

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON YOLLARDA
KÜR ÇEŞİDİNİN VE UYGULAMA ZAMANININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Müh. Ömer Faruk KELEŞ

**TEMMUZ 2019
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON YOLLARDA
KÜR ÇEŞİDİNİN VE UYGULAMA ZAMANININ İNCELENMESİ**

İnşaat Müh. Ömer Faruk KELEŞ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

"İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ"

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 21 / 05 / 2019

Tezin Savunma Tarihi : 17 / 07 / 2019

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Muhammet Vefa AKPINAR

Trabzon 2019

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
Ömer Faruk KELEŞ tarafından hazırlanan

SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON YOLLARDA
KÜR ÇEŞİDİNİN VE UYGULAMA ZAMANININ İNCELENMESİ



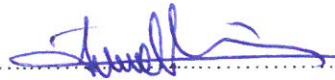
başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 14/06/2019 gün ve 1807 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Muhammet Vefa AKPINAR

Üye : Doç. Dr. Erhan Burak PANCAR

Üye : Doç. Dr. Temel TÜRKER


.....

.....

.....

Prof. Dr. Asim KADIOĞLU

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmanın planlanarak ortaya çıkmasındaki katkılarından ve çalışma süresince bana göstermiş olduğu ilgi ile benimle paylaştığı bilgi ve tecrübelerinden dolayı danışman hocam olan Sayın Prof. Dr. Muhammet Vefa AKPINAR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca gerek laboratuvar ortamındaki deneysel çalışmalarında gerekse de sonraki süreçte benden yardımlarını esirgemeyen başta Dr. Öğr. Üyesi İsmet ULUSU olmak üzere, Arş. Gör. Halit Alperen BULUT, Öğr. Gör. Fatih İrfan BAŞ, Arş. Gör. Muhammed Ali ÇOLAK ve Arş. Gör. Ahmet Oğuz DEMİRİZ'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Son olarak yaşantım süresince olduğu gibi yüksek lisans eğitimim boyunca da bana olan maddi ve manevi sonsuz desteklerinden dolayı aileme şükranlarımı sunarım.

Ömer Faruk KELEŞ
Trabzon, 2019

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yollarda Kür Çeşidinin ve Uygulama Zamanının İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Muhammet Vefa AKPINAR’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma süresince bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 17/07/2019

Ömer Faruk KELEŞ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Silindirle Sıkıştırılmış Beton	2
1.3. SSB'nin Tarihçesi.....	2
1.4. SSB ile Geleneksel Beton Arasındaki Farklar.....	4
1.5. SSB'nin Uygulama Alanları.....	7
1.6. SSB'nin Avantaj ve Dezavantajları.....	8
1.7. SSB'de Kullanılan Malzemeler	11
1.7.1. Agregalar.....	11
1.7.2. Bağlayıcı Malzemeler	12
1.7.3. Su	12
1.7.4. Kimyasal Katkılar	13
1.7.5. Mineral Katkılar	13
1.8. SSB'de Kür.....	13
1.9. Tipik SSB Karışım Örnekleri	14
1.10. Literatür Taraması	15
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	20
2.1. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	20
2.1.1. Agregalar.....	20
2.1.2. Su ve Çimento	22
2.1.3. Kür Malzemeleri	23
2.2. Optimum Su Muhtevasının Belirlenmesi	24

2.3.	Karışım Hesabı ve Kodlama.....	28
2.4.	Deney Numunelerinin Hazırlanması	30
2.5.	Numunelere Kür Uygulanması.....	35
2.6.	Yapılan Deneyler ve Ölçümler	36
2.6.1.	Tek Eksenli Basınç Deneyi.....	36
2.6.2.	Eğilme Deneyi.....	38
2.6.3.	Beton Ağırlık Kaybı Tayini	39
2.6.4.	Ultrases Geçiş Hızı Deneyi	39
2.6.5.	Schmidt Geri Sıçrama (Schmidt Sertliği) Sertliğinin Tayini	41
3.	BULGULAR VE İRDELEME	43
3.1.	Tek Eksenli Basınç Deneyi Sonuçları	43
3.2.	Eğilme Deneyi Sonuçları.....	49
3.3.	Ağırlık Kaybı Tayini Sonuçları	52
3.4.	Ultrases Geçiş Hızı Deneyi Sonuçları	56
3.5.	Schmidt Geri Sıçrama (Schmidt Sertliği) Sertliğinin Tayini Sonuçları	60
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	65
5.	KAYNAKLAR	67
	ÖZGEÇMİŞ	

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON YOLLARDA KÜR ÇEŞİDİNİN VE UYGULAMA ZAMANININ İNCELENMESİ

Ömer Faruk KELEŞ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Muhammet Vefa AKPINAR
2019, 70 Sayfa

Silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) yolların kıvamının çok kuru olmasından dolayı geleneksel betonlara kıyasla SSB'nin kürü, çok daha fazla dikkat gerektirmekte ve önem arz etmektedir. Bu tez çalışmasında SSB yollar için en uygun kür çeşidi ve uygulama zamanının belirlenmesi amacıyla çalışmalar yapılmış ve SSB'nin mukavemet özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir.

Çalışma kapsamında 350 kg çimento dozajına sahip ve modifiye proktor deneyi sonucu elde edilen optimum su muhtevasına göre standartlara uygun bir karışım hazırlanmıştır. Hazırlanan bu karışıma dökümden 15, 30, 60 dk. ve hemen sonra olmak üzere dört farklı zaman periyodunda kimyasal kür, çuval bezi, membran ve sudan oluşan dört farklı kür 7 gün boyunca uygulanmıştır. Kür edilen numuneler üzerine tek eksenli basınç deneyi, eğilme deneyi, ultrases geçiş hızı deneyi ve schmidt geri sıçrama (schmidt sertliği) sertliğinin tayini deneyleri uygulanmıştır.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, SSB için en uygun kür yöntemi olarak su kürü belirlenmiştir. Bu yöntemi membran kürü takip etmiştir. Su kürü için uygulama zamanı olarak da en iyi sonuç döküm işleminden 60 dk. sonrası olan zaman belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre trafiğe açılma dayanımının sağlandığı süre 7 saat olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Silindirle Sıkıştırılmış Beton, Kür, Mukavemet Özellikleri.

Master Thesis

SUMMARY

RESEARCH OF CURING TYPE AND APPLICATION TIME ON ROLLER COMPACTED CONCRETE PAVEMENTS

Ömer Faruk KELEŞ

Karadeniz Technical University
Institute of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Department
Advisor: Prof. Dr. Muhammet Vefa AKPINAR
2019, 70 Pages

Due to the very dry consistency of roller compacted concrete (RCC) pavements the curing of RCC compared to conventional concretes, requires much more attention and important. In this thesis, the most suitable type of curing and application time for RCC pavements were researched and strength properties of RCC were investigated.

Within the scope of the study, a mixture with standards of 350 kg cement dosage was prepared according to optimum moisture contents as a result of the modified proctor test. It was applied to this mixture 15, 30, 60 min. and immediately after casting in four different time periods four different cures consisting of chemical curing, burlap, membrane and water were applied for 7 days. On the cured samples, experiments like uniaxial compression test, flexural strength test, ultrasonic pulse velocity test and schmidt rebound hammer test were carried out

Based on the results obtained, water cure technique has been determined as the most suitable curing method for RCC. This method followed the membrane cure. For water cure technique the best application time was 60 min. after casting has been determined. The time period for which compressive strength for opening to public traffic was found to be seven hours.

Key Words: Roller Compacted Concrete, Curing, Strength Properties.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. 1. Amerika Birleşik Devletleri'nde SSB yolların dağılımı [6].....	3
Şekil 1. 2. 1980'lerin başından beri artan SSB yol kullanımı [7].....	4
Şekil 1. 3. Geleneksel beton ile SSB betonun tipik malzeme karşılaştırılması [1].	5
Şekil 1. 4. Geleneksel portland çimento betonu ile SSB betonlarının agrega dağılımlarının karşılaştırılması [1].	6
Şekil 1. 5. İnce ve iri agrega için gradasyon eğrileri ile birlikte önerilen karma agrega eğrileri [1].	11
Şekil 2. 1. Karışımda kullanılan agregalar	21
Şekil 2. 2. SSB karışımının agrega granülometri eğrisi	22
Şekil 2. 3. Deneyleerde kullanılan kür kimyasalı.....	23
Şekil 2. 4. Deneyleerde kullanılan çuval bezi	24
Şekil 2. 5. Modifiye proktor deney aleti ve testi	25
Şekil 2. 6. Örnek numunelerin tartılması ve etüvde kurutulması	26
Şekil 2. 7. Aynı gradasyon ve malzeme özelliklerinde farklı su muhtevalarına sahip karışımlar	26
Şekil 2. 8. Karışıma ait su muhtevası – maksimum kuru birim ağırlık ilişkisi	28
Şekil 2. 9. Numune kalıplarının dış ortamdan silikon ve membran ile izole edilmesi.....	31
Şekil 2. 10. Deneyleerde kullanılan titreşimli tokmak	32
Şekil 2. 11. Silindir numunelerin sıkıştırılması	32
Şekil 2. 12. Silindir numunelerin sıkıştırma işleminde kullanılan sıkıştırma plakası	33
Şekil 2. 13. Sıkıştırma plakası üzerinde halka biçiminde şekil oluşması	33
Şekil 2. 14. Kiriş numunelerin sıkıştırılması	34
Şekil 2. 15. Kiriş numunelerinin sıkıştırma işleminde kullanılan sıkıştırma plakası	34

Şekil 2. 16. Numunelere kür uygulanması	35
Şekil 2. 17. Silindir numunelere kükürt başlıklar yapımı.....	37
Şekil 2. 18. Tek eksenli basınç deneyi cihazı	37
Şekil 2. 19. Eğilme deneyi cihazı	38
Şekil 2. 20. Numunelerin hassas terazide tartılması	39
Şekil 2. 21. Ultrases geçiş hızı deneyi ve deney aleti.....	40
Şekil 2. 22. Schmidt çekici	41
Şekil 2. 23. Silindir numunelerde schmidt geri sıçrama (schmidt sertliği) sertliğinin tayini	42
Şekil 2. 24. Kiriş numunelerde schmidt geri sıçrama (schmidt sertliği) sertliğinin tayini ..	42
Şekil 3. 1. 7 günlük numunelerin basınç dayanımları	44
Şekil 3. 2. 7 günlük numunelerin referans numunelere göre basınç dayanımı azalış yüzdeleri	45
Şekil 3. 3. Saatlik numunelerin basınç dayanımları	47
Şekil 3. 4. 2 saatlik numunelerin kırılma şekli	48
Şekil 3. 5. 7 günlük numunelerin eğilme dayanımları.....	50
Şekil 3. 6. 7 günlük numunelerin referans numunelere göre eğilme dayanımı azalışları..	51
Şekil 3. 7. Silindir numunelerin zamanla ağırlık kayıpları (%)	54
Şekil 3. 8. Silindir numunelerin zamanla ağırlık kayıpları (%)	55
Şekil 3. 9. Silindir numunelerin ultrases geçiş hızları	57
Şekil 3. 10. Silindir numunelerin ultrases geçiş hızı değerleri ile basınç dayanımı arasındaki ilişki.....	58
Şekil 3. 11. Kiriş numunelerin ultrases geçiş hızları	59
Şekil 3. 12. Kiriş numunelerin ultrases geçiş hızı değerleri ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki	59

Şekil 3. 13. Silindir numunelerin schmidt geri sıçrama değerleri	61
Şekil 3. 14. Schmidt geri sıçrama değerleri ile basınç dayanımı arasındaki ilişki	62
Şekil 3. 15. Schmidt geri sıçrama (schmidt sertliği) sertliğinin tayini	63
Şekil 3. 16. Schmidt geri sıçrama değerleri ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki.....	64



TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. 1. SSB'nin yapısal yeterliliği için minimum trafiğe açılış dayanımı [9].	7
Tablo 1. 2. Tipik SSB karışım oranı örnekleri [1].	14
Tablo 2. 1. Beton karışımında kullanılan agreganın elek analiz sonucu	21
Tablo 2.2. DeneYlerde kullanılan çimentonun kimyasal özellikleri	22
Tablo 2.3. DeneYlerde kullanılan çimentonun fiziksel özellikleri	23
Tablo 2. 4. Kür kimyasalının fiziksel özellikleri	24
Tablo 2. 5. Her bir karışıma ait su muhtevası ve kuru birim ağırlık değerleri	27
Tablo 2. 6. 1 m3 SSB karışımı için kullanılan malzeme miktarları	29
Tablo 3. 1. 7 günlük numunelerin basınç dayanımları	43
Tablo 3. 2. 7 günlük numunelerin referans numunelere göre basınç dayanımı azalışları ...	45
Tablo 3. 3. Numunelerin saatlik basınç dayanımları	47
Tablo 3. 4. 7 günlük numunelerin eğilme dayanımları	49
Tablo 3. 5. 7 günlük numunelerin referans numunelere göre eğilme dayanımı azalışları ..	51
Tablo 3. 6. Silindir numunelerin zamanla ağırlık kayıpları (‰)	53
Tablo 3. 7. Silindir numunelerin ultrases geçiş hızları	57
Tablo 3. 8. Kiriş numunelerin ultrases geçiş hızları	58
Tablo 3. 9. Silindir numunelerin schmidt geri sıçrama değerleri	61
Tablo 3. 10. Kiriş numunelerin schmidt geri sıçrama değerleri	63

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SSB	:	Silindirle Sıkıştırılmış Beton
ACI	:	American Concrete Institute (Amerikan Beton Enstitüsü)
PCC	:	Portland Cement Concrete (Portland Çimentolu Beton)
LEED	:	Leadership in Energy and Environmental Design (Enerji ve Çevre Dostu Tasarımda Liderlik)
SRI	:	Solar Reflectance Index (Solar Yansıtma İndeksi)
ASTM	:	American Society For Testing And Materials (Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu)
AASHTO	:	American Association of State Highway and Transportation Officials (Amerikan Devlet Karayolu ve Taşımacılık Görevlileri Birliği)
NMSA	:	Nominal Maximum Size of Aggregate (Maksimum Nominal Agrega Boyutu)
m	:	Metre
mm	:	Milimetre
Psi	:	Pounds per square inch (inçkareye düşen pound)
cm	:	Santimetre
μm	:	Mikrometre
No	:	Numara
kg	:	Kilogram
lt	:	Litre
dk	:	Dakika
DYK	:	Doygun Yüzey Kuru
SiO_2	:	Silikon Dioksit
Al_2O_3	:	Alüminyum Oksit
Fe_2O_3	:	Demir Oksit
CaO	:	Kalsiyum Oksit
MgO	:	Magnezyum Oksit
Cl	:	Klor
SO_3	:	Kükürt trioksit
Na_2O	:	Sodyum Oksit
K_2O	:	Potasyum Oksit

gr	:	Gram
$^{\circ}\text{C}$:	Santigrat derece
p_m	:	Sıkıştırılmış numunenin yaş birim ağırlığı, kgf/m^3
M_1	:	Yaş numune ve kalıbın ağırlığı, kgf
M_2	:	Kalıbın ağırlığı, kgf
V	:	Kalıbın hacmi, m^3
p_d	:	Sıkıştırılmış numunenin kuru birim ağırlığı, kg/m^3
w	:	Su muhtevası, %
S/Ç	:	Su/çimento oranı



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) kaplamaların kullanımına, ilk olarak 1970'lerde Kanada ve Amerika başta olmak üzere diğer ülkelerde de başlanmıştır. İlk zamanlarda daha çok depolama alanları, park alanları, limanlarda ve ağır yükleme tesislerinde uygulanmaya başlanmıştır. SSB kaplamaların hızlı, ekonomik ve uzun ömürlü olma gibi sahip olduğu avantajlardan dolayı kullanımı, geçmişte günümüze sürekli artarak devam etmiştir.

Ülkemizde de nüfusun artması ile birlikte trafik yükü artmakta ve artan trafik yüklerini karşılamak için daha uzun ömürlü ve daha ekonomik yollara ihtiyaç duyulmuştur. Bundan dolayı SSB kullanımı dünyada olduğu gibi ülkemizde de hızlı bir şekilde artmaktadır. Ülkemizde geçmişten günümüze genel olarak asfalt yol kaplamaları tercih edildiğinden dolayı bu yollarda kullanılan yerleştirme ve sıkıştırma ekipmanları ile bu uygulamalarda kazanılan işçilik tecrübesi de SSB yolların yapımına geçişi kolaylaştırmış ve hızlandırmıştır.

SSB yol, ülkemizde ilk olarak 2009 yılında Antalya' da pilot bir uygulama olarak yapılmıştır. Daha sonra 2011 yılında Denizli, 2014 yılında Samsun ve Trabzon'da uygulanmıştır. Son zamanlarda ülkemizin birçok ilinde de uygulanmaya başlamıştır.

SSB karışımlar, geleneksel betonlara kıyasla daha düşük bir su içeriğine sahip olduğundan dolayı kür işlemi bu karışımlarda çok daha fazla önem arz etmektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda kürün, SSB karışımlar üzerine etkilerini inceleyen çalışmaların sınırlı sayıda olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada, kür çeşidi ve uygulama zamanının SSB'nin mekanik özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda SSB için en uygun kür çeşidinin ne olduğu ve bu kür yönteminin uygulama zamanın belirlenmesi amaçlanmıştır.

1.2. Silindirle Sıkıştırılmış Beton

Silindirle sıkıştırılmış beton (SSB), adını ona son şeklini vermek için kullanılan titreşimli çelik tambur ve lastik tekerlekli silindirlere almaktadır. SSB, geleneksel betonla benzer dayanım özelliklerine ve iyi derecelendirilmiş agrega gradasyonu, bağlayıcı malzeme ve su gibi aynı temel malzeme içeriklerine sahip olmaktadır. Fakat bu malzemelerin karışım oranlarının farklı olduğu bilinmektedir. SSB karışım ile geleneksel beton karışımları arasındaki en büyük fark, iyi bir sıkıştırmaya olanak sağlayan ince agrega yüzdesinin SSB’de daha fazla olduğudur. Taze SSB, slump değeri sıfır olan tipik geleneksel betondan daha katı olmaktadır. SSB’nin yoğunluğu, titreşimli silindirin altında stabil kalabilecek kadar katı, segregasyon olmadan karışımın dağıtımına ve karışımına izin verecek kadar da ıslak olmaktadır. SSB, başta kütle betonlarda olmak üzere yol kaplamalarında, baraj yapılarında ve dolgularda kullanılmaktadır [1, 2].

Amerikan Beton Enstitüsüne (ACI-American Concrete Institute) göre silindirle sıkıştırılmış beton; “Sertleşmemiş durumda, sıkıştırılırken bir silindirin ağırlığını kaldıracak kadar katı, silindir ile sıkıştırılan betondur” [3] şeklinde ifade edilir.

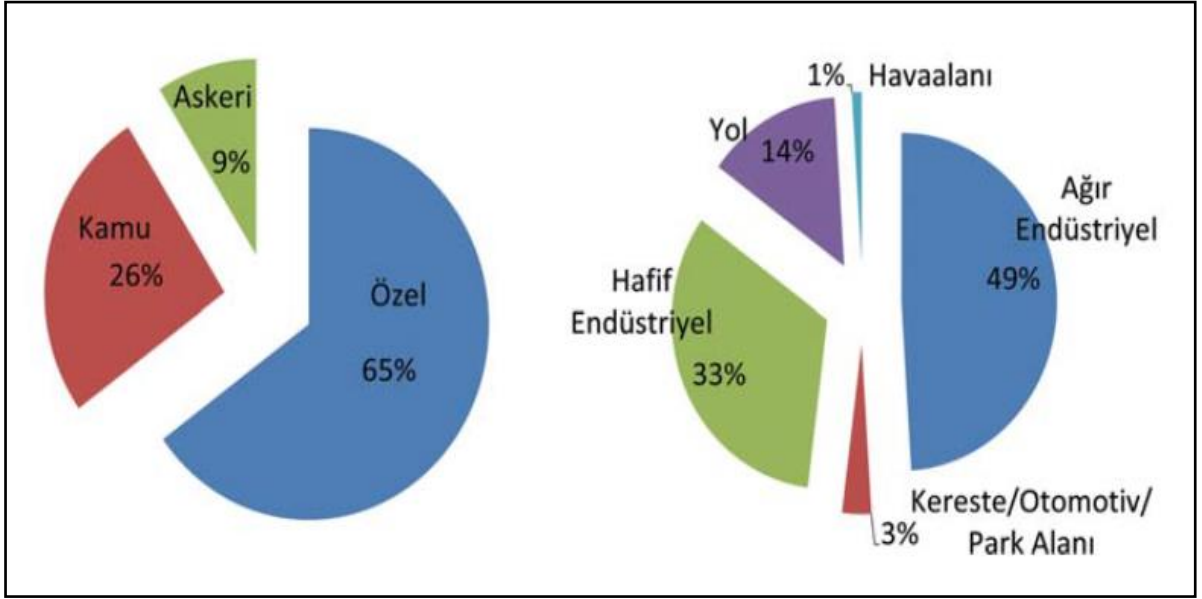
1.3. SSB’nin Tarihçesi

1930’lu yıllarda inşaat mühendisliğinin birçok alanında sıkıştırmalar titreşim uygulanarak yapılmasına karşın, titreşimli sıkıştırma kadar iyi kalite sağlayabilecek silindir bulunmadığı için sıkıştırmada silindir kullanılmamıştır. Silindir, yalnızca çimento içeren temel tabakalarının yapımında kullanılmıştır. SSB yol kaplaması ilk olarak Kuzey Amerika’da Amerikan Ordusu Mühendisler Birliği Seattle Ofisi tarafından, 1942 yılında Yakima, Washington’da inşa edilen bir uçak pistine uygulanmıştır. 1930’ların başında İsveç’te SSB kaplamanın başka bir çeşidi ortaya çıkmıştır.

1970’li yıllardaki petrol krizi nedeniyle bitümlü bağlayıcı fiyatlarının yükselmesi, SSB yolların gündeme gelmesini sağlamıştır. Bu yıllarda özellikle Kanada ve Amerika Birleşik Devletleri’ndeki kereste fabrikalarında ve askeri alanlarda SSB yol uygulamaları yapılmaya başlanmıştır. SSB yolların bilinen ilk modern örneği ise 1970 yılında, İspanya’da, düşük hacimli trafiğe sahip olan bir yolda uygulanmış, ağır trafik taşıyan diğer bir SSB yol uygulaması da 1976 yılında Kanada’da yapılmıştır. 1980 yılından sonra, Fransa, Almanya, Norveç, İsveç, Finlandiya, Danimarka, Almanya, Avusturya, Arjantin ve

Japonya gibi ülkelerin her birinde 100.000 m²'den fazla SSB yol inşa edilirken, Şili, Uruguay, Meksika, Kolombiya, Ekvator ve Güney Afrika gibi ülkelerde çok az veya deneme yolu SSB olarak kullanılmıştır [4, 5].

