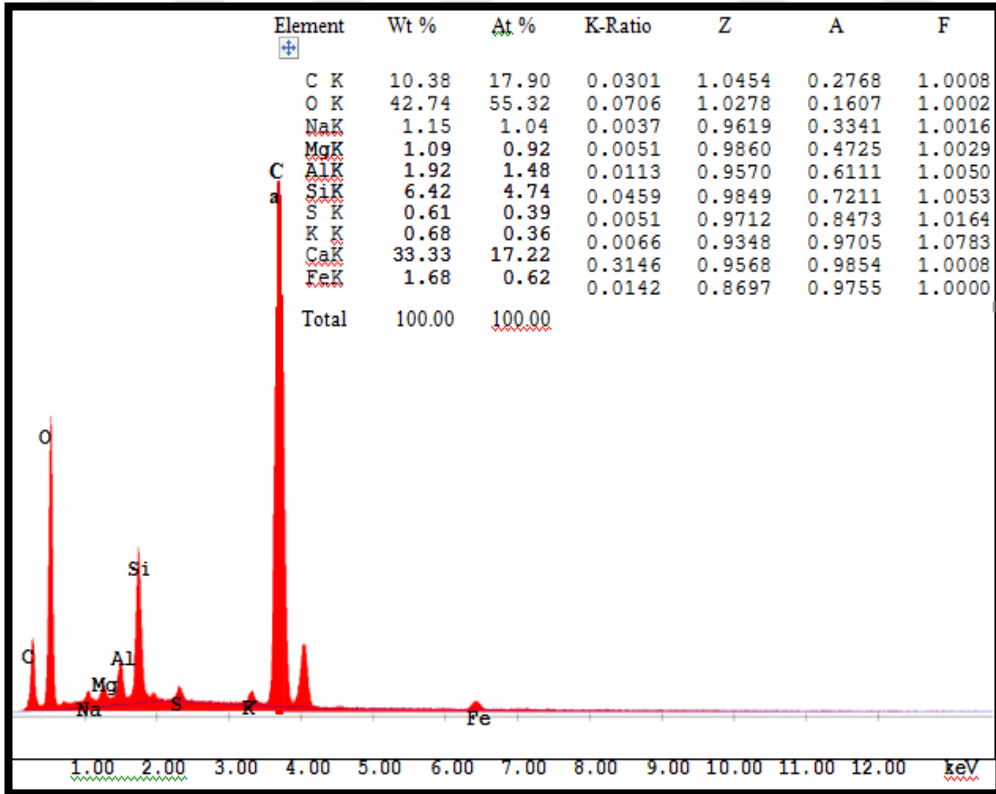
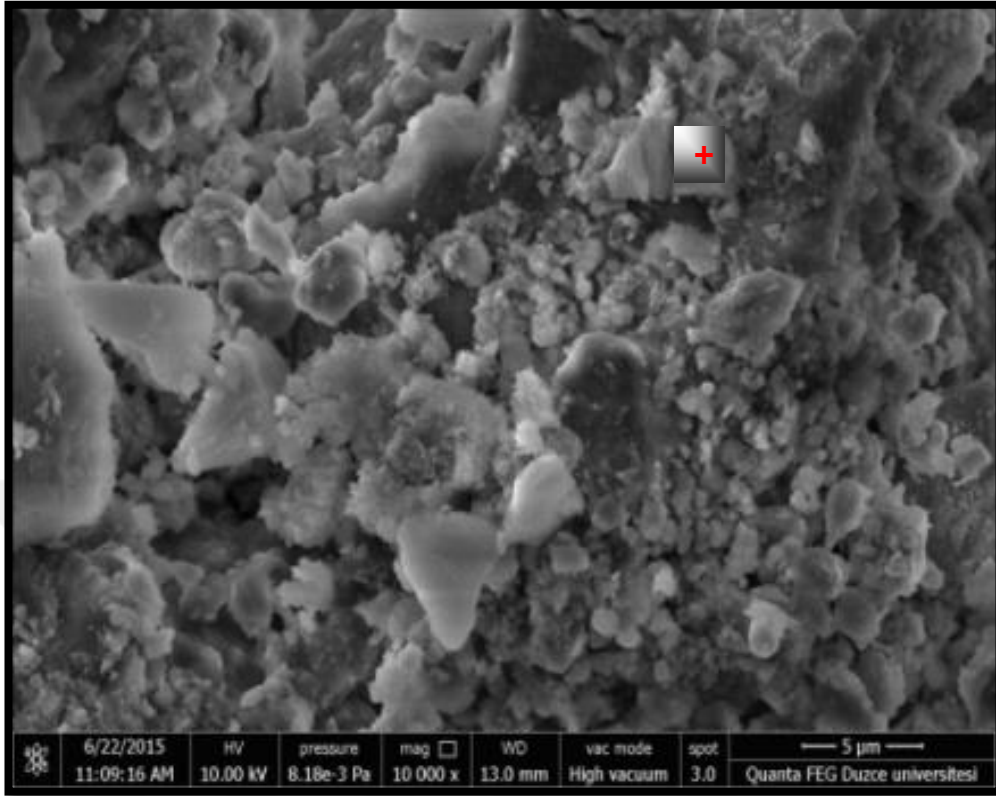
SBK katkısının beton üzerine etkisini incelemek Kontrol (%0SBK) numunesi ile %1, %3, %5 ve %8 oranlarında SBK karışımlar üretilmiştir. Beton numunelere ait SEM görüntüleri ve numunelerin mineralojik yapılarını gösteren X-ışınları difraktogram sonuçları (EDS) Şekil 4.7’de verilmiştir.

