

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

**FARKLI TÜR AGREGALARLA ÜRETİLEN  
SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETONLARIN FİZİKSEL VE  
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ahmet Okan SAVAŞ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**Tez Danışmanı: Dr.Öğr.Üyesi İsmail KILIÇ**

**ARALIK 2019**

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

**FARKLI TÜR AGREGALARLA ÜRETİLEN**  
**SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETONLARIN FİZİKSEL VE**  
**MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ahmet Okan SAVAŞ**  
**(1178202115)**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**Tez Danışmanı: Dr.Öğr.Üyesi İsmail KILIÇ**

**ARALIK 2019**

*Dedeme,*



## ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezimin hazırlanması esnasında deneyimleri ve değerli fikirleriyle bana yol gösteren danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi İsmail KILIÇ' a, deneysel çalışmalarda yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Saadet Gökçe GÖK' e teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak bugünlere gelmemde en büyük paya sahip olan ve tüm eğitim hayatımda maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili aileme minnet ve şükranlarımı sunarım.

Aralık 2019

Ahmet Okan SAVAŞ

(İnşaat Mühendisi)

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>ix</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>xii</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>xvii</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>xix</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Tezin Amacı .....	2
<b>2. BETON</b> .....	<b>3</b>
2.1 Betonun Bileşenleri .....	6
2.1.1 Çimento .....	6
2.1.2 Agrega .....	7
2.1.3 Karışım Suyu.....	13
2.1.4 Katkılar.....	14
2.2 Sertleşmiş Betonun Özellikleri.....	14
2.2.1 Basınç Dayanımı .....	15
2.2.2 Eğilme Dayanımı .....	16
2.2.3 İşlenebilirlik .....	16
2.2.4 Geçirimsizlik .....	17
<b>3. BETON YOLLAR</b> .....	<b>19</b>
3.1 Beton Yolların Tarihçesi .....	19
3.2 Beton Yollar - Esnek Üstyapı Karşılaştırması .....	20
3.3 Beton Yolların Sınıflandırılması .....	22
3.3.1 Derzli Donatısız Beton Yollar.....	22
3.3.2 Derzli Donatılı Beton Yollar .....	22
3.3.3 Sürekli Donatılı Beton Yollar .....	22
<b>4. SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON</b> .....	<b>23</b>
4.1 SSB' nin Genel Özellikleri.....	23
4.2 SSB Malzemeleri.....	24
4.3 SSB Yapım Metodları .....	27
4.3.1 SSB Üretimi .....	27
4.3.2 SSB Taşınması .....	27
4.3.3 SSB Serme ve Yerleştirme İşlemleri .....	28
4.3.4 SSB Sıkıştırma İşlemi .....	29
4.3.5 Derzler.....	30
4.3.6 Kür ve Koruma.....	31
4.3.7 Kalite Kontrol .....	32
4.4 Geleneksel Beton ve SSB Yolların Karşılaştırılması.....	34
<b>5. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>41</b>
5.1 Materyal .....	41
5.2 Yöntem .....	45

5.2.1	Agrega Deneyleri .....	45
5.2.1.1	Birim Hacim Ağırlık Deneyi.....	45
5.2.1.2	Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini.....	48
5.2.1.3	Parçalanma Direnci Tayini (Los Angeles Yöntemi) .....	52
5.2.1.4	Elek Analizi Deneyi .....	53
5.2.2	Beton Karışım Hesapları .....	54
5.2.3	Taze ve Sertleşmiş Beton Deneyleri .....	54
5.2.3.1	Çökme Deneyi.....	54
5.2.3.2	Birim Hacim Ağırlık .....	54
5.2.3.3	Basınç Dayanımı .....	55
5.2.3.4	Eğilme Dayanımı.....	56
5.2.3.5	Ultrases Geçiş Hızı ve Dinamik Elastisite Modülü.....	59
<b>6.</b>	<b>DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....</b>	<b>61</b>
6.1	Agrega Deneyleri.....	61
6.1.1	Birim Hacim Ağırlık, Özgül Ağırlık, Su Emme ve Los Angeles Parçalanma Direnci .....	61
6.1.2	Elek Analizi.....	63
6.2	Beton Karışım Miktarları .....	68
6.3	Taze ve Sertleşmiş Beton Deneyleri.....	69
6.3.1	Çökme (Slump) ve Birim Hacim Ağırlık.....	69
6.3.2	Basınç ve Eğilme Dayanımı .....	71
6.3.3	Ultrases Geçiş Hızı ve Dinamik Elastisite Modülü.....	75
<b>7.</b>	<b>SONUÇLAR .....</b>	<b>81</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>		<b>85</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>		<b>89</b>

## **KISALTMALAR**

<b>SSB</b>	: Silindirle Sıkıştırılmış Beton
<b>TS</b>	: Türk Standartları
<b>PCA</b>	: Portland Çimento Birliği
<b>BSK</b>	: Bitümlü Sıcak Karışım
<b>BHA</b>	: Birim Hacim Ağırlık
<b>S/Ç</b>	: Su/Çimento
<b>D</b>	: Dolomit
<b>B</b>	: Bazalt
<b>M</b>	: Mermer
<b>KI</b>	: Kalker I
<b>KII</b>	: Kalker II
<b>ASTM</b>	: Amerika Malzeme Tecrübeleri Kurumu



## ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : Beton agregalarının özellikleri.....	9
Çizelge 3.1 : Beton yollar-Esnek üstyapı kıyaslaması.....	21
Çizelge 4.1 :SSB ve geleneksel beton kaplaması üretimi esnasında kullanılan malzemelerin karşılaştırılması.....	25
Çizelge 4.2 : Agregada gradasyon sınırları.....	25
Çizelge 4.3 : Beton kalitesinin P hızına bağlı sınıflandırılması.....	34
Çizelge 4.4 : Geleneksel beton ve SSB yolların karşılaştırılması.....	35
Çizelge 5.1 : Çimento kimyasal analizi, fiziksel ve mekanik özellikleri.....	41
Çizelge 6.1 : Agregada deneylerine ait sonuçlar.....	62
Çizelge 6.2 : Dolomit agregasına ait elek analizi sonuçları.....	63
Çizelge 6.3 : Bazalt agregasına ait elek analizi sonuçları.....	64
Çizelge 6.4 : Mermer agregasına ait elek analizi sonuçları.....	65
Çizelge 6.5 : Kalker I agregasına ait elek analizi sonuçları.....	66
Çizelge 6.6 : Kalker II agregasına ait elek analizi sonuçları.....	67
Çizelge 6.7 : Farklı su/çimento oranlarına sahip betonların karışım miktarları.....	68
Çizelge 6.8 : Farklı tür agregalarla üretilen betonların karışım miktarları.....	69
Çizelge 6.9 :Farklı su/çimento oranlarına sahip betonların birim hacim ağırlık değerleri.....	69
Çizelge 6.10 :Farklı tür agregalarla üretilen silindire sıkıştırılmış betonların birim hacim ağırlık değerleri.....	70
Çizelge 6.11 :Farklı su/çimento oranlarına sahip silindire sıkıştırılmış betonların basınç ve eğilme dayanımı değerleri.....	72
Çizelge 6.12 :Farklı tür agregalarla üretilen silindire sıkıştırılmış betonların basınç ve eğilme dayanımı değerleri.....	73
Çizelge 6.13 :Farklı su/çimento oranlarına sahip silindire sıkıştırılmış betonların ultrases geçiş hızı ve dinamik elastisite modülü değerleri.....	76
Çizelge 6.14 :Farklı tür agregalarla üretilen silindire sıkıştırılmış betonların ultrases geçiş hızı ve dinamik elastisite modülü sonuçları.....	77

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1	: Betonu oluşturan malzemelerin yaklaşık hacimce oranları.....	3
Şekil 2.2	: Sertleşmiş beton kesiti. ....	5
Şekil 4.1	: Kamyonlarla SSB Taşınması .....	28
Şekil 4.2	: SSB yol serim uygulaması .....	29
Şekil 4.3	: SSB silindire sıkıştırılması.....	30
Şekil 4.4	: Kür malzemesinin uygulanması .....	32
Şekil 5.1	: Deneysel çalışmalarda kullanılan dolomit agregaları .....	42
Şekil 5.2	: Deneysel çalışmalarda kullanılan bazalt agregaları .....	43
Şekil 5.3	: Deneysel çalışmalarda kullanılan mermer agregaları .....	43
Şekil 5.4	: Deneysel çalışmalarda kullanılan kalker I agregaları.....	44
Şekil 5.5	: Deneysel çalışmalarda kullanılan kalker II agregaları .....	44
Şekil 5.6	: Deneysel çalışmalarda kullanılan doğal kum.....	44
Şekil 5.7	: Gevşek birim hacim ağırlık deneyi .....	46
Şekil 5.8	: Sıkışık birim hacim ağırlık deneyi .....	47
Şekil 5.9	: İri agregada özgül ağırlık deneyi.....	49
Şekil 5.10	: İri agregada su emme tayini .....	50
Şekil 5.11	: İnce agregada özgül ağırlık deneyi.....	51
Şekil 5.12	: İnce agregada su emme tayini .....	52
Şekil 5.13	: Los Angeles deneyi .....	52
Şekil 5.14	: Elek analizi deneyi .....	53
Şekil 5.15	: Betonun birim hacim ağırlığının hesaplanması.....	55
Şekil 5.16	: Silindir beton numune üretimi ve kırımı .....	56
Şekil 5.17	: Silindir beton numune üretimi.....	56
Şekil 5.18	: Kiriş numune üretimi.....	57
Şekil 5.19	: Kiriş beton numune kırımının yapılması.....	58
Şekil 5.20	: Ultrases geçiş hızı ve dinamik elastisite modülü tespit çalışmaları .....	59
Şekil 5.21	: Ultrasonik test cihazı .....	60
Şekil 6.1	: Dolomit agregasının gradasyon eğrisi.....	64
Şekil 6.2	: Bazalt agregasının gradasyon eğrisi .....	65
Şekil 6.3	: Mermer agregasının gradasyon eğrisi .....	66
Şekil 6.4	: Kalker I agregasının gradasyon eğrisi .....	67
Şekil 6.5	: Kalker II agregasının gradasyon eğrisi.....	68
Şekil 6.6	: Farklı tür agregalarla üretilen silindire sıkıştırılmış betonların birim hacim ağırlık değerleri.....	71
Şekil 6.7	: Farklı tür agregalarla üretilen silindire sıkıştırılmış betonların 7 ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri.....	74
Şekil 6.8	: Farklı tür agregalarla üretilen silindire sıkıştırılmış betonların 28 günlük eğilme dayanımı değerleri.....	75
Şekil 6.9	: Farklı tür agregalarla üretilen silindire sıkıştırılmış betonların ultrases geçiş hızı ve dinamik elastisite modülü değerleri.....	78
Şekil 6.10	: Farklı tür agregalarla üretilen silindire sıkıştırılmış betonların ultrases geçiş hızı ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri.....	78
Şekil 6.11	: Farklı tür agregalarla üretilen silindire sıkıştırılmış betonların ultrases geçiş hızı ve 28 günlük eğilme dayanımı değerleri.....	79

- Şekil 6.12** : Farklı tür agregalarla üretilen silindirle sıkıştırılmış betonların dinamik elastisite modülü ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri.....80
- Şekil 6.13** : Farklı tür agregalarla üretilen silindirle sıkıştırılmış betonların dinamik elastisite modülü ve 28 günlük eğilme dayanımı değerleri.....80

# FARKLI TÜR AGREGALARLA ÜRETİLEN SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETONLARIN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

## ÖZET

Silindirle sıkıştırılmış beton (SSB), geleneksel betona göre yeni kullanılmaya başlanan bir yapı malzemesidir. Genellikle yol ve baraj inşaatlarında kullanılmaktadır. Düşük su/çimento oranı ile üretilen SSB, rijit yol kaplama türlerinden biridir. SSB ile üretilen yol hızlı bir şekilde kullanıma açılabilen ve geleneksel yapı malzemeleri kullanılarak üretilmesi sayesinde ekonomik yarar sağlamaktadır.

Yapılan deneysel çalışmalarda malzeme olarak CEM I 42,5 R Portland çimentosu, dolomit, bazalt, mermer, iki farklı tür kalker olmak üzere beş farklı agrega, doğal kum ve şebeke suyu kullanılmıştır. İlk olarak kullanılan agrega örnekleri üzerinde sıkışık ve gevşek birim hacim ağırlık, özgül ağırlık, su emme, Los Angeles Parçalanma direnci tayini ve elek analizi deneyleri yapılmıştır. İdeal su/çimento oranını belirlemek amacıyla 0,32, 0,35, 0,38 ve 0,41 su/çimento oranlarına sahip olacak şekilde C30/37 dayanım sınıfında silindirle sıkıştırılmış beton numuneleri üretilmiştir. Üretilen beton numunelerinin tamamında çökme sıfır olacak şekilde karışım tasarlanmıştır. Su/çimento oranını belirlemek amacıyla yapılan çalışmalarda dolomit agregası ve doğal kum kullanılmıştır. Dolomit agregası 12-19 mm kırmataş, 4-12 mm kırmataş ve 0-4 mm kırmataş tozu ve 0-4 mm doğal kum olmak üzere belli oranlarda karıştırılmıştır. Sırasıyla, dolomit agregalarından %25, %25, %25 ve doğal kumdan %25 oranlarında olacak şekilde agrega karışımı hazırlanmıştır. Farklı su/çimento oranı ile üretilen SSB numuneleri üzerinde çökme, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, ultrases geçiş hızı ve dinamik elastisite modülü tespiti yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yapılan karışımlar içerisinde en iyi dayanım değerlerinin 0,35 su/çimento oranından elde edildiği belirlenmiştir. Farklı tür agregalarla yapılacak olan sonraki çalışmalarda 0,35 su/çimento oranı sabit tutulmuştur. Su/çimento oranı 0,35 olarak belirlendikten sonra farklı tür agregalarla karışımlar hazırlanmıştır. Dolomit, bazalt, mermer, iki farklı tür kalker olmak üzere beş farklı agreganın her biri 12-19 mm kırmataş II, 4-12 mm kırmataş I ve 0-4 mm kırmataş tozu olarak kullanılmıştır. Ayrıca farklı agrega karışımlarının herbiri 0-4 mm boyutunda doğal kum ile karıştırılmıştır. 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarının belirlenmesi için 15 cm çapında ve 30 cm yüksekliğinde silindir, 28 günlük eğilme dayanımları için ise 15 cm×15 cm×75 cm boyutlarında prizmatik numuneler kullanılmıştır. Eğilme dayanımı testinden önce 28 günlük prizmatik numunelerden yararlanılarak ultrases geçiş hızı ve dinamik elastisite modülü değerleri belirlenmiştir. Farklı tür agregalardan üretilen SSB numunelerinin test sonuçları belirlenmiş ve kendi aralarında kıyaslama yapılmıştır.



# **INVESTIGATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF ROLLER COMPACTED CONCRETES PRODUCED WITH DIFFERENT AGGREGATES**

## **SUMMARY**

Roller compacted concrete (RCC) is a construction material which has recently been introduced compared to conventional concrete. Roller compacted concrete is generally used in road and dam construction. RCCs having low water/cement (w/c) ratio are one of the rigid road pavement types. RCC can be quickly opened for use after production and provides economic benefit by the way of being produced with conventional building materials.

In the experimental studies, CEM I 42.5 R Portland cement, five different coarse aggregates (dolomite, basalt, marble, two different types of limestone), natural sand and tap water were used. Firstly, compact and loose bulk density, specific gravity, water absorption, Los Angeles abrasion resistance and sieve analysis tests were performed on the aggregate samples used. In order to determine the ideal water/cement ratio, roller compacted concrete specimens of C 30/37 strength class were produced and the w/c ratio of RCC specimens was changed as 0.32, 0.35, 0.38 and 0.41. For all concrete specimens, the slump value was zero in the fresh state. In the studies conducted to determine the ideal water/cement ratio, dolomite aggregate and natural sand were used. In RCC production, the dolomite aggregates of 12-19 mm crushed stone, 4-12 mm crushed stone, 0-4 mm stone powder and 0-4 mm natural sand were mixed in certain proportions. Aggregate mixture was prepared by using 25% (by weight) of each aggregates. The slump value, compressive strength, flexural strength, ultrasonic pulse velocity and modulus of elasticity were determined on RCC specimens having different water/cement ratio. Based on to the test results, it was determined that the highest strength values were obtained with 0.35 water/cement ratio. The water/cement ratio of 0.35 was kept constant in subsequent studies conducted with different types of aggregates. After the water/cement ratio was determined as 0.35, mixtures were prepared with different types of aggregates. Five different aggregates (dolomite, basalt, marble and two different types of limestone), were used as 12-19 mm crushed stone II, 4-12 mm crushed stone I and 0-4 mm stone powder. In addition, each of the different aggregate mixtures were mixed with 0-4 mm natural sand. In order to determine the compressive strengths at the ages of 7 and 28 days, cylindrical specimens with 15 cm diameter and 30 cm height were used. Prismatic specimens with the dimensions of 15 cm×15 cm×75 cm were used to determine flexural strengths at the age of 28 days. Before bending test, ultrasonic pulse velocity and modulus of elasticity values were determined by using 28-day prismatic specimens. Test results of RCC samples produced with different types of aggregates were determined and comparisons were made between the RCC specimens produced.



## 1. GİRİŞ

Kalkınmanın gerçekleşmesinde ülkelerin ulaşım ağlarının gelişmesi ve farklılaşması önemli bir rol oynar. Ulaşımdaki gelişmeler aynı zamanda sanayi, ticaret ve turizm gibi faaliyetlerinde hızla gelişmesini sağlar. Patika şeklinde görülen karayolları en eski ulaşım ağı olarak bilinmektedir. Zaman içerisinde tekerlekli araçlarında kullanılmasıyla birlikte ulaşım ağlarının önemi gittikçe artmıştır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte kullanılan karayollarının uzunluğu ve kalitesi de artmıştır. Bununla beraber artan karayolu trafiği, otoyol yapımını da önemli bir oranda hızlandırmıştır. Karayolları yapısı tanımlanacak olursa önceden belirlenen bir güzergahta, doğal zeminin belirlenen yükseltilere getirilerek ve üzerinde motorlu taşıtların arzu edilen hız, güvenlik ve konfor standartlarında hareketini sağlayabilmek için inşa edilen yapılar karayolları yapısı olarak ifade edilir. Karayolları üst yapıları imal edildikleri malzemelere bağlı olarak iki sınıfa ayrılırlar. Bunlar, esnek yapılar ve rijit yapılar olarak tanımlanırlar. Esnek yol üst yapıları, yüzey tabakaları bitümlü malzeme, temeli bitümlü yada granüler malzeme, alt temeli ise daima granüler malzeme olan üst yapılar olarak tanımlanırlar. Rijit yol üst yapıları ise yüzey tabakası Portland çimentosu betonundan oluşan ve bazen granüler bir alt temel tabakası üzerine oturan kaplamalar olarak bilinmektedir. Beton kaplamalar da, oldukça fazla bir trafik yoğunluğuna ve ağır trafiğin olduğu karayollarında ve havaalanlarında hareket eden taşıtlar için gerekli konfor ve emniyeti temin etmek amacı ile yapılan yüksek standartlı üst yapılardır. Beton kaplamalar esnek kaplamalar ile karşılaştırılacak olursa beton kaplamaların ilk yapım maliyeti esnek kaplamalara göre daha yüksek olsa da beton kaplamaların onarım ve bakım maliyetleri daha düşüktür. Bu da beton kaplamaların önemli bir avantajı olup kullanım yaygınlığını artıracak önemli bir husustur. Silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) kaplamalar ise, geleneksel beton kaplamalarla benzer proseslere sahip olup karıştırılması, serilmesi ve sıkıştırılması benzer tekniklerle yapılmaktadır. SSB adını kaplamanın yapım şeklinden alır. SSB yöntemi kullanılarak yüksek düzeyde beton, donatı olmadan yerleştirilir. Dolayısıyla maliyeti düşük kullanımı uygun bir beton üretimi söz konusu



olacaktır. SSB' nin çökme değeri sıfıra yakındır. Üretiminde çimento dozajı düşürülebilir. Üretiminde agrega tane boyutu geleneksel betonda kullanılan agrega tane boyutundan daha yüksektir. SSB üretiminde kalıp kullanımına ihtiyaç duyulmamaktadır. Zaman açısından oldukça avantajlara sahip bir beton türü olup hızlı inşa edilebilme özelliğine sahiptir. SSB' de su ve çimento kullanımı düşük olduğundan dolayı rötre çatlaklarının oluşma potansiyeli oldukça düşüktür. Aynı zamanda SSB' nin aşınma ve erozyon direnci de çok daha yüksektir.

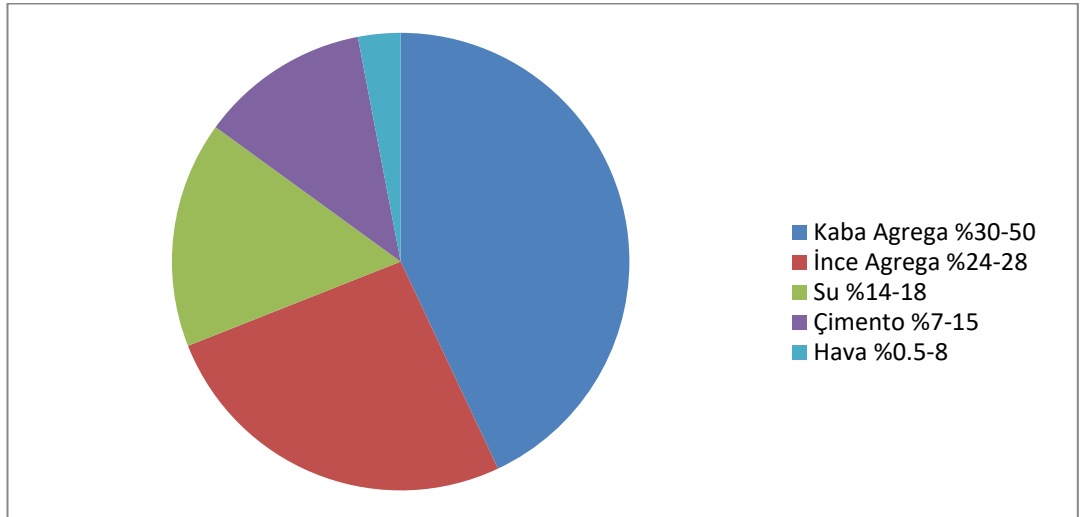
## **1.1 Tezin Amacı**

Bu tez çalışması kapsamında farklı tür agrega kullanımının, silindirle sıkıştırılmış betonun özelliklerine nasıl etki edeceğinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. BETON

Beton yıllardır kullanılan en önemli yapı malzemesidir. İnşaat uygulamalarında, özellikle mühendislik yapılarında önemini daha da artıran bir yapı malzemesi olmuştur. Mühendislik yapıları yollar, sulama kanalları, köprüler, barajlar ve konutlar olarak belirtilebilir. Betonun kullanımının tercih edilmesinin en önemli sebepleri şekil verilebilme rahatlığı, fiziksel ve kimyasal kaynaklı dış müdahalelere dayanıklılığı, ekonomikliğı, üretimi ve yerine yerleştirmedeki kolaylıklar olarak belirtilebilir (Şimşek, 2009).

Çimento, agrega, su ve ihtiyaç duyulduğunda bazı mineral veya kimyasal katkıların beraber karıştırılmaları sonucunda elde edilebilen yeni malzeme “beton” olarak tanımlanabilir (Erdoğan ve Erdoğan, 2006). Beton karışımı hesapları oldukça önemli bir husus olup yapım tekniğine göre, şekil ve boyutları belirli kalıplara yerleştirilen ve bir süre sonra dayanım kazanmakta olan betonun karışımı belirli oranlara göre yapılmaktadır (Şekil 2.1).



**Şekil 2.1:** Betonu oluşturan malzemelerin yaklaşık hacimce oranları.

Beton üretiminde kullanılan kum, çakıl, çimento gibi malzemeler, yerel koşullarda bile kolayca temin edilebilir ve diğer malzemelere göre daha uygun fiyata sağlanabilir. Betonun oluşturan kaynakların kullanımının daha verimli hale getirilmesi önemli bir husustur. Bu esnada daha az çevre tahribatı ve daha az enerji tüketimi ile üretim yapılabilmesi oldukça önemli olup kaçınılmaz bir olgu haline gelmiştir (Kobu, 2003).

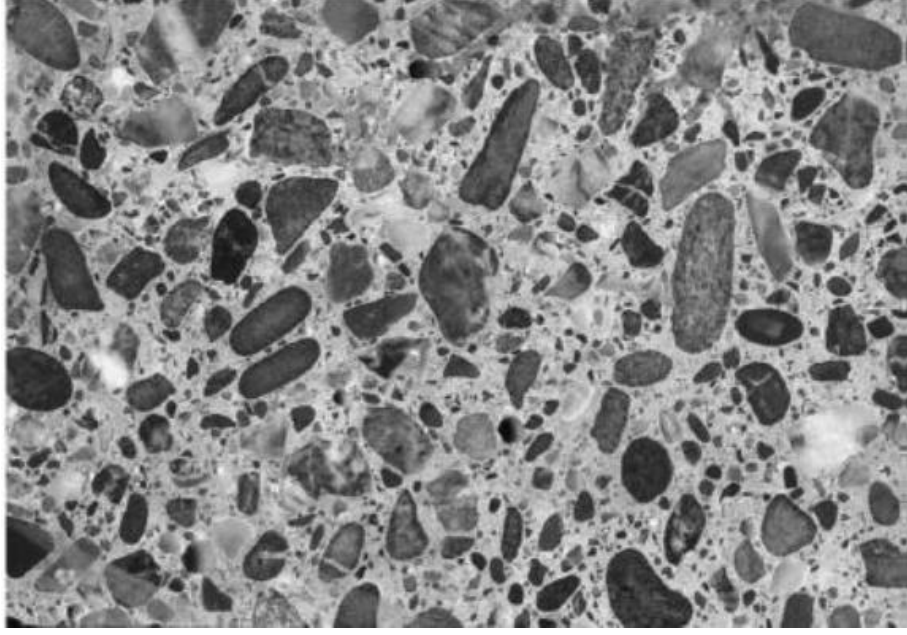
Ekonomik bir değer olarak betonun kum, çakıl, çimento gibi fiziksel malzemelerin birleşiminden meydana geldiği düşünülürse bu kaynakların kıt ve tükenbilir oluşu, elde edilişlerinde ortaya çıkan çevresel zararlar, harcanılan emek ve enerji maliyeti gibi faktörlerin de dikkate alınması gerekmektedir. Beton üretimi gerçekleştirilirken yararlı olmasını sağlayacak uygun maliyetli çözümleri bulmak da oldukça önem taşıyan bir husustur (Arslan, 2001).

