

**BETON TRAVERS ÜRETİMİNDE AGREGA
TÜRÜ (BAZALT-KALKER) VE ÇELİK LİFİN
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEHMET KOZAK

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Osman ÜNAL

YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

AĞUSTOS 2010

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BETON TRAVERS ÜRETİMİNDE AGREGA TÜRÜ (BAZALT-
KALKER) VE ÇELİK LİFİN KULLANILABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

MEHMET KOZAK

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Osman ÜNAL

YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

AĞUSTOS 2010

ONAY SAYFASI

Yrd. Doç. Dr. Osman ÜNAL danışmanlığında,
Mehmet KOZAK tarafından hazırlanan
Beton Travers Üretiminde Agrega Türü (Bazalt-Kalker) ve Çelik Lifin
Kullanılabilirliğinin Araştırılması
başlıklı bu çalışma lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri
uyarınca
31 / 08 / 2010
tarihindeki aşağıdaki jüri tarafından
Yapı Eğitimi Anabilim Dalında
Yüksek Lisans tezi olarak oybirliği ile kabul edilmiştir.

Ünvanı, Adı, SOYADI

İmza

Başkan Doç. Dr. İsmail DEMİR

Üye Yrd. Doç. Dr. Osman ÜNAL

Üye Yrd. Doç. Dr. M. Serhat BAŞPINAR

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... / / 2010 tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Rıdvan ÜNAL
Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
RESİMLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Öngerilmeli Betonlar	3
2.1.1. Önçekim	6
2.1.2. Ardçekim	7
2.2. Lifli Betonlar	8
2.2.1. Çelik Lifli Betonlar	10
2.2.2. Çelik Lifli Betonların Kullanım Alanları	15
2.3. Demiryolu ve Demiryolu Traversleri	19
2.3.1. Traverslerin Görevleri	22
2.3.2. Traverslerde Aranılan Özellikler	22
2.3.3. Traverslerin Sınıflandırılması	23
2.3.3.1. Ahşap Traversler	23
2.3.3.2. Demir Traversler	28
2.3.3.3. Beton Traversler	31
2.3.3.4. Plastik Traversler	37
2.3.4. Neden Beton Travers	38
3. MATERYAL VE METOT	40
3.1. Beton Karışımında Kullanılan Malzemelerin Tanımlanması	40
3.1.1. Çimento	40

3.1.2. Agregalar	41
3.1.2.1. Bazalt	43
3.1.2.2. Kalker	45
3.1.3. Çelik Lif	47
3.1.4. Su	48
3.2. Beton Travers Üretiminde Kullanılan Aksamalar	49
3.2.1. U-Civataları (Gergi Çeliği, Çelik Firkete)	49
3.2.2. Çan Rondelaları (Ankraj Plakası, Ankraj Pulu)	50
3.2.3. Altıgen Somun (Yarıklı Somun)	51
3.2.4. Plastik Dübel	51
3.3. Agregada Deneyleri	52
3.3.1. Agregada Gevşek ve Sıkışık Birim Ağırlık Tayini (TS 3529)	53
3.3.1.1. Agregada Gevşek Birim Ağırlık Tayini	54
3.3.1.2. Agregada Sıkışık Birim Ağırlık Tayini	55
3.3.2. Agregada Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini (TS EN 1097-6)	56
3.3.2.1. İnce Agreganın Özgül Ağırlık Tayini	56
3.3.2.2. İri Agreganın Özgül Ağırlık Tayini	56
3.3.2.3. Arşimed Prensibine Göre İnce Agreganın Özgül Ağırlık Tayini	58
3.3.3. Agregalarda Kompozite Değerinin Hesabı	59
3.3.4. Agregada Organik Madde Tayini (TS EN 1744-1)	59
3.3.5. Agregalarda Çamurlu Madde Miktarının Belirlenmesi (TS 3527)	61
3.3.6. Agregada Tane Büyüklüğü Dağılımı (TS 3530 EN 933-1)	62
3.3.7. Agregada Parçalanma Direncinin Tayini (Los Angeles Metodu TS EN 1097-2)	65
3.4. Numunelerin Üretilmesi	67
3.4.1. Küp Numunelerinin Üretilmesi	72
3.4.2. Beton Travers Numunelerinin Üretilmesi	73
3.4.3. Küp ve Beton Travers Numunelerine Buhar Kürü Uygulanması	78
3.4.4. Beton Traverslerin Öngeriliminin Yapılması	80
3.5. Sertleşmiş Beton Deneyleri	84
3.5.1. Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini (TS EN 12390-7)	84

3.5.2. Su Emme Deneyi	86
3.5.3. Basınç Deneyi (TS EN 12390-3)	87
3.5.4. Ultrases Hızı Deneyi ile Beton Kalitesinin Kontrolü (ASTM C 597)	88
3.5.5. Eğilme Deneyi (TS EN 12390-5)	91
3.5.6. Donma Çözünme Deneyi (TS 3449)	92
4. BULGULAR	96
4.1. Sertleşmiş Beton ile İlgili Bulgular	96
4.1.1. Birim Hacim Ağırlık Deney Sonuçları	97
4.1.2. Basınç Dayanımı Sonuçları	98
4.1.2.1. Küplerin 1 Günlük Basınç Dayanımı Sonuçları	98
4.1.2.2. Küplerin 28 Günlük Basınç Dayanımı Sonuçları	100
4.1.3. Ultrases Hızı Deney Sonuçları	102
4.1.3.1. Küplerin Ultrases Hızı Deney Sonuçları	102
4.1.3.2. Traverslerin Ultrases Hızı Deney Sonuçları	103
4.1.4. Traverslerde Eğilme Dayanımı Sonuçları	104
4.1.5. Donma Çözünme Deney Sonuçları	106
4.1.5.1. Donma Çözünme Sonucu Kütle Kaybı	106
4.1.5.2. Donma Çözünme Sonucu Basınç Kaybı	108
4.1.5.3. Donma Çözünme Sonucu Ultrases Hız Kaybı	109
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	111
6. KAYNAKLAR	114
6.1. İnternet Kaynakları	118
7. ÖZGEÇMİŞ	119

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BETON TRAVERS ÜRETİMİNDE AGREGA TÜRÜ (BAZALT-KALKER) VE ÇELİK LİFİN KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Mehmet KOZAK

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Osman ÜNAL

Bu çalışmada, beton travers üretiminde agrega türü (bazalt-kalker) ve çelik lifin kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Çalışmada maksimum agrega tane boyutları 16 mm, 22 mm, 31,5 mm olan bazalt ve kalker agregası seçilerek üretilen beton traverslerde çelik lif miktarı hacimce % 0, % 0.2, % 0.4 olmak üzere ayrı ayrı toplam 18 farklı seri üretilmiştir. Her seri de çimento miktarı 450 kg/m³ ve su/çimento oranı 0,25 olarak sabit tutulmuştur. Her bir seriden 2 adet olmak üzere toplam 36 adet B.58 beton travers ve her bir seriden 4 adet olmak üzere toplam 72 adet küp (20x20x20 cm) üretilerek buhar kürüne tabi tutulmuştur. B.58 beton traversler üzerinde eğilme dayanımı ve ultrases hızı, küpler üzerinde ise 1 ve 28 günlük basınç dayanımı, birim hacim ağırlık, ultrases hızı, donma çözünme ve su emme deneyleri yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlar kontrol numunelerine göre karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Bu değerlendirmeye göre beton travers üretiminde çelik lif kullanımı mekanik özelliklerinden özellikle eğilme dayanımını artırdığı ve bazalt agregasının kalker agregasına göre daha iyi sonuçlar verdiği söylenebilir. Ayrıca bu çalışmada üretilen bütün serilerin, Dywidag normları açısından, 28 günlük basınç dayanımı ve eğilme dayanımını sağladığı söylenebilir.

2010, 119 sayfa

Anahtar Kelimeler: Travers, Beton Travers, B.58 Beton Travers, Bazalt, Kalker, Çelik Lif, Öngerilmeli Beton, Maksimum Agrega Tane Boyutu.

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF USABILITY OF AGRREGATE TYPE (BASALT-LIMESTONE) AND STEEL-FIBER IN THE CONCRETE TRAVERSE PRODUCTION

Mehmet KOZAK

Afyon Kocatepe University

Institute for the Natural and Applied Sciences

Department of Construction Education

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Osman ÜNAL

In this study, usability of aggregate type (basalt-limestone) and steel-fiber in the production of concrete traverse was investigated.

In the study, basalt and calcareous aggregates with sized of 16 mm, 22 mm and 31.5 mm were selected, also steel fibers in ratio of 0%, 0.2% and 0.4% were used by volume. Totally 18 different series were produced. For each series, cement content and water to cement ratio was kept as 450 kg/m³ and 0.25, respectively. From B.58 concrete traverse and cube series (20x20x20 cm), totally 36 and 72 specimens were exposed to steam cure, respectively. The flexural strength and ultrasonic pulse velocity was defined on the B.58 concrete traverse; however, compressive strength, unit weight, ultrasonic pulse velocity, freeze-thaw resistance and water absorption tests were applied for 1 and 28 aged specimens on the cube series.

The obtained results were compared with control specimens, and they were discussed. According to obtained results, it was observed that the flexural strength of concrete traverse with basalt aggregate was increased by addition of steel fiber. On the other hand, it was noted that concrete traverse with basalt aggregate has better properties than that of with limestone aggregate. Moreover, all the series have acceptable values for 28 days compressive and flexure strength as Dywidag norms.

2010, 119 page

Keywords: Sleeper, Concrete Sleepers, B.58 Concrete Sleepers, Basalt, Limestone, Steel Fiber, Prestressed Concrete, Maximum Aggregate Granule Size.

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında bana yardımlarını ve bilgilerini esirgemeyen değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Osman ÜNAL'a ve Sayın Öğr. Grv. Dr. Tayfun UYGUNOĞLU'na,

Tez çalışması boyunca vermiş oldukları desteklerinden ve bilgilerinden dolayı TCDD Afyon Beton Travers Fabrikası Müdür Yrd. Sayın Mehmet ORHAN'a ve İmalat Grup Müdürü Sayın Birol SAĞLAM'a,

Tez çalışmama destek amaçlı çelik lif temininde yardımcı olan Bekaert İzmit Çelik Kord San. ve Tic. A.Ş. Müdürü Sayın Mehmet YERLİKAYA'ya, kalker agragasının temininde yardımcı olan Kolsan İnş. Otomotiv San. ve Tic. A. Ş.'ne, ve diğer beton karışımında kullanılan malzemeler ile beton travers aksamalarının temininde yardımcı olan TCDD Afyon Beton Travers Fabrikası'na,

Ayrıca bu tezin hazırlanması aşamasında hiçbir zaman manevi desteklerini esirgemeyen sevgili ailem ve sevgili eşime teşekkür ederim.

Mehmet KOZAK
AFYONKARAHİSAR, Ağustos 2010

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

1. Simgeler

Ac	Toplam kesit alanı
B _g	Gevşek birim hacim ağırlık
B _s	Sıkışık birim hacim ağırlık
cm	Santimetre
Ç	Çimento miktarı
ÇF	Çelik lif miktarı
D	Numunenin, etüv kurusu birim hacim kütlesi
Dk	Tabii don tesirleri sebebiyle meydana gelen kütle kaybı
E	1 m ³ beton karışımındaki su miktarı
f _c	Beton deney numunesi basınç dayanımı
g	Gram
h	Yükseklik
kg	Kilogram
km	Kilometre
L	Açıklık
LA	500 dönüş sonunda aşınma miktarı
ℓ	Litre
m	Metre
Mg	Megagram
ml	Mililitre
mm	Milimetre
M _n	Göz açıklığı (n) elekte kalan malzeme ağırlığı
M ₀	Deney numunesinin ağırlığı
m ₀	İri agreganın su emme oranı
M ₀₋₈	1 m ³ beton karışımındaki 0-8 mm agreganın ağırlığı
M ₈₋₁₆	1 m ³ beton karışımındaki 8-16 mm agreganın ağırlığı
M _{16-31,5}	1 m ³ beton karışımındaki 16-31,5 mm agreganın ağırlığı
MPa	Megapascal
N	Newton

P, F	Yük, kuvvet
S_n	Her hangi bir (n) göz açıklığında elek üstünde kalan malzeme oranı
V	Ses hızı
V_a	1 m ³ beton karışımındaki toplam agrega hacmi
$V_{çf}$	1 m ³ beton karışımındaki toplam çelik lif hacmi
V_h	1 m ³ beton karışımındaki hava hacmi
δ	Deney numunesinin özgül ağırlığı
δ_a	Karışıma giren agreganın özgül ağırlığı
$\delta_ç$	Karışıma giren çimentonun özgül ağırlığı
$\delta_{çf}$	Karışıma giren çelik lifin özgül ağırlığı
δ_d	İri agreganın doygun kuru yüzey özgül ağırlığı
Δf	Tabii don tesirleri sebebiyle basınç mukavemeti kaybı
Δ_T	Karışımın teorik birim ağırlığı
Δv	Tabii don tesirleri sebebiyle meydana gelen ultrases hız kaybı
$f_{çf}$	Eğilme dayanımı
σ_b	Basınç gerilmesi
$-\sigma_b$	Çekme gerilmesi
%	Yüzde
²	Kare
³	Küp
°C	Santigrad derece
Ø, d	Çap
μs	Mikrosaniye

2. Kısaltmalar

ACI	Amerikan Beton Enstitüsü
ASTM	Amerika Deney ve Malzeme Cemiyeti
B.55	1955 yılında patenti alınan tek bloklu beton travers tipi
B.58	1958 yılında patenti alınan tek bloklu beton travers tipi
B.70	1970 yılında patenti alınan tek bloklu beton travers tipi

Dywidag Normları	TCDD Afyon Beton Travers Fabrikası tarafından tek bloklu B.58 beton travers üretiminde sınır değeri olarak kullanılan normdur
K, HM	Ray travers bağlantı tipi
LA	Los Angeles Katsayısı
MEB	Milli Eğitim Bakanlığı
TCDD	Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları İşletmesi Genel Müdürlüğü
TS	Türk Standartları

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No	
Şekil 2.1	Merkezden gerdirilen öngermeli basit kiriş	4
Şekil 2.2	Dış merkezli gerdirilen öngerilmeli basit kiriş	5
Şekil 2.3	Düz, pürüzsüz yüzeyli çelik tel	10
Şekil 2.4	Üzerinde girintiler (çentikler) açılmış çelik tel	11
Şekil 2.5	Uzunluğu boyunca dalgalı (kıvrımlı) çelik tel	11
Şekil 2.6	Ay biçimi dalgalı çelik tel	11
Şekil 2.7	İki ucu kıvrılmış çelik tel	11
Şekil 2.8	Bir ucu kıvrılmış çelik tel	11
Şekil 2.9	Ahşap traverslerin çatlamlarına karşı alınacak önlemler	28
Şekil 2.10	49.050 kg/m tipi demir travers ve ölçüleri	30
Şekil 2.11	Tek bloklu B.58 beton travers	32
Şekil 2.12	Beton travers çeşitleri	33
Şekil 3.1	Beton karışımlarında kullanılan bazalt agregaların granülometri eğrileri	45
Şekil 3.2	Beton karışımlarında kullanılan kalker agregaların granülometri eğrileri	47
Şekil 3.3	İki ucu kıvrılmış çelik lif	47
Şekil 3.4	Maksimum agrega tane boyutu 16 mm olan beton karışımı için, bazalt ve kalker agregasının granülometri eğrileri ile standart eğriler	68
Şekil 3.5	Maksimum agrega tane boyutu 22 mm olan beton karışımı için, bazalt ve kalker agregasının granülometri eğrileri ile standart eğriler	68
Şekil 3.6	Maksimum agrega tane boyutu 31,5 mm olan beton karışımı için, bazalt ve kalker agregasının granülometri eğrileri ile standart eğriler	69
Şekil 3.7	Buhar kürü sıcaklık zaman grafiği	79
Şekil 3.8	Donma çözünme deneyi uygulama şeması	93
Şekil 4.1	Bazalt agregası ile üretilen küplerin birim hacim ağırlıkları	97

Şekil 4.2	Kalker agregası ile üretilen küplerin birim hacim ağırlıkları	97
Şekil 4.3	Bazalt agregası ile üretilen küplerin 1 günlük basınç dayanımları	98
Şekil 4.4	Kalker agregası ile üretilen küplerin 1 günlük basınç dayanımları	99
Şekil 4.5	Bazalt agregası ile üretilen küplerin 28 günlük basınç dayanımları	100
Şekil 4.6	Kalker agregası ile üretilen küplerin 28 günlük basınç dayanımları	100
Şekil 4.7	Bazalt agregası ile üretilen küplerin utrases hızları	102
Şekil 4.8	Kalker agregası ile üretilen küplerin utrases hızları	102
Şekil 4.9	Bazalt agregası ile üretilen beton traverslerin utrases hızları	103
Şekil 4.10	Kalker agregası ile üretilen beton traverslerin utrases hızları	104
Şekil 4.11	Bazalt agregası ile üretilen beton traverslerin eğilme dayanımları	104
Şekil 4.12	Kalker agregası ile üretilen beton traverslerin eğilme dayanımları	105
Şekil 4.13	Bazalt agregası ile üretilen küplerin donma çözünme sonucu kütle kayıpları	106
Şekil 4.14	Kalker agregası ile üretilen küplerin donma çözünme sonucu kütle kayıpları	107
Şekil 4.15	Bazalt agregası ile üretilen küplerin donma çözünme sonucu basınç kayıpları	108
Şekil 4.16	Kalker agregası ile üretilen küplerin donma çözünme sonucu basınç kayıpları	108
Şekil 4.17	Bazalt agregası ile üretilen küplerin donma çözünme sonucu ultrases hız kayıpları	109
Şekil 4.18	Kalker agregası ile üretilen küplerin donma çözünme sonucu ultrases hız kayıpları	110

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa No	
Resim 2.1	TCDD ait demiryolu hat şebekesi	21
Resim 2.2	Ahşap travers uygulaması	24
Resim 2.3	Normal ahşap travers ve ölçüleri	26
Resim 2.4	Demir travers uygulaması	29
Resim 2.5	Beton travers uygulaması	31
Resim 2.6	Çift bloklı beton traversler	36
Resim 2.7	Üç bloklı beton travers	37
Resim 2.8	Tünel içerisinde plastik travers uygulaması	37
Resim 2.9	2008 yılı Türkiye'deki demiryolu (Ana Hat) travers tipleri	39
Resim 3.1	Bazalt agregası	43
Resim 3.2	Kalker agregası	45
Resim 3.3	RC 80/60 BN tipi iki ucu kancalı çelik lif	48
Resim 3.4	U- civataları	49
Resim 3.5	Çan rondelaları	50
Resim 3.6	Altıgen somun	51
Resim 3.7	Plastik dübel	52
Resim 3.8	Agregalarda birim hacim ağırlık deneyinin yapılması	53
Resim 3.9	Agregalarda özgül ağırlık deneyinin yapılması	59
Resim 3.10	Agregalarda organik madde miktarı deneyi yapılması	60
Resim 3.11	Agregalarda çamurlu madde miktarı deneyi yapılması	62
Resim 3.12	Agregalarda aşınmaya dayanıklılık deneyi yapılması	66
Resim 3.13	Beton karışımına giren malzemelerin ağırlık esasına göre hazırlanması	72
Resim 3.14	Beton karışımının hazırlanması	72
Resim 3.15	Küp kalıplarının doldurulması ve titreşime tabi tutulması	73
Resim 3.16	Beton travers karışımına giren malzemelerin ağırlıklarının ayarlanması	73
Resim 3.17	Ağırlık esasına göre tartılan malzemenin betonyere alınması	74
Resim 3.18	Kalıpların hazırlanması	74

Resim 3.19	Üretime hazırlanmış travers kalıbının vibrasyon tezgahına getirilmesi	75
Resim 3.20	Kalıbın titreşime tabi tutularak doldurulması	75
Resim 3.21	Beton traversin sıkıştırma kirişi ile birlikte titreşime tabi tutulması	76
Resim 3.22	Beton travers kalıbına döndürme düzeneğinin takılması	77
Resim 3.23	Beton traversten maça çubuklarının çıkarılması	77
Resim 3.24	Beton traversin masterla kontrol edilmesi	78
Resim 3.25	Üretilen küp ve beton traverslerin buhar kürü için istiflenmesi	79
Resim 3.26	Üretilen numunelerin çadır içerisinde buhar kürüne tabi tutulması	80
Resim 3.27	Beton travers numunelere gergi çeliklerinin takılması	80
Resim 3.28	Beton traverslere öngerme yükünün uygulanması	81
Resim 3.29	Beton şerbetinin hazırlanması	82
Resim 3.30	Beton şerbetinin beton travers kanallarına sıkılması	82
Resim 3.31	Traverslerin krozet ve öngerilim uçlarının kalafat harcı ile doldurulması	83
Resim 3.32	Traverslerin istiflenmesi	83
Resim 3.33	Üretilen beton traversler	84
Resim 3.34	Basınç deneyi yapılması	88
Resim 3.35	Ultrases hızı deneyi yapılması	89
Resim 3.36	Beton traverslerin eğilme deneyi makinesine yerleştirilmesi	91
Resim 3.37	Eğilme deneyi yapılması	92
Resim 3.38	Donma çözünme deneyi yapılması	93

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No	
Çizelge 2.1	Lif çeşitlerinin tipik özellikleri	9
Çizelge 2.2	Betonda bulunması gereken ince malzeme miktarı	12
Çizelge 2.3	Betona ilave edilebilen maksimum tel miktarı	12
Çizelge 2.4	Yüksek hızlı tren ve konvansiyonel hat uzunlukları	21
Çizelge 2.5	Ahşap traverslerin tipine göre ölçüleri	25
Çizelge 2.6	Demir traverslerin ölçüleri	30
Çizelge 2.7	Tek bloklu beton traverslerin ölçüleri	34
Çizelge 3.1	Çimentonun fiziksel özellikleri	40
Çizelge 3.2	Çimentonun kimyasal özellikleri	41
Çizelge 3.3	Çimentonun mekanik özellikleri	41
Çizelge 3.4	Doğal kırmataş hammaddelerinin jeolojik sınıflandırılması	42
Çizelge 3.5	Bazalt agregasının kimyasal özellikleri	43
Çizelge 3.6	Bazalt agregasının fiziksel özellikleri	44
Çizelge 3.7	Bazalt aragasının elekten geçen yüzdeleri ve karışım oranları	44
Çizelge 3.8	Kalker agregasının kimyasal özellikleri	46
Çizelge 3.9	Kalker agregasının fiziksel özellikleri	46
Çizelge 3.10	Kalker aragasının elekten geçen yüzdeleri ve karışım oranları	47
Çizelge 3.11	Kullanılan çelik lifin özellikleri	48
Çizelge 3.12	Çalışmada üretilen serilerin numaralandırılması	67
Çizelge 3.13	1 m ³ beton karışıma giren teorik malzeme miktarları	71
Çizelge 3.14	Ultrasonik testle beton kalitesinin değerlendirilmesi	90
Çizelge 4.1	Sertleşmiş beton deneylerinin sonuçları	96

1. GİRİŞ

Ulaşım, insan veya eşyanın, ihtiyaçlarını gidermek amacıyla zaman ve mekan faydası sağlayacak şekilde yer değiştirmesini mümkün kılan bir hizmettir (Nalçakan 2003). Bir ülke için kalkınma bakımından, ulaşım kolaylığının büyük bir etken olduğu tartışılmaz bir gerçektir. Fakat bir ülkenin ulaşım kolaylığının sağlanabilmesi için; karayolu, demiryolu, denizyolu ve havayolu gibi ulaştırma türlerine ait altyapı tesisleri ile ülke koşullarına uygun düşen bir bütünlük göstermesi ayrıca, bu türlerin işletmelerinde koordinasyonunun sağlanması gerektiği de hemen belirtilmelidir. Ancak böyle bir bütünlük halinde ülke çapında hızlı, güvenilir, kolay ve ekonomik bir ulaştırma hizmeti sağlanabilir (Yayla 2004).

Dünya genelinde, demiryollarının önemi her geçen gün daha da artmaktadır. Karayolu ağırlıklı yük ve yolcu taşımacılığının sebep olduğu, çevre kirliliği, kazalar, trafik tıkanıklığı ve yüksek yakıt maliyetleri, dünya ekonomisinin gelişmesinde en önemli unsur olan "taşıma hareketliliği"ni yavaşlatmakta ve sınırlamaktadır. Teknik üstünlüklerinden dolayı demiryolları, son yıllarda bütün dünya ülkelerinde adeta yeniden keşfedilmekte ve her yönüyle yeniden yapılandırılmaktadır. Özellikle yüksek teknolojiye sahip ülkelerde, teknolojinin bütün imkanları kullanılarak, demiryolu sistemlerinin geliştirilmesi için çok büyük araştırmalar ve yatırımlar yapılmaktadır (İnt. Kyn.1).

Demiryolu taşıtlarının güvenli, konforlu ve ekonomik olarak seyrini sağlamaya yardımcı olan ve altyapı üzerine döşenen malzemeler demiryolu üst yapı malzemeleridir.

Demiryoluna raylardan gelen yükleri daha geniş bir yüzeye yayarak balasta ileten, yolun açıklığını koruyan ve yolu yan etkilere karşı eksenine tutan, rayın altına döşenmiş yol üst yapı malzemesi olan traversler ülkemiz ve dünyada, ahşap, demir, beton ve plastik olmak üzere dört farklı malzemedен imal edilmektedir (Kaçer 2008). Ülkemizde demiryolları ulaşımında bu travers çeşitlerinden kullanım alanı en yaygın olan ise beton traverslerdir.

Betonun başlangıçta akışkan olduğu için istenilen kalıbın şeklini kolayca alan ve sertleştikten sonra ise yüksek bir dayanıklılık ile belirli bir taşıma gücü için gerekli bir dayanım sağlayan yapay bir yapı malzemesidir (Topçu 2006). Betonun çekme ve eğilme dayanımı düşük olduğundan, yapıda beton elemanların çekme ve eğilmeye maruz kalacak bölgelerine çelik çubuklar yerleştirilerek, bu tür yükler çelik tarafından taşınmaktadır. Beton ve çelik çubuklar arasında çok iyi bir aderans olması, bu iki malzemenin tek bir malzeme gibi davranmasını sağlamaktadır (Erdoğan 2007). Bu nedenle beton traverslerin bünyesinde meydana gelen çekme gerilmelerini çelik, basınç gerilmelerini beton tarafından karşılanmış olması beton traverslerin önemini artırmıştır.

Modern mühendislikte daha güvenli ve yüksek dayanımlı betonarme üretimi her zaman teknoloji ile ilerleme kat etmiş ve bu ilerlemelerden birisi olan öngermeli beton klasik betonarmenin çeşitli yetersizliklerini ve eksikliklerini gidermek için ortaya çıkan bir teknolojidir (Topçu 2006). Öngermeli beton tekniği beton traversin üretiminde kullanılmakta olup beton travers kullanılabilirliğini yaygınlaştırmış ve demiryolunun güvenli ve konforlu olmasında büyük bir etken olmuştur.

2. GENEL BİLGİLER

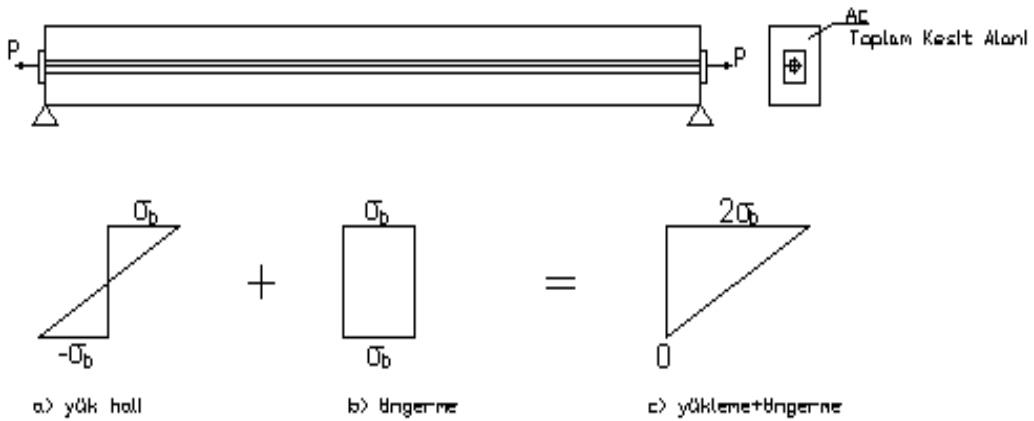
2.1. Öngerilmeli Betonlar

Öngerilmeli beton klasik betonarmenin çeşitli yetersizliklerini ve eksiklerini giderebilmek için ortaya çıkan bir teknolojidir. Modern mühendisliğin en önemli gelişmelerinden biri olan öngerilmeli beton bir malzeme aynı zamanda da bir teknolojinin adıdır. Öngerilmeli beton kısa bir zaman içerisinde geleceğin yapı malzemesi olarak süratle ön sırayı almış bulunmaktadır. Bu yapı malzemesi yöntemi; ekonomi, hız, uzun ömürlülük, yangına dayanıklılık, enerji tasarrufu ve mimari esneklik sağlar. Bu nedenle, öngerilmeli beton, inşaatta önemli bir atılımı temsil etmektedir. Öngerilmeli beton, enerji tasarrufu sağlayan izolasyonlu öngerilmeli beton duvar olarak üretiminden, kiriş ve kolonların modüler elemanlar olarak monte edilmesine, ağır sanayi tesislerine ve geniş açıklıklı zarif köprülere kadar çok çeşitli olabildiği gibi, büyük veya küçük her tip binanın yapısal ve mimari gereksinimlerini de karşılayabilmektedir. Öngerilmeli betonun kullanımındaki artış büyük bir hızla devam etmektedir. Bütün belirtiler göstermektedir ki, tasarımcılar, uygulayıcılar veya kullanıcılar beton ve çeliğin bu olağan üstü karışımının kapasitesinden henüz yeni istifade etmeye başlamışlardır.

Öngerilmeli beton, bir tarife göre, çeşitli iletme yükleri altındaki davranışını ve dayanımını geliştirmek üzere, bir yapı elemanına bilinçli olarak kalıcı gerilmeler verilmesidir. Bir başka tarife göre, bir yapı elemanında, işletme yüklerinin meydana getirdiği eğilmeye zıt yönde eğme sağlayabilen kuvvetlerin uygulanmasıdır. Daha basit olarak öngerilmeli betonun tanımı; yüksek dayanımlı beton ile yüksek dayanımı, haddelenmiş, yüksek elastik sınırlı çelik donatıların bir arada kullanılmasıyla elde edilen, çeliğe yapay olarak verilen gerilmenin aderans yoluyla betona iletilmesiyle kesitte oluşacak çekme gerilmelerinin yok edilmesi işlemidir. Beton malzemesinin çekme dayanımının çok düşük olduğu, basınç dayanımının $1/8 - 1/14$ 'ü arasında olduğu bilinmektedir. Betonda yapay olarak bir ön basınç oluştuğu takdirde işletme sırasında doğacak çekme gerilmeleri bu basınç gerilmeleriyle yok edilir.

Öngerilmeli beton, yüksek dayanımlı beton ile yüksek dayanımlı çeliğin aktif olarak çalışmasıdır. Çelik sünektir ve öngerilmeli sayesinde yüksek gerilme altında kullanılabilir özellikte sahiptir. Oldukça yüksek oranda gerilen çeliğin etkisiyle, yapı elemanında enerji depolanır. Bu enerji, yapı elemanının alt kısmında sıkışma meydana getirir ve hafif ters bir sehim oluşturur. Öngerilme işlemiyle, betonun zayıf olan çekme kapasitesindeki eksiklik yok edilir ve yüksek dayanımlı bu iki malzemenin ideal bir birleşimi sağlanır. Bu şekilde, kirişin kendi ağırlığını taşımak zorunluluğunu ortadan kaldıran yukarı doğru bir kuvvet meydana getirilmiş olur. Kirişin uzunluğu boyunca ortaya çıkan bu kuvvet, kirişe uygulanan yüklere karşı koyar.