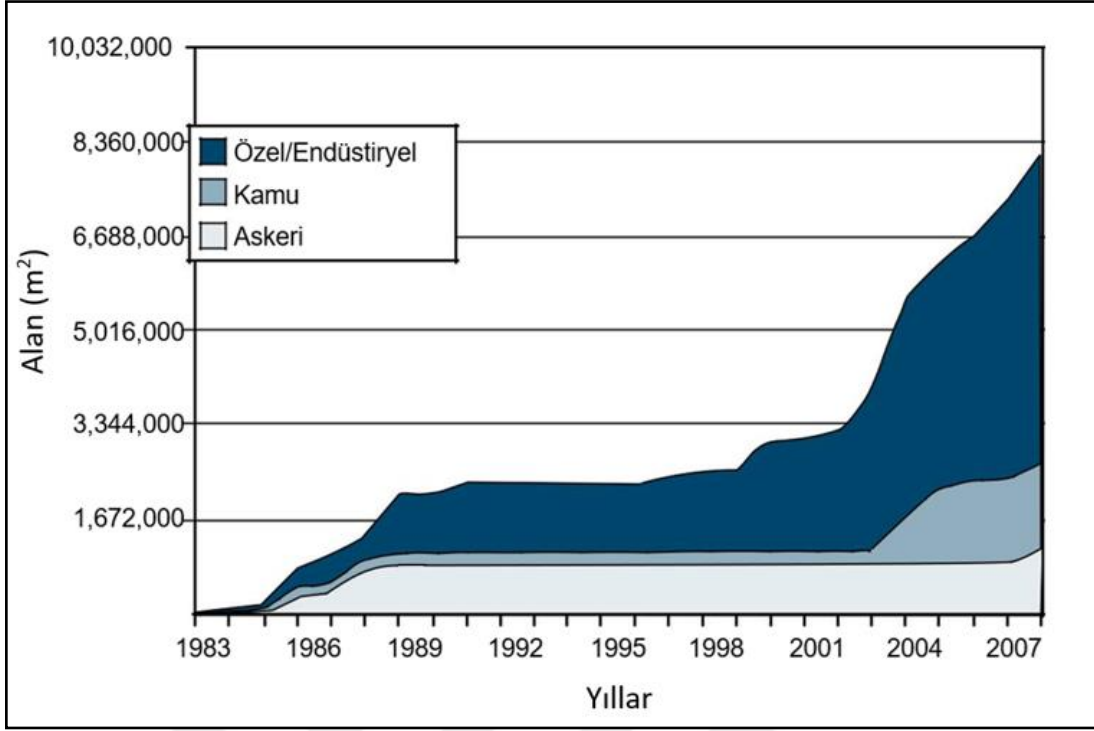
2011 yılına gelinceye kadar Amerika Birleşik Devletleri'nde inşa edilen SSB yol miktarı 12.000.000 m²'yi aşmış olup bunun idarelere ve kullanım alanlarına göre dağılımı ise Şekil 1.1'de gösterilmiştir [6].



Şekil 1. 1. Amerika Birleşik Devletleri'nde SSB yollarının dağılımı [6].

Kamu ve özel uygulamalarda SSB kullanımı, özellikle düşük hacimli yol ve araç park yerleri yapımında son yıllarda giderek artmaktadır. Bununla ilgili grafik Şekil 1.2'de gösterilmektedir [7].

SSB yol, ülkemizde ilk olarak 2009 yılında Antalya' da pilot bir uygulama olarak yapılmıştır. Daha sonra 2011 yılında Denizli, 2014 yılında Samsun ve Trabzon'da uygulanmıştır. Son zamanlarda ülkemizin birçok ilinde de uygulanmaya başlamıştır.



Şekil 1. 2. 1980'lerin başından beri artan SSB yol kullanımı [7].

1.4. SSB ile Geleneksel Beton Arasındaki Farklar

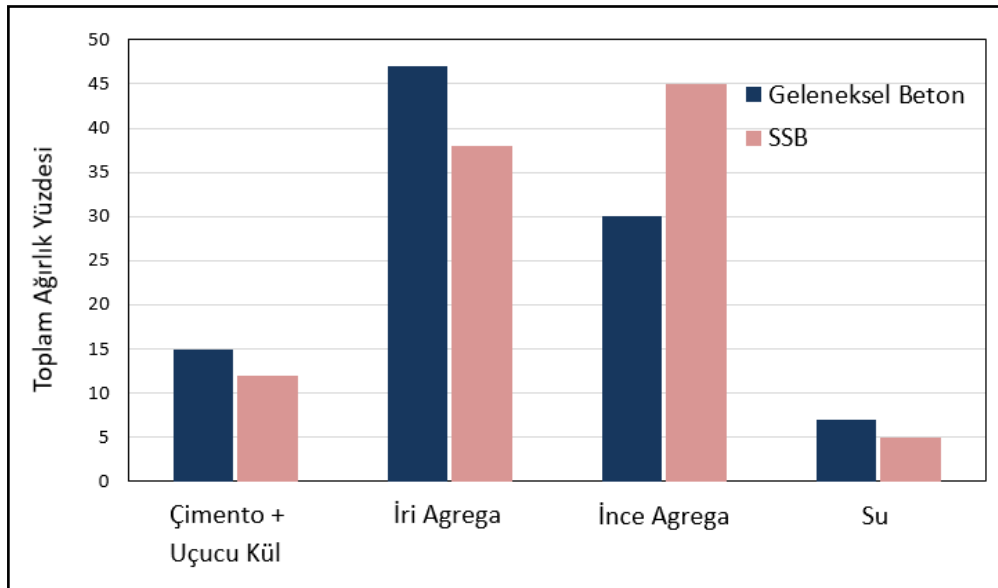
SSB yol kaplamalar ile geleneksel beton yol kaplamalar, derz aralıkları ve kalınlık tasarımı bakımından birbirine benzemektedirler. SSB, geleneksel beton yol kaplamalarıyla kıyaslandığında aynı malzeme içeriğine sahip beton karışımından oluşmaktadır. Ayrıca yerleştirme yöntemi ve tasarım parametreleri bakımından, geleneksel beton yol kaplamasından farklı bir şekilde, SSB'nin karışımı hesaplanmakta ve üretilmektedir [1].

Farklılıkların bazıları aşağıda sıralanmaktadır:

- SSB, tipik kayar kalıp beton kaplama makineleri veya titreşimli masterlarla değil asfalt tipi finişerlerle yerleştirilmektedir.
- SSB karışımlar, negatif çökmeye sahiptirler. Geleneksel beton kaplama karışımlarında çökme, yerleştirme yöntemlerine bağlı olarak 1 ila 4 inç arasında değere sahiptir.
- SSB karışımlar, geleneksel beton karışımlarından farklı tip karıştırmayı gerektirmektedirler. SSB karışımlar, en etkili olacak şekilde yatay ve çift şaftlı karışım haznelerinde sürekli veya harman şeklinde üretilmektedirler.

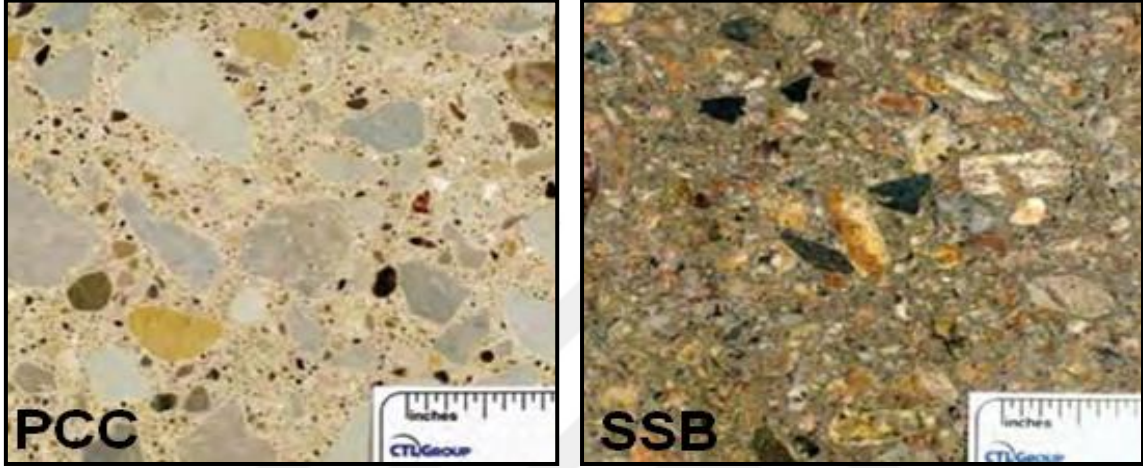
- SSB karışımlar, donma-çözünme altında sadece küçük yüzey çatlamlarına maruz kalmakta ve donma-çözünme tehlikesine karşı direnç göstermektedirler. Dolayısıyla SSB karışımlarında hava sürükleyicilerine gerek duyulmamaktadır.
- SSB’de derzlerde yük transferine yardımcı olmak için bağlantı demirleri (geçiş alanları hariç) kullanılmamaktadır. Derz çatlakları ve alt temel ara yüzü boyunca iyi bir sürtünme direnci ile birleşimdeki agrega kilitlemesi sayesinde yük transferi, uzun süreli derz/çatlak performansını garanti etmek için yeterlidir.
- Aynı şartlar altında daha düşük su/bağlayıcı malzeme oranına sahip olduğundan SSB karışımların dayanımı, geleneksel betonunkine eşit ya da daha büyük olmaktadır.
- Çok düşük çökmeye sahip olduklarından dolayı, geleneksel betona göre çok az işlenebilirliğe sahiptirler [1, 8].

SSB karışımlar Şekil 1.3’de de görüldüğü gibi, tipik olarak geleneksel beton karışımlardan daha düşük çimento malzemeleri, iri agrega ve su hacmi ile kaplama sistemindeki hava boşluklarını dolduran daha yüksek hacimli ince agregaya sahiptirler. Şekil 1.4’de görüldüğü gibi SSB’deki ince agregalar geleneksel betondakilere göre daha sıkı şekilde yoğunlaşmışlardır. Bu sıkı yoğunlaşma başlangıç olarak taneler arasında yüksek bir sürtünme sağlamak (agrega kilitlemesi) ve kaplamanın başlangıç yük taşıma kapasitesine katkıda bulunmaktadır [1].



Şekil 1. 3. Geleneksel beton ile SSB betonun tipik malzeme karşılaştırılması [1].

Şekil 1.3’de SSB’deki bağlayıcı malzeme ve suyun gerek miktar ve gerekse de oran bakımından geleneksel betonla benzer olduğu anlaşılmaktadır. Fakat agrega bakımından kıyaslandığında iri ve ince agregaların dağılım oranlarının tam tersi şekilde olduğu görülmektedir. SSB kıvamının geleneksel betonlara göre çok kuru olmasının temel sebebi ise geleneksel betonlara göre daha fazla ince agrega içeriğine sahip olmasıdır.



Şekil 1. 4. Geleneksel portland çimento betonu ile SSB betonlarının agrega dağılımlarının karşılaştırılması [1].

Şekil 1.4’deki agrega dağılımlarının farklı olmasının sebebi de yukarıda belirtildiği gibi karışımlardaki ince agrega miktarının büyük oranda farklı olmasıdır.

Bütün beton kaplamalar, mekanik (sıkıştırma) ve kimyasal (hidratasyon) süreçleri içermektedir. Geleneksel beton kaplamalar için yerleştirme işlemi, vibratörlü kaplama makineleri ile gerçekleştirilmektedir. Hidratasyon süreci boyunca çimento hamuru, agrega tanelerinin birbirine bağlanmaları için sertleşmektedir. SSB kaplamalar için sıkıştırma ise geleneksel veya yüksek yoğunluklu kaplama masterlarını takiben çelik tamburlu ve lastik tekerlekli silindirler sayesinde gerçekleştirilmektedir. Geleneksel betonda olduğu gibi çimento hamuru, SSB karışım içindeki agrega tanelerinin birbirine bağlanmaları için hidratasyon süresi boyunca sertleşir. Sonuçta geleneksel beton kaplamalarla benzer özelliklere sahip bir yoğun kaplama elde edilmektedir [1].

Yerleştirme işleminden hemen sonra, agrega tanelerinin birbirine bağlanmaları ve çimento hamurunun sertleşmesi için gerekli hidratasyonun başlamasına kadar geleneksel beton plastik durumda bulunmaktadır. Geleneksel beton kaplamalar derz kesme zamanına

veya bu zaman geçilene kadar düşük hacimli araç trafiğini kaldırmak için yeterli yük taşıma kapasitesine sahip değildir. Bunun aksine, SSB yerleştirmeyi takiben hemen sonra, düşük hacimli araç trafiğini (bir arabanın garaja giriş veya çıkışı gibi) kaldırmak için yeterli yük taşıma kapasitesine sahip olmaktadır. Bu yük taşıma kapasitesi, çevrelenmiş taneler arası sürtünmeyi (agrega kilitlemesi) oluşturan sıkıştırma sürecinden kazanılmaktadır. Fakat hem SSB’de hem de geleneksel betonda, yeterli basınç dayanımına ulaşıncaya kadar düşük hacimli araç trafikten fazlası önerilmemektedir. Tablo 1.1’de SSB’nin yapısal yeterliliği için gerekli olan minimum trafiğe açılış dayanımları verilmiştir [1, 9].

Tablo 1. 1. SSB’nin yapısal yeterliliği için minimum trafiğe açılış dayanımı [9].

Plak Kalınlığı	Toplu Trafiğe Açmak İçin Gerekli Basınç Dayanımı	
	Otomobiller	Karma Trafik
≤ 5 inç (125 mm)	1100 psi (7.6 MPa)	4000 psi (27.6 MPa)
5 – 6 inç (125 – 150 mm)		3600 psi (24.8 MPa)
6 – 7 inç (150 – 175 mm)		2500 psi (17.2 MPa)
7 – 8 inç (175 – 200 mm)		2200 psi (15.2 MPa)
> 8 inç (200 mm)		2000 (13.8 MPa)

1.5. SSB’nin Uygulama Alanları

SSB birçok yol kaplaması için ekonomik ve hızlı bir inşaat seçeneği olmaktadır. Genellikle düşük hızlı alanlarda ve ağır yük taşıyan kaplamalar için kullanılmaktadır. Fakat son zamanlarda kullanımı ticari alanlar, sokaklar ve karayollarında da artmıştır [1].

Aşağıda SSB’nin tipik kullanım alanları sıralanmıştır:

- Endüstriyel tesis erişim yolları ve park alanları
- İntermodal gemi alanları, limanlar ve yükleme rıhtımları
- Kamyon/nakliye terminalleri, kargo depolama sahaları ve dağıtım merkezleri
- Düşük hacimli kentsel ve kırsal yollar
- Hava araçları park alanları
- Kısa veya uzun vadeli askeri bölgeler, ileri veya geri hareket üsleri ve havaalanları

- Eğlence merkezleri park alanları
- Araç bakım alanları
- Büyük ticari park alanları
- Şehir parklarındaki yollar
- Ağaç kesme ve kerestecilik için yollar
- Emniyet şeritleri
- Trafiğe yön vermek için hızlı bir şekilde inşa edilmesi gereken geçici ulaşım yolları
- Servis yolları
- Barajlar
- Hızlı ve yüksek hacimli kavşaklar [1, 10]

SSB, yüksek hızlı yollarda hizmet etmek için kaplama sistemlerinde kullanılabilir. Geleneksel beton kaplama yüzeyleri için bir temel olarak veya çift katmanlı işlemlerde daha düşük katman olarak kullanılması buna örnek verilebilir. Ayrıca katmanların alt tabakası olarak da kullanılabilir [1].

1.6. SSB'nin Avantaj ve Dezavantajları

SSB yolların en önemli avantajı, gerek beton kaplamalara gerekse çok tabakalı asfalt kaplamalara kıyasla çok daha hızlı ve ekonomik olarak inşa edilebilmeleridir. SSB genellikle asfalt tipi serici ekipmanlarla, standart veya ağır masterlarla yerleştirilip sonra da silindirlerle sıkıştırılabilirlerinden dolayı, hızlı bir şekilde inşa edilebilirler. Yurtdışındaki birçok uygulama sonrasında edinilen tecrübe ışığında SSB'nin birim maliyeti, genellikle benzer bir kesitteki beton veya asfalt kaplamadan daha ucuz olmaktadır [11, 12].

Genellikle SSB kaplama karışımları geleneksel beton karışımlarından daha az çimento içermektedirler. SSB kaplamalar derz, bağlantı demiri, betonarme donatısı veya kalıp gerektirmezler. SSB kaplamalar, sıkışık programlı kaplamaların çabuk tamamlanmasına imkân sağlayarak, göreceli olarak büyük miktarlarda minimum iş gücü ve ekipmanla hızlı bir şekilde yerleştirilmektedirler. SSB kaplamalar, asfalt kaplamalardan çok daha sağlam ve dayanıklı olmaktadır. SSB kaplama ağır tekerlek yüklü uygulamalarda kullanıldığında, geleneksel portland çimento beton ve beton asfalt kaplamalarına göre önemli bir maliyet tasarrufu sağlamaktadır [13].

SSB'nin diğerk avantajları aşağıda sıralanmıştır:

- SSB'deki daha dūřuk imento hamuru, daha az būzölme sađlamakta ve būzölmeden kaynaklı gerilmelerden meydana gelen çatlakları azaltmaktadır.
- SSB, ağır sanayi, askeri ve madencilik gibi uygulamalarda göçme olmaksızın ağır ve tekrarlı yükleri taşımaya ve yüksek derecede yoğunlaşmış yük ve etkilere karşı koymaya imkân sağlayan yüksek eğilme, basınç ve kesme dayanımına sahip olacak şekilde tasarlanabilmektedir.
- SSB, dūřuk geçirimliliği sayesinde mükemmel bir dayanıklılık ve hatta donma-çözünme şartları altında kimyasal bozulmalara karşı direnç sağlamaktadır.
- SSB, hidrolik akışkan ve yakıt dökölmesine karşı oluşabilecek zararlara karşı direnç göstermektedir.
- SSB, diğer rijit kaplamalar gibi, kar zinciri ve çivili lastik kullanım durumları hariç tekerlek izlerini ve bundan kaynaklı sonraki onarımları ortadan kaldırmaktadır.
- Atık alanları, tomruk tesisleri ve tank tabanı gibi sanayi uygulamalarında, zaman ve maliyet ile ilişkili derz bakımlarını genel olarak derz kesimi gerektirmediği için ortadan kaldırmaktadır.
- SSB, sanayi alanlarında tekerlek izlerine ve kimyasallara karşı direnç sağlamaktadır.
- SSB, geleneksel beton kaplamalar gibi ağır yük altında ve yüksek trafik yoğunluğunda bile aşınmaya direnç göstermektedir.
- SSB kaplamalar, açık yüzey renginden dolayı park ve depolama alanlarındaki aydınlatma gereksinimlerini azaltmaktadır.
- Araba ve küçük kamyonlar gibi hafif araçlar, dökümün tamamlanmasından hemen sonra SSB kaplamalar üzerinde tehlikeye sebep olmayacak řekilde dūřuk hızlarda seyahat edebilmektedirler.
- SSB karışımlarda, hem doğal hem de imal edilmiş ince agregalar kullanabilmektedir.
- Asfalt kaplamalar için uygun olmayan ince agregalar, SSB'de kullanılabilir.
- Karışıma ve yüksek yoğunluklu sericilere bağlı olarak SSB, 25,4 cm (10 inç) kalınlıkta tabakalar halinde yerleştirilebilmektedir.

- SSB kaplamalar, Enerji ve Çevre Dostu Tasarımda Liderlik (LEED-Leadership in Energy and Environmental Design) için gerekli olan minimum 29 değerinden daha büyük solar yansıtma indeksine (SRI- Solar Reflectance Index) sahip olmaktadır.
- SSB'nin donma-çözünme dayanımı, hava sürükleyici kullanılmaması durumunda bile yüksek olmaktadır. SSB kaplamalar Kanada ve Kuzey Amerika gibi soğuk bölgelerde, yıllardır mükemmel donma-çözünme dayanımı göstermektedir.
- SSB kaplamalar, yüksek sıcaklıklara karşı daha iyi direnç göstermektedir [1, 10, 14].

SSB karışımların çok fazla avantaja sahip olmalarının yanı sıra kullanımında bazı dezavantajların da olduğu bilinmektedir. Örneğin, büyük miktarda SSB'nin üretimi için özel ekipman gerekmektedir. Transmikser kamyonlar SSB'yi karıştırabilirken, karıştırma zamanı geleneksel betondakinden önemli derecede daha fazla olmakta ve SSB'nin kuruluşunda dolayı transmikser kamyonlarında karıştırılan SSB miktarının da azalmasına sebep olmaktadır. Ayrıca SSB'nin yüzeyine elmaslı taşlama uygulaması yapılmadığı takdirde yüksek hızlı trafik için uygun olmamaktadır [12].

SSB'nin diğer dezavantajları aşağıda sıralanmıştır:

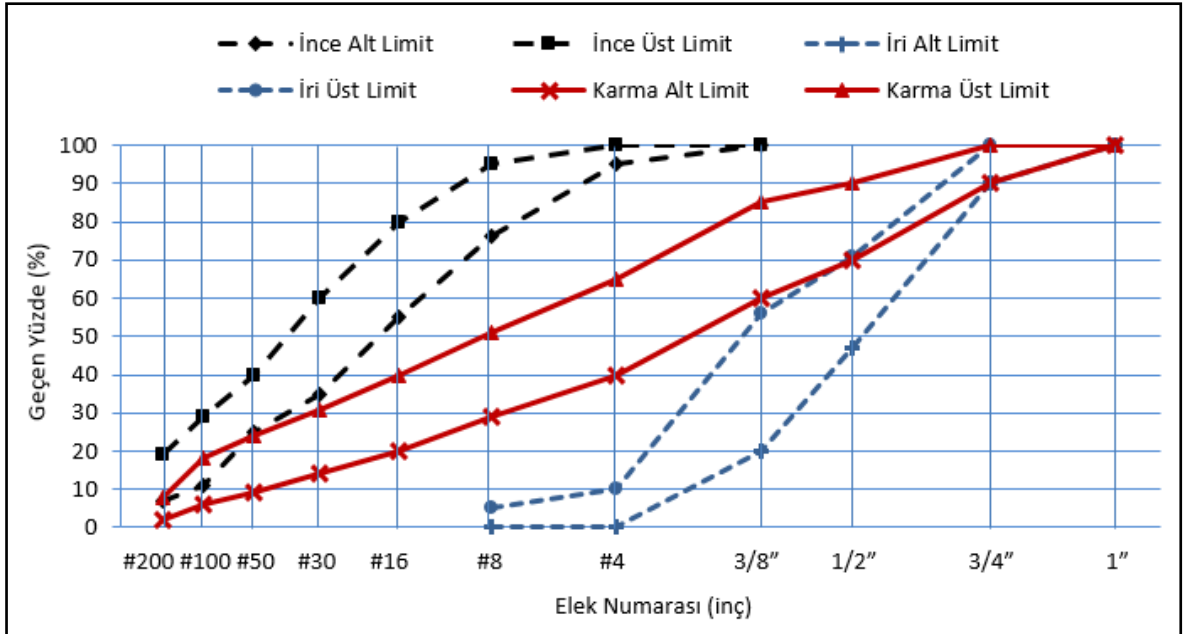
- Eğer soğuk derz yapımı planlanmamışsa iyi bir aderans sağlamak için bitişik levha ve çoklu yatay tabakaların bir saat içerisinde dökülmesi gerekmektedir.
- SSB'de kaplama kenarlarını sıkıştırmak çok zor olmaktadır.
- Karışımın kuruluşundan dolayı SSB'de katkıların kullanımı geleneksel betondan daha yüksek olmaktadır.
- Sıcak havalarda SSB kaplamalar, su kaybı ve buharlaşma ihtimalini azaltmak için ekstra dikkat gerektirmektedir.
- SSB karışımların kuru olmasından dolayı, transmikser veya hazır mikser kamyonunda karıştırılan SSB miktarı, genellikle geleneksel betondan daha az olmaktadır [1, 12].