Betonda aranılan en önemli özellik basınç dayanımıdır. Betonun basınç dayanımını etkileyen faktörler agrega tane dayanımı ve agrega gradasyonu, çimento tipi, su/çimento oranı ve betonun doluluk oranıdır. Betonun yapısı eğer sıkı bir yapıda olursa mekanik özellikler de bununla doğru orantılı olarak yüksek olur (Arslan, 2001).

Betonun birim ağırlığının yüksek olması için iri agrega miktarının mümkün olduğu derecede yüksek olması gerekir. Diğer taraftan ince agrega miktarının da iri agrega boşluklarını doldurabilecek miktar ve dağılımda olması da betonun sıkı bir yapıda olması açısından oldukça önemlidir (Arslan, 2001).

Çimento betonda bağlayıcılık görevi gören bir malzemedir. Agrega ise betonda iskelet görevi görür. Agrega olarak betonda kum, çakıl, taş gibi ince ve iri taneler kullanılır. Agrega olarak betonda doğal yollardan oluşmuş mineral malzemeler tercih edilir (Mehta ve Monteiro, 2005).

Çimento hamuru çimento ve su karışımıdır. Çimento ile su arasında kimyasal reaksiyonlar oluşur. Çimento hamuru ise agrega taneleri ile fiziksel reaksiyonlar geçirir çünkü agrega tepkimesiz bir malzemedir. Çimento hamuru agrega tanelerinin yüzeyini kaplar. Bu sayede aderans sağlanarak taneler arasındaki boşluklar kısmen dolmuş olur (Şekil 2.2).(Mehta ve Monteiro, 2005).



**Şekil 2.2:** Sertleşmiş beton kesiti (Mehta ve Monteiro, 2005).

Betonda kullanılan çakıl ve kumun dayanım özellikleri hiçbir zaman çimento dayanım özelliklerinden daha düşük olmamalıdır. Agreganın dayanım özellikleri çimento dayanım özelliklerinden daha düşük olursa üretilen betonda basınç gerilmeleri altında agrega kırılması gözlenir. Bu durumda, karışım oranlarında değişiklik yapmak veya kullanılan çimento miktarını artırmak dayanımı yükseltmede yeterli olmayacaktır. Sonuç olarak beton basınç dayanımı çimento matrisinin agrega tanelerini bağlama kapasitesine ve agrega tanelerinin dayanım özelliklerine bağlı olarak değişir (Ersoy ve Özcebe, 2001).

Çimento ile suyun bileşiminden meydana gelen çimento hamuru zaman içerisinde katılaşarak agrega tanelerini birbirine bağlayarak yapıştırır. Bu sayede betonun dayanım kazanımı da sağlanmış olur. Betonda yapı incelendiğinde agrega taneleri arasında kalan boşluk miktarı eğer mümkün olduğunca düşük olursa beton basınç dayanımı da buna bağlı olarak o oranda yüksek olur. İnce malzemeler, çimentonun su ile kimyasal reaksiyonları sonucunda meydana gelen hidrasyon esnasında oluşan jeller arasındaki boşlukları doldurarak bağlayıcılık etkinliğini artırır (Özışık, 2000).

## 2.1 Betonun Bileşenleri

Beton çimento, iri agrega, ince agrega, karışım suyu, gerekirse mineral veya kimyasal katkıdan oluşan bir kompozit malzemedir. Beton bileşenlerinin kullanım oranları betonun mekanik özelliklerini doğrudan etkilemektedir

### 2.1.1 Çimento

Çimentonun hammaddeleri kalker ve kildir. Çimento üretimi için ilk olarak uygun kalker ve kil kaynakları araştırılır. Çimento üretiminde çimentonun bağlayıcılığına zarar verecek maddeler bulunmamalıdır. Bu nedenle çimento üretiminde kullanılacak kalker ve kil içerikleri tespit edilmeli ve buna bağlı olarak üretimde kullanılacak oranlar belirlenmelidir (Postacıoğlu, 1986).

Uygun kalker ve kil ocakları bulunduktan ve yüzdeler belirlendikten sonra bu malzemeler öğütülerek karıştırılır. Bu karışım sulu yada kuru karışım olmak üzere iki farklı türde uygulanmaktadır. Dünya genelinde çimento üretim tesislerinin %90' ı kuru karışım ile çalışmaktadır. Bunun nedeni ıslak karışımında kuru karışıma göre 2 kat fazla yakıt kullanılarak üretim gerçekleşmesidir. Karışımın ıslak yada kuru karışım tercih edilmesinin tek nedeni homojen karışım elde edebilmektir (Postacıoğlu, 1986).

Öğütülerek karıştırılan kil ve kalker, döner fırınlarda ortam sıcaklığı 1500 C' ye kadar kademe kademe yükselttilerek pişirilir. Kademe kademe yükseltmenin amacı malzemenin kavrulmadan alüminatlarının ayrılması ve tam ayrışma gerçekleştikten sonra 1200 C' den sonra ayrışan maddelerin tekrar tepkimeye girerek klinker denilen yapıyı oluşturmasıdır (Postacıoğlu, 1986).

Döner fırınlardan çıkan klinkerin bağlayıcı olabilmesi için öğütülmesi gerekir. Bu sayede ilk haliyle dış alanda stoklanabilme imkânı bulunmaktadır. Öğütülen klinkere öğütülmüş jips (alçı taşı) ilave edilir. Bunun nedeni beton prizini geciktirerek ani çatlamaları önlemektir (Postacıoğlu, 1986).

Çimento ana bileşimlerinin yanı sıra bağlayıcının gerek mekanik özelliklerini artırmak için, gerek maliyet düşürmek için gerekse de dış etkilere karşı direncini artırmak için çimento muhtevasına organik yada inorganik malzemeler ilave edilerek çeşitlendirilmiştir.

TS EN 197-1' e göre yirmi yedi değişik tipte çimento beş farklı başlıkta incelenir:

1. CEM-I Portland Çimentosu
2. CEM-II Portland Kompoze Çimento
3. CEM-III Yüksek Fırın Cürufu Çimento
4. CEM-IV Puzolanlı Çimento
5. CEM-V Kompoze Çimento

### **2.1.2 Agregata**

Beton oluşumunun tamamının su ve çimentodan oluşması maliyetleri aşırı yükseltir. Çünkü beton içinde en pahalı malzeme çimentodur. Ayrıca hidrasyon ısısı ve priz sürelerinin kontrol altına alınması zorlaşır, betonun işlenmesi ve pompalanması güçleşir, betonda yük dağılımı ve yük aktarımı istenilen düzeyde olmaz (Akman, 1990).

Yukarıda belirttiğimiz nedenlerden dolayı beton içinde hidrasyon denilen su ve çimentonun kimyasal reaksiyonunu bozmadan betona aderans sağlayabilecek, yeterli dayanımına sahip dolgu malzemesi olarak agregata kullanılır (Akman, 1990).

Beton içinde bulunan agregalar köşesiz (yuvarlak) formda ya da köşeli olabilir.

Taş ocaklarından temin edilen agregalar kırma ve eleme işlemlerinden geçirildikleri için köşeli formdadırlar. Taş ocağından temin edilen agregalara taş ya da mıcır da denir. Taş agregalar dere malzemelerine göre köşeli yapısından dolayı beton içinde aderansı daha uygundur. Agregata taneli mineral malzeme demektir. Fakat beton içinde bulunan her taneli mineral malzemeye agregata denilmez. Beton içinde bulunan agregaların TS EN 706 da belirtilen çaplarda olması gerekir. Agregata çapları tabloda belirtilen elek setleri ile belirlenir. Doğal yataklardan temin edilen yuvarlak formulu agregata kullanımı son yıllarda çevre bilincinin gelişmesiyle birlikte terk edilmektedir(Akman, 1990).

**Agregaların sınıflandırılması:** Agregalar temin edilişlerine bağlı olarak doğal agregalar ve yapay agregalar diye ikiye ayrılır. Doğal agregalar derelerden ve taş ocaklarından temin edilen agregalardır. Yapay agregalar ise bir sanayi yan ürünü alınarak beton agregası olarak kullanılan malzemelerdir. Yeterli çaplarda olan öğütülmemiş yüksek fırın cürufu yapay agregalara örnektir. Günümüzde beton molozları gerekli kırma ve eleme işlemlerinden geçirilerek beton agregası olarak kullanılabilir. Bu yeni gelişme milli kaynakların tasarruflu kullanımına olanak tanırken aynı zamanda betonun sürdürülebilir bir yapı malzemesi olmasının yolunu açmıştır (Akçaözoğlu, 2001).

Tane boyutlarına göre agregalar iri agrega ve ince agrega olmak üzere iki sınıfta incelenir. İri agregalar 4 mm' den büyük tane çapına sahip agregaları, ince agregalar ise 4 mm' den küçük tane çapına sahip agregaları tarif etmektedir (Akçaözoğlu, 2001).

Özgül ağırlıklarına göre agregalar hafif agregalar, normal agregalar ve iri agregalar olmak üzere 3 sınıfta incelenir. Özgül ağırlığı 2,4 – 2,8 t/m<sup>3</sup> arasında olan agregalar normal agrega, 2,4 t/m<sup>3</sup> ten küçük olan agregalar hafif agrega, 2.8 t/m<sup>3</sup> den büyük agregalar ise ağır agrega olarak adlandırılır (Akçaözoğlu, 2001).

Drenaj sistemlerinde ve çeşitli dekoratif çalışmalarda hafif agregalardan üretilmiş hafif betonlar, radyoaktif etkilere set oluşturmak için dizayn edilen yapıların betonlarında ağır agregalardan üretilmiş ağır betonlar kullanılır (Akçaözoğlu, 2001).

Bu sınıflandırmaların yanı sıra agregalar tane şekline göre, yüzey dokusuna göre, elde edilişlerine göre, jeolojik yapılarına göre, mineral muhtevalarına göre ve reaktif özelliklerine göre de sınıflandırılmaktadırlar (Akman, S.1990).

**Tane Dağılımı:** Beton içinde bulunan agregaların belli tane dağılımı içinde olduğu gibi kendi aralarında da kademeli olarak tane dağılımlarının büyümesi ya da küçülmesi gerekir. Aksi takdirde beton içinde agregaların temas alanı küçülecek, zayıf noktalar oluşarak çatlamalara kopmalara ve hava boşluklarına sebebiyet vererek betonun mekanik dayanımını düşürecektir (Akman, S. 1990).

Eşit dağılımı sağlamak için TS 706' da agregalar iri ve ince agrega olmak üzere sınıflandırılmış ve belli gradasyon limiti içinde olabilmesi için alt ve üst limitler verilmiştir (Akman, S. 1990).

Malzeme gradasyonu elek analizi ile gerçekleştirilir. Elek analizi beton içinde kullanılacak agregadan bir miktar numune alınarak büyük göz açıklıklı elekten küçük göz açıklıklı eleğe doğru sırayla elenmesi ve eleklerden geçen malzemelerin kütlece yüzde oranlarının saptanması deneyidir (Akman, S. 1990).

Betonun imal edilmesinde tercih edilen agregaların özellikleri, betonun fiziksel ve kimyasal özellikleri için belirleyici özelliğe sahiptir. Bu özellikler;

- Beton dayanım değeri; agreganın dayanım değeri, dane ve yüzey şekli, danenin maksimum boyutu, agrega gradasyon değeri ve agreganın kil miktarına bağlıdır.
- Beton yoğunluğu; agreganın özgül ağırlığı, agrega dane şekli, danenin maksimum boyutu, gradasyon değeri ve agreganın yoğunluğuna bağlıdır.
- Beton dayanıklılığı; agrega porozite değeri, agrega don direnci, aşınma dayanımı, dane şekline ve yüzeyinin yapısına bağlıdır.
- Betonun rötresi; agrega maksimum dane boyutu, danenin şekli, gradasyonu ve kil miktarına bağlıdır. Betonda kullanılan agregada istenilen önemli özellikler, amaçlar ve istenilen şartları Çizelge 2.1’ de belirtilmiştir (Ağar ve diğ, 2007).

**Çizelge 2.1:** Beton agregalarının özellikleri (Ağar ve diğ, 2007).

<b>Özellikler</b>	<b>Amaçlar</b>	<b>İstenilen Şartlar</b>
Özgül ağırlığı ve birim ağırlığı	Karışım ve dizaynı	Betonun dayanımlı olması için değerler büyük olmalıdır.
Agrega dane biçim ve yüzeyinin pürüzsüz olması	Agreganın işlenebilirliği ve aderans kuvveti	Yassılığı ve ince kısımları olmaması gerekir, agreganın işlenebilirliği için cilalı ve aderansı sağlamak için pürüzleri olmalıdır.
Absorbsiyonu ve nemi	Karma suyunu ayarlama	Absorbsiyon, karma suyunu azalttığından zararlıdır fakat aderansı için yararlıdır.
Islatma suyu	Karışım ve dizaynı	Islatma suyuna ihtiyaç az olmalıdır.
Agrega ve çimentonun aderans kuvveti	Agregayla çimento hamurunun bağı	Eğilme dayanımını sağlamak sebebiyle aderansı fazla olmalıdır.



Dayanıklılık	Aşınmaya karşı direnç	Fazla olmalıdır.
Dona karşı dayanıklılık	Dona karşı direnç	Fazla olmalıdır.
Çevresel etkilere dayanıklılık	Dayanıklılığı	Fazla olmalıdır.
Porozitesi	Dayanımı, dona karşı direnci ve dayanıklılığı	Porozitesi düşük olmalıdır.
Danenin şekli ve yüzeyinin pürüzlülüğü	Dayanımı, su ihtiyacı ve boşluk oranı	Dere malzemesinin; boşluk oranı düşük, su ihtiyacı düşük, kırmataşın; boşluk oranı fazla, su ihtiyacı fazla, işlenebilirliği düşük dayanımı yaklaşıktır.
Granülometrisi	Dayanımı, dayanıklılığı, ekonomisi, işlenebilirliği, segregasyonu	İşlenebilirliğini sağlamak için yoğun bir gradasyona, segregasyon olmayacak şekilde $d_{max}$ , dayanımını yükseltecek şekilde $d_{max}$ , dayanıklılığını yükseltmesi için küçük boşluk oranları, ekonomikliği amacıyla düşük dozaj ve dayanımını yükseltmek amacıyla maksimum yoğunluğa sahip olması gerekir.

**Özgül Ağırlık ve Birim Ağırlık:** Agregalarda özgül ağırlık içerdiği minerallere bağlıken birim ağırlığı ise dane şekillerine göre değişiklik gösterir. Betonlardaki agregaların özgül ağırlık değeri 2,50 ile 2,80 aralığındadır. Agregaların suyla dolan ve dolmayan boşluklarıyla ve boşluk olmayan katı hacimlerde sahip olması sebebiyle zahiri, hacim ve doygun-kuru yüzeyi olarak üç çeşit özgül ağırlığı değerini içerir. Fakat betonların karışım hesaplarında tercih edilen değer doygun-kuru yüzeyi özgül ağırlığı değeridir (Url-1).

Doygun-kuru yüzey özgül ağırlığı, agreganın danelerinin betonun karma suyuyla doygun biçime getirildiği ağırlığını belirttiğinden betonun içerdiği boşluğu olmayan hacmini tayin etmede kullanılmaktadır (Url-1).

Yoğunluğu, kuru haldeki agregaların ağırlıklarının boşluklu haldeki hacmine oranıyla bulunur. Özgül ağırlık, birim ağırlık ve betonun dayanımı doğru orantılıdır. Özgül ağırlık ve birim ağırlıklar arttıkça betonun dayanımında artar. Birim ağırlığı ile

boşluk oranı da doğru orantılıdır. Boşluk oranı arttıkça çimento hamuruna ve ince kuma ihtiyaçta artacaktır (Url-1).

Ayrıca beton agregalarında kompasite değeri mevcuttur. Agregaların kompasite değeri azaldıkça;

- Beton dayanım değeri azalır.
- Boşluklu yapı artacağı için çimentoya ihtiyaç artacaktır.
- Permabilitesi artacaktır.
- Beton dayanıklılığı azalacaktır (Url-1).

**Absorbsiyon, Nem ve Porozite:** Absorbsiyon agregaların su emme kabiliyetiyle poroziteye agreganın danelerindeki su emebilen boşluğun miktarıdır. Porozitesinin düşüklüğü agreganın danesinin fazla dayanıma sahip olduğunu gösterir. Dolayısıyla betonun dayanım değeri yükselecektir. Ama agreganın poroz oluşu, agrega-çimento arasındaki aderans değerini yükseltmektedir. Agreganın porozitesiyle soğurulan su betondaki karma suyu miktarını düşüreceğinden betonun işlenebilirliğinde azalma olacaktır. Betonun karma suyu agrega aracılığıyla soğurulacak su kadar artırılmalıdır. Fakat agrega nemliyse nem miktarınca azaltılmalıdır (Url-1).

Absorbsiyon, nem ve porozite arasında agregaların daha önemli olan özelliği porozitesidir. Çünkü porozitesi, agrega dayanım değeri için önem ihtiva ettiği gibi ıslanma kuruma direnç değeri ve donma-çözülmesinde de önemi büyüktür. Agreganın porozite değeri dayanıklılık değeriyle ters orantılıdır (Url-1).

**Danenin Şekli ve Yüzeyin Pürüzlülüğü:** Basınç ve çekme dayanımlarının fazla olması gereken betonlar için kırmataş agregaları kullanmak gerekir. Agreganın şekli oval ve pürüz olmayan yüzeye sahip olduğunda işlenebilirliği artar ve içsel sürtünme açısı ve sıkışma direnci düşük olduğundan rahat sıkışarak boşluklu yapısı azalır. Oysa kırmataş agregaları oval olmadığı için pürüzlüdür ve köşeli bir şekildedir. Bundan dolayı, agreganın daneleri arasındaki boşluk miktarı artar (Url-1).

Agreganın danelerinde pürüzlülük yükseldikçe işlenebilirliği düşeceğinden karma suyu ihtiyacı artacaktır. Agreganın oval olan danelerinin yüzdesi fazlalaştıkça boşluk oranında azaldığı görülmektedir. Kumdaki toplam yüzey alanının çakılın yüzey alanına göre yüksek olduğu için betonun karma suyunun ihtiyacı fazlalaşacaktır (Url-1).

**Agregalarda Suyu İhtiyaç:** Betonda karma suyuna olan ihtiyaç, çimento hidratasyonunu sağlamak için çimentonun ağırlığının ortalama %24' ü ölçüsünde, agregada danelerin ıslaklığı için agreganın ağırlığının ortalama %3-5' i ölçüsünde ve poroziteyle buharlaşma için gerekli suyun toplamlarına eşit olacaktır (Url-1).

Agregalarda suya olan ihtiyaç;

- Agregada porozite değerine
- Agregada danesinin şekli ve agregada yüzeyinin yapısına
- Maksimum danenin çapına
- Boşluk oranı gibi özelliklere göre farklılık göstermektedir.

Kırmataş agregaların, oval ve cilalı yüzeye sahip daneler malzemeleri agregalarına göre yüksek boşluk oranı, yüksek yüzey alanı ve yüksek porozlu olmaları nedeniyle ıslatma suyuna olan ihtiyaç artacaktır. Islatma sularının birazı çimentoyle reaksiyon gerçekleştirirken büyük bölümü ise beton sertleşince buharlaşarak kaybolacak ve betonun içerisinde boşluk bırakacaktır (Url-1).

**Dayanıklılık ve Aşınma Direnci:** Agregalarda dayanıklılık betonun kaplamaların kalitesini belirlemede etkin bir role sahiptir. Özellikle hava alanı ve yol betonu kaplamaları, ağır yük etkisindeki otoparklar, yükleme-boşaltma alanlarındaki saha kaplamaları gibi alanlarda üretilecek olan betonlarda kullanılacak agreganın aşınma direnç değerinin fazla olması gerekir. Hatta agregaların aşınma direnç değeri fazlaysa basınç dayanımı da fazladır (Url-1).

**Dona Dayanıklılık:** Agreganın dona karşı dayanıklılığı;

- Porozitesine,
- Absorbsiyonuna,
- Permabilitesine

bağlı değişiklik gösterir. Agreganın danelerindeki boşluklara yerleşen suyun donma-çözülme dönemlerinde meydana getireceği ek gerilmeleri agregaların parçalanmasında önemli rol oynayacaktır. Çünkü agreganın danelerinin boşluklu yapısındaki su donmanın nihayetinde genişerek agregada ek gerilmelere sebep olmaktadır. Özellikle beton kaplamalarında donma-çözülme dönemlerinde

kaplamaların alt tabakasında oluşan çatlaklı yapı zaman içerisinde kaplamanın üzerine çıkmaktadır (Url-1).

**Çevresel Etkilere Karşı Dayanıklılık:** Agreganın donma-çözülme dönemlerindeki hacimsel genişmesine ilave olarak, ısı farklılıkları, ıslanma-kuruma, buzu çözücü unsurlar gibi olumlu olmayan etmenlere karşı dayanıklılık göstermesi gerekir. Dayanıklılık göstermezse betondaki çatlak ve aşınma gibi ufak kusurlardan riskli bölünelere kadar büyük çaplı tahribatlar oluşabilir. İçerisinde sülfat minerali bulunduran agregalar çevresel etkilere karşı dayanıklılık gösteremezler (Url-1).

**Zararlı Maddeler:** Beton agregalarında bulunan yabancı maddeler, aderans kuvvetinin azalması, priz sürelerine negatif etkileri, çimento ile zararı olan kimyasal reaksiyonlarda bulunması, dayanımının düşmesine neden olduğundan dolayı zararlıdır (Url-1).

**Agregalardaki Termal Özellikler:** Betonun içerisindeki agreganın miktarı ve ısı genişleme katsayısının etkisiyle agrega genişmesi sonucunda betonda genişir. Fakat agreganın ısı etkisiyle genişmesinin asıl sorun, kaba agregadaki ısı genişmenin katsayısıyla çimentonun hamurundaki ısı genişmenin katsayısının birbirine göre farklılık göstermesidir. Fazla ısı değişimi esnasında genişleme katsayısının farklılık göstermesi sebebiyle ayrı genişmelerden dolayı agregayla çimentonun hamuru parçalanarak ayrışabilir. Benzer biçimde soğuk iklim şartlarında agregayla çimento hamurunda farklı şekilde büzölmeler olduğundan yakın sorunlar oluşmaktadır (Url-1).

### 2.1.3 Karışım Suyu

İçilebilir nitelikteki suların tamamı betonda kullanımı için uygundur (Eser, 2015).

Beton hidrasyonu için kullanılacak olan su içeriği gerekli şartlar dikkat edilmeksizin kullanılırsa beton priz süresini uzatabilir, agrega ve çimento ile su içeriğindeki kimyasallar istenmeyen tepkimelere girerek çiçeklenme, alkali reaksiyonları gibi zararlı yan tepkimelere sebep olabilir. Su muhtevastaki klorlar donatı ile yanma tepkimesine girerek donatının korezyona uğramasına sebep olabilir (Eren, 2009).

Beton suları ile ilgili TS EN 1008' de test aşamasından önce fikir vermesi için bazı genellemeler yapılmıştır.

Bu genellemelere göre;

- İçme suları betonda kullanım için uygundur.
- Endüstriyel atık suları, yer altı suları ve doğal yüzey suları için test sınır değerlerini tutması şartı gerekir.
- Deniz suları içinde demir donatı olmayan ya da gömülü metal olmayan betonda kullanılabilir.
- Kanalizasyon sularının betonda kullanılması elverişsizdir.

Beton için kullanılması düşünülen su numunesi 5 litreden az olmamalı, suyun 12 aylık durumunu yansıtır nitelikte olmalı, sızdırmaz bir kapta muhafaza edilmeli, 2 hafta içinde teste tabi tutulmalıdır. Ayrıca karma suyu içinde bulunacak alkaliler ve slikaatlar ayrı ayrı değerlendirilerek her biri 1500 mg/l' yi geçmemelidir. Beton karma suyunun priz süresine ve basınç dayanımına etkisinin tespiti, damıtılmış su ile kontrollü deney yapılarak tespit edilir. Test edilen su ile hazırlanmış beton numunesinin priz süresi, saf suya göre %25 ten fazla sapma göstermemeli ve basınç dayanımı % 10'dan fazla sapma göstermemelidir (Halilov, 2003).

#### **2.1.4 Katkılar**

Beton içine katılan katkı maddeleri katkı maddesinin kendine özgü bir özelliği ile betonu iyileştirmek amacına yönelik kullanılır. Katkı maddeleri menşelerine göre kimyasal ve mineral katkı maddeleri olmak üzere ikiye ayrılır. Kimyasal katkıları; su azaltıcılar (akışkanlaştırıcılar), priz geciktiriciler, priz hızlandırıcılar, antifrizler ve hava sürükleyici katkılarıdır. Mineral katkıları ise, öğütülerek toz haline getirilmiş silolarda depolanan uçucu kül, silis dumanı, cüruf gibitürlü maddelerdir (Ağar ve diğ, 2007).