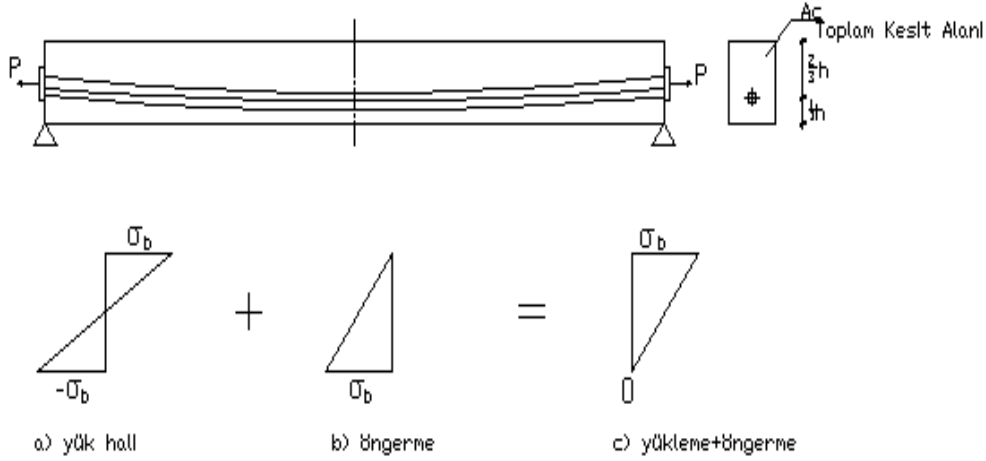
Öngerilmeli taşıyıcı elemanın davranışını en basit şekli ile tanımlayabilmek için basit, ortası çelik tellerin geçmesi için boş olan izostatik bir kiriş düşünülebilir (Şekil 2.1). Taşıyıcı kiriş elemanının üzerinde yük bulunması durumunda oluşacak gerilme dağılımı Şekil 2.1.a'da görüldüğü gibi olacaktır. En dışlardaki liflerde σ_b (basınç) ve $-\sigma_b$ (çekme) gerilmeleri oluşacaktır. Şekil 2.1.b'de ise P kuvveti ile gerilmiş ve düzgün bir gerilme dağılımı elde edilmiş olan öngerilmeli tellerdeki gerilme dağılımı görülmektedir. Bu iki sistem birleştirilip toplandığında ise Şekil 2.1.c'deki gerilme dağılımı bulunmuş olur. Şekilde 2.1.'de görüldüğü gibi çekme gerilmeleri yok edilerek kesitin çatlaması engellenebilmektedir (Topçu 2006).



Şekil 2.1 Merkezden gerdirilen öngerilmeli basit kiriş (Topçu 2006).

Pratikte bu uygulama farklı olarak gerçekleştirilir. Zira bu uygulamadan da görülebileceği gibi sistemde çekme gerilmeleri yok edilmesine karşın basınç gerilmeleri

2 katına çıkarılmıştır. Betonun zamana bağlı şekil değiştirmelerinden olan sünme yüksek basınç gerilmeleri altında daha da artacağından sistemin biraz daha iyileştirilerek bu soruna çözüm bulunması gerekmektedir. Germe kabloları kiriş merkezinde alt çekirdek noktasından geçirilecek olursa beton basınç gerilmeleri azalır (Şekil 2.2.) bunun yanında öngerilme kuvveti de azalmış olur (Topçu 2006).



Şekil 2.2 Dış merkezli gerdirilen öngerilmeli basit kiriş (Topçu 2006).

Öngerilmeli betonda kullanılacak çimento, agrega, su ve katkı maddeleri için TS 3233'de verilen standartlara uyulması gerekmektedir. Öngerilmeli betonun yüksek dayanımlı olması gereklidir. En düşük beton sınıfı C 30 olmalıdır. TS 3233'e göre bu dayanım en az C 25 olarak belirtilmiştir (Topçu 2006).

Öngerilmeli betonun avantajları;

- Öngerilmeli beton elastik bir malzemedir, yükler kaldırıldığında ilk durumuna döner bu nedenle dinamik etkiler altında kalacak yapılar için uygundur,
- Öngerilmeli beton homojen ve çatlaksız olduğundan su geçirmez,
- Öngerilmeli elemanların en kesitleri küçülür böylece çelik ve beton sarfiyatından tasarruf sağlanır. Bunun sonucu olarak yapı hafifler temeller küçülür (Ayaydın 1989),
- Prefabrike olarak kullanıldığında kalıptan tasarruf edilebilmektedir,
- Akma dayanımı yüksek çelik kullanıldığı için öngerilmeli beton elemanlarında daha az donatı kullanılmaktadır,

- Yüksek mukavemetli beton ve çelik kullanılması ile ağırlık azaltılarak büyük açıklıkların ekonomik olarak geçilebilmesi sağlanmaktadır,
- Çatlaklar tamamen ortadan kaldırılarak yapıların daha emniyetli bir hale gelmesi sağlanmaktadır (Oflazoğlu 2007),
- Hız, uzun ömürlülük ve enerji kaybının önlenmesini sağlar (Oğuz 1989).

Basınç dayanımı karşısında çekme dayanımı düşük olan betonun donatı takviyesi ile betonarmeye dönüşümünün ileri aşaması olan öngerilmeli beton teknolojisi taşıyıcı sistemlerin daha ekonomik, daha estetik ve daha kullanışlı bir seviyeye gelmesini sağlamıştır. En çok kullanılan taşıyıcı sistem malzemesi olan betonarmeye karşı yeni teknolojiler ortaya çıkana kadar mevcut durumun iyileştirilmesi adına geliştirilmiş olan öngerilmeli beton teknolojisi mühendislik ihtiyaçlarını karşılamakta ve gelişen teknoloji ile daha da ileri noktalara ulaşacaktır (Ünal ve Kürklü 2007).

Öngerilmeli beton, köprüler, viyadükler, kazıklar, zemin ankrajları, silolar, dini yapılar, barajlar, spor tesisleri, konser salonları, demiryolu beton traversleri, yapı elemanlarında kullanılmaktadır (Özden vd. 1998).

Günümüzde birçok öngerme sistemi ve tekniği geliştirilmiş, öngerilmeli beton tekniği yaygın olarak kabul görmüş ve uygulanmaktadır. Kimyasal öngerilmenin dışındakiler, önçekim ve ardçekim olmak üzere iki başlık altında sınıflandırılabilir.

2.1.1. Önçekim

Önçekim metodunda, öngerilme donatıları önceden belirlenen bir gerilme miktarınca gerilerek sabit kütlelere ankrajlanırlar. Beton bu gerilen donatıların etrafına yerleştirilmiş kalıpların içine dökülür, bakımı yapılır ve yeterli dayanımına ulaştınca donatılar serbest bırakılır. Beton ile donatılar arasındaki aderans donatıların kısılmasına direnç gösterir ve böylece beton basınç gerilmesi ile yüklenmiş olur. Burada önçekim kelimesindeki “ön” eki beton sertleşmeden önce donatıların çekme gerilmesi ile

yüklendiğini ifade etmektedir. Öngerilme donatılarını germek için genellikle hidrolik krikolar kullanılmaktadır.

Önçekim metodu ile üretilen elemanlarda, beton ile donatı arasındaki aderansın mümkün olduğunca fazla olmasını sağlamak için öngerilme donatılarının çapının küçük seçilmesinde fayda vardır.

Önçekim metodu fabrikasyon için büyük potansiyeller sunduğundan daha çok tercih edilmektedir. Uzun hat üretim tekniğiyle oldukça uzun miktardaki öngerme teli tek seferde gerilerek peş peşe sıralanan birkaç kalıba aynı anda beton dökülerek, birden fazla öngerilmeli kiriş bir çekme işlemi ile üretilebilmektedir. Önçekim mekanizmasının daha ekonomik kullanımı maksadıyla öngerilmeli kiriş betonunun kürü çok iyi yapılmalı ve mümkün olan en kısa sürede betonun gerekli mukavemeti kazanması sağlanarak aktarma işlemi yapılmalıdır.

2.1.2. Ardçekim

Ardçekim metodunda beton döküldükten ve yeterli mukavemeti kazandıktan sonra öngerilme donatıları gerilir ve beton elemanın uç noktalarına ankraj edilir.

Kılıf denilen ince cidarlı borular beton dökülmeden önce eleman boyunca yerleştirilir. Donatılar bu kılıflar içine beton dökülmeden önce serbest bir şekilde veya beton dayanımını kazandıktan sonra yerleştirilebilirler. Donatılar gerildikten ve ankrajlandıktan sonra, kılıflar ile donatılar arasındaki boşluk sonradan sertleşen özel bir harç ile doldurulur. Bu harç sayesinde, donatı ile onu çevreleyen betonun aderansı sağlanmış, öngerilmeli elemanın çatlamaya karşı direnci artırılmış ve donatılardaki korozyon riski azaltılmış olur.

Yukarda anlatıldığı şekliyle kılıflar ile donatılar arasındaki boşluk harç yerine yağ ile doldurulması durumunda, donatı boyunca aderans kaldırılmış olacak ve donatıdaki gerilme betona sadece uç noktalardaki ankrajlardan aktarılacaktır. Aderanssız öngerilme

donatıları genellikle yağ yada bitümlü malzemelerle kaplanıp, su geçirmez malzemelerle sarılarak yada esnek plastik boruların içine sokularak beton dökülmeden önce kalıp içine yerleştirilirler.

Ardçekim metodu prefabrike elemanlarda da kullanılmasına rağmen, yerinde dökme elemanlar için çok daha yararlı olarak kullanılmaktadır. Özellikle boyutu itibariyle taşınması mümkün olmayan elemanların ardçekim metoduyla öngerilme vermek suretiyle yerinde dökme olarak üretilmesi çok daha verimli bir yöntemdir (Aydın 2006).

2.2. Lifli Betonlar

Günümüzde betonun değişik alanlarda kullanma ihtiyacının ortaya çıkması, beton teknolojisinde bazı gelişmelerin yaşanmasına neden olmuştur. Bu gelişmelerden birisi de lif katkılı betonların üretilmesidir. Beton özelliklerini olumlu yönde değiştirerek iyileştirmek amacıyla taze beton içerisine çeşitli yöntemlerle değişik miktarlarda katılan, belirli boy/çap (narinlik oranı) oranına sahip olan metalik, polimerik, mineral veya tabii yapıdaki malzemelere lif (fiber) denilir. Lifler; çelik, plastik, cam gibi değişik malzemelerden farklı tip ve boyutlarda üretilmektedirler. ACI (Amerikan Beton Enstitüsü) komitesi bir lifi tanımlayan en iyi nümerik parametrenin lif boyunun eşdeğer lif çapına bölünmesiyle elde edilen “boy/çap” (aspect ratio) oranı olduğunu kabul eder. Bu orana kısaca “narinlik oranı” da denilmektedir. Eşdeğer lif çapı ise; alanı lifin kesit alanına eşit bir dairenin çapı olarak tanımlanmaktadır. Lifi tanımlayan diğer etkenler ise lifin geometrik yapısı ve çekme gerilmesidir (Ünal vd. 2007).

Çeşitli malzemelerin liflerle donatılarak çeşitli özelliklerini iyileştirmeye yönelik çalışmaların teorik yönüyle ele alınışının epeyce yeni olmamasına karşın, ilk uygulamaların çok eskilere dayandığı bilinmektedir. Kerpiç malzemesinin bitkisel elyaf ve samanla karıştırılarak kullanılması 4500 yıl öncelere dayanmaktadır.

Betonun özelliklerini geliştirmek için sürekli olmayan çelik güçlendirme malzemelerinin kullanımıyla ilgili deneysel ve patent çalışmaları 1910 yılından bu yana devam etmektedir.

Betonun çok düşük çekme dayanımına sahip olması nedeniyle beton elemanlarının tasarımında statik çekme gerilmelerinden kaçınılır. Dinamik yükleme durumlarında çekme gerilmeleri kaçınılmazdır. Çekme gerilmeleri ise bir çatlaktan pek çok çatlağın yayılmasına neden olarak betonda göçmeye neden olur. Bu dağılı çatlaklar ise boyut etkisini doğurur. Çatak gelişimine karşı betonun direncini ve sünekliliğini artırmak için betonun liflerle güçlendirilmesi etkili bir yoldur (Topçu 2006). Lif çeşitlerinin tipik özellikleri Çizelge 2.1’de verilmektedir.

Çizelge 2.1 Lif çeşitlerinin tipik özellikleri (Topçu 2006).

Lif Tipi	Çekme Dayanımı (ksi*)	Young Modülü (10 ³ ksi*)	En Yüksek Uzama (%)	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)
Akrilik	30-60	0.3	25-45	1.1
Asbest	80-140	12-20	~ 0.6	3.2
Pamuk	60-100	0.7	3-10	1.5
Cam	150-550	10	1.5-3.5	2.5
Naylon	110-120	0.6	16-20	1.1
Polyester	105-125	1.2	11-13	1.4
Polietilen	~ 100	0.02-0.06	~ 10	0.95
Polipropilen	80-110	0.5	~ 25	0.90
Rayon(Suni ipek)	60-90	1.0	10-25	1.5
Taş Yünü	70-110	10-17	~ 0.6	2.7
Çelik	40-400	29	0.5-35	7.8

* 1 ksi = 6,9 Mpa

Beton içerisinde yaygın olarak kullanılan lifler; çelik, polipropilen, karbon ve alkali dirençli cam liflerdir. Lifli betonlarda, bütün lif çeşitlerinde sağlanması gereken en önemli özellik liflerin beton içerisinde homojen olarak dağılması ve bu dağılımın beton karıştırıldıktan sonra da bozulmamasıdır. Üniform bir şekilde dağılan lifler, beton

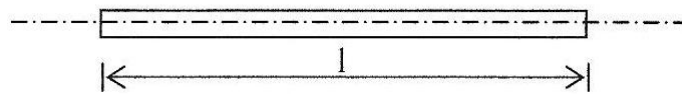
içerisinde oluşan çatlakları önlemekte ve çatlakların beton içerisinde ilerlemesini yavaşlatarak betonu daha dayanıklı hale getirdiği bilinmektedir. Bu özelliğinden dolayı lifli betonun çekme ve eğilme dayanımı artıran faktörler darbe etkisine karşı da dayanımı artırır. Bu nedenle betonarme kazık, yol ve hava alanları, su boruları, genel olarak büyük fabrika inşaatlarının döşeme betonlarında ve prefabrikte yapı elemanları üretiminde lifli betonların tercih edilmeleri halinde daha iyi sonuçlar alınacağı bilinmektedir (Ünal 1994).

2.2.1. Çelik Lifli Betonlar

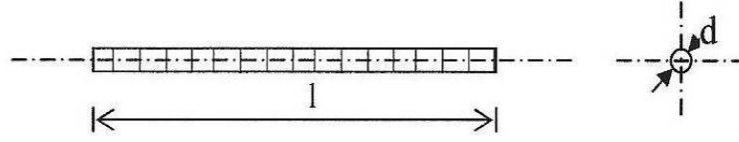
Çelik lifler, düşük karbonlu çelik C 1008'den üretilirler. En önemli özellikleri, yüksek ve üniform çekme gerilmesine karşılık düşük uzama özellikleridir. Çekme gerilmeleri ortalama olarak 1200 MPa'nın üzerinde olup elastik limitleri % 0,2'nin altındadır (Topçu 2006).

TS 10513 göre beton takviyesinde kullanılan, çelik teller şekillerine göre üç grupta toplanmıştır.

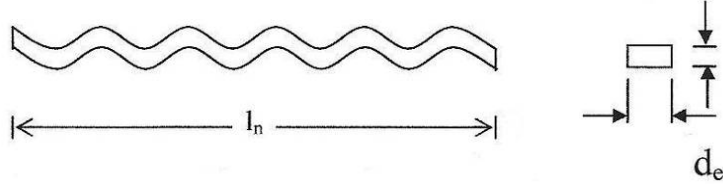
- A- Düz, pürüzsüz yüzeyle teller (Şekil 2.3)
- B- Bütün uzunluğunca deforme olmuş teller
 - a- Üzerinde girintiler (çentikler) açılmış teller (Şekil 2.4)
 - b- Uzunluğu boyunca dalgalı (kıvrımlı) teller (Şekil 2.5)
 - c- Ay biçimi dalgalı teller (Şekil 2.6)
- C- Sonu kancalı teller
 - a- İki ucu kıvrılmış teller (Şekil 2.7)
 - b- Bir ucu kıvrılmış teller (Şekil 2.8)



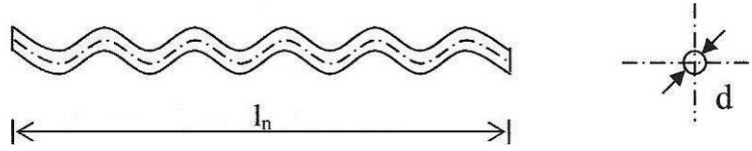
Şekil 2.3 Düz, pürüzsüz yüzeyle çelik tel



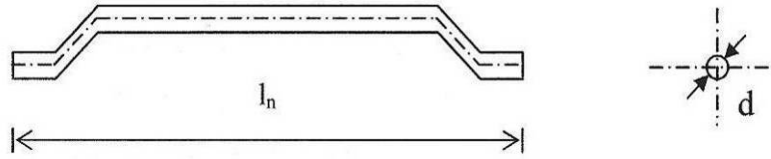
Şekil 2.4 Üzerinde girintiler (çentikler) açılmış çelik tel



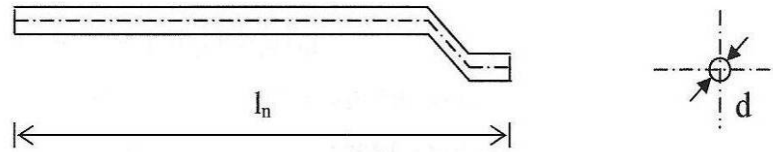
Şekil 2.5 Uzunluğu boyunca dalgalı (kıvrımlı) çelik tel



Şekil 2.6 Ay biçimi dalgalı çelik tel



Şekil 2.7 İki ucu kıvrılmış çelik tel



Şekil 2.8 Bir ucu kıvrılmış çelik tel (TS 10513, 1992)

Çelik liflerin beton içerisine karıştırıldığında hangi ölçüde kullanılabileceği, lifin geometrik şekline ve lif ile beton matris arasındaki kenetlenme dağılımına bağlıdır. Bu nedenle birçok değişik geometrik formda çelik lif üretilmekte ve kullanılmaktadır. Yapılan araştırmalar beton üzerindeki en büyük iyileştirmeyi düz ve ucu hafif kıvrımlı liflerin sağladığını göstermiştir (Topçu 2006).

TS 10514 göre çelik lif takviyeli betonun yapısı ve kalitesi aşağıdaki maddeler halinde tanımlanmaktadır;

- Çimento miktarı en az 320 kg/m³ olmalıdır,
- Kum (0 mm – 4 mm) miktarı, toplam agrega kütlelerinin % 40 - % 45 olmalıdır (750 kg/m³ - 850 kg/m³),
- En büyük tane büyüklüğü, doğal agrega için 28 mm, kırma taş için 32 mm olmalıdır. 14 mm'den büyük agrega oranı, % 15 - % 20 ile sınırlanmalıdır,
- Betonun karakteristik basınç mukavemeti en az 20 MPa olmalıdır,
- Su / çimento oranı en çok 0.55 olmalıdır,
- Betona işlerlik sağlaması amacı ile akışkanlık verici katkıları kullanılabilir,
- Betonda bulunması gereken 0.25 mm'den küçük ince malzeme miktarı Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2 Betonda bulunması gereken ince malzeme miktarı (TS 10514, 1992)

En Büyük Agrega Tane Büyüklüğü (mm)	İnce Malzeme Miktarı (< 0,25 mm)	
	kg/m ³	L/m ³
8	525	180 – 185
16	450	150 – 155
32	400	130 – 135

Not - (Çimento özgül kütlesi: 3,1 kg/ℓ)
- (Kum yoğunluk: 2,65 kg/ℓ) olarak hesaplara katılacaktır.

TS 10514 göre betona karıştırılacak en fazla tel miktarı, agreganın en büyük tane çapına ve uzunluk/çap oranına bağlı olarak Çizelge 2.3'deki gibi belirlenmiştir.

Çizelge 2.3 Betona ilave edilebilen maksimum tel miktarı kg/m³ (TS 10514, 1992)

En Büyük Tane Çapı (mm)	Uzunluk / Çap					
	60		75		100	
	Normal	Pompa	Normal	Pompa	Normal	Pompa
4	160	120	125	95	95	70
8	125	95	100	75	75	55
16	85	65	70	55	55	40
32	50	40	40	30	30	25

Çelik lifli beton, içerisinde homojen dağıtılmış küçük teller bulunan ve ince veya ince-kaba agrega kullanılarak üretilmiş bir kompozit malzemedir (Topçu 2006).

Çelik lif donatılı betonlar, 60'lı yılların başında geliştirildi ve lif tipleri üzerinde yıllar boyu süregelen araştırmalar ve uygulamalar, bu malzemeyi dünya çapında çeşitli uygulamalarda bilinen bir teknoloji haline getirdi. Günümüzde halen, dizayn ve hesap metotları geliştirilmektedir. Çelik lif donatılı betonlar için ilk uygulama alanlarından biri, elastik zemine oturan beton plaklar oldu. Bugün milyonlarca metrekare çelik lif donatılı zemin betonu dökülmektedir. Mikro çatlaklar arasında köprü görevini gördükleri ve gerilmeleri geniş bir alana transfer ettikleri için çelik lifler, kırılğan beton yapısını esnek ve dayanıklı hale getirmektedir. Sonuçta, gerilmelerin beton içindeki dağılımı değişmekte, yük taşıma kapasitesi belirgin bir şekilde artmaktadır. Tutkallı çelik lifler kolayca betona katılmakta ve homojen dağılmaktadır (Yıldırım 2002).

Çelik liflerin betonda kullanılmasının başlıca beş yararı vardır. Bunlar;

- Yüksek taşıma kapasitesine sahip sünek beton,
- Donatı korozyonunun oluşmadığı düzgün beton yüzeyinin elde edilmesi,
- Etkin çatlak kontrolü,
- Dayanıklılık,
- Donatı işçiliğinde belirgin azalmalardır (Taşdemir vd. 2004).

Yüksek performanslı betonlar, yüksek dayanımla birlikte üstün dürabiliteye sahiptir. Ancak dayanım değeri arttıkça normal betona göre daha gevrek davranış gösterirler. Bir başka deyişle; betonun dayanımı arttıkça, sünekliği azalır. Dayanım ve süneklik arasındaki bu ters ilişki ciddi bir sorun olmakta ve yüksek performanslı betonların kullanımını sınırlandırmaktadır. Bu yüzden, betonun sünekliğini artırmak yüksek performanslı betonlar için büyük bir sorundur. Betondaki süneklik çelik teller kullanılarak sağlanabilir. Betonda çelik tel kullanımı, betonun enerji yutma kapasitesini ve sünekliğini arttırmaktadır. Çelik tellerin betondaki esas etkisi çatlak sonrası davranışta görülmektedir. Eğer uygun bir karışım tasarlanırsa; ilk çatlak oluştuğundan sonra matristeki rastgele dağılmış olan kısa çelik teller köprüleme etkisi ile çatlağın ilerlemesini önler. Tellerin betondan sıyrılması sırasında, çatlak genişlemesi

geciktirilmiş ve çatlağın ilerlemesi önlenmiş olur. Tellerin matristen sıyrılarak çıkması fazla enerji gerektirdiğinden toklukta belirgin bir artış elde edilir. Çelik tel tipi, tel narinliği (boy/çap), tel hacmi, tellerin matris içindeki yönlendirilmesi ve tellerin çekme dayanımı matris özellikleri ile birlikte Çelik Tel Donatılı Betonların performansını etkiler (Yalçın vd. 2007).

Beton gibi çimentolu kompozitlerin yarı-gevrek davranışı çeşitli özelliklerde lifler kullanılarak sünek davranışa doğru geliştirilebilir. Günümüzde geliştirilen yüksek performanslı birçok yeni malzeme lif içermektedir.

Yarı-gevrek karakterdeki betona eklenen uçları kancalı tipte çelik lifler betonun mekanik özelliklerini ve sünekliğini geliştirirler. Ancak, uçları kancalı tipte çelik liflerin betona eklenmesindeki temel etki malzemenin dayanımının geliştirilmesinden daha çok, çatlak oluşuktan ve genişledikten sonra kompozitte gerilme transferinin devam etmesi ve tokluğun artırılmasıdır.

Lifli betonlarda lifler ve agregaların birlikte etkileşim içerisinde olduğu bir toklaşma mekanizması vardır. Lifli kompozitte lifler ve agregalar çatlak köprülerdir. Çatlak açıldıkça liflerin çatlak köprüleme özelliği daha baskın hale gelir. Böylece, lifler üzerinden gerilmelerin geçtiği bir köprü görevi görürler. Çatlak açıldıkça lifler matristen sıyrılır ve bir miktar enerji sönmülenir. Uçları kancalı olan liflerde, lif sıyrılırken kancanın plastik deformasyonu ile bir miktar daha enerji sönmülenir ve kompozitin tokluğu artar.

Geleneksel sıkıştırma işlemi görmüş çelik lifli betonlarda basınç gerilmeleri altında dayanımın artmasından çok basınç göçmesindeki süneklik gelişir. Basınç yüklemeleri altında kompozitin enerji yutma kapasitesindeki artış, statik yüklemeler altında ani ve patlama şeklindeki göçmenin önlenmesi ve dinamik yüklemeler altında ise enerjinin sönmülenmesi açısından önemlidir.

Çelik lifli betonların çekme gerilmeleri altındaki mekanik performansı basınç gerilmeleri altındaki mekanik performansa göre belirgin bir şekilde daha yüksektir.

Betonda yeterli dozajda çelik liflerin varlığı hem dayanım hem de enerji yutma kapasitesini geliştirir.

Lif miktarı ve lif narinliğinin çelik lifli betonun eğilme dayanımı, kırılma enerjisi ve tokluğu üzerinde önemli bir etkisi vardır. Lif miktarı ve narinliğindeki artışla eğilme dayanımı, kırılma enerjisi ve tokluk belirgin artış gösterir.

Literatürde çelik lifli betonun sünekliğinin yalın betonun sünekliğinin yaklaşık 50 katı olduğu belirtilmektedir (Yardımcı 2007).

2.2.2. Çelik Lifli Betonların Kullanım Alanları

Genellikle, yapısal uygulamalarda çelik lifli beton kırılmayı önlemek için kullanılmaz, aynı zamanda betonun dinamik yükleme veya darbe mukavemetini arttırmak ve malzemenin dökülme, parçalanma ve dağılmasını önlemek için de betona çelik lif ilave edilmektedir. Kirişlerde, kolonlarda ve kat döşemelerinde olduğu gibi diğer yapı elemanlarında da eğilme veya çekme kuvvetleri meydana gelmektedir. Bu basınç, eğilme ve çekme kuvvetlerinin birlikte oluşturduğu gerilmelerden dolayı yapı elemanlarının asal donatı ile birlikte çelik lifler ile kuvvetlendirilmesi mukavemeti oldukça önemli mertebede artırılabilir. Çelik lifli betonun düktilesi normal betona göre oldukça yüksektir. Bu yüzden çarpma etkisine, titreşimli yük etkisine ve dinamik yük etkisine karşı normal betona göre daha dayanıklıdır (Salami 2009).

Çelik lif içeren betonlar normal betonlara oranla sağladıkları belirgin avantajlarından dolayı oldukça geniş kullanım alanına sahiptirler (Aktaş 2007). Çelik lifli betonların kullanım alanları aşağıdaki gibi özetlenebilir;

Endüstri Yapılarında: Çelik lifli beton endüstri yapılarında darbe rijitliğini sağlamak, ısısal ve dinamik etkilere karşı dayanıklılığı arttırmak için kullanılmaktadır. Tatnall ve Kuitenbrouwer (1992), yaptıkları araştırmada çelik liflerin Avrupa'daki endüstriyel yapı

inşaatlarının çoğunda geleneksel donatılamanın yerine başarıyla uygulandığını bildirmişlerdir.

Şev Stabilizesinin Sağlanması: Karayollarını ve demiryollarını kesen, yer üstündeki kaya veya topraktan oluşan dik şevlerin veya toprak setlerin stabilitesinin sağlanmasında kullanılır (Ünal 1994).

Depreme Dayanıklı Yapıların İnşasında: Çelik lifli betonlarla inşa edilen süneklik düzeyi yüksek betonarme yapıların deprem kuvvetleri altındaki davranışı olumlu yönde değişecektir. Türkiye deprem kuşağında olduğu göz önüne alındığında gevrek bir malzeme olduğu bilinen betonun bu zayıf yönünü iyileştirmenin önemli olduğu açık bir gerçektir. Bu yapıların dinamik etkilere karşı enerji emme yeteneği geleneksel yapılara göre daha yüksek olduğundan bu tür etkiler sonucu meydana gelebilecek yapısal hasarlar en alt düzeye indirilecektir. Çelik liflerin betonda kullanılmasının önemi karşı karşıya bulunduğumuz depremin, yapılarda meydana getirdiği hasarlar incelendiğinde daha iyi anlaşılacaktır (Düzgün 2001).

Yol Döşemelerinde: Beton yol uygulamalarında kaplama kalınlığının daha ince olmasının istendiği durumlarda çelik lifli betonlar kullanılır. Günümüzde çelik lifli betonlar yollarda, otobanlarda, köprülerde ve hava alanlarında başarıyla kullanılmaktadır.

Püskürtme Beton (Shotcrete) Uygulamalarında: Püskürtme beton karışımları genellikle yüksek çimento yüzdesiyle hazırlanan karışımlardır. Bu da çoğunlukla rötre çatlaklarına neden olmaktadır. Üstelik püskürtme beton uygulaması yapılan eğri yüzeyler çatlamaya çok büyük eğilim gösterirler ve bu tür yüzeylerin kür edilmesi çok zor olmaktadır. İşte çelik lifler hem ıslak hem de kuru püskürtme beton uygulamalarında çatlak kontrolü için ekonomik ve de pratik bir çözüm sunmaktadır. Bu nedenle çelik lifli püskürtme beton uygulaması barajların tamirinde, tünellerde, su kemerlerinde, iskelelerde, kanallarda, dolu savaklarda ve bu tür yapılarda başarıyla kullanılmaktadır.

İnce Kabuk Yapılarda: Lifli betonun üstün nitelikleri kesit kalınlıklarının azaltılmasını mümkün hale getirdiğinden, ince kabuk yapılarda, kubbelerde, katlanmış plaklarda ve çeşitli mimari nedenlerle ince olması gereken yapı elemanlarında kullanılmaktadır (Gençel 2006).

Beton, Betonarme Borular ve Altyapı Malzemeleri: Beton ve betonarme altyapı malzemelerinde sızdırmazlık, tepe basınç dayanımları, kimyasallara karşı dayanıklılık, aranan özelliklerin başında gelmektedir. Beton içerisine lif katılması sayesinde, betonların doluluğu artmaktadır bu da sızdırmazlık değerlerinin azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Klasik donatılı altyapı elemanlarında, donatının hazırlanması ve uygulamanın yapılması işçilik ve zaman yönünden bazı problemlere yol açmaktadır. Bazı paspayı sorunları ve donatının kalıp içerisinde sabit tutulamaması büyük problemlere yol açmaktadır. Gönümüzde betonarme borularda hasır çelik yerine çelik liflerin kullanılması oldukça yaygındır. Çelik liflerin betonarme borularda kullanılması ile hem işçilik, hem zaman ve hem de maliyet açısından büyük faydalar sağlanmıştır. Çelik lifler, beton altyapı elemanlarında kullanıldıklarında ise, ayrışmayı engellemeleri nedeniyle sızdırmazlık problemlerinin çözümünde büyük katkılar sağlamaktadır.

Fabrika Depo ve Hangar Döşemelerinde: İyi bir döşeme bütün endüstriyel işlerin temeli ve fabrikalar için çok önemli olmaktadır. Güçlendirilme ihtiyacı olan bir fabrika zemin döşeme betonu, hem onarım maliyetini artıracak, hem de onarım süresince iş kaybına neden olacaktır. Ağır yüklemelerin maruz kaldığı döşemeler, üzerine gelen aşırı yükler ve aşırı zorlamalar etkisinde kalmaktadırlar. Özellikle dinamik etkilere karşı döşeme betonunun dayanımının artırılması çözüm olmaktadır. Bunun içindir ki bu betonların yorulma dayanımının, darbe dayanımının ve diğer özelliklerinin iyi olması gerekmektedir. Liflerle güçlendirilmiş betonlar, bu yükleri karşılayabilecek dayanımlara sahiptirler. Çelik lifler zemin döşemelerinde hasır çelik donatılarıyla birlikte kullanıldıkları gibi esas donatı yerine de kullanılmaktadırlar.

