İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÖNGERİLMELİ BETONARME KÖPRÜLERDE ZAMANA BAĞLI YERDEĞİŞTİRMELER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Eren YECAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2016

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÖNGERİLMELİ BETONARME KÖPRÜLERDE ZAMANA BAĞLI YERDEĞİŞTİRMELER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Eren YECAN
501121080

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanları: Doç. Dr. Abdullah Necmettin GÜNDÜZ
Prof. Dr. Sıddık ŞENER

HAZİRAN 2016

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501121080 numaralı Yüksek Lisans Eren YECAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"**ÖNGERİLMELİ BETONARME KÖPRÜLERDE ZAMANA BAĞLI YERDEĞİŞTİRMELER**"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Doç. Dr. Abdullah Necmettin GÜNDÜZ** İstanbul Teknik Üniversitesi	
Eş Danışman :	**Prof. Dr. Sıddık ŞENER** İstanbul Bilgi Üniversitesi	
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Zekai CELEP** Fatih Sultan Mehmet Üniversitesi	.....
	Prof. Dr. Turgut ÖZTÜRK İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Yrd. Doç. Dr. Oğuz GÜNEŞ İstanbul Teknik Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : **02 Mayıs 2016**
Savunma Tarihi : **10 Haziran 2016**

Aileme,

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum bu çalışmada, 7 tanesi Türkiye'de bir tanesi de Palau Cumhuriyeti'nde olan toplamda 8 tane öngerilmeli, kutu kesitli köprünün zamana bağlı yerdeğiştirmeleri 4 ayrı yönetmelik ile bulunup karşılaştırılmıştır.

Bu tez çalışması için değerli zamanını ayıran, bana fikir verip yol gösteren saygıdeğer Tez Hocalarım Sayın Doç. Dr. ABDULLAH NECMETTİN GÜNDÜZ ile Prof. Dr. SIDDIK ŞENER'e teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca bugünlere gelmemde desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen ve daima yanımda olan aileme şükranlarımı sunarım.

Mayıs 2016

Eren Yecan
İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xi**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xiii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xiiii**
SİMGELER ..... **xviix**
ÖZET ..... **xxiii**
SUMMARY ..... **xxv**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Tezin Amacı 1
1.2 Kaynak Araştırması 2
2. ÖNGERİLMELİ KUTU KESİTLİ KÖPRÜLER **7**
2.1 Şehzadeler Viyadüğü 7
2.2 Kömürhan Köprüsü 12
2.3 Gülburnu Köprüsü 16
2.4 Palau Köprüsü 18
2.5 Beylerderesi Viyadüğü 21
2.6 Akarsın Viyadüğü 23
2.7 İmrahor Viyadüğü 24
2.8 Tigem Köprüsü 25
3. SÜNME, BÜZÜLME MODELLERİ **27**
3.1 Bazant'ın B3 Modeli 27
3.1.1 Sünme Etkileri 27
3.1.2 Büzülme Etkileri 29
3.1.3 Şehzadeler Viyadüğü için Uygulama 32
3.2 ACI 209R-92 Modeli 40
3.2.1 Büzülme Etkileri 40
3.2.2 Sünme Etkileri 43
3.2.3 Şehzadeler Viyadüğü için Uygulama 45
3.3 Eurocode 2 Modeli 54
3.3.1 Sünme Etkileri 54
3.3.2 Büzülme Etkileri 57
3.3.3 Şehzadeler Viyadüğü için Uygulama 59
3.4 TS 3233 Modeli 66
3.4.1 Sünme Etkileri 66
3.4.2 Büzülme Etkileri 68
3.4.3 Şehzadeler Viyadüğü için Uygulama 69
4. DİĞER KÖPRÜLERDEKİ ZAMANA BAĞLI YER DEĞİŞTİRMELER **73**
4.1 Kömürhan Köprüsünde Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler 73
4.1.1 B3 Modeline göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler 73
4.1.2 ACI 209R-92 Modeline göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler 77

4.1.3 Eurocode 2 Modeline göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler 80
4.1.4 TS 3233 Modeline göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler 84
4.2 Gülburnu Köprüsünde Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler 86
4.2.1 B3 Modeline göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler 86
4.2.2 ACI 209R-92 Modeline göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler 90
4.2.3 Eurocode 2 Modeline göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler 92
4.2.4 TS 3233 Modeline göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler 95
4.3 Palau Köprüsünde Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler 97
4.3.1 B3 Modeline göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler 98
4.3.2 ACI 209R-92 Modeline göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler 101
4.3.3 Eurocode 2 Modeline göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler 104
4.3.4 TS 3233 Modeline göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler 107
4.4 Beylerderesi Köprüsünde Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler 109
4.4.1 B3 Modeline göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler 109
4.4.2 ACI 209R-92 Modeline göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler 113
4.4.3 Eurocode 2 Modeline göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler 115
4.4.4 TS 3233 Modeline göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler 118
4.5 Akarsın Köprüsünde Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler 121
4.5.1 B3 Modeline göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler 121
4.5.2 ACI 209R-92 Modeline göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler 125
4.5.3 Eurocode 2 Modeline göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler 127
4.5.4 TS 3233 Modeline göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler 130
4.6 İmrahor Köprüsünde Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler 133
4.6.1 B3 Modeline göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler 133
4.6.2 ACI 209R-92 Modeline göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler 136
4.6.3 Eurocode 2 Modeline göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler 139
4.6.4 TS 3233 Modeline göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler 142
4.7 Tigem Köprüsünde Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler 144
4.7.1 B3 Modeline göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler 144
4.7.2 ACI 209R-92 Modeline göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler 148
4.7.3 Eurocode 2 Modeline göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler 150
4.7.4 TS 3233 Modeline göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler 153
5. TARTIŞMA 157
6. SONUÇLAR 163
KAYNAKLAR 167
EKLER 173
ÖZGEÇMİŞ 177

KISALTMALAR

ACI	**:** American Concrete Institute
ASTM	**:** American Society for Testing and Materials
CEB	**:** European International Concrete Committee
CEN	**:** European Committee for Standartization
EC 2	**:** Eurocode 2
FIP	**:** International Federation for Prestressing
RILEM	**:** The International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures
TCK	**:** Türkiye Cumhuriyeti Karayolları
TS 500	**:** Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları
TS 3233	**:** Öngerilmeli Beton Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Çimento Türüne Bağlı α_1 Katsayısı 29
Çizelge 3.2 : Kür Durumuna Bağlı α_2 Katsayısı 29
Çizelge 3.3 : Yapı Tipine Bağlı k_s Biçim Katsayısı 30
Çizelge 3.4 : Bağıl Neme Bağlı k_h Nem Düzeltme Katsayısı 31
Çizelge 3.5 : Şehzadeler için B3 Modeli'nde Temel Değişkenler..... 33
Çizelge 3.6 : Şehzadeler Viyadüğü Etkin Kesit Kalınlığı 35
Çizelge 3.7 : B3 Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar..... 38
Çizelge 3.8 : Kür Katsayısı..... 41
Çizelge 3.9 : Çimento Türüne Bağlı a, b Katsayıları..... 43
Çizelge 3.10 : ACI 209R-92'de 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar..... 52
Çizelge 3.11 : Etkin Kesit Kalınlığına Bağlı k_h Katsayısı 57
Çizelge 3.12 : EC 2 Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar 64
Çizelge 3.13.a : TS 3233 için sünme, büzülme katsayıları 66
Çizelge 3.13.b : TS 3233 için sünme, büzülme katsayıları 67
Çizelge 3.13.c : TS 3233 için sünme, büzülme katsayıları..... 67
Çizelge 3.14 : TS 3233 Modeli'nde 1000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar.. 70
Çizelge 4.1 : Kömürhan için B3 Modeli'nde Temel Değişkenler..... 73
Çizelge 4.2 : B3 Modeli için İlgili Çizelgelerden Alınan Değerler..... 74
Çizelge 4.3 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri 75
Çizelge 4.4 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri 76
Çizelge 4.5 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Büzülme Eşitlikleri..... 76
Çizelge 4.6 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri..... 76
Çizelge 4.7 : B3 Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar..... 77
Çizelge 4.8 : Kömürhan için ACI 209R-92 Modeli'nde Temel Değişkenler..... 78
Çizelge 4.9 : ACI Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri..... 79
Çizelge 4.10 : ACI Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri 79
Çizelge 4.11 : ACI Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri..... 79
Çizelge 4.12 : ACI Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar..... 80
Çizelge 4.13 : Kömürhan için EC 2 Modeli'nde Temel Değişkenler..... 81
Çizelge 4.14 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri..... 82
Çizelge 4.15 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri..... 82
Çizelge 4.16 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Büzülme Eşitlikleri 82
Çizelge 4.17 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri ... 82
Çizelge 4.18 : EC 2 Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar 83
Çizelge 4.19 : Kömürhan için TS 3233 Modeli'nde Temel Değişkenler..... 84
Çizelge 4.20 : TS Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri..... 84
Çizelge 4.21 : TS Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri 85
Çizelge 4.22 : TS Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Büzülme Eşitlikleri..... 85
Çizelge 4.23 : TS Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri..... 85
Çizelge 4.24 : TS Modeli'nde 1000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar..... 85

Çizelge 4.25 : Gülburnu için B3 Modeli'nde Temel Değişkenler 87
Çizelge 4.26 : B3 Modeli için İlgili Çizelgelerden Alınan Değerler 88
Çizelge 4.27 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri 88
Çizelge 4.28 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri 88
Çizelge 4.29 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Büzülme Eşitlikleri 88
Çizelge 4.30 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri 88
Çizelge 4.31 : B3 Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar 89
Çizelge 4.32 : Gülburnu için ACI 209R-92 Modeli'nde Temel Değişkenler 90
Çizelge 4.33 : ACI Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri 90
Çizelge 4.34 : ACI Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri 91
Çizelge 4.35 : ACI Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri 91
Çizelge 4.36 : ACI Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar 91
Çizelge 4.37 : Gülburnu için EC 2 Modeli'nde Temel Değişkenler 92
Çizelge 4.38 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri 93
Çizelge 4.39 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri 93
Çizelge 4.40 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Büzülme Eşitlikleri 94
Çizelge 4.41 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri 94
Çizelge 4.42 : EC 2 Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar 94
Çizelge 4.43 : Gülburnu için TS 3233 Modeli'nde Temel Değişkenler 95
Çizelge 4.44 : TS Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri 96
Çizelge 4.45 : TS Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri 96
Çizelge 4.46 : TS Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Büzülme Eşitlikleri 96
Çizelge 4.47 : TS Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri 97
Çizelge 4.48 : TS Modeli'nde 1000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar 97
Çizelge 4.49 : Palau için B3 Modeli'nde Temel Değişkenler 98
Çizelge 4.50 : B3 Modeli için İlgili Çizelgelerden Alınan Değerler 99
Çizelge 4.51 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri 99
Çizelge 4.52 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri 99
Çizelge 4.53 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Büzülme Eşitlikleri 100
Çizelge 4.54 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri 100
Çizelge 4.55 : B3 Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar 100
Çizelge 4.56 : Palau için ACI 209R-92 Modeli'nde Temel Değişkenler 101
Çizelge 4.57 : ACI Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri 102
Çizelge 4.58 : ACI Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri 102
Çizelge 4.59 : ACI Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri 102
Çizelge 4.60 : ACI Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar 103
Çizelge 4.61 : Palau için EC 2 Modeli'nde Temel Değişkenler 104
Çizelge 4.62 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri 105
Çizelge 4.63 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri 105
Çizelge 4.64 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Büzülme Eşitlikleri 105
Çizelge 4.65 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri 105
Çizelge 4.66 : EC 2 Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar 106
Çizelge 4.67 : Palau için TS 3233 Modeli'nde Temel Değişkenler 107
Çizelge 4.68 : TS Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri 107
Çizelge 4.69 : TS Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri 108
Çizelge 4.70 : TS Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Büzülme Eşitlikleri 108
Çizelge 4.71 : TS Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri 108
Çizelge 4.72 : TS Modeli'nde 1000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar 108
Çizelge 4.73 : Beylerderesi için B3 Modeli'nde Temel Değişkenler 110
Çizelge 4.74 : B3 Modeli için İlgili Çizelgelerden Alınan Değerler 110

Çizelge 4.75 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri 111
Çizelge 4.76 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri 111
Çizelge 4.77 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Büzülme Eşitlikleri..... 111
Çizelge 4.78 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri..... 111
Çizelge 4.79 : B3 Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar..... 112
Çizelge 4.80 : Beylerderesi için ACI 209R-92 Modeli'nde Temel Değişkenler..... 113
Çizelge 4.81 : ACI Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri 113
Çizelge 4.82 : ACI Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri 114
Çizelge 4.83 : ACI Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri... 114
Çizelge 4.84 : ACI Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar..... 114
Çizelge 4.85 : Beylerderesi için EC 2 Modeli'nde Temel Değişkenler 115
Çizelge 4.86 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri..... 116
Çizelge 4.87 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri.... 116
Çizelge 4.88 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Büzülme Eşitlikleri 117
Çizelge 4.89 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri . 117
Çizelge 4.90 : EC 2 Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar ... 117
Çizelge 4.91 : Beylerderesi için TS 3233 Modeli'nde Temel Değişkenler..... 118
Çizelge 4.92 : TS Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri 119
Çizelge 4.93 : TS Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri 119
Çizelge 4.94 : TS Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Büzülme Eşitlikleri..... 119
Çizelge 4.95 : TS Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri..... 120
Çizelge 4.96 : TS Modeli'nde 1000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar..... 120
Çizelge 4.97 : Akarsın için B3 Modeli'nde Temel Değişkenler 121
Çizelge 4.98 : B3 Modeli için İlgili Çizelgelerden Alınan Değerler..... 122
Çizelge 4.99 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri 122
Çizelge 4.100 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri 122
Çizelge 4.101 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Büzülme Eşitlikleri..... 123
Çizelge 4.102 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri... 123
Çizelge 4.103 : B3 Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar..... 123
Çizelge 4.104 : Akarsın için ACI 209R-92 Modeli'nde Temel Değişkenler 124
Çizelge 4.105 : ACI Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri..... 125
Çizelge 4.106 : ACI Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri 125
Çizelge 4.107 : ACI Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri. 126
Çizelge 4.108 : ACI Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar... 126
Çizelge 4.109 : Akarsın için EC 2 Modeli'nde Temel Değişkenler..... 127
Çizelge 4.110 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri..... 128
Çizelge 4.111 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri.. 128
Çizelge 4.112 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Büzülme Eşitlikleri 128
Çizelge 4.113 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri 128
Çizelge 4.114 : EC 2 Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar . 129
Çizelge 4.115 : Akarsın için TS 3233 Modeli'nde Temel Değişkenler 130
Çizelge 4.116 : TS Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri 130
Çizelge 4.117 : TS Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri 131
Çizelge 4.118 : TS Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Büzülme Eşitlikleri..... 131
Çizelge 4.119 : TS Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri... 131
Çizelge 4.120 : TS Modeli'nde 1000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar..... 131
Çizelge 4.121 : İmrahor için B3 Modeli'nde Temel Değişkenler 133
Çizelge 4.122 : B3 Modeli için İlgili Çizelgelerden Alınan Değerler..... 133
Çizelge 4.123 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri 134
Çizelge 4.124 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri 134

Çizelge 4.125 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Büzülme Eşitlikleri 134
Çizelge 4.126 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri ... 134
Çizelge 4.127 : B3 Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar 135
Çizelge 4.128 : İmrahor için ACI 209R-92 Modeli'nde Temel Değişkenler 136
Çizelge 4.129 : ACI Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri 136
Çizelge 4.130 : ACI Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri 137
Çizelge 4.131 : ACI Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri . 137
Çizelge 4.132 : ACI Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar... 137
Çizelge 4.133 : İmrahor için EC 2 Modeli'nde Temel Değişkenler 138
Çizelge 4.134 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri 139
Çizelge 4.135 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri .. 139
Çizelge 4.136 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Büzülme Eşitlikleri 140
Çizelge 4.137 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri 140
Çizelge 4.138 : EC 2 Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar . 140
Çizelge 4.139 : İmrahor için TS 3233 Modeli'nde Temel Değişkenler 141
Çizelge 4.140 : TS Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri 142
Çizelge 4.141 : TS Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri 142
Çizelge 4.142 : TS Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Büzülme Eşitlikleri 142
Çizelge 4.143 : TS Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri ... 143
Çizelge 4.144 : TS Modeli'nde 1000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar 143
Çizelge 4.145 : Tigem için B3 Modeli'nde Temel Değişkenler 144
Çizelge 4.146 : B3 Modeli için İlgili Çizelgelerden Alınan Değerler 145
Çizelge 4.147 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri 145
Çizelge 4.148 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri 145
Çizelge 4.149 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Büzülme Eşitlikleri 146
Çizelge 4.150 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri ... 146
Çizelge 4.151 : B3 Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar 146
Çizelge 4.152 : Tigem için ACI 209R-92 Modeli'nde Temel Değişkenler..... 147
Çizelge 4.153 : ACI Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri 148
Çizelge 4.154 : ACI Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri 148
Çizelge 4.155 : ACI Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri . 148
Çizelge 4.156 : ACI Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar... 149
Çizelge 4.157 : Tigem için EC 2 Modeli'nde Temel Değişkenler 150
Çizelge 4.158 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri 151
Çizelge 4.159 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri .. 151
Çizelge 4.160 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Büzülme Eşitlikleri 151
Çizelge 4.161 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri 151
Çizelge 4.162 : EC 2 Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar . 152
Çizelge 4.163 : Tigem için TS 3233 Modeli'nde Temel Değişkenler..... 153
Çizelge 4.164 : TS Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri 153
Çizelge 4.165 : TS Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri 153
Çizelge 4.166 : TS Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Büzülme Eşitlikleri 154
Çizelge 4.167 : TS Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri ... 154
Çizelge 4.168 : TS Modeli'nde 1000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar 154

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Şehzadeler Viyadüğü Topografik Harita 7
Şekil 2.2 : Köprü Ayakları Yapımı 8
Şekil 2.3 : Köprünün Bittikten Sonraki Durumu 8
Şekil 2.4 : Dengeli Konsol Yöntemi 9
Şekil 2.5 : Şehzadeler Viyadüğü için Tasarlanan Kalıp Arabası 10
Şekil 2.6 : Şehzadeler Viyadüğü'nde Dengeli Konsol Yöntemi Uygulaması 10
Şekil 2.7 : Kalıp Arabası Deney Düzeneği 11
Şekil 2.8 : Ardgerme Yönteminin Şematik Gösterimi 12
Şekil 2.9 : Kömürhan Köprüsü'nün Olduğu Nehirde Salla Ulaşım 13
Şekil 2.10 : Eski Kömürhan Köprüsü Su Altında Kalmadan Önce 14
Şekil 2.11 : Eski Kömürhan Köprüsü Su Altında Kaldıktan Sonra 14
Şekil 2.12 : Yeni Kömürhan Köprüsü'nün Yapımı 15
Şekil 2.13 : Kömürhan Köprüsü Boykesit 15
Şekil 2.14 : Kömürhan Köprüsü Mafsal 16
Şekil 2.15 : Gülburnu Köprüsü'nün Denizden Görünüşü 16
Şekil 2.16 : Gülburnu Köprüsü Boykesit 17
Şekil 2.17 : Gülburnu Köprüsü'nde Dengeli Konsol Yöntemi 18
Şekil 2.18 : Palau Cumhuriyeti 19
Şekil 2.19 : Palau Köprüsü Göçmeden Önce 20
Şekil 2.20 : Palau Köprüsü Göçtükten Sonra 20
Şekil 2.21 : Palau Köprüsü Boykesit 21
Şekil 2.22 : Beylerderesi Viyadüğü'nün Dengeli Konsol Yöntemi ile Yapımı 22
Şekil 2.23 : Beylerderesi Viyadüğü'nün Yapım Sonrası Durumu 22
Şekil 2.24 : Akarsın Viyadüğü Plan ve Boykesit 23
Şekil 2.25 : Akarsın Viyadüğü 23
Şekil 2.26 : İmrahor Viyadüğü 24
Şekil 2.27 : İmrahor Viyadüğü'nün Dengeli Konsol Yöntemi ile İnşası 25
Şekil 2.28 : Tigem Viyadüğü Açıklıklar 26
Şekil 2.29 : Tigem Viyadüğü Enkesit Yapımı 26
Şekil 3.1 : Şehzadeler Viyadüğü Tip Enkesit 32
Şekil 3.2 : Şehzadeler için B3 Model'de Zamana Bağlı Birim Kısalmalar 39
Şekil 3.3 : Şehzadeler için ACI 209R-92'de Zamana Bağlı Birim Kısalmalar 53
Şekil 3.4 : Şehzadeler için EC 2'de Zamana Bağlı Birim Kısalmalar 65
Şekil 3.5 : Şehzadeler için TS 3233'de Zamana Bağlı Birim Kısalmalar 71
Şekil 4.1 : Kömürhan Köprüsü Değişken Enkesitler 75
Şekil 4.2 : Kömürhan için B3 Model'de Zamana Bağlı Birim Kısalmalar 77
Şekil 4.3 : Kömürhan için ACI Modeli'nde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar 80
Şekil 4.4 : Kömürhan için EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar 83
Şekil 4.4 : Kömürhan için TS 3233 Modeli'nde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar ... 86
Şekil 4.6 : Gülburnu için B3 Model'de Zamana Bağlı Birim Kısalmalar 89
Şekil 4.7 : Gülburnu için ACI Modeli'nde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar 92

Şekil 4.8 : Gülburnu için EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar..... 95
Şekil 4.9 : Gülburnu için TS 3233 Modeli'nde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar..... 97
Şekil 4.10 : Palau için B3 Model'de Zamana Bağlı Birim Kısalmalar..... 101
Şekil 4.11 : Palau için ACI Modeli'nde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar 103
Şekil 4.12 : Palau için EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar..... 106
Şekil 4.13 : Palau için TS 3233 Modeli'nde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar 109
Şekil 4.14 : Beylerderesi için B3 Model'de Zamana Bağlı Birim Kısalmalar 112
Şekil 4.15 : Beylerderesi için ACI Modeli'nde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar... 115
Şekil 4.16 : Beylerderesi için EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar.. 118
Şekil 4.17 : Beylerderesi için TS Modeli'nde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar..... 120
Şekil 4.18 : Akarsın için B3 Model'de Zamana Bağlı Birim Kısalmalar..... 124
Şekil 4.19 : Akarsın için ACI Modeli'nde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar 126
Şekil 4.20 : Akarsın için EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar 129
Şekil 4.21 : Akarsın için TS 3233 Modeli'nde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar.... 132
Şekil 4.22 : İmrahor için B3 Model'de Zamana Bağlı Birim Kısalmalar..... 135
Şekil 4.23 : İmrahor için ACI Modeli'nde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar 138
Şekil 4.24 : İmrahor için EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar..... 141
Şekil 4.25 : İmrahor için TS 3233 Modeli'nde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar ... 143
Şekil 4.26 : Tigem için B3 Model'de Zamana Bağlı Birim Kısalmalar..... 147
Şekil 4.27 : Tigem için ACI Modeli'nde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar..... 149
Şekil 4.28 : Tigem için EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar 152
Şekil 4.29 : Tigem için TS 3233 Modeli'nde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar..... 155
Şekil 5.1 : Şehzadeler için Bütün Yöntemlerin Karşılaştırılması 157
Şekil 5.2 : Kömürhan için Bütün Yöntemlerin Karşılaştırılması..... 158
Şekil 5.3 : Gülburnu için Bütün Yöntemlerin Karşılaştırılması 158
Şekil 5.4 : Palau için Bütün Yöntemlerin Karşılaştırılması..... 159
Şekil 5.5 : Beylerderesi için Bütün Yöntemlerin Karşılaştırılması 159
Şekil 5.6 : Akarsın için Bütün Yöntemlerin Karşılaştırılması..... 160
Şekil 5.7 : İmrahor için Bütün Yöntemlerin Karşılaştırılması..... 160
Şekil 5.8 : Tigem için Bütün Yöntemlerin Karşılaştırılması 161
Şekil 6.1 : Bütün Köprüler için B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar .. 163
Şekil 6.2 : Bütün Köprüler için ACI Modeli'nde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar 164
Şekil 6.3 : Bütün Köprüler için EC2 Modeli'nde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar 164
Şekil 6.3 : Bütün Köprüler için TS Modeli'nde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar .. 165
Şekil A.1 : B3 Modeli Akış Şeması..... 174
Şekil A.2 : ACI 209R-92 Modeli Akış Şeması..... 174
Şekil A.3 : Eurocode 2 Modeli Akış Şeması 175
Şekil A.4 : TS 3233 Modeli Akış Şeması..... 175

SİMGELER

a	:	Beton bileşimindeki agrega miktarı (B3 Model) Betonun herhangi bir *t* yaşındaki ortalama silindirik dayanımını etkileyen çimento türüne bağlı katsayı (ACI 209)
b	:	Betonun herhangi bir *t* yaşındaki ortalama silindirik dayanımını etkileyen çimento türüne bağlı katsayı
$C_0(t,t')$	:	Temel sünme için uygunluk bağıntısı
$C_d(t,t',t_0)$	:	Kurumadan kaynaklanan ek sünme için uygunluk bağıntısı
c	:	Beton bileşimindeki çimento miktarı
d	:	Sünme katsayısı için gün cinsinden sabit
D	:	Kesit etkin kalınlığı
E	:	Elastisite Modülü
$E(t)$		Elastisite Modülünün zamana göre değişimi
E_c	:	Tanjant Modülü
E_{cm}	:	Sekant Modülü
E_{28}	:	28 günlük betonun ortalama Elastisite Modülü
$E_{cm}(t)$	:	Betonun herhangi bir *t* yaşındaki ortalama Elastisite Modülü
$E_{cmt^{\prime}}$	:	Betonun yüklenmeye başladığı andaki ortalama Elastisite Modülü
f	:	Sonsuzdaki büzülme kısalması için gün cinsinden sabit
f_{cm}	:	Betonun 28 günlük ortalama silindirik dayanımı
f_{cmo}	:	Betonun kurumaya başladığı zamandaki ortalama silindirik dayanımı
f_{cm28}	:	Betonun 28 günlük ortalama silindirik dayanımı
f_{cmt}	:	Betonun herhangi bir *t* yaşındaki ortalama silindirik dayanımı
$f_{cm}(t)$	:	Beton dayanımının zamana bağlı değişimini
f_c	:	Betonun 28 günlük ortalama silindirik dayanımı
f_{ck}	:	Betonun 28 günlük karakteristik dayanımı
$H(t)$	:	Kesitten bağımsız ortalama nem değerinin zamana bağlı değişimi
h	:	Ortamın bağıl nem oranı
$J(t,t')$	:	Sünme Uygunluğu
k_h	:	Bağıl neme bağlı nem düzeltme katsayısı Kesit etkin kalınlığına bağlı katsayı
k_s	:	Yapı tipine bağlı biçim katsayısı
k_t	:	Büzülme için gerekli olan yarı zamanı etkileyen deneysel büyüklük
$Q(t,t')$	:	Analitik olarak çözülemeyen binomial integral
$Q_f(t')$	:	Betonun yükleme yaşına bağlı deneysel büyüklük
q_1	:	Yükleme başladığında birim gerilmeden oluşan ani kısalma
q_2	:	Beton dayanımına bağlı deneysel büyüklük
q_3	:	Betondaki su, çimento oranına bağlı deneysel büyüklük

q_4	:	Betondaki agrega, çimento bağlı deneysel büyüklük
q_5	:	Kurumadan kaynaklanan ek sünme uygunluğu için beton dayanımına bağlı deneysel büyüklük
$r(t')$	:	Betonun yükleme yaşına bağlı deneysel büyüklük
RH	:	Ortamdaki bağıl nem oranı
RH_0	:	Ortamdaki mutlak nem oranı
$S(t)$	:	Büzülmenin zamana bağlı değişimi
s	:	Betonun mm olarak çökme değeri (ACI 209)
		Çimento tipine bağlı katsayı (EC2)
T	:	Ortam sıcaklığı
t	:	Beton yaşı
t_0	:	Betonun kurumaya başladığı andaki yaşı
t'	:	Betonun yüklenmeye başladığı andaki yaşı
V/S	:	Kesit hacminin açık hava etkisindeki yüzey alanına oranı
w	:	Beton bileşimindeki su ağırlığı
$Z(t,t')$	:	Betonun yükleme yaşına bağlı deneysel eşitlik
α	:	Isıl Genleşme Katsayısı
		Eleman biçimi, büyüklüğüne bağlı katsayı (ACI 209)
α_1	:	Çimento türüne bağlı katsayı (B3 Model)
		$\left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0.7}$, beton dayanımına bağlı katsayı (EC 2)
α_2	:	Kür koşullarına bağlı katsayı (B3 Model)
		$\left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0.2}$, beton dayanımına bağlı katsayı (EC 2)
α_3		$\left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0.5}$, beton dayanımına bağlı katsayı
α_{ds1}	:	Serbest kuruma büzülmesini etkileyen çimento türüne bağlı katsayı
α_{ds2}	:	Serbest kuruma büzülmesini etkileyen çimento türüne bağlı katsayı
$\beta(t^\iota)$		Betonun yüklendiği andaki yaşına bağlı katsayı
$\beta(f_{cm})$	:	Nominal sünme katsayısı için beton dayanımına bağlı katsayı
$\beta_{as}(t)$	:	Otojen büzülme için zamana bağlı katsayı
$\beta_c(t,t^\iota)$	:	Sünmenin zamana bağlı değişimini göz önüne alan katsayı
$\beta_{cc}(t)$	:	Beton dayanımının zamana bağlı değişiminini etkileyen katsayı
$\beta_{ds}(t,t_0)$	:	Kuruma büzülmesi için zamana, etkin kesit kalınlığına bağlı katsayı
β_H	:	Bağıl nem ile kesit etkin kalınlığına bağlı katsayı
β_{RH}	:	Serbest kuruma büzülmesi için ortam nemine bağlı katsayı
σ	:	Betondaki sabit gerilme
σ_c	:	Betondaki sabit gerilme
γ_c	:	Sonsuzdaki sünme kısalması için toplam düzeltme katsayısı
$\gamma_{c,RH}$	:	Sünme için nem düzeltme katsayısı
$\gamma_{c,s}$	:	Sünme için betonun çökme değerine bağlı katsayı
γ_{c,t^ι}	:	Sünme için kür düzeltme katsayısı
$\gamma_{c,vs}$	:	Sünme için boyut düzeltme katsayısı
$\gamma_{c,\alpha}$	:	Sünme için betonun içindeki havaya bağlı katsayı
$\gamma_{c,\Psi}$	:	Sünme için ince agrega oranına bağlı katsayı
γ_{sh}	:	Sonsuzdaki büzülme kısalması için toplam düzeltme katsayısı
$\gamma_{sh,c}$	:	Büzülme için çimento miktarına bağlı katsayı

$\gamma_{sh,RH}$	:	Büzülme için nem düzeltme katsayısı
$\gamma_{sh,s}$	:	Büzülme için betonun çökme değerine bağlı katsayı
$\gamma_{sh,to}$	:	Büzülme için kür düzeltme katsayısı
$\gamma_{sh,vs}$	:	Büzülme için boyut düzeltme katsayısı
$\gamma_{sh,\alpha}$	:	Büzülme için betonun içindeki havaya bağlı katsayı
$\gamma_{sh,\Psi}$	:	Büzülme için ince agrega oranına bağlı katsayı
$\Delta T(t)$	:	Sıcaklık değişimi
ε	:	Toplam birim kısalma
ε_{ca}	:	Otojen büzülmeden kaynaklanan birim kısalma
$\varepsilon_{ca}(\infty)$	:	Betonun karakteristik basınç dayanımına bağlı katsayı
$\varepsilon_{cc}(\infty, t^{\iota})$	:	Sünmeden kaynaklanan toplam birim kısalma
$\varepsilon_{cd,0}$	:	Serbest kuruma büzülmesi
ε_{cs}	:	Toplam büzülme birim kısalması
ε_{cd}	:	Kuruma büzülmesinden kaynaklanan birim kısalma
$\varepsilon_{s\infty}$	:	Beton bileşimine bağlı deneysel büzülme büyüklüğü
$\varepsilon_{sh\infty}$	:	Büzülmenin sonsuzda alacağı değer
$\varepsilon_{sh}(t, t_0)$	:	Büzülmeden ötürü oluşan birim kısalma
ε_{shu}	:	Sonsuzdaki büzülme kısalması
ϕ^{ι}	:	Nominal sünme katsayısı
$\phi(t, t^{\iota})$	:	Sünme katsayısı
ϕ_u	:	Sonsuzdaki sünme katsayısı
ϕ_{RH}	:	Nominal sünme katsayısı için bağıl nem oranına bağlı katsayı
τ_{sh}	:	Büzülme için gerekli olan yarı zaman
Ψ	:	Sünme katsayısı için biçim etkisini gösteren katsayı

ÖNGERİLMELİ BETONARME KÖPRÜLERDE ZAMANA BAĞLI YERDEĞİŞTİRMELER

ÖZET

Bu çalışma kapsamında 7 tanesi Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde (Şehzadeler, Kömürhan, Gülburnu, Beylerderesi, Akarsın, İmrahor, Tigem), bir tanesi de Palau Cumhuriyeti'nde olmak üzere 8 tane kutu kesitli, öngerilmeli köprünün zamana bağlı yerdeğiştirmeleri incelenmiştir.

Uygulamada genelde ilk birkaç yılda oluşan yer değiştirmelerin zamanla azalarak duracağı varsayılır. Gerçekte ise yerdeğiştirmeler yıllar sonra da artmaya devam eder. Bu yer değiştirmelerin doğru olarak bulunması yapının kullanım süresini önemli ölçüde etkilemektedir.

Uzun süreli kullanımda olması düşünülen öngerilmeli yapılarda zamana bağlı yerdeğiştirmeleri oluşturan en önemli etkiler sünme ile büzülmedir. Sünme, büzülme etkileri hem malzemeye hem de yapının yüklenme durumuna bağlı olarak değişmektedir. Öngerilmeli yapıların enkesitleri, yapının kullanım süresi boyunca öngerilme ile sabit bir basınç basınç etkisi altında kalmaktadır. Bu sabit basınç etkisi, yapıda sünme etkisi oluşturarak zamana bağlı yerdeğiştirmelere neden olur. Bunun yanında yapının bulunduğu ortam koşulları nedeniyle büzülme etkileri de yapının kullanım süresi boyunca önemli ölçüde etkindir.

Kullanımda olan sünme ile büzülme modelleri çevre koşulları, köprü yapım süresi, kesit özellikleri, beton dayanımı, beton karışım oranı gibi özellikler göz önünde bulundurularak geliştirilmiştir. Tez kapsamında bu modellerden Bazant tarafından geliştirilen B3 Modeli, ACI 209R-92 Modeli, Eurocode 2 Modeli ile TS3233 Modeli kullanılarak karşılaştırmalı bir çalışma yapılmıştır. Çalışmanın sonunda da kullanılan modellerin verdiği değişik sonuçların nereden kaynaklandığı tartışılmıştır.

Bu çalışmada öncelikle kullanılan dört farklı yöntem tanıtılmış, daha sonra da bu yöntemler bütün köprülere ayrı ayrı uygulanmıştır. Kullanılan güncel yöntemler arasında en büyük yer değiştirmeleri Bazant'ın B3 Modeli vermiştir. B3 Model ile diğer modellerin verdiği sonuçlar arasındaki bu farklılığın ise büyük ölçüde B3 Model'in sünme, büzülme etkilerini daha gerçekçi göz önüne almasından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

Eurocode 2 ile ACI 209R-92 Modellerinin verdiği sonuçlar ise birbirine yakın çıkmıştır. Bu modellerden Eurocode 2'nin sünme etkisini, ACI 209R-92 Modeli'nin ise büzülme etkisini daha az öngördüğü görülmüştür. TS3233'ün sünme ile büzülme yaklaşımı incelendiğinde ise bu yönetmeliğin oldukça eski (1979) olması nedeniyle güncel yöntemlerin soruna ayrıntılı yaklaşımı karşısında güncelliğini yitirdiği anlaşılmıştır.

Ülkemizde öngerilmeli yapılar için kullanılan TS3233 yönetmeliği sünme ile büzülme etkilerini belirli katsayılar aracılığıyla göz önüne almaktadır. Bu

katsayıların verildiği ilgili çizelgeler ise yalnızca 3 yıla kadar düzenlenmiştir. Bu nedenle sonuç olarak bu yönetmeliğin güncellenmesi gerektiği kanısına varılmıştır.

Zamana bağlı yer değiştirmeleri bulunan köprüler arasında en büyük yer değiştirmenin Tigem Köprüsü'nde olduğu görülmüştür. Bu köprü, diğer 7 köprü gibi dengeli konsol yöntemi ile yapılmamıştır. Tigem Köprüsü'nde bulunan zamana bağlı yer değiştirmelerin diğer köprülere göre daha fazla çıkmasının nedeninin de bu yapım farklılığından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Bu yüzden kullanılan sünme ile büzülme modellerinin köprülerin yapım yöntemiyle doğrudan ilgili olduğu görülmüştür.

LONG-TERM DEFLECTIONS IN PRE-STRESSED STRUCTURES

SUMMARY

In this study, time dependent displacements of box-sectioned concrete bridges, which are Palau, Beylerderesi, Şehzadeler, Akarsın, Gülburnu, Kömürhan, Imrahor and Tigem, were determined. Several models have been proposed for predicting shrinkage and creep for the purpose of helping to the designers to estimate the creep and shrinkage strain more reliably. These models aim to estimate long term effects for a given structure relatively quick with sufficient precision by using known parameters. Scope of this study contains estimation of time-dependent effects by B3, ACI 209R-92, EC 2 Models for 10000 days and TS 3233 Model for 1000 days.

Concrete experiences volume changes throughout its service life. When loaded, concrete experiences an instantaneous recoverable elastic deformation and a slow inelastic deformation called creep. Creep of concrete is composed of two components, basic creep, or deformation under load without moisture loss and drying creep, or deformation under drying conditions only. Deformation of concrete in the absence of applied load is often called shrinkage. Due to the these effects, the pre-stress in tendons get reduced with time which should be taken into consideration very carefully.

Almost all large spanned, pre-stressed segmental box girders are deflected excessively by the time. Main problem of these excessive deflections is related with designing procedure. In use practices do not apply realistic models for creep and shrinkage which cause unexpected deflections over the time.

To predict the strength and serviceability of reinforced and pre-stressed concrete structures, structural engineer requires an appropriate description of the mechanical properties of the materials, including the prediction of the time-dependant strains of the hardened concrete. The prediction of shrinkage and creep is important to assess the risk of concrete cracking, and deflections due to stripping-reshoring.

In pre-stressed concrete structures, dead loads would cause downward deflections and in contrary pre-stressing would induce upward deflections. Difference between these counter effects is considerably small at first but time-dependent effects increase this difference significantly. Therefore realistic prediction of displacements due to creep and shrinkage is quite important.

Pre-stressed bridge codes consider creep and shrinkage factors as constant values throughout box-sectioned spans. Designs made of according to in use codes would fail because of excessive time-dependent displacements (Palau, Kömürhan). For this reason it is thought that Bazant's B3 Model, which takes environmental effects, construction time, cross-sectional properties, concrete strength and mixture into account more realistically, is the most advanced approach to ensure a safer design

The current empirical creep prediction models like ACI 209R-92, TS 3233 and EC 2 lead to underestimation of creep deflections. These current codes give an incorrect

shape of long-time creep curves and incorrectly the existence of final creep comparing to Bazant's B3 model that is originally calibrated by a worldwide laboratory database. Main objective of this thesis is to show difference in design codes and Bazant's B3 model.

Bazant's B3 model takes into account more factors than other models does and it is more complex than design code models. It has a different structure than the other were it enables the calculations of separate compliance functions for the basic creep and drying creep. The Model B3 uses the following factors to predict concrete creep; aggregate to cement ratio, cement content, cement type, water to cement ratio, water content, age at loading, age of sample, applied stress, cross-section shape, curing conditions, compressive strength at 28 days, duration of loading, effective thickness, elastic modulus at loading, elastic modulus at 28 days, relative humidity, and time of drying starts.

The ACI 209R-92 code uses the following factors to predict creep and shrinkage: the age at loading, ambient relative humidity, the surface to volume ratio, slump of fresh concrete, fine aggregate percentage, cement content, air content and curing period of the concrete. The ACI 209R-92 takes these aspects into account using correction factors which are applied to measured or suggested values. In the absence of needed data, required parameters are given as constant values. For this model both suggested and calculated parameters are compared to each other.

Most code equations for the EC 2 attributes creep and shrinkage of concrete to the relative humidity, dimension of the element, and composition of the concrete. It also states that creep is influenced by the maturity of the concrete when the load is first applied and depends on duration and magnitude of the sustained load.

TS 3233 is the code that regulates the construction of pre-stressed structures in Turkey. This code does not have a detailed creep and shrinkage approach. Required parameters are mostly tabulated for certain environmental and concrete properties in this model. So calculations were mostly conducted with the values interpolated from that given tables. TS 3233 Model assumes that creep and shrinkage remain constant after 3 years. Therefore calculations of the model are limited with 1000 days instead of 10000 days.

Required parameters of aforementioned models require specific concrete mixture, environmental conditions, age of concrete at loading, age of concrete when drying starts and cross-sectional properties of the bridges. For the concrete mixture, composition of C 35 and C 40 concretes were taken from the laboratory of 15th Branch of General Directorate of State Hydraulic Works (DSİ 15.Şube Müdürlüğü). Environmental conditions were checked from the General Directorate of Meteorology (Meteoroloji Genel Müdürlüğü). Cross-sectional properties are used as the mean of the variable cross-sections. Since cross-sections of the bridges vary throughout the span, effective thickness is taken as the arithmetic mean of the cross-sections. Age of concrete at loading and age of concrete when drying starts are also used as the mean values. All the bridges except Tigem is constructed with the free cantilevering method. That's why each segment of those bridges is considered to gain their strength in 7 days. In order to find the value of loading time in a consistent way, arithmetic mean of the construction time is taken.

First part of the thesis contains literature review of the creep and shrinkage studies until today. Then the introduction of the aforementioned bridges are given in the second part. In the third part, explanations and approaches of the models to predict

the long-term displacements were given explicitly and for an example, the models are applied to Şehzadeler Bridge step by step. In the fourth part, models are applied to the other bridges. In this part, explicit calculations are not conducted again, instead related values are given in tables. Finally, the fifth part of the study discusses the differences in results from different models.

Application of the models yielded that B3 Model gives the maximum strain comparing to other models at the end of 10000 days. It is concluded that this outcome is directly related with the more sensitive approach of the mentioned model which could be exemplified in the B3 Model's investigation of the creep as basic and drying creep to state the interconnected nature of creep and shrinkage.

Results of ACI 209R-92 and EC 2 Models are found relatively similar to each other. Comparion of these two models showed that even if the total results are similar, ACI 209R-92 finds the shrinkage whereas EC 2 finds the creep less comparing to each other.

As it mentioned before TS 3233 Model is limited with 3 years. This restriction is not compatible with the other models because all the other methods suggest that creep and shrinkage effects increase throughout the age of structure. Thus it is concluded that TS 3233 does not provide sufficient information anymore and should be restored to follow more up to date design approaches.

Comparison of 8 different bridges yielded that maximum time-dependent deflection due to creep and shrinkage occurs at Tigem Bridge. This bridge was not constructed with the free cantivelering method like others. So, in general it is concluded that construction method is directly related with the time-dependent losses of the pre-stressed structures.

1. GİRİŞ

En sık kullanılan yapı malzemelerinden biri olan betonda, bilindiği üzere, malzemenin kendi iç yapısı gereği zamana bağlı yer değiştirmelerlerle yapı ömrü boyunca sıkça karşılaşılır. Bu etkiler gereği gibi değerlendirilmediğinde hem kullanılabilirlik hem de yerel ya da bütünsel hasar anlamında istenmeyen sonuçlara neden olabilir. Zamana bağlı bu yer değiştirmeleri ortaya çıkaran en önemli etmenler betondaki sünme, büzülme etkileridir.

Betonun malzeme özelliklerindenden biri olan sünme, yükleme anındaki ani birim gerilmenin ardından yapı elemanı üzerindeki kalıcı, ölü yüklemelerden oluşan zamana bağlı yer değiştirme olarak tanımlanabilir. Yapı elemanlarının bu davranışı göstermesi beton bileşimindeki su/çimento oranı, çimento dozajı, agrega miktarı, eleman boyutu, beton yaşı, eleman üzerindeki sabit gerilme oranı başta olmak üzere birçok değişkenin bir araya gelmesi sonucunda olur.

Büzülme ise başlıca çimentonun hidratasyonu sırasında oluşan, bu kimyasal işlemin gerektirdiğinden daha fazla su kullanılması sonucu ortaya çıkan fiziksel bir değişikliktir. Hidratasyon sırasında gerekli olan su, çimento ağırlığının yaklaşık %25'i kadar olması gerekmesine karşın, işlenebilir bir beton elde etmek için bu oranın üzerinde su kullanılır. Bu nedenle hidratasyon için kullanılan gereğinin dışındaki su buharlaşma yoluyla dışarı atılır, bu da betonda hacimsel bir küçülmeye yol açar. Büzülme, beton tazeyken daha etkili olmasına karşın, yapı elemanının ömrü boyunca gözlenebilir. Bu yüzden zamana bağlı sünme yer değiştirmeleri göz önüne alınırken büzülme etkisinin de göz ardı edilmemesi gerekir.

1.1 Tezin Amacı

Öngerilmeli kutu kesitli köprülerde ölü, hareketli yüklerden kaynaklı aşağı doğru, öngerilmeden ötürü ise yukarı doğru oluşan yer değiştirmeler arasındaki fark çok küçüktür. Ancak bu yer değiştirmeler arasındaki küçük fark, göz önüne alınan

yapının yaşı boyunca zamana bağlı olarak artmaktdır. Bu nedenle sünme ile büzülmeden oluşacak yer değiştirmelerin gerçekçi bulunması çok önemlidir.

Öngerilmeli köprü yönetmeliklerinde beton için verilen sünme, büzülme katsayıları kutu kesitin bütününde, açıklık boyunca aynı varsayılır. Geçerli yönetmeliklere göre tasarlanan köprülerde zamanla göçmeye (Palau), büyük hasarlara (Kömürhan) neden olabilecek büyük yerdeğiştirmeler olmaktadır.

Herhangi bir yapı sisteminde zamana bağlı yer değiştirmeler göz önüne alınırken, en önemli etmen gerçekçi malzeme modelleri kullanılmasıdır. Var olan yönetmeliklerde sünme ile büzülme etkileri belirli katsayılar, eğrilerle göz önüne alınmaktadır.

Bu çalışmada betondaki sünme, büzülme davranışı ile ilgili Bazant ve Baweja (2000) tarafından geliştirilen B3 Modeli kullanılmıştır. Ayrıca Amerikan Beton Enstitüsü (1992, 2008) tarafından ACI 209 Komitesi aracılığıyla hazırlanan Sertleşmiş Betonda Büzülme, Sünme Etkilerinin Modellenmesi için Kılavuz'da verilen ACI 209R-92 modeli, CEN/TC250 Teknik Komitesi (1992, 2003) tarafından hazırlanan Betonarme Yapıların Tasarım Kuralları, EC 2 içindeki Bölüm 3'te verilen sünme, büzülme modeli ile Öngerilmeli Beton Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, TS3233 (1979) içinde verilen sünme, büzülme modeli kullanılarak karşılaştırmalı bir çalışma yapılmıştır. Tez kapsamında Türkiye'nin çeşitli yerlerinde inşa edilmiş 7 köprü ile Palau Cumhuriyeti'nde inşa edilmiş bir köprünün zamana bağlı yer değiştirmelerinin bulunması için uygulama yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda da modellerin verdiği sonuçların farklılıklarının nereden kaynaklandığı tartışılmıştır.

Bu amaçla kutu kesitli sekiz köprüde, zamana bağlı yer değiştirmeleri verecek birim kısalmalar, çevre koşulları, köprü yapım süresi, kesit özellikleri, beton dayanımı, beton karışım oranı gibi özellikler göz önüne alınarak elde edilmiştir.

1.2 Kaynak Araştırması

Hatt (1907) tarafından ilk kez gözlenen betondaki sünme etkisi, bu karmaşık davranışın anlaşılması adına birçok çalışmanın başlangıcını oluşturmuştur. Zamana bağlı yer değiştirmeler beton karışım oranı, kür durumu, ortam koşulları başta olmak üzere birçok etmenden etkilenirler. Meyerson (2001) tarafından bu etkiler genel olarak incelenmiştir.

Beton kompozit bir malzeme olduğundan, beton bileşimini oluşturan agrega, çimento, su oranları; kullanılan agrega, çimento tipleri değişiklik gösterdikçe betonun zamana bağlı gösterdiği yer değiştirmeler de bundan önemli oranda etkilenmektedir.

Troxell ve diğ. (1968), Alexander (1996), Collins (1989) agrega etkileri hakkında çeşitli çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalara göre agrega çeşitleri, su emme oranları, rijitlikleri, çimento hamuruyla etkileşimleri gibi farklı özelikleriyle genel olarak beton davranışını, özel olarak da sünmeyi önemli oranda etkilemektedir. Buna bağlı olarak betonun, daha yoğun, su emme oranı düşük, elastisite modülü yüksek agregalar kullanılması durumunda daha az sünme etkisinde kalacağı bulunmuştur.

Betonda kullanılacak çimento tipi de zamana bağlı davranışları önemli ölçüde etkilemektedir. Örneğin, erken dayanım kazanan çimentolar normal çimentolara göre daha fazla sünme ve büzülme etkisi göstermektedir (Troxell ve diğ., 1968). Düşük sıcaklıklı ve puzolan eklenmiş Portland çimentoları, normal Portland çimentolarına göre daha fazla jel üretecekleri için betondaki sünme ve büzülme etkilerini arttırmaktadır. Cüruf eklenmiş çimentolar ise erken yaşlardaki sünme etkisini arttırırken ilerleyen yaşlarda bu etkiyi azaltıcı bir özellik göstermektedir (Mehta, 1986; Alexander, 1994). Uçucu kül kullanımı da yine sünmeyi azaltıcı bir etki göstermektedir (Mehta, 1986; Tikalsky ve diğ., 1988). Beton bileşimindeki su/çimento oranı sabit tutulup, betonun işlenebilirliği ve içindeki çimento miktarı arttığında ise sünme etkisi artmaktadır (Troxell ve diğ., 1968; Wiegrink ve diğ., 1996).

Sünme etkilerinin bulunuşunda betonun yüklenme yaşı da göz önüne alınmalıdır. Yükleme yaşı daha erken olan betonlar daha büyük sünme değerleri göstermektedir. Bu anlamda betonun yükleme yaşı, hem temel sünmeyi hem de kurumadan kaynaklı ek sünmeyi etkilediği için önemli bir değişken olarak değerlendirilmektedir (Chern ve Chan, 1989; Carette ve Malhotra, 1997).

Zamana bağlı yer değiştirmelere neden olacak sünme, büzülme etkileri yapının kullanım süresi boyunca ortam koşulları da değişkenlik göstereceğinden, bu değişen etkileri de göz önüne alacak biçimde bulunmalıdır. Ortam sıcaklığı ile ortamın bağıl nemi betonun sünme, büzülme etkilerini önemli oranda etkilemektedir. (Chern ve diğ., 1988; Schwesinger ve diğ., 1987). Bu çalışmalara göre, ortamın sıcaklığı

arttıkça, bağıl nem oranı ise azaldıkça sünmeden dolayı oluşan etkiler artmaktadır. Ayrıca ortamın bağıl neminin azalması büzülme etkilerini de arttırmaktadır.

Zamana bağlı yer değiştirmeleri bulunacak yapı elemanlarının boyutları da elemanla ortam arasındaki nem alışverişini etkileyeceği için önemli bir değişkendir (Troxell ve diğ., 1968). Bu çalışmaya göre, göz önüne alınan elamanın boyutları arttıkça sünme etkisi azalma göstermektedir.

Bu çalışma kapsamında, çeşitli modellerin sünme ile büzülme sorununa yaklaşımları inceleneceğinden bu modellerin oluşum süreçlerinin incelenmesi de yararlı olacaktır. Betonda zamana bağlı yer değiştirmeleri göz önüne alacak modellerin kurulması için öncelikle bu modellerin tutarlılığını ölçecek bir veritabanından yararlanılması gerekmektedir. Bu amaçla, Bazant ve Panula (1978) sayısal bir veritabanının kurulması adına ilk çalışmaları yapmışlardır. Bu çalışmada çoğunluğu Amerika ile Avrupa'nın çeşitli bölgelerinden olmak üzere 400 sünme, 300 de büzülme testinin sonuçları toplanmıştır. Toplanan bu veriler ACI ile CEB tarafından ortaklaşa oluşturulan bir komite aracılığıyla 1980 yılındaki Hubert Rusch Çalıştayı ile daha da geliştirilmiştir (Hillsdorf ve Carreira, 1980). Toplanan bu ilk veriler daha sonra Bazant başkanlığındaki RILEM TC-107 (1995) komitesi tarafından, RILEM veritabanı olarak da adlandırılacak toplu bir hale getirilmiştir (Kuttner, 1997, Muller ve diğ., 1999). Geliştirilen bu veri tabanında toplam olarak 518 sünme, 426 büzülme testinin sonuçları bulunmaktadır (Bazant ve Li, 2008). Bu çalışmada kullanılacak Bazant ve Baweja (2000) tarafından geliştirilen B3 ile Amerikan Beton Enstitüsü (1992, 2008) tarafından ACI 209 Komitesi aracılığıyla geliştirilen ACI 209R-92 Modelleri oluşturulurken kullanılan veriler RILEM veri tabanından elde edilmiştir.

Modellerin verdiği sonuçları karşılaştırma amacıyla kullanılacak bu verilerin, çeşitli bölgelerden, değişik koşullar altında alınması, bu verilerin nasıl tek bir veritabanında ele alınacağı konusunda birtakım sorunlar yaratmaktadır. Muller (1993), Al Manaseer ve Lakshmikantan (1999) tarafından yapılan çalışmalarda toplanan verilerin bir araya getirilmesinde karşılaşılan bu sorunlar tartışılmıştır. Örneğin Hansen ve Mattock (1966) tarafından yapılan çalışmadan alınan çeşitli agraga tiplerine ait verilerin bir kısmı veritabanına alınırken, bir kısmı alınmamıştır. Yine aynı çalışmalardan 150 mm çapına sahip numunelerden alınan verilerle 100-200 mm çapına sahip numunelerden alınan verilen arasında uyumsuzluk gözlenmiştir. Bu örnekten de anlaşılabileceği gibi veritabanının oluşturulması önemli bir süreçtir.

Zamana bağlı yer değiştirmeleri inceleyen yöntemlerin oluşturulmasında karşılaşılan bir diğer sorun ise kullanılacak beton modelidir. Sünme, büzülme hesabında kullanılan çoğu yöntem kullanılan çimento tipi ile buna bağlı olarak betonun dayanım kazanma hızına karşı duyarlıdır. Örneğin RILEM veri tabanı oluşturulurken kullanılan ASTM C150-07 (2007) Portland Çimentosu Yönetmeliği'ndeki Tip I (Normal Portland Çimentosu) tanımına göre çeşitli modellerin verdiği sonuçları yorumlamak, yapı tasarımında kullanılan çimento türlerinin farklılığı, kullanılan katkıların çeşitliliği yüzünden giderek zorlaşmaktadır. Birçok farklı çimento tipi, Türk Çimento Yönetmeliği olan TS EN 197-1 (2012) içinde verilen tanımlarıyla CEM I (Normal Portland Çimentosu), CEM II (Portland-Kompoze Çimento) ile CEM III (Portland Yüksek Fırın Cüruflu Çimento) için verilen gerekliliklerin hepsini birden karşılamaktadır. Bu durum kullanılan veri tabanı ile gerçek durumlar karşılaştırılırken sorunlara yol açmaktadır. Çimento tanımları ile yönetmelikleri bölgeden bölgeye de değişiklik gösterdiği için bu da ayrı bir sorun olarak göz önünde bulundurulmalıdır. McDonald (1990), McDonald ve Roper (1993), Sakata (1993), Sakata ve diğ. (2001), Videla ve diğ. (2004) tarafından bu durumun göz önünde bulundurulması adına, Avrupa, Japonya, Kuzey Amerika, Güney Pasifik bölgelerinde üretilen betonlar için farklı sünme, büzülme eğrileri oluşturulması önerilmiştir. Buna karşın her ne kadar sünme, büzülme etkileri yerel koşullarla değişse bile, kısa dönemli sünme, büzülme ölçümlerinin yapılmasının, zamana bağlı uzun süren birim kısalmaların bulunmasında yerel koşulların farklılığından kaynaklanan sorunları ortadan kaldırabileceğine dair çalışmalar da yapılmıştır (Bazant, 1987; Bazant ve Baweja, 2000; Aguilar, 2005).

Zamana bağlı yer değiştirmeleri elde edecek doğru modeli seçmek için RILEM TC-107 (1995) ile ACI 209 (2008) Komiteleri tarafından ortak olarak önerilen ilkeler ise şöyle sıralanmaktadır:

- Kuruma büzülmesi ile kurumadan kaynaklanan ek sünme sınırlandırılmalıdır. Bu etkiler sonsuza kadar artmamaktadır.
- Sünme, büzülme eşitliklerinin zaman ile eleman boyutuna bağlı olarak bulunmasına izin verilmelidir.
- Veri tabanından alınacak doğrulama amaçlı veriler, kullanılacak modelin uygulanma sınırları dikkate alınarak seçilmelidir.

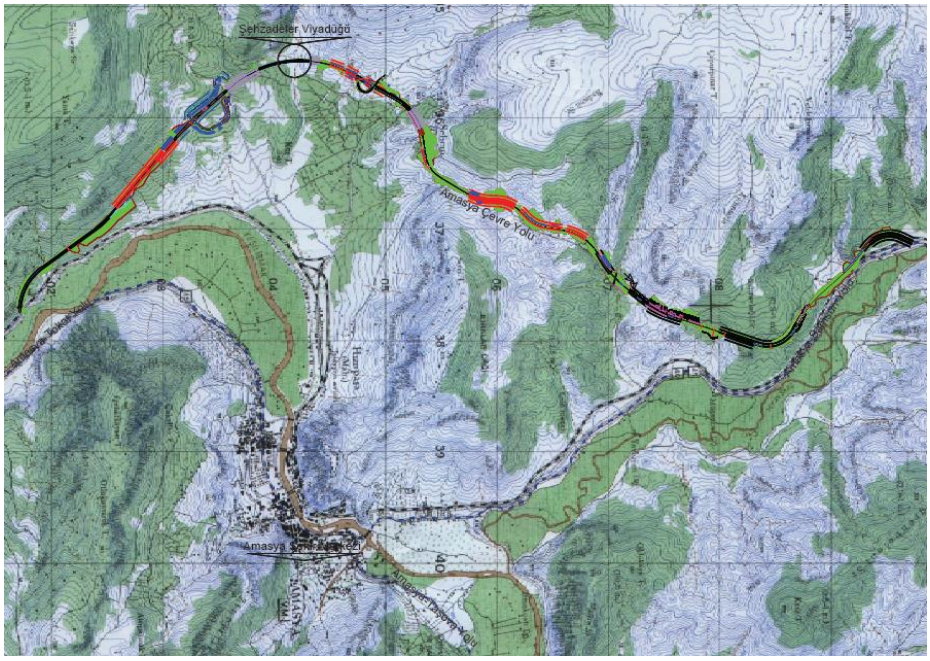
- Eşitlikler kolayca uygulanabilmeli, girdilerdeki değişikliklere karşı fazla duyarlı olmamalıdır.
- Kullanılacak sünme, büzülme eğrilerinin biçimi, bu eğrileri doğrulayacak veri kümesiyle uyumlu olmalıdır.
- Sünme etkisi, sünme katsayısı olarak alınmaktan çok sünme uygunluğu olarak kullanılmalıdır.
- Sünme eşitliklerinde, yükleme yaşından önceki kuruma etkisi de göz önünde bulundurulmalıdır. Acker (1993) tarafından yapılan çalışmada yükleme başlamadan önce kurumuş betonun daha az sünme davranışı göstereceği belirtilmiştir. Wesche ve diğ. (1978) tarafından yapılmış çalışmada da benzer betonlardan daha geç yaşta yüklenenin erken yaşta yüklenene göre daha az sünme yer değiştirmesi yaptığı gösterilmiştir.
- Sünme, büzülme eşitlikleri uçucu kül, cüruf (Videla ve Gaedicke, 2004); doğal puzolan (Videla ve Aguilar, 2005a); silis dumanı, kimyasal katkılar (Videla ve Aguilar, 2005b), içeren betonların da kullanılabileceği biçimde oluşturulmalıdır.
- Oluşturulan modeller çeşitli elaman boyutlarına karşı duyarlı olmalıdır.
- Ortam bağıl nemindeki değişmeler göz önüne alınabilir nitelikte olmalıdır.

Bu tez kapsamında, Bazant ve Baweja (2000) tarafından oluşturulan B3 Model, ACI 209R-92 Modeli, EC 2 Modeli ile TS3233'de verilen yaklaşımlar kullanılarak zamana bağlı yer değiştirmelerin etkisi araştırılacaktır.

2. ÖNGERİLMELİ KUTU KESİTLİ KÖPRÜLER

2.1 Şehzadeler Viyadüğü

Şehzadeler Viyadüğü, Amasya ili, Amasya Çevre Yolu projesi içerisinde yer almaktadır. Amasya Çevre Yolu Projesi yaklaşık 11 km uzunluğunda olup, Şehzadeler Viyadüğü 6+675 ile 7+165 km'leri arasında yer almaktadır. Şekil 2.1'de Şehzadeler Viyadüğü'nün topografik haritada bulunduğu yer görülmektedir.



Şekil 2.1 : Şehzadeler Viyadüğü Topografik Harita.

Köprü 85.00+160.00+160.00+85.00 m olmak üzere 4 açıklıklıdır. Toplam boyu 490 m olan köprünün ayak yükseklikleri sırasıyla 49.20 m, 51.42 m ile 37.65 m'dir. Köprü 950 m kurp yarıçapına sahip olup, boyuna eğimi %3.89, enine eğimi ise %4.20'dir. Ayrıca köprü "Sağ Taşıt Yolu" ile "Sol Taşıt Yolu" olmak üzere 13.50 m genişliğinde iki parçadan oluşmaktadır. Köprü yapımı hala devam etmekte olup yapının 2016'da bitirilmesi düşünülmektedir. Şekil 2.2'de köprü ayaklarının yapılmasının ardından yapının genel durumu görülmektedir. Yapım tamamlandığında elde edilecek yapı ise Şekil 2.3'te görülmektedir.



Şekil 2.2 : Köprü Ayakları Yapımı.

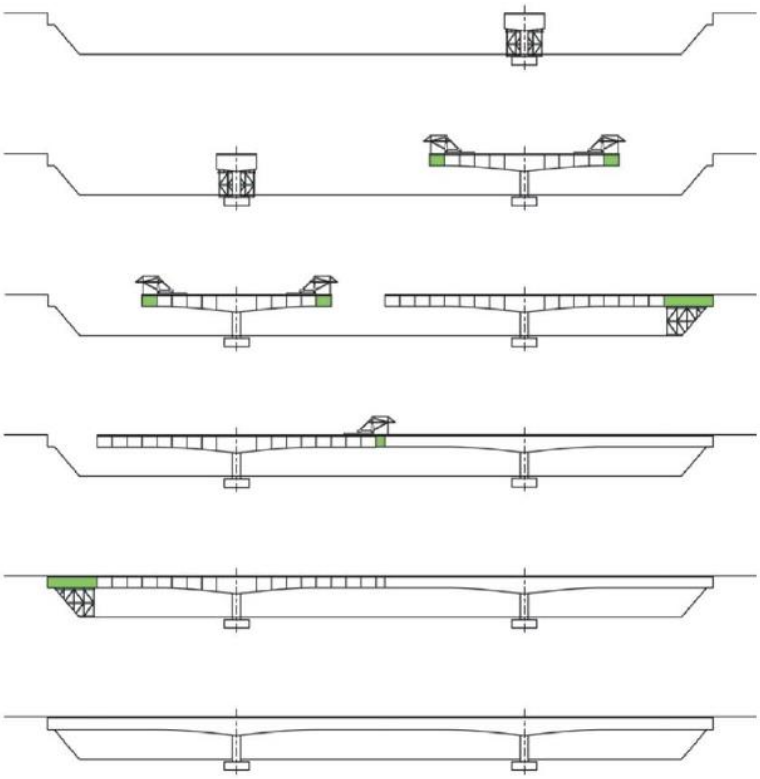


Şekil 2.3 : Köprünün Bittikten Sonraki Durumu.

Şehzadeler Viyadüğü, Tigem Köprüsü dışında, zamana bağlı yer değiştirmeleri bulunacak diğer altı köprü gibi "Dengeli Konsol Yöntemi" (Şener, 2006) kullanılarak ardgermeli olarak yapılmıştır. Bu yöntem Ardgermeli beton kullanılarak büyük açıklıkların geçilmesinde çok yaygın olarak kullanılmaktadır.

Dengeli Konsol Yöntemi literatürde "The Free Cantilevering Method" ya da "The Cantilever Construction Method" olarak anılır. Bu yöntem zeminden ek bir destek

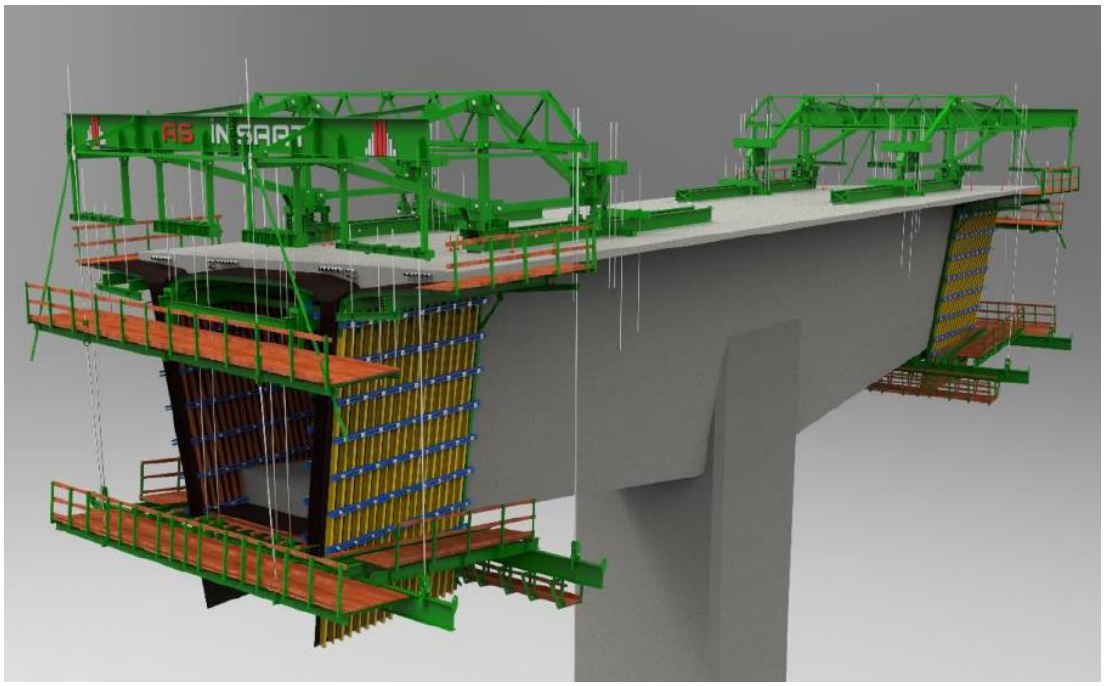
almadan, sabit bir noktadan dışarıya doğru konsol biçiminde uzanan, yük taşıyabilecek bir yapının ardışık adımlarla yapılmasına dayanır. Yönteme, daha önce yapılmış bir orta ayağın, her iki tarafından birbirini dengeleyecek biçimde yapılan parçalarla uygulanması nedeniyle, "Dengeli Konsol" denilmektedir. Şekil 2.4'de yöntemin şematik olarak uygulanması görülmektedir.



Şekil 2.4 : Dengeli Konsol Yöntemi.

Dengeli Konsol Yöntemi'nin uygulanabilmesi için "Kalıp Arabası"na ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin, Şehzadeler Viyadüğü'nün yapımında "Male" ile "Female" olarak tasarlanmış iki adet Kalıp Arabası kullanılmıştır.