#### **2.2 Sertleşmiş Betonun Özellikleri**

Betonun yapılarda kullanım özelliklerinin araştırılmasında birincil olarak bakılması gereken parametreler sertleşmiş beton özellikleridir. Çünkü taze beton özellikleri genel olarak işlenebilirliği esas alırken sertleşmiş beton özellikleri genel anlamda mekanik özellikleri tarif etmektedir (Pourhossein, 2012).

Bu bölümde sertleşmiş beton özellikleri maddeler halinde özet bilgi niteliğinde açıklanmıştır (Pourhossein, 2012).

### **2.2.1 Basınç Dayanımı**

Yapı malzemesi olarak kullanılan sertleşmiş beton üzerine birçok farklı yük etki etmektedir. Betonun bu yüklere karşı direncine betonun dayanımı, basınç yüklerine karşı direncine beton basınç dayanımı denir. Betona basınç dayanımının daha üzerinde yük etkirse yükün büyüklüğüne göre betonda çatlama ya da kırılma gerçekleşir (Pourhossein, 2012).

Beton basınç dayanımlarının artırılmasındaki ana hedef beton içerisindeki boşlukları minimize etmektir. Su/çimento oranının düşürülmesi ile gerçekleşen bu durum mineral katkıların ilavesi ile de gerçekleşebilmektedir (Sarı, 2008).

Beton birçok yapı malzemesinin kimyasal reaksiyonu ile meydana gelen karmaşık içerikli bir yapı olmasından dolayı beton basınç dayanımını etkileyen birçok faktör vardır. Beton içinde dayanımı sağlayan ana bağlayıcı çimentodur. Bu nedenle beton basınç dayanımını etkileyen en önemli etmen beton içindeki çimentonun oranıdır. Bir betonda limit değerlerde kalmak koşulu ile çimento dozajı artırıldıkça beton basınç dayanımı doğru orantılı olarak artar. Fakat gerçek tarif basınç dayanımının birim çimentonun hidrasyon reaksiyonu gerçekleştireceği su miktarında gizlidir. Beton içindeki su miktarı hidrasyonu gerçekleştirebileceği minimum değeri kadar ilave edildiğinde maksimum basınç dayanımı elde edilir. Bu tarif literatürde su/çimento oranı olarak bilinmektedir. Hidrasyon gerçekleşecek kadar su tepkimeye dâhil edilmek kaydıyla su/çimento oranı küçüldükçe beton basınç dayanımı yükselecektir (Postacıoğlu, 1986).

Beton dayanım sınıfını agregaların cinsi, özgül ağırlıkları ve aşınma dayanımları da etkiler. Çünkü agregalar beton içinde dolgu malzemesi olarak kullanılan ve yüke karşı direnç gösteren malzemelerdir. Ayrıca agregaların gradasyonu da birinci dereceden basınç dayanımını etkilemektedir. Çünkü gradasyon istenilen düzeyde olmazsa betonda yer yer boşluklar ve buna bağlı olarak zayıf noktalar oluşacak, yük altında zayıf noktalar direnç gösteremeyip çatlama yaparak beton karakteristik basınç dayanımını etkileyecektir (Akman, 1990).

### 2.2.2 Eğilme Dayanımı

Yapı malzemesi olarak kullanılan sertleşmiş beton üzerine birçok farklı yük etki etmektedir. Betonun bu yüklere karşı direncine betonun dayanımı, eğilme yüklerine karşı direncine betonun eğilme dayanımı denir.

Beton eğilme dayanımı, 28 günlük basit kiriş numunesi üzerinde iki noktadan yükleme metodu ile ölçülür (TS EN 12390-5). Tipik değer aralıkları 3.45- 4.83 MPa arasındadır.

Beton yol kaplamaları için eğilme dayanım değeri 4.2 MPa' nın üzerinde olmalıdır.

### 2.2.3 İşlenebilirlik

Betonun işlenebilirliğinin kıvam sınıfı ile tayini pratik olarak işlevsel ve kolaylaştırıcı fakat yetersizdir. Çünkü kıvam sınıfı iyi olan bir beton segregasyona uğrayabilir ve işlevselliğini yitirmiş olabilir. Segregasyon beton içindeki çimento hamuru ile agregaların ayrı bölgelere yığılma ve birbirinden ayrı hareket etmesinin genel adıdır. Segregasyon görülen bir betonda beton içi homojenlik sağlanmadığı için yüke karşı dirençte de aynı şekilde kararsız bir yapı ile karşılaşılır. Su kusma olayı da aynı şekilde kıvam sınıfı ile tayin edilemeyecek işlenebilirlik problemlerindedir (Akman, 1990).

İşlenebilirliği ölçmek için Çökme Deneyi (Slump Deneyi ) yapılır. Üstünün çapı 10 cm, altının çapı 20 cm, yüksekliği 30 cm olan koninin içine betonlar iki kademedeki kademeler arası şişlenerek yerleştirilir ve koni kaldırılır. Betonun çökme değeri kıvam sınıfını tayin eder (Akman, 1990).

İşlenebilirlikte betonun yerleşimi sırasında kalıp, donatı ile taze beton arasındaki sürtünmeden kaynaklı problemlerden dolayı da problemler doğmaktadır. Bu problemler uygulama alanına göre gerekli vibratörün kullanılması ile çözülür. Yollar ve saha betonları için yüzey vibratörleri, çelik kalıplı yapılarda kalıp vibratörleri, bazı prefabrikasyon yapılarda masa vibratörleri ve yerinde dökülen yapı betonlarında dalgıç vibratörler kullanılır (Akman, 1990).

#### **2.2.4 Geçirimsizlik**

Geçirimsizlik su yada farklı bir sıvının beton içinde yürümesinin literatürdeki tanımıdır. Beton içinde sıvının yürümesinin ana sebebi sürekli kılcal çatlaklardır. Bu çatlaklar beton hidratasyonu sırasında oluşur (Akman, 1990).

Beton su geçirimsizliği kohezyonel geçirimsizlik ve kapiler su geçirimsizlik olarak iki grupta incelenir. Kohezyonel su geçirimsizlik beton çatlakları boyunca suyun yürümesi olayıdır. Beton sıvalarından zemin suyunun yükselerek buharlaştığında klor lekelerinin kaldığı çiçeklenme olayı kohezyonel geçirimsizliğe örnektir. Kapiler su geçirimsizliği belli basınç altında suyun çatlaklardan yürümesi ya da buhar yoluyla ilerlemesidir (Akman, 1990).

Beton geçirimsizliğinde çimento dozajı etkilidir. Daha yoğun çimento hidratasyonu yoğunlaştırır ve rötre çatlaklarını önleyici bir adımdır. Su/çimento oranının düşürülmesi de geçirimsizliğe olumlu etki yapar. Aksi takdirde hidrate olamamış su buharlaştığında oluşan boşluklar yük çatlakları ile birleşir ve kılcal çatlaklara dönüşür. Daha önce bahsedildiği üzere agrega granülometrisinin istenilen oranlarda olması beton içinde boşluk miktarının azalmasına katkı sağlar ve kılcal çatlakları önler (Akman, 1990).





### **3. BETON YOLLAR**

Rijit üstyapı tasarımının kaliteli bir şekilde olabilmesi için üstyapı kaplanmasında kullanılacak olan betonun ve beton bileşenlerinin özelliklerinin çok iyi bilinmesi gereklidir. Beton içeriğinde genel olarak hava, agrega ve çimento hamuru bulunmaktadır. Su ve çimentonun belirli oranlarda karıştırılmasıyla çimento hamuru elde edilmektedir. Kimyasal reaksiyon sonucu sertleşen çimento hamuru, agrega danelerini bağlayıp karışımı yapay bir taş haline getirmektedir (Agar ve diğ, 1998).

Beton kaplamaların dayanımları ve yapısal ömürleri önemli avantajlarıdır. Beton kaplamalar rijit kaplamalardır. Elastik olan zeminde oturmuş kirişler şeklinde çalışırlar. Üzerlerine gelmiş olan yükü geniş alanlara yayıp tabanın zeminine iletirler (TMH, 2003).

#### **3.1 Beton Yolların Tarihçesi**

Beton yollardaki gelişmeler ise 19. yüzyılın sonlarına doğru başlamıştır. İlk beton yol, 1891 senesinde ABD' de yapılmış olup, Ohio' da bir sokak olarak bilinmektedir (TMH, 2003).

Bu yol, Chicago Uluslararası Fuarı tarafından 1893 yılında yol kaplama malzemelerinde en iyi mühendislik teknolojisi seçilmiş ve bu yeni tekniğin önünü açmıştır (Uçar, 2002).

1920 senesinden sonra hesaba yönelik, tasarım ilkelerine sahip yollar yapılmıştır. Sonrasında alt zemin sorunlarının meydana çıkmasıyla alt zemini olan beton yollar inşa edilmeye başlanmıştır. Endüstriyel dönem 1933 senesinden sonra başlamıştır. Almanya' daki işsizlikle baş edebilmek ve askeri birimlerin hızlı, güvenli bir şekilde hareket edebilmelerini sağlamak amacıyla ilk beton yol şantiyeleri kurulmuştur. Sonrasında ise Belçika ve Fransa' da beton otoyol yapılmaya başlanmıştır (TMH, 2003).

Deforme olmayan kalıpların üretilmesi ve beton santrallerinin kurulması beton yol yapımına hız kazandırmıştır. ABD’ de, 1960 ve 1970 yılları arasında yaklaşık 70.000 km’ lik beton yol ağı yapılmıştır. İlk olarak ABD’ de başlayan bu ilerlemeler, sonrasında Almanya, Belçika ve Japonya’ da da görülmüştür (TMH, 2003).

Beton yolda kullanılan hazır beton, kayar kalıp, geçirimli-lifli-ön gerilmeli beton çeşitleri ve sürekli betonarme gibi yeniliklerle birlikte beton kaplama, asfalt kaplamalarla karşılaştırıldığında günümüzde modern yollar için vazgeçilmez bir seçenek olmuştur (TMH, 2003).

### **3.2 Beton Yollar - Esnek Üstyapı Karşılaştırması**

Üstyapının seçimi, karayolu yapımı veya üstyapı yenileme çalışmaları için büyük ölçüde önemlidir. Bu seçimi yaparken ülke koşulları da göz önünde bulundurularak, üstyapı çeşitleri teknik ve ekonomik açıdan karşılaştırılmalıdır (Agar ve diğ, 1998).

Günümüzde motorlu taşıt trafiğinde meydana gelen artış büyük güçlük çıkarmaktadır. Bu soruna karşılık yeni karayolu yapmak yerine var olan karayolu üstyapılarının yoğun ve ağır trafiği karşılayabilmesi için yenileme çalışmaları yapılmaktadır (Agar ve diğ, 2001).

Karayolu üstyapıları kaplama tabakası türüne göre rijit üstyapı, yarı-rijit üstyapı (karışık üstyapı) ve esnek üstyapı olmak üzere değişik şekillerde kullanılmaktadır.

Rijit-esnek üstyapı kıyaslaması, Çizelge 3.1’ de özet olarak gösterilmiştir. Bu çizelgeden de anlaşılacağı gibi her iki üstyapı türü için de avantajlı durumların yanı sıra uygun olmayan durumlar da görülmektedir. Tamamen olumlu yönde olan tek bir kaplama türünün uygulanması, bu koşullarda mümkün değildir, çünkü birçok özellik birbiri ile çelişmektedir (Agar ve diğ, 1998).

Bu sebeple üstyapı seçiminde, o yoldan beklenen performans ve ülkenin koşulları (ekonomi, iklim, trafik, teknik olanaklar, kalite tercihi vs.) dikkate alınmalı ve optimum sonuca ulaşılmalıdır. Beton yollar ve esnek üstyapı kıyaslaması Çizelge 3.1’ de verilmiştir.

**Çizelge 3.1:** Beton yollar-Esnek üstyapı kıyaslaması (Agar ve diğ, 2001).

<b>Parametreler</b>	<b>Esnek Üstyapı</b>	<b>Rijit Üstyapı</b>
Demir donatıyı kullanma	-	+
Onarım aralığı	-	++
Dayanıklılık	+	++
Islak halde iken kayma sürtünme katsayısı	-	+
Zayıf taban zemininin bulunması	--	+
Uygulama esnasında ısı kaybının sebep olabileceği sorunlar	--	+
Kaliteli agrega gerekliliği	-	+
Derz yapma zorunluluğu	+	-
Seyahat konforu	++	+
Gece sürüş halinde görüş olanağı	-	++
Yaşlanma ve kimyasal maddelerden etkilenme	--	+
Uygulama esnasında çevre kirliliği oluşturması	-	+
Enerji yetersizliğinden etkilenmesi	-	+
Taban zemininde ıslaklık	-	+
İklim koşullarına bağlılık	--	++
Trafikteki yüksek yıllık artış oranı	-	++
Trafikteki düşük yıllık artış oranı	+	-
Trafikteki yüksek ağır taşıt oranı	-	++
Üstyapının kaplamasına takviye	+	-
Üstyapı temel+kaplama değişimi	+	+
Yüksek iskonto oranı ve sınırlı yatırım kaynakları	+	-

++:çok avantajlı, çok uygun; +: avantajlı, uygun; -: sakınca yaratır, uygun değil; --:çok sakıncalı, hiç uygun değil

### **3.3 Beton Yolların Sınıflandırılması**

Beton yollar derzli donatılı beton yollar, derzli donatısız beton yollar, sürekli donatılı beton yollar ve silindirle sıkıştırılmış beton yollar olmak üzere dört çeşittir.

#### **3.3.1 Derzli Donatısız Beton Yollar**

3-6 m. uzunluğundaki kısa anolardan oluşan derzli donatısız beton yollar, 125-350 mm kalınlığında bloklardan oluşup donatı çeliği içermezler. Kısa derz aralığı, ano ortası çatlamayı en düşük seviyeye indirmek ve derz açıklığını küçük tutmak amacıyla kullanılmaktadır. Amerika Birleşik Devletlerin bütün iklim alanlarında, hava alanı döşemelerinde, otoyollarda ve şehir içi caddelerde derzli donatısız beton yollar kullanılmaktadır (BCA, 2002).

#### **3.3.2 Derzli Donatılı Beton Yollar**

Derzli donatılı beton yollar, uzunluğu 8-30 mm' lik anolardan oluşmaktadır. Blok kalınlıkları 150-350 mm olmakta ve ortalarından donatı ağı geçmektedir. Temel tabaka kalınlığı ise 100-200 mm' dir (BCA, 2002).

Derz aralığı fazla olduğunda kurumadan kaynaklı büzülme ve ısıdan dolayı kıvrılma meydana gelmekte ve çatlaklar oluşmaktadır. Bu çatlakların oluşumunu engellemek amacıyla donatı çeliği kullanılmaktadır. Donatı çubukları derzler arası yük transferinde gerekli olmaktadır. Donma ısısındaki bölgelerde ve nemli bölgelerdeki şehirlerarası yollarda yoğun olarak kullanılmaktadır (BCA, 2002).

#### **3.3.3 Sürekli Donatılı Beton Yollar**

Sürekli donatılı beton yollar, yüksek donatı içeriği sayesinde enine derzler olmadan döşenen beton bir plaktan oluşmaktadır. Fakat diğer betonarme yapılarda olduğu gibi, donatılar çatlakları önleyemez sadece kontrol altına alır (BCA, 2002).

Donatı plak boyunca sürekli olarak bulunmaktadır ve derzler yalnızca gün sonunda iş bitiminde konulmaktadır. Plak kalınlığı 150-250 mm olmaktadır. Bu tür kaplamalarda derzli donatılı beton yollardan çok daha fazla donatı bulunmaktadır. Bu kaplama türü yaygın olarak kullanılır ancak toplam beton kaplamaya oranı oldukça düşüktür. Beton yolların yapım tekniğine bağlı olarak farklı biçimleri de bulunmaktadır. Bunlar; öngermeli beton kaplama, silindirle sıkıştırılmış beton kaplama, kompozit kaplamadır (BCA, 2002).

#### **4. SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON**

Silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) sertleşmemiş halde iken üzerinden silindirlerin geçmesine imkân verecek şekilde kuru kıvamda olan bir beton türüdür. Son yıllarda; sağladığı düşük maliyet, hızlı inşa imkanı ve yapısal özelliklerinin bilinmesinden dolayı dünyada yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanılmıştır (Ağırlioğlu N., 2005).

Silindirle sıkıştırılmış beton kavramı ilk defa 2. Dünya Savaşı'ndan önce ortaya çıkmıştır. O tarihlerde, havaalanları ve otoyolların alt temel tabakalarında kullanılmıştır. 2. Dünya Savaşı'ndan sonra Avrupa'nın tekrardan ve hızlı biçimde yapılandırılma ihtiyacının meydana çıkması; baraj, liman, karayolu ve hava meydanlarının inşasına cevap verecek hızlı metotların geliştirilmesini sağlamıştır (Ağırlioğlu N., 2005).

##### **4.1 SSB' nin Genel Özellikleri**

Silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) genel anlamda taze haldeyken vibrasyonlu silindirin sıkıştırabilmesine izin verecek şekilde katı kıvamlı (sıfır çökme değerine sahip) olan bir beton türüdür. SSB' nin klasik betona göre en önemli farklılıkları şunlardır:

- Hiç çökme göstermemesi,
- Bağlayıcı madde oranının daha az oluşu,
- Daha az hidratasyon ısisının oluşması,
- Yol ekipmanları ile serilip sıkıştırılabilmesi,
- Hızlı ve seri üretimi,
- Derz sayısının normal betona göre daha az oluşu,
- Ekonomik oluşudur (Hansen ve diğ., 1991).

## 4.2 SSB Malzemeleri

Silindirle sıkıştırılmış betonun geleneksel betona göre en büyük farklılığı kıvamından kaynaklanmaktadır. SSB, üzerinden silindirin batmadan geçecek bir şekilde kuru kıvamda olması gerekmektedir. Malzeme seçimi ve tasarımı yapılırken, SSB' nin işlenebilmesi ve yoğunluğu en yüksek olacak şekilde yapılmaktadır. SSB' nin dayanım özelliklerini en fazla etkileyen faktörler şunlardır:

- Agreganın gradasyonu, tipi,
- Sıkıştırma yüzdesi,
- Çimento, mineral ve kimyasal katkıların özellikleri,
- Su miktarı (Hansen ve diğ.,1991)

Geleneksel betonların içinde bulunan kaba ve ince agregalar, çimento, uçucu kül, katkı maddeleri ve su SSB' de de bulunmaktadır. Su/çimento oranı 0,20 ile 0,40 arasında olmak zorundadır. Diğer beton çeşitlerinde de olduğu gibi, SSB' nin ekonomik oluşunu ve kalitesini belirlemedeki en önemli etkenlerden biri, doğru agreganın seçilmesidir. SSB karışım hacminin %70-80' ini agregalar oluşturmaktadır (Luhr D., 2008).

Kaba agrega; kırılmış veya kırılmamış çakıl, kırmataş veya karışımından meydana gelmektedir. Kırmataş veya kırılmış çakıl ile yapılan SSB' lerin sıkıştırılması, yuvarlak çakıldan yapılmış SSB' lerden daha zor olmasına rağmen, taşıma ve yerleştirme esnasında daha az ayrışma oluşmaktadır (Luhr D., 2008).

İnce agregalar; doğal kum, kırılıp üretilmiş kum veya her ikisinin karışımından oluşmaktadır. Yüksek oranda plastik olmayan silt parçacıkları içeren kumlar, gereken çimento miktarını da azaltmaktadır. Bunun aksine, yüksek oranda kil içeren ince agregalardan oluşan karışımlarda kullanılan su miktarı artmakta, büzülme ve çatlamalar meydana gelmekte, dolayısıyla dayanım azalmaktadır. Bundan dolayı karışım içinde kullanılacak olan kumların su emme kabiliyeti ve özgül ağırlığının bilinmesi gerekmektedir. SSB ve geleneksel betonlardaki agregalar arasında en önemli farklardan biri agrega gradasyonudur. SSB' de maksimum tane boyutu 25 mm veya daha az olmaktadır. Çizelge 4.1' de SSB ve geleneksel beton kaplaması üretimi esnasında kullanılan malzemeler karşılaştırılmaktadır (Luhr D., 2008).

**Çizelge 4.1:** SSB ve geleneksel beton kaplaması üretimi esnasında kullanılan malzemelerin karşılaştırılması (Luhr D., 2008).

	<b>Mutlak Hacim</b>	
	<b>SSB</b>	<b>Geleneksel Beton Kaplama</b>
Bağlayıcılar	% 9	% 10
Su	% 10	% 15
İnce agrega miktarı	% 34	% 23
İri agrega miktarı	% 44	% 46
Hava	% 3	% 6
Toplam malzeme	% 100	% 100
Çimento hamuru	% 22	% 31
S/Ç oranı	0,35	0,48
İnce agrega oranı	0,44	0,33

Ayrışma olmaması için, karıştırmayı kolaylaştırmak ve yüzey düzgünlüğünü oluşturmak amacıyla tane boyutu yüksek belirlenmemelidir. Bazı ülkelerde, ince ve kaba agrega bileşimlerinin gradasyon sınırları belirlenmiştir. Fransa ve İspanya’ da kabul edilen gradasyon eğrileri bağlayıcıları da kapsamaktadır. Silindirle sıkıştırılmış beton yollara ilişkin PCA (Portland Çimento Birliği) tarafından hazırlanan şartnamede belirtilen agrega gradasyonu Çizelge 4.2’ de verilmiştir (Portland Cement Association, 2004).

**Çizelge 4.2:** Agrega gradasyon sınırları (Portland Cement Association, 2004).

<b>Elek Boyutu (mm)</b>	<b>Elekten Geçen (%)</b>
1 (20 mm)	100
3/4 (19 mm)	90-100
1/2 (12,5 mm)	70-90
3/8 (9,5 mm)	60-85
No.4 (4,75 mm)	40-60
No.16 (1,18 mm)	20-40
No.100 (150 µm)	6-18
No.200 (75 µm)	2-8



Yeni sıkıştırılmış malzemede yeterli stabiliteyi oluşturmak amacıyla büyük miktarda kırılmış malzeme kullanılmaktadır. Kaplama düzgünlüğü önemli değilse, kaba ve ince agregalar önceden karıştırılıp tek bir grup olarak depo edilebilmektedir. Takviye tabakası çalışmasında, agrega seçimindeki en önemli etken, karışım sıkıştırıldığı esnada yüksek iç dayanıma ulaşabilmesidir. SSB, fazla gecikme olmadan trafiğe açılabilir. Stabilite, anlık taşıma gücü testiyle belirlenmektedir. Test, CBR testindeki aynı malzemelerle, yeni sıkıştırılan numuneler üzerinde uygulanmaktadır. Anlık taşıma gücü 65' in üzerinde çıktığında, SSB' nin yeterli kapasiteye sahip olacağı ön görülmüştür (ACI Committee 207, 1988).

SSB' de Tip I (normal) ve Tip II (sülfata direnci arttıran) portland çimentosu kullanılmaktadır. Çimento oranı, kuru karışım toplam ağırlığının %10 ile %17' si arasında olup m<sup>3</sup>' te 300±30 kg kullanılmaktadır. Bağlayıcı malzemenin %25 ile %40' ı kadar C veya F sınıfı uçucu kül kullanılabilir (ACI Committee 207, 1988).

Fransa ve İspanya' da birbiri içine harmanlanmış çimentolar kullanıldığı gibi, çimento ve uçucu kül karışımı da kullanılmaktadır. İçeriğinde uçucu kül bulunan çimentolar geleneksel Portland çimentosuna göre daha ucuzdur ve priz süresini belirgin şekilde geciktirmektedir. Ayrıca uçucu kül kullanıldığında SSB' nin işlenebilirliği artmakta ve karışımın çatlama davranışı önemli derece etkilenmektedir. Uçucu kül, bilhassa sıcak havalarda yol yapımı esnasında avantaj oluşturmaktadır. Soğuk bölgelerde ise uçucu kül kullanılması donma-çözülme dayanıklılığını düşürmektedir. Bu sebeple, kış mevsiminin sert olduğu bölgelerde uçucu kül tercih edilmemektedir. Bu gibi bölgelerde, bağlayıcı ağırlığının %10' u üzerinde silis dumanı kullanılması, dayanım ve dayanıklılığı arttırmaktadır. Priz geciktiriciler ve plastikleştiriciler bazı ülkelerde, şartnamelerde belirlenen işlenebilirlik süresini sağlamak için sürekli olarak kullanılmaktadır. Katkı maddesi ile oluşturulan gecikme süresinde priz başlamadığı için, karışım iç yapısında değişim olmadan sıkıştırma yapılabilir. Hava sürükleyici katkı maddeleri, SSB karışımlarında belirli oranlarda kullanılmaktadır. Laboratuvar araştırmaları sonucunda, homojen bir şekilde hava dağılımı gerçekleştiğinde, don sebebiyle oluşacak zararların azaltılabileceği belirlenmiştir (ACI Committee 207, 1988).