Havaalanı Kaplamalarında: Havaalanı uygulamalarında kaplama kalınlıkları lifli beton kullanarak azaltılabilmektedir. Liflerle donatılı betonların yüksek eğilme dayanımları nedeniyle kaplama kalınlıklarında azaltılabilmekte bu da büyük bir maliyet

indirimi olmaktadır. Normalde zemin ve yol betonlarında eğilme gerilmeleri 4 – 5 MPa olmaktadır. Bu değerler statik yüklemeler içindir tekrarlı yükler ve zamanla oluşan yorulmalar sebebiyle bu değerler düşebilmektedir. Havaalanı betonlarında genellikle çelik lifler kullanılmaktadır. Bu lifler kullanıldığında derz açıklıkları büyütülebilmektedir.

Liman Kaplamalarında: Liman kaplamaları diğer kaplamalardan farklı olarak ağır yük gemilerinin trafiğini karşılayabilecek şekilde projelendirilmektedir. Liman kaplamalarında yüklemeler boşaltmalar, çarpma etkileri, dalga hareketleri, gel-gitler ve aşırı yüklemeler gibi olasılıklar göz önüne alınmaktadır. Burada da çelik lifler kullanılarak kaplama kalınlıkları ve derz aralıkları azaltılabilmektedir (Bahadır 2007).

Kolon-Kiriş Birleşim Bölgesinde: Kolon-kiriş birleşim yerlerinde, etriye yerine lif kullanılmasının dinamik yükler üzerindeki etkisini araştırmıştır. Kolon kiriş birleşim yerinde ve yüksek kesme etkisinin meydana geldiği yerlerde çelik lif ile gözlem yapılmıştır. Kıyaslama için geleneksel birleşim biçimi, 100 mm aralıklı etriye yerleştirmesi olarak ayarlanmıştır. Geleneksel şekilde boyutlandırılmış birleşim yerinde bazı çatlaklar meydana gelirken, çelik lifli birleşim yerinde ise çatlamanın oluşmadığı ortaya konmuştur. Çelik lifli birleşim yeri daha fazla moment taşıma kapasitesi sağlamıştır. Çelik lifli beton kullanılması ile birleşim bölgesinde dayanım, süneklik ve enerji tüketiminde ciddi artışların olduğu ortaya çıkmıştır (Şimşek 2004).

Büyük Sıcaklık Farklarına Maruz Kalan Yapılarda: Büyük sıcaklık farklılıkları ile kaşı karşıya kalabilecek, termal ve mekanik şok tehlikesi bulunan yapılarda kullanılmaktadır.

Hidrolik Yapılarda: Baraj, kanal, dinlendirme havuzu, dolu savak vb. hidrolik yapıların plaklarının yerine kullanılabilir. Ayrıca aşınma direnci yüksek olduğundan kavitezyon hasarlarına karşı kaplama olarak kullanılabilir (Aktaş 2007).

Çok Yüksek Mukavemetli Betonlarda: Günümüzde yüksek mukavemetli betonlara ihtiyaç giderek artmaktadır. Bu betonların normal mukavemetli olanlara göre olumsuz tarafı göçme sırasında bağıl olarak az enerji yutmalarıdır. Böylece gevrek davranış gösteren yüksek mukavemetli betonların yerini sünekliği artırılmış yüksek performanslı ultra yüksek mukavemetli betonların alması söz konusu olmaktadır. Ultra yüksek mukavemetli çimento esaslı kompozitlerin üretiminde ince agrega ve çimentoya ilave olarak 0.15 mm çapında ve 5 - 10 mm boyunda kısa kesilmiş çelik tel, silis dumanı ve süper akışkanlaştırıcı katkıları kullanılmaktadır. Bu kompozitleri üretmekle betonda en zayıf halka olarak bilinen agrega – çimento hamuru arasındaki boşluklar ve harçtaki kusurlar minimum yapılabilmekte ve gevrek davranışa sahip bu çok yüksek mukavemetli betona kısa kesilmiş ince çelik tellerle sünek davranış özelliği kazandırılmaktadır (Taşdemir 1999).

Patlamaya Karşı Dayanıklı Yapılarda: Patlamaya karşı dayanıklı olması gereken yapılarda, normal donatı ile birlikte çok uygun bir kullanım arz etmektedir. Uzun yıllardan beri Amerikan askeri tesis yapım şartnamelerinde yer almakta ve yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Aslan ve Aydın 1999).

2.3. Demiryolu ve Demiryolu Traversleri

Demiryolu, adına tren dediğimiz çeken ve çekilen araçlardan meydana gelen taşıt dizisinin üzerinde hareket ettiği, bir çift ray dizisi ile, bu diziyi meydana getiren tesislerin tümüne denir (Anonim 2006).

Türkiye’de ilk demiryolu, 1856 tarihinde bir İngiliz şirketine verilen imtiyazla, İzmir - Aydın arasında inşa edilmiş, 130 km. uzunluğundaki bu hattın yapımı 1866’da tamamlanabilmiştir.

İmtiyaz verilen başka bir İngiliz şirketi tarafından yapılan İzmir - (Kasaba) Turgutlu - Afyon hattı ile Manisa – Bandırma hattının 98 kilometrelik kısmı da 1865 yılında tamamlanarak işletmeye açılmış, hattın kalan bölümleri ise sonraki yıllarda

tamamlanmıştır. 1869 yılında yapım imtiyazı Baron Hirsch'e verilen 2000 kilometrelik şark demiryollarının milli sınırlar içinde kalan 336 kilometrelik İstanbul - Edirne ve Kırklareli - Alpullu kesiminin 1888'de bitirilerek işletmeye açılmasıyla da İstanbul Avrupa demiryollarına bağlanmıştır.

Anadolu'da yapımı tasarlanan demiryollarının devlet eliyle inşaatı düşünülmüş ve 1871 tarihinde çıkarılan bir irade ile Haydarpaşa - İzmit hattının yapımına başlanılmış ve emaneten üç bölümde yapılan 91 kilometrelik hat 1873 yılında bitirilmiştir. Ancak bundan sonra mali imkansızlıklar nedeniyle yapımına devam edilemeyen Anadolu Demiryolları ile Bağdat ve Cenup Demiryollarının yapımları Alman sermayesi ile gerçekleştirilmiştir.

Bu şekilde Cumhuriyet döneminden önce çeşitli yabancı şirketler tarafından inşa edilerek işletilen demiryollarının yaklaşık 4.136 kilometrelik kısmı Cumhuriyetin ilanı ile çizilen milli sınırlar içerisinde kalmıştır. 24.5.1924 tarihinde çıkarılan 506 Sayılı Kanun'la bu hatlar millileştirilmiş ve "Anadolu-Bağdat Demiryolları Müdüriyeti Umumiyesi" kurulmuştur. Demiryollarının yapımı ve işletilmesinin bir arada yürütülmesi ve daha geniş çalışma imkanları verilmesini sağlamak amacıyla çıkarılan 31.5.1927 tarih ve 1042 Sayılı Kanun'la "Devlet Demiryolları ve Limanları İdare-i Umumiyesi" adını almıştır.

1953 yılına kadar katma bütçeli bir devlet idaresi şeklinde yönetilen Demiryolu Kuruluşu, 29.7.1953 tarihinden itibaren 6186 Sayılı Kanun'la "Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları İşletmesi (TCDD) adı altında Kamu İktisadi Devlet Teşekkülü haline getirilmiştir. Son olarak uygulamaya konulan 233 sayılı KHK ile "Kamu İktisadi Kuruluşu" hüviyetini almıştır.

Ankara-İstanbul arasında yapımı planlanan ve yapımına 2003 yılında başlanılan Yüksek Hızlı Tren Hattının Esenkent-Hasanbey kesimi tamamlanmış (397 km) ve Ankara - Eskişehir arasında 13.03.2009 tarihinde YHT ile yolcu taşımacılığına başlanılmıştır (Anonim 2010).

2009 yılı istatistiklerine göre TCDD ait yüksek hızlı tren ve konvansiyonel hat uzunlukları Çizelge 2.4'de, TCDD ait demiryolu hat şebekesinin haritası ise Resim 2.1 verilmiştir.

Çizelge 2.4 Yüksek hızlı tren ve konvansiyonel hat uzunlukları (Anonim 2010).

Demiryolu Hatları	Konvansiyonel Hat (Km)	Yüksek Hızlı Tren Hattı (Km)	Genel Toplam (Km)
Anahatlar	8.243	197	8.440
2.3.4.Anahatlar	443	197	640
Anahat Toplamı	8.686	394	9.080
İltisak+İstasyon Yolları	2.322	3	2.325
Hat Toplamı	11.008	397	11.405



Resim 2.1 TCDD ait demiryolu hat şebekesi (İnt. Kyn.2)

Bir demiryolunda altyapı platformu üzerine oturan yapı kısmına üstyapı denir. Üstyapıyı oluşturan elemanlar; ray, travers, balast, küçük yol bağlantı (rayı raya bağlayan ve rayı traverse bağlayan) malzemelerdir (Bozkurt 1989).

Demiryolu yük aktarımı modeline uygun şekilde; raydan kendisine etkiyen kuvvetleri daha geniş bir yüzeyde karşılayıp yayarak balast tabakasına aktaran, yolun açıklığını saptayıp koruyan ve yolu yan etkilere karşı ekseninde tutan, raylara dik yönde belirli aralıklarla döşenmiş sömellere travers adı verilir.

2.3.1. Traverslerin Görevleri

Bir demiryolu üst yapısında traversler şu görevleri üstlenirler;

- Raylardan gelen yükleri yayarak balasta vermek,
- İki ray dizisinin oluşturduğu yol genişliğini (ekartmanı) korumak,
- Raylara içe doğru eğim vermek,
- Yolun ekseninden kaçmasını önlemek.

Yeni yapılan bütün yollarda traverslerin mihverleri arası mesafe 62 – 63 cm olarak uygulanmaktadır. Bu standart makineli tamiratlardaki otomatik çalışmalarda faydalı olmaktadır. Ankara-Eskişehir arasında yapılan hızlı tren hattında travers mihverleri arası mesafe 60 cm'dir.

2.3.2. Traverslerde Aranılan Özellikler

- Aşınmaya karşı mukavemet, dolayısıyla sertlik özelliği,
- Elastikiyet,
- Kırılma ve ezilmeye karşı mukavemetli olma,
- Rayların tesbitine elverişli olma,
- Dış etkilere mukavemetli olma,
- Üst yapının stabilitesi bakımından çok hafif olmaması, iki işçinin taşıyamayacağı kadar da ağır olmaması,
- Maliyetinin uygun olması,
- Gürültüyü ve sademeyi azaltması,
- İzolasyona elverişli olması,

- Hararete ve rutubete dayanıklılık (Anonim 2008),
- Ahşap traversler için ayrıca; yeteri sertlikte ve budaksız olmalı, çürük olmamalı, dayanım kazanması ve ömrünün arttırılabilmesi için, içine basınçla verilecek kimyasal maddeyi emme yeteneği olmalıdır (Sözel 1984).

2.3.3. Traverslerin Sınıflandırılması

Raylı sistemlerde kullanılan traversler, dingil ağırlığı, hız, çeken ve çekilen araçlardaki teknolojik gelişmeler vb. unsurlarda oluşan ilerlemeler ile travers imalinde kullanılan malzemelerin bu ilerlemelere uyum sorunu ve maliyet konusundaki düşünceler paralelinde çeşitlilik göstermiştir.

Raylı sistemlerde kullanılan traversler dörde ayrılır. Bunlar;

- Ahşap Traversler,
- Demir Traversler,
- Beton Traversler,
- Plastik Traverslerdir.

2.3.3.1. Ahşap Traversler

Raylı sistemlerde günümüze kadar geçen süreçte en çok kullanılan travers çeşidi ahşap travers olmuştur. Ahşap esnek olduğundan raydan gelen kuvvetleri yaylanarak alır. Böylece darbe etkisini önemli ölçüde söndürür.

Ahşap travers yapımında kullanılacak olan ağacın cinsi yukarıda değinilen traverslerde bulunması gereken özelliklere uygun olmalıdır. Ancak malzemenin yerel bulunabilirlik ve dolayısıyla da ucuzluğu, traversin yapımında kullanılacak ağaç cinsini belirleyen önemli bir unsur olmuştur. Bu nedenle ülkemizde ahşap travers yapımında en çok sırasıyla çam, meşe ve kayın ağaçları kullanılmıştır. Ülkemiz ormanlarının % 40'ı çam, % 25'i meşe ve % 10'uda kayındır. Bazı ülkelerde çok sert,

yanmaya ve hava etkilerine dayanıklı enjekteye ihtiyaç göstermeyen okalıptus ve azobe ağaçlarından traversler yapılmaktadır.

Ülkemizdeki orman azlığı nedeniyle kullanım alanı daralmıştır. Bu yüzden sadece makaslar, çelik köprüler, yolun özellik arz eden bölümlerinde (heyelanlı bölgelerde ve çok dar yarıçaplı kurplarda v.s.) kullanılmaktadır (Resim 2.2).



Resim 2.2 Ahşap travers uygulaması

Ahşap traverslerin olumlu yönleri;

- Ahşabın doğal yapısındaki esneklik nedeniyle, raydan gelen kuvvetleri esneyerek karşıladığından darbe etkisini önler, sürtünmede az olduğundan balasta zarar vermez,
- Bakım masrafı azdır,
- Esnektir,
- Yol stabilizesini bozmayacak kadar ağır, taşınabilecek kadar hafiftir,
- Gürültüsüz bir yolculuk sağlar,
- Yalıtıcıdır.

Ahşap traverslerin olumsuz yönleri;

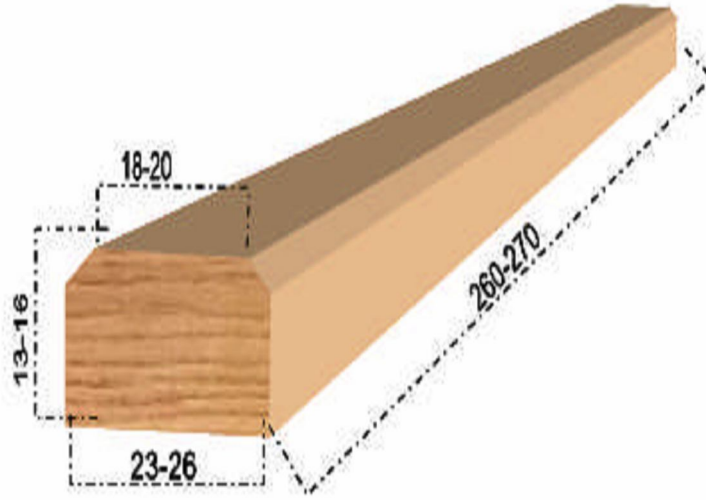
- Rutubetten çok etkilenir,
- Yanma ihtimali yüksektir,
- Dresaja (yolun yatay eksen yönünde sağa sola kaçmasına) dayanıksızdır, yol genellikle kurplarda dışa kayar,
- Ekartmanın (ray mantarı üst seviyesinden 15 mm aşağıdan ölçülen, iki döşeli ray arasındaki mesafenin) korunması zordur,
- Şöminmana (rayların çeşitli nedenlerle ileri geri hareket etmesine) dayanıksızdır,
- Ömürleri kısadır (Anonim 2008).

Ahşap traveslerin tiplerine göre ölçüleri Çizelge 2.5’de verilmektedir. Ahşap traverslerin ağırlığı 85 – 110 kg, ömürleri 15 – 30 yıl arasında değişmektedir.

Çizelge 2.5 Ahşap traverslerin tipine göre ölçüleri (Anonim 2008)

Ahşap Traversin Tipi	Üst genişlik (cm)	Alt genişlik (cm)	Yükseklik (cm)	Boy (cm)
Normal travers	18-20	23–26	13–16	260–270
Makas traversi	20-22	26–30	15–16	270–510
Köprü traversi	22-26	22-26	22–27	260–270

Ahşap traverslerde eğrilik olmamalıdır. Ancak yatay düzlem içinde sehimi 10 cm’yi geçmeyen hafif bir eğrilik kabul edilebilir (Maksimum sınırdır). Fakat böyle traversler yan yana gelmemeli ve oranı da demiryolunun önemine göre sınırlandırılmış olmalıdır (Anonim 2008). Normal ahşap travers tipinin şekli ve ölçüleri Resim 2.3’de gösterilmiştir.



Resim 2.3 Normal ahşap travers ve ölçüleri (Anonim 2008)

Ahşap Travers Ağacının İşlenmesi: Traverslik ağaçlar, öz suyun yürümediği sonbahar yada kış aylarında, budaksız yada az budaklı ve yeterli boyut verilebilecek şekilde kesilmelidir. Travers üretiminde tomruk önce hazırlandıktan sonra; kurutma, yontma ve delme işlemleri uygulanır. Kurutma genel olarak; traversleri elverişli ve yeteri kadar havalandırılan bir yerde ızgara gibi aralık şekilde bir sıra enine bir sıra boyuna yığmak suretiyle, bu yığınları açık havada çamlar için 6 - 10 ay, meşe için 4 - 6 ay ve kayın için 8 - 12 ay bekletmek suretiyle yapılır. Kurutma sırasında yada kullanma sırasında traverslerin uçları çatlayabilir, yarılabılır. Bunu engellemek yada zararsız hale getirmek için travers başlarına “S” demiri çakılır. Bundan sonra sıra traverslerde, rayların traverse oturacağı kısımların yontulmasına ve delinmesine gelir. Delikler, rayların traverslere bağlantısı içindir.

Ahşap Traverslerin Enjektisi: Ahşap traverslerin üretiminde ikinci işlem traverslerin ilaçlanmasıdır. İlaçlama işlemi ahşap traverslerin ömrünü arttırmak amacıyla yapılmaktadır. Bu işin ilk evresini, nemin buharlaştırılması için ahşabın etür içinde 70 - 80 derecelik bir ısıda 24 saat bırakılması oluşturur. Bu işlem ilaçlama işlemini kolaylaştırır. İlaçlama işlemi ağacın içindeki öz su ve ıslaklığın olanaklar oranında giderilmesi ve bunun yerini ağacı koruyacak bir maddenin almasından ibarettir.

Ahşap traverslere enjekte edilecek ilaçlarda aranan özellikler şunlardır;

- İlaç zamanla yıkanmamalı yani suda erimemeli aynı zamanda antiseptiği iyi olmalıdır,
- Ağaç içine girmesi kolay olmalı ağaca homojen bir şekilde nüfus etmelidir,
- Ağacın mekanik özelliklerini değiştirmemelidir,
- Üst yapının traverslerle temaslı demir kısımlarına zarar vermemelidir,
- Personele zarar vermemesi için zehirli olmamalıdır.

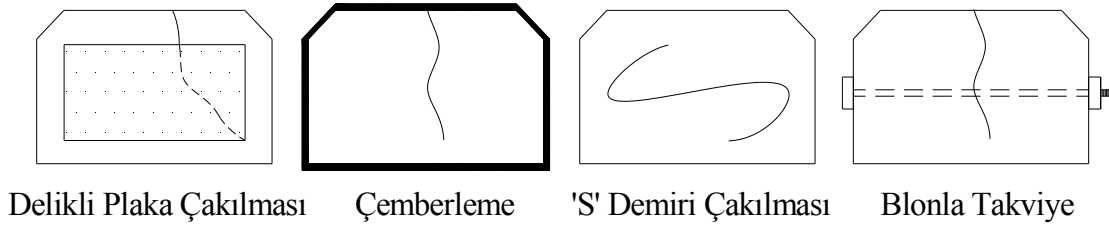
Başlangıçta antiseptik madde olarak civa klorür daha sonra asetik asit, bakır sülfat, çinko klorür kullanılmıştır. Demir sülfatta kullanılmış fakat ağacın liflerine zarar verdiği görülmüştür. 19. yüzyılın sonlarında kreozot kullanılmaya başlanmıştır. Şimdiki halde en iyi antiseptik madde olarak bu kabul edilmiştir. Fakat 1. Dünya Savaşından sonraki yıllarda başta Almanya olmak üzere bazı ülkelerde kreozotun kimya sanayiinde çok kullanılmaya başlanması dolayısıyla kıymet kazanması sonucu çeşitli maden tuzları tekrar kullanılmaya başlanmıştır. Bunlar arasında özellikle çinko tuzları, sodyum klorür yada dinikrofenol, sodyum florür, arseniad ve sud gibi maddeler piyasaya çıkmıştır. Fakat bunların hiç biri kreozotun yerini tutamamıştır.

Traverslerin kreozotlanması halen “Rüping Yöntemi” denen bir yöntemle yapılmaktadır. Bu yöntemle traversler önce otoklava sokulur ve hava basıncı uygulanır. Basınç miktarı ve uygulama müddeti ağacın cinsine göre değişir. Sonra daha büyük bir basınçla sıcak kreozot verilir.

Bu basınç kreozot ağacın lifleri arasına girebilecek şekilde 8 atmosfere kadar çıkarılır, 6-7 saatlik bir basınç uygulamasından sonra basınç düşürülerek otoklavda vakum meydana getirilir. Böylece lifler arasındaki kreozot geri alınarak liflerin yüzeyleri kreozotlanmış olur. Bu kadarı genellikle çam ve meşe için yeterli görülmekte ise de kayında bu işlem bir defa daha uygulanır (Çift Rüping Yöntemi). Ahşap traversler zamanla basınç, güneş ve yağmur suları etkisiyle boyuna doğrultuda çatlamalara maruz kalır.

Çatlamların önlenip travers ömürlerinin uzatılması için;

- Çemberleme: 4–5 cm eninde 1–2 mm kalınlığındaki tokalı çember özel bir aletle traverslerin başlarına bağlanır.
- “S” Demiri ile takviye: “S” şeklindeki demir parçası imalat anında traversin her iki başına çakılmak suretiyle yapılır. Ayrıca yeni kullanılmaya başlanılan dikdörtgen şeklinde delikli ve dişli saç parçası da travers başlarına çakılmaktadır.
- Blonla takviye: 10–12 mm çapında bu iş için özel olarak yapılmış blonlarla çatlayan kısım delinip çatlak bağlanır (Anonim 2008). Ahşap traverslerin çatlamlarına karşı alınacak önlemler Şekil 2.9’da gösterilmiştir.

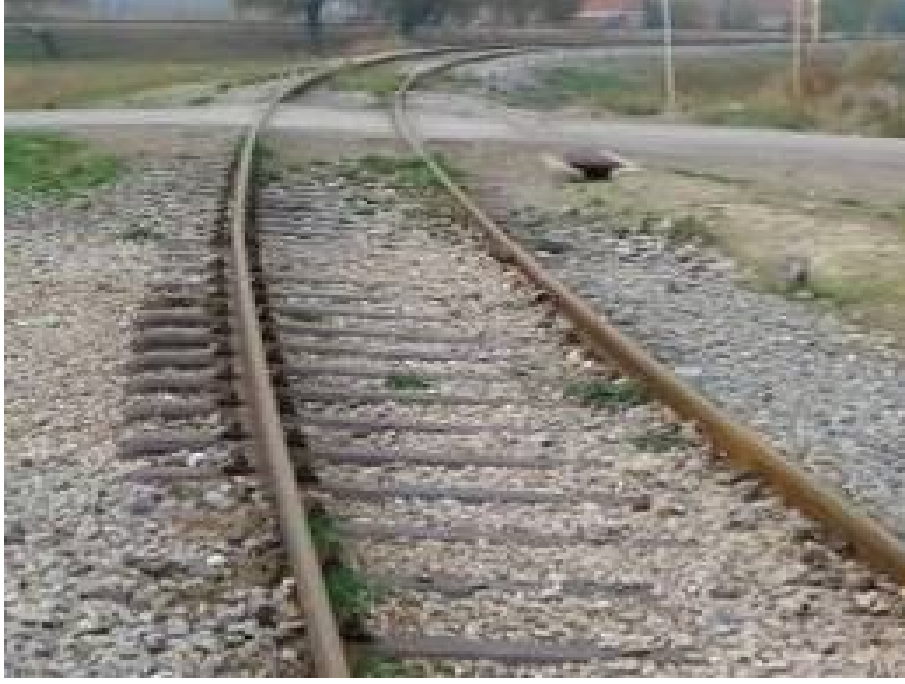


Şekil 2.9 Ahşap traverslerin çatlamlarına karşı alınacak önlemler

2.3.3.2. Demir Traversler

Demir traversler ahşap traverslere göre daha kolay ve çabuk bir şekilde üretilir. En kesidi U şeklinde olup, haddeden çekilir, kesilir ve balastı iyice kavrayıp uçlardan dışarı çıkmasını engellemek için uç kısımları eğilir. Yumuşak çelikten yapılırlar.

Demir traverslerde rayla travers arasındaki bağlantı iyi sağlanmazsa düşey ve yatay etkiler altında ray tabanının oturduğu yerde aşınmalar meydana gelir. Aşınma sonucu, travers kesitindeki küçülme nedeniyle bu noktadaki dayanım azalır ve çatlama-kırılma meydana gelir. Demir traverslerin zamanından önce yıpranarak devre dışı kalması, genellikle bu noktalardan oluşur. Bu bakımdan bağlantı kusursuz olmalıdır. Resim 2.4’de demir travers uygulamasına örnek verilmiştir.



Resim 2.4 Demir travers uygulaması

Demir traverslerin olumlu yönleri;

- Ömürleri 45-50 yıl olup, kreozotlanmış ahşap traverslerin yaklaşık iki katıdır,
- Şekil ve boyut bakımından daha kolay ve iyi şekilde istiflenir,
- Çerçeveler daha hafif dolayısıyla taşınması daha kolaydır,
- Rayların demir traverslere bağlanması ve sökülmesi çok daha kolay ve mükemmeldir, ahşap traversdeki gibi laçkalaşmaz. Ayrıca antişöminman malzemesine gereksinme göstermez,
- Yanmaya karşı dayanıklıdır,
- Uçları tırnaklı olduğu için dresaja (yolun yatay eksen yönünde sağa sola kaçmasına) dayanıklıdır,
- Ekartmanı (ray mantarı üst seviyesinden 15 mm aşağıdan ölçülen, iki döşeli ray arasındaki mesafeyi) iyi korur.

Demir traverslerin olumsuz yönleri;

- Hafif olması üstyapının stabilitesi bakımından iyi değildir. Demir traversli hatlar ahşap traverslerden daha çabuk bozulur. Yüksek hız ve ağır yük taşımaya uygun değildir,

- Ahşap traversler daha elastiktir, stabildir ve konforludur. Demir traversler, özellikle bağlantılar iyice sıkılmamışsa, trenlerin geçişinde gürültü yaparlar,
- Demir traversler elektrik akımını geçirdiğinden bir ray dizisinin diğerinden izole edilmesi güçtür. Dolayısıyla elektrikli işaretler ve otomatik bloklarda raylardan faydalanarak yapılan hat devreleri kullanılmaz,
- Demir traversler rutubette paslanırlar,
- Bakım zor ve masraflıdır,
- Gürültülü yolculuk verir.

Demir traversler tekli ve çiftli olarak yapılırlar ve ölçüleri Çizelge 2.6’da verilmiştir. Çift traversler bazı yerlerde conta traversi olarak kullanılır. Normal yol profilinde ise tekli demir traversler kullanılmaktadır (Anonim 2008).

Çizelge 2.6 Demir traverslerin ölçüleri (Anonim 2008)

Demir Traversin Tipi	Üst Genişlik (cm)	Alt Genişlik (cm)	Yükseklik (cm)	Uzunluk (cm)	Et Kalınlığı (cm)	Ağırlık (Kg)
Tekli Demir Travers	6,25-13,5	20,2-26	7,5-10	232-260	0,9-1,1	50-85
Çiftli Demir Travers	60	50	10	270	0,9-1,1	130

Demir traversler birlikte kullanıldıkları ray tipinin ismini alırlar (Örneğin: 49,050 kg/m ray demir traversi, 46,303 kg/m ray demir traversi gibi). 49.050 kg/m tipi demir travers ve ölçüleri Şekil 2.10’da gösterilmektedir (Anonim 2008).



Şekil 2.10 49.050 kg/m tipi demir travers ve ölçüleri (Anonim 2008)

Beton konusunda meydana gelen ilerlemeler ile demir travers kullanımında karşılaşılan sorunlar sonucunda günümüzde demir traversler tamamen terk edilmiştir.

2.3.3.3. Beton Traversler

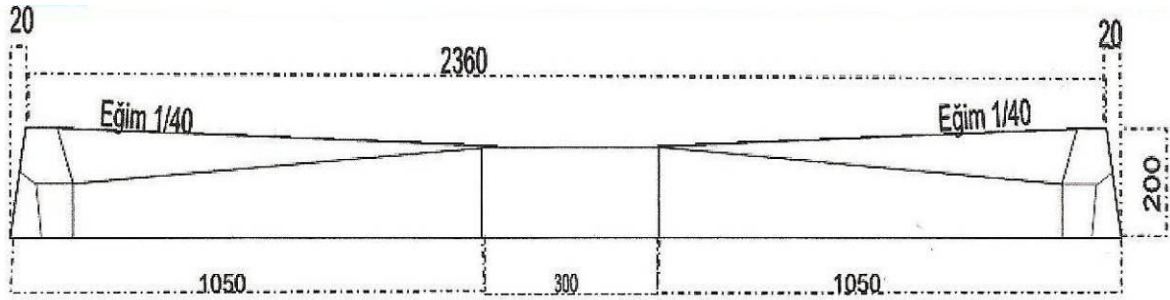
İçinde çelik gergi çubukları bulunan ve betondan yapılan traverslerdir. Traverslik ağaç bulmaktaki güçlükler ve ahşap traverslerin sakıncalı tarafları, demir traverslerin ise memnuniyet vermemesi sonucu, başka bir travers malzemesi aranmış ve beton traversler ele alınmıştır. Beton traversler için pek çok tip önerilmiş ve denemiştir. Ancak Birinci Dünya savaşından önceki dönemlerde pek başarılı olunamamıştır. Titreşimler ve contalardaki şoklar bunların bir müddet sonra parçalanarak dağılmalarına neden olmuştur. İkinci Dünya savaşından sonra bir taraftan elde edilen deneyimler, diğer taraftan da “ön gerilmeli beton” ve özellikle elastik bağlantılardan yararlanılması ile beton traverslerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Resim 2.5’de beton travers uygulamasına örnek verilmiştir.



Resim 2.5 Beton travers uygulaması

Beton traversin betonunu oluşturan agrega ve çimento bazı özelliklere sahip olmalıdır. Çimento piyasada satılan portland çimentosundan daha üstün özelliklere sahip özel travers çimentosudur. Kum içinde mil ve diğer artık madde oranı en az olandan seçilir ve yıkama işlemine tabi tutulur. Çeşitli boyutlara kırılarak betona katılan mıcır, çok sağlam ve gözenekli bir yapıya sahip balast taşından yapılır. Beton travers kalıplara döküldükten ve priz yaptırıldıktan sonra, içine konularak gerdirme işlemine tabi tutulan çelikte özeldir. Bu gergi çeliği gerildikten sonra beton travers ancak beklenen görevlerini yapabilecek dayanıma ulaşır.

“K” ve “HM” tipleri için B.55, B.58 olmak üzere iki çeşit beton travers mevcudu vardır. Ancak B.55 tipinin üretimi yapılmayıp halen konvansiyonel hatlar için B.58 tipi (Şekil 2.11) üretilmektedir. Hızlı tren hatlarında (Ankara-Eskişehir arasında) B.70 tipi tek bloklu beton travers kullanılmaktadır (Anonim 2008).



Şekil 2.11 Tek bloklu B.58 beton travers (Anonim 2008)

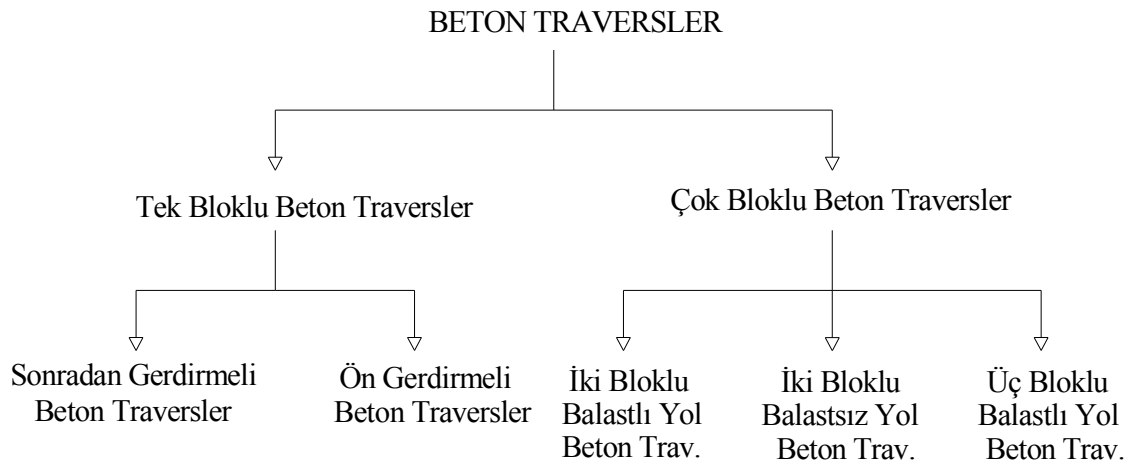
Beton traverslerin olumlu yönleri;

- Ekartmanı (ray mantarı üst seviyesinden 15 mm aşağıdan ölçülen, iki döşeli ray arasındaki mesafeyi) iyi korur,
- Az gürültü yapar (Demir traversten az),
- Nemden etkilenmez,
- Elektrik akımını çok az geçirir,
- Dış etkilere ve ateşe dayanıklıdır,
- Ağırlığı sebebiyle çağın gereği yüksek hız ve ağır yük taşınması ancak beton traversle mümkün olur,
- Ateşe dayanıklıdır.

