

**ÖNGERMELİ BETON TRAVERS ÜRETİMİNDE KENDİLİĞİNDEN  
YERLEŞEN BETON KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gökhan TACİM

Danışman

Doç. Dr. Cahit GÜRER

İkinci Danışman

Dr. Öğretim Üyesi Ahmet Raif BOĞA

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Haziran 2019

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ÖNGERMELİ BETON TRAVERS ÜRETİMİNDE  
KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON KULLANIMININ  
ARAŞTIRILMASI**

**Gökhan TACİM**

**Danışman**

**Doç. Dr. Cahit GÜRER**

**İkinci Danışman**

**Dr. Öğretim Üyesi Ahmet Raif BOĞA**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**HAZİRAN 2019**

## TEZ ONAY SAYFASI

Gökhan TACİM tarafından hazırlanan “ÖNGERMELİ BETON TRAVERS ÜRETİMİNDE KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 13/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Doç. Dr. Cahit GÜRER

**İkinci Danışman** : Dr.Öğr. Üyesi Ahmet Raif BOĞA

**İmza**

**Başkan** : Doç.Dr.Mehmet CANBAZ  
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Müh. ve Mim. Fak.

**Üye** : Doç.Dr.Cenk KARAKURT  
Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Müh. Fak.

**Üye** : Doç.Dr.Cahit GÜRER  
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Müh. Fak.

**Üye** : Dr.Öğr.Üyesi Ahmet Raif BOĞA  
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Müh. Fak.

**Üye** : Dr.Öğr.Üyesi Veli BAŞARAN  
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Müh. Fak.

Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
...../...../..... tarih ve  
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. İbrahim EROL  
Enstitü Müdürü

**BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI**  
**Afyon Kocatepe Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım  
bu tez çalışmada;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

13/06/2019  
  
Gökhan TACİM

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### ÖNGERMELİ BETON TRAVERS ÜRETİMİNDE KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

Gökhan TACİM

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

**Danışman** : Doç. Dr. Cahit GÜRER

**İkinci Danışman** : Dr. Öğretim Üyesi Ahmet Raif BOĞA

Demiryolu traversleri, demiryolu araçlarından raylara aktarılan yükleri uygun şekilde alt tabakalara ileten, rayları destekleyen, ekartmanı koruyan ve rayların yatay ve düşey yöndeki hareketlerine dayanacak şekilde hizmet veren üstyapı elemanlarıdır. Öngermeli beton traverslerin yapısal performansları, durabilite özelliklerinin iyi oluşu, servis ömürlerinin yüksek oluşu (60 yıl) gibi üstünlüklerinden dolayı demiryolu hatlarında kullanımı giderek artmaktadır. Son yıllarda beton teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak ortaya çıkan bir beton türü de kendiliğinden yerleşen beton (KYB) türüdür. KYB'nin geleneksel betonlara göre daha akıcı olması, minimum işçilik gerektirmesi, ekonomik olması, hızlı uygulanması, sık donatılı kalıpları kolaylıkla doldurabilmesi vb. özelliklerden dolayı geleneksel betonlara göre daha yüksek performans elde edilir. Bu tez çalışması kapsamında 8 farklı granülometri de KYB dizaynı gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda KYB ile travers üretimleri yapılmıştır. Böylece KYB olarak farklı granülometri de üretilen beton traverslerin öngerme yüklerine karşı davranışları ve yük taşıma kapasitelerindeki değişimler de araştırılmıştır.

**2019, xii + 88 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Öngermeli Beton Travers, Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB), Demiryolu Üstyapısı.

## **ABSTRACT**

M.Sc. Thesis

### **INVESTIGATION OF USING SELF COMPACTING COCRETE IN PRODUCING OF PRESTRESSED CONCRETE SLEEPERS**

Gökhan TACİM

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

**Supervisor:** Assoc. Prof. Cahit GÜRER

**Co Supervisor:** Asst. Prof. Ahmet Raif BOĞA

Railway sleepers are track elements which carry the loads transferred from the vehicles to the rails as properly, supporting the rails, protect the gauge width and serve to withstand the horizontal and vertical movement of the rails. The use of prestressed concrete sleepers are increasing day to day due to the some advantages such as structural performance, good durability characteristics, high service life (60 years). In recent years, an innovative concrete type that has emerged in parallel with the developments in concrete technology is self-compacting concrete (SCC). Because SCC is more fluent than conventional concrete, requires minimum labor, economical, fast application, easy to fill molds, etc. so higher performance than conventional concrete. In this thesis, SCC designs with eight different granulometry were performed. Thus, the changes in the physical, mechanical and durability properties of the concretes were investigated. At the same time prestressed concrete sleepers production were performed. Also, the behavior of SCC specimens to against pre-stressing loads and changes in their load-bearing capacities were investigated.

**2019, xii + 88 pages**

**Keywords:** Prestressed concrete sleepers, Self-compacting concrete (SCC), rail track.

## TEŞEKKÜR

Hazırlamıő olduğum bu tez çalıőmamda bilgi ve birikimi ile bana yol gösteren, bu tezin oluőmasında yaptığı yardım ve katkılarından dolayı tez danıőmanlarım Doç. Dr. Cahit GÜRER' e ve Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Raif BOĞA' ya,

Laboratuvar alıőmalarımda Afyonkarahisar ay'da faaliyet gösteren İNKOL Travers Üretim Fabrikası Müdürü Cihan ASLAN ve fabrika çalıőanlarına, yüksek lisans eğitimim boyunca manevi desteğini esirgemeyen kıymetli aileme teőekkürlerimi sunarım.

**Gökhan TACİM**

Afyonkarahisar, 2019

# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
RESİMLER DİZİNİ .....	xii
1.GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ .....	3
2.1 Demiryolu Üstyapısı .....	3
2.2 Demiryolu Traversleri.....	4
2.2.1 Öngermeli Monoblok Beton Traversler .....	4
2.2.2 Öngermeli Monoblok Traverslerin Avantajları ve Dezavantajları.....	9
2.2.3 İkiz bloklu Öngerdirmeli Beton Traversler .....	9
2.2.3.1 Geometrik ve Mekanik Özellikleri .....	10
2.2.3.2 İkiz bloklu Öngerdirmeli Beton Traverslerin Avantajları ve Dezavantajları .....	11
2.3 Kendiliğinden Yerleşen Betonlar.....	12
2.3.1 KYB'lerin Taze Beton Özellikleri.....	13
2.3.2 Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Uygulanan Deneyler .....	14
2.3.3 Kendiliğinden Yerleşen Betonda Kullanılan Malzemeler .....	15
2.3.4 Uluslararası Alanda Çeşitli Varyasyonlar ile Üretilen KYB'ler .....	16
2.4 Traverslerle İlgili Yapılmış Önceki Çalışmalar .....	16
3. DENEYSEL ÇALIŞMA .....	25
3.1 Kullanılan Malzemeler .....	26
3.1.1 Çimento .....	26
3.1.2 Silis Dumanı .....	27
3.1.3 Agregalar .....	28
3.1.4 Hiper Akışkanlaştırıcı.....	31



3.2 Beton Karışım Oranları.....	31
3.3 Üretilen Numune Tipleri, Kür Koşulu ve Süreleri .....	32
3.3.1 Beton numunelerinin üretimi, kür koşulu ve süreleri .....	32
3.3.2 Beton traverslerin üretimi, kür koşulu ve süreleri .....	34
3.4 Yapılan Deneyler .....	38
3.4.1 Yayılma Deneyi ve $t_{500}$ Süresi Ölçümü .....	38
3.4.2 V-Hunisi Akış Süresi Ölçümü.....	39
3.4.3 L Kutusu Deneyi.....	39
3.4.4 Birim Ağırlık ve Ultrases Geçiş Süresi Deneyi.....	40
3.4.5 Basınç Dayanımı Deneyi .....	41
3.4.6 Yarmada-Çekme Dayanımı Deneyi.....	42
3.4.7 Eğilme Dayanımı Deneyi .....	42
3.4.8 Elektriksel Özdirenç Deneyi.....	43
3.4.9 Görünen Porozite, Su Emme ve Kılcal Su Emme Deneyi .....	44
3.4.10 Beton traverslerde pozitif yük testi.....	44
4. BULGULAR .....	47
4.1 Yayılma Deneyi ve $t_{500}$ Süresi Ölçümü Sonuçları .....	47
4.2 V-Hunisi Akış Süresi Ölçümü Sonuçları.....	49
4.3 L Kutusu Deneyi Sonuçları.....	51
4.4 Birim Ağırlık Deneyi Sonuçları.....	52
4.4.1 AKÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarında Üretilen KYB'lerin Birim Ağırlık Deneyi Sonuçları.....	52
4.4.2 Travers Fabrikasında Üretilen KYB'lerin Birim Ağırlık Deneyi Sonuçları	52
4.5 Ultrases Geçiş Hızı Deneyi Sonuçları .....	54
4.5.1 AKÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarında Üretilen KYB'lerin Ultrases Geçiş Hızı Sonuçları .....	54
4.5.2 Travers Fabrikasında Üretilen KYB'lerin Ultrases Geçiş Hızı Sonuçları....	54
4.6 Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları .....	55

4.6.1 AKÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarında Üretilen KYB'lerin Basınç Dayanımı Sonuçları.....	55
4.6.2 Travers Fabrikasında Üretilen KYB'lerin Basınç Dayanımı Sonuçları .....	57
4.6.3 Travers Fabrikasında Üretilen Normal Betonların Basınç Dayanımı Sonuçları .....	58
4.7 Yarmada-Çekme Dayanımı Deneyi Sonuçları .....	59
4.8 Eğilme Dayanımı Deneyi Sonuçları .....	60
4.9 Elektriksel Özdirenç Deneyi Sonuçları.....	61
4.10 Kılcal Su Emme Deneyi Sonuçları .....	63
4.11 Su Emme Deneyi Sonuçları .....	64
4.12 Görünen Porozite Deneyi Sonuçları .....	65
4.13 Beton Traverslerde Yapılan Pozitif Yük Testi Sonuçları .....	66
4.14 Maliyet Analizi .....	77
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	80
6- KAYNAKLAR .....	83
ÖZGEÇMİŞ.....	88

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

---

$Al_2O_3$	Alimünyum oksit
$^{\circ}C$	Santigrad Derece
cm	Santimetre
CaO	Kalsiyum oksit
Cl	Klor
$Cr_2O_3$	Kromyum oksit
$CO_2$	Karbondioksit
dk	Dakika
F	Flor
$Fe_2O_3$	Demir oksit
gr	Gram
kg	Kilogram
km	Kilometre
kN	Kilonewton
$^{\circ}K$	Kelvin
$K_2O$	Potasyum oksit
L	Numunenin Yüksekliği
m	Metre
$m^2$	Metrekare
$m^3$	Metreküp
$\mu$	Mikron
mm	Milimetre
MgO	Magnezyum oksit
MPa	Mega Paskal
N	Newton
$Na_2O$	Sodyum oksit
NaOH	Sodyum hidroksit
Pa	Pascal
SD	Silis Dumanı
$SiO_2$	Silisyum dioksit
SiFeCr	Silikoferrokrom
$SO_3$	Kükürt trioksit
s	Saniye
k $\Omega$	Kilo ohm
$\Omega$	Ohm
ZnO	Çinko oksit

## Kısaltmalar

---

AAR	Alkali Agrega Reaksiyonu
AAS	Alkali Aktif Cüruf
CEM I	Portland Çimento 52,5 N
CSH	Kalsiyum Silika Hidrat
DB	Alman Demiryolları Şirketi- Deutsche Bahn
DEF	Gecikmiş Etrenjit Oluşumu
EAF	Elektrik Ark Fırını
Fr <sub>0</sub>	Ray Yatağı Kısmı için Pozitif Başlangıç Referans Test Yüğü
Fr <sub>0,05</sub>	Yükün Kaldırılmasından Sonra Ray Yatağı Kısmının Tabanında 0.05mm Genişliğinde Bir Çatlağın Kaldığı En fazla Deney Yüğü, kN
Frr	Ray Yatağı Tabanında İlk Çatlağı Meydana Getiren Pozitif Test Yüğü, kN
FrB	Ray Yatağı Kısmında Arttıramayan En Fazla Pozitif Deney Yüğü, kN
GGBFS	Öğütölmüş Yüksek Fırın Cürufu
HPC	Yüksek Performanslı Beton
HPRAC	Yüksek Performanslı Geri Dönüştürölmüş Agrega Betonu
KYB	Kendiliğinden Yerleşen Beton
KRRI	Kore Demiryolları Araştırma Enstitüsü
OPC	Normal Portland Çimentosu
PPF	Polipropilen Lifli Beton Travers
PSC	Öngermeli Beton Travers
RCA	Geri Dönüştürölmüş Beton Agregası
RCPT	Hızlı Klorür Geçirimsizlik Testi
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TCDD	Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
UIC	Uluslararası Demiryolu Birliğı
VAK	Viskozite Arttırıcı Katkı
VB	Ve-Be Consistometer deneyi
XRD	X-ışını Kırınım Analizi
XRF	X-ışını Floresans Spektrometresi
YHT	Yüksek Hızlı Tren

---

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1	Tipik bir demiryolu üstyapı kesiti .....	3
Şekil 2.2	Öngermeli monoblok beton travers en kesiti .....	6
Şekil 2.3	Öngermeli monoblok beton travers üstten görünüş .....	7
Şekil 2.4	Öngermeli monoblok beton travers noktasal en kesitler .....	7
Şekil 2.5	U31 tipi ikiz bloklu Öngerdirmeli Beton Travers ölçüleri .....	11
Şekil 2.6	Rheda 2000 Modeli İkiz bloklu Öngerdirmeli Beton Travers Enkesiti .....	12
Şekil 2.7	Züblin Modeli İkiz bloklu Öngerdirmeli Beton Travers Enkesiti .....	12
Şekil 3.1	Silis dumanının XRD analizi sonucu .....	27
Şekil 3.2	Karışımda kullanılan agregaların tane dağılımı (granülometri) eğrisi .....	29
Şekil 3.3	Kendiliğinden yerleşen beton karışım granülometrisi .....	30
Şekil 3.4	KYB ve normal beton ile üretilen traverslerin yandan görünüşü .....	34
Şekil 3.5	KYB ve normal beton ile üretilen traverslerin üstten görünüşü .....	34
Şekil 3.6	Maksimum sıcaklık eğrisi (TS EN 13230-1 2016) .....	36
Şekil 3.7	Çimentodaki SO <sub>3</sub> içeriğinin bir fonksiyonu olarak maksimum kür sıcaklığı (TS EN 13230-1 2016) .....	36
Şekil 3.8	Pozitif yük testi için ray oturma alanında test düzenlemesi (TS EN 13230-2 2016) .....	45
Şekil 3.9	Pozitif tasarım onay testi için ray oturma alanı statik test prosedürü (TS EN 13230-2 2016) .....	45
Şekil 4.1	Yayımla çapı sonuçlarının beton serilerine göre değişimi .....	48
Şekil 4.2	t <sub>500</sub> süresi sonuçlarının beton serilerine göre değişimi .....	49
Şekil 4.3	V hunisi akış süresi sonuçlarının beton serilerine göre değişimi .....	50
Şekil 4.4	V hunisi akış süreleri ile T <sub>50</sub> sürelerinin değişimi .....	51
Şekil 4.5	L kutusu deney sonuçlarının beton serilerine göre değişimi .....	52
Şekil 4.6	Birim ağırlık sonuçlarının beton serilerine göre değişimi .....	53
Şekil 4.7	Birim ağırlık sonuçlarının beton serilerine göre değişimi .....	53
Şekil 4.8	Ultras ses geçiş hızı sonuçlarının beton serilerine göre değişimi .....	54
Şekil 4.9	Ultras ses geçiş hızı sonuçlarının beton serilerine göre değişimi .....	55
Şekil 4.10	Basınç dayanımı sonuçlarının beton serilerine göre değişimi .....	56
Şekil 4.11	Ultras ses geçiş hızı sonuçları ile basınç dayanımı sonuçları arasındaki ilişki .....	57
Şekil 4.12	Basınç dayanımı sonuçlarının beton serilerine göre değişimi .....	58
Şekil 4.13	Basınç dayanımı sonuçlarının kür sürelerine göre değişimi .....	59

Şekil 4.14 Yarmada-çekme dayanımı sonuçlarının beton serilerine göre değişimi .....	60
Şekil 4.15 Eğilme dayanımı sonuçlarının beton serilerine göre değişimi .....	60
Şekil 4.16 Elektriksel özdirenç sonuçlarının beton serilerine göre değişimi .....	62
Şekil 4.17 Basınç dayanımı sonuçları ile elektriksel özdirenç sonuçları arasındaki ilişki.....	62
Şekil 4.18 Kılcallık katsayısı sonuçlarının beton serilerine göre değişimi .....	63
Şekil 4.19 Su emme yüzdesi sonuçlarının beton serilerine göre değişimi .....	64
Şekil 4.20 Su emme yüzdesi ile kılcallık katsayısı arasındaki ilişki.....	65
Şekil 4.21 Görünen porozite değerlerinin beton serilerine göre değişimi.....	65
Şekil 4.22 Görünen porozite ile kılcallık katsayısı arasındaki ilişki .....	66
Şekil 4.23 Beton traversin pozitif yük testi sonuçları (1 günlük 50-50-0 serileri).....	68
Şekil 4.24 Beton traversin pozitif yük testi sonuçları (28 günlük 50-50-0 serileri).....	68
Şekil 4.25 Beton traversin pozitif yük testi sonuçları (28 günlük 50-50-0 serileri).....	69
Şekil 4.26 Beton traversin pozitif yük testi sonuçları (28 günlük 50-30-20 serileri).....	69
Şekil 4.27 Beton traversin pozitif yük testi sonuçları (28 günlük 50-30-20 serileri).....	70
Şekil 4.28 Beton traversin pozitif yük testi sonuçları (28 günlük 50-30-20 serileri).....	70
Şekil 4.29 Beton traversin pozitif yük testi sonuçları (180 günlük 45-55-0 serileri).....	71
Şekil 4.30 Beton traversin pozitif yük testi sonuçları (180 günlük 45-55-0 serileri).....	71
Şekil 4.31 Beton traversin pozitif yük testi sonuçları (180 günlük 45-55-0 serileri).....	72
Şekil 4.32 Beton traversin pozitif yük testi sonuçları (180 günlük 45-35-20 serileri)....	72
Şekil 4.33 Beton traversin pozitif yük testi sonuçları (180 günlük 45-35-20 serileri)....	73
Şekil 4.34 Beton traversin pozitif yük testi sonuçları (180 günlük 45-35-20 serileri)....	73
Şekil 4.35 Beton traversin pozitif yük testi sonuçları (1 günlük normal beton B70 Travers).....	74
Şekil 4.36 Beton traversin pozitif yük testi sonuçları (28 günlük normal beton B70 travers).....	74

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Çizelge 2.1</b> Uluslararası kullanımda olan tipik travers ölçüleri .....	8
<b>Çizelge 2.2</b> İkiz Bloklı Beton Traversler ve Özellikleri .....	10
<b>Çizelge 3.1</b> Çimentonun XRF analizi, fiziksel ve mekanik özellik deney sonuçları .....	26
<b>Çizelge 3.2</b> Silis dumanının XRF analizi ve fiziksel özellik deney sonuçları .....	28
<b>Çizelge 3.3</b> Agregaların fiziksel özellikleri.....	28
<b>Çizelge 3.4</b> Agregaların elek analizi sonuçları.....	29
<b>Çizelge 3.5</b> Agregaların kullanım oranları .....	30
<b>Çizelge 3.6</b> Hiper akışkanlaştırıcı katkı maddesinin özellikleri.....	31
<b>Çizelge 3.7</b> Kendiliğinden yerleşen ve normal beton karışım oranları .....	32
<b>Çizelge 3.8</b> Elektriksel özdirenç ile korozyon olasılığı arasındaki ilişki .....	43
<b>Çizelge 3.9</b> Test yükü kademeleri ve bekleme süreleri.....	46
<b>Çizelge 4.1</b> Çökme yayılma, V hunisi ve L kutusu için TS EN 206 sınır değerleri .....	47
<b>Çizelge 4.2</b> Pozitif yük testi sonuçlarına ait değerler .....	67
<b>Çizelge 4.3</b> Normal ve KYB Beton Travers deney numuneleri maliyet karşılaştırma tablosu.....	78

## RESİMLER DİZİNİ

Sayfa

<b>Resim 2.1</b> Travers ve Bağlantı Elemanları .....	4
<b>Resim 2.2</b> HM tipi Ray Bağlantı Elemanları .....	5
<b>Resim 2.3</b> Karosel Sistem ile Öngermeli Beton Travers İmalatı .....	6
<b>Resim 2.4</b> Öngermeli monoblok beton travers istif sahası .....	7
<b>Resim 3.1</b> KYB travers numunelerinin üretimi .....	35
<b>Resim 3.2</b> Üretilen KYB travers numunelerine buhar kürü uygulaması .....	35
<b>Resim 3.3</b> Buhar küründen çıkan beton traversler .....	37
<b>Resim 3.4</b> Öngerme yüklerinin boşaltılması işlemi .....	37
<b>Resim 3.5</b> KYB kullanılarak üretilen beton travers numuneleri .....	38
<b>Resim 3.6</b> Yayılma ve $t_{500}$ süresi ölçümü deneylerinin yapılışı .....	38
<b>Resim 3.7</b> V hunisi ve L kutusu deneylerinin yapılışı .....	39
<b>Resim 3.8</b> Ultrases geçiş süresi deneyinin yapılışı .....	40
<b>Resim 3.9</b> Basınç dayanımı deneyinin yapılışı .....	41
<b>Resim 3.10</b> Yarmada-çekme dayanımı deneyinin yapılışı .....	42
<b>Resim 3.11</b> Elektriksel özdirenç ölçümü .....	43
<b>Resim 3.12</b> Beton traverslerin ray oturma bölümünde yapılan pozitif yük testi .....	46
<b>Resim 4.1</b> Beton traversin pozitif yük testinde 0.05 mm genişliğinde çatlak oluşumu ..	75
<b>Resim 4.2</b> Beton traversin pozitif yük testinde 0.05 mm genişliğinde çatlak oluşumu ..	75
<b>Resim 4.3</b> Beton traversin maksimum tepe yüküne ulaştığı andaki çatlak oluşumu .....	76
<b>Resim 4.4</b> Aseton sıkıldığında ortaya çıkan kılcal çatlaklar .....	76



## 1.GİRİŞ

Demiryolu traversleri, demiryolu araçlarından raylara aktarılan yükleri uygun şekilde alt tabakalara ileten, rayları destekleyen, ekartmanı koruyan ve rayların yatay ve düşey yöndeki hareketlerine dayanacak şekilde hizmet veren üstyapı elemanlarıdır (Öztürk ve Arlı 2009, Shin *et al.* 2016). Son yıllarda Dünya’da ve ülkemizde yüksek hızlı demiryolu projelerinin yapımındaki artışa paralel olarak öngermeli beton traverslere olan ihtiyaç da giderek artmıştır. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı 2035 yılına kadar, sadece demiryoluna 45 milyar dolar yatırım yapmayı planlamaktadır. Bu durum ülkemizin ulaşım altyapısına ne kadar önem verdiğinin bir göstergesidir. Buna paralel olarak 250-300 km/sa hızla hareket eden katar yüklerine dayanabilen, yüksek teknolojiler kullanılarak üretilen, öngermeli beton traverslere olan ihtiyaç da giderek artacaktır.

Demir, ahşap ve öngermeli beton traversler en çok kullanılan travers türleridir. Demir ve ahşap traverslerin bazı dezavantajlarından dolayı günümüzde kullanımları giderek azalmıştır. Demir traversler bakım güçlükleri ve izolasyon sorunları bu nedenlerden yalnızca birkaç tanesidir. Ahşap traversler ise maliyetlerinin yüksek, servis ömürlerinin kısa oluşu ve çevresel kaygılardan dolayı Avrupa’da yalnızca beton traverslerin kullanılmadığı hatlarda kullanılmaktadır. Bununla birlikte Kuzey Amerika’da ise hala çok fazla miktarda kullanıldığı bilinmektedir. Yapısal performansları, durabilite özelliklerinin iyi oluşu, uzun dönem maliyet avantajları, servis ömürlerinin yüksek oluşu (ortalama 50 yıl) gibi nedenlerden dolayı özellikle yüksek hızlı demiryolu sistemlerinde öngermeli beton traverslerin kullanımı giderek artmaktadır (Öztürk ve Arlı 2009, Ferdous and Manalo 2014, Gürer 2016). Bununla birlikte yapılan önceki çalışmalarda öngermeli beton traverslerle ilgili bazı problemlerden bahsedilmektedir (Zakeri and Rezvani 2012, Ferdous and Manalo 2014, Shin *et al.* 2016). Bunlar arasında; rayların traverslere oturduğu kısımlarda görülebilen korozyonlar, çeşitli kimyasallara karşı hassasiyetler, ağırlıkları ve ilk maliyetlerinin yüksek oluşu vb. sayılabilir (Shin *et al.* 2016).

Son yıllarda beton teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak ortaya çıkan bir beton türü de kendiliğinden yerleşen betondur (KYB). KYB, sıkıştırma ve yerleştirme için vibrasyon gerektirmeyen yenilikçi bir beton türüdür. Akışkanlığı ve ayrışma direnci, yüksek seviyede homojenlik, minimum beton boşlukları ve üniform beton dayanımını arttırarak ve yapı için daha üstün seviyede dayanıklılık ve bitirme potansiyeli sağlar. KYB kullanımı geleneksel betonlarla karşılaştırıldığında birçok avantaj sağlamaktadır. Akıcı olması, minimum işçilik gerektirmesi, ekonomik olması, hızlı uygulanması, gürültü kirliliğine engel olup sık donatı arasında ayrışma oluşmadan kalıp içerisini kolaylıkla doldurabilmesi, vibrasyona gerek duymadan her türlü kalıba kendi ağırlığı ile yerleşebilmesi ile geleneksel betonlara göre daha yüksek performans elde edilir (Topçu ve Kılınç 2012). Dolayısıyla travers üretiminde KYB betonu kullanmak suretiyle, günlük üretim miktarları arttırılabileceği gibi maliyetlerde de azalma sağlanabilir.

Bu tez çalışması kapsamında öngermeli beton travers üretimi için farklı gradasyonlar ve silis dumanı kullanılarak KYB dizaynı yapılmış ve öngermeli beton traverslerin davranışlarını nasıl etkilediği laboratuvar ve üretilen travers numuneleri üzerinde yapılan deneysel çalışmalarla belirlenmiş ve KYB'nin öngermeli beton travers üretiminde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Aynı zamanda normal beton travers için gerekli olan malzeme, elektrik ve işçilik maliyetleri ile KYB dizaynı ile üretilen deney numunelerinin birim maliyetleri karşılaştırılmış ve tezde sunulmuştur.



Aynı zamanda hat bileşenleri içerisinde yer alan beton traversler, mukavemet, stabilite ve dayanıklılık yönüyle incelenmektedir. Yol mukavemeti, kullanılan malzemelerin tasarım sağlamlığına, miktarlarına ve kalitelerine bağlıdır. Bu özellikle raylar ve kaynaklar ile beton traversler için geçerli bir durumdur. Yol stabilitesi, travers ve rayların rijit çerçeveleri ve ayrıca balast içerisindeki traverslerin iyi direnci ile sağlanır. Son olarak, uzun süreli bir performans için yorulmaya karşı dayanıklılık ve direnç muhakkak yol bileşenlerine yönelik birincil gerekliliktir. Belirli bir yol kesiminin çevresel ve yükleme koşulları ancak dayanıklılık gereksinimlerini büyük ölçüde etkiler (Esveld 2001).



**Resim 2.1** Travers ve bağlantı elemanları (Tacim 2018).

## **2.2 Demiryolu Traversleri**

### **2.2.1 Öngermeli Monoblok Beton Traversler**

Demiryolu tarihinde rayların oturduğu ve yükün dağılımının tüm platforma üniform olarak dağılımını sağlayan ahşap traversler, çelik traversler ve son olarak beton traversler bu görevi yerine getirmiştir. Ahşap traversler yüzyılı aşkındır kullanılmasına rağmen, maliyetlerinin yüksek, ömürlerinin kısa olması sektörü çelik traverslere yönlendirmiştir. Çelik traverslerin ortalama ömrünün 50 yıl olarak görülmesi, gürültüye

neden oluşu, sinyalizasyonlu hat kesiminde tercih edilmemesi ve bakımlarının güç olması zamanla bu tercihten uzaklaşmayı ve yeni nesil bir traverse geçişi zorlamıştır. Böylece ekonomik ömrü 60 yıl, yapımı kolay, değişik tasarımlarda yapım seçenekleri sunan ve uzun kaynaklı raylar ile mekanik buraj için uygun olan yeni nesil beton traversin kullanılmasına başlanılmıştır.

İlk defa 1920 yılında kullanılmaya başlanan beton traversler, katarların dinamik yükleri altında kırılmaya meyilli olmaları, yaygın çatlama kusurlarının görülmesi ve yüksek çekme gerilmelerine neden olan çok düşük yorulma direnci gibi kusurlara karşı önemli yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu kusurları önlemek amaçlı;

- Rayların traverslere direk temasını önleyecek ve yükleri absorbe edecek kauçuk pedlerin ve elastik bağlantı malzemelerin kullanılması (Öztürk ve Arlı 2009).



**Resim 2.2** HM tipi ray bağlantı elemanları (TCDD 2018).

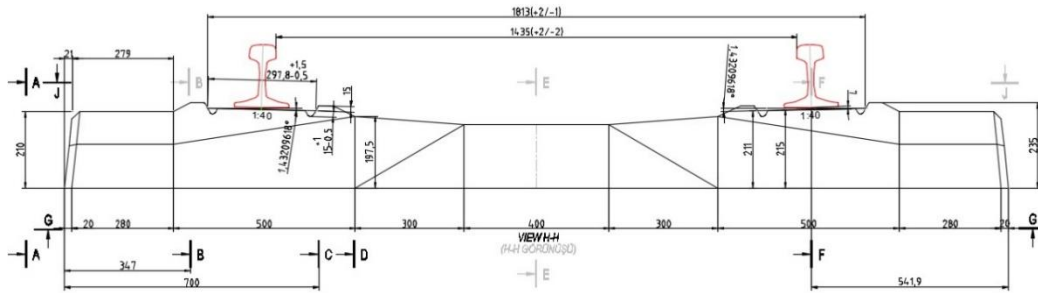
- Ön veya son gerdirmeye tabi tutulan monoblok öngermeli beton traverslerin kullanımı (Öztürk ve Arlı 2009).



**Resim 2.3** Karosel Sistem ile Öngermeli Beton Travers İmalatı (İNKOL 2018).

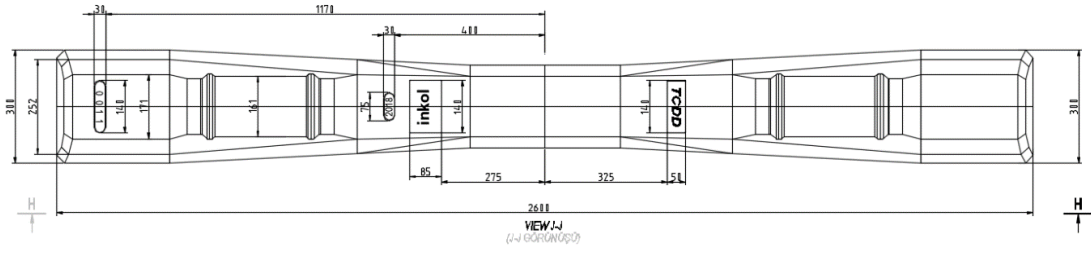
- Beton ile aynı ömre sahip ve maliyeti yüksek olmayan çelik profillerin kullanılmasına yönelik adımlar atılmıştır (Öztürk ve Arlı 2009).