### 4.3 SSB Yapım Metodları

SSB' nin karıştırılması, taşınması, serilmesi ve sıkıştırma işlemleri mümkün olduğunca en kısa zamanda ve ayrılmaya uğratılmadan gerçekleştirilmesi gerekmektedir. SSB' nin karıştırılmaya başladığı andan, son geçişin atılmasına kadar geçen süre; SSB' nin priz süresini geçmemelidir. Genel bir kural olarak içinde hiç veya az miktarda mineral katkı kullanılan SSB' lerin taşıma, serme ve sıkıştırma süresinin 45 dakikayı geçmemesi gerekmektedir. Bu süre katkı maddesi kullanılmayan ve hava sıcaklığının 21°C olduğu hava koşullarında geçerlidir. Sıcak havalarda bu zamanın kısaltılması, soğuk havalarda ise uzaltılması gerekmektedir. Nemin az, rüzgârın ve el değiştirmenin fazla olduğu koşullar SSB' nin işlenebilirliğini azaltmaktadır. Bu yüzden bu hava koşullarında SSB sıkıştırılma işlemi 45 dakikadan önce tamamlanması gerekmektedir (ACI Committee 207, 1988).

#### 4.3.1 SSB Üretimi

SSB karışımları, hem kesintili hem de sürekli karıştırma tesislerinde üretilebilmektedir. Bilgisayar kontrollü, kesintisiz çalışan bir karışımdan diğerine hiçbir değişikliğe mahal vermeyen modern karışım tesisleri en uygun olanıdır. Mikserler karıştırma kolları ve paletleri ile haznede harç kalmayacak aynı zamanda sıfır çökmeli betonu herhangi bir bozulma olmadan karıştırarak şekildedir. İkiz şaftlı kesintili mikserler SSB yapımında kullanılan en yaygın tiptir (ACI Committee 207, 1988).

#### 4.3.2 SSB Taşınması

SSB' nin beton santralinde hazırlandıktan sonra en fazla 15 dakika içerisinde döküm sahasına getirilmesi gerekmektedir. Taşınma sırasında SSB' nin ayrılmaya uğratılmaması, işlenebilirliğinin kaybetmemesi ve mümkün olan en kısa zamanda getirilmesi için uygun bir taşıma yöntemi seçilmelidir. SSB; iletici bant, kamyon ve karma yöntemler kullanılarak taşınabilir (Andriolo R.F, 1998).

**Kamyonlarla SSB Taşınması:** SSB' yi beton santralinden döküm yerine kamyonlarla taşımak için dikkat edilecek en önemli konu taşıma yollarıdır. SSB' nin taşınabileceği mesafe; yol koşullarına, havanın durumuna, trafiğe ve inşaat sahasının topografyasına bağlıdır. Taşıma yollarının SSB dökümü yapılmadan önce tamamlanması gerekmektedir. Yolların eğimi ve genişliği SSB yapım hızı ve

kamyonların taşıyacağı yüke göre ayarlanması gerekmektedir (Andriolo R.F, 1998).  
Kamyonlarla SSB taşınması Şekil 4.1' de sunulmuştur.



**Şekil 4.1:** Kamyonlarla SSB taşınması(ACI Committee 207, 1988).

**İletici bantlarla SSB Taşınması:** İletici bantlar, SSB taşınmasında kullanılan en ideal yöntemdir. İletici bantlarla taşıma sistemi seçilirken toplam maliyet, güvenilirlik, kalite ve iş programı gibi özellikler dikkate alınmalıdır. Kamyonla taşımaya göre daha pahalı bir sistemdir (ACI Committee 207, 1988).

#### **4.3.3 SSB Serme ve Yerleştirme İşlemleri**

SSB' yi sermek için en iyi araçlar finisher ve dozerlerdir. Dozerler hızlı, hassas ve homojen bir şekilde SSB' yi serer. Dozer; SSB yığını tekrar karıştırıp ayrışma olmadan istenilen yükseklikte serer. Dozerlerin paletli olması ve U bıçağa sahip olması gerekmektedir (Andriolo R.F, 1998). Şekil 4.2' de yol serim uygulaması gösterilmektedir.



**Şekil 4.2:** SSB yol serim uygulaması(Andriolo R.F, 1998).

SSB' nin serilme yüksekliği dozerlere bağlanan lazer sistemiyle kontrol edilmekle birlikte, sahada hazır bulunan etüt ekibi ile de kontrol edilebilir. SSB serilme yüksekliğinin seçiminde karışım oranı, serme ve sıkıştırma ekipmanlarının özellikleri dikkate alınmalıdır (Andriolo R.F, 1998).

#### **4.3.4 SSB Sıkıştırma İşlemi**

Sıkıştırma ekipmanı seçilirken; manevra kabiliyeti, birim tambur genişliğindeki sıkıştırma gücü, tambur genişliği, vibrasyon, amplitut, frekans ve operasyon hızı dikkate alınmalıdır. Yapılan çalışmalarda, yüksek frekanslı ve düşük amplitute sahip silindirlere göre SSB' yi daha iyi sıkıştırabildikleri görülmüştür. SSB' de genellikle dinamik kuvveti 8 kg/mm olan tek veya çift tamburlu ve ağırlığı 10 ton olan silindirler kullanılmaktadır (Andriolo R.F, 1998).

Ön döküm beton elemanlar, normal betonlar veya kalıp yanlarında el kompaktörleri veya 3 tonluk küçük silindirler kullanılarak sıkıştırılır (Şekil 4.3). Bunlar küçük olmasına karşın yüksek sıkıştırma gücüne sahiptir (Andriolo R.F, 1998).

SSB' nin istenilen sıklık derecesine getirmek için gerekli olan minimum geçiş sayısı; karışımın işlenebilirliğine ve tabaka yüksekliğine bağlıdır.

SSB' nin minimum geçiş sayısı test dolgusunda belirlenir. Düzgün bir yüzey elde edilmesi için genellikle ilk geçiş statik modda (titreşim olmadan) atılır. Daha kuru karışımlara dinamik modda başlanabilir. Silindirin amplitut ve frekans değerleri karışımın kıvamına bağlıdır. Genel olarak frekans 1800-3200 tit/ dak, amplitut ise 0.4-0.8 mm arasında değişmektedir (Andriolo R.F, 1998).

Gerekli geçiş sayısından fazla geçiş uygulanan SSB' nin üst yüzeyinde yoğunluğunu azaltacağından dolayı sakıncalıdır (Andriolo R.F, 1998). SSB sıkıştırma işlemi Şekil 4.3' te verilmiştir.



Şekil 4.3: SSB silindirle sıkıştırılması (Andriolo R.F, 1998).

#### 4.3.5 Derzler

Günlük inşaatın sonunda veya 90 dakikadan fazla ara verildiğinde enine inşaat derzi yapılmalıdır. Bu amaçla; sıkıştırılan SSB tabakası, bitim yeri olan kısımları yol eksenine dik bir şekilde kesilip, düzgün ek yeri yüzeyi oluşturulup, temizliği yapılmalı ve yeni tabaka yapılmadan ıslatılmalıdır (TÇMB, 2017).

İnşaat derzi kesme işlemleri, silindire monte edilen veya özel kesme ekipmanlar ile yapılmalıdır (TÇMB, 2017).

Serme ve sıkıştırma işlemleri tamamlanmış ve bu şekilde 90 dakika beklemiş olan şerit yanına yeni bir şerit serimine başlamadan önce, yan yüzey dik olarak kesilmeli ve gerekli temizlik yapılarak, ek yüzeyleri ıslatılmalıdır (TÇMB, 2017).

Genel olarak SSB uygulamasında serme ve sıkıştırma işlemi tamamlandıktan sonra derz yapılmasına gerek yoktur. Ancak, projesinde belirtilmesi ve kontrol mühendisinin uygun görmesi halinde; çatlak yerlerini kontrol altına almak, estetik görünüm elde etmek veya yük transferini iyileştirmek amacıyla SSB yol yüzeyinde enine ve boyuna derz imalatı yapılabilir (TÇMB, 2017).

Derz kesme işleminin zamanlaması rastgele çatlakların önlenmesi açısından oldukça önemlidir. Genel olarak derz kesme işlemi 12-24 saat içerisinde yapılmalıdır. Kesilmiş derzin genişliği 3 mm'yi geçmemeli, derinliği ise SSB tabaka kalınlığının 1/3' ü kadar olmalıdır. Bu şekilde açılan derzlerin doldurulmasına gerek yoktur. Ancak, projesinde 6 mm' den büyük derz yapılması öneriliyorsa, derzler projesinde belirtilen malzeme ve uygulama metoduna göre doldurulmalıdır. (TÇMB, 2017)

#### **4.3.6 Kür ve Koruma**

SSB tabakasının, sıkıştırma tamamlandıktan sonra vakit geçirilmeden, en çok 2 saat içinde etkili ve üniform bir koruyucuyla kaplanması gerekir. Sıcak ve güneşli günlerde bu zaman daha da azaltılacaktır. Beton yüzeyine uygulanan kimyasal kür maddeleri TS 10966 “Sıvı kür malzemeleri - Membran oluşturan - Beton yüzeyine uygulanan – Özellikler” standardına uygun olmalıdır. Fazla kuru veya fazla sulu olan yüzeylere kimyasal kür malzemeleri kullanılmamalıdır. Kür işleminde, aşağıda belirtilen metotlardan biri uygulanacaktır;

- Kimyasal kür malzemesi 0,350 l/m<sup>2</sup> oranında,
- Bitümlü kür tabakası en az 0,5 l/m<sup>2</sup> oranında,
- Su ile kür yapılması halinde 3 l/m<sup>2</sup> oranında uygulanmalıdır.

Su kürü tercih edilmesi halinde SSB tabakasının, kenar yüzeyleri de dahil olacak şekilde bütün yüzeyi sürekli su püskürtülerek en az yedi gün süresince nemli tutulmalıdır. Su kürü beton yol yüzeyine zarar vermeyecek şekilde sisleme veya püskürtme şeklinde yapılmalıdır. Kür malzemesimin uygulanması Şekil 4.4' te verilmiştir (TÇMB, 2017).



**Şekil 4.4:** Kür malzemesinin uygulanması(TÇMB, 2017).

#### **4.3.7 Kalite Kontrol**

SSB yapımı sırasında kullanılmış malzemeler ve oluşturulmuş tabakayı kontrol etmek için, belirli sürelerde uygulanması gereken kalite kontrol deneyleri, kum konisi metodu ve nükleer metod olmak üzere sıkıştırma kontrol deneyleri, basınç dayanımı tayini, eğilme dayanımı tayini ve kalınlık kontrolü olmak üzere dayanım deneyleri yapılmaktadır (TÇMB, 2017).

**Basınç dayanımı tayini:** Yapımı tamamlanmış SSB tabakasının dayanımı, tam derinlik boyunca alınacak karotlar üzerinde belirlenmelidir. Dayanım sınıfı 28 günlük olmalıdır. Karot basınç dayanımları TS EN 12390 standardına göre tespit edilmelidir. Boy/çap oranı 1' e eşit olmayan karotların test edilmesi gerektiğinde KGM Beton Yollar Teknik Şartnamesi' nde belirtilen düzeltme faktörleri kullanılabilir (TÇMB, 2017).

**Kalınlık kontrolü:** SSB tabakasının kalınlığı; karot numuneleri ölçümünün ortalaması olmalı ve bu sayı tasarımın kalınlığından az olmamalıdır. Rastgele ölçülen bir karot ölçümünün değerindeki kalınlığın azalması (4 okuma ortalaması) 10mm değerinden küçük olmalıdır (TÇMB, 2017).

**Yüzey düzgünlüğü:** Karışımın serilmesi ve ardından sıkıştırılmasından sonra yolun plan, profil ve en kesitlere uygun olması gerekir. Yolun üzerinde renk farklılıkları, çatlak, kabarma, çökme, tekerlek izi vb. bulunmamalıdır (TÇMB, 2017).

Biten bir kaplama yüzeyinin düzgünlüğünün enine ve boyuna kontrolü, deforme olmaması için 5 m uzunluğundaki masterla yapılmalıdır (TÇMB, 2017).

Yol ekseninin boyuna kontrolünü yapmak için, master yolun eksenini doğrultusunda ve eksene dik olarak kontrol mühendisinin uygun gördüğü yerlere yerleştirilmelidir. Master ile yolun birbirine temas ettiği farklı iki noktası arasındaki bölümde, master ile yolun yüzeyi arasında olan açıklığın 10 mm' den fazla olmaması gerekir (TÇMB, 2017).

**Beton eğilme dayanımı:** Beton Eğilme Dayanımı, 28 günlük basit kiriş numunesi üzerinde iki noktadan yükleme metodu ile ölçülür (TS EN 12390).

Enine yükleri taşıyan kiriş elemanları eğilmenin etkisi altında kalırlar. Kirişlerin bütün bölgelerinde gerilmelerden eğilme momentleri oluşur. Bundan dolayı köprü, baraj, bina ve yollarda kullanılmış olan betonların eğilme dayanımları bilinmelidir. Silindirle sıkıştırılmış beton yollarda eğilme dayanımı 4,2 MPa' dan büyük olmalıdır.

**Dinamik elastisite modülü:** Dinamik elastisite modülü, aşağıdaki formülden de anlaşılacağı üzere, yüzeye uygulanan gerilme ile basınç arasındaki oranı belirtir.

$$E = \sigma/\varepsilon$$

E = elastisite modülü, psi

$\sigma$  = basınç, psi

$\varepsilon$  = birim şekil değiştirme

Dinamik elastisite modülü, bir basınç altındaki malzemenin, tepki olarak göstermiş olduğu tersinir elastik deformasyonun altındaki eğilimini ifade eder. Tam ölçekli olan bir testin kesitinden elde edilmiş olan SSB çekirdeğinin üzerinde yapılan sınırlı testler, yaklaşık olarak aynı çimento içeriğine sahip karışımlarda SSB' nin dinamik elastisite modülünün değeri, geleneksel betonla aynıveya biraz daha yüksek olduğunu göstermektedir (Tayabji ve Okamoto, 1987).

**Ultrases geçiş hızı:** Ultrasonik titreşim hızı beton kalitesini belirlemek için kullanılmaktadır. Bu yol, içsel çatlak ve malzeme kusurlarının bulunmasında kullanılabileceği gibi aynı zamanda donma/ çözülme ve agresif kimyasal çevrenin betonda yapmış olduğu bozulmaların bulunmasında da kullanılabilir. Bu



yöntem kullanılarak beton test örneğinin dayanımını belirlemek de mümkün olabilmektedir (Mix, 2005).

Titreşimin hız değişimi agreganın çeşidine ve ölçüsüne de bağlıdır. Çimentonun çeşidi titreşim hızını etkilemez. Fakat su miktarının titreşim hızını etkilediği bilinmektedir (Jones ve Facaoaru, 1969). Beton kalitesinin P hızına bağlı sınıflaması Çizelge 4.3' te verilmiştir.

**Çizelge 4.3:** Beton kalitesinin P hızına bağlı sınıflanması (International Atomic Energy Agency, 2002).

Beton Kalitesi Sınıflaması	P Dalga Hızı (m/s)
Mükemmel	4500-
İyi- Çok iyi	3650-4500
Orta	3050-3650
Zayıf	2000-3050
Çok zayıf	0-2000

Titreşim hızıyla beton homojenliği belirlenebilir. Örnek olarak, içsel bir hava boşluğunun çevresindeki bir dalganın saçılımı yayılım süresini arttırmakta ve sonuç olarak görünür hızın azalmasına yol açmaktadır (Sturup, 1959).

Titreşim hızının en büyük kazancı bütünüyle hasarsız olmasıdır. Çok sayıda araştırmacı çimento hamurunun, betonun sertleşmesi ve oturma aşamalarının görüntülenmesi için titreşim hızı yönteminin başarılı uygulamaları üzerine çalışmalar yayınlamışlardır (Jones, 1952; Knab ve diğ., 1983; Rebic, 1983).

#### 4.4 Geleneksel Beton ve SSB Yolların Karşılaştırılması

SSB yollar ile geleneksel beton kaplamaların özelliklerinin karşılaştırılması Çizelge 4.4' de verilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü gibi SSB üretimi geleneksel betona göre aynı bileşenlerin farklı oranlarda karşılaştırılması ile elde edilmektedir. Bundan dolayı işlenebilirlik özelliklerinde de farklılık olmaktadır. Fakat bitümlü sıcak karışım (BSK) kaplamanın yapılışında kullanılan araçlar ile taşınabilmekte, serilebilmekte ve sıkıştırılabilmektedir. Ayrıca hidrasyon reaksiyonları

değişmediğinden geleneksel beton yollarla aynı küre ihtiyaç duymaktadır (Harrington ve diğ., 2010).

**Çizelge 4.4:** Geleneksel beton ve SSB yolların karşılaştırılması.

<b>Malzemeler ve Uygulamalar</b>	<b>Geleneksel Beton Yollar</b>	<b>SSB Yollar</b>
Malzeme karışımlarının oranları	Gradasyonu iyi olan iri ve ince agregalar çoğunlukla karışım hacminin % 60 ila 75' ini oluşturmaktadır. Çimento hamuru içerisinde agregaların bir araya gelmesini sağlayacak ve taneleri arasında boşlukları dolduracak kadar ıslak olmasını sağlayabilecek su/çimento oranı 0.40 ile 0.45 olmaktadır.	Gradasyonu yoğun ve iyi olan iri ve ince agregalar çoğunlukla SSB karışımlarının hacminin % 75 ile 85' ini oluşturmaktadır. Ayrıca SSB karışımları içerisinde fazla miktarda ince agrega, düşük çimento ve su bulunması sebebiyle geleneksel betona göre daha kuru olmaktadır.
İşlenebilirlik	Karışımın plastik ve akışkan olması sebebiyle özel beton yol sericileriyle işlenebilmektedir. Beton sericisi ile sıkıştırılıp çıktıktan sonra şeklini koruyabilmektedir. (çökme değeri ~5 cm)	Karışımı, nemli ve yoğun agrega gradasyonu oluşturmaktadır. Bundan dolayı, SSB karışımı kuru ve rijit olmaktadır. Bu sebeple, karışım geleneksel beton yol sericileriyle şekillendirilecek kadar akışkan olmamaktadır.
Kaplamanın yapılması	Oluşturulan karışım, betonu titreşim aracı ile yayan, sıkıştıran ve çıkaran bir kayar kalıp sericinin önüne dökülmektedir.	SSB karışımı, ağır bir iş makinesi olan asfalt kaplama sericisiyle serme işlemi sırasında tabakanın kalınlık kontrolü için yüksek ağırlıkta olan tek veya çift master yardımcı ile yerleştirilmektedir. Bu çeşit sericiler, bilhassa kalın kaplama uygulamalarında yüksek kaliteli yerleştirme için gerekli olmaktadır. Kalıp kullanılmamaktadır. SSB çoğunlukla minimum 15 ile 20 cm' lik maksimum ise 25 cm' lik tabakalar şeklinde yerleştirilmektedir.

Sıkıştırma	Sıkıştırma içsel bir şekilde ortaya çıkmaktadır. İlk olarak, sericilerde bulunan daldırma ve yüzey tipi vibratörleri taze olan betonu akışkanlaştırmaktadır ve sıkışan havanın çıkmasını sağlamaktadır. Beton sericiden sıkışarak çıkmasının yanında, prizden önce katıların (çimento ve agreg) çökmesiyle ve suyun yukarı doğru hareketiyle (terleme) ek bir sıkışma oluşmaktadır.	SSB' de sıkıştırma işlemi betonun silindirler aracılığıyla sıkıştırılması ile çoğunlukla betonun karıştırılmasından sonra ilk 60 dakika içerisinde beton sertleşmeye başlamadan önce gerçekleştirilmektedir.
Yüzey düzeltme işlemi	Beton yüzeyinin düzeltilmesi, beton priz almaya başlamadan önce gerçekleştirilir. Geleneksel beton yolda araç ile yol arasındaki sürtünmeyi artırmak amacıyla çoğunlukla mekanik olacak şekilde bir yüzey pürüzlendirme işlemi yapılmaktadır.	SSB yolunun yüzeyi aynı asfalt yola benzer. Buna rağmen daha küçük agreg kullanılması ve/veya çimento eklenmesiyle daha yoğun bir yüzey (geleneksel betona yakın) elde edilebilmektedir. Aynı zamanda SSB yolunun yüzeyi elmas taşlama yöntemi ile şekillendirilebilmektedir.
Hidratasyon	Hidratasyon, yol betonunda uzun süreli dayanıklılık sağlamak amacıyla bir hayli önemli olmaktadır. Hidratasyona yardımcı olabilmek amacıyla, beton bakımı önemli bir ihtiyaç olmaktadır.	
Kür işlemi	Yüzey düzeltmesinden sonra hatasız bir kür işlemi gerekli olmaktadır. Beton sertleşmesini ve dayanım kazanmasını sağlayan çimentonun hidratasyonunu oluşturabilmek için betonun yüzeyinden su buharlaşması kontrol edilmelidir.	Silindirler aracılığıyla yapılan sıkıştırmadan sonra hatasız bir kür işlemi gerekli olmaktadır. Beton sertleşmesini ve dayanım kazanmasını sağlayan çimentonun hidratasyonunu oluşturabilmek için betonun yüzeyinden su buharlaşması kontrol edilmelidir.

<p>Çatlama, yük transferi ve güçlendirme</p>	<p>Geleneksel derzli beton kaplamaların çatlaklarının bulunduğu yerler kesilmiş olan derzlerle kontrol edilmektedir. En az 20 cm veya daha kalın olan kaplamalarda yük transferi için derzlerde bulunan kayma donatılarıyla agregaların birbirleriyle kenetlenmesine yardımcı olacak olan boyuna çubuk donatılar kullanılmaktadır. Sürekli donatılı olan beton yol kaplamalarında ise daha kısa aralıklar ile doğal biçimde oluşan çatlakların oluşmasına izin verilerek yük aktarımı sırasında agregaların birbirleriyle kenetlenmesine çelik donatıyla birlikte yardımcı olmaktadır.</p>	<p>Endüstriyel uygulama esnasında SSB yol derzleri çoğunlukla kesilmezler. Bu tarz kesme işleminin olmadığı zamanlarda 4,5 ile 9 m arasında rastgele meydana çıkan dar çatlaklar ile agregaların birbirleriyle kenetlenmesi aracılığıyla yük transferi sağlanmaktadır. Araba ve kamyon trafiği uygulamalarında ise rastgele beton çatlaklarının kontrolünü sağlayabilmek için kesme işlemi istenmektedir. SSB yollarda geleneksel beton yollara göre oranla daha az derz kesildiği görülmektedir. Enine derzler 4,5 ile 9m aralığında yerleştirilmektedir. SSB yollarda sıkıştırma yönteminden dolayı derzlerde kayma donatısı yerleştirmek mümkün olmamaktadır.</p>
--	--	--

SSB yollarda en önemli üstünlük gerek beton kaplamalar için gerekse çok tabakalı asfalt kaplamalara göre çok daha hızlı ve ekonomik olmasıdır. Yurt dışında çok sayıda yapılan uygulamalar sonrasında edinilen bilgilere göre SSB' nin birim maliyeti çoğunlukla yaklaşık aynı bir kesitteki beton veya asfalt kaplamaya göre daha ucuz olmaktadır (Adaska ve W. 2006).

Maliyet hesaplarında net tasarruf yüzdesi çoğunlukla yerleştirme işlemlerindeki karmaşıklığa ve betonun toplam miktarına bağlı olarak değişebilmektedir. SSB' nin geleneksel betona göre maliyetinin daha uygun olmasının nedeni çimento miktarında, yerleştirme maliyetinde ve inşaat aşamasında meydana gelen azalmalar ile açıklanabilmektedir (Harrington ve diğ, 2010).

Bunların yanında SSB yol yapımında hiçbir zaman kalıp kullanılmamakta, çoğunlukla yüzey düzeltme işlemi yapılmamakta ve kayma donatısı, bağ donatısı gibi herhangi bir çelik donatı maliyeti de olmamaktadır. SSB yolların diğer bazı üstünlükleri aşağıda belirtilmiştir (Harrington ve diğ, 2010):

- SSB karışımı içinde düşük hamur içeriği betonda rötreyi azaltır ve rötreden oluşan gerilmeler dolayısıyla çatlamalarda azalmaktadır.
- SSB ağır sanayi, madencilik ve askeri uygulamalar gibi ağır ve tekrarlanan tekil darbe yüklerine karşı koyabilecek yüksek eğilme, basınç ve kesme dayanımına sahip olabilecek şekilde tasarlanmaktadır.
- Düşük geçirgenlik sebebiyle, SSB donma-çözülme koşullarına, kimyasal etkilere karşı direnç ve mükemmel dayanıklılık göstermektedir.
- Diğer rijit kaplamalarda olduğu üzere SSB kullanımı da yolda oluşabilecek tekerlek izlerini önlemekte ve buna bağlı onarımları da ortadan kaldırmaktadır.
- Atık toplama alanlarında, kereste sahalarında ve paletli araçların kullanıldığı endüstriyel SSB saha uygulamalarında derzler gerekmediği için derz bakımı ile ilgili maliyetler de ortadan kalkmış olmaktadır.
- SSB geleneksel beton yollardaki gibi ağır yükler ve yüksek trafik hacimlerinde bile aşınmaya karşı dayanıklı olmaktadır.
- SSB yolların yüzeylerinin açık renkli olmasından dolayı otopark ve depolama alanları için aydınlatma ihtiyacını azaltmaktadır.
- Otomobil ve hafif kamyon gibi ağır olmayan araçlar, SSB yol imalatı bittikten sonra kaplamaya zarar vermeden düşük hızlarda seyahat edebilmektedirler.
- SSB karışımları içerisinde doğal veya endüstriyel ince agrega bulunabilir. Asfalt kaplamalar için uygun olmayan ince agregalarla üretilebilirler.
- Karışım içeriğine ve kullanılan beton sericisinin türüne bağlı olarak tek bir tabakada 25 cm kalınlığa kadar sıkıştırılabilmektedir.
- SSB karışımında hava sürüklenmesi olmamasına karşılık donma-çözülme dayanıklılığı oldukça yüksektir. Uzun yıllar, Kanada ve Kuzey Amerika gibi soğuk bölgelerde SSB kaplamaları çok iyi donma-çözülme dayanıklılığı göstermiştir (Harrington ve diğ, 2010).