Kalıp Arabası raylar üzerinde hidrolik pistonlar ile krikolar yardımıyla hareket etmektedir. Kalıp arabasının döşeme ile bağlantısını "Thread Bar"lar sağlamaktadır. Döşeme üzerinde beton dökümünden önce Kalıp Arabası tasarımında tespit edilen boşluklara gömülü elemanlar bırakılır. Daha sonra Kalıp Arabası'nın bu boşluklar ile gömülü elemanlarla döşemeye bağlanması sağlanır. Şekil 2.5'te Şehzadeler Viyadüğü için tasarlanan Kalıp Arabası görülmektedir. Şekil 2.6'da ise Dengeli Konsol Yöntemi'nin Şehzadeler Viyadüğü'nde Kalıp Arabası aracılığıyla nasıl beton döküldüğü görülmektedir..



Şekil 2.5 : Şehzadeler Viyadüğü için Tasarlanan Kalıp Arabası.



Şekil 2.6 : Şehzadeler Viyadüğü'nde Dengeli Konsol Yöntemi Uygulaması.

Kalıp Arabası her proje için ayrı tasarlanmaktadır. Yapılacak olan köprünün konumu, rüzgar yükleri, en büyük parça ağırlığı, parça boyu, yapım tekniği, köprü verevliliği, köprünün boyuna, enine eğimleri Kalıp Arabası tasarımı için çok önemlidir.

Şehzadeler Viyadüğü'nde kullanılan Kalıp Arabası'nın bir takım ağırlığı yaklaşık 130 Ton gelmektedir. Bu değer köprüden köprüye değişmektedir. Örneğin İmrahor Viyadüğü'nde Kalıp Arabası ağırlığı yaklaşık 300 Ton'dur. Yapım aşamasından önce Kalıp Arabası'nın deneyleri yapılarak yükleme altındaki yer değiştirmeler kontrol edilmiştir. Kalıp Arabası'nın yük altındaki yer değiştirmesinin köprü yer değiştirme hesaplarına eklenmesi oldukça önemlidir. Şekil 2.7'de Kalıp Arabası için yapılan deney düzeneği görülmektedir.

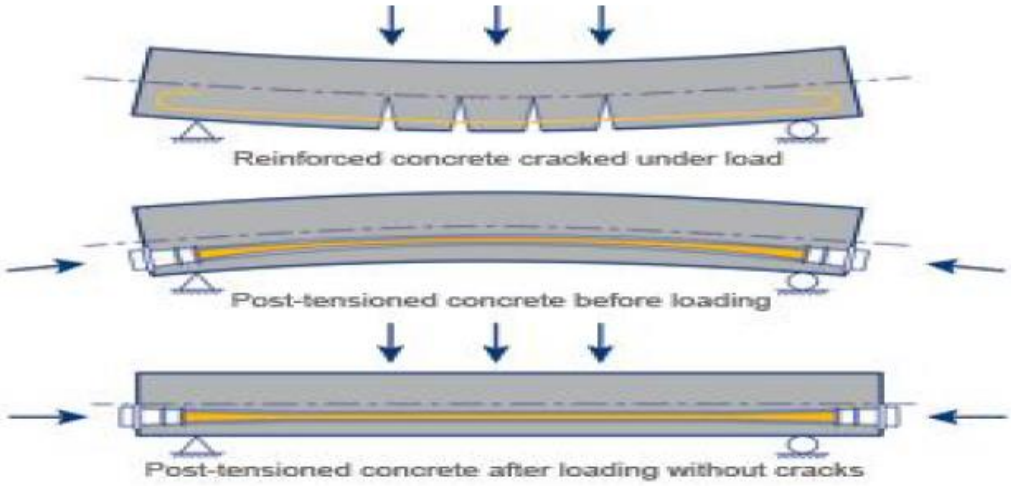


Şekil 2.7 : Kalıp Arabası Deney Düzeneği.

Dengeli Konsol Yöntemi ile yapılan köprülerde kullanılan ardgerme sistemi, betonun çekmeye karşı zayıflığını önlemek için kullanılan bir uygulamadır. Bu uygulamada kesite istenilen geometride kılıflar yerleştirilir. Daha sonra bu kılıfların içerisinden yüksek dayanımlı halatlar geçirilir. Beton dökülüp dayanımını kazandıktan sonra bu halatlar gerilerek uygulama tamamlanır. Bu işleme ardgerme ya da sonradan germe denilmektedir. Ardgerme uygulaması ile sabit bir basınç kuvveti uygulanan betonda çekme gerilmeleri sınırlandırılır. Böylece dış yüklerin oluşturacağı çekme kuvvetine karşı önlem alınmış olur.

Ardgerme (sonradan çekme, sonradan germe, post-tension) yöntemi, çekme kuvvetinin beton sertleştikten sonra yapıya kalıcı olarak uygulanmasına dayanır. Yöntem, yüksek dayanımlı, uygun şekilde yerleştirilmiş halatların gerilmesi ile uygulanır. Şekil 2.8'de betonarmenin aksine, öngerilmeli yapılarda öngerilme

verildikten sonra oluşan ters yer değiştirmelerin yükler altında dengelenmesi gösterilmektedir (Karayolları 7.Bölge Müdürlüğü, 2014).



Şekil 2.8 : Ardgerme Yönteminin Şematik Gösterimi.

Bu yöntem de ilke olarak önceden germede (öngekme) olduğu gibi, betonarme donatı çubukları yerine çekme dayanımı çok yüksek olan halatların gerilerek beton elemanların taşıma kapasitelerini arttırmaktadır. Ardgermenin önceden germeden en önemli farkı, bitmiş elemanlarda uygulanmasıdır. Bu yöntemde, bitmiş elemanlar yerine yerleştirildikten sonra elemanların içinde bırakılmış olan borular içinden geçirilen ardgerme halatları hidrolik krikolarla hesaplanan kuvvetlere göre gerilir, kilitlenir. İşlemin en sonunda da boruların içine çimento doldurulur. Yeterli aderans sağlandıktan sonra da halatlar kesilir. Ardgerme uygulanarak büyük açıklıkları küçük kesitlerle geçmek mümkün olmaktadır.

Ardgerme işlemini gerçekleştirmeden önce betonun minimum 28 günlük dayanımının %70'ini kazanıp kazanmadığı beton laboratuvarında yapılan kırım testleri sonucunda belirlenir, bu işlemin ardından da sonradan çekme gerçekleştirilir.

2.2 Kömürhan Köprüsü

Kömürhan Köprüsü, Elazığ-Malatya karayolunun 51. kilometresinde, Fırat nehri üzerinde bulunmaktadır. Fırat nehri, Malatya ile Elazığ illerini birbirinden ayıran doğal bir sınır niteliğindedir. Bu iki il arasındaki ulaşım 1930'lu yıllara kadar önce sadece sal ya da kayıklarla, daha sonra ise 1.Dünya savaşı yıllarında yapılmış olan ahşap bir köprüyle sağlanmıştır. Ancak 1929 yılında suların 14 m kadar yükselmesi

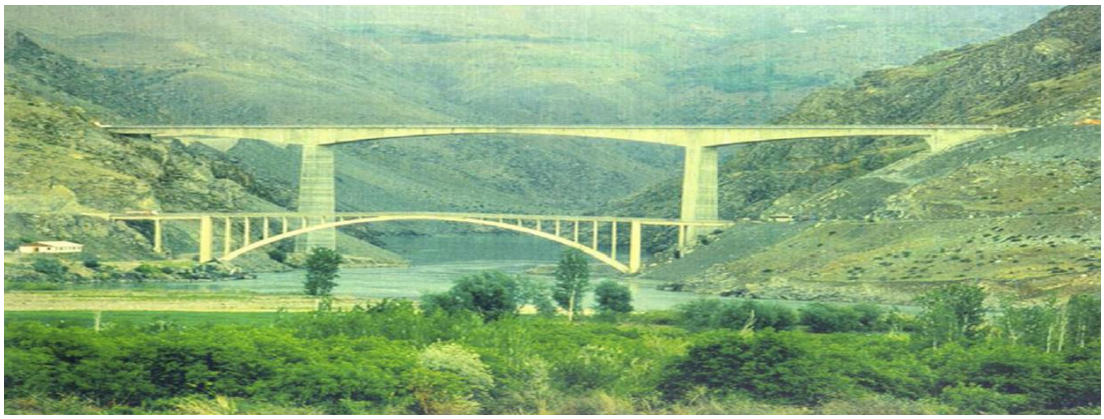
ile birlikte ahşap köprü yıkılmış, dolayısıyla sal ya da kayıklarla ulaşıma yeniden dönülmüştür (Şekil 2.9, Tuna, 2007). Bu duruma kalıcı bir çözüm bulmak amacıyla betonarme bir köprü yapılması gündeme gelmiş, bunun için uygun yerin Kömürhan Boğazı olduğuna karar verilmiştir (Korkmaz, 2013).



Şekil 2.9 : Kömürhan Köprüsü'nün Olduğu Nehirde Salla Ulaşım.

Ağustos 1930 tarihinde başlayan betonarme köprü yapımı 3 Nisan 1932 tarihinde tamamlanmıştır. İsveç firması olan Nidgvist&Helm şirketi tarafından yapılan köprü, öncelikle İsmet Paşa Köprüsü olarak adlandırılmasına karşın, Kömürhan Köprüsü olarak da anılmaktadır. 109,6 m orta açıklığa sahip olan kemer tipindeki bu köprü, yapıldığı dönem itibarıyla dünyadaki 6. en uzun açıklıklı köprü olarak nitelendirilmiştir.

Kömürhan Köprüsü, uzun yıllar hizmet eden betonarme köprünün Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) kapsamında yapılmış olan Karakaya Baraj Gölü'nün suları altında kalması nedeniyle yeniden yapılmıştır. Eski yapının yerine Türkiye'nin ilk dengeli konsol yöntemi ile yapılmış olan öngerilmeli kutukesitli 135 m ana açıklıklı yeni Kömürhan Köprüsü 1986 yılında tamamlanmıştır. Şekil 2.10'da yeni ile eski Kömürhan Köprüleri beraber görülebilir.



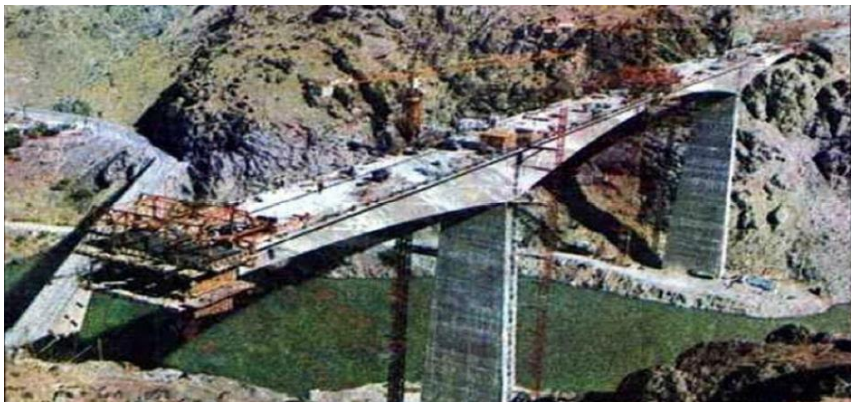
Şekil 2.10 : Eski Kömürhan Köprüsü Su Altında Kalmadan Önce.

Yeni Kömürhan Köprüsü, eski betonarme köprünün hemen yanına 1983-1986 yılları arasında yapılmıştır. Şekil 2.11'de eski Kömürhan Köprüsü'nün sular altında kalmasının ardından yeni Kömürhan Köprüsü görülmektedir.



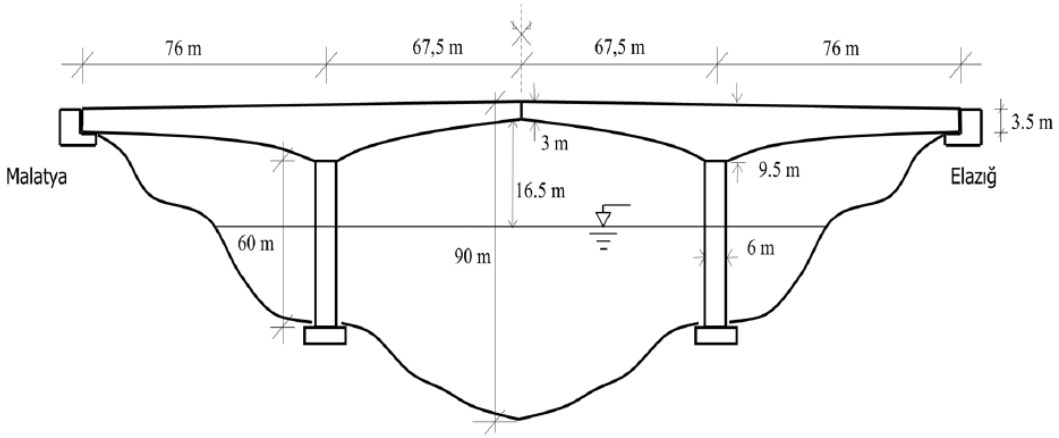
Şekil 2.11 : Kömürhan Köprüsü'nün Karakaya Barajı'nın Yapımından Sonrası.

Yeni Kömürhan Köprüsü için başlangıçta Gamb ile HHS firmaları tarafından orta açıklığı 115 metre, kenar açıklıkları da 86 metre olmak üzere toplam 287 metre uzunluğunda gerber kirişli bir sistemin projesi hazırlanmıştır. Ancak yapım sırasında, nehrin içinde yer alan yüksek ayakların iskele imalatını güç kılacağı düşünülerek, yapım tipinde değişikliğe gidilip dengeli konsol sistemin uygulandığı sonuç projeye geçilmiştir. STFA İnşaat A.Ş. tarafından yapımı gerçekleştirilen bu projenin müşavirliği Gamb ile Mott, Hay&Anderson firmaları tarafından yürütülmüş, ardgerme çalışmaları ise DSI firmasınca gerçekleştirilmiştir. Yeni projede köprü toplam boyu sabit kalırken orta açıklık 115 metreden 135 metreye çıkartılmıştır. (Korkmaz, 2013). Şekil 2.12'de Yeni Kömürhan Köprüsü'nün yapımı görülmektedir (Korkmaz, 2013).



Şekil 2.12 : Yeni Kömürhan Köprüsü'nün Yapımı.

Her bir ayak üstüne oturan köprü parçası, 29 adet değişken kutu kesitli, yerinde dökme parçadan oluşmaktadır. Haftada bir parçanın döküldüğü varsayılabilir. Her bir parça donatılı kutu kesittir. Donatılı kutu kesitin yüksekliği orta ayak üzerinde 9.35 m olmakla beraber, parabolik bir azalım göstererek kenar mesnetlerde 3.50 m'ye, ana açıklık ortasındaki genleşme derzinde ise 3.00 m'ye kadar düşmektedir. Köprünün boykesiti Şekil 2.13'te görülmektedir.



Şekil 2.13 : Kömürhan Köprüsü Boykesit.

Köprü orta açıklığında, konsolların birlikte çalışmasını sağlamak amacı ile orta açıklıkta, kutu kesitin içinde çelik kirişlerden oluşan, mafsal biçiminde tasarlanan bir düzenek oluşturulmuştur (Şekil 2.14). Bu mafsal düzeneği iki adet IPB 600 kesitli çelik kirişten oluşmaktadır. Bu bağlantı ile düşey yükler altında üst yapının ortak hareket etmesini sağlanmıştır. Böylece orta açıklıktaki konsol uçları serbest bırakılmış, zamanla oluşacak sünme, büzülme ile farklı sıcaklık değişimlerinden oluşacak genleşmelere izin verilmiştir.



Şekil 2.14 : Kömürhan Köprüsü Mafsal.

2.3 Gülburnu Köprüsü

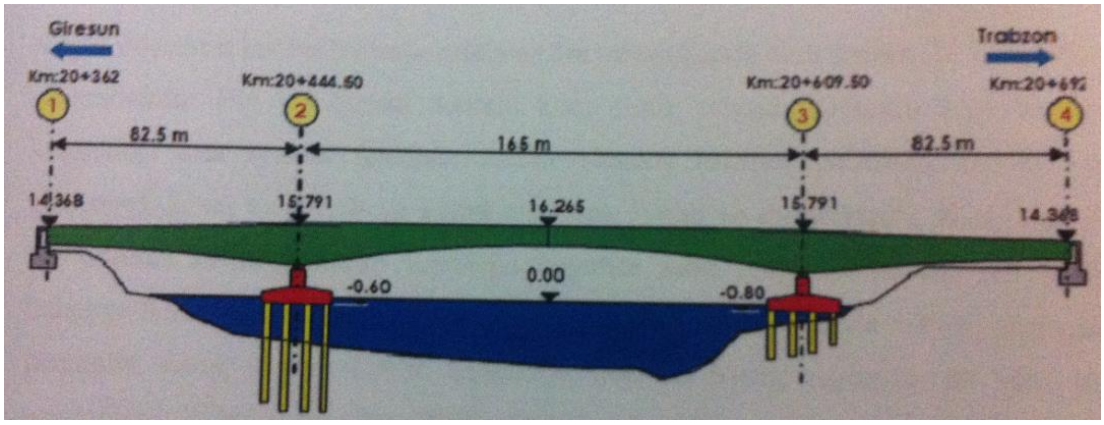
Gülburnu Köprüsü, Karadeniz Sahil Yolu İyileştirme Projesi Giresun-Espiye arası Devlet Yolu yapım işi kapsamında Güriş-Metiş Adi Ortaklığı'nın yükleniciliğinde yapılmıştır. Köprü, Giresun-Espiye arası Devlet Yolu'nun 20+362 ile 20+392 km'leri arasında yer almaktadır. Tarihi Zefre Limanı'nın bulunduğu koyun estetik bir köprüyle geçilmesiyle doğal bir güzelliğe sahip olan Gülburnu Koyu korunmuş olmaktadır. Gülburnu Köprüsü'nün denizden görünüşü Şekil 2.15'te görülmektedir.



Şekil 2.15 : Gülburnu Köprüsü'nün Denizden Görünüşü.

Köprü projesi ile ilgili ön çalışmalar 1998 yılı sonlarına doğru başlamıştır. Sunulan öneriler arasından Karayolları Genel Müdürlüğü Köprüler Dairesi tarafından, ardgermeli, büyük açıklıklı bir köprü tercih edilmiştir. Köprü açıklıklarının büyük seçilmesinin nedeni deniz tabanının jeolojik, topografik özellikleridir. Ana kayanın denizden 15 ile 20 m derinde olması, denizdeki ayak sayısının azaltılmasına, ayakların daha sığ olan kenar kısımlara koyulmasına yol açmaktadır.

Gülburnu Köprüsü kutu kesitli, ardgermeli, aynı temele oturan yan yana yapılmış iki köprüden oluşmaktadır. Köprü, ana açıklığı 165 m, kenar açıklıkları da 82.5 m olmak üzere toplam üç açıklıklıdır. Köprü toplam uzunluğu 330 m'dir. Köprü taşıt yolu 2x3.50 m trafik şeridi, 1x3.00 m emniyet şeridi, 2x0.50 m kenar bandı olmak üzere 11.00 m genişliğe sahiptir. Toplam üst döşeme genişliği, 2.50 m kaldırım, 1.00 m bordür ile 14.50 m olmaktadır. Köprünün yapımı sırasında 3800 ton donatı, 738 ton öngerme kablosu, 25000 m^3 de beton kullanılmıştır. Gülburnu Köprüsü'nün şematik boykesiti Şekil 2.16'da görülmektedir.



Şekil 2.16 : Gülburnu Köprüsü Boykesit.

Köprü döşemesi, her bir konsolu ortalama 5 m uzunluğunda olan toplam 23 konsoldan oluşmaktadır. Her bir konsol donatılı kutu kesite sahiptir. Donatılı kutu kesitin yüksekliği orta ayaklar üzerinde 8.25 m olmakla beraber, parabolik bir azalım göstererek kenar ayaklar ile köprü ortasında 3.50 m'ye kadar düşmektedir. Kutu kesitin üst döşeme kalınlığı köprü uzunluğu boyunca sabit olup 0.25 m'dir. Alt tabla kalınlığı 0.25 m ile 1.40 m, yan duvarların kalınlığı ise 0.45 m ile 0.60 m arasında parabolik olarak değişmektedir.

Deniz içinde iskele kurulması mümkün olmadığı için Gülburnu Köprüsü'nün yapımı için de Dengeli Konsol Yöntemi seçilmiştir. Şekil 2.17'de köprünün yapımı sırasında bu yöntemin kullanılışı görülmektedir.

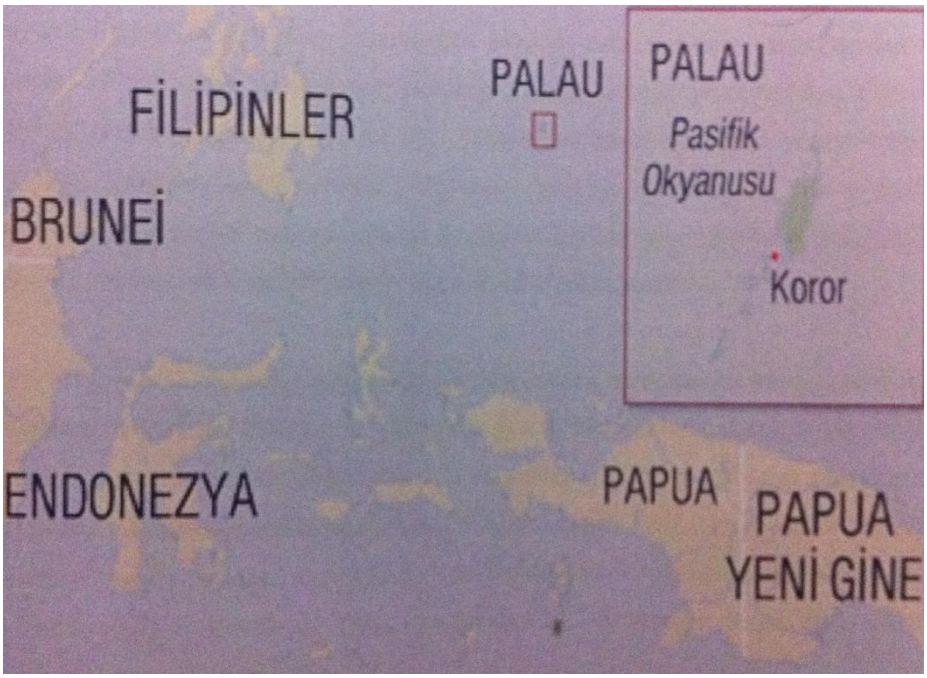


Şekil 2.17 : Gülburnu Köprüsü'nde Dengeli Konsol Yöntemi.

Gülburnu Köprüsü, yapıldığı 2009 yılında Türkiye'nin en uzun açıklıklı öngerilmeli kutu kesitli parçalı konsol köprüsüdür. Köprü projelendirilmesinde kullanılan KGM Karayolu Teknik Şartnamesi (2013) gibi yönetmelikler zamana bağlı yer değiştirmeler yüzünden oluşan öngeilrme kaybını yeterli olarak dikkate almamıştır (Sezdirmez, 2013). Uygulamadaki sünme modelleri sıcaklık değişimlerini, çatlak yayılmalarını içermediği için iyi sonuç vermemektedir. Gövde kirişi, üst ile alt döşeme kalınlığının farklı olmasından dolayı düzgün dağılma göstermeyen sünme, büzülme etkileri dikkate alınmalıdır.

2.4 Palau Köprüsü

Koror-Babelthuap Köprüsü, öngerilmeli olarak 1977 yılında Palau Cumhuriyeti'nde yapılmıştır. Palau Cumhuriyeti, Batı Pasifik'te, 350 küçük adadan oluşan, 494 km^2 yüz ölçümüne, 21000 nüfusa sahip bir ülkedir. Dünyada deniz göllerinin en yoğun bulunduğu yerlerden biri olan Palau, bir turizm ülkesidir. Koror-Babelthuap (Palau) Köprüsü, Toegel Kanalı'nı geçerek başkent Koror ile takımadaların en büyüğü olan Babelthuap adalarını birbirine bağlamaktadır. Palau Cumhuriyeti, Papua Yeni Gine'nin 1200 km kuzeyinde, Filipinler'in de 800 km doğusunda yer almaktadır. Bu ülkenin yeri Şekil 2.18'de görülmektedir.



Şekil 2.18 : Palau Cumhuriyeti.

1977 yılında, dünyanın en uzun öngerilmeli beton yapısı olarak yapılan Palau Köprüsü'nde, aşırı yer değiştirmelerden dolayı 1996 yılında onarım ihtiyacı duyulmuştur. Onarımdan 3 ay gibi kısa bir süre sonra, 26 Eylül 1996'da, normal hava ile trafik koşulları altında olmasına karşın Palau Köprüsü göçmüştür. Göçme sonucunda iki kişi ölmüş, dört kişi ise yaralanmıştır. Göçme sonucu, ülkenin en önemli iki adası arasındaki elektrik ile su servisi önemli ölçüde kesilmiştir. Bunun üzerine Palau Cumhuriyeti uluslararası yardım istemek zorunda kalmıştır.

Göçmeden sonra uzun süre geçmesine karşın, Palau Hükümeti ile yapımı gerçekleştiren şirketler arasındaki hukuki davalar devam ettiğinden yapıya ilişkin projeler ile yapı analizleri konusunda uzun süre bilgi edinilememiştir (Benzer, 2011). Köprüde yapılan çalışma ile yayınlar sınırlı olduğundan göçmenin gerçek nedeni belirsizdir. Davanın sonuçlandığı 20.01.2007 tarihinden sonra ise projelere ulaşma olanağı az da olsa doğmuştur. Palau Köprüsü'nün göçmeden önceki durumu Şekil 2.19'da, göçtükten sonraki durumu ise Şekil 2.20'de görülmektedir.



Şekil 2.19 : Palau Köprüsü Göçmeden Önce.

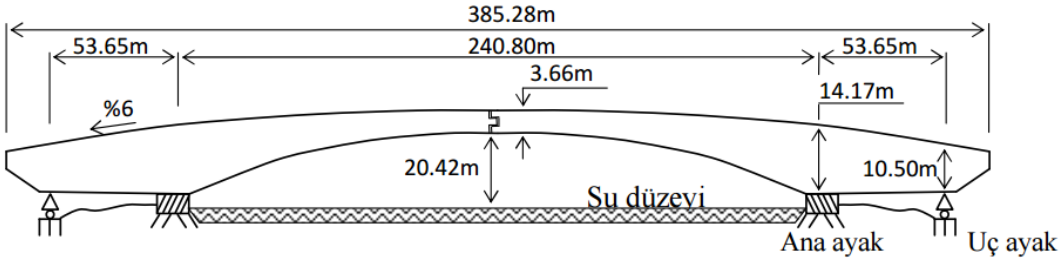


Şekil 2.20 : Palau Köprüsü Göçtükten Sonra.

Palau Köprüsü'nün yapımının hemen ardından orta açıklıkta yer değiştirmeler başlamıştır. 18 yıl sonra yapılan son ölçümde konsol ucundaki yer değiştirme miktarı 1.39 m olarak bulunmuştur (Bazant ve diğ., 2012a). Konsol ucundaki bu büyük yer değiştirme sorununu çözmek için onarıma gidilmiştir. Onarım işlemi için sürekli kablolar ile düz krikoların kullanıldığı bir yöntem uygulanmıştır. Buna karşın Palau köprüsü onarımın bitmesinden üç ay kadar sonra göçmüştür.

Palau Köprüsü tamamlandığı 1977 yılında kenar ayakları karada olan, 240.8 m tek açıklıkla dünyanın en uzun açıklıklı öngerilmeli köprüsü olmuştur (Yee, A.A., 1979). Toplam uzunluğu 385.28 m olan köprünün kenar açıklıkları 53.65 m, uç ayaklardan

sonraki uç açıklıkları ise 18.59 m'dir. Köprü orta açıklığının su yüzeyindeen yüksekliği ise 20.42 m'dir. Palau Köprüsü'nün boykesiti Şekil 2.21'de görülebilir.



Şekil 2.21 : Palau Köprüsü Boykesit.

Palau Köprüsü yerinde dökme, kutu kesitli, öngerilmeli beton kullanarak Dengeli Konsol Yöntemi ile inşa edilmiştir. Köprüyü oluşturan konsolların her biri 25 adet, değişken kutu kesitli, yerinde dökme parçadan oluşmuştur. Haftada bir parçanın döküldüğü varsayılabilir. Kesitlerde farklılık göstermekle beraber kiriş yüksekliği ana ayakta 14.17 m, orta açıklıkta ise 3.66 m'dir. Üst döşeme kalınlığı ana ayakta 0.43 m, orta açıklıkta 0.28 m'dir. Alt döşeme kalınlığı ise ana ayakta 1.1 m, orta açıklıkta 0.18 m'dir. Gövde kalınlığı sabit olup kirişin ana açıklığı boyunca 0.36 m'dir. Yerinde dökme parçalı konsollar ortada düşey yük ileten mafsal ile birleşerek konsol uçlarındaki birlikte çalışma sağlanmıştır (Burgoyne ve Scantlebury, 2006).

Bazant ve diğ. (2010) yaptıkları çalışmada Palau Köprüsü'nde beton sünme modellerinin zamana bağlı yer değiştirmelere yaptığı etkiyi araştırmışlardır. Yapılan çalışmada, köprünün tasarlandığı dönemde yürürlükte olan yönetmeliklerin yanı sıra B3 Model (Bazant ve Baweja, 2000) ile ABAQUS sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak modellemeler yapılmıştır.

2.5 Beylerderesi Viyadüğü

Beylerderesi Viyadüğü, Malatya-Darende-Kayseri yolunun, Malatya batı çıkışında yer alan Beylerderesi Vadisi'ne, Dengeli Konsol Yöntemi kullanılarak, ardgermeli kutu kesitli olarak inşa edilmiştir. Köprünün kullanıma açılması 20 Ocak 2011 tarihinde olmuştur. Beylerderesi Viyadüğü'nün yapılması ile bu bölgedeki vadiyi tehlikeli bir biçimde dolaşan yol yaklaşık 3 km kısalmıştır. Köprünün ortalama olarak günlük 19000'lik taşıt trafiğini taşıması öngörülmüştür.

Beylerderesi Viyadüğü 3 açıklıklı olup kenar açıklıkları 115 m, orta açıklığı 190 m olmak üzere toplam olarak 420 m uzunluğundadır. Bu yapı yurdumuzdaki en uzun

açıklıklı kutu kesitli öngerilmeli köprüdür. Köprünün orta ayak yüksekliği 74 m'dir; genişliği ise 2x2 trafik şeridine cevap verecek genişlikte olup 24 m'dir. Köprünün Dengeli Konsol Yöntemi ile inşa aşaması Şekil 2.22'de, yapım bittikten sonraki hali Şekil 2.23'te verilmiştir.



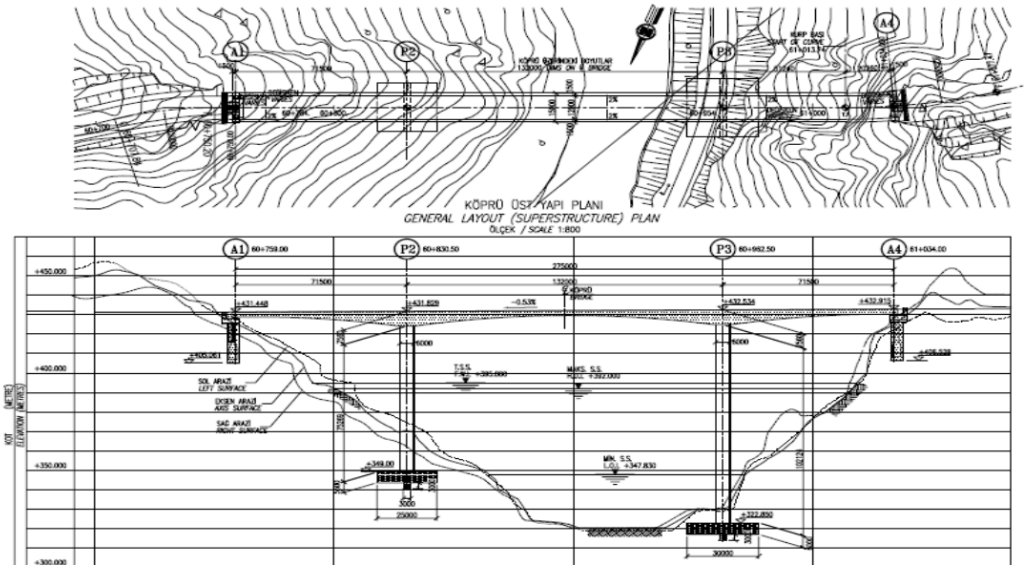
Şekil 2.22 : Beylerderesi Viyadüğü'nün Dengeli Konsol Yöntemi ile Yapımı.



Şekil 2.23 : Beylerderesi Viyadüğü'nün Yapım Sonrası Durumu.

2.6 Akarsın Viyadüğü

Akarsın Viyadüğü, Artvin Erzurum Yolu 2.Kısım İnşaatı kapsamında, Artvin-Erzurum yolu 60 + 759 ile 61 + 034 km'leri arasında, Çoruh Nehri Vadisi'nin iki yakasını birbirine bağlamak adına Sümerkan İnşaat tarafından inşa edilmiştir. Köprünün üst yapı planı ve boyuna kesiti Şekil 2.24'te görülmektedir.



Şekil 2.24 : Akarsın Viyadüğü Plan, Boykesit.

3 açıklıklı olarak yapılan Akarsın Viyadüğü 275 m uzunluğunda, 109.7 m yüksekliğindedir. Köprünün orta açıklığı 132 m, kenar açıklıkları ise 71.5 m'dir. Köprü, öngerilmeli kutu kesitli olarak Dengeli Konsol Yöntemi ile yapılmıştır. Akarsın Viyadüğü'nün tamamlanmış hali Şekil 2.25'te verilmiştir.



Şekil 2.25 : Akarsın Viyadüğü.

2.7 İmrahor Viyadüğü

İmrahor Vadisi Ankara'nın güneydoğusunda, Mamak ve Çankaya ilçe sınırları içinde yer alan, güneyde Eymir Gölü, kuzeyde Mamak Viyadüğü ile sınırlanan 3526 hektarlık bir alandır. İmrahor Viyadüğü de İmrahor vadisi ile rekreasyon alanı üzerinde yer almaktadır. Viyadük ayrıca Çankaya ve Mamak ilçelerini bütünleştiren ve birbirine bağlayan köprü özelliği taşımaktadır. İmrahor Viyadüğü Şekil 2.26'da verilmiştir.



Şekil 2.26 : İmrahor Viyadüğü.

İmrahor Viyadüğü her biri 115 m olan 4 iç ile her biri 71.9 m olan 2 uç açıklıktan oluşmak üzere toplam olarak 604 m uzunluğundadır. Köprünün döşemesi 27 m genişliğinde 3.60 m'lik dilimler halinde Dengeli Konsol Yöntemi ile yapılmıştır. Döşeme, yüksekliği köprü uzunluğu boyunca değişen ardgermeli kutu kesittir. Köprünün Dengeli Konsol Yöntemi ile yapımı Şekil 2.27'de görülmektedir.



Şekil 2.27 : İmrahor Viyadüğü'nün Dengeli Konsol Yöntemi ile Yapımı.

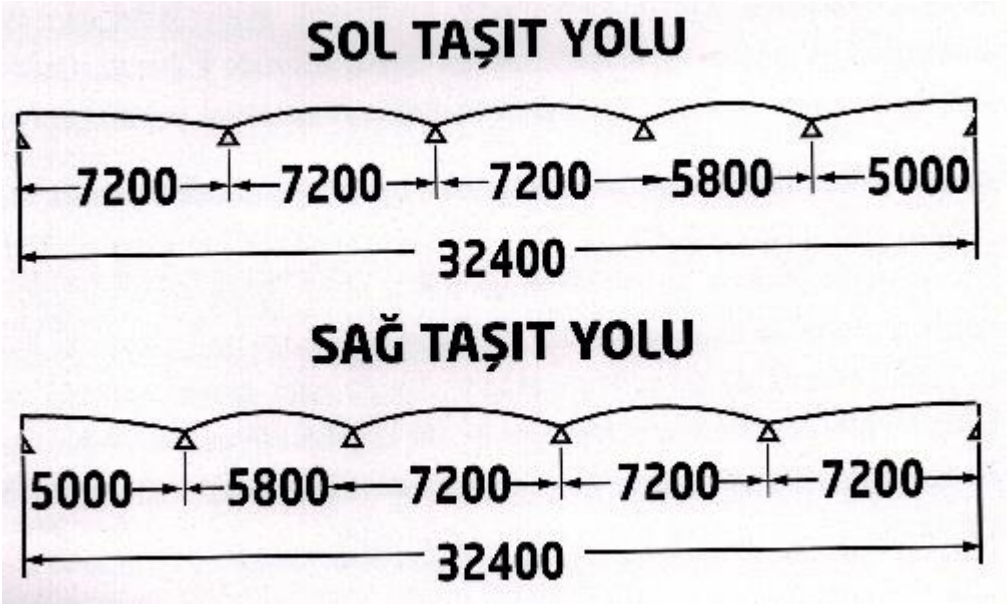
Mamak-Çankaya arası yol, gidiş 3 şerit, geliş 3 şerit olmak üzere projelendirilmiştir. Viyadük dışında iki taraftaki yaya kaldırımları 6 metre genişliğinde, orta refüj ise 3 metre genişliğindedir. Köprünün beş orta ayağından vadinin tam ortasına rastlayan, yapının projesinde de P3, P4, P5 olarak anılan üç ayağın temelleri sağlam zeminin bu bölgede 35 metreyi aşan derinliklerde oluşu nedeniyle kazıklar üstüne inşa edilmiştir. Kenar ayaklara daha yakın, P2 ile P6 olarak adlandırılan diğer iki ayağın temeli ise doğrudan zemine oturtulmuştur. Tüm kazıklı temel yapıları 27.30x15.30 m^2, doğrudan zemine oturanlar ise 23.50x15.00 m^2 taban alanına sahiptir. Temelin yüksekliği 4 metredir. İkisi kenar, beşi orta ayak olmak üzere toplam yedi köprü ayağı olan projede, orta ayakların dış boyutları 3.50x12.00 metrelik içi boş dikdörtgen kesit olarak tasarlanmıştır. Sistemde ayrıca, kenar ayaklara yakın yerlerde birer adet geçici ayak yapıları da yer almıştır. Bu geçici ayaklar, çelik kolonlar olup bir süre için yük taşımış, ilerleyen dilimlerin kenar ayaklara ulaşıp en son kablo germe işlerinden sonra kaldırılmıştır. İmrahor Viyadüğü yapıldığı 1986 yılında yurdumuzun en uzun toplam açıklıklı öngerilmeli kutu kesitli köprüsüdür.

2.8 Tigem Viyadüğü

ENAM İnşaat A.Ş. tarafından imalatı yapılan Ankara Yeni Çiftlik Kavşağı TİGEM Önü DDY Altgeçit Revize Projesi, 2008 yılında altgeçit olarak projelendirilmiş, daha

sonra uygulama sorunlarından ötürü köprü projesi olarak revize edilmiştir. Bu proje Ankara'de kent içinde yer alan ilk ardgermeli sürekli köprüsü olmuştur.

Tigem Viyadüğü, gidiş geliş olmak üzere 3 şeritli 2 döşemeden oluşmaktadır. Bu iki döşeme 2 adet kenar ayak, 4 adet de orta ayak üzerine oturmakta olup köprünün toplam uzunluğu 324 m'dir. Kutu kesite sahip köprüde açıklıklar ters simetrik olmak üzere 50-58-72-72-72 m'dir (Şekil 2.28). Tigem Viyadüğü'nde değişken enkesitlerin yapımı ise Şekil 2.29'da görülmektedir.



Şekil 2.28 : Tigem Viyadüğü Açıklıklar.



Şekil 2.29 : Tigem Viyadüğü Enkesit Yapımı.

3. SÜNME, BÜZÜLME MODELLERİ

3.1 Bazant'ın B3 Modeli

Bazant ve Baweja (2000) tarafından geliştirilen B3 model sünme, büzülme etkilerini bir bütün olarak hesaba katmaktadır. Yöntem, inşa edilen yapının beton bileşimini (çimento dozajı, agrega miktarı, su/çimento oranı), yapım süresini, enkesit özelliklerini ayrı ayrı değerlendirerek sünme, büzülme, sıcaklık etkilerinden oluşan zamana bağlı birim kısalmaları gerçekçi bir biçimde bulmaya dayanmaktadır.

B3 modelinde toplam birim kısalma olarak tanımlanan ε, sünmeden, büzülmeden, farklı sıcaklıktan gelen etkiler ayrı ayrı gözönüne alınarak bulunmaktadır. Bunun için oluşturulan genel bağıntı, (3.1) eşitliği ile verilmiştir.

$$\varepsilon(t,t',t_0) = J(t,t')\sigma + \varepsilon_{sh}(t,t_0) + \alpha\Delta T(t) \tag{3.1}$$

Burada, $\varepsilon(t)$ toplam birim kısalma, $J(t,t')$ yük uygulandığı t anındaki sünme uygunluğu olup birim gerilme uygulandığında birim kısalmayı vermektedir. Eşitlikteki σ değeri için, gerilme ile sünme arasındaki ilişkinin elastik bölgede kaldığı aralıkta geçerli olduğu varsayımına dayanarak bu sınırlar içinde kalan $0.4\ f_{ck}$ olarak alınmıştır. Yani beton dayanımının en fazla %40'ına kadar yüklendiğinde sünme elde edilir. $\varepsilon_{sh}(t,t_0)$ büzülmeden ötürü oluşan birim kısalma, α sıcaklık genleşme katsayısı, $\Delta T(t)$ sıcaklık değişimi, t beton yaşı, t' ise betonun yüklendiği andaki yaşıdır. Eşitlikte, t_0 betonun kurumaya başladığı andaki yaşı olup kutu kesitli parçalı konsol köprüde t_0 için beton dökümünden bir hafta sonra öngerilme verildiği varsayılmıştır.

3.1.1 Sünme Etkileri

Toplam birim kısalmayı veren (3.1) eşitliği içindeki $J(t,t')$ sünme uygunluğunun bileşenleri (3.2) eşitliğiyle verilmiştir.

$$J(t,t',t_0) = q_1 + C_0(t,t') + C_d(t,t',t_0) \tag{3.2}$$

Bu eşitlikte, q_1 yükleme başladığında birim gerilmeden oluşan ani kısalma olup (3.3) eşitliğiyle verilmiştir.

$$q_1 = 0.6 \times 10^6 / E_{28} \;\; ; \; E_{28} = \; 4734\sqrt{f_{ck}} \;\; \text{MPa} \tag{3.3}$$

Burada, $E_{28} = 28$ günlük betonun elastisite modülü, f_{ck} ise 28 günlük silindirin karakteristik basınç dayanımıdır.

(3.2) eşitliğindeki $C_0(t,t')$ temel sünme için uygunluk olarak tanımlanmaktadır. $C_0(t,t')$ değerini bulmak için integral işlemi sonucunda elde edilen bağıntı (3.4) eşitliği ile verilmiştir.

$$C_0(t,t') = q_2 Q(t,t') + q_3 ln[1 + (t-t')^n] + q_4 ln\left(\frac{t}{t'}\right) \tag{3.4}$$

Bu eşitlikte, $Q(t,t')$ analitik olarak çözülemeyen binomial integrali göstermektedir. $Q(t,t')$ değeri ya Bazant ve Baweja (2000) tarafından oluşturulan, daha kesin sonuç veren t, t' ye bağlı tablodan ya da yaklaşık olarak (3.5) eşitliğinden bulunabilir.

$$Q(t,t') = Q_f(t')\left[1 + \left(\frac{Q_f(t')}{Z(t,t')}\right)^{r(t')}\right]^{-1/r(t')} \tag{3.5}$$

$Q(t,t')$ değerini veren (3.5) eşitliği için bulunması gereken $Q_f(t')$, $Z(t,t')$ ile $r(t')$ değerleri ise t beton yaşı, t' betonun yüklendiği andaki yaşı olmak üzere sırasıyla (3.6), (3.7), (3.8) eşitlikleriyle verilmiştir.

$$Q_f(t') = \left[0.086(t')^{\frac{2}{9}} + 1.21(t')^{\frac{4}{9}}\right] \tag{3.6}$$

$$Z(t,t') = \; (t')^{-m} \ln[1 + (t-t')^n], n = 0.1, m = 0.5 \tag{3.7}$$

$$r(t') = 1.7(t')^{0.12} + 8 \tag{3.8}$$

(3.4) eşitliğindeki q_2, q_3, q_4 değerleri Bazant ve Baweja (2000) tarafından, yaklaşık olarak 100 deney sonucu bulunan 15000 verinin olasılıksal analiziyle elde edilmiştir. Beton bileşimine bağlı olarak tanımlanan bu büyüklükler (3.9-3.11) eşitlikleri ile verilmiştir.

$$q_2 = 185.4c^{0.5}(f_{ck})^{-0.9} \tag{3.9}$$

$$q_3 = 0.29(w/c)^4 q_2 \tag{3.10}$$

$$q_4 = 20.3(a/c)^{-0.7} \tag{3.11}$$

Bu eşitliklerde, c betondaki çimento ağırlığı (kg), w/c ağırlık olarak su/çimento oranı, a/c ağırlık olarak agrega/çimento oranını göstermektedir.

3.1.2 Büzülme Etkileri

(3.2) eşitliğinde verilen $C_d(t,t',t_0)$ değeri kurumadan ötürü oluşan ek sünme için uygunluk olup büzülme hesaplarında ele alınmıştır. Betonun, bölgesel değişikliklere göre farklılık gösteren, kurumasından oluşan sünme uygunluğu deneysel olarak elde edilen (3.12) bağıntısı ile verilmiştir.

$$C_d(t,t',t_0) = q_5[\exp\{-8H(t)\} - \exp\{-8H(t'_0)\}]^{\frac{1}{2}}, t'_0 = \max(t',t_0) \qquad (3.12)$$

(3.12) eşitliğindeki q_5 değeri, f_{ck}, 28 günlük silindirin karakteristik basınç dayanımı olmak üzere (3.13) eşitliği ile verilmiştir.

$$q_5 = 7.57 \times 105 \times (f_{ck})^{-1} |\varepsilon_{sh\infty}|^{-0.6} \qquad (3.13)$$

(3.13) eşitliğindeki $\varepsilon_{sh\infty}$ büyüklüğü serbest büzülmenin asimptotik olarak ulaşacağı değerdir. Bu değer de (3.14) eşitliği ile bulunmaktadır.

$$\varepsilon_{sh\infty} = \varepsilon_{s\infty} \frac{E(607)}{E(t_0 + \tau_{sh})} \qquad (3.14)$$

Bu eşitlikte, $t_0 = 7$ gün ile $\tau_{sh} = 600$ gün olması durumunda $\varepsilon_{sh\infty} = \varepsilon_{s\infty}$ olur. (3.14) eşitliğindeki beton bileşimine bağlı $\varepsilon_{s\infty}$ değeri ise Bazant ve Baweja (2000) tarafından yapılan deneysel çalışmaların sonucunda elde edilen (3.15) eşitliği ile verilmiştir.

$$\varepsilon_{s\infty} = \alpha_1 \alpha_2 [0.019 w^{2.1} (f_{ck})^{-0.28} + 270] \qquad (3.15)$$

(3.15) eşitliğindeki α_1 çimento türüne, α_2 kür koşullarına bağlı birer katsayı olup sayısal değerleri sırasıyla Çiz. 3.1. ile Çiz 3.2.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Çimento Türüne Bağlı α_1 Katsayısı.

Çimento Türü	α_1
Tip 1 Normal Portland Çimentosu	1
Tip 2 Değiştirilmiş Portland Çimentosu	0.85
Tip 3 İlk dayanımı yüksek Portland Çimentosu	1.1

Çizelge 3.2 : Kür Durumuna Bağlı α_2 Katsayısı.

Kür Durumu	α_2
Buhar kürü durumu	0.75
Kurumaya karşı korumalı yapılan kür durumu	1.2
%100 nemli durumda (su içinde)	1

Kurumadan ötürü oluşan ek sünme için uygunluk değerini veren (3.12) eşitliğindeki $H(x)$, kesitten bağımsız ortalama nem değerinin zamana bağlı değişimi olup (3.16) eşitliği ile verilmiştir.

$$H(x) = 1 - (1 - h)S(x), \qquad x = t,\ t' \tag{3.16}$$

(3.16) eşitliğindeki $S(t)$ büzülmenin zamana bağlı değişimini göstermektedir. Bu değer (3.17) eşitliği ile verilmiştir.

$$S(x) = tanh\sqrt{\frac{x - t_0}{\tau_{sh}}}\ , \quad x = t,\ t' \tag{3.17}$$

Burada, τ_{sh} büzülme için gerekli olan yarı zaman olup birimi gündür. Büzülme yarı zamanı (3.18) eşitliği ile verilmiştir.

$$\tau_{sh} = k_t(k_s D)^2 \tag{3.18}$$

(3.18) eşitliğindeki k_t ise (3.19) eşitliğiyle elde edilir. Bu değer de Bazant ve Baweja (2000) tarafından yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilmiş olup birimi gün/cm^2 dir.

$$k_t = 8.5{t_0}^{-0.08} - 0.08(f_{ck})^{-\frac{1}{4}} \tag{3.19}$$

(3.19) eşitliğindeki k_s biçim katsayısı Çiz. 3.3'de yapı tipine bağlı olarak verilmiştir.

Çizelge 3.3 : Yapı Tipine Bağlı k_s Biçim Katsayısı.

Kesit Biçimi	k_s
Sonsuz Plak	1
Sonsuz silindir	1.15
Sonsuz kare prizma	1.25
Küre	1.3
Küp	1.55

(3.19) eşitliğindeki D kesitin etkin kalınlığı olup kesit hacminin (V), açık hava etkisindeki yüzey alanına (S) oranı olarak (3.20) eşitliği ile elde edilmektedir.

$$D = 2V/S \tag{3.20}$$

Serbest büzülmenin sonsuzda alacağı değeri veren (3.14) eşitliğindeki betonun elastisite modülünün zamana göre değişimi gösteren $E(t)$, ACI'da beton dayanımının zamanla değişimini gösteren bağıntıya benzer biçimde Bazant ve Baweja (2000) tarafından verilen (3.21) eşitliği ile bulunabilir.

$$E(t) = E_{28}\left(\frac{t}{4 + 0.85t}\right)^{\frac{1}{2}} \tag{3.21}$$

B3 modelinde toplam birim kısalmayı veren (3.1) eşitliğinde, betonun üzerindeki sabit gerilme olarak tanımlanan σ değeri için, gerilme, ile sünme arasındaki ilişkinin elastik bölgede $\sigma = 0.4\ f_{ck}$ MPa olduğu varsayılmıştır.

(3.1) eşitliğindeki kesitin ortalama büzülme birim kısalması $\varepsilon_{sh}(t, t_0)$ ise (3.22) eşitliği ile verilmiştir.

$$\varepsilon_{sh}(t, t_0) = -\varepsilon_{sh\infty} k_h S(t) \tag{3.22}$$

(3.22) eşitliğindeki k_h; h bağıl nem oranına bağlı toplam büzülme için düzeltme katsayısıdır. Bu değer bağıl nem oranına göre Çiz.3.4'ten bulunur.

Çizelge 3.4 : Bağıl Neme Bağlı k_h Nem Düzeltme Katsayısı.

Nem Oranı	k_h
h < 0.98	1- h^3
h = 1	-0.2
0.98 < h <1	Doğrusal İnterpolasyon

(3.1) eşitliğindeki $\Delta T(t)$ farklı sıcaklıktan oluşan birim kısalma değeri, betonun sabit olan sıcaklık iletkenlik katsayısı α kullanılarak elde edilir. Sıcaklık farkı yapılacak yapının bulunduğu bölgeye göre değişen meteorolojik verilerden yararlanılarak elde edilen büyüklüktür.

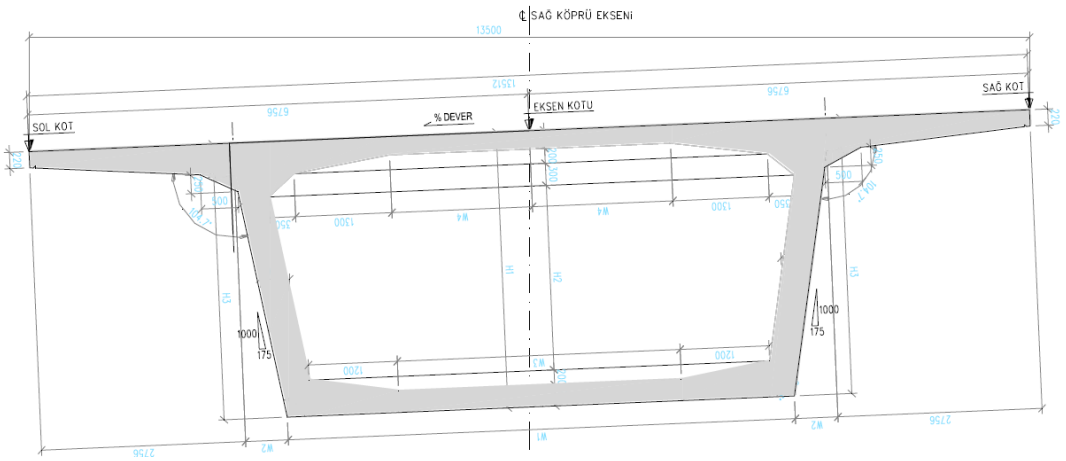
B3 modeli kullanılarak Kömürhan (Korkmaz, 2013; Çağlar ve diğ., 2011b), Gülburnu (Sezdirmez, 2013), Palau (Benzer, 2011, Şener ve diğ., 2009, 2010, 2014, Çağlar ve diğ., 2011a), Beylerderesi, Akarsın, İmrahor, Tigem (Şener ve diğ., 2013) köprüleri analiz edilmiştir. B3 modeli Portland Çimentosu için geçerli olup verilen bağıntılar (3.23) ile (3.24)'teki sınırlar içinde kullanılabilir (Bazant ve Baweja, 2000).

$$0.35 \leq w/c \leq 0.85\ ;\ 2.5 \leq a/c \leq 13.5 \tag{3.23}$$

$$17\ \text{MPa} \leq f_{ck} \leq 70\ \text{MPa}\ ;\ 160\ \text{kg/m}^3 \leq c \leq 720\ \text{kg/m}^3 \tag{3.24}$$

B3 modeline göre zamana bağlı yer değiştirmeler, Bölüm 3.1'de verilen eşitlikler yardımıyla bulunabilir. t beton yaşı olup, burada toplam birim kısalma değerleri 400, 1000, 2000-10000 günleri için bulunmuştur. t' betonun öngerilme verildiği andaki yaşı olup köprünün yapım yöntemine göre değişmektedir. Tigem köprüsü hariç diğer köprüler dengeli konsol yöntemiyle yapıldığı için, her parçanın dayanım kazanma zamanı olarak 7 gün varsayılmıştır. Bu değer her bir parçanın 7 günlük döküm süresinin, parça sayısıyla çarpılarak bulunan toplam günün, üretilen parça sayısına bölünmesiyle, yani aritmetik ortalama alınarak bulunmuştur. Betonun kurumaya başladığı andaki yaşı t_0 beton döküldükten 1 gün sonra betonun sertleşmeye başladığı varsayımı ile alınmıştır. Ayrıca çimento türüne bağlı α_1 ile nem durumuna bağlı α_2 değerleri Çiz.3.1. ile Çiz.3.2.'den, köprü kesitinin nasıl olacağı önceden bilindiğinden yapı tipine bağlı k_s değeri Çiz.3.3.'ten, k_h nem düzeltme katsayısı ise Çiz.3.4'ten alınacaktır.

Kesit etkin kalınlığı olarak (3.20) eşitliğiyle verilen D oranı, köprü enkesitleri değişken olduğundan her parça için farklı bir değer almaktadır. Kesit etkin kalınlığı için değişken enkesitlerin ortalaması kullanılmıştır. Değişken enkesitler için tip enkesit Şekil 3.1'de görülmektedir.



Şekil 3.1 : Şehzadeler Viyadüğü Tip Enkesit.

3.1.3 Şehzadeler Viyadüğü için Uygulama

Şehzadeler Viyadüğü için zamana bağlı yer değiştirmeleri bulunacak büyük açıklık konsolu 18 parçadan oluştuğundan, betonun kurumaya başlama yaşı ortalama $t_0 = 60$ gün, betonun yüklenmeye başladığı zamanki yaşı ise ortalama $t' = 67$ gün olarak alınmıştır. Şehzadeler Viyadüğü'nün B3 Modele göre hesabında kullanılacak

temel malzeme değişkenleri, zamana göre yer değiştirmelerin bulunacağı gün sayısı, betonun kurumaya başladığı andaki yaşı ile betonun öngerilme verildiği andaki yaşı Çiz.3.5'de görülebilir.

Çizelge 3.5 : Şehzadeler için B3 Modeli'nde Temel Değişkenler.

t (gün)	t_0 (gün)	t' (gün)	f_{ck} (MPa)	w (kg)	a (kg)	c (kg)
10000	60	67	40	190	1770	420
9000	60	67	40	190	1770	420
8000	60	67	40	190	1770	420
7000	60	67	40	190	1770	420
6000	60	67	40	190	1770	420
5000	60	67	40	190	1770	420
4000	60	67	40	190	1770	420
3000	60	67	40	190	1770	420
2000	60	67	40	190	1770	420
1000	60	67	40	190	1770	420
400	60	67	40	176	1770	420

Bölüm 3.1.1'de, (3.2) eşitliği ile verilen $J(t,t')$ sünme uygunluğu $q_1, C_0(t,t')$, $C_d(t',t_0,t)$ değişkenlerinin toplamıdır. Bu eşitlikte yükleme başladığında birim gerilmeden oluşan ani kısalma q_1 (3.3) eşitliği ile bulunur. (3.3) eşitliğinde $E_{28} = 28$ günlük betonun elastisite modülü, $f_{ck} = 40$ MPa alınmak üzere;

$$E_{28} = 4734\sqrt{40} = 29940\text{MPa}$$

$$q_1 = 0.6 \times 10^6/29940.44 = 0.2\text{E}-06$$

olarak bulunur.

Temel sünme için uygunluk fonksiyonu $C_0(t,t')$ (3.4) eşitliği ile bulunmaktadır. Bu değer, analitik olarak çözülemeyen binomial integral $Q(t,t')$ ile deneysel q_2, q_3, q_4 büyüklükleri aracılığıyla bulunur. Bu büyüklükler sırasıyla (3.5), (3.9), (3.10) ile (3.11) eşitlikleriyle verilmiştir.

(3.5) eşitliğiyle tanımlanan analitik olarak çözülemeyen binomial integral $Q(t,t')$ için öncelikle sırasıyla (3.6), (3.7), (3.8) eşitlikleri aracılığıyla bulunması gereken deneysel $Q_f(t')$, $Z(t,t')$, r(t') değişkenlerinin değerleri gerekmektedir. Buna göre, $t = 400$ gün için;

$$Q_f(67) = \left[0.086(67)^{\frac{2}{9}} + 1.21(67)^{\frac{4}{9}}\right] = 0.12407$$

$$Z(400,67) = (67)^{-0.5}\ln[1 + (400-67)^{0.1}] = 0.12524$$

$$r(67) = 1.7(67)^{0.12} + 8 = 10.8156$$

Bunlara bağlı olarak da;

$$Q(400,67) = 0.12407\left[1 + \left(\frac{0.12407}{0.12524}\right)^{10.8156}\right]^{-1/10.8156} = 0.1169$$

olarak bulunur.

$C_0(t,t')$ değişkeninin hesabında gerekli olan beton dayanımına bağlı q_2, su/çimento oranına bağlı q_3 ile agrega/çimento oranına bağlı q_4 büyüklükleriyle ilgili (3.9-3.11) eşitlikleri kullanılarak;

$$q_2 = 185.4(420)^{0.5}(40)^{-0.9} = 1.37E-04$$

$$q_3 = 0.29(176/420)^4(1.34E-04) = 1.67E-06$$

$$q_4 = 20.3(1770/420)^{-0.7} = 7.42E-06$$

olarak bulunur.

Bunlara bağlı olarak da (3.4) eşitliğiyle verilen temel sünme için uygunluk fonksiyonu;

$$C_0(t,t') = (1.37E-04)(0.117) + (1.67E-06)\ln[1 + (400-67)^{0.1}]$$

$$+(7.42E-06)ln\left(\frac{400}{67}\right) = 3.10E-05$$

olarak bulunur.

(3.1) eşitliğiyle verilen sünme uygunluğunun bulunmasındaki son değişken kurumadan ötürü oluşan ek sünme için uygunluk olarak tanmlanan $C_d(t',t_0,t)$ değeridir. (3.12) eşitliği ile verilen bu büyüklük bulunurken öncelikle (3.13) eşitliğiyle verilen beton dayanımına bağlı, deneysel q_5 değerine ihtiyaç vardır. q_5 değerinin hesabında büzülmenin sonsuzda alacağı değer olarak (3.14) eşitliği ile verilen $\varepsilon_{sh\infty}$ büyüklüğü gerekli olduğundan $C_d(t',t_0,t)$ değerinin bulunması büzülme hesapları içinde ele alınmaktadır.

Yukarıda verilen açıklamaya göre, kurumadan kaynaklanan ek sünme uygunluğu için beton bileşimine bağlı deneysel q_5 değerinin bulunması için ilk önce Çiz 3.1. ile Çiz.3.2.'den alınacak çimento tipine bağlı α_1 ile kür durumuna bağlı α_2 katsayıları aracılığıyla (3.15) eşitliği ile verilen beton bileşimine bağlı deneysel büzülme

büyüklüğü $\varepsilon_{s\infty}$ bulunmalıdır. Daha sonra bu bulunanlar (3.14) eşitliğinde yerine koyulup büzülmenin sonsuzda alacağı değer $\varepsilon_{sh\infty}$ bulunmalıdır. Bu adımlardan sonra, (3.13) eşitliği kullanılarak q_5 değerine geçilebilir.

Buna göre, α_1, CEM I Normal Portland Çimentosu kullanıldığı için 1; α_2 de kurumaya karşı korumalı kür durumu göz önüne alınıp 1.2 seçilerek;

$$\varepsilon_{s\infty} = (1)(1.2)[(0.019)(190)^{2.1}(40)^{-0.28} + 270] = 8.19\text{E} + 02$$

olarak bulunur.

(3.14) eşitliği ile verilen büzülmenin sonsuzda alacağı değer $\varepsilon_{sh\infty}$ yukarıda bulunan $\varepsilon_{s\infty}$ değerinin yanında (3.19) eşitliği ile verilen büzülme yarı zamanı τ_{sh} değerine de bağlıdır. τ_{sh} ise (3.20) eşitliğiyle verilen k_t, Çiz 3.3. ile verilen yapı tipine bağlı biçim katsayısı k_s ile (3.21) eşitliğiyle verilen etkin kesit kalınlığı D aracılığıyla bulunur. Şehzadeler Viyadüğü için D değeri Çiz 3.6'da verilen büyük açıklıktaki 18 konsol parçasının ortalama kesit etkin kalınlığı olarak ortalama 696 mm bulunmuştur.

Çizelge 3.6 : Şehzadeler Viyadüğü Etkin Kesit Kalınlığı.

Enkesit Adı	Enkesit Alanı (m^2)	Enkesit Çevresi (m)	D (m)
MG 2001	9.0978	34.192	0.532
MG 2002	9.1422	34.237	0.534
MG 2003	9.2750	34.370	0.540
MG 2004	9.4950	34.593	0.549
MG 2005	9.7999	34.904	0.562
MG 2006	10.187	35.305	0.577
MG 2007	10.652	35.795	0.595
MG 2008	11.190	36.373	0.615
MG 2009	11.796	37.041	0.637
MG 2010	12.464	37.798	0.660
MG 2011	13.185	38.643	0.682
MG 2012	15.069	39.578	0.761
MG 2013	15.746	40.338	0.781
MG 2014	16.445	41.147	0.799
MG 2015	17.162	42.007	0.817
MG 2016	17.744	42.731	0.831
MG 2017	18.332	43.487	0.843
MG 2018	26.893	44.274	1.215

Yapılan tanımlar doğrultusunda büzülme için gerekli olan yarı zamanı etkileyen deneysel büyüklük olarak tanımlanıp (3.20) eşitliğiyle verilen k_t büyüklüğü, betonun

kurumaya başladığı yaşı $t_0 = 60$ gün, betonun karakteristik dayanımı $f_{ck} = 40$ MPa alınmak üzere;

$$k_t = 8.5(60)^{-0.08} - 0.08(40)^{-\frac{1}{4}} = 2.43586$$

olarak bulunur.

Buna göre, büzülme yarı zamanı olarak (3.19) eşitliğiyle verilen τ_{sh} kesit biçimi olarak sonsuz plak seçilerek k_s değeri 1.25, etkin kesit kalınlığı D değeri de Çiz 3.6 kullanılarak 69.6 cm alınmak üzere;

$$\tau_{sh} = (2.43586)[(1.25)(69.6)]^2 = 18437 \text{ gün}$$

olarak bulunur.

(3.14) eşitliğiyle verilen büzülmenin sonsuzda alacağı değer $\varepsilon_{sh\infty}$ için (3.22) eşitliğiyle verilen zamana bağlı Elastisite Modülleri gereklidir. Buna göre, $\tau_{sh} = 18437$ gün, $t_0 = 77$ gün alınmak üzere;

$$E(607) = 29940.45\left(\frac{607}{4 + 0.85(607)}\right)^{\frac{1}{2}} = 32350 \text{ MPa}$$

$$E(t_0 + \tau_{sh}) = 29940.45\left(\frac{(77 + 18437)}{4 + 0.85(77 + 18437)}\right)^{\frac{1}{2}} = 32471 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sh\infty} = (8.19\text{E} + 02)\frac{32350}{32471} = 8.16\text{E} - 04$$

olarak bulunur.

Bu adımlar sonucunda (3.13) eşitliğiyle verilen kurumadan kaynaklanan ek sünme uygunluğu için beton bileşimine bağlı deneysel q_5 değerinin bulunmasında kullanılacak bütün değişkenler elde edilmiştir.

Buna göre;

$$q_5 = 7.57 \times 105 \times (40)^{-1}|8.16\text{E} - 04|^{-0.6} = 0.00034$$

olarak bulunur.

(3.12) eşitliğiyle verilen kurumadan ötürü oluşan ek sünme için uygunluk olan $C_d(t, t', t_0)$ değeri bulunurken, q_5 değerinin yanı sıra, (3.16) eşitliği ile verilen kesitten bağımsız ortamın nemine bağlı ortalama nem değeri $H(t)$ ile betonun yüklendiği andaki yaşı olan t' anındaki ortalama nem değeri $H(t')$ değerlerinin

bilinmesi gerekir. (3.16) eşitliğindeki içindeki $S(t)$ ile $S(t')$ değerleri ise (3.17) eşitliği ile hesaplanıp büzülmenin zamana bağlı değişimi de göz önünde bulundurulmaktadır.

Buna göre;

$$S(400) = tanh\sqrt{\frac{400-60}{18437}} = 0.1336$$

$$S(67) = tanh\sqrt{\frac{67-60}{18437}} = 0.0195$$

olarak bulunur.

Ortamın bağıl nem oranı % 60 alınmak üzere bu sonuçlar (3.16) eşitlikliğinde yerine koyulursa;

$$H(400) = 1-(1-0.6)(0.1336) = 0.94656$$

$$H(67) = 1-(1-0.6)(0.0195) = 0.99221$$

olarak hesaplanır.

Kurumadan ötürü oluşan ek sünme için uygunluk $C_d(t,t',t_0)$ değeri için ${t_0}' = t'$ alınmak koşuluyla (3.12) eşitliği kullanılırsa;

$$C_d(400,67,60) = 0.00035[\exp\{-8(0.94656)\} - \exp\{-8(0.99221)\}]^{\frac{1}{2}}$$

$$= 4.25\text{E}-05$$

olarak bulunur.

Böylece (3.2) eşitliğiyle verilen sünme uygunluğu, $J(t,t')$ değerinin bulunmasında gerekli olan bütün değişkenler bulunmuş olur.

Buna göre;

$$J(400,67) = (2.00\text{E}-05) + (3.10E-05) + (4.25\text{E}-05) = 5.53\text{E}-05$$

olarak bulunur.

Sünme uygunluğu $J(t,t')$ değerinin bulunmasının ardından, zamana bağlı toplam yer değiştirmeyi veren (3.1) eşitliğine geri dönülecek olursa, (3.22) eşitliği ile verilen büzülmeden ötürü oluşan birim kısalma $\varepsilon_{sh}(t,t_0)$ ile sıcaklık değişmesinden oluşan

birim kısalma $\alpha\Delta T(t)$ büyüklüklerinin de bulunmasıyla toplam birim kısalmayı etkileyen bütün etmenler göz önünde bulundurulmuş olacaktır.