Beton traverslerin olumsuz yönleri;

- Bakımı zordur. Daha dikkatli ve makineli çalışmayı gerektirir,
- Draylardan (demiryolu aracının tekerleğinin her hangi bir nedenle ray üzerinden düşmesinden) sonra çatlama ve kırılmalar olur. Bu sebeple de hemen değiştirilmeleri gerekir,
- Kurplarda kurp merkezi yönünde dresaj (yolun yatay eksen yönünde sağa sola kaçması) olur,
- Değişik şekil ve uzunluklarda yapılması zordur,
- Balasta fazla zarar verir,
- Esneklik yoktur,
- Çürük platformlarda kullanılması tercih edilmez,
- Dray sonucunda çok hasar görür.

Beton traversler kendi aralarında tek bloklü ve çok bloklü beton travers olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar ve bu traverslerinde kendi aralarındaki çeşitleri Şekil 2.12 verilmiştir (Anonim 2008).



Şekil 2.12 Beton travers çeşitleri (Anonim 2008)

Tek Bloklü Beton Traversler: Dünya demiryollarında en çok kullanılan betonarme travers tipi tek bir parçadan oluşan “monoblok” traverslerdir. Bu traversler ağırlıklarından dolayı yolun stabilitesine uygun olduğundan ve ekartmanı çok iyi korduğundan ağır tonajlı ve hızlı balastlı demiryolu işletmeciliklerinde iyi sonuç

vermektedir. Ancak bu traverslerin esnekliği düşük olup bu olumsuzluğun en aza indirilmesi için kesit kalınlıkları ortada azaltılmaktadır (Anonim 2008). Tek bloklu beton traverslerin tiplerine göre ölçüleri Çizelge 2.7’de verilmiştir.

Çizelge 2.7 Tek bloklu beton traverslerin ölçüleri (Anonim 2008, Sözel 1984).

Ölçüler	Tipi		
	B.70	B.58	B.55
Uzunluk (cm)	260	240	230
Orta Alt Genişlik (cm)	22	22	22
Uç Alt Genişlik (cm)	30	30	30
Orta Yükseklik (cm)	17,5	17,5	17,5
Uç Yükseklik (cm)	20	20	20
Ağırlık (Seletsiz) (kg)	281	235	225
Ağırlık (Seletli) (kg)	300	252	242

Sonradan Gerdirmeli Tek Bloklu Beton Traversler: 50 ve 60 MPa basınçlı beton kalitesinde fabrikada imal edilirler.

Sonradan gerdirmeli yöntemde, travers çelik kalıp hazırlanarak betonlanır. Kalıptan çıkan travers buhar kürü ile kısa zamanda (8 saat) prizlenerek % 70 mukavemetini almaktadır. Özel bir tezgaha getirilen traverse betonlama sırasında içinde aralıklı bırakılmış 4 adet boyuna yuvalara, yüksek evsafılı (110-150 kg/mm²) ve uçları yivli 2 adet U şeklinde Ø 7.5 mm’lik çelik çubuklar çapraz olarak yerleştirilir. Çubukların her 4 serbest ucu özel çekici apereyle 8’er ton gerdirilip toplam 32 ton bir gergi kuvvetiyle travers başına somun ile ankre ettirilir. Çelik çubuk yuvalarındaki boşluklar basınçlı çimento şerbetiyle doldurulur. Traversler her iki baş taraflarının sıvanması ve izole edilmesiyle kullanılacakları yerlere sevk edilmek üzere istife konurlar (Anonim 2008).

Ülkemizde biri Afyonkarahisar’da diğeri Sivas’ta olmak üzere iki tane, konvansiyonel hatlar için B.58 tipi sonradan gerdirmeli tek bloklu beton travers üretimi yapan, TCDD ait beton travers fabrikası vardır (Anonim 2010).

1962 yılında çalışmaya başlayan TCDD Afyon Beton Travers Fabrikası yıllık beton travers üretim kapasitesi 250.000 adettir. Bu fabrika ayrıca yarık somun, besleme ve çan rondeları, küçük yol malzemesi üretilmektedir. 1979 yılında çalışmaya başlayan TCDD Sivas Beton Travers Fabrikası ise yalnızca beton travers ve yapımında kullanılan yarık somun ile ankraj plakası üretimi yapmaktadır yıllık beton travers üretim kapasitesi ise 400.000 adettir (Acar 2005).

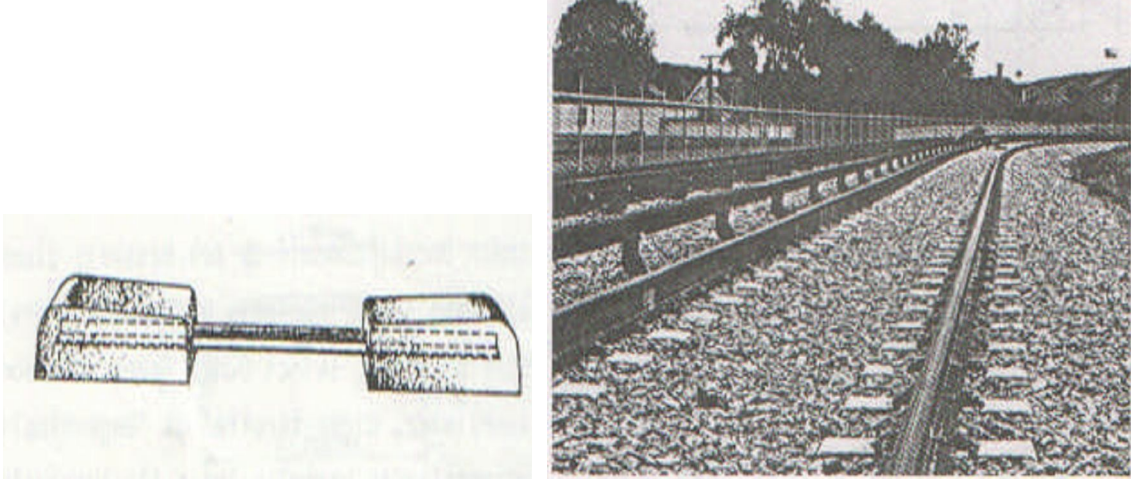
2009 yılı verilerine göre TCDD Afyon Beton Travers Fabrikası'nda 8 adet memur, 19 adet sözleşmeli personel, 240 adet daimi işçi çalışmakta ve üretimdeki gerçekleşmede 134.481 adet beton traverstir. TCDD Sivas Beton Travers Fabrikası'nda ise 6 adet memur, 32 adet sözleşmeli personel, 340 adet daimi işçi çalışmakta ve üretimdeki gerçekleşmede 268.160 adet beton traverstir (Anonim 2010).

Ön Gerdirmeli Tek Bloklü Beton Traversler: Ön gerdirmeli betonarme travers imalinde ise, sonradan gerdirmeli şeklin aksine daha ince çelik çubuklar (\emptyset 2,5) 20 veya 30 traverslik imalatı kapsayacak kalıp içinde gerdirilerek betonlanır. Dökülen ve sıkıştırılan betonun prizlenmesinden sonra, bu uzun boydaki travers, normal boylarda kesilerek istif sahasına gönderilir.

Ülkemizde hızlı tren hatlarının yapımına başlanması ile birlikte; 2003 yılında Sakarya Pamukova'da Betra Prefabrikasyon Sanayi ve Tic. A. Ş. (İnt. Kyn. 3), 2007 yılında Ankara Polatlı'da Railone Ilgaz Demiryolu Sistemleri Üretim İthalat İhracat Ltd. Şti. (İnt. Kyn. 4), 2008 yılında Konya Pınarbaşı'nda ile 2009 yılında Afyonkarahisar İhsaniye'de Yapıray Demiryolu İnşaat Sistemleri Sanayi ve İletişim A.Ş. (İnt. Kyn. 5) firmaları, beton travers fabrikaları kurmuş ve halen ülkemizde hızlı tren hatları ile konvansiyonel hatlar için B.70 tipi ön gerdirmeli tek bloklü beton travers üretimi yapmaktadırlar (İnt. Kyn. 3, 4 ve 5).

Çok Bloklü Beton Traversler: Ağır tonajlı ve hızlı taşımacılığın yapılmadığı metro, tramvay vb. raylı sistem işletmelerinde hem ekonomik travers kesitlerinin elde edilmesi hem de yolda esnekliğin sağlanması için çok bloklü betonarme traversler kullanılmaktadır.

İki Bloklu Balastlı Yol Beton Traversleri: Bazı demiryolu işletmeleri özellikle Fransa demiryolları balastlı yollarında çift bloklu traversleri (Resim 2.6) tercih etmektedir (Anonim 2008).



Resim 2.6 Çift bloklu beton traversler (Anonim 2008)

Bu traverslerde yola esneklik sağlamak amacıyla orta bölüm tamamen betondan arındırılmış olup ekartmanı korumak amacıyla iki beton bloğu birbirine ortadan birleştiren bir uzun çelik korniyer bulunmaktadır.

İki Bloklu Balastsız Yol Beton Traversleri: Balast kullanılmadan inşa edilen betonarme alt temelli raylı sistemlerde traversler beton yapı içerisine yerleştirildiğinden ekartmana ilişkin sorun oluşmamaktadır. Bu nedenle traversleri birbirine bağlayan korniyerlerin kullanılmasına gerek kalmamaktadır. Bu traversler balastlı yollarda kullanılacaksa rayların birbirine ayrıca korniyerlerle bağlanması söz konusudur.

Üç Bloklu Balastlı Yol Beton Traversleri (Resim 2.7): Elastikiyetin arttırılması için bazı beton traversler üç blok halinde de imal edilmiş ve kullanılmıştır. Örneğin orta kısmı yine beton olan ve ön gerilmeli olan Franki Bagon tipi böyledir (Anonim 2008).



Resim 2.7 Üç bloklu beton travers (Anonim 2008)

2.3.3.4. Plastik Traversler

Plastik traversler balastlı ve balastsız demiryollarında; tünel (Resim 2.8) içinde beton tabanda ve metroların açık hatlarında, köprü ve viyadüklerde çelik yuva içinde doğrudan doğruya kullanılır (Kaçer 2008).



Resim 2.8 Tünel içerisinde plastik travers uygulaması (Anonim 2008)

Plastik traverslerin olumlu yönleri;

- Plastik traversler gürültü ve sarsıntıyı azaltırlar,
- Isıya ve rutubete karşı dayanıklıdırlar,
- Kimyasal tesirlere ve her türlü sıvıya karşı dayanıklıdırlar,

- En uzun ömürlü traversdir,
- En iyi izolasyon sağlayan traversdir,
- Oldukça hafiftir.

Plastik traverslerin olumsuz yönleri;

- Hafif olması üstyapının stabilitesi bakımından iyi değildir,
- Yüksek hız ve ağır yük taşımaya uygun değildir,
- Ateşe karşı dayanıklı değildir,
- Basınç gerilmelerine karşı mukavemetli değildir, kiriş gibi çalışmazlar,
- Maliyetleri yüksektir (Anonim 2008).

2.3.4. Neden Beton Travers

Traverslik ağaç bulmaktaki güçlükler, ahşap traverslerin sakıncalı tarafları, ömrünün sınırlı olması ve ahşabın fiyatının yükselmesi gibi nedenlerle özellikle ormanı az olan ülkeler de demir traversler denenmiştir. Fakat demir traversler hafiftir, bu yüzden de üstyapının stabilitesi açısından iyi sonuç alınmamıştır. Travers kalınlıkları artırılarak ağırlık istenilen düzeye getirilince de maliyeti yüksek olmaktadır. Bu nedenlerle demir travers kullanımı da terk edilmektedir.

Bunun sonucu, başka bir travers malzemesi aranmış ve beton traversler ele alınmıştır. Beton travers için pek çok tip önerilmiş, patenti alınmış ve denenmiştir. Ancak I. Dünya Savaşı'ndan önceki denemeler pek başarılı olmamıştır. Demiryolu hattındaki titreşimler ve contalardaki şoklar bunların bir müddet sonra parçalanarak dağılmalarına neden olmuştur.

II. Dünya Savaşından sonra bir taraftan elde edilen deneyimler, diğer taraftan da ilkel gerilmeli teçhizat kullanımı, özellikle elastik bağlantıların kullanılması ile betonarme traversler kullanılır olmuştur (Sözel 1984). Ülkemizde ki TCDD konvansiyonel hatların 2008 yılı verilerine göre ana hat travers tiplerinin oranları Resim 2.9'da verilmiştir.



Resim 2.9 2008 yılı Türkiye’deki demiryolu (Ana Hat) travers tipleri (İnt. Kyn. 6).

Gelişmekte olan teknolojinin sayesinde makineli öngerme teçhizatı kullanılarak üretilen beton travers diğer travers çeşitlerine göre çoğu bakımından daha uygun görülmektedir (Sözel 1984). TCDD 2009 yılı istatistiklerine göre, yüksek hızlı tren hatlarının % 100 beton travers, konvansiyonel hatların ise 8686 km’sini ana hatlar oluşturmakta olup bu ana hatların 681 km demir (%7,84), 1645 km ahşap (18,94) ve 6360 km beton (73,22) traverslerden oluşmaktadır (Anonim 2010). Ülkemizde diğer travers çeşitlerine göre çoğu bakımdan daha uygun görülen beton travers, en yaygın olarak kullanılmaktadır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Beton Karışımında Kullanılan Malzemelerin Tanımlanması

Bu çalışmada, TCDD Afyon Beton Travers Fabrikası tarafından, beton travers üretimi için beton karışımında kullanılmakta olan çimento miktarı ve su/çimento oranı kullanılmıştır. Kullanılacak diğer (agrega ve çelik lif) malzemeler ön deneme çalışmalarından elde edilen veriler doğrultusunda, uygun oranlarda belirlenerek özellikleri ve karışım oranları araştırılmıştır.

3.1.1. Çimento

Bu çalışmada TS EN 197-1 CEM I 42,5R Portland çimentosu kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan bütün çimento; günlük olarak TCDD Afyon Beton Travers Fabrikası tarafından sıcaklığı en fazla 55 °C, en az 10 gün dinlendirilmiş halde dökme çimento olarak teslim alınmıştır. TCDD Afyon Beton Travers Fabrikasında çimento silolarında çevre koşullarından etkilenmeden korunmuştur. Çizelge 3.1, 3.2 ve 3.3’de sırasıyla çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.1 Çimentonun fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikler	Kullanılan Çimentonun Değerleri	Çimento Sınır Değerleri (Gürler vd. 2007a)
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	3,10	
Özgül yüzey (cm ² /gr)	3914	≥ 3500
Priz başlaması (dakika)	190	≥ 45
Priz sonu (saat)	4 saat 15 dakika	≤ 6
Hacim genleşmesi (mm)	2,4	≤ 10

Çizelge 3.2 Çimentonun kimyasal özellikleri

Kimyasal Özellikleri	Kullanılan Çimentonun Değerleri (%)	Çimento Sınır Değerleri (Gürler vd. 2007a)
SiO ₂	19,80	
Al ₂ O ₃	5,31	
Fe ₂ O ₃	3,16	
CaO	63,78	
MgO	1,75	≤ 5
Eşdeğer Alkali (Na ₂ O Cinsinden)	0,25	≤ 0,7
K ₂ O	0,43	
SO ₃	2,91	≤ 3,5
Kızdırma kaybı	2,20	≤ 4
Çözünmeyen kalıntı	0,41	≤ 1,5

Çizelge 3.3 Çimentonun mekanik özellikleri

Mekanik Özellikler	Kullanılan Çimentonun Değerleri	Çimento Sınır Değerleri (Gürler vd. 2007a)
2 günlük Mukavemeti (N/mm ²)	22,5	≥ 21,0
7 günlük Mukavemeti (N/mm ²)	44,3	≥ 34,0
28 günlük Mukavemeti (N/mm ²)	62,0	≥ 46,0

3.1.2. Agregalar

Agregalar, beton yapımında çimento ve su ile birlikte kullanılan, kum, çakıl, kırmataş gibi taneli malzemelerdir. Beton hacminin yaklaşık % 75'i agrega tarafından oluşmaktadır (Erdoğan 2007).

İyi bir beton üretimi için agregalarda bulunması gerekli koşullar şunlardır;

- Sağlam olmalı, aşınmamalı suyun etkisiyle yumuşamamalı, dağılmamalı,

- Çimento bileşenleriyle zararlı bileşikler meydana getirmemeli ve donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşürmemeli,
- Tanelerin biçimi, dokusu iyi olmalı; tanelerin büyüklük bakımından dağılımı, amaca ve standartlara uygun olmalı;
- İçinde zararlı maddeler bulunmamalıdır (Şimşek 2000).

Doğal kırmataş hammaddelerinin jeolojik sınıflandırılması Çizelge 3.4’de verilmektedir.

Çizelge 3.4 Doğal kırmataş hammaddelerinin jeolojik sınıflandırılması (Toksöz, Topçu 2006)

Grup	Genel Sınıflama	Kayaç	Yoğunluk
Magmatik	Volkanik	Riyolit	2,60
		Trakit	2,60
		Andazit	2,60
		Bazalt	2,80
		Diyobaz	2,90
Sedimanter	Kimyasal (Karbonatlı)	Dolomit	2,70
		Kireçtaşı	2,60

Çalışmada üretilen harç betonları için; agrega olarak, TCDD Afyon Beton Travers Fabrikası tarafından ihale yöntemiyle temin edilen ve beton travers üretiminde kullanılan bazalt kırmataşı ve Kolsan İnş. Otomotiv San. ve Tic. A. Ş. temin edilen kalker kırmataşı kullanılmıştır.

Çalışmada ayrı ayrı kalker ve bazalt agregaları ile;

- Maksimum agrega tane boyutu 16 mm olarak üretilen beton karışımı için 0-8 mm kum ve 8-16 mm kırma taşı,
- Maksimum agrega tane boyutu 22 mm olarak üretilen beton karışımı için 0-8 mm kum, 8-16 mm ve 16-22 mm kırma taşları,
- Maksimum agrega tane boyutu 31,5 mm olarak üretilen beton karışımı için ise 0-8 mm kum, 8-16 mm ve 16-31,5 mm kırma taşları kullanılmıştır.

3.1.2.1. Bazalt

Piroksen ve olivin kristalleri ihtiva eden çok koyu renkli gabro ve doleritin eş değeri kayadır (TS 10088 EN 932-3 1997).

TCDD Afyon Beton Travers Fabrikası tarafından; beton travers üretiminde kullanılan bazalt (Resim 3.1) kırma taşının fiziksel ve kimyasal özellikleri “Beton Travers Üretiminde Kullanılan Kum Teknik Şartnamesi ve Beton Travers Üretiminde Kullanılan Agregata Teknik Şartnamesi”nde belirtildiği şekilde ihale yöntemiyle temin edilmiştir. Çizelge 3.5, 3.6, ve 3.7’de sırasıyla bazalt kırma taşının kimyasal ve fiziksel özellikleri ile elek analizi sonuçları ve karışım oranları verilmektedir.



Resim 3.1 Bazalt agregası

Çizelge 3.5 Bazalt agregasının kimyasal özellikleri

Kimyasal Özellikleri	Kullanılan Bazalt Agregasının Değerleri	Kum ve Agreganın Sınır Değerleri (Gürler vd. 2007 b, c)
Klorürler (%)	0,02	≤ % 1
Sülfatlar (%)	0,03	≤ % 1
Alkali-Silika reaksiyonu neden olan bileşenler	Yok	Olmayacaktır
Sertleşmeye neden olan bileşenler	Yok	Olmayacaktır
Curuf bileşenleri	Yok	Olmayacaktır
Çeliğe zarar veren maddeler (Yükseltgen ve Nitratlar vb.)	Yok	≤ % 1

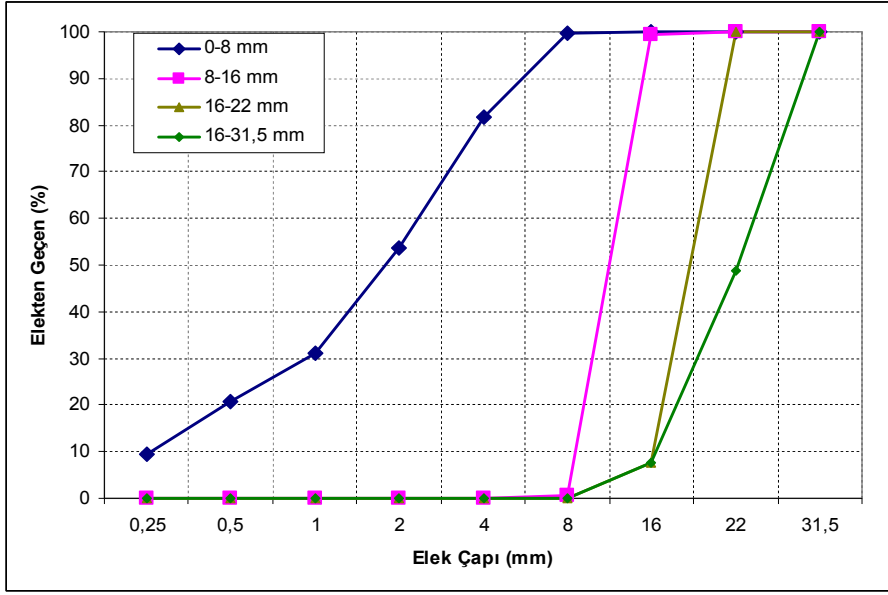
Çizelge 3.6 Bazalt agregasının fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikleri		Kullanılan Bazalt Agregasının Değerleri				Kum ve Agreganın Sınır Değerleri (Gürlr vd. 2007 b, c)		
		Elek Çapı (mm)				Kum (0,25-8 mm)	Agrega (8-16 mm) ve (16-32) mm	Standart
		16-31,5	16-22	8-16	0-8			
Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Gevşek	1427	1438	1449	1580	--	--	--
	Sıkışık	1554	1566	1575	1800	--	--	--
Dona Dayanıklılık (%)		1	1	3	9	maksimum % 15	maksimum % 15	(EN 1367-2)
Özgül Ağırlık (kg/m ³)		2816	2859	2982	2710	minimum 2400	minimum 2600	(EN 1097-6)
Zararlı Bileşen Miktarı (%)		Yok	Yok	Yok	Yok	maksimum % 0,5	maksimum % 0,5	(TS 3528)
Komposite Değeri (G. B. Ağırlık/Özg. Ağırlık)		0,50	0,50	0,48	0,58	--	--	--
Su Emme (24 Saat) %		1,40	1,49	1,60	2,00	maksimum % 3	maksimum % 3	(EN 1097-6)
Aşınma Deneyi (500 Devir) %		17,50			--	maksimum % 25	maksimum % 22	(EN 1097-2)
Organik Madde Miktarı		--	--	--	Açık Sarı	--	--	--
Çamulu Madde Miktarı %	Hacimce	--	--	--	4,6	--	--	--
	Ağırlıkça	--	--	--	2,9	maksimum %3	maksimum %1	(TS3527)

Çizelge 3.7 Bazalt aragasının elekten geçen yüzdeleri ve karışım oranları

Agraga elek aralığı (mm)	Elek çapı (mm)									*Karışım oranı (%)		
	31,5	22	16	8	4	2	1	0,5	0,25	31,5	22	16
16-31,5	100	48,7	7,5	0	0	0	0	0	0	39,47	---	---
16-22	100	100	7,5	0	0	0	0	0	0	---	39,47	---
8-16	100	100	99,4	0,5	0	0	0	0	0	13,16	13,16	40
0-8	100	100	100	99,6	81,6	53,6	31,2	20,8	9,6	47,37	47,37	60

* Maksimum agregata tane boyutuna göre karışım oranı



Şekil 3.1 Beton karışımlarında kullanılan bazalt agregaların granülometri eğrileri

3.1.2.2. Kalker

Genellikle kalsiyum karbonattan (CaCO_3) ibaret kireç taşı kayadır (TS 10088 EN 932-3 1997).



Resim 3.2 Kalker agregası

Kolsan İnş. Otomotiv San. ve Tic. A. Ş. temin edilen kalker (Resim 3.2) kırmataşına ait kimyasal ve fiziksel özellikleri ile elek analizi sonuçları sırasıyla Çizelge 3.8, 3.9 ve 3.10'de verilmektedir.

Çizelge 3.8 Kalker agregasının kimyasal özellikleri

Kimyasal Özellikleri	Kullanılan Bazalt Agregasının Değerleri	Kum ve Agreganın Sınır Değerleri (Gürler vd. 2007 b, c)
Klorürler (%)	0,002	≤ % 1
Sülfatlar (%)	Yok	≤ % 1
Alkali-Silika reaksiyonu neden olan bileşenler	Yok	Olmayacaktır
Sertleşmeye neden olan bileşenler	Yok	Olmayacaktır
Curuf bileşenleri	Yok	Olmayacaktır
Çeliğe zarar veren maddeler (yükseltgen ve Nitratlar vb.)	Yok	≤ % 1

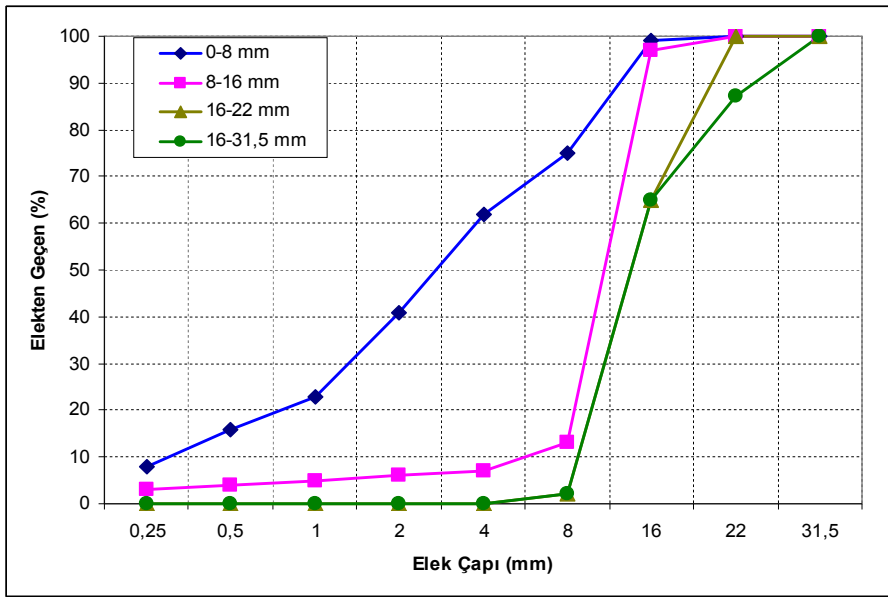
Çizelge 3.9 Kalker agregasının fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikleri		Kullanılan Kalker Agregasının Değerleri				Kum ve Agreganın Sınır Değerleri (Gürler vd. 2007 b, c)		
		Elek Çapı (mm)				Kum (0,25-8 mm)	Agrega (8-16 mm) ve (16-32) mm	Standart
		16-31.5	16-22	8-16	0-8			
Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Gevşek	1400	1406	1432	1664	--	--	--
	Sıkışık	1557	1564	1580	1904	--	--	--
Özgül Ağırlık (kg/m ³)		2722	2738	2760	2610	minimum 2400	mimumum 2600	(EN 1097-6)
Zararlı Bileşen Miktarı (%)		Yok	Yok	Yok	Yok	maksimum % 0,5	maksimum % 0,5	(TS 3528)
Komposite Değeri (G. B.Ağr./Özg. Ağr.)		0,51	0,51	0,51	0,63	--	--	--
Su Emme (24 Saat) %		0,67	0,78	0,95	1,08	maksimum % 3	maksimum % 3	(EN 1097-6)
Aşınma Deneyi (500 Devir) %		22,00			--	maksimum % 25	maksimum % 22	(EN 1097-2)
Organik Madde Miktarı		--	--	--	Renksiz	--	--	--
Çamulu Madde Miktarı %	Hacimce	--	--	--	4,5	--	--	--
	Ağırlıkça	--	--	--	2,7	maksimum %3	maksimum %1	(TS3527)

Çizelge 3.10 Kalker aragasının elekten geçen yüzdeleri ve karışım oranları

Agraga elek aralığı (mm)	Elek çapı (mm)									*Karışım oranı (%)		
	31,5	22	16	8	4	2	1	0,5	0,25	31,5	22	16
16-31,5	100	87,3	65	2	0	0	0	0	0	34	---	---
16-22	100	100	65	2	0	0	0	0	0	---	34	---
8-16	100	100	97	13	7	6	5	4	3	17	17	30
0-8	100	100	99	75	62	41	23	16	8	49	49	70

* Maksimum agrega tane boyutuna göre karışım oranı



Şekil 3.2 Beton karışımlarında kullanılan kalker agregaların granülometri eğrileri

3.1.3. Çelik Lif

Beton karışımında, Beksa Çelik Tel ve Kord Sanayi ve Ticaret A.Ş. firmasından temin edilen RC 80/60 BN tipi iki ucu kancalı çelik lif (Şekil 3.1) kullanılmıştır.



Şekil 3.3 İki ucu kıvrılmış çelik lif

Çelik lif çekme dayanımı minimum 1050 N/mm^2 'dir ve özellikleri Çizelge 3.11'de verilmektedir.

Çizelge 3.11 Kullanılan çelik lifin özellikleri

Çelik Lif Tipi	Boy (mm.)	Çap (mm.)	Narinlik (uzunluk/çap)	Yoğunluk, (gr/cm ³)
Dramix RC 80/60 BN	60	0.75	80	7.85



Resim 3.3 RC 80/60 BN tipi iki ucu kancalı çelik lif

3.1.4. Su

Beton travers ve küp üretiminde karışım suyu olarak TCDD Afyon Beton Travers Fabrikası şebeke suyu kullanılmıştır.

3.2. Beton Travers Üretiminde Kullanılan Aksamlar

Bu çalışmada beton tarvers numunelerinin üretiminde, U-civataları, çan rondelaları, plastik dübel ve altıgen somun aksamları kullanılmıştır.

3.2.1. U-Civataları (Gergi Çeliği, Çelik Firkete)

Beton travers üretiminde U-civataları ön germe çeliği olarak kullanılmıştır (Resim 3.4). Soğuk çekme metodu ile imal edilen gergi çeliklerinin, hammaddesi sıcak haddelenmiş yüksek karbonlu mikro alaşımlarıdır. TCDD Afyon Beton Travers Fabrikası tarafından gergi çelikleri, ihale ile yurtdışından temin edilmiştir.

Beton travers üretiminde kullanılan gergi çelikleri uçları yivli U şeklinde, kısa olanının kütlesi 2,56 kg, uzunluğu 4700 mm \pm 1,5 mm ve uzun olanın kütlesi ise 2,58 kg, uzunluğu 4730 mm \pm 1,5 mm, çapları \varnothing 9.4 mm \pm 0.050 mm olan çelik çubuklardır.



Resim 3.4 U- civataları

Gergi çelikleri; tek parçadan oluşmuş, yüzeyleri tamamen düz ve pürüzsüz, yüzeyinde metal kaplama ve boya olmayan, kaplamasız, imalatının hiç bir safhasında kaynakla

birleştirme yapılmayan, gerilmeden arındırılmış, orantılık sınırı yükseltilmiş ve aşağıda belirtilen özelliklere sahiptir.

- Elastisite modülü: $2,1 \times 10^5$ MPa
- Çekme mukavemeti: Minimum 1600 MPa
- Akma mukavemeti: Minimum 1400 MPa
- Elastikiyet sınırı: Minimum 1160 MPa

3.2.2. Çan Rondelaları (Ankraj Plakası, Ankraj Pulu)

Beton travers aksamı olarak kullanılan ankraj plakalarının, kalınlığı 2,5 mm, minimum akma mukavemeti 170 MPa, çekme mukavemeti maksimum 440 MPa'dır. Ankraj plakaları, piyasadan ihale ile temin edilen ankraj sacından, TCDD Afyon Beton Travers Fabrikası tarafından üretilmiştir (Resim 3.5).