Yukarıda sayılmış olan bütün olumlu özellikleriyle SSB kaplamalar hızlı ve ekonomik bir şekilde üretilebilmekte böylece uyumlu bir kaplama şekli olarak

kendini belli etmektedir.Yüzeyinin yüksek derecede pürüzlü olması sebebiyle Dünya’ da başlangıçta daha çok ağır yük taşınan ve düşük hızla gidilen ticari bölgeler için tercih edilmiş olan SSB yollar, şu zamanlarda şehiriçi ulaşımda ve şehirlerarası anayollarda da uygulanmaktadır (Harrington ve diğ, 2010).

Aşağıdaki maddelerde bilhassa yurtdışında SSB yolların tercih edilip uygulanmaya başlandığı yerler verilmiştir (Harrington ve diğ, 2010):

- Endüstriyel tesislerdeki saha içi yollar ve park alanları
- Intermodal taşımacılıkta kullanılan sahalar, limanlar, ve yükleme iskeleleri
- Tır yükleme alanları, toplu eşyaların depolanma alanları ve dağıtma merkezleri
- Düşük hacimli olan kırsal ve kentsel yollar
- Uçak park alanları
- Askeri yükleme olan alanlar, ön ve arka operasyon sahaları, hava meydanları
- Eğlence araçlarını depolama alanları
- Araçlar için bakım alanları
- Büyük ticari araçlar için otoparklar
- Kereste ve tomruk tesisleri için uygun sahalar ve saha içi yollar
- Otoyol banketleri
- Trafiği yönlendirmek amacıyla hızlı inşa edilmiş olan geçici seyahat şeritleri



## 5. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde silindirle sıkıştırılmış beton üretiminde kullanılan materyallerden ve deneysel çalışmaların hangi yöntemle yapıldığından bahsedilmiştir.

### 5.1 Materyal

Dayanım ve dayanıklılık kriterlerinin yüksek olduğu bir beton üretiminde en önemli unsurlardan biri malzeme seçimidir. Beton içinde kullanılan her malzeme fiziksel ve mekanik özelliklerini beton özelliklerine yansıtacaktır. Deneysel çalışmalarda bağlayıcı olarak CEM-I 42,5 R sınıfında çimento kullanılmıştır. Çimentonun kimyasal analizi, fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 5.1’ de sunulmuştur. Beton karma suyu olarak Kırklareli şebeke suyu kullanılmıştır. Agregası olarak dolomit, bazalt, mermer ve kalker agregaları ile doğal kum kullanılmıştır. Çalışmalarda beş farklı agrega türü ile silindirle sıkıştırılmış beton örnekleri üretilmiştir.

Dolomit, kireç taşlarından CaO’ nun yerine kısmen veya tamamen MgO’ nun alması ile oluşmaktadır. Masif yapılı, köşeli ve serttirler. Genelde bej renklidirler. Kökenlerine göre tortul (sedimanter) taşlar olarak sınıflandırılır.

Bazalt, volkanik kaya kütlelerindedir. Masif yapılı, sert ve dayanıklı bir taştır. Siyah ve koyu gri tonlu renge sahiptirler. Kökenlerine göre volkanik (mağmatik) taşlar olarak sınıflandırılır.

Mermer, metamorfizma olayı sonucunda kalkerlerin yeniden kristalleşmesiyle meydana gelen bir taş türüdür. Masif yapılı ve taneli dokuludur. Renkleri genellikle beyaz ve açık gridir. Kökenlerine göre başkalaşım (metamorfik) taşlar olarak sınıflandırılır.

Kalker, kalsiyum karbonattan oluşan tortul bir taştır. Kireç ve çimento üretiminde kullanılır. Oldukça sağlamdır ve aşınmaya karşı dayanıklıdır. Kökenlerine göre tortul (sedimanter) taşlar olarak sınıflandırılır.



**Çizelge 5.1:** Çimentonun kimyasal analizi, fiziksel ve mekanik özellikleri(Limak Trakya Çimento, 2019).

Kimyasal Analiz												
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Cl <sup>-</sup>	Kızdırma Kaybı	Çözünmeyen Kalıntı	Toplam Alkali
%	19,15	4,78	3,25	63,98	1,18	2,90	0,64	0,24	0,0128	3,43	0,35	0,66
Fiziksel Deneyler												
Priz Süresi (dak)	Başlangıç		140									
	Son		200									
Özgül Ağırlık	3,11											
Özgül Yüzey (Blaine) (cm <sup>2</sup> /g)	3712											
Toplam Hacim Genleşmesi (Le Chatelier) (mm)	1,00											
45 µ elek üstü	2,35											
90 µ elek üstü	-											
Basınç Dayanımı (MPa)												
Mekanik Özellik-Gün	Erken Dayanım (2 gün)		30,6									
	Erken Dayanım (7 gün)		47,1									
	Standart Dayanım (28 gün)		59,5									

D harfi ile kodlanmış olan dolomit, kırmataş II, kırmataş I ve kırmataş tozu şeklinde üç farklı boyutta kullanılmıştır. Kırmataş II 12-19 mm elek aralığında, kırmataş I 4-12 mm elek aralığında ve kırmataş tozu 0-4 mm elek aralığında olup Şekil 5.1’ de görüntüsü verilmiştir. Deneylerde kullanılan dolomit agregası Pınarhisar bölgesinden temin edilmiştir.



**Şekil 5.1:** Deneysel çalışmalarda kullanılan dolomit agregaları.

B harfi ile kodlanmış olan bazalt, kırmataş II, kırmataş I ve kırmataş tozu şeklinde üç farklı boyutta kullanılmıştır. Kırmataş II 12-19 mm elek aralığında, kırmataş I 4-12 mm elek aralığında ve kırmataş tozu 0-4 mm elek aralığında olup Şekil 5.2' de görüntüsü verilmiştir. Deneyleerde kullanılan bazalt agregası Afyon bölgesinden temin edilmiştir.



**Şekil 5.2:** Deneysel çalışmalarda kullanılan bazalt agregaları.

M harfi ile kodlanmış olan mermer, kırmataş II, kırmataş I ve kırmataş tozu şeklinde üç farklı boyutta kullanılmıştır. Kırmataş II, 12-19 mm elek aralığında, kırmataş I 4-12 mm elek aralığında ve kırmataş tozu 0-4 mm elek aralığında olup Şekil 5.3' te görüntüsü verilmiştir. Deneyleerde kullanılan mermer agregası Afyon bölgesinden temin edilmiştir.



**Şekil 5.3:** Deneysel çalışmalarda kullanılan mermer agregaları.

K I olarak kodlanmış olan kalker türü, kırmataş II, kırmataş I ve kırmataş tozu şeklinde üç farklı boyutta kullanılmıştır. Kırmataş II 12-19 mm elek aralığında, kırmataş I 4-12 mm elek aralığında ve kırmataş tozu 0-4 mm elek aralığında olup Şekil 5.4' te görüntüsü verilmiştir. Deneyleerde kullanılan kalker I agregası Pınarhisar bölgesinden temin edilmiştir.



**Şekil 5.4:** Deneysel çalışmalarda kullanılan kalker I agregaları.

K II olarak kodlanmış olan kalker, kırmataş II, kırmataş I ve kırmataş tozu şeklinde üç farklı boyutta kullanılmıştır. Kırmataş II 12-19 mm elek aralığında, kırmataş I 4-12 mm elek aralığında ve kırmataş tozu 0-4 mm elek aralığında olup Şekil 5.5' te görüntüsü verilmiştir. Deneylerde kullanılan kalker II agregası Silivri-Çatalca bölgesinden temin edilmiştir.



**Şekil 5.5:** Deneysel çalışmalarda kullanılan kalker II agregaları.

Karışımında kullanılan doğal kum 0-4 mm elek aralığında olup Şekil 5.6' da görüntüsü verilmiştir. Deneylerde kullanılan doğal kum agregası Pınarhisar bölgesinden temin edilmiştir.



**Şekil 5.6:** Deneysel çalışmalarda kullanılan doğal kum.

## 5.2 Yöntem

Kullanılan farklı tür agregalar üzerinde agrega deneyleri ve bu agregalar kullanılarak üretilen silindire sıkıştırılmış betonlar üzerinde taze ve sertleşmiş beton deneyleri yapılmıştır.

### 5.2.1 Agrega Deneyleri

#### 5.2.1.1 Birim Hacim Ağırlık Deneyi

Agreganın gevşek ve sıkışık olmak üzere kaplayacağı hacmi saptamak amacıyla yapılan birim hacim ağırlık deneyi TS 3529 standardına uygun olarak yapılmıştır.

**Gevşek Birim Hacim Ağırlık Deneyi:** Malzemedan gerekli miktarda numune alınarak etüve atılır ve 105°C’ de numunenin ağırlığı sabitlenene kadar kurutulur.

Boş kap ağırlığı tartılarak M1 olarak not edilir. Agrega numunesi kaptan biraz taşıyarak doldurulur. Kabın üstündeki fazla numune dikkatli bir şekilde tesviye edilerek düz hale getirilir. Gevşek numuneyle dolan kap tartılarak M2 olarak not edilir. Deney üç defa farklı numunelerle tekrar edilir ve ortalama sonuç alınır. Gevşek birim hacim ağırlık deneyine ait bir görüntü Şekil 5.7’ de verilmiştir. Gevşek birim ağırlık;

$B_g = (M_2 - M_1) / V$  formülüyle elde edilir.

$B_g =$  gevşek birim ağırlığı ( $kg/m^3, g/dm^3$ )

$M_1 =$  boş kap ağırlığı (g)

$M_2 =$  boş kap + gevşek agreganın ağırlığı (g)

$V =$  kabın içinin hacmi ( $dm^3$ )



Şekil 5.7: Gevşek birim hacim ağırlık deneyi.

**Sıkışık Birim Hacim Ağırlık Deneyi:** Malzemeden gerekli miktarda numune alınarak etüve atılır ve 105°C’ de numunenin ağırlığı sabitlenene kadar kurutulur. Boş kap ağırlığı tartılarak M1 olarak not edilir. Agregan numunesi kaba üç kademe dolurur. Her bir kademe numune 25 defa şişleme çubuğuyla şişlenir. Son kademe şişlendikten sonra kabın üstündeki fazla numune dikkatli bir şekilde tesviye edilerek düz hale getirilir. Sıkışık numuneyle dolan kap tartılarak M2 olarak not edilir. Deney üç defa farklı numunelerle tekrar edilir ve ortalama sonuç alınır. Sıkışık birim hacim ağırlık deneyine ait bir görüntü Şekil 5.8’ de verilmiştir.

Sıkışık birim ağırlık;

$B_s = (M_2 - M_1) / V$  formülüyle elde edilir.

$B_s$  = sıkışık birim ağırlığı ( $kg/m^3, g/dm^3$ )

$M_1$  =boş kap ağırlığı (g)

$M$  = boş kap+sıkışık agreganın ağırlığı (g)

$V$  = kabın iinin hacmi ( $dm^3$ )

Doğal agregaların birim ağırlıkları 1500 ile 1900  $g/dm^3$  aralığındadır. Agreganın yapısına, nemine ve kuruluk düzeyine göre değerler değişiklik gösterebilir. Birim hacim ağırlık değeri fazla olan agregalarla üretimi yapılan betonların basınç dayanımları, dayanıklılıkları ve taşıma kapasiteleri yüksektir.



**Şekil 5.8:** Sıkışık birim hacim ağırlık deneyi.

### 5.2.1.2 Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini

**İri Agregada Özgül Ağırlık ve Su Emme Tayini:** TS EN 1097-6 standardına uygun olarak yapılmıştır. İri agreganın birim hacimdeki ağırlığını belirlemek amacıyla yapılmıştır. Agregaların birim hacimdeki ağırlık miktarının tespiti beton kullanım yerlerini belirlemede önemlidir. Agreganın özgül ağırlık değeri betonun karışım hesabının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Beton üretimi için kullanılan doğal agreganın veya yapay agreganın kuru ve suya doymuş yüzey özgül ağırlığını ve bilinen özgül ağırlığıyla su emme oranlarının tespiti için uygulanan yöntemdir.

Deney için kullanılan numunenin miktarının belirlenmesinde maksimum tane boyutu belirleyicidir. En büyük tane büyüklüğü 4 mm için 0,8 kg, 8 mm için 1,5 kg, 16 mm için 2 kg ve 32 mm için 3 kg olarak alınmaktadır.

Alınan numuneler suya doymuş olana kadar suda bekletilir. Suyu doyan numuneler, küçük daneleri yitirilmeden suları süzülerek tepsiye konur. Tepsideki numunelerin suya doymuş yüzeyi kuru şekle getirildikten sonra tartılarak ağırlığı M2 diye not edilir. Sonrasında numune tel sepetle suyla dolu olan kovanın içerisine numune tamamen suda kalacak halde daldırılır. Numune suyun yüzeyine çıkmadan kova içerisinde 10 kez serbest şekilde kaldırıp indirilir, sarsılarak tanelerin aralarında kalan hava kabarcıkları çıkartılır. Numune sepetiyle kovanın temas etmemesine özen gösterilir. Doymuş hale gelen malzemenin su içerisindeki ağırlığı tartılarak M3 diye not edilir. Numuneler su içerisinde çıkarılarak etüvde kurutulur. Ardından numuneler soğuduktan sonra numunelerin havadaki kuru ağırlıkları tartılarak M1 diye not edilir. Sonrasında iri agrega kuru birim hacim ağırlık değeri, doymuş yüzey kuru birim hacim ağırlık değeri, birim hacim ağırlık değerleri ve su emme oranları belirlenir ( TS-EN- 1097-6). İri agregalarda özgül ağırlık deneyine ait bir görüntü Şekil 5.9' da, iri agregalarda su emme tayini deneyine ait bir görüntüde Şekil 5.10' da verilmiştir.

İri agrega kuru özgül ağırlık değeri;  $M_k = M_1 / (M_2 - M_3)$  formülüyle, doymuş yüzey kuru özgül ağırlık değeri  $M_d = M_2 / (M_2 - M_3)$  formülüyle, görünen özgül ağırlık değeri  $M_g = M_1 / (M_1 - M_3)$  formülüyle hesaplanır.

İri agrega su emme oranı %'si  $M_s = [(M_2 - M_1) / M_1] \times 100$  formülüyle hesaplanır.

M1 = numunelerin etüvden çıktıktan sonraki ağırlığı (gr)

M2 = numunelerin doymun yüzeyi kuru haldeki ağırlığı (gr)

M3 = numunelerin su içindeki ağırlığı (gr)

Deney üç farklı numunede tekrarlanır. Sonuçların yakınlığı %10 veya daha azsa deney sonuçlarında ortalama değeri hesaplanarak agrega birim hacim ağırlık değeri olarak kaydedilir.



**Şekil 5.9:** İri agregada özgül ağırlık deneyi.





**Şekil 5.10:** İri agregada su emme tayini.

**İnce Agregada Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini:** TS EN 1097-6 standardına uygun olarak yapılmıştır. Agregalarda özgül ağırlık gerçek birim hacmine denk olan ağırlık olarak belirtilir. Agregada özgül ağırlık değeri beton karışımı hesaplarının yapılmasında kullanılır.

Beton üretimi için kullanılan doğal agreganın veya yapay agreganın kuru ve doygun yüzey özgül ağırlığını ve bilinen özgül ağırlığıyla su emme oranlarının tespiti için uygulanan yöntemdir.

Deney için kullanılan numunenin miktarının belirlenmesinde maksimum tane boyutu belirleyicidir. En büyük tane büyüklüğü 0,25 mm için 0,8 kg, 0,5 mm için 0,8 kg, 1 mm için 0,8 kg ve 2 mm için 0,8 kg olarak alınmalıdır.

Alınan numuneler suya doygun olana kadar suda bekletilir. Suyu doyan numuneler, küçük daneleri yitirilmeden suları süzülerek tepsiye konur. Tepsideki numunelerin doygun yüzeyi kuru şekle getirilir. Doygun yüzeyi kuru şekle gelmiş agregadan 400 gr kadarı tartılıp M2 diye not edilir. Artan numune etüve koyulur ve kuru hale geldikten sonra soğutma işlemi yapılır.

Numuneler cam kaba doldurularak tartılır ve M1 diye not edilir (kabın ağırlığı çıkarılır). Kap yarısına kadar doldurularak sallanarak sarsılır ve kabın içinde hava kabarcıkları tahliye edilir. Kap iyice durulduktan sonra 500 ml ölçüsüne kadar suyla

doldurularak tartılır M3 diye not edilir. Ölçü kabı boş haldeyken 500 ml ye kadar doldurularak tartılıp M4 diye not edilir.

İnce agreganın kuru özgül ağırlık değeri  $M_{ik} = M_1 / (M_2 + M_4 - M_3)$  formülüyle, doymuş yüzey kuru özgül ağırlık değeri  $M_{id} = M_2 / (M_2 + M_4 - M_3)$  formülüyle, görünen özgül ağırlık değeri  $M_{ig} = M_1 / (M_1 + M_4 - M_3)$  formülüyle hesaplanır.

İnce agreganın su emme oranı %' si  $M_{is} = [(M_2 + M_1) / M_1] \times 100$  formülüyle hesaplanır.

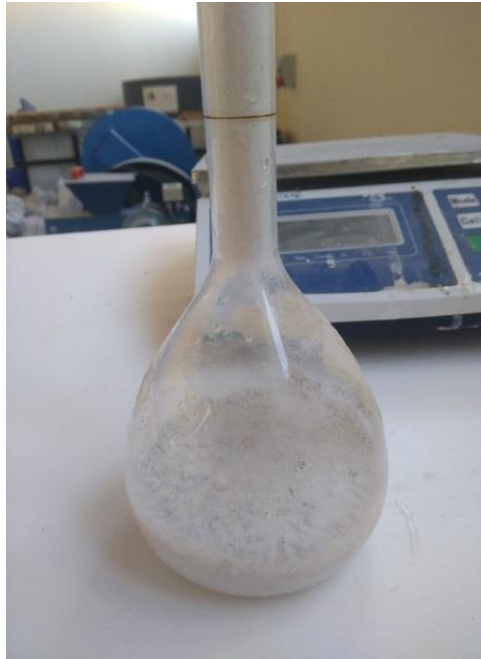
M1 = numunelerin etüvden çıktıktan sonraki ağırlığı (gr)

M2 = numunelerin doymuş yüzeyi kuru haldeki ağırlığı (gr)

M3 = Kap + su + numunenin ağırlığı (gr)

M4 = 500 ml çizgisindeki suyla dolu kabın ağırlığı (gr)

Deney üç farklı numunede tekrarlanır. Sonuçların yakınlığı %2 veya daha azsa deney sonuçlarında ortalama değer hesaplanarak agreganın birim hacim ağırlık değeri olarak kaydedilir (TS-EN-1097-6). İnce agregalarda özgül ağırlık deneyine ait bir görüntü Şekil 5.11' de, ince agregalarda su emme tayini deneyine ait bir görüntüde Şekil 5.12' de verilmiştir.



**Şekil 5.11:** İnce agregada özgül ağırlık deneyi.



Şekil 5.12: İnce agregada su emme tayini.

### 5.2.1.3 Parçalanma Direnci Tayini (Los Angeles Yöntemi)

ASTM C131 standardına göre yapılmıştır. Bu deney, agregaların darbe etkisinde aşınmaya karşı dayanıklılığını belirtir. Kaba agreganın aşınması, aşındırıcı bir yük kullanılarak Los Angeles makinesi ile tespit edilir.

Hazırlanmış olan numune ve aşındırma için kullanılan yükler aşındırma makinesinin içerisine konarak kapağı düzgünce kapatılır. Makine 500 kez devir yaptıktan sonra durdurulur. Makineden çıkartılan numune 1,6 mm elekten geçirilerek, elek altına geçen toplam numunenin %' si oranlanır. Hesaplanan oran deneyin sonundaki kaybın yüzdesidir. Los Angeles parçalanma direnci tayini deneyine ait bir görüntü Şekil 5.13' de verilmiştir.



Şekil 5.13: Los Angeles deneyi.

Deneyin amacı yapay ve doğal iri agregaların kırılma-parçalanma direncini belirlemektir. Karayolları genel müdürlüğü teknik şartnamesine göre karayolu kaplama tabakasında kullanılacak agregalar için LA aşınma oranı % 35'ten daha az olmalıdır.

#### 5.2.1.4 Elek Analizi Deneyi

TS EN 933-1 standardından yararlanılarak yapılmıştır.

Eleme, numunenin belirlenen ölçülerdeki deliklerden geçebilmesi veya geçememesine göre yapılan boyutlarını belirleyen bir sınıflandırılma işlemidir. Elek analizi ise çeşitli büyüklüklerdeki danelerden oluşmuş öğütülen veya kırılan numunelerin dane boyut dağılımını belirlemek üzere yapılan deneylerdir. Boyut dağılımı numunenin danesinin boyut ve miktarı arasındaki ilişkilere dir. Numunede boyut dağılımı, numunenin belirli boyutlarındaki malzeme miktarlarını belirlemek için yapılır.

Malzemelerin dane boyutu dağılımlarını saptamaya yarayan farklı yöntemler ve teknikler vardır. Bu tekniklerden en basiti veyaygın olanı laboratuvardaki eleklerle yapılmakta olan Elek Analizi yöntemidir.

Bu tez çalışmasında; 19, 16, 12.50, 9.5, 8, 4, 2, 1,0.5, 0.25, 0.125, 0.075, 0.063 mm aralıklarında elek numaraları kullanılmıştır.

Her bir agraganın kırmataş II, kırmataş I ve kırmataş tozu boyutlarında; elek üstünde kalan ağırlığı, elek üstünde kalan yığışlımlı ağırlığı, elek üstünde kalan yığışlımlı yüzdesi, elek üstünden geçen yığışlımlı yüzdesi hesaplanmıştır. Agregalarda elek analizi deneyine ait bir görüntü Şekil 5.14' te verilmiştir.



Şekil 5.14: Elek analizi deneyi.

## **5.2.2 Beton Karışım Hesapları**

Silindirle sıkıştırılmış beton karışım hesapları TS 802 standardından yararlanılarak ve beton sınıfı C30/37 olacak şekilde yapılmıştır. İdeal su/çimento oranını tespit etmek amacıyla ön çalışma yapılmış ve bu çalışmada sadece dolomit agregası kullanılmıştır. Su/çimento oranı 0.32, 0.35, 0.38 ve 0.41 olmak üzere 4 çeşit karışım üzerinde ön çalışma yapılmıştır. Çökme sıfır olacak şekilde su miktarı sabit tutularak çimento miktarında değişikliğe gidilmiş ve dört farklı karışım oluşturulmuştur.

Farklı tür agregalarla yapılan karışım hesaplarında ideal su/çimento oranını belirlemeye yönelik ön çalışma sonuçları dikkate alınmış ve su/çimento oranı 0.35 olarak sabit tutulmuştur. Bu karışımlarda çökme sıfır olacak şekilde su ve çimento miktarları değişmemiş, agrega miktarları ise herbir agrega türünün kendi içerisindeki karışım oranları farklı olduğu için karışımdaki miktarlarında değişkenlik göstermiştir.

## **5.2.3 Taze ve Sertleşmiş Beton Deneyleri**

### **5.2.3.1 Çökme Deneyi**

Çökme deneyi TS EN12350-2 standardına göre yapılmıştır. Bu standard, taze beton kıvamının, çökme (slump) deneyi ile tayini yöntemini kapsar. Çökme deneyi, 10 mm ile 210 mm arasında çökme değerine sahip betonların kıvamındaki değişimlere duyarlıdır. Bu sınırlar dışında, çökme değerinin ölçülmesi yoluyla kıvam tayini uygun olmayabilir.

### **5.2.3.2 Birim Hacim Ağırlık**

TS EN 12350-6 standardına uygun olarak yapılmıştır. 15 cm çapında 30 cm yüksekliğinde üretilen silindir beton numunelerin birim hacim ağırlıklarının belirlenmesi için numuneler tartılmış, ağırlıkları hacimlerine oranlanmış ve birim hacim ağırlıkları bulunmuştur. Beton numune birim hacim ağırlık deneyine ait bir görüntü Şekil 5.15' te verilmiştir.



**Şekil 5.15:** Betonun birim hacim ağırlığının hesaplanması.

### 5.2.3.3 Basınç Dayanımı

TS EN 12390-3 standardına uygun beton basınç dayanım tayini yapılmıştır. ASTM C 1435 standardına göre silindire sıkıştırılmış beton numunelerinin üretimi yapılmıştır. Silindir numunelerde herbiri yaklaşık 20 saniye olmak üzere 3 kademede sıkıştırılma işlemi yapılmıştır. 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarının belirlenmesi için 15 cm çapında 30 cm yüksekliğinde silindir numuneler üretilmiştir. 7 ve 28 günlük üçer adet olmak üzere herbir farklı su/çimento oranı için 6 adet silindir numune üretilmiştir. 0,32, 0,35, 0,38 ve 0,41 olmak üzere 4 çeşit su/ çimento oranı için toplamda 24 adet silindir beton numune üretilmiştir. Üretilen numuneler üretimden birgün sonra kalıptan çıkarılmış, kırım günlerine kadar kür havuzunda kirece doymun suda bekletilmiştir. Havuzdan çıkartılan beton numunelerin kırılmaları yapılarak basınç dayanımları tespit edilmiştir.

7 ve 28 günlük olmak üzere herbir agrega türü için 6 adet silindir numune üretilmiştir. D, B, M, K I, K II (dolomit, bazalt, mermer, kalker I, kalker II) olmak üzere 5 çeşit agrega türünden toplamda 30 adet silindir beton numune üretimi yapılmıştır.