Buna göre, bağıl neme bağlı toplam büzülme için düzeltme katsayısı k_h Çiz.3.4.'den alınmak üzere;

$$\varepsilon_{sh}(400,60) = -(8.16\text{E}-04)(0.784)(0.1336) = -8.5\text{E}-05$$

olarak bulunur.

$\Delta T(t)$ sıcaklık değişimi olup köprünün bulunduğu bölgeye göre, gündüz gece sıcaklık farkına, köprü gövdesinin üst parçasının güneş altında alt parçasının gölgede, köprünün üst yapı kaplamasına göre büyük değişimler göstermektedir. Bu değer için de köprünün bulunduğu meteorolojik bölge göz önünde bulundurularak 50^0 değeri alınmıştır.

Sıcaklık genleşme katsayısı $\alpha = 1.00E-05,\ \Delta T(t) = 50^0$ alınmak üzere;

$$\alpha\Delta T(t) = (1.00E-05)(50) = 0.0005$$

olarak bulunur.

Bütün bu adımların ardından 400 gün içim (3.1) eşitliğiyle verilen toplam birim kısalma;

$$\varepsilon(400) = (5.53\text{E}-05)(16) + 8.5\text{E}-05 + 0.0005 = 0.00147$$

olarak bulunur.

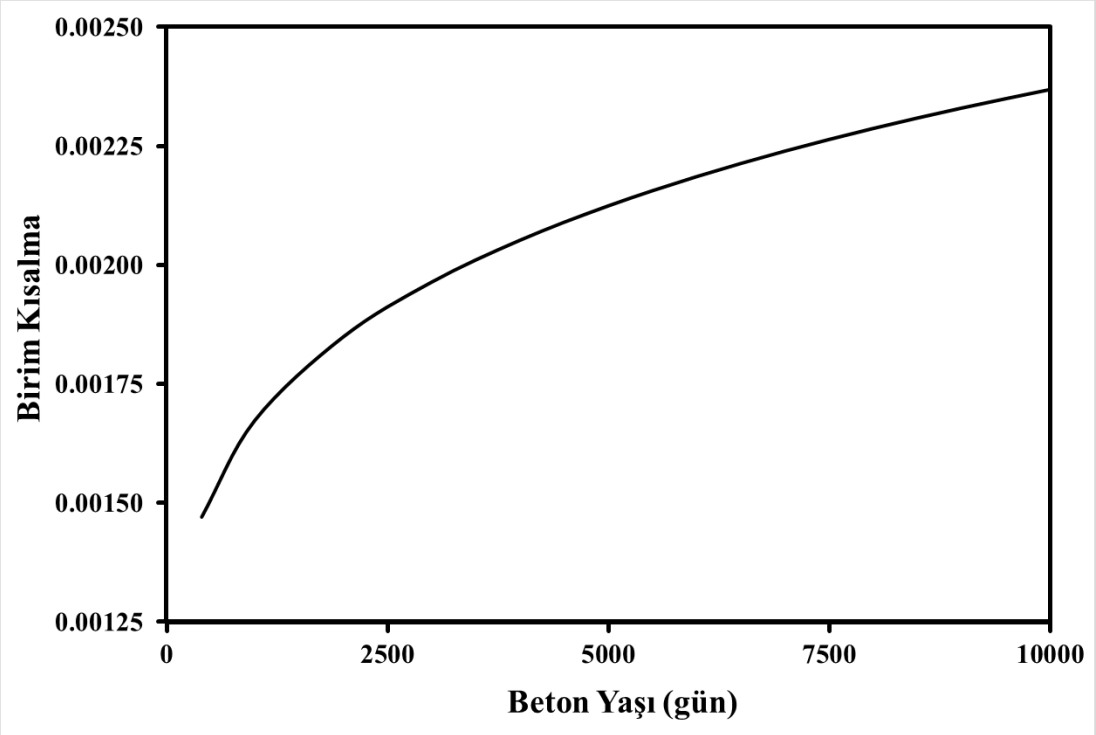
Zamana bağlı kısalmaların 10000 güne kadar değişen değerleri Çiz.3.7 ile verilmiştir.

Çizelge 3.7 : B3 Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar.

t (gün) (1)	σ (MPa) (2)	$J(t,t')$ (3)	$J(t,t')\sigma$ (4)	$\varepsilon_{sh}(t,t_0)$ (5)	$\alpha\Delta T(t)$ (6)	ε(t) (7)
10000	16	9.18E-05	1.47E-03	-4.00E-04	0.0005	0.00237
9000	16	9.03E-05	1.44E-03	-3.85E-04	0.0005	0.00233
8000	16	8.87E-05	1.42E-03	-3.68E-04	0.0005	0.00229
7000	16	8.69E-05	1.39E-03	-3.50E-04	0.0005	0.00224
6000	16	8.48E-05	1.36E-03	-3.28E-04	0.0005	0.00219
5000	16	8.25E-05	1.32E-03	-3.04E-04	0.0005	0.00212
4000	16	7.97E-05	1.28E-03	-2.76E-04	0.0005	0.00205
3000	16	7.63E-05	1.22E-03	-2.42E-04	0.0005	0.00196
2000	16	7.18E-05	1.15E-03	-2.00E-04	0.0005	0.00185
1000	16	6.45E-05	1.03E-03	-1.42E-04	0.0005	0.00167
400	16	5.53E-05	8.85E-04	-8.55E-05	0.0005	0.00147

Çiz 3.7'de ilk kolon t süresi olarak 400-10000 günü göstermektedir. İkinci kolon beton dayanımın 0.4'ü olan ortalama gerilmeyi MPa olarak göstermektedir. Üçüncü kolon sünme uygunluğu olan $J(t, t')$, dördüncü kolon ise her bir süre (t) için sünme birim kısalması değerlerini vermektedir. Beşinci kolon her bir süre (t) için büzülmeden, altıncı kolon ise köprünün farklı sıcaklık değişiminden kaynaklanan birim kısalmayı göstermektedir. Son olarak yedinci kolonda da toplam birim kısalmalar verilmiştir.

B3 Modelde zamana bağlı toplam yer değiştirmelerin 400-10000 günler arasındaki değişimi Şekil 3.2 ile verilmiştir.



Şekil 3.2 : Şehzadeler için B3 Model'de Zamana Bağlı Birim Kısalmalar.

B3 modeline göre, Çiz.3.7'den de görüldüğü gibi Şehzadeler Viyadüğü için verilen örnekte, yük altında oluşan sünme, yüksüz durumda oluşan büzülme, farklı ısı değişiminden oluşan toplam birim kısalmalar zamanla sürekli artmaktadır. Şekil 3.2'deki grafiğin artışı incelenirse, birim kısalmaların hızının zamanla azalarak sürekli bir artış gösterdiği görülecektir. Bu davranış da betonun sünme davranışının zamana göre genel değişimiyle uyumludur.

Büyük açıklıklı kutu kesitli parçalı dengeli konsol köprülerde (Karaesmen, 2015; Şener, 2006) zamana bağlı yer değiştirmelerin bulunması çok önemlidir. Kullanılan

bağıntılar sünmeye karşı çok duyarlı olduklarından zamana bağlı yer değiştirmeleri gerçekçi bulmak adına, kullanılan değişkenlerin iyi değerlendirilmesi gerekir (Bazant ve diğ., 2010, 2011a, b, 2012a, b, Kristek ve diğ., 2006).

3.2 ACI 209R-92 Modeli

Bu deneysel model ilk önce Branson ve Christiason (1971) tarafından geliştirilen model temel alınarak ACI 209R-82 Modeli (ACI Committee 209, 1982) olarak düzenlenmiş, daha sonra da gerekli iyileştirmeler yapılarak ACI 209R-92 Modeli'ne (ACI Committee 209, 1992) geçiş yapılmıştır.

Model, sünme ile büzülmeyi, diğer modellerde olduğu gibi zamana bağlı bir fonksiyon biçiminde göz önüne almıştır. Bu fonksiyon, hiperbolik bir eğri olarak belli bir sınır değere asimptot olarak yaklaşacak bir biçimde tasarlanmıştır. Bu sayede tasarımda kullanılacak zamana bağlı bağıntıların kolay bir şekilde türetilmesi amaçlanmıştır. Bu eğrinin şekli, betonun kür durumu, yüklenme yaşı, karışım oranı, ortam nemi ve sıcaklığı gibi etkilere bağlı olarak değişmektedir.

3.2.1 Büzülme Etkileri

Modelde toplam büzülme etkileri (3.25) eşitliği ile verilmektedir.

$$\varepsilon_{sh}(t,t_0) = \frac{(t-t_0)^{\alpha}}{f+(t-t_0)^{\alpha}}\,\varepsilon_{shu} \tag{3.25}$$

Burada, $\varepsilon_{sh}(t,t_0)$ toplam büzülme şekil değiştirmesinin göz önünde bulundurulan toplam gün t ile betonun kurumaya başladığı andaki yaşı olan t_0 cinsinden gösterimidir. f (gün) ile α ise elemanın biçimi ile büyüklüğüne bağlı olan, zamana bağlı değişimi tanımlayan sabitlerdir. ε_{shu} sonsuzdaki büzülme kısalmasını, $(t-t_0)$ ise kürün bitip kurumanın başladığı zamandan sonra geçen toplam zamanı gösterir.

Standart koşullar altında, büzülme için gerekli verilere (agrega ile ortam özellikleri) ulaşılamadığı koşullarda, ortamın bağıl nemi % 40 olmak üzere, ε_{shu} değeri için ortalama olarak ACI 209R-92'de (3.26) ile verilen eşitlik önerilmektedir.

$$\varepsilon_{shu} = -780\times10^{-6}\ \text{mm/mm} \tag{3.26}$$

(3.25) eşitliği ile verilen toplam büzülme kısalmasında bulunan f ile α değerlerinden f için ACI 209R-92 tarafından önerildiği üzere 7 günlük nem kürü durumunda 35,

1-3 günlük buhar kürü durumunda 55 alınmalıdır. α değeri olarak da 1 önerilmektedir. Zamana bağlı yer değiştirmeleri bulunacak bütün köprülerde önerilen bu değerler kullanılacaktır. Buna bağlı olarak, zamana bağlı değişimlerin kuruma, kimyasal ya da karbonatlaşma büzülmeleri için değişiklik göstermediği, ayrıca f ile α değerleri sabit alındığından, eleman biçiminden, boyutlarından da bağımsız olarak hesaba katılabileceği görülmektedir.

Buna karşın şekil ve boyut etkisi olarak tanımlanan f değeri (3.25) eşitliğindeki $\alpha = 1$ alınmak üzere, (3.27) ile verilen eşitlikle de hesaba katılabilmektedir.

$$f = 26.0e^{\{1.42\times10^{-2}(V/S)\}} \text{ gün} \tag{3.27}$$

Burada, V kesit hacmini, S ise açık hava etkisindeki yüzey alanını göstermektedir. Büzülmenin sonsuzdaki değeri olan ε_{shu} için standart koşullar altında kullanılması gereken değer (3.26) eşitliği ile verilmiştir. Buna karşın, ortalama bir değer olarak verilen bu eşitliğin, ortam koşulları ile beton özellikleri hakkında daha detaylı bilgi sahibi olunması durumunda düzeltme çarpanları aracılığıyla yeniden düzenlenmesi gerekmektedir. ACI 209R-92 modelinde ε_{shu} değerini veren (3.26) eşitliğinin düzeltme çarpanı kullanılarak yeniden düzenlenmiş durumu (3.28) eşitliği ile verilmiştir.

$$\varepsilon_{shu} = 780\gamma_{sh} \times 10^{-6} \text{ mm/mm} \tag{3.28}$$

(3.28) eşitliğindeki γ_{sh} değeri, 7 tane düzeltme çarpanının kullanılmasıyla elde edilecek toplam düzeltme çarpanını göstermekte olup (3.29) eşitliği ile verilmiştir.

$$\gamma_{sh} = \gamma_{sh,to}\gamma_{sh,RH}\gamma_{sh,vs}\gamma_{sh,s}\gamma_{sh,\Psi}\gamma_{sh,c}\gamma_{sh,\alpha} \tag{3.29}$$

(3.29) eşitliğindeki $\gamma_{sh,to}$ çarpanı kür katsayısını göstermektedir. Bu değer, lineer regresyon sonucunda bulunan (3.30) eşitliğiyle ya da Çiz. 3.8 aracılığıyla bulunmaktadır.

$$\gamma_{sh,to} = 1.202 - 0.2337\log(t_0) \tag{3.30}$$

Çizelge 3.8 : Kür Katsayısı.

Kür Süresi	$\gamma_{sh,to}$
1	1.2
3	1.1
7	1.0
14	0.93
28	0.86
90	0.75

Bağıl nem çarpanı olarak tanımlanan $\gamma_{sh,RH}$ ise, ortamın bağıl nemini gösteren h değerine bağlı (3.31) eşitliği ile verilmiştir.

$$\gamma_{sh,RH} = \begin{cases} 1.40 - 1.02h, & 0.40 \leq h \leq 0.80 \\ 3.00 - 3.00h, & 0.80 \leq h \leq 1.00 \end{cases} \quad (3.31)$$

Ortamda % 40'dan daha az bağıl nem olması durumunda $\gamma_{sh,RH}$ değeri olarak 1'den daha büyük değerler kullanılmalıdır. (3.31) eşitliğinde görüldüğü üzere ortamın bağıl nem oranı % 100 olduğunda ise $\gamma_{sh,RH}$ değeri sıfır olmaktadır. Bu yüzden model, negatif büzülmeyi yani şişmeyi bulmamaktadır.

Büzülmede boyut çarpanı olarak tanımlanan $\gamma_{sh,vs}$ ise ACI 209R-92 modelinde açıklanan Hacim-Yüzey oranı yöntemi kullanılırsa kesit hacmi V ile açık hava etkisindeki yüzey alanı S değerlerine bağlı olarak (3.32) eşitliği ile verilmiştir.

$$\gamma_{sh,vs} = 1.2e^{\{-0.00472(V/S)\}} \quad (3.32)$$

Toplam düzeltme çarpanını veren (3.29) eşitliğinde taze betonun çökme değerine bağlı $\gamma_{sh,s}$, ince agrega oranına bağlı $\gamma_{sh,\Psi}$ ile çimento miktarına bağlı $\gamma_{sh,c}$ çarpanları tanımlanmalıdır. Beton bileşimine göre değişen bu çarpanlar (3.33), (3.34), (3.35) eşitlikleriyle elde edilmektedir.

$$\gamma_{sh,s} = 0.89 + 0.00161s \quad (3.33)$$

Burada, s milimetre cinsinden taze betonun çökme değerine göstermektedir.

(3.34) eşitliği ile verilen ince agrega çarpanındaki Ψ değeri, beton bileşimindeki ince agrega miktarının toplam agrega miktarına oranı olarak tanımlanmaktadır.

$$\gamma_{sh,\Psi} = 0.30 + 0.014\Psi \quad (3.34)$$

(3.35) eşitliği ile verilen çimento miktarı çarpanındaki c değeri ise kg cinsinden beton bileşimindeki çimento miktarı olarak tanımlanmaktadır.

$$\gamma_{sh,c} = 0.75 + 0.00061c \quad (3.35)$$

Düzeltme çarpanlarından sonuncusu olan $\gamma_{sh,\alpha}$ ise beton içindeki hava miktarına bağlı olarak değişen çarpan olup α yüzde olarak havayı göstermek üzere (3.36) eşitliğiyle verilmektedir.

$$\gamma_{sh,\alpha} = 0.95 + 0.008\alpha \geq 1 \quad (3.36)$$

Yukarıda tanımlanan bütün bu düzeltme çarpanları, beton bileşimi hakkında yeterli bilgi sahibi olmak koşuluyla, ayrıca (3.26) eşitliğiyle ortalama değeri verilen büzülmenin sonsuzdaki değeri ε_{shu} ile bağlantılı olarak kullanılmalıdır. Bu ortalama değerin kullanılması ise ASTM C512'de (2010) tanımlanan gerekli verilere ulaşılamadığı durumlarda önerilmektedir.

3.2.2 Sünme Etkileri

Modelde, sünme etkileri $J(t,t')$ yük uygulandığı t anındaki sünme uygunluğu cinsinden tanımlanıp bunun için (3.37) eşitliği kullanılmaktadır.

$$J(t,t') = \frac{1+\phi(t,t^{\iota})}{E_{cmt^{\iota}}} \tag{3.37}$$

Burada, $E_{cmt^{\iota}}$ yüklemenin başladığı t^{ι} zamandaki elastisite modulünü, $\phi(t,t^{\iota})$ ise sünme katsayısını göstermektedir. $E_{cmt^{\iota}}$ değeri (3.38) eşitliği ile verilmektedir.

$$E_{cmt^{\iota}} = 0.043{\gamma_c}^{1.5}\sqrt{f_{cmt^{\iota}}} \tag{3.38}$$

Bu eşitlikte, γ_c beton birim ağırlığını göstermektedir. $f_{cmt^{\iota}}$ ise betonun yüklendiği andaki ortalama basınç dayanımı olup herhangi bir yaş için genel olarak (3.39) eşitliğiyle bulunmaktadır.

$$f_{cmt} = \frac{t}{a+bt} f_{cm28} \tag{3.39}$$

Betonun ortalama basınç dayanımı bulunurken, betonun 28 günlük karakteristik basınç dayanımı yanında nem kürü uygulanması durumunda, çimento türüne bağlı olarak Çiz.3.9 aracılığıyla bulunacak a ile b katsayıları kullanılmaktadır.

Çizelge 3.9 : a ile b Katsayıları.

Çimento Tipi	a	b
I	4	0.85
III	2.3	0.92

Sünme uygunluğunu veren (3.37) eşitliğindeki sünme katsayısı olan $\phi(t,t^{\iota})$ ise (3.40) eşitliğiyle bulunmaktadır.

$$\phi(t,t^{\iota}) = \frac{(t-t^{\iota})^{\Psi}}{d+(t-t^{\iota})^{\Psi}}\phi_u \tag{3.40}$$

(3.40) eşitliğindeki d ile Ψ sırasıyla boyut ile şekil etkilerini gösteren katsayılar olup ACI 209R-92 modeli için Ψ değerinin 1, d değerinin ise (3.27) eşitliği ile verilen f değerine eşit alınabileceği belirtilmiştir.

Sonsuzdaki sünme katsayısı olarak tanımlanan ϕ_u değeri için standart koşullar altında kullanılması gereken değer 2.35 olarak verilmiştir. Buna karşın, ortalama olan bu değerin, ortam koşulları ile beton özellikleri hakkında daha detaylı bilgi sahibi olunması durumunda düzeltme çarpanları aracılığıyla yeniden düzenlenmesi gerekmektedir. ACI 209R-92 modeli ϕ_u değerinin 6 tane katsayı ile düzeltilmesini önermektedir. Buna göre, düzeltme çarpanlarının kullanılması durumunda, ϕ_u değeri (3.41) eşitliği ile tanımlanmaktadır.

$$\phi_u = 2.35\gamma_c \tag{3.41}$$

Burada, γ_c kullanılacak olan 6 tane düzeltme faktörünün çarpımları sonucu elde edilecek toplam düzeltme çarpanını göstermekte olup (3.42) eşitliği ile verilmiştir.

$$\gamma_c = \gamma_{c,t^\iota}\gamma_{c,RH}\gamma_{c,vs}\gamma_{c,s}\gamma_{c,\Psi}\gamma_{c,\alpha} \tag{3.42}$$

(3.42) eşitliğinde γ_{c,t^ι} değeri yükleme yaşı çarpanı olarak tanımlanmakta olup su kürü yapılması durumunda (3.43) eşitliği yardımıyla bulunabilir.

$$\gamma_{c,t^\iota} = 1.25(t^\iota)^{-0.118} \tag{3.43}$$

Bağıl nem çarpanı olarak tanımlanan $\gamma_{c,RH}$ ortamın bağıl nemini gösteren h değeri ondalık olarak alınmak üzere, (3.44) eşitliği ile verilmiştir.

$$\gamma_{c,RH} = 1.27 - 0.67h \tag{3.44}$$

(3.44) eşitliği $h \geq \%\ 40$ koşuluyla kullanılmalıdır. Daha az nem durumunda da $\gamma_{c,RH}$ çarpanının 1'den büyük olmasına dikkat edilmelidir.

Boyut çarpanı olarak tanımlanan $\gamma_{c,vs}$ ise Hacim-Yüzey oranı yöntemi kullanılırsa, V kesit hacmi ile S açık hava etkisindeki yüzey alanınına bağlı olarak (3.45) eşitliği ile verilmiştir.

$$\gamma_{c,vs} = \frac{2}{3}(1 + 1.13e^{\{-0.0213(V/S)\}}) \tag{3.45}$$

(3.43) eşitliğiyle verilen toplam düzeltme çarpanı için betonun çökme değerine bağlı $\gamma_{c,s}$, ince agrega oranına bağlı $\gamma_{c,\Psi}$ ile betondaki havaya bağlı $\gamma_{c,\alpha}$ çarpanları

tanımlanmalıdır. Beton bileşimine bağlı bu değerler (3.46), (3.47), (3.48) eşitlikleriyle elde edilmektedir.

$$\gamma_{c,s} = 0.82 + 0.00264s \tag{3.46}$$

Burada, s milimetre cinsinden taze betonun çökme değerine göstermektedir.

(3.47) eşitliği ile verilen ince agrega çarpanındaki Ψ değeri, beton bileşimindeki ince agreganın toplam agregaya oranı olarak tanımlanmaktadır.

$$\gamma_{c,\Psi} = 0.88 + 0.0024\Psi \tag{3.47}$$

Düzeltme çarpanlarından $\gamma_{c,\alpha}$ ise beton içindeki havaya bağlı olarak değişen faktör olup α hava miktarını göstermek üzere (3.48) eşitliğiyle verilmiştir.

$$\gamma_{c,\alpha} = 0.46 + 0.09\alpha \geq 1 \tag{3.48}$$

ACI 209R-92 modeliyle, B3 Modeli kullanılarak yapıldığı gibi, Kömürhan (Korkmaz 2013, Çağlar ve diğ. 2011b), Gülburnu (Sezdirmez, 2013), Palau (Benzer 2011, Şener ve diğ. 2009, 2010, 2014, Çağlar ve diğ. 2011a), Beylerderesi, Akarsın, İmrahor, Tigem (Şener ve diğ. 2013) köprüleri analiz edilmiştir. ACI 209R-92 modeli, beton bileşimi açısından B3 Modeli'nde olduğu gibi agrega, beton dayanımı ya da su/çimento oranı için alt, üst sınırlar öngörmemiştir. Bu anlamda sınırlandırılan tek değer, beton bileşimindeki çimento miktarıdır. Bu sınır değer (3.49) eşitliğinde verilmiştir.

$$279\ \text{kg/m}^3 \leq c \leq 446\ \text{kg/m}^3 \tag{3.49}$$

ACI 209R-92 modeline göre zamana bağlı yer değiştirmeler, Bölüm 3.3'te verilen eşitlikler kullanılarak bulunacaktır. Betonun kurumaya başladığı, öngerilme verildiği yaşı ile hesap yapılan toplam gün değerleri Bölüm 3.2'de açıklanan yaklaşımla kullanılmıştır.

3.2.3 Şehzadeler Viyadüğü için Uygulama

ACI 209R-92 modeline göre toplam büzülme etkileri için verilen (3.25) eşitliğinin bulunabilmesi için öncelikle ε_{shu}, f ile α değerlerinin bulunması gerekmektedir. Bu değerler için ya modelde standart koşullar için tanımlanmış sayısal değerler ya da beton özelliklerine göre verilmiş eşitlikler kullanılmalıdır. Örneğin α büyüklüğü yöntemin sınır değer tanımına göre belirli bir asimptota yakınsayan eğrinin biçimiyle ilgili bir büyüklük olup 1 olarak alınması önerilen bir değerdir. f içinse 7 günlük su

kürü yapılması durumunda 35 değeri önerilmesine karşın bu değer, kesit hacmi V ile açık hava etkisindeki yüzey alanı S değerlerine bağlı olmak üzere (3.27) eşitliğiyle de bulunabilir. Yine ε_{shu} değeri de ya betonun standart koşullar altında olduğu varsayılıp (3.26) eşitliğindeki değeriyle ya da (3.29) eşitliğiyle tanımlanan toplam düzeltme çarpanının göz önünde bulundurulmasıyla (3.28) eşitliği kullanılarak bulunabilir.

ACI 209R-92 Modeli kullanılarak zamana bağlı yer değiştirmeler bulunurken, yukarıdaki açıklamaya bağlı olarak, standart olarak önerilen değerler ile beton özelliklerine bağlı olarak tanımlanan büyüklükler her iki şekilde de kullanılıp aralarındaki farkların nereden kaynaklandığı tartışılacaktır.

Modelde standart değerleri verilen büyüklüklere bağlı kalmak üzere toplam büzülme değerini veren (3.25) eşitliği, zamana bağlı değişimi tanımlayan sabitlerden $f = 35$, $\alpha = 1$; büzülmenin sonsuzdaki değeri olan ε_{shu} ise (3.26) eşitliğiyle verilen 780×10^{-6} değeri olarak alınmak üzere, $t = 400$ gün için;

$$\varepsilon_{sh}(400, 60) = \frac{(400 - 60)}{35 + (400 - 60)} 780 \times 10^{-6} = 7.07E - 04$$

olarak bulunur.

Toplam büzülmenin bulunması için ilgili eşitlikler kullanılacak olursa, öncelikle f değerini veren (3.27) eşitliği kullanılmalıdır.

Buna göre, Şehzadeler Viyadüğü'nünün büyük açıklığını oluşturan 18 tane enkestin (Çiz. 3.6) ortalama değeri olarak $V/S = 348$ mm alınmak üzere;

$$f = 26.0e^{\{1.42 \times 10^{-2}(348)\}} = 3640 \text{ gün}$$

olarak bulunur.

Standart koşullar için verilen $f = 35$ gün değeriyle (3.27) eşitliğiyle bulunan f değeri arasındaki bu fark, ortalama enkesit kullanılarak bulunan V/S değerinin büyük olmasından kaynaklanmaktadır. ACI 209R-92'de standart koşullar altında 35 olarak verilen f değerine (3.27) eşitliğiyle de ulaşmak için $V/S = 21$ mm alınmalıdır. Bu değer ise zamana bağlı yer değiştirmeleri bulunan Şehzadeler Viyadüğü'nün gerçek ortalama enkesitinin V/S değeri olan 696 mm değerine göre oldukça küçüktür.

f değerinin bulunmasının ardından, toplam düzeltme çarpanı olan γ_{sh} kullanılarak göz önünde bulundurulması gereken ε_{shu} değeri bulunmalıdır. (3.29) eşitliği ile verilmiş olan γ_{sh} değeri (3.30-3.36) eşitlikleriyle verilmiş, beton özelliklerine bağlı olarak bulunan büyüklüklerin çarpımına eşittir. Bu yüzden ilk önce bu değerlerin bulunması gerekmektedir.

$\gamma_{sh,to}$ çarpanı doğrusal regresyon yöntemiyle kullanılarak bulunan (3.30) eşitliğiyle ya da Çiz.3.8 kullanılarak bulunacaktır. Bu değer için 7 günlük su kür durumu göz önünde bulundurularak 1 alınmıştır.

Toplam düzeltme çarpanı içinde yer alan, ortamın bağıl nemine bağlı büzülme çarpanı olan $\gamma_{sh,RH}$ ortamın bağıl nemini gösteren h değeri % 60 olmak üzere (3.31) eşitliği kullanılırsa;

$$\gamma_{sh,RH} = 1.40 - 1.02(0.6) = 0.788 \qquad 0.40 \leq h \leq 0.80$$

olarak bulunur.

Boyut çarpanı olarak tanımlanabilecek $\gamma_{sh,vs}$ ise $V/S = 348$ mm alınmak üzere, (3.32) eşitliğiyle;

$$\gamma_{sh,vs} = 1.2e^{\{-0.00472(348)\}} = 0.23218$$

olarak bulunur.

(3.33) eşitliğiyle verilen betonun çökme değerine bağlı $\gamma_{sh,s}$ çarpanı ise taze betonun çökme değeri, $s = 100$ mm alınmak üzere;

$$\gamma_{sh,s} = 0.89 + 0.00161(160) = 1.1476$$

olarak bulunur.

Agrega granülometrisindeki ince agrega oranına bağlı çarpan olan $\gamma_{sh,\Psi}$ değeri, ince agrega oranı $\Psi = \%\ 46$ alınmak üzere (3.34) eşitliğiyle;

$$\gamma_{sh,\Psi} = 0.30 + 0.014(46) = 0.944$$

olarak bulunur.

Çimento miktarına bağlı katsayı olarak tanımlanıp (3.35) eşitliğiyle verilmiş olan $\gamma_{sh,c}$ çarpanı, beton bileşimindeki çimento mikatı olan $c = 420$ kg alınmak üzere;

$$\gamma_{sh,c} = 0.75 + 0.000618(420) = 1.01$$

olarak bulunur.

Toplam düzeltme çarpanının bulunabilmesi için gereken, beton içindeki havaya bağlı $\gamma_{sh,\alpha}$ çarpanı ise hava miktarı, ACI 209R-92'de ortalama olarak verilen aralığın en büyük değeri olan % 6 oranı kullanılıp (3.36) eşitliğiyle;

$$\gamma_{sh,\alpha} = 0.95 + 0.008(6) = 0.998 \geq 1$$

olarak bulunup yeterli bir yaklaşıklıkla 1 olarak alınabilir.

Böylece, (3.29) ile verilen toplam düzeltme çarpanı γ_{sh}değerini oluşturan, beton özelliklerine bağlı 7 farklı çarpan bulunmuş olur. Bulunan bu değerler (3.29) eşitliğinde yerine koyulursa;

$$\gamma_{sh} = (1)(0.788)(0.23218)(1.1476)(\,0.994)(1.01)(1) = 0.199$$

olarak bulunur.

Toplam düzeltme çarpanı olan γ_{sh} değeri bulunduktan sonra ise (3.28) eşitliği ile verilen, büzülmenin sonsuzdaki değeri ε_{shu} düzeltilerek;

$$\varepsilon_{shu} = 780(0.199) \times 10^{-6} = 1.56E-04$$

olarak bulunur.

Bütün bu adımlarla, toplam büzülme kısalması olan $\varepsilon_{sh}(t, t_0)$ değerini veren (3.25) eşitliğinde kullanılacak f ile ε_{shu} değerleri elde edilmiş olur. Bulunan f ile ε_{shu} değerleri (3.25) eşitliğinde yerine koyulursa;

$$\varepsilon_{sh}(400, 60) = \frac{(400-60)}{3639.85 + (400-60)}(1.56E-04) = 1.33E-05$$

olarak bulunur.

Standart koşullar için verilen f, ε_{shu} değerleriyle bulunan $\varepsilon_{sh}(t, t_0) = 7.07E-04$ ile ilgili eşitliklerle bulunan f, ε_{shu} değerleri kullanılarak bulunan $\varepsilon_{sh}(t, t_0) = 1.33E-05$ değerleri arasındaki bu büyük fark büyük ölçüde V/S değerine bağlı büyüklüklerden kaynaklanmaktadır. V/S değeri, değişken olarak f ile $\gamma_{sh,vs}$ büyüklüklerinin bulunmasında kullanılmaktadır. Bu iki büyüklüğün ilgili eşitliklerle bulunmuş değerleri de toplam büzülme miktarını büyük ölçüde etkilemektedir.

Bölüm 3.3.2'de açıklandığı gibi, sünme etkileri, $J(t, t')$ yük uygulandığı t anındaki sünme uygunluğu cinsinden verilip bunun için (3.37) eşitliği kullanılmaktadır. (3.37)

eşitliğinin bulunması içinse öncelikle sünme katsayısı $\phi(t,t^{\iota})$ ile yüklemenin başladığı t^{ι} zamanındaki elastisite modulü $E_{cmt^{\iota}}$ bulunmalıdır.

$E_{cmt^{\iota}}$ değeri, beton birim ağırlığı γ_c ile betonun yüklendiği t' anındaki ortalama basınç dayanımı $f_{cmt^{\iota}}$ değerlerine bağlı olarak (3.38) eşitliğiyle bulunacaktır.

Sünme katsayısı olarak tanımlanan $\phi(t,t^{\iota})$ ise (3.40) eşitliğiyle verilmiştir. Bu değer ya ϕ_u için standart koşullar için (3.41) eşitliğiyle verilen 2.35 değeri ya da (3.42) eşitliğiyle verilen düzeltme çarpanı kullanılarak bulunacak değer olarak alınmaktadır. (3.40) eşitliği f değerinin kullanımını da gerektirdiğinden, bu değer için de yine standart koşullar için önerilen 35 değeri ile kesit hacmi V ile açık hava etkisindeki yüzey alanı S değerlerine bağlı olarak (3.27) eşitliğinden bulunan değerler ayrı ayrı kullanılacaktır. Çıkan sonuçlardaki farklılıklar ise ilgili adımların ardından tartışılacaktır.

Yukarıda verilen açıklamaya göre, öncelikle $E_{cmt^{\iota}}$ hesabında kullanılacak $f_{cmt^{\iota}}$ değerinin, genel ifadesi (3.39) eşitliğiyle verilen bağıntıya göre hesaplanması gerekmektedir. Bu eşitlik, betonun 28 günlük karakteristik basınç dayanımı, $f_{cm28} = 40$ MPa, Çiz.3.9'dan bulunacak a ile b katsayıları ise sırasıyla 4 ile 0.85 alınmak üzere, betonun yüklendiği andaki yaşı olan $t^{\iota} = 67$ gün için;

$$f_{cmt}{}^{\iota} = \frac{67}{4 + (0.85)67}(40) = 43.97 \text{ MPa}$$

olarak bulunur.

Bu adımın ardından, betonun yüklenmeye başladığı t^{ι} zamanındaki elastisite modülü, $E_{cmt^{\iota}}$ ise, betonun birim ağırlığı, $\gamma_c = 2400$ kg/m^3 alınmak üzere;

$$E_{cmt^{\iota}} = 0.043(2400)^{1.5}\sqrt{43.97} = 33524.77 \text{ MPa}$$

olarak bulunur.

Sünme katsayısı olarak tanımlanan $\phi(t,t^{\iota})$ değerinin bulunmasında kullanılacak (3.40) eşitliğinde ise d, Ψ boyut ile biçim etkilerini gösteren katsayılar olup ACI 209R-92 modelinde Ψ değerinin 1, d değerinin ise (3.27) eşitliği ile verilen f değerine eşit alınabileceği belirtilmiştir. Buna göre, f değeri için önerilen 35 alındığında, yine (3.40) eşitliğinde kullanılan sonsuzdaki büzülme katsayısı ϕ_u değeri için de önerilen 2.35 alınacaktır. f değeri için (3.27) eşitliğiyle bulunan değer

alındığındaysa, ϕ_u değeri için de toplam düzeltme çarpanı, γ_c kullanılarak (3.41) eşitliğiyle verilen değer kullanılacaktır.

Yukarıda verilen açıklamaya göre, f ile ϕ_u için önerilen değerler kullanılırsa (3.40) eşitliği, $t = 400$ gün için;

$$\phi(400, 67) = \frac{(400 - 67)}{35 + (400 - 67)}(2.35) = 2.13$$

olarak bulunur.

Buna bağlı olarak sünme uygunluğu olup (3.37) eşitliğiyle verilen $J(t, t')$;

$$J(400, 67) = \frac{1 + 2.13}{33524.77} = 9.34E - 05$$

olarak bulunur.

f ile ϕ_u için önerilen değerler kullanılarak bulunan bu değerlerin ardından, f değeri için (3.27) eşitliğiyle daha önceden bulunan değer, sonsudaki büzülme katsayısı ϕ_u değeri için de toplam düzeltme çarpanı γ_c kullanılıp (3.41) eşitliğiyle bulunacak düzeltilmiş değer kullanılacaktır.

Bu adımlar için öncelikle, (3.42) eşitliğiyle verilen toplam düzeltme çarpanı γ_c değerini oluşturan 6 tane düzeltme çarpanı bulunmalıdır. Düzeltme çarpanlarından ilki olan yükleme yaşı çarpanı γ_{c,t^ι} değeri için (3.43) eşitliği kullanılırsa;

$$\gamma_{c,t^\iota} = 1.25(67)^{-0.118} = 0.761$$

olarak bulunur.

Bağıl neme bağlı çarpan olarak tanımlanan $\gamma_{c,RH}$ ise ortamın bağıl nemini gösteren $h = \%\ 60$ olarak alınmak üzere (3.44) eşitliği ile kullanılırsa;

$$\gamma_{c,RH} = 1.27 - 0.67(0.6) = 0.868$$

olarak bulunur.

Boyut çarpanı olarak tanımlanan $\gamma_{c,vs}$ ise $V/S = 348$ mm değerine bağlı olarak (3.45) eşitliğiyle;

$$\gamma_{c,vs} = \frac{2}{3}\left(1 + 1.13e^{\{-0.0213(348)\}}\right) = 0.667$$

olarak bulunur.

Betonun çökme değerine bağlı $\gamma_{c,s}$ çarpanı ise taze betonun çökme değeri $s = 160$ mm alınmak üzere, (3.46) eşitliğiyle;

$$\gamma_{c,s} = 0.82 + 0.00264(160) = 1.2424$$

olarak bulunur.

(3.47) eşitliği ile verilen ince agrega çarpanı, beton bileşimindeki ince agreganın toplam agregaya oranı, $\Psi = \%46$ alınmak üzere;

$$\gamma_{c,\Psi} = 0.88 + 0.0024(46) = 0.99$$

olarak bulunur.

Toplam düzeltme çarpanının bulunabilmesi için gereken, beton içindeki havaya bağlı $\gamma_{c,\alpha}$ çarpanı ise, ACI 209R-92'de ortalama olarak verilen hava miktarının en büyük değeri % 6 olarak alınıp, (3.48) eşitliği kullanılarak;

$$\gamma_{c,\alpha} = 0.46 + 0.09(6) = 1$$

olarak bulunur.

Böylece, toplam düzeltme çarpanı, γ_c değerini oluşturan, beton özelliklerine bağlı 6 farklı çarpan bulunmuş olur. Bulunan bu değerler (3.42) eşitliğinde yerine koyulursa, toplam düzeltme çarpanı;

$$\gamma_c = (0.761)(0.868)(0.667)(1.2424)(0.99)(1) = 0.542$$

olarak bulunur.

Toplam düzeltme çarpanı olan γ_c değeri bulunduktan sonra (3.41) eşitliğiyle verilen sonsuzdaki büzülme katsayısı, ϕ_u değeri;

$$\phi_u = 2.35(0.542) = 1.274$$

olarak elde edilir.

Bütün bu adımların ardından sünme katsayısı olarak tanımlanıp (3.40) eşitliğiyle verilen $\phi(t, t^{\iota})$ değeri, f için daha önceden verilen (3.27) eşitliği, ϕ_u için de (3.41) eşitliğiyle bulunan değerler kullanılarak;

$$\phi(400, 67) = \frac{(400 - 67)}{3640 + (400 - 67)} 1.274 = 0.107$$

olarak bulunur.

Sünme katsayısının standart koşullar için verilen ϕ_u ile f büyüklükleri kullanılarak elde edilen $\phi(t,t^\iota) = 2.13$ değeri ile ilgili eşitlikler kullanılarak elde edilen $\phi(t,t^\iota) = 0.107$ arasındaki bu farkın nedeni büyük ölçüde yine f değerinin önerilen değeri ile V/S oranına bağlı olarak bulunan değerleri arasındaki farktan kaynaklanmaktadır.

Buna göre, $\phi(t,t^\iota)$ ile f'nin ilgili eşitliklerle bulunan değerleri kullanılırsa (3.37) eşitliği ile verilen sünme uygunluğu;

$$J(400,67) = \frac{1 + 0.107}{33524.77} = 3.30E - 05$$

olarak elde edilir.

Zamana bağlı toplam yer değiştirmeler içinde düşünülmesi gereken sıcaklık etkisi de $\Delta T(t)$ sıcaklık değişimi olup köprünün bulunduğu bölgeye göre, gündüz gece sıcaklık farkına, köprü gövdesinin üst parçasının güneş altında alt parçasının gölgede, köprünün üst yapı kaplamasına göre büyük değişimler göstermektedir. Bu değer için de köprünün bulunduğu meteorolojik bölge göz önünde bulundurularak sıcaklık genleşme katsayısı $\alpha = 1.00E - 05$, sıcaklık düşüşü $\Delta T(t) = 50^0$ alınmak üzere;

$$\alpha \Delta T(t) = (1.00E - 05)(50) = 0.0005$$

olarak bulunur.

Bütün bu adımların ardından toplam birim kısalma için, sünme, büzülme ile sıcaklık etkilerden gelen etkiler toplanırsa;

$$\varepsilon = (3.30E - 05)(16) + 1.33E - 05 + 5E - 05 = 0.00104$$

olarak bulunmuş olur.

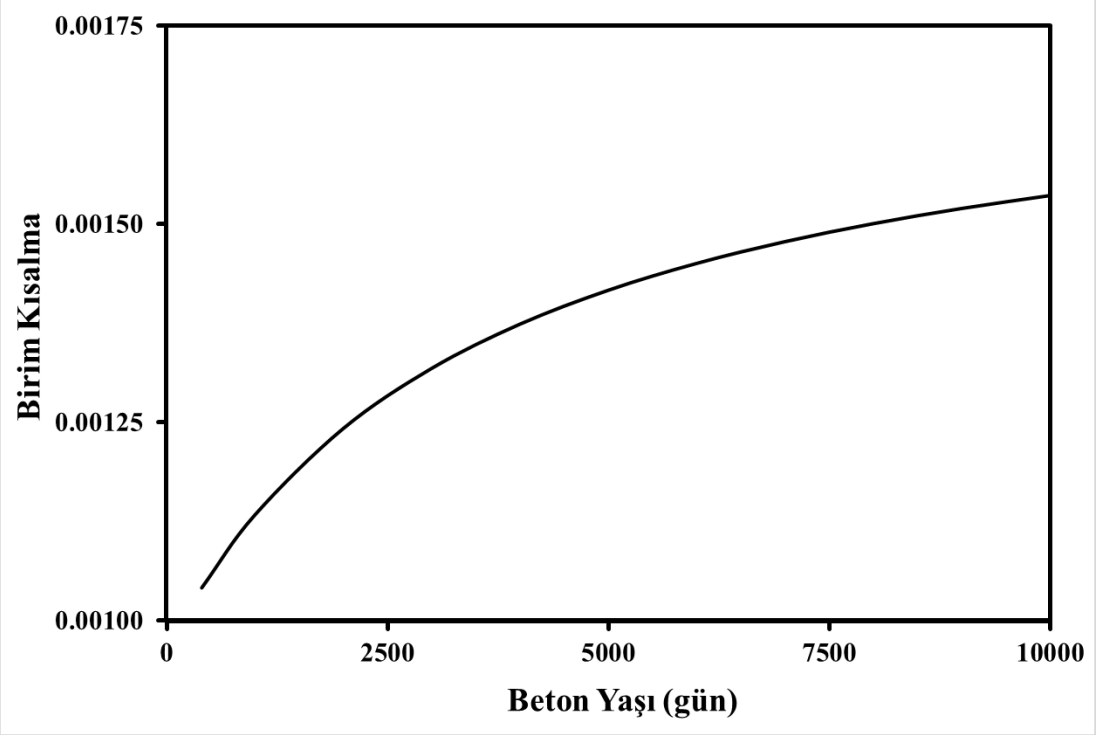
Zamana bağlı yer değiştirmelerin 400 gün için bulunan değerleri 10000 güne kadar uzatılırsa toplam birim kısalmayı oluşturan değerler Çiz.3.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.10 : ACI 209R-92'de 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar.

t (gün) (1)	σ (MPa) (2)	$J(t,t')$ (3)	$J(t,t')\sigma$ (4)	$\varepsilon_{sh}(t,t_0)$ (5)	$\alpha\Delta T(t)$ (6)	$\varepsilon(t)$ (7)
10000	16	5.76E-05	9.22E-04	1.14E-04	0.0005	0.00154
9000	16	5.68E-05	9.09E-04	1.11E-04	0.0005	0.00152
8000	16	5.59E-05	8.94E-04	1.07E-04	0.0005	0.00150
7000	16	5.48E-05	8.76E-04	1.02E-04	0.0005	0.00148
6000	16	5.34E-05	8.54E-04	9.65E-05	0.0005	0.00145
5000	16	5.17E-05	8.27E-04	8.96E-05	0.0005	0.00142
4000	16	4.96E-05	7.93E-04	8.09E-05	0.0005	0.00137
3000	16	4.68E-05	7.49E-04	6.95E-05	0.0005	0.00132
2000	16	4.30E-05	6.88E-04	5.41E-05	0.0005	0.00124
1000	16	3.76E-05	6.01E-04	3.19E-05	0.0005	0.00113
400	16	3.30E-05	5.28E-04	1.33E-05	0.0005	0.00104

Burada, ilk kolon t süresi olarak 400-10000 günü, ikinci kolon beton dayanımın 0.4'ü olan ortalama gerilmeyi,. üçüncü kolon sünme uygunluğu olan $J(t,t')$ değerini, dördüncü kolon sünme birim kısalması değerlerini, beşinci kolon büzülmeden, altıncı kolonsa sıcaklık azalmasından kaynaklanan birim kısalmayı göstermektedir. yedinci kolonda da toplam birim kısalmalar verilmiştir.

ACI 209R-92 Modeli'nde zamana bağlı toplam yer değiştirmelerin 400-10000 günler arasındaki değişimi ise Şekil 3.3 ile verilmiştir.



Şekil 3.3 : Şehzadeler için ACI 209R-92'de Zamana Bağlı Birim Kısalmalar.

ACI 209R-92 Modeline göre, Çiz.3.10'den de görüldüğü gibi Şehzadeler Viyadüğü için verilen örnekte, yük altında oluşan sünme, yüksüz durumda oluşan büzülme, farklı sıcaklık değişiminden oluşan toplam birim kısalmalar zamanla sürekli artmaktadır. Şekil 3.3'teki grafiğin artışı incelenirse, birim kısalmaların hızının zamanla azalarak sürekli bir artış gösterdiği görülecektir. Şehzadeler Viyadüğü için B3 Model ile elde edilen sonuçların değişimi de bu biçimdedir. Bu anlamda, ACI 209R-92 Modeli'nin verdiği sonuçlar da betonun sünme davranışının zamana göre genel değişimiyle uyumludur.

3.3 Eurocode 2 Modeli

Eurocode 2 (1992) Avrupa ülkelerinde betonarme elemanların tasarımında kullanılan genel kuralları düzenleyen yönetmeliktir. Yapı elemanlarındaki sünme ile büzülme etkileri bu yönetmeliğin ilgili kısımlarında verilmiştir. Bu tez kapsamında da bu ilgili eşitlikler kullanılarak zamana bağlı yer değiştirmeler bulunacaktır.

Bu yönetmelikte, betondaki sünme ile büzülme etkileri ortam nemine, eleman boyutlarına, beton bileşimine bağlı olarak tanımlanmıştır. Ayrıca, sünme etkileri için betonun yüklendiği andaki yaşı ile üzerindeki sabit yüklemenin büyüklüğü de göz önüne alınmıştır.

3.3.1 Sünme Etkileri

Eurocode 2'nin önerdiği sünme modelinde, bu etki bir sünme katsayısı aracılığıyla tanımlanmaktadır. Bu katsayı kullanılarak elde edilen genel bağıntı (3.50) eşitliğiyle verilmiştir.

$$\varepsilon_{cc}(\infty, t^{\iota}) = \phi(t, t^{\iota})(\sigma_c / E_c) \tag{3.50}$$

Burada, $\phi(t, t^{\iota})$ herhangi t^{ι} anındaki sünme katsayısını göstermektedir. (3.50) eşitliğinde görüldüğü gibi $\varepsilon_{cc}(\infty, t^{\iota})$ sünme birim kısalması, tanjant modülünü E_c değerine bağlı olarak bulunmaktadır. E_c değeri olarak $1.05E_{cm}$ alınabilir. E_{cm} değeri ise sekant modülünü göstermektedir. Sekant modülünün zamana bağlı değişimi Eurocode 2'de verildiği biçimiyle (3.51) eşitliği kullanılarak bulunabilir. σ_c değeri ise beton üzerindeki sabit gerilmeyi göstermektedir.

$$E_{cm}(t) = (f_{cm}(t)/f_{cm})^{0.3} E_{cm} \tag{3.51}$$

(3.51) eşitliğinde, $f_{cm}(t)$ değeri betonun herhangi bir zamandaki dayanımını göstermektedir. Bu değer, betonun 28 günlük basınç dayanımı olan f_{cm} değerine bağlı olarak (3.52) eşitliği ile verilmiştir.

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) f_{cm} \tag{3.52}$$

$\beta_{cc}(t)$ değeri beton yaşına bağlı bir katsayı olup (3.53) eşitliği yardımıyla bulunabilir.

$$\beta_{cc}(t) = exp\left\{s\left[1 - \left(\frac{28}{t}\right)^{1/2}\right]\right\} \tag{3.53}$$

Bu eşitlikte, s çimento özelliğine bağlı bir katsayıdır. Bu değer CEM I 42.5 N sınıfı çimentolar için 0.35 olarak alınmaktadır. Betonun yaşı ise t ile gösterilmiştir.

(3.50) ile verilen genel sünme bağıntısındaki sünme katsayısı olan $\phi(t, t^{\iota})$ değeri, EC 2'nin Ek.B kısmından alınarak (3.54) eşitliği ile aşağıda verilmiştir.

$$\phi(t, t^{\iota}) = \phi^{\iota} \beta_c(t, t^{\iota}) \tag{3.54}$$

(3.54) eşitliğindeki ϕ^{ι} değeri nominal (yük çarpansız) sünme katsayısı olup (3.55) eşitliğiyle verilmiştir.

$$\phi^{\iota} = \phi_{RH} \beta(f_{cm}) \beta(t^{\iota}) \tag{3.55}$$

ϕ_{RH} büyüklüğü nominal sünme katsayısını etkileyen, bağıl nem oranına bağlı katsayı olup beton dayanımının 35 MPa değerinden büyük ya da küçük olmasına bağlı olarak (3.56.a), (3.56.b) eşitlikleriyle bulunabilir.

$$\phi_{RH} = 1 + \frac{1 - RH/100}{0.1\sqrt[3]{D}}, \quad f_{cm} \leq 35\ MPa \tag{3.56.a}$$

$$\phi_{RH} = \left[1 + \left[\frac{1 - RH/100}{0.1\sqrt[3]{D}} \alpha_1\right] \alpha_2\right], \quad f_{cm} \geq 35\ MPa \tag{3.56.b}$$

(3.56.a) ile (3.56.b) eşitliklerindeki RH değeri ortamdaki bağıl nem oranını, D ise (3.20) eşitliği ile daha önceden verilen kesitin etkin kalınlığını göstermektedir. α_1 ile α_2 ise beton dayanımını göz önünde bulunduran katsayılar olup (3.57) eşitliğiyle bulunmaktadır.

$$\alpha_1 = \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0.7}, \quad \alpha_2 = \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0.2} \tag{3.57}$$

Beton dayanımına bağlı $\beta(f_{cm})$ katsayısı ise nominal sünme katsayısı olup (3.55) eşitliğiyle verilen ϕ^{ι} değerini etkileyen bir büyüklüktür. $\beta(f_{cm})$ katsayısı betonun 28 günlük ortalama basınç dayanımını gösteren f_{cm} değerine bağlı olarak (3.58) eşitliğiyle verilmiştir.

$$\beta(f_{cm}) = \frac{16.8}{\sqrt{f_{cm}}} \tag{3.58}$$

Nominal sünme katsayısı olan ϕ^{ι} büyüklüğünün (3.55) eşitliğinden bulunması için gereken son değişken, betonun yüklendiği andaki yaşını göz önünün alan $\beta(t^{\iota})$ değeridir. $\beta(t^{\iota})$ büyüklüğü betonun yüklendiği andaki yaşı t^{ι} olmak üzere (3.59) eşitliğiyle bulunmaktadır.

$$\beta(t^{\iota}) = \frac{1}{[0.1 + (t^{\iota})^{0.20}]} \tag{3.59}$$

(3.59) eşitliğinin bulunmasının ardından ϕ^{ι} değerini etkiyen bütün bileşenler tanımlanmış olur. Böylece, (3.60) eşitliği ile verilen sünmenin zamana bağlı değişimini hesaba katan $\beta_c(t, t^{\iota})$ değerinin de bulunmasıyla (3.54) eşitliğiyle verilen sünme katsayısı $\phi(t, t^{\iota})$ bulunmuş olacaktır. Buna göre;

$$\beta_c(t, t^{\iota}) = \left[\frac{(t - t^{\iota})}{(\beta_H + t - t^{\iota})}\right]^{0.3} \tag{3.60}$$

Bu eşitlikte, diğer eşitliklerde olduğu gibi betonun hesap yapılan yaşı t, betonun yüklendiği andaki yaşı da t^{ι} olarak gösterilmiştir. β_H ise bağıl nem oranı RH ile kesitin etkin kalınlığı D değerlerine bağlı olarak göz önünde bulundurulan katsayı olup beton dayanımının 35 MPa değerinden küçük ya da büyük olmasına bağlı olarak (3.61.a) ya da (3.61.b) eşitlikleriyle bulunmaktadır.

$$\beta_H = 1.5[1 + (0.012RH)^{18}]D + 250 \leq 1500, \;\; f_{cm} \leq 35 \text{ MPa} \tag{3.61.a}$$

$$\beta_H = 1.5[1 + (0.012RH)^{18}]D + 250\alpha_3 \leq 1500\alpha_3, \;\; f_{cm} \geq 35 \text{ MPa} \tag{3.61.b}$$

α_3 ise yukarıda tanımlanan α_1 ile α_2 gibi beton dayanımını göz önüne alan bir katsayı olup (3.62) eşitliğiyle bulunabilir.

$$\alpha_3 = \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0.5} \tag{3.62}$$

3.3.2 Büzülme Etkileri

EC 2'nin önerdiği büzülme modelinde, toplam büzülme, kuruma büzülmesi ile otojen büzülmeden gelen etkiler ayrı ayrı göz önüne alınarak bulunur. Kuruma büzülmesinden oluşan yer değiştirmeler, bu tip etkiler sertleşmiş betonda bulunan kılcal boşluklardaki suyun hareketine bağlı olduğundan uzun vadede, yavaşça gerçekleşir. Otojen büzülmeden oluşan yer değiştirmeler ise beton sertleşirken oluşur. Bu etkileri göz önüne alarak yazılabilecek toplam büzülme (3.63) eşitliği ile verilmiştir.

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca} \tag{3.63}$$

Burada, ε_{cs} toplam büzülme birim kısalmasını, ε_{cd} kuruma büzülmesinden kaynaklanan birim kısalmayı, ε_{ca} ise otojen büzülmeden kaynaklanan birim kısalmayı göstermektedir.

ε_{cd} değerinin zamana bağlı değişimi $\varepsilon_{cd}(t)$ olarak (3.64) eşitliğiyle verilmiştir.

$$\varepsilon_{cd} = \beta_{ds}(t, t_0) k_h \varepsilon_{cd,0} \tag{3.64}$$

(3.64) eşitliğindeki, kurumanın başladığı andaki yaşa bağlı $\beta_{ds}(t, t_0)$ katsayısı ise (3.65) eşitliği ile verilmiştir.

$$\beta_{ds}(t, t_0) = \frac{(t - t_0)}{(t - t_0) + 0.04\sqrt{D^3}} \tag{3.65}$$

(3.65) eşitliğinde, diğer eşitliklerde olduğu gibi betonun hesap yapılan yaşı t, betonun kurumaya başladığı andaki yaşı ise t_0 olarak gösterilmiştir. D değeri ise yine (3.20) bağıntısı ile daha önceden bulunann kesitin etkin kalınlığını göstermektedir.

(3.64) eşitliğindeki $\varepsilon_{cd,0}$ katsayısı serbest kuruma büzülmesi değeri olup (3.66) eşitliği ile verilmiştir.

$$\varepsilon_{cd,0} = 0.85\left[(220 + 110\alpha_{ds1})\exp\left(-\alpha_{ds2}\frac{f_{cm}}{f_{cmo}}\right)\right] 10^{-6}\beta_{RH} \tag{3.66}$$

(3.66) eşitliğindeki ortamın bağıl nemine bağlı β_{RH} katsayısı ise (3.67) eşitliği ile bulunmaktadır.

$$\beta_{RH} = -1.55\left[1 - \left(\frac{RH}{RH_0}\right)^3\right] \tag{3.67}$$

Serbest kuruma büzülmesini veren (3.66) eşitliğindeki α_{ds1} ile α_{ds2} katsayıları çimento sınıfına bağlı katsayılar olup EC 2'ye göre, Normal Portland Çimentosu için sırasıyla 4 ile 0.12 alınabilir. f_{cm} değeri betonun 28 günlük ortalama basınç dayanımını göstermektedir. f_{cmo} değeri ise yine EC 2'ye göre 10 MPa olarak alınabilir. (3.67) eşitliğindeki RH ortamın bağıl nemini RH_0 ise mutlak nemini göstermektedir. Bu iki değer de yüzde olarak tanımlanmıştır. (3.67) eşitliği kullanılırken ortamın mutlak nemi $RH_0 = \%\,100$ alınmalıdır.

Bütün bu tanımlamalar yapıldıktan sonra, son olarak (3.64) eşitliğindeki kesitin etkin kalınlığınına bağlı olan k_h katsayısı da Çiz.3.11'den alınacaktır.

Çizelge 3.11 : Etkin Kesit Kalınlığına Bağlı k_h Katsayısı.

D	k_h
100	1.00
200	0.85
300	0.75
≥500	0.70

Otojen büzülmeden kaynaklanan birim kısalma olan ε_{ca} ise, zamana bağlı olarak $\varepsilon_{ca}(t)$ biçimde (3.68) eşitliğiyle verilmiştir.

$$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t)\varepsilon_{ca}(\infty) \tag{3.68}$$

(3.68) eşitliğindeki beton yaşına bağlı $\beta_{as}(t)$ değeri ise betonun hesap yapılan yaşı t olmak üzere (3.69) bağıntısı ile bulunmaktadır.

$$\beta_{as}(t) = 1 - \exp(-0.2t^{0.5}) \tag{3.69}$$

Otojen büzülmeden kaynaklanan birim kısalmanın sonsuzdaki değerini gösteren $\varepsilon_{ca}(\infty)$ ise f_{ck} betonun 28 günlük karakteristik basınç dayanımı olmak üzere (3.70) bağıntısı ile verilmiştir.

$$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2.5(f_{ck} - 10)10^{-6} \tag{3.70}$$

Eurocode 2'nin sünme, büzülme yaklaşımı kullanılarak ACI 209R-92 ile B3 Modeli kullanılarak yapıldığı gibi, Kömürhan (Korkmaz 2013, Çağlar ve diğ. 2011b), Gülburnu (Sezdirmez, 2013), Palau (Benzer 2011, Şener ve diğ. 2009, 2010, 2014, Çağlar ve diğ. 2011a), Beylerderesi, Akarsın, İmrahor ve Tigem (Şener ve diğ. 2013) köprüleri analiz edilmiştir. Eurocode 2 Modeli'nde B3 Modeli ile ACI 209R-92 Modeli'nde olduğu gibi beton dayanımı, agrega miktarı, ya da su/çimento oranı için alt, üst sınırlar öngörmemiştir. Bu anlamda beton bileşimi sınırlandırılmamıştır.

Yöntemde, sünme etkisi $\phi(t,t^{\iota})$ olarak tanımlanan sünme katsayısına; büzülme etkileri ise ε_{cd} ile gösterilen kurumadan, ε_{ca} ile gösterilen otojen büzülmeden kaynaklanan etkilere bağlı olarak bulunmaktadır.

3.3.3 Şehzadeler Viyadüğü için Uygulama

Sünmeden kaynaklanan zamana bağlı toplam yer değiştirme $\varepsilon_{cc}(\infty,t^{\iota})$ (3.50) eşitliği ile verilmiştir. Bu eşitlik E_c ile $\phi(t,t^{\iota})$ değerlerine bağlı olduğundan, ilk önce bu büyüklükler bulunacak, daha sonra (3.50) eşitliğine geri dönülecektir.

Tanjant modülü olarak tanımlanan E_c değeri, sekant modülü olarak tanımlanan E_{cm} değeri kullanılarak, $1.05E_{cm}$ olarak alınmaktadır. Bu yüzden E_{cm} değerinin zamana bağlı değişiminin (3.51) eşitliği kullanılarak bulunması gerekir. (3.51) eşitliğinin bulunması içinse, öncelikle beton dayanımın zamana bağlı değişimini gösteren $f_{cm}(t)$ değerinin (3.52) eşitliğiyle bulunması gerekir.

Yukarıdaki açıklama doğrultusunda ilk önce (3.52) eşitliğinin değeri bulunacaktır. $f_{cm}(t)$ değerini verecek olan bu eşitlik, beton yaşına bağlı bir katsayı olan $\beta_{cc}(t)$ değerine bağlı olduğu için, (3.53) eşitliği elde edildikten sonra (3.54) eşitliğine geçilecektir.

$\beta_{cc}(t)$ katsayısını veren (3.53) eşitliğinde çimento tipine bağlı katsayı olan $s = 0.35$ alınmak üzere, beton yaşı $t = 400$ gün için;

$$\beta_{cc}(400) = exp\left\{0.35\left[1-\left(\frac{28}{400}\right)^{\frac{1}{2}}\right]\right\} = 1.294$$

olarak bulunur.

Buna bağlı olarak, betonun 28 günlük basınç dayanımı olan $f_{cm} = 40$ MPa alınmak üzere (3.52) eşitliği kullanılırsa;

$$f_{cm}(400) = 1.294(40) = 51.74 \text{ MPa}$$

olarak bulunur.

Buna göre, (3.51) bağıntısıyla verilen sekant modülünün zamana bağlı değişimi $E_{cm}(t)$, 28 günlük betonun sekant modülü olan E_{cm} değeri, orantılılık sınırı içinde olunduğundan (3.3) eşitliği ile daha önceden verilen 28 günlük betonun elastisite modülü E_{28} değeri 29940 MPa alınmak üzere;

$$E_{cm}(400) = (51.74/40)^{0.3}(29940) = 32344 \text{ MPa}$$

olarak bulunur.

Beton yaşı $t = 400$ gün olmak üzere, betonun tanjant modülü E_c için $1.05E_{cm}$ değerinin kullanılabileceği göz önünde bulundurulursa;

$$E_c = (1.05)(32344) = 33961 \text{ MPa}$$

olarak bulunur.

(3.50) eşitliğiyle verilen genel sünme bağıntısındaki sünme katsayısı olan $\phi(t, t^{\iota})$ değerinin bulunması içinse (3.54) eşitliği kullanılmalıdır. Bu eşitlik nominal sünme katsayısı olan ϕ^{ι} ile sünmenin zamana bağlı değişimini göz önünde bulunduran $\beta_c(t, t^{\iota})$ değerlerine bağlıdır.

Bu açıklama doğrultusunda, (3.54) eşitliğinin bulunması için önce (3.55) eşitliğiyle verilen nominal sünme katsayısı ϕ^{ι} hesaplanmalıdır. ϕ^{ι} değeri ise, bağıl nem oranına bağlı katsayı ϕ_{RH}, beton dayanımına bağlı bir katsayı olan $\beta(f_{cm})$ ile betonun yüklendiği andaki yaşını hesaba katan $\beta(t^{\iota})$ değerlerine bağlı olarak bulunmaktadır.

ϕ_{RH} değeri, $f_{cm} = 40$ MPa ≥ 35 MPa olduğu için (3.56.b) eşitliğiyle göz önüne alınacaktır. Bu adımdan önce (3.56.b) eşitliğinde kullanılacak α_1 ile α_2 katsayılarını veren (3.7) eşitliği kullanılırsa;

$$\alpha_1 = \left(\frac{35}{40}\right)^{0.7} = 0.911\,, \quad \alpha_2 = \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0.2} = 0.974$$

olarak bulunur.

Bağıl nem oranına bağlı katsayı olan ϕ_{RH} büyüklüğünü veren (3.56.b) eşitliği α_1, α_2 değerleri yukarıda bulunduğu gibi, etkin kesit kalınlığı $D = 696$ mm, ortamın bağıl nem oranı $RH = \%\,60$ alınmak üzere;

$$\phi_{RH} = \left[1 + \left(\frac{1 - 60/100}{0.1\sqrt[3]{696}}(0.911)\right)\right]0.974 = 1.374$$

olarak bulunur.

Beton dayanımına bağlı $\beta(f_{cm})$ katsayısı da (3.58) kullanılarak;

$$\beta(f_{cm}) = \frac{16.8}{\sqrt{40}} = 2.66$$

olarak bulunur.

Betonun yüklendiği andaki yaşını hesaba katan $\beta(t^{\iota})$ değeri ise betonun yüklendiği andaki yaşı $t^{\iota} = 67$ gün alınmak üzere (3.59) eşitliği kullanılarak;

$$\beta(67) = \frac{1}{[0.1 + (67)^{0.20}]} = 0.413$$

olarak bulunur.

Böylece, nominal sünme katsayısı olan ϕ^{ι} değerini etkileyen büyüklükler elde edilmiştir. Bulunan bu sonuçlar ϕ^{ι} değerini veren (3.55) eşitliği kullanılırsa;

$$\phi^{\iota} = (1.374)(2.66)(0.413) = 1.51$$

olarak bulunur.

Bu adımların ardından, (3.60) eşitliği ile verilen sünmenin zamana bağlı değişimini etkileyen $\beta_c(t, t^{\iota})$ katsayısının bulunmasıyla (3.54) eşitliğiyle verilen sünme katsayısı $\phi(t, t^{\iota})$ büyüklüğünü etkileyen bütün değerler elde edilmiş olacaktır. $\beta_c(t, t^{\iota})$ değerinin bulunması için bağıl nem oranı RH ile kesitin etkin kalınlığı D değerlerine bağlı olarak bulunması gereken β_H değerine gereksinim vardır.

β_H değeri, $f_{cm} = 40$ MPa ≥ 35 MPa olduğu için (3.61.b) eşitliğiyle bulunacaktır. Bu eşitlik için gereken beton dayanımına bağlı α_3 değeri (3.62) eşitliği kullanılırsa;

$$\alpha_3 = \left(\frac{35}{40}\right)^{0.5} = 0.935$$

olarak bulunur.

β_H değerini veren (3.61.b) eşitliği, α_3 yukarıda bulunduğu gibi, kesit etkin kalınlığı $D = 696$ mm, ortamın bağıl nem oranı $RH = \%\ 60$ alınmak üzere;

$$\beta_H = 1.5[1 + (0.012(60))^{18}]696 + 250(0.935) = 1280.7$$

olarak bulunur.

(3.60) eşitliğiyle verilen sünmenin zamana bağlı değişimini etkileyen $\beta_c(t, t^{\iota})$ katsayısı, β_H değeri yukarıda bulunduğu gibi olmak üzere;

$$\beta_c(400, 67) = \left[\frac{(400 - 67)}{(1280.7 + 400 - 67)}\right]^{0.3} = 0.623$$

olarak bulunur.

Bütün bu adımların ardından, (3.50) eşitliğiyle verilen genel sünme eşitliğindeki sünme katsayısı olan $\phi(t,t^{\iota})$ değerini etkileyen ϕ^{ι} ile $\beta_c(t,t^{\iota})$ büyüklükleri bulunmuştur. Bu büyüklükler, $\phi(t,t^{\iota})$ değerini veren (3.54) eşitliğinde kullanılarak;

$$\phi(400,67) = (1.51)(0.623) = 0.940$$

olarak bulunur.

Sünme katsayısı, $\phi(t,t^{\iota})$ değerinin de bulunmasıyla (3.50) eşitliğiyle verilen, sünmeden kaynaklanan zamana bağlı toplam yer değiştirme $\varepsilon_{cc}(\infty,t^{\iota})$ değerini etkileyen bütün büyüklükler bulunmuş olur. Betonun üzerindeki sabit gerilme olarak tanımlanan σ değeri için, gerilme ile sünme arasındaki ilişkinin elastik bölgede $\sigma = 0.4\,f_c$ MPa olduğu varsayımı ile $\sigma_c = 16$ MPa, beton yaşı $t = 400$ gün, betonun tanjant modülü $E_c = 33961$ MPa alınmak üzere, (3.50) eşitliği kullanılırsa;

$$\varepsilon_{cc}(400,67) = (0.940)(16/33961) = 4.43E-04$$

olarak bulunur.