1.7. SSB'de Kullanılan Malzemeler

1.7.1. Agregalar

Agregalar, SSB karışım hacminin %85'ini oluşturmaktadır. SSB'deki agregalar, işlenebilirlik, belirlenen yoğunluk, basınç ve eğilme dayanımı, termal özellikler, dayanıklılık ve uzun süreli performans dâhil istenen özelliklerin sağlanmasında etkili olmaktadır. Bu agregalar, geleneksel betonda kullanılanlarla aynı özellikte olabilmektedir. Ancak aynı durum aşınma direnci, alkali silika reaktifliği ve kendi dayanıklılıkları gibi olumsuz durumlar için de geçerli olduğu belirtilmektedir [15].

SSB agregalarının özellikleri, geleneksel betonda kullanılanlarla aynı olabilirken, gradasyon gereksinimleri farklı olmaktadır. Farklı gradasyon gereksinimi, SSB agregalarının serici, çelik tambur silindir ve lastik tekerlekli silindirle sıkıştırılmasına ihtiyaç duymasından ortaya çıkmaktadır. Yüksek kalitede SSB üretebilmek için hem iri hem de ince agregalar sert ve dayanıklı olmalıdır. Yoğun ve iyi derecelendirilmiş agrega karışımı en çok istenilen durumu oluşturmaktadır. Şekil 1.5'de ince ve iri agrega için gradasyon eğrileri ile birlikte önerilen karma agrega eğrileri de gösterilmektedir [1, 15].



Şekil 1. 5. İnce ve iri agrega için gradasyon eğrileri ile birlikte önerilen karma agrega eğrileri [1].

SSB kaplamalar için iri agregalar ASTM C33/AASHTO M6/M80 [16, 17] standartlarını ve maksimum nominal agrega boyutu (NMSA- Nominal Maximum Size of Aggregate) olan 19 mm (3/4 inç) koşulunu sağlamalıdır. Eğer bir aşınma tabakası kullanılıyor veya yüzey kalitesinin bir önemi yoksa daha büyük NMSA kullanılabilir. Daha küçük NMSA'lı iri agregalar segregasyonu azaltıp, kohezyonu ve sürüş kalitesini artırmaktadır. Ancak bu durum çimento tüketiminin artmasına sebep olmaktadır [15].

SSB kaplamalar için ince agregalar da ASTM C33/AASHTO M6/M80 [16, 17] standartlarını sağlamalıdır. 200 No'lu (75 µm) elekten daha ince agrega kullanımı, ince agregaların non-plastik olması koşuluyla SSB karışımlardaki ince agrega boşluklarının azalmasına yardımcı olabilmektedir [1].

1.7.2. Bağlayıcı Malzemeler

SSB karışımlar için temel çimento tipleri, karıştırılmış çimentolar ve puzolanlardan oluşmaktadır. Bağlayıcı Malzeme seçiminde sülfat etkisi, alkali silika reaktifliği ve aşınma göz önüne alınmalıdır. Tip I ve Tip II çimentolar en yaygın kullanılanlardır. Erken dayanım kazanılması gerektiği durumda Tip III ve özel zemin şartlarına sahip alanlarda da Tip V çimentolar kullanılabilir. Bağlayıcı malzemeler, ASTM C150 [18] veya ASTM C1157 [19] standartlarını sağlamalıdır [1, 15].

1.7.3. Su

SSB karışımlar için karışım suyu miktarı oldukça azaltılmışken, karışım suyu kalitesi geleneksel beton karışımlarda olduğu gibi aynı gereksinimleri karşılamalıdır. Karışım suyu miktarı genellikle 90 kg/m³ ile 120 kg/m³ arasındadır. SSB kaplama karışımlarında, suyun bağlayıcı malzemelere oranı genellikle 0,30 ve 0,45 arasındadır. Su kalitesi, ASTM C1602'de [20] belirtilen standartları sağlamalıdır [1, 21].

1.7.4. Kimyasal Katkılar

SSB karışımların kuruluşundan dolayı katkıların etkili olabilmesi için daha yüksek dozajda kullanılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Su azaltıcı, priz geciktirici, priz hızlandırıcı ve süper akışkanlaştırıcı gibi çoğunlukla geleneksel betonda kullanılan kimyasal katkıları, SSB karışımlar içine de dâhil edilebilmektedir. Beton için oluşturulan kimyasal katkı şartnamesi ASTM C94 [22] SSB için de kullanılabilir [1, 15].

1.7.5. Mineral Katkılar

Mineral katkıları SSB karışımlarda yoğun olarak kullanılmaktadır. Büyük miktarlarda mineral katkıların kullanımı hem beton sıcaklığını ve maliyetini azaltıp hem de betonun dayanıklılığını artırmaktadır. Mineral katkıların kullanımı betonun dayanıklılığını artırmakta ve özellikle uçucu kül kullanımı betonun işlenebilirliğini olumlu yönde etkilemektedir [23, 24].

Uçucu kül kullanılması durumunda, bu malzeme genellikle toplam bağlayıcı malzemenin %15 ila %20'sini oluşturmaktadır. Beton yüzeyindeki bozulmaları engellemek için, uçucu kül içeriği toplam beton hacminin %25'ini aşmamalıdır. SSB karışımlarda cüruf ve uçucu kül de kullanılabilir. Uçucu kül ve cüruf gibi silis dumanı da betonun dayanımını ve donma-çözünme dayanıklılığını artırırken ayrıca gerekli olan sıkıştırma gücünü de artırabilmektedir [1].

1.8. SSB'de Kür

SSB'ye uygulanan kür yöntemleri, geleneksel betonlara uygulanan yöntemlerle benzer olmaktadır. SSB karışımlar için kür, SSB'de suyun bağlayıcı malzemeye oranı genelde düşük olduğundan dolayı çok önemli bir süreç teşkil etmektedir. SSB'de kür işlemi, beton serilip sıkıştırıldıktan hemen sonra uygulanmalıdır. İlk yedi gün su kaybı engellenmelidir aksi halde düşük dayanım gözlemlenebilmektedir [25, 26].

Kür, SSB'nin nihai dayanım ve dayanıklılığındaki en önemli faktör olmaktadır. Kür, tasarım dayanımını geliştirerek ve sertleşmiş yüzeyin bozulması, tozlanması ve sökülmesini engelleyerek kaplamaya fayda sağlamaktadır [1].

Kür için sahada ıslak çuval bezi, plastik kaplama ve kür kimyasalı gibi birkaç yöntem kullanılmaktadır. Püskürtme kür kimyasalları, genellikle en kolay ve en hızlı olanlarıdır ve bu yüzden kaplamalar için en yaygın yöntem olmaktadır. Fakat ıslak çuval bezi ve plastik kaplama, yerleştirmeden sonra ilk 48 saat boyunca yani kürün ilk aşamalarında kullanıldığında daha iyi sonuçlar göstermektedir. Bunun sebebi olarak nem kaybına karşı daha iyi bir koruma sağlamaları olduğu düşünülmektedir [27].

1.9. Tipik SSB Karışım Örnekleri

Tablo 1.2’de Kuzey Amerika’da birçok projede kullanılan bazı tipik karışım oranları gösterilmektedir.

Tablo 1. 2. Tipik SSB karışım oranı örnekleri [1].

Referanslar/İnşaat Sahaları			Tacoma Limanı, WA İntermodal alanı	CTL Karışım	Chattanooga, TN	Brownsville, TX	Güney Carolina	Atlanta, GA 1285 Banket	Canada PCA RDI35
Bağlayıcılar	Çimento	(kg/m ³)	267	299	178	299	263	297	297 ₁
	Uçucu Kül	(kg/m ³)	59	0	89	0	0	0	0
Agregalar	Maksimum Tane Boyutu	(inç)	5/8	3/4	3/4	3/4	1	1/2	3/4
	İri Agregata	(kg/m ³)	1008	817	1252	763	1043	979	1256
	İnce Agregata	(kg/m ³)	1008	1249	983	1045	984	979	800
	İnce Taneler (No.200 geçenler)	(%)	3-7	2	3.6	2	—	—	—
Su ₂		(kg/m ³)	152	125	113	140	128	158	95
Katkılar	Su Azaltıcı ve Geciktiriciler	(lt)	—	—	0.54	—	—	0	1.23
	Hava Sürükleyiciler	(lt)	—	—	0	—	—	0	1.23
Sıkıştırma Parametreleri	Maksimum Doygun Yoğunluk	(kg/m ³)	2472	2435	—	2358	—	2407	2513
	Su/Çimento oranı	—	0.47	0.42	0.42	0.47	0.49	0.53	0.32
	Agregata/Çimento Oranı (Ağırlık)	—	6.18	6.91	8.37	6.05	7.70	6.60	9.93
	İnce Agregata/Toplam Ağırlık	(%)	50.00	60.45	43.98	57.79	48.52	50.00	38.90
Dayanım	Basınç - 3 gün	(Mpa)	12.48	37.64	35.09 ₃	21.00	24.61	26.65	—
	Basınç - 28 gün	(Mpa)	41.71	54.46	42.06	34.10	36.00	35.55	57.69
	Eğilme - 3 gün	(Mpa)	3.62	4.76	4.21 ₃	3.40	—	—	—
	Eğilme - 28 gün	(Mpa)	5.31	6.20	4.84	4.40	—	—	—
	Oran Eğilme/Basınç (28 gün)	(%)	12.73	11.39	—	12.90	—	—	—

1. %7 silis duman katkı Portland Çimento
2. Fırında kurutulmuş agregata ağırlığına göre toplam su miktarı (Canada ve Chattanooga hariç)
3. 7 günlük basınç ve eğilme dayanımı

1.10. Literatür Taraması

“Normal ve Katkılı Çimentolu Betonların Özellikleri Üzerinde Kür Metotlarının Etkisi” adlı çalışmada farklı kür metotlarının normal ve katkılı çimentolar üzerindeki etkileri incelenmiştir. Kür metodu olarak ıslak çuval bezi ile su bazlı ve akrilik bazlı olmak üzere iki farklı kür kimyasalı kullanılmıştır. Kür metotlarının beton üzerlerindeki etkileri plastik rötre, kuruma rötresi, basınç dayanımı ve ultra ses geçiş hızı ölçülerek birbirleri ile kıyaslanmıştır. Sonuçlara bakıldığında hem normal hem de katkılı çimentolu betonlarda kür kimyasallarının, plastik rötre ve kuruma rötresinin azalmasında daha etkili olduğu belirlenmiştir. Kür kimyasallarından da akrilik bazlı olanı daha iyi sonuç vermiştir. Her iki beton türünde basınç dayanımının ıslak çuval bezli kür metodunda daha yüksek olduğu belirlenmiştir. bu yöntemden sonra en iyi sonucu akrilik bazlı kür kimyasalı vermiştir. Yine her iki beton türünde de ultra ses geçiş hızının çuval bezli kür metodunda daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu yöntemi yine akrilik bazlı kür kimyasalı takip etmiştir. Sonuç olarak bu çalışma gösterdi ki; Kür kimyasalları her iki beton türünün plastik rötresine, kuruma rötresine, dayanım gelişimine ve yoğunluğuna herhangi bir olumsuz etki etmeden kullanılabilir. Bu iki kür kimyasalı incelendiğinde ise akrilik esaslı olanın su esaslı olana göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir [28].

“Betonun Korozyon Direnci ve Büzülmesi Üzerinde Kür Metotlarının Etkisi” adlı çalışmada normal portland çimento ve silis dumanlı çimento betonlarının korozyon direnci ve büzülme üzerindeki kür etkisi incelenmiştir. Numunelere ıslak çuval bezi, su, akrilik, bitüm bazlı ve kömür katranlı epoksi kür kimyasalı ile plastik çarşaf olmak üzere altı farklı kür yöntemi uygulandı. Bu kür metotlarının beton üzerlerindeki etkileri plastik rötre, kuruma rötresi ve korozyon direnci ölçülerek değerlendirildi. Kür kimyasalı ile kür edilen beton numunelerdeki plastik büzülme gerilmelerinin, plastik çarşaf ile kür edilen numunelerdeki gerilmelerden daha az olduğu belirlenmiştir. Minimum plastik büzülme gerilmesi bitüm bazlı kür kimyasalı ile kür edilen numunelerde kaydedilmiştir. Islak çuval bezi ile kür edilen beton numunelerdeki kuruma büzülmesi gerilmelerinin, kimyasal kür ile kür edilen numunelerdeki gerilmelerden genellikle daha fazla olduğu belirlenmiştir. Minimum kuruma büzülmesi gerilmesi kömür katranlı epoksi kaplama ile kür edilen numunelerde ölçülmüştür. Kür kimyasalı ile kür edilen hem normal portland çimento hem de silis dumanlı çimento beton numunelerdeki donatı korozyon oranı, ıslak çuval bezi ile kür edilenlerden daha azdır. Kür kimyasalları arasında ise bitüm bazlı kür kimyasalı ile

kömür katranlı epoksi kaplamanın performansı diğer kür kimyasallarından daha iyidir. Kür kimyasalı uygulamaları büzülme gerilmelerini ve donatı korozyonunu azaltır, dolayısıyla yapının ömrünü uzatır [29].

“Betonun Mikroyapısı ve Özellikleri Üzerinde Kür Kimyasallarının Etkisi” adlı çalışmada betonun mekanik özellik, durabilite ve mikroyapısı üzerinde seçilen dört farklı kür kimyasalının (akrilik bazlı, parafin bazlı, silikat bazlı ve kompozit bazlı) etkisi incelenmiştir. Bu etki betonun basınç ve eğilme dayanımı, kuruma rötresi, geçirimsizlik ve çatlak direncinin ölçülmesiyle değerlendirildi. Sonuçlar gösterdi ki, kür kimyasalı çekme-eğilme dayanımını ve geçirimsizliği artırırken, kuruma rötresi ve çatlakları azalttı. Genelde kompozit ve akrilik bazlı kür kimyasalının, parafin ve silikat bazlı kür kimyasallarından daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Aynı zamanda mikroyapı test sonuçlarından, kür kimyasalının hidratasyonu kompakt ve homojen yapı şeklinde desteklediği anlaşılmıştır [30].

“Sıcak Hava Koşullarında Betonun Durabilite ve Dayanım Üzerinde Kür Metotlarının Etkisi” adlı çalışmada normal portland çimento ve silis dumanlı çimento betonlarının mekanik özellikleri üzerinde kür metotlarının etkisi incelenmiştir. Hazırlanan plak ve kiriş numuneler, ıslak çuval bezi ile su, akrilik, bitüm bazlı ve kömür katranlı epoksi kür ile kür edilmiştir. Her iki beton için seçilen kür metodunun etkisi, betonun basınç dayanımı, su emmesi ve klorür geçirgenliği ölçülmesiyle değerlendirilmiştir. Maksimum basınç dayanımı, bitüm bazlı kür kimyasalı ile kür edilen beton numunelerinde belirlenmiştir. Minimum su emme, bitüm bazlı kür kimyasalı ile kür edilen beton numunelerde görülmüştür. Yine klorür geçirgenlik performansında da en iyi sonucu bitüm bazlı kür kimyasalı vermiştir. Sonuç olarak numunelerin dayanımında kür metotlarından kaynaklanan önemli bir değişim belirlenmemesine rağmen, durabilitenin üzerinde kayda değer etkilerin görüldüğü gözlemlenmiştir. Bitüm bazlı kür kimyasalı ile kür edilen beton numuneler en iyi performansı göstermiştir. Bitüm bazlı kür kimyasalını sırasıyla kömür katranlı epoksi, akrilik bazlı ve su bazlı kür kimyasalı takip etmiştir [31].

“Geri dönüşümlü agreganın kullanımının silindirle sıkıştırılabilen beton özelliklerine etkisi” adlı çalışmada geri dönüşmüş agreganın (GDA) silindirle sıkıştırılmış betonda kullanılmıştır. Bu amaçla 150, 200 ve 250 kg/m³ çimento dozajına sahip ve kireç taşı esaslı iri agreganın yerine ağırlıkça % 0, % 25, % 50, % 75 ve % 100 oranlarında geri dönüşüm agregası (GDA) kullanılarak 15 farklı SSB karışımı hazırlanmıştır. Üretilen SSB karışımlarının mekanik özellikleri, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve darbe

direnci araştırılmıştır. Dayanıklılık özellikleri ise su emme, kılcal su emme, basınçlı su altında su işleme derinliği, donma çözülme ve yüzeysel aşınma deneyleri uygulanarak belirlenmiştir. Deneylelerden elde edilen sonuçlara göre karışımların mekanik ve dayanıklılık özellikleri GDA ikame oranının artışıyla olumsuz olarak etkilenmiştir. Ancak, %25 oranına kadar GDA kullanımının mekanik özellikleri belirgin oranda etkilemediği tespit edilmiştir. GDA kullanımının olumsuz etkisi, çimento dozajının artmasıyla birlikte azalmıştır [32].

“Silindirle sıkıştırılmış beton yol: Kocaeli İlinde bir durum çalışması” adlı çalışmada ilk aşamada SSB karışımında ağırlıkça %15-20 oranlarında RAP (Geri Dönüşümlü Asfalt Agregası) kullanımının betonun mekanik performansı üzerindeki görelî etkileri incelenmiş, RAP'nin iyi derecelendirilmesi durumunda betonun dayanım ve dayanıklılık özelliklerinde bir azalma gerçekleşse bile, yol üstyapı kaplaması için uygun performans düzeylerinin elde edilebileceği görülmüştür. İkinci bölümde, ilk aşamada özellikleri belirlenen kontrol karışımı ile 2,2 km uzunluğunda bir test yolu yapılmış ve tahribatlı yöntemlerle numuneler alınarak, laboratuvarıda üretilenler ile karşılaştırmalı bir analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, araziden alınan numunelerin laboratuvarıda üretilenlerden düşük dayanım gösterdikleri, daha yüksek aşınma ve geçirimsizlik özelliklerinin olduğu Ultrasonik Ses Dalgası Hızı, basınç ve yarmada çekme dayanımı, kılcallık, yoğunluk, su emme, porozite ve aşınma deneyleri ile tespit edilmiştir. Basınç dayanımındaki farklılık %19-32 aralığında iken, yarmada çekme dayanımında bu fark %9,5-30 olarak saptanmıştır. En büyük farklılık %280-307 ile kılcallık deneyinde gözlenmiştir. İki farklı yöntemle elde edilen numunelerde değişkenliklerin oluşmasında, sıkıştırma tekniği, kür koşulları ve tek seferde sıkıştırılan malzeme hacminin farklı olmasının etkili olduğu anlaşılmıştır. Son olarak yapılan bir ekonomik değerlendirmede 43,6 TL/m² ile SSB yolun ilk yapım maliyetinin asfalt yoldan %39,4 daha ekonomik olduğu, yaşam döngüsü maliyeti ile bu oranın %46'ya çıktığı belirlenmiştir [33].

“Uçucu küllü silindirle sıkıştırılmış betonlarda dayanıklılık” adlı çalışmada maksimum agrega çapı 25 mm olan, bağlayıcı olarak sadece portland çimentosu içeren kontrol örneğine ek olarak farklı oranlarda çimento veya agrega yerine uçucu kül içeren SSB'ler maksimum yoğunluk metoduna göre tasarlanmıştır. Üretilen kontrol karışımının çimento dozajı 250 kg/m³ olup, bir seri karışımında çimento yerine ağırlıkça %20, %40, %60 oranlarında, bir diğer seride ise ek bağlayıcı olarak agrega yerine çimento ağırlığınca %20, %40, %60 oranlarında uçucu kül kullanılmıştır. Farklı su/bağlayıcı oranlarında (0.30, 0.35,

0.40 ve 0.45) toplam 25 karışım hazırlanmıştır. Bunlar arasından optimum su muhtevasına sahip 7 karışım seçilerek devamındaki deneylerde kullanılmıştır. Deneysel çalışma iki aşamalı olup birinci aşamada basınç, yarmada çekme, eğilme dayanımı gibi mekanik özellikler belirlenmiş, ikinci aşamada ise su emme, boşluk oranı, geçirgenlik ve donma-çözünme direnci gibi dayanıklılık özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, uçucu külün çimento yerine kullanıldığı karışımlarda, uçucu kül miktarı arttıkça dayanım değerlerinde düşüşler ve durabilite özelliklerinde olumsuzluklar gözlenmiştir. Uçucu külün ek bağlayıcı olarak kullanılmasıyla üretilen SSB'lerin hem taze hem de sertleşmiş haldeki özelliklerinde iyileşmeler görülmüştür [34].

“Doğal puzolan içeren silindirle sıkıştırılmış betonun buhar kürü uygulanarak uzun vadedeki dayanımının tahmin edilmesi” adlı çalışmada iki tip çimento, iki tip doğal puzolan, çeşitli gradasyonlara sahip agrega grupları ve bir tip su azaltıcı kimyasal katkı kullanılmıştır. Deney malzemelerinin kimyasal ve fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Bunlara ek olarak, SSB'nin uzun vadedeki basınç dayanımını erken yaşta tespit edebilmek amacı ile araştırma numunelerine buhar kürü uygulanmıştır. Buhar kürü uygulanan ve uygulanmayan numunelerin erken yaştaki basınç dayanımları arasındaki farklar incelenmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, su azaltıcı katkı kullanımının SSB'nin basınç dayanımını geliştirdiğini göstermiştir. Bunun yanında, SSB'de bağlayıcı malzeme miktarı çok az olduğu için, ince malzemelerin kullanımı istenen sonuçların elde edilebilmesi için çok önemlidir. Buhar kürü uygulanarak, betonda erken yaşlarda uzun vadedeki basınç dayanımı belirlenmektedir. CEM I portland çimentosu kullanılarak oluşturulan betonlarda buhar kürü uygulanması beklenen sonuçları vermiştir. Ancak, CEM IV çimentosu kullanılarak oluşturulan betonlarda aynı davranış gözlenmemiştir [35].

“Silindirle sıkıştırılmış farklı lif oranları ile güçlendirilmiş beton yolların mekanik ve durabilite özelliklerinin incelenmesi” adlı çalışmada yol kaplamaları için üretilen silindir ile sıkıştırılmış betonunda (SSB) polipropilen lif ve su/çimento oranını azaltmak için betonda yüksek oranda su azaltıcı süper akışkanlaştırıcı beton katkısı "BFS" kullanımının SSB özelliklerine etkisi incelenmiştir. Maksimum agrega çapı 13 mm olan, bağlayıcı olarak sadece portland çimentosu içeren kontrol örneğine ek olarak farklı oranlarda Çimento ağırlığının % 1, % 1,5 ve % 2 oranda polipropilen lif ve bir sonraki seride çimento ağırlığının % 1 ve % 2 oranında BFS kullanılmıştır. İki farklı su/çimento oranında (0,53 ve 0,42) toplam 150/150/150mm küp numunelerinden 144 karışım hazırlanmıştır. Hazırlanan örnekler 20 °C ± 2 'de su içerisinde 7 ve 28 gün kür edilmiştir.

Kür edilen örnekler üzerine; tek eksenli basınç, donma çözünme ve aşınma deneyi yapılmıştır. Sonuç olarak üretilen SSB örneklerinin uygun şekilde sıkıştırılması sağlanmıştır. Polipropilen lif eklenmesinin basınç, donma çözünme ve aşınma dayanımına olumlu etki yapmıştır. Fakat su muhtevasının artmasına neden olmuştur. Bununla birlikte propilen lif oranının optimum değerini geçmesi durumunda dayanım üzerine olumsuz etkiye sahip olmuştur [36].