Genel olarak incelendiğinde numunelerin gözeneksiz yapıya sahip mineraller içeren agregalar olduğu görülmektedir. Yapı içerisinde feldispat, dolomit, kalsit gibi mineraller ve C-S-H, portlandit ve etrengit (trisülfoaluminat hidrat) gibi hidrate fazlar ve hidrate olmamış çimento tanecikleri bulunduğu, numuneler arasında %8SBK numunelerin biraz daha gözeneksiz bir yapıya sahip olduğu belirlenmiştir.

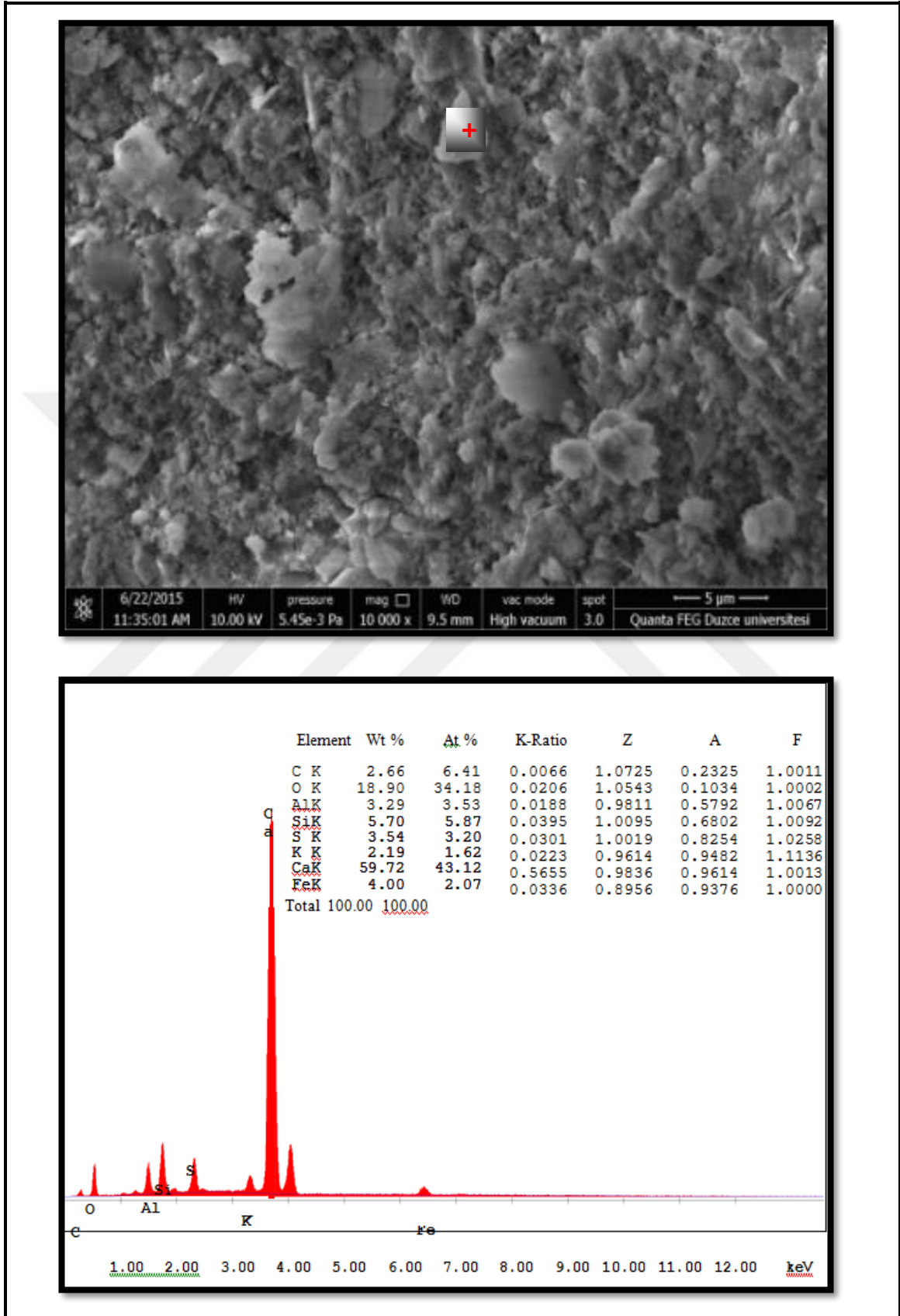
SBK katkılı beton numunelerin içindeki amorf silis,  $\text{Ca(OH)}_2$  ile reaksiyona girerek C-S-H oluşturmakta dolayısıyla yapı içindeki  $\text{Ca(OH)}_2$  azalmaktadır. Yapıdaki dolomitin büyük bir kısmı, SBK ile üretilen numunelerde kullanılan kalker oranının artışından kaynaklanmıştır. Bu durum EDS analiz sonuçları ile de desteklenmektedir.