Üretilen numuneler üretimden birgün sonra kalıptan çıkarılmış, kırım günlerine kadar kür havuzunda bekletilmiştir. Havuzdan çıkartılan beton numunelerin kırılmaları yapılarak basınç dayanımları tespit edilmiştir. Silindirle sıkıştırılmış beton numune üretimi ve kırımına ait görüntüler Şekil 5.16’ da ve Şekil 5.17’ de verilmiştir.



Şekil 5.16: Silindir beton numune üretimi ve kırımı.



Şekil 5.17: Silindir beton numune üretimi.

#### 5.2.3.4 Eğilme Dayanımı

TS EN 12390-5 standardına uygun beton eğilme dayanımı tayini yapılmıştır. ASTM C 1435 standardına göre silindirle sıkıştırılmış beton kiriş numuneleri üretilmiştir.

28 günlük eğilme dayanımlarının belirlenmesi için 15x15x75 cm boyutlu prizmatik kiriş numuneleri üretilmiştir. 0.32, 0.35, 0.38 ve 0.41 olmak üzere 4 çeşit su/çimento oranıyla toplamda 12 adet prizmatik kiriş numuneleri üretimi yapılmıştır. Prizmatik numunelerin sıkıştırılma işlemi 2 kademede yapılmıştır.

Üretilen numuneler üretimden birgün sonra kalıptan çıkarılmış, kırım günlerine kadar kür havuzunda bekletilmiştir. Havuzdan çıkartılan beton kiriş numunelerin kırılmaları yapılarak eğilme dayanımları belirlenmiştir.

D, B, M, K I, K II (dolomit, bazalt, mermer, kalker I, kalker II) olmak üzere 5 çeşit agrega türünden, su/çimento oranı 0,35 olan toplamda 15 adet prizmatik beton numune üretimi yapılmıştır.

Üretilen numuneler üretimden birgün sonra kalıptan çıkarılmış, kırım günlerine kadar kür havuzunda bekletilmiştir. Havuzdan çıkartılan beton numunelerin kırılmaları yapılarak eğilme dayanımları ölçülmüştür. Kiriş beton numune üretimine ait bir görüntü Şekil 5.18' de, kiriş beton numune kırımına ait bir görüntüde Şekil 5.19' da verilmiştir.



**Şekil 5.18:** Kiriş numune üretimi.





**Şekil 5.19:** Kiriş beton numune kırımının yapılması.

### 5.2.3.5 Ultrases Geçiş Hızı ve Dinamik Elastisite Modülü

Ultrases geçiş hızı ve dinamik elastisite modülünün belirlenmesi için yapılan deneylerde Proceq marka Pundit PL-200 ultrasonik test cihazından yararlanılmıştır. Ultrases geçiş hızı ve dinamik elastisite modülünün tespiti için, eğilme dayanımlarının belirlenmesi amacıyla üretilen 15x15x15 cm boyutlu prizmatik beton numunelerinden yararlanılmıştır. Her bir kiriş numunesi üzerinde üç farklı noktadan ölçüm yapılmıştır. Ultrases geçiş hızı tespiti için dalga boyu 68,5 mm olan 54 kHz P dalgası duyargaları kullanılmıştır. Dinamik elastisite modülünün tespiti için ise önce dalga boyu 68,5 mm olan 54 kHz P dalgası duyargaları ile ilk ölçüm yapılmış, ardından bu duyargalar çıkarılarak yerine dalga boyu 10 mm olan 250 kHz S dalgası duyargaları takılmış ve ikinci ölçüm yapılmıştır. S ve P dalgası duyargaları kullanılarak yapılan ölçümler sonrasında betonun dinamik elastisite modülü cihazın dijital ekranından okuma yapılarak tespit edilmiştir. Dalga boylarının hesaplanmasında 3700 m/s'lik boyuna dalga ve 2500 m/s'lik enine dalga darbe hızı kullanılmıştır. Ultrases geçiş hızı ve dinamik elastisite modülü tespit çalışmalarına ait görüntüler Şekil 5.20' de, ultrasonik test cihazına ait görüntüler ise Şekil 5.21' de verilmiştir.



Şekil 5.20: Ultrases geçiş hızı ve dinamik elastisite modülü tespit çalışmaları.



Şekil 5.21: Ultrasonik test cihazı.

## 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 6.1 Agrega Deneyleleri

#### 6.1.1 Birim Hacim Ağırlık, Özgül Ağırlık, Su Emme ve Los Angeles Parçalanma Direnci

Birim hacim ağırlık deneyleleri, gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlıkları olmak üzere iki şekilde yapılmıştır. Gevşek birim hacim ağırlık deneylelerinde; kırmataş II için en düşük değer  $1,50 \text{ g/cm}^3$  ile dolomit agregası iken, en yüksek değer  $1,52 \text{ g/cm}^3$  ile Kalker II ve mermer agregalarıdır. Kırmataş I için en düşük değer  $1,51 \text{ g/cm}^3$  ile Kalker I agregası iken, en yüksek değer  $1,62 \text{ g/cm}^3$  ile mermer agregasıdır. Kırmataş tozu için en düşük değer  $1,59 \text{ g/cm}^3$  ile Kalker II agregası iken, en yüksek değer  $1,89 \text{ g/cm}^3$  ile dolomit agregasıdır. Doğal kumun ise gevşek birim hacim ağırlık değeri  $1,54 \text{ g/cm}^3$  tür.

Sıkışık birim hacim ağırlık deneylelerinde; kırmataş II için en düşük değer  $1,56 \text{ g/cm}^3$  ile bazalt agregası iken, en yüksek değer  $1,60 \text{ g/cm}^3$  ile Kalker II ve mermer agregalarıdır. Kırmataş I için en düşük değer  $1,61 \text{ g/cm}^3$  ile dolomit agregası iken, en yüksek değer  $1,75 \text{ g/cm}^3$  ile mermer agregasıdır. Kırmataş tozu için en düşük değer  $1,75 \text{ g/cm}^3$  ile Kalker II agregası iken, en yüksek değer  $1,90 \text{ g/cm}^3$  ile dolomit agregasıdır. Doğal kumun ise sıkışık birim hacim ağırlık değeri  $1,64 \text{ g/cm}^3$  tür.

Özgül ağırlık deneylelerinde; kırmataş II için en düşük değer 2,70 ile mermer agregası iken, en yüksek değer 2,81 ile bazalt agregasıdır. Kırmataş I için en düşük değer 2,71 ile mermer agregası iken, en yüksek değer 2,82 ile bazalt agregasıdır. Kırmataş tozu için en düşük değer 2,74 ile mermer agregası iken, en yüksek değer 2,83 ile bazalt agregasıdır. Doğal kumun ise özgül ağırlık değeri 2,76' dır.

Su emme deneylelerinde; kırmataş II için en düşük değer % 0,20 ile bazalt agregası iken, en yüksek değer % 0,56 ile dolomit agregasıdır. Kırmataş I için en düşük değer % 0,14 ile bazalt agregası iken, en yüksek değer %0,75 ile Kalker II agregasıdır. Kırmataş tozu için en düşük değer % 0,16 ile Kalker II agregası iken, en yüksek değer % 1,92 ile mermer agregasıdır. Doğal kumun ise su emme değeri % 1,30' dur.

Los Angeles parçalanma direnci deneyleri sonucu dolomit % 19,56 bazalt % 10,56 mermer % 42,88 Kalker I % 24,16 ve Kalker II% 24,75 parçalanma direnci değerlerine sahip oldukları belirlenmiştir. Mermer agregasının Los Angeles parçalanma değeri % 30' un üzerinde olduğu için yol kaplamaları için kullanıma uygun olmadığı belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuca rağmen mermer agregasından üretilecek olan silindirle sıkıştırılmış betonların farklı amaçlarla kullanılabilceğinden dolayı deneysel çalışmalarda kullanılmaya devam edilmiştir. Diğer agrega türlerinin parçalanma direnci değerlerinin yol kaplamalarında kullanılmaları için uygun olduğu belirlenmiştir. Agrega deneylerine ait sonuçlar Çizelge 6.1' de verilmiştir.

**Çizelge 6.1:** Agrega deneylerine ait sonuçlar.

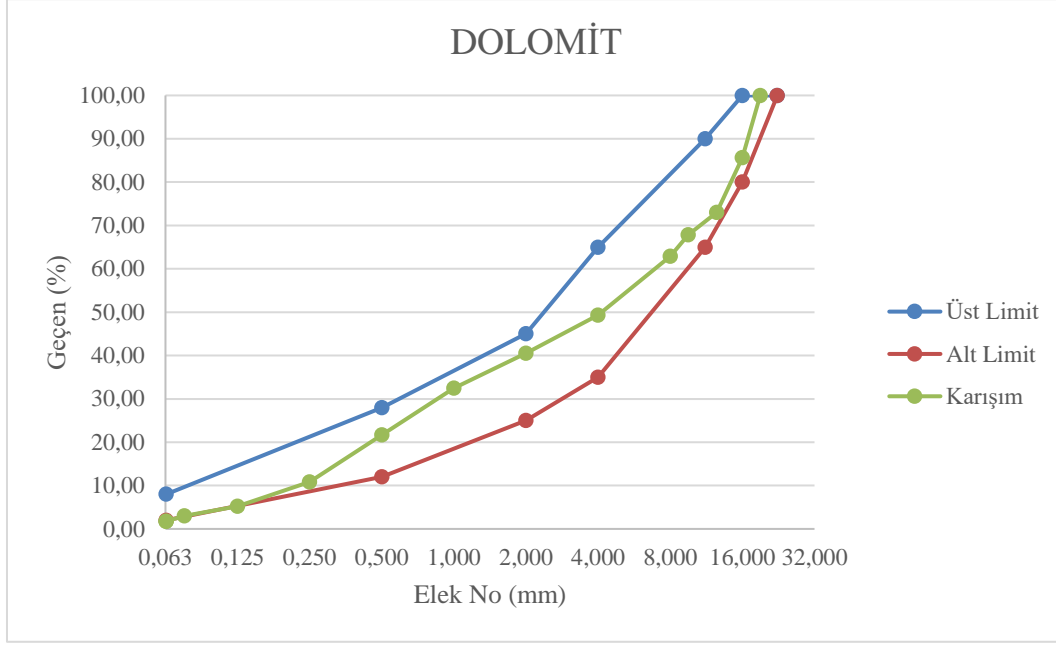
Agrega Kodu		Birim Hacim Ağırlık (BHA) (g/cm <sup>3</sup> )		Özgül Ağırlık	Su Emme (%)	Los Angeles Parçalanma Direnci (LA) (%)
		Gevşek	Sıkışık			
D	Kırmataş II	1,50	1,59	2,80	0,56	19,56
	Kırmataş I	1,57	1,61	2,80	0,37	
	K.Tozu	1,89	1,90	2,81	1,75	
B	Kırmataş II	1,51	1,56	2,81	0,20	10,56
	Kırmataş I	1,53	1,63	2,82	0,14	
	K.Tozu	1,67	1,80	2,83	1,56	
M	Kırmataş II	1,52	1,60	2,70	0,42	42,88
	Kırmataş I	1,62	1,75	2,71	0,30	
	K.Tozu	1,73	1,89	2,74	1,92	
KI	Kırmataş II	1,51	1,59	2,78	0,36	24,16
	Kırmataş I	1,51	1,63	2,79	0,43	
	K.Tozu	1,65	1,83	2,80	1,20	
KII	Kırmataş II	1,52	1,60	2,80	0,21	24,75
	Kırmataş I	1,54	1,68	2,81	0,75	
	K.Tozu	1,59	1,75	2,82	0,16	
Doğal Kum		1,54	1,64	2,76	1,30	-

### 6.1.2 Elek Analizi

Kırmataş II, kırmataş I ve kırmataş tozu olmak üzere üç farklı boyutta dolomit agregasının ve doğal kumun elek analizleri yapılmıştır. Elde edilen verilerden yararlanılarak yol kaplamalarında kullanılacak olan beton agregaları için istenilen gradasyon eğrisi alt ve üst sınır değerleri dikkate alınmış, kırmataş II' den %25, kırmataş I' den %25, kırmataş tozundan %25 ve doğal kumdan %25 oranlarında karıştırılarak karışım agregası hazırlanmıştır. Dolomit agregasına ait elek analizi sonuçlarıda Çizelge 6.2' de, gradasyon eğrisi ise Şekil 6.1' de verilmiştir.

**Çizelge 6.2:** Dolomit agregasına ait elek analizi sonuçları.

Dolomit	Geçen (%)				
	Kırmataş II	Kırmataş I	Kırmataş Tozu	Doğal Kum	Karışım
19	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
16	42,46	100,00	100,00	100,00	85,62
12,50	1,05	90,97	100,00	100,00	73,01
9,5	0,00	71,32	100,00	100,00	67,83
8	0,00	51,73	100,00	100,00	62,93
4	0,00	5,06	93,37	98,93	49,34
2	0,00	0,00	66,20	96,01	40,56
1	0,00	0,00	43,71	86,22	32,49
0,5	0,00	0,00	29,37	57,26	21,66
0,25	0,00	0,00	22,30	20,97	10,82
0,125	0,00	0,00	17,31	3,46	5,19
0,075	0,00	0,00	10,99	1,13	3,03
0,063	0,00	0,00	6,25	0,80	1,76

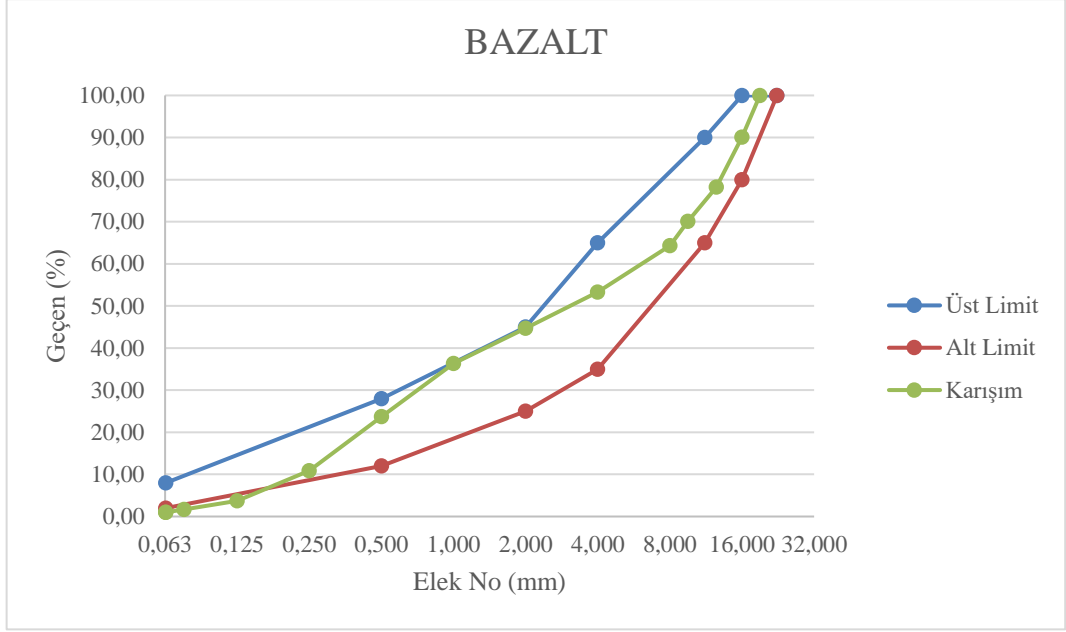


**Şekil 6.1:** Dolomit agregasının gradasyon eğrisi.

Kırmataş II, kırmataş I ve kırmataş tozu olmak üzere üç farklı boyutta bazalt agregasının ve doğal kumun elek analizleri yapılmıştır. Elde edilen verilerden yararlanılarak yol kaplamalarında kullanılacak olan beton agregaları için istenilen gradasyon eğrisi alt ve üst sınır değerleri dikkate alınmış, kırmataş II' den % 15, kırmataş I' den % 30, kırmataş tozundan % 30 ve doğal kumdan %25 oranlarında karıştırılarak karışım agregası hazırlanmıştır. Bazalt agregasına ait elek analizi sonuçlarında Çizelge 6.3' de, gradasyon eğrisi ise Şekil 6.2' de verilmiştir.

**Çizelge 6.3:** Bazalt agregasına ait elek analizi sonuçları.

Bazalt Elek No (mm)	Geçen (%)				
	Kırmataş II	Kırmataş I	Kırmataş Tozu	Doğal Kum	Karışım
19	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
16	34,08	100,00	100,00	100,00	90,11
12,50	0,34	77,25	100,00	100,00	78,23
9,5	0,00	50,40	100,00	100,00	70,12
8	0,00	31,12	100,00	100,00	64,34
4	0,00	1,75	92,34	98,93	53,29
2	0,00	0,00	63,75	96,01	44,74
1	0,00	0,00	41,91	86,22	36,34
0,5	0,00	0,00	26,29	57,26	23,75
0,25	0,00	0,00	18,38	20,97	10,89
0,125	0,00	0,00	10,91	3,46	3,76
0,075	0,00	0,00	5,45	1,13	1,70
0,063	0,00	0,00	3,04	0,80	1,00



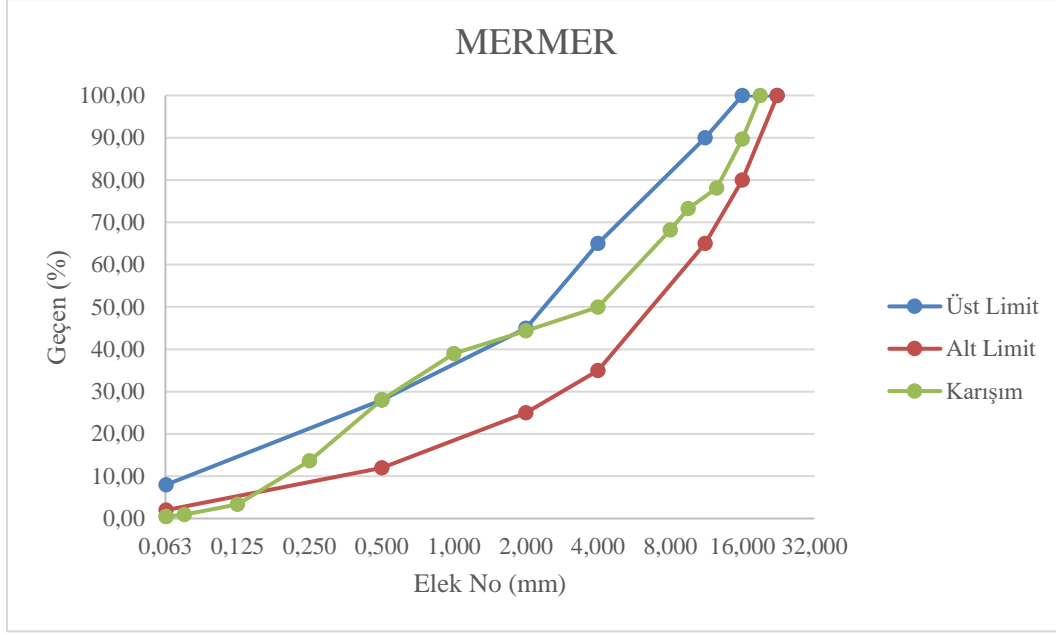
**Şekil 6.2:** Bazalt agregasının gradasyon eğrisi.

Kırmataş II, kırmataş I ve kırmataş tozu olmak üzere üç farklı boyutta mermer agregasının ve doğal kumun elek analizleri yapılmıştır. Elde edilen verilerden yararlanılarak yol kaplamalarında kullanılacak olan beton agregaları için istenilen gradasyon eğrisi alt ve üst sınır değerleri dikkate alınmış, kırmataş II' den % 20, kırmataş I' den % 30, kırmataş tozundan % 30 ve doğal kumdan % 20 oranlarında karıştırılarak karışım agregası hazırlanmıştır. Mermer agregasına ait elek analizi sonuçlarında Çizelge 6.4' de, gradasyon eğrisi ise Şekil 6.3' de verilmiştir.

**Çizelge 6.4:** Mermer agregasına ait elek analizi sonuçları.

Mermer Elek No (mm)	Geçen (%)				
	Kırmataş II	Kırmataş I	Kırmataş Tozu	Doğal Kum	Karışım
19	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
16	48,40	100,00	100,00	100,00	89,68
12,50	0,54	93,39	100,00	100,00	78,13
9,5	0,00	77,53	100,00	100,00	73,26
8	0,00	60,61	100,00	100,00	68,18
4	0,00	4,42	94,94	98,93	49,99
2	0,00	0,00	77,68	96,01	44,34
1	0,00	0,00	65,77	86,22	39,02
0,5	0,00	0,00	54,61	57,26	28,10
0,25	0,00	0,00	36,89	20,97	13,67
0,125	0,00	0,00	11,66	3,46	3,37
0,075	0,00	0,00	2,95	1,13	0,93
0,063	0,00	0,00	1,08	0,80	0,46



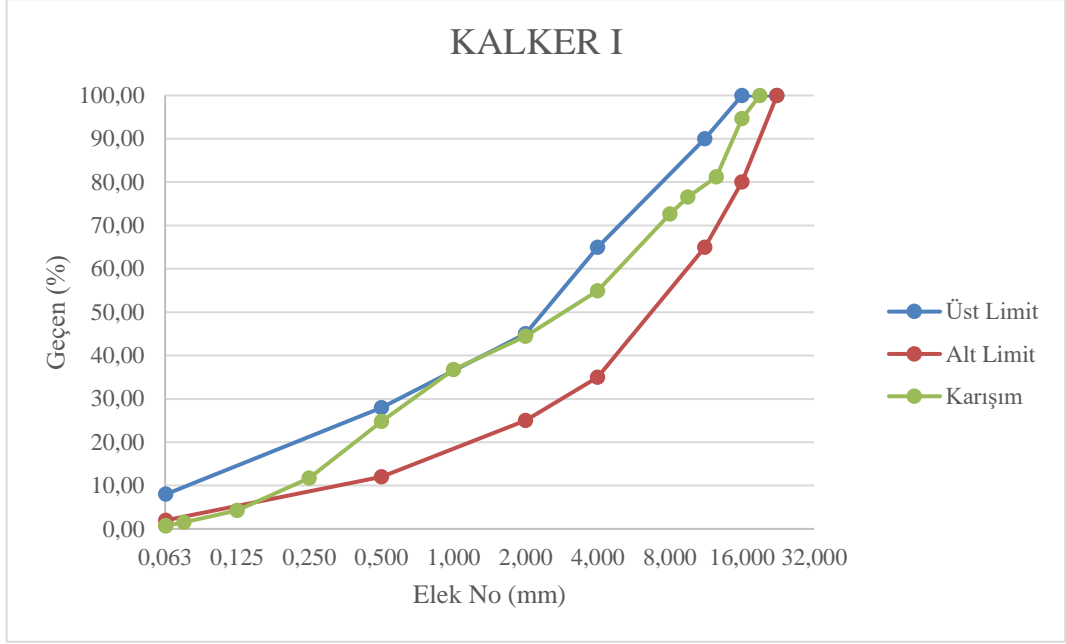


**Şekil 6.3:** Mermer agregasının gradasyon eğrisi.

Kırmataş II, kırmataş I ve kırmataş tozu olmak üzere üç farklı boyutta kalker I agregasının ve doğal kumun elek analizleri yapılmıştır. Elde edilen verilerden yararlanılarak yol kaplamalarında kullanılacak olan beton agregaları için istenilen gradasyon eğrisi alt ve üst sınır değerleri dikkate alınmış, kırmataş II' den % 20, kırmataş I' den %25, kırmataş tozundan % 30 ve doğal kumdan %25 oranlarında karıştırılarak karışım agregası hazırlanmıştır. Kalker I agregasına ait elek analizi sonuçlarında Çizelge 6.5' de, gradasyon eğrisi ise Şekil 6.4' de verilmiştir.

**Çizelge 6.5:** Kalker I agregasına ait elek analizi sonuçları.

Kalker I Elek No(mm)	Geçen (%)				
	Kırmataş II	Kırmataş I	Kırmataş Tozu	Doğal Kum	Karışım
19	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
16	73,40	100,00	100,00	100,00	94,68
12,50	8,07	98,36	100,00	100,00	81,20
9,5	0,00	86,35	100,00	100,00	76,59
8	0,00	70,73	100,00	100,00	72,68
4	0,00	8,92	91,99	98,93	54,91
2	0,00	0,00	62,66	96,01	44,47
1	0,00	0,00	43,64	86,22	36,78
0,5	0,00	0,00	30,45	57,26	24,79
0,25	0,00	0,00	21,85	20,97	11,75
0,125	0,00	0,00	12,99	3,46	4,29
0,075	0,00	0,00	4,66	1,13	1,50
0,063	0,00	0,00	1,84	0,80	0,70

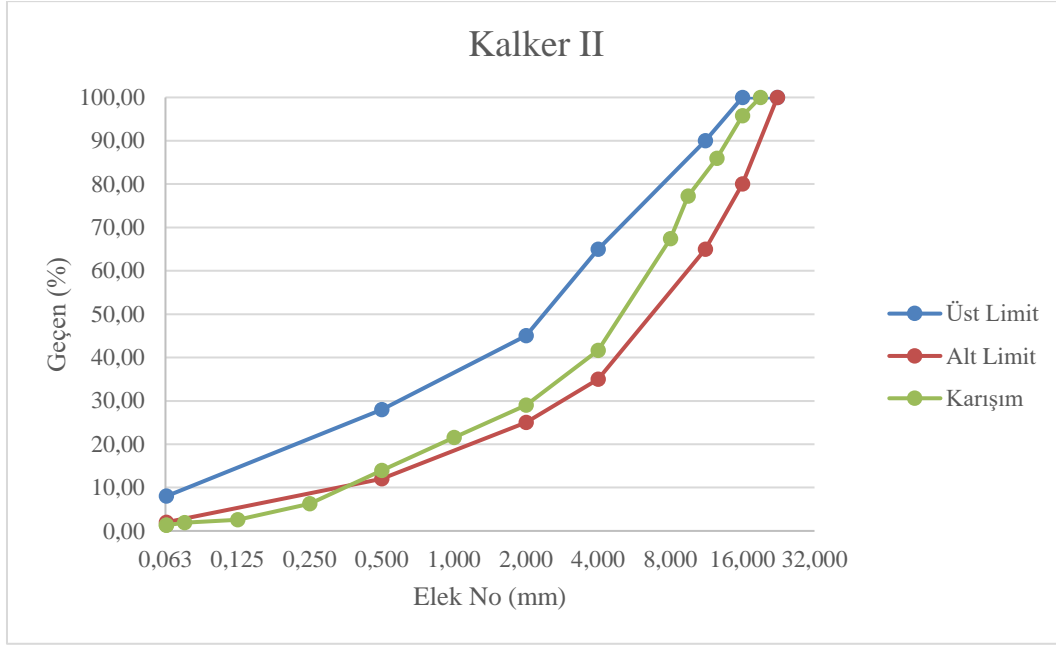


Şekil 6.4: Kalker I agregasının gradasyon eğrisi.