2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

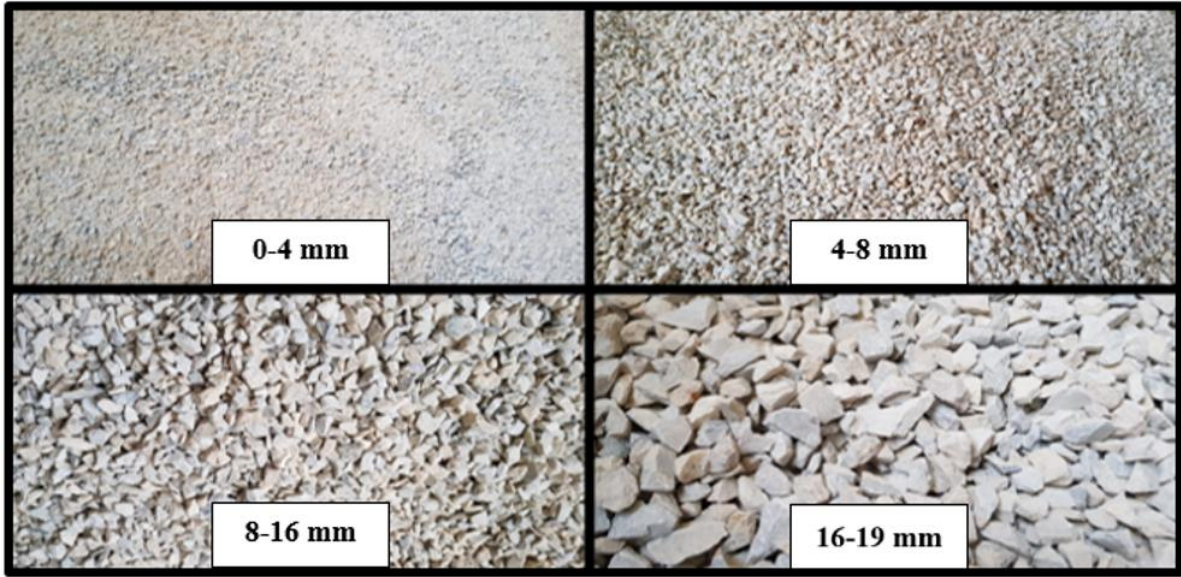
Bu bölümde, çalışmadaki beton karışımlarında kullanılan malzemelerin miktarları, kimyasal ve fiziksel özellikleri ile beton numunelerin elde edilmesinde kullanılan deney aletleri hakkında bilgi verilmektedir. Ayrıca çalışmada yürütülen deneyler ve bu deneylerin nasıl yapıldıkları, yine bu kısımda anlatılmaktadır.

Bu tez çalışmasında kimyasal kür, çuval bezi, membran ve su olmak üzere dört farklı kür çeşidinin SSB'nin mekanik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda standartlara uygun olarak bir karışım oluşturulmuştur. Karışımın optimum su muhtevası, zemin sıkıştırma yöntemiyle elde edilmiş ve buna göre karışımın malzeme miktarları belirlenmiştir. Üretilen karışıma, dökümden 15, 30, 60 dk. ve hemen sonra olmak üzere dört farklı zaman periyodunda kür uygulanmış ve SSB karışımının bazı mekanik özellikleri deneysel olarak incelenmiştir.

2.1. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

2.1.1. Agregalar

Deneylerde kullanılan agregalar, kırma kireçtaşı agregası olup maksimum 19 mm dane çapına sahiptir. Agregalarda tane boyut aralıkları 0-4 mm, 4-8 mm, 8-16 mm ve 16-19 mm olarak seçilmiş ve agregaların tane dağılımı elek analizi deneyi ile belirlenmiştir. Karışımda kullanılan agregalar Şekil 2.1'de gösterilmiştir.

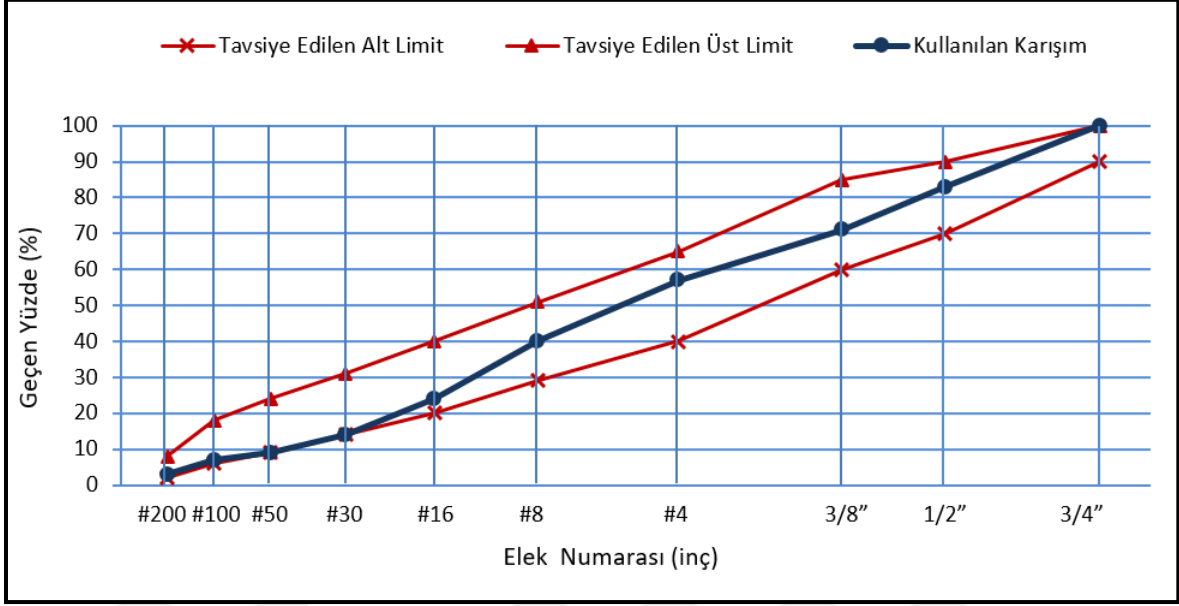


Şekil 2. 1. Karışımda kullanılan agregalar

Karışımda kullanılan agregaların özgül ağırlık ve su emme kapasitesi, ASTM C127 [37] ve ASTM C128 [38] standartlarına göre belirlenmiştir. Buna göre. 0–4 mm, 4–8 mm, 8–16 mm ve 16-19 mm çapında olan agregaların DYK özgül ağırlığı sırasıyla 2.598, 2.678, 2.680 ve 2.688 gr/cm³, ince ve iri agreganın su emme kapasiteleri ise % 1,4 ve % 0,8'dir. Karışımda kullanılan agreganın elek analizi sonuçları Tablo 2.1'de bunlara ait granülometri eğrileri ise Şekil 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2. 1. Beton karışımında kullanılan agreganın elek analiz sonucu

Elek Açıklığı (mm)	Elekten Geçen (%)					Standart Aralık
	0-4 mm	4-8 mm	8-16 mm	16-19 mm	Karışım	
19,000	100	100	100	100	100	90-100
12,500	100	100	91	1,5	83	70-100
9,500	100	100	42	0	71	60-80
4,750	100	42	0,1	0	57	40-65
2,360	72	8	0	0	40	30-52
1,180	44	0,5	0	0	24	20-40
0,600	25	0	0	0	14	14-31
0,300	16	0	0	0	9	8-22
0,150	12	0	0	0	7	6-18
0,075	6	0	0	0	3	2-8



Şekil 2. 2. SSB karışımının agrega granülometri eğrisi

2.1.2. Su ve Çimento

İçme suyu şebekelerinden alınan suyun, ASTM C1602 [20] standardındaki istenilen özellikleri sağladığı kabul edildiğinden dolayı karışımlarda Erzincan şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

Deneylerde kullanılan çimento ASTM C150'ye [18] göre uygun olarak üretilen CEM I 42,5R çimento türüdür. Erzincan Aşkale Çimento Fabrikası tarafından üretilen çimentonun fabrikadan temin edilen fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 2.2 ve Tablo 2.3'de verilmiştir. Çimentonun taze olarak kullanılması ve uygun bir ortamda muhafaza edilmesine dikkat edilmiştir.

Tablo 2.2. Deneylerde kullanılan çimentonun kimyasal özellikleri

Kimyasal Analiz	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Cl	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	K.K
Analiz Sonuçları (%)	20,33	5,35	3,15	62,11	1,50	0,02	3,30	0,65	0,95	2,01

Tablo 2.3. Deneylerde kullanılan çimentonun fiziksel özellikleri

Özgül ağırlık gr/cm ³		3,11
Priz süresi	İlk (dk.)	155
	Son (dk.)	220
İncelik	Özgül yüzey cm ² /gr	3450
	0,040 mm elek kalıntı (%)	12,15
	0,090 mm elek kalıntı (%)	0,85
Basınç dayanımı (MPa) 7 günlük		39,02
Basınç dayanımı (MPa) 28 günlük		46,21

2.1.3. Kür Malzemeleri

Çalışmada SSB'ye döküm sonrasında dört farklı kür yöntemi uygulanmıştır. Bu kapsamda kür kimyasalı, çuval bezi (jüt), membran ve su malzemeleri kullanılmıştır.

Kür kimyasalı malzemesi olarak akrilik bazlı kür kimyasalı seçilmiştir. Çalışmada Şekil 2.3'de gösterilen ASTM C309'a [39] uygun olarak akrilik bazlı kür kimyasalı kullanılmış olup fiziksel özellikleri Tablo 2.4'de verilmiştir.



Şekil 2. 3. Deneylerde kullanılan kür kimyasalı

Tablo 2. 4. Kür kimyasalının fiziksel özellikleri

Renk	Beyaz
Kıvam	Sıvı
Uygulama Sonrası Görünüm	Şeffaf film
Sıvı Yoğunluğu	0,992-1,032 kg/lt, 20 ⁰ C'de
Sarfiyat	250 gr/m ²
Parlama Noktası	Yok

Membran malzemesi olarak, ASTM C171'e [40] uygun şeffaf renkte 1 mm kalınlıkta plastik bir örtü kullanılmıştır. Çuval bezi olarak da ASTM C171'e [40] uygun Şekil 2.4'de gösterilen 6'lık olarak adlandırılan (200 gr/m²) ve 2-3 mm açıklığında gözeneklere sahip olan malzeme kullanılmıştır.



Şekil 2. 4. Deneylerde kullanılan çuval bezi

2.2. Optimum Su Muhtevasının Belirlenmesi

SSB'nin kıvamının çok kuru olmasından dolayı maksimum yoğunluk elde edebilmede sıkıştırılabilirlik çok önemlidir. Sıkıştırılabilirliği en çok etkileyen parametre, karışımdaki su muhtevasıdır. SSB'nin su muhtevası-yoğunluk ilişkisini belirleyebilmek için, sıkıştırma yöntemi olarak Modifiye Proktor Deneyi (ASTM D1557) [41] ve Sarsma Tablası Kullanılarak SSB'nin Yoğunluk ve Kıvamının Belirlenmesi için Standart Test Metodu (ASTM C1170) [42] olmak üzere iki farklı yöntem kullanılabilir.

Bu çalışmada karışımın optimum su muhtevası belirlenirken Modifiye Proktor Deneyi (ASTM D1557) [41] uygulanmıştır. Deney kapsamında Şekil 2.5’de gösterilen modifiye proktor deney aleti kullanılmıştır. 15,25 cm çapında, 12,80 cm yüksekliğinde modifiye proktor kalıbı kullanılmış karışım 5 tabaka şeklinde yerleştirilerek 4,5 kg ağırlıktaki tokmak ile her tabakada 56 defa olmak üzere sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir.

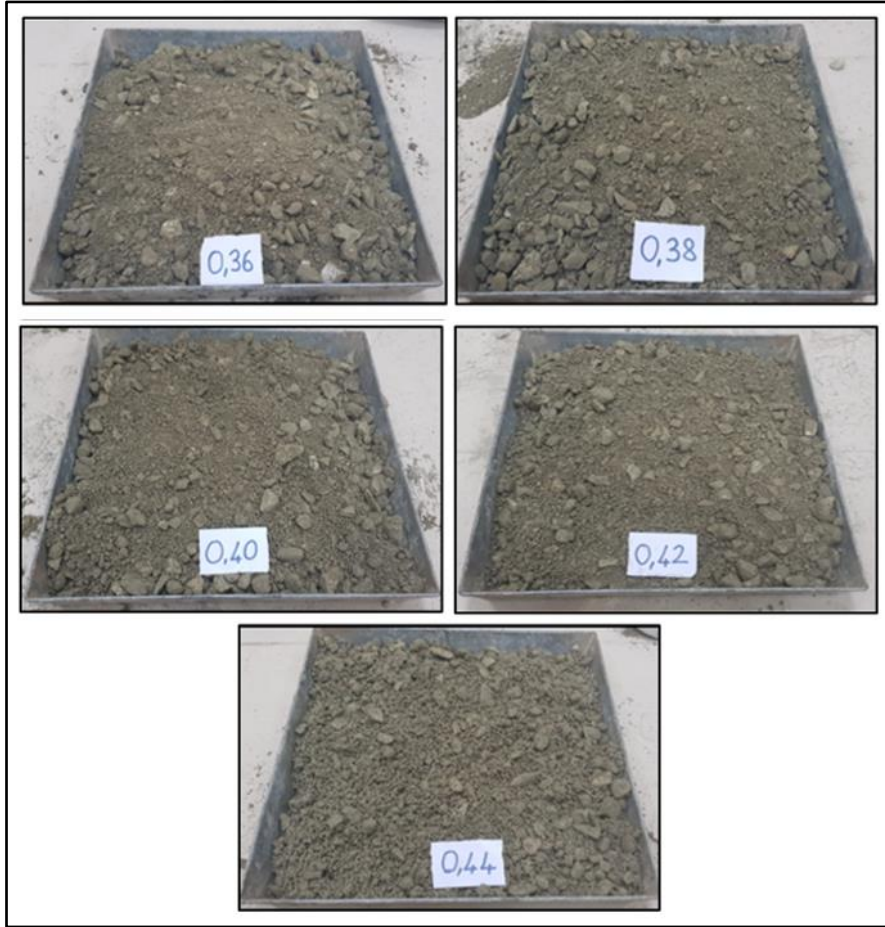


Şekil 2. 5. Modifiye proktor deney aleti ve testi

Sıkıştırma işlemi sonunda su muhtevasını belirlemek için sıkıştırılmış malzeme tartılmıştır. Daha sonra sıkıştırılmış malzemeden 2000 gr örnek alınarak Şekil 2.6’daki gibi $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ’ de etüvde numune sabit ağırlığa ulaşana kadar bekletilmiş ve kuru birim hacim ağırlığı elde edilmiştir. Deney belirli bir su muhtevasına sahip karışım ile başlatılmış ve belirli oranda su muhtevası artırılarak Şekil 2.7’de gösterilen 5 farklı su/çimento oranına sahip karışım elde etmek için deneye devam edilmiştir.



Şekil 2. 6. Örnek numunelerin tartılması ve etüvde kurutulması



Şekil 2. 7. Aynı gradasyon ve malzeme özelliklerinde farklı su muhtevalarına sahip karışımlar

Her bir karışımın su muhtevası ve kuru birim ağırlık değerleri aşağıdaki bağıntılar yardımıyla hesaplanmıştır. Elde edilen değerler Tablo 2.5’ de gösterilmiş ve Şekil 2.8’ deki gibi su muhtevası-yoğunluk ilişkisini gösteren bir grafik elde edilmiştir. Grafiğe göre maksimum kuru birim ağırlığa karşılık gelen su muhtevası optimum su muhtevası olarak belirlenmiştir.

Sıkıştırılmış numunenin yaş birim hacim ağırlığı her karışım için aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

$$p_m = \frac{M_1 - M_2}{V} \quad (2.1)$$

p_m : Sıkıştırılmış numunenin yaş birim ağırlığı, kg/m^3

M_1 : Yaş numune ve kalıbın ağırlığı, kg

M_2 : Kalıbın ağırlığı, kg

V : Kalıbın hacmi, m^3

Sıkıştırılmış numunenin kuru birim hacim ağırlığı her karışım için aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

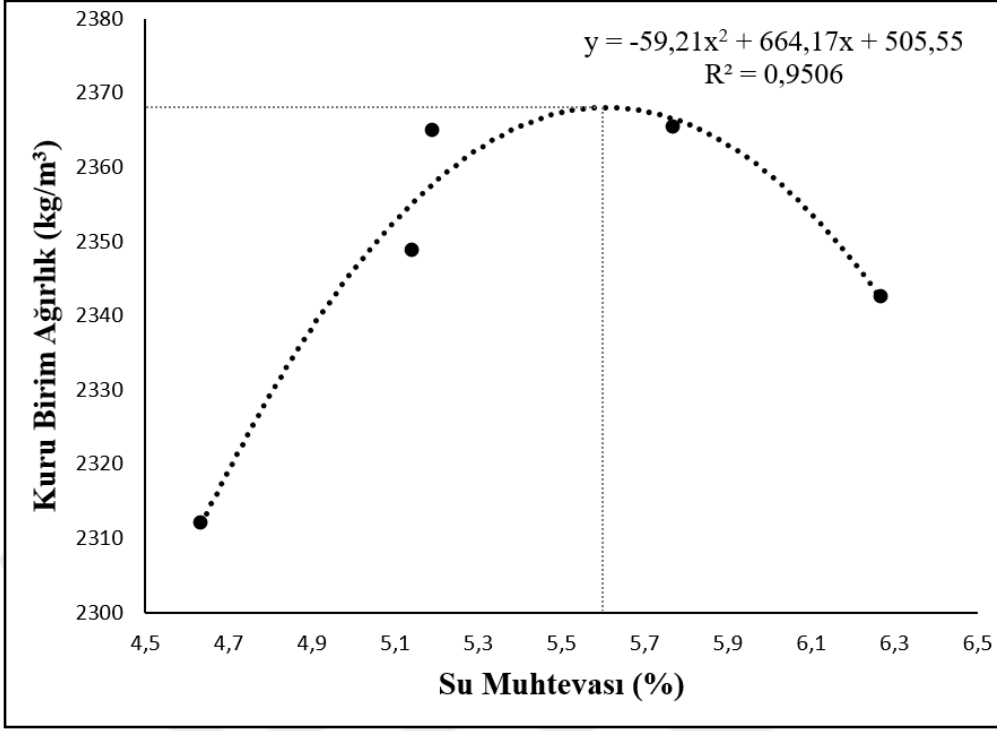
$$p_d = \frac{p_m}{1 + w} \quad (2.2)$$

p_d : Sıkıştırılmış numunenin kuru birim ağırlığı, kg/m^3

w : Su muhtevası, %

Tablo 2. 5. Her bir karışıma ait su muhtevası ve kuru birim ağırlık değerleri

Karışımlar	S/Ç	Su Muhtevası (%)	Yaş Birim Ağırlık (kg/m^3)	Kuru Birim Ağırlık (kg/m^3)
Karışım 1	0,36	4,63	2419,14	2311,97
Karışım 2	0,38	5,14	2469,52	2348,76
Karışım 3	0,40	5,19	2487,71	2364,94
Karışım 4	0,42	5,76	2501,76	2365,29
Karışım 5	0,44	6,26	2489,38	2342,50



Şekil 2. 8. Karışıma ait su muhtevası – maksimum kuru birim ağırlık ilişkisi

2.3. Karışım Hesabı ve Kodlama

Elde edilen optimum su muhtevasına göre karışımın su/çimento oranı belirlenerek malzeme oranları aşağıdaki gibi seçilmiş ve Tablo 2.6'da 1 m³ SSB karışımı için kullanılan malzeme miktarları gösterilmiştir.

$$S/C = 0,41 \quad \text{Çimento} = 350 \text{ kg} \rightarrow \quad Su = 143,5 \text{ kg}$$

$$\gamma_{\text{çimento}} = 3100 \text{ kg/m}^3 \quad \rightarrow \quad V_{\text{çimento}} = 350/3100 = 0,113 \text{ m}^3$$

$$\gamma_{su} = 1000 \text{ kg/m}^3 \quad \rightarrow \quad V_{su} = 143,5/1000 = 0,1435 \text{ m}^3$$

$$V_{hava} = \%1 = 0,01 \text{ m}^3$$

$$V_{agrega} = 1 - (0,113 - 0,1435 - 0,01) = 0,734 \text{ m}^3$$

Agrega dağılımı;

%55 → 0-4 mm, %5 → 4-8 mm, %25 → 8-16 mm, %15 → 16-19 mm

$$V_{0-4} = 0,55 * 0,734 = 0,404m^3 \quad W_{0-4} = 0,404 * 2598 = 1049,6 \text{ kg}$$

$$V_{4-8} = 0,05 * 0,734 = 0,037m^3 \quad W_{0-4} = 0,037 * 2678 = 99,08 \text{ kg}$$

$$V_{8-16} = 0,25 * 0,734 = 0,183 \quad W_{0-4} = 0,183 * 2680 = 490,44 \text{ kg}$$

$$V_{16-19} = 0,15 * 0,734 = 0,11m^3 \quad W_{0-4} = 0,11 * 2688 = 295,7 \text{ kg}$$

S : Karışımdaki Su miktarı
 \mathcal{C} : Karışımdaki Çimento miktarı
 γ : Özgül Ağırlık
 V : Hacim
 W : Ağırlık

Tablo 2. 6. 1 m³ SSB karışımı için kullanılan malzeme miktarları

Çimento (kg)	Su (kg)	Agregalar (kg)				S/Ç Oranı
		0-4 mm	4-8 mm	8-16 mm	16-24 mm	
350	143,5	1049,6	99,8	490,44	295,7	0,41

Çalışmada kür çeşidi ve uygulama zamanının SSB üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda dört farklı kür malzemesi seçilmiştir. Bunlar; kimyasal kür, çuval bezi, membran ve sudur. Uygulama zamanı olarak ise üretilen karışıma dökümden 15, 30, 60 dk. ve hemen sonra olmak üzere dört farklı zaman periyodunda kür uygulanmıştır. Adlandırmada kür çeşidi ve uygulama zamanını belirtmek amacıyla harf ve sayıdan oluşan bir kodlama kullanılmıştır. Kodlama sisteminde harfler kür çeşidini ifade etmesi için kür çeşidinin ilk harfini simgelerken, sayılar ise beton dökümünden sonra kür uygulama zamanını dk. cinsinden simgelemektedir. Buna ek olarak herhangi bir kür uygulanmayan N ile ve referans karışımı

ise R ile kodlanmıştır. Kür çeşitlerinin simgesi ve örnek bir kodlama aşağıdaki şekilde yapılmıştır.

M → Membran
Ç → Çuval bezi
K → Kimyasal Kür
S → Su
N → Kür uygulanmayan
R → Referans

Numune adı **M60;**

M harfi kür adının İlk harfini (membran), **60** sayısı da kürün beton dökümünden ne kadar sonra uygulandığını (dk. cinsinden) ifade etmektedir. Yani M60, döküldükten 60 dk. sonra membran kürünün uygulandığı numuneyi temsil eder.

Çalışmada dökümden sonra kür uygulama süresinin en son 60 dk. olarak alınmasının sebebi, bu süreden sonra saha uygulama tecrübelerine dayanarak yüzeyde hızlı bir şekilde rötreye çatlaklarının oluşmaya başlamasıdır. Bu yüzden çalışmada numunelere 60 dakikadan sonra kür işlemi uygulanmamıştır.

2.4. Deney Numunelerinin Hazırlanması

SSB karışımının üretimi, 50 dm³ kapasiteye sahip düşey eksenli pan tipi beton mikserde yapılmıştır. Miksere önce agregalar eklenmiş olup karışım homojen olarak dengelenerek karıştırılmıştır. Daha sonra karışımı bağlayıcı malzeme olarak kullanılan çimento eklenmiş ve karıştırılmaya devam edilmiştir. Son olarak karışıma karma suyu eklenerek karışımın uygun kıvama gelmesi sağlanmıştır.