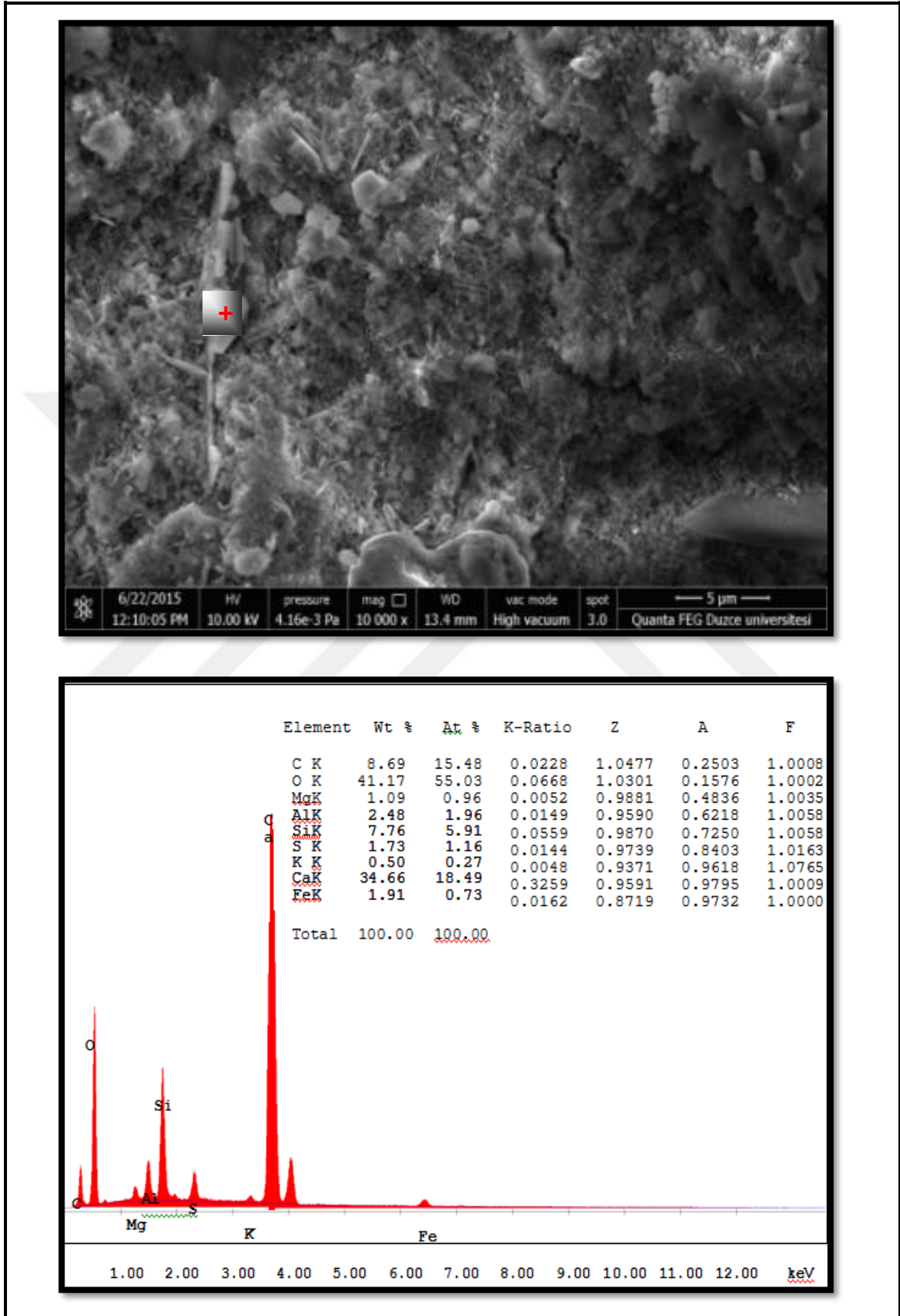
Şekil 4.7. Kontrol(%OSBK) numunelerin SEM-EDS görüntüleri.