Bölüm 3.5.2'de yapılan açıklamada EC 2'nin önerdiği büzülme modelinde toplam büzülmenin, kuruma ile otojen büzülmeden gelen etkilerin ayrı ayrı göz önünde bulundurularak elde edileceği belirtilmiştir. Bu yaklaşım da (3.63) eşitliğiyle genelleştirilmiştir. Büzülme etkileri bulunurken öncelikle (3.64) eşitliği ile kuruma büzülmesinden kaynaklanan birim kısalma ε_{cd} daha sonra da (3.68) eşitliğiyle otojen büzülmeden kaynaklanan birim kısalma ε_{ca} ayrı ayrı elde edilip (3.63) eşitliğine geri dönülecektir.

Kuruma büzülmesinden kaynaklanan birim kısalma olan ε_{cd} bulunurken (3.64) eşitliği kullanılacaktır. Bu eşitlik öncelikle, kesit etkin kalınlığı ile kurumanın başladığı zamana bağlı olarak (3.65) eşitliğiyle verilen $\beta_{ds}(t,t_0)$ değerine bağlıdır. Bunun yanı sıra, (3.65) eşitliği için Çiz.3.11.'den alınacak k_h, çimento sınıfına bağlı katsayılar α_{ds1}, α_{ds2} ile betonun 28 günlük ortalama basınç dayanımı f_{cm} değerine bağlı olarak (3.66) eşitliği kullanılarak bulunacak $\varepsilon_{cd,0}$ değerleri elde edilmelidir.

Yukarıda verilen açıklama doğrultusunda, $\beta_{ds}(t,t_0)$ değeri, kesitin etkin kalınlığı $D = 696$ mm alınmak üzere, (3.65) kullanılarak;

$$\beta_{ds}(400,60) = \frac{(400-60)}{(400-60)+0.04\sqrt{696^3}} = 0.316$$

olarak bulunur.

(3.66) eşitliğiyle verilen serbest kuruma büzülmesi olan $\varepsilon_{cd,0}$ değerini elde etmek içinse öncelikle, ortamın bağıl nemi RH ile mutlak nemi RH_0 değerlerine bağlı olarak (3.67) eşitliğiyle verilen β_{RH} bulunmalıdır. $RH = \%60$, $RH_0 = \%100$ olmak üzere;

$$\beta_{RH} = -1.55\left[1 - \left(\frac{60}{100}\right)^3\right] = -1.215$$

olarak bulunur.

Serbest kuruma büzülmesini etkileyen, ortam nemine bağlı β_{RH} katsayısının bulunmasının ardından çimento sınıfına bağlı katsayılar olarak tanımlanan $\alpha_{ds1} = 4$, $\alpha_{ds2} = 0.12$; betonun 28 günlük basınç dayanımı $f_{cm} = 40$ MPa; modelde verilen değeriyle $f_{cmo} = 10$ MPa alınmak üzere, serbest kuruma büzülmesi $\varepsilon_{cd,0}$ değerini elde etmek için (3.66) eşitliği kullanılırsa;

$$\varepsilon_{cd,0} = 0.85\left[(220 + 4(110))\exp\left((-0.12)\frac{40}{10}\right)\right](-1.215)10^{-6} = -4E-04$$

olarak bulunur.

Bu işlemlerin ardından, kuruma büzülmesinden kaynaklanan birim kısalma ε_{cd} değerinin elde edilmesinde kullanılacak büyüklükler elde edilmiş olur. Çiz.3.11'den alınan kesit etkin kalınlığına bağlı katsayı $k_h = 0.7$ olmak üzere ε_{cd} değerini veren (3.64) eşitliği kullanılırsa;

$$\varepsilon_{cd} = (0.316)(0.7)|-4E-04| = 9.34E-05$$

olarak bulunur.

Kuruma büzülmesinden kaynaklanan birim kısalma ε_{cd} yukarıdaki adımların sonucunda bulunduktan sonra, son olarak da otojen büzülmeden kaynaklanan birim kısalma olan ε_{ca} (3.68) eşitliğiyle elde edilecektir. Bu adımın ardından da bulunan bu iki değerin toplamıyla büzülmeden kaynaklanan toplam birim kısalma değeri elde edilecektir.

Otojen büzülmeden kaynaklanan birim kısalma olan ε_{ca} değeri, betonun yaşı t değerine bağlı (3.69) eşitliğiyle bulunan $\beta_{as}(t)$ ile betonun 28 günlük karakteristik basınç dayanımı f_{ck} değerine bağlı olarak (3.70) eşitliğiyle verilen $\varepsilon_{ca}(\infty)$ büyüklüklerine bağlıdır.

Bu açıklama doğrultusunda beton yaşı $t = 400$ gün olmak üzere, $\beta_{as}(t)$ değerinin elde edilmesi için (3.69) eşitliği kullanılarsa;

$$\beta_{as}(400) = 1 - \exp(-0.2(400)^{0.5}) = 0.982$$

olarak bulunur.

Son olarak $\varepsilon_{ca}(\infty)$ büyüklüğü için, betonun 28 günlük karakteristik basınç dayanımı $f_{ck} = 40$ MPa alınmak üzere (3.70) eşitliği kullanılırsa;

$$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2.5(40 - 10)10^{-6} = 7.5E - 05$$

olarak bulunur.

Bu adımların ardından, otojen büzülmeden kaynaklanan birim kısalma olan ε_{ca} değerini veren (3.68) eşitliği kullanılarak;

$$\varepsilon_{ca}(400) = (0.982)(7.5E - 05) = 7.4E - 05$$

olarak bulunur.

$\varepsilon_{ca}(t)$ değerinin de bulunmasıyla, daha önceden elde edilen kuruma büzülmesinden kaynaklanan birim kısalma olan ε_{cd} değeri de kullanılıp toplam büzülme kısalması olarak tanımlanan ε_{cs} değerini veren (3.63) eşitliğine geri dönülebilir. Buna göre;

$$\varepsilon_{cs} = 9.34E - 05 + 7.4E - 05 = 1.67E - 04$$

olarak bulunur.

Zamana bağlı toplam yer değiştirmeler içinde düşünülmesi gereken sıcaklık etkisi de sıcaklık genleşme katsayısı, $\alpha = 1.00E - 05$ ile sıcaklık değişimi, $\Delta T(t) = 50^0$ alınmak üzere;

$$\alpha \Delta T(t) = (1.00E - 05)(50) = 0.0005$$

olarak bulunur.

Bu adımın ardından toplam birim kısalma için sünme, büzülme ile sıcaklık etkilerinden gelen etkiler toplanırsa, toplam birim kısalma;

$$\varepsilon = 4.43E - 04 + 1.67E - 04 + 5E - 05 = 0.00111$$

olarak elde edilir.

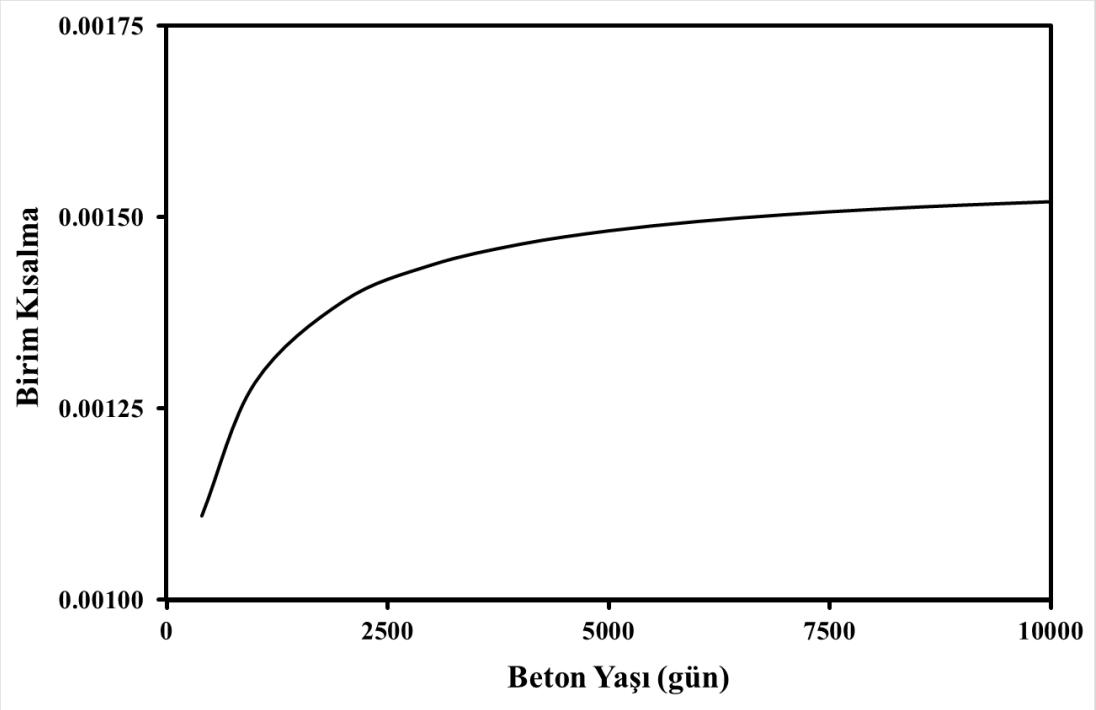
Yukarıda beton yaşı $t = 400$ gün için bulunmuş olan zamana bağlı yer değiştirmeler 10000 güne kadar devam ettirilirse, toplam birim kısalmayı oluşturan değerler Çiz.3.12. ile gösterildiği gibi değişir.

Çizelge 3.12 : EC2 Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar.

t (gün) (1)	$\varepsilon_{cc}(t,t')$ (2)	$\varepsilon_s(t,t_0)$ (3)	$\alpha\Delta T(t)$ (4)	$\varepsilon(t)$ (5)
10000	6.70E-04	3.50E-04	0.0005	0.00152
9000	6.68E-04	3.48E-04	0.0005	0.00152
8000	6.65E-04	3.45E-04	0.0005	0.00151
7000	6.62E-04	3.42E-04	0.0005	0.00150
6000	6.57E-04	3.38E-04	0.0005	0.00149
5000	6.50E-04	3.32E-04	0.0005	0.00148
4000	6.41E-04	3.24E-04	0.0005	0.00146
3000	6.27E-04	3.11E-04	0.0005	0.00144
2000	6.01E-04	2.89E-04	0.0005	0.00139
1000	5.43E-04	2.41E-04	0.0005	0.00128
400	4.43E-04	1.67E-04	0.0005	0.00111

Çiz 3.12'de ilk kolon t süresi olarak 400-10000 günü göstermektedir. İkinci kolon sünmeden, üçüncü kolon büzülmeden kaynaklanan toplam birim kısalmayı, dördüncü kolon ise köprünün farklı sıcaklık değişiminden kaynaklanan birim kısalmayı göstermektedir. Beşinci kolonda da toplam birim kısalmalar verilmiştir.

Eurocode 2 Modeli'nde zamana bağlı toplam yer değiştirmelerin 400-10000 günler arasındaki değişimi Şekil 3.4 ile verilmiştir.



Şekil 3.4 : Şehzadeler için EC 2'de Zamana Bağlı Birim Kısalmalar.

Eurocode 2 Modeline göre, Çiz.3.12'den de görüldüğü gibi Şehzadeler Viyadüğü için verilen örnekte, yük altında oluşan sünme, yüksüz durumda oluşan büzülme,

farklı ısı değişiminden oluşan toplam birim kısalmalar zamanla sürekli artmaktadır. Şekil 3.4'teki grafiğin artışı incelenirse, birim kısalmaların hızının zamanla azalarak sürekli bir artış gösterdiği görülecektir. Şehzadeker Viyadüğü için B3 Modeli ile ACI 209R-92 Modeli'nden elde edilen sonuçların değişimi de bu biçimdedir. Bu anlamda, ACI 209R-92 Modeli'nin verdiği sonuçlar da betonun sünme davranışının zamana göre genel değişimiyle uyumludur.

3.4 TS 3233 Modeli

TS 3233 (1979) ülkemizde öngerilmeli betonarme yapıların tasarımında kullanılan genel kuralları düzenleyen yönetmeliktir. Yapı elemanlarındaki sünme ile büzülme etkileri bu yönetmeliğin 7.6 ile 7.7 bölümlerinde açıklanmış, gerekli eşitlikler ise Ek.B kısmında verilmiştir. Yönetmelikteki sünme ile büzülme modeli Avrupa Beton Birliği (CEB) tarafından 1975 hazırlanan yöntem esas alınarak hazırlanmıştır. Bu tez kapsamında da bu ilgili eşitlikler kullanılarak zamana bağlı yer değiştirmeler bulunacaktır.

Bu yönetmelikte, betondaki sünme ile büzülme etkileri ortam nemine, eleman boyutlarına, beton yaşına bağlı olarak tanımlanmıştır. Bu yaklaşım ise Bölüm 3'te açıklanan diğer modellerle karşılaştırıldığında, beton bileşimine bağlı bir detaylandırmaya gidilmediğinden, günümüz koşullarında yetersiz kalmıştır.

3.4.1 Sünme Etkileri

TS 3233 Modeli'ne göre sünme etkisi, (3.71) eşitliğiyle verilmiştir.

$$\varepsilon_{co} = \frac{\sigma_{co}}{E_{c28}} \phi_c \tag{3.71}$$

Burada, ε_{co} sünmeden kaynaklanan yer değiştirmeyi, σ_{co} betonun üzerindeki sabit gerilmeyi, E_{c28} betonun 28 günlük elastisite modülünü, ϕ_c ise sünme katsayısını göstermektedir.

(3.71) eşitliğinde sünme katsayısı olarak tanımlanan ϕ_c değeri ise (3.72) eşitliğiyle verilmiştir.

$$\phi_c = \phi_d \beta_\infty + \phi_{f1} \phi_{f2} \left[\beta_f(t) - \beta_f(t^\iota) \right] \tag{3.72}$$

Bu eşitlikte, t beton yaşını, $t^{\prime}$ ise betonun sünme hesabı yapıldığı zamanki, yani diğer modellerde öngerilmenin verildiği (yüklemenin başladığı) andaki yaşını göstermektedir. ϕ_d değeri TS 3233 tarafından 0.4 alınması önerilen, gecikmiş plastikliği gösteren bir katsayıdır. Ortama bağlı katsayı olarak tanımlanan ϕ_{f1} değeri Çiz. 3.13.a, teorik kalınlığa bağlı katsayı olarak tanımlanan ϕ_{f2} değeri Çiz. 3.13.b, zamana bağlı β_{∞} ile hem teorik kalınlığa hem de zamana bağlı $\beta_f(t), \beta_s(t)$ katsayıları ise Çiz 3.13.c ile verilmiştir. Bu çizelgeler aynı zamanda büzülme hesaplarında kullanılacak katsayıları da içermektedir. Bu büyüklüklerin tanımı da büzülme hesapları içinde yapılacaktır.

Çizelge 3.13.a : TS 3233 için sünme, büzülme katsayıları.

Ortam	Nem Oranı (%)	Sünme Katsayısı (ϕ_{f1})	Büzülme Katsayısı (ε_{s1})	Kalınlık Katsayısı (λ)
Su içinde	-	0.8	10×10^{-5}	30
Çok nemli	90	1.3	-10×10^{-5}	5
Normal	70	2.0	-25×10^{-5}	1.5
Kuru	40	3.0	-40×10^{-5}	1

Çizelge 3.13.b : TS 3233 için sünme, büzülme katsayıları.

Teorik Kalınlık h_{th}	5	10	20	40	80	≥150
ϕ_{f2}	1.85	1.70	1.55	1.40	1.25	1.12
ε_{s2}	1.20	1.05	0.90	0.80	0.70	0.70

Çizelge 3.13.c : TS 3233 için sünme, büzülme katsayıları.

		$t-t^{\iota}$							
Sünme Katsayısı		5 gün	10 gün	1 ay	2 ay	3 ay	1 yıl	2 yıl	3 yıl
β_{∞}		0.35	0.40	0.50	0.60	0.68	0.90	0.97	0.99
$\beta_f(t)$	h_{th} =5	0.18	0.26	0.44	0.56	0.63	0.82	0.91	0.93
	=10	0.18	0.25	0.40	0.53	0.59	0.79	0.88	0.90
	=20	0.17	0.24	0.38	0.48	0.53	0.72	0.83	0.85
	=40	0.17	0.23	0.34	0.42	0.47	0.65	0.77	0.80
	=80	0.16	0.22	0.30	0.37	0.40	0.55	0.68	0.70
	=150	0.15	0.20	0.26	0.30	0.32	0.45	0.58	0.63
$\beta_s(t)$	h_{th} =5	0.30	0.36	0.55	0.68	0.75	0.90	0.94	0.97
	=10	0.16	0.22	0.40	0.52	0.60	0.84	0.90	0.93
	=20	0.07	0.10	0.21	0.32	0.40	0.65	0.80	0.87
	=40	0.02	0.04	0.10	0.18	0.22	0.45	0.60	0.70
	=80	0.00	0.01	0.03	0.07	0.10	0.20	0.35	0.45
	=150	0.00	0.00	0.01	0.02	0.04	0.10	0.18	0.23

Çiz 3.13.b-c'den bulunacak değişkenlerin bağlı olduğu, teorik kalınlık olarak adlandırılan h_{th} değeri ise (3.73) eşitliğiyle verilmiştir.

$$h_{th} = \lambda \frac{2A_C}{u} \tag{3.73}$$

(3.74) eşitliğinde, λ kalınlık katsayısı olarak tanımlanıp Çiz 3.13.a'da verilmiştir. A_C betonun enkesit alanını, u ise atmosferle ilişkide olan beton çevresini göstermektedir. $2A_C/u$ değeri ise (3.20) eşitliğiyle verilen D etkin kesit kalınlığına eşittir.

3.4.2 Büzülme Etkileri

TS 3233'ün önerdiği büzülme modeli, Çiz 3.13.a-c ile verilmiş katsayılara bağlı olarak (3.74) eşitliğiyle verilmiştir.

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{s1}\varepsilon_{s2}[\beta_s(t) - \beta_s(t^{\iota})] \tag{3.74}$$

(3.74) eşitliğinde, ε_{cs} büzülmeden kaynaklanan toplam yer değiştirmedir. ε_{s1} Çiz.3.13.a'dan alınacak bağıl neme bağlı büzülme katsayısını, ε_{s2} ise Çiz.3.13.b'den alınacak teorik kalınlıkla zamana bağlı katsayıyı göstermektedir. $\beta_s(t)$ değeriyse büzülmenin zamanla gelişimini gösteren, teorik kalınlığa bağlı olarak Çiz 3.13.c'den alınacak katsayıdır.

TS 3233'ün sünme, büzülme yaklaşımı kullanılarak ACI 209R-92, B3 ile EC2 Modelleri kullanılarak yapıldığı gibi, Kömürhan (Korkmaz 2013, Çağlar ve diğ. 2011b), Gülburnu (Sezdirmez, 2013), Palau (Benzer 2011, Şener ve diğ. 2009, 2010, 2014, Çağlar ve diğ. 2011a), Beylerderesi, Akarsın, İmrahor ve Tigem (Şener ve diğ. 2013) köprüleri analiz edilmiştir. TS 3233 Modeli'nde, sünme ile büzülme eşitliklerinde kullanılan ilgili katsayıları veren tablolar en fazla 3 yıl için düzenlendiğinden yöntem 100 ile 1000 gün arası için uygulanacaktır.

3.4.3 Şehzadeler Viyadüğü için Uygulama

Sünmeden kaynaklanan zamana bağlı toplam yer değiştirme ε_{co} (3.71) eşitliğiyle verilmiştir. Bu eşitlik için betonun üzerindeki sabit gerilme σ_{co} ile betonun 28 günlük elastisite modülü E_{c28} değerleri bilindiğinden, öncelikle (3.72) eşitliği kullanılarak sünme katsayısı olarak tanımlanan ϕ_c değeri bulunmalıdır.

Sünme katsayısını veren (3.72) eşitliğindeki katsayılardan gecikmiş plastikliği gösteren ϕ_d değeri TS 3233 tarafından 0.4 alınması önerilen bir katsayıdır. Ortama bağlı katsayı olarak tanımlanan ϕ_{f1} değeri ise ortamın bağıl nem oranı %60 olmak üzere Çiz. 3.13.a kullanılarak 2.33 alınmıştır.

Teorik kalınlığa bağlı katsayı olarak tanımlanan ϕ_{f2} değeri Çiz. 3.13.b'den, zamana bağlı β_∞ ile hem teorik kalınlığa hem de zamana bağlı β_f katsayıları ise Çiz 3.13.c'den alınmalıdır. Bu çizelgeler teorik kalınlık olarak tanımlanan h_{th} değerine bağlı olduğundan öncelikle bu büyüklüğü veren (3.73) eşitliği bulunmalıdır.

Teorik kalınlığı veren (3.73) eşitliği Çiz 3.13.a'da verilen kalınlık katsayısı λ ile kesit etkin kalınlığı olarak tanımlanıp Çiz 3.6 ile verilen *D* değerine bağlıdır. Buna göre, ortamın bağıl nem oranı %60 olmak üzere, λ=1.33, *D*=69.6 cm alınarak;

$$h_{th} = 1.33 \times 69.6 = 92.568 \text{ cm}$$

olarak bulunmuştur.

Teorik kalınlık h_{th} bulunduktan sonra, bu değere göre Çiz 3.13.b kullanılarak ϕ_{f2} değeri 1.23 bulunmuştur.

Çiz 3.13.c $t - t^{\iota}$ değerlerine göre düzenlenmiştir. Burada beton yaşı $t = 100$ gün, betonun yüklendiği andaki yaşı $t^{\iota} = 67$ gün olmak üzere, $t - t^{\iota} = 33$ gün için β_{∞} katsayısı 0.51, $\beta_f(t) - \beta_f(t^{\iota})$ değeri ise 0.3 bulunmuştur. Bulunan bu katsayılar aracılığıyla sünme katsayısı olarak tanımlanan ϕ_c değeri için (3.72) eşitliği kullanılırsa;

$$\phi_c = (0.4)(0.51) + (2.33)(1.23)[0.3] = 1.06$$

olarak bulunur.

Sünme katsayısı ϕ_c değeri bulunduktan sonra sünmeden dolayı oluşan toplam yer değiştirme olan ε_{co} değerini veren (3.71) eşitliğine geri dönülürse, betonun üzerindeki sabit gerilme $\sigma_{co} = 16$ MPa, betonun 28 günlük elastisite modülü E_{c28} de B3 Model için (3.3) eşitliğiyle bulunduğu gibi 29940 MPa alınmak üzere;

$$\varepsilon_{co} = \frac{16}{29940}(1.06) = 5.68E - 04$$

olarak bulunur.

Büzülmeden kaynaklanan zamana bağlı toplam yer değiştirme ε_{cs} (3.74) eşitliğiyle verilmiştir. (3.74) eşitliği ise Çiz.3.13.a'dan alınacak bağıl neme bağlı büzülme katsayısı ε_{s1} ile Çiz.3.13.b'den alınacak teorik kalınlıkla zamana bağlı katsayı ε_{s2} değerlerine bağlıdır. Buna göre, ε_{s1} değeri ortamın bağıl nem oranı %60 olmak üzere Çiz. 3.13.a kullanılarak -30×10^{-5}, ε_{s2} değeri ise Çiz. 3.13.b kullanılarak 0.7 alınmıştır.

Çiz 3.13.c $t - t^{\iota}$ değerlerine göre düzenlenmiştir. Burada beton yaşı $t = 100$ gün, betonun yüklenmenin başladığı andaki yaşı $t^{\iota} = 67$ gün olmak üzere, $t - t^{\iota} = 33$ gün için $\beta_s(t) - \beta_s(t^{\iota})$ değeri ise 0.03 bulunmuştur. Bulunan bu katsayılar aracılığıyla büzülmeden kaynaklanan zamana bağlı toplam yer değiştirme ε_{cs} değerini veren (3.74) eşitliği kullanılırsa;

$$\varepsilon_{cs} = |-30 \times 10^{-5}|(0.7)(0.03) = 6.30E - 06$$

olarak bulunur.

Zamana bağlı toplam yer değiştirmeler içinde düşünülmesi gereken sıcaklık etkisi de sıcaklık genleşme katsayısı, $\alpha = 1.00E-05$ ile sıcaklık değişimi, $\Delta T(t) = 50^0$ alınmak üzere;

$$\alpha \Delta T(t) = (1.00E-05)(50) = 0.0005$$

olarak bulunur.

Bu adımın ardından toplam birim kısalma için sünme, büzülme ile sıcaklık etkilerinden gelen etkiler toplanırsa, toplam birim kısalma;

$$\varepsilon = 5.90E-04 + 6.30E-06 + 5E-05 = 0.0011$$

olarak elde edilir.

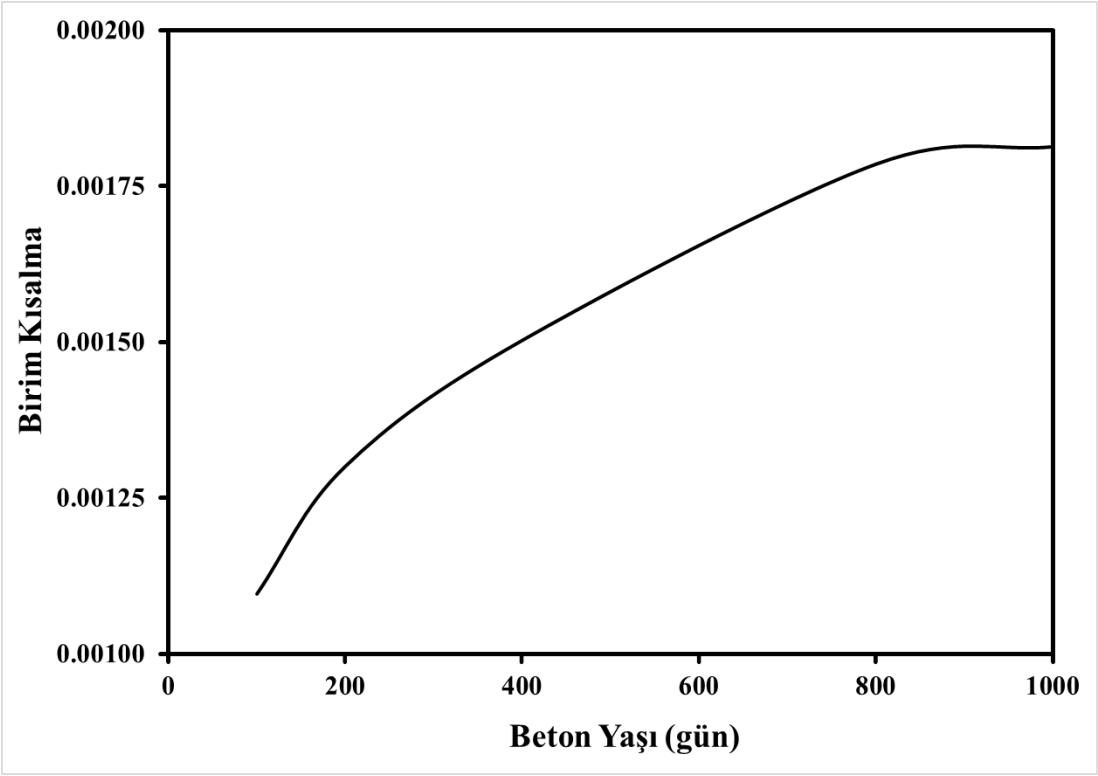
Yukarıda beton yaşı $t = 100$ gün için bulunmuş olan zamana bağlı yer değiştirmeler 1000 güne kadar devam ettirilirse, toplam birim kısalmayı oluşturan değerler Çiz.3.14. ile gösterildiği gibi değişir.

Çizelge 3.14 : TS 3233 Modeli'nde 1000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar.

t (gün) (1)	$\varepsilon_{co}(t,t')$ (2)	$\varepsilon_{cs}(t,t')$ (3)	$\alpha \Delta T(t)$ (4)	$\varepsilon(t)$ (5)
1000	1.24E-03	7.77E-05	0.0005	0.00181
800	1.22E-03	6.72E-05	0.0005	0.00179
400	9.67E-04	3.57E-05	0.0005	0.00150
200	7.80E-04	2.10E-05	0.0005	0.00130
100	5.90E-04	0.63E-05	0.0005	0.00110

Çiz 3.14'te ilk kolon t süresi olarak 100-1000 günü göstermektedir. İkinci kolon sünmeden, üçüncü kolon ise büzülmeden kaynaklanan toplam birim kısalmayı, dördüncü kolon ise köprünün farklı sıcaklık değişiminden kaynaklanan birim kısalmayı göstermektedir. Son olarak beşinci kolonda da toplam birim kısalmalar verilmiştir.

TS 3233 Modeli'nde zamana bağlı birim kısalmaların 100-1000 günler arasındaki değişimi Şekil 3.5 ile verilmiştir.



Şekil 3.5 : Şehzadeler için TS 3233'de Zamana Bağlı Birim Kısalmalar.

4. DİĞER KÖPRÜLERDEKİ ZAMANA BAĞLI YERDEĞİŞTİRMELER

4.1 Kömürhan Köprüsü'nde Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler

Bu Bölümde Kömürhan Köprüsü'nde Şehzadeler Viyadüğü için yapıldığı gibi B3 Modeli, ACI 209R-92 Modeli, EC 2 Modeli ile TS 3233 Modeli kullanılarak zamana bağlı yer değiştirmeler elde edilecektir. Şehzadeler Viyadüğü için Bölüm 3'te açıkça gösterilen işlem adımları tekrar edilmeyecektir. Bunun yerine adı geçen bölümlerde kullanılan eşitliklerle elde edilen büyüklükler çizelge olarak verilecektir.

4.1.1 B3 Modele Göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler

B3 Modeli'ne göre zamana bağlı yer değiştirmeler, Bölüm 3.1'te verilen eşitlikler yardımıyla bulunacaktır. Kömürhan Köprüsü'nün B3 Modele göre hesabında kullanılacak temel malzeme değişkenleri, beton yaşı, betonun kurumaya başladığı andaki ortalama t_0 yaşı ile betonun öngerilme verildiği ortalama t' andaki yaşı Çiz.4.1'de görülebilir.

Çizelge 4.1 : Kömürhan için B3 Modeli'nde Temel Değişkenler.

t (gün)	t_0 (gün)	t' (gün)	f_c (MPa)	w (kg)	a (kg)	c (kg)
10000	42	49	35	200	1800	360
9000	42	49	35	200	1800	360
8000	42	49	35	200	1800	360
7000	42	49	35	200	1800	360
6000	42	49	35	200	1800	360
5000	42	49	35	200	1800	360
4000	42	49	35	200	1800	360
3000	42	49	35	200	1800	360
2000	42	49	35	200	1800	360
1000	42	49	35	200	1800	360
400	42	49	35	200	1800	360

Burada t beton yaşı olup, toplam birim kısalma değerleri 400, 1000, 2000-10000 günleri için bulunmuştur. t' betonun öngerilme verildiği andaki yaşı olup köprünün yapım yöntemine göre değişmektedir. Kömürhan Köprüsü dengeli konsol yöntemiyle

yapıldığı için, her parçanın dayanım kazanma zamanı olarak 7 gün varsayılmıştır. Her bir parçanın 7 günlük döküm süresi, parça sayısıyla çarpılarak bulunan toplam günün, üretilen parça sayısına bölünmesiyle, yani aritmetik ortalaması alınarak bulunmuştur.

Betonun kurumaya başladığı andaki yaşı, t_0 beton döküldükten 1 gün sonra betonun sertleşmeye başladığı varsayımı ile alınmıştır. Buna göre, Kömürhan Köprüsü için hesap yapılacak büyük açıklık konsolu 11 parçadan oluştuğundan, kurumanın başladığı zaman olan $t_0 = 42$ gün, yüklenmenin başlandığı zaman olan ise $t' = 49$ gün olarak, ortalama değerleriyle alınmıştır. Bu değer ACI 209R-92 ile Eurocode 2 Modelleri için de aynı biçimde kullanılmıştır.

Çiz 4.1'de verilen f_c betonun 28 günlük ortalama silindirik dayanımını, c betondaki çimento ağırlığını, w ağırlık olarak su oranı, a ise ağırlık olarak agrega oranını göstermektedir.

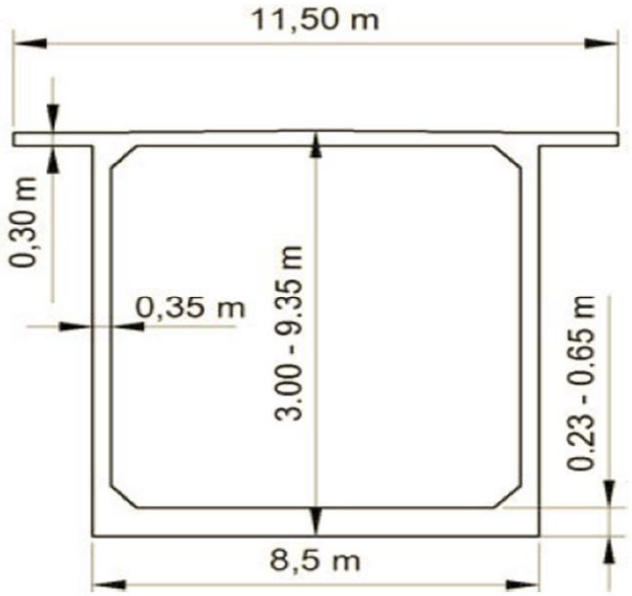
Zamana bağlı yer değiştirmeleri etkileyen değerlerden $\Delta T(t)$ sıcaklık değişimi olup, köprünün bulunduğu bölgeye göre, gündüz gece sıcaklık farkına, köprü gövdesinin üst parçasının güneş altında alt parçasının gölgede, köprünün üst yapı kaplamasına göre büyük değişimler göstermektedir. Bu değer için de köprünün bulunduğu meteorolojik bölge göz önünde bulundurularak 70^0 değeri alınmıştır. Bu değer de ACI 209R-92 ile Eurocode 2 Modelleri için de aynı biçimde kullanılmıştır.

Büzülmenin sonsuzda alacağı $\varepsilon_{sh\infty}$ değerini etkileyen çimento türüne bağlı α_1 ile kür durumuna bağlı α_2 katsayıları Çiz.3.1. ile Çiz.3.2.'den alınacaktır. Büzülme için gerekli olan yarı zaman olarak tanımlanan τ_{sh} değerini etkileyen, yapı tipine bağlı k_s katsayısı ise, köprü kesitinin nasıl olacağı önceden bilindiğinden sonsuz kare prizma seçilerek Çiz.3.3.'den alınmıştır. Yapının toplam büzülme birim kısalmasını etkileyen, ortamın bağıl nemine bağlı k_h nem düzeltme katsayısı ise ortamın bağıl nemi $h = \%60$ olmak üzere Çiz.3.4'ten alınacaktır. Kömürhan Köprüsü için yukarıda açıklanan ilgili çizelgeler kullanılarak elde edilen bu değerler toplu olarak Çiz.4.2'de görülebilir.

Çizelge 4.2 : B3 Modeli için İlgili Çizelgelerden Alınan Değerler.

α_1	α_2	k_s	k_h
1	1.2	1.25	0.784

Büzülme için gerekli olan yarı zaman olarak tanımlanan τ_{sh} değerini etkileyen, etkin kesit kalınlığı olarak tanımlanıp (3.21) eşitliğiyle verilen D oranı, köprü enkesitleri değişken olduğundan her parça için farklı bir değer almaktadır. D oranı için değişken enkesitlerin ortalaması olarak $D = 658$ mm alınmıştır. Kömürhan Köprüsü'ndeki değişken enkesitler için tip enkesit Şekil 4.1'de görülebilir.



Şekil 4.1 : Kömürhan Köprüsü Değişken Enkesitler.

B3 Modeli için Bölüm 3'te verilen sünme ile büzülme eşitliklerinden bazıları zamanla değişmekte bazılarıysa sabit kalmaktadır. Kömürhan Köprüsü için bulunan ilgili değerler, zamana bağlı değişenlerle değişmeyenler olarak ayrılmıştır. Buna göre, B3 Modeli'nde sünme için verilen eşitliklerinden zamana bağlı olarak değişenler Çiz.4.3 ile değişmeyenler ise Çiz.4.4 ile verilmiştir.

Çizelge 4.3 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri.

t (gün)	$Z(t,t')$	$Q(t,t')$	$C_0(t,t')$ (E-05)	$C_d(t,t',t_0)$ (E-05)	$J(t,t')$ (E-05)
10000	0.179	0.141	6.02	1.73	9.89
9000	0.178	0.141	5.95	1.65	9.75
8000	0.177	0.141	5.87	1.57	9.58
7000	0.176	0.141	5.77	1.49	9.40
6000	0.174	0.141	5.67	1.39	9.20
5000	0.172	0.141	5.54	1.29	8.97
4000	0.170	0.140	5.38	1.17	8.70
3000	0.167	0.140	5.18	1.04	8.36
2000	0.163	0.140	4.89	0.89	7.92
1000	0.156	0.138	4.40	0.68	7.22
400	0.147	0.135	3.73	0.48	6.35

Çizelge 4.4 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri.

t (gün)	q_1 (E-05)	q_2 (E-04)	q_3 (E-06)	q_4 (E-06)	$r(t')$	$Q_f(t')$
400-10000	2.14	1.43	3.96	6.58	10.72	0.142

B3 Modeli'nde büzülme için verilen eşitlikler de sünme için olduğu gibi zamana bağlı olarak değişenler ile değişmeyenler olarak ayrılmıştır. Bu büyüklükler sırasıyla Çiz.4.5 ile Çiz.4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.5 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Büzülme Eşitlikleri.

t (gün)	$S(t)$	$H(t)$	$\varepsilon_{sh}(t,t_0)$ (E-04)
10000	0.637	0.745	-4.46
9000	0.614	0.755	-4.30
8000	0.587	0.765	-4.11
7000	0.558	0.777	-3.91
6000	0.525	0.790	-3.67
5000	0.486	0.805	-3.41
4000	0.442	0.823	-3.10
3000	0.389	0.845	-2.72
2000	0.322	0.871	-2.25
1000	0.229	0.908	-1.60
400	0.141	0.944	-0.98

Çizelge 4.6 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri.

q_5 (E-04)	$S(t')$	$H(t')$	$\varepsilon_{s\infty}$ (E+02)	E_{28} (GPa)	$E(t_0+\tau_{sh})$ (GPa)	k_t	τ_{sh} (gün)	$\varepsilon_{sh}(\infty)$ (E-04)
3.67	0.02	0.99	8.96	28	30.37	2.59	17531	8.93

Çiz.4.6 ile verilen zamana bağlı değişmeyen büzülme eşitliklerinden olan $E(607)$ değeri de (3.22) eşitliğiyle bulunmakta olup 400-10000 gün arasında sabittir. Bu değer 30.26 GPa'dır.

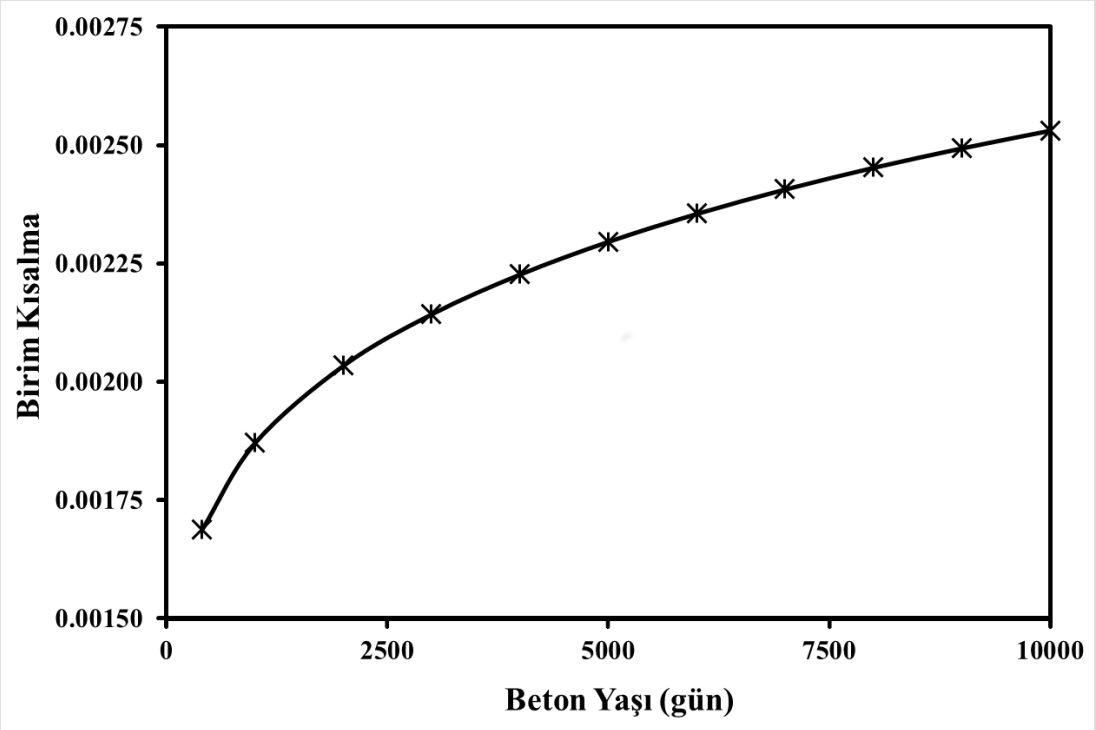
Çiz.4.1-4.6 ile verilen, Bölüm 3.1'de tanımlanmış olan bu büyüklükler Şehzadeler Viyadüğü için Bölüm 3.2'de yapıldığı gibi göz önüne alınarak Kömürhan Köprüsü için de kullanılmıştır.

Kömürhan Köprüsü için yukarıda verilen çizelgelerden toplam birim kısalmayı etkileyen değişkenlerin toplu halde gösterilişi Çiz.4.7 ile verilmiştir.

Çizelge 4.7 : B3 Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar.

t (gün)	σ (MPa)	$J(t,t')$	$J(t,t')\sigma$	$\varepsilon_{sh}(t,t_0)$	$\alpha\Delta T(t)$	$\varepsilon(t)$
10000	14	9.89E-05	1.39E-03	-4.46E-04	0.0007	0.00253
9000	14	9.75E-05	1.36E-03	-4.30E-04	0.0007	0.00249
8000	14	9.58E-05	1.34E-03	-4.11E-04	0.0007	0.00245
7000	14	9.40E-05	1.32E-03	-3.91E-04	0.0007	0.00241
6000	14	9.20E-05	1.29E-03	-3.67E-04	0.0007	0.00236
5000	14	8.97E-05	1.26E-03	-3.41E-04	0.0007	0.00230
4000	14	8.70E-05	1.22E-03	-3.10E-04	0.0007	0.00223
3000	14	8.36E-05	1.17E-03	-2.72E-04	0.0007	0.00214
2000	14	7.92E-05	1.11E-03	-2.25E-04	0.0007	0.00203
1000	14	7.22E-05	1.01E-03	-1.60E-04	0.0007	0.00187
400	14	6.35E-05	8.89E-04	-9.84E-05	0.0007	0.00169

Kömürhan Köprüsü için B3 Modeli'nde zamana bağlı birim kısalmaların 400-10000 günler arasındaki değişimi Şekil 4.2 ile verilmiştir.



Şekil 4.2 : Kömürhan için B3 Model'de Zamana Bağlı Birim Kısalmalar.

4.1.2 ACI 209R-92 Modeline Göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler

ACI 209R-92 Modeli'ne göre zamana bağlı yer değiştirmeler, Bölüm 3.3'te verilen eşitlikler yardımıyla bulunacaktır. Kömürhan Köprüsü'nün ACI 209R-92 Modeli'ne göre incelenişinde kullanılacak temel değişkenler Çiz.4.8'de görülebilir.

Çizelge 4.8 : Kömürhan için ACI 209R-92 Modeli'nde Temel Değişkenler.

t (gün)	t_0 (gün)	t' (gün)	$f_{cmt^{\iota}}$ (MPa)	s (mm)	Ψ (%)	c (kg)	h (%)	V/S (mm)
10000	42	49	37.57	160	46	360	60	329
9000	42	49	37.57	160	46	360	60	329
8000	42	49	37.57	160	46	360	60	329
7000	42	49	37.57	160	46	360	60	329
6000	42	49	37.57	160	46	360	60	329
5000	42	49	37.57	160	46	360	60	329
4000	42	49	37.57	160	46	360	60	329
3000	42	49	37.57	160	46	360	60	329
2000	42	49	37.57	160	46	360	60	329
1000	42	49	37.57	160	46	360	60	329
400	42	49	37.57	160	46	360	60	329

Burada t beton yaşı olup, toplam birim kısalma değerleri 400, 1000, 2000-10000 günleri için bulunmuştur. t' betonun öngerilme verildiği andaki yaşı olup köprünün yapım yöntemine göre değişmektedir. Kömürhan Köprüsü de dengeli konsol yöntemiyle yapıldığı için, her parçanın dayanım kazanma zamanı olarak 7 gün varsayılmıştır.

Çiz 4.8'de $f_{cmt^{\iota}}$ betonun yüklendiği andaki ortalama basınç dayanımını, s milimetre cinsinden taze betonun çökme değerini, Ψ beton bileşimindeki ince agreganın toplam agregaya oranı, c betondaki çimento miktarını, h ise ortamın bağıl nemini göstermektedir. V/S ise kesit hacminin (V), açık hava etkisindeki yüzey alanına (S) oranıdır. V/S oranı için Şekil 4.1'de görülen değişken enkesitlerin ortalaması kullanılmıştır.

Ayrıca**,** toplam düzeltme çarpanını veren (3.30) eşitliğindeki kür katsayısını gösteren $\gamma_{sh,to}$ değeri, Çiz. 3.8'den 7 günlük kür durumu için 1 alınacaktır. Betonun yüklendiği andaki ortalama basınç dayanımı olan $f_{cmt^{\iota}}$ değeri bulunurken kullanılacak (3.40) eşitliği için a ile b ise CEM I çimento tipi için 4 ile 0.85 alınacaktır.

ACI 209R-92 Modeli'nde B3 Modeli'nde olduğu gibi sünme ile büzülme eşitliklerinden bazıları zamanla değişmekte bazılarıysa sabit kalmaktadır. Kömürhan Köprüsü için bulunan ilgili değerler, ACI 209R-92 Modeli için de zamana bağlı değişenlerle değişmeyenler olarak ayrılmıştır. Buna göre, ACI 209R-92 Modeli'nde sünme için verilen eşitliklerinden zamana bağlı olarak değişenler Çiz.4.9 ile değişmeyenler ise Çiz.4.10 ile verilmiştir.

Çizelge 4.9 : ACI 209R-92 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri.

t (gün)	$\phi(t,t^{\iota})$	$J(t,t')$
10000	1.034	6.56E-05
9000	1.009	6.48E-05
8000	0.980	6.39E-05
7000	0.945	6.28E-05
6000	0.902	6.14E-05
5000	0.847	5.96E-05
4000	0.777	5.73E-05
3000	0.681	5.43E-05
2000	0.546	4.99E-05
1000	0.337	4.32E-05
400	0.148	3.71E-05

Çizelge 4.10 : ACI 209R-92 Modeli'nde Zamanla Değişmeyen Sünme Eşitlikleri.

$\gamma_{c,t^{\iota}}$	$\gamma_{c,RH}$	$\gamma_{c,vs}$	$\gamma_{c,s}$	$\gamma_{c,\Psi}$	$\gamma_{c,\alpha}$	γ_c	ϕ_u	d (gün)
0.790	0.868	0.667	1.242	0.990	1	0.563	1.322	2779

Çiz 4.10 ile verilen zamana bağlı değişmeyen bu büyüklüklerden başka (3.39) eşitliğiyle verilen betonun yüklenmeye başladığı t^{ι} zamanındaki elastisite modülü olan $E_{cmt^{\iota}}$ değeri de 400-10000 gün arasında sabittir. Bu değer 30.99 GPa'dır.

ACI 209R-92 Modeli'nde büzülme için verilen eşitliklerden yalnızca (3.25) eşitliğiyle verilen toplam büzülme şekil değiştirmesi $\varepsilon_{sh}(t,t_0)$ zamana bağlı olarak değişmektedir. Bu yüzden, $\varepsilon_{sh}(t,t_0)$ toplam birim kısalmayı etkileyen değişkenler içinde verilecektir. Zamana bağlı olarak değişmeyen büzülme büyüklükleri ise Çiz.4.11 ile verilmiştir.

Çizelge 4.11 : ACI 209R-92 Modeli'nde Zamanla Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri.

$\gamma_{sh,to}$	$\gamma_{sh,RH}$	$\gamma_{sh,vs}$	$\gamma_{sh,s}$	$\gamma_{c,\Psi}$	$\gamma_{sh,c}$	$\gamma_{sh,\alpha}$	γ_{sh}	ε_{shu}	f (gün)
1	0.788	0.254	1.148	0.944	0.970	1	0.210	1.64E-04	2779

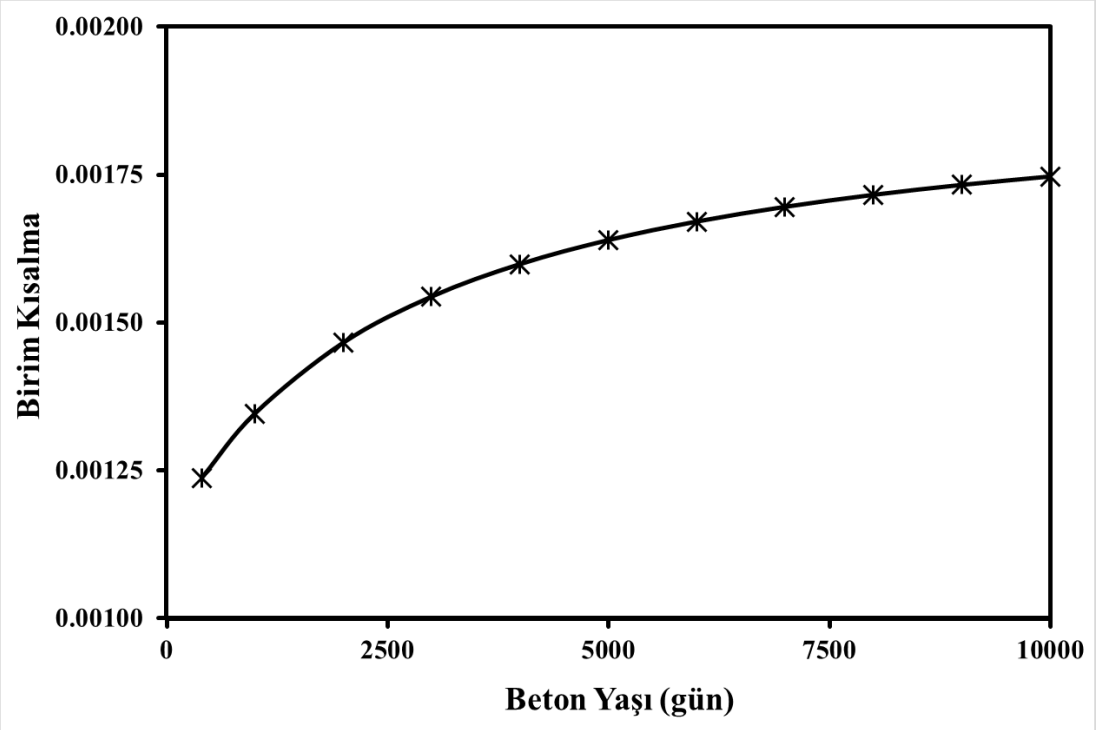
Çiz. 4.8-4.11 ile verilen, Bölüm 3.3'de tanımlanmış olan bu büyüklükler Şehzadeler Viyadüğü için Bölüm 3.4'de yapıldığı gibi göz önüne alınarak Kömürhan Köprüsü için de kullanılmıştır.

Kömürhan Köprüsü için yukarıda verilen çizelgelerden toplam birim kısalmayı etkileyen değişkenlerin toplu halde gösterilişi Çiz. 4.12 ile verilmiştir.

Çizelge 4.12 : ACI Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar.

t (gün)	σ (MPa)	$J(t,t')$	$J(t,t')\sigma$	$\varepsilon_{sh}(t,t_0)$	$\alpha\Delta T(t)$	$\varepsilon(t)$
10000	14	6.56E-05	9.19E-04	1.28E-04	0.0007	0.00175
9000	14	6.48E-05	9.08E-04	1.25E-04	0.0007	0.00173
8000	14	6.39E-05	8.95E-04	1.22E-04	0.0007	0.00172
7000	14	6.28E-05	8.79E-04	1.17E-04	0.0007	0.00170
6000	14	6.14E-05	8.59E-04	1.12E-04	0.0007	0.00167
5000	14	5.96E-05	8.35E-04	1.05E-04	0.0007	0.00164
4000	14	5.73E-05	8.03E-04	9.63E-05	0.0007	0.00160
3000	14	5.43E-05	7.60E-04	8.45E-05	0.0007	0.00154
2000	14	4.99E-05	6.98E-04	6.78E-05	0.0007	0.00147
1000	14	4.32E-05	6.04E-04	4.20E-05	0.0007	0.00135
400	14	3.71E-05	5.19E-04	1.87E-05	0.0007	0.00124

Kömürhan Köprüsü için ACI 209R-92 Modeli'nde zamana bağlı birim kısalmaların 400-10000 günler arasındaki değişimi Şekil 4.3 ile verilmiştir.



Şekil 4.3 : Kömürhan için ACI Modeli'nde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar.

4.1.3 Eurocode 2 Modeline Göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler

Eurocode 2 Modeli'ne göre zamana bağlı yer değiştirmeler, Bölüm 3.5'te verilen eşitlikler yardımıyla bulunacaktır. Kömürhan Köprüsü'nün Eurocode 2 Modeli'ne göre incelenişinde kullanılacak temel değişkenler Çiz.4.13'te görülebilir.

Çizelge 4.13 : Kömürhan için EC 2 Modeli'nde Temel Değişkenler.

t (gün)	t_0 (gün)	t' (gün)	f_{cm} (MPa)	D (mm)	RH (%)
10000	42	49	35	658	60
9000	42	49	35	658	60
8000	42	49	35	658	60
7000	42	49	35	658	60
6000	42	49	35	658	60
5000	42	49	35	658	60
4000	42	49	35	658	60
3000	42	49	35	658	60
2000	42	49	35	658	60
1000	42	49	35	658	60
400	42	49	35	658	60

Burada t beton yaşı olup, toplam birim kısalma değerleri 400, 1000, 2000-10000 günleri için bulunmuştur. t' betonun öngerilme verildiği andaki yaşı olup köprünün yapım yöntemine göre değişmektedir.

Çiz 4.13'te f_{cm} betonun 28 günlük basınç dayanımını, RH ise ortamın bağıl nemini göstermektedir. Etkin kesit kalınlığı olarak tanımlanıp (3.20) eşitliğiyle verilen D oranı, köprü enkesitleri değişken olduğundan her parça için farklı bir değer almaktadır. D oranı için değişken enkesitlerin ortalaması olarak B3 Modeli'nde olduğu gibi 658 mm alınmıştır.

Beton yaşına bağlı bir katsayı olan $\beta_{cc}(t)$ değerini veren (3.54) eşitliğinde gerekecek çimento tipine bağlı s katsayısı Kömürhan Köprüsü'nde CEM 42.5 N sınıfı çimento kullanıldığı varsayıldığı için 0.35 alınmıştır. Serbest kuruma büzülmesi değeri olup (3.66) eşitliğiyle verilen $\varepsilon_{cd,0}$ büyüklüğünün bulunmasında kullanılan α_{ds1} ile α_{ds2} katsayıları çimento sınıfına bağlı olup EC 2'ye göre, N Sınıfı çimentolar için sırasıyla 4 ile 0.12 alınmıştır.

(3.66) eşitliğindeki f_{cmo} değeri ise yine EC 2'ye göre 10 MPa olarak alınmıştır. Ortamın bağıl nemine bağlı β_{RH} katsayısını veren (3.67) eşitliğindeki RH_0 ortamın mutlak nemini göstermektedir. Bu değer yüzde olarak tanımlanmıştır. (3.67) eşitliği kullanılırken ortamın mutlak nemi $RH_0 = \%\,100$ alınmıştır.

Eurocode 2 Modeli'nde, ACI 209R-92 ile B3 Modellerinde olduğu gibi sünme ile büzülme eşitliklerinden bazıları zamanla değişmekte bazılarıysa sabit kalmaktadır. Kömürhan Köprüsü için bulunan ilgili değerler, Eurocode 2 Modeli için de zamana bağlı değişenlerle değişmeyenler olarak ayrılmıştır. Buna göre, EC 2 Modeli'nde

sünme için verilen eşitliklerinden zamana bağlı olarak değişenler Çiz.4.14 ile değişmeyenler ise Çiz.4.15 ile verilmiştir.

Çizelge 4.14 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri.

t (gün)	$\beta_{cc}(t)$	$f_{cm}(t)$ (MPa)	$E_{cm}(t)$ (GPa)	E_c (GPa)	$\beta_c(t,t^\iota)$	$\phi(t,t^\iota)$	$\varepsilon_{cc}(t,t^\iota)$
10000	1.393	48.76	30.93	32.48	0.965	1.757	7.57E-04
9000	1.392	48.71	30.92	32.47	0.962	1.750	7.55E-04
8000	1.390	48.65	30.91	32.46	0.957	1.743	7.52E-04
7000	1.388	48.58	30.90	32.44	0.952	1.733	7.48E-04
6000	1.386	48.49	30.88	32.42	0.945	1.720	7.42E-04
5000	1.382	48.38	30.86	32.40	0.935	1.702	7.35E-04
4000	1.378	48.23	30.83	32.37	0.921	1.677	7.25E-04
3000	1.372	48.02	30.79	32.33	0.900	1.638	7.09E-04
2000	1.362	47.65	30.72	32.25	0.863	1.570	6.81E-04
1000	1.338	46.84	30.56	32.09	0.779	1.417	6.18E-04
400	1.294	45.27	30.25	31.76	0.636	1.157	5.10E-04

Çizelge 4.15 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri.

α_1	α_2	α_3	ϕ_{RH}	$\beta(f_{cm})$	$\beta(t^\iota)$	ϕ^ι	β_H
1	1	1	1.460	2.840	0.439	1.820	1240

Eurocode 2 Modeli'nde büzülme için verilen eşitlikler de sünme için olduğu gibi zamana bağlı olarak değişenler ile değişmeyenler olarak ayrılmıştır. Bu eşitler sırasıyla Çiz.4.16 ile Çiz.4.17'de verilmiştir.

Çizelge 4.16 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Büzülme Eşitlikleri.

t (gün)	$\beta_{ds}(t,t_0)$	ε_{cd}	$\beta_{as}(t)$	$\varepsilon_{ca}(t)$	ε_{cs}
10000	0.937	2.94E-04	1.00	6.2E-05	3.56E-04
9000	0.930	2.92E-04	1.00	6.2E-05	3.54E-04
8000	0.922	2.89E-04	1.00	6.2E-05	3.52E-04
7000	0.912	2.86E-04	1.00	6.2E-05	3.48E-04
6000	0.898	2.82E-04	1.00	6.2E-05	3.44E-04
5000	0.880	2.76E-04	1.00	6.2E-05	3.38E-04
4000	0.854	2.68E-04	1.00	6.2E-05	3.30E-04
3000	0.814	2.55E-04	1.00	6.2E-05	3.18E-04
2000	0.744	2.33E-04	1.00	6.2E-05	2.96E-04
1000	0.587	1.84E-04	1.00	6.2E-05	2.46E-04
400	0.347	1.09E-04	0.98	6.1E-05	1.70E-04

Çizelge 4.17 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri.

β_{RH}	$\varepsilon_{cd,0}$	k_h	$\varepsilon_{ca}(\infty)$
-1.215	-4.48E-04	0.7	6.25E-05

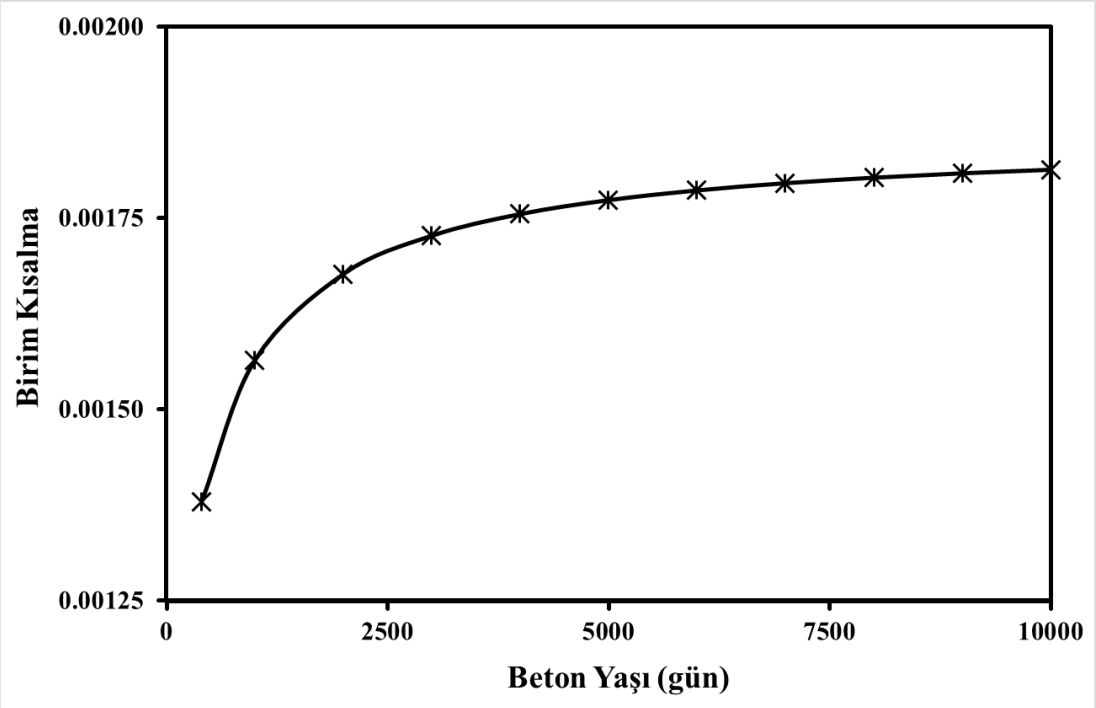
Çiz. 4.13-4.17 ile verilen, Bölüm 3.5'te tanımlanmış olan bu büyüklükler Şehzadeler Viyadüğü için Bölüm 3.6'da yapıldığı gibi göz önüne alınarak Kömürhan Köprüsü için de kullanılmıştır.

Kömürhan Köprüsü için yukarıda verilen çizelgelerden toplam birim kısalmayı etkileyen değişkenlerin toplu halde gösterilişi Çiz. 4.18 ile verilmiştir.

Çizelge 4.18 : EC 2 Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar.

t (gün)	$\varepsilon_{cc}(t,t')$	$\varepsilon_s(t,t_0)$	$\alpha\Delta T(t)$	$\varepsilon(t)$
10000	7.57E-04	3.56E-04	7.00E-04	0.00181
9000	7.55E-04	3.54E-04	7.00E-04	0.00181
8000	7.52E-04	3.52E-04	7.00E-04	0.00180
7000	7.48E-04	3.48E-04	7.00E-04	0.00180
6000	7.42E-04	3.44E-04	7.00E-04	0.00179
5000	7.35E-04	3.38E-04	7.00E-04	0.00177
4000	7.25E-04	3.30E-04	7.00E-04	0.00176
3000	7.09E-04	3.18E-04	7.00E-04	0.00173
2000	6.81E-04	2.96E-04	7.00E-04	0.00168
1000	6.18E-04	2.46E-04	7.00E-04	0.00156
400	5.10E-04	1.70E-04	7.00E-04	0.00138

Kömürhan Köprüsü için Eurocode 2 Modeli'nde zamana bağlı birim kısalmaların 400-10000 günler arasındaki değişimi Şekil 4.4 ile verilmiştir.



Şekil 4.4 : Kömürhan için EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar.

4.1.4 TS 3233 Modeline Göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler

TS 3233 Modeli'ne göre zamana bağlı yer değiştirmeler, Bölüm 3.7'de verilen eşitlikler yardımıyla bulunacaktır. Kömürhan Köprüsü'nün TS 3233 Modeli'ne göre incelenişinde kullanılacak temel değişkenler Çiz.4.19'de görülebilir.

Çizelge 4.19 : Kömürhan için TS 3233 Modeli'nde Temel Değişkenler.

t (gün)	t_0 (gün)	t' (gün)	f_c (MPa)	D (mm)	Nem (%)
1000	42	49	35	658	60
800	42	49	35	658	60
400	42	49	35	658	60
200	42	49	35	658	60
100	42	49	35	658	60

Burada t beton yaşı olup, toplam birim kısalma değerleri 100-1000 günleri için bulunmuştur. t' betonun öngerilme verildiği andaki yaşı olup köprünün yapım yöntemine göre değişmektedir..

Çiz 4.19'da f_c betonun 28 günlük basınç dayanımını göstermektedir. Etkin kesit kalınlığı olarak tanımlanıp (3.20) eşitliğiyle verilen D oranı, köprü enkesitleri değişken olduğundan her parça için farklı bir değer almaktadır. D oranı için değişken enkesitlerin ortalaması olarak B3 Modeli'nde olduğu gibi 658 mm alınmıştır.

TS 3233 Modeli'nde, diğer modellerde olduğu gibi sünme ile büzülme eşitliklerinden bazıları zamanla değişmekte bazılarıysa sabit kalmaktadır. Kömürhan Köprüsü için bulunan ilgili değerler, TS 3233 Modeli için de zamana bağlı değişenlerle değişmeyenler olarak ayrılmıştır. Buna göre, TS 3233 Modeli'nde sünme için verilen eşitliklerinden zamana bağlı olarak değişenler Çiz.4.20 ile değişmeyenler ise Çiz.4.21 ile verilmiştir.

Çizelge 4.20 : TS 3233 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri.

t (gün)	β_∞	$\beta_f(t) - \beta_f(t^\iota)$	ϕ_c	ε_{co} (E-04)
1000	0.98	0.68	2.36	11.8
800	0.97	0.67	2.32	11.6
400	0.89	0.53	1.89	9.43
200	0.73	0.42	1.51	7.53
100	0.57	0.34	1.21	6.05

Çizelge 4.21 : TS 3233 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri.

ϕ_d	ϕ_{f1}	λ	h_{th}(cm)	ϕ_{f2}
0.4	2.33	1.33	87.51	1.24

Çiz 4.21'de verilen zamana bağlı değişmeyen sünme eşitliklerinin yanında (3.71) eşitliğiyle verilen ε_{co} sünmeden kaynaklanan yer değiştirmeyi bulurken kullanılacak, σ_{co} betonun üzerindeki sabit gerilme değeri 14 MPa, E_{c28} betonun 28 günlük elastisite modülü ise 28 GPa alınmıştır.

TS 3233 Modeli'nde büzülme için verilen eşitlikler de sünme için olduğu gibi zamana bağlı olarak değişenler ile değişmeyenler olarak ayrılmıştır. Bu eşitler sırasıyla Çiz.4.22 ile Çiz.4.23'te verilmiştir.

Çizelge 4.22 : TS 3233 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Büzülme Eşitlikleri.

t (gün)	$\beta_s(t) - \beta_s(t^\iota)$	ε_{cs} (E-05)
1000	0.39	8.19
800	0.34	7.14
400	0.18	3.78
200	0.12	2.52
100	0.05	1.05

Çizelge 4.23 : TS 3233 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri.