Numunelerdeki nem kaybının sadece kür uygulanan yüzeylerden gerçekleşmesini sağlamak amacıyla kalıpların bütün yüzeyleri dış ortamdan Şekil 2.9'daki gibi izole edilmiştir. Basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı ve schmidt geri sıçrama (schmidt sertliği) sertliğinin tayini deneyleri ve ağırlık kaybı tayini için 150x300 mm boyutlarında silindirik numuneler, eğilme dayanımı, ultrases geçiş hızı ve schmidt geri sıçrama (schmidt sertliği) sertliğinin deneyleri için 100x100x400 mm boyutlarında kiriş numuneler hazırlanmıştır.



Şekil 2. 9. Numune kalıplarının dış ortamdaki silikon ve membran ile izole edilmesi

SSB' nin yerleştirilmesinde, normal betondan farklı olarak betonun çok kuru kıvamlı olmasından dolayı farklı bir sıkıştırma işlemi gerekmektedir. Bu işlemin gerçekleştirilebilmesi için ASTM C 1435 [43] standardına uygun titreşimli tokmak ve sıkıştırma plakası kullanılmıştır. Standarda göre titreşimli tokmağın minimum $10 \pm 0,2$ kg ağırlıkta olması, 900 W giriş gücüne sahip olması ve 2000 tepki/dk. verebilmesi gerekmektedir. Sıkıştırma plakasının da çapının 140 ± 3 mm ve ağırlığının $3 \pm 0,1$ kg olması gerekmektedir. Bu çalışmada Şekil 2.10'da gösterilen HITACHI marka titreşimli tokmak ve sıkıştırma işleminde titreşimli tokmak ucuna numune boyutlarına uygun yaptırılan sıkıştırma plakaları kullanılmıştır.



Şekil 2. 10. Deneylerde kullanılan titreşimli tokmak

150x300 mm boyutlarındaki silindir numunelerin dökümü ASTM C 1435 [43] standardına uygun olarak, sıkıştırıldığında silindir kalıbının üçte birine denk gelecek şekilde, üç tabaka halinde Şekil 2.11'deki gibi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. 11. Silindir numunelerin sıkıştırılması

Sıkıştırma işleminde kullanılan sıkıştırma plakası Şekil 2.12’de gösterilmiştir. Sıkıştırma işleminin süresi maksimum 20 sn. geçmeyecek şekilde, karışım sıkıştırma plakasının etrafında Şekil 2.13’deki gibi halka biçiminde şekil oluşturduğunda sıkıştırma işlemi durdurulmuş ve diğer tabakalara geçilmiştir.



Şekil 2. 12. Silindir numunelerin sıkıştırma işleminde kullanılan sıkıştırma plakası

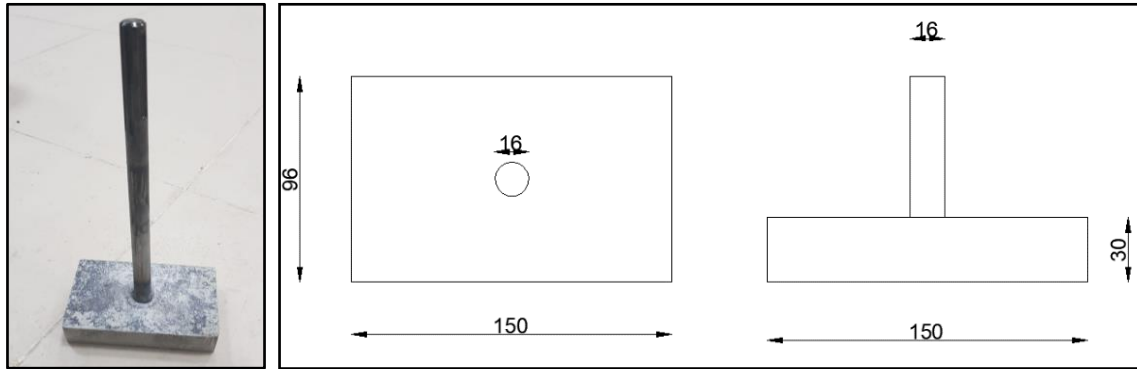


Şekil 2. 13. Sıkıştırma plakası üzerinde halka biçiminde şekil oluşması

100x100x400 mm boyutlarındaki kiriş numunelerin dökümü iki tabaka halinde Şekil 2.14'deki gibi 20 sn. geçmeyecek şekilde gerçekleştirilmiştir. Sıkıştırma işleminde kullanılan sıkıştırma plakası Şekil 2.15'de gösterilmiştir.



Şekil 2. 14. Kiriş numunelerin sıkıştırılması



Şekil 2. 15. Kiriş numunelerinin sıkıştırma işleminde kullanılan sıkıştırma plakası

Daha sonra dış çevre ortamının ve ekstrem şartların oluşmasının sağlanması ve kür etkisinin iyi bir şekilde gözlemlenebilmesi için laboratuvar ortamı ısıtılarak 30 ± 1 °C sıcaklık sağlanmış ve vantilatörler yardımıyla $2 \pm 0,5$ m/sn hıza sahip yapay rüzgar oluşturulmuştur. Bu işlemler sonucunda $\% 35 \pm 3$ bağıl neme sahip bir ortam elde edilmiş ve hazırlanan SSB numuneler bu ortamda kür edilerek deney zamanına kadar bekletilmiştir.

2.5. Numunelere Kür Uygulanması

Çalışma kapsamında numunelere, 7 gün boyunca dört farklı kür yöntemi uygulanmıştır. Kimyasal kür, çuval bezi ve membran kürleri dökümden sonra 15, 30, 60 dk. ve hemen sonra olmak üzere dört farklı zaman periyodunda uygulanmıştır. Bu kapsamda her parametreyi temsil için 3' er numune olmak üzere toplam 36 silindir ve 36 kiriş numuneye kür uygulanmıştır. Su kürü, dökümden 30 ve 60 dk. olmak üzere iki farklı zaman periyodunda uygulanmış ve her parametreyi temsil için 3 er numune olmak üzere toplam 6 silindir ve 6 kiriş numuneye kür uygulanmıştır. 3 silindir ve 3 kiriş numuneye kür uygulanmamıştır. Son olarak referans kabul edilen 3 silindir ve 3 kiriş numune, kür havuzunda kür edilmiştir. Numunelere uygulanan kürler Şekil 2.16'da gösterilmiştir.



Şekil 2. 16. Numunelere kür uygulanması

Kimyasal kür, numunelere 1 defa uygulandıktan sonra yaklaşık 7 gün boyunca bu şekilde bekletilmiştir. Yüzeğe uygulanan kimyasal kürün yüksek sıcaklık ve rüzgar altında çok kısa sürede kurumasiyla yüzeyde kılcal çatlakların oluştuğu gözlemlenmiştir. Yüzeğe

uygulanan kimyasal kürün 1 saat içerisinde buharlaşarak ağırlığının %90'ını kaybettiği belirlenmiştir. Çuval bezi küründe, çuval bezi ıslatılarak uygulanmış ve 3 saatte kurduğundan dolayı her kurumadan sonra tekrar tekrar ıslatılarak 7 gün boyunca küre devam edilmiştir. Membran küründe, plastik örtü numunelerin üzerine serilerek numuneler dış ortamdan izole edilmiştir. Yine bu kür de 7 gün boyunca uygulanmıştır. Su küründe ise numunelerin üzerinde bir su göleti oluşturularak kür işlemi yapılmıştır. Suyun tamamen buharlaşmamasına dikkat edilerek ara ara su takviyesi yapılmıştır.

Referans numuneler, diğerlerinden farklı olarak üzerlerine betonla temas etmeyecek şekilde nemli bez örtülerek, 24 saat boyunca kalıpta ve hava sirkülasyonsuz ortamda bekletildikten sonra kalıptan çıkartılarak deney zamanına kadar 21 ± 2 °C sıcaklıktaki kür havuzunda muhafaza edilmiştir.

2.6. Yapılan Deneyler ve Ölçümler

Bu çalışmada uygulanan deneylerin standartları ve yapıları ile yapılan ölçümler aşağıda anlatılmıştır.

2.6.1. Tek Eksenli Basınç Deneyi

150x300 mm boyutundaki silindir numunelere ASTM C39 [44] standardına uygun olarak tek eksenli basınç deneyi uygulanmıştır. Tek eksenli basınç deneyinin uygulanması amacıyla, her bir parametre için 3 adet olmak üzere toplam 48 adet silindir numune üretilmiştir. Deney sırasında numunelere uygulanan basıncın yüzeylere eşit olarak dağıtılması için her bir numunenin alt ve üst kısımlarına Şekil 2.17'deki gibi kükürt başlıklar yapılmıştır. Çalışma kapsamında üretilen tüm karışımlara farklı kür uygulanarak 7 günlük basınç dayanımları belirlenmiştir. Deney, Şekil 2.18'de gösterilen 2000 kN yük kapasiteli ve 0.05 MPa/sn yükleme hızına sahip cihazda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. 17. Silindir numunelere kükürt başlıklar yapımı



Şekil 2. 18. Tek eksenli basınç deneyi cihazı

Çalışma kapsamında, belirlenen en uygun kür yöntemine göre SSB'nin trafiğe açılma süresinin tespit edilmesi için 150x300 mm boyutundaki silindir numunelere de ASTM C39 [44] standardına uygun olarak tek eksenli basınç deneyi uygulanmıştır. SSB'nin trafiğe açılması için gerekli dayanımı ne zaman kazandığını belirlemek amacıyla hazırlanan her bir saat için 3'er adet olmak üzere toplam 15 numune 2, 4, 6, 8 ve 10. saatlerde tek eksenli basınç deneyine tabi tutulmuştur.

2.6.2. Eğilme Deneyi

100x100x400 mm boyutlarındaki kiriş numunelere ASTM C78 [45] standardına uygun olarak eğilme deneyi uygulanmıştır. Eğilme deneyinin uygulamak amacıyla, her bir parametre için 3 adet olmak üzere toplam 48 adet kiriş numune üretilmiştir. Çalışma kapsamında üretilen tüm karışımlara farklı kür uygulanarak 7 günlük eğilme dayanımları belirlenmiştir. Deney, Şekil 2.19’da gösterilen 3000 kN yük kapasiteli ve 0.05 MPa/sn yükleme hızına sahip cihazda, numunelerin iki mesnet arasına ortalanıp numunelere iki eşit yük uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Numunelerin eğilme dayanımı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır.



Şekil 2. 19. Eğilme deneyi cihazı

$$f_{ct} = \frac{F \cdot L}{d_1 \cdot d_2^2} \quad (2.3)$$

f_{ct} : Eğilme dayanımı (MPa)

F : Kırılma anındaki en büyük yük (N)

L : Mesnetler arası mesafe (mm)

d_1, d_2 : Numune enkesit boyutları (mm)

2.6.3. Beton Ağırlık Kaybı Tayini

Her bir parametre için 3 adet olmak üzere toplam 48 adet üretilen 150x300 mm boyutundaki silindir numunelerin zamanla ağırlık kaybı değişimi incelenmiştir. Bu kapsamda bütün numunelerin 15 dk., 30 dk., 1 sa, 2 sa, 4 sa, 8 sa, 1 gün, 2 gün, 3 gün ve 7 gün zaman periyotlarında ağırlıklarının belirlenmesi için 0,1 gr hassasiyete sahip 30 kg kapasiteli Şekil 2.20'deki hassas terazi kullanılmıştır.



Şekil 2. 20. Numunelerin hassas terazide tartılması

2.6.4. Ultrases Geçiş Hızı Deneyi

Ultrases Geçiş Hızı Deneyi, ASTM C597 [46] standardına uygun şekilde 7 günlük 100x100x400 mm boyutlarındaki kiriş ve 150x300 mm boyutunda silindir olmak üzere toplam 96 numuneye Şekil 2.21'deki gibi uygulanmıştır.



Şekil 2. 21. Ultrases geçiş hızı deneyi ve deney aleti

Deney, ultrasonik test cihazının betona verici prob yardımıyla ses dalgaları göndererek bu ses dalgalarının bir alıcı prob tarafından algılanması sürecine dayanır. Probların pürüzlü yüzeylere düzgün temasını ultrasonik jel ile sağlayıp, dalgaların vericiden alıcıya geçiş süresi (μs) ölçülerek aşağıdaki bağlantı yardımıyla ultrases geçiş hızı hesaplanmıştır.

$$V = \frac{L}{t} \quad (2.4)$$

V : Ultrases geçiş hızı (km/sn)

L : Problar arası mesafe (km)

t : Ultrases geçiş süresi (sn)

2.6.5. Schmidt Geri Sıçrama (Schmidt Sertliği) Sertliğinin Tayini

Schmidt geri sıçrama (schmidt sertliği) sertliğinin tayini ASTM C805 [47] standardına uygun olarak yapılmıştır. Deneyde, Şekil 2.22’de gösterilen 0.225 kgm darbe enerjisine sahip N tipi schmidt çekici kullanılmıştır.

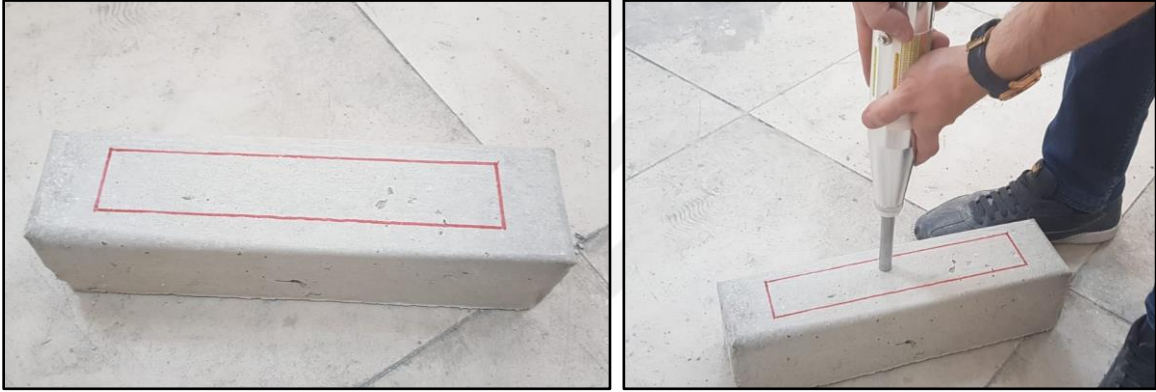


Şekil 2. 22. Schmidt ekici

Schmidt çekici ile her bir parametre için 3 adet olmak üzere üretilen 48 silindir numuneden 12 adet st yüzey, 12 adet alt yüzey ve 12 adet de yan yüzey olmak üzere Şekil 2.23’deki gibi toplam 1728 okuma gerçekleştirilmiştir. Yine her bir parametre için 3 adet olmak üzere üretilen 48 kiriş numuneden 12 adet st yüzey, 12 adet alt yüzey ve 12 adet de yan yüzey olmak üzere Şekil 2.24’deki gibi toplam 1728 okuma gerçekleştirilmiştir. Yüzeylerden yapılan okumalardan en büyük ve en küçük olanları dâhil edilmeyerek ortalama schmidt geri sıçrama (schmidt sertliği) sertlikleri belirlenmiştir.



Şekil 2. 23. Silindir numunelerde schmidt geri sıçrama (schmidt sertliği) sertliğinin tayini



Şekil 2. 24. Kiriş numunelerde schmidt geri sıçrama (schmidt sertliği) sertliğinin tayini

3. BULGULAR VE İRDELEME

3.1. Tek Eksenli Basınç Deneyi Sonuçları

Bölüm 2.3’de verilen karışım oranlarına göre hazırlanan ve dört farklı kür çeşidinin farklı zamanlarında uyguladığı 150x300 mm boyutundaki toplam 48 adet silindir numune üzerine yapılan 7 günlük tek eksenli basınç deneyi sonuçları Tablo 3.1 ve Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 3. 1. 7 günlük numunelerin basınç dayanımları

Numune Kodu	Basınç Dayanımları (MPa)	Numune Kodu	Basınç Dayanımları (MPa)
K0	34,16	M0	36,90
K15	34,05	M15	34,53
K30	36,94	M30	38,07
K60	34,87	M60	36,18
Ç0	36,51	S30	37,03
Ç15	36,64	S60	40,07
Ç30	35,41	R	40,96
Ç60	34,72	N	29,89

Adlandırmada kür çeşidi ve uygulama zamanını belirtmek amacıyla harf ve sayıdan oluşan bir kodlama kullanılmıştır. Kodlama sisteminde harfler kür çeşidini ifade etmesi için kür çeşidinin ilk harfini simgelerken, sayılar ise beton dökümünden sonra kür uygulama zamanını dk. cinsinden simgelemektedir. Buna ek olarak herhangi bir kür uygulanmayan N ile ve referans karışımı ise R ile kodlanmıştır. Kür çeşitlerinin simgesi ve örnek bir kodlama aşağıdaki şekilde yapılmıştır.

M → Membran

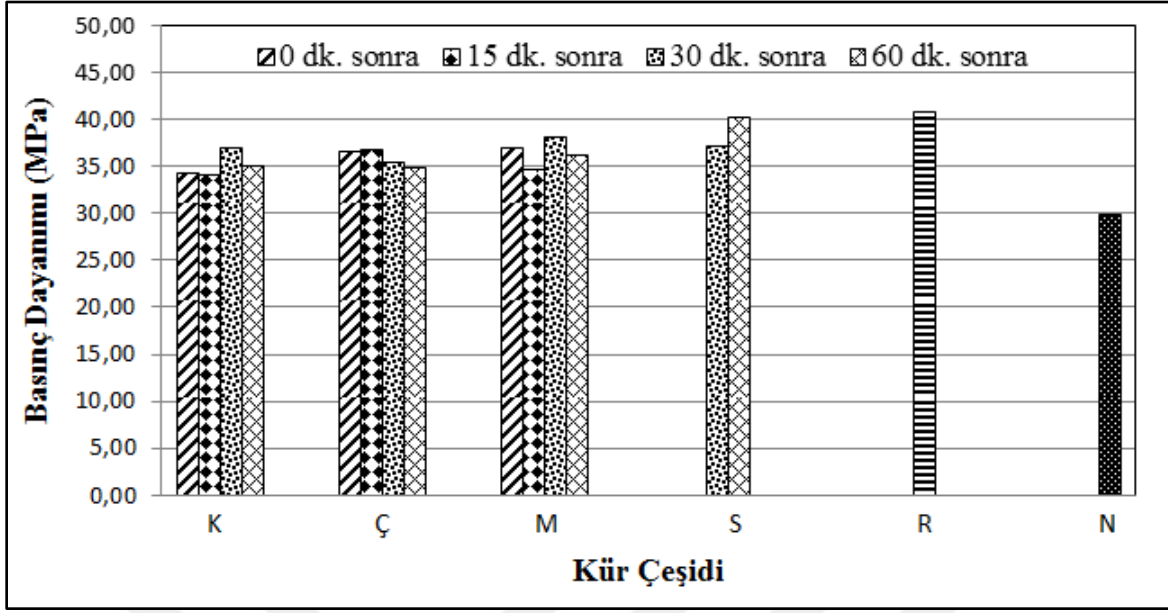
S → Su

Ç → Çuval bezi

N → Kür uygulanmayan

K → Kimyasal Kür

R → Referans



Şekil 3. 1. 7 günlük numunelerin basınç dayanımları

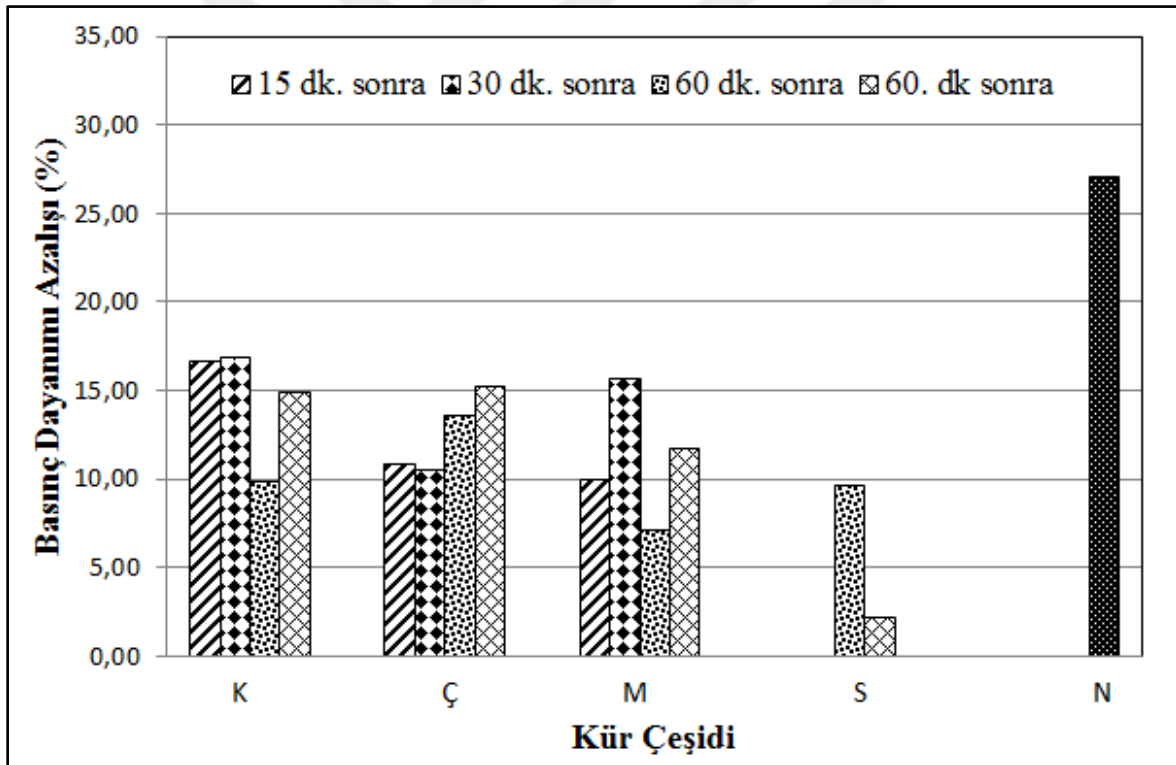
Tüm numuneler arasında minimum basınç dayanımına sahip seri, herhangi bir kür işlemi uygulanmamış numuneleri temsil eden N serisi numuneler olarak belirlenmiştir. Kür uygulanmayan N serisi numunelerin 7 günlük basınç dayanımları, referans numuneler ile kıyaslandığında basınç dayanımlarının yaklaşık % 27 daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Buradan geleneksel betonda olduğu gibi kür işleminin, SSB'nin basınç dayanımı üzerindeki etkisinin de çok fazla olduğu anlaşılmaktadır.

Kür uygulanan numuneler, kür çeşidi ve uygulama zamanları bakımından karşılaştırıldığında ise en iyi basınç dayanımı, dökümden 60 dk. sonra su kürü uygulanmış numuneleri temsil eden S60 serisi numunelerde gözlemlenmiştir. Kür çeşidi bakımından en iyi sonucun gözlemlendiği su kürünü sırasıyla membran kürü, çuval bezi kürü ve kimyasal kür takip etmiştir. Kimyasal kürün iyi sonuç vermemesinin sebebi olarak rüzgâr ve sıcaklık altında yüzeyden kısa sürede buharlaşarak kılcal çatlakların oluşması ve böylece etkisini yitirmesi olarak gösterilebilir.

Referans numuneler dikkate alındığında, kür çeşidi ve kür uygulama zamanı ile basınç dayanımındaki azalış değerleri Tablo 3.2 ve Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Basınç dayanımlarındaki azalış değerleri, referans numunelerin dayanımları ile diğer numune dayanımları arasındaki farkın alınmasıyla elde edilerek, farkın referans numunelerin dayanıma oranının 100 ile çarpılmasıyla da yüzde (%) basınç dayanımı azalışı elde edilir.