Resim 3.5 Çan rondelaları

3.2.3. Altıgen Somun (Yarıklı Somun)

Beton travers aksamı olarak kullanılan altıgen somunların, 22 mm (Altıgen SW 22) altı köşe anma ölçüsüne, 500 – 750 MPa arasında çekme mukavemetine, minimum 400 MPa akma sınırına sahiptirler. Altıgen somunlar, piyasadan ihale ile temin edilen otomat çeliklerinden, TCDD Afyon Beton Travers Fabrikası tarafından üretilmiştir (Resim 3.6).

Altıgen somunun üretiminde kullanılan otomat çeliği, soğuk çekme metodu ile imal edilirler, üretim aşamasının hiçbir safhasında kaynakla birleştirme kullanılmaz, yüzeyleri tamamen düzgün ve pürüzsüzdür, ayrıca tufal, katmer ve çatlak gibi yüzey kusurları bulunmamaktadır.



Resim 3.6 Altıgen somun

3.2.4. Plastik Dübel

Beton travers üretimi aşamasında, beton travers içerisine yerleştirilen plastik dübeller, beton traverslerin demiryolu hatlarında kullanılması sırasında rayların beton traverslere bağlantısını sağlayan malzemelerdendir. TCDD Afyon Beton Travers Fabrikası tarafından plastik dübeller, ihale ile piyasadan temin edilmiştir.

Beton travers aksamı olarak, ağırlığı 62-65 gr arasında iç bünyesinde tortu, erimemiş madde, yabancı madde olmayan, homojen bir yapıya sahip, aşağıda belirtilen sınır değerleri sağlayan, yüksek yoğunluklu polietilen malzemelerden üretilen HM tipi ray bağlantı sistemine uygun plastik dübeller kullanılmıştır (Resim 3.7).

- Yoğunluk : $\geq 0.950 \text{ gr/cm}^3$
- Sertlik : 60 - 70 SHORE-D (oda sıcaklığında $21^\circ\text{C}+2$)
- Erime Akış İndeksi (MFI) : $\leq 2.3 \text{ gr/10 dak. (21,6 kg / 190}^\circ\text{C)}$
- Hacim Direnci : $>10^{16} \text{ ohm x cm}$
- Yüzey Direnci : $>10^{14} \text{ ohm}$
- Dielektrik Mukavemeti : 50 – 53 Kv/mm
- Akmadaki Uzama : % 9-10 (50 mm/dak.)



Resim 3.7 Plastik dübel

3.3. Agrega Deneyleri

Çalışmada kullanılan bazalt ve kalker agregaları için; elek analizi, birim hacim ağırlık (gevşek ve sıkışık), özgül ağırlık, su emme, aşınma deneyi, çamurlu madde miktarı

(hacimce ve ağırlıkça) ve organik madde miktarı deneyleri yapılmış ve kompasite değerleri hesaplanmıştır.

3.3.1. Agregada Gevşek ve Sıkışık Birim Ağırlık Tayini (TS 3529)

Deneyin Amacı: Agreganın gevşek ve sıkışık olarak işgal edeceği hacmi saptamaktır. Agreganın kap içindeki net ağırlığının kap hacmine bölünmesiyle hesaplanır ve birimi kg/m^3 olarak verilir. Agreganın kompasitesi ve işleme esası bu deneyle anlaşılır.

Deneyde Kullanılan Aletler

- Etüv ($105^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$),
- Terazi: 30 kg çekerli 10 g duyarlı,
- Deney ölçü kabı: Kap su geçirmez, kullanma sırasında biçimi bozulmayacak kadar dayanıklı metalden yapılmış, karşılıklı 2 kulpu bulunan silindirik hacimli değişik hacimlere sahip kaplardır,
- El küreği,
- Çelik sıyırma cetveli,
- Çelik sıkıştırma çubuğu: Ucu yarım küre şeklinde yuvarlatılmış 600 mm boyunda, 16 mm çapında cubuk kullanılmıştır.



Resim 3.8 Agregalarda birim hacim ağırlık deneyinin yapılması

3.3.1.1. Agrega da Gevşek Birim Ağırlık Tayini

- Malzemeyi tam temsil eden malzeme alınır. Etüvde $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ de değişmez ağırlığa kadar kurutulur.
- Daney numunesi tane çapına bağlı olarak; 8 ve 16 mm için 20 kg, 31,5 mm için 100 kg alınır.
- En büyük tane buyutu 16 mm olan agregaya için; iç çapı ve yüksekliği 155 mm, kalınlığı 3,5 mm ve yaklaşık hacmi 3 dm^3 olan ölçü kabı seçilir.
- En büyük tane buyutu 32 mm olan agregaya için; iç çapı 250 mm, yüksekliği 280 mm, kalınlığı 3,5 mm ve yaklaşık hacmi 14 dm^3 olan ölçü kabı seçilir.
- Bu yöntemde gerekli olan kapların boş ağırlığı tartılır ve (M_1) olarak kaydedilir.
- Agregaya el küreği ile kap kenarından çevresinde dönmeli olarak (ölçü kabı üst yüzeyinden en fazla 5 cm yükseklikten dökülmelidir) bir miktar taşacak şekilde doldurulur.
- Ölçü kabı, yüzeyindeki fazla agregaya çelik çetvel ile dikkatlice sıyrılarak üst yüzey düzlenir. 16 mm'den daha büyük tane sınıflı agregaya da sıyırma, el ile dikkatlice yapılır, taşan iri agregaya varsa yerine daha küçük boyutta ince agregaya ile yer değiştirilir.
- Gevşek agregaya ile dolu ölçü kabı beraberce tartılır ve (M_2) olarak kaydedilir.
- Deney 2., 3. kez ve her seferinde yeni agregaya ile tekrar edilir, aritmetik ortalamaları alınır.
- Gevşek birim ağırlık (B_g) Formül (3.1) ile hesaplanır.

$$B_g = \frac{M_2 - M_1}{V} \quad (3.1)$$

Bu formül de:

B_g : Gevşek birim hacim ağırlık (kg/m^3)

M_2 : Ölçü kabı + gevşek agregaya ağırlığı (kg)

M_1 : Ölçü kabının boş ağırlığı (kg)

V: Ölçü kabının iç hacmi (m^3)

3.3.1.2. Agregada da Sıkışık Birim Ağırlık Tayini

- Agregayı tam temsil eden agregada numunesi tane çapına bağlı olarak; 8 ve 16 mm için 20 kg, 31,5 mm için 100 kg alınır.
- Etüvde 105°C ± 5°C de değişmez ağırlığa kadar kurutulur.
- En büyük tane buyutu 16 mm olan agregada için; iç çapı ve yüksekliği 155 mm, kalınlığı 3,5 mm ve yaklaşık hacmi 3 dm³ olan ölçü kabı seçilir.
- En büyük tane buyutu 32 mm olan agregada için; iç çapı 250 mm, yüksekliği 280 mm, kalınlığı 3,5 mm ve yaklaşık hacmi 14 dm³ olan ölçü kabı seçilir.
- Bu yöntemde gerekli olan kapların boş ağırlığı tartılır ve (M₁) olarak kaydedilir.
- Deney numunesi kabın 1/3 yüksekliğine kadar doldurulur ve şişleme çubuğu ile 25 kez şişlenir. Numune; şişleme çubuğu ile yüzeyin her tarafına yayılacak şekilde, fakat kabın tabanına şişleme çubuğu deymeyecek şekilde 25 vuruş yaparak sıkıştırılır.
- Daha sonra kap 2/3'ne kadar doldurulur şişleme çubuğu ile yüzeyin her tarafına eşit olacak şekilde 25 vuruş yapılarak sıkıştırılır.
- En son kap taşarcasına doldurulur yine aynı şişleme yapılır. Her tabakanın şişlemesi sırasında bir evvelki tabakaya kadar şişin girmesi gereklidir. Ölçü kabı üst yüzeyi sıyrılarılarak düzeltilir.
- Ölçü kabı ile sıkışmış agregada birlikte tartılır (M₂).
- Deney 2. ve 3. kez ve her seferinde yeni agregada ile tekrar edilir, aritmetik ortalamaları alınır.
- Sıkışık birim hacim ağırlık (B_s) Formül (3.2) ile hesaplanır (Şimşek 2007).

$$B_s = \frac{M_2 - M_1}{V} \quad (3.2)$$

Bu formül de:

B_s: Sıkışık birim hacim ağırlık (kg/m³)

M₂: Ölçü kabı + sıkışık agregada ağırlığı (kg)

M₁: Ölçü kabının boş ağırlığı (kg)

V: Ölçü kabının iç hacmi (m³)

3.3.2. Agregada da Özgöl Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini (TS EN 1097-6)

3.3.2.1. İnce Agreganın Özgöl Ağırlık Tayini

Deneyin Amacı: Beton yapımında kullanılacak doğal veya yapay agregaların kuru veya doymuş kuru yüzey özgöl ağırlıklarını ve görünen özgöl ağırlığı ile su emme oranını belirlemek üzere uygulanan deney yöntemlerini kapsar.

Agregaların kuru özgöl ağırlığı, doymuş kuru yüzey özgöl ağırlığı ve görünen özgöl ağırlığı ince ve iri agregalara ayrı ayrı uygulanan deneylerle tayin edilir.

Kullanılan araç ve gereçler:

- Terazi: 2 kg çekerli 0,1 duyarlı bir terazi,
- Ölçü kabı: 1000 ml'lik cam bir ölçü kabı,
- Cam levha: Ölçü kabının üstünü kapatabilecek büyüklükte bir cam levha,
- Metal kalıp: Üst iç çapı 38 mm, alt iç çapı 89 mm, yükseklik 73 mm olan kesik koni biçimli metal bir kalıp,
- Sıkıştırma çubuğu: Yaklaşık 25 mm çapında, ucu yuvarlanmış, yaklaşık 350 g ağırlığında, pirinçten yapılmış bir çubuk kullanılmıştır.

Deney Numunesi: Deneylerde kullanılacak deney numunesi miktarı en büyük tane büyüklüğüne bağlı olarak değişir. Gerekli deney numunesi miktarları TS 707 uygun yaklaşık 0-4 mm için 800 gr, 4-8 mm için 1,5 kg, 8-16 mm için ise 2 kg ve 31,5 mm için ise 3 kg'dır.

3.3.2.2. İri Agreganın Özgöl Ağırlık Tayini

Kullanılan araç ve gereçler:

- Terazi: 20 kg çekerli 1 gr duyarlı ve su içinde de tartım yapabilen bir terazi,
- Kafes örgülü sepet: 4 mm göz açıklı elek telinden yapılmış bir sepet,
- Sepeti terazi kafesine bağlama düzeneği,

- Kova: Tel sepeti içine alabilecek büyüklükte bir kova,
- Kurutma bezleri: Havlu veya benzeri malzemeden yapılmış bezler kullanılmıştır.

Deneyin yapılışı: TS 707 ye uygun olarak 4-8 mm arası agrega için 1,5 kg, 8-16 mm agregası için 2 kg'dan oluşturulmuş deney numunesi içinde yaklaşık 20 °C'deki su bulunan bir kap içinde konur ve hafifçe sallanarak, taneler üzerindeki toz ve yabancı maddelerden temizlenir. Su içinde 24 saat bekletildikten sonra çıkarılır, suyu süzülür ve tanelerin üzerinde gözle görülebilen su tabakası kalmayınca kadar kurutulur. İri taneleri teker teker kurulamak gerekebilir. Bu sırada aşırı buharlaşmaya yer verilmemelidir. Kurutma biter bitmez numune hemen tartılarak doygun kuru yüzey ağırlığı (M_2) bulunur. Doygun kuru yüzey halindeki numune tartıdan hemen sonra kafes örgülü tel sepete konarak su dolu kovanın içine su yüzeylerinden en az 5 cm daha aşağıda kalacak şekilde daldırılır. Su yüzüne çıkarılmadan kovanın içinde en az 10 kez sertçe kaldırılıp indirilerek sağa sola sallanarak taneler arasında kalabilecek hava kabarcıkları çıkarılır. Daha sonra sepeti kova kenarına dokunmamasına dikkat edilerek özel düzenle terazi kafesinin ortasına yerleştirilir ve doygun malzemenin sudaki ağırlığı (M_3) bulunur. Numune sudan çıkarılır ve etüv kurusu durumuna getirilir. Oda sıcaklığına kadar soğutulur ve havadaki kuru ağırlığı (M_1) kaydedilir. İri agreganın kuru yüzey özgül ağırlığı Formül (3.3), su emme oranı Formül (3.4) ile yüzde bir hanesine yuvarlatılarak hesaplanır.

$$\delta_d = \frac{M_2}{M_1 - M_3} \quad (3.3)$$

$$m_o = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \quad (3.4)$$

Bu formüller de:

δ_d = İri agreganın doygun kuru yüzey özgül ağırlığı

m_o = İri agreganın su emme oranı (%)

M_1 = Numunenin etüv kurusu ağırlığı (gr)

M_2 = Numunenin doymun kuru yzney durumdaki havadaki ağırlığı (gr)

M_3 = Numunenin sudaki ağırlığı (gr)

3.3.2.3. Arşimed Prensibine G3re İnce Agreganın 3zgül Ağırlık Tayini

Deney numunesinin mutlak hacmi Arşimed prensibinden faydalanarak bulunur. Bu amaçla 3nce içinde hava kabarcığı kalmayacak Şekilde su ile doldurulmuş cam kap tartılır. Sonra su dolu cam kabın içine M_1 ağırlığındaki kum konur ve ince bir çubukla iyice karıştırılarak kum taneleri arasında sıkıŐan hava kabarcıklarının çıkması sağlanır. Bu husus deney tekniği açısından çok 3nemlidir. 3zellikle ince agregalarda bu yzden b3y3k hata yapılır. Su dolu cam kaba ilave edilen kum, kendi mutlak hacmine eşdeğer miktarda suyun taŐmasına sebep olur. Dolayısıyla taşan suyun hacmi, M_1 ağırlığındaki numunenin mutlak hacmini verir. $(M_1 + M_2) - M_3$ değerı taşan suyun ağırlığına eŐittir. Suyun 3zgül ağırlığı 1 (Mg/m³) olduğu için bu rakam aynı zamanda m³ cinsinden taşan suyun hacmine eŐittir. Numunenin 3zgül ağırlığı Form3l (3.5) ile hesaplanır.

$$\delta = \frac{M_1}{(M_1 + M_2) - M_3} \quad (3.5)$$

Bu form3l de:

δ = Deney numunesinin 3zgül ağırlığı (kg/m³)

M_1 = Numunenin yzneyi kuru suya doymun ağırlığı (kg)

M_2 = Ağzına kadar su ile doldurulmuş cam kabın ağırlığı (kg)

M_3 = İçine numune konmuŐ ve su ile doldurulmuş cam kabın ağırlığı (kg)



Resim 3.9 Agregalarda özgül ağırlık deneyinin yapılması

3.3.3. Agregalarda Komposite Değerinin Hesabı

Agregalarda dikkat edilmesi gereken bir diğer özellik, agregadaki deniz hayvanı kabuğu miktarıdır. Kavkı denilen bu kabukların agregada bulunmasına müsaade edilir. Ancak bir sınırlama getirilmediği takdirde kavkı miktarı çok büyük boyutlara ulaşabilir ve kullanılan malzeme agregaya olmaktan çıkar. TSE’de bu konuda sınır şartı konmamıştır.

Komposite = “gevşek birim ağırlık / özgül ağırlık” oranıdır. Bu oranın 0,50’nin altına düşmesi istenilmez (Akbulut vd. 2003).

3.3.4. Agregada Organik Madde Tayini (TS EN 1744-1)

Deneyin Amacı: Agregada içinde, betona zararı olabilecek organik madde oranı tespit etmektir. Agregada numunesi bir cam şişe içinde NaOH ile birlikte çalkalanır. Çökelen agregada üzerindeki sıvıda renklenme organik madde miktarı hakkında bilgi verir.

Deneyde Kullanılan Aletler:

- İki adet geniş boyunlu şişe (renksiz, yaklaşık 300 cm³ hacimli, 65-70 mm çapında ve 130 cm³ ile 200 cm³'de işaret çizgisi olan),
- %3'lük NaOH çözeltisi (30 g NaOH, 1 lt saf suda çözünerek elde edilir),
- 8 mm elek,
- Etüv kullanılmıştır.

Deneyin Yapılışı:

- Deney numunesi miktarı tane çapına bağlı olarak alınır,
- Etüvde 105°C ± 5 °C'de değişmez ağırlığa kadar kurutulur,
- Numune 8 mm'lik elekten elenerek alta geçen malzemedan alınır,
- Bu agregalar şişenin 130 cm³'lük işaret çizgisine kadar doldurulur,
- NaOH (sodyumhidroksit) şişenin 200 cm³ işaret çizgisine kadar doldurulur,
- Şişelerin ağzı kapatılır ve şişeler iyice çalkalanır,
- En az 24 saat sonra deney numunesi üzerindeki sıvının rengi tespit edilir,
- Tespit edilen sıvının rengi, referans renklerine bakılarak malzemenin organik maddesi hakkında bilgi verir. Sıvıdaki renk; renksizden açık sarıya doğru ise organik madde zararsızdır, eğer koyu sarı, kahverengimsi veya kırmızı ise agrega zararlı sınırdadır,
- Deney üç tekrarla yapılır. Deney sonucu elde edilen renkler bir biriyle uyumlu olması gerekir. Aksi takdirde deney tekrar yapılır (Şimşek 2007).



Resim 3.10 Agregalarda organik madde miktarı deneyi yapılması

3.3.5. Agregalarda Çamurlu Madde Miktarının Belirlenmesi (TS 3527)

Deneyin Amacı: Bu deney agregada içindeki kil, silt ve taşunu miktarını belirlemek için yapılır.

Kullanılacak araç ve gereçler:

- 1000 ml'lik ölçekli cam kap kullanılmıştır.

Deneyin Yapılışı:

- Deney numunesi (1000 g) 1000 ml'lik ölçekli cam kap içersine konur,
- Üzerine 750 ml su eklenir,
- Kabın ağzı kapatılarak şiddetle çalkalanır. Bu işlem 20 şer dakikalık aralarla toplam 3 kez tekrarlanır,
- 24 saat sonra agregada üzerine çöken ince malzeme yüksekliği ve alanı tespit edilir.

Çamurlu madde miktarı ağırlık yüzdesi olarak Formül (3.6) ile hesaplanır.

$$\text{Çamurlu madde miktarı (ağırlıkça)} = \frac{A \cdot h_{24} \cdot \gamma_{24}}{1000} \times 100(\%) \quad (3.6)$$

Bu formül de;

A: 24 saat sonra çöken çamurlu maddenin çökeldiği alan (cm²)

h_{24} : 24 saat sonra çöken çamurlu maddenin yüksekliği (cm)

γ_{24} : yaklaşık özgül ağırlık değeri (0,9 gr/cm³)

Çamurlu madde miktarı uygulamada hacim esasına göre de Formül (3.7) ile hesaplanır.

$$\text{Çamurlu madde miktarı (hacimce)} = \frac{h}{H} \times 100(\%) \quad (3.7)$$

Bu formül de;

h: 24 saat sonra çöken çamurlu maddenin yüksekliği (cm)

H: 24 saat sonra çöken çamurlu madde ve numunenin yüksekliği (cm)



Resim 3.11 Agregalarda çamurlu madde miktarı deneyi yapılması

3.3.6. Agrega Tane Büyüklüğü Dağılımı (TS 3530 EN 933-1)

Deneyin Amacı: Elek analizi deneyi, bir agreganın, kare gözlü standart eleklerinden elenmesi yolu ile, en büyük tane çapı yönünden çeşitli büyüklüklerdeki agreganın bölümlerinin, bütün agreganın ağırlıkça oranı yüzdesinin bulunmasıdır.

Betonda yükü ileten ve dolayısıyla taşıyan esas iskelet agreganın taneleridir. Bu yüzden agreganın yığındaki boşluk miktarı betonun mukavemet açısından çok önemlidir. Boşlukların en az olması için betonda kullanılan agreganın yığındaki tanelerin değişik çaplarda belirli miktarlarda bulunması gerekir. Çünkü eşit çaplı tanelerden oluşan bir yığında doluluk en çok % 74 olabilir. Doluluğu arttırmak için tanelerin arasına daha küçük ve değişik çapta taneler koymak gerekir. Ancak tane çapları küçüldükçe tanelerin toplam yüzeyi artar ve bu taneleri ıslatmak için gerekli su miktarı artar. Bu da istenmeyen bir durumdur. Her iki olayı birlikte inceleyen çeşitli detaylar sonucunda bazı ideal eğriler elde edilmiştir. Agreganın yığındaki tanelerin dağılımı bu eğrilere uyduğu takdirde o agregadan oluşan yığın hem boşluk oranı, hem de toplam yüzey alanı optimum değerlerde tutulmuş olur. Ancak mevcut agregaların büyük bir çoğunluğu bu

eğrilere kendiliğinden uymazlar. Bu yüzden çeşitli dağılıma sahip agregalar belirli oranlarda karşılaştırılarak ideal eğrilere uyulmaya çalışılır.

Kullanılan Araç ve Gereçler:

- Terazi: Deney numunelerini en az % 0,1 duyarlılıkta tartabilecek bir terazi,
- Elekler: TS 1227 ye uygun tel elekler,
- Etüv: Yeterli büyüklükte ve $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 'ye ayarlanabilir bir etüv,
- Bölgeç: Numune ayırıcı kullanılmıştır.

Deney Numunesinin Hazırlanması: Numune agregaya iyice karıştırılarak homojen duruma getirilir ve bölgeç ile deney için gereken miktarda malzeme, deney numunesi olarak ayrılır. Bu ayırma ve deney numunesi hazırlaması işleminde çeyrekleme metodu da kullanılabilir. Bu metotta, agregaya düzgün dairesel bir yığın haline getirilerek, bir malzemenin keskin kenarı ile dört eşit parçaya ayrılır. Sonra bunlardan (A) işaretli karşılıklı iki dördte birlik kısımlar uzaklaştırıp kalan iki (K) dördte bir karıştırılarak, yeniden dairesel bir yığın oluşturulur. Bu şekilde dörde bölme işlemleri, kalanlar, yaklaşık olarak deney numunesi miktarına eşdeğer olana kadar sürdürülür.

Elek analizi yapılacak malzemede hem ince ve hem de iri agregaya taneleri bulunuyorsa, malzeme önce 4 mm göz açıklığındaki elekten elenerek ince ve iri olmak üzere iki kısma ayrılır.

Deneyin Yapılışı: Deney numunesi $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 'ye ayarlanmış etüvde değişmez ağırlığa kadar kurutulup tartılır (M_0).

Deney elekleri, yukarıdan aşağıya doğru göz açıklıkları giderek küçülecek şekilde üst üste yerleştirilir. Kurutulup tartılmış deney numunesi en üstteki eleğin içine konular ve eleme hareketlerine başlanır. Eleme hareketleri elle yapılabileceği gibi, bu işte bir elek sarsma makinesinden de yararlanılabilir.

Bu şekilde, elekler içindeki malzeme ile birlikte yeterli bir süre sarsılarak eleme sürdürülür. Eleme süresinin yeterli olduğu, herhangi bir elekte bir dakikalık sarsma

süresinde elekten geçen malzeme miktarının, elek üstünde kalan malzeme miktarının % 1'inden daha az olması ile anlaşılır.

Uygulamada bu durumun anlaşılması için, söz konusu elek elle tutulur ve üzeri bir kapakla sıkıca kapatılır hafifçe meyillendirilerek, elek kenarı diğer elin ayasına serçe ve dakikada 150 vuruş yapılacak bir hız ayarında çarpılarak sarsılması yolu ile eleme sürdürülür. Bu sırada her 25 çarpma sonunda elek yaklaşık 1/6 devir yaptırılarak kendi eksenini etrafında döndürülür. Bu hızla bir dakikalık bir sürede elekten geçen malzemenin elek üstünde kalana oranı eleme süresinin yeterliliğini gösterir.

Elek göz açıklığı 4 mm'den daha büyük eleklerde ise, elek içinde kalan malzemenin tek bir tanecik tabakası oluşturması halinde eleme süresinin yeterli olduğu anlaşılır. Bu şekilde yeterince sürdürülen eleme işlemi sonunda her elekte kalan malzeme 0.1 gr duyarlıkta tartılır (M_n).

Hesaplama: Elek analizi deneyi sonunda her elek üstünde kalan malzeme oranı, bütün deney numunesi ağırlığının yüzdesi olarak, Formül (3.8) ile tam sayıya yuvarlatılarak hesaplanır.

$$S_n = \frac{M_n}{M_0} \cdot 100 \quad (3.8)$$

Bu formül de:

S_n : Her hangi bir (n) göz açıklığında elek üstünde kalan malzeme oranı (%)

M_n : Göz açıklığı (n) elekte kalan malzeme ağırlığı (g)

M_0 : Deney numunesinin ağırlığı (g)

Deneyin Yapılışı:

- 5 g hassasiyetindeki bir terazinin üzerine boş bir kap konup darası ölçülür ve kaydedilir,
- Deney numunesi en büyük göz açıklıklı elekten geçirilir,

- Elek üstünde kalan malzeme boş kaba konup tartılır. Ölçülen değer hazırlanan çizelgede bu eleğin karşısına yazılır. Elek üstünde malzeme kalmazsa bu sütundaki yerine sadece kabın ağırlığı yazılır,
- Elekten geçen malzeme bir küçük göz açıklıklı elekten elenir. Elek üstünde kalan malzeme kaba boşaltılır ve toplam ağırlık birinci sütunda o eleğin karşısına yazılır,
- Bütün eleklerde bu işlem tekrarlandıktan sonra 0.25 mm eleğin altına geçen malzeme öncekilere eklenerek toplam malzeme tartılır ve birinci sütunda yerine yazılır (Akbulut vd. 2003).

3.3.7. Agrega Parçalanma Direncinin Tayini (Los Angeles Metodu TS EN 1097-2)

Deney Amacı: Yapay ve tabii iri agregalarının parçalanma direncini belirlemek ve agregaların kullanıldığı betonlarda yerine göre kullanılıp kullanılmayacağına karar verebilmektir.

Deneyde Kullanılan Aletler:

- Los Angeles deney aleti,
- Terazi, deney kısmının kütlesini % 0,1 doğrulukla tartabilen,
- Bilye yükü, her bir 45 mm ile 49 mm arasında çapa sahip, 12 adet küresel çelik bilyeden oluşan; 400 g ile 445 g kütleyle sahip ve toplam yük 5120 g ile 5300 g arasında olan,
- Terazi: 20 kg çekerli 2 g duyarlı terazi,
- Deney elekleri; 1,6; 31,5; 22,4; 16; 11,2 ve 8 mm göz açıklıklı,
- Etüv (105 ± 5)°C sıcaklığı sağlayabilen,
- Tepsi, deneyden sonra malzeme ve bilye yükünü toplamak için,
- Fırça ve kaplar kullanılmıştır.



Resim 3.12 Agregalarda aşınmaya dayanıklılık deneyi yapılıması

Deneyin Yapılışı:

- 31,5 mm ile 22,4 mm; 22,4 mm ile 16 mm; 16 mm ile 11,2 mm ve 11,2 mm ile 8 mm arasında elenerek ayrılan numunelerden her elek aralığı için 15000 g numune alınır,
- Alınan numuneler yıkanır ve sabit kütleyle kadar etüvde kurutulur,
- Oda sıcaklığında soğutulur,
- Soğutulduktan sonra uygun miktarda deney numunesi parçasına azaltılır. Deney kısmının kütlesi (31,5 mm ile 22,4 mm; 22,4 mm ile 16 mm; 16 mm ile 11,2 mm ve 11,2 mm ile 8 mm elek arasındaki numunelerin her birinden 1250 g olmak üzere) 5000 ± 5 g (M_1) olmalıdır,
- Numuneyi yüklemeden önce tamburun temiz olup olmadığı kontrol edilir. Makineye önce dikkatlice bilyeler, sonra deney kısmı konur,
- Kapak kapatılır ve makine 33 devir/dakika sabit hızla 500 devir döndürülür,
- Agraga kaybını önlemek için açıklık tepsinin tam üstüne getirilerek, agregalar tepsiye dökülür. Tambur temizlenir, ince tanelerin raf etrafında kalmamasına dikkat edilir,
- Agrega kaybının olmamasına dikkat edilerek bilyeler tepside alınır,

- Tepsideki malzeme, 1,6 mm'lik elek kullanılarak yıkanır ve elenir. 1,6 mm elekte kalan kısım (105 ± 5)°C'de ki sabit kütleye gelinceye kadar kurutulur ve kurutulan malzeme oda sıcaklığında soğutulduktan sonra (M₂) g olarak kaydedilir,
- Los Angles katsayısı (LA) Formül (3.9) yardımı ile hesaplanır (Akbulut vd. 2003, Şimşek 2007).

$$LA = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \quad (3.9)$$

Bu formül de;

LA: 500 dönüş sonunda aşınma miktarı (%)

M₁: Numunenin deney öncesi etüv kuru kütlesi (g)

M₂: Numunenin 500 dönüş sonu 1,6 mm elek üzerinde kalan kısmının kütlesi (g)

3.4. Numunelerin Üretilmesi

Çalışmada maksimum agrega tane boyutları 16 mm, 22 mm, 31,5 mm olan bazalt ve kalker agregası seçilerek üretilen beton traverslerde çelik lif miktarı hacimce % 0.0, % 0.2, % 0.4 olmak üzere ayrı ayrı toplam 18 farklı seri üretilmiştir. Üretilen seriler Çizelge 3.12'de verildiği gibi numaralandırılmıştır.

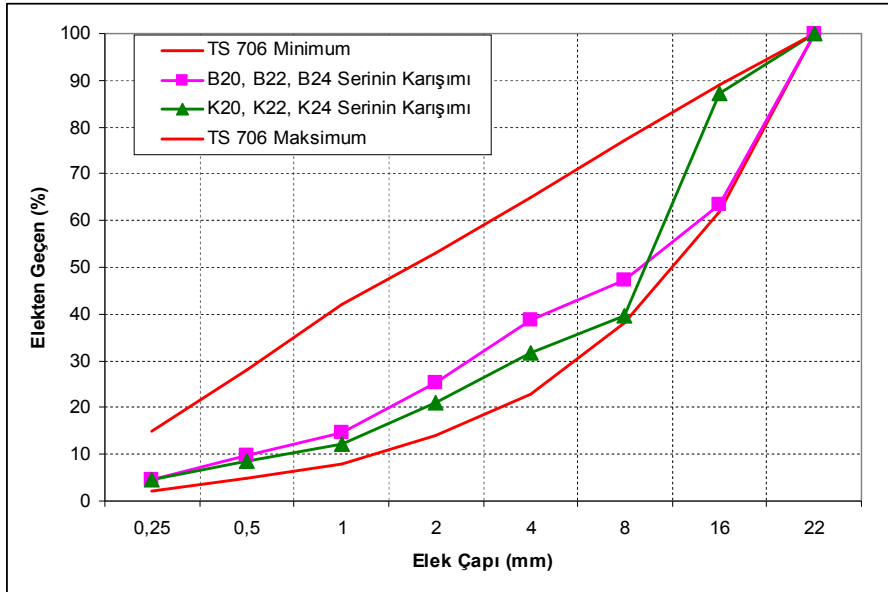
Çizelge 3.12 Çalışmada üretilen serilerin numaralandırılması

Agrega Çeşidi	Maksimum Agregatane Boyutu	Çelik Lif Miktarı (Binde)		
		0	2	4
Bazalt	31,5	B30	B32	B34
	22	B20	B22	B24
	16	B10	B12	B14
Kalker	31,5	K30	K32	K34
	22	K20	K22	K24
	16	K10	K12	K14

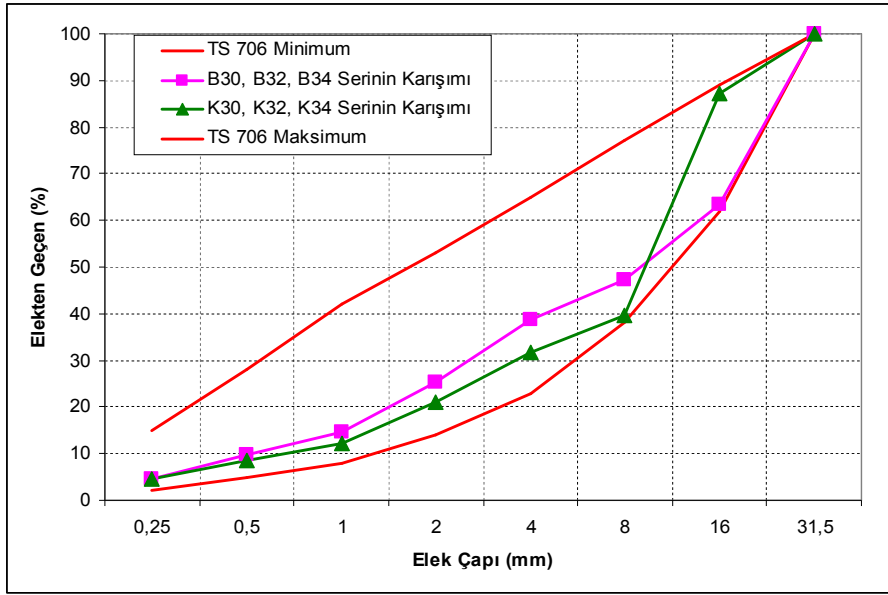
Her seri için karışımdaki çimento miktarı 450 kg/m^3 ve su/çimento oranı 0,25 olarak sabit tutulmuştur. Maksimum agrega tane boyutları 16 mm, 22 mm, 31,5 mm olan bazalt ve kalker agregası karışım granülometri eğrileri sırasıyla Şekil 3.4, 3.5 ve 3.6 verilmiştir.