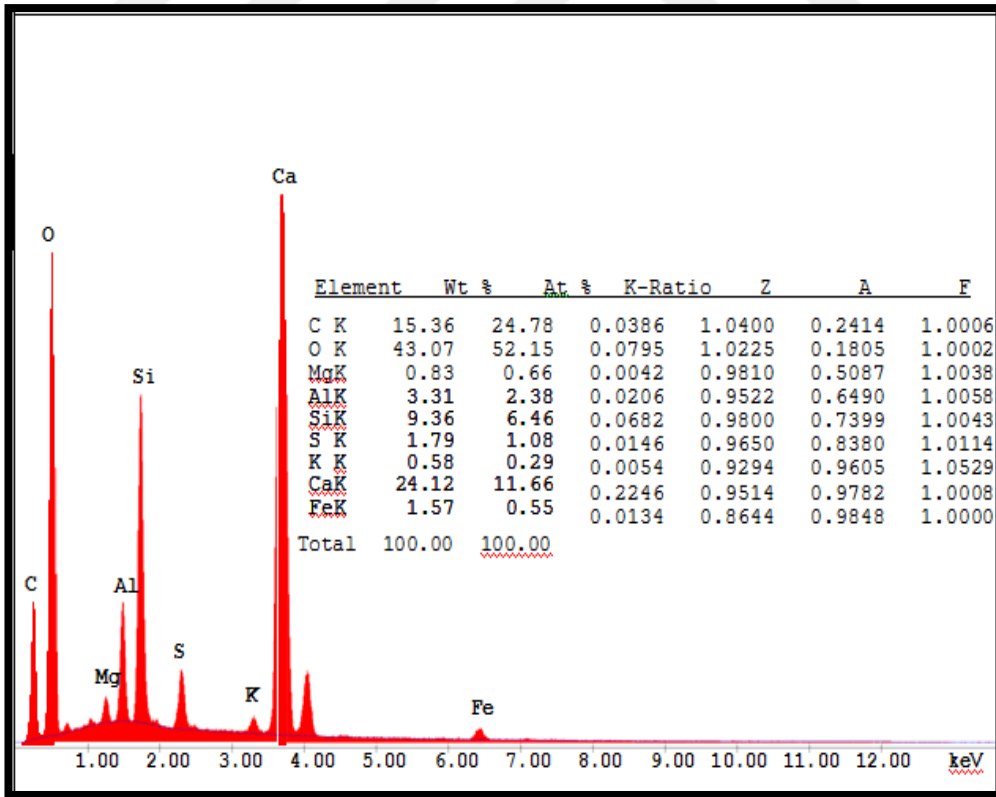
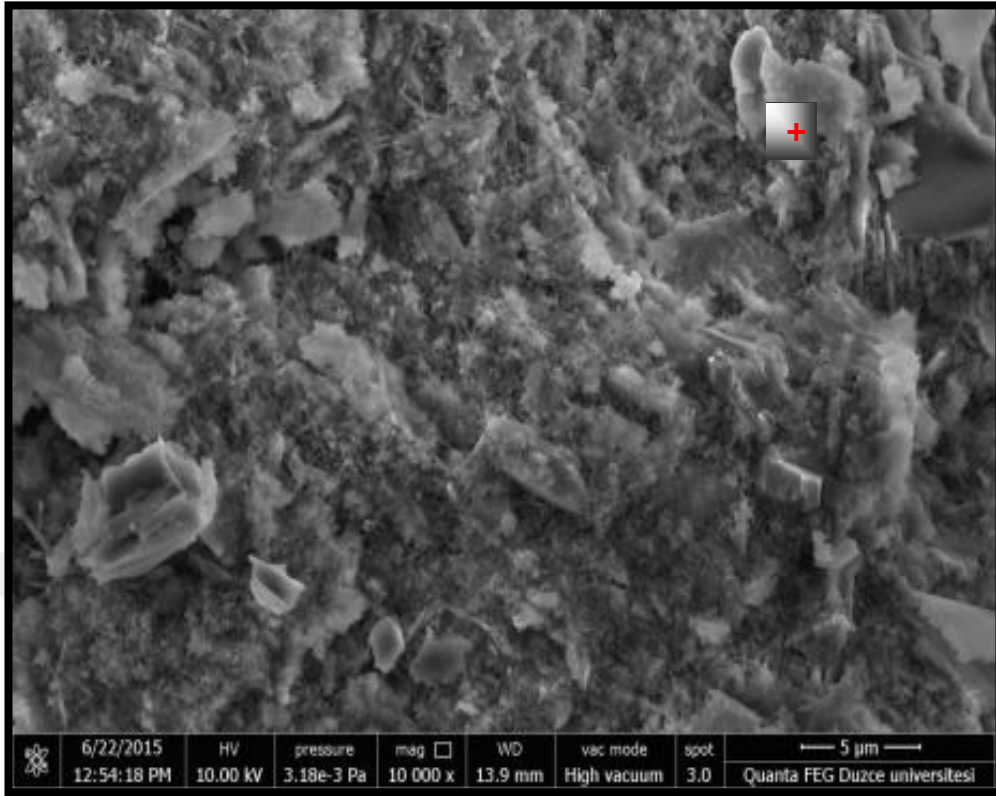
Şekil 4.8. % 1SBK katkıli numunelerin SEM-EDS görünümüleri.