Tablo 3. 2. 7 günlük numunelerin referans numunelere göre basınç dayanımı azalışları

Numune Kodu	Basınç Dayanımı Azalışı (MPa)	Basınç Dayanımı Azalışı (%)	Numune Kodu	Basınç Dayanımı Azalışı (MPa)	Basınç Dayanımı Azalışı (%)
K0	6,80	16,59	M0	4,06	9,92
K15	6,91	16,86	M15	6,43	15,69
K30	4,02	9,81	M30	2,89	7,06
K60	6,09	14,88	M60	4,78	11,68
Ç0	4,45	10,86	S30	3,93	9,60
Ç15	4,32	10,56	S60	0,89	2,18
Ç30	5,55	13,55	N	11,07	27,02
Ç60	6,24	15,23			



Şekil 3. 2. 7 günlük numunelerin referans numunelere göre basınç dayanımı azalış yüzdeleri

Referans numunelere göre kıyaslandığında en fazla dayanım azalışı kür uygulanmayan numunelerde meydana gelmiştir. En az dayanım azalışı ise 60 dk. sonra su kürü uygulanan S60 serili numunelerde gözlemlenmiştir.

Şekil 3.1'e göre kür uygulama zamanının basınç dayanımı üzerindeki etkisi incelendiğinde, uygulama zamanına göre basınç dayanımı arasında genel bir kuvvetli ilişki tespit edilememiştir. Dökümden hemen sonra kür uygulanan numunelerde daha yüksek bir dayanım beklenirken, dökümden sonraki kür uygulama süresi arttıkça dayanımda azalmaya sebep olması bekleniyordu. Ancak bu sadece çuval bezi kürü uygulanan numunelerde gözlemlenirken, diğer numunelerde çok belirgin olmamıştır. Su kürü uygulanan numunelerde ise tam tersi bir durum gözlemlenmiştir. 30 dk. sonra su kürü uygulanan numunelerdeki dayanım 60 dk. sonra su kürü uygulanan numunelerin dayanımından daha düşük çıkmıştır. Bunun sebebi olarak arazide de gözlemlendiği gibi taze SSB'ye uygulanan su küründe SSB'nin bütün suyu emmesi gösterebilir. Su kürünün erken uygulanması taze betondaki su içeriğini artırarak dayanımı düşürdüğü düşünülmektedir. Ayrıca laboratuvar ortamlarında uygulanan su kürü sonucunda, 30 dk. sonra su kürü uygulanan numunelerin yüzeylerindeki göletlerde oluşan çimento tabakasının, 60 dk. sonra su kürü uygulanan numunelere göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Normal ve Katkılı Çimentolu Betonların Özellikleri Üzerinde Kür Metotlarının Etkisi adlı çalışmada sonuçlara bakıldığında geleneksel betonun basınç dayanımının ıslak çuval bezli kür metodunda daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu yöntemi akrilik bazlı kür kimyasalı takip ettiği tespit edilmiştir [1]. Yapılan bu çalışmada ise en iyi sonuç su küründe elde edilmiştir.

Sıcak Hava Koşullarında Betonun Durabilite ve Dayanım Üzerinde Kür Metotlarının Etkisi adlı çalışmada normal portland çimento ve silis dumanlı çimento betonlarının mekanik özellikleri üzerinde kür metotlarının etkisi incelendiğinde, her iki beton için en iyi basınç dayanımı bitüm bazlı kimyasal kür uygulanan numunelerde gözlemlenmiştir [4].

Bu çalışmanın sonuçlardan anlaşılacağı üzere basınç dayanımı için en iyi sonuç su kürü yöntemiyle elde edilmiştir. Uygulama zamanı olarak dökümden 60 dk. sonra olan zaman diliminde en iyi sonuçlara ulaşılmıştır. Fakat genel olarak karşılaştırıldığında kürün dökümden hemen sonra ile dökümden 60 dk. sonra uygulanması arasında basınç dayanımı bakımından önemli bir farkın olmadığı gözlemlenmiştir. Beton dökümünden sonra uygulama

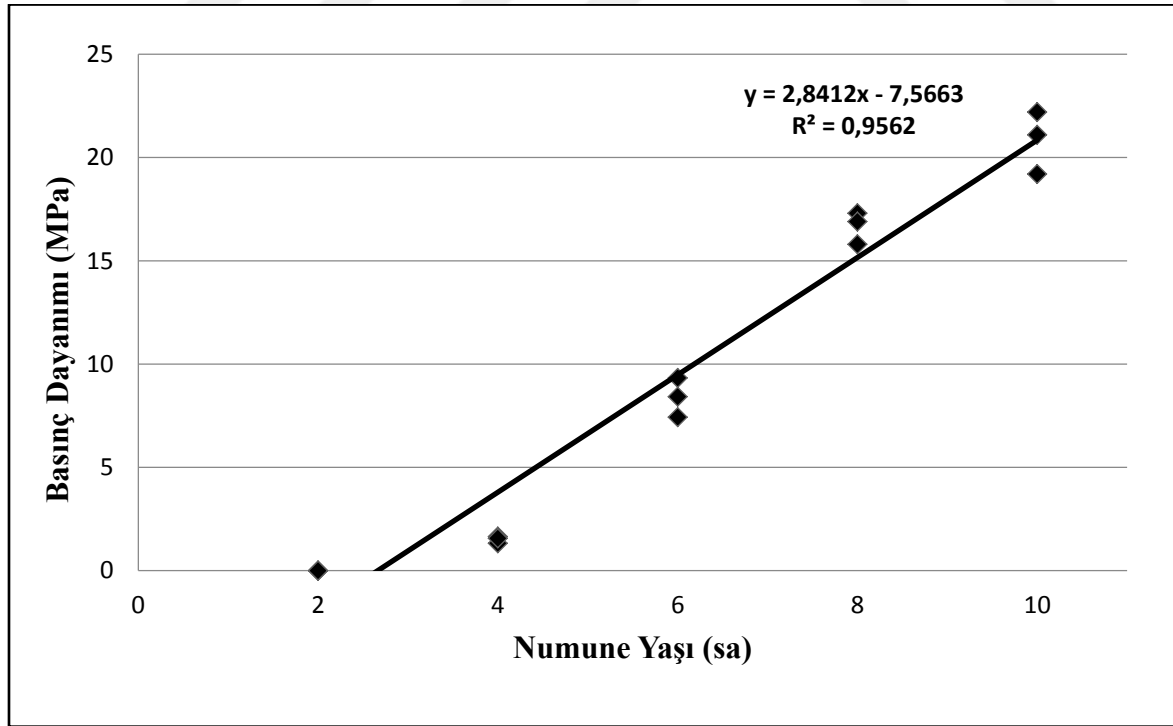
zaman farkının dayanıma etkisinin en fazla olduğu kür yöntemi ise su küründe tespit edilmiştir.

Daha önce yapılan çalışmalarda basınç dayanımının en iyi sonuç verdiği kür çeşitleri kimyasal kürler iken bu çalışmada en iyi değerler su kürü ile sağlanmıştır. Sonuçların farklı olmalarının sebebi, kullanılan malzeme çeşidi, kür uygulama yöntemi ve zamanı ile kalıpların izole edilip edilmemesi olarak gösterilebilir.

Tek eksenli basınç deneyi sonuçlarına göre en iyi sonucun elde edildiği dökümden 60 dk. sonra uygulanan su kürü, trafiğe açılma dayanımını belirlemek amacıyla 15 numune üzerine uygulanmış ve 2, 4, 6, 8 ve 10. saatlerdeki tek eksenli basınç deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonuçları Tablo 3.3 ve Şekil 3.3’de gösterilmiştir.

Tablo 3. 3. Numunelerin saatlik basınç dayanımları

Numune Yaşı (sa)	2	4	6	8	10
Basınç Dayanımları (MPa)	–	1,51	8,39	16,67	20,83



Şekil 3. 3. Saatlik numunelerin basınç dayanımları

Yukarıda verilen değerlerden anlaşılacağı üzere, dökümden 2 saat sonra tek eksenli basınç deneyine tabi tutulan numuneler priz alma işlemlerinin tamamlamadıkları dolayısıyla gerekli dayanımları kazanamadıkları için Şekil 3.4'deki gibi kırılmış olup için kırım sonrası veri alınamamıştır. İlk basınç dayanımı verileri 4. saatten sonra alınabilmektedir.



Şekil 3. 4. 2 saatlik numunelerin kırılma şekli

SSB'nin yapısal yeterliliği için minimum trafiğe açılış dayanımı otomobiller için minimum 7,6 MPa (1100 psi) iken, karma trafik için bu değer dökülen plakanın kalınlığına göre değişmekle beraber minimum 13,8 MPa (2000 psi) olarak belirlenmiştir [9].

SSB, yerleştirmeden hemen sonra hafif araç trafiğini taşıma kapasitesine sahiptir. Bu taşıma kapasitesi, kuru kıvamda bulunan ve agregalar arası kenetlenmeyi sağlayan sıkıştırma sürecindeki kaynaklanmaktadır. Fakat SSB'nin genellikle 13,8 – 17,24 Mpa (2000 – 2500 psi) olan yeterli dayanımına ulaşana kadar ağır trafiğe açılması önerilmez [48].

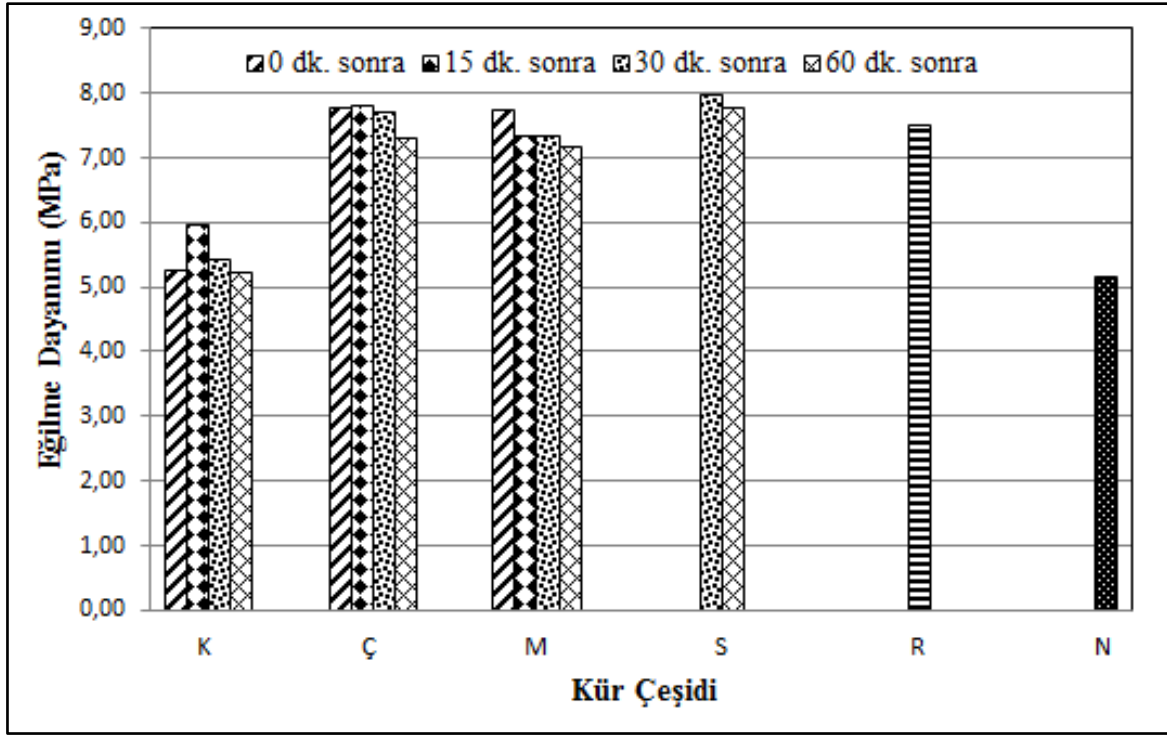
SSB'nin ilk saatlerde priz almamasına rağmen hafif araç trafiğine açılabilmesi bünyesindeki agregaların birbirleriyle kenetlenmesiyle sağlanırken ilk saatlerden sonra betonun priz işleminin yavaş yavaş tamamlanmasıyla taşıma gücü artık SSB tarafından sağlanmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre dökümden 60 dk. sonra su ile kür edilen SSB yollar hafif araç trafiğine 5 saat sonra açılabilirken, ağır araç trafiğine açılması için yaklaşık 7 saat beklenerek gerekli dayanımın kazanılması sağlanmalıdır.

3.2. Eğilme Deneyi Sonuçları

Bölüm 2.3’de verilen karışım oranlarına göre hazırlanan ve dört farklı kür çeşidinin farklı zamanlarında uyguladığı 100x100x400 mm boyutundaki toplam 48 adet kiriş numune üzerine yapılan 7 günlük eğilme dayanımı deneyi sonuçları Tablo 3.4 ve Şekil 3.5’de gösterilmiştir.

Tablo 3. 4. 7 günlük numunelerin eğilme dayanımları

Numune Kodu	Eğilme Dayanımları (MPa)	Numune Kodu	Eğilme Dayanımları (MPa)
K0	5,27	M0	7,75
K15	5,98	M15	7,33
K30	5,43	M30	7,33
K60	5,24	M60	7,16
Ç0	7,77	S30	7,99
Ç15	7,81	S60	7,79
Ç30	7,72	R	7,50
Ç60	7,29	N	5,18



Şekil 3. 5. 7 günlük numunelerin eğilme dayanımları

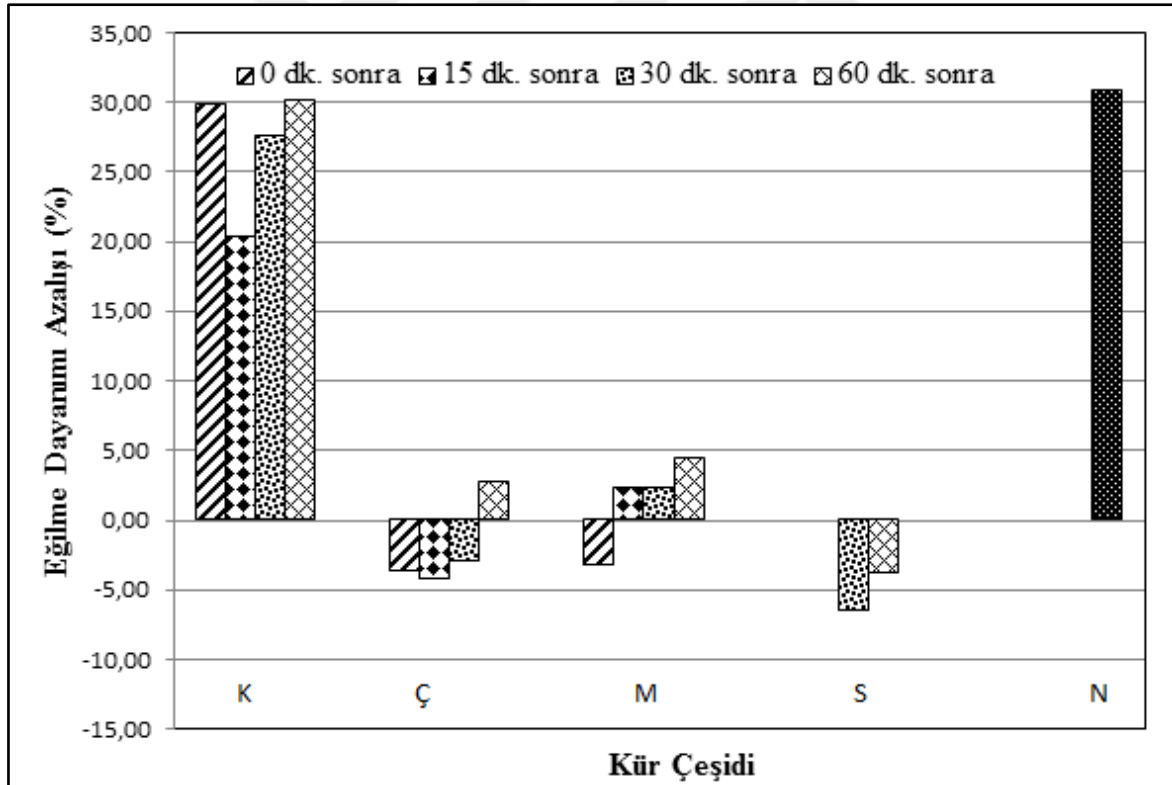
Tüm numuneler arasında minimum eğilme dayanımına sahip seri, basınç dayanımında da olduğu gibi herhangi bir kür işlemi uygulanmamış numuneleri temsil eden N serisi numuneler olarak belirlenmiştir. Kür uygulanmayan N serisi numunelerin 7 günlük basınç dayanımları, referans numuneler ile kıyaslandığında eğilme dayanımlarının yaklaşık % 30 daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Kür uygulanan numuneler, kür çeşidi ve uygulama zamanları bakımından karşılaştırıldığında ise en iyi eğilme dayanımını gösteren kür yöntemi her ne kadar su kürü olarak gözükse de çuval bezi kürü ve dökümden hemen sonra uygulanan membran kürüyle kıyaslandığında önemli bir farklılık gözlenmemiştir. Kür çeşidi bakımından eğilme dayanımı için en kötü sonuç ise kimyasal kür uygulanan numunelerde elde edilmiştir.

Referans numuneler dikkate alındığında, kür çeşidi ve kür uygulama zamanı ile basınç dayanımındaki azalış değerleri Tablo 3.5 ve Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

Tablo 3. 5. 7 günlük numunelerin referans numunelere göre eğilme dayanımı azalışları

Numune Kodu	Eğilme Dayanımı Azalışı (MPa)	Eğilme Dayanımı Azalışı (%)	Numune Kodu	Eğilme Dayanımı Azalışı (MPa)	Eğilme Dayanımı Azalışı (%)
K0	2,23	29,78	M0	-0,25	-3,28
K15	1,52	20,31	M15	0,18	2,33
K30	2,07	27,60	M30	0,17	2,24
K60	2,26	30,12	M60	0,34	4,48
Ç0	-0,27	-3,63	S30	-0,49	-6,53
Ç15	-0,31	-4,19	S60	-0,29	-3,87
Ç30	-0,22	-2,92	N	2,32	30,88
Ç60	0,21	2,75			



Şekil 3. 6. 7 günlük numunelerin referans numunelere göre eğilme dayanımı azalışları

Referans numunelere göre kıyaslandığında en fazla dayanım azalışı yine kür uygulanmayan numunelerde meydana gelmiştir. Fakat eğilme dayanımında, basınç

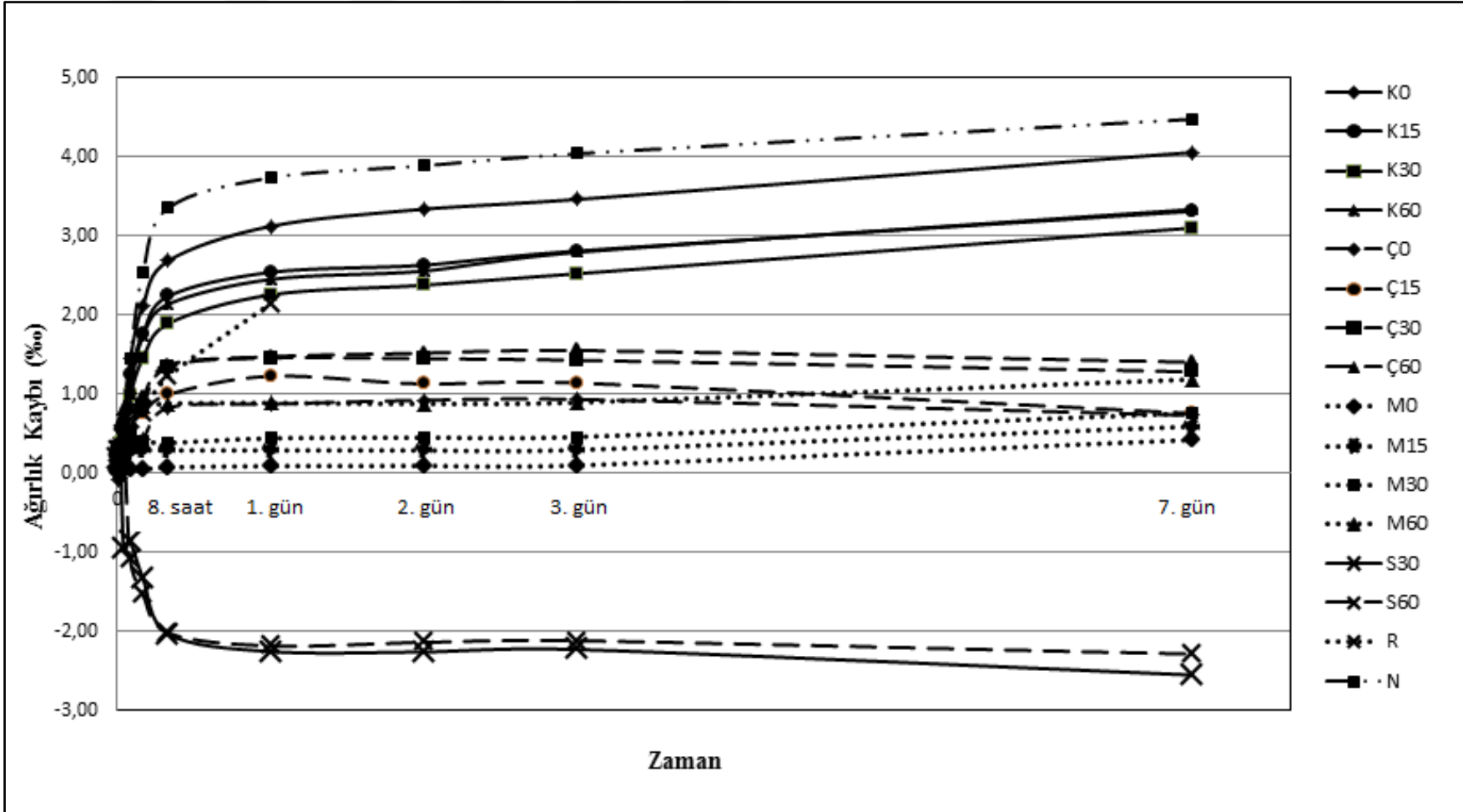
dayanımından farklı olarak grafikten de anlaşılacağı üzere referans numunelerden daha iyi sonuç veren numuneler tespit edilmiştir. Ç0, Ç15, Ç30, M0, S30 ve S60 serili numunelerin eğilme dayanımları referans numunelerden daha iyi bir sonuç göstermiştir. Basınç dayanımından farklı olarak bazı serilerin eğilme dayanımın referans numunelerden daha iyi bir sonuç göstermesinin sebebi olarak numune boyutlarındaki farklılıklar gösterilebilir. Kiriş numunelerin yüzey alanı/hacim oranı silindir numunelere göre çok daha fazla olduğundan dolayı, kiriş numunelerde daha kısa sürede daha fazla buharlaşma meydana gelmektedir. Bundan dolayı ilk 24 saat boyunca kür uygulanmayan referans numuneler yukarıda bahsedilen serilere kıyasla daha fazla ağırlık kaybı yaşadığı böylece dayanımlarında bu serilere göre bir azalma meydana geldiği düşünülmektedir.