ε_{s1}	ε_{s2}
0.0003	0.7

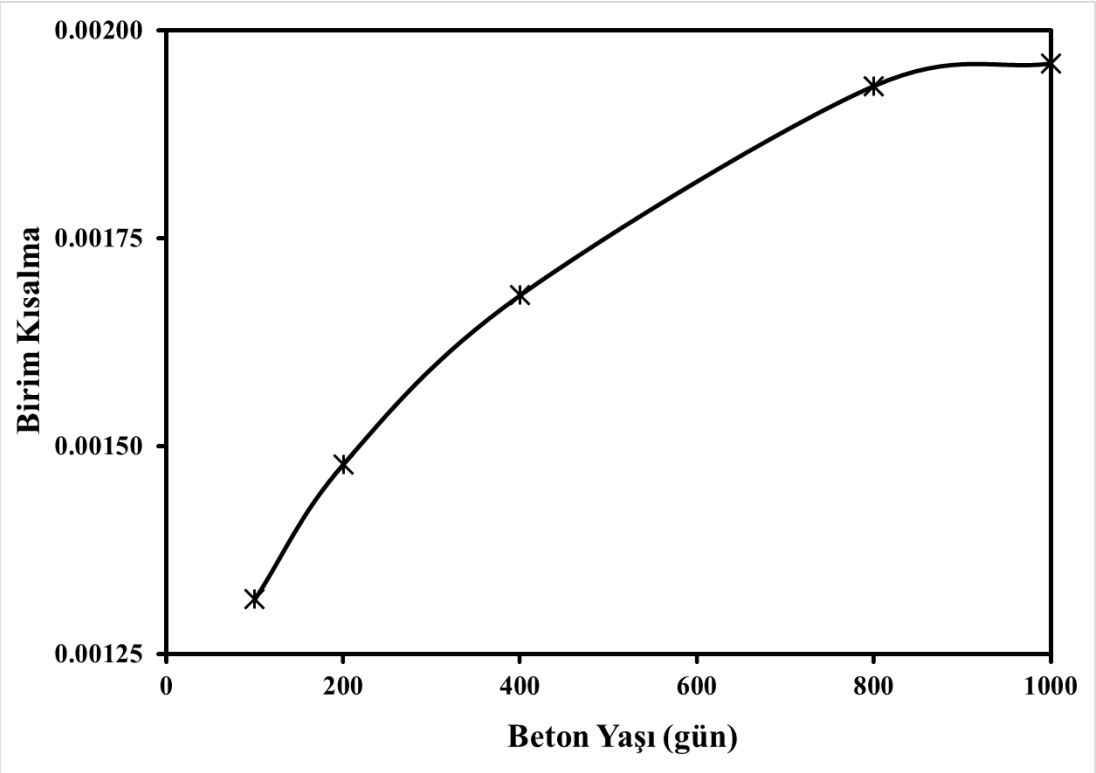
Çiz. 4.19-4.23 ile verilen, Bölüm 3.7'de tanımlanmış olan bu büyüklükler Şehzadeler Viyadüğü için Bölüm 3.8'da yapıldığı gibi göz önüne alınarak Kömürhan Köprüsü için de kullanılmıştır.

Kömürhan Köprüsü için yukarıda verilen çizelgelerden toplam birim kısalmayı etkileyen değişkenlerin toplu halde gösterilişi Çiz. 4.24 ile verilmiştir.

Çizelge 4.24 : TS 3233 Modeli'nde 1000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar.

t (gün)	$\varepsilon_{co}(t,t')$	$\varepsilon_{cs}(t,t')$	$\alpha\Delta T(t)$	$\varepsilon(t)$
10000	1.18E-03	8.19E-05	0.0007	0.00196
800	1.16E-03	7.14E-05	0.0007	0.00193
400	9.43E-04	3.78E-05	0.0007	0.00168
200	7.53E-04	2.52E-05	0.0007	0.00148
100	6.05E-04	1.05E-05	0.0007	0.00132

Kömürhan Köprüsü için TS 3233 Modeli'nde zamana bağlı birim kısalmaların 100-1000 günler arasındaki değişimi Şekil 4.5 ile verilmiştir.



Şekil 4.5 : Kömürhan için TS3233 Modeli'nde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar.

4.2 Gülburnu Köprüsü'nde Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler

Bu bölümde, Bölüm 4.1'de Kömürhan Köprüsü için elde edilip çizelgeler halinde verilen sünme ile büzülme büyüklükleri Gülburnu Köprüsü için de B3 Modeli, ACI 209R-92 Modeli EC 2 Modeli ile TS 3233 Modeli kullanılarak elde edilecektir. Gülburnu Köprüsü için, kullanılan farklı modellerin Bölüm 3'te açıkça gösterilen işlem adımları tekrar edilmeyecektir. Kömürhan Köprüsü için Çiz 4.1-4.24 aracılığıyla verilen sünme ile büzülme büyükleri için gerekli açıklama bir önceki bölümde yapılmıştır. Gülburnu Köprüsü için de aynı yaklaşımlar kullanılacağından ek açıklamaya ihtiyaç duyulmamaktadır. Çizelgeler dışında verilen ek büyüklükler ise gerek duyulunca açıklanacaktır.

4.2.1 B3 Modele Göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler

Bölüm 4.2'de yapılan açıklama doğrultusunda Gülburnu Köprüsü'nün B3 Modele göre incelenişinde kullanılacak temel değişkenler Çiz. 4.25 ile verilmiştir.

Çizelge 4.25 : Gülburnu için B3 Modeli'nde Temel Değişkenler.

t (gün)	t_0 (gün)	t' (gün)	f_c (MPa)	w (kg)	a (kg)	c (kg)
10000	77	84	40	190	1770	420
9000	77	84	40	190	1770	420
8000	77	84	40	190	1770	420
7000	77	84	40	190	1770	420
6000	77	84	40	190	1770	420
5000	77	84	40	190	1770	420
4000	77	84	40	190	1770	420
3000	77	84	40	190	1770	420
2000	77	84	40	190	1770	420
1000	77	84	40	190	1770	420
400	77	84	40	190	1770	420

Burada t beton yaşı olup, toplam birim kısalma değerleri 400, 1000, 2000-10000 günleri için bulunmuştur. t' betonun öngerilme verildiği andaki yaşı olup köprünün yapım yöntemine göre değişmektedir. Gülburnu Köprüsü de dengeli konsol yöntemiyle yapıldığı için, her parçanın dayanım kazanma zamanı olarak 7 gün varsayılmıştır. Her bir parçanın 7 günlük döküm süresi, parça sayısıyla çarpılarak bulunan toplam günün, üretilen parça sayısına bölünmesiyle, yani aritmetik ortalaması alınarak bulunmuştur.

Betonun kurumaya başladığı andaki yaşı, t_0 beton döküldükten 1 gün sonra betonun sertleşmeye başladığı varsayımı ile alınmıştır. Buna göre, Gülburnu Köprüsü için hesap yapılacak büyük açıklık konsolu 21 parçadan oluştuğundan, kurumanın başladığı zaman olan $t_0 = 77$ gün, yüklenmenin başlandığı zaman olan ise $t' = 84$ gün olarak, ortalama değerleriyle alınmıştır. Bu değer ACI 209R-92 ile Eurocode 2 Modelleri için de aynı biçimde kullanılmıştır.

Etkin kesit kalınlığı olarak tanımlanıp (3.20) eşitliğiyle verilen D oranı, köprü enkesitleri değişken olduğundan her parça için farklı bir değer almaktadır. D oranı için değişken enkesitlerin ortalaması olarak $D = 737$ mm alınmıştır.

Gülburnu Köprüsü için Bölüm 3'teki ilgili çizelgeler kullanılarak elde edilen sabit büyüklükler Çiz.4.26'da gösterilmiştir. Bu çizelgedeki büyüklüklerin açıklaması Bölüm 4.1'de yapılmıştır.

Çizelge 4.26 : B3 Modeli için İlgili Çizelgelerden Alınan Değerler.

α_1	α_2	k_s	k_h
1	1.2	1.25	0.488

Gülburnu Köprüsü için bulunan ilgili sünme ile büzülme değerleri, zamana bağlı değişenlerle değişmeyenler olarak ayrılmıştır. Buna göre, B3 Modeli'nde sünme için verilen eşitlikler Çiz.4.27 ile Çiz.4.28'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.27 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri.

t (gün)	$Z(t,t')$	$Q(t,t')$	$C_0(t,t')$ (E-05)	$C_d(t,t',t_0)$ (E-06)	$J(t,t')$ (E-05)
10000	0.137	0.111	5.28	7.85	8.07
9000	0.136	0.111	5.20	7.60	7.97
8000	0.135	0.111	5.11	7.34	7.85
7000	0.134	0.111	5.01	7.05	7.72
6000	0.133	0.111	4.89	6.72	7.57
5000	0.132	0.111	4.75	6.34	7.39
4000	0.130	0.110	4.58	5.91	7.18
3000	0.128	0.110	4.36	5.39	6.90
2000	0.124	0.109	4.05	4.73	6.52
1000	0.119	0.108	3.50	3.76	5.88
400	0.111	0.105	2.77	2.70	5.04

Çizelge 4.28 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri.

t (gün)	q_1 (E-05)	q_2 (E-04)	q_3 (E-06)	q_4 (E-06)	$r(t')$	$Q_f(t')$
400-10000	2.00	1.37	1.67	7.42	10.89	0.112

Gülburnu Köprüsü için B3 Modeli'nde büzülme için verilen eşitliklerden zamana bağlı değişenler Çiz.4.29 ile değişmeyenler ise Çiz.4.30'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.29 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Büzülme Eşitlikleri.

t (gün)	$S(t)$	$H(t)$	$\varepsilon_{sh}(t,t_0)$ (E-04)
10000	0.604	0.745	-4.46
9000	0.581	0.755	-4.30
8000	0.555	0.765	-4.11
7000	0.526	0.777	-3.91
6000	0.493	0.790	-3.67
5000	0.456	0.805	-3.41
4000	0.413	0.823	-3.10
3000	0.362	0.845	-2.72
2000	0.298	0.871	-2.25
1000	0.209	0.908	-1.60
400	0.124	0.944	-0.98

Çizelge 4.30 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri.

q_5 (E-04)	$S(t')$	$H(t')$	$\varepsilon_{s\infty}$ (E+02)	E_{28} (GPa)	$E(t_0+\tau_{sh})$ (GPa)	k_t	τ_{sh} (gün)	$\varepsilon_{sh}(\infty)$ (E-04)
3.39	0.019	0.996	8.19	29.94	32.47	2.39	20265	8.16

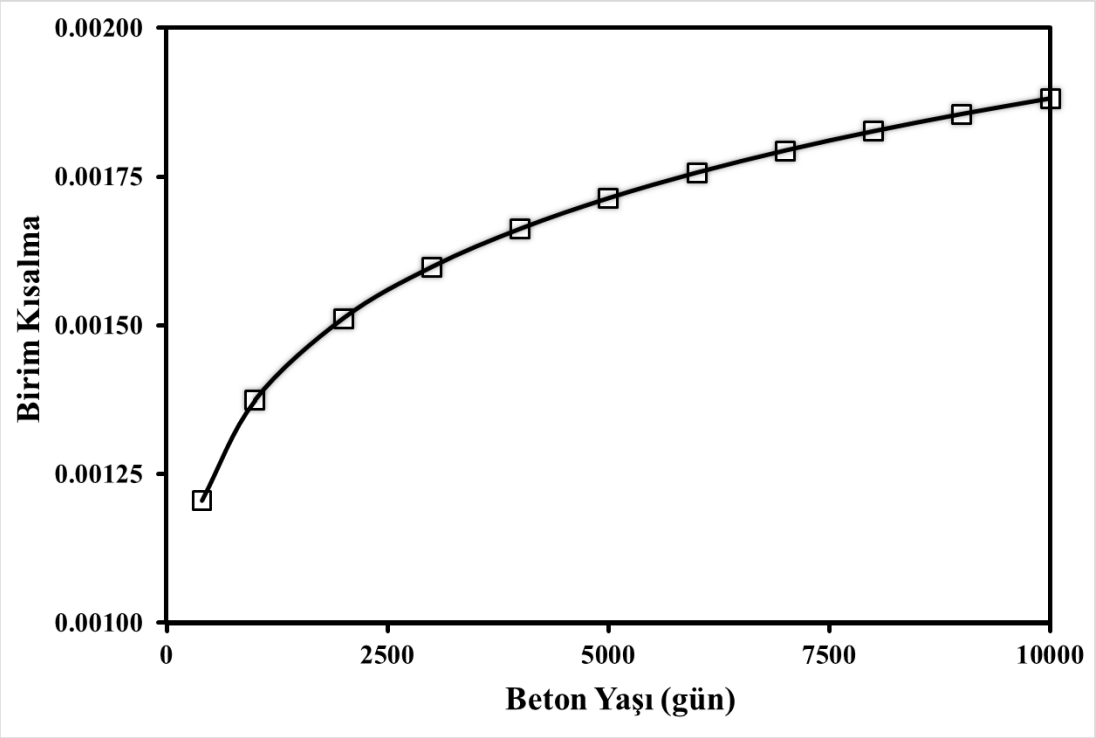
Çiz.4.30 ile verilen zamana bağlı değişmeyen büzülme eşitliklerinden olan $E(607)$ değeri de (3.22) eşitliğiyle bulunmakta olup 400-10000 gün arasında sabittir. Bu değer 32.35 GPa'dır.

Gülburnu Köprüsü için yukarıda verilen çizelgelerden toplam birim kısalmayı etkileyen değişkenlerin toplu halde gösterilişi Çiz.4.31 ile verilmiştir.

Çizelge 4.31 : B3 Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar.

t (gün)	σ (MPa)	$J(t,t')$	$J(t,t')\sigma$	$\varepsilon_{sh}(t,t_0)$	$\alpha\Delta T(t)$	$\varepsilon(t)$
10000	16	8.07E-05	1.29E-03	-2.41E-04	0.00035	0.00188
9000	16	7.97E-05	1.27E-03	-2.31E-04	0.00035	0.00186
8000	16	7.85E-05	1.26E-03	-2.21E-04	0.00035	0.00183
7000	16	7.72E-05	1.23E-03	-2.09E-04	0.00035	0.00179
6000	16	7.57E-05	1.21E-03	-1.96E-04	0.00035	0.00176
5000	16	7.39E-05	1.18E-03	-1.82E-04	0.00035	0.00171
4000	16	7.18E-05	1.15E-03	-1.65E-04	0.00035	0.00166
3000	16	6.90E-05	1.10E-03	-1.44E-04	0.00035	0.0016
2000	16	6.52E-05	1.04E-03	-1.19E-04	0.00035	0.00151
1000	16	5.88E-05	9.41E-04	-8.34E-05	0.00035	0.00137
400	16	5.04E-05	8.07E-04	-4.95E-05	0.00035	0.00121

Gülburnu Köprüsü için B3 Modeli'nde zamana bağlı birim kısalmaların 400-10000 günler arasındaki değişimi Şekil 4.6 ile verilmiştir.



Şekil 4.6 : Gülburnu için B3 Model'de Zamana Bağlı Birim Kısalmalar.

4.2.2 ACI 209R-92 Modeline Göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler

Bölüm 4.1.2'de yapılan açıklama doğrultusunda Gülburnu Köprüsü'nün ACI 209R-92 Modele göre incelenişinde kullanılacak temel değişkenler Çiz. 4.32 ile verilmiştir.

Çizelge 4.32 : Gülburnu için ACI 209R-92 Modeli'nde Temel Değişkenler.

t (gün)	t_0 (gün)	t' (gün)	$f_{cmt'}$ (MPa)	s (mm)	Ψ (%)	c (kg)	h (%)	V/S (mm)
10000	77	84	44.56	160	46	420	80	369
9000	77	84	44.56	160	46	420	80	369
8000	77	84	44.56	160	46	420	80	369
7000	77	84	44.56	160	46	420	80	369
6000	77	84	44.56	160	46	420	80	369
5000	77	84	44.56	160	46	420	80	369
4000	77	84	44.56	160	46	420	80	369
3000	77	84	44.56	160	46	420	80	369
2000	77	84	44.56	160	46	420	80	369
1000	77	84	44.56	160	46	420	80	369
400	77	84	44.56	160	46	420	80	369

Toplam düzeltme çarpanını veren (3.29) eşitliğindeki kür katsayısını gösteren $\gamma_{sh,to}$ değeri, Çiz. 3.8'den 7 günlük kür durumu için 1 alınacaktır. Betonun yüklendiği andaki ortalama basınç dayanımı olan $f_{cmt'}$ değeri bulunurken kullanılacak (3.39) eşitliği için a ile b değerleri ise CEM I çimento tipi için 4 ile 0.85 alınacaktır.

Gülburnu Köprüsü için bulunan ilgili sünme ile büzülme değerleri, zamana bağlı değişenlerle değişmeyenler olarak ayrılmıştır. Buna göre, ACI 209R-92 Modeli'nde sünme için verilen eşitlikler Çiz.4.33 ile Çiz.4.34'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.33 : ACI 209R-92 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri.

t (gün)	$\phi(t,t')$	$J(t,t')$
10000	0.702	5.04E-05
9000	0.677	4.97E-05
8000	0.648	4.88E-05
7000	0.614	4.78E-05
6000	0.574	4.66E-05
5000	0.525	4.52E-05
4000	0.466	4.34E-05
3000	0.391	4.12E-05
2000	0.295	3.84E-05
1000	0.165	3.45E-05
400	0.063	3.15E-05

Çizelge 4.34 : ACI 209R-92 Modeli'nde Zamanla Değişmeyen Sünme Eşitlikleri.

γ_{c,t^ι}	$\gamma_{c,RH}$	$\gamma_{c,vs}$	$\gamma_{c,s}$	$\gamma_{c,\Psi}$	$\gamma_{c,\alpha}$	γ_c	ϕ_u	d (gün)
0.741	0.734	0.667	1.242	0.990	1	0.446	1.05	4904

Çiz 4.34 ile verilen zamana bağlı değişmeyen bu büyüklüklerden başka (3.39) eşitliğiyle verilen betonun yüklenmeye başladığı t^ι zamanındaki elastisite modülü olan E_{cmt^ι} değeri de 400-10000 gün arasında sabittir. Bu değer 33.75 GPa'dır.

ACI 209R-92 Modeli'nde büzülme için verilen eşitliklerden yalnızca (3.26) eşitliğiyle verilen toplam büzülme şekil değiştirmesi $\varepsilon_{sh}(t,t_0)$ zamana bağlı olarak değişmektedir. Bu yüzden, $\varepsilon_{sh}(t,t_0)$ toplam birim kısalmayı etkileyen değişkenler içinde verilecektir. Gülburnu Köprüsü için ACI 209R-92 Modeli'nde büzülme için zamanla değişmeyen eşitlikler Çiz.4.35 ile gösterilmiştir.

Çizelge 4.35 : ACI 209R-92 Modeli'nde Zamanla Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri.

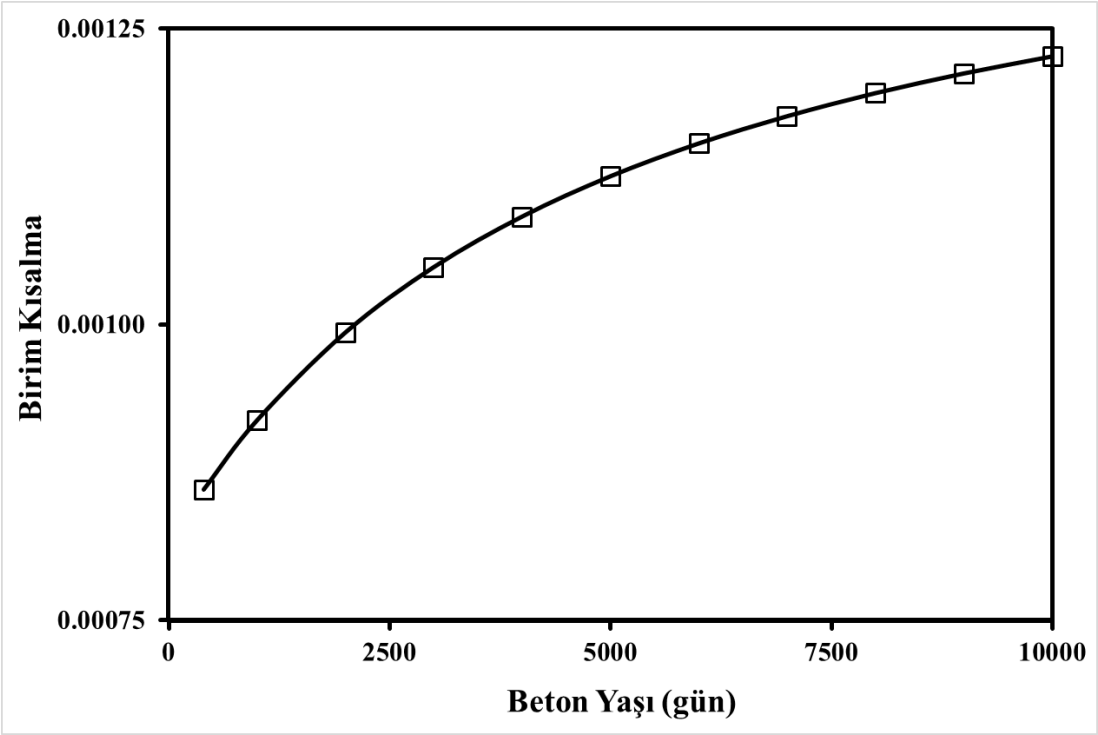
$\gamma_{sh,to}$	$\gamma_{sh,RH}$	$\gamma_{sh,vs}$	$\gamma_{sh,s}$	$\gamma_{c,\Psi}$	$\gamma_{sh,c}$	$\gamma_{sh,\alpha}$	γ_{sh}	ε_{shu}	f (gün)
1	0.584	0.210	1.1476	0.944	1.006	1	0.134	1.04E-04	4904

Gülburnu Köprüsü için yukarıda verilen çizelgelerden toplam birim kısalmayı etkileyen değişkenlerin toplu halde gösterilişi Çiz. 4.36 ile verilmiştir.

Çizelge 4.36 : ACI Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar.

t (gün)	σ (MPa)	$J(t,t')$	$J(t,t')\sigma$	$\varepsilon_{sh}(t,t_0)$	$\alpha\Delta T(t)$	$\varepsilon(t)$
10000	16	5.04E-05	8.07E-04	6.99E-05	0.00035	0.00123
9000	16	4.97E-05	7.95E-04	6.74E-05	0.00035	0.00121
8000	16	4.88E-05	7.81E-04	6.45E-05	0.00035	0.00120
7000	16	4.78E-05	7.65E-04	6.11E-05	0.00035	0.00118
6000	16	4.66E-05	7.46E-04	5.71E-05	0.00035	0.00115
5000	16	4.52E-05	7.23E-04	5.23E-05	0.00035	0.00113
4000	16	4.34E-05	6.95E-04	4.64E-05	0.00035	0.00109
3000	16	4.12E-05	6.60E-04	3.90E-05	0.00035	0.00105
2000	16	3.84E-05	6.14E-04	2.94E-05	0.00035	0.00099
1000	16	3.45E-05	5.52E-04	1.65E-05	0.00035	0.00092
400	16	3.15E-05	5.04E-04	6.45E-06	0.00035	0.00086

Gülburnu Köprüsü için ACI Modeli'nde zamana bağlı birim kısalmaların 400-10000 günler arasındaki değişimi Şekil 4.7 ile verilmiştir.



Şekil 4.7 : Gülburnu için ACI Modeli'nde Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler.

4.2.3 Eurocode 2 Modeline Göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler

Bölüm 4.2'de yapılan açıklama doğrultusunda Gülburnu Köprüsü'nün Eurocode 2 Modeli'ne göre incelenişinde kullanılacak temel değişkenler Çiz. 4.37 ile verilmiştir

Çizelge 4.37 : Gülburnu için EC 2 Modeli'nde Temel Değişkenler.

t (gün)	t_0 (gün)	t' (gün)	f_{cm} (MPa)	D (mm)	RH (%)
10000	77	84	40	737	80
9000	77	84	40	737	80
8000	77	84	40	737	80
7000	77	84	40	737	80
6000	77	84	40	737	80
5000	77	84	40	737	80
4000	77	84	40	737	80
3000	77	84	40	737	80
2000	77	84	40	737	80
1000	77	84	40	737	80
400	77	84	40	737	80

Burada t beton yaşı olup, toplam birim kısalma değerleri 400, 1000, 2000-10000 günleri için bulunmuştur. t' betonun öngerilme verildiği andaki yaşı olup köprünün yapım yöntemine göre değişmektedir.

Etkin kesit kalınlığı olarak tanımlanıp (3.20) eşitliğiyle verilen D oranı, köprü enkesitleri değişken olduğundan her parça için farklı bir değer almaktadır. D oranı için değişken enkesitlerin ortalaması olarak B3 Modeli'nde olduğu gibi 737 mm alınmıştır.

Beton yaşına bağlı bir katsayı olan $\beta_{cc}(t)$ değerini veren (3.53) eşitliğinde gerekecek çimento tipine bağlı s katsayısı Gülburnu Köprüsü'nde CEM 42.5 N sınıfı çimento kullanıldığı varsayıldığı için 0.35 alınmıştır. Serbest kuruma büzülmesi değeri olup (3.66) eşitliğiyle verilen $\varepsilon_{cd,0}$ büyüklüğünün bulunmasında kullanılan α_{ds1} ile α_{ds2} katsayıları çimento sınıfına bağlı olup EC 2'ye göre, N Sınıfı çimentolar için sırasıyla 4 ile 0.12 alınmıştır.

(3.66) eşitliğindeki f_{cmo} değeri ise yine EC 2'ye göre 10 MPa olarak alınmıştır. Ortamın bağıl nemine bağlı β_{RH} katsayısını veren (3.67) eşitliğindeki RH_0 ortamın mutlak nemini göstermektedir. Bu değer yüzde olarak tanımlanmıştır. (3.67) eşitliği kullanılırken ortamın bağıl nemi $RH_0 = \%\,100$ alınmıştır.

Gülburnu Köprüsü için bulunan ilgili sünme ile büzülme değerleri, zamana bağlı değişenlerle değişmeyenler olarak ayrılmıştır. Buna göre, Eurocode 2 Modeli'nde sünme için verilen eşitlikler Çiz.4.38 ile Çiz.4.39'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.38 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri.

t (gün)	$\beta_{cc}(t)$	$f_{cm}(t)$ (MPa)	$E_{cm}(t)$ (GPa)	E_c (GPa)	$\beta_c(t,t^\iota)$	$\phi(t,t^\iota)$	$\varepsilon_{cc}(t,t^\iota)$
10000	1.393	55.72	33.07	34.72	0.950	1.168	5.38E-04
9000	1.392	55.67	33.06	34.71	0.944	1.162	5.36E-04
8000	1.390	55.60	33.05	34.70	0.938	1.155	5.32E-04
7000	1.388	55.52	33.04	34.68	0.931	1.145	5.28E-04
6000	1.386	55.42	33.02	34.66	0.921	1.133	5.23E-04
5000	1.382	55.30	32.99	34.64	0.908	1.117	5.16E-04
4000	1.378	55.12	32.96	34.61	0.890	1.094	5.06E-04
3000	1.372	54.88	32.92	34.56	0.862	1.061	4.91E-04
2000	1.362	54.46	32.85	34.48	0.815	1.003	4.65E-04
1000	1.338	53.53	32.68	34.30	0.716	0.881	4.11E-04
400	1.294	51.74	32.34	33.96	0.560	0.689	3.25E-04

Çizelge 4.39 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri.

α_1	α_2	α_3	ϕ_{RH}	$\beta(f_{cm})$	$\beta(t^\iota)$	ϕ^ι	β_H
0.911	0.974	0.935	1.760	2.656	0.396	1.230	1870

Gülburnu Köprüsü için B3 Modeli'nde büzülme için verilen eşitlikler Çiz.4.40 ile 4.41'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.40 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Büzülme Eşitlikleri.

t (gün)	$\beta_{ds}(t,t_0)$	ε_{cd}	$\beta_{as}(t)$	$\varepsilon_{ca}(t)$	ε_{cs}
10000	0.925	1.70E-04	1.00	7.5E-05	2.45E-04
9000	0.918	1.69E-04	1.00	7.5E-05	2.44E-04
8000	0.908	1.67E-04	1.00	7.5E-05	2.42E-04
7000	0.896	1.65E-04	1.00	7.5E-05	2.40E-04
6000	0.881	1.62E-04	1.00	7.5E-05	2.37E-04
5000	0.860	1.58E-04	1.00	7.5E-05	2.33E-04
4000	0.831	1.53E-04	1.00	7.5E-05	2.28E-04
3000	0.785	1.44E-04	1.00	7.5E-05	2.19E-04
2000	0.706	1.30E-04	1.00	7.5E-05	2.05E-04
1000	0.536	9.84E-05	1.00	7.5E-05	1.73E-04
400	0.288	5.29E-05	0.98	7.4E-05	1.26E-04

Çizelge 4.41 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri.

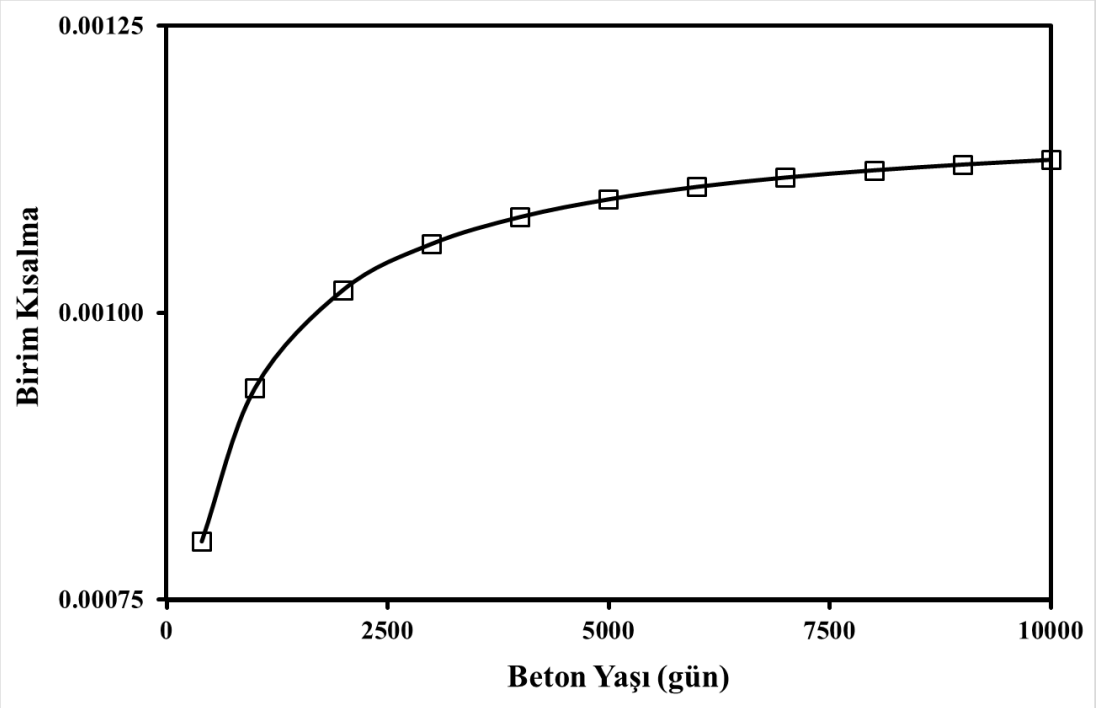
β_{RH}	$\varepsilon_{cd,0}$	k_h	$\varepsilon_{ca}(\infty)$
-0.756	-2.63E-04	0.7	7.50E-05

Gülburnu Köprüsü için yukarıda verilen çizelgelerden toplam birim kısalmayı etkileyen değişkenlerin toplu halde gösterilişi Çiz. 4.42 ile verilmiştir.

Çizelge 4.42 : EC 2 Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar.

t (gün)	$\varepsilon_{cc}(t,t')$	$\varepsilon_s(t,t_0)$	$\alpha\Delta T(t)$	$\varepsilon(t)$
10000	5.38E-04	2.45E-04	3.50E-04	0.00113
9000	5.36E-04	2.44E-04	3.50E-04	0.00113
8000	5.32E-04	2.42E-04	3.50E-04	0.00112
7000	5.28E-04	2.40E-04	3.50E-04	0.00112
6000	5.23E-04	2.37E-04	3.50E-04	0.00111
5000	5.16E-04	2.33E-04	3.50E-04	0.00110
4000	5.06E-04	2.28E-04	3.50E-04	0.00108
3000	4.91E-04	2.19E-04	3.50E-04	0.00106
2000	4.65E-04	2.05E-04	3.50E-04	0.00102
1000	4.11E-04	1.73E-04	3.50E-04	0.00093
400	3.25E-04	1.26E-04	3.50E-04	0.00080

Gülburnu Köprüsü için Eurocode 2 Modeli'nde zamana bağlı birim kısılmaların 400-10000 günler arasındaki değişimi Şekil 4.8 ile verilmiştir.



Şekil 4.8 : Gülburnu için EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar.

4.2.4 TS 3233 Modeline Göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler

TS 3233 Modeli'ne göre zamana bağlı yer değiştirmeler, Bölüm 4.1.4'te yapılan açıklamalar doğrultusunda bulunacaktır. Gülburnu Köprüsü'nün TS 3233 Modeli'ne göre incelenişinde kullanılacak temel değişkenler Çiz.4.43'te görülebilir.

Çizelge 4.43 : Gülburnu için TS 3233 Modeli'nde Temel Değişkenler.

t (gün)	t_0 (gün)	t' (gün)	f_c (MPa)	D (mm)	Nem (%)
1000	77	84	40	737	70
800	77	84	40	737	70
400	77	84	40	737	70
200	77	84	40	737	70
100	77	84	40	737	70

Burada t beton yaşı olup, toplam birim kısalma değerleri 100-1000 günleri için bulunmuştur. t' betonun öngerilme verildiği andaki yaşı olup köprünün yapım yöntemine göre değişmektedir.

Çiz 4.43'de f_c betonun 28 günlük basınç dayanımını göstermektedir. Etkin kesit kalınlığı olarak tanımlanıp (3.21) eşitliğiyle verilen D oranı, köprü enkesitleri değişken olduğundan her parça için farklı bir değer almaktadır. D oranı için değişken enkesitlerin ortalaması olarak B3 Modeli'nde olduğu gibi 737 mm alınmıştır.

TS 3233 Modeli'nde, diğer modellerde olduğu gibi sünme ile büzülme eşitliklerinden bazıları zamanla değişmekte bazılarıysa sabit kalmaktadır. Gülburnu Köprüsü için de bu değerler zamana bağlı değişenlerle değişmeyenler olarak ayrılmıştır. Buna göre, TS 3233 Modeli'nde sünme için verilen eşitliklerinden zamana bağlı olarak değişenler Çiz.4.44 ile değişmeyenler ise Çiz.4.45 ile verilmiştir.

Çizelge 4.44 : TS 3233 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri.

t (gün)	β_∞	$\beta_f(t)-\beta_f(t^\iota)$	ϕ_c	ε_{co} (E-04)
1000	0.98	0.66	1.96	10.5
800	0.97	0.64	1.91	10.2
400	0.86	0.49	1.51	8.07
200	0.70	0.38	1.18	6.33
100	0.43	0.23	0.72	3.84

Çizelge 4.45 : TS 3233 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri.

ϕ_d	ϕ_{f1}	λ	h_{th}(cm)	ϕ_{f2}
0.4	2.00	1.5	110.55	1.19

Çiz 4.45'de verilen zamana bağlı değişmeyen sünme eşitliklerinin yanında (3.71) eşitliğiyle verilen ε_{co} sünmeden kaynaklanan yer değiştirmeyi bulurken kullanılacak, σ_{co} betonun üzerindeki sabit gerilme değeri 16 MPa, E_{c28} betonun 28 günlük elastisite modülü ise 29.94 GPa alınmıştır.

TS 3233 Modeli'nde büzülme için verilen eşitlikler de sünme için olduğu gibi zamana bağlı olarak değişenler ile değişmeyenler olarak ayrılmıştır. Bu eşitler sırasıyla Çiz.4.46 ile Çiz.4.47'de verilmiştir.

Çizelge 4.46 : TS 3233 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Büzülme Eşitlikleri.

t (gün)	$\beta_s(t)-\beta_s(t^\iota)$	ε_{cs} (E-05)
1000	0.32	5.60
800	0.28	4.90
400	0.14	2.45
200	0.08	1.40
100	0.01	1.75

Çizelge 4.47 : TS 3233 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri.

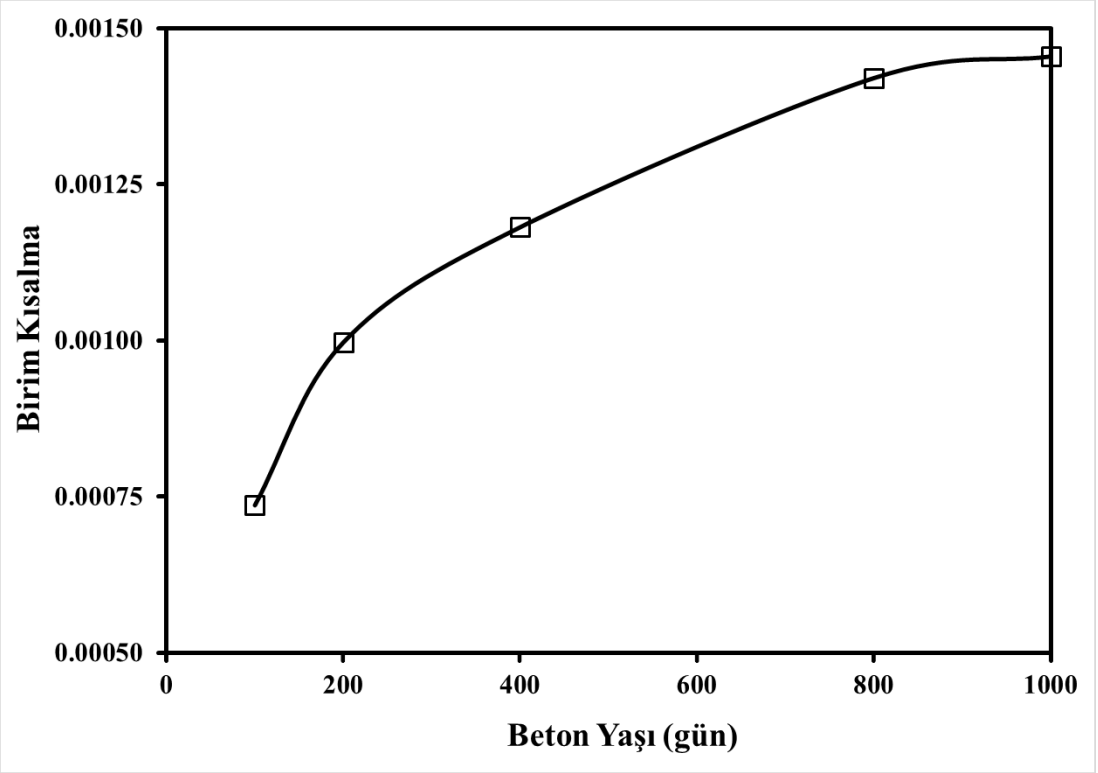
ε_{s1}	ε_{s2}
0.00025	0.7

Gülburnu Köprüsü için yukarıda verilen çizelgelerden toplam birim kısalmayı etkileyen değişkenlerin toplu halde gösterilişi Çiz. 4.48 ile verilmiştir.

Çizelge 4.48 : TS 3233 Modeli'nde 1000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar.

t (gün)	$\varepsilon_{co}(t,t')$	$\varepsilon_{cs}(t,t')$	$\alpha\Delta T(t)$	$\varepsilon(t)$
10000	1.05E-03	5.60E-05	0.00035	0.00145
800	1.02E-03	4.90E-05	0.00035	0.00142
400	8.07E-04	2.45E-05	0.00035	0.00118
200	6.33E-04	1.40E-05	0.00035	0.00100
100	3.84E-04	1.75E-06	0.00035	0.00074

Gülburnu Köprüsü için TS 3233 Modeli'nde zamana bağlı birim kısalmaların 100-1000 günler arasındaki değişimi Şekil 4.9 ile verilmiştir.



Şekil 4.9 : Gülburnu için TS 3233 Modeli'nde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar.

4.3 Palau Köprüsü'nde Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler

Bu bölümde, Bölüm 4.1-2'de Kömürhan ile Gülburnu Köprüleri için elde edilip çizelgeler halinde verilen sünme ile büzülme büyüklükleri Palau Köprüsü için de B3 Modeli, ACI 209R-92 Modeli, EC 2 Modeli ile TS 3233 Modeli kullanılarak elde edilecektir. Palau Köprüsü için, kullanılan farklı modellerin Bölüm 3'te açıkça gösterilen işlem adımları tekrar edilmeyecektir. Kömürhan Köprüsü için Çiz 4.1-4.18

aracılığıyla verilen sünme ile büzülme büyükleri için gerekli açıklama Bölüm 4.1'de yapılmıştır. Palau Köprüsü'nde aynı yaklaşımlar kullanılacağından ek açıklamaya ihtiyaç duyulmamaktadır. Çizelgeler harici verilen ek büyüklükler ise gerek duyulunca açıklanacaktır.

4.3.1 B3 Modele Göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler

Bölüm 4.3'te yapılan açıklama doğrultusunda Palau Köprüsü'nün B3 Modele göre incelenişinde kullanılacak temel değişkenler Çiz. 4.49 ile verilmiştir.

Çizelge 4.49 : Palau için B3 Modeli'nde Temel Değişkenler.

t (gün)	t_0 (gün)	t' (gün)	f_c (MPa)	w (kg)	a (kg)	c (kg)
10000	84	91	35	200	1800	360
9000	84	91	35	200	1800	360
8000	84	91	35	200	1800	360
7000	84	91	35	200	1800	360
6000	84	91	35	200	1800	360
5000	84	91	35	200	1800	360
4000	84	91	35	200	1800	360
3000	84	91	35	200	1800	360
2000	84	91	35	200	1800	360
1000	84	91	35	200	1800	360
400	84	91	35	200	1800	360

Burada t beton yaşı olup, toplam birim kısalma değerleri 400-10000 günler için bulunmuştur. t' betonun öngerilme verildiği andaki yaşını göstermektedir. Palau Köprüsü de dengeli konsol yöntemiyle yapıldığı için, her parçanın dayanım kazanma zamanı olarak 7 gün varsayılmıştır. Her bir parçanın 7 günlük döküm süresi, parça sayısıyla çarpılarak bulunan toplam günün, üretilen parça sayısına bölünmesiyle, yani aritmetik ortalaması alınarak bulunmuştur.

Betonun kurumaya başladığı andaki yaşı, t_0 beton döküldükten 1 gün sonra betonun sertleşmeye başladığı varsayımı ile alınmıştır. Buna göre, Palau Köprüsü için hesap yapılacak büyük açıklık konsolu 23 parçadan oluştuğundan, kurumanın başladığı zaman olan $t_0 = 84$ gün, yüklenmenin başlandığı zaman olan ise $t' = 91$ gün olarak, ortalama değerleriyle alınmıştır. Bu değer diğer modeller için de aynı biçimde kullanılmıştır.

Etkin kesit kalınlığı olarak tanımlanıp (3.20) eşitliğiyle verilen D oranı, köprü enkesitleri değişken olduğundan her parça için farklı bir değer almaktadır. D oranı için değişken enkesitlerin ortalaması olarak $D = 444$ mm alınmıştır.

Palau Köprüsü için Bölüm 3'teki ilgili çizelgeler kullanılarak elde edilen sabit büyüklükler Çiz.4.50'de gösterilmiştir. Bu çizelgedeki büyüklüklerin açıklaması Bölüm 4.1'de yapılmıştır.

Çizelge 4.50 : B3 Modeli için İlgili Çizelgelerden Alınan Değerler.

α_1	α_2	k_s	k_h
1	1.2	1.25	0.488

Palau Köprüsü için B3 Modeli'nde sünme için verilen eşitlikler zamana göre değişenlerle değişmeyenler olarak Çiz.4.51 ile Çiz.4.52'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.51 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri.

t (gün)	$Z(t,t')$	$Q(t,t')$	$C_0(t,t')$ (E-05)	$C_d(t,t',t_0)$ (E-06)	$J(t,t')$ (E-05)
10000	0.132	0.107	5.13	10.9	8.36
9000	0.131	0.107	5.06	10.7	8.26
8000	0.130	0.107	4.97	10.4	8.15
7000	0.129	0.107	4.88	10.0	8.03
6000	0.128	0.107	4.77	9.64	7.88
5000	0.126	0.107	4.65	9.16	7.70
4000	0.125	0.107	4.49	8.58	7.49
3000	0.123	0.106	4.29	7.86	7.21
2000	0.120	0.106	4.00	6.89	6.83
1000	0.114	0.104	3.50	5.44	6.19
400	0.107	0.101	2.83	3.84	5.35

Çizelge 4.52: B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri.

t (gün)	q_1 (E-05)	q_2 (E-04)	q_3 (E-06)	q_4 (E-06)	$r(t')$	$Q_f(t')$
400-10000	2.14	1.43	3.96	6.58	10.92	0.108

Palau Köprüsü için B3 Modeli'nde büzülme için verilen eşitlikler zamana göre değişenlerle değişmeyenler olarak Çiz.4.53 ile Çiz.4.54'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.53 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Büzülme Eşitlikleri.

t (gün)	$S(t)$	$H(t)$	$\varepsilon_{sh}(t,t_0)$ (E-04)
10000	0.816	0.837	-3.56
9000	0.795	0.841	-3.47
8000	0.771	0.846	-3.36
7000	0.743	0.851	-3.24
6000	0.709	0.858	-3.09
5000	0.668	0.866	-2.91
4000	0.617	0.877	-2.69
3000	0.552	0.890	-2.40
2000	0.464	0.907	-2.02
1000	0.334	0.933	-1.45
400	0.200	0.960	-0.87

Çizelge 4.54 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri.

q_5 (E-04)	$S(t')$	$H(t')$	$\varepsilon_{s\infty}$ (E+02)	E_{28} (GPa)	$E(t_0+\tau_{sh})$ (GPa)	k_t	τ_{sh} (gün)	$\varepsilon_{sh}(\infty)$ (E-04)
3.67	0.030	0.993	8.96	28.00	30.37	2.45	7552	8.93

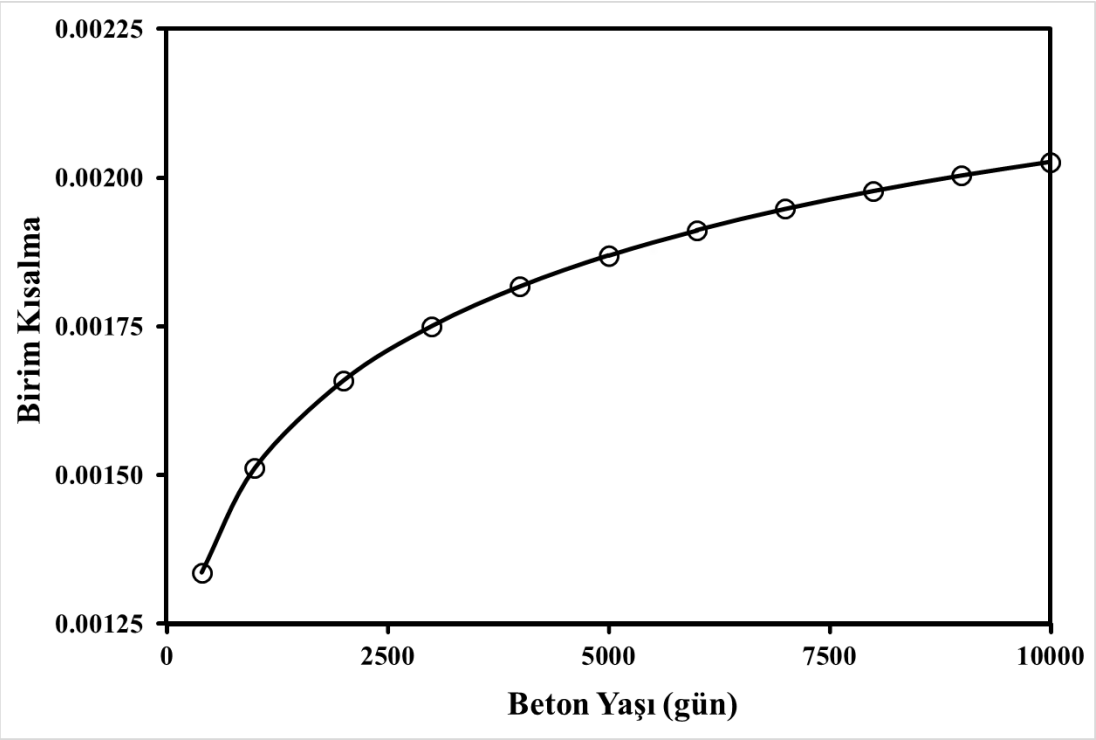
Çiz.4.54 ile verilen zamana bağlı değişmeyen büzülme eşitliklerinden olan $E(607)$ değeri de (3.22) eşitliğiyle bulunmakta olup 400-10000 gün arasında sabittir. Bu değer 30.26 GPa'dır.

Palau Köprüsü için yukarıda verilen çizelgelerden toplam birim kısalmayı etkileyen değişkenlerin toplu halde gösterilişi Çiz.4.55 ile verilmiştir.

Çizelge 4.55 : B3 Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar.

t (gün)	σ (MPa)	$J(t,t')$	$J(t,t')\sigma$	$\varepsilon_{sh}(t,t_0)$	$\alpha\Delta T(t)$	$\varepsilon(t)$
10000	14	8.36E-05	1.17E-03	-3.56E-04	0.0005	0.00203
9000	14	8.26E-05	1.16E-03	-3.47E-04	0.0005	0.00200
8000	14	8.15E-05	1.14E-03	-3.36E-04	0.0005	0.00198
7000	14	8.03E-05	1.12E-03	-3.24E-04	0.0005	0.00195
6000	14	7.88E-05	1.10E-03	-3.09E-04	0.0005	0.00191
5000	14	7.70E-05	1.08E-03	-2.91E-04	0.0005	0.00187
4000	14	7.49E-05	1.05E-03	-2.69E-04	0.0005	0.00182
3000	14	7.21E-05	1.01E-03	-2.40E-04	0.0005	0.00175
2000	14	6.83E-05	9.56E-04	-2.02E-04	0.0005	0.00166
1000	14	6.19E-05	8.66E-04	-1.45E-04	0.0005	0.00151
400	14	5.35E-05	7.50E-04	-8.70E-05	0.0005	0.00134

Palau Köprüsü için B3 Modeli'nde zamana bağlı birim kısalmaların 400-10000 günler arasındaki değişimi Şekil 4.10 ile verilmiştir.



Şekil 4.10 : Palau için B3 Model'de Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler.

4.3.2 ACI 209R-92 Modeline Göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler

Bölüm 4.3'te yapılan açıklama doğrultusunda Palau Köprüsü'nün ACI 209R-92 Modele göre incelenişinde kullanılacak temel değişkenler Çiz. 4.56 ile verilmiştir.

Çizelge 4.56 : Palau için ACI 209R-92 Modeli'nde Temel Değişkenler.

t (gün)	t_0 (gün)	t' (gün)	$f_{cmt^{\iota}}$ (MPa)	s (mm)	Ψ (%)	c (kg)	h (%)	V/S (mm)
10000	84	91	39.15	160	46	360	80	222
9000	84	91	39.15	160	46	360	80	222
8000	84	91	39.15	160	46	360	80	222
7000	84	91	39.15	160	46	360	80	222
6000	84	91	39.15	160	46	360	80	222
5000	84	91	39.15	160	46	360	80	222
4000	84	91	39.15	160	46	360	80	222
3000	84	91	39.15	160	46	360	80	222
2000	84	91	39.15	160	46	360	80	222
1000	84	91	39.15	160	46	360	80	222
400	84	91	39.15	160	46	360	80	222

Toplam düzeltme çarpanını veren (3.29) eşitliğindeki kür katsayısını gösteren $\gamma_{sh,to}$ değeri, Çiz. 3.8'den 7 günlük kür durumu için 1 alınacaktır. Betonun yüklendiği

andaki ortalama basınç dayanımı olan $f_{cmt^{\iota}}$ değeri bulunurken kullanılacak (3.39) eşitliği için a ile b ise CEM I çimento tipi için 4 ile 0.85 alınacaktır.

Palau Köprüsü için bulunan ilgili sünme ile büzülme değerleri, zamana bağlı değişenlerle değişmeyenler olarak ayrılmıştır. Buna göre, ACI 209R-92 Modeli'nde sünme için verilen eşitlikler Çiz.4.57 ile Çiz.4.58'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.57 : ACI 209R-92 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri.

t (gün)	$\phi(t,t^{\iota})$	$J(t,t')$
10000	0.988	6.3E-05
9000	0.982	6.3E-05
8000	0.974	6.2E-05
7000	0.964	6.2E-05
6000	0.951	6.2E-05
5000	0.933	6.1E-05
4000	0.908	6.0E-05
3000	0.868	5.9E-05
2000	0.796	5.7E-05
1000	0.629	5.1E-05
400	0.353	4.3E-05

Çizelge 4.58 : ACI 209R-92 Modeli'nde Zamanla Değişmeyen Sünme Eşitlikleri.

$\gamma_{c,t^{\iota}}$	$\gamma_{c,RH}$	$\gamma_{c,vs}$	$\gamma_{c,s}$	$\gamma_{c,\Psi}$	$\gamma_{c,\alpha}$	γ_c	ϕ_u	d (gün)
0.734	0.734	0.673	1.242	0.990	1	0.446	1.05	608

Çiz 4.58 ile verilen zamana bağlı değişmeyen bu büyüklüklerden başka (3.38) eşitliğiyle verilen betonun yüklenmeye başladığı t^{ι} zamanındaki elastisite modülü olan $E_{cmt^{\iota}}$ değeri de 400-10000 gün arasında sabittir. Bu değer 31.63 GPa'dır.

ACI 209R-92 Modeli'nde büzülme için verilen eşitliklerden yalnızca (3.25) eşitliğiyle verilen toplam büzülme şekil değiştirmesi $\varepsilon_{sh}(t,t_0)$ zamana bağlı olarak değişmektedir. Bu yüzden, $\varepsilon_{sh}(t,t_0)$ toplam birim kısalmayı etkileyen değişkenler içinde verilecektir. Palau Köprüsü için ACI 209R-92 Modeli'nde büzülme için zamanla değişmeyen eşitlikler Çiz.4.59 ile gösterilmiştir.

Çizelge 4.59 : ACI 209R-92 Modeli'nde Zamanla Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri.

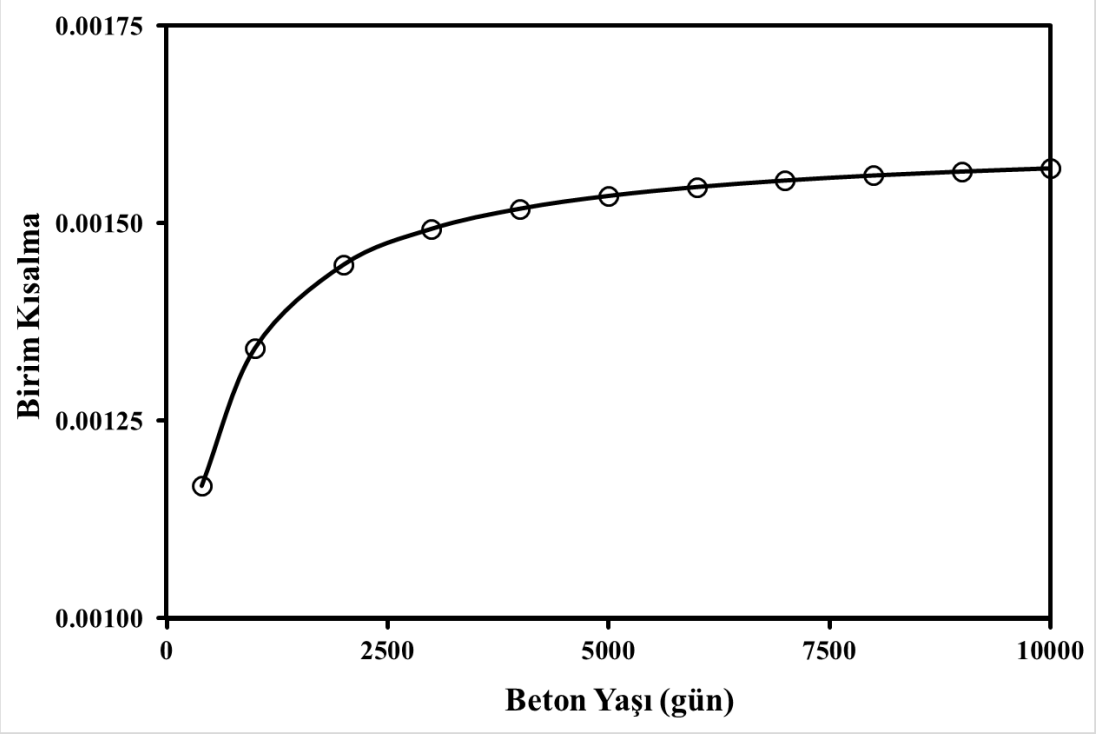
$\gamma_{sh,to}$	$\gamma_{sh,RH}$	$\gamma_{sh,vs}$	$\gamma_{sh,s}$	$\gamma_{c,\Psi}$	$\gamma_{sh,c}$	$\gamma_{sh,\alpha}$	γ_{sh}	ε_{shu}	f (gün)
1	0.584	0.420	1.1476	0.944	0.970	1	0.258	2.01E-04	608

Palau Köprüsü için yukarıda verilen çizelgelerden toplam birim kısalmayı etkileyen değişkenlerin toplu halde gösterilişi Çiz. 4.60 ile verilmiştir.

Çizelge 4.60 : ACI Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar.

t (gün)	σ (MPa)	$J(t,t')$	$J(t,t')\sigma$	$\varepsilon_{sh}(t,t_0)$	$\alpha\Delta T(t)$	$\varepsilon(t)$
10000	14	6.29E-05	8.80E-04	1.90E-04	0.0005	0.00157
9000	14	6.27E-05	8.77E-04	1.89E-04	0.0005	0.00157
8000	14	6.24E-05	8.74E-04	1.87E-04	0.0005	0.00156
7000	14	6.21E-05	8.69E-04	1.85E-04	0.0005	0.00155
6000	14	6.17E-05	8.63E-04	1.83E-04	0.0005	0.00155
5000	14	6.11E-05	8.56E-04	1.79E-04	0.0005	0.00153
4000	14	6.03E-05	8.44E-04	1.74E-04	0.0005	0.00152
3000	14	5.90E-05	8.27E-04	1.67E-04	0.0005	0.00149
2000	14	5.68E-05	7.95E-04	1.53E-04	0.0005	0.00145
1000	14	5.15E-05	7.21E-04	1.21E-04	0.0005	0.00134
400	14	4.28E-05	5.99E-04	6.88E-05	0.0005	0.00117

Palau Köprüsü için ACI Modeli'nde zamana bağlı birim kısalmaların 400-10000 günler arasındaki değişimi Şekil 4.11 ile verilmiştir.



Şekil 4.11 : Palau için ACI Modeli'nde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar.

4.3.3 Eurocode 2 Modeline Göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler

Bölüm 4.3'te yapılan açıklama doğrultusunda Palau Köprüsü'nün Eurocode 2 Modeli'ne göre incelenişinde kullanılacak temel değişkenler Çiz. 4.61 ile verilmiştir.

Çizelge 4.61 : Palau için EC 2 Modeli'nde Temel Değişkenler.

t (gün)	t_0 (gün)	t' (gün)	f_{cm} (MPa)	D (mm)	RH (%)
10000	84	91	35	444	80
9000	84	91	35	444	80
8000	84	91	35	444	80
7000	84	91	35	444	80
6000	84	91	35	444	80
5000	84	91	35	444	80
4000	84	91	35	444	80
3000	84	91	35	444	80
2000	84	91	35	444	80
1000	84	91	35	444	80
400	84	91	35	444	80

Burada t beton yaşı olup, toplam birim kısalma değerleri 400, 1000, 2000-10000 günleri için bulunmuştur. t' betonun öngerilme verildiği andaki yaşı olup köprünün yapım yöntemine göre değişmektedir.

Etkin kesit kalınlığı olarak tanımlanıp (3.20) eşitliğiyle verilen D oranı, köprü enkesitleri değişken olduğundan her parça için farklı bir değer almaktadır. D oranı için değişken enkesitlerin ortalaması olarak B3 Modeli'nde olduğu gibi 444 mm alınmıştır.

Beton yaşına bağlı bir katsayı olan $\beta_{cc}(t)$ değerini veren (3.53) eşitliğinde gerekecek çimento tipine bağlı s katsayısı Palau Köprüsü'nde CEM 42.5 N sınıfı çimento kullanıldığı varsayıldığı için 0.35 alınmıştır. Serbest kuruma büzülmesi değeri olup (3.66) eşitliğiyle verilen $\varepsilon_{cd,0}$ büyüklüğünün bulunmasında kullanılan α_{ds1} ile α_{ds2} katsayıları çimento sınıfına bağlı olup EC 2'ye göre, N Sınıfı çimentolar için sırasıyla 4 ile 0.12 alınmıştır.

(3.66) eşitliğindeki f_{cmo} değeri ise yine EC 2'ye göre 10 MPa olarak alınmıştır. Ortamın bağıl nemine bağlı β_{RH} katsayısını veren (3.67) eşitliğindeki RH_0 ortamın mutlak nemini göstermektedir. Bu değer yüzde olarak tanımlanmıştır. (3.67) eşitliği kullanılırken ortamın bağıl nemi $RH_0 = \%\,100$ alınmıştır.

Palau Köprüsü için bulunan ilgili sünme ile büzülme değerleri, zamana bağlı değişenlerle değişmeyenler olarak ayrılmıştır. Buna göre, Eurocode 2 Modeli'nde sünme için verilen eşitlikler Çiz.4.62 ile Çiz.4.63'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.62 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri.

t (gün)	$\beta_{cc}(t)$	$f_{cm}(t)$ (MPa)	$E_{cm}(t)$ (GPa)	E_c (GPa)	$\beta_c(t,t^\iota)$	$\phi(t,t^\iota)$	$\varepsilon_{cc}(t,t^\iota)$
10000	1.393	48.76	36.92	38.77	0.965	1.349	4.87E-04
9000	1.392	48.71	36.91	38.75	0.962	1.344	4.85E-04
8000	1.390	48.65	36.90	38.74	0.957	1.338	4.83E-04
7000	1.388	48.58	36.88	38.72	0.952	1.330	4.81E-04
6000	1.386	48.49	36.86	38.70	0.945	1.320	4.77E-04
5000	1.382	48.38	36.84	38.68	0.935	1.306	4.73E-04
4000	1.378	48.23	36.80	38.64	0.921	1.287	4.66E-04
3000	1.372	48.02	36.75	38.59	0.899	1.257	4.56E-04
2000	1.362	47.65	36.67	38.50	0.861	1.203	4.37E-04
1000	1.338	46.84	36.48	38.30	0.773	1.080	3.95E-04
400	1.294	45.27	36.11	37.91	0.617	0.862	3.18E-04

Çizelge 4.63 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri.

α_1	α_2	α_3	ϕ_{RH}	$\beta(f_{cm})$	$\beta(t^\iota)$	ϕ^ι	β_H
1	1	1	1.262	2.840	0.390	1.397	1235

Palau Köprüsü için Eurocode Modeli'nde büzülme için verilen eşitlikler Çiz.4.64 ile 4.65'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.64 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Büzülme Eşitlikleri.

t (gün)	$\beta_{ds}(t,t_0)$	ε_{cd}	$\beta_{as}(t)$	$\varepsilon_{ca}(t)$	ε_{cs}
10000	0.964	1.88E-04	1.00	6.2E-05	2.51E-04
9000	0.960	1.87E-04	1.00	6.2E-05	2.50E-04
8000	0.955	1.86E-04	1.00	6.2E-05	2.49E-04
7000	0.949	1.85E-04	1.00	6.2E-05	2.48E-04
6000	0.941	1.84E-04	1.00	6.2E-05	2.46E-04
5000	0.929	1.81E-04	1.00	6.2E-05	2.44E-04
4000	0.913	1.78E-04	1.00	6.2E-05	2.41E-04
3000	0.886	1.73E-04	1.00	6.2E-05	2.35E-04
2000	0.837	1.63E-04	1.00	6.2E-05	2.26E-04
1000	0.710	1.39E-04	1.00	6.2E-05	2.01E-04
400	0.458	8.94E-05	0.98	6.1E-05	1.51E-04

Çizelge 4.65 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri.

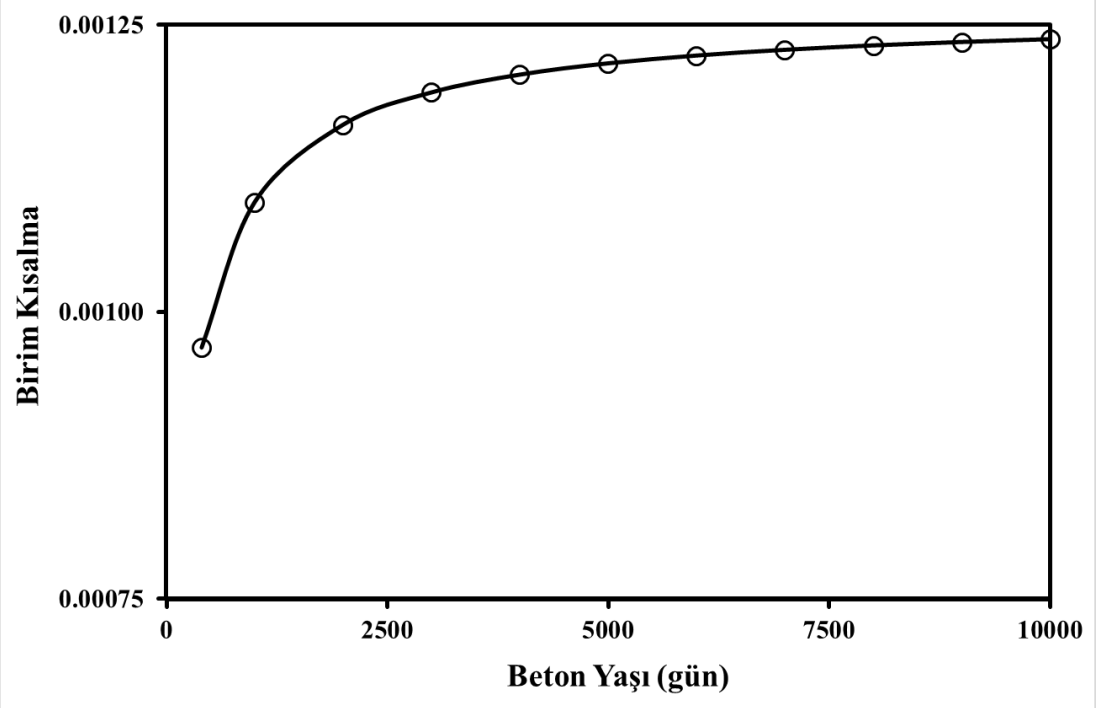
β_{RH}	$\varepsilon_{cd,0}$	k_h	$\varepsilon_{ca}(\infty)$
-0.756	-2.79E-04	0.7	6.25E-05

Palau Köprüsü için yukarıda verilen çizelgelerden toplam birim kısalmayı etkileyen değişkenlerin toplu halde gösterilişi Çiz. 4.66 ile verilmiştir.

Çizelge 4.66 : EC 2 Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar.

t (gün)	$\varepsilon_{cc}(t,t')$	$\varepsilon_s(t,t_0)$	$\alpha\Delta T(t)$	$\varepsilon(t)$
10000	4.87E-04	2.51E-04	5.00E-04	0.00124
9000	4.85E-04	2.50E-04	5.00E-04	0.00124
8000	4.83E-04	2.49E-04	5.00E-04	0.00123
7000	4.81E-04	2.48E-04	5.00E-04	0.00123
6000	4.77E-04	2.46E-04	5.00E-04	0.00122
5000	4.73E-04	2.44E-04	5.00E-04	0.00122
4000	4.66E-04	2.41E-04	5.00E-04	0.00121
3000	4.56E-04	2.35E-04	5.00E-04	0.00119
2000	4.37E-04	2.26E-04	5.00E-04	0.00116
1000	3.95E-04	2.01E-04	5.00E-04	0.00110
400	3.18E-04	1.51E-04	5.00E-04	0.00097

Palau Köprüsü için Eurocode 2 Modeli'nde zamana bağlı birim kısalmaların 400-10000 günler arasındaki değişimi Şekil 4.12 ile verilmiştir.



Şekil 4.12 : Palau için EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar.

4.3.4 TS 3233 Modeline Göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler

TS 3233 Modeli'ne göre zamana bağlı yer değiştirmeler, Bölüm 4.1.4'te yapılan açıklamalar doğrultusunda bulunacaktır. Palau Köprüsü'nün TS 3233 Modeli'ne göre incelenişinde kullanılacak temel değişkenler Çiz.4.67'de görülebilir.

Çizelge 4.67 : Palau için TS 3233 Modeli'nde Temel Değişkenler.

t (gün)	t_0 (gün)	t' (gün)	f_c (MPa)	D (mm)	Nem (%)
1000	84	91	35	444	70
800	84	91	35	444	70
400	84	91	35	444	70
200	84	91	35	444	70
100	84	91	35	444	70

Burada t beton yaşı olup, toplam birim kısalma değerleri 100-1000 günleri için bulunmuştur. t' betonun öngerilme verildiği andaki yaşı olup köprünün yapım yöntemine göre değişmektedir.

Çiz 4.66'da f_c betonun 28 günlük basınç dayanımını göstermektedir. Etkin kesit kalınlığı olarak tanımlanıp (3.20) eşitliğiyle verilen D oranı, köprü enkesitleri değişken olduğundan her parça için farklı bir değer almaktadır. D oranı için değişken enkesitlerin ortalaması olarak B3 Modeli'nde olduğu gibi 444 mm alınmıştır.