Kırmataş II, kırmataş I ve kırmataş tozu olmak üzere üç farklı boyutta kalker II agregasının ve doğal kumun elek analizleri yapılmıştır. Elde edilen verilerden yararlanılarak yol kaplamalarında kullanılacak olan beton agregaları için istenilen gradasyon eğrisi alt ve üst sınır değerleri dikkate alınmış, kırmataş II' den % 15, kırmataş I' den % 30, kırmataş tozundan % 20 ve doğal kumdan % 35 oranlarında karıştırılarak karışım agregası hazırlanmıştır. Kalker II agregasına ait elek analizi sonuçlarında Çizelge 6.6' da, gradasyon eğrisi ise Şekil 6.5' de verilmiştir.

Çizelge 6.6: Kalker II agregasına ait elek analizi sonuçları.

Kalker II Elek No(mm)	Geçen (%)				
	Kırmataş II	Kırmataş I	Kırmataş Tozu	Doğal Kum	Karışım
19	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
16	57,49	100,00	100,00	100,00	95,75
12,50	2,16	87,74	100,00	100,00	85,93
9,5	0,00	63,54	100,00	100,00	77,24
8	0,00	35,44	100,00	100,00	67,40
4	0,00	0,56	61,86	98,93	41,63
2	0,00	0,00	27,90	96,01	28,97
1	0,00	0,00	12,26	86,22	21,54
0,5	0,00	0,00	7,17	57,26	13,96
0,25	0,00	0,00	5,93	20,97	6,27
0,125	0,00	0,00	5,41	3,46	2,58
0,075	0,00	0,00	4,82	1,13	1,91
0,063	0,00	0,00	3,26	0,80	1,30



Şekil 6.5: Kalker II agregasının gradasyon eğrisi.

## 6.2 Beton Karışım Miktarları

Dolomit agregası kullanılarak ideal su/çimento oranını belirlemeye dönük yapılan ön çalışmalarda, farklı su/çimento oranına sahip betonların karışım miktarları Çizelge 6.7’ de verilmiştir.

Çizelge 6.7: Farklı su/çimento oranlarına sahip betonların karışım miktarları.

Beton Kodu	S/Ç	Su (kg)	Çimento (kg)	Kırmatas II (kg)	Kırmatas I (kg)	Kırmatas Tozu (kg)	Doğal Kum (kg)
D1	0,32	150	469	479,25	479,25	479,25	479,25
D2	0,35	150	429	488,25	488,25	488,25	488,25
D3	0,38	150	395	495,75	495,75	495,75	495,75
D4	0,41	150	366	502,25	502,25	502,25	502,25

Dolomit (D), bazalt (B), mermer (M), Kalker I (K I), kalker II (K II) olmak üzere beş farklı agrega kullanılarak üretilen silindire sıkıştırılmış betonların karışım miktarları Çizelge 6.8’ de verilmiştir.

**Çizelge 6.8:** Farklı tür agregalarla üretilen betonların karışım miktarları.

Beton Kodu	Agrega Adı	S/Ç	Su (kg)	Çimento (kg)	Kırmataş II (kg)	Kırmataş I (kg)	Kırmataş Tozu (kg)	Doğal Kum (kg)
D	Dolomit	0,35	150	429	488,25	488,25	488,25	488,25
B	Bazalt	0,35	150	429	293,40	586,80	586,80	489,00
M	Mermer	0,35	150	429	377,80	566,70	566,70	377,80
KI	Kalker I	0,35	150	429	388,80	486,00	583,20	486,00
KII	Kalker II	0,35	150	429	194,50	583,50	389,00	680,75

### 6.3 Taze ve Sertleşmiş Beton Deneyleri

#### 6.3.1 Çökme (Slump) ve Birim Hacim Ağırlık

Deneysel çalışmalar için üretilen silindire sıkıştırılmış beton karışımlarının hepsinde çökme değeri sıfır olarak tespit edilmiştir.

Farklı su/çimento oranlarına sahip dolomit agregalı silindire sıkıştırılmış beton numunelerin birim hacim ağırlık değerleri Çizelge 6.9’ da verilmiştir. Birim hacim ağırlıkları 0,32, 0,35, 0,38 ve 0,41 su/çimento oranları için sırasıyla 2,56, 2,57, 2,56 ve 2,54 g/cm<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. En düşük birim hacim ağırlık değeri su/çimento oran 0,41 olan karışımda 2,54 g/cm<sup>3</sup>, en yüksek birim hacim ağırlık değeri ise su/çimento oran 0,35 olan karışımda 2,57 g/cm<sup>3</sup> olarak tespit edilmiştir.

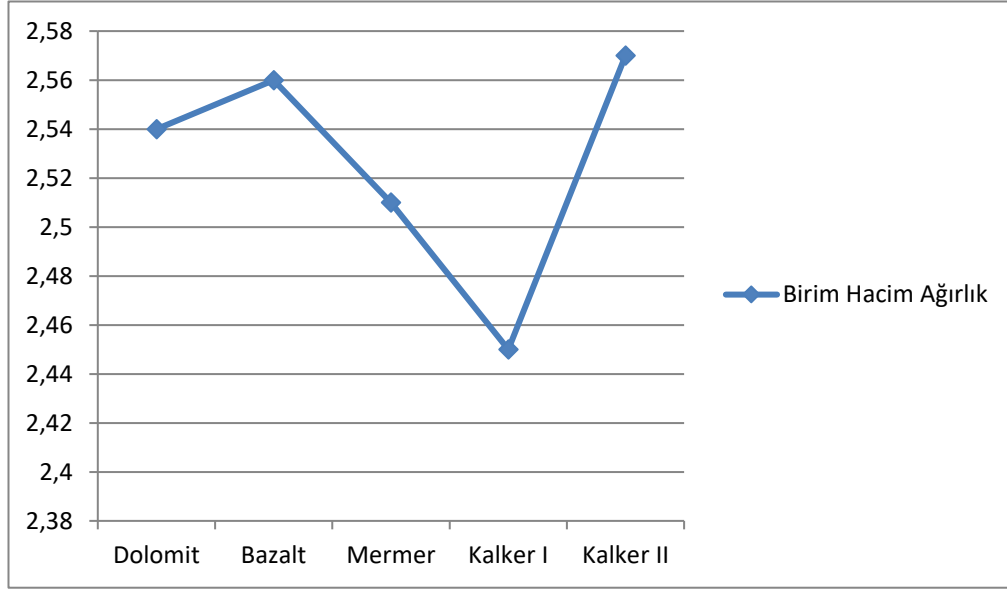
**Çizelge 6.9:** Farklı su/çimento oranlarına sahip betonların birim hacim ağırlık değerleri

S/Ç	Birim Hacim Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	Ortalama Birim Hacim Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )
0,32	2,57	2,56
	2,56	
	2,54	
0,35	2,56	2,57
	2,55	
	2,60	
0,38	2,58	2,56
	2,57	
	2,54	
0,41	2,52	2,54
	2,52	
	2,55	

Dolomit, bazalt, mermer, kalker I ve kalker II agregaları kullanılarak üretilmiş olan silindirle sıkıştırılmış betonların birim hacim ağırlık değerleri Çizelge 6.10’ da ve grafik olarak Şekil 6.6’ da verilmiştir. Birim hacim ağırlık değerleri dolomit, bazalt, mermer, kalker I ve kalker II agregaları için sırasıyla 2,54, 2,56, 2,51, 2,45 ve 2,57 g/cm<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. En düşük birim hacim ağırlık değeri 2,45 g/cm<sup>3</sup> olarak kalker I agregalı betonda, en yüksek birim hacim ağırlık değeri ise 2,57 g/cm<sup>3</sup> olarak kalker II agregalı betonda tespit edilmiştir.

**Çizelge 6.10:** Farklı tür agregalarla üretilen silindirle sıkıştırılmış betonların birim hacim ağırlık değerleri.

<b>Agrega Adı</b>	<b>Beton Kodu</b>	<b>Birim Hacim Ağırlık(g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Ortalama Birim Hacim Ağırlık( g/cm<sup>3</sup>)</b>
Dolomit	D	2,51	2,54
		2,56	
		2,55	
Bazalt	B	2,56	2,56
		2,6	
		2,52	
Mermer	M	2,52	2,51
		2,49	
		2,51	
Kalker I	KI	2,36	2,45
		2,44	
		2,56	
Kalker II	KII	2,58	2,57
		2,57	
		2,55	



**Şekil 6.6 :** Farklı tür agregalarla üretilen silindirle sıkıştırılmış betonların birim hacim ağırlık değerleri.

### 6.3.2 Basınç ve Eğilme Dayanımı

Farklı su/çimento oranlarına sahip dolomit agregalı silindirle sıkıştırılmış beton numunelerin basınç ve eğilme dayanımı değerleri Çizelge 6.11’ de verilmiştir. 7 günlük basınç dayanımları 0,32, 0,35, 0,38 ve 0,41 su/çimento oranları için sırasıyla 17,30, 28,60, 23,70 ve 19,10 MPa olarak belirlenmiştir. 28 günlük basınç dayanımları 0,32, 0,35, 0,38 ve 0,41 su/çimento oranları için sırasıyla 29,50, 36,40, 32,40 ve 30,60 MPa olarak tespit edilmiştir. En yüksek basınç dayanımı değerini 36,40 MPa olarak 0,35 su/çimento oranına sahip silindirle sıkıştırılmış beton örneği vermiştir.

28 günlük eğilme dayanımları 0,32, 0,35, 0,38 ve 0,41 su/çimento oranları için sırasıyla 9,80, 10,20, 8,30 ve 7,50 MPa olarak hesaplanmıştır. Beton yol kaplamaları için istenilen 4,2 MPa eğilme dayanımı değerinin üzerinde sonuçlar elde edilmiştir. En yüksek eğilme dayanımı değeri 10,20 MPa olarak 0,35 su/çimento oranına sahip silindirle sıkıştırılmış beton örneğinden elde edilmiştir.

**Çizelge 6.11:** Farklı su/çimento oranlarına sahip silindirle sıkıştırılmış betonların basınç ve eğilme dayanımı değerleri.

S/Ç	Basınç Dayanımı (MPa)				Eğilme Dayanımı (MPa)	
	7 Günlük		28 Günlük		28 Günlük	
0,32	15,69	17,30	28,23	29,50	9,28	9,80
	18,04		32,99		9,97	
	18,17		27,28		10,15	
0,35	26,75	28,60	36,84	36,40	9,91	10,20
	31,08		36,69		10,04	
	28,45		35,67		10,65	
0,38	20,40	23,70	31,87	32,40	8,81	8,30
	23,39		33,79		8,16	
	27,32		31,55		7,93	
0,41	18,06	19,10	30,03	30,60	7,84	7,50
	18,73		31,62		7,75	
	20,51		30,15		6,91	

Dolomit, bazalt, mermer, kalker I ve kalker II agregaları kullanılarak üretilmiş olan silindirle sıkıştırılmış betonların basınç ve eğilme dayanımı sonuçları Çizelge 6.12’ de verilmiştir. 7 günlük basınç dayanımları dolomit, bazalt, mermer, kalker I ve kalker II agregaları için sırasıyla 27,60, 28,64, 25,64, 23,83 ve 26,65 MPa olarak hesaplanmıştır. En yüksek 7 günlük basınç dayanımı değerini bazalt agregası ile üretilen beton örneği vermiştir. 28 günlük basınç dayanımları sırayla 35,35, 37,01, 32,31, 31,30 ve 33,88 MPa olarak hesaplanmıştır. Hedeflenen basınç dayanımı değerlerinin elde edildiği görülmüştür. En yüksek 28 günlük basınç dayanımı değeri bazalt agregası ile üretilen beton örneğinden elde edilmiştir.

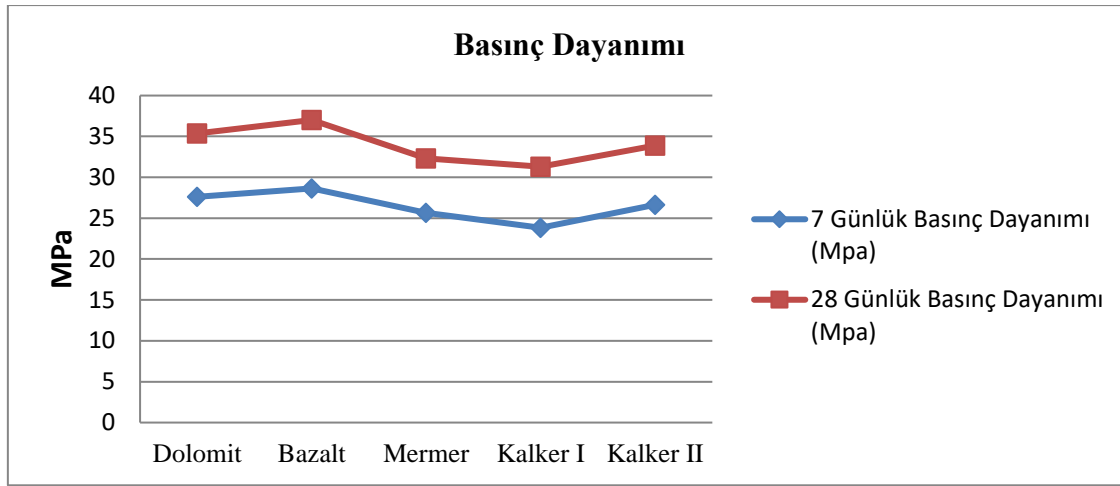
28 günlük eğilme dayanımları dolomit, bazalt, mermer, kalker I ve kalker II agregaları için sırasıyla 10,43, 8,78, 8,16, 6,78 ve 10,03 MPa olarak tespit edilmiştir. Beton yol kaplamaları için istenilen minimum 4,2 MPa eğilme dayanımı değerinin üzerinde sonuçlar elde edilmiştir. Farklı tür agregalarla üretilen silindirle sıkıştırılmış betonların basınç dayanımı grafiği Şekil 6.7’ de, eğilme dayanımı değerlerini gösteren grafik ise Şekil 6.8’ de verilmiştir.

**Çizelge 6.12:** Farklı tür agregalarla üretilen silindirle sıkıştırılmış betonların basınç ve eğilme dayanımı değerleri.

Agrega Adı	Beton Kodu	Basınç Dayanımı (MPa)				Eğilme Dayanımı(MPa)	
		7 Günlük		28 Günlük		28 Günlük	
Dolomit	D	27,02	27,60	35,01	35,35	10,09	10,43
		26,65		36,18		10,27	
		29,14		34,86		10,93	
Bazalt	B	29,57	28,64	37,07	37,01	9,17	8,78
		28,65		35,91		8,94	
		27,71		38,06		8,23	
Mermer	M	22,55	25,64	32,05	32,31	8,86	8,16
		25,63		34,50		7,13	
		28,75		30,37		8,49	
Kalker I	KI	23,23	23,83	31,15	31,30	7,56	6,78
		22,07		33,34		6,44	
		26,19		29,40		6,34	
Kalker II	KII	26,10	26,65	35,47	33,88	9,61	10,03
		25,79		31,74		10,14	
		28,06		34,42		10,34	

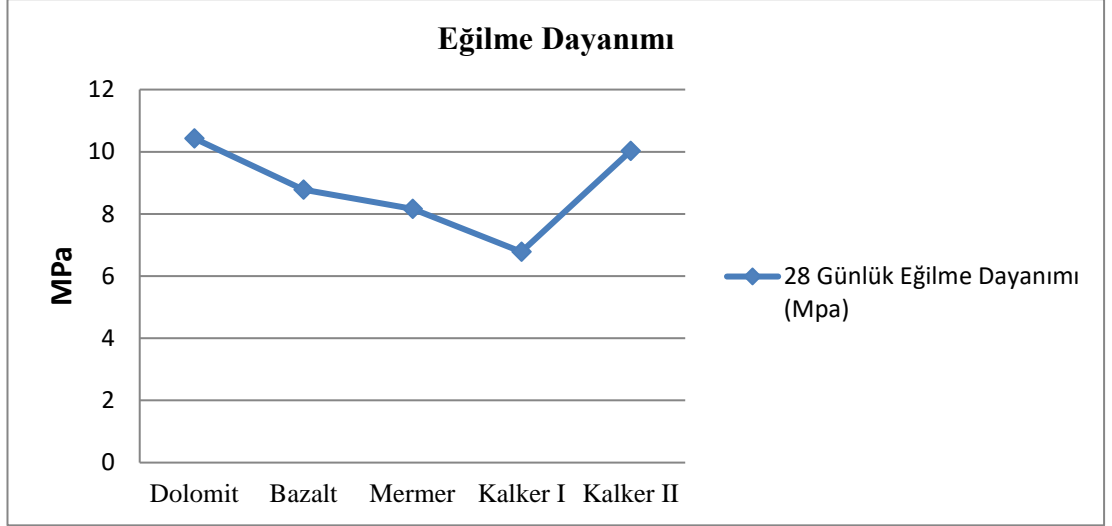


Şekil 6.7 incelendiğinde farklı tür agregalarla üretilen silindirle sıkıştırılmış betonların 28 günlük basınç dayanımlarında 7 günlük basın dayanımlarına göre; dolomit agregası kullanılan betonda %28, bazalt agregası kullanılan betonda %29, mermer agregası kullanılan betonda %26, kalker I agregası kullanılan betonda %31 ve kalker II agregası kullanılan betonda %27 artış meydana gelmiştir. En yüksek artış kalker I agregası kullanılan betonda, en düşük artış ise mermer agregası kullanılan betonda görülmüştür.



**Şekil 6.7 :** Farklı tür agregalarla üretilen silindirle sıkıştırılmış betonların 7 ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri.

Şekil 6.8 incelendiğinde farklı tür agregalarla üretilen silindirle sıkıştırılmış betonların 28 günlük eğilme dayanımlarında en yüksek değeri 10,43 MPa ile dolomit agregalı SSB alırken en düşük değeri 6,78 MPa ile kalker I agregalı SSB almıştır.



**Şekil 6.8 :** Farklı tür agregalarla üretilen silindirle sıkıştırılmış betonların 28 günlük eğilme dayanımı değerleri.

### 6.3.3 Ultrases Geçiş Hızı ve Dinamik Elastisite Modülü

Farklı su/çimento oranlarına göre dolomit agregalı silindirle sıkıştırılmış betonlarda ultrases geçiş hızı ve dinamik elastisite modülü değerleri Çizelge 6.13' de verilmiştir. ASTM C 597 standardına göre ultrases geçiş hızı 4,5 km/s' nin üzerinde değer veren betonlar kaliteli olarak görülmüştür. Tüm su/çimento oranlarında bu değerlerin üzerine çıkmıştır.

Dinamik elastisite modülünde en yüksek değeri 35,21 GPa ile 0,35 su/çimento oranında üretilen SSB, en düşük değeri ise 33,42 GPa ile 0,41 su/çimento oranında üretilen SSB vermiştir.

**Çizelge 6.13:** Farklı su/çimento oranlarına sahip silindire sıkıştırılmış betonların ultrases geçiş hızı ve dinamik elastisite modülü değerleri.

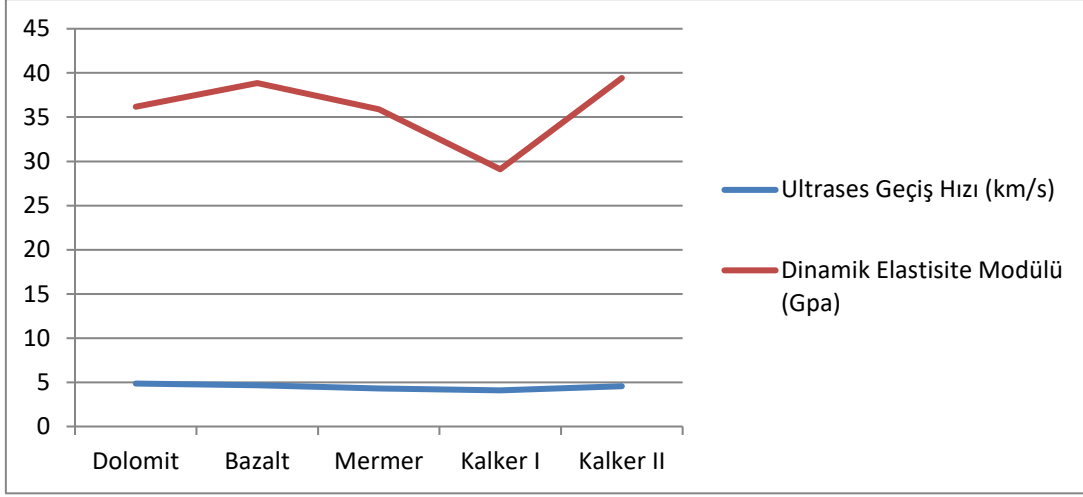
S/Ç	Nokta	Geçiş Süresi (µs)	Ultrases Geçiş Hızı (km/s)		Dinamik Elastisite Modülü (GPa)
			Genel	Ortalama	
0,32	1. Nokta	28,0	5,36	5,33	34,99
	2. Nokta	28,1	5,34		
	3. Nokta	28,3	5,30		
0,35	1. Nokta	27,9	5,38	5,29	35,21
	2. Nokta	28,6	5,25		
	3. Nokta	28,6	5,25		
0,38	1. Nokta	28,0	5,36	5,38	33,69
	2. Nokta	27,5	5,46		
	3. Nokta	28,2	5,32		
0,41	1. Nokta	29,1	5,16	5,20	33,42
	2. Nokta	28,8	5,21		
	3. Nokta	28,7	5,23		

Dolomit, bazalt, mermer, kalker I ve kalker II agregaları kullanılarak üretilmiş olan silindire sıkıştırılmış betonların ultrases geçiş hızı ve dinamik elastisite modülü değerleri Çizelge 6.14' te ve grafik olarak ise Şekil 6.9' da verilmiştir. Dolomit, bazalt ve kalker II agregalarından üretilen SSB örnekleri ASTM C 597 standardına göre 4,5 km/s ultrases hızının üzerinde değer aldığı için kaliteli olarak görülmektedir.

**Çizelge 6.14:** Farklı tür agregalarla üretilen silindire sıkıştırılmış betonların ultrases geçiş hızı ve dinamik elastisite modülü değerleri.

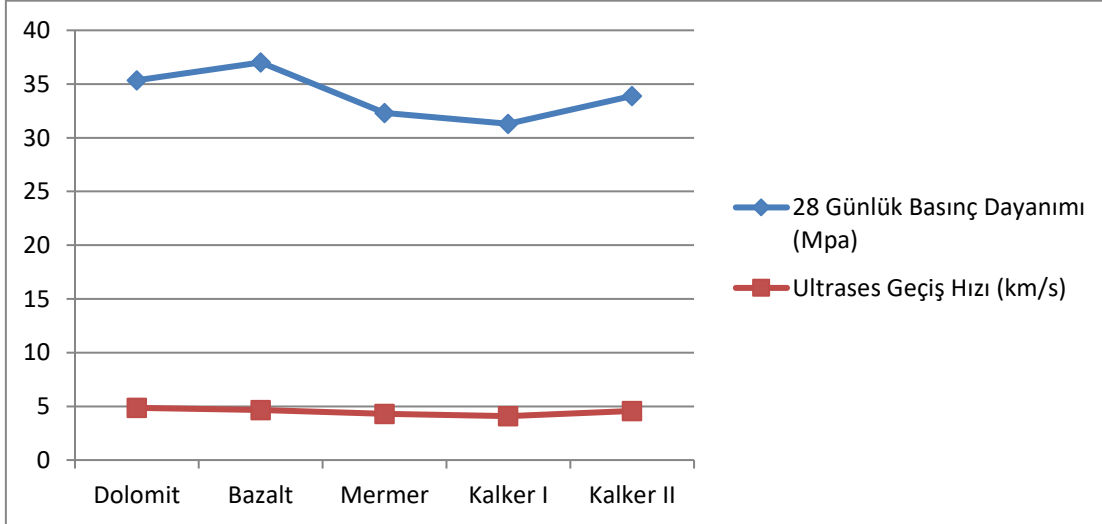
Agrega türü	Nokta	Geçiş Süresi (µs)	Ultrases Geçiş Hızı (km/s)		Dinamik Elastisite Modülü (GPa)
			Genel	Ortalama	
D	1. Nokta	31,2	4,81	4,86	36,17
	2. Nokta	30,6	4,90		
	3. Nokta	30,8	4,87		
B	1. Nokta	32,3	4,64	4,65	38,87
	2. Nokta	32,3	4,64		
	3. Nokta	32,2	4,66		
M	1. Nokta	34,6	4,34	4,29	35,88
	2. Nokta	35,1	4,27		
	3. Nokta	35,3	4,25		
KI	1. Nokta	37,8	3,97	4,09	29,1
	2. Nokta	35,7	4,20		
	3. Nokta	36,7	4,09		
KII	1. Nokta	32,9	4,56	4,56	39,43
	2. Nokta	33,2	4,52		
	3. Nokta	32,7	4,59		

Çizelge 6.14 ve Şekil 6.9 incelendiğinde en yüksek ultrases geçiş hızı değerini 4,86 km/s ile dolomit agregasından üretilen SSB, en düşük ultrases geçiş hızı değerini 4,09 km/s ile kalker I agregasından üretilen SSB sağlamıştır. Dinamik elastisite modülünde ise en yüksek değeri 39,43 GPa ile kalker II agregasından üretilen SSB alırken, en düşük değeri 29,1 GPa ile kalker I agregasından üretilen SSB almıştır.