Şekil 3.4 Maksimum agrega tane boyutu 16 mm olan beton karışımı için, bazalt ve kalker agregasının granülometri eğrileri ile standart eğriler



Şekil 3.5 Maksimum agrega tane boyutu 22 mm olan beton karışımı için, bazalt ve kalker agregasının granülometri eğrileri ile standart eğriler



Şekil 3.6 Maksimum agrega tane boyutu 31,5 mm olan beton karışımı için, bazalt ve kalker agregasının granülometri eğrileri ile standart eğriler

Her bir seriden; 2 adet olmak üzere toplam 36 adet tek bloklu B.58 beton traves, 4 adet olmak üzere toplam 72 adet küp (20x20x20 cm) üretilerek buhar kürüne tabi tutulmuştur.

1 m³ beton karışıma giren teorik malzeme miktarları, her seri için ayrı ayrı örnekte olduğu gibi hesaplanarak belirlenmiş ve Çizelge 3.13 verilmiştir.

Örnek: B32 seri için 1 m³ beton karışımına giren teorik malzeme miktarlarının tayini Formül (3.11) yardımı ile belirlenmiştir; Çimento miktarı 450 kg/m³ ve su/çimento oranı 0,25 olarak sabit tutulmuştur.

$$Su / \text{Çimento} = \frac{E}{\text{Ç}} \quad (3.10)$$

$$0,25 = \frac{E}{450}$$

$$E = 112,5 \text{ lt}$$

$$1000 = \frac{C}{\delta_c} + V_a + V_{cf} + E + V_h \quad (3.11)$$

$$1000 = \frac{450}{3,1} + V_a + 2 + 112,5 + 1$$

$$V_a = \mathbf{739,3387 \text{ dm}^3}$$

$$\text{Karışımında kullanılan agreganın ağırlığı} = V_a \times \delta_a \times \text{Karışım oranı} \quad (3.12)$$

$$M_{16-31,5} = 739,3387 \times 2,816 \times 0,3947 = \mathbf{821,8 \text{ kg}}$$

$$M_{8-16} = 739,3387 \times 2,982 \times 0,1316 = \mathbf{290,1 \text{ kg}}$$

$$M_{0-8} = 739,3387 \times 2,710 \times 0,4737 = \mathbf{949,1 \text{ kg}}$$

$$CF = V_{cf} \times \delta_{cf} \quad (3.13)$$

$$CF = 2 \times 7,85 = \mathbf{15,7 \text{ kg}}$$

$$\Delta_T = C + M_{16-31,5} + M_{8-16} + M_{0-8} + CF + E \quad (3.14)$$

$$\Delta_T = 450 + 821,8 + 290,1 + 949,1 + 15,7 + 112,5 = \mathbf{2639 \text{ kg/m}^3}$$
 olarak belirlenmiştir.

Bu formüller de;

Ç: Çimento miktarı (kg)

ÇF: Çelik lif miktarı (kg)

Δ_T : Karışımın teorik birim ağırlığı (kg/m³)

δ_c : Karışıma giren çimentonun özgül ağırlığı (g/cm³)

δ_a : Karışıma giren agreganın özgül ağırlığı (g/cm³)

δ_{cf} : Karışıma giren çelik lifin özgül ağırlığı (g/cm³)

V_a : 1 m³ beton karışımdaki toplam agrega hacmi (dm³)

$V_{\text{çf}}$: 1 m³ beton karışımdaki toplam çelik lif hacmi (dm³)

E: 1 m³ beton karışımdaki su miktarı (lt)

V_h : 1 m³ beton karışımdaki hava hacmi (% 0,1 olarak alınmıştır)

M_{0-8} : 1 m³ beton karışımdaki 16-31,5 mm agraganın ağırlığı (kg)

M_{8-16} : 1 m³ beton karışımdaki 8-16 mm agraganın ağırlığı (kg)

$M_{16-31,5}$: 1 m³ beton karışımdaki 0-8 mm agraganın ağırlığı (kg)

Çizelge 3.13 1 m³ beton karışıma giren teorik malzeme miktarları

Seriler				Malzemeler							Karışımın Teorik Birim Ağırlığı (kg/m ³)
Agrega		Çelik Lif Miktarı (%)	Seri No	Agrega (kg)				Çimento (kg)	Su (lt)	Çelik Lif (kg)	
Türü	Maksimum Tane Boyutu			İnce 0-8 mm	Orta 8-16 mm	Kalın 16-22 mm	Kalın 16-31,5 mm				
BAZALT	31,5	0	B30	951,7	290,9	---	824,0	450	112,5	0	2629
		0,2	B32	949,1	290,1	---	821,8	450	112,5	15,7	2639
		0,4	B34	946,5	289,4	---	819,5	450	112,5	31,4	2649
	22	0	B20	951,7	290,9	836,6	---	450	112,5	0	2642
		0,2	B22	949,1	290,1	834,3	---	450	112,5	15,7	2652
		0,4	B24	946,5	289,4	832,0	---	450	112,5	31,4	2662
	16	0	B10	1205,4	884,3	---	---	450	112,5	0	2652
		0,2	B12	1202,2	881,9	---	---	450	112,5	15,7	2662
		0,4	B14	1198,9	879,5	---	---	450	112,5	31,4	2672
KALKER	31,5	0	K30	948,1	347,8	---	686,1	450	112,5	0	2545
		0,2	K32	945,5	346,9	---	684,2	450	112,5	15,7	2555
		0,4	K34	943,0	346,0	---	682,4	450	112,5	31,4	2565
	22	0	K20	948,1	347,8	690,1	---	450	112,5	0	2549
		0,2	K22	945,5	346,9	688,3	---	450	112,5	15,7	2559
		0,4	K24	943,0	346,0	686,4	---	450	112,5	31,4	2569
	16	0	K10	1354,4	613,8	---	---	450	112,5	0	2531
		0,2	K12	1350,8	612,2	---	---	450	112,5	15,7	2541
		0,4	K14	1347,1	610,5	---	---	450	112,5	31,4	2552

3.4.1. Kp Numunelerinin retilmesi

Kp karışımına giren malzemelerin ölçümleri ağırlık esasına göre yapılmıştır (Resim 3.13).



Resim 3.13 Beton karışımına giren malzemelerin ağırlık esasına göre hazırlanması

Betonu oluşturan malzemelerin bir arada karılması işlemi ile bütün agrega tanelerinin çimento hamuru ile kaplanmış olmaları ve malzemelerin beton kütlesi içerisinde homojen olarak dağılımı sağlanmış ve karıştırma işlemi betoniyer de yapılmıştır (Resim 3.14).



Resim 3.14 Beton karışımının hazırlanması

Beton harcı kalıplara dökülürken kalıbın bağlı bulunduğu tezgah titreşime tabi tutulmuş ve kalıp dolduktan sonra kalıbın üzerine ağırlık konup titreşim devam ettirilmiş (Resim3.15) ve bu süre 2 dakika 15 saniye de tamamlanmıştır.



Resim 3.15 Küp kalıplarının doldurulması ve titreşime tabi tutulması

3.4.2. Beton Travers Numunelerinin Üretilmesi

Beton travers karışımına giren malzemelerin ölçümleri ağırlık esasına göre yapılmıştır (Resim 3.16 ve 3.17).



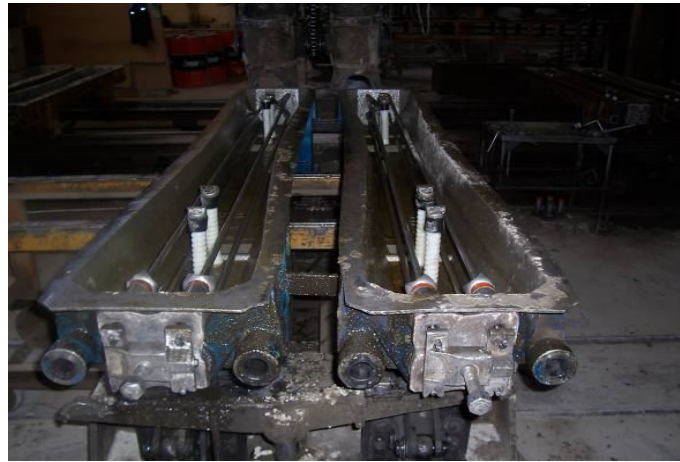
Resim 3.16 Beton travers karışımına giren malzemelerin ağırlıklarının ayarlanması

Betonu oluşturan malzemelerin bir arada karılması işlemi ile bütün agrega tanelerinin çimento hamuru ile kaplanmış olmaları ve malzemelerin beton kütle içinde homojen olarak dağılımı sağlanmıştır. Betonun karıştırılma işlemi betoniyerde yapılmıştır.



Resim 3.17 Ağırlık esasına göre tartılan malzemenin betoniyere alınması

Kalıplar temizlenmiş, bundan sonra maça (kontrol) çubukları transvers kalıbının çapraz uç tarafından içeri sokulmuş, ankrajlar (pullar veya çan rondelâları) maça çubuklarının uçlarına takılmış ve maça çubukları kalıbın içerisindeki deliklerden içeriye itilmiştir. Mesnet parçaları üzerindeki civatalar çan rondelâları hafifçe dışarıya çıkıncaya kadar sıkıştırılmıştır. Sıkıştırma sonucunda maça çubukları ne gevşek sarkmalı nede gayri muntazam bir şekilde sıkıştırılmamıştır. Ray tespit işinin mahiyetine bağlı olarak gerekli elemanlar (plastik dübel) kalıbın içerisine yerleştirilmiştir.



Resim 3.18 Kalıpların hazırlanması

Kalıpların içlerine kalıplama yağı püskürtülmüştür. Kalıp vibrasyonlu tezgâha getirilmiş (Resim 3.19) ve hidrolik olarak gerilime tabi tutulmuştur.



Resim 3.19 Üretime hazırlanmış travers kalıbının vibrasyon tezgahına getirilmesi

Vibrasyon tezgâhı, kalıbı sürekli olarak titreşime tabi tutulmak suretiyle en az dört kat halinde travers kalıpları doldurulmuştur (Resim 3.20). Titreşim süresi betonun işlenebilme kabiliyetine ve vibratörün takat çıkış gücüne bağlı olmakla beraber 2 dakika 15 saniye olarak uygulanmıştır.



Resim 3.20 Kalıbın titreşime tabi tutularak doldurulması

Kalıp noksan doldurulmuş ise kalıbın içine kürekle beton ilave edilmiştir. Betonun daha hızla sıkıştırılması maksadıyla vibratörlerle donatılmış bir sıkıştırma kirişi, kalıp titreşime tabi tutulmakta iken kalıpların içine sallanmıştır (Resim 3.21).



Resim 3.21 Beton traversin sıkıştırma kirişi ile birlikte titreşime tabi tutulması

Titreşim süresi bir sıkıştırma kirişi içerisine tamamen beton dolmuş olan kalıbın kenarına dayandığında 2 dakika 15 saniye sonunda otomatik olarak sona erdirilmiştir. Sıkıştırma kirişinin yukarı alınması ve kalıp gevşetilmesi işleri tabla vibratörlerinin çalıştırılması durdurulup vibratörler yavaşlamaya başladıktan sonra kalıp vibrasyon tablasından, kalıptan çıkarma tablasına aktarılmıştır.

Kalıplar nakledilirken boş kalıp formlarını sıkıştırmaya mahsus iki mesnet parçası gevşetilmiş ve yukarıya kaldırılmak suretiyle çıkarılmıştır. Ray bağlama elemanlarını tutma tertibatları gevşetilip çıkarıldıktan sonra paletler kalıpların üzerine yerleştirilmiştir. Sonra, döndürme düzeni kalıplara ve paletlere takılarak vidalı kelepçelerle emniyete alınmıştır (Resim 3.22).



Resim 3.22 Beton travers kalıbına döndürme düzeneğinin takılması

Buna müteakip kalıplar yukarıya kaldırılıp, döndürülmüş ve kalıptan çıkarma tablalarının 20 mm üzerinde durdurulmuştur. Maça çubukları ilk önce yavaş bir surette gevşetilmiş ve buna müteakiben de eskavatörü tam hızda çalıştırmak suretiyle sökülmüştür (Resim 3.23). Kalıplar, kalıp çıkarma tablalarının üzerine indirilmiştir.



Resim 3.23 Beton traversten maça çubuklarının çıkarılması

Daha sonra kalıplar ve paletler vinç vasıtasıyla kalıp sökme tablasının takriben 15 mm yukarısında kaldırılmıştır. Bu işlemle; traversin, kalıbın ve vincin dikey ayarını sağlamıştır. Bundan sonra kalıplar tablanın üzerine indirilmiştir. Döndürme tertibatının

kelepçeleri gevşetilmiş ve döndürme tertibatı paletler serbest bırakılacak kadar geriye doğru çekilmiş ve kalıptan çıkarma işlemi tamamlanmıştır.

Traversin ray yuvası yerinin eğim ve paralellik bakımından düzgünlüğü bir masterla kontrol edilmiştir (Resim 3.24). Ufak çaplı bir arıza varsa tolerans dışı sapmalar, küçük bir tokmakla hafifçe masterın üzerine vurulmakla düzeltilmiştir. Daha sonra üretilen beton traversler buhar kürü için istife alınmışlardır.



Resim 3.24 Beton traversin masterla kontrol edilmesi

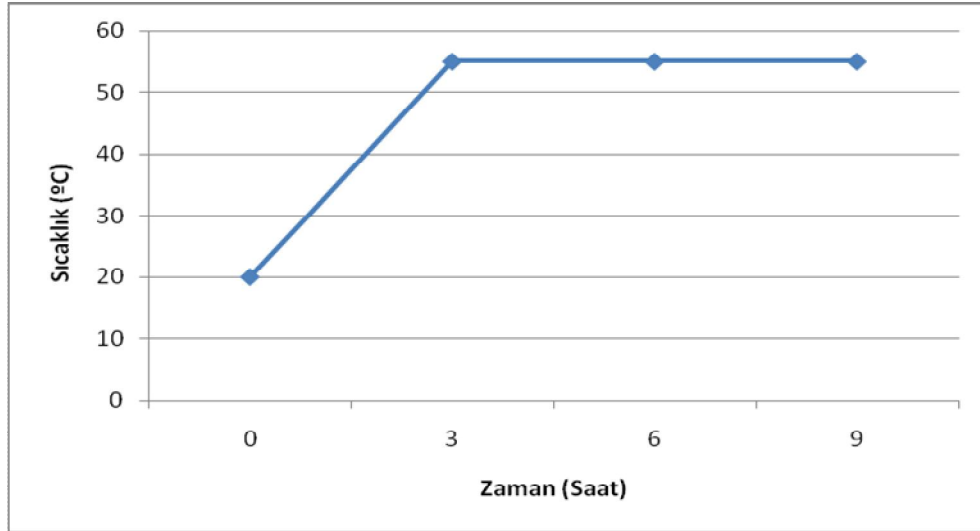
3.4.3. Küp ve Beton Travers Numunelerine Buhar Kürü Uygulanması

Üretilen küp ve beton travers numuneleri buhar kürü için istife alınmış (Resim 3.25) ve bir istif tamamlanır (Buhar kürü için numunelerin istife alınmasına başlanması ile bitiş süresi 90 dakika sürmüştür) tamamlanmaz, kür çadırı istifin üzerine yerleştirilmiştir.



Resim 3.25 Üretilen küp ve beton traverslerin buhar kürü için istiflenmesi

Çadır içerisinde sıcaklık Şekil 3.7 verildiği gibi kademeler halinde yükseltilmiştir. Bu özel buhar kürü devresini çimentonun karakteristikleri ve cinsi önemli derecede etkilemektedir.



Şekil 3.7 Buhar kürü sıcaklık zaman grafiği

Buhar kürünün doğru süresi pratik tecrübelerle tayin ve tespit edilmelidir. Buharın kuvvetli bir şekilde su ile doyurulmuş olması gereklidir. Bu nedenle buhar bir su banyosundan verilmiştir. Buhar kürü ile kısa zamanda (9 saat 55 °C'de) prizlenerek beton travers ve küp numuneler % 70 mukavemetini almıştır (Resim 3.26).



Resim 3.26 Üretilen numunelerin çadır içerisinde buhar kürüne tabi tutulması

3.4.3. Beton Traverslerin Öngeriliminin Yapılması

Buhar küründen sonra üretilen beton traverslerin öngerme işlemlerinin yapılması işlemine geçilmiştir. Yağları temizlenmiş olan U-civataları, önce bariz bir şekilde kısa olan bulon ve sonra daha uzun olanı çapraz uç tarafından takılmıştır. Gergi çeliklerini boşluklarına takarken gereksiz yere aşırı kuvvet kullanılması büküm yerleri ve dişleri bozacağı için ayrı özen gösterilmiştir. U-civatalarında yağ ve gres bulunmamalıdır. Traverslerin ön gerilim uçuna altıgen yarık somunlar takılmıştır ve uygun bir aletle sağlam bir şekilde sıkıştırılmıştır.



Resim 3.27 Beton travers numunelere gergi çeliklerinin takılması

Motorlu Ön Gerilim Ünitesi: Motorla çalışan gerilim üniteleri (hidrolik pompa) sadece gerilim uygulaması esnasında çalışacak tarzda imal edilmiştir. Ön gerilim yükünün iki kademedede uygulanması gerekir. Ön gerilim değerinin takriben yarısı uygulandıktan sonra, hidrolik basınç boşa alınmıştır. Vites kutusu çalıştırılmış ve miller daha fazla vira edilmiştir.

Bu işlem miller somunlara ulaştığında ve sürtünmeli kavrama kaydığında sona erdirilmiştir. Bundan sonra vites kutusundan geçme anahtarlarını devreye sokmak üzere vites değiştirilmiş ve artık tam ön gerilim uygulama aşamasına gelinmiştir. Altıgen başlı yarık somunların sıkıştırılması el ile tamamlanmıştır. Bunu yapmak için, hidrolik pistonlar tam basınç altında iken vitesin değiştirilmesi somunların birer birer bir cırcırlı anahtarla ayarlanması gerekmektedir. Somun çan rondela ile temas halinde olduğu hususu göstergede hafif ani bir basınç düşmesiyle kendini belli eder.

Pistonlardan basınç kaldırmak maksadıyla hidrolik kumanda çalıştırılıp ve sol el kumandasıyla miller bulonların üzerinde geri çekilerek alınır ve ön germe işlemi tamamlanmıştır ve bu şekilde yüksek evsafli ve uçları yivli 2 adet U şeklinde Ø 9.4 mm'lik çelik çubuklar çapraz olarak beton traversin içerisine yerleştirilmiş ve çubukların her 4 serbest ucu özel çekici apereyle 7,005'er ton gerdirilip toplam 28,020 ton bir gergi kuvvetiyle travers başına somun ile ankre edilmiştir (Resim 3.28).



Resim 3.28 Beton traverslere öngerme yükünün uygulanması

Dinometre Testi: Dinometre testi ile beton traversin, enjeksiyon öncesi ön gerilimi tayin edilmiştir ve beton şerbeti (karışım bileşime giren maddeler sırasıyla su, katkı maddesi ve çimentodur) betoniyerde (Resim 3.29) iyice karıştırılmasından sonra şerbeti traverslere enjekte etmek için betoniyerin lastik contalı kepi hidrolik olarak travers krozetine karşı bastırılmıştır.



Resim 3.29 Beton şerbetinin hazırlanması

Şerbet bir hortum ve enjeksiyon kepi içinde 2-4 atmosferlik bir basınç altında travers kanallarına sıkılmıştır (Resim 3.30). Kalafatlama harcının uygulanmasından önce gerilme başlığı boşluklarına şerbet ile doldurulmuş bir alet sokup somunları şerbet ile sıvanması sağlanmıştır.



Resim 3.30 Beton şerbetinin beton travers kanallarına sıkılması

Bu uzun süre gerilme elemanının korozyona karşı korunmasını sağlar. Daha sonra traversin krozet ucu ve öngerilim ucu kalafat harcı ile doldurulmuştur (Resim 3.31).



Resim 3.31 Traverslerin krozet ve öngerilim uçlarının kalafat harcı ile doldurulması



Resim 3.32 Traverslerin istiflenmesi

Buna müteakip traverslerin uçlarına iki kat soğuk asfalt püskürtülmüştür. Bu işlem kalafat harcından buharlaşma suretiyle su kaybını önlemektedir (Dywidag 1976).



Resim 3.33 Üretilen beton traversler

3.5. Sertleşmiş Beton Deneyleri

Bu çalışmada üretilen, tek bloklu B.58 beton travers numuneler üzerinde eğilme dayanımı ve ultrases hızı, küp numuneler üzerinde ise 1 ve 28 günlük basınç dayanımı, birim hacim ağırlık, ultrases hızı, donma çözünme ve su emme deneyleri yapılmıştır.

3.5.1. Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini (TS EN 12390-7)

Deneyin Amacı: Sertleşmiş hafif normal ağırlıklı ve ağır betonların yoğunluğunu belirleyerek betonarme hesaplamalarda kullanılan yapı elemanının öz ağırlığını ve betonların yoğunluklarına göre gruplandırmasını sağlamaktadır.

Deneyde Kullanılan Aletler:

- Kumpas ve cetvel; numune boylarını, $\pm\%0,5$ sapma sınırları içerisinde ölçmeye uygun olan,
- Terazî; numuneyi tartmak için,
- Sıcaklığı (105 ± 5) °C'de sabit tutabilen etüv kullanılmıştır.

Deneyin Yapılışı:

- Numune, (105 ± 5) °C sıcaklıktaki hava dolaşımli etüvde, 24 saat aralıkla yapılan tartımdaki kütle değişimi % 0,2'den daha az hale gelinceye kadar tutulur. Daha sonra numuneler her tartımdan önce oda sıcaklığına gelinceye kadar, kuru, hava sızdırmaz kapalı kap içerisinde soğutulduktan sonra tartılır. Etüv kuruşu nemunenin okunan kütleşu (m_0), kg olarak kaydedilir.
- Kalibre edilmiş kalıp kullanılarak hazırlanan (belirtilmiş boyutlar kullanılarak elde edilen) numunelerin boyutları kontrol edilmelidir. Kúp numune hacmi, m^3 cinsinden hesaplanmalı ve sonuç, on binde bir hanesine yuvarlatılarak gösterilmelidir.
- Yoğunluk, numunenin tayin edilen kütleşu ve hacmi kullanılarak, Formül (3.15) yardımıyla hesaplanır.

$$D = \frac{m_0}{V} \quad (3.15)$$

Bu formülden;

D: Numunenin, etüv kuruşu birim hacim kütleşu kg/m^3 ,

m_0 : Numunenin, etüv kuruşu kütleşu kg ,

V: Belirtilmiş boyutlar kullanılarak elde edilen hacmi, m^3 'tür (Şimşek 2007).

3.5.2. Su Emme Deneyi

Sertleşmiş betonun içerisindeki boşlukların tümü suyla dolu durumda değil ise, ıslak ortamda, betonun içerisindeki boşluklara dışarıdan su girebilmektedir. Bu işlem, betonun suya doymuş duruma gelmesine kadar devam edebilmektedir.

Beton tarafından, içerisindeki boşluklara fiziksel olarak su çekilmesi işlemine su emme denilmektedir. Sertleşmiş betonun su emme miktarının tayini ile ilgili Türk standartı TS 3624'tür. ASTM standartları tarafından belirtilmiş bir yöntem yoktur.

Deneyin Yapılışı: Sertleşmiş beton numunesi, önce 105 °C sıcaklıktaki ortamda kuru duruma getirilmekte, ve numunenin bu durumdaki ağırlığı (m_0) ölçülmektedir. Daha sonrada, kuru numune, su dolu bir kap içerisinde 24 saat tutulmakta, ve bu sürenin sonunda, numunenin suya doymuş durumdaki ağırlığı (m_s) ölçülmektedir. Numunenin sudan çıkarıldıktan sonra suya doymuş durumdaki ağırlığı ile, kuru ağırlığı arasındaki fark, beton tarafından emilen suyun miktarını göstermektedir. Su emme kapasitesi, betona giren su miktarının, beton kuru ağırlığına bölünmesiyle Formül (3.16) ile bulunmakta, ve % olarak ifade edilmektedir (Erdoğan 2007).

$$a_s = \frac{m_s - m_0}{m_0} \times 100 \quad (3.16)$$

Bu formülde;

a_s : Numunenin su emme oranı (%)

m_0 : Numunenin etüv kurusu ağırlığı (g)

m_s : Numunenin suya doymuş ağırlığı (g)

3.5.3. Basınç Deneyi (TS EN 12390-3)

Deneyin Amacı: Belirli yaşlardaki beton numunelerin birim alanın taşıyabileceği yük miktarının belirlenmesi ve aynı karışımla üretilen betonun gerçek uygulamadaki elemanın taşıyabileceği yük hakkında fikir yürütmektir.

Deneyde Kullanılan Aletler:

- Deney presi: Presin yük kapasitesi, deney numunelerini kırmaya yeterli yükün en az 1/10'u kadar fazla olmalıdır.

Deneyin Yapılışı:

- Deney numune ağırlığının, ölçülen numune hacmine bölünmesiyle yaklaşık birim hakim ağırlıkları saptanır,
- Sonra boyutları 1 mm duyarlıklı ölçülür,
- Numunelerin dikliği kontrol edilir,
- Numunelerin boy farkı kaba çıkıntılar, pürüzler kesme veya aşındırma ile uygun hale getirilir,
- Numunenin görünür yoğunluğu için gerekli ölçüm ve tartım işlemi yapılır,
- Numune; deney presinin numune ile temas eden yüzeylerine, dökme yüzeyi gelmeyecek şekilde deney presine yerleştirilir,
- Deney numunesi yavaş yavaş oynatılarak deney numunesi düşey eksenin pres yüzeyinin merkezi ile çakışması sağlanır,
- Yükleme hızı ve darbe etkisi yapmayacak şekilde, $0,2 \pm 1$ MPa (N/mm²) saniyelik uniform gerilme artışı sağlayacak şekilde uygulanır,
- Deney numunesinin kırıldığı (Resim 3.34) andaki pres ibresinin gösterdiği en yüksek yük (F) Newton cinsinden okunur,
- Basınç dayanımı Formül (3.17) ile tam sayıya yuvarlatılarak bulunur.

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (3.17)$$

Bu formülde;

f_c : Beton deney numunesi basınç dayanımı 0,5 (N/mm²) yuvarlatılarak verilmelidir (N/mm²),

F: Kırılma yükü (N),

A_c : Deney yükü uygulama yönüne dik deney numunesi kesit ortalama alanı (mm²) (Şimşek 2007).



Resim 3.34 Basınç deneyi yapılması

3.5.4. Ultrases Hızı Deneyi İle Beton Kalitesinin Kontrolü (ASTM C 597)

Ultrasonik test yöntemi ile, betonun bir yüzeyinden içeriye gönderilen sesüstü dalgalarının beton içerisindeki ilerleme hızı hesaplanmaktadır (Resim 3.35).

Betonun içerisinde geçen sesüstü dalgasının hızı ile beton dayanımı arasında doğrudan bir ilişki yoktur. Ancak, sesüstü dalganın hızı ile betonun yoğunluğu arasında belirli bir ilişki bulunmaktadır. Yoğunluğu az olan bir betonda, yani, içerisinde daha çok boşluk bulunan bir betonda, sesüstü dalganın betonun bir yüzeyinden diğerine ulaşabilme daha

uzundur. Bir başka değişle, betonun içerisindeki boşluk miktarı artıkça, sesüstü dalganın hızı daha az olmaktadır.



Resim 3.35 Ultrases hızı deneyi yapılması

Bilindiği gibi, betonun yoğunluğu ile basınç dayanımı arasında belirli bir ilişki bulunmaktadır. Yoğunluğu yüksek olan betonların basınç dayanımları da genellikle yüksektir. Su/imento oranı yüksek olan betonlar daha çok kapiler boşluk içerdiklerinden, bu betonların yoğunluğu ve basınç dayanımları da yüksek değildir. Sıkıştırma işlemi yeterince yapılmamış olan betonlarda da daha çok boşluk yer aldığı için, bu tür betonların yoğunluğu ve basınç dayanımları yüksek değildir.

Ultrasonik test yöntemiyle herhangi bir betonun basınç dayanımını yeterince hassas olarak bulabilmek zor olmakla birlikte, herhangi bir beton içerisinden geçen sesüstü dalganın hızı, o betonun içerdiği boşluk miktarı (ve yoğunluğu) ile yakından ilgili olduğu için, elde edilen ultrases hızı ile betonun kalitesi hakkında genel bir ilişki kurabilmek mümkün olabilmektedir. Whitehurst tarafından yoğunluğu yaklaşık 2400 kg/m³ olan betonlar üzerinde yapılan deneysel çalışmalar sonunda, sesüstü dalga hızı bilindiği takdirde beton kalitesinin ne olabileceğine dair önerilen sonuçlar izelge 3.14'de gösterilmektedir (Erdoğan 2007).

Çizelge 3.14 Ultrasonik testle beton kalitesinin değerlendirilmesi (Erdoğan 2007).

Dalga hızı, (metre/saniye)	Beton Kalitesi
> 4500	Mükemmel
3500 – 4500	İyi
3000 – 3500	Şüpheli
2000 – 3000	Zayıf
< 2000	Çok zayıf

Deneyin Amacı: Betonda yayılma hızının ultrasen ile tayininde, mekaniğe dönüşen titreşim vuruşlarının ölçülen zamanı deney numunesinin belli bir ölçüm uzunluğunun boyunca saptanır ve bu yayılma hızı (km/sn) olarak verilir.

Deneyde Kullanılan Aletler:

- Ultrasen cihazı,
- Ölçü bantları,
- Kontak maddesi (kalın yağ, alçı, vazalin vs.),
- Zımpara makinesi kullanılmıştır.

Deneyin Yapılışı:

- Ölçüm noktaları, cihazın gönderici ve alıcı uçları karşılıklı, paralel olacak şekilde seçilmeli ve cm cinsinden ölçülmeli, hesaplamada km kullanılmalıdır,
- Düzgün olmayan (pürüzlü) beton yüzeyi ölçüm noktaları zımpalanarak, düzgün hale getirilir,
- Beton ölçüm noktaları arasındaki (cihazın alıcı ve gönderici uçlar) uzaklık % 1 duyarlılıkla ölçülür veya hesaplanır,
- Alıcı ve gönderici uçlara kontak maddesi sürülür,
- Uçlar beton ölçüm noktalarına sıkıca bastırılır ve cihazdan geçiş süresi (μ s) mikro saniye cinsinden okunur ve saniyeye çevrilir,
- Ölçümler, geliş güzel seçilen bir çok noktadan tekrarlanır,
- Okunan ses geçiş süresi ses hızına Formül (3.18) ile çevrilir (Şimşek 2007).

$$V = \frac{l}{t} \quad (3.18)$$

Bu formülde;

V: Ultrases hızı (km/sn)

t: Ses geçiş süresi (saniye)

l: Ölçü boyu (km)

3.5.5. Eğilme Deneyi (TS EN 12390-5)

Çalışmada üretilen her seriden iki adet olmak üzere 36 adet tek bloklü B.58 beton travers üzerinde eğilme deneyi, beton traversinin orta noktasından yük uygulanma yöntemi ile yapılmıştır.