Şekil 2.2’de Öngermeli monoblok beton traversin en kesiti görülmektedir.



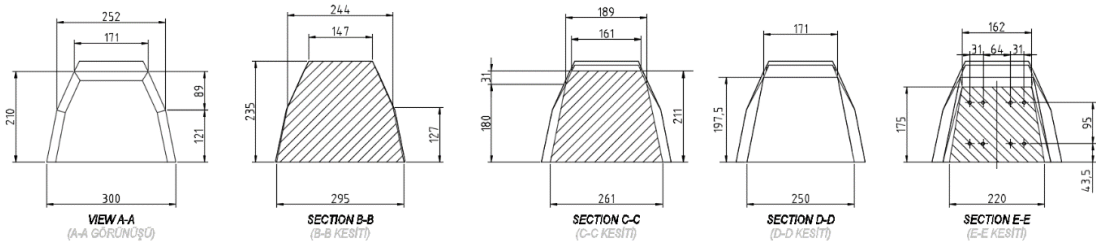
**Şekil 2.2** Öngermeli monoblok beton travers en kesiti (İNKOL 2018).

Şekil 2.3’de öngermeli monoblok beton traversin üstten görünüşü yer almaktadır.



Şekil 2.3 Öngermeli monoblok beton travers üstten görünüş (İNKOL 2018).

Şekil 2.4'te öngermeli monoblok beton traversin noktasal enkesitleri görülmektedir.



Şekil 2.4 Öngermeli monoblok beton travers noktasal en kesitler (İNKOL 2018).



Resim 2.4 Öngermeli monoblok beton travers istif sahası ( İNKOL 2018 ).

Öngermeli monoblok beton traversler hem yüksek hızlarda hem de yüksek tonajlı hatlarda kullanılmaktadır. Beton traversler konusunda dünya çapında birçok ülkede gelişme kaydedilmiştir. Alman demiryolları DB standartları ile kriterleri belirgin hale getirerek inovasyon ile yeni yöntemler geliştirmektedir. Alman Demiryolları için öngermeli monoblok beton traverslerin özellikleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Asgari çekme dayanıklılığı 5,5 N/mm<sup>2</sup>
- Statik E-modül ortalama değeri takriben 42.000 N/mm<sup>2</sup>
- Termik boyuna genleşme katsayısı takriben  $10.10^{-6}$  [1/°K]'dir.
- Öngerme kuvveti uygulanmaya başlandığında 45 N/mm<sup>2</sup>'lik bir küp baskı dayanımı talep edilir.
- Olması gereken öngerdirmeye kuvveti hemen kalıptan çıkartılacak traverslerde 320 kN iken daha sonra kalıptan çıkartılacak traverslerde ise 325 kN kabul edilir.
- Ray mesnet bölgesi için nihai öngerme kuvveti 260 kN'dur (Maurer *et al.* 2001).

Çizelge 2. 1'de Uluslararası alanda demiryolu hatlarında kullanılan beton travers ölçüleri ayrıntılı olarak verilmiştir. Ölçülerin; selet olarak adlandırılan kısmı traversin ray oturma alanını ifade etmektedir.

**Çizelge 2.1** Uluslararası kullanımda olan bazı tipik travers ölçüleri (Lichtberger 2011).

Ülke	Ekartman (mm)	Travers Boyu (mm)	Ebatlar (mm)					
			Selet Altı			Travers Ortası		
			Yüks.	Genişlik	Derinlik	Yüks.	Genişlik	Derinlik
Avustralya	1435	2500	212	250	200	165	250	200
Kanada	1435	2542	203	254	216	159	264	226
Çin	1435	2500	203	280	170	203	250	161
Almanya	1435	2600	214	300	170	175	220	150
Birl.Krallık	1432	2515	203	264	216	165	264	230
İtalya	1435	2300	172	284	222	150	240	190
Japonya	1435	2400	220	310	190	195	236	180
İsveç	1435	2500	220	294	164	185	230	150
ABD	1435	2592	241	279	241	178	279	250
GüneyAfrika	1065	2057	221	245	140	197	203	140
Hindistan	1673	2750	210	250	Değişik.	180	220	Değişik.
Rusya	1520	2700	193	274	177	135	245	182

TCDD'nin 2017 yılı istatistiksel verilerine bakıldığında ülke genelinde ana hatlar, yüksek hızlı tren hatları, tali hatlar ve iltisak hatları toplam 12.608 m'dir. Ana hat



uzunluğu 9.023m olup, bu hattın %96'unda öngermeli monoblok beton travers kullanılmaktadır (İnt.Kyn.1).

TCDD, öngermeli monoblok beton traversi B58, B70 ve B07 olarak üç tip olarak hatlarında kullanmakta olup, belirtilen her tip için ayrı analiz ve modelleme yapmıştır. Özellikle B07 tipi, Ankara-Sivas Yüksek Hızlı Tren Hattında 300 km/sa hıza uygun olarak tasarlanmış ve devamında YHT hatlarında kullanılmak üzere adım atılmıştır.

### **2.2.2 Öngermeli Monoblok Traverslerin Avantajları ve Dezavantajları**

Öngermeli monoblok beton traversler ağır yük altında yolun dengede kalmasına olanak veren, uzun servis ömrü sağlayarak bağlantı sisteminin kolay değiştirilme imkânı ile tasarım ve inşaa açısından özgür olunması yönüyle birçok avantajı sağlamaktadır (Esveld 2001).

Öngermeli monoblok beton traverslerin dezavantajlarına baktığımızda; ahşap traversden daha az elastik olup, dalgalı aşınmaya ve düşük kalitede kaynaklara daha açıktır. Darbelerden gelen hasar riski (deray, yükleme/boşaltma, traverslerin burajlanması) ve hat düzensizliğinden zarar görme etkileri yüksektir. Aynı zamanda dinamik yükler ve balast gerilmeleri %25 daha yüksek olabilir ( Esveld 2001).

### **2.2.3 İkiz bloklu Öngerdirmeli Beton Traversler**

İkiz bloklu öngerdirmeli beton traversler Fransa'da geliştirilmiş ve başlıca Arnavutluk, Belçika, Brezilya, Danimarka, Yunanistan, Meksika, Hollanda, Portekiz, İspanya, Tunus'ta kullanılmaktadır. Traversin altındaki yük dağılımında orta kısımdaki gerilmeler oldukça düşük olduğu için bu kısımda daha az malzeme kullanma fikri atılmıştır. Sonuç olarak ikiz traverslerde ortadaki betonun yerini ekartmanının korunmasını sağlayan profil almıştır, öngermeli traverslerde ise orta kısmın kesiti azaltılmıştır (Arlı ve Profillidis 2002).

Çizelge 2.2 de İkiz bloklu öngerdirmeli beton travers tipleri ve bunların ölçüleri ile hız ve yüklere göre tasarım detayları verilmiştir.

**Çizelge 2.2** İkiz Bloklı Beton Traversler ve Özellikleri ( Öztürk ve Arlı 2009).

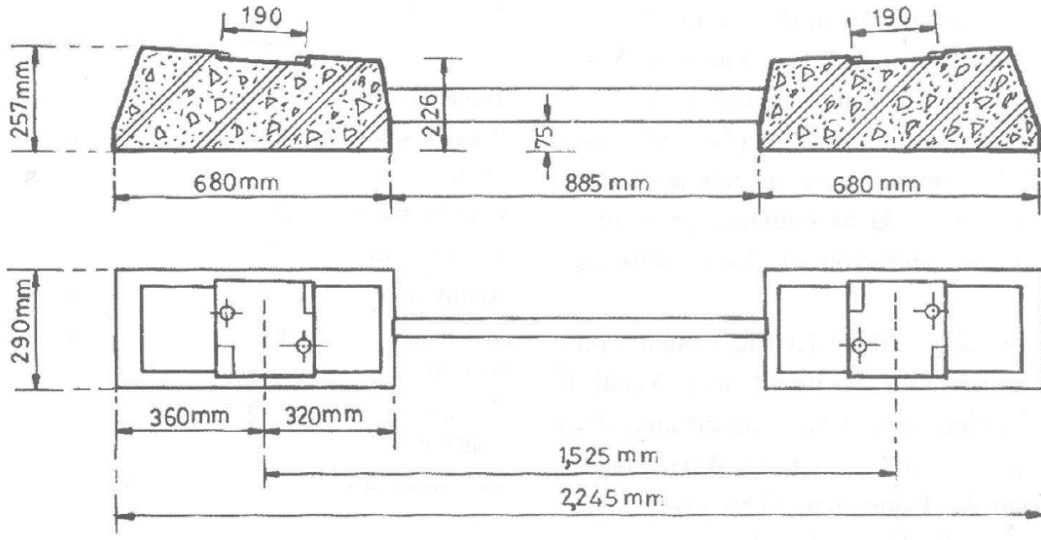
<b>Travers tipleri</b>	<b>U41</b>	<b>U31</b>	<b>U20</b>	<b>VSP</b>
Toplam boy (mm)	2415	2252	2240	2240
Beton blok boyu (mm)	840	680	680	680
Genişlik (mm)	290	290	290	290
Yükseklik (mm)	220	229	170	170
Ağırlık (kg)	230	200	170	160
Maksimum hız (km/sa)	300	200	140	50
Trafik yükü (ton/gün)	>45.000	<45.000	<20.000	<10.000
Aks yükü (ton)	32	22,5	22,5	22,5

### **2.2.3.1 Geometrik ve Mekanik Özellikleri**

İkiz bloklı öngerdirmeli beton traversler bir bağlantı profille bağı iki trapezoid bloktan oluşur. Fransız demiryolları UIC 1 ve 2 grupları ve maksimum 300 km/sa için U41 tipi ikiz bloklı öngerdirmeli beton travers kullanılırken aynı zamanda orta trafik yükü altında maksimum 200 km/sa hız için 19-21 ton dingil yüküne göre U31 ikiz bloklı öngerdirmeli beton travers kullanılmaktadır (Arlı ve Profillidis 2002).

İkiz bloklı öngerdirmeli beton traverslerin zayıf zeminde kullanılması durumunda balast kalınlığı artırılmalıdır. Aynı zamanda bağlantı çubuğu esnek olduğu için işletme altında blokların farklı oturmasını ve ekartmanın açılmasını önlemek için ekstra bakım ihtiyacı gereklidir (Arlı ve Profillidis 2002).

Şekil 2.5’de U31 tipi ikiz bloklı öngerdirmeli beton travers ölçüleri gösterilmiştir.



Şekil 2.5 U31 tipi ikiz bloklü öngerdirmeli beton travers ölçüleri (Arlı ve Profillidis 2002).

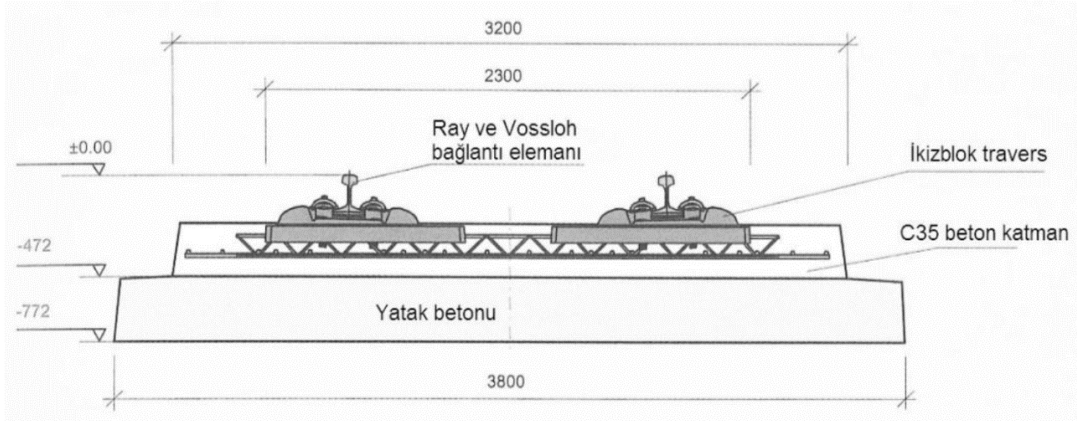
### 2.2.3.2 İkiz bloklü Öngerdirmeli Beton Traverslerin Avantajları ve Dezavantajları

İkiz bloklü öngerdirmeli beton traverslerin ağırlığı fazla olduğu için yanal kayma dirençleri yeteri kadar yüksektir ve yüksek hızlara müsaade eder. Ekartmanı belli toleranslar içinde tutar ve servis ömrü uzundur. Eğer yeterli balast kalınlığı ve dayanımı yoksa bu traversler istenilen performansı gösteremezler. Bu traverslerin deformasyonu ahşap traverslerden daha azdır. Üretimi kolay ve ahşap traverse göre ucuzdur (Arlı ve Profillidis 2002).

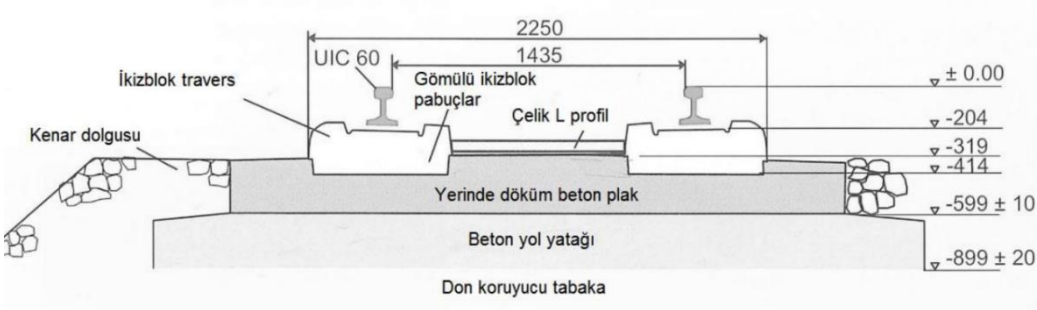
Günümüzde ikiz bloklü öngerdirmeli beton traversler beton yatak içerisine gömülmekte ve boyuna donatılar ile beton traverslerin gevşemeye karşı koruma altına alınması ile Rheda 2000 tipi yada Züblin tipi balastsız üstyapı elde edilmektedir (Öztürk ve Uluç 2013).

Şekil 2.6'de Rheda 2000 modelini, Şekil 2.7'de Züblin modeli öngerdirmeli beton travers enkesitleri ve ölçüleri verilmiştir.

İkiz bloklü öngerdirmeli beton traverslerin monoblok beton traverslere göre avantajları ise; balast yatağında iyi belirlenmiş taşıma yüzeyleri ve yüzey alanlarının çift olması sebebiyle balast yatağında yüksek dayanım etkisidir (Esveld 2001).



Şekil 2.6 Rheda 2000 modeli ikiz bloklu öngerdirmeli beton travers enkesiti ( Rail.One 2018).



Şekil 2.7 Züblin modeli ikiz bloklu öngerdirmeli beton travers enkesiti (Öztürk ve Uluç 2013).

### 2.3 Kendiliğinden Yerleşen Betonlar

KYB'nin inşaat sektörü içinde kullanım alanlarına bakıldığında özellikle bina inşaatlarında yüksek kolon, uzun kiriş ve buna bağlı sık donatılı kesitlerle, vibrasyonun vibratörler yardımıyla güçlükle yapılabildiği kısımlarda, segregasyonu azaltmak ve homojen beton dağılımını sağlamak için kullanıldığı görülmektedir. Böylece beton yapısında boşluklu yapıya yol açmadan, hava kabarcıklarının olmadığı, kompasitenin artırılarak düzgün yüzeyli bir beton elde etmek arzu edilmektedir.

Demiryolu köprü ve viyadüklerinde ayak yüksekliklerinin 50 m ve üzerinde olduğu başlık kirişleri ile birleşim noktalarında donatı sıklığının beton yerleşimi ve vibratörle sıkıştırmanın yapılamadığı kesimlerde KYB kullanımı gereklilik arz etmiş ve uygulanmıştır. Ankara-Sivas YHT Hattı Elmadağ-Kırıkkale arası viyadük yapım inşaatında bu sebepten dolayı kullanımı tercih edilmiştir. KYB'ler kendi kendine

sıkışma özelliği göstermesi ile işçilik ve zamandan tasarruf sağlamasının yanında özellikle şehir içi inşaat alanlarında beton dökümünde gürültü problemi yaratmaması yönüyle avantajlar sağlamaktadır.

### 2.3.1 KYB'lerin Taze Beton Özellikleri

Reoloji ve işlenebilirlik parametreleri KYB'nin pratikte kullanım performansını etkilemektedir. Taze betondaki kendinden yerleşme yeteneği üç parametre ile karakterize edilir; doldurma yeteneği, ayrışmaya karşı direnç ve geçiş yeteneği. (Skarendahl and Peterson 2000).

Bu özellikler şu şekildedir.

- **Doldurma yeteneği;** betonun boşaltma noktasından ne kadar uzaklığa akabildiği ve bu akışın hızı (deformasyon kapasitesi) gibi kavramları içermektedir. İyi bir doldurma yeteneği için deformasyon kapasitesi ile deformasyon hızı arasında bir denge olmalıdır. Betonun iyi deforme olması için, iri agrega, ince agrega ve her türlü bağlayıcı dahil katı tanecikler arasındaki sürtünmenin azaltılması faydalıdır. Ancak bu yeterli değildir, çimento hamuru fazı da iyi deforme olabilmelidir. Yüksek akışkanlıkla birlikte ayrışmaya karşı yüksek direncin sağlanması, KYB'nin engellerin arasından geçerek doldurma kapasitesinin artırılması açısından önemlidir (Bui *et al.* 2002).
- **Ayrışmaya karşı direnç;** taze betonda ayrışma (segregasyon), bir araya gelen malzemelerin heterojen bir şekilde dağılmak suretiyle birbirinden uzaklaşması olayı olup, bu durumun tersine çevrilmesi için direnç sağlanmasıdır. Bu durum hareket eden su miktarı, su/ince madde oranı azaltılarak sağlanır. Serbest su yüzey alanı yüksek malzemelerin üzerinde daha fazla bulunacağından bu tip ince malzemeler kullanmak mümkündür. Su ve katı arasındaki ayrışma direnci viskozite arttırıcı katkı kullanılarak iyileştirilebilir (Okamura *et al.* 2003).

- **Geçiş yeteneği;** KYB'nin sık donatılı bir yapıda yerleşim gösterdiği anda akma etkisinin yüksek oluşuna bağlı olarak ortaya koyduğu yayılma etkisidir. KYB yeterli akıcılığa ve aynı zamanda ayrışmaya karşı dirence sahip olduğunda etkili işlev görür. Ancak dar geçişler ve çok sık donatı söz konusu olduğunda, ilave bir ihtiyaç doğmaktadır ki, bu da kaba agregaların blokajlanmamasıdır (Demirtaş 2004).

### 2.3.2 Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Uygulanan Deneyler

KYB'lerin taze beton özelliklerini belirlemede aşağıdaki deneyler uygulanmaktadır.

- Çökme yayılma deneyi- TS EN 12350-8: KYB'nin deformasyon hızının gözlenmesini ve numunenin kendi ağırlığı ile yayılarak oluşturacağı çapın ölçülmesini kapsar. Deney aparatı olarak çökme hunisi ve 80 cm x 80 cm boyutlarında bir tabla kullanılır. Çökme hunisi KYB ile doldurulur. Huni çekildiğinde yayılan KYB'nun ortalama çapı ölçülür. Ayrıca bir kronometre ile 50 cm yayılma değeri için geçen zaman tutulur (İnt.Kyn.2).
- V hunisi deneyi- TS EN 12350-9: KYB'nin özel tasarlanmış bir huninin dar ağzından boşalma süresinin ölçülmesini içerir. Viskozite ve geçiş yeteneği hakkında fikir verir. Aparat olarak özel bir huni kullanılır. Huniye KYB doldurulup altta bulunan sürgülü kapak açılır ve huni içindeki tüm betonun boşalma süresi tutulur (İnt.Kyn.2).
- L Kutusu Deneyi- TS EN 12350-10: KYB'nin yerleşme, doldurma, geçiş yeteneğinin ve ayrışmaya direncinin L bir kutu içerisinde gözlenmesidir. Kutunun alt ortasında sürgülü kapak ve demir çubuklar bulunmaktadır. Sürgülü kapak çekilerek betonun diğer bölüme 20 cm ve 40 cm ilerlemesinin süreleri ölçülür ve kutunun iki tarafındaki seviye farkı tespit edilir (İnt.Kyn.2).

- U Kutusu Deneyi: KYB'nin yerleşme yeteneğinin ölçülmesini sağlar. U şeklinde, alt ortasında sürgülü kapak olan ve demir çubuklar bulunan bir kutu kullanılır. KYB sıkıştırılmadan doldurulur ve 1dk dinlendirilir. Sürgülü kapak çekilerek betonun diğer bölüme doğru dolarak yükselmesi beklenir. Bölmelerdeki beton yüksekliklerinin farkı betonun geçme yeteneğini gösterir. Yükseklik farkının max 30cm olması istenir. Deney süresi 5 dakikadır. Donatı çapları ve açıklıkları projeye uygun seçilebilir (İnt.Kyn.2).
- Elekte Ayırışma Deneyi-TS EN 12350-11
- J Halkası Deneyi- TS EN 12350-12

### 2.3.3 Kendiliğinden Yerleşen Betonda Kullanılan Malzemeler

Geleneksel betonda kullanılan Normal Portland Çimentoları KYB üretiminde de kullanılabilir. Ancak bazı çimentolarla KYB üretimi daha başarılı olabilmektedir. TÇ 32,5 ve PZÇ 32,5 çimentolarının, KYB katkıları ile yer yer uyumsuzluk göstermiştir. Bu uyumsuzluğu ortadan kaldırmak için süperakışkanlaştırıcı olarak yüksek oranda su kesici özelliğe sahip ve moleküler ağırlığı optimize edilmiş bir kimyasal katkı kullanılması gerekmektedir. Bu amaçla polikarboksilat veya naftalin esaslı polimerler katkıları yaygın olarak kullanılan katkılardır (Okazawa *et al.*2000).

Agrega yönüyle bakıldığında geleneksel beton için kullanılan agregaya boyutundan daha küçük olup, genellikle 20 mm'nin altında kullanılır. İnce madde olarak 100 ( $\mu$ ) mikrondan ince taneler düşünülmelidir. Bu amaçla uçucu kül, taş unu, cüruf (öğütülmüş), silis dumanı kullanılabilir (Ghezal and Khayat 2002). Aynı zamanda viskozite arttırıcı katkıları kullanılmaktadır. Amaç betonun kararlılığını sürekli kılmak ve agreganın çimento hamuru içinde askıda kalmasını sağlamak içindir. Bu katkıları nişasta, doğal zamk (sakız), ayrıışmış nişasta, selüloz eter, yarı sentetik ve etilen kökenli, vinil kökenli sentetik polimerlerdir (Kawai 1987).

### 2.3.4 Uluslararası Alanda Çeşitli Varyasyonlar ile Üretilen KYB'ler

Kireçtaşı dolgusu veya Viskozite Arttırıcı Katkı ile üretilen bir KYB için A sınıfı düşük, % 20'ye varan oranlarda, doğal puzolanlar ve linyit uçucu küllerin EN197-1 (Ocak 2012) Avrupa standardına göre CEM II-A / M 32,5N karışımları ile aynı sınıf harmanlanmış Puzolanik Portland çimentosu kullanılmıştır. Bu durumlarda C25 / 30 ve C30 / 37 gibi mukavemet sınıflarına ait kendiliğinden yerleşen ve konvansiyonel betonları üretmek için deneyler yapılmıştır. Kırılmış granit, maksimum 8 mm büyüklüğünde kaba agregalar için kullanılırken, ince agregalar silisli doğal nehir kumundan oluşur. Maksimum agrega büyüklüğü, güçlendirilmiş beton elemanların deprem direncini arttırmak için daha yüksek donatı yoğunluğunda tasarlanmıştır. Daha büyük bir agrega büyüklüğünün seçimi, ağır takviyeli kolonların ve duvarların dökümü için kullanıldığında hem KYB hem de normal beton karışımlarının geçiş yeteneğini sınırlayacaktır. Karboksilik indirgeyici yüksek bir suda, polimer katkısı, S4 sınıfına karşılık gelen çökme veya KYB durumunda kendi kendine uyumluluk için farklı dozajlarda eklenir. Karışımın tutarlılığını arttırmak için KYB üretimi için kireçtaşı dolgusu veya viskozite arttırıcı katkı (VAK) eklenmiştir. Beton dayanımının yanı sıra mekanik özellikler de basınç dayanımı ve su emilimi açısından karşılaştırılabilir. KYB karışımları her durumda 28 gün boyunca tasarlanan kuvvetlerine ulaşmayı başarmış olup, su içeriğinin değiştirilmesi, KYB karışımlarının nihai mukavemet değerleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığını ortaya koymuştur.

Sonuç olarak; VAK içeren KYB karışımları, seçilmiş VAK'ın tiksotropik (kıvam değişimi) davranışı arttırdığı düşünülse de, zayıf reolojik özellikler göstermektedirler (Aggelos *et al.* 2010).

### 2.4 Traverslerle İlgili Yapılmış Önceki Çalışmalar

Bu kısımda öngermeli beton traverslerle ilgili yapılmış önceki çalışmalar kronolojik bir sırada verilmiş ve yapılan çalışmanın mevcut literatürden farkı vurgulanmıştır.



Berntsson ve Chandra (1982), beton traverslerde kalsiyum klorid hasarı üzerine bir çalışma yapmışlardır. Klorür içeriği, klasik ıslak yöntemle ve nicel olarak iyon seçici elektrotlar ile kalitatif olarak farklı derinlikte tahmin edilmektedir. Örnekler X-ışını kırınım spektroskopisi ile analiz edilmiş ve mikroskop altında incelenmiştir. Beton hasarında, kimyasal, mekanik ve fiziksel süreçlerin birleşik etkisi olduğu düşünülmektedir. Çalışma sonucunda kalsiyum klorürün betona çok zararlı olduğu bulunmuş olup kullanımı için özel dikkat gösterilmesi gerektiği ortaya konulmuştur.

Shayan ve Quick (1994), Finlandiya'da üretilen beton traverslerde alkali-agrega reaksiyonu üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Finlandiya'dan gelen beton traverslerin bozulması, bu tür beton elemanlarla ilgili ilk bildirilen hasarlar arasında olup hasarın nedeninin traverslerin ısıtılma (prekast) tabii tutulmasıdır. Aynı zamanda "ikincil etrenjit oluşumu" veya "gecikmiş etrenjit oluşumu" olarak da bilinen durumun ortaya çıkmasıdır. Araştırma için Finlandiya'dan bozulmuş travers numunesi alınmıştır. Numunelerin kötü bir şekilde bozulduğu, etrenjit ile dolu damarlar içerdiği ve içinde güçlü alkali-agrega (AAR) bulunan kısımlar tespit edilmiştir. Detaylı mikro yapısal incelemelerden, AAR'nin Finlandiya'nın iklim koşullarındaki donma ve çözülme ile ağırlaşan temel çatlama nedeni olduğu sonucuna varılmıştır. Araştırmacılara göre genelde etrenjit oluşumu bozulmaların son aşamasında olduğu idi, ancak burada çatlama sonucu AAR'nin artış gösterdiği ve bozulma nedeninin etrenjit oluşumu olmadığı düşünülmüştür.

Shokrieh ve Rahmat'a (2006), göre traverslerin bir demiryolu sistemindeki en önemli rolü, tren yükünün raydan balastlara taşınmasıdır. Traversler gerçek koşullarda karmaşık yük altında olduğundan, ilk aşama bunların statik analizidir. Araştırmacılara göre gelecekteki demiryolu trafiği kesinlikle bugünkünden daha hızlı olacak ve aynı zamanda trenlerin talep edilen yük kapasitesi muhtemelen artacaktır. Bu da beton traversler için taleplerin daha da artacağını ve güvenilir analitik araçlara olan ihtiyacın yakın gelecekte genişleyeceğini göstermiştir. Yapılan çalışmada araştırmacılar, kompozit malzemelerle traverslerin yük kapasitesini arttırmak ve demiryolu sistemini daha ağır ve hızlı trenlere hazır hale getirmeye çalışmışlardır. İlk adımda kapalı bir form çözümü uygulanmış, daha sonraki adımda, bir beton traversin sonlu eleman modeli

oluşturulmuştur. Daha sonra, güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş traverslerin tam ölçekli bir deneyi yapılmış ve son olarak, sonlu elemanlar modelinin, tam ölçekli deney sonuçları ile karşılaştırılarak ve kapalı form bir çözüm ile doğrulanması gerçekleştirilmiştir. Traverslerin artan yük taşıma yüzdeleri ve sonuçlar arasında ki iyi uyum yapılan çalışmanın başarılı olduğunu göstermiştir. Traverslerin yük taşıma kapasiteleri, yorulma ömürleri artmış, boyuna çatlakların oluşumu önlenmiştir. Araştırmacılar ayrıca bu tip bir travers ile daha düşük kaliteli balast malzemesinin kullanılabilceğini belirtmişlerdir.

Thun (2006), yapmış olduğu doktora çalışmasında mevcut beton yapılarda yorulma direnci ve dayanımını değerlendirmiştir. Çalışması kapsamında hasarlı öngermeli demiryolu traverslerinin yük taşıma kapasitelerini araştırmıştır. Çalışmada kullanılan hasarlı traversler beş ila on yaşları arasında olup gecikmiş etrenjit oluşumunun yol açtığı çatlakların neden olduğu hasar tespit edilmiştir. Traversler üzerinde, orta kısımda ve ray kısmında eğilme kapasitesi, sabitleyicinin yatay yük kapasitesi, beton özelliklerinin kontrolü, ray kısmındaki eğilmede yorulma kapasitesi deneyleri yapılmıştır. Ayrıca araştırmacı hasarları görsel olarak değerlendirerek sınıflandırmıştır. Deney sonuçları, demiryolu traverslerinin oldukça sağlam olduğunu göstermiştir. Küçük çatlakların, yük taşıma kapasitesini çok fazla etkilemediği görülmekte olup, bununla birlikte erken dönemde çatlama şiddetli olduğunda, yük taşıma kapasitesi önemli ölçüde azalmakta olduğu tespit edilmiştir.

Kaewunruen ve Remennikov (2009), öngermeli beton traverslerin darbe kapasiteleri hakkında bir çalışma yapmışlardır. Demiryolu hatlarındaki aşırı yükleme koşulları, çok yüksek ancak kısa süreli dinamik darbe yüklerini içerebilir. Bu yükleme koşulları, yassı tekerlekler, oluklu raylar, vb. gibi tekerlek veya ray anormalliklerinden kaynaklanır. Bu tip yükleme çok nadirdir ve tasarım ömürlerinde bir veya iki kez oluşabilir. Darbe yükü altındaki öngermeli beton traverslerin nihai kapasitesini değerlendirmek için, Wollongong Üniversitesi'nde yüksek kapasiteli bir düşme darbe test makinesi inşa edilmiştir. Yapılan çalışmada, statik ve darbe yükleri altında demiryolu öngermeli beton traversler için kırılma modları, eğilme tokluğu ve enerji absorpsiyon mekanizmalarını değerlendirmek amacıyla deneysel incelemeleri ortaya konulmuştur. Öngermeli beton

traverslerin enerji absorpsiyon kapasitesi, darbe yükleri altında kırılan traverslerin gerekli enerji miktarlarını belirlemek için değerlendirilmiştir. Avustralya üretimi öngermeli beton traversler üzerinde statik ve darbe testleri yapılmıştır. Darbeden sonra öngermeli beton traverslerin artık kapasitesi de vurgulanmıştır. Ayrıca, bu makale, darbe yükü altındaki demiryolu betonarme traverslerin nihai moment kapasitesini tahmin etmek için basitleştirilmiş bir yaklaşım sunmaktadır. Modifiye basınç alan teorisi, genelleştirilmiş bir kesitsel analiz yazılımı olan Response-2000 kullanılarak eğilme direnci tahmin edilmiştir. Darbe kapasitesinin tahmin edilmesi için dinamik gerilme ve yükleme hızlarının etkileri dikkate alınmıştır. Deney sonuçları modifiye basınç alan teorisi ile tahmin edilen sonuçlarla çok iyi bir korelasyon göstermiştir.