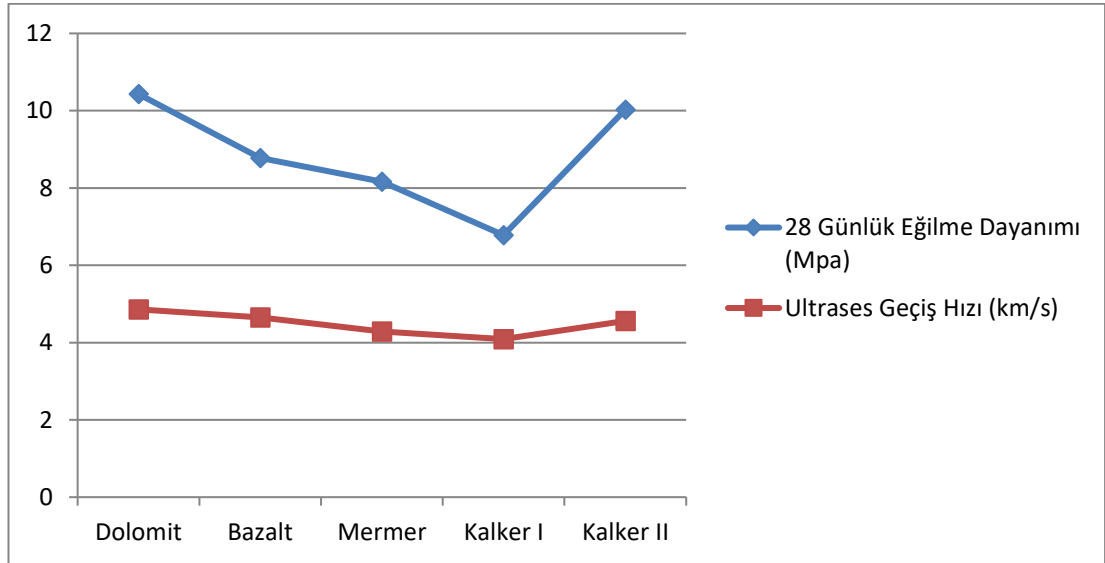
**Şekil 6.9 :** Farklı tür agregalarla üretilen silindirle sıkıştırılmış betonların ultrases geçiş hızı ve dinamik elastisite modülü değerleri.

Dolomit, bazalt, mermer, kalker I ve kalker II agregaları kullanılarak üretilmiş olan silindirle sıkıştırılmış betonların 28 günlük basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı değerleri grafik olarak Şekil 6.10’ da verilmiştir. Grafik incelendiğinde ultrases geçiş hızı arttıkça 28 günlük basınç dayanımı değerlerinde de farklı oranlarda artış tespit edilmiştir.



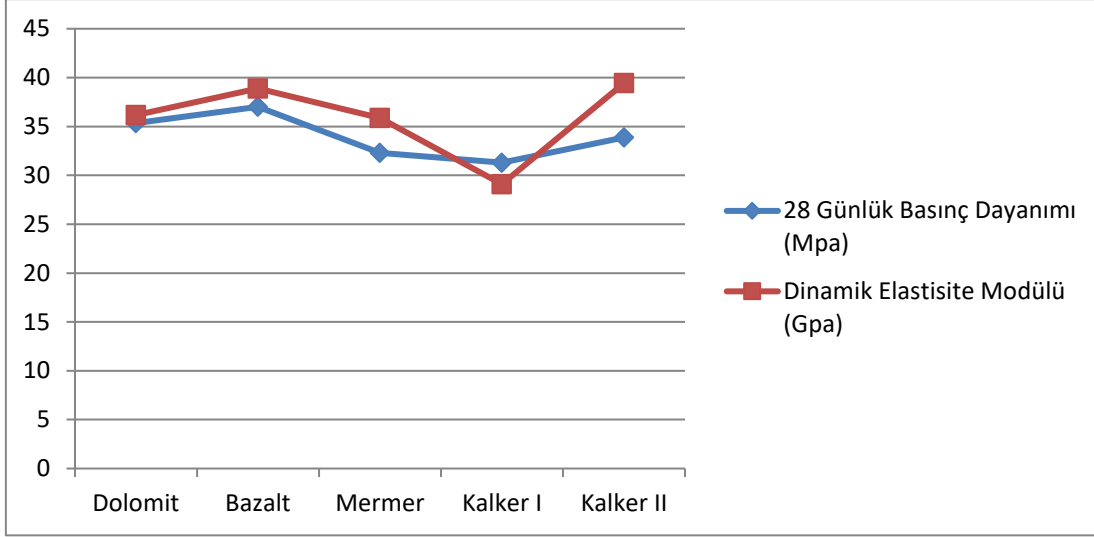
**Şekil 6.10 :** Farklı tür agregalarla üretilen silindirle sıkıştırılmış betonların ultrases geçiş hızı ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri.

Şekil 6.11 incelendiğinde ultrases geçiş hızı arttıkça 28 günlük eğilme dayanımı değerlerinde de belirli oranlarda artış tespit edilmiştir.



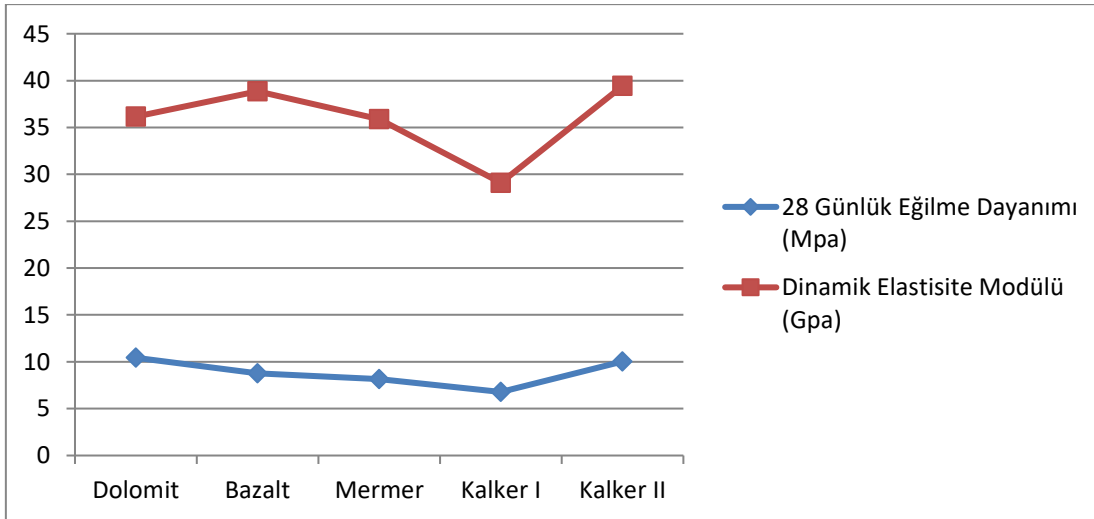
**Şekil 6.11 :** Farklı tür agregalarla üretilen silindirle sıkıştırılmış betonların ultrases geçiş hızı ve 28 günlük eğilme dayanımı değerleri.

Dolomit, bazalt, mermer, kalker I ve kalker II agregaları kullanılarak üretilmiş olan silindirle sıkıştırılmış betonların 28 günlük basınç dayanımı ve dinamik elastisite modülü değerleri grafik olarak Şekil 6.12’ de verilmiştir. Grafik incelendiğinde genelde dinamik elastisite modülü değerleri 28 günlük basınç dayanımı değerleriyle doğru orantılı seyretmiştir. Sadece kalker I agregası ile üretilen SSB örneğinde bu orantı bozulmuştur. Kalker II agregalı silindirle sıkıştırılmış betonun dinamik elastisite modülü değeri en yüksek olmasına rağmen, 28 günlük basınç dayanımı ve dinamik elastisite modülü değerleri birlikte incelendiğinde en iyi sonucu bazalt agregalı SSB vermiştir.



**Şekil 6.12 :** Farklı tür agregalarla üretilen silindire sıkıştırılmış betonların dinamik elastisite modülü ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri.

Dolomit, bazalt, mermer, kalker I ve kalker II agregaları kullanılarak üretilmiş olan silindire sıkıştırılmış betonların 28 günlük eğilme dayanımı ve dinamik elastisite modülü değerlerinin verildiği Şekil 6.13’ deki grafikler incelendiğinde 28 günlük eğilme dayanımı değerleri arttıkça dinamik elastisite modülü değerlerinde de farklı oranlarda artış olduğu tespit edilmiştir.



**Şekil 6.13 :** Farklı tür agregalarla üretilen silindire sıkıştırılmış betonların dinamik elastisite modülü ve 28 günlük eğilme dayanımı değerleri.

## 7. SONUÇLAR

Silindirle sıkıştırılmış beton üretimi üzerine yapılan araştırmada öncelikle hangi su/çimento oranının kullanılacağına yönelik ön çalışma yapılmıştır. Çökmenin sıfır olması gerektiği ve SSB karışımlarında ince agrega miktarının normal betona göre daha fazla olduğu dikkate alınmıştır. Sadece dolomit agregası kullanılarak yapılan bu ön çalışmada 0,32, 0,35, 0,38 ve 0,41 olmak üzere dört farklı su/çimento oranına sahip SSB örnekleri üretilmiştir. 28 günlük basınç ve eğilme dayanımı değerleri dikkate alındığında en iyi sonuçları basınç dayanımı 36,40 MPa ve eğilme dayanımı 10,20 MPa olmak üzere 0,35 su/çimento oranına sahip olan SSB örnekleri vermiştir. Elde edilen bu sonuca dayalı olarak farklı tür agrega kullanılarak üretilen SSB karışımlarında su/çimento oranı 0,35 alınmıştır. Ön çalışma sonucunda belirlenen 0,35 su/çimento oranının sadece bu çalışmaya özgü olduğu ve her SSB üretimi için geçerli olamayacağı dikkate alınmalıdır. Agrega türü, gradasyonu ve karışımdaki çimento miktarının sonuçları etkileyeceği bilinmelidir.

Ön çalışma sonucu su/çimento oranı 0,35 belirlenmiş ve S/Ç oranı sabit tutularak dolomit, bazalt, mermer, kalker I ve kalker II olmak üzere beş farklı agrega kullanılarak SSB üretilmiştir. Agrega ve üretilen SSB örnekleri üzerinde yapılan deneylerden elde edilen sonuçları sıralayacak olursak;

- Agregalar üzerinde yapılan Los Angeles parçalanma direnci tayini sonucunda dolomit % 19,56, bazalt % 10,56, mermer % 42,88, kalker I % 24,16 ve kalker II % 24,75 değerler almıştır. En yüksek parçalanma direncine bazalt agregası sahip olurken en düşük değeri mermer agregası almıştır. Bazalt magmatik kökenli kayaç türü olduğu için tortul ve metamorfik kökenli diğer kayaç türlerine göre genelde daha yüksek direnç göstermektedir. Kalkerin metamorfizma geçirmesi sonucu oluşan mermer metamorfik bir kayaç olarak diğer agrega türlerine göre daha düşük parçalanma direnci göstermesi normal karşılanmalıdır. Yol kaplama malzemesi olarak kullanılacak olan agregaların parçalanma direnci değeri % 30'dan daha yüksek olmamalıdır. Mermer



agregası yol kaplamaları için gerekli olan bu şartı sağlamamasına rağmen farklı amaçlar için üretilen betonlarda kullanılabilme ihtimaline karşın deneysel çalışmalarda kullanılmaya devam edilmiştir.

- SSB örneklerinin agrega çeşidine göre 28 günlük basınç dayanımı değerleri; dolomit (D) 35,35 MPa, bazalt (B) 37,01 MPa, mermer (M) 32,31 MPa, kalker I (KI) 31,30 MPa ve kalker II (KII) 33,88 MPa olarak tespit edilmiştir. Tasarlanan C30/37 sınıfı beton için farklı agregalarla üretilen her karışımda hedeflenen basınç dayanımı değerine ulaşılmıştır. En yüksek basınç dayanımı değeri bazalt, en düşük basınç dayanımı değeri ise kalker I agregası kullanılarak üretilen SSB örneklerinden elde edilmiştir. Basınç dayanımı değerini agrega kökeninin etkilediği bilinmektedir. Bunun yanında, her bir agrega türü SSB karışımlarında kendi içerisinde farklı oranlarda karıştırıldığı için gradasyon farklılığında basınç dayanımı sonuçlarına etki etme ihtimali göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca SSB silindir örnekler üretilirken sıkıştırılan tabakalar arasında yatayda boşlukların oluşabilme ihtimaline karşılık önlemler alınmalıdır.
- SSB örneklerinin agrega çeşidine göre 28 günlük eğilme dayanımı değerleri; dolomit (D) 10,43 MPa, bazalt (B) 8,78 MPa, mermer (M) 8,16 MPa, kalker I (KI) 6,78 MPa ve kalker II (KII) 10,03 MPa olarak tespit edilmiştir. Beton yol kaplamaları için istenilen minimum 4,2 MPa eğilme dayanımı değerinin üzerinde sonuçlar elde edilmiştir.
- SSB örneklerinin agrega çeşidine göre 28 günlük ultrases geçiş hızı test sonuçları; dolomit (D) 4,86 km/s, bazalt (B) 4,65 km/s, mermer (M) 4,29 km/s, kalker I (KI) 4,09 km/s ve kalker II (KII) 4,56 km/s olarak tespit edilmiştir. Farklı agregalar kullanılarak üretilen SSB örneklerinin tamamında 4 km/s ultrases geçiş hızının üzerinde çok iyi değerlere ulaşılmıştır. Dolomit, bazalt ve kalker II agregalarından üretilen SSB örnekleri ASTM C 597 standardına göre 4,5 km/s ultrases hızının üzerinde değer aldığı için kaliteli olarak görülmektedir.
- Dinamik elastisite modülünde ise en SSB örnekleri 29,1 GPa ile 39,43 GPa aralığında değerler almıştır. En yüksek değeri 39,43 GPa ile kalker II agregasından üretilen SSB almıştır.

- Su/çimento oranı 0,35 olan ve çeşitli agregalarla üretilen SSB örneklerinin 28 günlük basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve dinamik elastisite modülü değerleri karşılaştırıldığında en iyi sonuçları veren betonların bazalt ve dolomit agregalı betonlar olduğu belirlenmiştir.
- Mermer agregası yol kaplamaları için gerekli olan parçalanma direnci değerini sağlamamasına rağmen, mermer agregasından üretilen SSB örneklerinin basınç dayanımı, eğilme dayanımı, ultrases geçiş hızı ve dinamik elastisite modülü verileri bakımından beton yol kaplamaları için yeterli sonuç verdiği görülmüştür. Bu nedenle mermer agregasının beton yol kaplaması dışında farklı amaçla SSB üretiminde kullanılabileceği belirlenmiştir.
- SSB karışımlarında çimento miktarının azaltılmasıyla da yeterli basınç ve eğilme dayanımının sağlanabileceği düşünülmektedir. Yeterli dayanımları sağlayabilmek için SSB ile ilgili yapılacak çalışmalarda ince madde miktarı (özellikle kırmataş tozu) azaltılarak çimento miktarında düşüş sağlanabileceği öngörülmektedir.
- SSB silindir numune üretiminde, sıkıştırılan tabaka kalınlığı ve sıkıştırma süresi dikkat edilmesi gereken önemli hususlardandır.
- SSB üretimi yapılmadan önce, agrega gradasyonuna ve maksimum agrega çapının (Dmax) doğru seçimine dikkat edilmelidir.

Hızlı inşa edilmesi, alternatif yollara nazaran trafiğe daha çabuk açılması, gece sürüş halinde görüş olanağının daha iyi olması, uzun ömürlü ve daha az bakım gerektirmesi, ekonomikliği, petrol ve türevlerine olan bağımlılığı azaltması nedeniyle silindirle sıkıştırılmış betonların beton yol üretiminde kullanılması önerilmektedir.



## KAYNAKLAR

- AASHTO**, (1993). American Association of State Highway and Transportation Officials 'Design of Pavement Structures'.
- ACI Committee 207** (1988). Roller Compacted Mass Concrete, ACI Materials Journal, Sf. 85.
- Adaska, W.** (2006). Roller-Compacted Concrete (RCC), PCA Research & Development Information Serial No. 2975. Skokie, IL: Portland Cement Association.
- Agar, E., Sütas, İ. ve Öztas, G.** (1998). Beton Yollar (Rijit Yol Üstyapıları), İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Agar, E., Sütas, İ. ve Öztas, G.** (2001). Beton Asfalt Kaplama ile Beton Yol Karşılaştırması, Türkiye Hazır Beton Birliği, Beton Yollar Özel Sayısı, 48-51.
- Agar, E., Sütas, İ. ve Öztas, G.** (2007). Silindir ile Sıkıştırılabilen Beton Yollar, Türkiye Hazır Beton Birliği.
- Ağralıoğlu, N.** (2005). Baraj Planlama ve Tasarımı, Cilt 2, Su Vakfı Yayınları, Sf. 259, İstanbul.
- Akçaözoğlu, K.** (2001). Yüksek dayanımlı beton karışım dizaynı, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 105, Adana.
- Akman, S.** (1990). Yapı malzemeleri (ikinci baskı), İstanbul Teknik Üniversitesi Baskısı, 162, İstanbul
- Andriolo R.F.** (1998). "The use of roller compacted concrete "Past-Press, ISSMFE, Sao Paulo, Brazil, Sf. 554.
- Arslan, M.** (2001). Beton, Atlas Yayın Dağıtım, Sf. 237, İstanbul.
- Başka, M. A.** (2006). Betonun Basınç Dayanımının Belirlenmesi Ve Değerlendirilmesi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Bullock, R.E. ve Whitehurst, E.A.** (1959). Effect of certain variables on pulse velocities through concrete, Highway Res. Board Bull., 206, 37.
- Doğangün, A.** (2009). Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı, Birsen Yayınevi, Sf. 844, İstanbul.
- Emekli, A. S.** (2015). Yüksek performanslı betonlarda kür koşullarının yüksek fırın çürüme etkinliğine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Sf. 35, İstanbul.
- Engineering Manual.** (2000). "Roller Compacted Concrete", Manual No. 1110,2,2006, US Army Corps of Engineers, Washington, DC, Sf. 50.

- Erdoğan, S.Y., ve Erdoğan, T.Y.** (2006). Soru ve Yanıtlarıyla Beton, Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını, Sf. 256, İstanbul.
- Eren, E.** (2009). Farklı cüruf atıklarının beton üretiminde kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, 109, İstanbul.
- Ersoy, U., ve Özcebe, G.** (2001). Betonarme, Evrim Yayınevi, Sf. 817, İstanbul.
- Ertün, T. ve Yeğin Obalı, A.** (2005).Çimentoda yeni standartlar ve mineral katkıları, Türkiye Çimento Müstahsisleri Birliği, Sf.54. Ankara.
- Eser, N.** (2015). Yüksek dayanımlı beton kalitesinin incelenmesi ve yeni bir malzeme katsayısı önerilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Sf. 81.Aksaray.
- Gündoğdu D.** (2010).Kolloid slıkanın uçucu küllü harçların mekanik özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Sf. 73.İstanbul.
- Halilov, S.** (2003).Silis dumanı ve süper akışkanlaştırıcı katkılı lifli betonların özellikleri, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Sf. 112. Ankara.
- Hansen, K.D. ve Reinhardt, W.G.** (1991). Roller Compacted Concrete Dams, Mc Graw-Hill, Inc., Sf. 298.
- Harrington, D., Abdo, F., Adaska, W., Hazaree, C.** (2010). Guide for Roller Compacted Concrete Pavements, National Concrete Pavement Technology Center, Institute for Transportation, Iowa State University.
- International Atomic Energy Agency** (2002). Guidebook On Non-Destructive Testing Of Concrete Structure, Training Course Series
- Jones, R.** (1952). A method of studying the formation of cracks in a material subjected to stress, Br. J.Appl. Phys. (London), Cilt 3, Sf. 229.
- Jones, R. ve Facaoaru, I.** (1969). Recommendations for testing concrete by the ultrasonic pulse method, Mater. Struct. Res. Testing (Paris), 2(19), Sf. 275.
- Jones, R., Nov.** (1954). Testing of concrete by an ultrasonic pulse technique, RILEM Int. Symp. On Nondestructive Testing of Materials and Structures, Paris, Vol. 1, Paper No. A-17 January 1954, 137. RILEM Bull., 19(Part 2).
- Karpuz, O.** (2008). Beton Yol Karışımındaki İnce Agreganın Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon
- Kıvanç, H.** (2006). Süperakışkanlaştırıcı katkıların sualtı betonu özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Sf. 83. İstanbul.
- Knab, L.J.** (1983). Blessing, G.V., and Clifton, J.R., Laborator yevaluation of ultrasonics for crack detection in concrete, ACI J., 80, 17.
- Kobu, B.** (2003). Üretim Yönetimi, Avcıol Basım Yayın, Sf. 712. İstanbul.

- Luhr, D.** (2008). RCC Applications for Pavements, Portland Cement Association, Portland Cement Association, 2004. Guide Specification for Construction of Roller-Compacted Concrete Pavements, Haziran.
- Mehta, P.K., ve Monteiro, P.J.M.** (2005). Microstructure, Properties and Materials, Mc Graw-Hill Professional Publishing, Sf. 684. New York (USA).
- Mertcan, N.** (2007). Uçucu kül katkısıyla üretilen harçların dayanım ve dayanıklılığının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Sf. 69. İstanbul.
- Mix, P.E.** (2005). Introduction to Nondestructive Testing, a Training Guide, Publishedby John Wiley&Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Özışık, G.** (2000). Beton, BirsenYayınevi, Sf. 360. İstanbul.
- Öztürk, A.** (2008). Yol Yapı Doğal Gereçlerinin Mühendisliği ve Üstyapı Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Postacıoğlu, B.** (1986). Beton bağlayıcı maddeler, Teknik KitaplarYayınevi, Sf. 175.İstanbul.
- Pourhossein, P.** (2012). Yüksek dayanımlı çelik lifli betonarme kiriş ve kolonlarda çatlamlar göz önüne alınarak deplasmanların belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Sf. 77. Adana.
- Rebic, M.P.** (1983). The distribution of criticalandruptureloadsanddetermination of the factor of crackability, ACI J., 80, 17.
- Sarı, D.S.** (2008).Normal ve yüksek dayanımlı betonların mekanik davranışına lif içeriğinin ve dayanımının etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüİnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Sf. 57.İstanbul.
- Sturup, V.R.** (1959).Evaluation of pulsevelocitytestsmadebyOntariohydro, Bull. 206, Highway Research Board, 1.
- Şimşek, O.** (2007).Beton bileşenleri ve beton deneyleri (ikincibaskı), Seçkin Yayınları, Sf. 334. Ankara.
- Şimşek, O.** (2009).Beton ve Beton Teknolojisi, Seçkin Yayıncılık, Sf. 263. Ankara.
- Tayabji, S. D. and P.A. Okamoto.** (1987). Engineering properties of roller-compacted concrete, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 1136: 33–45.
- TÇMB,** (2017), Silindirle Sıkıştırılmış Beton (SSB) Yollar Teknik Şartnamesi
- TMH,**(2003), Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı 427-5
- TS EN 1008** (2003).Beton Karma Suyu, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS 706 EN 12620** (2003).Beton Agregaları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 197-1** (2002).Çimentolar, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 196-3** (2002).Çimento Deney Metotları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

- TS EN 1744-1** (2011).Agregaların Kimyasal Özellikleri İçin Deneyler, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 1367-1** (2009).Agregaların Isıl ve Bozulma Özelliklerini Tayin İçin Deneyler, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 1097-2** (2000).Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 12390** (2003).Sertleşmiş Beton Deneyleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 206** (2003).Beton, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS 802** (2009).Beton Karışım Hesap Esasları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 934-2** (2002).Kimyasal Katkılar, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- Uçar S.** (2002). Concrete International. THBB Teknik Ofis.
- Url-1**<<http://www.thbb.org/Content.aspx?ID=23>>, alındığı tarih: 29.08.2019.

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad Soyad** : Ahmet Okan SAVAŞ  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Çanakçı/ Giresun 10.02.1994  
**E-Posta** : ahmetokansavas@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2017, Kırklareli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek Lisans** : 2020, Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

### TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Kılıç, İ., Gök, S. G., Savaş, A. O. 2019. Silindirle Sıkıştırılmış Betonlarda Su/Çimento Oranı Değişiminin Dayanım, Ultrases Geçiş Hızı ve Elastisite Modülü Üzerindeki Etkileri. 1. Beton Yollar Kongresi ve Sergisi (BYK 2019), Kasım 13-14, 2019 Ankara, Türkiye.
- Kılıç, İ., Gök, S. G., Savaş, A. O. 2019. The Effect of Water/Cement Ratio on Mechanical Properties of Roller Compacted Concrete. International Natural Science, Engineering and Materials Technology Conference (NEM 2019), September 09-10, 2019 Istanbul, Turkey.