TS 3233 Modeli'nde, diğer modellerde olduğu gibi sünme ile büzülme eşitliklerinden bazıları zamanla değişmekte bazılarıysa sabit kalmaktadır. Palau Köprüsü için bulunan ilgili değerler, TS 3233 Modeli için de zamana bağlı değişenlerle değişmeyenler olarak ayrılmıştır. Buna göre, TS 3233 Modeli'nde sünme için verilen eşitliklerinden zamana bağlı olarak değişenler Çiz.4.68 ile değişmeyenler ise Çiz.4.69 ile verilmiştir.

Çizelge 4.68 : TS 3233 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri.

t (gün)	β_∞	$\beta_f(t) - \beta_f(t^\iota)$	ϕ_c	ε_{co} (E-04)
1000	0.98	0.72	2.26	11.3
800	0.97	0.70	2.21	11.0
400	0.86	0.55	1.77	8.87
200	0.70	0.43	1.40	6.99
100	0.39	0.21	0.70	3.51

Çizelge 4.69 : TS 3233 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri.

ϕ_d	ϕ_{f1}	λ	h_{th}(cm)	ϕ_{f2}
0.4	2.00	1.50	66.66	1.30

Çiz 4.68'de verilen zamana bağlı değişmeyen sünme eşitliklerinin yanında (3.71) eşitliğiyle verilen ε_{co} sünmeden kaynaklanan yer değiştirmeyi bulurken kullanılacak, σ_{co} betonun üzerindeki sabit gerilme değeri 14 MPa, E_{c28} betonun 28 günlük elastisite modülü ise 28 GPa alınmıştır.

TS 3233 Modeli'nde büzülme için verilen eşitlikler de sünme için olduğu gibi zamana bağlı olarak değişenler ile değişmeyenler olarak ayrılmıştır. Bu eşitler sırasıyla Çiz.4.70 ile Çiz.4.71'de verilmiştir.

Çizelge 4.70 : TS 3233 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Büzülme Eşitlikleri.

t (gün)	$\beta_s(t) - \beta_s(t^\iota)$	ε_{cs} (E-05)
1000	0.48	8.76
800	0.42	7.67
400	0.25	4.56
200	0.15	2.74
100	0.01	1.83

Çizelge 4.71 : TS 3233 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri.

ε_{s1}	ε_{s2}
0.00025	0.73

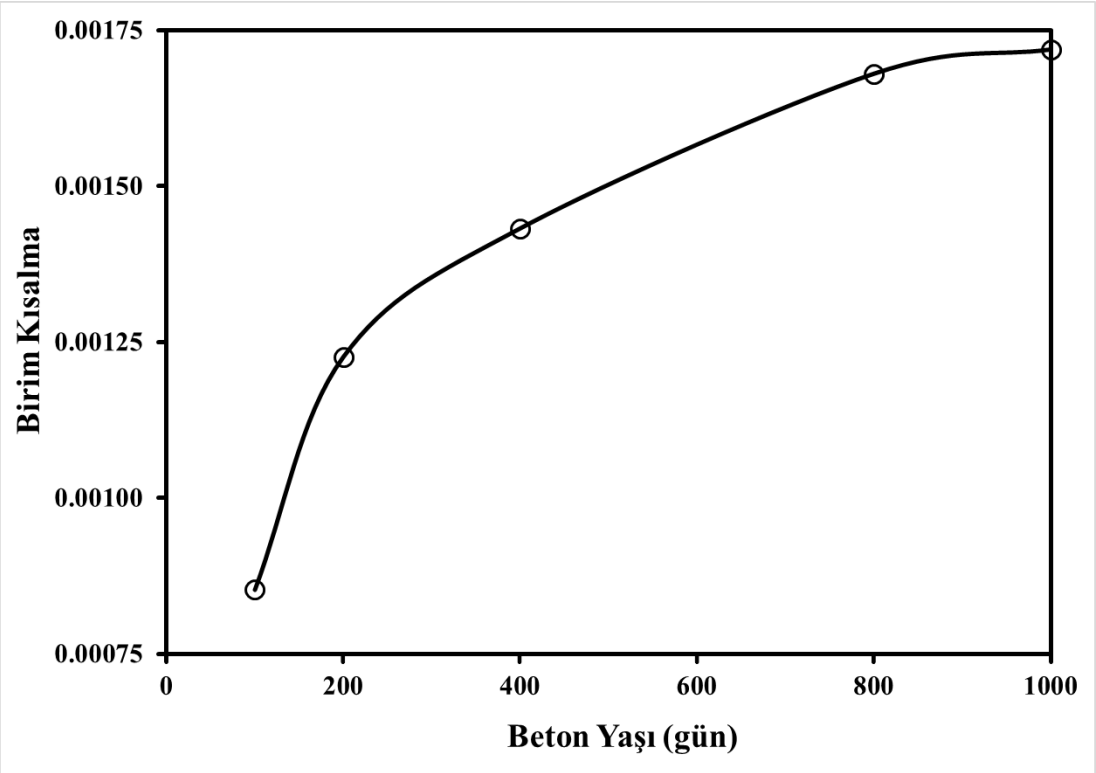
Çiz. 4.67-4.71 ile verilen, Bölüm 3.7'de tanımlanmış olan bu büyüklükler Şehzadeler Viyadüğü için Bölüm 3.8'de yapıldığı gibi göz önüne alınarak Palau Köprüsü için de kullanılmıştır.

Palau Köprüsü için yukarıda verilen çizelgelerden toplam birim kısalmayı etkileyen değişkenlerin toplu halde gösterilişi Çiz. 4.72 ile verilmiştir.

Çizelge 4.72 : TS 3233 Modeli'nde 1000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar.

t (gün)	$\varepsilon_{co}(t,t')$	$\varepsilon_{cs}(t,t')$	$\alpha\Delta T(t)$	$\varepsilon(t)$
10000	1.13E-03	8.76E-05	0.0005	0.00172
800	1.10E-03	7.67E-05	0.0005	0.00168
400	8.87E-04	4.56E-05	0.0005	0.00143
200	6.99E-04	2.74E-05	0.0005	0.00123
100	3.51E-04	1.83E-06	0.0005	0.00085

Palau Köprüsü için TS 3233 Modeli'nde zamana bağlı birim kısalmaların 100-1000 günler arasındaki değişimi Şekil 4.13 ile verilmiştir.



Şekil 4.13 : Palau için TS 3233 Modeli'nde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar.

4.4 Beylerderesi Köprüsü'nde Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler

Bu bölümde, Bölüm 4.1-3'te elde edilip çizelgeler halinde verilen sünme ile büzülme büyüklükleri Beylerderesi Köprüsü için de B3 Modeli, ACI 209R-92 Modeli, EC 2 Modeli ile TS 3233 Modeli kullanılarak elde edilecektir. Beylerderesi Köprüsü için, kullanılan farklı modellerin Bölüm 3'te açıkça gösterilen işlem adımları tekrar edilmeyecektir. Kömürhan Köprüsü için Çiz 4.1-4.18 aracılığıyla verilen sünme ile büzülme büyükleri için gerekli açıklama Bölüm 4.1'de yapılmıştır. Beylerderesi Köprüsü için de aynı yaklaşımlar kullanılacağından ek açıklamaya ihtiyaç duyulmamaktadır. Çizelgeler harici verilen ek büyüklükler ise gerek duyulunca açıklanacaktır.

4.4.1 B3 Modele Göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler

Bölüm 4.4'te yapılan açıklama doğrultusunda Beylerderesi Köprüsü'nün B3 Modele göre incelenişinde kullanılacak temel değişkenler Çiz. 4.73 ile verilmiştir.

Çizelge 4.73 : Beylerderesi için B3 Modeli'nde Temel Değişkenler

t (gün)	t_0 (gün)	t' (gün)	f_c (MPa)	w (kg)	a (kg)	c (kg)
10000	63	70	40	190	1770	420
9000	63	70	40	190	1770	420
8000	63	70	40	190	1770	420
7000	63	70	40	190	1770	420
6000	63	70	40	190	1770	420
5000	63	70	40	190	1770	420
4000	63	70	40	190	1770	420
3000	63	70	40	190	1770	420
2000	63	70	40	190	1770	420
1000	63	70	40	190	1770	420
400	63	70	40	190	1770	420

Burada t beton yaşı olup, toplam birim kısalma değerleri 400, 1000, 2000-10000 günleri için bulunmuştur. t' betonun öngerilme verildiği andaki yaşı olup köprünün yapım yöntemine göre değişmektedir. Beylerderesi Köprüsü de dengeli konsol yöntemiyle yapıldığı için, her parçanın dayanım kazanma zamanı olarak 7 gün varsayılmıştır. Her bir parçanın 7 günlük döküm süresi, parça sayısıyla çarpılarak bulunan toplam günün, üretilen parça sayısına bölünmesiyle, yani aritmetik ortalaması alınarak bulunmuştur.

Betonun kurumaya başladığı andaki yaşı, t_0 beton döküldükten 1 gün sonra betonun sertleşmeye başladığı varsayımı ile alınmıştır. Öngerilme ise 7 gün sonra, beton yeterince sertleşince verilmektedir. Buna göre, Gülburnu Köprüsü için hesap yapılacak büyük açıklık konsolu 17 parçadan oluştuğundan, kurumanın başladığı zaman olan $t_0 = 63$ gün, yüklenmenin başlandığı zaman olan $t' = 70$ gün olarak, ortalama değerleriyle alınmıştır. Bu değer ACI 209R-92 ile Eurocode 2 Modelleri için de aynı biçimde kullanılmıştır.

Etkin kesit kalınlığı olarak tanımlanıp (3.20) eşitliğiyle verilen D oranı, köprü enkesitleri değişken olduğundan her parça için farklı bir değer almaktadır. D oranı için değişken enkesitlerin ortalaması olarak $D = 389$ mm alınmıştır.

Beylerderesi Köprüsü için Bölüm 3'teki ilgili çizelgeler kullanılarak elde edilen sabit büyüklükler Çiz.4.74'te gösterilmiştir. Bu çizelgedeki büyüklüklerin açıklaması Bölüm 4.1'de yapılmıştır.

Çizelge 4.74 : B3 Modeli için İlgili Çizelgelerden Alınan Değerler.

α_1	α_2	k_s	k_h
1	1.2	1.25	0.784

Beylerderesi Köprüsü için bulunan ilgili sünme ile büzülme değerleri, zamana bağlı değişenlerle değişmeyenler olarak ayrılmıştır. Buna göre, B3 Modeli'nde sünme için verilen eşitlikler Çiz.4.75 ile Çiz.4.76'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.75 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri.

t (gün)	$Z(t,t')$	$Q(t,t')$	$C_0(t,t')$ (E-05)	$C_d(t,t',t_0)$ (E-05)	$J(t,t')$ (E-05)
10000	0.150	0.121	5.55	2.39	9.94
9000	0.149	0.121	5.47	2.32	9.79
8000	0.148	0.120	5.38	2.23	9.61
7000	0.147	0.120	5.27	2.13	9.41
6000	0.146	0.120	5.16	2.02	9.18
5000	0.144	0.120	5.02	1.88	8.90
4000	0.142	0.120	4.84	1.72	8.57
3000	0.140	0.119	4.62	1.52	8.15
2000	0.136	0.119	4.31	1.27	7.59
1000	0.131	0.117	3.77	0.94	6.71
400	0.122	0.115	3.04	0.62	5.66

Çizelge 4.76 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri.

t (gün)	q_1 (E-05)	q_2 (E-04)	q_3 (E-06)	q_4 (E-06)	$r(t')$	$Q_f(t')$
400-10000	2.00	1.37	1.67	7.42	10.83	0.122

Beylerderesi Köprüsü için B3 Modeli'nde büzülme için verilen eşitlikler Çiz.4.77 ile Çiz.4.78'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.77 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Büzülme Eşitlikleri.

t (gün)	$S(t)$	$H(t)$	$\varepsilon_{sh}(t,t_0)$ (E-04)
10000	0.866	0.654	-5.54
9000	0.848	0.661	-5.42
8000	0.826	0.670	-5.29
7000	0.800	0.680	-5.12
6000	0.769	0.693	-4.92
5000	0.729	0.708	-4.67
4000	0.679	0.728	-4.35
3000	0.614	0.755	-3.93
2000	0.523	0.791	-3.35
1000	0.382	0.847	-2.45
400	0.235	0.906	-1.51

Çizelge 4.78 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri.

q_5 (E-04)	$S(t')$	$H(t')$	$\varepsilon_{s\infty}$ (E+02)	E_{28} (GPa)	$E(t_0+\tau_{sh})$ (GPa)	k_t	τ_{sh} (gün)	$\varepsilon_{sh}(\infty)$ (E-04)
3.39	0.035	0.986	8.19	29.94	32.46	2.43	5737	8.16

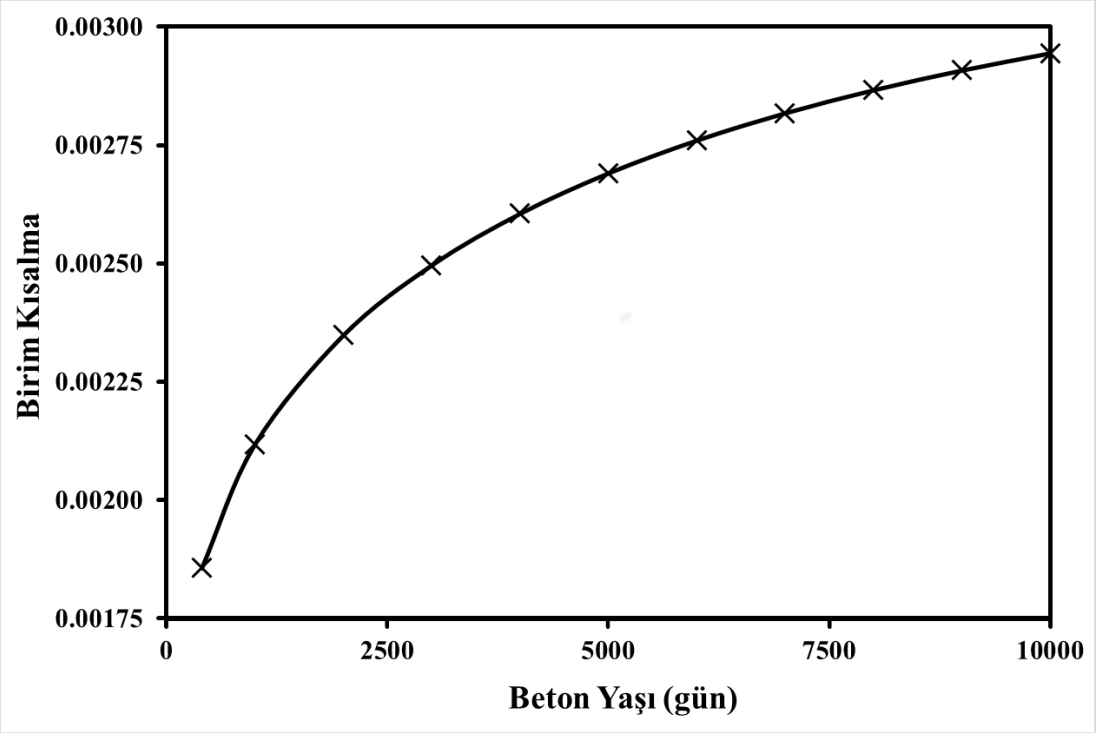
Çiz.4.77 ile verilen zamana bağlı değişmeyen büzülme eşitliklerinden olan $E(607)$ değeri de (3.21) eşitliğiyle bulunmakta olup 400-10000 gün arasında sabittir. Bu değer 32.35 GPa'dır.

Beylerderesi Köprüsü için yukarıda verilen çizelgelerden toplam birim kısalmayı etkileyen değişkenlerin toplu halde gösterilişi Çiz.4.79 ile verilmiştir.

Çizelge 4.79 : B3 Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar.

t (gün)	σ (MPa)	$J(t,t')$	$J(t,t')\sigma$	$\varepsilon_{sh}(t,t_0)$	$\alpha\Delta T(t)$	$\varepsilon(t)$
10000	16	9.94E-05	1.59E-03	-5.54E-04	0.0008	0.00294
9000	16	9.79E-05	1.57E-03	-5.42E-04	0.0008	0.00291
8000	16	9.61E-05	1.54E-03	-5.29E-04	0.0008	0.00287
7000	16	9.41E-05	1.51E-03	-5.12E-04	0.0008	0.00282
6000	16	9.18E-05	1.47E-03	-4.92E-04	0.0008	0.00276
5000	16	8.90E-05	1.42E-03	-4.67E-04	0.0008	0.00269
4000	16	8.57E-05	1.37E-03	-4.35E-04	0.0008	0.00261
3000	16	8.15E-05	1.30E-03	-3.93E-04	0.0008	0.00250
2000	16	7.59E-05	1.21E-03	-3.35E-04	0.0008	0.00235
1000	16	6.71E-05	1.07E-03	-2.45E-04	0.0008	0.00212
400	16	5.66E-05	9.06E-04	-1.51E-04	0.0008	0.00186

Beylerderesi Köprüsü için B3 Modeli'nde zamana bağlı birim kısalmaların 400-10000 günler arasındaki değişimi Şekil 4.14 ile verilmiştir.



Şekil 4.14 : Beylerderesi için B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar.

4.4.2 ACI 209R-92 Modeline Göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler

Bölüm 4.4'te yapılan açıklama doğrultusunda Beylerderesi Köprüsü'nün ACI 209R-92 Modele göre incelenişinde kullanılacak temel değişkenler Çiz. 4.80 ile verilmiştir.

Çizelge 4.80 : Beylerderesi için ACI 209R-92 Modeli'nde Temel Değişkenler.

t (gün)	t_0 (gün)	t' (gün)	$f_{cmt'}$ (MPa)	s (mm)	Ψ (%)	c (kg)	h (%)	V/S (mm)
10000	63	70	44.09	160	46	420	60	195
9000	63	70	44.09	160	46	420	60	195
8000	63	70	44.09	160	46	420	60	195
7000	63	70	44.09	160	46	420	60	195
6000	63	70	44.09	160	46	420	60	195
5000	63	70	44.09	160	46	420	60	195
4000	63	70	44.09	160	46	420	60	195
3000	63	70	44.09	160	46	420	60	195
2000	63	70	44.09	160	46	420	60	195
1000	63	70	44.09	160	46	420	60	195
400	63	70	44.09	160	46	420	60	195

Toplam düzeltme çarpanını veren (3.29) eşitliğindeki kür katsayısını gösteren $\gamma_{sh,to}$ değeri, Çiz. 3.8'den 7 günlük kür durumu için 1 alınacaktır. Betonun yüklendiği

andaki ortalama basınç dayanımı olan $f_{cmt'}$ değeri bulunurken kullanılacak (3.39) eşitliği için a ile b değerleri ise CEM I çimento tipi için 4 ile 0.85 alınacaktır.

Beylerderesi Köprüsü için bulunan ilgili sünme ile büzülme değerleri, zamana bağlı değişenlerle değişmeyenler olarak ayrılmıştır. Buna göre, ACI 209R-92 Modeli'nde sünme için verilen eşitlikler Çiz.4.81 ile Çiz.4.82'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.81 : ACI 209R-92 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri.

t (gün)	$\phi(t,t')$	$J(t,t')$
10000	1.238	6.7E-05
9000	1.232	6.6E-05
8000	1.225	6.6E-05
7000	1.217	6.6E-05
6000	1.205	6.6E-05
5000	1.189	6.5E-05
4000	1.166	6.5E-05
3000	1.130	6.3E-05
2000	1.061	6.1E-05
1000	0.892	5.6E-05
400	0.572	4.7E-05

Çizelge 4.82 : ACI 209R-92 Modeli'nde Zamanla Değişmeyen Sünme Eşitlikleri.

$\gamma_{c,t'}$	$\gamma_{c,RH}$	$\gamma_{c,vs}$	$\gamma_{c,s}$	$\gamma_{c,\Psi}$	$\gamma_{c,\alpha}$	γ_c	ϕ_u	d (gün)
0.757	0.868	0.679	1.242	0.990	1	0.549	1.29	415

Çiz 4.81 ile verilen zamana bağlı değişmeyen bu büyüklüklerden başka (3.39) eşitliğiyle verilen betonun yüklenmeye başladığı t' zamanındaki elastisite modülü olan $E_{cmt'}$ değeri de 400-10000 gün arasında sabittir. Bu değer 33.57 GPa'dır.

ACI 209R-92 Modeli'nde büzülme için verilen eşitliklerden yalnızca (3.25) eşitliğiyle verilen toplam büzülme şekil değiştirmesi $\varepsilon_{sh}(t,t_0)$ zamana bağlı olarak değişmektedir. Bu yüzden, $\varepsilon_{sh}(t,t_0)$ toplam birim kısalmayı etkileyen değişkenler içinde verilecektir. Beylerderesi Köprüsü için ACI 209R-92 Modeli'nde büzülme için zamana bağlı olara değişmeyen eşitlikler Çiz.4.83 ile gösterilmiştir.

Çizelge 4.83 : ACI 209R-92 Modeli'nde Zamanla Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri.

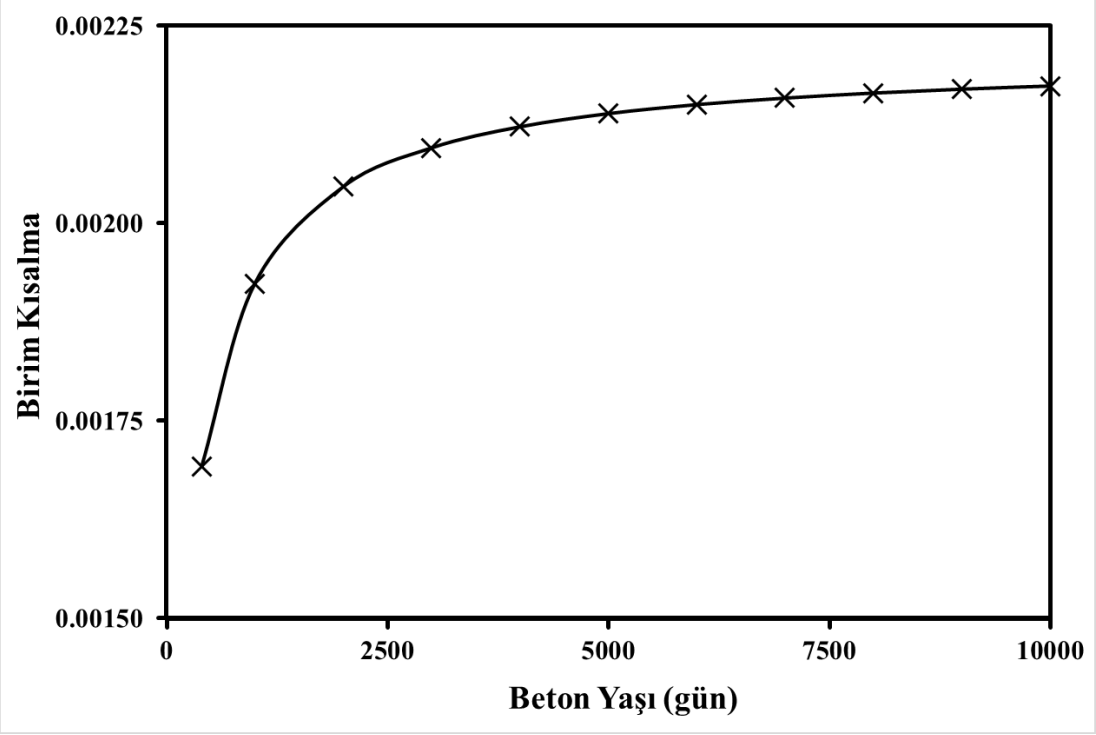
$\gamma_{sh,to}$	$\gamma_{sh,RH}$	$\gamma_{sh,vs}$	$\gamma_{sh,s}$	$\gamma_{c,\Psi}$	$\gamma_{sh,c}$	$\gamma_{sh,\alpha}$	γ_{sh}	ε_{shu}	f (gün)
1	0.788	0.478	1.148	0.944	1.006	1	0.411	3.20E-04	415

Beylerderesi Köprüsü için yukarıda verilen çizelgelerden toplam birim kısalmayı etkileyen değişkenlerin toplu halde gösterilişi Çiz. 4.84 ile verilmiştir.

Çizelge 4.84 : ACI Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar.

t (gün)	σ (MPa)	$J(t,t')$	$J(t,t')\sigma$	$\varepsilon_{sh}(t,t_0)$	$\alpha\Delta T(t)$	$\varepsilon(t)$
10000	16	6.67E-05	1.07E-03	3.07E-04	0.0008	0.00217
9000	16	6.65E-05	1.06E-03	3.06E-04	0.0008	0.00217
8000	16	6.63E-05	1.06E-03	3.04E-04	0.0008	0.00216
7000	16	6.60E-05	1.06E-03	3.02E-04	0.0008	0.00216
6000	16	6.57E-05	1.05E-03	2.99E-04	0.0008	0.00215
5000	16	6.52E-05	1.04E-03	2.95E-04	0.0008	0.00214
4000	16	6.45E-05	1.03E-03	2.90E-04	0.0008	0.00212
3000	16	6.34E-05	1.01E-03	2.81E-04	0.0008	0.00210
2000	16	6.14E-05	9.82E-04	2.64E-04	0.0008	0.00205
1000	16	5.64E-05	9.02E-04	2.22E-04	0.0008	0.00192
400	16	4.68E-05	7.49E-04	1.44E-04	0.0008	0.00169

Beylerderesi Köprüsü için B3 Modeli'nde zamana bağlı birim kısalmaların 400-10000 günler arasındaki değişimi Şekil 4.15 ile verilmiştir.



Şekil 4.15 : Beylerderesi için ACI Modeli'nde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar.

4.4.3 Eurocode 2 Modeline Göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler

Bölüm 4.2'de yapılan açıklama doğrultusunda Beylerderesi Köprüsü'nün Eurocode 2 Modeli'ne göre incelenişinde kullanılacak temel değişkenler Çiz. 4.85 ile verilmiştir.

Çizelge 4.85 : Beylerderesi için EC 2 Modeli'nde Temel Değişkenler.

t (gün)	t_0 (gün)	t' (gün)	f_{cm} (MPa)	D (mm)	RH (%)
10000	63	70	40	389	60
9000	63	70	40	389	60
8000	63	70	40	389	60
7000	63	70	40	389	60
6000	63	70	40	389	60
5000	63	70	40	389	60
4000	63	70	40	389	60
3000	63	70	40	389	60
2000	63	70	40	389	60
1000	63	70	40	389	60
400	63	70	40	389	60

Burada t beton yaşı olup, toplam birim kısalma değerleri 400, 1000, 2000-10000 günleri için bulunmuştur. t' betonun öngerilme verildiği andaki yaşı olup köprünün yapım yöntemine göre değişmektedir.

Etkin kesit kalınlığı olarak tanımlanıp (3.20) eşitliğiyle verilen D oranı, köprü enkesitleri değişken olduğundan her parça için farklı bir değer almaktadır. D oranı için değişken enkesitlerin ortalaması olarak B3 Modeli'nde olduğu gibi 389 mm alınmıştır.

Beton yaşına bağlı bir katsayı olan $\beta_{cc}(t)$ değerini veren (3.53) eşitliğinde gerekecek çimento tipine bağlı s katsayısı Beylerderesi Köprüsü'nde CEM 42.5 N sınıfı çimento kullanıldığı varsayıldığı için 0.35 alınmıştır. Serbest kuruma büzülmesi değeri olup (3.66) eşitliğiyle verilen $\varepsilon_{cd,0}$ büyüklüğünün bulunmasında kullanılan α_{ds1} ile α_{ds2} katsayıları çimento sınıfına bağlı olup EC 2'ye göre, N Sınıfı çimentolar için sırasıyla 4 ile 0.12 alınmıştır.

(3.66) eşitliğindeki f_{cmo} değeri ise yine EC 2'ye göre 10 MPa olarak alınmıştır. Ortamın bağıl nemine bağlı β_{RH} katsayısını veren (3.67) eşitliğindeki RH_0 ortamın mutlak nemini göstermektedir. Bu değer yüzde olarak tanımlanmıştır. (3.67) eşitliği kullanılırken ortamın bağıl nemi $RH_0 = \%\ 100$ alınmıştır.

Beylerderesi Köprüsü için bulunan ilgili sünme ile büzülme değerleri, zamana bağlı değişenlerle değişmeyenler olarak ayrılmıştır. Buna göre, Eurocode 2 Modeli'nde sünme için verilen eşitlikler Çiz.4.86 ile Çiz.4.87'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.86 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri.

t (gün)	$\beta_{cc}(t)$	$f_{cm}(t)$ (MPa)	$E_{cm}(t)$ (GPa)	E_c (GPa)	$\beta_c(t,t^\iota)$	$\phi(t,t^\iota)$	$\varepsilon_{cc}(t,t^\iota)$
10000	1.393	55.72	36.93	38.78	0.977	1.552	6.41E-04
9000	1.392	55.67	36.91	38.76	0.974	1.548	6.39E-04
8000	1.390	55.60	36.90	38.75	0.971	1.543	6.37E-04
7000	1.388	55.52	36.89	38.73	0.967	1.537	6.35E-04
6000	1.386	55.42	36.87	38.71	0.962	1.529	6.32E-04
5000	1.382	55.30	36.84	38.69	0.955	1.518	6.28E-04
4000	1.378	55.12	36.80	38.65	0.945	1.502	6.22E-04
3000	1.372	54.88	36.76	38.59	0.929	1.476	6.12E-04
2000	1.362	54.46	36.68	38.51	0.899	1.430	5.94E-04
1000	1.338	53.53	36.48	38.31	0.827	1.315	5.49E-04
400	1.294	51.74	36.14	37.92	0.688	1.093	4.61E-04

Çizelge 4.87 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri.

α_1	α_2	α_3	ϕ_{RH}	$\beta(f_{cm})$	$\beta(t^\iota)$	ϕ^ι	β_H
0.911	0.974	0.935	1.46	2.656	0.410	1.590	819

Beylerderesi Köprüsü için EC 2 Modeli'nde büzülme için verilen eşitlikler Çiz.4.88 ile 4.89'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.88 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Büzülme Eşitlikleri.

t (gün)	$\beta_{ds}(t,t_0)$	ε_{cd}	$\beta_{as}(t)$	$\varepsilon_{ca}(t)$	ε_{cs}
10000	0.970	2.86E-04	1.00	7.5E-05	3.61E-04
9000	0.967	2.85E-04	1.00	7.5E-05	3.60E-04
8000	0.963	2.84E-04	1.00	7.5E-05	3.59E-04
7000	0.958	2.83E-04	1.00	7.5E-05	3.58E-04
6000	0.951	2.81E-04	1.00	7.5E-05	3.56E-04
5000	0.941	2.78E-04	1.00	7.5E-05	3.53E-04
4000	0.928	2.74E-04	1.00	7.5E-05	3.49E-04
3000	0.905	2.67E-04	1.00	7.5E-05	3.42E-04
2000	0.863	2.55E-04	1.00	7.5E-05	3.30E-04
1000	0.753	2.22E-04	1.00	7.5E-05	2.97E-04
400	0.523	1.55E-04	0.98	7.4E-05	2.28E-04

Çizelge 4.89 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri.

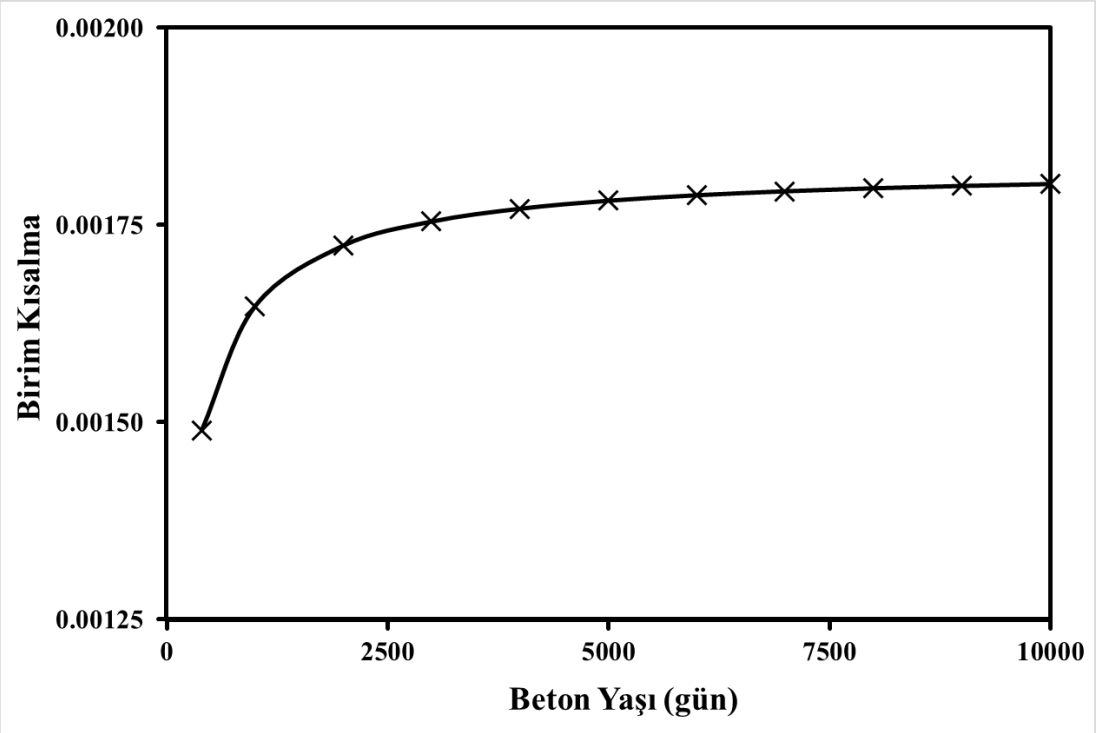
β_{RH}	$\varepsilon_{cd,0}$	k_h	$\varepsilon_{ca}(\infty)$
-1.215	-4.22E-04	0.7	7.50E-05

Beylerderesi Köprüsü için yukarıda verilen çizelgelerden toplam birim kısalmayı etkileyen değişkenlerin toplu halde gösterilişi Çiz. 4.90 ile verilmiştir.

Çizelge 4.90 : EC 2 Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar.

t (gün)	$\varepsilon_{cc}(t,t')$	$\varepsilon_s(t,t_0)$	$\alpha\Delta T(t)$	$\varepsilon(t)$
10000	6.41E-04	3.61E-04	8.00E-04	0.00180
9000	6.39E-04	3.60E-04	8.00E-04	0.00180
8000	6.37E-04	3.59E-04	8.00E-04	0.00180
7000	6.35E-04	3.58E-04	8.00E-04	0.00179
6000	6.32E-04	3.56E-04	8.00E-04	0.00179
5000	6.28E-04	3.53E-04	8.00E-04	0.00178
4000	6.22E-04	3.49E-04	8.00E-04	0.00177
3000	6.12E-04	3.42E-04	8.00E-04	0.00175
2000	5.94E-04	3.30E-04	8.00E-04	0.00172
1000	5.49E-04	2.97E-04	8.00E-04	0.00165
400	4.61E-04	2.28E-04	8.00E-04	0.00149

Beylerderesi Köprüsü için Eurocode 2 Modeli'nde zamana bağlı birim kısalmaların 400-10000 günler arasındaki değişimi Şekil 4.16 ile verilmiştir.



Şekil 4.16: Beylerderesi için EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler.

4.4.4 TS 3233 Modeline Göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler

TS 3233 Modeli'ne göre zamana bağlı yer değiştirmeler, Bölüm 3.7'de verilen eşitlikler yardımıyla bulunacaktır. Kömürhan Köprüsü'nün TS 3233 Modeli'ne göre incelenişinde kullanılacak temel değişkenler Çiz.4.91'de görülebilir.

Çizelge 4.91 : Beylerderesi için TS 3233 Modeli'nde Temel Değişkenler.

t (gün)	t_0 (gün)	t' (gün)	f_c (MPa)	D (mm)	Nem (%)
1000	63	70	40	389	60
800	63	70	40	389	60
400	63	70	40	389	60
200	63	70	40	389	60
100	63	70	40	389	60

Burada t beton yaşı olup, toplam birim kısalma değerleri 100-1000 günleri için bulunmuştur. t' betonun öngerilme verildiği andaki yaşı olup köprünün yapım yöntemine göre değişmektedir.

Çiz 4.91'de f_c betonun 28 günlük basınç dayanımını göstermektedir. Etkin kesit kalınlığı olarak tanımlanıp (3.20) eşitliğiyle verilen D oranı, köprü enkesitleri değişken olduğundan her parça için farklı bir değer almaktadır. D oranı için değişken enkesitlerin ortalaması olarak B3 Modeli'nde olduğu gibi 389 mm alınmıştır.

TS 3233 Modeli'nde, diğer modellerde olduğu gibi sünme ile büzülme eşitliklerinden bazıları zamanla değişmekte bazılarıysa sabit kalmaktadır. Beylerderesi Köprüsü için bulunan ilgili değerler, TS 3233 Modeli için de zamana bağlı değişenlerle değişmeyenler olarak ayrılmıştır. Buna göre, TS 3233 Modeli'nde sünme için verilen eşitliklerinden zamana bağlı olarak değişenler Çiz.4.92 ile değişmeyenler ise Çiz.4.93 ile verilmiştir.

Çizelge 4.92 : TS 3233 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri.

t (gün)	β_∞	$\beta_f(t) - \beta_f(t^\iota)$	ϕ_c	ε_{co} (E-04)
1000	0.98	0.76	2.80	15.0
800	0.97	0.74	2.73	14.6
400	0.87	0.60	2.25	12.0
200	0.71	0.47	1.77	9.48
100	0.50	0.33	1.25	6.66

Çizelge 4.93 : TS 3233 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri.

ϕ_d	ϕ_{f1}	λ	h_{th}(cm)	ϕ_{f2}
0.4	2.33	1.33	51.74	1.36

Çiz 4.93'te verilen zamana bağlı değişmeyen sünme eşitliklerinin yanında (3.71) eşitliğiyle verilen ε_{co} sünmeden kaynaklanan yer değiştirmeyi bulurken kullanılacak, σ_{co} betonun üzerindeki sabit gerilme değeri 16 MPa, E_{c28} betonun 28 günlük elastisite modülü ise 29.94 GPa alınmıştır.

TS 3233 Modeli'nde büzülme için verilen eşitlikler de sünme için olduğu gibi zamana bağlı olarak değişenler ile değişmeyenler olarak ayrılmıştır. Bu eşitler sırasıyla Çiz.4.94 ile Çiz.4.95'te verilmiştir.

Çizelge 4.94 : TS 3233 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Büzülme Eşitlikleri.

t (gün)	$\beta_s(t) - \beta_s(t^l)$	ε_{cs} (E-05)
1000	0.58	13.4
800	0.53	12.2
400	0.35	8.09
200	0.21	4.85
100	0.08	1.85

Çizelge 4.95 : TS 3233 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri.

ε_{s1}	ε_{s2}
0.0003	0.77

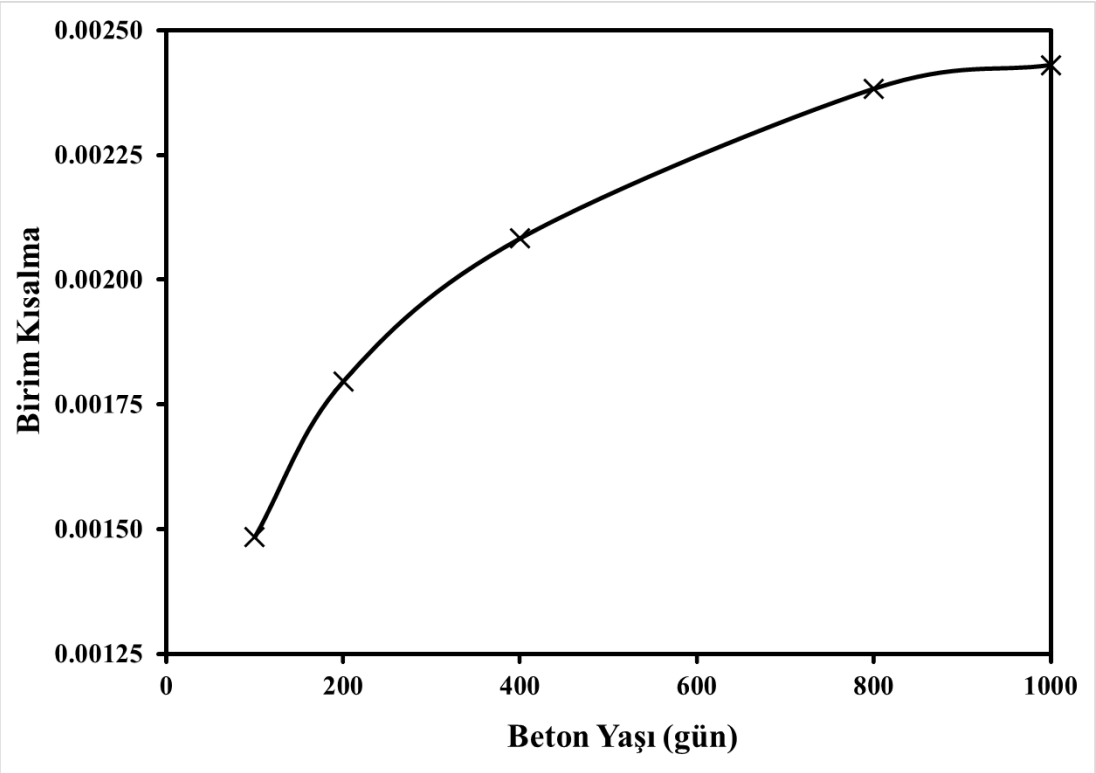
Çiz. 4.91-4.95 ile verilen, Bölüm 3.7'de tanımlanmış olan bu büyüklükler Şehzadeler Viyadüğü için Bölüm 3.8'de yapıldığı gibi göz önüne alınarak Beylerderesi Köprüsü için de kullanılmıştır.

Beylerderesi Köprüsü için yukarıda verilen çizelgelerden toplam birim kısalmayı etkileyen değişkenlerin toplu halde gösterilişi Çiz. 4.96 ile verilmiştir.

Çizelge 4.96 : TS 3233 Modeli'nde 1000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar.

t (gün)	$\varepsilon_{co}(t,t')$	$\varepsilon_{cs}(t,t')$	$\alpha\Delta T(t)$	$\varepsilon(t)$
10000	1.50E-03	1.34E-04	0.0008	0.00243
800	1.46E-03	1.22E-04	0.0008	0.00238
400	1.20E-03	8.09E-05	0.0008	0.00208
200	9.48E-04	4.85E-05	0.0008	0.00180
100	6.66E-04	1.85E-05	0.0008	0.00148

Beylerderesi Köprüsü için TS 3233 Modeli'nde zamana bağlı birim kısalmaların 100-1000 günler arasındaki değişimi Şekil 4.17 ile verilmiştir.



Şekil 4.17 : Beylerderesi için TS3233 Modeli'nde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar.

4.5 Akarsın Köprüsü'nde Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler

Bu bölümde, Bölüm 4.1-4'de diğer köprüler için elde edilip çizelgeler halinde verilen sünme ile büzülme büyüklükleri Akarsın Köprüsü için de B3 Modeli, ACI 209R-92 Modeli, EC 2 Modeli ile TS 3233 Modeli kullanılarak elde edilecektir. Akarsın Köprüsü için, kullanılan farklı modellerin Bölüm 3'te açıkça gösterilen işlem adımları tekrar edilmeyecektir. Kömürhan Köprüsü için Çiz 4.1-4.18 aracılığıyla verilen sünme ile büzülme büyükleri için gerekli açıklama Bölüm 4.1'de yapılmıştır. Akarsın Köprüsü'nde aynı yaklaşımlar kullanılacağından ek açıklamaya ihtiyaç duyulmamaktadır. Çizelgeler harici verilen ek büyüklükler ise gerek duyulunca açıklanacaktır.

4.5.1 B3 Modele Göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler

Bölüm 4.5'te yapılan açıklama doğrultusunda Akarsın Köprüsü'nün B3 Modele göre incelenişinde kullanılacak temel değişkenler Çiz. 4.97 ile verilmiştir.

Çizelge 4.97 : Akarsın için B3 Modeli'nde Temel Değişkenler.

t (gün)	t_0 (gün)	t' (gün)	f_c (MPa)	w (kg)	a (kg)	c (kg)
10000	42	49	40	190	1770	420
9000	42	49	40	190	1770	420
8000	42	49	40	190	1770	420
7000	42	49	40	190	1770	420
6000	42	49	40	190	1770	420
5000	42	49	40	190	1770	420
4000	42	49	40	190	1770	420
3000	42	49	40	190	1770	420
2000	42	49	40	190	1770	420
1000	42	49	40	190	1770	420
400	42	49	40	190	1770	420

Burada t beton yaşı olup, toplam birim kısalma değerleri 400-10000 günler için bulunmuştur. t' betonun öngerilme verildiği andaki yaşını göstermektedir. Akarsın Köprüsü de dengeli konsol yöntemiyle yapıldığı için, her parçanın dayanım kazanma zamanı olarak 7 gün varsayılmıştır. Her bir parçanın 7 günlük döküm süresi, parça sayısıyla çarpılarak bulunan toplam günün, üretilen parça sayısına bölünmesiyle, yani aritmetik ortalaması alınarak bulunmuştur.

Betonun kurumaya başladığı andaki yaşı, t_0 beton döküldükten 1 gün sonra betonun sertleşmeye başladığı varsayımı ile alınmıştır. Buna göre, Akarsın Köprüsü için hesap yapılacak büyük açıklık konsolu 11 parçadan oluştuğundan, kurumanın başladığı zaman olan $t_0 = 42$ gün, yüklenmenin başlandığı zaman olan ise $t' = 49$ gün olarak, ortalama değerleriyle alınmıştır. Bu değer ACI 209R-92 ile Eurocode 2 Modelleri için de aynı biçimde kullanılmıştır.

Etkin kesit kalınlığı olarak tanımlanıp (3.20) eşitliğiyle verilen D oranı, köprü enkesitleri değişken olduğundan her parça için farklı bir değer almaktadır. D oranı için değişken enkesitlerin ortalaması olarak $D = 415$ mm alınmıştır.

Akarsın Köprüsü için Bölüm 3'teki ilgili çizelgeler kullanılarak elde edilen sabit büyüklükler Çiz.4.98'te gösterilmiştir. Bu çizelgedeki büyüklüklerin açıklaması Bölüm 4.1'de yapılmıştır.

Çizelge 4.98 : B3 Modeli için İlgili Çizelgelerden Alınan Değerler.

α_1	α_2	k_s	k_h
1	1.2	1.25	0.657

Akarsın Köprüsü için B3 Modeli'nde sünme için verilen eşitlikler zamana göre değişenlerle değişmeyenler olarak Çiz.4.99 ile Çiz.4.100'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.99 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri.

t (gün)	$Z(t,t')$	$Q(t,t')$	$C_0(t,t')$ (E-05)	$C_d(t,t',t_0)$ (E-06)	$J(t,t')$ (E-05)
10000	0.179	0.141	6.09	15.7	9.67
9000	0.178	0.141	6.01	15.3	9.54
8000	0.177	0.141	5.92	14.8	9.40
7000	0.176	0.141	5.82	14.2	9.25
6000	0.174	0.141	5.70	13.5	9.06
5000	0.172	0.141	5.56	12.7	8.84
4000	0.170	0.140	5.39	11.8	8.58
3000	0.167	0.140	5.17	10.6	8.24
2000	0.163	0.140	4.86	9.14	7.78
1000	0.156	0.138	4.32	7.04	7.03
400	0.147	0.135	3.59	4.94	6.09

Çizelge 4.100 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri.

t (gün)	q_1 (E-05)	q_2 (E-04)	q_3 (E-06)	q_4 (E-06)	$r(t')$	$Q_f(t')$
400-10000	2.00	1.37	1.67	7.42	10.72	0.142

Akarsın Köprüsü için B3 Modeli'nde büzülme için verilen eşitlikler zamana göre değişenlerle değişmeyenler olarak Çiz.4.101 ile Çiz.4.102'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.101 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Büzülme Eşitlikleri.

t (gün)	$S(t)$	$H(t)$	$\varepsilon_{sh}(t,t_0)$ (E-04)
10000	0.838	0.749	-4.49
9000	0.818	0.754	-4.39
8000	0.795	0.761	-4.27
7000	0.768	0.770	-4.12
6000	0.735	0.780	-3.94
5000	0.695	0.792	-3.73
4000	0.644	0.807	-3.45
3000	0.579	0.826	-3.11
2000	0.491	0.853	-2.64
1000	0.359	0.892	-1.92
400	0.224	0.933	-1.20

Çizelge 4.102 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri.

q_5 (E-04)	$S(t')$	$H(t')$	$\varepsilon_{s\infty}$ (E+02)	E_{28} (GPa)	$E(t_0+\tau_{sh})$ (GPa)	k_t	τ_{sh} (gün)	$\varepsilon_{sh}(\infty)$ (E-04)
3.39	0.032	0.990	8.19	29.94	32.46	2.51	6745	8.16

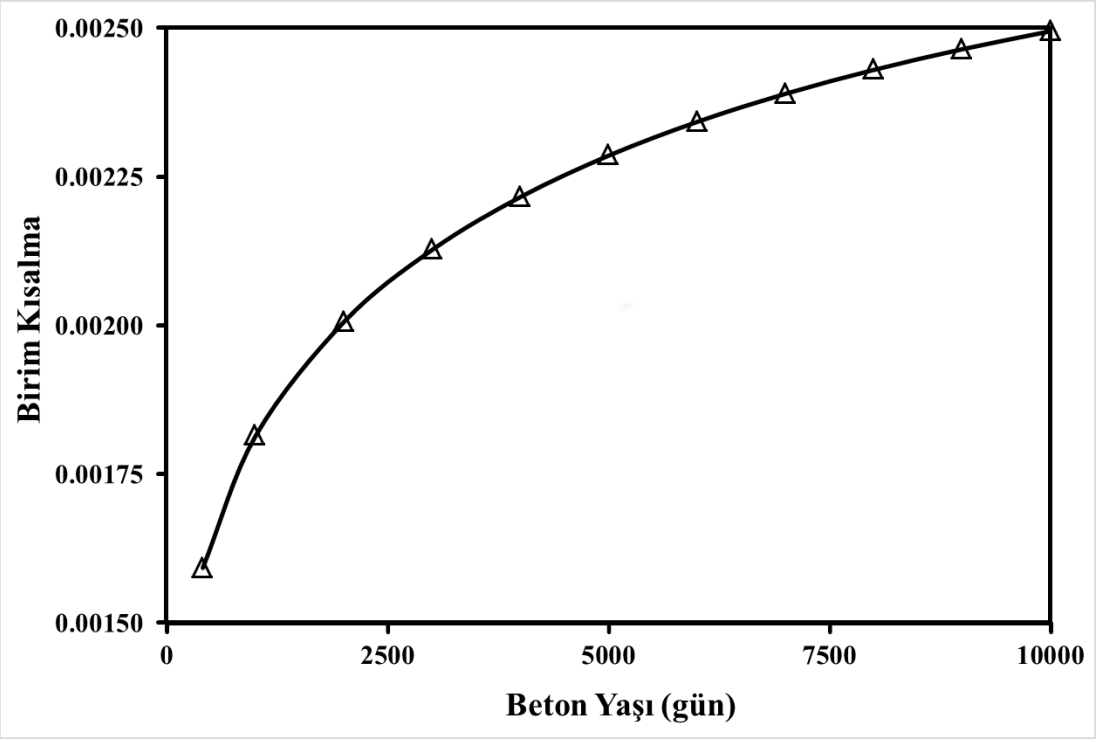
Çiz.4.78 ile verilen zamana bağlı değişmeyen büzülme eşitliklerinden olan $E(607)$ değeri de (3.22) eşitliğiyle bulunmakta olup 400-10000 gün arasında sabittir. Bu değer 32.35 GPa'dır.

Akarsın Köprüsü için yukarıda verilen çizelgelerden toplam birim kısalmayı etkileyen değişkenlerin toplu halde gösterilişi Çiz.4.103 ile verilmiştir.

Çizelge 4.103 : B3 Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar.

t (gün)	σ (MPa)	$J(t,t')$	$J(t,t')\sigma$	$\varepsilon_{sh}(t,t_0)$	$\alpha\Delta T(t)$	$\varepsilon(t)$
10000	16	9.67E-05	1.55E-03	-4.49E-04	0.0005	0.00250
9000	16	9.54E-05	1.53E-03	-4.39E-04	0.0005	0.00247
8000	16	9.40E-05	1.50E-03	-4.27E-04	0.0005	0.00243
7000	16	9.25E-05	1.48E-03	-4.12E-04	0.0005	0.00239
6000	16	9.06E-05	1.45E-03	-3.94E-04	0.0005	0.00234
5000	16	8.84E-05	1.41E-03	-3.73E-04	0.0005	0.00229
4000	16	8.58E-05	1.37E-03	-3.45E-04	0.0005	0.00222
3000	16	8.24E-05	1.32E-03	-3.11E-04	0.0005	0.00213
2000	16	7.78E-05	1.24E-03	-2.64E-04	0.0005	0.00201
1000	16	7.03E-05	1.12E-03	-1.92E-04	0.0005	0.00182
400	16	6.09E-05	9.74E-04	-1.20E-04	0.0005	0.00159

Akarsın Köprüsü için B3 Modeli'nde zamana bağlı birim kısalmaların 400-10000 günler arasındaki değişimi Şekil 4.18 ile verilmiştir.



Şekil 4.18 : Akarsın için B3 Model'de Zamana Bağlı Birim Kısalmalar.

4.5.2 ACI 209R-92 Modeline Göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler

Bölüm 4.1.2'de yapılan açıklama doğrultusunda Akarsın Köprüsü'nün ACI 209R-92 Modele göre incelenişinde kullanılacak temel değişkenler Çiz. 4.104 ile verilmiştir.

Çizelge 4.104 : Akarsın için ACI 209R-92 Modeli'nde Temel Değişkenler.

t (gün)	t_0 (gün)	t' (gün)	$f_{cmt'}$ (MPa)	s (mm)	Ψ (%)	c (kg)	h (%)	V/S (mm)
10000	42	49	42.94	160	46	420	70	208
9000	42	49	42.94	160	46	420	70	208
8000	42	49	42.94	160	46	420	70	208
7000	42	49	42.94	160	46	420	70	208
6000	42	49	42.94	160	46	420	70	208
5000	42	49	42.94	160	46	420	70	208
4000	42	49	42.94	160	46	420	70	208
3000	42	49	42.94	160	46	420	70	208
2000	42	49	42.94	160	46	420	70	208
1000	42	49	42.94	160	46	420	70	208
400	42	49	42.94	160	46	420	70	208

Toplam düzeltme çarpanını veren (3.29) eşitliğindeki kür katsayısını gösteren $\gamma_{sh,to}$ değeri, Çiz. 3.8'den 7 günlük kür durumu için 1 alınacaktır. Betonun yüklendiği andaki ortalama basınç dayanımı olan $f_{cmt'}$ değeri bulunurken kullanılacak (3.39) eşitliği için a ile b ise CEM I çimento tipi için 4 ile 0.85 alınacaktır.

Akarsın Köprüsü için bulunan ilgili sünme ile büzülme değerleri, zamana bağlı değişenlerle değişmeyenler olarak ayrılmıştır. Buna göre, ACI 209R-92 Modeli'nde sünme için verilen eşitlikler Çiz.4.105 ile Çiz.4.106'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.105 : ACI 209R-92 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri.

t (gün)	$\phi(t,t')$	$J(t,t')$
10000	1.177	6.6E-05
9000	1.171	6.6E-05
8000	1.163	6.5E-05
7000	1.153	6.5E-05
6000	1.140	6.5E-05
5000	1.123	6.4E-05
4000	1.097	6.3E-05
3000	1.057	6.2E-05
2000	0.984	6.0E-05
1000	0.811	5.5E-05
400	0.511	4.6E-05

Çizelge 4.106: ACI 209R-92 Modeli'nde Zamanla Değişmeyen Sünme Eşitlikleri.

γ_{c,t^ι}	$\gamma_{c,RH}$	$\gamma_{c,vs}$	$\gamma_{c,s}$	$\gamma_{c,\Psi}$	$\gamma_{c,\alpha}$	γ_c	ϕ_u	d (gün)
0.790	0.801	0.676	1.242	0.990	1	0.526	1.24	499

Çiz 4.106 ile verilen zamana bağlı değişmeyen bu büyüklüklerden başka (3.38) eşitliğiyle verilen betonun yüklenmeye başladığı t^ι zamanındaki elastisite modülü olan E_{cmt^ι} değeri de 400-10000 gün arasında sabittir. Bu değer 33.13 GPa'dır.

ACI 209R-92 Modeli'nde büzülme için verilen eşitliklerden yalnızca (3.25) eşitliğiyle verilen toplam büzülme şekil değiştirmesi $\varepsilon_{sh}(t,t_0)$ zamana bağlı olarak değişmektedir. Bu yüzden, $\varepsilon_{sh}(t,t_0)$ toplam birim kısalmayı etkileyen değişkenler içinde verilecektir. Akarsın Köprüsü için ACI 209R-92 Modeli'nde büzülme için zamana bağlı olarak değişmeyen eşitlikler Çiz.4.107 ile gösterilmiştir.

Çizelge 4.107 : ACI 209R-92 Modeli'nde Zamanla Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri.

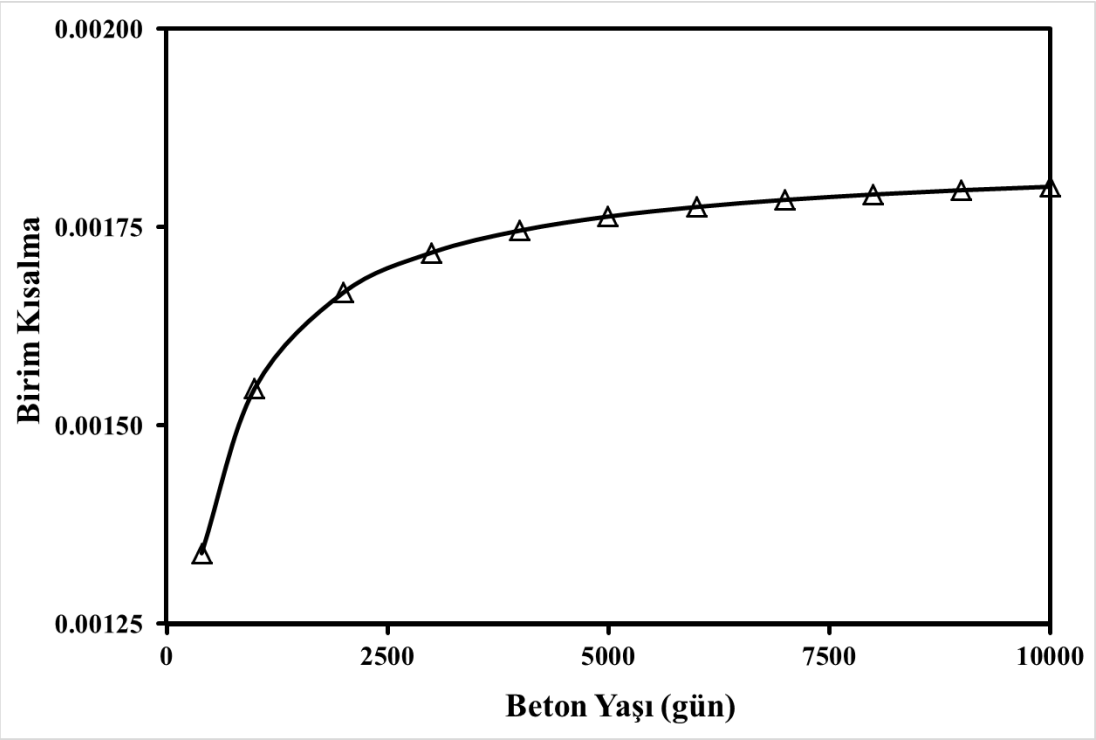
$\gamma_{sh,to}$	$\gamma_{sh,RH}$	$\gamma_{sh,vs}$	$\gamma_{sh,s}$	$\gamma_{c,\Psi}$	$\gamma_{sh,c}$	$\gamma_{sh,\alpha}$	γ_{sh}	ε_{shu}	f (gün)
1	0.686	0.450	1.1476	0.944	1	1	0.336	2.62E-04	499

Akarsın Köprüsü için yukarıda verilen çizelgelerden toplam birim kısalmayı etkileyen değişkenlerin toplu halde gösterilişi Çiz. 4.108 ile verilmiştir.

Çizelge 4.108 : ACI Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar.

t (gün)	σ (MPa)	$J(t,t')$	$J(t,t')\sigma$	$\varepsilon_{sh}(t,t_0)$	$\alpha\Delta T(t)$	$\varepsilon(t)$
10000	16	6.57E-05	1.05E-03	2.50E-04	0.0005	0.00180
9000	16	6.55E-05	1.05E-03	2.48E-04	0.0005	0.00180
8000	16	6.53E-05	1.04E-03	2.47E-04	0.0005	0.00179
7000	16	6.50E-05	1.04E-03	2.45E-04	0.0005	0.00178
6000	16	6.46E-05	1.03E-03	2.42E-04	0.0005	0.00178
5000	16	6.41E-05	1.03E-03	2.38E-04	0.0005	0.00176
4000	16	6.33E-05	1.01E-03	2.33E-04	0.0005	0.00175
3000	16	6.21E-05	9.94E-04	2.24E-04	0.0005	0.00172
2000	16	5.99E-05	9.58E-04	2.09E-04	0.0005	0.00167
1000	16	5.47E-05	8.75E-04	1.72E-04	0.0005	0.00155
400	16	4.56E-05	7.30E-04	1.10E-04	0.0005	0.00134

Akarsın Köprüsü için B3 Modeli'nde zamana bağlı birim kısalmaların 400-10000 günler arasındaki değişimi Şekil 4.19 ile verilmiştir.



Şekil 4.19 : Akarsın için ACI Modeli'nde Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler.

4.5.3 Eurocode 2 Modeline Göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler

Bölüm 4.2'de yapılan açıklama doğrultusunda Akarsın Köprüsü'nün Eurocode 2 Modeli'ne göre incelenişinde kullanılacak temel değişkenler Çiz. 4.109 ile verilmiştir.

Çizelge 4.109 : Akarsın için EC 2 Modeli'nde Temel Değişkenler.

t (gün)	t_0 (gün)	t' (gün)	f_{cm} (MPa)	D (mm)	RH (%)
10000	42	49	40	415	70
9000	42	49	40	415	70
8000	42	49	40	415	70
7000	42	49	40	415	70
6000	42	49	40	415	70
5000	42	49	40	415	70
4000	42	49	40	415	70
3000	42	49	40	415	70
2000	42	49	40	415	70
1000	42	49	40	415	70
400	42	49	40	415	70

Burada t beton yaşı olup, toplam birim kısalma değerleri 400, 1000, 2000-10000 günleri için bulunmuştur. t' betonun öngerilme verildiği andaki yaşı olup köprünün yapım yöntemine göre değişmektedir.

Etkin kesit kalınlığı olarak tanımlanıp (3.20) eşitliğiyle verilen D oranı, köprü enkesitleri değişken olduğundan her parça için farklı bir değer almaktadır. D oranı için değişken enkesitlerin ortalaması olarak B3 Modeli'nde olduğu gibi 415 mm alınmıştır.

Beton yaşına bağlı bir katsayı olan $\beta_{cc}(t)$ değerini veren (3.53) eşitliğinde gerekecek çimento tipine bağlı s katsayısı Akarsın Köprüsü'nde CEM 42.5 N sınıfı çimento kullanıldığı varsayıldığı için 0.35 alınmıştır. Serbest kuruma büzülmesi değeri olup (3.66) eşitliğiyle verilen $\varepsilon_{cd,0}$ büyüklüğünün bulunmasında kullanılan α_{ds1} ile α_{ds2} katsayıları çimento sınıfına bağlı olup EC 2'ye göre, N Sınıfı çimentolar için sırasıyla 4 ile 0.12 alınmıştır.

(3.66) eşitliğindeki f_{cmo} değeri ise yine EC 2'ye göre 10 MPa olarak alınmıştır. Ortamın bağıl nemine bağlı β_{RH} katsayısını veren (3.67) eşitliğindeki RH_0 ortamın mutlak nemini göstermektedir. Bu değer yüzde olarak tanımlanmıştır. (3.67) eşitliği kullanılırken ortamın bağıl nemi $RH_0 = \%\,100$ alınmıştır.

Akarsın Köprüsü için bulunan ilgili sünme ile büzülme değerleri, zamana bağlı değişenlerle değişmeyenler olarak ayrılmıştır. Buna göre, Eurocode 2 Modeli'nde sünme için verilen eşitlikler Çiz.4.110 ile Çiz.4.111'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.110 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri.

t (gün)	$\beta_{cc}(t)$	$f_{cm}(t)$ (MPa)	$E_{cm}(t)$ (GPa)	E_c (GPa)	$\beta_c(t,t^\iota)$	$\phi(t,t^\iota)$	$\varepsilon_{cc}(t,t^\iota)$
10000	1.393	55.72	36.93	38.77	0.975	1.512	6.24E-04
9000	1.392	55.67	36.91	38.76	0.972	1.508	6.23E-04
8000	1.390	55.60	36.90	38.75	0.969	1.503	6.21E-04
7000	1.388	55.52	36.89	38.73	0.965	1.497	6.18E-04
6000	1.386	55.42	36.87	38.71	0.959	1.488	6.15E-04
5000	1.382	55.30	36.84	38.68	0.952	1.477	6.11E-04
4000	1.378	55.12	36.81	38.65	0.941	1.460	6.05E-04
3000	1.372	54.88	36.76	38.59	0.924	1.434	5.95E-04
2000	1.362	54.46	36.67	38.51	0.894	1.387	5.76E-04
1000	1.338	53.53	36.48	38.31	0.821	1.274	5.32E-04
400	1.294	51.74	36.11	37.92	0.686	1.064	4.49E-04

Çizelge 4.111 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri.

α_1	α_2	α_3	ϕ_{RH}	$\beta(f_{cm})$	$\beta(t^\iota)$	ϕ^ι	β_H
0.911	0.974	0.935	1.330	2.656	0.396	1.551	883

Akarsın Köprüsü için EC 2 Modeli'nde büzülme için verilen eşitlikler Çiz.4.112 ile 4.113'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.112 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Büzülme Eşitlikleri.

t (gün)	$\beta_{ds}(t,t_0)$	ε_{cd}	$\beta_{as}(t)$	$\varepsilon_{ca}(t)$	ε_{cs}
10000	0.967	2.39E-04	1.00	7.5E-05	3.14E-04
9000	0.964	2.38E-04	1.00	7.5E-05	3.13E-04
8000	0.959	2.37E-04	1.00	7.5E-05	3.12E-04
7000	0.954	2.36E-04	1.00	7.5E-05	3.11E-04
6000	0.946	2.34E-04	1.00	7.5E-05	3.09E-04
5000	0.936	2.32E-04	1.00	7.5E-05	3.07E-04
4000	0.921	2.28E-04	1.00	7.5E-05	3.03E-04
3000	0.897	2.22E-04	1.00	7.5E-05	2.97E-04
2000	0.853	2.11E-04	1.00	7.5E-05	2.86E-04
1000	0.739	1.83E-04	1.00	7.5E-05	2.58E-04
400	0.514	1.27E-04	0.98	7.4E-05	2.01E-04

Çizelge 4.113 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri.