Resim 3.36. Beton traverslerin eğilme deneyi makinesine yerleştirilmesi

Bu metotla traverse orta noktasından tekil bir yük uygulanmış ve Formül (3.19) ile eğilme dayanımı hesaplanmıştır.

$$f_{cf} = \frac{3FL}{2d_1d_2^2} \quad (3.19)$$

Bu formülde;

f_{cf} = Eğilme dayanımı (MPa, N/mm²),

F = En büyük yük (N)

L = Mesnet silindirleri arasındaki açıklık (mm)

d_1 = Genişlik (mm)

d_2 = Yükseklik (mm)



Resim 3.37 Eğilme deneyi yapılması

3.5.6. Donma Çözünme Deneyi (TS 3449)

Bu deneyin amacı donma çözünme etkisi altında kalabilecek betonların donma-çözünme direncini saptayarak betonun donmaya karşı kalite kontrolünü yapmaktır (Şimşek 2007).

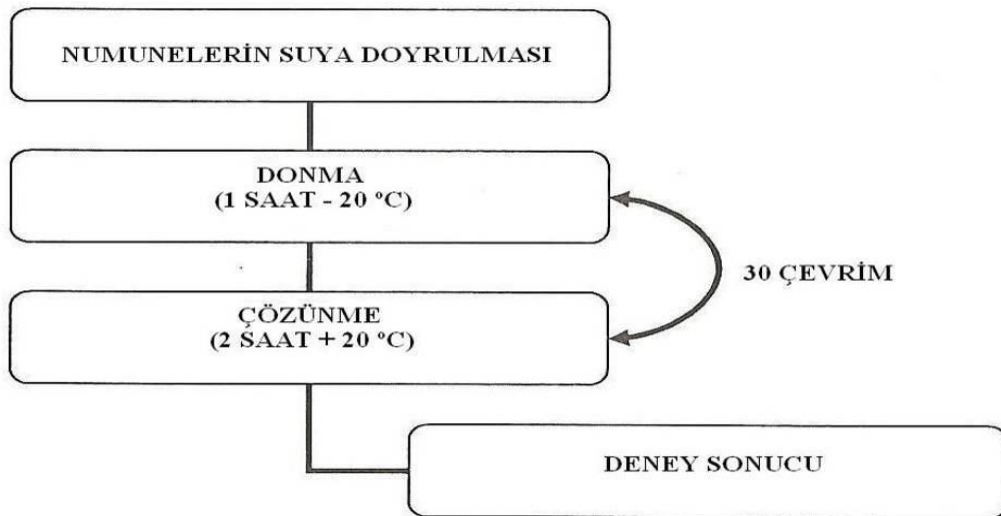
Donma çözünme deneyine tabi tutulacak numuneler, etüv fırınında 24 saat 105 ± 5 °C'de bekletilmiş ve fırından çıkarılarak oda sıcaklığına ulaşması beklendikten sonra etüv kurusu (Go) ağırlıkları bulunmuştur. Etüv kurusu halindeki küp numuneler

üzerinde ultrases hızı (V_0) değerleri bulunmuştur. Bu deneyin ardından numuneler suya doygun hale getirilmek için 24 saat su içerisinde bekletilmiştir. Suyu doygun hale getirilen numuneler Resim 3.38’de görülen donma çözünme dolabına konmuştur.



Resim 3.38 Donma çözünme deneyi yapılması

Her çevrim 1 saat $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ donma ve 2 saat $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’de çözünmeden oluşmak üzere 30 çevrim donma – çözülme uygulanmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 Donma çözünme deneyi uygulama şeması

Donma çözülme işlemi sonunda numuneler etüv fırınında 24 saat 105 ± 5 °C’de değişmez kütleye gelinceye kadar kurutulmuş ve oda sıcaklığına ulaşması beklendikten sonra etüv kuru (Gk) ağırlıkları bulunmuştur. Donma çözünme deneyi sonucu küp numuneler üzerinde meydana gelen kütle kaybı (Dk) Formül (3.20) ile hesaplanmıştır.

$$Dk = \frac{Go - Gk}{Go} \times 100 \quad (3.20)$$

Bu formülde;

Dk = Tabii don tesirleri sebebiyle meydana gelen kütle kaybı (%),

Go = Numunenin deneyden önceki kütlesi (gr)

Gk = Numunenin deneyden sonraki kütlesi (gr)

Etüv kuru halindeki küp numunelerin ultrases hızları (Vk) bulunmuş ve donma çözünme deneyi sonucu küp numuneler üzerinde meydana gelen ultrases hız kaybı (Δv) Formül (3.21) ile hesaplanmıştır.

$$\Delta v = \frac{Vo - Vk}{Vo} \times 100 \quad (3.21)$$

Bu formülde;

Δv = Tabii don tesirleri sebebiyle meydana gelen ultrases hız kaybı (%),

Vo = Numunenin deneyden önceki ultrases hızı (km/sn)

Vk = Numunenin deneyden sonraki ultrases hızı (km/sn)

Bundan sonra etüv kuru halindeki küp numunelerin basınç dayanımları (fdb) bulunmuştur. Bu şekilde donma sonu basınç mukavemeti ortalaması ile donma deneyi uygulanmamış numunede bulunan basınç mukavemeti ortalaması değerlerinden yararlanılarak donma çözünme deneyi sonucu meydana gelmesi muhtemel azalma Formül (3.22) ile hesaplanmıştır.

$$\Delta f = \frac{fb - fdb}{fb} \times 100 \quad (3.22)$$

Bu formülde;

Δf = Tabii don tesirleri sebebiyle basınç mukavemetinde meydana gelen azalma (%),

f_b = Tabii don deneyi uygulanmamış numunenin basınç mukavemeti aritmetik ortalaması (MPa)

f_{db} = Numunenin don sonu basınç mukavemeti ortalaması (MPa)

4. BULGULAR

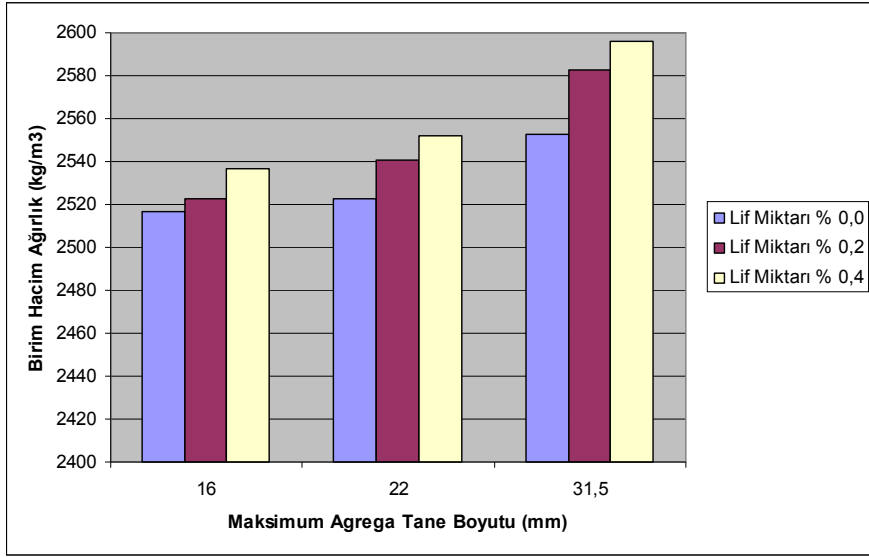
4.1. Sertleşmiş Beton ile İlgili Bulgular

Bu çalışmada bazalt ve kalker agregaları ile, maksimum tane boyutları 16 mm, 22 mm ve 31,5 mm ve çelik lif miktarı hacimce % 0.0, % 0.2, % 0.4 olmak üzere ayrı ayrı 18 farklı seriden toplam 72 adet küp (20x20x20 cm) ve toplam 36 adet tek bloklu B.58 beton travers üretilmiştir. Üretilen küp numuneleri üzerinde 1 ve 28 günlük basınç dayanımı, birim hacim ağırlık, ultrases hızı, donma çözünme ve su emme ve tek bloklu B.58 beton travers numuneleri üzerinde ise ultrases hızı ve eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Sertleşmiş beton deneyleri ile ilgili sonuçlar Çizelge 4.1’de verilmiştir.

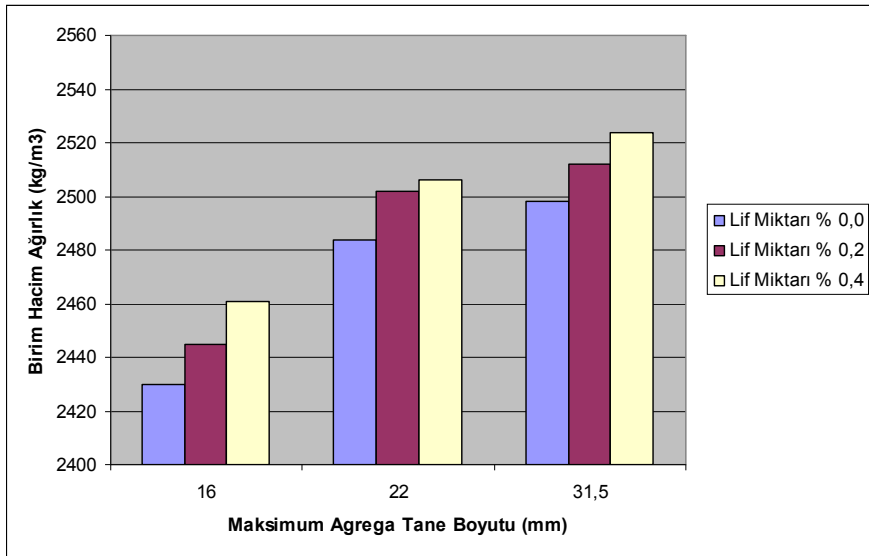
Çizelge 4.1 Sertleşmiş beton deneylerinin sonuçları

Seri Numarası	Küp Numunelerinin Deney Sonuçları								Travers Numunelerinin Deney Sonuçları	
	Birim Hacim Ağırlığı (kg/m ³)	1 Günlük Basınç Dayanımı (Mpa)	28 Günlük Basınç Dayanımı (Mpa)	Ultrases Hızı (km/sn)	Su Emme Oranı (%)	Donma Çözünme Deneyi Sonucunda Meydana Gelen Kayıplar			Ultrases (km/sn)	Eğilme Dayanımı (MPa)
						Ağırlık Kaybı (%)	Ultrases Kaybı (%)	Basınç Kaybı (%)		
B30	2553	54,0	75,5	4,74	1,36	0,04	4,12	3,5	4,80	20,0
B32	2583	52,4	72,9	4,69	1,64	0,03	3,50	3,1	4,77	20,4
B34	2596	53,1	73,6	4,70	1,53	0,00	2,93	2,8	4,78	20,6
B20	2523	55,9	74,4	4,71	1,42	0,05	4,75	3,7	4,79	20,1
B22	2541	58,6	76,2	4,76	1,45	0,04	4,16	3,5	4,83	20,4
B24	2552	55,4	67,9	4,64	1,41	0,01	3,35	3,0	4,74	20,6
B10	2517	52,2	68,5	4,65	1,37	0,07	5,30	4,0	4,75	19,6
B12	2523	45,8	65,4	4,62	1,79	0,06	4,25	3,5	4,73	19,9
B14	2537	44,2	65,0	4,61	1,76	0,02	3,85	3,3	4,72	20,1
K30	2498	52,5	64,8	4,59	1,32	0,03	4,90	3,9	4,72	19,9
K32	2512	51,8	61,4	4,53	1,17	0,02	4,07	3,4	4,67	20,2
K34	2524	52,1	63,3	4,56	1,44	0,00	3,73	3,2	4,70	20,4
K20	2484	53,8	69,9	4,67	1,02	0,04	5,37	4,0	4,76	19,9
K22	2502	51,4	64,0	4,57	1,02	0,02	4,50	3,6	4,71	20,3
K24	2506	53,0	67,3	4,63	1,20	0,01	4,37	3,5	4,74	20,5
K10	2430	45,3	60,8	4,51	1,18	0,05	5,94	4,5	4,66	19,4
K12	2445	46,5	62,5	4,54	1,31	0,04	5,49	4,0	4,69	19,7
K14	2461	42,1	57,2	4,49	1,51	0,02	4,83	3,8	4,65	19,9

4.1.1. Birim Hacim Ağırlık Deney Sonuçları



Şekil 4.1 Bazalt agregası ile üretilen küplerin birim hacim ağırlıkları



Şekil 4.2 Kalker agregası ile üretilen küplerin birim hacim ağırlıkları

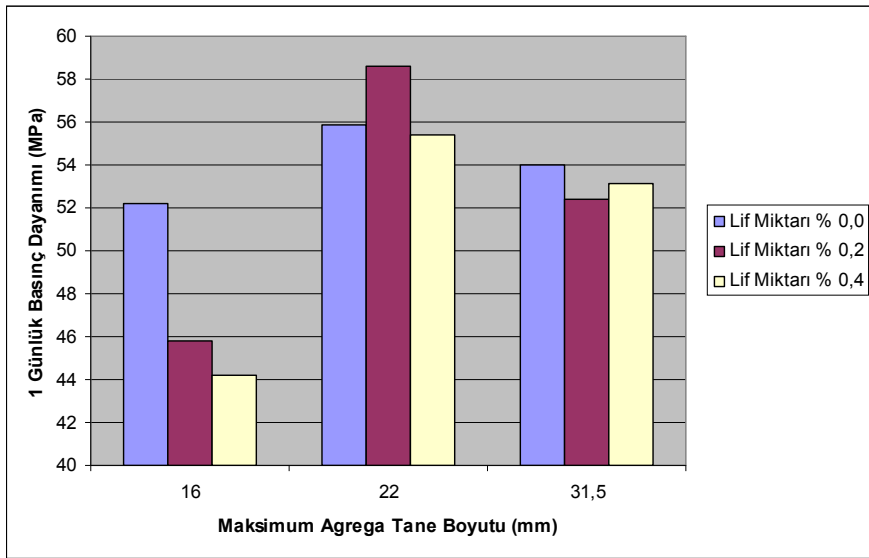
Beton içerisine katılan çelik lifler betonun birim hacim ağırlığını etkilemiş ve lif miktarı arttıkça birim hacim ağırlığında arttığı gözlenmiştir. Bu artışın nedeni olarak, çelik lifin özgül ağırlığının, çalışmada kullanılan (bazalt-kalker) agregaya özgül ağırlığından fazla olmasından dolayı olduğu düşünülmektedir.

Beton karışımında kullanılan agregaya (bazalt-kalker) türüne göre değerlendirildiğinde ise bazalt agregası ile üretilen betonun, kalker agregası ile üretilen betondan birim hacim ağırlığının daha yüksek geldiği gözlenmiştir. Ancak aradaki fark çok az miktardadır. Bu farkın nedeninin bazalt agregası özgül ağırlığının, kalkerden daha yüksek olduğundan dolayı meydana geldiği düşünülmektedir.

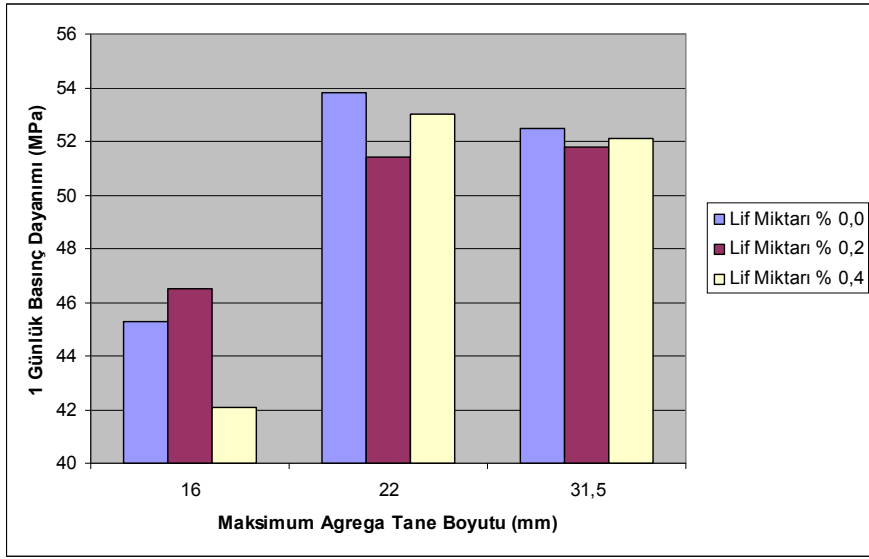
Agrega maksimum tane boyutu açısından birim hacim ağırlık değerlendirildiğinde ise, her iki agregaya türünde de, betonun birim hacim ağırlığı agregaya tane boyutu ile doğru orantıda kısmi bir artışa neden olmaktadır. Bunun sebebi farklı tane boyutundaki agregaların karışımında kullanılması sonucu betondaki boşluk miktarının azalması olduğu düşünülmektedir.

4.1.2. Basınç Dayanımı Sonuçları

4.1.2.1. Küplerin 1 Günlük Basınç Dayanımı Sonuçları



Şekil 4.3 Bazalt agregası ile üretilen küplerin 1 günlük basınç dayanımları



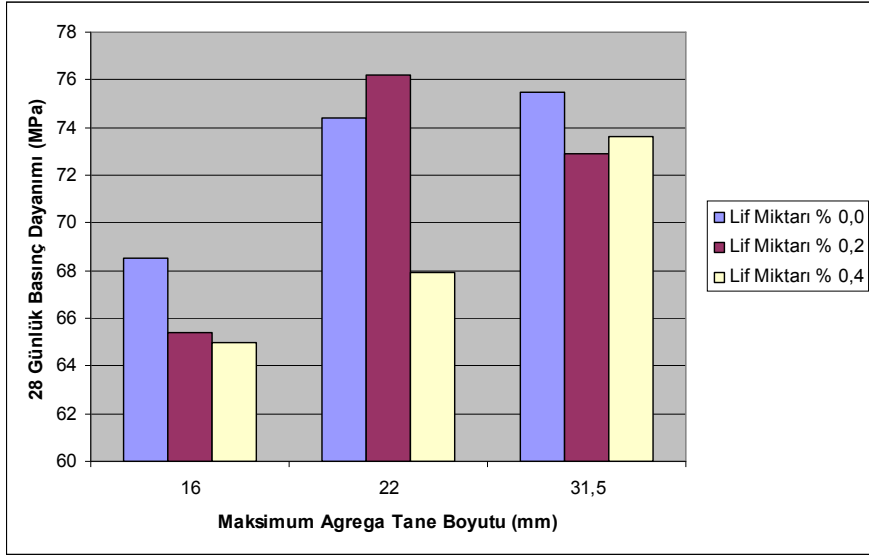
Şekil 4.4 Kalker agregası ile üretilen küplerin 1 günlük basınç dayanımları

TCDD Afyon Beton travers fabrikası tarafından, tek bloklı B.58 beton travers üretiminde sınır değeri olarak kullanılmakta olan, Dywidag normları açısından, üretilen beton traverslerin üretiminde alınan 20x20x20 cm'lik küplerin 1 günlük basınç mukavemetlerinin en az 48 MPa olması istenmektedir. Bu çalışma kapsamında üretilen 20x20x20 cm'lik küp numunelerin sadece B12, B14, K10, K12 e K14 serilerinin 1 günlük basınç mukavemetleri 48 MPa'dan az geldiği gözlenmiştir. Diğer taraftan maksimum tane boyutu 22 ve 31,5 mm olan seriler istenen dayanımı sağlamıştır.

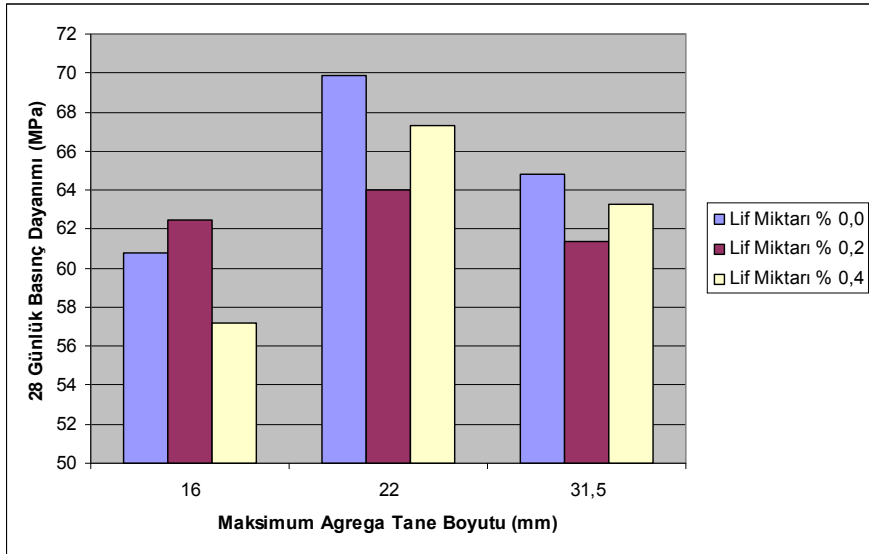
Numunelerin üretiminde kullanılan lifin basınç dayanımına olumlu bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir. Agregat türü açısından 1 günlük basınç dayanımı değerlendirildiğinde bazalt agregası kullanılarak üretilen numunelerin basınç dayanımları kalker agregası ile üretilen numunelere göre daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi olarak bazalt agregasının aşınma değerinin daha düşük olmasının yanı sıra çimento bağlayıcısı ile daha iyi aderans sağlamasına bağlanabilir.

Maksimum tane boyutu açısından 1 günlük basınç dayanımı değerlendirildiğinde, en yüksek basınç dayanımının maksimum tane boyutu 22 mm olan agregat türünde % 0,2 lif katkı betonda olduğu gözlenmiştir. Lif miktarı arttıkça genel olarak dayanım değerlerinde belirli bir azalma eğilimi görülmüştür.

4.1.2.2. Küplerin 28 Günlük Basınç Dayanımı Sonuçları



Şekil 4.5 Bazalt agregası ile üretilen küplerin 28 günlük basınç dayanımları



Şekil 4.6 Kalker agregası ile üretilen küplerin 28 günlük basınç dayanımları

TCDD Afyon Beton travers fabrikası tarafından, tek bloklı B.58 beton travers üretiminde sınır değeri olarak kullanılmakta olan, Dywidag normları açısından, üretilen beton traverslerin üretiminde alınan 20x20x20 cm'lik küplerin 28 günlük basınç mukavemetlerinin en az 60 MPa olması istenmektedir. Bu çalışma kapsamında üretilen 20x20x20 cm'lik küp numunelerden sadece K14 serisinde 28 günlük basınç

mukavemeti 60 MPa'dan düşük gelmiştir. 1 günlük basınç dayanımı Dywidag normlarına göre 48 MPa'dan az gelen B12, B14, K10, K12 serilerinin 28 günlük basınç mukavemetleri ise 60 MPa'nın üstünde elde edilmiştir. Yani zamana göre basınç dayanımların da artış görülmüştür.

Agrega türünün basınç dayanımı üzerine etkisi incelendiğinde 1 günlük numunelerde olduğu gibi 28 günlükde de bazalt agregalarının etkisi kalker agregalı betonlara göre daha yüksek çıktığı görülmüştür. Bu durum bazaltın dayanımının ve özgül ağırlığının kalker agregasına göre daha yüksek olmasının neticesinde dayanımının arttığı söylenebilir.

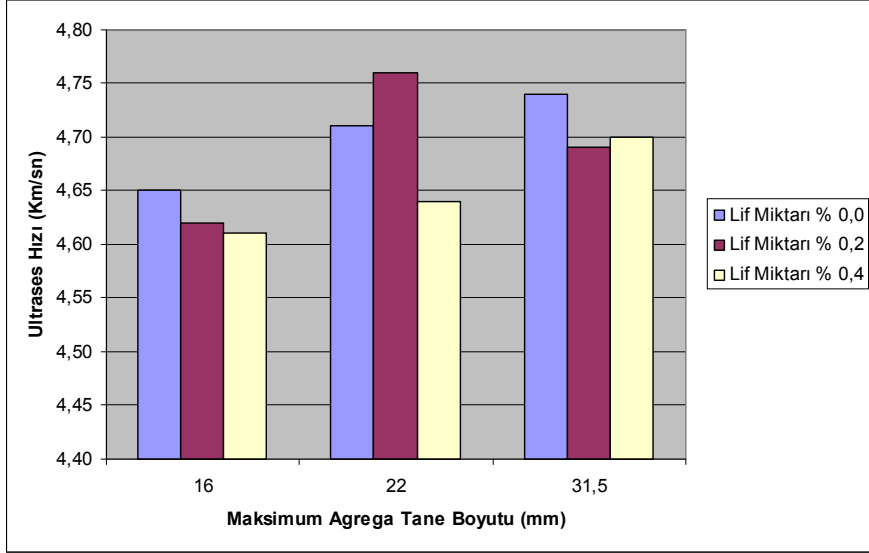
Bazalt agregaları daha düşük aşınma kaybına sahip olmakla birlikte kireçtaşına göre daha fazla su emme değerine sahip, bu da bazalt agregalarının kireçtaşına göre daha gözenekli agregalar olduğunu göstermektedir. Gözeneklerde bulunan serbest su çimentonun hidratasyonu sırasında kullanılmış olup, agregada gözeneklerinde de çimento hidrate ürünleri gelişmiştir. Böylece bazalt agregalarının kullanılmasıyla, çimento hamuru agregada ara yüzeyindeki kenetlenme veya aderans derecesi kireç taşıyla üretilen betonlara göre çok daha yüksek olmuştur. Bu sayede ileriki yaşlardaki basınç dayanımı değeri de kenetlenmenin daha iyi olmasından dolayı bazalt agregasının kullanıldığı serilerde daha fazladır.

Maksimum tane boyutu açısından 28 günlük basınç dayanımı değerlendirildiğinde, en yüksek basınç dayanımının maksimum tane boyutu 22 mm olan agregada türlerinde olduğu gözlenmiştir.

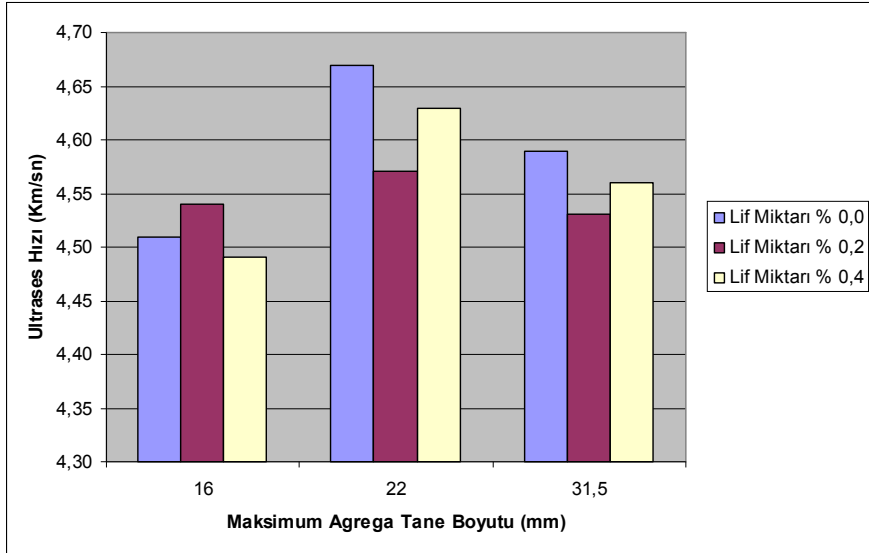
Basınç dayanımı; çelik liflerle güçlendirilmiş betonlar üzerinde yapılmış değişik araştırma sonuçlarına göre, lifler betonun basınç dayanımını her zaman doğrudan etkilememekte, % 25 seviyesinde basınç dayanımı artışı görülebileceği gibi bazen de bu düzeyde kaybı ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada kullanılan lif ve miktarlarının basınç dayanımı açısından olumlu bir etki yapmadığı sonucuna varılmıştır.

4.1.3. Ultrases Hızı Deney Sonuçları

4.1.3.1. Küplerin Ultrases Hızı Deney Sonuçları



Şekil 4.7 Bazalt agregası ile üretilen küplerin ultrases hızları



Şekil 4.8 Kalker agregası ile üretilen küplerin ultrases hızları

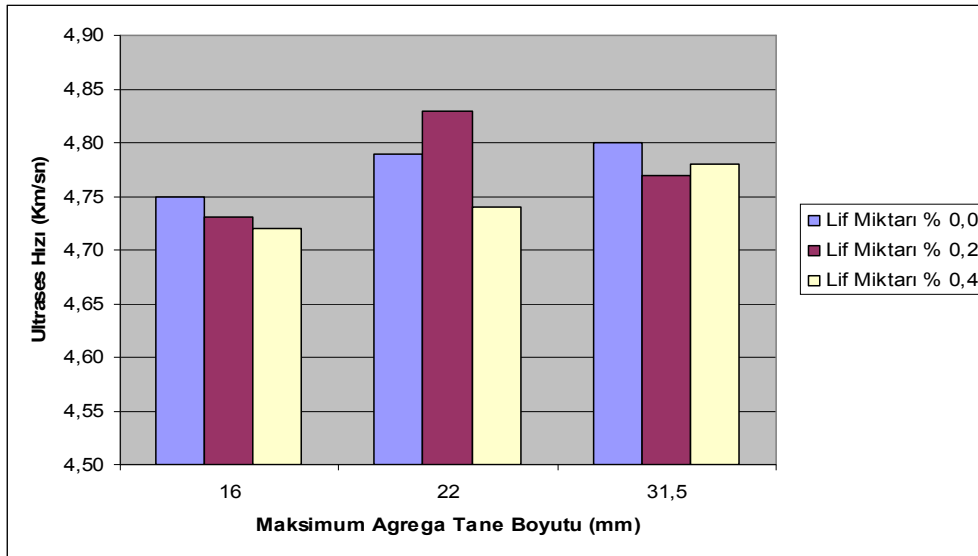
Betonun içerisinde geçen sesüstü dalgasının hızı ile beton dayanımı arasında doğrudan bir ilişki olmadığı, sesüstü dalga ile betonun yoğunluğu arasında belirli bir ilişki bulunduğu yani yoğunluğu az olan bir betonda (içerisinde daha çok boşluk bulunan)

sesüstü dalganın betonun bir yüzeyinden diğerine ulaşabilme süresinin daha uzun olduğu literatür çalışmalarıyla bilinmektedir. Betonun yoğunluğu ile basınç dayanımı arasında belirli bir ilişki bulunmaktadır. Yoğunluğu yüksek olan betonların basınç dayanımları da genellikle yüksektir. Ultrases hızı deneyleri ile herhangi bir betonun basınç dayanımını yeterince hassas olarak bulabilmek zor olmakla birlikte, herhangi bir betonun içerisinden geçen sesüstü dalganın hızı, o betonun içerdiği boşluk miktarı (ve yoğunluğu) ile yakından ilgili olduğu için, elde edilen ultrases hızı ile betonun hakkında genel bir ilişki kurulabildiği literatür çalışmalarıyla bilinmektedir.

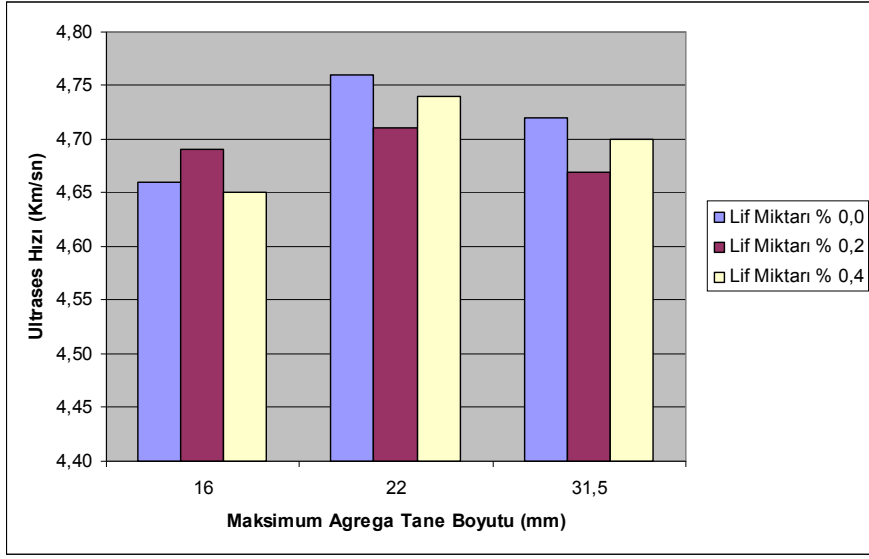
Literatür çalışmalarından da bilindiği gibi bu çalışmada üretilen serilerin küp numuneleri üzerinde yapılan ultrases hızı deneylerinin sonuçlarının 1 ve 28 günlük basınç dayanımları ile doğru orantılı olduğu gözlenmiştir. Yani küp numunelerin ultases hızı ile basınç dayanımların doğru orantılı olduğu saptanmıştır.

Her seriden üretilen küp numuneler üzerinde yapılan ultrases hızı deneyin sonuçlarına göre betonun kalitesinin, mükemmel beton sınıfında olduğu gözlenmiştir.