Düzbasan vd. (2011), Karusel sistemiyle öngermeli beton travers üretimi ve kalite kontrolünün nasıl yapıldığını tanıtan bir derleme çalışması yapmışlardır. Çalışmalarında demiryolu ve metro projelerinde ihtiyaç duyulan öngermeli beton traverslerin Türkiye imkanlarıyla üretimini gerçekleştirmek üzere, Polatlı Organize Sanayi Bölgesinde 6.000 m<sup>2</sup> kapalı ve 40.000 m<sup>2</sup> açık alana sahip saha üzerinde, otomasyon teknolojisiyle üretim yapan travers fabrikasını ve üretim aşamalarını tanıtmışlardır.

Ramezianpour vd. (2013), araştırmalarında betonarme traverslerde polipropilen lifin (PPF) hem dayanıklılık hem de betonun fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkisi araştırmışlardır. PPF'nin dayanıklılık üzerindeki etkilerini göstermek için hızlı klorür penetrasyon testi (RCPT), su penetrasyonu, ultrasonik ve sorptivite deneyleri yapılmıştır. Ayrıca, basınç, yarmada çekme ve üç nokta eğilme dayanımı, PPF takviyeli betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini göstermek için Ve-Be consistometer (VB) deneyleri yapılmıştır. Ayrıca, mikro yapıları ve ara yüzey geçiş bölgesini incelemek ve elemanları belirtmek için sırasıyla, Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve X-Işını Kırınım analizi (XRD) teknikleri kullanılmıştır. PPF'nin gözenek engelleme etkisiyle geçirgenliği ve kapiler gözenekliliği azaltabildiği gözlenmiştir. Ayrıca, optimum PPF miktarının 0,7 kg / m<sup>3</sup> olduğu sonucuna varılmıştır. Sonuçlar, ideal PPF miktarının, ultrasonik dalgaların, klorid difüzyonunun, su penetrasyonunun ve sorptivitenin hızını azaltarak betonun dayanıklılığını arttırdığını göstermiştir. PPF, basınç dayanımını azaltmakla birlikte çekme ve eğilme dayanımını geliştirmiştir.

Pawluk vd. (2014), öngermeli beton traverslerdeki durabilite problemiyle ilgili bir çalışma yapmışlardır. Araştırmacılar çalışmalarında traverslerde düşük alkali içeriğinin korunmasına duyulan ihtiyaç kadar gecikmiş etrenjit oluşumu (DEF) tehlikesinden bahsetmişlerdir. Yazarlar ayrıca, BBRV teknolojisine uygulanan traverslerdeki mekanik ankrajın avantajlarını tarmışlardır. Araştırmacılara göre, öngermeli beton traverslerin hasar görmesini önlemek ve durabilitelerini sağlamak için bazı temel kurallara uyulmalıdır. Bunlar: Düşük alkali çimento kullanımı, ısıtma işlem sıcaklığının beton elemanların içinde 70 °C'yi geçmemesi ve uygulamada BBRV teknolojisi göz önüne alınmalıdır.

Shojaei vd. (2015), çalışmalarında öngermeli betonarme traverslerin üretiminde alkali-aktif cüruf (AAS) betonu uygulamasını deneysel olarak incelenmişlerdir. Araştırmacılara göre günümüzde atmosfere yayılan tüm CO<sub>2</sub> emisyonunun % 6 ile % 7'den çimento endüstrisi sorumludur. Bu nedenle, çevre dostu malzemeler sağlamak için alternatif bağlayıcılar aramak bir zorunluluktur. Bir olası alternatif ise alkali aktif cüruf betonu gibi alkali aktif bağlayıcıların uygulanmasıdır. Araştırmacılar bu çalışmalarında karışımının optimum tasarımı incelemiştir. Sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisinin konsantrasyonu, Sodyum Hidroksitin Sodyum Silikata oranı, alkali solüsyonunun cürufa oranı ve alkali içeriği olmak üzere dört etkili faktör göz önüne alınarak, maksimum basınç mukavemetini sağlayan en uygun karışım tasarımı deneysel yöntemin Taguchi tasarımıyla belirlenmiştir. B70 öngermeli beton traversler, EN 13230 Avrupa standardına göre üretilmiş ve deneye tabi tutulmuştur. Deney sonuçları, alkali aktif cüruf betonu ile üretilen öngermeli beton traverslerin demiryolu standartlarının gereklerini karşılayabileceğini, AAS ve normal portland çimentosu (OPC) beton verimliliği ile eko-mekanik göstergenin karşılaştırılması, AAS karışımının eko-mekanik performansının demiryolu traversleri için kullanılan normal betondan daha iyi olduğunu gösteren sonuçlar üzerinde durulmuştur.

Hameed ve Shashikala (2016), ince agregasının hacimce %15'i ufalanmış lastik ile yer değiştirilen beton traverslerde yorulma kırılması ve darbe direncini bulmak için deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Sırasıyla 50 ve 55 MPa tasarım dayanımı elde edilmiştir. Deney sonuçlarına göre numunelerin basınç dayanımlarında ve elastisite

modüllerinde azalma tespit edilmiştir. Bununla birlikte normal betona kıyasla yorulma ve darbe dayanımı lastik içeren beton numunelerinde daha yüksek elde edilmiştir. Deneysel sonuçlarına göre kırıntı lastik içeren demiryolu traversi için darbe dayanımı, öngermeli beton traversle karşılaştırıldığında yaklaşık %60 artış göstermiştir.

Koh vd. (2016) yapmış oldukları çalışmada, Güney Kore demiryolları için yeni geliştirilen çevre dostu öngermeli beton traverslerin yapısal performanslarını araştırmışlardır. Kore Demiryolları Araştırma Enstitüsü'nün (KRRRI) yazarları tarafından, karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonlarının azaltılması ve ince agrega için doğal kumun yerine farklı agrega kullanılarak çevre dostu bir beton geliştirilmiştir. Doğrudan ve dolaylı CO<sub>2</sub> emisyonları, beton endüstrisindeki temel çevresel sorunlardan biridir. Araştırmacılara göre çimento kullanım miktarının azaltılması, beton endüstrisindeki CO<sub>2</sub> emisyonları konusunu ele almak için oldukça faydalı bir yaklaşımdır. Güney Kore'de beton endüstrisindeki diğer bir çevre sorunu ise doğal kum kaynaklarının iyi bir agrega olarak az bulunmasıdır. Yani doğal kumun yerine farklı bir malzeme kullanımına ihtiyaç bulunmaktadır. Yazarlar, demiryolu öngermeli beton traverslerin çevre sorunlarının üstesinden gelmek için iki tür geri dönüştürülmüş endüstriyel yan ürünü (cüruf) kullanmışlardır: (1) İnce öğütülmüş yüksek fırın cürufu Portland Tip III çimentosunun % 30'u ve (2) elektrik ark fırını okside cürufu (EAF) ise doğal ince agreganın tamamıyla yer değiştirilmiştir. Geri dönüştürülmüş sanayi cürufları ile, çevre dostu, öngerme işlemi bırakıldıktan sonraki ilk basınç dayanımı (<24 saat) ve 28 günlük basınç dayanımı yüksek, öngermeli beton travers üretimi için temel özellikleri sağlayan bir beton üretilmiştir. Yapılan çalışmada, çevre dostu öngermeli beton traverslerin yapısal performanslarını uluslararası ve Kore standartlarına göre değerlendirmek için, statik, dinamik, yorulma ve bağlantı parçaları için dikey deney olmak üzere gerekli laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlara göre çevre dostu öngermeli beton traversin, sadece öngermeli beton traverslerin yapısal gerekliliklerini uluslararası ve yerel standartlara uygun olarak karşılamakla kalmayıp, aynı zamanda normal öngermeli beton traversler ile karşılaştırıldığında üstün yapısal performans sergilediği rapor edilmiştir.

Rezaie vd. (2016), öngermeli beton traverslerde boyuna çatlak ilerlemesinde etkili olan faktörlerle ilgili bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. B70 monoblok öngermeli beton traversler İran Demiryolu Endütrisinde en yaygın kullanılan travers türüdür ve birçok ülkenin demiryolu ağında kullanılmaktadır. B70 tipi traversler, ön gerilmeli beton kirişler olarak sınıflandırılmıştır; Bu nedenle ön gerilme kuvvetinin değeri, traverslerin yapısal tasarımında en önemli parametrelerden biridir. Çelik çubukların mukavemetini arttırdığı için yüksek ön germe kuvveti seçilmesi, özellikle çekme mukavemeti düşük olduğunda, servis yüklemesinden önce boyuna çatlak oluşma olasılığını artırabilir. Bu nedenle, ön germe kuvveti ve çekme mukavemeti, traverslerde boyuna çatlak oluşumu yayılma duyarlılığını araştırmak için iki önemli faktördür. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak betonun çekme dayanımı ve çelik çubuklardaki ön germe kuvveti için duyarlılık analizi yapılmıştır. Sonuçlara bakıldığında betonun çekme dayanımının artışı kesitsel kapasitesinin de artmasına neden olduğu görülmüştür. Kapasitedeki bu artışın çekme mukavemetindeki artışla doğrudan bir ilişkisi yoktur. Aynı zamanda nümerik model, farklı öngerme kuvvetleri ve tıfronların etrafındaki maksimum çekme gerilmesi arasında doğrusal bir ilişki göstermektedir. Yüksek öngerme kuvveti uygulamak, traverslerin hizmet yüklemesinden önce boyuna çatlak oluşma olasılığını aynı zamanda uzun dönem servis ömrünü artırabilir.

Yang vd. (2017), yapmış oldukları çalışmada çelik lifler ve öğütölmüş yüksek fırın cürufu (GGBFS) kullanımının öngermeli beton traverslerin statik ve yorulma performansı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. İki farklı serideki travers numunelerinde tip III çimento kısmi olarak (Bağlayıcı ağırlığının %56'sı) GGBFS ile yer değıştirilmiş ve deneye tabi tutulmuş ve bu traverslerin performansı geleneksel demiryolu traversleri ile karşılaştırılmıştır. Bir dizi travers numunesi, geleneksel travers olarak, aynı sayıda (16) öngerme çubuğu ile güçlendirilirken, diğeri seriye ait travers numuneleri daha az öngerme çubuğu (14) kullanılarak üretilmiştir. Her bir seri çelik lifsiz iki farklı tip traversten ( $V_f=0,75\%$ ) oluşmaktadır. Rayın traverse oturma bölümünde pozitif momentlere neden olan statik yükleme ve yorulma deneyleri ile traverslerin merkez bölümünde negatif eğilme momentine neden olan ek statik yükleme testleri gerçekleştirilmiştir. GGBFS ile üretilen traversler, Tip III çimentolu geleneksel traversler ile karşılaştırıldığında, ray oturma bölümündeki statik eğilme ve yorulma

performansında iyileşme göstermiştir. Geleneksel etriye yerine çelik liflerin eklenmesi, çatlak ilerlemesini kontrol ederek ve gevrek kesme kırılmasını önlemiş, ray oturma bölümündeki eğilme ve yorulma kapasitesinin artmasına neden olmuştur. Her iki seri traverslerin merkez kısımlarındaki performansları benzer elde edilmiştir. Sonuç olarak çelik tellerle birlikte azaltılmış öngerme çubuklarının kombinasyonu, performansı artırmış ve daha fazla tasarruf sağlamıştır.

Gonzales-Corominas vd. (2017), yüksek performanslı beton (HPC) ve yüksek performanslı geri dönüştürülmüş agrega betonu (HPRAC) ile yapılan öngerilmeli beton traverslerin yapısal davranışlarını karşılaştırmışlardır. Kaba agrega yerine %50 ve %100 geri dönüştürülmüş beton agregası (RCA) kullanılarak üretilen iki farklı tip HPRAC traversi deneye tabi tutulmuştur. Bu araştırmada kullanılan RCA, reddedilen HPC traverslerinin ezilip kırılmasından elde edilmiştir. Çalışmanın amacı, HPRAC travers davranışının, öngerilmeli beton traversler için, Avrupa asgari gereklilik standartlarını yerine getirip getirmediğini analiz etmek ve deneysel davranışını HPS traversler ile karşılaştırmaktır. Üç farklı tip öngerilmeli beton travers, ray oturma ve merkez kısımlarından, statik yük deneyine tabi tutulmuştur. Merkez bölümünde deney sonuçları ile nihai kapasite için karşılaştırmalı bir çalışma yapılmıştır. Ray oturma kısmında aynı zamanda dinamik yük ve yorulma deneyleri gerçekleştirilmiştir. HPRAC'ler ve HPC traversler, öngerilmeli beton traversler için tüm yapısal gereksinimleri karşılamıştır. Deney sonuçlarına göre HPRAC-50 ve HPRAC-100'ün performansları, HPC traverslerine yakın elde edilmiştir. Ön gerilme çubuklarında gerinim ölçerlerin kullanımıyla kaydedilen yük-gerilme davranışı, HPC traverslerin biraz daha rijit olduğunu ortaya çıkarmıştır. Ayrıca, HPRAC'a uygulandığında, nihai kapasitenin dört değerlendirme yönteminden elde edilen değerlerin de doğru olduğu sonucuna varılmıştır.

Shin vd. (2018) yaptıkları çalışmada çimentonun ince öğütülmüş yüksek fırın cürufu (GGBFS) ile yer değiştirilmesi, çengelli çelik liflerin eklenmesi ve öngerilmeli çelik çubuk sayısının azaltılarak çoklu etkilere maruz kalan öngerilmeli beton (PSC) traverslerin davranışları üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Araştırmacılar tarafından GGBFS ve çelik lif içeren ve içermeyen beş tane PSC travers numunesi üretilmiş ve

düşürülmüş darbe deney makinesinde ise deneye tabi tutulmuştur. Deney sonuçları, çekiç ağırlığının ve yükleme protokolünün, PSC traverslerin çoklu darbe direncini güçlü bir şekilde etkilediğini göstermiştir. Pik tepkime yükü, maksimum sapma ve artık deformasyon, GGBFS ve %0.75 hacimce çelik elyafı içeren ve öngermeli çubuk sayısı arttırılan PSC traverslerin çoklu darbe dayanımı artmıştır. Maksimum çatlak genişliği öngermeli çubuklarının azaltılması ve çelik lif ilavesiyle azalmıştır, ayrıca çelik lifler çatlak yayılımını, oluşan çatlakların sayısını ve beton dökülmesini etkili bir şekilde sınırlandırmıştır. Son olarak, çok sayıda darbeye hasar gören PSC traverslerin eğilme dayanımı, çelik lifler ve daha fazla öngermeli çubuğu dahil edilerek, arttırılmıştır. Sonuç olarak, çoklu eğilme etkilerine maruz kalan PSC traverslerin genel performansı, % 0.75 hacimce çelik elyafın eklenmesi ve öngermeli çubuk sayısının arttırılmasıyla geliştirilmiştir.

Taherinezhad vd. (2013), öngermeli beton traverslerin davranışının gözden geçirilmesi üzerine çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmada yapısal ve dayanıklılık gereksinimlerini karşılamak için traverslerin malzeme gereksinimlerini belirlemek ve tasarım yaklaşımı ile dinamik yükler tartışılmıştır. Yapılan çalışmada dinamik yanıtlar (doğal frekanslar ve mod şekilleri, sönümlenme, eğilme momentleri ve gerilme oranları dahil) arıza modları, yorulma ve PSC'lerin dayanıklılık yönleri ile ilgili çalışma ortaya konulmuştur. PSC'lerin dinamik davranışı incelenmiş ve bu davranışlar için hattın önemli bir bileşeni olarak, yüklenen dinamik yüklerin tahmini, bileşenlere etkisi, ray ve tekerlek ilişkisi dikkate alınmıştır. Aynı zamanda öngermeli beton traversler harici dinamik yüklere maruz kaldığında genellikle bütünsel olarak (eğilme formunda) deformasyona uğrar. Dinamik enine yükün bir sonucu olarak PSC'lerin eğilme momenti ve eğriliği ile localize stress yoğunlaşmaları rapor edilerek çatlaklar şeklinde lokal hasarlar tespit edilmiştir.

Yapılan literatür taramasından da görüldüğü gibi daha önce KYB beton ile öngermeli beton travers üretimi üzerine herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Bu tez çalışmasında KYB'nin öngermeli travers üretiminde kullanılabilirliği laboratuvar ve bire bir ölçekli deneylerle araştırılmıştır. Bu yönüyle literatürde önemli bir yer teşkil edeceği düşünülmektedir.



### 3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu tez çalışmasında kendiliğinden yerleşen beton (KYB) kullanılarak beton travers üretimlerinin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. KYB üretiminde genel olarak maksimum agrega tane boyutu 11,2 mm olan agregalar kullanılmaktadır. Ancak bu agregaların kullanılması durumunda beton traverslerin öngerme yüklerini karşılamasında zorluklar yaşanabileceği düşünülmüştür. Bu amaçla, tez çalışmasında öngerme yüklerini karşılayabilmek için maksimum agrega tane boyutu 11,2 mm olan agregalara ek olarak daha iri agregaların (maksimum agrega tane boyutu 22,4 mm) kullanıldığı KYB tasarımları da yapılmıştır. Bu amaçla sekiz farklı granülometri de KYB tasarımı yapılmıştır. Böylece öncelikle KYB olarak farklı granülometri de üretilen betonların fiziksel, mekanik ve dayanıklılık özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. AKÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'nda yapılan araştırmalardan sonra sadece 4,0 - 11,2 mm boyutlarında agrega içeren iki seri ile hem 4,0 -11,2 mm hem de 11,2-22,4 mm boyutlarında agrega içeren iki seri seçilerek İNKOL A.Ş.'nin Afyonkarahisar/Çay beton travers fabrikasında KYB ile travers üretimleri yapılmıştır. Böylece KYB olarak farklı granülometri de üretilen beton traverslerin öngerme yüklerine karşı davranışları ve yük taşıma kapasitelerindeki değişimler de araştırılmıştır. KYB üretimine ek olarak normal beton kullanılarak da beton traversler üretilmiştir. Normal betonlar ile üretilen traverslerin yük taşıma kapasiteleri ile KYB olarak üretilen traverslerin yük taşıma kapasiteleri de karşılaştırılmıştır. Ayrıca tez çalışmasında yine yüksek dayanımı ve kendiliğinden yerleşebilirlik özelliklerini sağlayabilmek için silis dumanı mineral katkısı kullanılmış ve bu katkının KYB özelliklerine ve beton traverslerin mekanik özelliklerine etkileri de araştırılmıştır. Üretilen kendiliğinden yerleşen betonların taze beton özelliklerini belirlemek için yayılma deneyi ve T50 süresi ölçümü, V-hunisi akış süresi ölçümü ve L kutusu deneyleri yapılmıştır. KYB'lerin fiziksel, mekanik ve dayanıklılık özelliklerini belirlemek için sertleşmiş betonlar üzerinde birim ağırlık ve ultrases geçiş süresi, basınç dayanımı, yarmada-çekme dayanımı, su emme ve kılcal su emme, elektriksel direnç deneyleri ile beton traverslerde pozitif yük deneyleri yapılmıştır.

### 3.1 Kullanılan Malzemeler

Deneysel çalışmalarda çimento, silis dumanı, agregalar ve hiper akışkanlaştırıcı katkı gibi malzemeler kullanılmış ve bu malzemeler ile ilgili ayrıntılı bilgiler aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

#### 3.1.1 Çimento

AKÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'ndaki ve travers fabrikasındaki üretilen tüm betonlarda Afyon Çimento Fabrikası'nın (ÇİMSA) üretmiş olduğu TS EN 197-1 standartlı CEM I 52.5 N Portland Çimentosu kullanılmıştır. Üretimlerde kullanılan çimentonun XRF analizi, fiziksel ve mekanik özellikler deney sonuçları Çizelge 3.1'de verilmiştir.

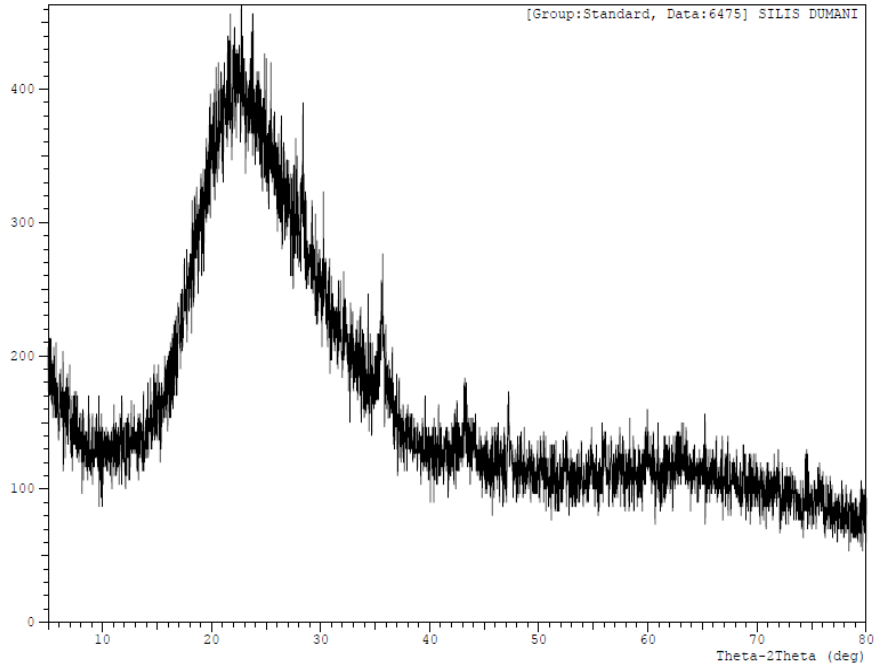
**Çizelge 3.1** Çimentonun XRF analizi, fiziksel ve mekanik özellik deney sonuçları.

	Kimyasal Bileşim, %	CEM I 52.5 N
Kimyasal Özellikler (XRF analizi)	SiO <sub>2</sub>	20,06
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,23
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,12
	CaO	64,40
	MgO	1,62
	Na <sub>2</sub> O	0,18
	K <sub>2</sub> O	0,44
	SO <sub>3</sub>	3,06
	Cl <sup>-</sup>	0,0073
	Kızdırma kaybı	1,88
	Çözünmeyen Kalıntı	0,19
Fiziksel Özellikler	Özgül ağırlık	3,12
	Özgül yüzey, cm <sup>2</sup> /gr	4825,00
	Standart Kıvam Su Miktarı, %	31,40
	Priz Başlama Süresi, dk	131,00
	Priz Sona Erme Süresi, dk	179,00
	Hacim Genleşmesi, mm	0,00
Mekanik Özellikler	Basınç Dayanımı, MPa (2 Günlük)	36,30
	Basınç Dayanımı, MPa (7 Günlük)	53,10
	Basınç Dayanımı, MPa (28 Günlük)	-

### 3.1.2 Silis Dumanı

AKÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'ndaki ve beton travers fabrikasındaki KYB üretimlerinde elektrometalürji tesisi atığı olan silis dumanı kullanılmıştır. Silis dumanı Antalya Eti Elektrometalürji A.Ş. firmasından temin edilmiştir. Silis dumanının (SD) XRF analizi ve fiziksel özellik deney sonuçları Çizelge 3.2'de verilmiştir. Silis dumanına ait XRD analizi sonucu ve elde edilen pik değerleri ve ana malzeme fazları Şekil 3.1'de görülmektedir. Şekil 3.1'te verilen silis dumanı örneğinin difraktogramı incelendiğinde silis dumanının amorf yapıda olduğu görülmüştür.

Yeğınobalı (2009) çalışmasında, silikofrokromdan (SiFeCr) elde edilen silis dumanlarının bileşimlerindeki SiO<sub>2</sub> miktarının %70 ile 85 arasında, MgO miktarının da % 4 ile 8 arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Çizelge 3.2 incelendiğinde deneylerde kullanılan silis dumanının silikofrokromdan (SiFeCr) elde edilen silis dumanlarının kimyasal bileşimine benzerlik gösterdiği görülmüştür.



Şekil 3.1. Silis dumanının XRD analizi sonucu.

**Çizelge 3.2** Silis dumanının XRF analizi ve fiziksel özellik deney sonuçları.

	<b>Kimyasal Bileşim, %</b>	<b>SD (Silis Dumanı)</b>
Kimyasal Özellikler (XRF analizi)	SiO <sub>2</sub>	80,22
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,84
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,46
	CaO	1,39
	MgO	6,55
	Na <sub>2</sub> O	1,45
	K <sub>2</sub> O	2,23
	SO <sub>3</sub>	1,04
	ZnO	0,26
	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,69
	Cl <sup>-</sup>	0,027
	F	0,27
	Kızdırma Kaybı	3,35
Fiziksel Özellikler	Özgül ağırlık	2,20
	BET, m <sup>2</sup> /gr	13,02

### 3.1.3 Agregalar

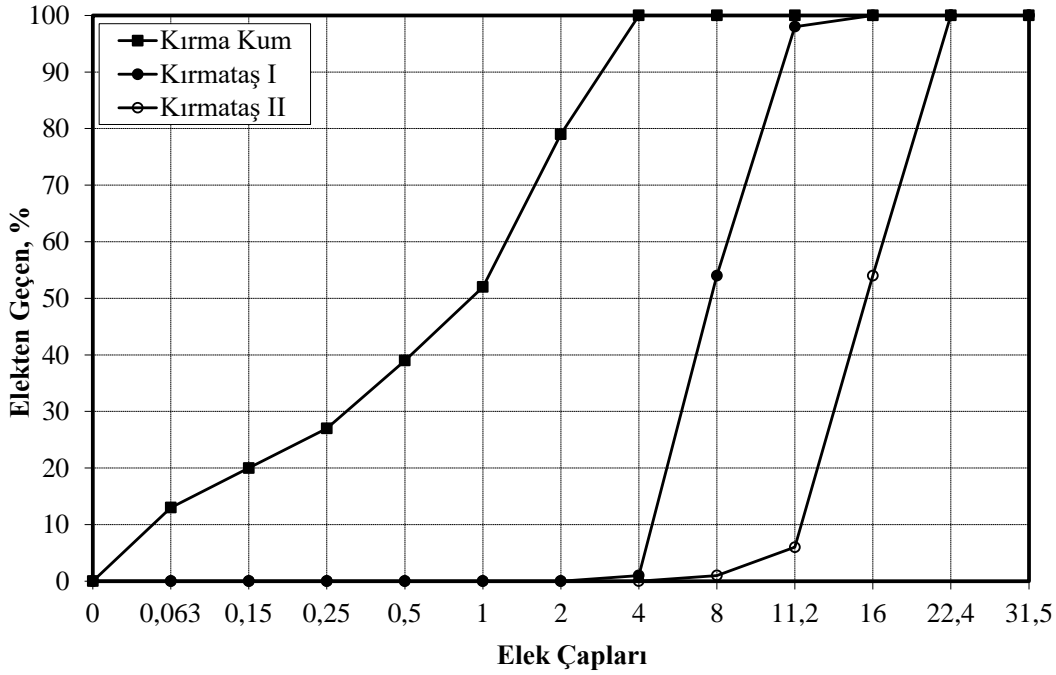
AKÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'ndaki ve beton travers fabrikasındaki tüm beton üretimlerinde agrega olarak İNKOL A.Ş tarafından temin edilen kalker esaslı kırma kum ve kırma taş agregaları kullanılmıştır. KYB üretimlerinde kırma kum, kırma taş I ve en büyük tane büyüklüğü 22,4 mm olan kırma taş II agregası kullanılmıştır. Beton üretiminden kullanılan agregaların fiziksel özellikleri Çizelge 3.3'te verilmiştir. Agregalar üzerinde elek analizi yapılmış ve elek analizi sonuçları Çizelge 3.4 ve Şekil 3.2'de verilmiştir.

**Çizelge 3.3** Agregaların fiziksel özellikleri.

<b>Fiziksel Özellikler</b>	<b>Kırma Kum</b>	<b>Kırma Taş I</b>	<b>Kırma Taş II</b>
Özgül ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	2,64	2,68	2,69
Su emme, %	1,24	0,63	0,55

Çizelge 3.4 Agregaların elek analizi sonuçları.

Elek boyutları (mm)	Elekten geçen malzeme miktarı, %		
	Kırma Kum	Kırma Taş I	Kırma Taş II
31,5	100	100	100
22,4	100	100	100
16	100	100	54
11,2	100	98	6
8	100	54	1
4	100	1	0
2	79	0	0
1	52	0	0
0,5	39	0	0
0,25	27	0	0
0,15	20	0	0
0,063	13	0	0



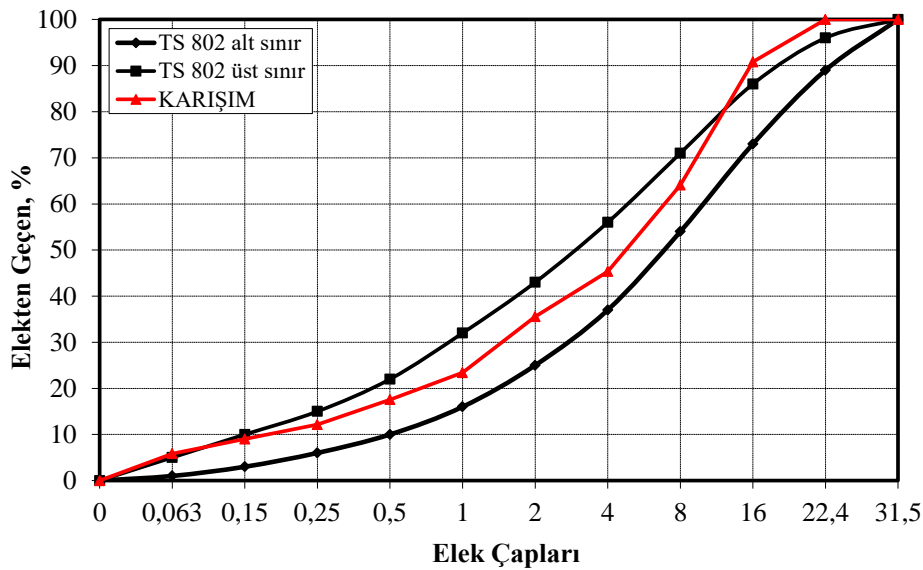
Şekil 3.2 Karışımda kullanılan agregaların tane dağılımı (granülometri) eğrisi.

AKÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'ndaki KYB üretimlerinde ve travers fabrikasındaki KYB ve normal beton üretimlerinde kırma kum, kırmataş I ve kırmataş II agregaları farklı hacim oranlarında kullanılmıştır. Agregaların kullanım oranları Çizelge 3.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.5 Agregaların kullanım oranları, %.

Karışım Kodu	0-4 mm Kum	4-11,2 mm Kırmataş I	11,2-22,4 mm Kırmataş II
<b>Normal beton serileri</b>			
NB	36	33	31
<b>KYB serileri</b>			
50-50-0	50	50	0
50-40-10	50	40	10
50-30-20	50	30	20
50-20-30	50	20	30
45-55-0	45	55	0
45-45-10	45	45	10
45-35-20	45	35	20
45-25-30	45	25	30

Çizelge 3.5'te KYB serileri için verilen karışım kodları kum, kırmataş I ve kırmataş II'nin hacimce kullanım oranlarını göstermektedir. Örneğin 50-30-20 serisi kumun %50 oranında kırmataş I ve kırmataş II'nin sırasıyla % 30 ve 20 oranlarında kullanıldığını göstermektedir. KYB karışım granülometrisi örnek olması amacıyla 45-35-20 serileri için Şekil 3.3'de verilmiştir. Şekil 3.3 incelendiğinde, karışım granülometrisi genel olarak TS 802 (Mart 2016)'da agrega en büyük tane boyutu 22,4 mm olan ve pompa ile iletmeye uygun betonda kullanılması önerilen tane büyüklüğü dağılımı eğrisine ait sınır değerlerin arasında kalmaktadır.