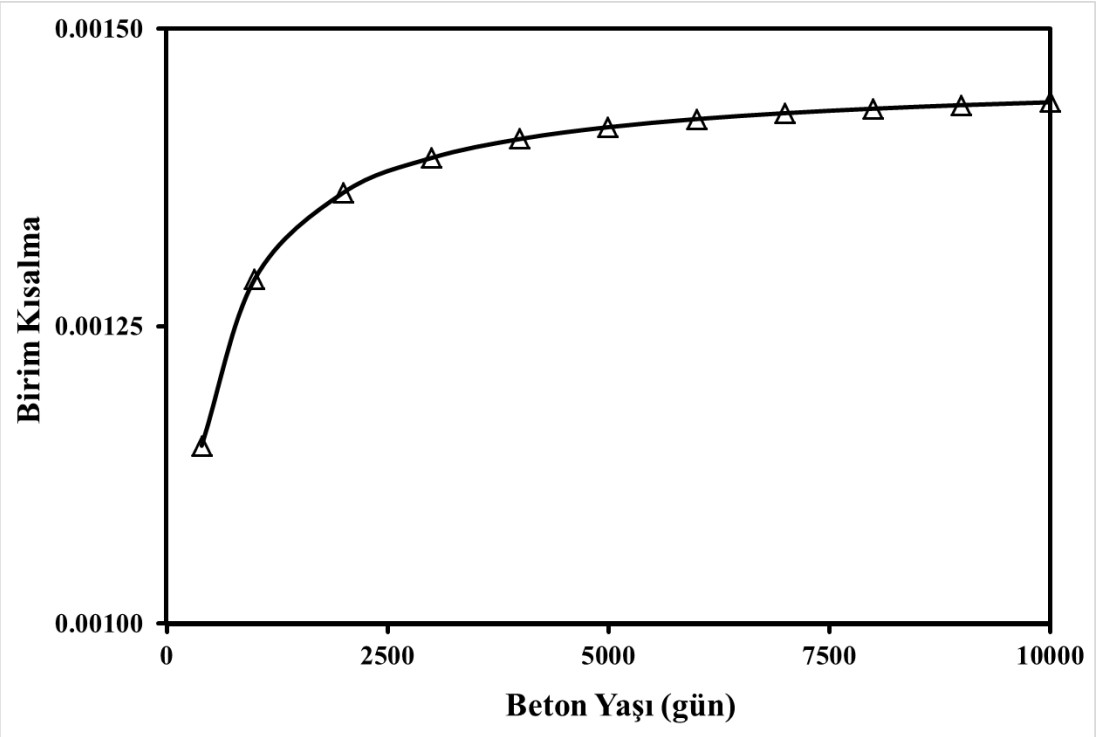
β_{RH}	$\varepsilon_{cd,0}$	k_h	$\varepsilon_{ca}(\infty)$
-1.018	-3.54E-04	0.7	7.50E-05

Akarsın Köprüsü için yukarıda verilen çizelgelerden toplam birim kısalmayı etkileyen değişkenlerin toplu halde gösterilişi Çiz. 4.114 ile verilmiştir.

Çizelge 4.114 : EC 2 Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar.

t (gün)	$\varepsilon_{cc}(t,t')$	$\varepsilon_s(t,t_0)$	$\alpha\Delta T(t)$	$\varepsilon(t)$
10000	6.24E-04	3.14E-04	5.00E-04	0.00144
9000	6.23E-04	3.13E-04	5.00E-04	0.00144
8000	6.21E-04	3.12E-04	5.00E-04	0.00143
7000	6.18E-04	3.11E-04	5.00E-04	0.00143
6000	6.15E-04	3.09E-04	5.00E-04	0.00142
5000	6.11E-04	3.07E-04	5.00E-04	0.00142
4000	6.05E-04	3.03E-04	5.00E-04	0.00141
3000	5.95E-04	2.97E-04	5.00E-04	0.00139
2000	5.76E-04	2.86E-04	5.00E-04	0.00136
1000	5.32E-04	2.58E-04	5.00E-04	0.00129
400	4.49E-04	2.01E-04	5.00E-04	0.00115

Akarsın Köprüsü için Eurocode 2 Modeli'nde zamana bağlı birim kısalmaların 400-10000 günler arasındaki değişimi Şekil 4.20 ile verilmiştir.



Şekil 4.20 : Akarsın için EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar.

4.5.4 TS 3233 Modeline Göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler

TS 3233 Modeli'ne göre zamana bağlı yer değiştirmeler, Bölüm 3.7'de verilen eşitlikler yardımıyla bulunacaktır. Akarsın Köprüsü'nün TS 3233 Modeli'ne göre incelenişinde kullanılacak temel değişkenler Çiz.4.115'te görülebilir.

Çizelge 4.115 : Akarsın için TS 3233 Modeli'nde Temel Değişkenler.

t (gün)	t_0 (gün)	t' (gün)	f_c (MPa)	D (mm)	Nem (%)
1000	42	49	40	415	70
800	42	49	40	415	70
400	42	49	40	415	70
200	42	49	40	415	70
100	42	49	40	415	70

Burada t beton yaşı olup, toplam birim kısalma değerleri 100-1000 günleri için bulunmuştur. t' betonun öngerilme verildiği andaki yaşı olup köprünün yapım yöntemine göre değişmektedir.

Çiz 4.115'te f_c betonun 28 günlük basınç dayanımını göstermektedir. Etkin kesit kalınlığı olarak tanımlanıp (3.20) eşitliğiyle verilen D oranı, köprü enkesitleri

değişken olduğundan her parça için farklı bir değer almaktadır. D oranı için değişken enkesitlerin ortalaması olarak B3 Modeli'nde olduğu gibi 415 mm alınmıştır.

TS 3233 Modeli'nde, diğer modellerde olduğu gibi sünme ile büzülme eşitliklerinden bazıları zamanla değişmekte bazılarıysa sabit kalmaktadır. Akarsın Köprüsü için bulunan ilgili değerler, TS 3233 Modeli için de zamana bağlı değişenlerle değişmeyenler olarak ayrılmıştır. Buna göre, TS 3233 Modeli'nde sünme için verilen eşitliklerinden zamana bağlı olarak değişenler Çiz.4.116 ile değişmeyenler ise Çiz.4.117 ile verilmiştir.

Çizelge 4.116 : TS 3233 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri.

t (gün)	β_∞	$\beta_f(t)-\beta_f(t^\iota)$	ϕ_c	ε_{co} (E-04)
1000	0.98	0.73	2.32	12.4
800	0.97	0.72	2.29	12.2
400	0.89	0.58	1.89	10.1
200	0.73	0.47	1.53	8.19
100	0.57	0.37	1.20	6.44

Çizelge 4.117 : TS 3233 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri.

ϕ_d	ϕ_{f1}	λ	h_{th}(cm)	ϕ_{f2}
0.4	2.00	1.50	62.25	1.32

Çiz 4.117'de verilen zamana bağlı değişmeyen sünme eşitliklerinin yanında (3.71) eşitliğiyle verilen ε_{co} sünmeden kaynaklanan yer değiştirmeyi bulurken kullanılacak, σ_{co} betonun üzerindeki sabit gerilme değeri 16 MPa, E_{c28} betonun 28 günlük elastisite modülü ise 29.94 GPa alınmıştır.

TS 3233 Modeli'nde büzülme için verilen eşitlikler de sünme için olduğu gibi zamana bağlı olarak değişenler ile değişmeyenler olarak ayrılmıştır. Bu eşitler sırasıyla Çiz.4.118 ile Çiz.4.119'da verilmiştir.

Çizelge 4.118 : TS 3233 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Büzülme Eşitlikleri.

t (gün)	$\beta_s(t)-\beta_s(t^\iota)$	ε_{cs} (E-05)
1000	0.53	9.81
800	0.47	8.70
400	0.30	5.55
200	0.19	3.52
100	0.10	1.85

Çizelge 4.119 : TS 3233 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri.

ε_{s1}	ε_{s2}
0.00025	0.74

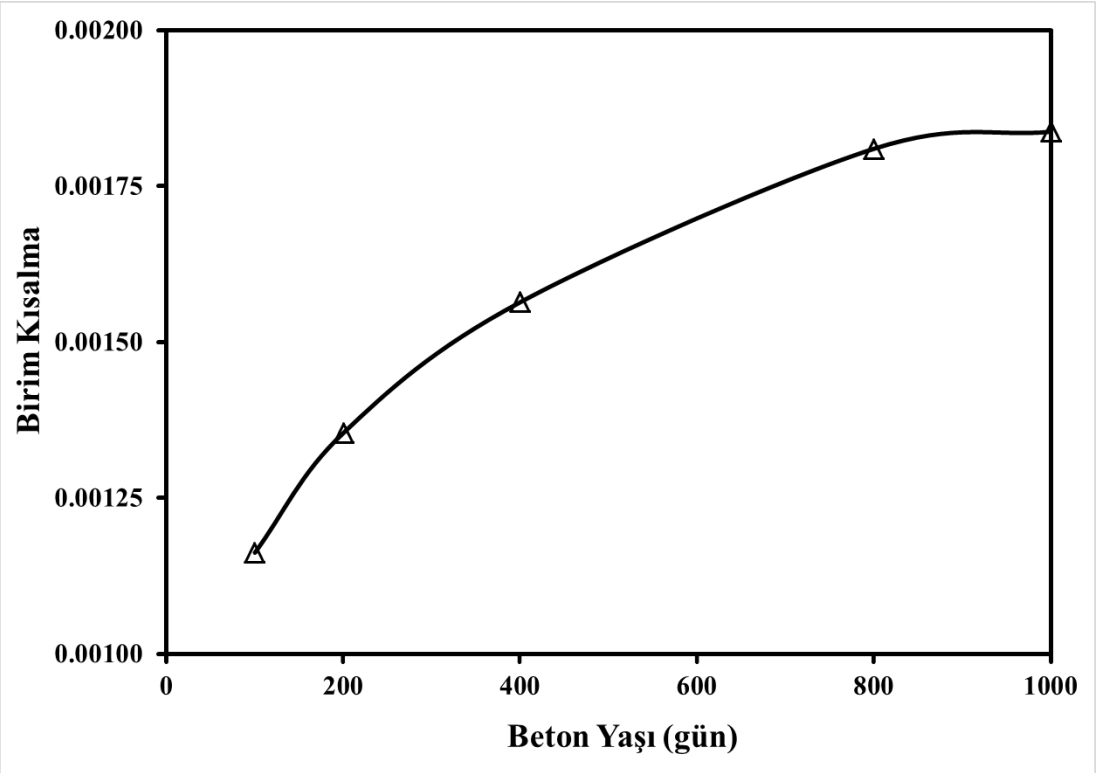
Çiz. 4.115-4.119 ile verilen, Bölüm 3.7'de tanımlanmış olan bu büyüklükler Şehzadeler Viyadüğü için Bölüm 3.8'da yapıldığı gibi göz önüne alınarak Akarsın Köprüsü için de kullanılmıştır.

Akarsın Köprüsü için yukarıda verilen çizelgelerden toplam birim kısalmayı etkileyen değişkenlerin toplu halde gösterilişi Çiz. 4.120 ile verilmiştir.

Çizelge 4.120 : TS 3233 Modeli'nde 1000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar.

t (gün)	$\varepsilon_{co}(t,t')$	$\varepsilon_{cs}(t,t')$	$\alpha\Delta T(t)$	$\varepsilon(t)$
1000	1.24E-03	9.81E-05	0.0005	0.00184
800	1.22E-03	8.70E-05	0.0005	0.00181
400	1.01E-03	5.55E-05	0.0005	0.00156
200	8.19E-04	3.52E-05	0.0005	0.00135
100	6.44E-04	1.85E-05	0.0005	0.00116

Akarsın Köprüsü için TS 3233 Modeli'nde zamana bağlı birim kısalmaların 100-1000 günler arasındaki değişimi Şekil 4.21 ile verilmiştir.



Şekil 4.21 : Akarsın için TS3233 Modeli'nde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar.

4.6 İmrahor Köprüsü'nde Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler

Bu bölümde, Bölüm 4.1-5'te diğer köprüler için elde edilip çizelgeler halinde verilen sünme ile büzülme büyüklükleri İmrahor Köprüsü için de B3 Modeli, ACI 209R-92 Modeli, EC 2 Modeli ile TS 3233 Modeli kullanılarak elde edilecektir. İmrahor Köprüsü için, kullanılan farklı modellerin Bölüm 3'te açıkça gösterilen işlem adımları tekrar edilmeyecektir. Kömürhan Köprüsü için Çiz 4.1-4.18 aracılığıyla verilen sünme ile büzülme büyükleri için gerekli açıklama bir önceki bölümde yapılmıştır. İmrahor Köprüsü için de aynı yaklaşımlar kullanılacağından ek açıklamaya ihtiyaç duyulmamaktadır. Çizelgeler harici verilen ek büyüklükler ise gerek duyulunca açıklanacaktır.

4.6.1 B3 Modele Göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler

Bölüm 4.6'da yapılan açıklama doğrultusunda İmrahor Köprüsü'nün B3 Modele göre incelenişinde kullanılacak temel değişkenler Çiz. 4.121 ile verilmiştir.

Çizelge 4.121 : İmrahor için B3 Modeli'nde Temel Değişkenler.

t (gün)	t_0 (gün)	t' (gün)	f_c (MPa)	w (kg)	a (kg)	c (kg)
10000	49	56	35	200	1800	360
9000	49	56	35	200	1800	360
8000	49	56	35	200	1800	360
7000	49	56	35	200	1800	360
6000	49	56	35	200	1800	360
5000	49	56	35	200	1800	360
4000	49	56	35	200	1800	360
3000	49	56	35	200	1800	360
2000	49	56	35	200	1800	360
1000	49	56	35	200	1800	360
400	49	56	35	200	1800	360

Burada t beton yaşı olup, toplam birim kısalma değerleri 400, 1000, 2000-10000 günleri için bulunmuştur. t' betonun öngerilme verildiği andaki yaşı olup köprünün yapım yöntemine göre değişmektedir. İmrahor Köprüsü de dengeli konsol yöntemiyle yapıldığı için, her parçanın dayanım kazanma zamanı olarak 7 gün varsayılmıştır. Her bir parçanın 7 günlük döküm süresi, parça sayısıyla çarpılarak bulunan toplam günün, üretilen parça sayısına bölünmesiyle, yani aritmetik ortalaması alınarak bulunmuştur.

Betonun kurumaya başladığı andaki yaşı, t_0 beton döküldükten 1 gün sonra betonun sertleşmeye başladığı varsayımı ile alınmıştır. Buna göre, Gülburnu Köprüsü için hesap yapılacak büyük açıklık konsolu 13 parçadan oluştuğundan, kurumanın başladığı zaman olan $t_0 = 49$ gün, yüklenmenin başlandığı zaman olan ise $t' = 56$ gün olarak, ortalama değerleriyle alınmıştır. Bu değer ACI 209R-92 ile Eurocode 2 Modelleri için de aynı biçimde kullanılmıştır.

Etkin kesit kalınlığı olarak tanımlanıp (3.20) eşitliğiyle verilen D oranı, köprü enkesitleri değişken olduğundan her parça için farklı bir değer almaktadır. D oranı için değişken enkesitlerin ortalaması olarak $D = 382$ mm alınmıştır.

İmrahor Köprüsü için Bölüm 3'teki ilgili çizelgeler kullanılarak elde edilen sabit büyüklükler Çiz.4.122'de gösterilmiştir. Bu çizelgedeki büyüklüklerin açıklaması Bölüm 4.1'de yapılmıştır.

Çizelge 4.122 : B3 Modeli için İlgili Çizelgelerden Alınan Değerler.

α_1	α_2	k_s	k_h
1	1.2	1.25	0.834

İmrahor Köprüsü için bulunan ilgili sünme ile büzülme değerleri, zamana bağlı değişenlerle değişmeyenler olarak ayrılmıştır. Buna göre, B3 Modeli'nde sünme için verilen eşitlikler Çiz.4.123 ile Çiz.4.124'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.123 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri.

t (gün)	$Z(t,t')$	$Q(t,t')$	$C_0(t,t')$ (E-05)	$C_d(t,t',t_0)$ (E-05)	$J(t,t')$ (E-05)
10000	0.168	0.133	5.82	3.09	11.1
9000	0.167	0.133	5.75	2.99	10.9
8000	0.166	0.133	5.66	2.87	10.7
7000	0.164	0.133	5.57	2.73	10.4
6000	0.163	0.133	5.46	2.57	10.2
5000	0.161	0.133	5.34	2.38	9.85
4000	0.159	0.132	5.18	2.15	9.47
3000	0.156	0.132	4.98	1.89	9.01
2000	0.153	0.131	4.69	1.56	8.39
1000	0.146	0.130	4.20	1.13	7.47
400	0.137	0.127	3.52	0.74	6.41

Çizelge 4.124 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri.

t (gün)	q_1 (E-05)	q_2 (E-04)	q_3 (E-06)	q_4 (E-06)	$r(t')$	$Q_f(t')$
400-10000	2.14	1.43	3.96	6.58	10.76	0.134

İmrahor Köprüsü için B3 Modeli'nde büzülme için verilen eşitlikler Çiz.4.125 ile Çiz.4.126'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.125 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Büzülme Eşitlikleri.

t (gün)	$S(t)$	$H(t)$	$\varepsilon_{sh}(t,t_0)$ (E-04)
10000	0.863	0.612	-6.43
9000	0.845	0.620	-6.29
8000	0.823	0.630	-6.13
7000	0.797	0.641	-5.94
6000	0.765	0.656	-5.70
5000	0.726	0.673	-5.41
4000	0.676	0.696	-5.04
3000	0.611	0.725	-4.55
2000	0.521	0.766	-3.88
1000	0.382	0.828	-2.84
400	0.238	0.893	-1.77

Çizelge 4.126 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri.

q_5 (E-04)	$S(t')$	$H(t')$	$\varepsilon_{s\infty}$ (E+02)	E_{28} (GPa)	$E(t_0+\tau_{sh})$ (GPa)	k_t	τ_{sh} (gün)	$\varepsilon_{sh}(\infty)$ (E-04)
3.67	0.035	0.984	8.96	28.00	30.37	2.56	5836	8.93

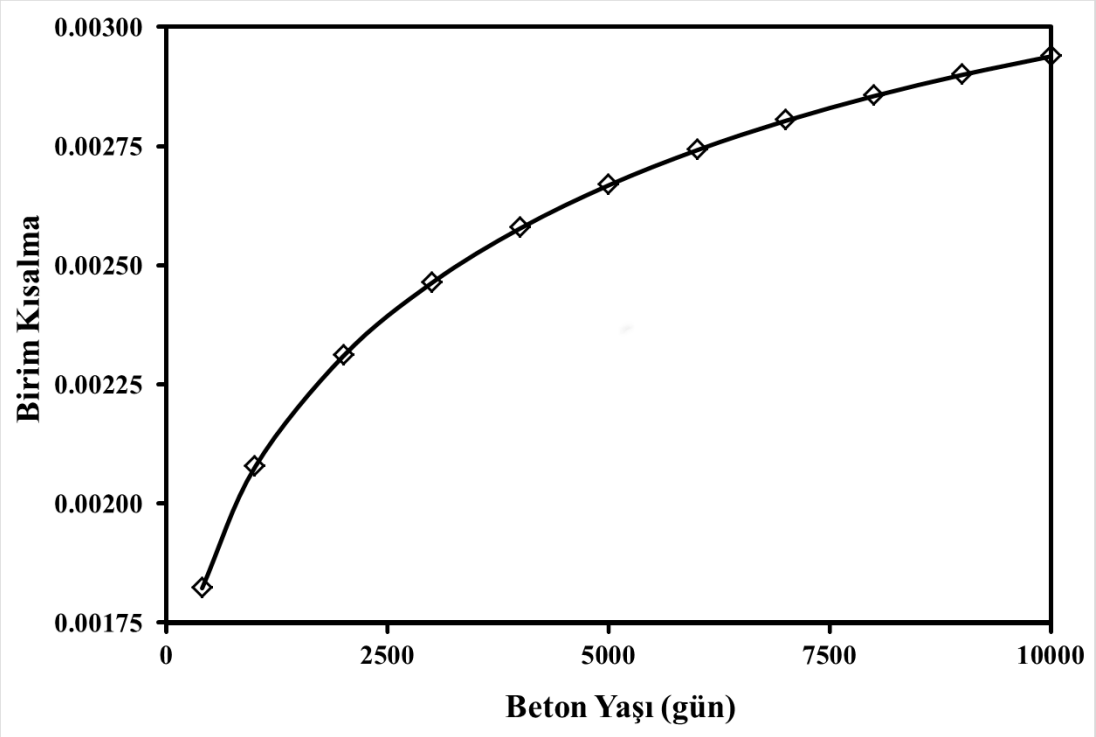
Çiz.4.126 ile verilen zamana bağlı değişmeyen büzülme eşitliklerinden olan $E(607)$ değeri de (3.22) eşitliğiyle bulunmakta olup 400-10000 gün arasında sabittir. Bu değer 30.26 GPa'dır.

İmrahor Köprüsü için yukarıda verilen çizelgelerden toplam birim kısalmayı etkileyen değişkenlerin toplu halde gösterilişi Çiz.4.127 ile verilmiştir.

Çizelge 4.127 : B3 Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar.

t (gün)	σ (MPa)	$J(t,t')$	$J(t,t')\sigma$	$\varepsilon_{sh}(t,t_0)$	$\alpha\Delta T(t)$	$\varepsilon(t)$
10000	14	1.11E-04	1.55E-03	-6.43E-04	0.00075	0.00294
9000	14	1.09E-04	1.52E-03	-6.29E-04	0.00075	0.00290
8000	14	1.07E-04	1.49E-03	-6.13E-04	0.00075	0.00286
7000	14	1.04E-04	1.46E-03	-5.94E-04	0.00075	0.00281
6000	14	1.02E-04	1.42E-03	-5.70E-04	0.00075	0.00274
5000	14	9.85E-05	1.38E-03	-5.41E-04	0.00075	0.00267
4000	14	9.47E-05	1.33E-03	-5.04E-04	0.00075	0.00258
3000	14	9.01E-05	1.26E-03	-4.55E-04	0.00075	0.00247
2000	14	8.39E-05	1.17E-03	-3.88E-04	0.00075	0.00231
1000	14	7.47E-05	1.05E-03	-2.84E-04	0.00075	0.00208
400	14	6.41E-05	8.97E-04	-1.77E-04	0.00075	0.00182

İmrahor Köprüsü için B3 Modeli'nde zamana bağlı birim kısalmaların 400-10000 günler arasındaki değişimi Şekil 4.22 ile verilmiştir.



Şekil 4.22 : İmrahor için B3 Model'de Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler.

4.6.2 ACI 209R-92 Modeline Göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler

Bölüm 4.6.1'de yapılan açıklama doğrultusunda İmrahor Köprüsü'nün ACI 209R-92 Modele göre incelenişinde kullanılacak temel değişkenler Çiz. 4.128 ile verilmiştir

Çizelge 4.128 : İmrahor için ACI 209R-92 Modeli'nde Temel Değişkenler.

t (gün)	t_0 (gün)	t' (gün)	$f_{cmt'}$ (MPa)	s (mm)	Ψ (%)	c (kg)	h (%)	V/S (mm)
10000	49	56	37.98	160	46	360	55	191
9000	49	56	37.98	160	46	360	55	191
8000	49	56	37.98	160	46	360	55	191
7000	49	56	37.98	160	46	360	55	191
6000	49	56	37.98	160	46	360	55	191
5000	49	56	37.98	160	46	360	55	191
4000	49	56	37.98	160	46	360	55	191
3000	49	56	37.98	160	46	360	55	191
2000	49	56	37.98	160	46	360	55	191
1000	49	56	37.98	160	46	360	55	191
400	49	56	37.98	160	46	360	55	191

Toplam düzeltme çarpanını veren (3.30) eşitliğindeki kür katsayısını gösteren $\gamma_{sh,to}$ değeri, Çiz. 3.8'den 7 günlük kür durumu için 1 alınacaktır. Betonun yüklendiği andaki ortalama basınç dayanımı olan $f_{cmt^{\iota}}$ değeri bulunurken kullanılacak (3.40) eşitliği için a ile b değerleri ise CEM I çimento tipi için 4 ile 0.85 alınacaktır.

İmrahor Köprüsü için bulunan ilgili sünme ile büzülme değerleri, zamana bağlı değişenlerle değişmeyenler olarak ayrılmıştır. Buna göre, ACI 209R-92 Modeli'nde sünme için verilen eşitlikler Çiz.4.129 ile Çiz.4.130'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.129 : ACI 209R-92 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri.

t (gün)	$\phi(t,t^{\iota})$	$J(t,t')$
10000	1.325	7.46E-05
9000	1.319	7.44E-05
8000	1.312	7.42E-05
7000	1.304	7.39E-05
6000	1.292	7.36E-05
5000	1.276	7.30E-05
4000	1.253	7.23E-05
3000	1.215	7.11E-05
2000	1.146	6.89E-05
1000	0.973	6.33E-05
400	0.644	5.28E-05

Çizelge 4.130 : ACI 209R-92 Modeli'nde Zamanla Değişmeyen Sünme Eşitlikleri.

$\gamma_{c,t^{\iota}}$	$\gamma_{c,RH}$	$\gamma_{c,vs}$	$\gamma_{c,s}$	$\gamma_{c,\Psi}$	$\gamma_{c,\alpha}$	γ_c	ϕ_u	d (gün)
0.777	0.902	0.680	1.242	0.990	1	0.586	1.38	392

Çiz 4.130 ile verilen zamana bağlı değişmeyen bu büyüklüklerden başka (3.39) eşitliğiyle verilen betonun yüklenmeye başladığı t^{ι} zamanındaki elastisite modülü olan $E_{cmt^{\iota}}$ değeri de 400-10000 gün arasında sabittir. Bu değer 31.16 GPa'dır.

ACI 209R-92 Modeli'nde büzülme için verilen eşitliklerden yalnızca (3.26) eşitliğiyle verilen toplam büzülme şekil değiştirmesi $\varepsilon_{sh}(t,t_0)$ zamana bağlı olarak değişmektedir. Bu yüzden, $\varepsilon_{sh}(t,t_0)$ toplam birim kısalmayı etkileyen değişkenler içinde verilecektir. İmrahor Köprüsü için ACI 209R-92 Modeli'nde büzülme için verilen eşitlikler Çiz.4.131 ile gösterilmiştir.

Çizelge 4.131 : ACI 209R-92 Modeli'nde Zamanla Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri.

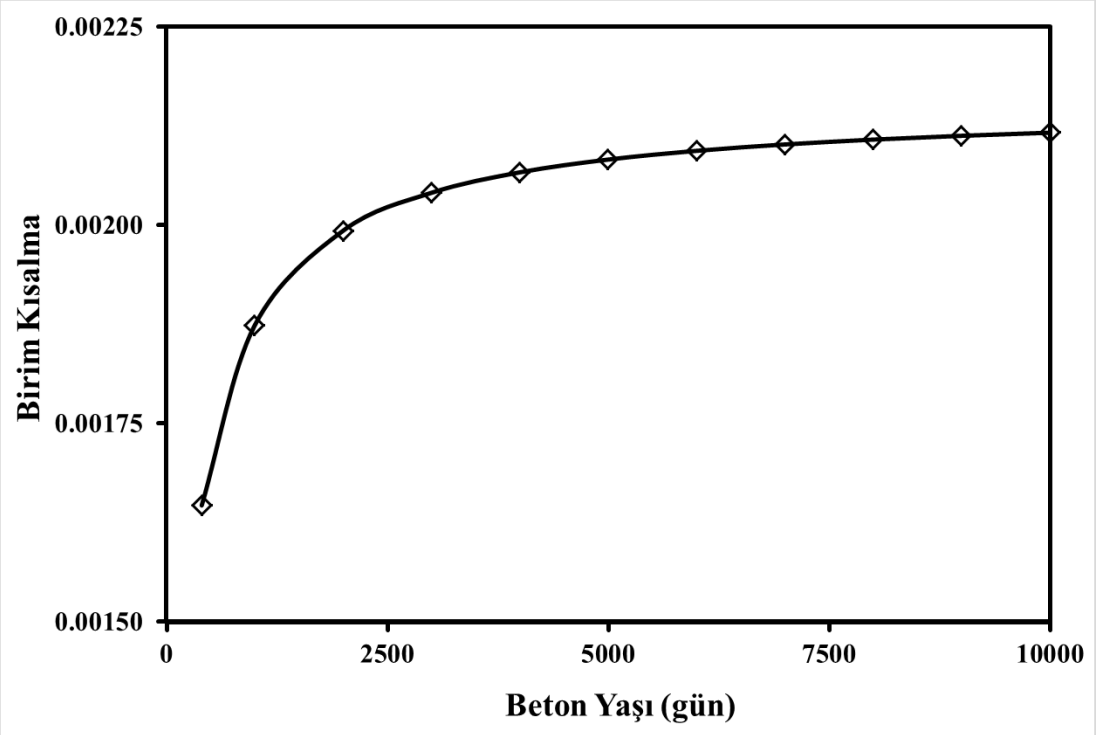
$\gamma_{sh,to}$	$\gamma_{sh,RH}$	$\gamma_{sh,vs}$	$\gamma_{sh,s}$	$\gamma_{c,\Psi}$	$\gamma_{sh,c}$	$\gamma_{sh,\alpha}$	γ_{sh}	ε_{shu}	f (gün)
1	0.839	0.487	1.1476	0.944	0.970	1	0.429	3.35E-04	392

İmrahor Köprüsü için yukarıda verilen çizelgelerden toplam birim kısalmayı etkileyen değişkenlerin toplu halde gösterilişi Çiz. 4.132 ile verilmiştir.

Çizelge 4.132 : ACI Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar.

t (gün)	σ (MPa)	$J(t,t')$	$J(t,t')\sigma$	$\varepsilon_{sh}(t,t_0)$	$\alpha\Delta T(t)$	$\varepsilon(t)$
10000	14	7.46E-05	1.04E-03	3.22E-04	0.00075	0.00212
9000	14	7.44E-05	1.04E-03	3.21E-04	0.00075	0.00211
8000	14	7.42E-05	1.04E-03	3.19E-04	0.00075	0.00211
7000	14	7.39E-05	1.03E-03	3.17E-04	0.00075	0.00210
6000	14	7.36E-05	1.03E-03	3.14E-04	0.00075	0.00209
5000	14	7.30E-05	1.02E-03	3.10E-04	0.00075	0.00208
4000	14	7.23E-05	1.01E-03	3.05E-04	0.00075	0.00207
3000	14	7.11E-05	9.95E-04	2.96E-04	0.00075	0.00204
2000	14	6.89E-05	9.64E-04	2.79E-04	0.00075	0.00199
1000	14	6.33E-05	8.87E-04	2.37E-04	0.00075	0.00187
400	14	5.28E-05	7.39E-04	1.58E-04	0.00075	0.00165

İmrahor Köprüsü için B3 Modeli'nde zamana bağlı birim kısalmaların 400-10000 günler arasındaki değişimi Şekil 4.23 ile verilmiştir.



Şekil 4.23 : İmrahor için ACI Modeli'nde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar.

4.6.3 Eurocode 2 Modeline Göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler

Bölüm 4.6'da yapılan açıklama doğrultusunda İmrahor Köprüsü'nün Eurocode 2 Modeli'ne göre incelenişinde kullanılacak temel değişkenler Çiz. 4.133 ile verilmiştir

Çizelge 4.133 : İmrahor için EC 2 Modeli'nde Temel Değişkenler.

t (gün)	t_0 (gün)	t' (gün)	f_{cm} (MPa)	D (mm)	RH (%)
10000	49	56	35	382	55
9000	49	56	35	382	55
8000	49	56	35	382	55
7000	49	56	35	382	55
6000	49	56	35	382	55
5000	49	56	35	382	55
4000	49	56	35	382	55
3000	49	56	35	382	55
2000	49	56	35	382	55
1000	49	56	35	382	55
400	49	56	35	382	55

Burada t beton yaşı olup, toplam birim kısalma değerleri 400, 1000, 2000-10000 günleri için bulunmuştur. t' betonun öngerilme verildiği andaki yaşı olup köprünün yapım yöntemine göre değişmektedir.

Etkin kesit kalınlığı olarak tanımlanıp (3.20) eşitliğiyle verilen D oranı, köprü enkesitleri değişken olduğundan her parça için farklı bir değer almaktadır. D oranı için değişken enkesitlerin ortalaması olarak B3 Modeli'nde olduğu gibi 382 mm alınmıştır.

Beton yaşına bağlı bir katsayı olan $\beta_{cc}(t)$ değerini veren (3.53) eşitliğinde gerekecek çimento tipine bağlı s katsayısı İmrahor Köprüsü'nde CEM 42.5 N sınıfı çimento kullanıldığı varsayıldığı için 0.35 alınmıştır. Serbest kuruma büzülmesi değeri olup (3.66) eşitliğiyle verilen $\varepsilon_{cd,0}$ büyüklüğünün bulunmasında kullanılan α_{ds1} ile α_{ds2} katsayıları çimento sınıfına bağlı olup EC 2'ye göre, N Sınıfı çimentolar için sırasıyla 4 ile 0.12 alınmıştır.

(3.67) eşitliğindeki f_{cmo} değeri ise yine EC 2'ye göre 10 MPa olarak alınmıştır. Ortamın bağıl nemine bağlı β_{RH} katsayısını veren (3.67) eşitliğindeki RH_0 ortamın mutlak nemini göstermektedir. Bu değer yüzde olarak tanımlanmıştır. (3.68) eşitliği kullanılırken ortamın mutlak nemi $RH_0 = \%\,100$ alınmıştır.

İmrahor Köprüsü için bulunan ilgili sünme ile büzülme değerleri, zamana bağlı değişenlerle değişmeyenler olarak ayrılmıştır. Buna göre, Eurocode 2 Modeli'nde sünme için verilen eşitlikler Çiz.4.134 ile Çiz.4.135'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.134 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri.

t (gün)	$\beta_{cc}(t)$	$f_{cm}(t)$ (MPa)	$E_{cm}(t)$ (GPa)	E_c (GPa)	$\beta_c(t,t^\iota)$	$\phi(t,t^\iota)$	$\varepsilon_{cc}(t,t^\iota)$
10000	1.393	48.76	36.93	38.77	0.976	1.922	6.94E-04
9000	1.392	48.71	36.91	38.76	0.974	1.918	6.93E-04
8000	1.390	48.65	36.90	38.75	0.971	1.911	6.91E-04
7000	1.388	48.58	36.89	38.73	0.967	1.904	6.88E-04
6000	1.386	48.49	36.87	38.71	0.962	1.894	6.85E-04
5000	1.382	48.38	36.84	38.68	0.955	1.880	6.80E-04
4000	1.378	48.23	36.81	38.65	0.945	1.860	6.74E-04
3000	1.372	48.02	36.76	38.59	0.929	1.828	6.63E-04
2000	1.362	47.65	36.67	38.51	0.899	1.771	6.44E-04
1000	1.338	46.84	36.48	38.31	0.829	1.631	5.96E-04
400	1.294	45.27	36.11	37.92	0.693	1.365	5.04E-04

Çizelge 4.135 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri.

α_1	α_2	α_3	ϕ_{RH}	$\beta(f_{cm})$	$\beta(t^\iota)$	ϕ^ι	β_H
1	1	1	1.620	2.840	0.428	1.967	823

İmrahor Köprüsü için B3 Modeli'nde büzülme için verilen eşitlikler Çiz.4.136 ile 4.137'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.136 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Büzülme Eşitlikleri.

t (gün)	$\beta_{ds}(t,t_0)$	ε_{cd}	$\beta_{as}(t)$	$\varepsilon_{ca}(t)$	ε_{cs}
10000	0.971	3.24E-04	1.00	6.25E-05	3.86E-04
9000	0.968	3.23E-04	1.00	6.25E-05	3.85E-04
8000	0.964	3.21E-04	1.00	6.25E-05	3.84E-04
7000	0.959	3.20E-04	1.00	6.25E-05	3.82E-04
6000	0.952	3.17E-04	1.00	6.25E-05	3.80E-04
5000	0.943	3.14E-04	1.00	6.25E-05	3.77E-04
4000	0.930	3.10E-04	1.00	6.25E-05	3.72E-04
3000	0.908	3.03E-04	1.00	6.25E-05	3.65E-04
2000	0.867	2.89E-04	1.00	6.25E-05	3.52E-04
1000	0.761	2.54E-04	1.00	6.24E-05	3.16E-04
400	0.540	1.80E-04	0.98	6.14E-05	2.41E-04

Çizelge 4.137 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri.

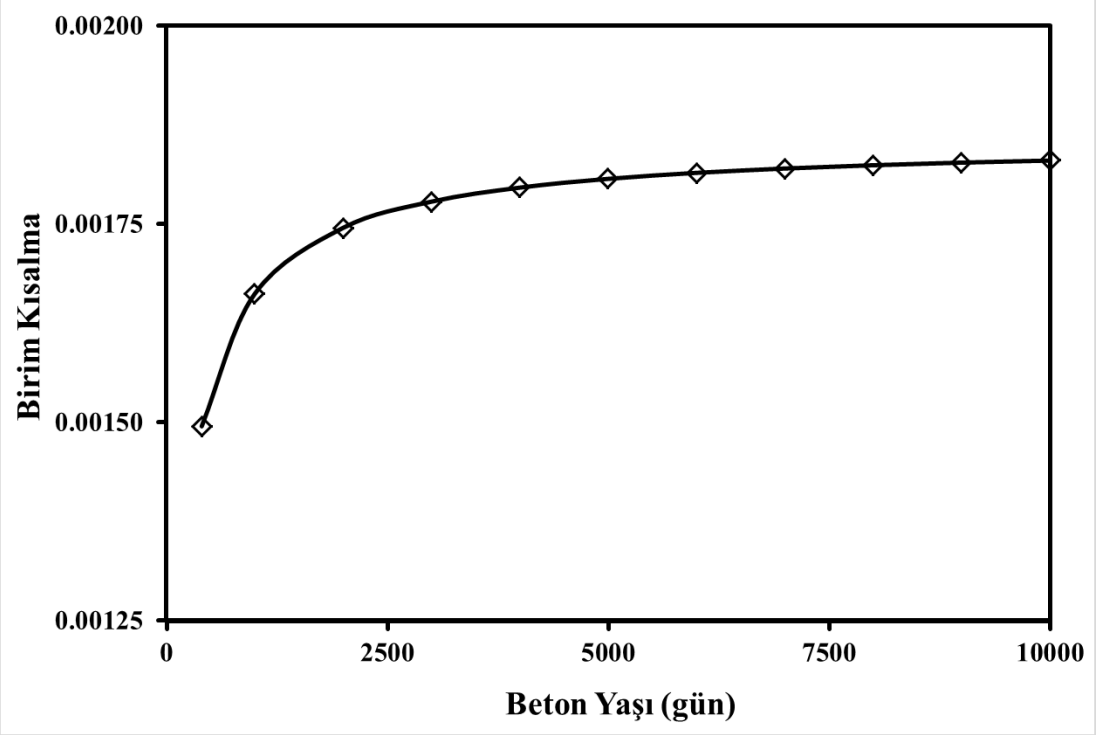
β_{RH}	$\varepsilon_{cd,0}$	k_h	$\varepsilon_{ca}(\infty)$
-1.292	-4.76E-04	0.7	6.25E-05

İmrahor Köprüsü için yukarıda verilen çizelgelerden toplam birim kısalmayı etkileyen değişkenlerin toplu halde gösterilişi Çiz. 4.138 ile verilmiştir.

Çizelge 4.138 : EC 2 Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar.

t (gün)	$\varepsilon_{cc}(t,t')$	$\varepsilon_s(t,t_0)$	$\alpha\Delta T(t)$	$\varepsilon(t)$
10000	6.94E-04	3.86E-04	7.50E-04	0.00183
9000	6.93E-04	3.85E-04	7.50E-04	0.00183
8000	6.91E-04	3.84E-04	7.50E-04	0.00182
7000	6.88E-04	3.82E-04	7.50E-04	0.00182
6000	6.85E-04	3.80E-04	7.50E-04	0.00181
5000	6.80E-04	3.77E-04	7.50E-04	0.00181
4000	6.74E-04	3.72E-04	7.50E-04	0.00180
3000	6.63E-04	3.65E-04	7.50E-04	0.00178
2000	6.44E-04	3.52E-04	7.50E-04	0.00175
1000	5.96E-04	3.16E-04	7.50E-04	0.00166
400	5.04E-04	2.41E-04	7.50E-04	0.00150

İmrahor Köprüsü için Eurocode 2 Modeli'nde zamana bağlı birim kısalmaların 400-10000 günler arasındaki değişimi Şekil 4.24 ile verilmiştir.



Şekil 4.24 : İmrahor için EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar..

4.6.4 TS 3233 Modeline Göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler

TS 3233 Modeli'ne göre zamana bağlı yer değiştirmeler, Bölüm 3.7'de verilen eşitlikler yardımıyla bulunacaktır. İmrahor Köprüsü'nün TS 3233 Modeli'ne göre incelenişinde kullanılacak temel değişkenler Çiz.4.139'da görülebilir.

Çizelge 4.139 : İmrahor için TS 3233 Modeli'nde Temel Değişkenler.

t (gün)	t_0 (gün)	t' (gün)	f_c (MPa)	D (mm)	Nem (%)
1000	49	56	35	382	55
800	49	56	35	382	55
400	49	56	35	382	55
200	49	56	35	382	55
100	49	56	35	382	55

Burada t beton yaşı olup, toplam birim kısalma değerleri 100-1000 günleri için bulunmuştur. t' betonun öngerilme verildiği andaki yaşı olup köprünün yapım yöntemine göre değişmektedir.

Çiz 4.139'da f_c betonun 28 günlük basınç dayanımını göstermektedir. Etkin kesit kalınlığı olarak tanımlanıp (3.20) eşitliğiyle verilen D oranı, köprü enkesitleri değişken olduğundan her parça için farklı bir değer almaktadır. D oranı için değişken enkesitlerin ortalaması olarak B3 Modeli'nde olduğu gibi 382 mm alınmıştır.

TS 3233 Modeli'nde, diğer modellerde olduğu gibi sünme ile büzülme eşitliklerinden bazıları zamanla değişmekte bazılarıysa sabit kalmaktadır. İmrahor Köprüsü için bulunan ilgili değerler, TS 3233 Modeli için de zamana bağlı değişenlerle değişmeyenler olarak ayrılmıştır. Buna göre, TS 3233 Modeli'nde sünme için verilen eşitliklerinden zamana bağlı olarak değişenler Çiz.4.140 ile değişmeyenler ise Çiz.4.141 ile verilmiştir.

Çizelge 4.140 : TS 3233 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri.

t (gün)	β_∞	$\beta_f(t) - \beta_f(t^\iota)$	ϕ_c	ε_{co} (E-04)
1000	0.98	0.77	3.03	15.1
800	0.97	0.75	2.96	14.8
400	0.88	0.62	2.48	12.4
200	0.72	0.49	1.97	9.83
100	0.55	0.37	1.49	7.43

Çizelge 4.141 : TS 3233 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri.

ϕ_d	ϕ_{f1}	λ	h_{th}(cm)	ϕ_{f2}
0.4	2.50	1.25	47.75	1.37

Çiz 4.141'de verilen zamana bağlı değişmeyen sünme eşitliklerinin yanında (3.71) eşitliğiyle verilen ε_{co} sünmeden kaynaklanan yer değiştirmeyi bulurken kullanılacak, σ_{co} betonun üzerindeki sabit gerilme değeri 14 MPa, E_{c28} betonun 28 günlük elastisite modülü ise 28 GPa alınmıştır.

TS 3233 Modeli'nde büzülme için verilen eşitlikler de sünme için olduğu gibi zamana bağlı olarak değişenler ile değişmeyenler olarak ayrılmıştır. Bu eşitler sırasıyla Çiz.4.142 ile Çiz.4.143'te verilmiştir.

Çizelge 4.142 : TS 3233 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Büzülme Eşitlikleri.

t (gün)	$\beta_s(t) - \beta_s(t^\iota)$	ε_{cs} (E-05)
1000	0.61	15.5
800	0.55	13.9
400	0.38	9.63
200	0.24	6.08
100	0.12	3.04

Çizelge 4.143 : TS 3233 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri.

ε_{s1}	ε_{s2}
0.00033	0.78

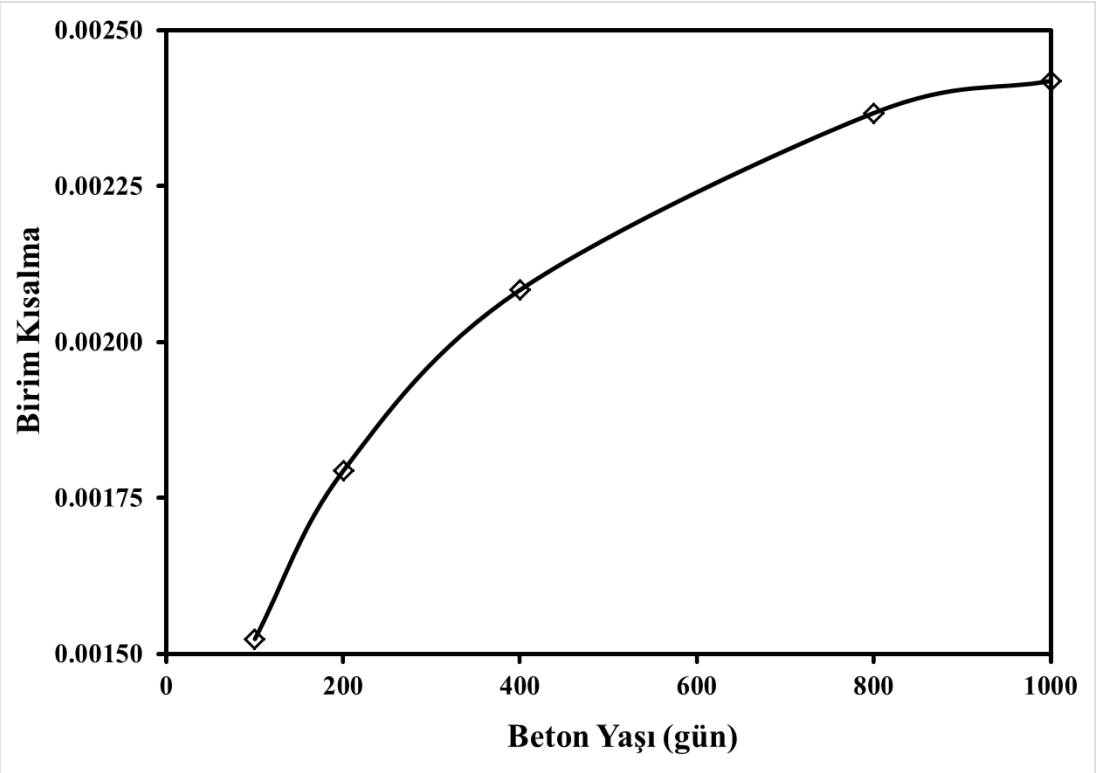
Çiz. 4.139-4.143 ile verilen, Bölüm 3.7'de tanımlanmış olan bu büyüklükler Şehzadeler Viyadüğü için Bölüm 3.8'da yapıldığı gibi göz önüne alınarak İmrahor Köprüsü için de kullanılmıştır.

İmrahor Köprüsü için yukarıda verilen çizelgelerden toplam birim kısalmayı etkileyen değişkenlerin toplu halde gösterilişi Çiz. 4.144 ile verilmiştir.

Çizelge 4.144 : TS 3233 Modeli'nde 1000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar.

t (gün)	$\varepsilon_{co}(t,t')$	$\varepsilon_{cs}(t,t')$	$\alpha\Delta T(t)$	$\varepsilon(t)$
1000	1.51E-03	1.55E-04	0.00075	0.00242
800	1.48E-03	1.39E-04	0.00075	0.00237
400	1.24E-03	9.63E-05	0.00075	0.00208
200	9.83E-04	6.08E-05	0.00075	0.00179
100	7.43E-04	3.04E-05	0.00075	0.00152

İmrahor Köprüsü için TS 3233 Modeli'nde zamana bağlı birim kısalmaların 100-1000 günler arasındaki değişimi Şekil 4.25 ile verilmiştir.



Şekil 4.25 : İmrahor için TS3233 Modeli'nde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar.

4.7 Tigem Köprüsü'nde Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler

Bu bölümde, Bölüm 4.1-6'da diğer köprüler için elde edilip çizelgeler halinde verilen sünme ile büzülme büyüklükleri Tigem Köprüsü için de B3 Modeli, ACI 209R-92 Modeli, EC 2 Modeli iel TS 3233 Modeli kullanılarak elde edilecektir. Tigem Köprüsü için, kullanılan farklı modellerin Bölüm 3'te açıkça gösterilen işlem adımları tekrar edilmeyecektir. Kömürhan Köprüsü için Çiz 4.1-4.18 aracılığıyla verilen sünme ile büzülme büyükleri için gerekli açıklama Bölüm 4.1'de yapılmıştır. Tigem Köprüsü'nde aynı yaklaşımlar kullanılacağından ek açıklamaya ihtiyaç duyulmamaktadır. Çizelgeler harici verilen ek büyüklükler ise gerek duyulunca açıklanacaktır.

4.7.1 B3 Modele Göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler

Bölüm 4.7'de yapılan açıklama doğrultusunda Tigem Köprüsü'nün B3 Modele göre incelenişinde kullanılacak temel değişkenler Çiz. 4.145 ile verilmiştir.

Çizelge 4.145 : Tigem için B3 Modeli'nde Temel Değişkenler.

t (gün)	t_0 (gün)	t' (gün)	f_c (MPa)	w (kg)	a (kg)	c (kg)
10000	1	8	35	190	1770	420
9000	1	8	35	190	1770	420
8000	1	8	35	190	1770	420
7000	1	8	35	190	1770	420
6000	1	8	35	190	1770	420
5000	1	8	35	190	1770	420
4000	1	8	35	190	1770	420
3000	1	8	35	190	1770	420
2000	1	8	35	190	1770	420
1000	1	8	35	190	1770	420
400	1	8	35	190	1770	420

Burada t beton yaşı olup, toplam birim kısalma değerleri 400-10000 günler için bulunmuştur. t' betonun öngerilme verildiği andaki yaşını göstermektedir. Tigem Köprüsü diğer köprüler gibi dengeli konsol yöntemiyle yapılmamıştır. Köprüyü oluşturan parçalar tek döküm olduğu için her parçanın kendi içindeki yüklenme ve kuruma zamanları ayrı ayrı düşünülmüştür. Buna göre her parça için döküm yapıldıktan sonra kurumanın başladığı varsayılarak $t_0 = 1$ gün, bir hafta sonra da öngerilme verildiği düşünülerek $t^{\iota} = 8$ gün alınmıştır. Bu değerler ACI 209R-92 ile Eurocode 2 Modelleri için de aynı biçimde kullanılmıştır.

Etkin kesit kalınlığı olarak tanımlanıp (3.20) eşitliğiyle verilen D oranı, köprü enkesitleri değişken olduğundan her parça için farklı bir değer almaktadır. D oranı için değişken enkesitlerin ortalaması olarak $D = 501$ mm alınmıştır.

Tigem Köprüsü için Bölüm 3'teki ilgili çizelgeler kullanılarak elde edilen sabit büyüklükler Çiz.4.146'da gösterilmiştir. Bu çizelgedeki büyüklüklerin açıklaması Bölüm 4.1'de yapılmıştır.

Çizelge 4.146 : B3 Modeli için İlgili Çizelgelerden Alınan Değerler.

α_1	α_2	k_s	k_h
1	1.2	1.25	0.834

Tigem Köprüsü için B3 Modeli'nde sünme için verilen eşitlikler zamana göre değişenlerle değişmeyenler olarak Çiz.4.147 ile Çiz.4.148'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.147 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri.

t (gün)	$Z(t,t')$	$Q(t,t')$	$C_0(t,t')$ (E-05)	$C_d(t,t',t_0)$ (E-06)	$J(t,t')$ (E-05)
10000	0.444	0.313	9.80	20.9	13.9
9000	0.441	0.313	9.72	20.0	13.7
8000	0.438	0.313	9.63	18.9	13.5
7000	0.435	0.313	9.53	17.8	13.3
6000	0.431	0.313	9.41	16.6	13.1
5000	0.427	0.313	9.27	15.3	12.8
4000	0.421	0.312	9.10	13.8	12.5
3000	0.414	0.312	8.88	12.1	12.1
2000	0.404	0.312	8.57	10.2	11.6
1000	0.388	0.311	8.03	7.67	10.8
400	0.366	0.308	7.31	5.41	9.85

Çizelge 4.148 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri.

t (gün)	q_1 (E-05)	q_2 (E-04)	q_3 (E-06)	q_4 (E-06)	$r(t')$	$Q_f(t')$
400-10000	2.00	1.37	1.67	7.42	10.18	0.314

Tigem Köprüsü için B3 Modeli'nde büzülme için verilen eşitlikler zamana göre değişenlerle değişmeyenler olarak Çiz.4.149 ile Çiz.4.150'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.149 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Büzülme Eşitlikleri.

t (gün)	$S(t)$	$H(t)$	$\varepsilon_{sh}(t,t_0)$ (E-04)
10000	0.700	0.685	-4.77
9000	0.677	0.695	-4.61
8000	0.651	0.707	-4.43
7000	0.621	0.721	-4.22
6000	0.587	0.736	-3.99
5000	0.547	0.754	-3.72
4000	0.500	0.775	-3.40
3000	0.442	0.801	-3.01
2000	0.369	0.834	-2.51
1000	0.267	0.880	-1.82
400	0.170	0.923	-1.16

Çizelge 4.150 : B3 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri.

q_5 (E-04)	$S(t')$	$H(t')$	$\varepsilon_{s\infty}$ (E+02)	E_{28} (GPa)	$E(t_0+\tau_{sh})$ (GPa)	k_t	τ_{sh} (gün)	$\varepsilon_{sh}(\infty)$ (E-04)
3.39	0.023	0.990	8.19	29.94	32.47	3.38	13256	8.16

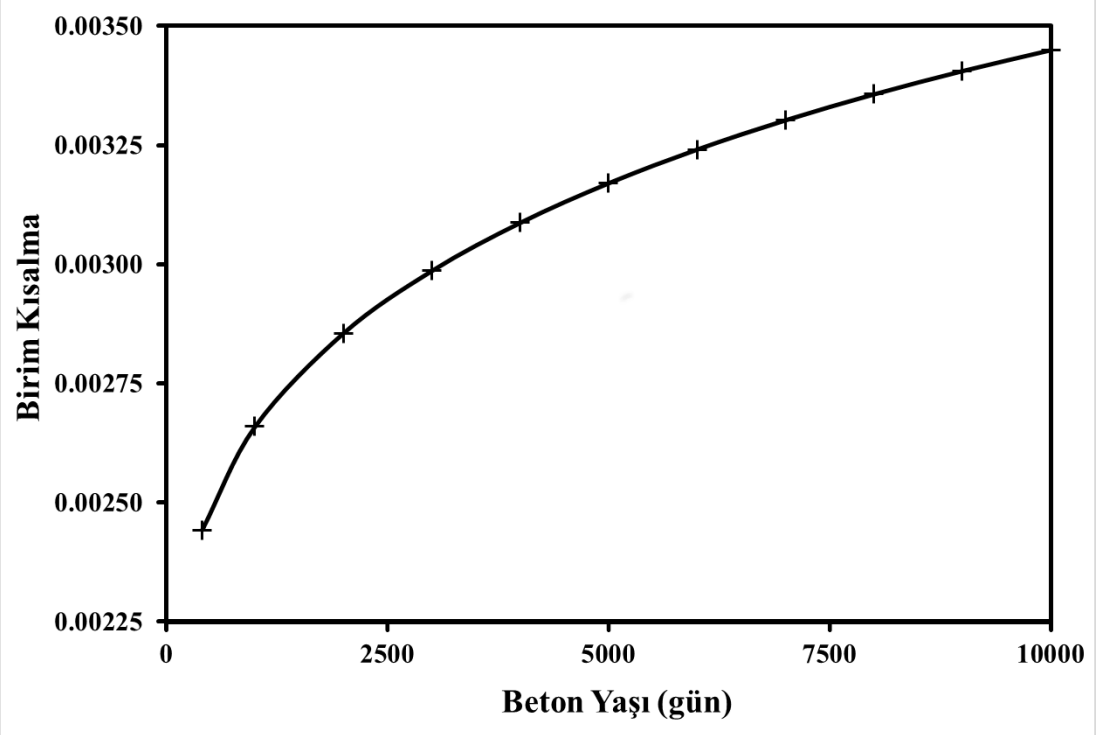
Çiz.4.150 ile verilen zamana bağlı değişmeyen büzülme eşitliklerinden olan $\boldsymbol{E(607)}$ değeri de (3.21) eşitliğiyle bulunmakta olup 400-10000 gün arasında sabittir. Bu değer $\mathbf{32.35}$ GPa'dır.

Tigem Köprüsü için yukarıda verilen çizelgelerden toplam birim kısalmayı etkileyen değişkenlerin toplu halde gösterilişi Çiz.4.151 ile verilmiştir.

Çizelge 4.151 : B3 Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar.

t (gün)	σ (MPa)	$J(t,t')$	$J(t,t')\sigma$	$\varepsilon_{sh}(t,t_0)$	$\alpha\Delta T(t)$	$\varepsilon(t)$
10000	16	1.39E-04	2.22E-03	-4.77E-04	0.00075	0.00345
9000	16	1.37E-04	2.20E-03	-4.61E-04	0.00075	0.00341
8000	16	1.35E-04	2.16E-03	-4.43E-04	0.00075	0.00336
7000	16	1.33E-04	2.13E-03	-4.22E-04	0.00075	0.00330
6000	16	1.31E-04	2.09E-03	-3.99E-04	0.00075	0.00324
5000	16	1.28E-04	2.05E-03	-3.72E-04	0.00075	0.00317
4000	16	1.25E-04	2.00E-03	-3.40E-04	0.00075	0.00309
3000	16	1.21E-04	1.94E-03	-3.01E-04	0.00075	0.00299
2000	16	1.16E-04	1.85E-03	-2.51E-04	0.00075	0.00286
1000	16	1.08E-04	1.73E-03	-1.82E-04	0.00075	0.00266
400	16	9.85E-05	1.58E-03	-1.16E-04	0.00075	0.00244

Tigem Köprüsü için B3 Modeli'nde zamana bağlı birim kısalmaların 400-10000 günler arasındaki değişimi Şekil 4.26 ile verilmiştir.



Şekil 4.26 : Tigem için B3 Model'de Zamana Bağlı Birim Kısalmalar.

4.7.2 ACI 209R-92 Modeline Göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler

Bölüm 4.1.2'de yapılan açıklama doğrultusunda Tigem Köprüsü'nün ACI 209R-92 Modele göre incelenişinde kullanılacak temel değişkenler Çiz. 4.152 ile verilmiştir.

Çizelge 4.152 : Tigem için ACI 209R-92 Modeli'nde Temel Değişkenler.

t (gün)	t_0 (gün)	t' (gün)	$f_{cmt'}$ (MPa)	s (mm)	Ψ (%)	c (kg)	h (%)	V/S (mm)
10000	1	8	29.63	160	46	420	55	250
9000	1	8	29.63	160	46	420	55	250
8000	1	8	29.63	160	46	420	55	250
7000	1	8	29.63	160	46	420	55	250
6000	1	8	29.63	160	46	420	55	250
5000	1	8	29.63	160	46	420	55	250
4000	1	8	29.63	160	46	420	55	250
3000	1	8	29.63	160	46	420	55	250
2000	1	8	29.63	160	46	420	55	250
1000	1	8	29.63	160	46	420	55	250
400	1	8	29.63	160	46	420	55	250

Toplam düzeltme çarpanını veren (3.30) eşitliğindeki kür katsayısını gösteren $\gamma_{sh,to}$ değeri, Çiz. 3.8'den 7 günlük kür durumu için 1 alınacaktır. Betonun yüklendiği andaki ortalama basınç dayanımı olan $f_{cmt'}$ değeri bulunurken kullanılacak (3.39) eşitliği için a ile b ise CEM I çimento tipi için 4 ile 0.85 alınacaktır.

Tigem Köprüsü için bulunan ilgili sünme ile büzülme değerleri, zamana bağlı değişenlerle değişmeyenler olarak ayrılmıştır. Buna göre, ACI 209R-92 Modeli'nde sünme için verilen eşitlikler Çiz.4.153 ile Çiz.4.154'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.153 : ACI 209R-92 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri.

t (gün)	$\phi(t,t')$	$J(t,t')$
10000	1.567	9.3E-05
9000	1.553	9.3E-05
8000	1.535	9.2E-05
7000	1.513	9.1E-05
6000	1.485	9.0E-05
5000	1.447	8.9E-05
4000	1.393	8.7E-05
3000	1.312	8.4E-05
2000	1.175	7.9E-05
1000	0.894	6.9E-05
400	0.516	5.5E-05

Çizelge 4.154 : ACI 209R-92 Modeli'nde Zamanla Değişmeyen Sünme Eşitlikleri.

γ_{c,t^ι}	$\gamma_{c,RH}$	$\gamma_{c,vs}$	$\gamma_{c,s}$	$\gamma_{c,\Psi}$	$\gamma_{c,\alpha}$	γ_c	ϕ_u	d (gün)
0.978	0.902	0.670	1.242	0.990	1	0.727	1.71	905

Çiz 4.154 ile verilen zamana bağlı değişmeyen bu büyüklüklerden başka (3.38) eşitliğiyle verilen betonun yüklenmeye başladığı t^ι zamanındaki elastisite modülü olan E_{cmt^ι} değeri de 400-10000 gün arasında sabittir. Bu değer 27.52 GPa'dır.

ACI 209R-92 Modeli'nde büzülme için verilen eşitliklerden yalnızca (3.25) eşitliğiyle verilen toplam büzülme şekil değiştirmesi $\varepsilon_{sh}(t,t_0)$ zamana bağlı olarak değişmektedir. Bu yüzden, $\varepsilon_{sh}(t,t_0)$ toplam birim kısalmayı etkileyen değişkenler içinde verilecektir. Tigem Köprüsü için ACI 209R-92 Modeli'nde büzülme için verilen eşitlikler Çiz.4.155 ile gösterilmiştir.

Çizelge 4.155 : ACI 209R-92 Modeli'nde Zamanla Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri.

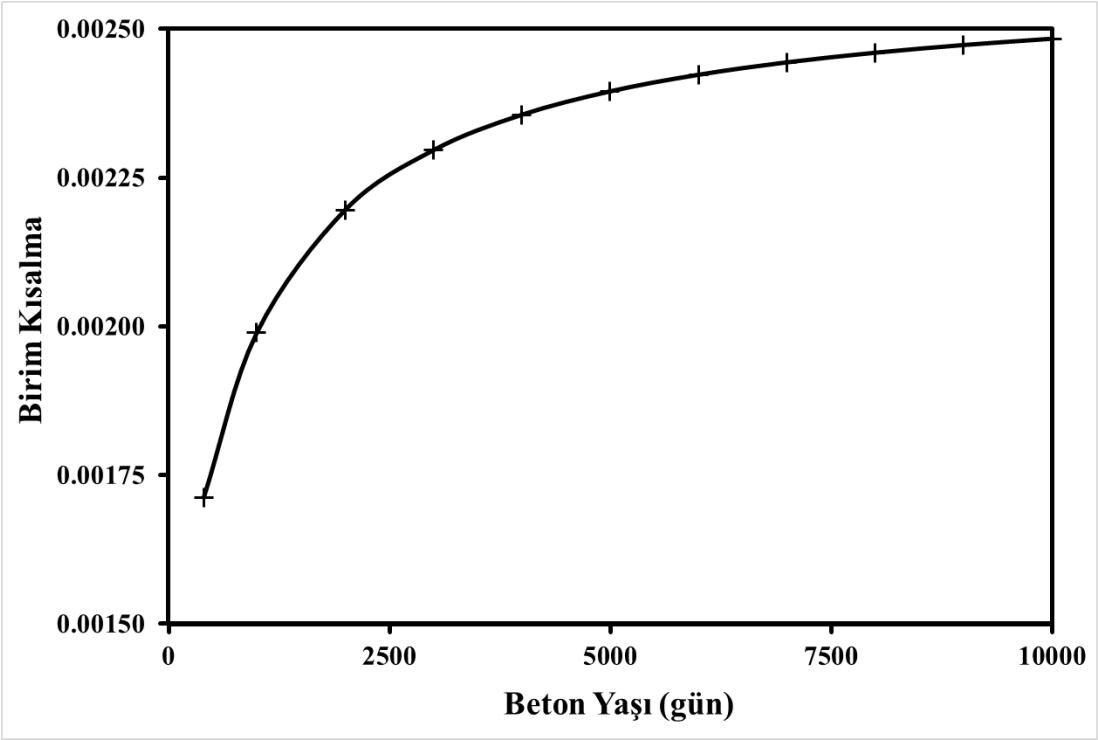
$\gamma_{sh,to}$	$\gamma_{sh,RH}$	$\gamma_{sh,vs}$	$\gamma_{sh,s}$	$\gamma_{c,\Psi}$	$\gamma_{sh,c}$	$\gamma_{sh,\alpha}$	γ_{sh}	ε_{shu}	f (gün)
1	0.839	0.369	1.1476	0.944	1	1	0.337	2.63E-04	905

Tigem Köprüsü için yukarıda verilen çizelgelerden toplam birim kısalmayı etkileyen değişkenlerin toplu halde gösterilişi Çiz. 4.156 ile verilmiştir.

Çizelge 4.156 : ACI Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar.

t (gün)	σ (MPa)	$J(t,t')$	$J(t,t')\sigma$	$\varepsilon_{sh}(t,t_0)$	$\alpha\Delta T(t)$	$\varepsilon(t)$
10000	16	9.33E-05	1.49E-03	2.41E-04	0.00075	0.00248
9000	16	9.28E-05	1.48E-03	2.39E-04	0.00075	0.00247
8000	16	9.21E-05	1.47E-03	2.36E-04	0.00075	0.00246
7000	16	9.13E-05	1.46E-03	2.33E-04	0.00075	0.00244
6000	16	9.03E-05	1.44E-03	2.29E-04	0.00075	0.00242
5000	16	8.89E-05	1.42E-03	2.23E-04	0.00075	0.00240
4000	16	8.70E-05	1.39E-03	2.14E-04	0.00075	0.00236
3000	16	8.40E-05	1.34E-03	2.02E-04	0.00075	0.00230
2000	16	7.90E-05	1.26E-03	1.81E-04	0.00075	0.00220
1000	16	6.88E-05	1.10E-03	1.38E-04	0.00075	0.00199
400	16	5.51E-05	8.82E-04	8.05E-05	0.00075	0.00171

Tigem Köprüsü için ACI Modeli'nde zamana bağlı birim kısalmaların 400-10000 günler arasındaki değişimi Şekil 4.27 ile verilmiştir.



Şekil 4.27 : Tigem için ACI Modeli'nde Zamana Birim Kısalmalar.

4.7.3 Eurocode 2 Modeline Göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler

Bölüm 4.7'de yapılan açıklama doğrultusunda Tigem Köprüsü'nün EC 2 Modeli'ne göre incelenişinde kullanılacak temel değişkenler Çiz. 4.157 ile verilmiştir.

Çizelge 4.157 : Tigem için EC 2 Modeli'nde Temel Değişkenler.

t (gün)	t_0 (gün)	t' (gün)	f_{cm} (MPa)	D (mm)	RH (%)
10000	1	8	40	501	55
9000	1	8	40	501	55
8000	1	8	40	501	55
7000	1	8	40	501	55
6000	1	8	40	501	55
5000	1	8	40	501	55
4000	1	8	40	501	55
3000	1	8	40	501	55
2000	1	8	40	501	55
1000	1	8	40	501	55
400	1	8	40	501	55

Burada t beton yaşı olup, toplam birim kısalma değerleri 400, 1000, 2000-10000 günleri için bulunmuştur. t' betonun öngerilme verildiği andaki yaşı olup köprünün yapım yöntemine göre değişmektedir.

Etkin kesit kalınlığı olarak tanımlanıp (3.20) eşitliğiyle verilen D oranı, köprü enkesitleri değişken olduğundan her parça için farklı bir değer almaktadır. D oranı için değişken enkesitlerin ortalaması olarak B3 Modeli'nde olduğu gibi 501 mm alınmıştır.

Beton yaşına bağlı bir katsayı olan $\beta_{cc}(t)$ değerini veren (3.53) eşitliğinde gerekecek çimento tipine bağlı s katsayısı Tigem Köprüsü'nde CEM 42.5 N sınıfı çimento kullanıldığı varsayıldığı için 0.35 alınmıştır. Serbest kuruma büzülmesi değeri olup (3.66) eşitliğiyle verilen $\varepsilon_{cd,0}$ büyüklüğünün bulunmasında kullanılan α_{ds1} ile α_{ds2} katsayıları çimento sınıfına bağlı olup EC 2'ye göre, N Sınıfı çimentolar için sırasıyla 4 ile 0.12 alınmıştır.

(3.66) eşitliğindeki f_{cmo} değeri ise yine EC 2'ye göre 10 MPa olarak alınmıştır. Ortamın bağıl nemine bağlı β_{RH} katsayısını veren (3.67) eşitliğindeki RH_0 ortamın mutlak nemini göstermektedir. Bu değer yüzde olarak tanımlanmıştır. (3.67) eşitliği kullanılırken ortamın bağıl nemi $RH_0 = \%\,100$ alınmıştır.

Tigem Köprüsü için bulunan ilgili sünme ile büzülme değerleri, zamana bağlı değişenlerle değişmeyenler olarak ayrılmıştır. Buna göre, Eurocode 2 Modeli'nde sünme için verilen eşitlikler Çiz.4.158 ile Çiz.4.159'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.158 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri.

t (gün)	$\beta_{cc}(t)$	$f_{cm}(t)$ (MPa)	$E_{cm}(t)$ (GPa)	E_c (GPa)	$\beta_c(t,t^\iota)$	$\phi(t,t^\iota)$	$\varepsilon_{cc}(t,t^\iota)$
10000	1.393	55.72	36.93	38.77	0.972	2.359	9.74E-04
9000	1.392	55.67	36.91	38.76	0.969	2.352	9.71E-04
8000	1.390	55.60	36.90	38.75	0.966	2.344	9.68E-04
7000	1.388	55.52	36.89	38.73	0.961	2.333	9.64E-04
6000	1.386	55.42	36.87	38.71	0.955	2.318	9.58E-04
5000	1.382	55.30	36.84	38.68	0.947	2.299	9.51E-04
4000	1.378	55.12	36.80	38.65	0.936	2.271	9.40E-04
3000	1.372	54.88	36.76	38.59	0.918	2.228	9.24E-04
2000	1.362	54.46	36.67	38.51	0.886	2.151	8.94E-04
1000	1.338	53.53	36.48	38.31	0.813	1.973	8.24E-04
400	1.294	51.74	36.11	37.92	0.686	1.664	7.02E-04

Çizelge 4.159 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri.

α_1	α_2	α_3	ϕ_{RH}	$\beta(f_{cm})$	$\beta(t^\iota)$	ϕ^ι	β_H
0.911	0.974	0.935	1.476	2.656	0.3619	2.427	986

Tigem Köprüsü için EC 2 Modeli'nde büzülme için verilen eşitlikler Çiz.4.160 ile 4.161'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.160 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Büzülme Eşitlikleri.

t (gün)	$\beta_{ds}(t,t_0)$	ε_{cd}	$\beta_{as}(t)$	$\varepsilon_{ca}(t)$	ε_{cs}
10000	0.957	3.00E-04	1.00	7.5E-05	3.75E-04
9000	0.953	2.99E-04	1.00	7.5E-05	3.74E-04
8000	0.947	2.97E-04	1.00	7.5E-05	3.72E-04
7000	0.940	2.95E-04	1.00	7.5E-05	3.70E-04
6000	0.930	2.92E-04	1.00	7.5E-05	3.67E-04
5000	0.918	2.88E-04	1.00	7.5E-05	3.63E-04
4000	0.899	2.82E-04	1.00	7.5E-05	3.57E-04
3000	0.870	2.73E-04	1.00	7.5E-05	3.48E-04
2000	0.817	2.56E-04	1.00	7.5E-05	3.31E-04
1000	0.690	2.17E-04	1.00	7.5E-05	2.92E-04
400	0.471	1.48E-04	0.98	7.4E-05	2.21E-04

Çizelge 4.161 : EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri.

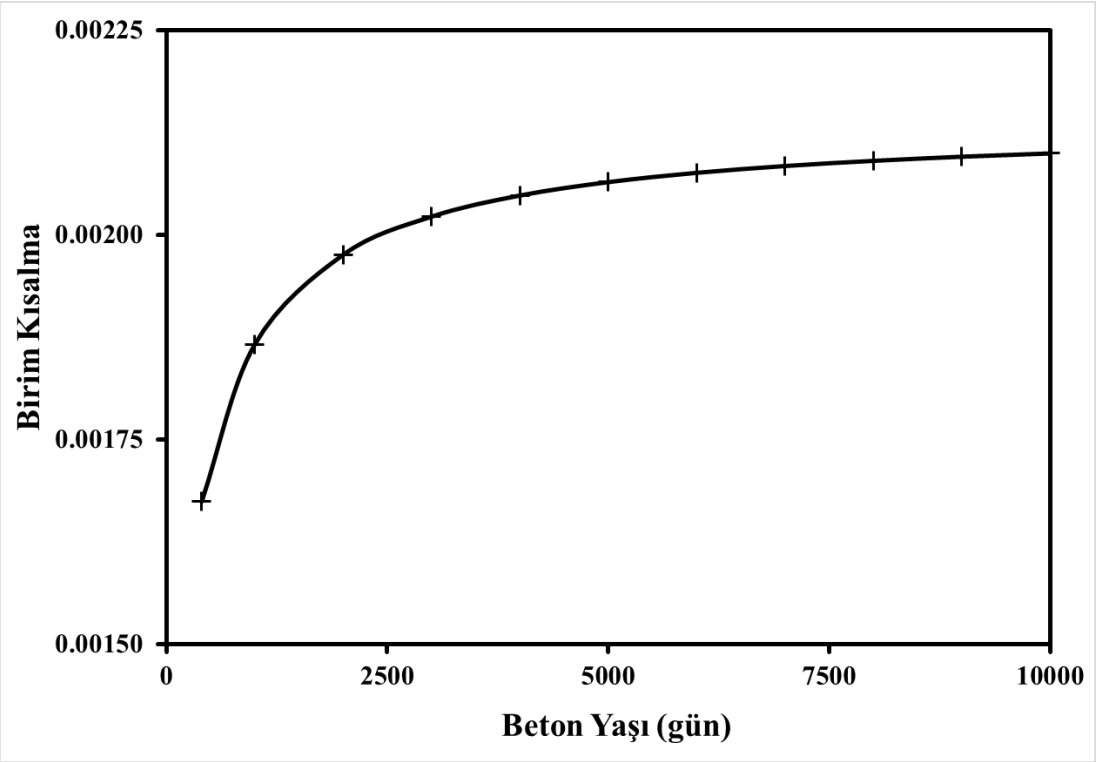
β_{RH}	$\varepsilon_{cd,0}$	k_h	$\varepsilon_{ca}(\infty)$
-1.292	-4.49E-04	0.7	7.50E-05

Tigem Köprüsü için yukarıda verilen çizelgelerden toplam birim kısalmayı etkileyen değişkenlerin toplu halde gösterilişi Çiz. 4.162 ile verilmiştir.

Çizelge 4.162 : EC 2 Modeli'nde 10000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar.

t (gün)	$\varepsilon_{cc}(t,t')$	$\varepsilon_s(t,t_0)$	$\alpha\Delta T(t)$	$\varepsilon(t)$
10000	9.74E-04	3.75E-04	7.50E-04	0.00210
9000	9.71E-04	3.74E-04	7.50E-04	0.00210
8000	9.68E-04	3.72E-04	7.50E-04	0.00209
7000	9.64E-04	3.70E-04	7.50E-04	0.00208
6000	9.58E-04	3.67E-04	7.50E-04	0.00208
5000	9.51E-04	3.63E-04	7.50E-04	0.00206
4000	9.40E-04	3.57E-04	7.50E-04	0.00205
3000	9.24E-04	3.48E-04	7.50E-04	0.00202
2000	8.94E-04	3.31E-04	7.50E-04	0.00198
1000	8.24E-04	2.92E-04	7.50E-04	0.00187
400	7.02E-04	2.21E-04	7.50E-04	0.00167

Tigem Köprüsü için Eurocode 2 Modeli'nde zamana bağlı birim kısalmaların 400-10000 günler arasındaki değişimi Şekil 4.28 ile verilmiştir.



Şekil 4.28 : Tigem için EC 2 Modeli'nde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar.

4.7.4 TS 3233 Modeline Göre Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler

TS 3233 Modeli'ne göre zamana bağlı yer değiştirmeler, Bölüm 3.7'de verilen eşitlikler yardımıyla bulunacaktır. Tigem Köprüsü'nün TS 3233 Modeli'ne göre incelenişinde kullanılacak temel değişkenler Çiz.4.163'te görülebilir.

Çizelge 4.163 : Tigem için TS 3233 Modeli'nde Temel Değişkenler.

t (gün)	t_0 (gün)	t' (gün)	f_c (MPa)	D (mm)	Nem (%)
1000	1	8	40	501	55
800	1	8	40	501	55
400	1	8	40	501	55
200	1	8	40	501	55
100	1	8	40	501	55

Burada t beton yaşı olup, toplam birim kısalma değerleri 100-1000 günleri için bulunmuştur. t' betonun öngerilme verildiği andaki yaşı olup köprünün yapım yöntemine göre değişmektedir.

Çiz 4.163'de f_c betonun 28 günlük basınç dayanımını göstermektedir. Etkin kesit kalınlığı olarak tanımlanıp (3.21) eşitliğiyle verilen D oranı, köprü enkesitleri

değişken olduğundan her parça için farklı bir değer almaktadır. D oranı için değişken enkesitlerin ortalaması olarak B3 Modeli'nde olduğu gibi 501 mm alınmıştır.

TS 3233 Modeli'nde, diğer modellerde olduğu gibi sünme ile büzülme eşitliklerinden bazıları zamanla değişmekte bazılarıysa sabit kalmaktadır. Tigem Köprüsü için bulunan ilgili değerler, TS 3233 Modeli için de zamana bağlı değişenlerle değişmeyenler olarak ayrılmıştır. Buna göre, TS 3233 Modeli'nde sünme için verilen eşitliklerinden zamana bağlı olarak değişenler Çiz.4.164 ile değişmeyenler ise Çiz.4.165 ile verilmiştir.

Çizelge 4.164 : TS 3233 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Sünme Eşitlikleri.

t (gün)	β_∞	$\beta_f(t)-\beta_f(t^\iota)$	ϕ_c	ε_{co} (E-04)
1000	0.98	0.73	2.80	15.0
800	0.97	0.72	2.76	14.8
400	0.91	0.60	2.34	12.5
200	0.76	0.49	1.92	10.3
100	0.68	0.43	1.69	9.04

Çizelge 4.165 : TS 3233 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Sünme Eşitlikleri.

ϕ_d	ϕ_{f1}	λ	h_{th}(cm)	ϕ_{f2}
0.4	2.50	1.25	62.63	1.32

Çiz 4.165'te verilen zamana bağlı değişmeyen sünme eşitliklerinin yanında (3.71) eşitliğiyle verilen ε_{co} sünmeden kaynaklanan yer değiştirmeyi bulurken kullanılacak, σ_{co} betonun üzerindeki sabit gerilme değeri 16 MPa, E_{c28} betonun 28 günlük elastisite modülü ise 29.94 GPa alınmıştır.

TS 3233 Modeli'nde büzülme için verilen eşitlikler de sünme için olduğu gibi zamana bağlı olarak değişenler ile değişmeyenler olarak ayrılmıştır. Bu eşitler sırasıyla Çiz.4.166 ile Çiz.4.167'de verilmiştir.

Çizelge 4.166 : TS 3233 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişen Büzülme Eşitlikleri.

t (gün)	$\beta_s(t)-\beta_s(t^\iota)$	ε_{cs} (E-05)
1000	0.53	12.7
800	0.48	11.5
400	0.32	7.70
200	0.21	5.05
100	0.15	3.61

Çizelge 4.167 : TS 3233 Modeli'nde Zamana Bağlı Değişmeyen Büzülme Eşitlikleri.

ε_{s1}	ε_{s2}
0.00033	0.74

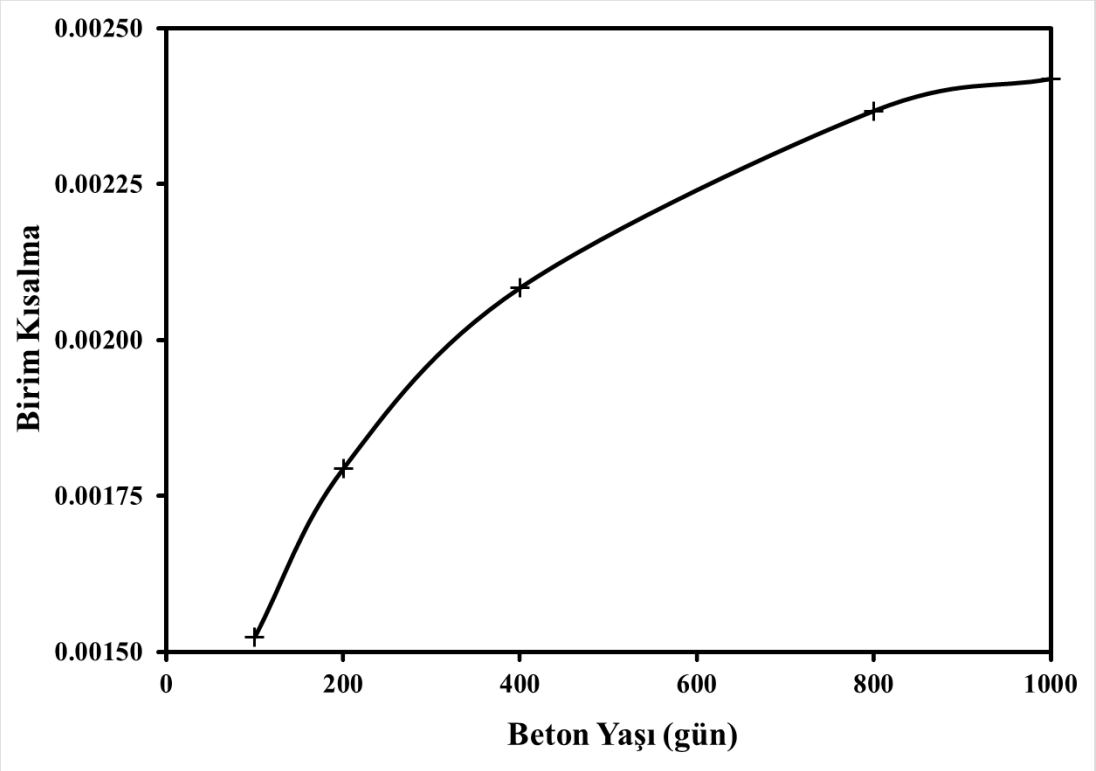
Çiz. 4.163-4.167 ile verilen, Bölüm 3.7'de tanımlanmış olan bu büyüklükler Şehzadeler Viyadüğü için Bölüm 3.8'da yapıldığı gibi göz önüne alınarak Tigem Köprüsü için de kullanılmıştır.

Tigem Köprüsü için yukarıda verilen çizelgelerden toplam birim kısalmayı etkileyen değişkenlerin toplu halde gösterilişi Çiz. 4.168 ile verilmiştir.

Çizelge 4.168 : TS 3233 Modeli'nde 1000 Güne Kadar Bulunan Birim Kısalmalar.

t (gün)	$\varepsilon_{co}(t,t')$	$\varepsilon_{cs}(t,t')$	$\alpha\Delta T(t)$	$\varepsilon(t)$
1000	1.50E-03	1.27E-04	0.00075	0.00237
800	1.48E-03	1.15E-04	0.00075	0.00234
400	1.25E-03	7.70E-05	0.00075	0.00208
200	1.03E-03	5.05E-05	0.00075	0.00183
100	9.04E-04	3.61E-05	0.00075	0.00169

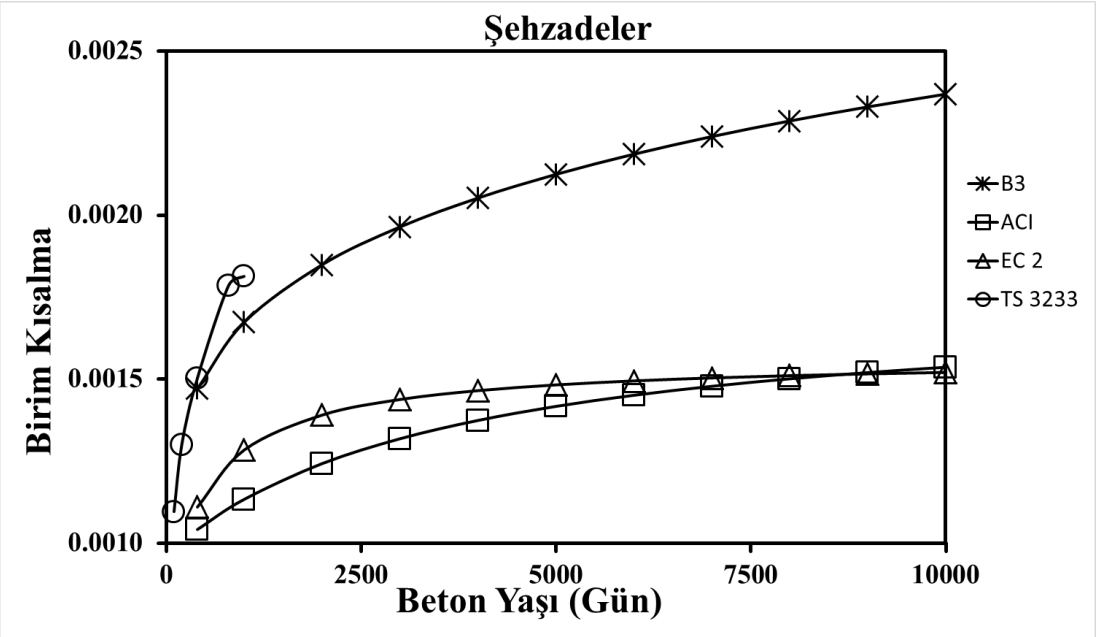
Tigem Köprüsü için TS 3233 Modeli'nde zamana bağlı birim kısalmaların 100-1000 günler arasındaki değişimi Şekil 4.29 ile verilmiştir.



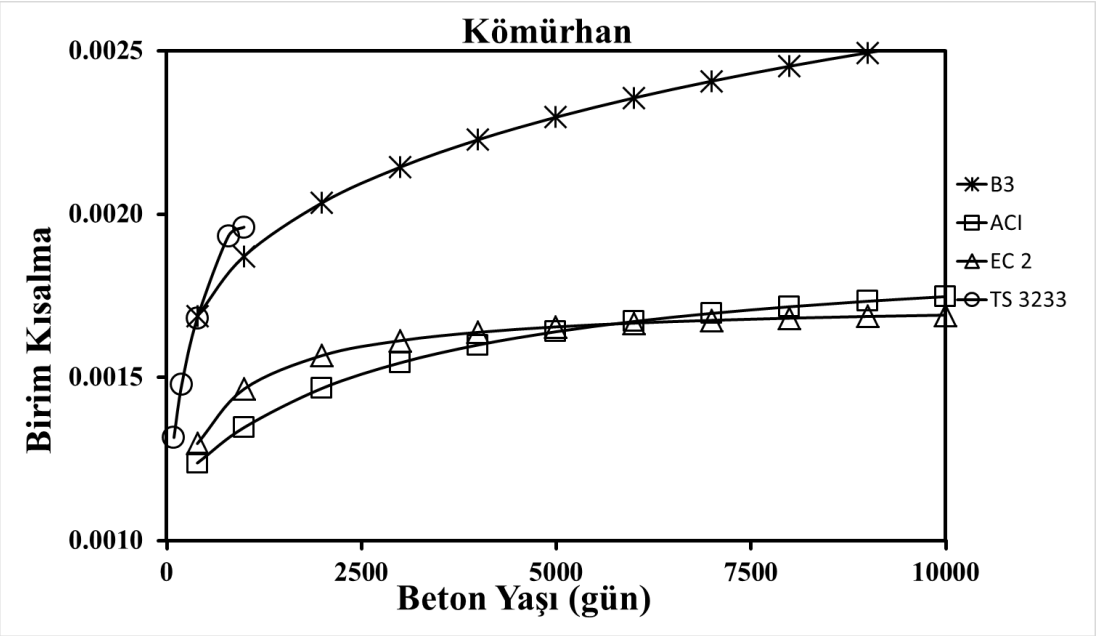
Şekil 4.29 : Tigem için TS3233 Modeli'nde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar.

5. TARTIŞMA

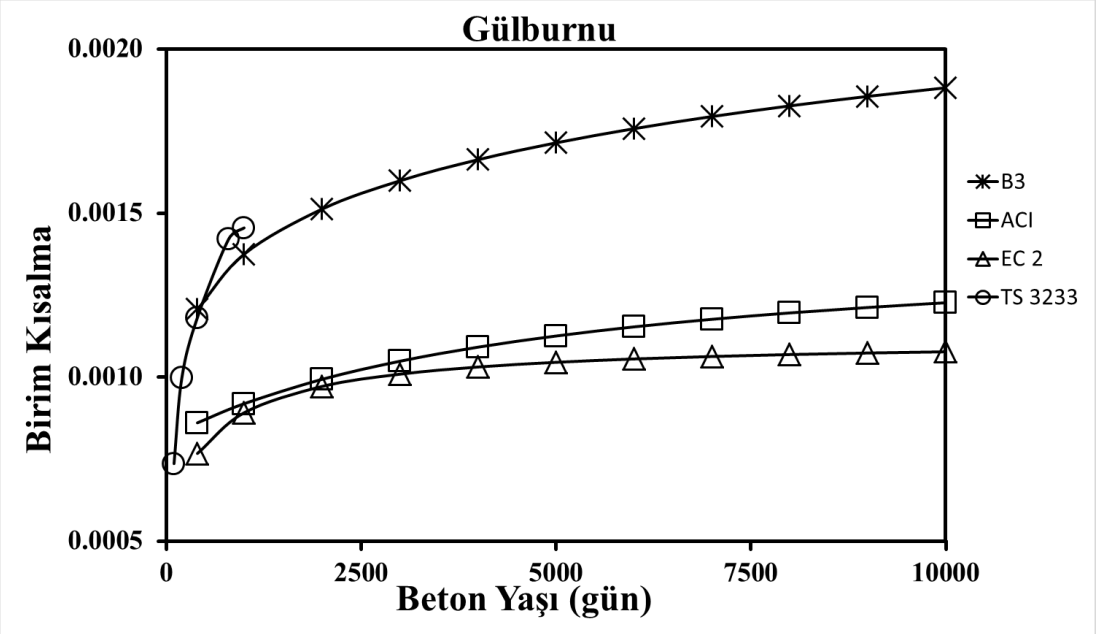
Bu bölümde tez kapsamında zamana bağlı birim kısalmaları incelenen 8 köprünün değişik yöntemler için verdikleri sonuçlar karşılaştırılmıştır. Kullanılan yöntemler arasında en büyük yer değiştirmeleri Bazant'ın B3 Modeli vermiştir. Bunun nedeni bu modelin diğerleriyle karşılaştırınca daha gerçekçi bir malzeme modeline sahip olmasıdır. ACI 209R-92 ile EC 2 Modelleri ise toplam birim kısalmalar için benzer değerler vermişlerdir. TS 3233 Modeli ise ACI 209R-92 ile EC 2 Modellerine göre daha büyük birim kısalma değerleri vermesine karşın kullandığı basit yaklaşım nedeniyle sorgulanmalıdır. İncelenen köprülerin değişik yöntemler için verdiği toplam birim kısalmalar Şekil 5.1-8 ile verilmiştir.



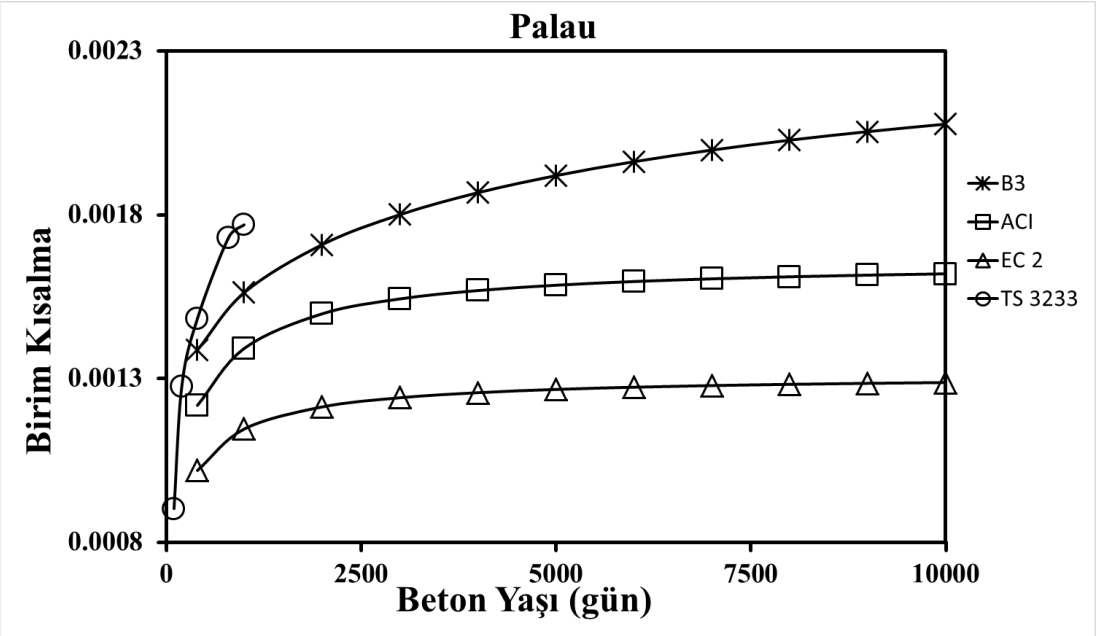
Şekil 5.1 : Şehzadeler için Değişik Yöntemlerin Karşılaştırılması.



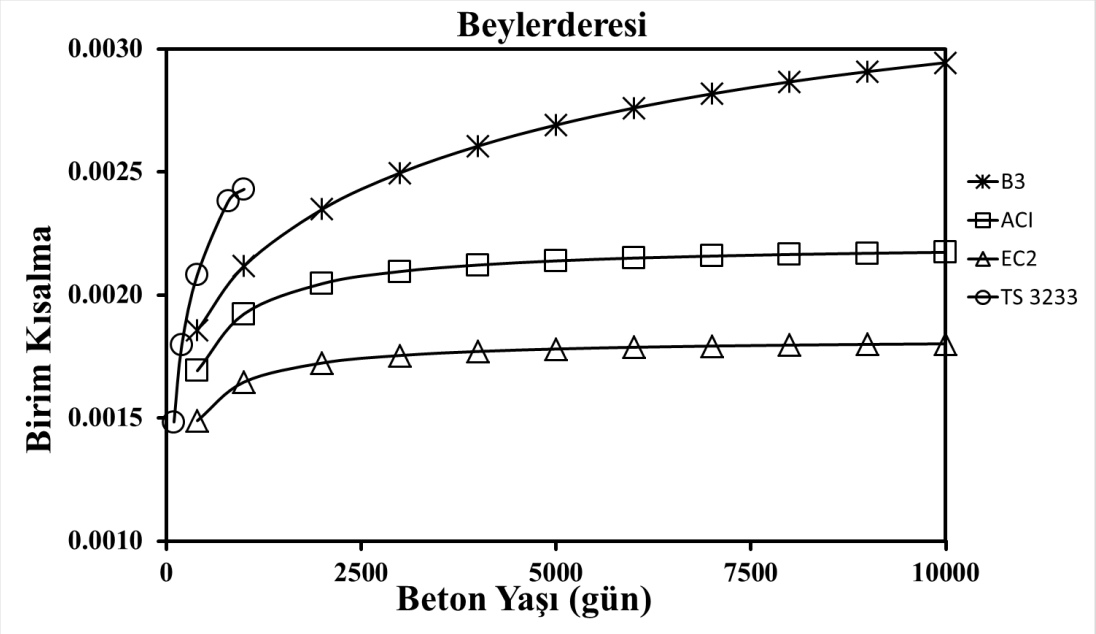
Şekil 5.2 : Kömühan için Değişik Yöntemlerin Karşılaştırılması.



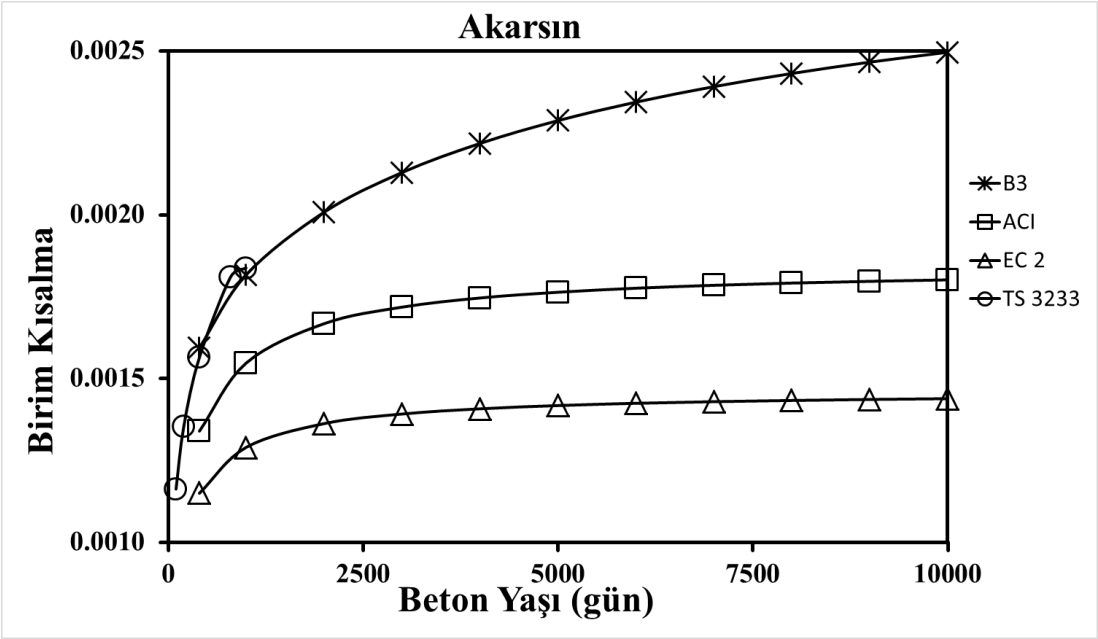
Şekil 5.3 : Gülburnu için Değişik Yöntemlerin Karşılaştırılması.



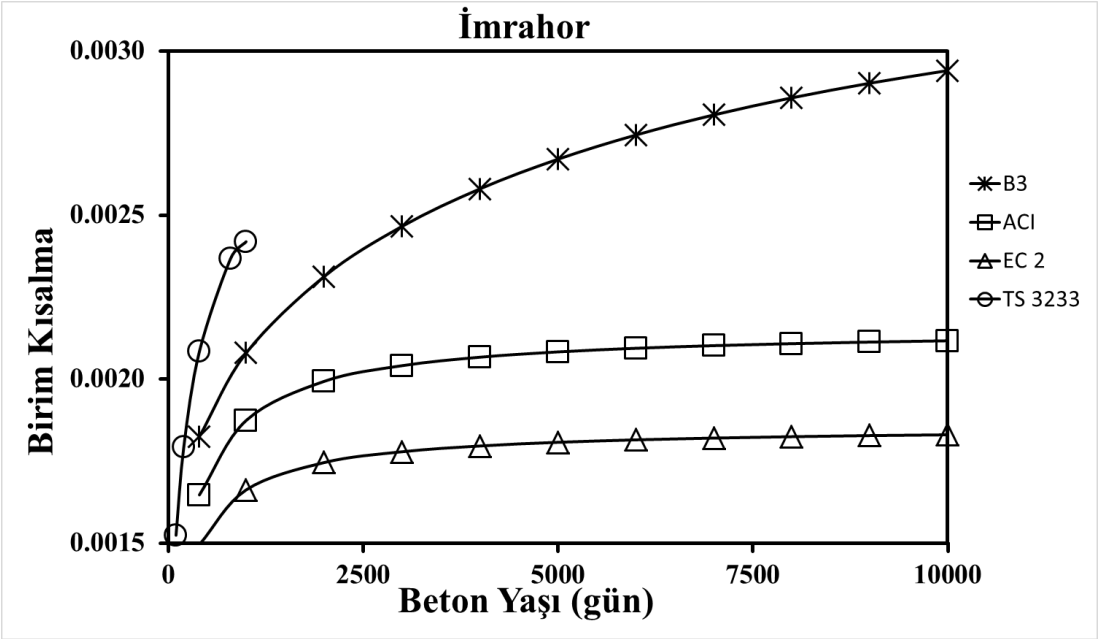
Şekil 5.4 : Palau için Değişik Yöntemlerin Karşılaştırılması.



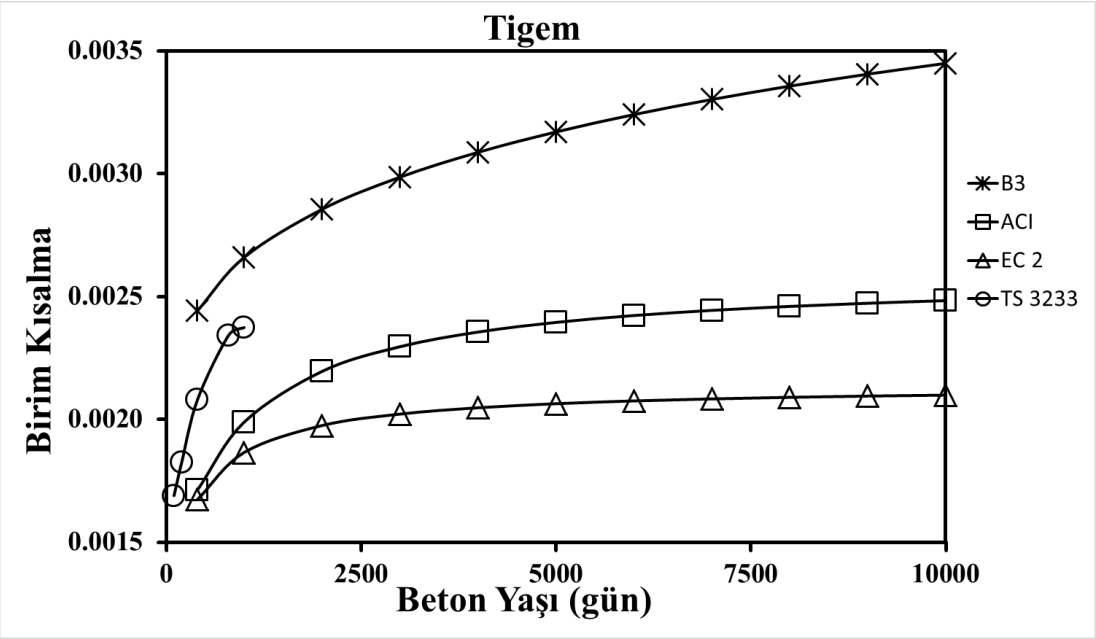
Şekil 5.5 : Beylerderesi için Değişik Yöntemlerin Karşılaştırılması.



Şekil 5.6 : Akarsın için Değişik Yöntemlerin Karşılaştırılması.



Şekil 5.7 : İmrahor için Değişik Yöntemlerin Karşılaştırılması.

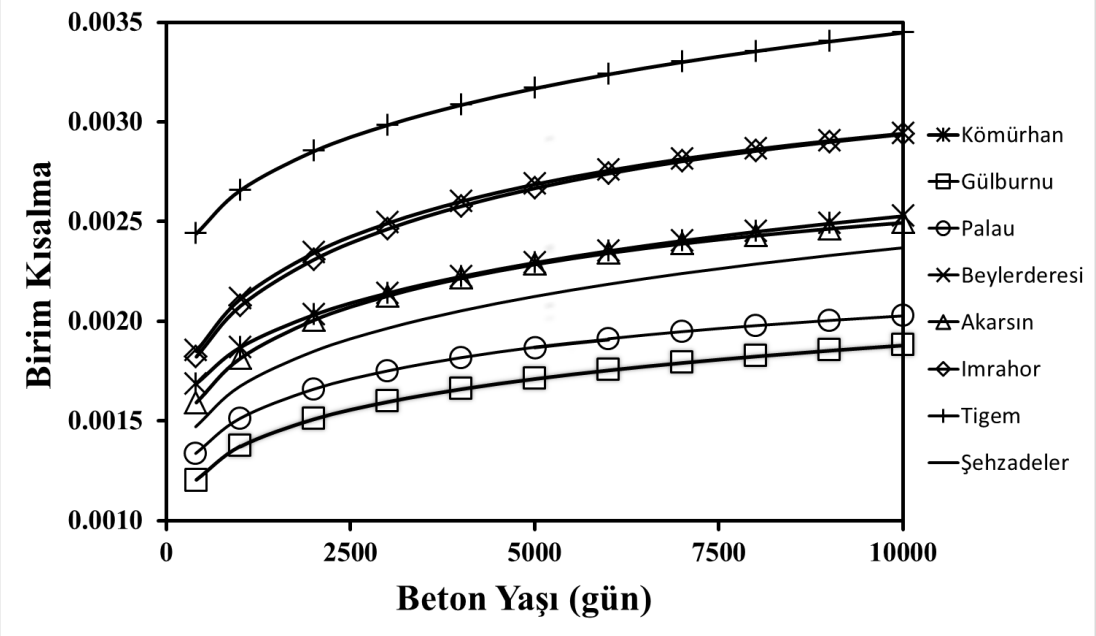


Şekil 5.8 : Tigem için Değişik Yöntemlerin Karşılaştırılması.

Tez kapsamındaki bu karşılaştırmalar köprülerin ortalama enkesitleri kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen birim kısalma değerleri zamana bağlı öngerilme kayıplarını bulmak için kullanılabilir. Bunun yanında köprü enkesitlerindeki donatı ve öngerilme çubuklarının sünme ile büzülme etkileri üzerindeki olası etkileri göz önüne alınmamıştır. Konu hakkında devam edecek çalışmalarda hem bu etkiler göz önüne alınacak hem de köprülerdeki zamana bağlı boyuna yer değiştirmeler araştırılacaktır.

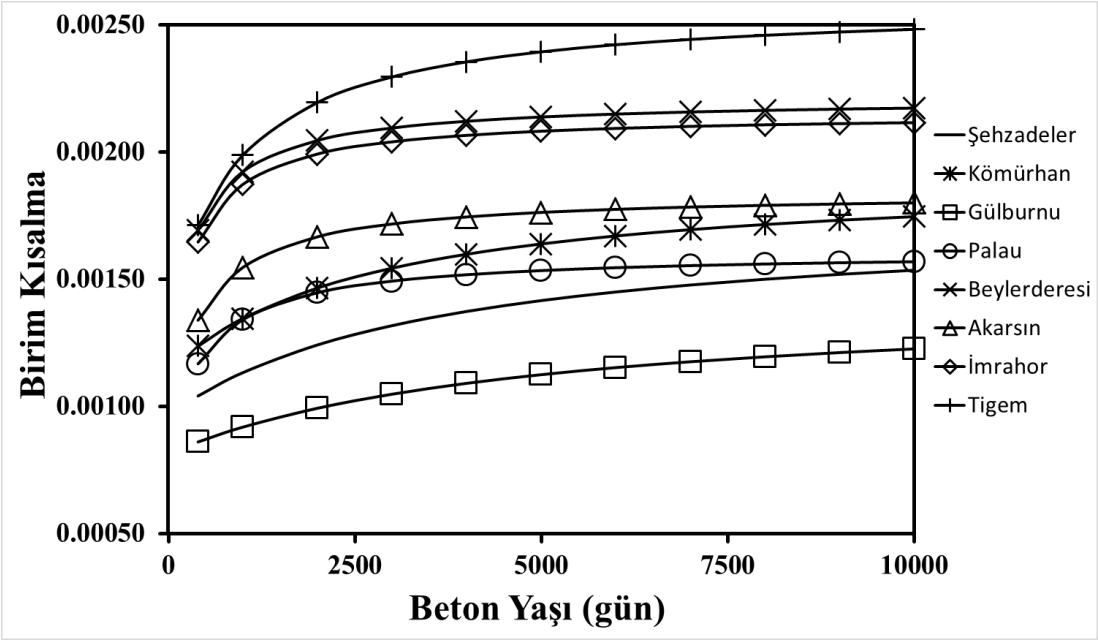
6. SONUÇLAR

Kullanılan yöntemler arasında en büyük yer değiştirmeleri Bazant'ın B3 Modeli vermiştir. B3 Model ile diğer modellerin verdiği sonuçlar arasındaki bu farklılığın ise büyük ölçüde B3 Model'in, sünme etkisi üzerinde büzülmeden kaynaklanan fazladan etkileri göz önüne almasından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Bütün köprüler için zamana bağlı yer değiştirmeler toplu halde B3 Modele göre Şekil 6.1 ile verilmiştir.

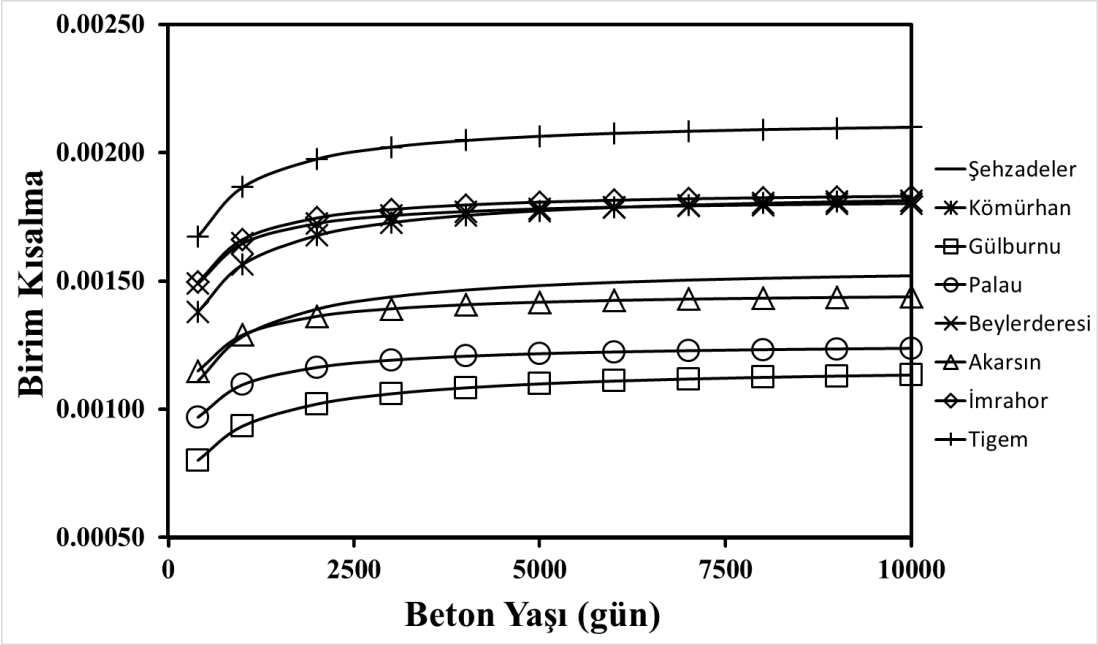


Şekil 6.1 : Bütün Köprüler için B3 Model'inde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar.

Eurocode 2 ile ACI 209R-92 Modellerinin verdiği sonuçlar ise birbirine yakın çıkmıştır. Bu modellerden Eurocode 2'nin sünme etkisini ACI 209R-92 Modeli'nin ise büzülme etkisini daha az öngördüğü görülmüştür. Bütün köprüler için zamana bağlı yer değiştirmeler toplu halde ACI Modeli'ne göre Şekil 6.2, EC 2 Modeli'ne göre ise Şekil 6.3 ile verilmiştir.



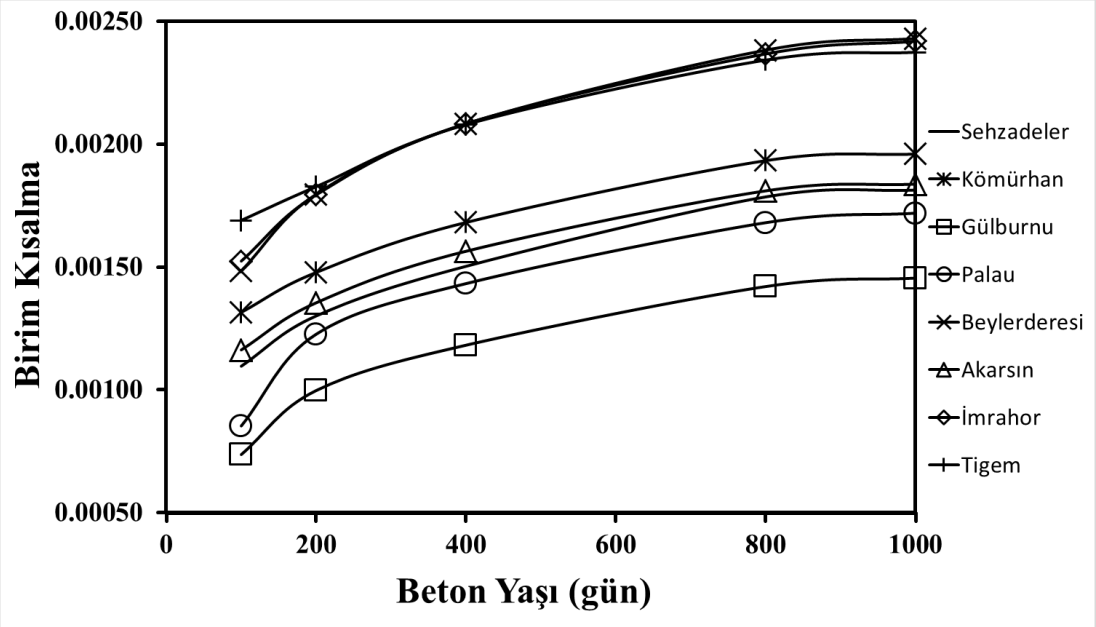
Şekil 6.2 : Bütün Köprüler için ACI Model'inde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar.



Şekil 6.3 : Bütün Köprüler için EC 2 Model'inde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar.

Ülkemizde öngerilmeli yapılar için kullanılan TS3233 yönetmeliği sünme ile büzülme etkilerini belirli katsayılar aracılığıyla göz önüne almaktadır. Bu katsayıların verildiği ilgili çizelgeler ise yalnızca 3 yıla kadar düzenlenmiştir. TS3233'ün sünme ile büzülme yaklaşımı incelendiğinde bu yönetmeliğin güncel yöntemlerin soruna ayrıntılı yaklaşımı karşısında güncelliğini yitirdiği anlaşılmıştır. Bu nedenle sonuç olarak bu yönetmeliğin güncellenmesi gerektiği kanısına

varılmıştır. Bütün köprüler için zamana bağlı yer değiştirmeler toplu halde TS 3233 Modeli'ne göre Şekil 6.4'te verilmiştir.



Şekil 6.4 : Bütün Köprüler için TS Model'inde Zamana Bağlı Birim Kısalmalar.

Zamana bağlı yer değiştirmeleri bulunan köprüler arasında en büyük yer değiştirmenin Tigem Köprüsü'nde olduğu görülmüştür. Bu köprü, diğer 7 köprü gibi dengeli konsol yöntemi ile yapılmamıştır. Tigem Köprüsü'nde bulunan zamana bağlı yer değiştirmelerin diğer köprülere göre daha fazla çıkmasının nedeninin de bu yapım farklılığından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Buradan hareketle kullanılan sünme ile büzülme modellerinin köprülerin yapım yöntemiyle doğrudan ilgili olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

ACI 209R-82. (1982). Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures, *American Concrete Institute*, Farmington Hills, MI 48331, Michigan.

ACI 209R-92. (1992). Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures, *American Concrete Institute*, Farmington Hills, MI 48331, Michigan.

ACI 209.2R-08. (2008). Guide for Modeling and Calculating Shrinkage and Creep in Hardened Concrete, *American Concrete Institute*, Farmington Hills, MI 48331, Michigan.

ASTM C150-07. (2007). Standard Specification for Portland Cement, *American Society for Testing and Materials*, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959.

ASTM C512. (2010). Standard Test Method for Creep of Concrete in Compression, *American Society for Testing and Materials*, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959.

Acker, P. (1993). Creep Tests of Concrete: Why and How?, *Creep and Shrinkage of Concrete, Proceedings of the Fifth International RILEM Symposium*, E&FN Spon, London, UK, pp. 3-14.

Aguilar, C. (2005). Study of the Behavior and Development of a Prediction Methodology for Drying Shrinkage of Concretes, *Doktora Tezi*, School of Engineering, Universidad Católica de Chile, Santiago, Şili.

Al-Manasser, A., Lakshmikantan, S. (1999). Comparison between Currents and Future Design Codes Models for Creep and Shrinkage, *Revue Française de Génie Civil, special issue: Creep and Shrinkage of Concrete*, 35-59.

Alexander, M.G. (1994). Deformation Properties of Blended Cement concretes Containing Blast Furnace Slag and Condensed Silica Fume, *Advances in Cement Research, 6(22),* 73-81.

Alexander, M.G. (1996). Aggregates and the Deformation Properties of Concrete, *ACI Materials Journal, 93(6),* 569-577.

Bazant, Z.P. (1987). "Statistical Extrapolation of Shrinkage Data—Part I: Regression, *ACI Materials Journal, 84(1),* 20-34

Bazant, Z.P., Baweja, S. (2000). Creep and Shrinkage Prediction Model for Analysis and Design of Concrete Structures: Model B3, *ACI SP-194*, 1-83.

Bazant, Z.P., Hubler, M.H., Yu, Q. (2011a). Pervasiveness of Excessive Segmental Bridge Deflections: Wake up call for Creep, *ACI Structural Journal, 108 (6)*, 766-774.

Bazant, Z.P., Hubler, M.H., Yu, Q. (2011b). Excessive Creep Deflections: An Awakening, *Concrete International*, 44-46.

Bazant, Z.P., Li, G.H. (2008). Comprehensive Database on Concrete Creep and Shrinkage, *Structural Engineering Report*, **No.08-3/A210c**, McCormick School of Engineering and Applied Science, Northwestern University, Evanston, Illinois 60208, USA.

Bazant, Z.P., Yu, Q., Li, G.H. (2012a). Excessive Long-Time Deflections of Prestressed Box Girders, I: Record-Span Bridge in Palau and Other Paradigms, *ASCE, Journal of Structural Engineering, 138(6)*, 676-686.

Bazant, Z.P., Yu, Q., Li, G.H. (2012b). Excessive Long-Time Deflections of Prestressed Box Girders, II: Numerical Analysis and Lessons Learned, *ASCE, Journal of Structural Engineering, 138(6)*, 676-686.

Bazant, Z.P., M.H., Yu, Q., Li, G.H., **Klein, G.J., Kristek, V.** (2010). Excessive Deflections of Record-Span Prestressed Box Girder, *ACI Concrete International, 32(6)*, 44-52.

Bažant, Z.P., Panula, L. (1978). Practical Prediction of Time Dependent Deformations of Concrete, Parts I–IV, *Materials and Structures, 11*, 307-316, 317-378, 425- 434., *Materials and Structures, 12*, 169-183.

Benzer, M.A. (2011). Koror-Babelthuap (Palau) Köprüsünün Sonlu Elemanlar ile Göçme Nedenlerinin Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Branson, D. E., Christiason, M. L. (1971). Time Dependent Concrete Properties Related to Design—Strength and Elastic Properties, Creep and Shrinkage, *Creep, Shrinkage and Temperature Effects*, SP-27, 257-277, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.

Burgoyne, C., Scantlebury, R. (2006). Why did Palau Bridge collapse?, *Structural Engineer, 84(11)*, 30-37.

Collins, Terese M. (1989). Proportioning High Strength Concrete to Control Creep and Shrinkage, *ACI Materials Journal, 86(6)*, 567-580.

Carette, G.G., Malhotra, V.M. (1997). Characterization of Canadian Fly Ashes and Their Relative Performance in Concrete, *Canadian Journal of Civil Engineering, 14(5)*, 667-682.

Chern, J-C., Chan, Y-W. (1989). Deformations of Concretes Made with Blast Furnace Slag Cement and Ordinary Portland Cement, *ACI Materials Journal, 86(4)*, 372-382.

Chern, J-C., Wu, Y.G., Chang, H.C. (1988 Influence of Loading Age on Long Term Drying Creep of Concrete, *Journal of the Chinese Institute of Engineers, 11(2)*, 113-120.

Çağlar, Y., Şener, S., Belgin, Ç., Şener, K.C. (2011a). Kutu Kesitli Öngerilmeli Köprülerde Zamana Bağlı Yerdeğiştirmeler, *XVII. Ulusal Mekanik Kongresi*, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 172-181.

Çağlar, Y., Şener, S., Yıldırım, O., Baştürk, A., Belgin, Ç., Arslan, A. (2011b). Kömürhan Köprüsünde Yerdeğiştirmeler, *2. Köprüler ve Viyadükler Sempozyumu*, Eskişehir, Türkiye, 963-972.

Eurocode 2. (2003). Design of Concrete Structures, *European Committee for Standartization*, rue de Stassart, 36 B-1050, Brüksel.

Hansen, T. C., Mattock, A. H. (1966). "Influence of Size and Shape on the Shrinkage and Creep of Concrete, *ACI JOURNAL, Proceedings, 63(2),* 267-290.

Hatt, W.K. (1907). Notes on the Effect of Time Element in Loading Reinforced Concrete Beams, *Proc. ASTM,* 421-433.

Hillsdorf, H. K., Carreira, D.J. (1980). ACI-CEB Conclusions of the Hubert Rüsch Workshop on Creep of Concrete, *Concrete International, 2(11),* 77.

Karaesmen, E. (2015). *Ardgermeli Beton ve Yeni Çözümler*, Freysaş-Freyssinet Yapı Sistemleri San. A.Ş., İstanbul.

Karayolları 7. Bölge Müdürlüğü (2014). *Şehzadeler Viyadüğü Hesap Raporu*, UBM. A.Ş., Ankara.

Karayolları Genel Müdürlüğü (2013). *Karayolu Teknik Şartnamesi*, Ankara.

Korkmaz, Ü. (2013). Kömürhan Köprüsünde Öngerilme Kayıpları, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Kuttner, C. H. (1997). Creep and Shrinkage for Windows: the Program for the RILEM Databank, *Karlsruhe University, Version 1.0*, Weimar, Berlin and Karlsruhe, Germany.

Kristek, V., Bazant, Z.P., Zich, M., Kohoutkova, A. (2006). Box Girder Bridge Deflections, *ACI Concrete International, 28(1),* 55-63.

Mehta, P. K. (1986). *Concrete: Structure, Properties and Materials*, Prentice-Hall, New Jersey.

Meyerson, R. (2001). Compressive Creep of Prestressed Concrete Mixtures with and without Mineral Admixtures, *Yüksek Lisans Tezi*, Virginia Polytechnic Institute and State University, USA.

McDonald, D. B. (1990). Selected Topics on Drying Shrinkage, Wetting Expansion and Creep of Concrete, *Doktora Tezi*, School of Civil and Mining Engineering, Sydney University, Australia.

McDonald, D. B., Roper, H. (1993). Accuracy of Prediction Models for Shrinkage of Concrete, *ACI Materials Journal, 90(3),* 265-271.

Muller, H. S. (1993). Considerations on the Development of a Database on Creep and Shrinkage Tests, *Creep and Shrinkage of Concrete*, Barcelona, İspanya, 3-14.

Muller, H. S., Bažant, Z. P., Kuttner, C. H. (1999). Data Base on Creep and Shrinkage Tests, *Rilem Subcommittee 5 Report*, RILEM TC 107-CSP, RILEM, Paris, 81.

RILEM Technical Committee TC 107. (1995). Guidelines for Characterising Concrete Creep and Shrinkage in Structural Design Codes or Recommendations, *Materials and Structures, 28,* 52-55.

Sakata, K. (1993). "Prediction of Concrete Creep and Shrinkage, *Proceedings of 5th International RILEM Symposium (Concreep5)*, Barcelona, İspanya, 649-654.

Sakata, K., Tsubaki, T., Inoue, S., and Ayano, T. (2001). "Prediction Equations of Creep and Drying Shrinkage for Wide-Ranged Strength Concrete, *Proceedings of 6th International Conference CONCREEP-6*, Boston, USA, 753-758.

Schwesinger, P., Ehlert, G., Woelfel, R. (1987). Creep of Concrete at Elevated Temperatures and Boundary Conditions of Moisture, *Cement and Concrete Research, 17(3),* 224- 234.

Sezdirmez, T. (2013). Gülburnu Köprüsünde Zamanla Oluşabilecek Yerdeğiştirmeler, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Şener, S. (2006). *Öngerilmeli Beton*, Alp Yayınevi, Ankara.

Şener, S., Çağlar, Y., Şener, K.C. (2009). Palau Köprüsünün Göçme Nedenleri, *İMO-İTÜ, Prof.Dr.Nahit Kumbasar Onuruna Betonarme Yapılar Semineri*, Davetli Konuşmacı, İstanbul, 63-72.

Şener, S., Çağlar, Y., Benzer, M.A., Şener, K.C. (2010). Vertical Dislacement of Collapsed Bridge in Palau, *ACE 2010, 9th Inter.Conf. on Advances in Civil Eng*., Trabzon, Türkiye, 239.

Şener, S., Çağlar, Y., Üçpınar, V., Şahin, C. (2013). Ardgermeli Tigem Köprüsünde Yerdeğiştirmeler, *İMO-İTÜ, Prof.Dr. Zekai Celep Onuruna Betonarme Yapılar Semineri*, Davetli Konuşmacı, İstanbul, 17-28.

Şener, S., Çağlar, Y., Şener, KC., Gündüz, N. (2014). The Differential Shrinkage Displacements of Box Section Prestressed Concrete Bridges, *IBC*, İstanbul, Türkiye, 31-32.

Şener, S., Çağlar, Y. (2016). Kömürhan Köprüsünde Düşey Yerdeğiştirmeler, *İMO Teknik Dergi, V.27*, 7287-7308.

Şener, S., Şener, K.C., Gündüz, N., Yecan, E., (2015). Öngerilmeli Beton Köprülerde Zamana Bağlı Yerdeğiştirmeler, *3.Köprüler ve Viyadükler Sempozyumu*, Bursa, Türkiye, 37.

Tikalsky, P.J., Carrasquillo, P.M., Carrasquillo, R.L. (1988). Strength and Durability Considerations Affecting Mix Proportioning of Concrete Containing Fly Ash. *ACI Materials Journal, 85(6),* 505-511.

Troxell, G., Davis, H., Kelly, J. (1968). *Composition and Properties of Concrete, 2nd Edition*, McGraw-Hill, New York.

TS EN 197-1. (2012). Genel Çimentolar-Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

TS 3233. (1979). Öngerilmeli Beton Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

Tuna, N. (2007). *Çemişgezek-Nürnberg Hattında Bir Doktor*, Nobel Tıp Kitabevleri, İstanbul.

Videla, C., Aguilar, C. (2005a). Drying Shrinkage Prediction Model for Chilean Concretes, *Revista Ingeniería de Construcción, 20(2)*, 139-152.

Videla, C., Aguilar, C. (2005b). Effectiveness of Shrinkage-Reducing Admixtures on Portland Pozzolan Cement Concrete, *Revista Materiales de Construcción*, *55(278)*, 13-28.

Videla, C., Covarrubias, J. P., Masana, C. (2004). Updating Concrete Drying Shrinkage Prediction Models for Local Materials, *ACI Materials Journal, 101(3)*, 187-198.

Videla, C., Gaedicke, C. (2004). Modeling Portland Blast Furnace Slag Cement High Performance Concrete, *ACI Materials Journal, 101(5)*, 365-375.

Wesche, K., Schrage, I., von Berg, W. (1978). Versuche zum Einfluss auf das Belastungsalters auf das Kreicken von Beton, *Deutscher Ausschuss fur Stahlbeton, 295*, 68-156.

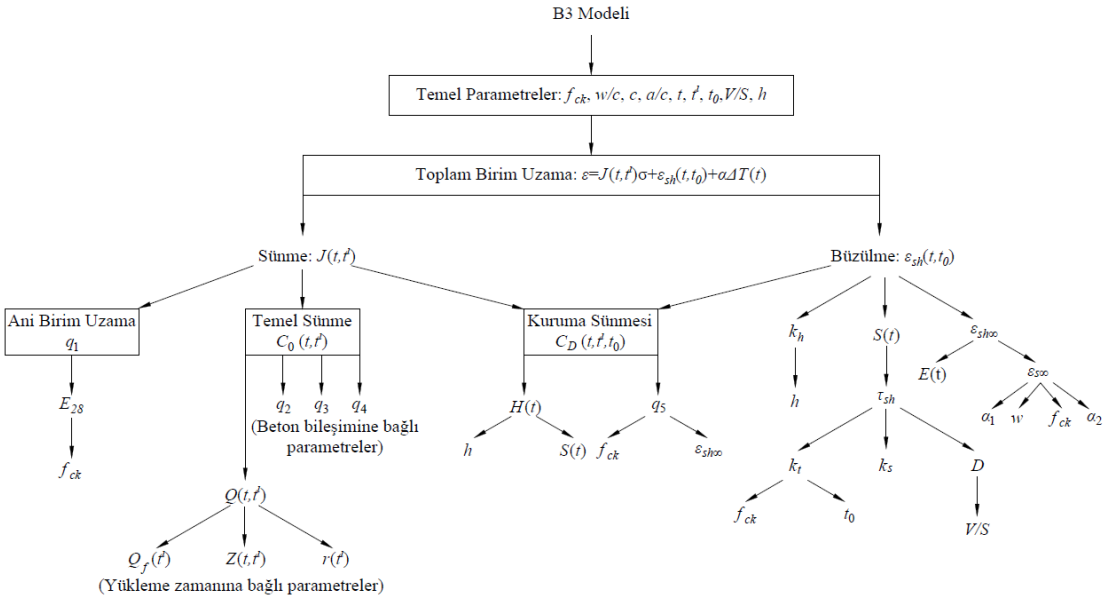
Wiegrink, K., Marikunte, S., Shah, S.P. (1996). Shrinkage Cracking of High Strength Concrete, *ACI Materials Journal, 93(5)*, 409-415.

Yee, A.A. (1979). Record Span Box Girder Bridge Connects Pasific Islands, *Concrete International*, 22-25.

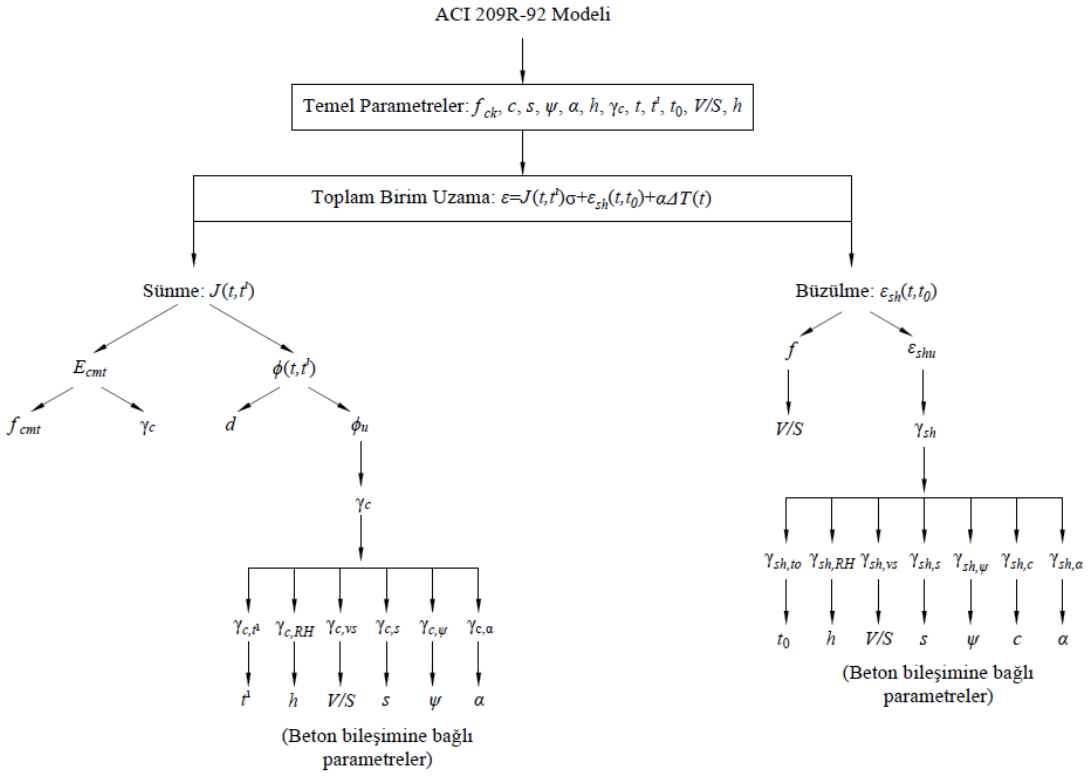
EKLER

EK A: Akış Şemaları

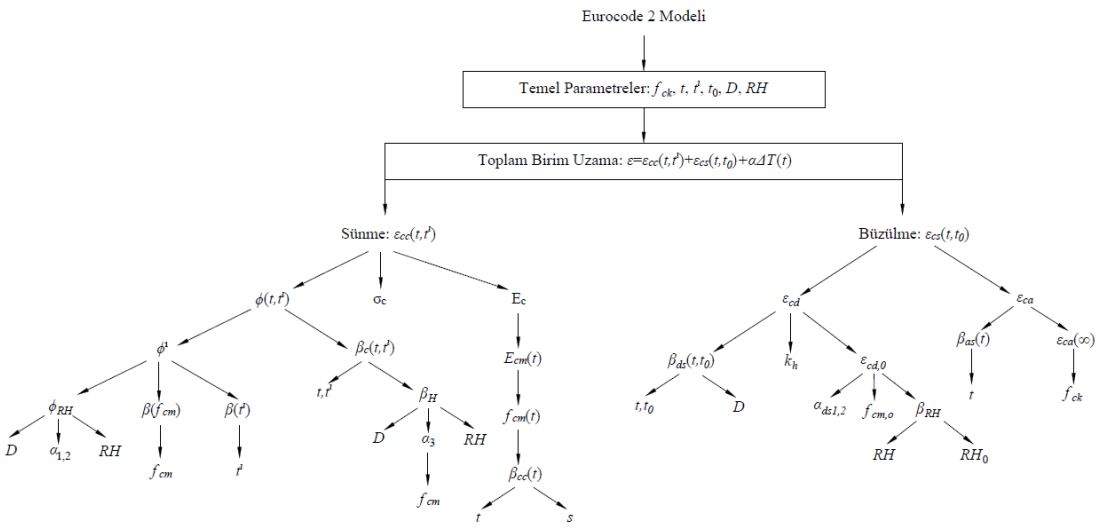
EK A



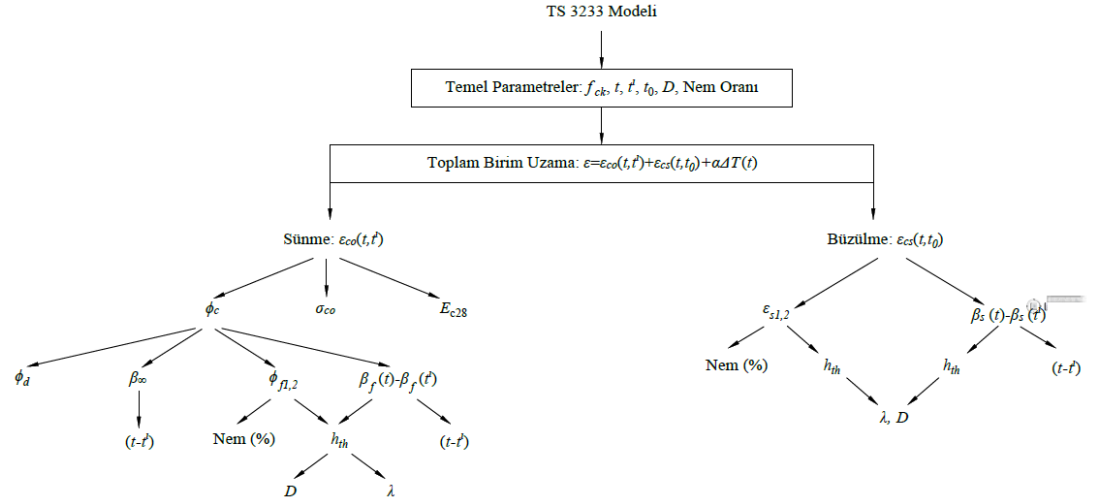
Şekil A.1 : B3 Modeli Akış Şeması



Şekil A.2 : ACI 209R-92 Modeli Akış Şeması

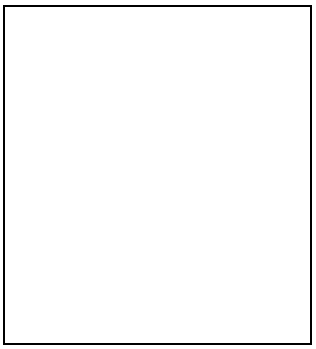


Şekil A.3 : Eurocode 2 Modeli Akış Şeması



Şekil A.4 : TS 3233 Modeli Akış Şeması

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad **: EREN YECAN**

Doğum Yeri ve Tarihi **: ELAZIĞ, 07.10.1988**

E-Posta **: erenyecan@gmail.com**

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** **:** 2013, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
- **Yükseklisans** **:** 2016, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Nisan 2013 ile Eylül 2013 arasında Aygün Alüminyum A.Ş'de Teklif Mühendisi olarak çalıştı.
- Mayıs 2014'ten beri İstanbul Bilgi Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Şener, S., Şener, K.C., Gündüz, N., Yecan, E., 2015. Öngerilmeli Beton Köprülerde Zamana Bağlı Yerdeğiştirmeler, *3.Köprüler ve Viyadükler Sempozyumu*, Bursa, Türkiye, 37.