4.1.3.2. Traverslerin Ultrases Hızı Deney Sonuçları



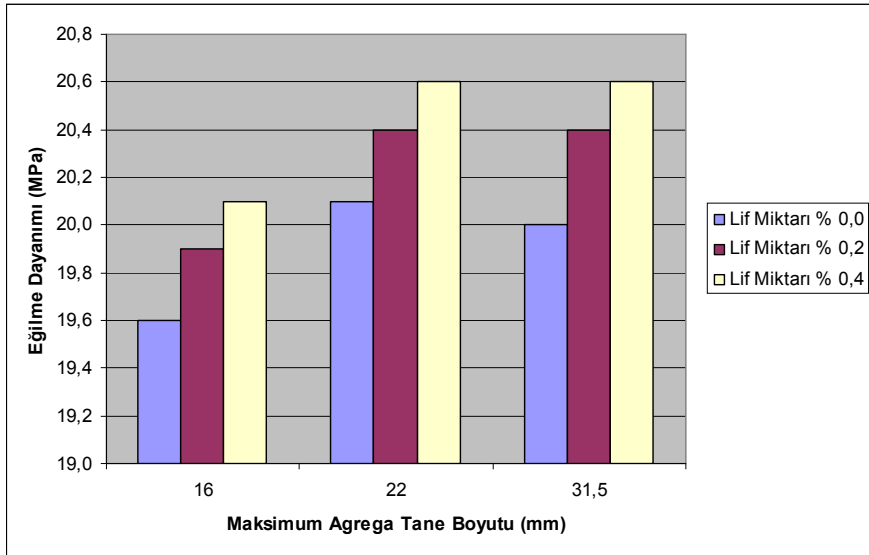
Şekil 4.9 Bazalt agregası ile üretilen beton traverslerin ultrases hızları



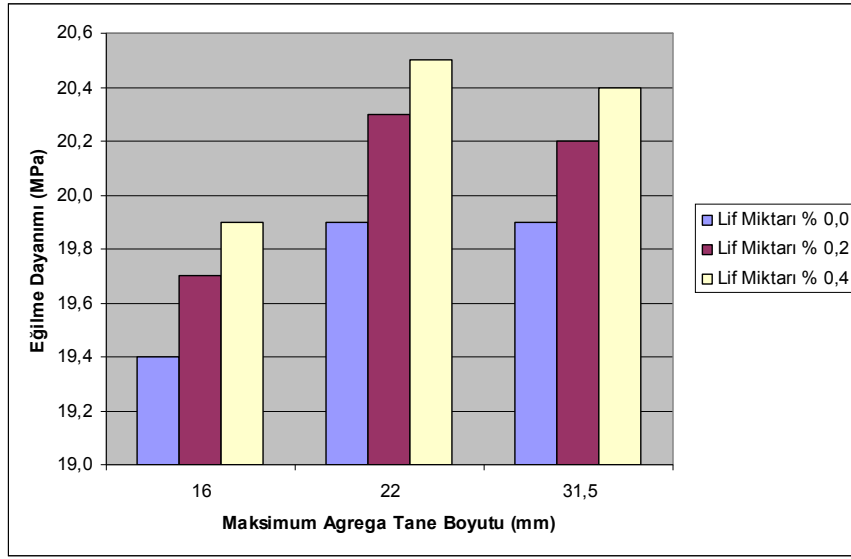
Şekil 4.10 Kalker agregası ile üretilen beton traverslerin ultrases hızları

Her seriden üretilen tek bloklu B.58 beton traversler üzerinde yapılan ultrases hızı deneyin sonuçlarına göre betonun kalitesinin mükemmel beton sınıfında olduğu gözlenmiştir.

4.1.4. Traverslerde Eğilme Dayanımı Sonuçları



Şekil 4.11 Bazalt agregası ile üretilen beton traverslerin eğilme dayanımları



Şekil 4.12 Kalker agregası ile üretilen beton traverslerin eğilme dayanımları

Şekil 4.11 ve 4.12’de bakıldığında her iki agregat türü açısından lif miktarının artmasıyla eğilme dayanımında da belirgin bir şekilde artış görülmektedir.

Agregat türü açısından değerlendirildiğinde ise bazalt agregası ile üretilen beton traverslerin kalker agregası ile üretilen beton traverslerin eğilme dayanımı daha yüksek geldiği gözlenmiştir.

Agregat maksimum tane boyutu açısından eğilme dayanımına bakıldığında en düşük eğilme dayanımı maksimum agregatane boyutu 16 mm olarak üretilen traverslerin olduğu ve maksimum tane boyutu 22 mm ve 31,5 mm olarak üretilen beton traverslerde ise eğilme dayanımlarının birbirlerine yakın olduğu gözlenmiştir ancak maksimum tane boyutu 22 mm olarak üretilen serilerde ise genellikle daha yüksek bir eğilme dayanımı gözlenmiştir.

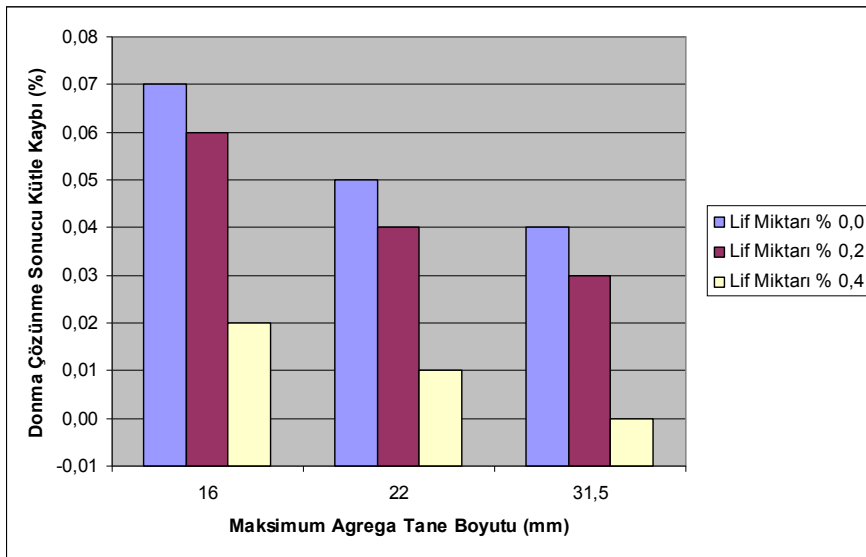
TCDD Afyon Beton travers fabrikası tarafından, tek bloklu B.58 beton travers üretiminde sınır değer olarak kullanılmakta olan, Dywidag normları açısından, üretilen beton traverslerin 1 dakika süresince 45000 N (eğilme dayanımı 11,6 MPa) yük altında çatlama gerçekleşmemesi istenmektedir.

Bu çalışma kapsamında üretilen seriler içerisinde en düşük beton travers eğilme dayanımı K10 (19,4 MPa) serisinde gözlenmiş ve bu seri bile maksimum 75350 N yüke kadar çatlama gerçekleşmemiştir. Ayrıca çelik lif miktarı arttıkça eğilme deneyinin sonucunda beton traverslerde meydana gelen çatlak boylarının ve derinliğini etkilediği gözlenmiş ve lif miktarı arttıkça çatlak boyları ile derinliklerinde azalma meydana gelmiştir.

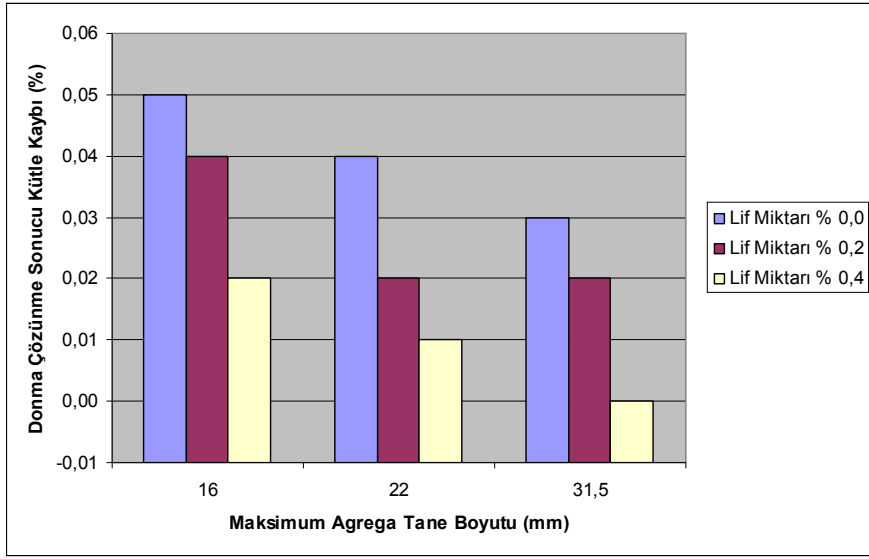
4.1.5. Donma Çözünme Deney Sonuçları

Donma çözünme deneyi sonucunda meydana gelen ultrases hızı, basınç dayanımı ve ağırlık kayıpları belirlenmiştir.

4.1.5.1. Donma Çözünme Sonucu Kütle Kaybı



Şekil 4.13 Bazalt Agregası ile üretilen küplerin donma çözünme sonucu kütle kayıpları

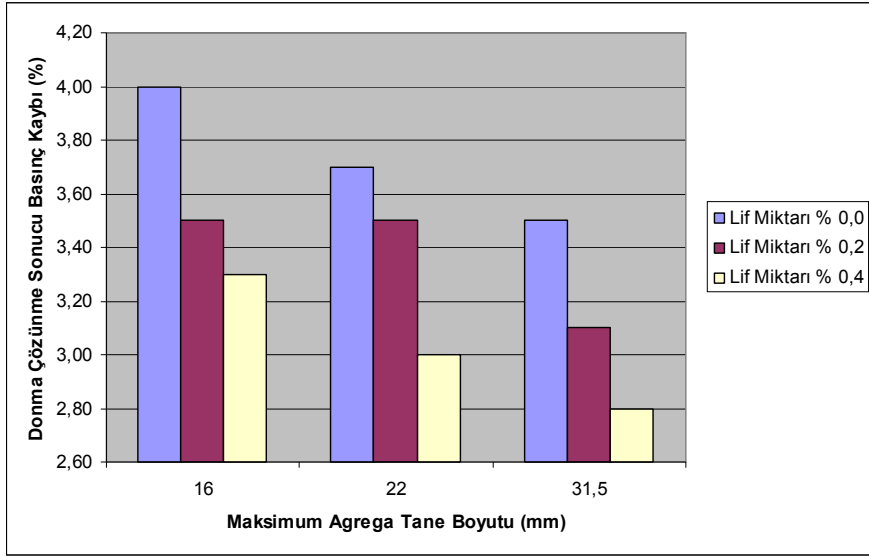


Şekil 4.14 Kalker Agregası ile üretilen küplerin donma çözünme sonucu kütle kayıpları

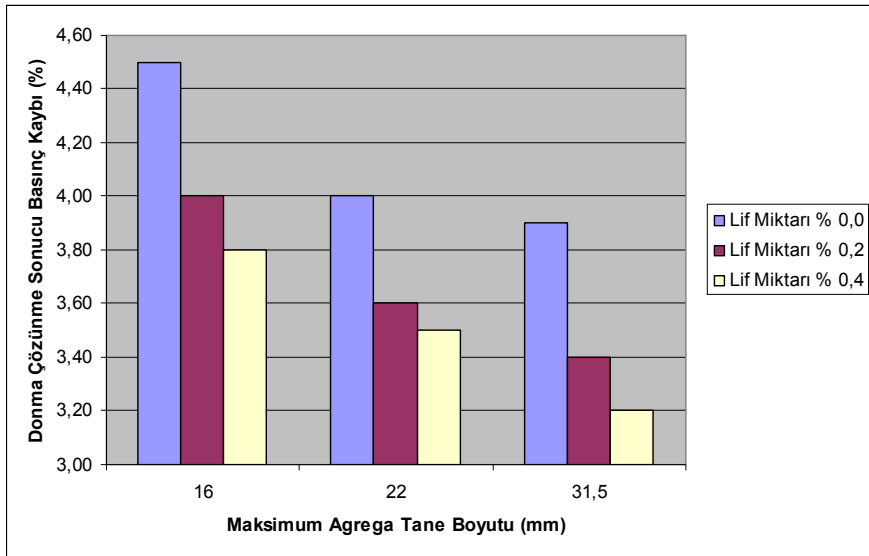
Küp numunelerde donma çözünme deneyi sonucu meydana gelen kütle kaybı B34 ve K34 serilerinde meydana gelmemiştir. Diğer serilerde ise % 0,07'den az olmuştur. Maksimum agrega tane boyutu azaldıkça kütle kaybı artış göstermiştir. Lif miktarı artıkça kütle kaybı sıfıra doğru yaklaşmıştır.

Bazalt agregası kullanılan numunelerde, kalker agregası kullanılan numunelere göre daha fazla kütle kaybı gerçekleşmiştir. Bunun sebebi olarakta bazalt agregasının su emme oranının daha yüksek olmasının neden olduğu düşünülmektedir. Yani bazalt agregası kullanılan numuneler daha çok su emmiş ve donma çözünme olayından daha çok etkilenmiştir.

4.1.5.2. Donma Çözünme Sonucu Basınç Kaybı



Şekil 4.15 Bazalt agregası ile üretilen küplerin donma çözünme sonucu basınç kayıpları



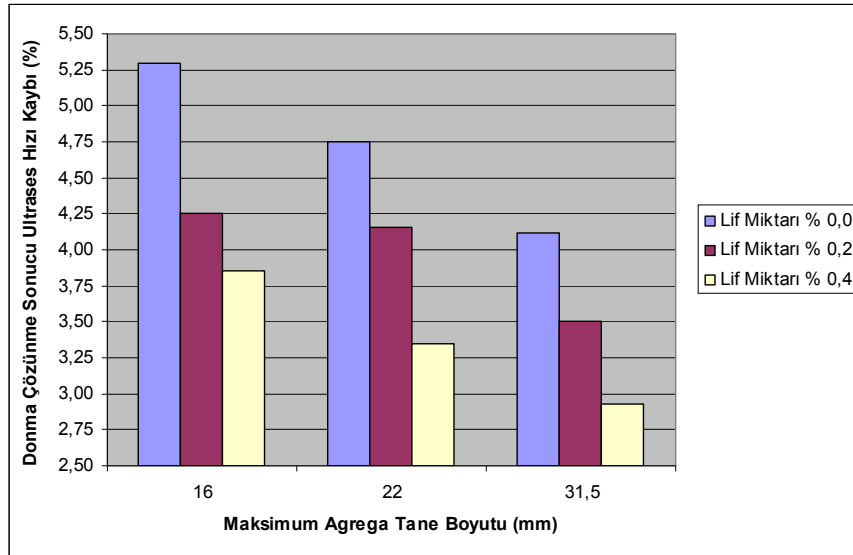
Şekil 4.16 Kalker agregası ile üretilen küplerin donma çözünme sonucu basınç kayıpları

Agrega maksimum tane boyutuna göre donma çözünme sonucu meydana gelen basınç mukavemeti kaybı agregat maksimum tane boyutu arttıkça azalmıştır. Ayrıca lif miktarı arttıkça basınç mukavemeti kaybı azalmıştır. Agregat türü açısından bazalt agregasında daha az basınç mukavemeti kaybı gerçekleşmiştir.

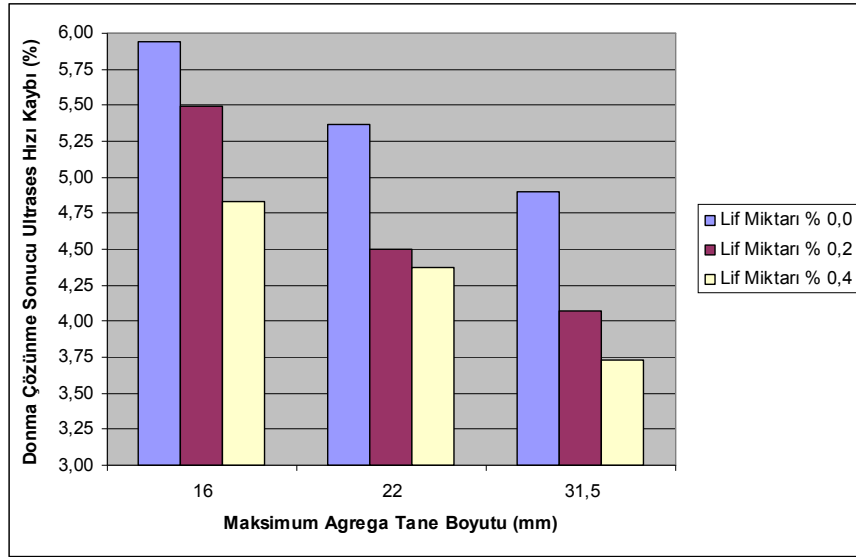
Donma çözünme deneyine tabi tutulmayan küp numuneler üzerinde yapılan basınç deneyleri sırasında yük altında çatlama olmuş ama hiç bir seri parçaya ayrılmamıştır.

Donma çözünme deneyine tabi tutulan küp numuneler üzerinde yapılan basınç deneyleri sırasında yük altında lif kullanılmayan B10 ve K10 serileri kırılarak iki parçaya ayrılmış diğer lifsiz ve lifli toplam 16 seri yük altında çatladığı halde yük almaya devam etmiştir yani iki parçaya ayrılmamıştır.

4.1.5.3. Donma Çözünme Sonucu Ultrases Hız Kaybı



Şekil 4.17 Bazalt agregası ile üretilen küplerin donma çözünme sonucu ultrases hız kayıpları



Şekil 4.18 Kalker agregası ile üretilen küplerin donma çözünme sonucu ultrases hız kayıpları

Üretilen küp numuneler üzerinde yapılan donma çözünme deneyi sonucunda ultrases hızlarında meydana gelen kayıplar, çelik lif miktarı ile agrega maksimum tane boyutu artıkça azalma meydana geldiği gözlenmiştir. Yani çelik lif miktarı ve agrega maksimum tane boyutu fazla olan numunelerde daha az ultrases hız kaybı gerçekleşmiş ve bu kayıplarında donma çözünme deneyi sonucu numunelerde meydana gelen basınç kaybı ile doğru orantılı olduğu gözlenmiştir. Agrega türü açısından bazalt agregasında daha az ultrases hız kaybı gerçekleşmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Üretilen küpler üzerinde yapılan 1 ve 28 günlük basınç dayanımı agrega türüne göre karşılaştırıldığında bazalt agregası kullanılan küplerin, kalker agregasına göre basınç dayanımlarının daha yüksek geldiği sonucuna ulaşılmıştır. Ancak kalker agregasının TCDD Afyon Beton travers fabrikası tarafından, tek bloklu B.58 beton travers üretiminde sınır değer olarak kullanılmakta olan, Dywidag normları açısından, sadece K14 serisinin sağlamadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan lif tipi ve miktarlarının basınç dayanımı açısından olumlu bir etki yapmadığı gözlenmiştir.

Basınç dayanımı numunelerin üretiminde kullanılan maksimum agrega tane boyutu açısından, bariz bir şekilde en düşük 16 mm'de olduğu, 22 ve 31,5 mm'de ise çok fazla bir fark olmamasına rağmen 22 mm'de genellikle daha yüksek basınç dayanımlarına ulaşılmıştır.

Donma çözünme deneyi sonucuna, lif miktarının olumlu bir etki yaptığı gözlenmiş yani lif miktarı arttıkça kütle, basınç ve ultrases hız kaybı azalmıştır. Basınç ve ultrases hızı kaybının kalker agregası ile üretilen numunelerde daha fazla olmasının yanında bazalt agregası ile üretilen numunelerde ise kütle kaybının daha fazla olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bunun nedeni olarak kalker agregasının daha az su emme kapasitesi ile daha yüksek aşınma değerine sahip olması nedeniyle meydana geldiği düşünülmektedir.

TCDD Afyon Beton travers fabrikası tarafından, tek bloklu B.58 beton travers üretiminde sınır değer olarak kullanılmakta olan, Dywidag normları açısından, üretilen beton traverslerin 1 dakika süresince 45000 N yük altında çatlama gerçekleşmesi istenmemektedir. Bu çalışma kapsamında üretilen seriler içerisinde en düşük beton travers eğilme dayanımı K10 (19,4 MPa) serisinde gözlenmiş ve bu seri de 75350 N yüke kadar çatlama gerçekleşmemiştir. Lif miktarının artmasıyla beton travers eğilme dayanımında belirgin bir şekilde artış gözlenmiştir.

Üretilen seriler arasında bazalt agregası ile üretilen numunelerin kalker agregası ile üretilen numunelere göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Üretilen bütün serilerde, TCDD Afyon Beton travers fabrikası tarafından, tek bloklu B.58 beton travers üretiminde sınır değer olarak kullanılmakta olan, Dywidag normları açısından, 28 günlük basınç dayanımı ve eğilme dayanımını sağladığı sonucuna ulaşılmıştır.

Çelik lifin, betonun sünekliğini artırdığı literatür çalışmaları ile bilinmektedir. Beton travers üretiminde kullanılmasıyla, beton traversin sünekliğini artıracığı ve beton traversin raylardan gelen yükleri yaylanarak almasına ve bunun sonucu olarak beton traverse etki eden darbe etkisini sündüreceği düşünülmektedir.

Çelik lifin, betonda mikro çatlaklar arasında köprü görevini gördükleri ve gerilmeleri geniş bir alana transfer ettikleri için, çelik lifler, kırılğan beton yapısının esnek ve dayanıklı hale getirdiği ve bunun sonucu olarak gerilmelerin beton içerisindeki dağılımının değiştiği ve yük taşıma kapasitesinde belirgin bir şekilde artacağı literatür çalışmaları ile bilinmektedir. Beton taravers üretiminde, çelik lif kullanılması ile, beton traversin yük taşıma kapasitesinin artacağı düşünülmektedir.

Malzemeyi kırmak için yeterli olmayan elastik limitin altındaki gerilmelerin peş peşe tekrarlı bir şekilde uygulanması sonucunda malzemedeki meydana gelen ani ve gevrek kırılma olayı yorulma olarak adlandırılmaktadır. Yorulma dayanımı ise belirli sayıdaki yük tekrarı altında, malzemenin kırılmadan direnebileceği en büyük gerilme değeridir. Betonda meydana gelen çatlaklar, betonun yük taşıma kapasitesini ve böylece yorulma dayanımını da düşürür. Çelik lifli betonlarda lif hacminin artması, yorulmaya karşı olan direnci arttırmakta olduğu literatür çalışmaları ile bilinmektedir. Demiryolunda sürekli tekrarlı yüklere maruz kalan beton travers üretiminde, çelik lifin kullanılması ile, beton traversin yorulmaya karşı olan direncinin artacağı düşünülmektedir.

Beton travers üretiminde çelik lif kullanılması ile, demiryolu üst yapı tamirâtı olan insan işçiliği ile yapılan buraj sırasında beton traverse etki eden darbe etkileri sonucu beton

traversin kenarlarında meydana gelen kırılmaları ve çatlakları azaltacağı düşünülmektedir.

Kalker agregasında, bazalt agregasına göre alkali-silika reaksiyonun daha az meydana geldiği literatür çalışmaları ile bilinmektedir. Doğal hava şartlarına her zaman maruz kalan beton traverslerin üretiminde kalker agregasının kullanılması ile, beton traverslerde meydana gelen alkali-silika reaksiyonunun daha aza indirileceği düşünülmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Acar, M. S., 2005, “Türkiye’de Beton Prefabrikasyonun Tarihçesi”, Türkiye Prefabrik Birliği, Eskişehir.
- Akbulut H., Ünal O., İçağa Y., Demir İ., Zorluer İ., Ergün A., 2003, “İnşaat Laboratuvar Deneyleri Kitabı”, AKÜ Teknik Eğitim Fakültesi, Afyon.
- Aktaş, B., 2007, “Çelik Lifli Hafif Beton İle İmal Edilmiş Betonarme Kirişlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, T.C. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Anonim, 2006, “Raylı Sistemler”, Raylı Sistemler Teknolojisi, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı Meslekî Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Ankara.
- Anonim, 2008, “Balast ve Travers”, Raylı Sistemler Teknolojisi, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı Meslekî Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Ankara.
- Anonim, 2010, “T.C. Devlet Demiryolları İstatistik Yıllığı 2005-2009”, Araştırma Planlama ve Koordinasyon Dairesi Başkanlığı İstatistik Şubesi, İlkay Ofset Matbaacılık, Ankara.
- Aslan, A., Aydın A. C., 1999, “Lifli Betonların Genel Özellikleri” Hazır Beton Dergisi, (6)36 Sayfa 67-75
- Ayaydın, Y., 1989, “Büyük Açıklı Prefabrike Betonarme Yapılar”, MSÜ, İstanbul.
- Aydın Z., 2006, “Öngerilmeli Beton Kirişli Köprü Üstyapılarının Genetik Algoritma ile Optimum Tasarımı”, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Trabzon.

- Bahadır, B., 2007, “Liflerin Beton Kırılma Tokluğuna Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Sakarya.
- Bozkurt, M., 1989, “Demiryolu I”, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Düzgün, O. A., 2001, “Çelik Lifler ile Üretilen Hafif Betonların Bazı Özelliklerinin Araştırması”, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Erzurum.
- Dywidag, 1976, “Öngerilimli Beton Traverslere Mahsus İmalat Talimatı Ani Kalıptan Çıkarma Usulüne Göre”
- Erdoğan, T. Y., 2007, “Beton”, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş., Ankara.
- Gençel, O., 2006, “Farklı Çelik Lif Tipi ve Miktarının Beton Özelliklerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Afyon.
- Gürler, M., Yenel, C., Demirkiran, T., Sağlam, B., 2007a, “Beton Travers Üretiminde Kullanılan Çimento Teknik Şartnamesi”, TCDD İşletmesi Genel Müdürlüğü Yol Dairesi Başkanlığı Travers Şubesi, Ankara.
- Gürler, M., Yenel, C., Demirkiran, T., Sağlam, B., 2007b, “Beton Travers Üretiminde Kullanılan Kum Teknik Şartnamesi”, TCDD İşletmesi Genel Müdürlüğü Yol Dairesi Başkanlığı Travers Şubesi, Ankara.
- Gürler, M., Yenel, C., Demirkiran, T., Sağlam, B., 2007c, “Beton Travers Üretiminde Kullanılan Agrega Teknik Şartnamesi”, TCDD İşletmesi Genel Müdürlüğü Yol Dairesi Başkanlığı Travers Şubesi, Ankara.

- Kaçer, İ., 2008, “Yol ve Geçit Bekçisi Hazırlama Kursu Yol Bilgisi Ders Notları”, TCDD Eskişehir Eğitim Merkezi Müdürlüğü, Eskişehir.
- Nalçakan, M., 2003, “Türkiye Ekonomisi Açısından Ulaştırma Sektöründe Demiryolu Taşımacılığının Önemi ve Ekonometrik Model ile Türkiye Demiryolu Yük Taşıma Talebinin Analizi”, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir.
- Oflazoğlu, M. Z., 2007, “Öngerilmeli Beton Kolonların Analiz ve Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Oğuz, S., 1989, “Ön Gerilmeli Beton”, Tarım Orman ve Köy İşleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.
- Özden, K., Eren, I., L. Trupia, A. L., Öztürk, T., 1998, “Öngermeli Beton”, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Salami, E., 2009, “Çelik Liflerin Farklı Dayanıma Sahip Betonların Mekanik Özelliklerine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Trabzon.
- Sözel, S. S., 1984, “Demiryolu İnşaatı ve Bakımı Ders Notları”, TCDD Eskişehir Eğitim Merkezi Müdürlüğü, Eskişehir.
- Şimşek, O., 2000, “Yapı Malzemesi-II”, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara.
- Şimşek, O., 2004, “Beton ve Beton Teknolojisi”, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Şimşek, O., 2007, “Beton Bileşenleri ve Beton Deneyleri”, Seçkin Yayıncılık San. ve Tic. A.Ş., II Baskı, Ankara.

- Taşdemir, M. A., 1999, “Çelik Tel Takviyeli Yüksek Dayanımlı Betonların Mekanik Davranışı”, Çelik Tel Donatılı Betonlar Sempozyumu, İstanbul.
- Taşdemir, M.A., Bayramov, F., Kocatürk A. N. ve Yerlikaya M., 2004, “Betonun Performansa Göre Tasarımında Yeni Gelişmeler”, Hazır Beton Kongresi, 10 Haziran, İstanbul, Sayfa 24-57
- Toksöz Topçu, H., 2006, “Zonguldak-Bartın Arasındaki Cangaza Bazaltlarının Agregata Olma Özellikleri ve Üretimde Kullanılabilirliği”, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Topçu, İ. B., 2006, “Beton Teknolojisi”, Uğur Ofset A.Ş., Eskişehir.
- TS 10513, 1992, “Çelik Teller – Beton Takviyesinde Kullanılan”, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS 10514, 1992, “Beton – Çelik Tel Takviyeli – Çelik Telleri Betona Karıştırma Ve Kontrol Kuralları”, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS 10088 EN 932-3, 1997, “Agregaların Genel Özellikleri İçin Deneyler Kısım-3: Basitleştirilmiş Petrografik Tanımlama İçin İşlem ve Terminoloji”, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- Ünal, O., 1994, “Isıl İşlem Uygulamasının Lifli Beton Özelliklerine Etkisi”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ünal, O., Kürklü, G., 2007, “Öngerilmeli Beton Teknolojisi”, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, Sayı 2, Sayfa 26-35
- Ünal, O., Uygunoğlu, T., Gençel, O., 2007, “Çelik Liflerin Beton Basınç ve Eğilme Özelliklerine Etkisi”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 13, Sayı 1, Sayfa 23-30

Yalçın, M., Taşdemir, C., Gökalp İ., Ekim, H., Yerlikaya, M., 2007, “Çelik Tel Donatılı Betonların Kullanılabilirlik ve Taşıma Gücü Sınır Durumlarına Göre Tasarımı”, 7. Ulusal Beton Kongresi, Beton Teknolojisinde Gelişmeler ve Uygulamalar, 28-29-30 Kasım, Bildiri 31, İstanbul, Sayfa 353-362

Yardımcı, M. Y., 2007, “Çelik Lifli Kendiliğinden Yerleşen Betonların Reolojik, Mekanik, Kırılma Parametrelerinin Araştırılması ve Optimum Tasarımı”, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Yıldırım, S. T., 2002, “Lif Takviyeli Betonların Performans Özelliklerinin Araştırması”, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Elazığ.

Yayla, N., 2004, “Karayolu Mühendisliği”, Birsen Yayınevi, İstanbul.

6.1. İnternet Kaynakları

Erişim Tarihi

- | | |
|--|------------|
| 1- http://www.rayder.org.tr/haber_301106-2.htm | 14/05/2009 |
| 2- http://www.tcdd.gov.tr/upload/Files/ContentFiles/2010/basin-kiti/harita.jpg | 01/06/2010 |
| 3- http://www.betra.com.tr/index.html | 06/04/2010 |
| 4- http://www.ilgazinsaat.com/hakkimizda.htm | 06/04/2010 |
| 5- http://www.ym.com.tr/Main.aspx | 06/04/2010 |
| 6- http://www.tcdd.gov.tr/kurumsal/yoldairesi/mevcutdurum.pdf | 13/10/2009 |

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı Mehmet KOZAK
Doğum Yeri Uşak
Doğum Tarihi 05/06/1985
Medeni Hali Evli
Yabancı Dili İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise Kütahya/Gediz Endüstri Meslek Lisesi, Yapı Bölümü, 2002.
Lisans Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Öğretmenliği Bölümü, 2007.
Yüksek Lisans Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Ana Bilim Dalı, 2010.

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

- Yol ve Geçit Kontrol Memuru, TCDD 7. Bölge Müd., 2007 - Halen

Yayımları (SCI ve diğer)

- Kozak M, “Tekstil Atıkların Yapı Malzemesi Olarak Kullanım Alanlarının Araştırılması”, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2010, 6(1) 62-70

Diğer konular

- 2002 yılı Gediz Endüstri Meslek Lisesi okul birinciliği,
- 2001-2002 öğretim yılında Erkek Teknik Öğretim Okullarının son sınıf öğrencileri arasında düzenlenen beceri yarışmalarında, Yapı Meslek alanında Kütahya il birinciliği,
- 2003-2004 Eğitim-Öğretim yılında ÖSYM tarafından 307,615 puanla, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Öğretmenliği bölümüne birinci sıradan yerleştirilmesi,
- 2007 yılı, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi dokuzunculuğu ve Yapı Öğretmenliği bölüm üçüncülüğü,