Şekil 3.3 Kendiliğinden yerleşen beton karışım granülometrisi.

### 3.1.4 Hiper Akışkanlaştırıcı

AKÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'ndaki ve beton travers fabrikasındaki tüm beton üretimlerinde hiper akışkanlaştırıcı beton katkısı olarak BASF ACE 450 kullanılmıştır. Bu beton katkısı, "Yüksek Oranda Su Azaltıcı, Süperakışkanlaştırıcı Beton Katkısı" olarak adlandırılmaktadır. Kullanılan kimyasal katkı polikarboksilik eter esaslıdır. Kullanılan bu katkının özellikleri Çizelge 3.6'da verilmiştir.

**Çizelge 3.6** Hiper akışkanlaştırıcı katkı maddesinin özellikleri.

Özellik	Değerler
Malzemenin yapısı	Polikarboksilik eter esaslı
Görünüm	Kahverengi- sıvı
Özgül ağırlık	1,069 – 1,109 kg/l, 20 °C'de
pH Değeri	5-7
Klor iyon içeriği (%)	En fazla %0.1
Alkali içeriği (%)	En fazla % 3

### 3.2 Beton Karışım Oranları

Bu tez çalışmasında öngerme yüklerini karşılayabilmek için maksimum agrega tane boyutu 11,2 mm olan agregalara ek olarak daha iri agregaların (maksimum agrega tane boyutu 22,4 mm) kullanıldığı KYB tasarımları da yapılmıştır. Ayrıca öngerme yüklerini taşıyabilmek için yüksek dayanımlı KYB tasarımı yapılmış ve bu amaçla mineral katkı maddesi olarak silis dumanı kullanılmıştır. Bu amaçla sekiz farklı KYB tasarımı ile bir adet normal beton tasarımı yapılmıştır. Beton karışım oranlarına ait değerler Çizelge 3.7'de verilmiştir. Böylece karışım granülometrisi değişiminin KYB'lerin taze, fiziksel, mekanik ve dayanıklılık özellikleri üzerine olan etkileri araştırılmıştır. AKÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'nda yapılan araştırmalardan sonra sadece 4-11,2 mm boyutlarında agrega içeren 50-50-0 ve 45-55-0 serileri ile hem 4-11,2 mm hem de 11,2-22,4 mm boyutlarında agrega içeren 50-30-20 ve 45-35-20 serileri seçilerek İNKOL A.Ş'nin travers fabrikasında KYB travers üretimleri yapılmıştır. Böylece KYB karışımlarında 11,2-22,4 mm boyutlarındaki iri agrega kullanılması ve kullanılmaması durumunun beton traverslerin öngerme yüklerine karşı davranışları ve yük taşıma kapasitelerindeki değişimleri araştırılmıştır. KYB üretimlerine ek olarak normal beton

kullanılarak ta beton traversler üretilmiş ve normal betonlar ile üretilen traverslerin yük taşıma kapasiteleri ile KYB olarak üretilen traverslerin yük taşıma kapasiteleri de karşılaştırılmıştır.

**Çizelge 3.7.** Kendiliğinden yerleşen ve normal beton karışım oranları.

Karışım Kodu	Su/Toz Malz.	Su kg/m <sup>3</sup>	Çimento kg/m <sup>3</sup>	Silis Dumanı kg/m <sup>3</sup>	Kum kg/m <sup>3</sup>	K.Taş I, kg/m <sup>3</sup>	K.Taş II, kg/m <sup>3</sup>	Hip. Akış. kg/m <sup>3</sup>
50-50-0	0,35	175	400	100	828	841	-	4,25
50-40-10	0,35	175	400	100	829	673	169	4,00
50-30-20	0,35	175	400	100	829	505	338	4,00
50-20-30	0,35	175	400	100	829	337	507	3,75
45-55-0	0,35	175	400	100	745	925	-	4,25
45-45-10	0,35	175	400	100	746	757	169	4,00
45-35-20	0,35	175	400	100	746	589	338	3,75
45-25-30	0,35	175	400	100	746	421	507	3,50
Normal Beton	0,34	123	365	-	706	657	620	2,30

Katkı miktarı, tüm karışımlarda herhangi bir ayrışmaya neden olmadan kendiliğinden yerleşebilirliği sağlayacak şekilde kullanılmıştır. Sonuç olarak TS EN 206 (2017)'de verilen sınır değerleri genel olarak sağlayan karışımlar elde edilmiştir. Normal beton üretiminde çimento dozajı 365 kg/m<sup>3</sup>, su/çimento oranı 0,34 oranında sabit tutulmuştur. Normal beton olarak üretilen serilerin çökme değerleri sıfırdır ve bu betonlar oldukça yoğun bir şekilde vibrasyon sonucunda yerleştirilebilmektedirler.

### 3.3 Üretilen Numune Tipleri, Kür Koşulu ve Süreleri

Karışım oranları belirlendikten sonra beton döküm işlemleri yapılmıştır. Üretilen numune tipleri, kür koşulları ve süreleri hakkında ayrıntılı bilgiler aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

#### 3.3.1 Beton numunelerinin üretimi, kür koşulu ve süreleri

Beton numuneleri üç farklı şekilde üretilmiştir. Üretilen numune boyutları, kür koşulları ve süreleri ile ilgili ayrıntılı bilgiler aşağıda maddeler halinde verilmiştir.



- AKÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'nda üretilen KYB serilerinin hazırlanmasında 50 dm<sup>3</sup>'lük beton mikseri kullanılmıştır. Üretilen betonların KYB özelliklerini sağlayıp sağlamadığını belirlemek için öncelikle taze beton deneyleri yapılmıştır. Daha sonra üretilen betonlar herhangi bir vibrasyon işlemi uygulanmadan kalıplarına yerleştirilmiştir. Üretilen beton numuneleri 100x200 mm boyutlarındaki silindir, 150x150x150 mm boyutlarındaki küp numunelerden oluşmaktadır. Beton numuneleri 24 saat boyunca laboratuvar ortamında kalıplarında bekletilmiş ve sonrasında kalıplarından çıkartılmıştır. Daha sonra bu numunelere 28 gün boyunca 20 ± 2 °C sıcaklığa sahip kirece doymuş su havuzlarında standart kür uygulanmış ve sonrasında ilgili deneyler yapılmıştır.
- Travers fabrikasında üretilen KYB serileri 150x150x150 mm boyutlarındaki küp ve 150x150x600 mm boyutlarındaki prizmatik numunelerden oluşmaktadır. Travers fabrikasında üretilen KYB'ler 50-50-0, 45-55-0, 50-30-20 ve 45-35-20 serilerinden oluşmaktadır. Daha önceden laboratuvar ortamında KYB serilerinin taze özellikleri belirlendiği için travers fabrikasında üretilen KYB'lerde tekrar taze beton deneyleri yapılmamıştır. Üretilen KYB numuneleri traverslerle aynı ortamda 7 saat boyunca buhar kürüne tabi tutulmuşlar ve prizmatik numuneler buhar kürü sonrasında küp numuneler ise buhar küründen sonra ilave olarak 1 ve 180 günlük hava kürü sonrasında ilgili deneyler yapılmıştır.
- Travers fabrikasında üretilen normal beton serileri 150x150x150 mm boyutlarındaki küp ve 150x150x600 mm boyutlarındaki prizmatik numunelerden oluşmaktadır. Normal beton numuneleri beton traverslerle aynı ortamda 7 saatlik buhar kürüne tabi tutulmuşlar ve bazı seriler buhar küründen hemen sonra, bazı seriler ise buhar küründen sonra ilave olarak 7 ve 31 gün boyunca 20 ± 2 °C sıcaklığa sahip kirece doymuş su havuzlarında standart kür uygulandıktan sonra ilgili deneyler yapılmıştır.



ve 7 saat boyunca buhar kuru uygulanmıştır. Kuruleme işlemi sonrası traversler 28 günlük nihai dayanımının %60'na ulaşmaktadırlar. Buhar kuru uygulanan beton traverslerin üretimi ve buhar kuru uygulamasına ait görüntüler Resim 3.1 ve Resim 3.2'de verilmiştir. Üretilen beton numunelerine TS EN 13230-1 (2016)'de belirtilen kuru şartlarına göre buhar kuru uygulanmıştır.



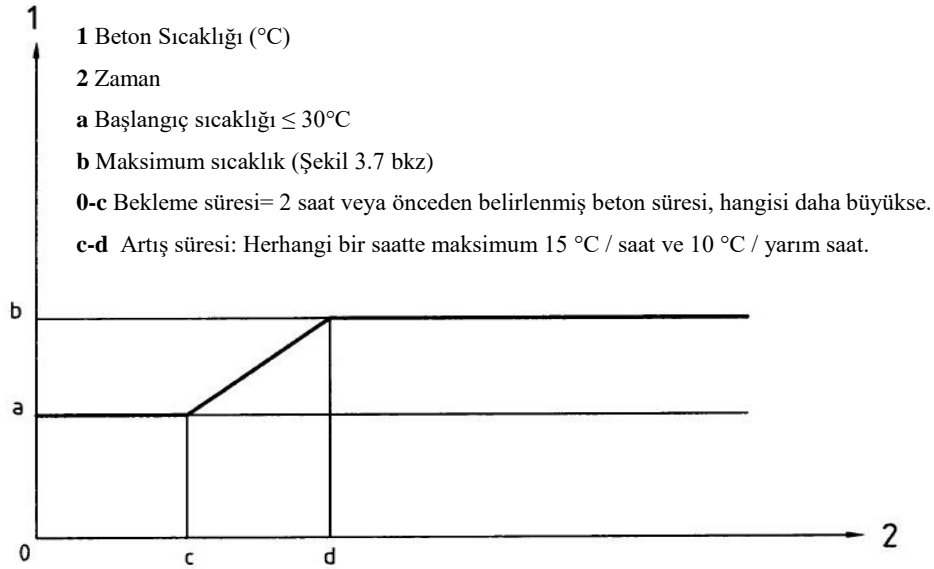
**Resim 3.1** KYB travers numunelerinin üretimi.



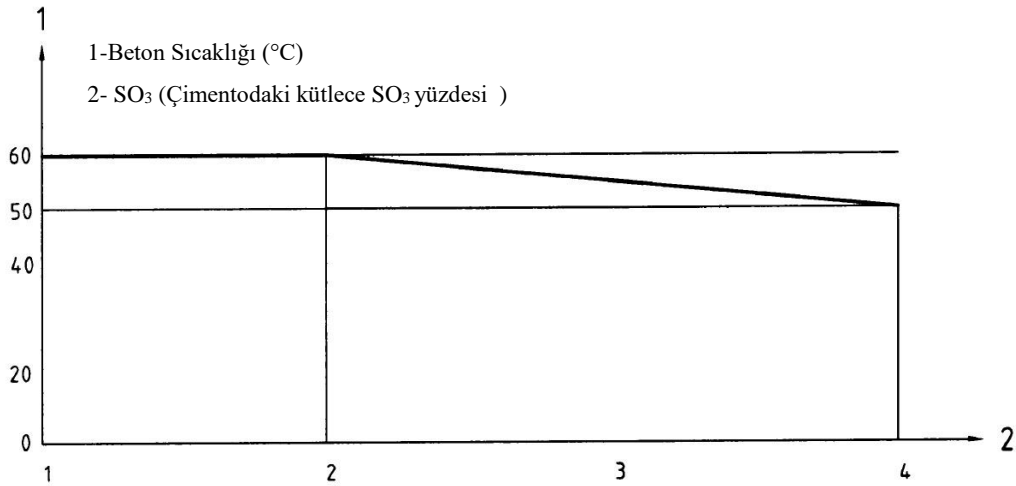
**Resim 3.2** Üretilen KYB travers numunelerine buhar kuru uygulaması.

Beton traverslere buhar kuru uygulanırken dikkat edilecek maksimum sıcaklık eğrisi Şekil 3.6'da verilmiştir. Ayrıca çimentodaki kükürt trioksit ( $SO_3$ ) içeriğine bağlı olarak maksimum kuru sıcaklığına ait değerler de Şekil 3.7'de verilmiştir. Buhar kuru yapılırken bu kriterlere uygun şekilde çalışılmıştır. İlk olarak yaklaşık  $20^{\circ}C$  de kuruleme işlemine başlanılmıştır. Kuru odaları dışarıdan izole edilmiş olup, sıcak buhar yer almaktadır. Her kuru odasında 1 adet traversin ağırlık merkezinden betona daldırılan kovanlı özel ısı ölçer ile betonun sıcaklığı okunmaktadır. İlk 2 saatte travers merkez sıcaklığı  $30^{\circ}C$

seviyesinde tutulur. Sonraki 2 saat içinde ise travers merkez sıcaklığının çimentodaki SO<sub>3</sub> miktarına göre Şekil.3.6'den elde edilen izin verilen maksimum beton sıcaklık değerine kadar yükselmesi sağlanır. Bu sıcaklık artış hızı herhangi 1 saatlik dilim içerisinde 15°C'yi, herhangi yarım saatlik dilim içerisinde de 10°C'yi aşmayacak şekilde yapılır. Sonraki 3 saatte traverslerin beton sıcaklığı maksimum sıcaklığı geçmeyecek şekilde sabit tutulur. Bu süreçlerin sonunda traverslerin kür işlemleri tamamlanmaktadır.



Şekil 3.6 Maksimum sıcaklık eğrisi (TS EN 13230-1 2016).



Şekil 3.7 Çimentodaki SO<sub>3</sub> içeriğinin bir fonksiyonu olarak maksimum kür sıcaklığı (TS EN 13230-1 2016).

Buhar küründen çıkan beton traverslere ait görüntüler Resim 3.3'de verilmiştir. Buhar küründen sonra beton traverslerin içerisindeki donatılara uygulanan  ngeme yüklerinin boşaltılması işlemi yapılmıştır. Bu işleme ait görüntüler Resim 3.4'de verilmiştir.  ngeme yüklerinin boşaltılması işlemi sonrasında beton traversler kalıplarından çıkartılmıştır. KYB kullanılarak üretilen beton traverslere ait görüntüler Resim 3.5'de verilmiştir. KYB ve normal beton olarak üretilen traverslere buhar küründen sonra 1, 28 ve 180 gün boyunca hava kürü uygulanmış ve sonrasında ilgili deneyler yapılmıştır.



**Resim 3.3** Buhar küründen çıkan beton traversler.



**Resim 3.4**  ngeme yüklerinin boşaltılması işlemi.



**Resim 3.5** KYB kullanılarak üretilen beton travers numuneleri.

### **3.4 Yapılan Deneyler**

Beton travers üretiminde kullanılan KYB'lerin ve normal betonların taze, fiziksel, mekanik ve dayanıklılık özelliklerini belirlemek amacıyla çeşitli deneyler yapılmıştır. Yapılan deneyler ait ayrıntılı bilgiler aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

#### **3.4.1 Yayılma Deneyi ve $t_{500}$ Süresi Ölçümü**

Üretilen KYB'lerin taze özelliklerini belirlemek için yayılma deneyi ve  $t_{500}$  süresi ölçümü deneyleri yapılmıştır. Yayılma deneyinin yapılışı Resim 3.6'da gösterilmiştir.



**Resim 3.6** Yayılma ve  $t_{500}$  süresi ölçümü deneylerinin yapılışı.

Huni sıkıştırma işlemi uygulanmadan doldurulmuş ve sonrasında kaldırılarak betonun tablaya önceden işaretlenen 500 mm'lik çapa gelme süresi ( $t_{500}$ ) ve nihai yayılma çapı birbirine dik iki doğrultuda ölçülerek deney tamamlanmıştır. Bu deneyler AKÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'nda KYB üretimleri sırasında yapılmıştır.

### 3.4.2 V-Hunisi Akış Süresi Ölçümü

Bu deney, taze KYB'nin kendi ağırlığı ile özel tasarlanmış bir huninin dar olan ağzından boşalma süresinin ölçülmesine dayanmaktadır. Deneylerde Resim 3.7'te gösterilen V hunisi deney aleti kullanılmıştır. Huninin doldurulması sırasında herhangi bir sıkıştırma işlemi uygulanmamıştır. Bu deneyler AKÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'nda KYB üretimleri sırasında yapılmıştır.

### 3.4.3 L Kutusu Deneyi

Kullanılan L kutusu deney aleti Resim 3.7'te gösterilmiştir. Bu alet kare kesitli kutu şeklinde bir bölüm ile bunun önünde yer alan bir yatay platformdan oluşmaktadır. Kutunun alt kısmında bulunan açıklığa 12 mm çaplı ve 34 mm aralıklı 3 adet çelik donatı yerleştirilmiştir. Başlangıçta açıklık bir kapak ile kapatılmıştır.



**Resim 3.7** V hunisi ve L kutusu deneylerinin yapılışı.

Kutu herhangi bir sıkıştırma işlemi uygulanmadan doldurulduktan sonra, kapak yukarıya çekilmiş ve beton donatılar arasından geçerek platform üzerinde akmaya başlamıştır. Betonun kutu içinde kalan bölümünün ve en uçtaki (platformda) bölümünün yükseklikleri ölçülmüş ve  $h_2/h_1$  oranı belirlenmiştir. Bu deneyler AKÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'nda KYB üretimleri sırasında yapılmıştır.

#### 3.4.4 Birim Ağırlık ve Ultrases Geçiş Süresi Deneyi

Birim ağırlık ve ultrases geçiş süresi deneyleri basınç deneylerinde kullanılan 150x150x150 mm boyutlarındaki küp numuneler üzerinde yapılmıştır. Ultrases geçiş süresi deneyinin yapılışı Resim 3.8'te gösterilmiştir. Birim ağırlık ve ultrases geçiş süresi deneyleri iki farklı numune grubu üzerinde gerçekleştirilmiş ve ayrıntılar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- AKÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarında üretilen KYB serileri 28 gün boyunca kirece doymun su havuzlarında bekletildikten sonra birim ağırlık ve ultrases geçiş süresi deneyleri yapılmıştır.
- Travers fabrikasında üretilen KYB serileri traverslerle aynı koşullarda 7 saat boyunca buhar kürüne tabi tutulmuşlar ve sonrasında ilave olarak havada 1 ve 180 gün boyunca bekletilip birim ağırlık ve ultrases geçiş süresi deneyleri yapılmıştır.



**Resim 3.8** Ultrases geçiş süresi deneyinin yapılışı.



### 3.4.5 Basınç Dayanımı Deneyi

Basınç dayanımı deneyleri 150x150x150 mm boyutlarındaki küp numuneler üzerinde yapılmıştır. Basınç dayanımı deneyinin yapılışı Resim 3.9’da gösterilmiştir. Basınç dayanımı deneyleri üç farklı numune grubu üzerinde gerçekleştirilmiş ve ayrıntılar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.



**Resim 3.9** Basınç dayanımı deneyinin yapılışı.

- AKÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarında üretilen KYB serileri üzerinde 28 günlük standart kürün sonunda basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır.
- Travers fabrikasında üretilen KYB serileri traverslerle aynı koşullarda 7 saat boyunca buhar kürüne tabi tutulmuşlar ve sonrasında ilave olarak 1 ve 180 gün boyunca laboratuvar ortamında havada bekletildikten sonra basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır.
- Travers fabrikasında üretilen normal beton serileri traverslerle aynı ortamda 7 saatlik buhar kürüne tabi tutulmuşlar ve bazı seriler buhar küründen hemen sonra, bazı seriler ise buhar küründen sonra ilave olarak 7 ve 31 gün boyunca  $20 \pm 2$  °C sıcaklığa sahip kirece doymun su havuzlarında standart kür uygulandıktan sonra basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır.

### 3.4.6 Yarmada-Çekme Dayanımı Deneyi

Betonun çekme dayanımı indirekt olarak belirlemek için 100x200 mm boyutlarındaki silindir numuneler üzerinde yarmada-çekme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Yarmada-çekme dayanımı deneyinin yapılışı Resim 3.10'de gösterilmiştir. AKÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarında üretilen KYB serileri üzerinde (TS EN 12390-6 2010) normuna göre 28 günlük standart kür süresinin sonunda yarmada-çekme dayanımı deneyleri yapılmıştır.



**Resim 3.10** Yarmada-çekme dayanımı deneyinin yapılışı.

### 3.4.7 Eğilme Dayanımı Deneyi

Eğilme dayanımları 150x150x600 mm boyutlarındaki prizmatik numuneler üzerinde yapılmıştır. Eğilme dayanımları iki farklı numune grubu üzerinde gerçekleştirilmiş ve ayrıntılar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Travers fabrikasında üretilen KYB serileri traversler ile aynı ortamda ve koşullarda 7 saat boyunca buhar kürüne tabi tutulmuşlar ve hemen sonrasında eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır.
- Travers fabrikasında üretilen normal beton serileri traverslerle aynı ortamda 7 saatlik buhar kürüne tabi tutulmuşlar ve buhar küründen hemen sonra eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır.

### 3.4.8 Elektriksel Özdirenç Deneyi

Elektriksel özdirenç deneylerinde James Instruments'ın ürünü olan RM-8000 marka elektriksel özdirenç ölçer kullanılmıştır. Elektriksel özdirenç deneyleri 100x200 mm boyutlarındaki silindir numuneler üzerinde yapılmıştır. Resim 3.11'de elektriksel özdirenç ölçümünde kullanılan deney aleti gösterilmiştir.



**Resim 3.11** Elektriksel özdirenç ölçümü.

Suya doygun durumdaki numuneler üzerinde elektriksel özdirenç ölçümleri yapılmıştır. AKÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarında üretilen KYB serileri üzerinde 28 günlük standart kür süresinin sonunda elektriksel özdirenç ölçümü deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen elektriksel özdirenç değerlerinin Çizelge 3.8'de verilen aralıklardan hangisine girdiğine bakılmış ve üretilen numunelerin korozyon olasılıkları hakkında fikir sahibi olunmuştur.

**Çizelge 3.8** Elektriksel özdirenç ile korozyon olasılığı arasındaki ilişki.

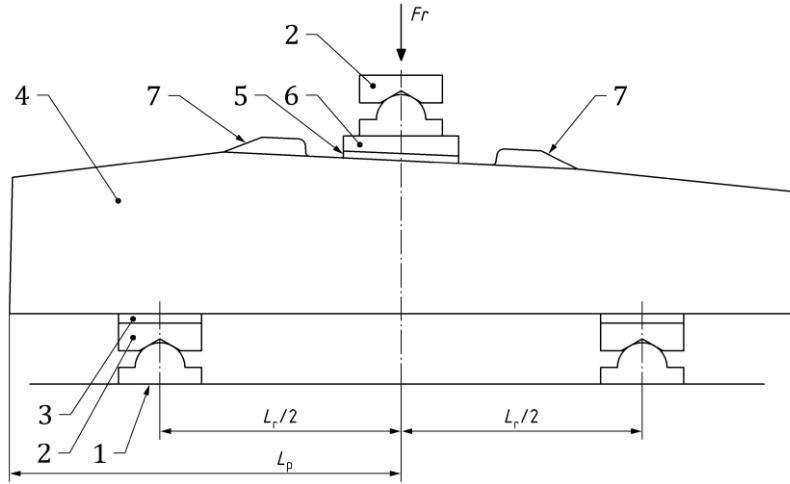
Elektriksel özdirenç (k $\Omega$ .cm)	Korozyon olasılığı
<5	Çok yüksek
5-10	Yüksek
10-20	Düşük
>20	Önemsiz

### 3.4.9 Görünen Porozite, Su Emme ve Kılcal Su Emme Deneyi

Görünen porozite, su emme ve kılcal su emme deneyleri 100x200 mm boyutlarındaki silindir numuneler üzerinde yapılmıştır. Deneyler sonunda beton numunelerin görünen porozite yüzdeleri, ağırlıkça su emme yüzdeleri ve kılcallık katsayıları hesaplanmıştır. AKÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarında üretilen KYB serileri üzerinde 28 günlük kür süresinin sonunda görünen porozite, su emme ve kılcal su emme deneyleri yapılmıştır.

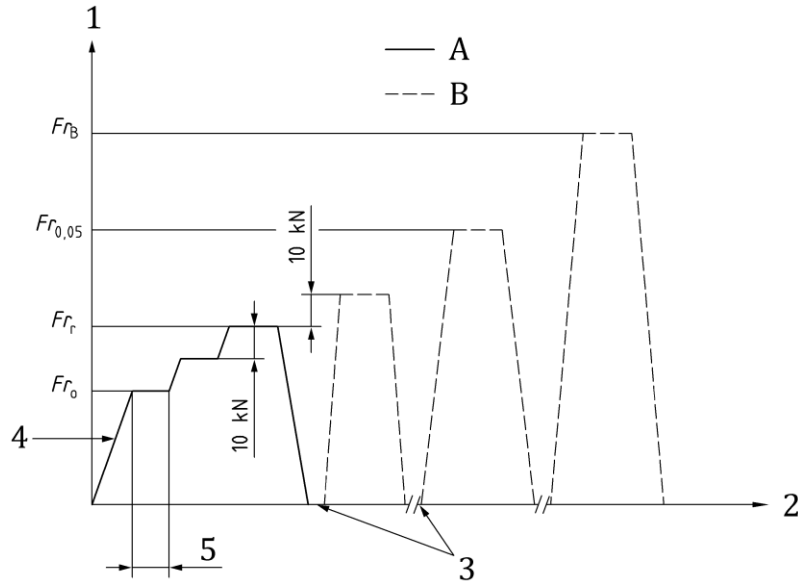
### 3.4.10 Beton traverslerde pozitif yük testi

AKÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'nda üretilen KYB serilerinin arasından 50-50-0, 45-55-0, 50-30-20 ve 45-35-20 serileri seçilerek travers fabrikasında KYB ile travers üretimleri yapılmıştır. Ayrıca karşılaştırma yapmak amacıyla normal beton kullanılarak da beton traversler üretilmiştir. Beton traversler üzerinde 50 t'luk pres yardımıyla TS EN 13230-2 (2016)'de belirtilen yöntemlere göre ray oturma alanında pozitif yük testi yapılmıştır. Pozitif yük testi için ray oturma bölümündeki testin düzenlenmesi ile prosedür Şekil 3.8'de verilmiştir. Pozitif tasarım onay testi için ray bölümünde statik test prosedürü Şekil 3.9'da verilmiştir. Ayrıca beton travers yükleme testlerinde kullandığımız test yükü kademeleri ve bekleme süreleri Çizelge 3.9'da verilmiştir. Test yükü kademeleri ile ilgili açıklamalar tablonun altında verilmiştir. Beton traverslerde yapılan pozitif yük testi deneylerinde öncelikle  $Fr_0=150$  kN olarak seçilerek deneylere başlanmıştır. Daha sonra bu 150 kN'luk yüke gelindiğinde 30 sn beklenmiş ve çatlak oluşup oluşmadığı kontrol edilmiştir. Bu beklemeden sonra yüklemeye devam edilerek ilk çatlak oluşumunun elde edildiği  $Fr_r$  yükü elde edilmeye çalışılmıştır.  $Fr_r$  yükünde de 30 sn daha beklendikten sonra yüklemeye devam edilmiş ve 0,05 mm genişliğinde çatlağın oluştuğu  $Fr_{0,05}$  yükü elde edilmiştir. En sonunda maksimum tepe yükü  $Fr_B$  elde edilerek deney sonlandırılmıştır. Deneylerde yükleme hızı olarak 120 kN/dk olarak seçilmiştir.



- 1 Rijit Destek      2 Mafsallı Destek      3 Elastik Yastık      4 Öngermeli Travers  
5 Alıcı tarafından tanımlanan standart ray yastığı      6 Konik Takoz      7 Yanal durdurucu ve taban plakası

Şekil 3.8 Pozitif yük testi için ray oturma alanında test düzenlemesi (TS EN 13230-2 2016).



- 1 Yük      2 Zaman      3 Çatlak kontrolü (maksimum süre 5 dk)      4 En fazla 120 kN/min  
5 En az 10 s'den en fazla 5 dk'ya      A Deneyin gerekli bölümü      B Deneyin isteğe bağlı bölümü

Şekil 3.9 Pozitif tasarım onay testi için ray oturma alanı statik test prosedürü (TS EN 13230-2 2016).

**Çizelge 3.9** Test yükü kademeleri ve bekleme süreleri.

Test yükü kademeleri (kN)	Bekleme süresi (sn)	Standart değer (kN)
$Fr_0=150$	30	-
$Fr_r$	30	>150
$Fr_{0,05}$	30	>275
$Fr_B$	-	>375

$Fr_0$ : Ray yatağı kısmı için pozitif başlangıç referans test yükü, kN

$Fr_r$ : Ray yatağı kısmının tabanında ilk çatlağı meydana getiren pozitif test yükü, kN

$Fr_{0,05}$ :Yükün kaldırılmasından sonra, ray yatağı kısmının tabanında 0,05 mm genişliğinde bir çatlağın kaldığı en fazla deney yükü, kN

$Fr_B$ : Ray yatağı kısmında arttırılamayan en fazla pozitif deney yükü, kN

Üretilen beton traverslere 7 saat boyunca buhar kürü uygulanmış ve sonrasında 1,28 ve 180 gün boyunca havada fabrika ortamında bekletildikten sonra pozitif yük testi yapılmıştır. Üretilen beton traverslerin ray oturma bölümünde yapılan pozitif yük testine ait görüntü Resim 3.12’de verilmiştir.



**Resim 3.12** Beton traverslerin ray oturma bölümünde yapılan pozitif yük testi.

## 4. BULGULAR

Deney sonuçlarını değerlendirmek için oluşturulan şekillerde verilen indislerde örneğin 50-50-0 serisi, kumun ve kırmataş I'ın hacimce %50 oranında kullanıldığını ve kırmataş II'nin kullanılmadığını göstermektedir. 50-20-30 serisi ise kumun hacimce % 50 oranında, kırmataş I'ın hacimce % 20 oranında ve kırmataş II'nin de hacimce % 30 oranında kullanıldığını göstermektedir.

### 4.1 Yayılma Deneyi ve t<sub>500</sub> Süresi Ölçümü Sonuçları

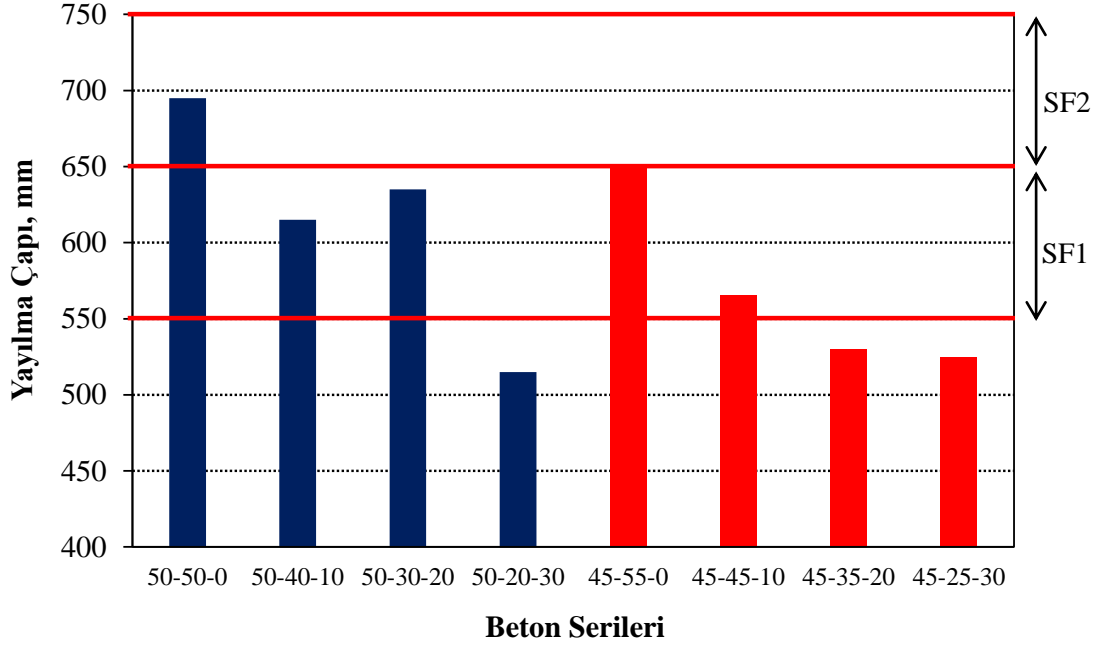
Kendiliğinden yerleşen betonlar üzerinde yapılan yayılma deneyi ve t<sub>500</sub> süresi ölçümü deney sonuçlarından elde edilen değerlerin Çizelge 4.1'de verilen TS EN 206 (2013)'deki sınır değerleri sağlayıp sağlamadığı araştırılmıştır.