3.3. Ağırlık Kaybı Tayini Sonuçları

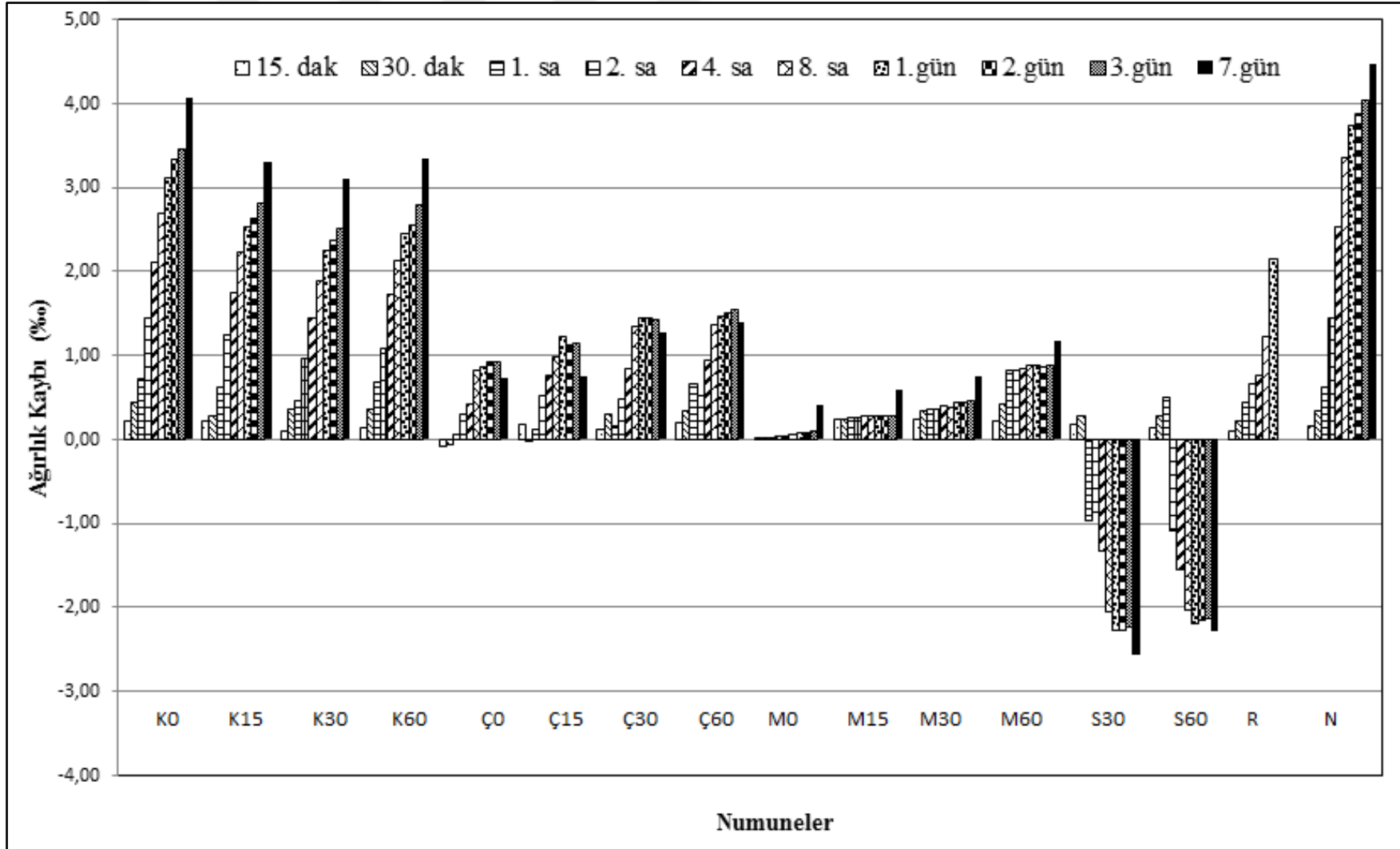
Bölüm 2.3’de verilen karışım oranlarına göre hazırlanan ve dört farklı kür çeşidinin farklı zamanlarında uygulandığı 150x300 mm boyutundaki 48 adet silindir numunenin ağırlıkları hassas teraziyle tartılarak zamanla su kayıpları belirlenmiştir. Numuneler dökümden 15 dk., 30 dk., 1 sa, 2 sa, 4 sa, 8 sa, 1 gün, 2 gün, 3 gün ve 7 gün sonraki zaman periyotlarında 0,1 gr hassasiyete sahip 30 kg kapasiteli hassas teraziyle tartılarak ağırlıkları belirlenmiştir. Ancak referans numuneler 24 saatin sonunda kür havuzuna konuldukları için 2., 3., ve 7. gün sonundaki tartımları yapılmamıştır. Numunelerin zamanla binde olarak su kayıpları (%) Tablo 3.6, Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’ de gösterilmiştir.

Tablo 3. 6. Silindir numunelerin zamanla ağırlık kayıpları (%)

Numune	Zaman / Ağırlık Kaybı (%)									
	15. dak	30. dak	1. sa	2. sa	4. sa	8. sa	1.gün	2.gün	3.gün	7.gün
K0	0,22	0,44	0,74	1,45	2,12	2,69	3,13	3,34	3,47	4,06
K15	0,23	0,28	0,62	1,24	1,76	2,24	2,54	2,63	2,81	3,31
K30	0,10	0,37	0,48	0,97	1,45	1,89	2,26	2,38	2,53	3,10
K60	0,14	0,37	0,69	1,08	1,73	2,14	2,45	2,56	2,80	3,34
Ç0	-0,08	-0,06	0,06	0,30	0,43	0,83	0,87	0,92	0,93	0,73
Ç15	0,18	0,00	0,13	0,52	0,77	1,00	1,23	1,13	1,14	0,76
Ç30	0,13	0,31	0,17	0,49	0,84	1,35	1,46	1,45	1,43	1,28
Ç60	0,21	0,35	0,66	0,53	0,95	1,37	1,47	1,52	1,55	1,40
M0	0,01	0,01	0,02	0,04	0,05	0,07	0,09	0,09	0,10	0,42
M15	0,24	0,24	0,27	0,27	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,59
M30	0,24	0,35	0,36	0,37	0,40	0,38	0,44	0,45	0,46	0,76
M60	0,22	0,43	0,83	0,84	0,85	0,88	0,89	0,88	0,90	1,18
S30	0,19	0,28	-0,96	-0,87	-1,33	-2,04	-2,26	-2,26	-2,23	-2,55
S60	0,14	0,29	0,50	-1,08	-1,54	-2,02	-2,19	-2,14	-2,12	-2,29
R	0,10	0,22	0,44	0,66	0,76	1,23	2,15	—	—	—
N	0,16	0,34	0,62	1,44	2,54	3,36	3,74	3,89	4,04	4,48



Şekil 3. 7. Silindir numunelerin zamanla ağırlık kayıpları (%)



Şekil 3. 8. Silindir numunelerin zamanla ağırlık kayıpları (%)

Şekil 3.7'deki ağırlık kaybı tayini sonuçlarına göre en fazla ağırlık kaybı beklenildiği gibi kür uygulanmayan N serisi numunelerde meydana gelmiştir. Bu seriyi sırasıyla kimyasal kür uygulanan K serisi, çuval bezi uygulanan Ç serisi ve membran kürü uygulanan M serisi numuneler takip etmiştir. Su kürü uygulanan S serisi numunelerde ise ağırlık kaybı tersine su emmesinde dolayı ağırlık kazanımı olmuştur.

Sonuçlardan anlaşılacağı üzere beklenildiği gibi ağırlık kaybı oranının beton basınç dayanımıyla doğrudan ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Kür çeşidi bakımından incelendiğinde ağırlık kaybının olmadığı aksine kazanımının olduğu su kürü uygulanan S serisi numunelerde basınç dayanımı en fazla çıkmıştır. Yine su kürünü sırasıyla ağırlık kaybının daha az olduğu membran ve çuval bezi ile kürlenmiş numuneler takip etmiştir. Ağırlık kaybının en fazla olduğu kür uygulanmayan numunelerin de en kötü dayanıma sahip oldukları belirlenmiştir.

Kür uygulama zamanları bakımından incelendiğinde ise basınç dayanımıyla doğrudan bir genel ilişki bulunamamıştır. Örneğin ağırlık kazanımının en fazla olduğu S30 serilerinin basınç dayanımı S60 serilerinden daha az olmuştur. Bunun sebebinin ne olabileceği basınç dayanım sonuçlarında betonun ilk dakikalardaki tazeliğinden dolayı olabileceği açıklanmıştır.

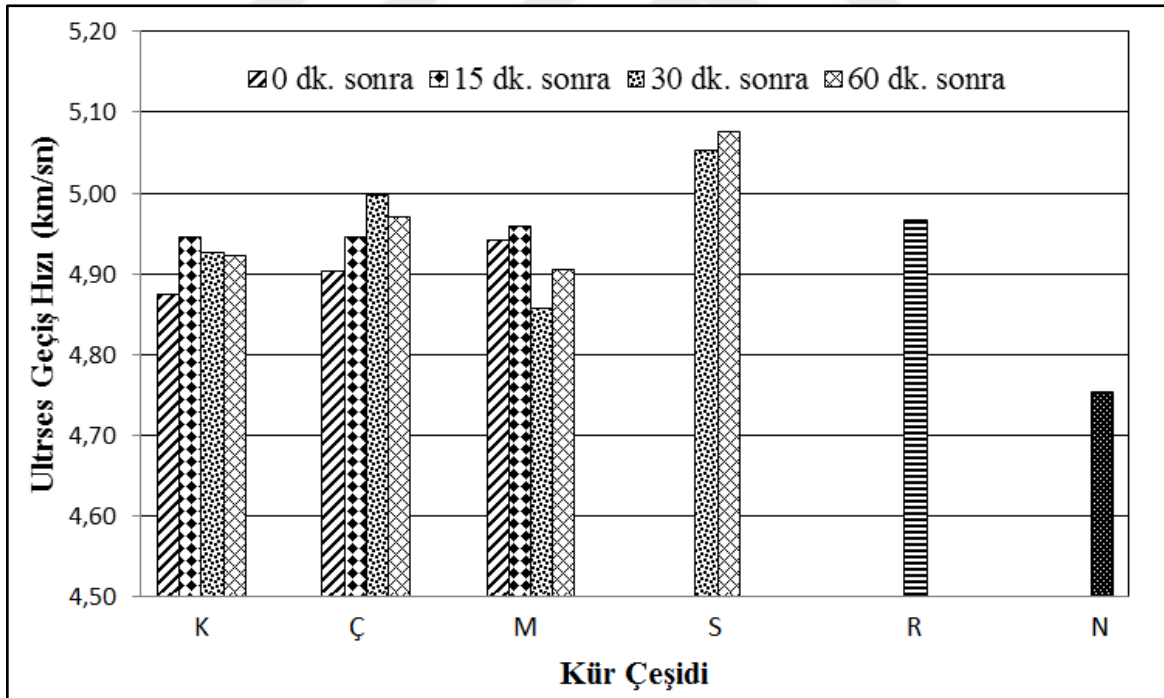
Genel olarak incelendiğinde numunelerin 7 gün sonunda kaybettikleri toplam ağırlık miktarının ortalama % 50' sini ilk 4 saat içinde kaybettiği gözlemlenmiştir. Yüzde olarak numunelerin ağırlık kayıpları birbirlerine yakın olmasına rağmen ağırlık kayıp miktarı bakımından incelendiğinde farklı kür uygulanan numunelerde çok daha fazla fark ortaya çıkabilmektedir.

3.4. Ultrases Geçiş Hızı Deneyi Sonuçları

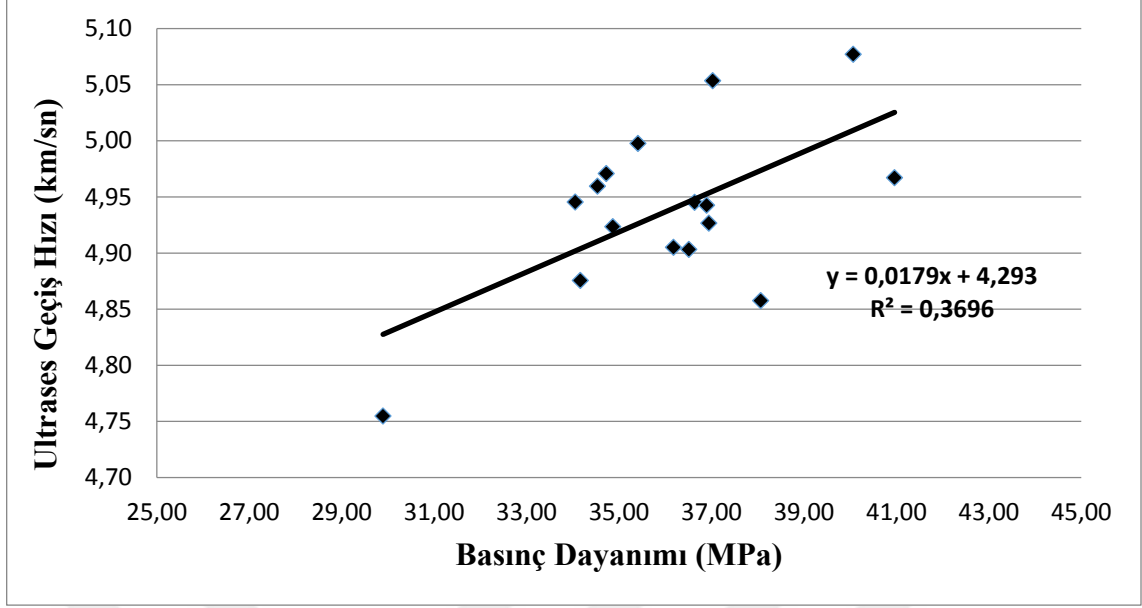
Bölüm 2.3'de verilen karışım oranlarına göre hazırlanan ve dört farklı kür çeşidinin farklı zamanlarında uygulandığı 150x300 mm boyutundaki 48 adet silindir numune üzerine 7 günlük ultrases geçiş hızı deneyi uygulanmıştır. Sonuçlar Tablo 3.7 ve Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Silindir numunelerin ultrases geçiş hızı değerleri ile basınç dayanımı arasındaki ilişki Şekil 3.10'da gösterilmiştir.

Tablo 3. 7. Silindir numunelerin ultrases geçiş hızları

Numune Kodu	Ultrases Geçiş Süresi (μ s)	Ultrases Geçiş Hızı (km/sn)	Numune Kodu	Ultrases Geçiş Süresi (μ s)	Ultrases Geçiş Hızı (km/sn)
K0	61,53	4,88	M0	60,70	4,94
K15	60,67	4,95	M15	60,50	4,96
K30	60,9	4,93	M30	61,77	4,86
K60	60,93	4,92	M60	61,17	4,91
Ç0	61,20	4,90	S30	59,37	5,05
Ç15	60,67	4,95	S60	59,10	5,08
Ç30	60,03	5,00	R	60,40	4,97
Ç60	60,37	4,97	N	63,10	4,75



Şekil 3. 9. Silindir numunelerin ultrases geçiş hızları

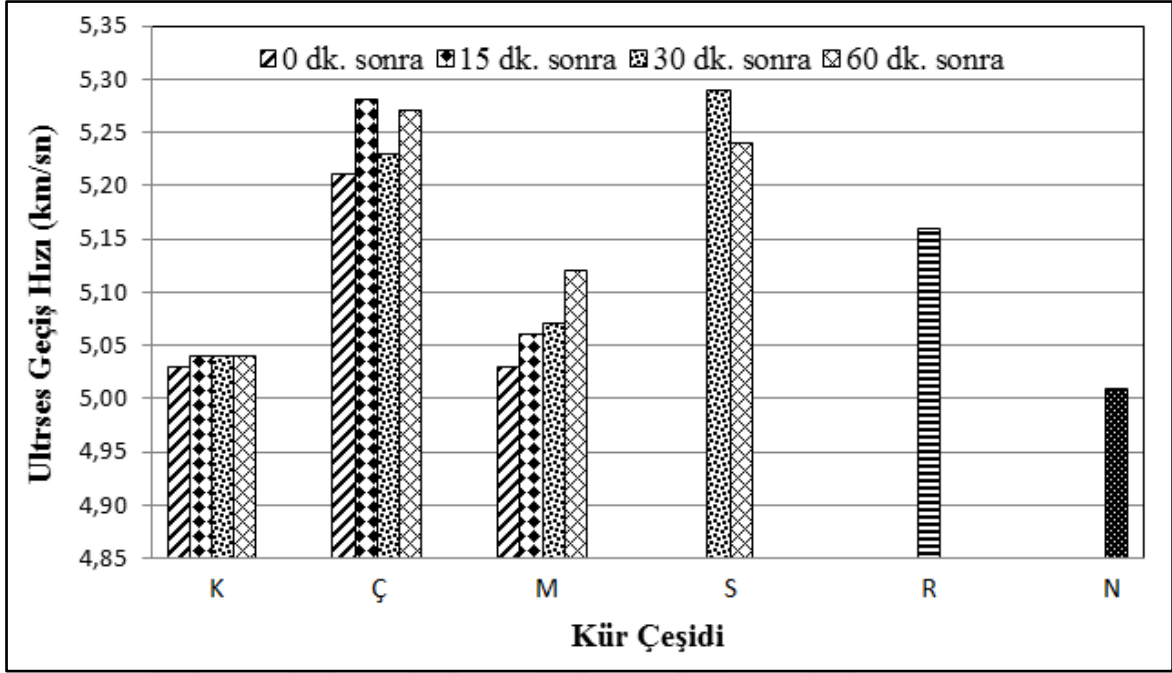


Şekil 3. 10. Silindir numunelerin ultrases geçiş hızı değerleri ile basınç dayanımı arasındaki ilişki

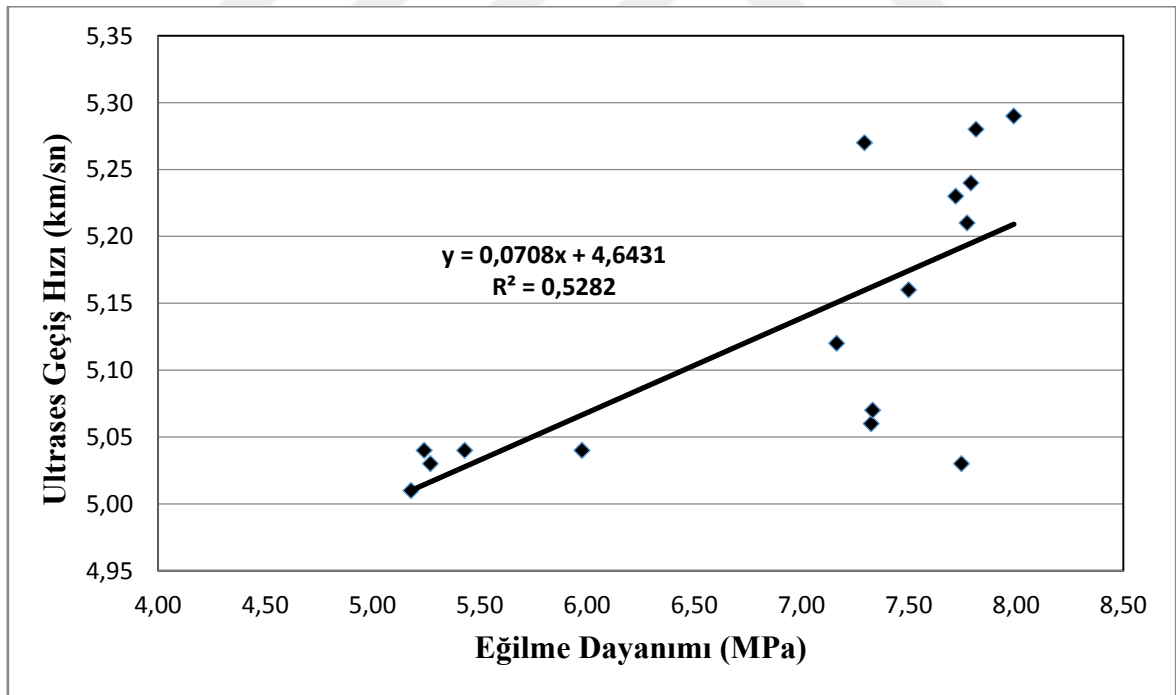
Bölüm 2.3’de verilen karışım oranlarına göre hazırlanan ve dört farklı kür çeşidinin farklı zamanlarında uyguladığı 100x100x400 mm boyutundaki toplam 48 adet kiriş numune üzerine 7 günlük ultrases geçiş hızı deneyi uygulanmıştır. Sonuçlar Tablo 3.8 ve Şekil 3.11’de gösterilmiştir. Silindir numunelerin ultrases geçiş hızı değerleri ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki Şekil 3.12’de gösterilmiştir.

Tablo 3. 8. Kiriş numunelerin ultrases geçiş hızları

Numune Kodu	Ultrases Geçiş Süresi (µs)	Ultrases Geçiş Hızı (km/sn)	Numune Kodu	Ultrases Geçiş Süresi (µs)	Ultrases Geçiş Hızı (km/sn)
K0	79,53	5,03	M0	79,53	5,03
K15	79,3	5,04	M15	79,07	5,06
K30	79,3	5,04	M30	78,83	5,07
K60	79,43	5,04	M60	78,1	5,12
Ç0	76,83	5,21	S30	75,63	5,29
Ç15	75,83	5,28	S60	76,1	5,24
Ç30	76,47	5,23	R	77,47	5,16
Ç60	75,93	5,27	N	79,87	5,01



Şekil 3. 11. Kiriş numunelerin ultrases geçiş hızları



Şekil 3. 12. Kiriş numunelerin ultrases geçiş hızı değerleri ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki

Çalışma kapsamında silindir numunelerin ultrases geçiş hızlarının 4,75 km/sn ile 5,08 km/sn arasında değiştiği gözlemlenmektedir. Kiriş numunelerinki ise 5,01 km/sn ile 5,29 km/sn arasında değiştiği gözlemlenmektedir. Daha önce yapılan çalışmalarda bu değerlerin beton kalitesi olarak değerlendirildiğine en iyi derece aralığına denk gelen “mükemmel” sınıfında olduğu belirlenmiştir.

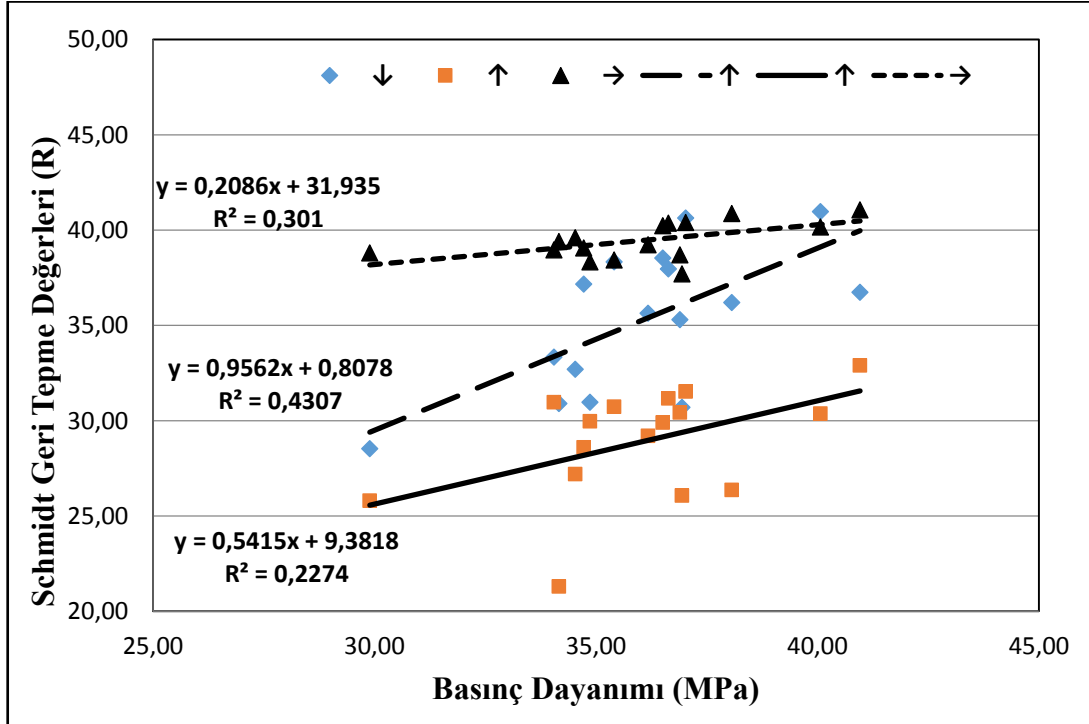
Geleneksel betonla kıyasla SSB’deki bu değerlerin yüksek olmalarının sebepleri arasında düşük su içeriklerine sahip olmaları ve ekstra bir güç kullanılarak sıkıştırılmaları sonucu daha yoğun bir karışıma sahip olmaları gösterilebilir. Gerek silindir numunelerden gerekse de kiriş numunelerden elde edilen ultrases geçiş hız değerleri ile bu numunelerin dayanımları arasında farklı kür şartları altında olmalarına rağmen kuvvetli bir ilişki kurulamamıştır. Bunun sebebi olarak numunelerde kullanılan malzeme karışım oranının ve numunelerin yaşlarının aynı olması gösterilebilir. Kiriş numunelerle silindir numuneler arasında önemli derecede olmasa da ultrases geçiş hızlarındaki farklılığın sebebinin sıkıştırma metodunun farklılığından kaynakladığı düşünülmektedir.