Şekil 4.9. %3SBK katkıli numunelerin SEM-EDS görünümleri.



Şekil 4.10. %5SBK katkılı numunelerin SEM-EDS görüntüleri.



Şekil 4.11. %8SBK katkıli numunelerin SEM-EDS görünümleri.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada, çimentoya ağırlıkça %0,%1,%3,%5,%8 oranlarında SBK katkısı ile hazırlanan beton numunelere TS EN ve ASTM standartlarına göre yapılan deneylerin ve analizlerin sonuçları ışığında, hangi oranda SBK katkısının uygun olduğu incelenmiştir.

#### **Agrega deneyleri;**

- Su emme oranları 0-15 mm için %0,7-%1,4 ve doğal kum için %0,6 oranında olduğu belirlenmiştir.
- Özgül ağırlıkları 2,63–2,70 g/cm<sup>3</sup> arasında bulunmuştur.

#### **Taze beton deneyi;**

- Kontrol (%0SBK) betonların çökme değeri S4 kıvamında, SBK katkılı betonların yayılmaları 73-75 mm arasında değişmektedir.
- SBK ile elde edilen beton numunelerin birim ağırlık değerleri 2340 ile 2290 kg/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Bu değerlere göre tüm SBK katkılı beton numuneler literatürde verilen normal beton sınıfında yer almaktadır. Kontrol (%0SBK) ve SBK katkı oranına bağlı olarak değişken üretilen taze betonların birim ağırlıkları karşılaştırıldığında, SBK katkılı beton numunelerinin birim ağırlıkları kontrol (%0SBK) beton numunelerine göre azalmıştır. Yani taze betonun birim ağırlıkları, SBK miktarı ile doğru orantılı olarak azalmıştır. Kontrol numunelerinin birim ağırlıkları, SBK ile elde edilen taze beton numunelerine oranla daha yüksek çıkmıştır.

#### **Sertleşmiş beton deneyleri;**

- SBK katkılı beton numunelerinin 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde, 3 günlük en yüksek değer %1SBK katkılı (41,32 MPa) ve en düşük değer %8SBK katkılı (18,51MPa) üretilen numunelerden elde edildiği görülmüştür. 7 günlük basınç dayanımlarında en yüksek değer %1SBK (53,54 MPa) ve en düşük değer %8SBK (28,64 MPa) üretilen numunelerden elde edildiği bulunmuştur. 28 günlük en yüksek basınç dayanımı %1SBK katkılı numunelerden (65,58 MPa), en düşük dayanım %8SBK numunelerden (35,66 MPa) elde edilmiştir.



- Su emme bakımından yapılan incelemelerde; Kontrol (%0SBK) betonun SBK katkıli beton numunelerine göre su emme oranı yüksektir. SBK oranı artışına bağlı olarak numunelerin su emme oranları da azalmıştır. Kontrol numunelerine göre; %1SBK katkıli %67 , %3SBK katkıli %77, %5SBK katkıli %84, %8SBK katkıli ise %94 oranında su azalma olmuştur.
- Kontrol (%0SBK) numuneleri ile %1SBK, %3SBK, %5SBK, %8SBK katkıli ile elde edilen betonun 28 günlük yarmada çekme dayanımları sırasıyla 3.58, 4.09, 4.27, 4.32, 4.76 MPa değerlerindedir. %1SBK numunesi Kontrol (%0SBK) betona göre % 13, %3SBK numunesi kontrol (%0SBK) betona göre % 16, %5SBK numunesi kontrol (%0SBK) betona göre % 17, %8SBK numunesi kontrol (%0SBK) betona göre % 25 daha fazladır. En yüksek %8SBK ile elde edilen beton numunesidir.
- 28 çevrim sonunda kavlayan malzemenin yığışimli miktarı kontrol (%0SBK) numunede 1,11 kg/m<sup>2</sup> iken en düşük %8SBK numunelerde ile 0,08 kg/m<sup>2</sup> olduğu görülmüştür. Donma ve çözünme etkisine maruz kalmış numunelerde SBK miktarının artması oluşan yığışimli ağırlık miktarını düşürmektedir.
- Kılcal su emme değerleri incelendiğinde SBK miktarı arttıkça kapilaritenin azaldığı görülmüştür. Buna göre en yüksek değer %1SBK numunelerde 1,165 kg/m<sup>2</sup> ve en düşük %8SBK numunelerde 0,435 kg/m<sup>2</sup> çıkmıştır. Kontrol (%0SBK) numuneye mukayese edildiğinde kılcal su emme %8SBK numunelerde en yüksek su emme miktarı 1,745 kg/m<sup>2</sup> çıkmaktadır.
- Beton numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde, numunelerin SBK oranı arttıkça gözeneksiz bir yapıya sahip olduğu ve mineraller içerdiği görülmüştür. Yapı içerisinde, çimento ve agregada C-S-H, polikarboksilat ve SBK gibi fazlar ve hidrate olmamış çimento tanecikleri bulunduğu belirlenmiştir.
- Yapı içerisindeki feldispat, dolomit, kalsit gibi minerallerle C-S-H, portlandit ve etrenjit (trisülfoalüminat hidrat) gibi hidrate fazların olduğu, ayrıca hidrate olmamış çimento tanecikleri bulunduğu, numuneler arasında %8SBK numunelerinin daha gözeneksiz bir yapıya sahip olduğu belirlenmiştir.
- EDS sonuçlarına göre, beton numunelerin içindeki C, O, Mg, Al, Na, Si, S, K, CaO, FeO element ve bileşikleri tüm SBK katkıli numunelerde benzerlik göstermiştir. % 5 SBK ile üretilen numunede Ca miktarının (%), diğerlerine göre daha fazla çıktığı görülmektedir.



Çalışmanın sonucunda, %1 SBK katkılı beton numunelerin, beton dayanımı olarak yüksek dayanımlı beton sınıfına girdiği ve diğer serilere oranla daha optimum sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

## **5.2. ÖNERİLER**

Bu çalışmaların yanı sıra beton numunelerin klor geçirgenliği, yangın, sülfat ve asitlere karşı dayanımı ve betonda kullanılan diğer kimyasal katkı maddeleriyle etkileşimleri incelenebilir. Ayrıca üretilen beton üzerinde, deprem ve diğer sismik titreşimleri absorbe ederek beton yapı elemanlarında hasar görme özelliklerinin en aza indirilmesine yönelik deneyler gerçekleştirilebilir. Farklı SBK malzemeler ve agregalar kullanılarak birbirleri ile elde edilecek beton numunelerin dayanım ve durabilite açısından özellikleri belirlenebilir. Ayrıca, SBK katkılı kullanım alanının artırılması, polimer malzemelerin farklı kullanım şekillerinin bulunması, su emmesi düşük yeni beton türünün elde edilmesi, SBK akışkan katkılı yeni beton türünün oluşturulması, polimer malzemelerin farklı kullanım şekillerinin olabileceği yönünde katkıda bulunulması ileri çalışmalar olarak önerilebilir.

Bu çalışmada kullanılan, bileşime giren malzemelerin cins ve özellikleri, farklı yörelerdeki malzemelerin cins ve özellikleriyle farklı sonuçlar verebilir. Bu bakımdan gerek SBK, gerekse mineral esaslı malzemelerin etkileşimi yeni bir kullanım öncesi test edilmelidir.

## 6. KAYNAKLAR

- [1] Mehta P.K., Langley W.S., ‘*Monolith Foundation: Built to Last A 1000 Years, Concrete International*’, July, (2000) 27-32.
- [2] Felekoğlu B.T., Felekoğlu K., *Kendiliğinden Yerleşen Beton Üretiminde Polikarboksilat Esaslı Süper Akışkanlaştırıcı Katkuların Kullanımı*, Türkiye Hazır Beton Birliği, Temmuz-Ağustos, (2014)
- [3] Şimşek O., *Beton ve Beton Teknolojisi*, (2009)
- [4] Essa M.S., Abdul-Amir A.M. and Hassan N.F., ‘*Effect of Adding Styrene Butadiene Rubber Admixture (SBR) on Concrete Properties and Bond Between Old and New Concrete*’, Kufa Journal of Engineering, Vol:4, No:1. (2012) 81-95.
- [5] Rossignolo J.A., Agnessini M.V.C., ‘*Mechanical Properties of Polymer-Modified Lightweight Aggregate Concrete*’, Cement and Concrete Research, Vol:32, Issue 3, (2002) 329-334.
- [6] Shafieyzadeh M., ‘*Prediction of Compressive Strength of Concretes Containing Silica Fume and Styrene-Butadiene Rubber (SBR) with a Mathematical Model*’, International Journal of Concrete Structures and Materials, Vol: 7, Issue 4, (2013) 295-301.
- [7] Şengül Ö., Doğan Ü.A., ‘*Polimer Katkılı Betonların Mekanik ve Durabilite Özellikleri*’, (2003)
- [8] Karahan O., Atiş C.D., ‘*Su Gözü Uçucu Külünün Beton Katkısı Olarak Kullanılabilirliği*’, 7. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, (2007)
- [9] Postacıoğlu B., ‘*Beton - Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton*’, Cilt 1, Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul, (1987) 15-41.
- [10] Sağlam A. R., Parlak N., Doğan Ü. A., Özkul M.H., ‘*Kendiliğinden Yerleşen Beton ve Katkı-Çimento Uyumu*’, Beton Kongre Bildiri, İstanbul, (2004)
- [11] Şimşek O., Bektaş S., Erdal M., ‘*Vibrasyon Süresinin Betonun Basınç Dayanımına ve Birim Ağırlığına Etkisi*’, Ankara, (2002) 185-193.

- [12] Erdoğan S.T., Erdoğan T.Y., ‘‘Sorular ve Yanıtlarıyla Beton’’ , THBB Yayınları, Ankara, (2006) 1.
- [13] Özkul H., ‘‘İleri Beton Teknolojisi’’ , (2004) 28.
- [14] Doğangün A., ‘‘Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı’’ , (2009) 5.
- [15] Arslan S., ‘‘I. Ulusal Malzeme Mekaniği Sempozyumu’’ , İstanbul, (2001) 6-8.
- [16] Mehta and Monteiro, ‘‘Properties of Concrete’’ , (2005) 22.
- [17] Ersoy G., Özcebe G., ‘‘Betonarme’’ , İstanbul, (2001) 5.
- [18] Özışık G., ‘‘Beton’’ , Birsen Yayınevi, No: 0029, İstanbul, (2000) 103-109.
- [19] Taşdemir M.A., Atahan H.N., ‘‘The Effect of Filler Materials on the Mechanical Properties and Durability of Concrete, 1st National Crushed Stone Symposium’’ , (1996) 253.
- [20] Ünsal A., Şen H., ‘‘Beton ve Beton Malzemeleri Laboratuar Deneyleri’’ , Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Malzeme Lab.Şubesi Müdürlüğü, (2008)
- [21] TS 706 EN 12620+A1, ‘‘Beton Agregaları’’ , Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, (2009)
- [22] [www.teknolojikarastirmalar.com/egitim/yapi\\_malzemesi/beton](http://www.teknolojikarastirmalar.com/egitim/yapi_malzemesi/beton), Ocak, (2012)
- [23] Mehta P.K., Monteiro P.J.M., ‘‘Concrete Microstructure, Properties, and Materials’’ , Third Edition, McGraw-Hill, (2006)
- [24] TS EN 802, ‘‘Beton karışım tasarımı hesap esasları’’ , Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, (2009)
- [25] Burnett I., ‘‘High-Strength Concrete in Melbourne’’ , Australia, Concrete International, (1989) 17-25.
- [26] Baradan, B., Türkel S., Yazıcı H., Ün H., Yiğiter H., ‘‘Beton Teknolojisi. Yapı Denetimi El Kitabı’’ , İzmir, (2001)
- [27] Erdoğan, T. Y. , ‘‘Beton’’ , ODTÜ Geliştirme Vakfı ve Yayıncılık A.Ş., Ankara, (2003)
- [28] Akman N., ‘‘Açık Deniz Petrol Platformlarında Kullanılan Yüksek Performanslı Betonlar’’ , 6. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, (2005)
- [29] ACI 318-08 ‘‘Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08)

and Commentary’’ (318R-08).American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, USA, **(2008)**

[30] TS EN 206-1, “Beton – Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk”, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, **(2014)**

[31] Kılınç C., “*Kendiliğinden Yerleşen Betonlar*”, Hazır Beton, Temmuz, **(2012)**

[32] www.efnarc.org, “*The European Guidelines for Self Compacting Concrete Specification, Production and Use*”, Self-Compacting Concrete European Project Group, **(2005)**

[33] www.bayar.edu.tr/besergil/endustri\_polimerleri.pdf, Ocak, **(2015)**

[34] Değirmenci N., “*Özel Betonlar*” Ders Notu, bauarchitecture.files.wordpress.com /06/c3b6zel-betonlar.ppt, **(2011)**

[35] Bideci A., “*Polimer Betonlar ve Özellikleri*”, ders notları, **(2013)**

[36] Erdoğan, T.Y., “*Admixtures for Concrete*”, Middle East Technical University Ankara, **(1997)**

[37] Topçu İ.B., “*Akışkanlaştırıcı ve Dona Dayanım Katkılarının Beton Özelliklerine Etkisi*”, 4. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, **(1996)** 45-53.

[38] Akman M.S., “*Beton Katkı Maddelerinin Ana İşlevleri ve Yan Etkileri*”, İTÜ İnşaat Fakültesi, Malzeme seminerleri 11 Mayıs1987, İstanbul. ; Yıldırım H., Ardaç E., “Süper ve Normal Akışkanlaştırıcı Katkıların Çimento ile Uyuşumu”, 4. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, 30-31 Ekim- 1 Kasım, **(1996)** 25-33.

[39] ASTM C494 , “Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete” ,

[40] TS EN 934-2+A1 “Kimyasal katkıları”, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, **(2014)**

[41] <http://www.insaatmuhendisligi.net>, Ocak, **(2015)**

[42] Hewlett P.C., *Lea’s Chemistry of Cement and Concrete*, Elsevier Butterword Hememann, Burlington, **(1998)**

[43] Yılmaz A., *Yeni Kuşak Hiper Akışkanlaştırıcı Beton Katkıları*, Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı 426, **(2003)**

[44] Şengül Ö., Taşdemir, C., and Taşdemir, M.A., “*Influence of Aggregate Type on*

*the Mechanical Behavior of Normal and High Strength Concretes*’, ACI Materials Journal, Vol. 99, No.6, November/December, **(2002)** 528-533.

[45] Topbaş E., *Agrega Tipinin Betonun Çarpma Dayanımına Etkisinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, **(2011)**

[46] Taşdemir C. ve Epo yapı kimya tez çalışmaları, III. Ulusal Kırmalaş Sempozyumu, “Agrega Türünün Betonun Donma - Çözülme Dayanıklılığına Etkisi”, İstanbul, **(2003)**

[47] Nuh çimento sanayi a.ş. , kalite sertifikası, **(2015)**

[48] Uzan G., *‘İtakonik Asitle Modifiye Edilmiş Stiren - Bütadien Kauçuk / Halosit Nanotip Nanokompozitleri*’, Yüksek Lisans Tezi, Aralık, **(2013)**

[49] [www.univar.com/corporate/Data/SpecificationsSpecificaties/EOC\\_Belgium\\_Latex](http://www.univar.com/corporate/Data/SpecificationsSpecificaties/EOC_Belgium_Latex)

[50] [http://www.epo.com.tr/pdf/beton\\_katkilari\\_genel\\_bilgi.pdf](http://www.epo.com.tr/pdf/beton_katkilari_genel_bilgi.pdf), Aralık **(2015)**

[51] TS EN 1097-6, “Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler”, Türk Standardları Enstitüsü, **(2015)**

[52] TS EN 12350-8, “Taze beton deneyleri bölüm 8: Kendiliğinden Yerleşen Beton-Çökme-Yayılma Deneyi”, Türk Standardları Enstitüsü, **(2011)**

[53] TS EN 12350-6, “Taze betonda Birim Ağırlık”, Türk Standardları Enstitüsü, **(2006)**

[54] Erdoğan T.Y., *‘Beton’*, ODTÜ Geliştirme Vakfı, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, Ankara, **(2007)**

[55] TS EN 12390–3 "Sertleşmiş Beton Numunelerinde Basınç Dayanımı Tayini", Türk Standardları Enstitüsü, (2010)

[56] TS EN 1097-6, “Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini”, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, **(2002)**

[57] TS EN 12390–6, “Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 6: Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini”, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, **(2010)**

[58] ASTM-C 310, “Method of Test for Resistance of Concrete Specimens to Slow Freezing in Air and Thawing in Water”, Annual Book of ASTM Standarts, **(1964)**

- [59] ASTM C1585, Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes, (1964)
- [60] Oymael S., *Bitümlü Şist Külünün Çimento ve Betonda Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Elazığ, (1995)
- [61] <http://www.atilimlab.com.tr/makaleler/BetondaMuayene.pdf>, Aralık, (2015)
- [62] TS EN 12504-4, Beton deneyleri - Bölüm 4: Ultrases Geçiş Hızının Tayini, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, (2004 )
- [63] Subaşı S., *Uçucu Kül İkameli Betonlarda Vibrasyon Süresinin Fiziksel ve Mekanik Özelliklere Etkisi*, Düzce, (2010)
- [64] Gürdal H., Yüceer, Z., *Türkiye ve Dünyada Kendiliğinden Yerleşen Beton Uygulamaları*, Beton 2004 Kongre Bildiri, İstanbul, (2004)
- [65] Wenzhong Zhu, Peter J.M. Bartos, Permeation properties of self-compacting concrete, [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com), Cement and Concrete Research pp 33, (2003)
- [66] Eroğlu L., Şahmaran M., Yaman İ.Ö., Tokyay M., *Karışım Parametrelerinin Kendiliğinden Yerleşen Betonun Taze Özellikleri Üzerindeki Etkilerinin Belirlenmesi*, Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, Ankara, (2002)

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : DOĞAN Murat  
Uyruğu : T.C  
Doğum tarihi ve yeri : 25.07.1980 / İspir  
Telefon : 0536 333 34 17  
E-posta : muratdgn41@hotmail.com

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek Lisans	Düzce Üniversitesi / Kompozit Malz. Teknolojileri	2016
Lisans	Atatürk Üniveristesi / Kimya Mühendisliği	2005
Önlisans	Kocaeli Üniversitesi / Kimya Teknolojileri	2001
Lise	Darıca Lisesi/Fen Bil.	1997

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2007 - 2009	AVRASYA DAĞITIM VE PAZ.	Teknik Servis Mühendisi
2009-	EPO YAPI KİMYA	Üretim Şefi
2015-	KOCAELİ SAN. ODASI	Bilirkişi

### Sertifikalar

C Sınıfı İş Güvenliği Uzmanı (ÇSGB)-2013, İlkyardımcı (MEB)-2014

### Yabancı Dil

İngilizce (ÜDS/YDS/TOEFL) : -

### Yayınlar

1. **Doğan M.**, Bideci A., Çomak B., Sallı Bideci Ö., Besli E., “Stiren-Bütadien Kopolimer Katkısının Çimento Harçlarına Etkisi”, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi (DÜBİTED), Baskıda, (2015).