**Çizelge 4.1** Çökme yayılma, V hunisi ve L kutusu için TS EN 206 sınır değerleri.

Özellikler	Deney adı	Birim	Sınıflandırma	Değer aralığı
Akıcılık/ Doldurma yeteneği	Çökme yayılma	mm	SF1	550-650
			SF2	660-750
			SF3	760-850
Viskozite / Akıcılık	t <sub>500</sub> süresi	sn	VS1	<2
			VS2	≥2
	V hunisi	sn	VF1	<9
			VF2	9 -25
Geçme yeteneği	L kutusu	mm	PL1	≥0,80 (2 donatılı)
			PL2	≥0,80 (3 donatılı)

Yayılma çapı sonuçlarının beton serilerine göre değişimi Şekil 4.1'de verilmiştir. Şekil 4.1 incelendiğinde kırmataş II agregasının kullanılmadığı 50-50-0 serilerinin SF2 sınıfında olduğu görülmüştür. 50-20-30, 45-35-20 ve 45-25-30 serilerinin herhangi bir yayılma sınıfında olmadıkları sonucuna varılmıştır. Diğer serilerden (50-40-10, 45-45-10, 45-55-0 ve 50-30-20) ise SF1 sınıfına uygun yayılma çapları elde edilmiştir. Şekil 4.1 incelendiğinde kırmataş II agregalarının kullanılması ile genel olarak yayılma çaplarının azaldığı sonucuna varılmıştır. Kendiliğinden yerleşen beton üretimlerinde iri agregaların kullanılması ile tanecikler arasındaki sürtünmelerin artmasından dolayı

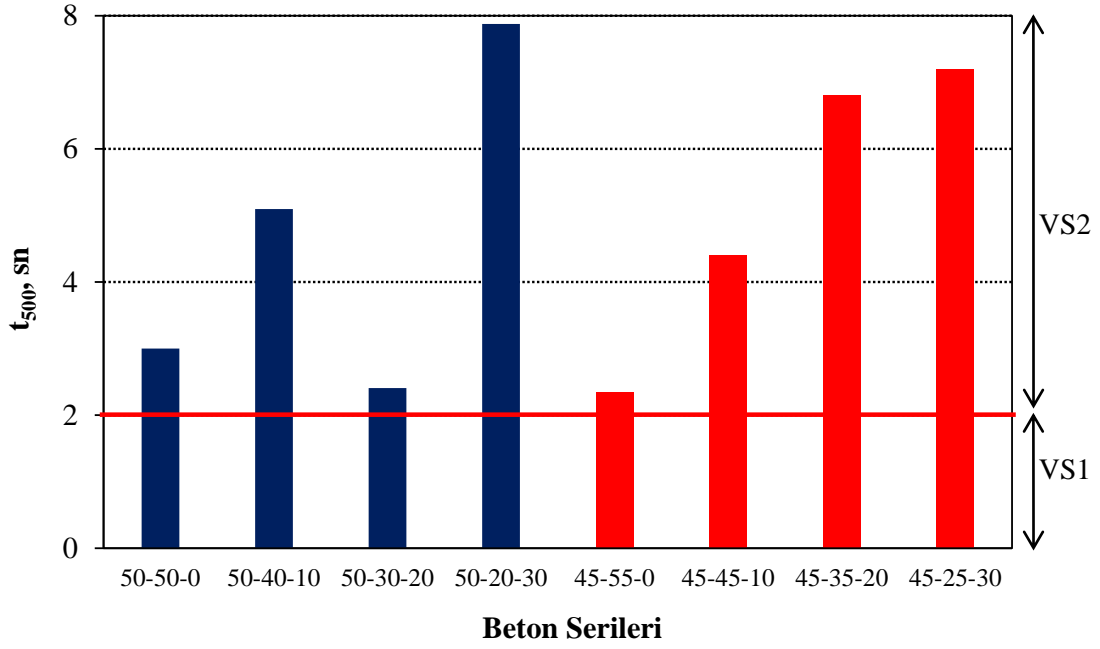
kendiliğinden yerleşen betonların yayılma çapı, değerlerinden de anlaşıldığı üzere, akıcılık özelliklerinin bozulduğu görülmüştür.



Şekil 4.1 Yayılma çapı sonuçlarının beton serilerine göre değişimi.

Yayılma deneyleri sırasında 500 mm'lik çapa yayılma süreleri elde edilmiş ve elde edilen süreler Şekil 4.2'de verilmiştir. Üretilen tüm beton serilerinin VS2 sınıfında oldukları sonucuna varılmıştır. Şekil 4.2 incelendiğinde 11,2-22,4 mm boyutlarındaki kırmataş II agregalarının kullanım oranlarının artması ile birlikte  $t_{500}$  sürelerinin de uzadığı sonucu elde edilmiştir. Sonuç olarak iri agreganın kullanım oranlarının artması ile birlikte viskozite ve akıcılık özelliklerinin bozulduğu görülmüştür. Diğer tüm serilerden farklı olarak 50-30-20 serilerinden kırmataş II agregalarının kullanılmasına rağmen oldukça düşük  $t_{500}$  süreleri elde edilmiştir.

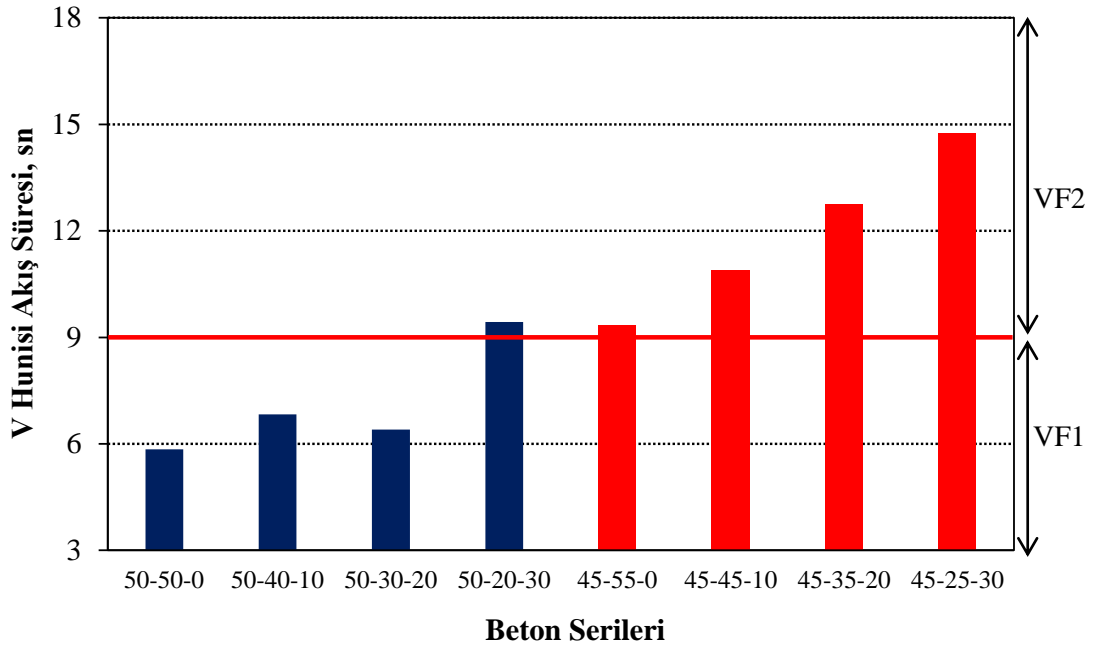




Şekil 4.2 t<sub>500</sub> süresi sonuçlarının beton serilerine göre değişimi.

#### 4.2 V-Hunisi Akış Süresi Ölçümü Sonuçları

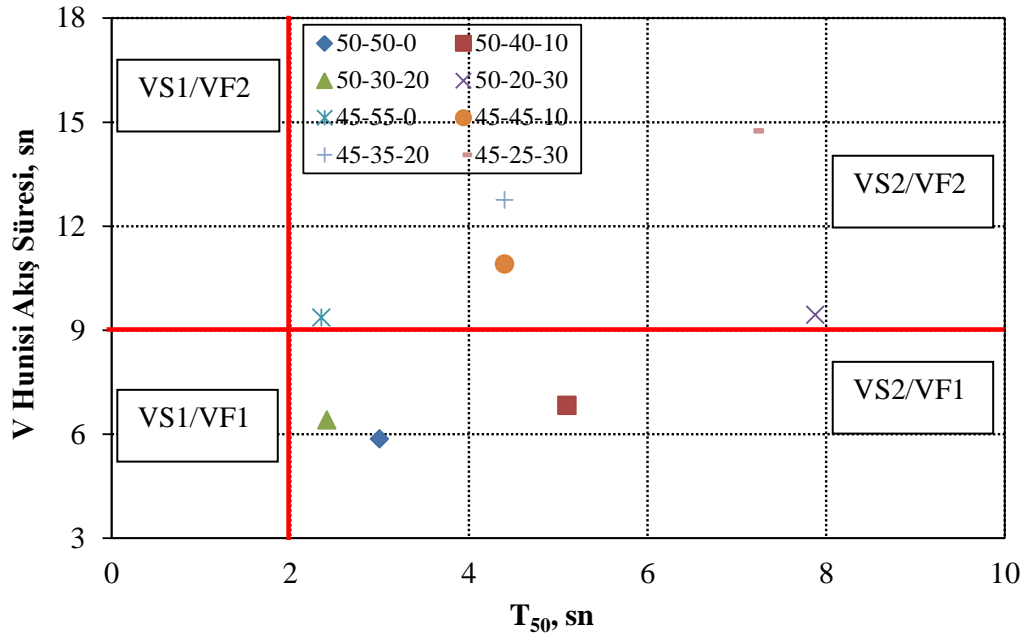
V hunisi akış süresi sonuçlarının beton serilerine göre değişimi Şekil 4.3'te verilmiştir. Şekil 4.3 incelendiğinde 0-4 mm aralığındaki kumun daha yüksek oranlarda kullanıldığı serilerin V hunisinden daha kısa sürelerde aktıkları görülmüştür.



Şekil 4.3 V hunisi akış süresi sonuçlarının beton serilerine göre değişimi.

Genel olarak bu beton serilerinin VF1 sınıfında oldukları sonucuna varılmıştır. Kumun daha az oranlarda kullanıldığı serilerin ise VF2 sınıfında oldukları görülmüştür. En hızlı akış süresi yaklaşık olarak 6 sn ile 50-50-0 serilerinden elde edilirken en uzun akış süreleri ise yaklaşık olarak 15 sn ile 45-25-30 serilerinden elde edilmiştir. Ayrıca beton serilerinde kullanılan iri agrega oranlarının artırılması ile birlikte V hunisi akış sürelerinin de arttığı sonucuna varılmıştır. İri agrega oranlarının artması ile birlikte V hunisinin dar bölgesinden betonun daha zor bir şekilde geçmesinden dolayı V hunisi akış süreleri artmıştır.

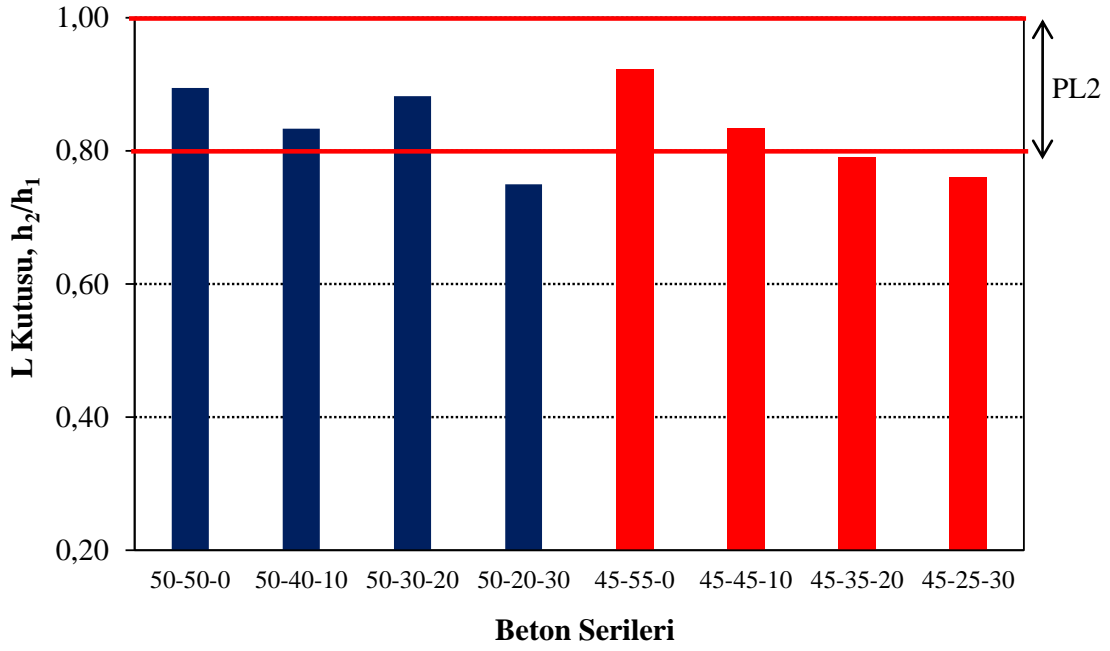
V hunisi akış süreleri ile  $T_{50}$  sürelerinin değişimi Şekil 4.4'te verilmiştir. Şekil 4.4 incelendiğinde kumun hacimsel olarak % 50 oranında kullanıldığı serilerde genel olarak betonlar VS2/VF1 sınıfındayken kumun hacimsel olarak % 45 oranında kullanıldığı serilerde ise VS2/VF2 sınıfında oldukları görülmüştür.



Şekil 4.4 V hunisi akış süreleri ile T<sub>50</sub> sürelerinin değişimi.

### 4.3 L Kutusu Deneyi Sonuçları

L kutusu deney sonuçlarının beton serilerine göre değişimi Şekil 4.5'te verilmiştir. Genel olarak serilerin çoğunun PL2 sınıfında oldukları sonucuna varılmıştır. İri agreganın en yüksek oranda kullanıldığı 50-20-30 ve 45-25-30 serilerinde  $h_2/h_1$  değerleri sınır değerlerin altında kalmıştır. 45-35-20 serilerinden elde edilen değerler de sınır değerlere oldukça yakın olarak bulunmuştur. Şekil 4.5 genel olarak incelendiğinde kumun % 50 ve 45 oranlarında kullanıldığı serilerde 11,2-22,4 boyutlarındaki iri agregaların kullanım oranlarının artması ile birlikte  $h_2/h_1$  değerlerinin azaldığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.5 L kutusu deney sonuçlarının beton serilerine göre değişimi.

#### 4.4 Birim Ağırlık Deneyi Sonuçları

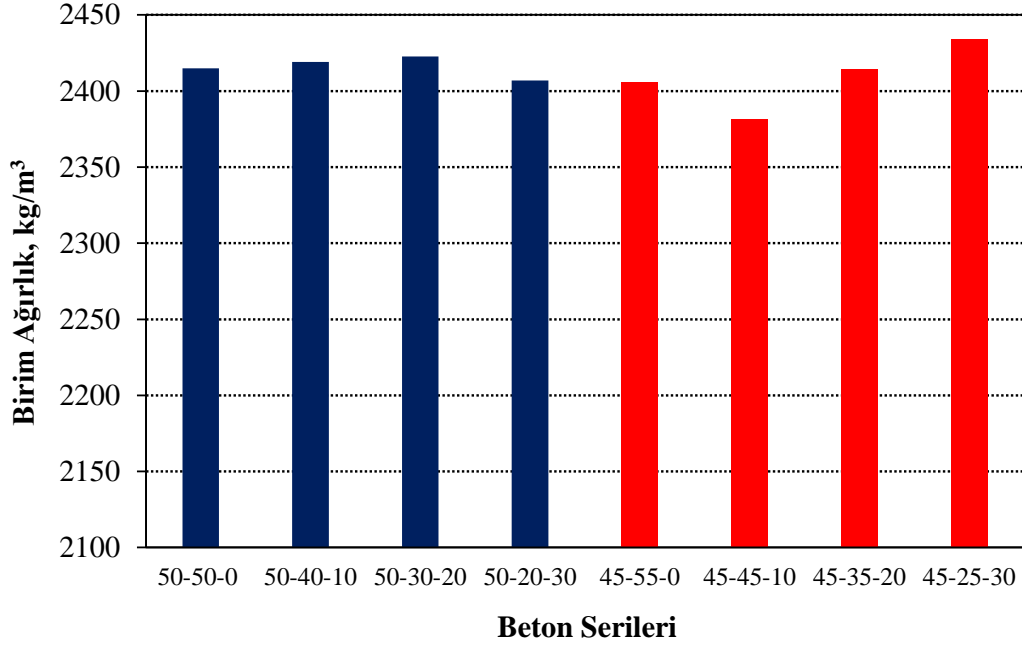
##### 4.4.1 AKÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarında Üretilen KYB'lerin Birim Ağırlık Deneyi Sonuçları

Birim ağırlık deneyi sonuçlarının kendiliğinden yerleşen beton serilerine göre değişimi Şekil 4.6'da verilmiştir. Birim ağırlık değerlerinin 2381 ile 2434  $\text{kg/m}^3$  değerleri arasında değiştiği sonucuna varılmıştır. Genel olarak 11,2-22,4 mm aralığındaki iri agrega kullanım oranlarının artması ile birlikte birim ağırlık değerlerinin arttığı sonucuna varılmıştır. Ancak 50-20-30 ve 45-45-10 serilerinden bu durumun aksi bir şekilde daha düşük birim ağırlık değerleri elde edilmiştir.

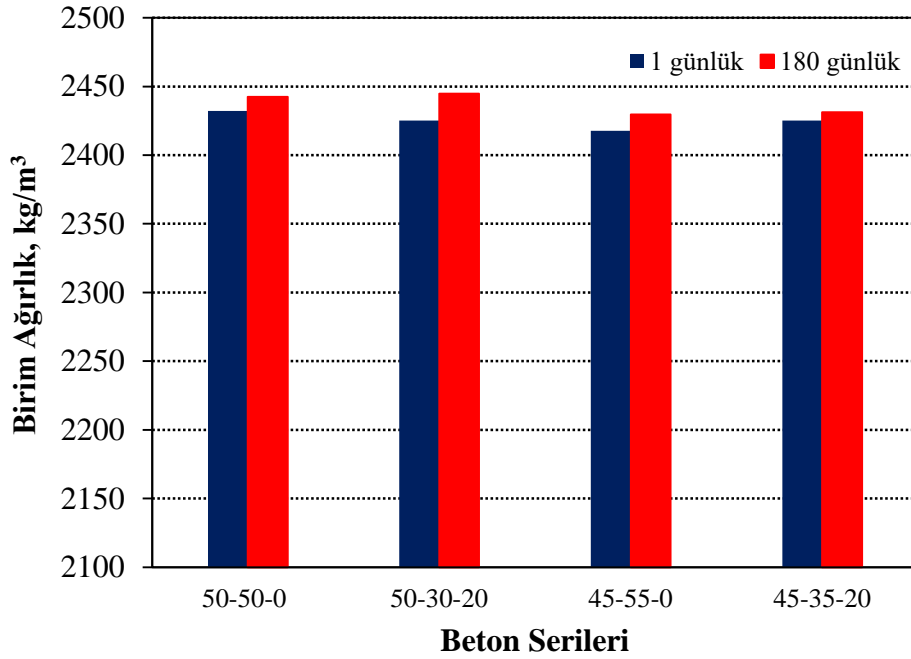
##### 4.4.2 Travers Fabrikasında Üretilen KYB'lerin Birim Ağırlık Deneyi Sonuçları

Travers fabrikasında üretilen KYB serileri 7 saatlik buhar kürü sonrasında 1 ve 180 gün boyunca havada bekletilmiştir. Sonrasında numuneler üzerinde birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Birim ağırlık deneylerinden elde edilen sonuçların beton serilerine göre değişimi Şekil 4.7'de verilmiştir. Şekil 4.7 incelendiğinde birim ağırlık deney

sonuçlarının 2418 ile 2445 kg/m<sup>3</sup> değerleri arasında değiştiği sonucuna varılmıştır. Genel olarak birim ağırlık sonuçlarının birbirine yakın değerlerden oluşmaktadır. Kür sürelerinin artması ile birlikte birim ağırlık değerlerinin arttığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.6 Birim ağırlık sonuçlarının beton serilerine göre değişimi.

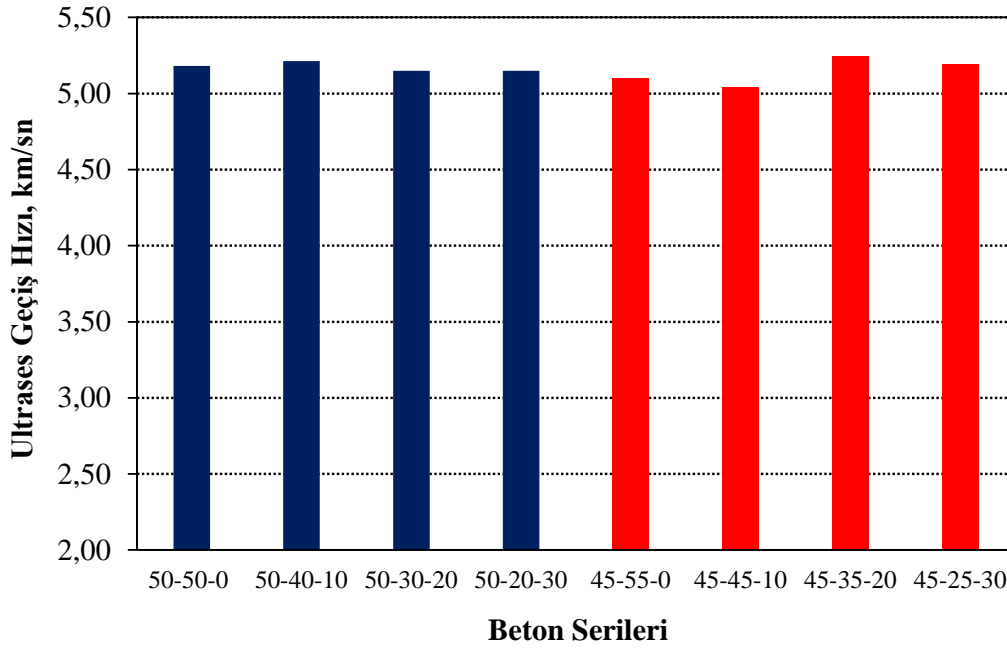


Şekil 4.7 Birim ağırlık sonuçlarının beton serilerine göre değişimi.

## 4.5 Ultrases Geçiş Hızı Deneyi Sonuçları

### 4.5.1 AKÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarında Üretilen KYB'lerin Ultrases Geçiş Hızı Sonuçları

Ultrases geçiş hızı sonuçlarının kendiliğinden yerleşen beton serilerine göre değişimi Şekil 4.8'de verilmiştir. Ultrases geçiş hızları değerleri 5 ile 5,25 km/sn değerleri arasında değiştiği sonucuna varılmıştır. Elde edilen ultrases geçiş hızı değerlerine göre tüm serilerin oldukça boşluksuz olduğu görülmüştür. En yüksek ultrases geçiş hızı değerleri 50-40-10 ve 45-30-20 serilerinden elde edilmiştir. İri agrega oranlarının artması ile birlikte bazı serilerde ultrases geçiş hızı değerleri artarken bazı serilerde de azalmalar olmuştur. Ancak Şekil 4.8'den görüldüğü üzere tüm serilerden 5 km/sn değerinin üzerinde ve birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir.

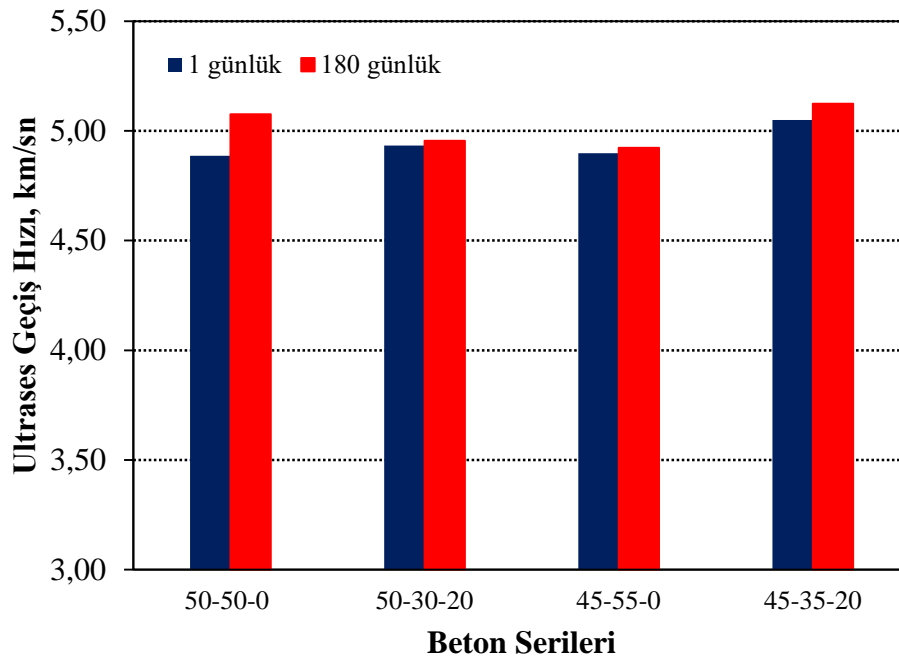


Şekil 4.8 Ultrases geçiş hızı sonuçlarının beton serilerine göre değişimi.

### 4.5.2 Travers Fabrikasında Üretilen KYB'lerin Ultrases Geçiş Hızı Sonuçları

Travers fabrikasında üretilen KYB serileri 7 saatlik buhar kürü sonrasında ilave olarak 1 ve 180 gün boyunca havada bekletilmiştir. Sonrasında numuneler üzerinde ultrases

geçiş hızı deneyleri yapılmıştır. Ultrases geçiş hızı deneylerinden elde edilen sonuçların beton serilerine göre değişimi Şekil 4.9’da verilmiştir. Şekil 4.9 incelendiğinde ultrases geçiş hızı deney sonuçlarının 4,89 ile 5,12 km/sn değerleri arasında değiştiği sonucuna varılmıştır. En yüksek ultrases geçiş hızı deneyleri 45-35-20 serilerinden elde edilmiştir. Kür sürelerinin artması ile birlikte ultrases geçiş hızı deney sonuçlarının arttığı sonucuna varılmıştır. Bunun nedeni kür sürelerinin artması ile birlikte hidrasyon reaksiyonları devam etmiş ve ilave CSH’lar oluşarak betonlardaki boşluklar azalmıştır.



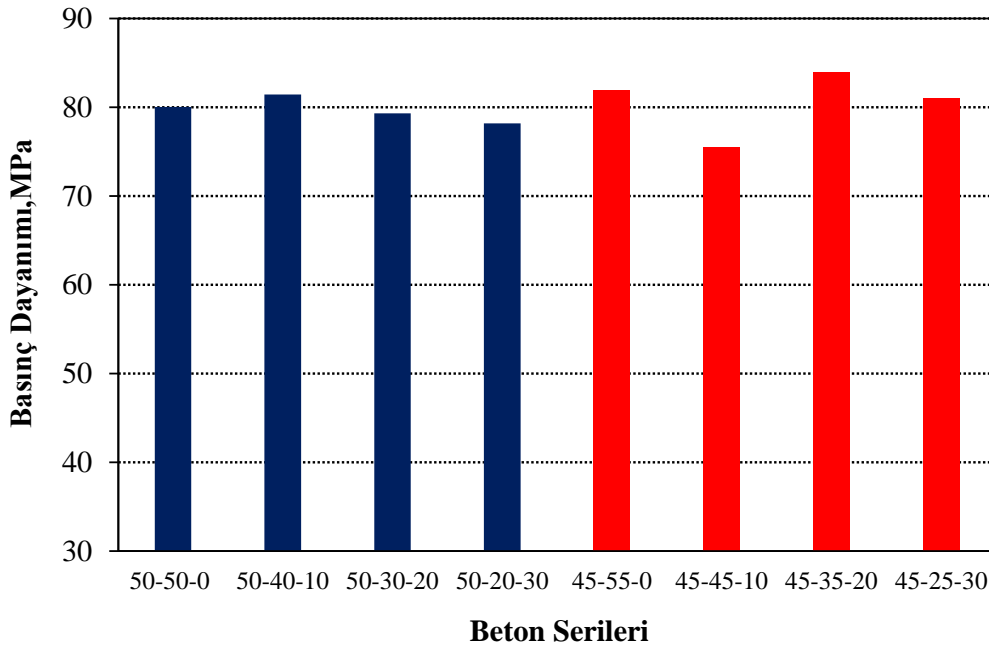
Şekil 4.9 Ultrases geçiş hızı sonuçlarının beton serilerine göre değişimi.

#### 4.6 Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları

##### 4.6.1 AKÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarında Üretilen KYB’lerin Basınç Dayanımı Sonuçları

Şekil 4.10’da basınç dayanımı sonuçlarının beton serilerine göre değişimi verilmiştir. En yüksek basınç dayanımı sonuçları 45-35-20 serilerinden elde edilmiştir. Bu dayanıma en yakın sonuçlar yine kumun hacimsel olarak % 45 oranında kullanıldığı 45-55-0 serilerinden elde edilmiştir. Basınç dayanımı sonuçları 75 ile 84 MPa değerleri

arasında değişmektedir. Tüm serilere bakıldığında 45-45-10 serileri dışında basınç dayanımı sonuçlarının birbirine oldukça yakın değerlerden oluştuğu görülmüştür. Şekil 4.10 incelendiğinden iri agregaya kullanım oranlarının artışı ile birlikte basınç dayanımlarında bazı serilerde artışların bazı serilerde ise azalışların olduğu sonucuna varılmıştır. Kum kullanım oranlarına göre serileri kendi içlerinde değerlendirdiğimizde, 50-40-10 serilerinin basınç dayanımları 50-50-0 serilerine göre iri agregaya kullanım oranının artması ile birlikte % 1,75 oranında artmıştır. 50-30-20 ve 50-20-30 serilerinde ise iri agregaya kullanım oranlarının artması ile birlikte 50-50-0 serilerine göre sırasıyla % 0,93 ve 2,31 oranlarında azalışların olduğu görülmüştür. Sonuçlardan da görüldüğü gibi azalış ve artış oranları çok düşük seviyelerdedir. 45-45-10 serilerinin basınç dayanımları 45-55-0 serilerine göre % 7,80 oranında azalmıştır. 45-35-20 serilerinde iri agregaya kullanımı ile birlikte 45-55-0 serilerine göre % 2,5 değerinde bir artış söz konusu iken 45-25-30 serilerinde %1,05 değerinde bir azalış söz konusudur.

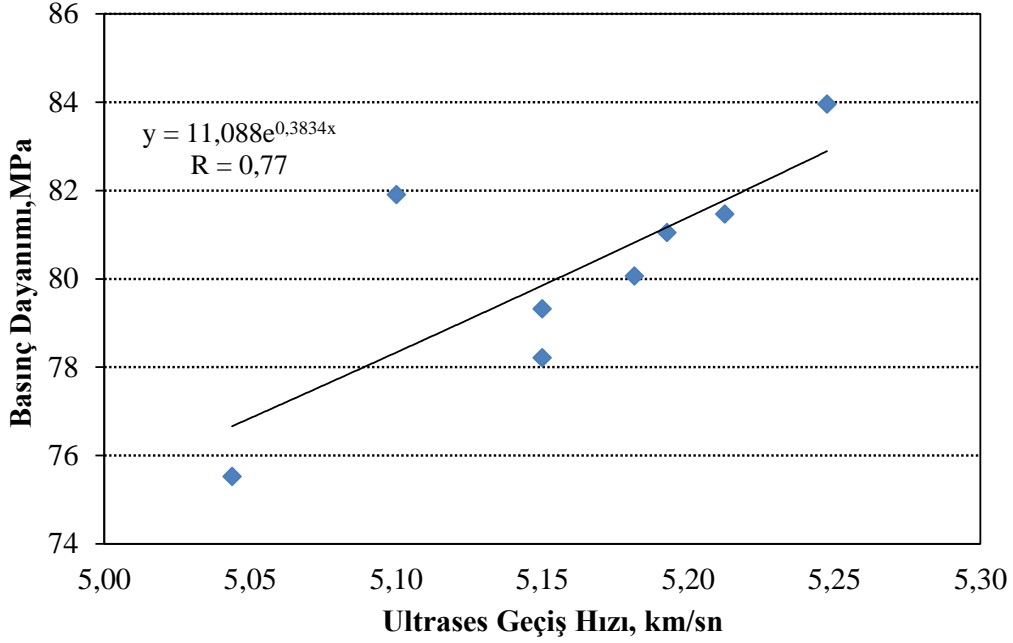


Şekil 4.10 Basınç dayanımı sonuçlarının beton serilerine göre değişimi.

Basınç dayanımı sonuçları ile ultrases geçiş hızı sonuçları arasındaki ilişki Şekil 4.11 gösterilmiştir. Şekil 4.11'den görüldüğü ultrases geçiş hızları ile basınç dayanımları arasında korelasyon katsayısı değerlerinden de görüldüğü üzere iyi bir ilişkinin olduğu sonucuna varılmıştır. Ultrases geçiş hızlarının artışı ile beton numunelerinin basınç dayanımı sonuçları da artmıştır. Ultrases geçiş hızı yüksek olan betonlar daha boşluksuz



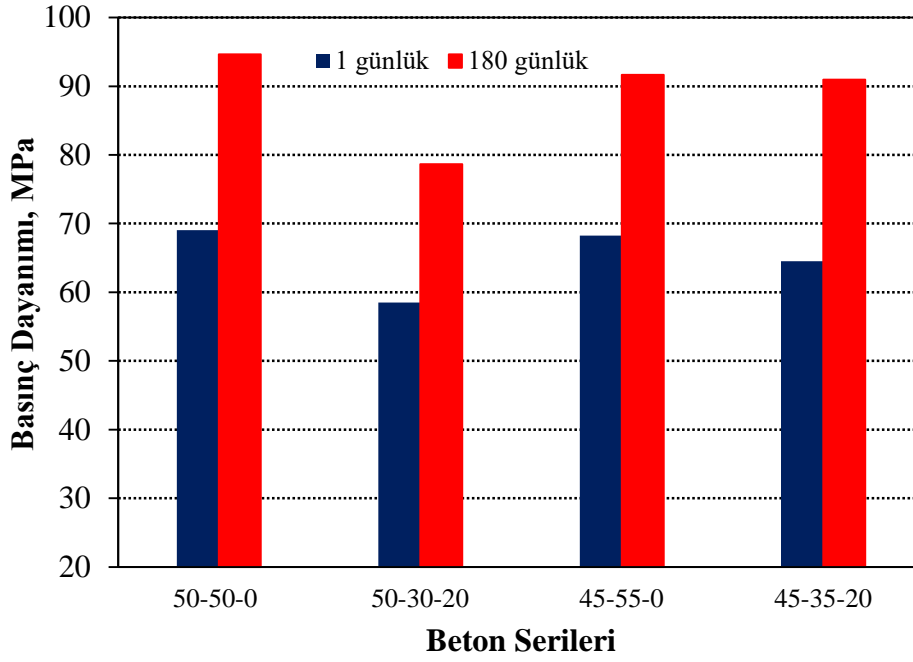
olarak üretilmiştir. Bu nedenden dolayı da daha boşluksuz olarak üretilen betonlardan da daha yüksek basınç dayanımı sonuçları elde edilmiştir.



Şekil 4.11 Ultrases geçiş hızı sonuçları ile basınç dayanımı sonuçları arasındaki ilişki.

#### 4.6.2 Travers Fabrikasında Üretilen KYB'lerin Basınç Dayanımı Sonuçları

Travers fabrikasında üretilen KYB serileri 7 saatlik buhar küründen sonra 1 ve 180 gün boyunca havada bekletilmiş ve sonrasında numuneler üzerinde basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Beton serilerine göre basınç dayanımı sonuçları Şekil 4.12'de verilmiştir. Şekil 4.12 incelendiğinde basınç dayanımı sonuçları kür sürelerinin artması ile birlikte oldukça yüksek oranlarda artmıştır. Buhar kürü işlemlerinden 1 gün sonra kırılan beton numunelerinden elde edilen basınç dayanımı sonuçlarının ortalaması yaklaşık 65 MPa iken, 180 günlük kür süresinden sonra elde edilen basınç dayanımlarının ortalaması yaklaşık 88 MPa olarak bulunmuştur.

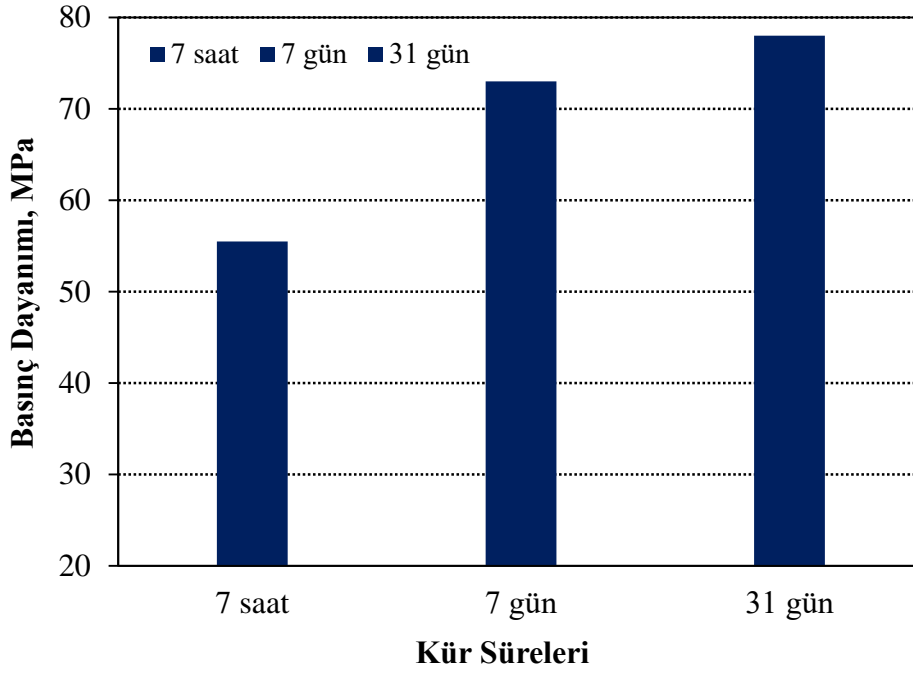


Şekil 4.12 Basınç dayanımı sonuçlarının beton serilerine göre değişimi.

#### 4.6.3 Travers Fabrikasında Üretilen Normal Betonların Basınç Dayanımı

##### Sonuçları

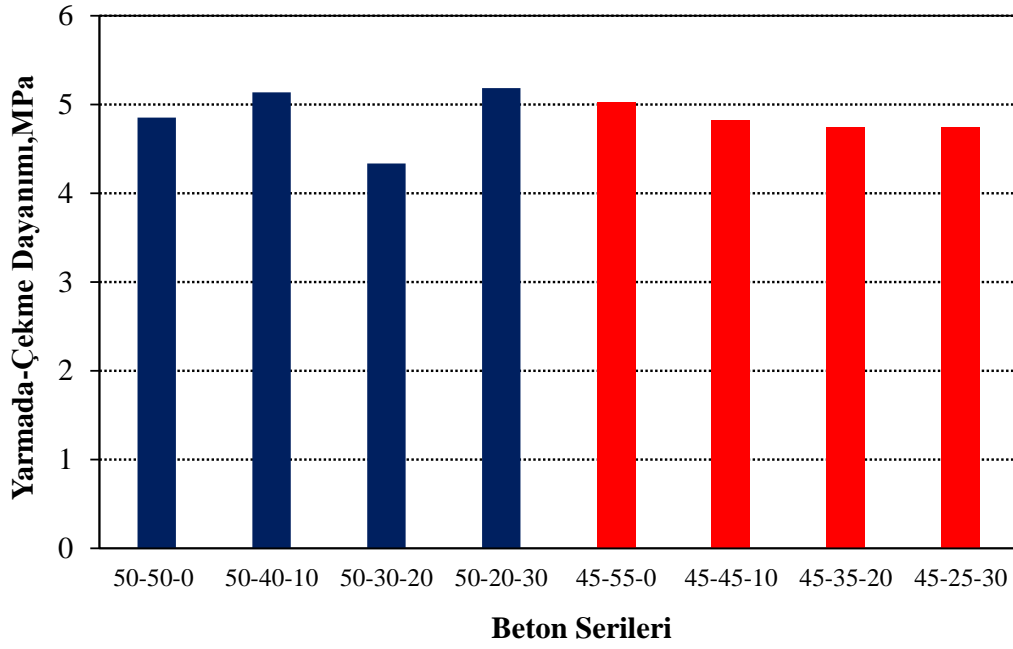
Travers fabrikasında üretilen normal beton serileri üzerinde 7 saatlik buhar kürü uygulanmış ve buhar küründen sonra ilave olarak 7 ve 31 gün boyunca  $20 \pm 2$  °C sıcaklığa sahip kirece doymun su havuzlarında standart kür uygulanmıştır. Travers fabrikasında üretilen normal beton serilerinden elde edilen basınç dayanımı sonuçlarının kür sürelerine göre değişimi Şekil 4.13'te gösterilmiştir. Şekil 4.13 incelendiğinde kür sürelerinin artması ile birlikte basınç dayanımı sonuçlarının arttığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.13 Basınç dayanımı sonuçlarının kür sürelerine göre değişimi.

#### 4.7 Yarmada-Çekme Dayanımı Deneyi Sonuçları

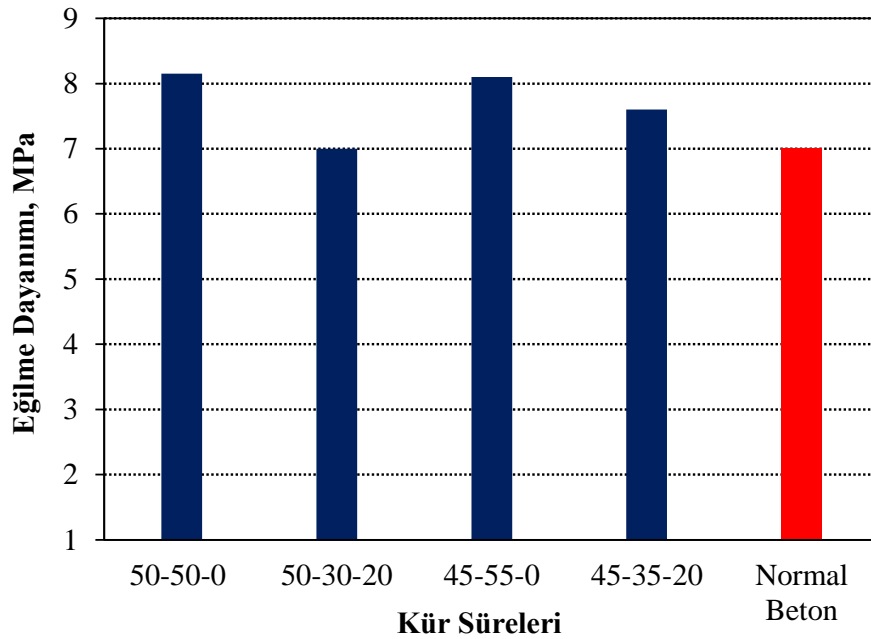
Yarmada-çekme dayanımı sonuçlarının beton serilerine göre değişimi Şekil 4.14'te verilmiştir. Şekil 4.14 incelendiğinde kumun % 50 oranında kullanıldığı serilerde genel olarak iri agrega kullanım oranlarının artması ile birlikte yarmada-çekme dayanımları artmaktadır. Ancak 50-30-20 serilerinde tam tersi durum söz konusudur. 50-40-10 ve 50-20-30 serilerinin yarmada-çekme dayanımları iri agrega kullanım oranlarının artması ile 50-40-0 serilerine göre sırasıyla % 5.86 ve 6.84 oranlarında artmıştır. Ancak 50-30-20 serilerinin yarmada çekme dayanımları 50-50-0 serilerine göre % 10,69 oranında azalmıştır. Kumun % 45 oranında kullanıldığı serilerde ise iri agrega kullanım oranlarının artması ile yarmada-çekme dayanımlarında azalışların olduğu görülmüştür. 45-45-10, 45-35-20 ve 45-25-30 serilerinin 45-55-0 serisine göre azalış oranları sırasıyla % 4.08, 5.50 ve 5.50 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.14 Yarmada-çekme dayanımı sonuçlarının beton serilerine göre değişimi.

#### 4.8 Eğilme Dayanımı Deneyi Sonuçları

Travers fabrikasında üretilen KYB ve normal beton serileri traversler ile aynı ortamda ve koşullarda 7 saat boyunca buhar kürüne tabi tutulmuşlar ve sonrasında eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Eğilme dayanımı sonuçları Şekil 4.15'te verilmiştir.



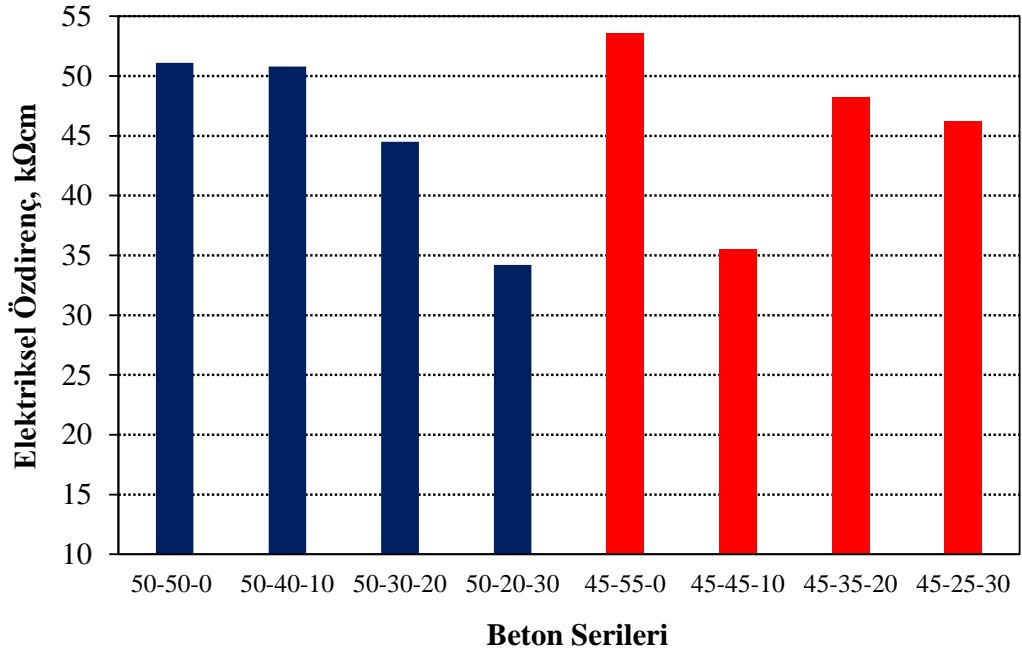
Şekil 4.15 Eğilme dayanımı sonuçlarının beton serilerine göre değişimi.

Eğilme dayanımı sonuçları 7 ile 8,15 MPa değerleri arasında değişmiştir. En düşük eğilme dayanımı değerleri 50-30-20 ve normal beton serilerinden elde edilmiştir. Ancak yine de tüm serilerden 7 MPa'nın üzerinde oldukça iyi dayanımlar elde edilmiştir.

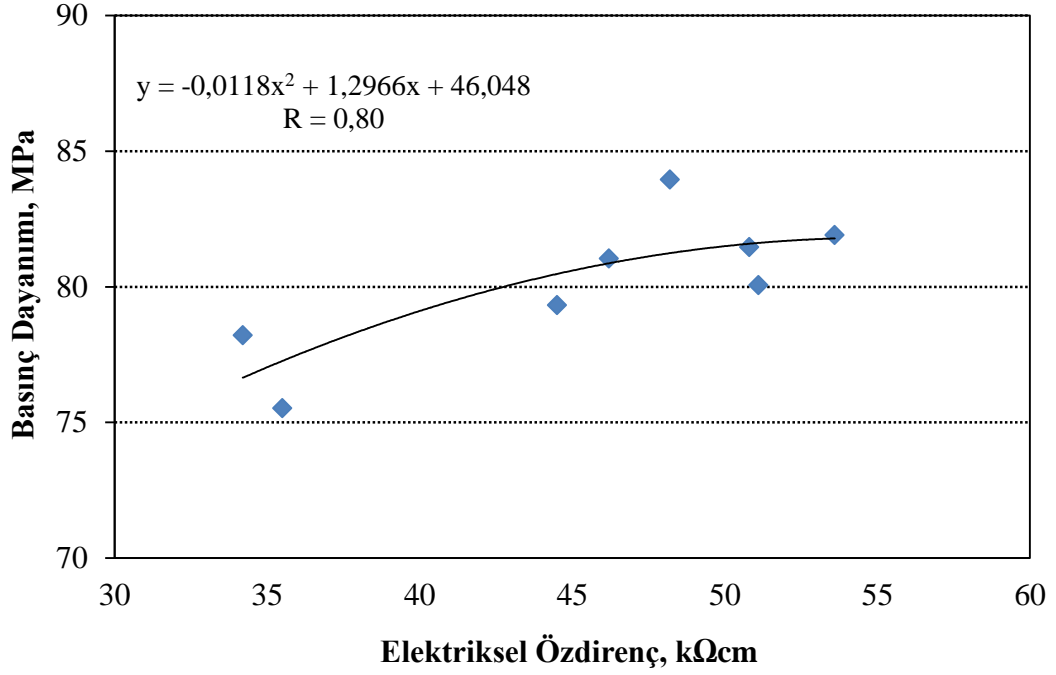
#### **4.9 Elektriksel Özdirenç Deneyi Sonuçları**

Elektriksel özdirenç sonuçlarının beton serilerine göre değişimi Şekil 4.16'da verilmiştir. Çizelge 3.8'de elektriksel özdirenç değerlerinin 10 ile 20 k $\Omega$ cm arasında ise korozyon olasılığının düşük olacağı, elektriksel özdirenç değerlerinin 20 k $\Omega$ cm'den büyük ise önemsiz olacağı belirtilmiştir. Çizelge 3.8'de verilen bu aralıklara göre, üretilen tüm beton serilerinin elektriksel özdirenç değerlerinin 20 k $\Omega$ cm'den büyük olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu durumda üretilen tüm kendiliğinden yerleşen beton serilerinin korozyona karşı dayanıklı olduğu ve korozyon olasılıklarının olmadığı sonucu elde edilmiştir. Şekil 4.16 incelendiğinde kullanılan iri agrega oranlarının artırılması ile birlikte genel olarak elektriksel özdirenç değerlerinin azaldığı görülmüştür. En düşük elektriksel özdirenç değerleri 50-20-30 ve 45-45-10 serilerinden elde edilmiştir. En yüksek elektriksel özdirenç değeri ise 53,6 k $\Omega$ cm değeri ile 45-55-0 serilerinden elde edilmiştir. Elektriksel özdirenç değerlerinin oldukça yüksek elde edilmesinin nedeni kullanılan silis dumanından kaynaklanmaktadır. Silis dumanının kullanılması ile birlikte betonlar daha boşluksuz ve elektriksel iletkenliği daha düşük hal almakta ve daha yalıtkan hale gelmektedirler. Basınç dayanımı sonuçları ile elektriksel özdirenç sonuçları arasındaki ilişki Şekil 4.16'da verilmiştir.

Şekil 4.17 incelendiğinde basınç dayanımı ile elektriksel özdirenç değerleri arasında iyi bir ilişki olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Elektriksel özdirenç değerlerinin artışı ile birlikte basınç dayanımı değerlerinin arttığı görülmüştür.



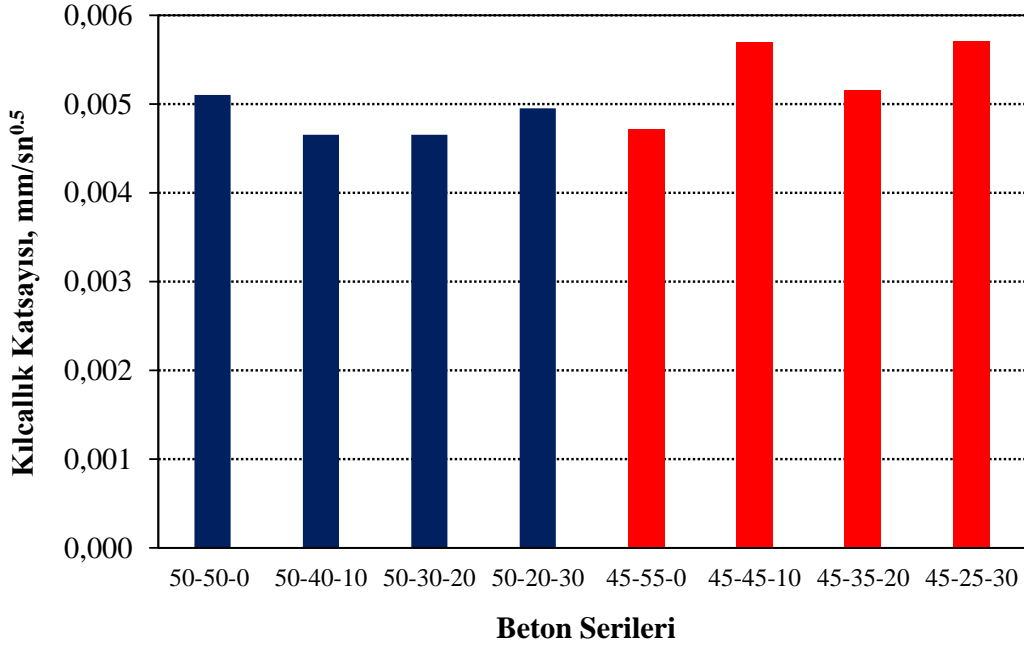
Şekil 4.16 Elektriksel özdirenç sonuçlarının beton serilerine göre değişimi.



Şekil 4.17 Basınç dayanımı sonuçları ile elektriksel özdirenç sonuçları arasındaki ilişki.

#### 4.10 Kılcal Su Emme Deneyi Sonuçları

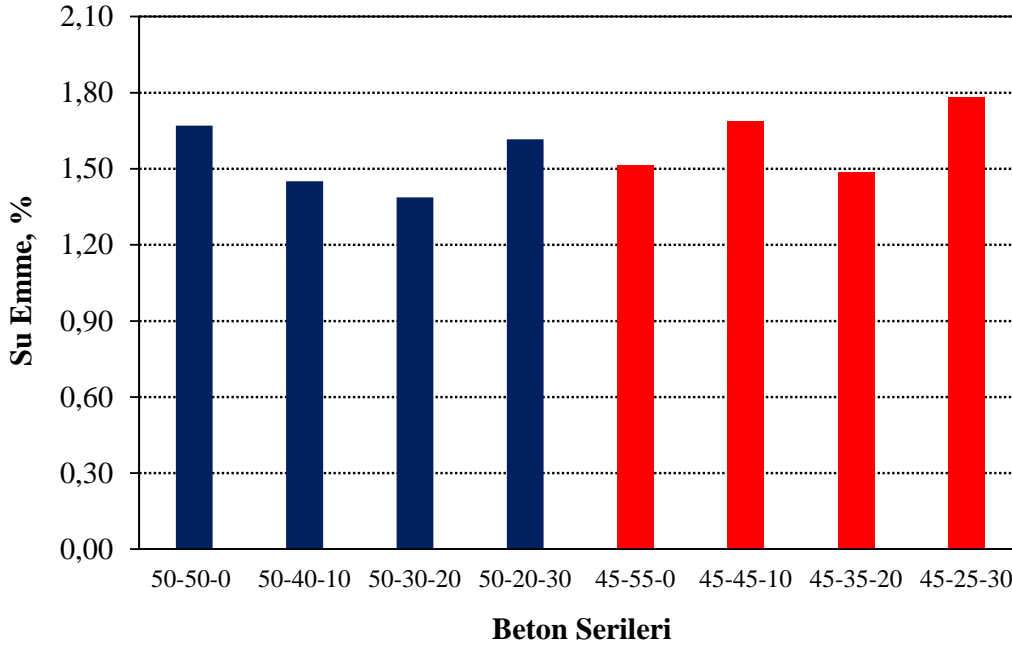
Kılcallık katsayısı sonuçlarının beton serilerine göre değişimi Şekil 4.18’de verilmiştir. Şekil 4.18 incelendiğinde oldukça düşük kılcallık katsayısı değerleri elde edilmiştir. Kılcallık katsayısı değerleri 0,0047 ile 0,0057 mm/sn<sup>0.5</sup> değerleri arasında değişmiştir. Şekil 4.18’e göre iri agrega kullanım oranlarının artırılması ile birlikte kumun hacimsel olarak % 45 oranında kullanıldığı serilerde kılcallık katsayısı değerlerinin genel olarak arttığı görülmüştür. Kumun hacimsel olarak % 50 oranında kullanıldığı serilerde ise birbirine oldukça yakın kılcallık katsayısı değerleri elde edilmiştir. 50-40-10 ve 50-30-20 serilerinin kılcallık katsayısı değerleri 50-50-0 serilerine göre % 8,82 oranlarında azalırken 50-20-30 serilerindeki azalış oranı % 2,94 olarak bulunmuştur. Silis dumanının betondaki boşlukları oldukça iyi bir şekilde doldurmasından dolayı betonlar daha geçirimsiz olarak üretilmiş ve bu yüzden oldukça düşük kılcallık katsayısı değerleri elde edilmiştir. Ayrıca kumun daha yüksek oranda kullanıldığı serilerden de daha düşük kılcallık katsayıları elde edilmiştir.



Şekil 4.18 Kılcallık katsayısı sonuçlarının beton serilerine göre değişimi.

#### 4.11 Su Emme Deneyi Sonuçları

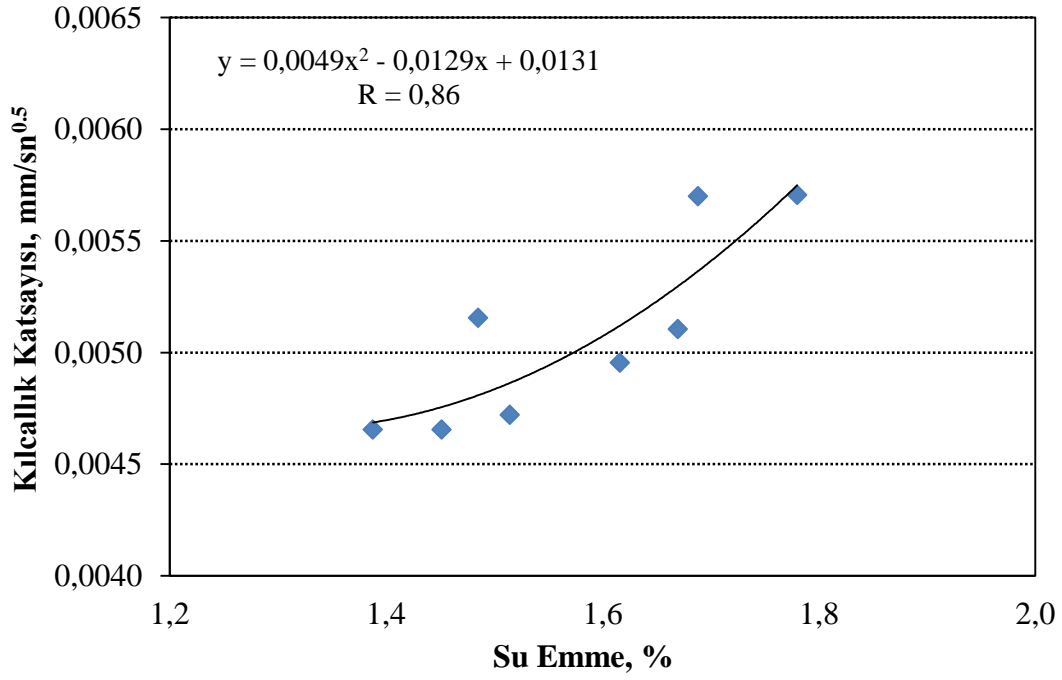
Su emme yüzdesi sonuçlarının beton serilerine göre değişimi Şekil 4.19’da verilmiştir. Su emme yüzdesi değerlerinin 1,39 ile 1,78 değerleri arasında değiştiği görülmüştür. Kumun hacimsel olarak % 50 oranında kullanıldığı serilerde iri agrega oranlarının artışı ile birlikte 50-50-0 serilerine göre genel olarak su emme yüzdelerinde azalışların olduğu sonucuna varılmıştır. 50-20-30 serilerinin de su emme yüzdeleri 50-50-0 serilerine göre azalmıştır. Ancak azalış oranı diğer serilere göre daha azdır. Kumun hacimsel olarak %45 oranında kullanıldığı serilerde ise iri agrega kullanım oranlarının arttırılması ile birlikte 45-55-0 serilerine göre su emme yüzdelerinde artışların ve azalışların olduğu sonucuna varılmıştır. Şekil 4.19 incelendiğinde 45-25-30 serileri dışındaki su emme yüzdesi değerlerinin birbirine oldukça yakın değerlerden oluştuğu görülmüştür.



Şekil 4.19 Su emme yüzdesi sonuçlarının beton serilerine göre değişimi.

Su emme yüzdesi ile kılcallık katsayısı arasındaki ilişki Şekil 4.20’de gösterilmiştir. Elde edilen korelasyon katsayısı değerinden de görüldüğü üzere kılcallık katsayısı değerleri ile su emme değerleri arasında oldukça kuvvetli bir ilişki olduğu sonucuna varılmıştır. Şekil 4.20’den görüldüğü üzere su emme yüzdesi değerlerinin artışı ile birlikte kılcallık katsayısı değerleri de artmaktadır.



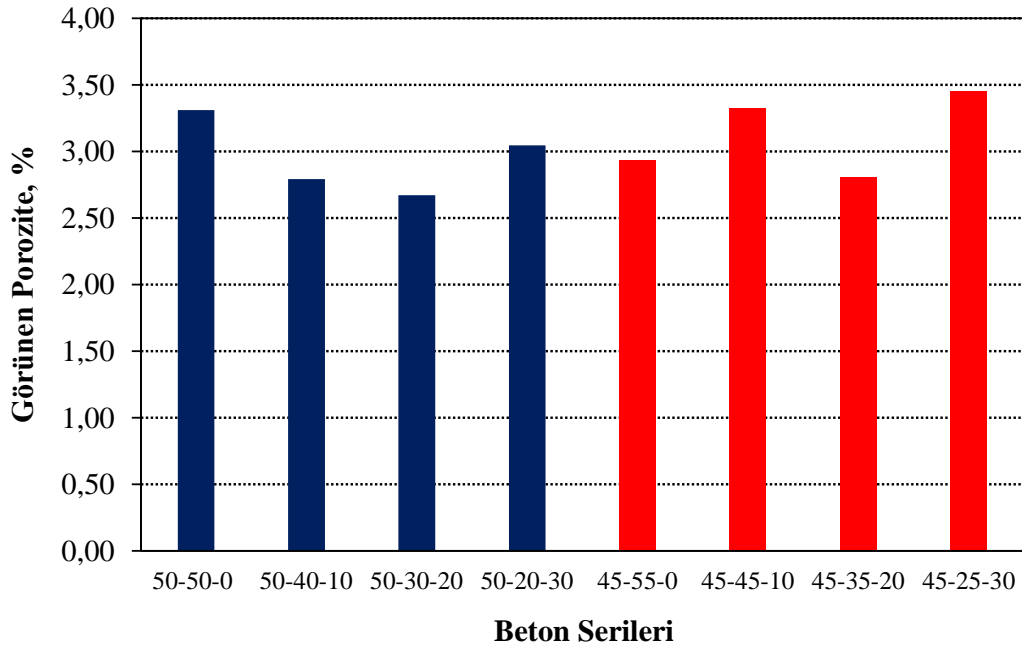


Şekil 4.20 Su emme yüzdesi ile kılcallık katsayısı arasındaki ilişki.

#### 4.12 Görünen Porozite Deneyi Sonuçları

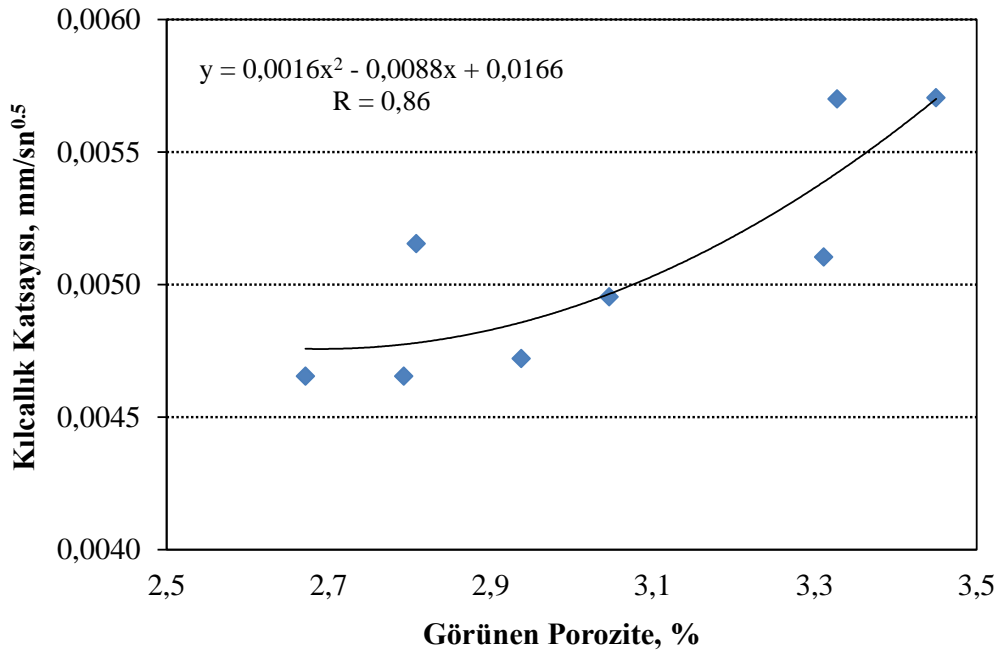
Görünen porozite değerlerinin beton serilerine göre değişimi Şekil 4.21’de verilmiştir.

Görünen porozite yüzdeleri 2,67 ile 3,45 değerleri arasında değişmiştir.



Şekil 4.21 Görünen porozite değerlerinin beton serilerine göre değişimi.

Su emme yüzdelerindeki değişimlere benzer değişimler elde edilmiştir. İri agrega kullanım oranlarının artması ile birlikte kumun % 50 oranında kullanıldığı serilerde görünen porozite değerleri azalırken kumun % 45 oranında kullanıldığı serilerde görünen porozite değerlerinde artış ve azalışların olduğu sonucuna varılmıştır. Görünen porozite ile kılcallık katsayısı arasındaki ilişki Şekil 4.22’de verilmiştir. Görünen porozite değerlerinin artması ile birlikte kılcallık katsayısı değerlerinin de arttığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.22 Görünen porozite ile kılcallık katsayısı arasındaki ilişki.

#### 4.13 Beton Traverslerde Yapılan Pozitif Yük Testi Sonuçları

Beton traverslerde yapılan pozitif yük testi sonuçlarına ait değerler Çizelge 4.2’de verilmiştir. Ayrıca her bir beton traversden elde edilen pozitif yük testine ait sonuçlar Şekil 4.23 ve 4.36’da verilmiştir. Çizelge 4.2’den görüldüğü üzere KYB olarak üretilen traverslerin her serisinden 3’er adet travers üretilmiştir. KYB ve normal beton (B70) olarak üretilen traverslerin tümüne 7 saat boyunca buhar kürü uygulanmış ve buhar kürüne ilave olarak traversler 1, 28 ve 180 gün boyunca fabrika ortamında bekletildikten sonra pozitif yükleme deneyleri yapılmıştır. Bazı KYB serilerinde kür

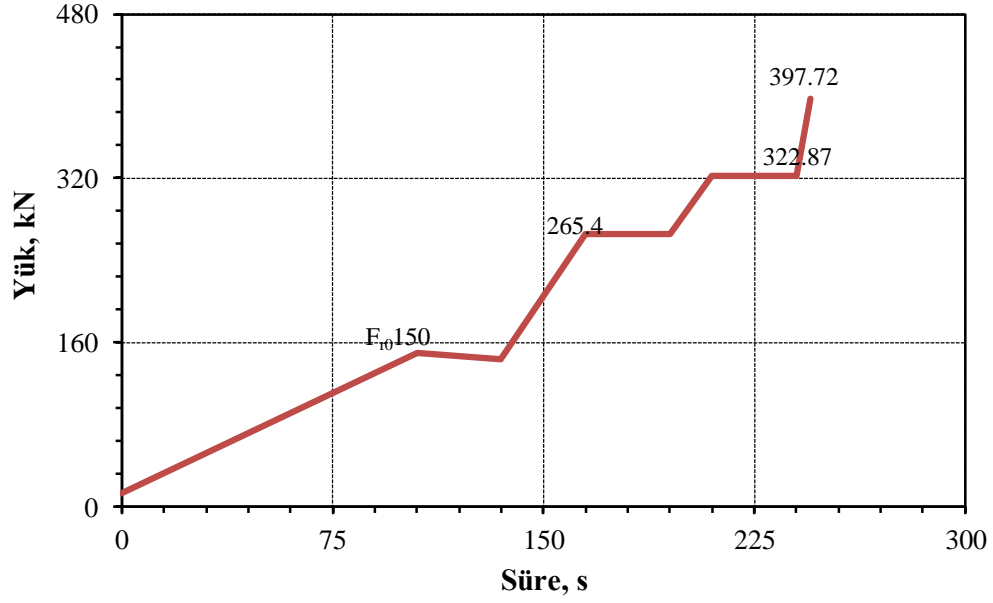
süresinin 180 gün seçilmesinin nedeni KYB üretiminde kullanılan silis dumanı katkısının travers özelliklerine ilave katkılarının olup olmadıklarını belirlemek içindir.

**Çizelge 4.2** Pozitif yük testi sonuçlarına ait değerler.

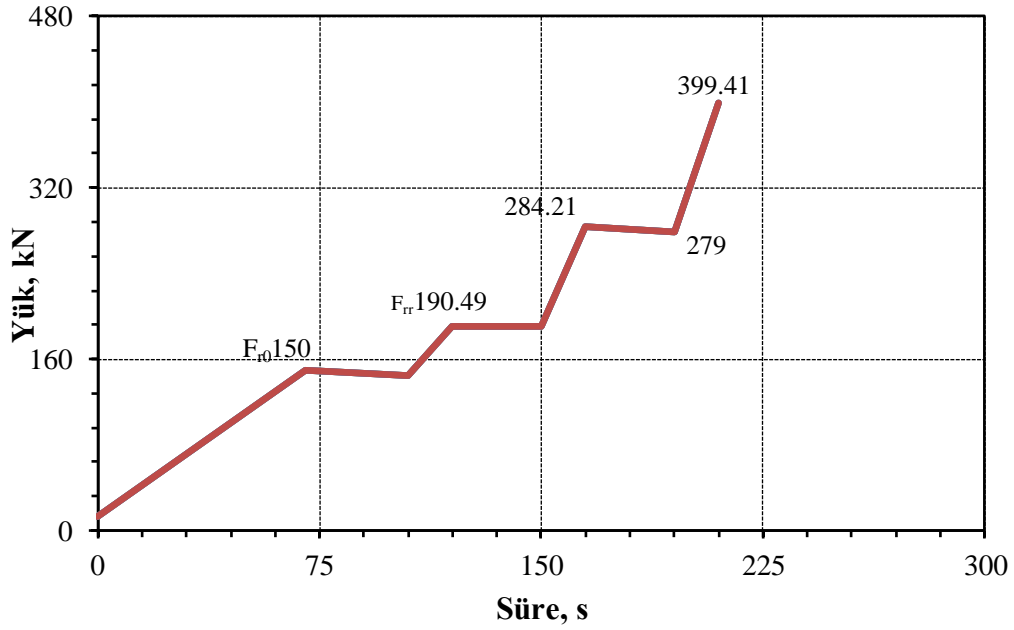
Karışım kodu	Kür süresi	Fr <sub>0</sub> =150 kN	Fr <sub>r</sub> >150kN	Fr <sub>0.05</sub> >275 kN	Uygunluk durumu
50-50-0	1	Çatlak yok	265,4	322,87	Uygun
50-50-0	28	Çatlak yok	190,49	284,21	Uygun
50-50-0	28	Çatlak yok	234,55	296,64	Uygun
50-30-20	28	Çatlak yok	220,76	264,88	Uygun Değil
50-30-20	28	Çatlak yok	134,52	275,36	Uygun Değil
50-30-20	28	Çatlak yok	139,14	254,27	Uygun Değil
45-55-0	180	Çatlak yok	219,85	299,12	Uygun
45-55-0	180	Çatlak yok	216,53	318,81	Uygun
45-55-0	180	Çatlak yok	252,32	321,9	Uygun
45-35-20	180	Çatlak yok	269,44	327,43	Uygun
45-35-20	180	Çatlak yok	226,94	315,78	Uygun
45-35-20	180	Çatlak yok	269,63	311,74	Uygun
Normal beton (B70 travers)	1	Çatlak yok	271,26	322,87	Uygun
Normal beton (B70 travers)	28	Çatlak yok	280,18	321,37	Uygun

Çizelge 4.2 incelendiğinde traverslerde yapılan pozitif yük testi deneylerinde başlangıç referans test yükü olan 150 kN değerinde 30 sn beklenmiş ve hiçbir traversde çatlak gözlenmemiştir. Daha sonra yüklemeye devam edilerek ilk çatlak oluşumunun elde edildiği Fr<sub>r</sub> yükü elde edilmiştir. Bu yükün 150 kN değerinden büyük olması gerekmektedir. 50-30-20 serilerinden 2 adet travers bu özelliği sağlamamıştır. Fr<sub>r</sub> yükünde de 30 sn daha beklendikten sonra yüklemeye devam edilmiş ve 0,05 mm genişliğinde çatlağın oluştuğu Fr<sub>0.05</sub> yükü elde edilmiştir. Bu yük değerinin de 275 kN değerinden büyük olması gerekmektedir. Bu yük değerini de 50-30-20 serilerinden sadece 2 adet travers sağlamamıştır. Bu serinin dışındaki tüm travers serileri değeri sağlamıştır. Normal betondan üretilen traverslere ait değerler ile KYB ile üretilen traverslere ait değerler karşılaştırıldığında ilk çatlağın oluştuğu Fr<sub>r</sub> yükünde değerler

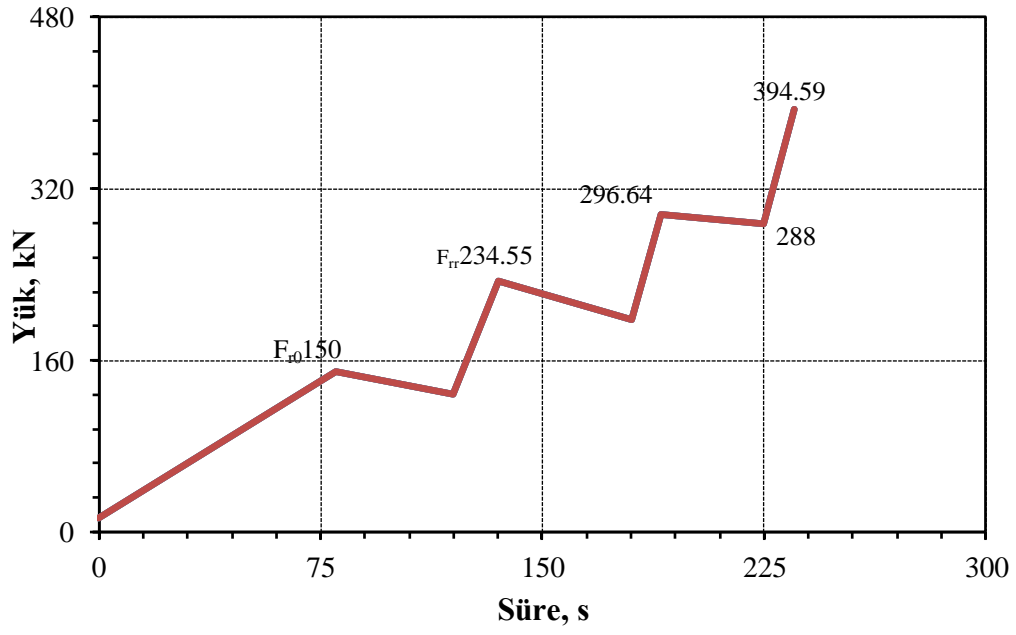
arasında farklılıklar varken 0,05 mm genişliğinde çatlağın oluştuğu  $F_{r0.05}$  yükünde daha yakın sonuçlar elde edilmiştir.



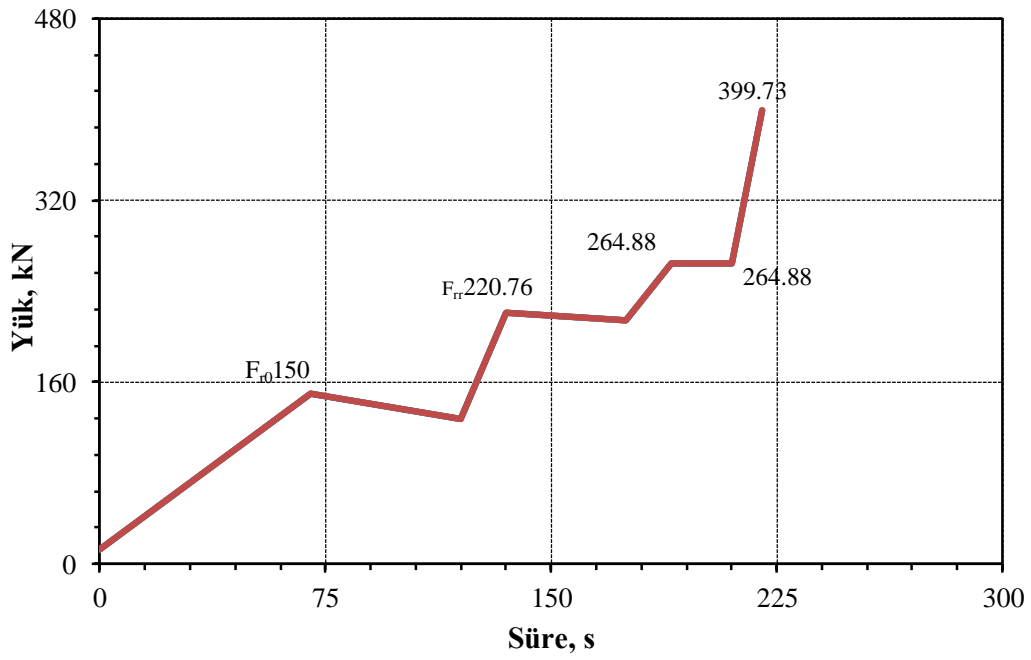
Şekil 4.23 Beton traversin pozitif yük testi sonuçları (1 günlük 50-50-0 serileri).



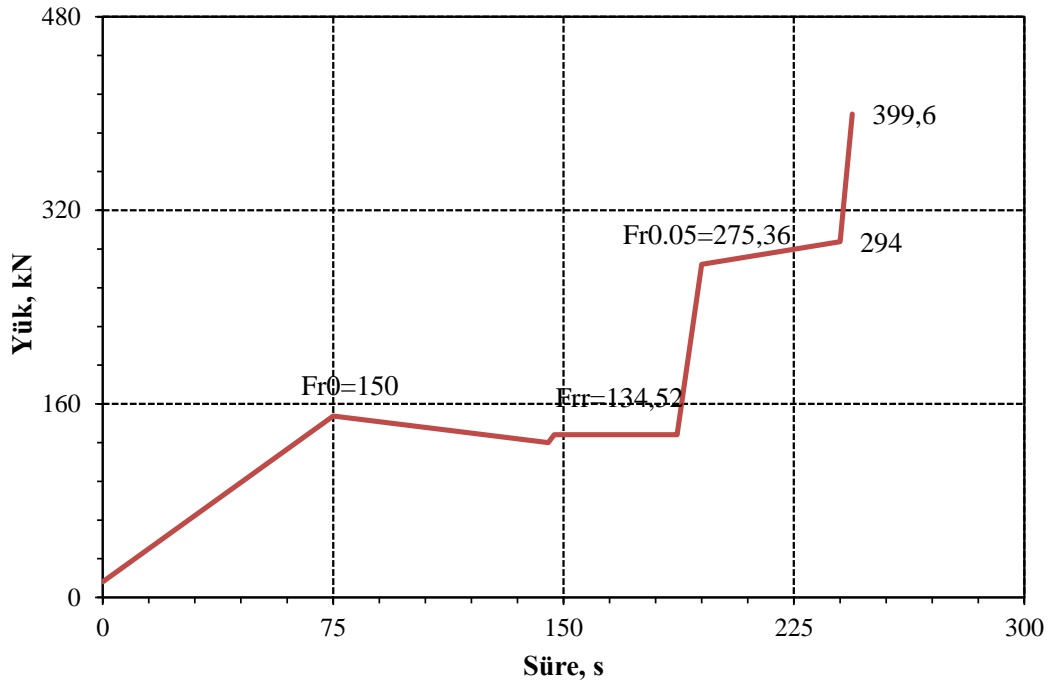
Şekil 4.24 Beton traversin pozitif yük testi sonuçları (28 günlük 50-50-0 serileri).



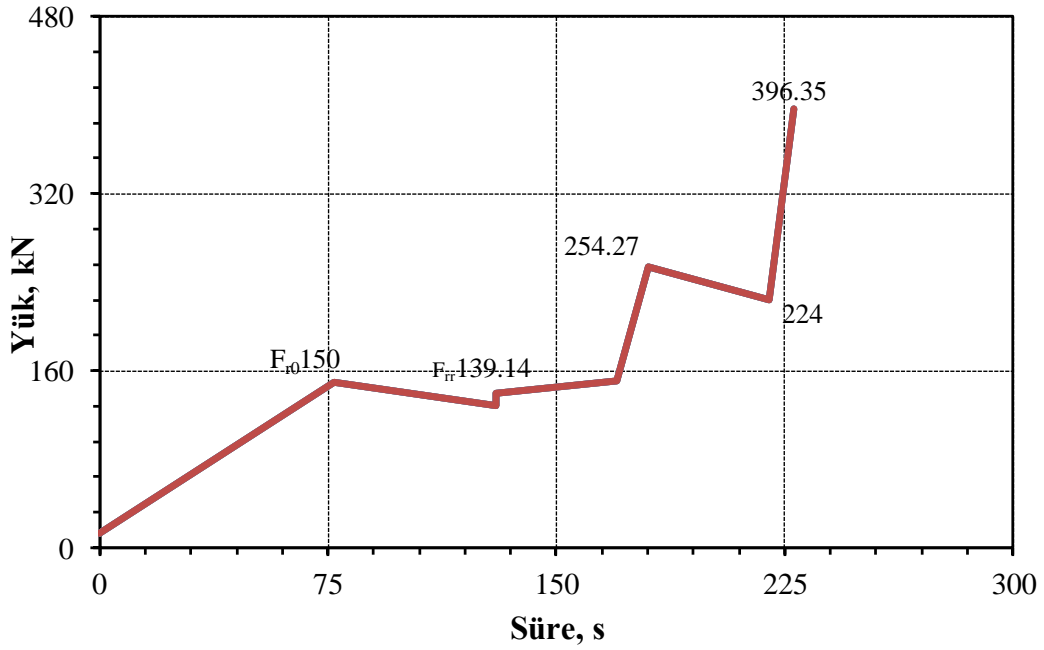
Şekil 4.25 Beton traversin pozitif yük testi sonuçları (28 günlük 50-50-0 serileri).



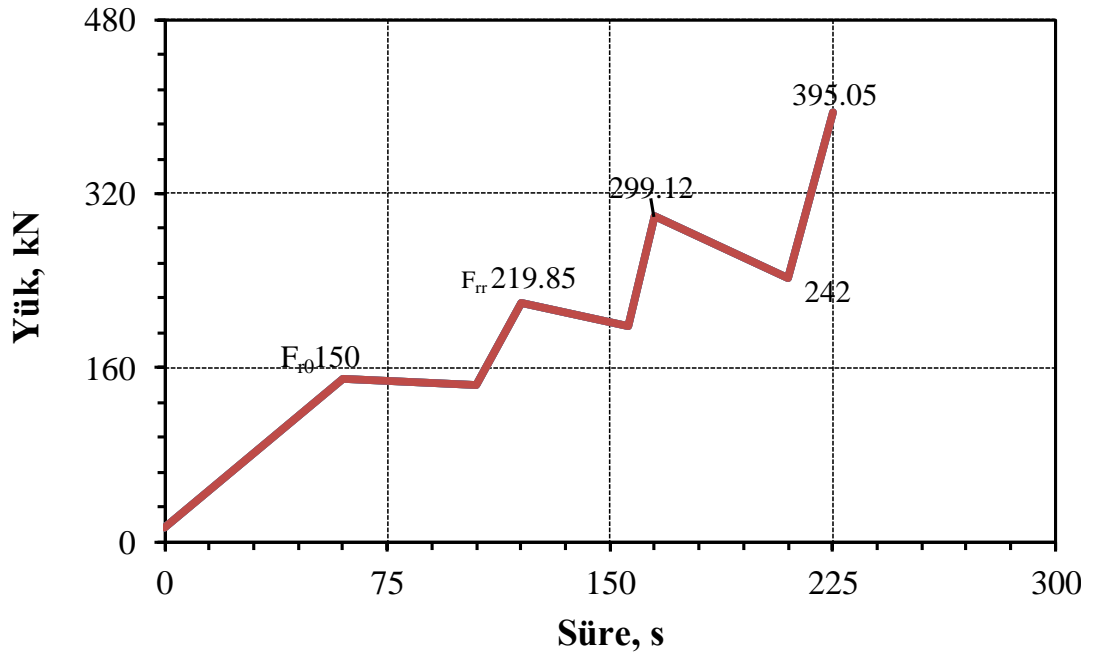
Şekil 4.26 Beton traversin pozitif yük testi sonuçları (28 günlük 50-30-20 serileri).



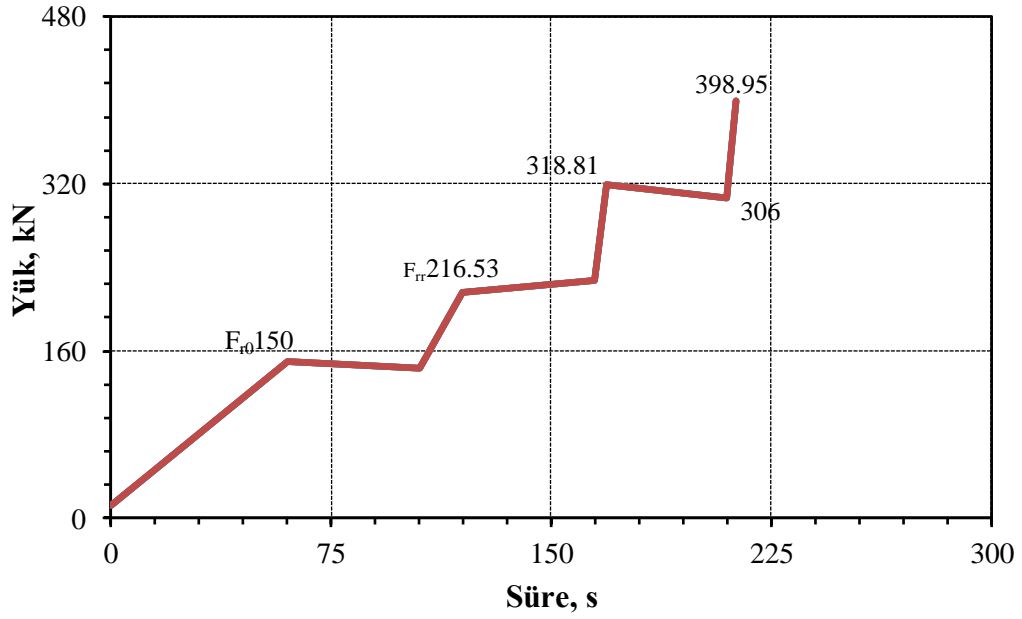
Şekil 4.27 Beton traversin pozitif yük testi sonuçları (28 günlük 50-30-20 serileri).



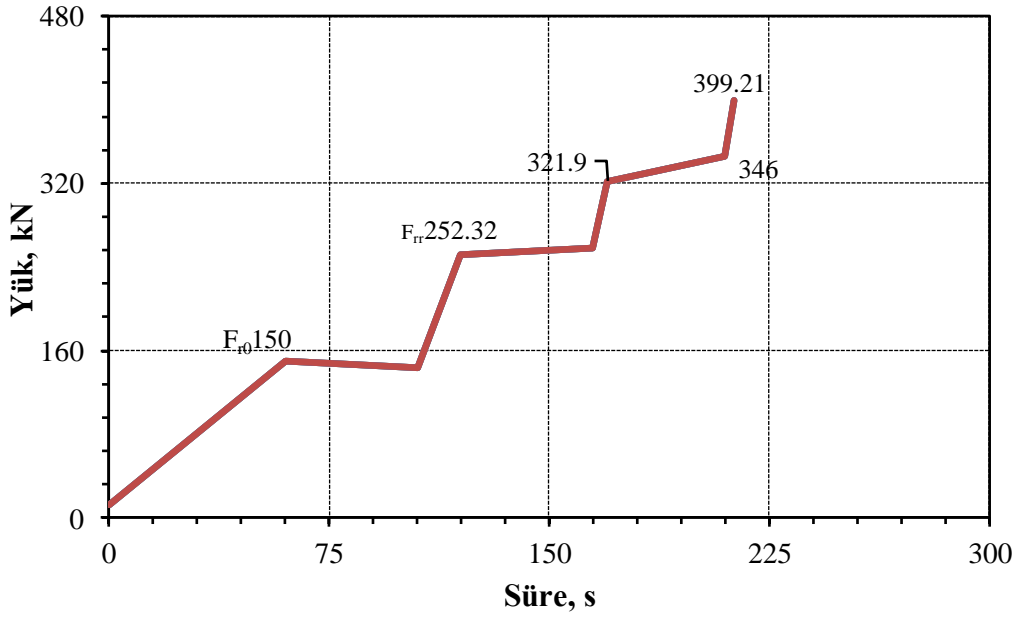
Şekil 4.28 Beton traversin pozitif yük testi sonuçları (28 günlük 50-30-20 serileri).



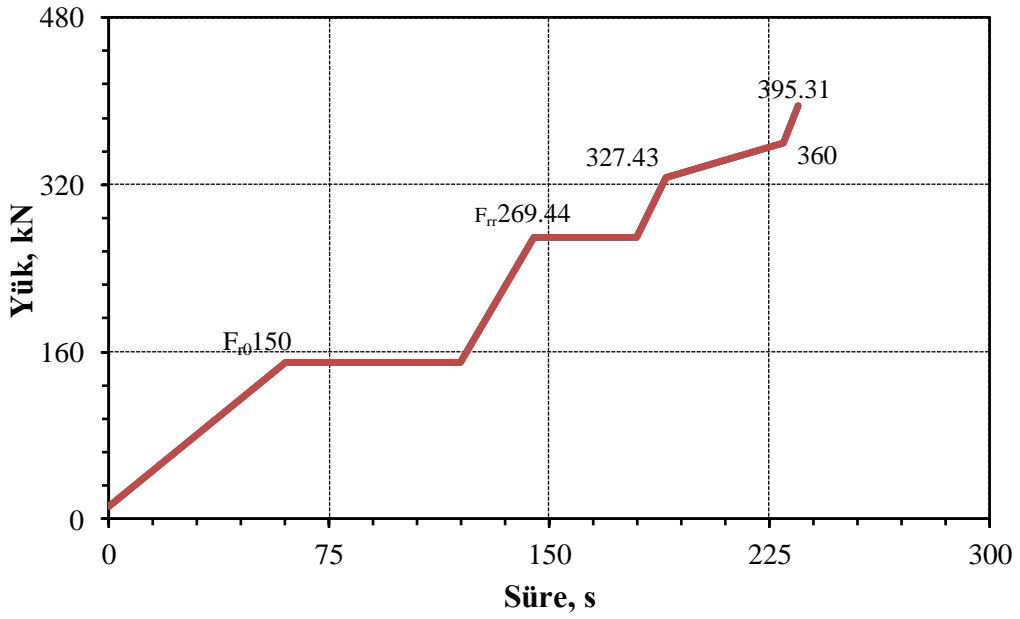
Şekil 4.29 Beton traversin pozitif yük testi sonuçları (180 günlük 45-55-0 serileri).



Şekil 4.30 Beton traversin pozitif yük testi sonuçları (180 günlük 45-55-0 serileri).

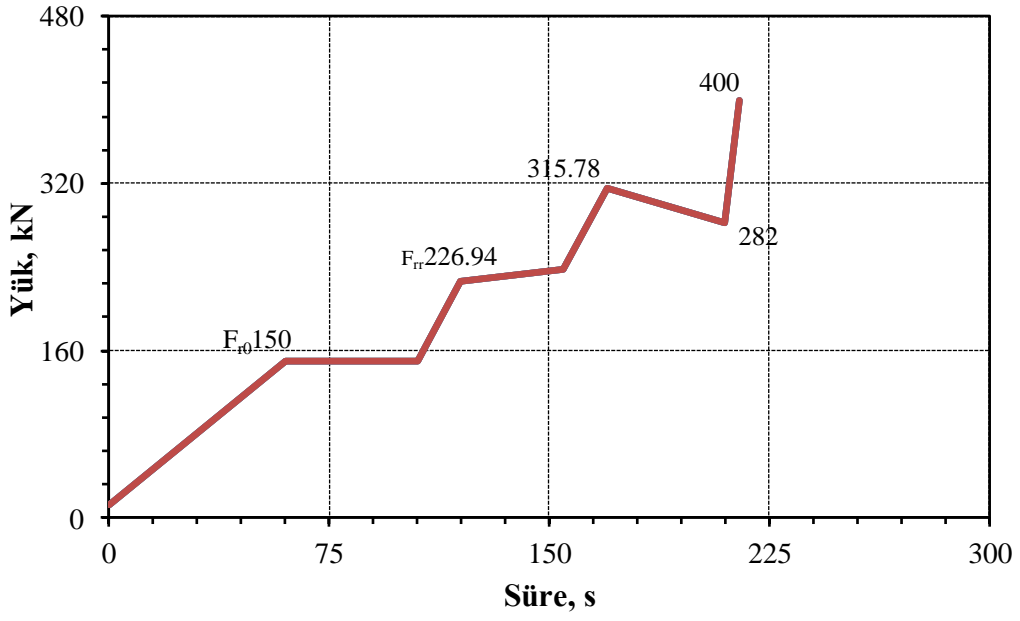


Şekil 4.31 Beton traversin pozitif yük testi sonuçları (180 günlük 45-55-0 serileri).

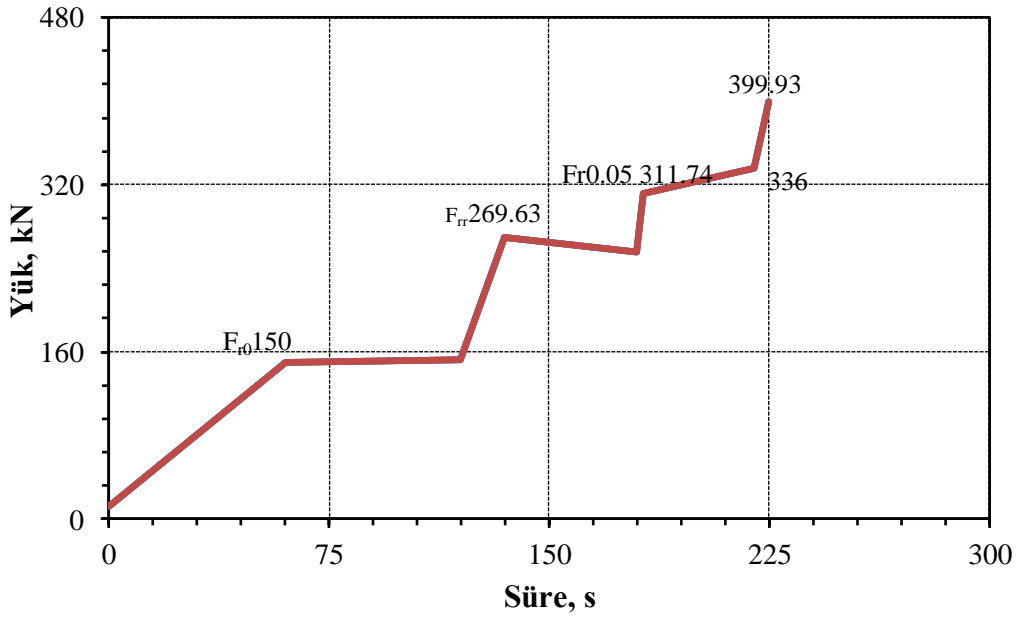


Şekil 4.32 Beton traversin pozitif yük testi sonuçları (180 günlük 45-35-20 serileri).

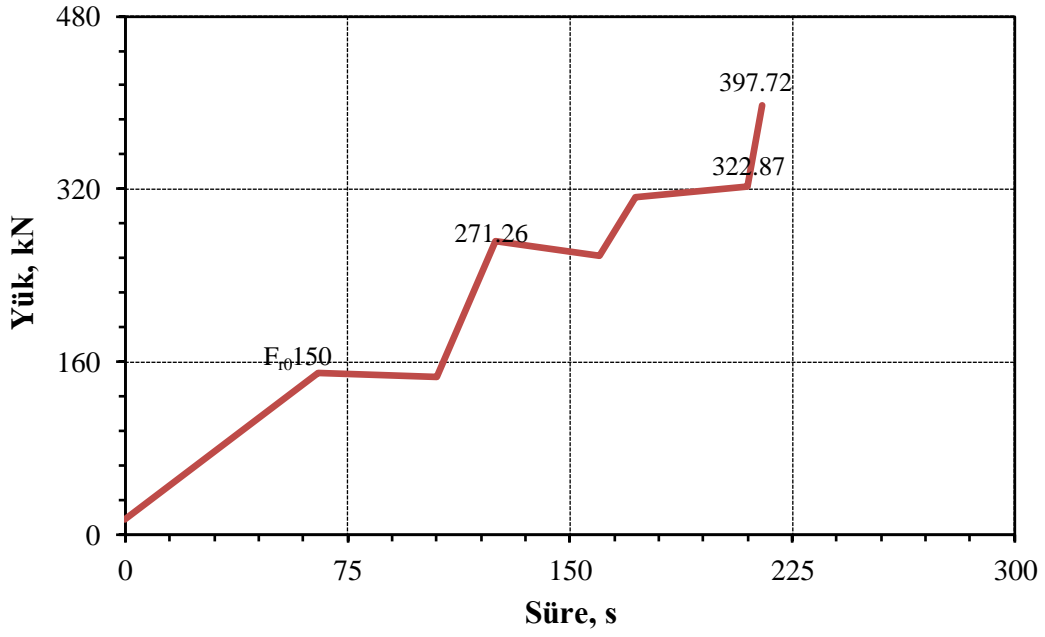




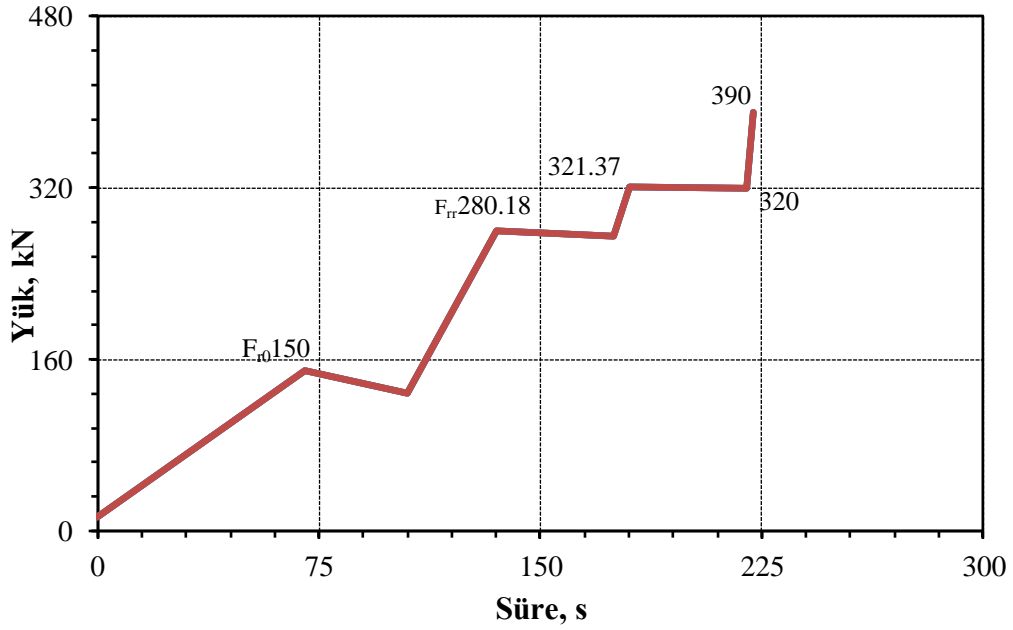
Şekil 4.33 Beton traversin pozitif yük testi sonuçları (180 günlük 45-35-20 serileri).



Şekil 4.34 Beton traversin pozitif yük testi sonuçları (180 günlük 45-35-20 serileri).



Şekil 4.35 Beton traversin pozitif yük testi sonuçları (1 günlük normal beton B70 travers).



Şekil 4.36 Beton traversin pozitif yük testi sonuçları (28 günlük normal beton B70 travers).

Beton traversin pozitif yük testinde 0,05 mm genişliğinde çatlakın oluşmasına ait görüntüler Resim 4.1 ve Resim 4.2’de gösterilmiştir.

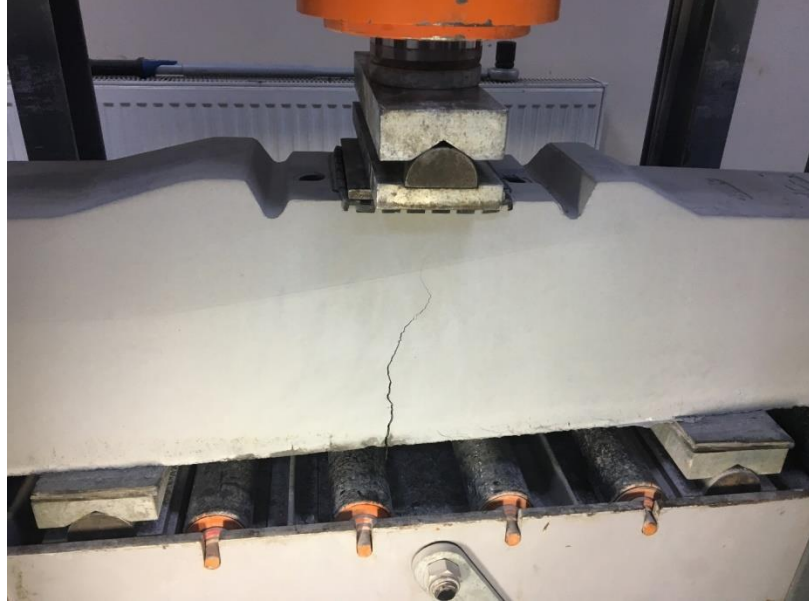


**Resim 4.1** Beton traversin pozitif yük testinde 0,05 mm genişliğinde çatlak oluşumu.



**Resim 4.2** Beton traversin pozitif yük testinde 0,05 mm genişliğinde çatlak oluşumu.

Beton traversin maksimum tepe yüküne ulaştığı andaki çatlak oluşumu ise Resim 4.3'da verilmiştir. Bazı serilerde ise yükleme anında çatlakların tespiti için aseton sıkılarak çatlaklar daha görünür hale getirilmiştir. Resim 4.4'de bu çatlaklar gösterilmiştir.



**Resim 4.3** Beton traversin maksimum tepe yüküne ulaştığı andaki çatlak oluşumu.



**Resim 4.4** Aseton sıkıldığında ortaya çıkan kılcal çatlaklar.

Çizelge 4.2 incelendiğinde ilk çatlak yükü değerlerinin KYB serilerinin çoğunda normal beton serilerinden daha düşük olduğu görülmüştür. Normal beton serilerine en yakın değerler kumun daha az kullanıldığı ve iri agreganın daha fazla kullanıldığı 45-35-20 serilerinden elde edilmiştir. Değerlerin düşük olmasının sebebinin toz malzemenin ve ince agrega miktarlarının yüksek oranlarda kullanılmasından kaynaklandığı

düşünülmektedir. Ayrıca kullanılan silis dumanındaki MgO miktarlarının yüksek olduğu görülmüştür. Buhar küründen sonra beton traverslerde hacim genleşmelerinin olabileceği ve bu çatlakların da bu yüzden ortaya çıktığı da düşünülmektedir.

#### 4.14 Maliyet Analizi

Aynı zamanda normal beton travers üretimi ile KYB dizaynı ile üretilen deney numunelerinin enerji ve maliyet kıyaslaması yapılmıştır.

Fabrikada normal beton travers üretiminde;

- 8 adet kür odası ve her odada 24 kalıp istiflenerek toplam 196 adet kalıp üretimde kullanılmaktadır.
- Her bir kalıp içerisinde 4 adet beton travers döküm haznesi yer almaktadır. Bir kalıbın beton ile doldurulma süresi 2 dk' olup her bir travers yaklaşık 118 dm<sup>3</sup>'tür.
- Normal beton ile kalıba beton verilmesi esnasında kalıplara aralıklı olarak vibrasyon uygulanmaktadır. Normal vardiya süresi içinde 196 kalıp için günlük uygulanan vibrasyon süresi 168 dk'dır. Bu süreye esas günlük 492kw/sa elektrik tüketimi ile günlük toplam 659,00 TL/gün elektrik sarfiyatı vibrasyon esnasında gerçekleşmektedir.
- Normal beton döküm esnasında 4 işçi kalıp yüzeyi mastarlama ve düzeltme kısmında hizmet vermektedir. Söz konusu 4 işçinin günlük maliyeti 451,00 TL'dir.
- Bir adet B70 tipi beton travers üretimi için kullanılan malzeme girdi maliyetleri toplam 78,92 TL'dir. Maliyetler Çizelge 4.3'te gösterilmiştir.

KYB ile üretilen deney numuneleri için;

- Beton döküm esnasında vibrasyon uygulanmamaktadır. Dolayısıyla enerji sarfiyatı olmamakla beraber işçi sayısında 4'ten 1'e indirerek maliyet azaltması yapılabilir.
- KYB ile üretilen beton travers deney numunelerinde bir adet traversin malzeme girdi maliyetleri 82,76 TL'dir. Normal beton travers ile arasındaki fark tutarı 2,57 TL/adet'tir. Hazırlanan karşılaştırmalı maliyet tablosu Çizelge 4.3'te gösterilmiştir.

- Çizelge 4.3'te görüldüğü üzere malzeme, işçilik ve enerji maliyetleri hesaplandığında normal beton travers ile KYB ile beton travers arasında 2,57TL fark olduğu tespit edilmiştir. Ancak bu farkın tez çalışmasında kullanılan 4 adet seriden üretime alınan beton traverslerin malzeme miktarları ile oynayarak seri sayıları arttırılabilir ve böylece optimum maliyet elde edilebilir.

**Çizelge 4.3** Normal ve KYB beton travers deney numuneleri maliyet karşılaştırma tablosu.

Normal beton travers (adet)			KYB travers (adet)	
Malzeme	Miktarı (kg)	Tutarı (TL)	Miktarı (kg)	Tutarı (TL)
Agrega	240	8,50	230	8,14
Çimento	45	16,00	49	17,42
Katkı	0,30	2,12	0,44	3,10
Öngerme çeliği	6,20	52,30	6,20	52,30
Silis dumanı	0,00	0,00	10	1,80
<b>Ara toplam</b>	291,50	78,92	295,64	82,76
Vibrasyon elektrik sarfiyatı		0,84	0,00	0,00
İşçilik maliyeti		0,57		0,14
<b>Genel toplam</b>		<b>80,33</b>		<b>82,90</b>

- Aynı zamanda fabrikada vibrasyon esnasında alınan gürültü-titreşim ölçümlerinde 70-75 dB gürültü düzeyi ölçülmüştür. 80 dB üzeri işitme sistemine zarar verdiği bilinmelidir. Bu açıdan bakıldığında KYB ile dizayn edilen beton travers imalatlarında böyle bir durum söz konusu değildir.
- KYB dizaynı ile seri üretim yapılması durumunda birim maliyetler normal beton travers maliyetleri ile başabaş dengesinde hatta altında olacağı öngörülmektedir. Özellikle silis dumanının miktarında yapılacak değişimler ile istenen mukavemette ve maliyette beton travers üretimi mümkündür.
- Her bir kalıbın beton döküm ünitesindeki dolum süresi 3 dakikadır. Bu süresinin 1,16 dakikasını vibrasyon süresidir. Günlük üretim bandından geçen 196 adet

kalıbın beton dökümünde geçirdiği toplam süre 588 dakika ile yaklaşık 9,8 saattir. KYB ile üretimin yapılması esnasında vibrasyon süresinin ortadan kalkması ile üretim bandında geçen süre 360 dakika ile yaklaşık 6 saate düşecektir. Böylelikle %38 oranında zamansal kazanç sağlanarak gün içinde 3,8 saatlik bir zaman aralığında yaklaşık 123 ilave kalıp toplamda ise 492 adet travers üretime alınabilecektir. Böylece önemli bir oranda zamansal bir tasarruf elde edilecektir.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında kendiliğinden yerleşen beton (KYB) kullanılarak beton travers üretimlerinin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda aşağıda maddeler halinde verilen sonuçlar elde edilmiştir.

- KYB serilerinde kırmataş II agregalarının kullanılması ile genel olarak yayılma çaplarının azaldığı sonucuna varılmıştır. KYB ile üretilen numunelerde iri agrega kullanılması tanecikler arasında sürtünmeleri arttırarak yayılma çapını yani akıcılık özelliğini bozmuştur.
- KYB serilerinde kırmataş II agregalarının kullanım oranlarının artması ile birlikte  $t_{500}$  sürelerinin de uzadığı sonucu elde edilmiştir. İri agrega artışı KYB içerisinde vizkositenin ve akıcılık özelliklerinin bozulmasına sebebiyet vermiştir.
- KYB serilerinde kumun daha yüksek oranlarda kullanıldığı serilerin V hunisinden daha kısa sürelerde aktıkları görülmüştür.
- KYB serilerinde kullanılan iri agrega oranlarının arttırılması ile birlikte V hunisi akış sürelerinin de arttığı sonucuna varılmıştır.
- KYB serilerinde kumun % 50 ve 45 oranlarında kullanıldığı serilerde 11,2-22,4mm boyutlarındaki iri agregaların kullanım oranlarının artması ile birlikte  $h_2/h_1$  değerlerinin azaldığı sonucuna varılmıştır.
- KYB serilerinde ultrases geçiş hızı sonuçlarına bakıldığında en yüksek 45-35-20 serilerinde elde edilmiş, kür sürelerinin artması sonucu hidrasyon reaksiyonu devam ederek betonda kalsiyum silika hidrat oluşumu ile betonda boşluk hacmi azalmıştır.
- KYB serilerinde ultrases geçiş hızının artışı basınç dayanımı arasında korelasyon katsayı değerleri üzerinden değerlendirme yapıldığında beton dayanım sonuçlarında artmıştır. Fabrikada buhar kürü işlemleri sonrası 1 gün sonra kırılan beton numune basınç değerleri dayanım ortalaması 65 MPa'dır. Yine bu KYB serilerininin 180 gün fabrika açık hava dış şartlar altında bekleme sonrası basınç dayanım sonuçları ortalaması 88 MPa değerinde bulunmuştur.
- Yarmada çekme dayanımı iri agrega kullanımı artışı ile % 5,86 ve % 6,84 oranlarında artmış olup, kumun % 45 oranında kullanıldığı serilerde ise iri agraga artışı ile yarmada çekme dayanımı % 4,08 ve % 5,50 oranlarında azalmıştır.



- Elektriksel özdirenç değerleri 20 k $\Omega$ cm değerinden oldukça yüksek elde edilmiştir. Yüksek elde edilme sebepleri kullanılan silis dumanı ve buna bağlı olarak boşluksuz bir beton yapısı olmasıdır. Yalıtkan bir hal alan beton daha düşük bir elektriksel iletkenlik sağlamıştır. Aynı zamanda elektriksel özdirenç değerlerinin artışı ile birlikte basınç dayanım değerlerinin arttığı görülmüştür.
- Su emme yüzdeleri ile kılcallık katsayısı arasında korelasyon katsayısı değerlerinde kuvvetli bir yakınlık doğrusal bir ilişki yer almaktadır. Su emme yüzdesi artışı ile beraber kılcallık katsayısı değerleride artmaktadır.
- KYB serilerinde eğilme dayanım sonuçları değerlendirildiğinde 7,0 ile 8,15 MPa arasında ve 7 MPa üzerinde oldukça iyi dayanımlar elde edilmiştir.
- KYB serilerinde üretilen traverslerde yapılan pozitif yük testi deneylerinde başlangıç referans test yükü olan 150 kN değerinde 30 sn beklenmiş ve hiçbir traversde çatlak gözlenmemiştir.
- İlk çatlak oluşumunun elde edildiği Fr<sub>r</sub> yükü değerini 50-30-20 serilerinden 2 adet travers sağlamamıştır.
- Fr<sub>0,05</sub> yükünü 50-30-20 serilerinden 2 adet travers sağlamamıştır. Bu serinin dışındaki tüm travers serileri bu değeri sağlamıştır.
- Normal betondan üretilen traverslere ait değerler ile KYB ile üretilen traverslere ait değerler karşılaştırıldığında ilk çatlağın oluştuğu Fr<sub>r</sub> yükünde değerler arasında farklılıklar varken 0,05 mm genişliğinde çatlağın oluştuğu Fr<sub>0,05</sub> yükünde daha yakın sonuçlar elde edilmiştir.
- Normal beton serileri ile üretilen traverslerden elde edilen değerler KYB ile üretilen traverslerdeki değerlerden daha yüksek olsa da KYB ile üretilen traverslerden de standartlarda verilen sınır değerlerin sağlandığı sonucuna varılmıştır. Sonuç olarak KYB kullanılarak beton traverslerin üretilebileceği görülmüştür. Farklı granülometreler ve farklı mineral katkıları kullanılarak KYB travers üretimlerinin yapılması ile ilgili çalışmaların yapılması önerilmektedir.
- Bununla birlikte vibrasyon uygulanmaması, bunun sonucu olarak gürültünün azalması gibi iş güvenliği açısından olumlu yönleri de göz ardı edilmemelidir. Aynı zamanda vibrasyonda geçen 1,16 dakikalık sürenin ortadan kalkması ile üretim bandında ortaya çıkan %38 lik zamansal kazancın ilave 123 adet kalıbın üretime katılmasını sağlayacaktır.

- Bu sonuçların ışığı altında KYB ile üretilen beton traverslerin zamansal ve maliyetsel açıdan ekonomik, vibrasyon işleminin olmaması yönüyle insan ve çevre sağlığı için optimum bir avantaj sunmuştur.

## 6- KAYNAKLAR

- Arlı, V., Öztürk, Z. (2009). Demiryolu Mühendisliği. İstanbul Ulaşım A.Ş, 1.baskı, İstanbul.
- Arlı, V., Profillidis, V.A., (2002). Railway Engineering. RAYDER, 1.baskı, İstanbul.
- Aggelos S. G., Kosmas K. S., Nikolaos S. A. (2010). Properties of SCC produced with limestone filler or viscosity modifying admixture. *Journal Materials in Civil Engineering*, **22**: 90.
- Berntsson, L., Chandra, S. (1982). Damage of concrete sleepers by calcium chloride. *Cement and Concrete Research*, **12**: 87-92.
- Bui, V.K., Montgomery, D., Hinczak, I., Turner, K., (2002). Rapid testing method for segregation resistance of self-compacting concrete. *Cement and Concrete Research*, **9**: 1489-1496.
- Demirtaş, M. (2004). Yüksek Akışkanlığa Sahip Betonlarda (Kendiliğinden Yerleşen Betonlar) Bileşimin Taze ve Sertleşmiş Betonlara Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Düzbasan, S., Uluöz, S., Yakıt, E., Friedl, L., Alakoç, A. (2011). Karusel Sistemiyle Öngermeli Beton Travers Üretimi ve Kalitesi. 8. Ulusal Beton Kongresi, İzmir, 5-7 Ekim, 178-187.
- Esveld, C. (2001). Modern Railway Track. 2. edition, Delft University of Technology, Netherlands.
- Ferdous W., Manalo A. (2014). Failures of mainline railway sleepers and suggested remedies - Review of current practice. *Engineering Failure Analysis*, **44**: 17-35.
- Ghezal, A., Khayat, H., (2002). Optimizing self-consolidating concrete with limestone filler by using statistical factorial design method. *ACI Materials*, **99**: 264-272.

- Gonzalez-Corominas, A., Etxeberria, M., Fernandez, I. (2017). Structural behavior of prestressed concrete sleepers produced with high performance recycled aggregate concrete. *Materials and Structures*, **50**: 14.
- Hameed, A.S. and Shashikala, A.P. (2016). Suitability of rubber concrete for railway sleepers. *Recent Trends in Engineering and Material Sciences*, **8**: 32-35.
- Kaewunruen, S., Remennikov, A.M. (2009). Impact capacity of railway prestressed concrete sleepers. *Engineering Failure Analysis*, **16**: 1520-1532.
- Kawai, T. (1987). Non-dispersible Underwater Concrete Using Polymers, Marine Concrete. 5th International Congress on Polymers, Brighton, England, 24-27 September, 385.
- Kılınç, C. (2012). Kendiliğinden Yerleşen Betonlar. *Hazır Beton*, **4**: 70-75.
- Koh, T., Bae, Y., Shin, M., Hwang, S. (2016). Structural performances of an ecofriendly prestressed concrete sleeper. *Construction and Building Materials*, **102**: 445-454.
- Lichtberger B. (2011). Demiryolu Cep Kitabı. Eurailpress, Hamburg.
- Maurer, T.,Puntke, W.Schimpff, F.H.,Vorderbrück, D., (2001). Spannbetonschwellen für Gleise und Weichen der DB AG. *ETR Eisenbahntechnische Rundschau*, **50**: 648-657.
- Okamura, H., Ouchi, M. (2003). Self compacting concrete. *Journal of advanced concrete technology*, **1**: 1-5.
- Okazawa, S., Umezawa, K,Tanaka, Y. (2000). A new polycarboxylate based polymer: physical properties of concrete. *Concrete 2000*, **14**: 1813-1824.
- Öztürk, Z., Uluç, M., (2013). Balastsız Üstyapılarda Aralıklı Desteklenmiş Raylı Sistemlerin İncelenmesi. 2.Uluslararası Raylı Sistemler Sempozyumu (ISERSE 2013), 9-11 Ekim , 2-3.

- Pawluk, J., Cholewa, A., Kurdowski, W., Derkowski, W. (2014). Some problems with prestressed concrete sleepers durability. *IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology*, **03** : 153-157.
- Ramezaniapour, A.A., Esmaeili, M., Ghahari, S.A., Najafi, M.H. (2013). Laboratory study on the effect of polypropylene fiber on durability, and physical and mechanical characteristic of concrete for application in sleepers. *Construction and Building Materials*, **44**: 411-418.
- Rezaie, F., Bayat A., M., Farnam, S.M. (2016). Sensitivity analysis of pre-stressed concrete sleepers for longitudinal crack prorogation effective factors. *Engineering Failure Analysis*, **66**: 385-397.
- Shayan, A., Quick, G.W. (1994). Alkali-aggregate Reaction in Concrete Railway Sleepers from Finland. 16th International Conference on Cement Microscopy. Richmond, U.S.A, 11-14 April, 69-79.
- Shin, H.-O., Yoo, D.-Y., Yoon, Y.-S. (2018). Enhancing the resistance of prestressed concrete sleepers to multiple impacts using steel fibers. *Construction and Building Materials*, **166**: 356-372.
- Shin H., Yang J., Yoon Y., Mitchell D. (2016). Mix design of concrete for prestressed concrete sleepers using blast furnace slag and steel fibers. *Cement and concrete composites*, **74**: 39-53.
- Shokrieh, M.M. and Rahmat, M. (2006). On the reinforcement of concrete sleepers by composite materials. *Composite Structures*, **76**: 326-337.
- Shojaei, M., Behfarnia, K., Mohebi, R. (2015). Application of alkali activated slag concrete in way sleepers. *Materials and Design*, **69**: 89-95.
- Skarendahl, A., Peterson, O. (2000). Self compacting concrete. State of the Art Report of RILEM Technical Committee 174-SCC, French.
- Taherinezhad, J., Sofi, P.A., Mendis and Ngo, T. (2013). A review of behaviour of prestressed concrete sleepers. *Electronic Journal of Structural Engineering*, **1**: 16

- Thun, H. (2006). Assessment of Fatigue Resistance and Strength in Existing Concrete Structures. Doctoral Thesis, Lulea University of Technology, Sweden.
- Topçu, İB., Bilir, T., Baylavlı, H. (2008). Kendiliğinden yerleşen betonlar. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak.Dergisi*. **21**: 1-22.
- TS EN 206:2013+A1 (2017). Beton- Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS 802 (2016). Beton Karışımı Tasarım Hesapları. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 13230-1 (2016). Demiryolu Uygulamaları- Demiryolu- Beton Traversler ve Mesnetler – Bölüm 1: Genel Kurallar. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 13230-2 (2016). Demiryolu Uygulamaları- Demiryolu- Beton Traversler ve Mesnetler – Bölüm 2: Öngerilmeli Yekbare Traversler. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 197-1 (2012). Çimento – Bölüm 1: Genel Çimentolar – Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS 706 EN 12620 +A1 (2009). Beton Agregaları. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara
- TS EN 12350-8 (2011). Beton - Taze Beton Deneyleri – Bölüm 8: Kendiliğinden Yerleşen Beton – Çökme Yayılma Deneyleri. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12350-10 (2011). Beton - Taze Beton Deneyleri – Bölüm 10: Kendiliğinden Yerleşen Beton – L kutusu Deneyi. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-6 (2010). Beton Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 6: Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12350-11 (2011). Beton - Taze Beton Deneyleri – Bölüm 11: Kendiliğinden Yerleşen Beton – Elekte Ayrışma Deneyi. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

- TS EN 12350-12 (2011). Beton - Taze Beton Deneyleri – Bölüm 12: Kendiliğinden Yerleşen Beton – J Halkası Deneyi. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 13263-1+A1 (2010). Silis Dumanı- Betonda Kullanılan – Bölüm 1: Tarifler, Gerekler Ve Uygunluk Kriterleri. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 934-2+A1 (2013). Kimyasal Katkılar – Beton, Harç Ve Şerbet İçin – Bölüm 2: Beton Kimyasal Katkıları – Tarifler, Gerekler, Uygunluk, İşaretleme Ve Etiketleme. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- Yang, J.-M., Shin, H.-O., Yoon, Y.-S., Mitchell, D. (2017). Benefits of blast furnace slag and steel fibers on the static and fatigue performance of prestressed concrete sleepers. *Engineering Structures*, **134**: 317-333.
- Yeğınobalı, A. (2009). Silis dumanı ve çimento ile betonda kullanımı. TÇMB Yayınları, 6.Baskı, Ankara
- Zakeri J-A., Rezvani F.H. (2012). Failures of railway concrete sleepers during service life. *International Journal of Construction Engineering and Management*, **1**: 1-5.

## İnternet Kaynakları

1-<https://www.tcdd.gov.tr>, 28.07.2018

2-<https://www.cimsa.com.tr>, 28.07.2018

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Gökhan TACİM  
Doğum Yeri ve Tarihi : Mersin – 06.12.1980  
Yabancı Dili : İngilizce  
İletişim (Telefon/e-posta) : 0505 675 4205 [gtacim3317@gmail.com](mailto:gtacim3317@gmail.com)  
[gokhantacim@tcdd.gov.tr](mailto:gokhantacim@tcdd.gov.tr)

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Eskişehir Demiryolu Meslek Lisesi, (1993-1997)  
Lisans : Selçuk Üniversitesi, İktisadi İdari Bilimler  
Fakültesi, İşletme Bölümü (1997-2001)

Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat  
Mühendisliği Bölümü (2010-2013 )

Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri  
Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı,  
(2015- 2019)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : TCDD 1997 – Devam ediyor.

Yayımları (SCI ve diğer) : Gürer C., Boğa A. R., Tacim G., (2016).  
Öngermeli Beton Traverslerde Karşılaşılan Sorunlar ve  
Çözüm Önerileri. (ISERSE'16) 13-15 Ekim 2016 Karabük  
/ TÜRKİYE

Gürer C., Boğa A. R., Tacim G., (2018).  
Unballasted Railway Track. 10'th UIC World Congress on  
High Speed Rail & Trade Exhibition. May 08 2018 /  
ANKARA