3.5. Schmidt Geri Sıçrama (Schmidt Sertliği) Sertliğinin Tayini Sonuçları

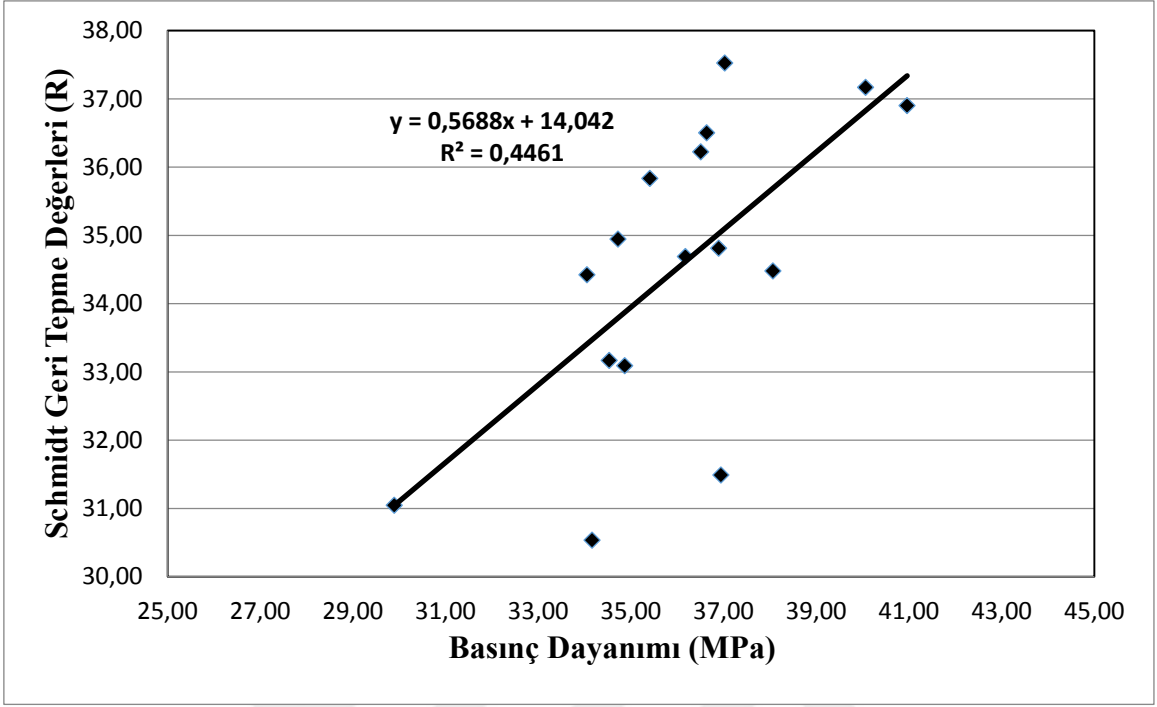
Bölüm 2.3’de verilen karışım oranlarına göre hazırlanan ve dört farklı kür çeşidinin farklı zamanlarında uyguladığı 150x300 mm boyutundaki toplam 48 adet silindir numune üzerine yapılan 7 günlük schmidt sertliği deneyi sonuçları Tablo 3.9’da gösterilmiştir. Silindir numunelerin schmidt geri tepme değerleri ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki Şekil 3.13 ve Şekil 3.14’de gösterilmiştir.

Tablo 3. 9. Silindir numunelerin schmidt geri sıçrama değerleri

Numune Kodu	Uygulama Yüzeyi			Ortalama Schmidt
	↓	↑	→	
K0	30,90	21,30	39,40	30,53
K15	33,33	30,97	38,97	34,42
K30	30,70	26,07	37,70	31,49
K60	30,97	29,97	38,33	33,09
Ç0	38,53	29,90	40,23	36,22
Ç15	37,97	31,17	40,37	36,50
Ç30	38,33	30,73	38,43	35,83
Ç60	37,17	28,60	39,07	34,94
M0	35,30	30,43	38,70	34,81
M15	32,70	27,20	39,60	33,17
M30	36,20	26,37	40,87	34,48
M60	35,63	29,20	39,23	34,69
S30	40,63	31,53	40,40	37,52
S60	40,97	30,37	40,17	37,17
R	36,73	32,90	41,07	36,90
N	28,53	25,80	38,80	31,04



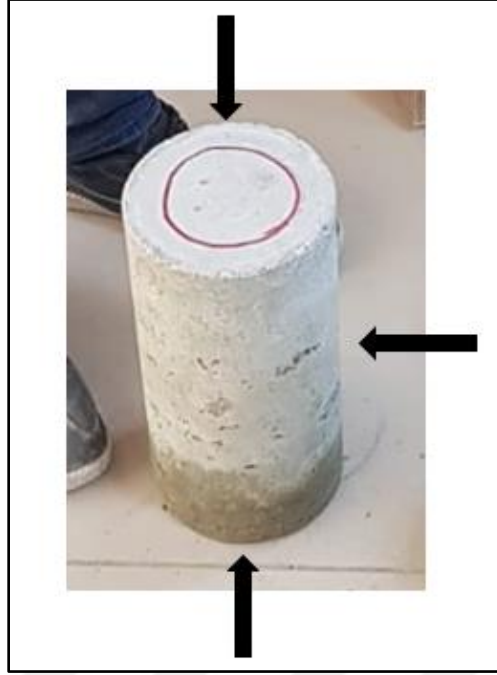
Şekil 3. 13. Silindir numunelerin schmidt geri sıçrama değerleri



Şekil 3. 14. Schmidt geri sıçrama değerleri ile basınç dayanımı arasındaki ilişki

Silindir numunelere Şekil 3.15’de gösterildiği üç farklı yönden schmidt çekici uygulanmıştır. İlk uygulanan yüzey, “↓” ile gösterilen beton döküldükten sonra üst kısımda kalan ve kürün uygulandığı yüzeydir. İkinci uygulanan yüzey, “↑” ile gösterilen döküm işleminden sonra altta kalan yüzeydir. Son uygulanan yüzey ise “→” ile gösterilen numunenin tek eksenli basınç cihazı içerisinde nihai basınç dayanımının ortalama % 15’ine denk gelen basınç altındaki yan yüzeydir. Böylece uygulama esnasında numunelerin hareket etmesi engellenmiştir. Numune kalıplarına yapılan izolasyondan dolayı kalıptan çıkartılan silindir numunelerin alt yüzeyleri 7 gün geçmesine rağmen Şekil 3.6’daki gibi içerisindeki nemi muhafaza etmiştir. Bundan dolayı alt yüzeye uygulanan schmidt sertliği deneyi sonucunda değerler diğer yüzeylere göre çok daha düşük elde edilmiştir. Bunun sebebinin yüzeyin işlem sırasında nemli olması olduğu düşünülmektedir. Aynı şekilde yan yüzeyler de alt yüzeyler kadar olmasa da üst yüzeylere kıyasla biraz daha nemli kalmıştır.

Uygulanan schmidt sertliği deneyi sonucunda her yüzeyden birbirlerinden farklı değerler elde edilmiştir. Basınç dayanımı ile schmidt geri tepme değerleri arasındaki en iyi ilişki üst yüzeyden alınan okumalarla elde edilmiştir.

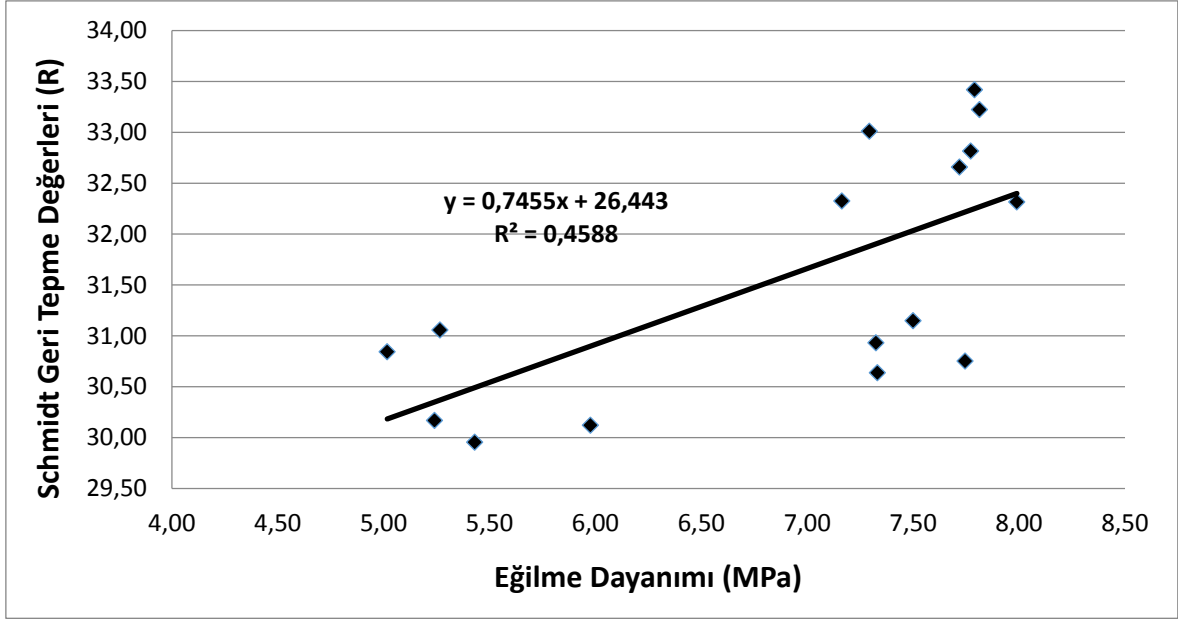


Şekil 3.15. Schmidt geri sıçrama (schmidt sertliği) sertliğinin tayini

Bölüm 2.3’de verilen karışım oranlarına göre hazırlanan ve dört farklı kür çeşidinin farklı zamanlarında uyguladığı 100x100x400 mm boyutundaki toplam 48 adet kiriş numune üzerine yapılan 7 günlük schmidt sertliği deneyi sonuçları Tablo 3.10’da gösterilmiştir. Tabloda numunelerin üç yüzeyinden alınan değerlerin ortalaması yer almaktadır. Kiriş numunelerin schmidt geri tepme değerleri ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki Şekil 3.16’da gösterilmiştir.

Tablo 3. 10. Kiriş numunelerin schmidt geri sıçrama değerleri

Numune Kodu	Ortalama Schmidt	Numune Kodu	Ortalama Schmidt
K0	5,27	M0	7,75
K15	5,98	M15	7,33
K30	5,43	M30	7,33
K60	5,24	M60	7,16
Ç0	7,77	S30	7,99
Ç15	7,81	S60	7,79
Ç30	7,72	R	7,50
Ç60	7,29	N	5,02



Şekil 3. 16. Schmidt geri sıçrama değerleri ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki

Kiriş numunelerde silindir numunelerin aksine farklı yüzeylerde birbirlerinden çok farklı değerler elde edilmemiştir. Buna rağmen eğilme dayanımı ile schmidt geri tepme değerleri arasındaki kuvvetli bir ilişki bulunamamıştır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, silindire sıkıştırılmış beton (SSB) yollar için en uygun kür çeşidi ve uygulama zamanının belirlenmesi amacıyla deneysel çalışmalar yapılmış olup, aşağıdaki sonuçlara varılmıştır;

- SSB numunelerin basınç dayanımı sonuçlarına göre en uygun kür yöntemi olarak su ile yapılan kür yöntemi belirlenmiştir. Bu yöntemi sırasıyla membran kürü, çuval bezi ve kimyasal kür takip etmiştir. En kötü basınç dayanımı değerleri ise herhangi kür uygulanmayan numunelerde ele edilmiştir.
- Kür uygulama zamanlarının SSB numunelerin basınç dayanımları üzerindeki etkileri incelendiğinde su kürü için en iyi uygulama zamanı olarak dökümden 60 dk. sonra olan zaman periyodu belirlenmiştir. Ancak diğer kür yöntemleri incelendiğinde kür işleminin dökümden hemen sonra uygulanması ile 60 dk. sonra uygulanması arasında dayanım bakımından ortalama % 6 gibi önemli bir farkın olmadığı belirlenmiştir.
- SSB yolların trafiğe açılma süresinin belirlenmesi amacıyla en uygun kür yöntemine (su kürü) göre numuneler hazırlanmıştır. Buna göre SSB yolların dökümden yaklaşık 4 saat sonra hafif trafiğe, yaklaşık 7 saat sonra da karma trafiğe açılma dayanımını sağladığı belirlenmiştir.
- Eğilme dayanımı sonuçlarına göre en uygun kür yöntemi olarak basınç dayanımında olduğu gibi su ile yapılan kür yöntemi belirlenmiştir. En iyi eğilme dayanımı değerleri su küründe elde edilmesine rağmen, çuval bezi kürü ile dökümden hemen sonra uygulanan membran kürü de su kürü uygulanan numunelerle çok yakın değerler elde edilmiştir. En kötü eğilme dayanımı değerleri ise kür uygulanmayan numunelerde ele edilmiştir.
- Kür uygulama zamanlarının eğilme dayanımları üzerindeki etkileri incelendiğinde, su kürü için en iyi uygulama zamanı olarak dökümden 30 dk. sonra olan zaman periyodu belirlenmiştir. Diğer kür yöntemleri incelendiğinde kür işleminin dökümden hemen sonra uygulanması ile 60 dk. sonra uygulanması arasında eğilme dayanımı bakımından ortalama % 7 gibi önemli bir farkın olmadığı belirlenmiş

- ancak kr işleminin uygulama zamanının geciktikçe dayanımlar üzerinde az da olsa olumsuz bir etkisi olmuştur.
- Çalışmada SSB' nin dökümden 4 saat sonraya kadar su kürü yöntemi hariç diğer kr yöntemlerinde toplam ağırlık kaybının yaklaşık olarak % 50' sini kaybettikleri belirlenmiştir. Bundan dolayı SSB' de kr uygulanmasına dökümden sonra bir an önce başlanılması gerekmektedir.

Bu alışma kapsamında elde edilen deneysel bulgular neticesinde bundan sonraki çalışmalara faydalı olması açısından aşağıda öneri sunulmuştur;

- Çalışma kapsamında kimyasal kr olarak akrilik bazlı kimyasal kr tercih edilmiş olup bu krn uygulandığı numunelerde istenilen sonuçlara ulaşılamamıştır. Bunun yerine piyasadaki reçine esaslı, parafin esaslı, solvent esaslı vb. gibi diğer kimyasal kr kullanılabilir.

5. KAYNAKLAR

1. Harrington, D., Abdo, F., Adaska, W. ve Hazaree, C., Guide for Roller Compacted Concrete Pavements, Portland Cement Association, Iowa, 2010.
2. ACI 207.5R-11, Roller Compacted Mass Concrete, ACI, Farmington, 1988.
3. ACI 116R-00, Cement and Concrete Terminology, , ACI, Farmington, 2000.
4. Ağar, E. ve Taşdemir, Y., Silindir ile Sıkıştırılabilen Beton Yollar, Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul, 2007.
5. Anderson, R., Roller-Compacted Concrete Pavements - Physical Properties, Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm, 1986.
6. Pittman, D., U.S. Army Corps of Engineers Experience with Roller Compacted Concrete Pavements, American Concrete Institute, 2012.
7. Pittman, D.W. and Anderton, G.L. The Use of Roller Compacted Concrete Pavements in The United States, Presentation at the Sixth International Conference on Maintenance and Rehabilitation of Pavements and Technological Control (MAIRE PAV 6), Torino, 2009.
8. Kalantari B., Mafian S. ve Huat B. B. K., RC Concrete versus Conventional Concrete in Pavement, Contemporary Engineering Sciences, 2, (2009) 139 – 148.
9. ACPA Guide Specification, Roller Compacted Concrete Pavements, ver. 1.2, 2014.
10. Taylor G. J., Introduction to Roller Compacted Concrete, SunCam, Florida, 2012
11. Adaska, W., Roller-Compacted Concrete (RCC), Portland Cement Association, Skokie, 2006.
12. Gladen M., Benefits, Limitations and Uses of Roller Compacted Concrete, <http://EzineArticles.com/6118913> 10 Mayıs 2018.
13. Bager, D.H., Paver-Compacted Concrete for Roads, Presentation at the First International Symposium on Techniques and Technology in Road Construction, 1992, Munich.
14. Koohmishi M., Evaluation of Application of Roller Compacted Concrete versus Asphalt Concrete as Pavement Surface Layer for High Traffic Volume Routes, Journal of Basic and Applied Scientific Research, 3(5) (2013), 330-335

15. American Concrete Pavement Association, Roller-Compacted Concrete (RCC) Materials Selection, [http://wikipave.org/index.php?title=Roller-Compacted_Concrete_\(RCC\)_Materials_Selection#Relevant_Pages](http://wikipave.org/index.php?title=Roller-Compacted_Concrete_(RCC)_Materials_Selection#Relevant_Pages) 16 Şubat 2019.
16. ASTM C33, Standard Specification for Concrete Aggregates, American Society For Testing And Materials, West Conshohocken, PA, 2018.
17. AASHTO M80, Coarse Aggregate for Hydraulic Cement Concrete, American Association of State Highway and Transportation Officials, 2013.
18. ASTM C150, Standard Specification for Portland Cement, American Society For Testing And Materials, West Conshohocken, PA, 2019.
19. ASTM C1157, Standard Performance Specification for Hydraulic Cement, American Society For Testing And Materials, West Conshohocken, PA, 2017.
20. ASTM C1602, Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete, ASTM C1602, American Society For Testing And Materials, West Conshohocken, PA, 2018.
21. Portland Cement Association (PCA), Production of Roller Compacted Concrete. <http://secement.org/wp-content/uploads/2015/06/IS332.pdf> 16 Şubat 2019.
22. ASTM C94, Standard Specification for Ready-Mixed Concrete, American Society For Testing And Materials, West Conshohocken, PA, 2018.
23. Jamal H., Roller Compacted Concrete Mix Design and Properties, <http://www.aboutcivil.org/roller-cc-mix-design-properties> 18 Şubat 2019.
24. Yaman, İ. Ö., ve Ceylan H., Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yollar, Hazır Beton, Mayıs - Haziran 2013, 69-82.
25. Erdoğan, Y. E., Beton, Dördüncü Baskı, ODTÜ Yayıncılık, Ankara, 2013
26. Bass R.P., RCC Construction-Acceptable Means and Methods, Proceedings of the Fourth International Symposium on Roller Compacted Concrete (RCC) Dams, 2003, Madrid, Proceedings Book 1, 215-222.
27. Amer, N. H., Laboratory Evaluation of Fatigue Behavior of Thin Bonded Overlays On Roller Compacted Concrete Pavements, Doktora Tezi, Cleveland State University, Cleveland, 2007
28. I-Gahtani, A. S., Effect of Curing Methods on The Properties of Plain and Blended Cement Concretes, Construction and Building Materials, 24 (2010), 308-314.
29. Maslehuddin M., Ibrahim M., Shameem M., Ali M. R. ve Al-Mehthel M. H., Effect of Curing Methods on Shrinkage and Corrosion Resistance of Concrete, Construction and Building Materials, 41 (2013), 634-641.

30. Xue B., Pei J., Sheng Y. ve Li R., Effect of Curing Compounds on The Properties and Microstructure of Cement Concretes, Construction and Building Materials, 101 (2015), 410-416.
31. Ibrahim M., Shameem M., Al-Mehthel M. ve Maslehuddin M., Effect of Curing Methods on Strength and Durability of Concrete Under Hot Weather Conditions Cement & Concrete Composites, 41 (2013), 60-69.
32. Hosseinezhad H., Geri Dönüşümlü Agrega Kullanımının Silindirle Sıkıştırılabilen Beton Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2016.
33. Abut Y., Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yol: Kocaeli İlinde Bir Durum Çalışması, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2017.
34. Aghabaglou Ali M., Uçucu Küllü Silindirle Sıkıştırılmış Betonlarda Dayanıklılık, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2011.
35. Aslan Ö., Doğal Puzolan İçeren Silindirle Sıkıştırılmış Betonun Buhar Kürü Uygulanarak Uzun Vadedeki Dayanımının Tahmin Edilmesi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006.
36. Timür O., Silindirle Sıkıştırılmış Farklı Lif Oranları ile Güçlendirilmiş Beton Yolların Mekanik ve Durabilite Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, 2017.
37. ASTM C127, Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate, American Society For Testing And Materials, West Conshohocken, PA, 2015.
38. ASTM C128, Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate, American Society For Testing And Materials, West Conshohocken, PA, 2015.
39. ASTM C309, Standard Specification for Liquid Membrane-Forming Compounds for Curing Concrete, American Society For Testing And Materials, West Conshohocken, PA, 2011.
40. ASTM C171, Standard Specification for Sheet Materials for Curing Concrete, American Society For Testing And Materials, West Conshohocken, PA, 2016.
41. ASTM D1557, Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort, American Society For Testing And Materials, West Conshohocken, PA, 2012.
42. ASTM C1170, Standard Test Method for Determining Consistency and Density of Roller-Compacted Concrete Using a Vibrating Table, American Society For Testing And Materials, West Conshohocken, PA, 2014.

43. ASTM C1435, Standard Practice for Molding Roller-Compacted Concrete in Cylinder Molds Using a Vibrating Hammer, American Society For Testing And Materials, West Conshohocken, PA, 2014.
44. ASTM C39, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, , American Society For Testing And Materials, West Conshohocken, PA,
45. ASTM C78, Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading), American Society For Testing And Materials, West Conshohocken, PA, 2018.
46. ASTM C597, Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete, , American Society For Testing And Materials, West Conshohocken, PA, 2016.
47. ASTM C805, Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concretecrete, American Society For Testing And Materials, West Conshohocken, PA, 2018.
48. <https://www.cement.org/> Roller-Compacted Concrete (RCC) FAQs. 14 Mart 2019.

ÖZGEÇMİŞ

Ömer Faruk KELEŞ, 11.09.1993 yılında Trabzon'un Of ilçesinde dünyaya geldi. İlköğretimini Van Hüsrev Paşa İlköğretim okulunda tamamladıktan sonra Van Milli Piyango Anadolu Lisesi'nden 2011 yılında mezun oldu. Aynı yıl Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde yükseköğrenimine başladı. 2015 yılında buradan mezun olduktan sonra Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 2017 yılından itibaren Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır.