



T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**DİLİMSEL DENGELİ KONSOL YÖNTEMİ İLE TASARLANAN BİR
KÖPRÜNÜN YAPIM AŞAMALARI DİKKATE ALINARAK YAPISAL
DAVRANIŞ ve MALİYET AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammet Abdullah ŞENER

TEMMUZ 2020
GÜMÜŞHANE

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DİLİMSEL DENGELİ KONSOL YÖNTEMİ İLE TASARLANAN BİR
KÖPRÜNÜN YAPIM AŞAMALARI DİKKATE ALINARAK YAPISAL
DAVRANIŞ ve MALİYET AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammet Abdullah ŞENER

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
“İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı”
Yüksek Lisans Programında Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07.07.2020

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 29.07.2020

TEMMUZ 2020

TEZ BEYANNAMESİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlamış olduğum “Dilimsel Dengeli Konsol Yöntemi ile Tasarlanan bir Köprünün Yapım Aşamaları Dikkate Alınarak Yapısal Davranış ve Maliyet Açısından Değerlendirilmesi” isimli tez çalışmada; bütün bilgi ve belgeleri genel akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı bütün bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak hazırlayıp sunduğumu, başka kaynaklardan yararlandığım bilgileri metin ve kaynaklarda eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma süresince bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksi durumda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

07/07/2020

Muhammet Abdullah ŞENER

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DİLİMSEL DENGELİ KONSOL YÖNTEMİ İLE TASARLANAN BİR
KÖPRÜNÜN YAPIM AŞAMALARI DIKKATE ALINARAK YAPISAL
DAVRANIŞ ve MALİYET AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Muhammet Abdullah ŞENER

Gümüşhane Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Özlem ÇAVDAR

2020, 159 Sayfa

Dilimsel dengeli konsol yapım metodu dünyada ve ülkemizde yıllardır kullanılan ve birçok örneği bulunan köprü inşaa metodudur. Açıklıkları 300 metre mesafeyi bulan ve viyadük toplam mesafesi birkaç kilometreye ulaşabilen, bununla birlikte orta açıklıklar 80-200 metre arasında etkili olmakta olup kutu kesitli ardgermeli beton tabliyeler için öncelikli bir yapım metodu olarak kullanılır.

Açıklıklar belli uzunluklara sahip dilim şeklinde köprü ayağı üstü diliminden itibaren açıklık ortalarına doğru sağa ve sola ilerlemektedir. Sistem dengeli konsol şeklinde çalışmaktadır. Köprü modeli açıklık ortasında kapatma dilimi döküldükten sonra sürekli hale gelir. Sonuç olarak, dilimsel yapım metoduyla yapılan viyadüğün tasarım ve projelendirilmesinde iki ayrı aşama dikkate alınması gerekir.

Bu çalışmanın öncelikli amacı, dilimli dengeli konsol yöntemine göre tasarlanmış bir köprünün, tasarımında yapım aşamalarının dikkate alınmasının köprünün sürekli sistem

olarak tasarımı ile ortaya çıkan kesit tesirleri ile mukayesesini yapmaktır. Ayrıca sürekli köprü sistemin deprem analizi de gerçekleştirilmiştir. Bu analiz sırasında depremler uzak ve yakın fay etkisini inceleyecek şekilde seçilmiştir. Bu amaca yönelik olarak 2 ayaklı 3 açıklıklı toplam 345 m uzunluğunda bir dengeli konsol tasarlanmış ve analizler bu köprü üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmadaki örnek köprü modeli, Trabzon ili Ortahisar ilçesinde yer alan ve prekast kirişli köprü yöntemine göre yapımı halen devam etmekte olan Karşıyaka Viyadüğü'nün aplikasyonuna göre tasarlanmıştır. Böylelikle iki farklı inşaa yönteminin mukayeseli maliyet analizi gerçekleştirmek de mümkün olmuştur.

Bu çalışmada köprü üstyapısının yapım aşamaları anlatılmış, tasarımda dikkate alınacak yük ve yük kombinasyonları verilmiştir. Viyadük üstyapısının dengeli konsol durumu analizi için gerekli yükler hesaplanmıştır. Köprü üstyapısı farklı geometriye sahip dilimlerden oluşmaktadır. Bu sebeple, herbir dilimin ardgerme tekniği, yapım süresine bağlı olarak dilimlerin farklı beton yaşlarında uygulandığından zamana bağlı gelişen etkiler dikkate alınmalıdır. Uluslararası düzeyde kabul görmüş ve ülkemizde de Kara Yolları Genel Müdürlüğünce kullanılmakta olan köprü tasarım yönetmeliği, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) hükümleri doğrultusunda dilimsel dengeli konsol köprülerin analizi malzeme modelleri ele alınarak incelenmiştir.

Buna göre, yapılan bu yüksek lisans çalışmasında ilk olarak dilimlerin yapım aşamaları artırimsal zaman adımlı analiz yöntemine göre incelenmiştir ve her bir kesitte her bir dilimin yapımı tamamlandıktan sonra meydana gelen gerilmelerin analizleri yapılmıştır. Yapım aşaması zamanı süresince herhangi bir kesitte oluşan gerilmeler AASHTO'da belirlenen izin verilen gerilme sınırlarını aşmadığı belirlenmiştir. Yine dengeli konsol köprü modeline Düzce 1999 Deprem kayıtları ile zaman tanım alanında analiz yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda modelde meydana gelen eğilme momenti değerlerinin deprem anında daha yüksek sonuçlar verdiği ortaya çıkmıştır.

Yapım aşamasına göre yapılan analiz sonucunda daha yüksek eğilme momenti, kesme kuvveti ve gerilme değerleri elde edilmiştir. Buradan hareketle köprü tasarımlarının sadece servis durumuna göre değil yapım aşamalarını da dikkate alacak şekilde yapılmasının gerekliliği ortaya koyulmuştur. Özellikle yapılan halat hesaplarında elde edilen sonuçlar halat miktarını etkileyebilmektedir. Aktif fay kuşağında bulunan ülkemizde halat yetersizliği ciddi sorunlara sebebiyet verebilmektedir.

Ülkemizde ve dünyada kullanılan birçok köprü sınıfı metodu vardır. Bunlardan en çok kullanılan köprü sınıfı ise prekast kirişli köprüdür. İnşası devam eden Karşıyaka Viyadüğü ile gerçekleştirilen mukayeseli maliyet analizi sonucunda ise bu çalışmaya konu olan dilimli konsol köprünün maliyetinin %33'e varan oranda daha düşük bulunduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Dilimsel Dengeli Konsol Yöntemi, Yapım Aşaması, Statik analiz, Dinamik Analiz, Maliyet Hesabı,Köprü.



ABSTRACT

MS THESIS

EVALUATION OF STRUCTURAL BEHAVIOR AND COST OF CONSTRUCTION OF A BRIDGE DESIGNED BY THE SEGMENTALLY CONSTRUCTED BALANCED CANTILEVER METHOD

Muhammet Abdullah ŞENER

Gümüşhane University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Professor Doctor Özlem ÇAVDAR

2020, 158 Page

The linguistic balanced cantilever construction method is the bridge construction method that has been used for years in the world and in our country and has many examples. The openings of which can reach 300 meters and the total distance of the viaduct can reach several kilometers, however, the middle openings are effective between 80-200 meters and are used as a primary construction method for box cross-section concrete slabs.

The openings are moving to the middle of the opening to the right and left starting from the top of the column, in the form of a slice with certain lengths. The system operates as a balanced console. The bridge model becomes continuous after pouring the closing slice in the middle of the opening. As a result, two different stages should be taken into account in the design and project design of the viaduct made by the slice construction method.

The primary purpose of this study is to compare the internal forces effects that occur with the design of the bridge as a continuous system, considering the construction stages of a bridge designed according to the sliced balanced console method. In addition, earthquake analysis of the continuous bridge system was also carried out. During this analysis, earthquakes were selected to examine the effect of distant and near faults. For this purpose, a balanced console with a total length of 345 m with 2 legs and 3 spans was designed and the analyzes were carried out on this bridge.

The sample bridge model in this study was designed according to the application of Karşıyaka Viaduct in Trabzon, Ortahisar district, which is still under construction according to the precast beam bridge method. Thus, it was possible to perform comparative cost analysis of two different construction methods.

In this study, the construction stages of the bridge superstructure are explained and the load and load combinations to be considered in the design are given. Necessary loads were calculated for the balanced console condition analysis of the viaduct superstructure. Bridge superstructure consists of slices with different geometry. For this reason, the time-stretching effects of each slice should be taken into account as the slices are applied at different concrete ages depending on the construction time. The bridge design regulation, which is internationally accepted and used by the General Directorate of Highways in our country, was analyzed by analyzing the material models of the slice-balanced cantilever bridges in line with the provisions of the American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

Accordingly, in this master's study, the production stages of the slices were first examined according to the incremental time-step analysis method and the stresses that occurred after the completion of each slice in each section were analyzed. It has been determined that the stresses formed in any section during the construction phase time do not exceed the allowable stress limits set in AASHTO. Again, the balanced cantilever bridge model was analyzed in Düzce 1999 Earthquake records in the time domain. As a result of the analysis, it was found that the bending moment values in the model gave higher results in earthquake suspicion.

As a result of the analysis made according to the construction stage, higher bending moment, shear force and tensile values were obtained. From this point of view, the necessity of making the bridge designs not only according to the service status but also the construction stages has been revealed. The results obtained especially in the calculations of the ropes can

affect the amount of ropes. In our country, which is in the active fault zone, rope insufficiency may cause serious problems.

There are many bridge class methods used in our country and in the world. The most commonly used bridge class is the precast beam bridge. As a result of the comparative cost analysis conducted with the Karşıyaka Viaduct under construction, it was found that the cost of the sectional cantilege bridge, which is the subject of this study, is up to 33% lower.

Keywords: Slice Balanced Console Method, Construction Phase, Static Analysis, Dynamic Analysis, Cost Calculation, Bridge.



TEŞEKKÜR

Bu çalışma ile köprüler ve özellikle dengeli konsol köprülerin tasarımı, deprem davranışları hususunda ülkemiz bilimine katkı sağlamayı amaçladım.

Bu yüksek lisans tezimi hazırlarken çeşitli zorluklar ve bilgi eksiklikleri ile karşılaştım. Bunun için çok kapsamlı literatür araştırmalarını yerli ve yabancı kaynaklardan yaptım. Bu tezi hazırlarken İnşaat Mühendisliğinin önem, hassasiyet ve zorluğunu gördüm. Bu zorluklardan çıkmanın yolunun deneyim, araştırma ve kararlılık olduğunu çalışmanın sonucunda farkettim. Bu çalışmamda karşılaştığım zorluk ve problemleri bilgi ve tecrübesiyle aşmamda bana yardımcı olan maddi ve manevi tüm desteğini benden esirgemeyen çok değerli Danışman Hocam Sayın Prof. Dr. Özlem ÇAVDAR'a, teşekkürlerimi sunarım.

Bu konuya beni yönlendiren Özde Yapı İnşaat Teknikeri Abdülkadir APAYDIN'a, Mapa İnşaat Şantiye Şefi Çetin ÖZDEMİR'e, eşim Merve ŞENER'e ve maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen patronum Ali Türen ÖZTÜRK'e ve ayrıca değerli çalışma arkadaşım Ali Kemal BEKTAŞ'a saygılarımı sunarım. Beni bu yaşıma kadar yetiştiren değerli aileme de teşekkürü bir borç bilirim.

M. Abdullah ŞENER

Gümüşhane, 2020

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	IV
ABSTRACT	VII
TEŞEKKÜR	X
İÇİNDEKİLER.....	XI
ŞEKİLLER DİZİNİ	XIV
TABLolar DİZİNİ.....	XXI
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	XXIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı	2
1.3. Literatür Araştırması	4
1.4. Betonarme Köprüler	8
1.4.1 Betonun Özellikleri	8
1.4.2. Betonun Zamana Bağlı Malzeme Özellikleri	9
1.4.2.1. Basınç Dayanımı	9
1.4.2.2. Betonun Yaşı	10
1.4.2.3. Betonun Büzülmesi	10
1.4.2.4. Prekast Kirişli Köprüler.....	11
1.4.2.5. Çeliğin Gevşemesi.....	13
1.5. İlk Beton Yapılar	13
1.6. Öngermeli Beton	14
1.7. Köprü Çeşitleri	18
1.7.1. Kemer Köprüler.....	18
1.7.2. Kablolü Köprüler.....	20
1.7.3. Asma Köprüler	22

1.7.4.	Öngermeli Köprüler	24
1.7.4.1.	Prekast Kirişli Köprüler.....	24
1.7.4.2.	Dengeli Konsol Köprüler	26
1.8.	Amerika Devlet Karayolu ve Ulaşım Görevlileri Birliği Şartnamesi (AASHTO)30	
1.8.1.	Aashto’ya Göre Köprülerin Depreme Dayanıklı Tasarımı	30
1.8.2.	AASHTO Yönetmelik İçeriği	31
1.8.3.	İvme Katsayısı Bulunması.....	32
1.8.4.	Geoteknik Hareketlerin İfadeleri.....	32
1.8.5.	İvme Değerinin Hesaplama Yöntemleri.....	33
1.8.6.	Köprü Önem Sınıflandırması.....	34
1.8.7.	Zeminin Etkisi	35
1.8.8.	Bölgesel Geoteknik Katsayısı.....	36
1.9.	Yapım Aşamasına Göre Dengeli Konsol Köprüler.....	36
1.9.1.	Yapım Tekniği	36
1.9.2.	Dengeli Konsol Köprü Boyutlandırılması	40
1.9.3.	Dengeli konsol Kesit üstü halat hesabı	42
1.9.4.	Dengeli konsol Kesit Altı Halat Hesabı	47
1.9.5.	Artımsal Zaman Adımı Yöntemi.....	48
1.9.6.	Kesit Tesirleri	50
1.9.6.1.	Dilimlerin Kendi Ağırlığından Dolayı Meydana Gelen Eğilme Momentleri	50
1.10.	Yakın Fay ve Uzak Fay Yer Hareketleri	54
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	56
2.1.	Tasarlanan Köprü Modelinin Yeri	56
2.1.1.	Tasarım Aşaması.....	57
2.1.2.	Yüklerin Tanımı ve Yük Birleşimleri	73
2.1.3.	Kesit Ön Boyutlandırması	73
2.2.4.	Köprü Halat Hesabı	75

2.2.4.1.	Dengeli Konsol Kesit Üstü Halat Hesabı	75
2.2.4.2.	Dengeli Konsol Kesit Altı Halat Hesabı.	81
2.3.	Dengeli Konsol Köprü Modelinde Kullanılan Yükler	82
2.3.1.	Sabit Yükler.....	82
2.3.2.	Hareketli Yükler	82
2.3.3.	Titreşim (Impact) Faktörü	83
2.3.4.	Fren Yükü.....	83
2.3.5.	Yaya Yükleri	83
2.3.6.	İklim Yükleri	83
2.3.7.	Rüzgar Yükleri	83
2.3.8.	Yapım Yüklemeleri	84
2.4.	Bölgenin Geoteknik Özellikleri.....	84
2.5.	Tasarım Spektrumları	85
2.5.1.	Yatay Elastik Tasarım Spektrumu.....	87
2.6.	Maliyet Analizinde Karşılaştırma Yapılacak Trabzon Karşıyaka Viyadüğü.....	88
3.	BULGULAR VE İRDELEMELER	93
3.1.	Modelin Analiz Aşaması	93
3.1.1.	Dengeli Konsol Köprünün Yapım Aşaması Analizi	96
3.1.2.	Kesitlerde Meydana Gelen Gerilme Tahkikleri	108
3.1.3.	Yapım Aşamasına Göre Yer değiştirme Değişimleri.....	120
3.2.	SAP 2000 İle Dengeli Konsol Köprünün Sürekli Kiriş Olarak Analizi.....	128
3.3.	Dengeli Konsol Köprünün Dinamik Analizi.....	137
3.4.	Metraj ve Maliyet Hesabı.....	146
4.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	153
5.	KAYNAKLAR.....	156
6.	ÖZGEÇMİŞ.....	160

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Betonun birim gerilmeler altında basınç çekme uzama kısalması grafiği	15
Şekil 1.2.	Merkezden Çekilen Öngerilmeli Basit Kiriş	15
Şekil 1.3.	Dış merkezli gerdirilen öngerilmeli basit kiriş.....	16
Şekil 1.4.	Öngerme kiriş düzeneği	17
Şekil 1.5.	Dengeli konsol en kesiti	18
Şekil 1.6.	Kemer köprü en kesiti	19
Şekil 1.7.	Kemer köprü tipleri	19
Şekil 1.8.	Sydney harbour köprüsü	20
Şekil 1.9.	Kablolu tertibatlar	21
Şekil 1.10.	Oberkassel Ren Nehri Köprüsü.....	22
Şekil 1.11.	Yavuz Sultan Selim köprüsü	22
Şekil 1.12.	Tipik bir asma köprü	23
Şekil 1.13.	Asma köprü uygulaması (Fatih Sultan Mehmet Köprüsü)	24
Şekil 1.14.	Prekast kirişli köprü(Karşıyaka Viyadüğü).....	25
Şekil 1.15.	Köprü üst yapısının oluşturulan dilimlerin inşasına ait şematik gösterim.....	26
Şekil 1.16.	Dengeli konsol örneği (Berta Köprüsü)	28
Şekil 1.17.	Berta dengeli konsol köprüsü yapım aşamalarına ait şematik gösterim .	28
Şekil 1.18.	Dengeli konsol inşası.....	29
Şekil 1.19.	Dengeli konsol üç boyutlu görünüş.....	29
Şekil 1.20.	EPA'nın davranış spektrumundan üretilmesi.....	33
Şekil 1.21.	Dilimsel dengeli konsol üstyapısının şematik olarak yapım aşamaları-1	37

Şekil 1.22.	Dilimsel dengeli konsol üstyapısının şematik olarak yapım aşamaları-2	37
Şekil 1.23.	Dilimsel dengeli konsol üstyapısının şematik olarak yapım aşamaları-3.	38
Şekil 1.24.	Dengeli konsol köprü döküm arabası.....	38
Şekil 1.25.	Dengeli konsol tabliye iç görünüşü.....	38
Şekil 1.26.	Beton dökümüne ait dengeli konsol dilimi	39
Şekil 1.27.	Ardgerme çekim işlemi	40
Şekil 1.28.	Köprü boykesit görünüşü	41
Şekil 1.29.	Ardgermeli kutu kesitte meydana gelen gerilmeler	44
Şekil 1.30.	31'li halat düzenine sahip halat plakası	45
Şekil 1.31.	31 adet halata sahip plakanın teknik resmi	45
Şekil 1.32.	Galvanizli ardgerme koruyucu kılıfları.....	45
Şekil 1.33.	Halatın şematik olarak görünüşü.....	46
Şekil 1.34.	Farklı yapım aşamaları sonunda uygulanan ardgerme kuvveti ve bileşenleri tabliye profil görüntüsü.	49
Şekil 1.35.	Farklı yapım aşamaları sonunda uygulanan ardgerme kuvveti ve bileşenleri-tabliye plan görüntüsü	50
Şekil 1.36.	Köprü üstyapısı dilimlerin ölü yük dağılımı.	51
Şekil 1.37.	Dilim enkesit alanına bağlı olarak ölü yük hesabı	51
Şekil 1.38.	Dilim başlangıç ve bitiş enkesit alanına bağlı ağırlık merkezi yeri hesap örneği-1	52
Şekil 1.39.	Dilim başlangıç ve bitiş enkesit alanına bağlı ağırlık merkezi yeri hesap örneği-2	53
Şekil 1.40.	İlerleyen yapım aşamalarında dilim ölü yüklerinden dolayı meydana gelen eğilme momenti diyagramı.	54
Şekil 2.1.	Tasarım köprüsü güzergahı	57
Şekil 2.2.	Akslar arası açıklık düzeni	58

Şekil 2.3.	Detaylı akslar arası açıklık düzeni	58
Şekil 2.4.	Tabliye kesit özellikleri	59
Şekil 2.5.	Birinci dilimin kesit ölçüleri	59
Şekil 2.6.	Üst kısım detayları	60
Şekil 2.7.	Alt kısım detayları	60
Şekil 2.8.	Köprü ayağı kesit planı	61
Şekil 2.9.	Tabliye kesitinin üst başlık ve alt başlık	62
Şekil 2.10.	Köprü üst yapısına ait dilim düzeni	62
Şekil 2.11.	Eğilme momenti hesabı için kesit özellikleri	67
Şekil 2.12.	Köprü boy kesit görünüşü	74
Şekil 2.13.	Köprü açıklığı boyunca enkesit alanlarının mesafeye göre değişiminin şematik gösterimi	76
Şekil 2.14.	Eğilme momenti değişimi	77
Şekil 2.15.	Mesnet dilim kesitinde ardgerme kablo kanalları yerleşimi ve numaralandırılması	79
Şekil 2.16.	Kesit altı halat yerleşim planı	81
Şekil 2.17.	Standart kamyon yükleri (Tören, 2011)	82
Şekil 2.18.	Trabzon karşıyaka viyadüğü	89
Şekil 2.19.	Karşıyaka viyadüğü üst görünüş planı	90
Şekil 2.20.	Karşıyaka viyadüğü anayol kesit planı	90
Şekil 2.21.	Karşıyaka viyadüğü yan yol kesit planı	91
Şekil 2.22.	Karşıyaka viyadüğü temel, köprü ayağı ve başlık kirişi planı	92
Şekil 3.1.	Modelin SAP 2000 görünüşü	94
Şekil 3.2.	Dengeli konsol köprünün modal analiz sonucunda oluşan (a) birinci mod (b) ikinci mod (c) üçüncü mod şekilleri	95
Şekil 3.3.	Sistemin ardgerme dizaynı	97

Şekil 3.4.	Öngerilmeli çelik için gerilme şekil-değiştirme (a) ve zamana bağlı malzeme özellikleri değişimi (b) diyagramları	97
Şekil 3.5.	Modelin hacimsel görünüşü	98
Şekil 3.6.	Tabliye kesitin çizimi ve sap 2000 programına aktarılması	99
Şekil 3.7.	Gerilme noktalarının atanması	100
Şekil 3.8.	Kalıp arabasının ilerlemesi	101
Şekil 3.9.	İmalat yayılı yükünün sisteme etki ettirilmesi	102
Şekil 3.10.	Halat elemanların programa tanımlanması	103
Şekil 3.11.	Yükleme durumlarının oluşturulması	104
Şekil 3.12.	Yük aktarılması	105
Şekil 3.13.	Her dilim sonunda meydana gelen eğilme momenti değerleri	106
Şekil 3.14.	Yapım aşamasında maksimum yükten kaynaklı maksimum eğilme momenti	107
Şekil 3.15.	Yapım aşamasına göre elde edilen kesme kuvveti değerleri	108
Şekil 3.16.	1. Dilimin yapım günlerine bağlı gerilme değişimi	110
Şekil 3.17.	2. Dilimin yapım günlerine bağlı gerilme değişimi	112
Şekil 3.18.	3. Dilimin yapım günlerine bağlı gerilme değişimi	112
Şekil 3.19.	4. Dilimin yapım günlerine bağlı gerilme değişimi	113
Şekil 3.20.	5. Dilimin yapım günlerine bağlı gerilme değişimi	113
Şekil 3.21.	6. Dilimin yapım günlerine bağlı gerilme değişimi	114
Şekil 3.22.	7. Dilimin yapım günlerine bağlı gerilme değişimi	114
Şekil 3.23.	8. Dilimin yapım günlerine bağlı gerilme değişimi	115
Şekil 3.24.	9. Dilimin yapım günlerine bağlı gerilme değişimi	115
Şekil 3.25.	10. Dilimin yapım günlerine bağlı gerilme değişimi	116
Şekil 3.26.	11. Dilimin yapım günlerine bağlı gerilme değişimi	116
Şekil 3.27.	12. Dilimin yapım günlerine bağlı gerilme değişimi	117
Şekil 3.28.	13. Dilimin yapım günlerine bağlı gerilme değişimi	117

Şekil 3.29.	14. Dilimin yapım günlerine bağlı gerilme değişimi	118
Şekil 3.30.	15. Dilimin yapım günlerine bağlı gerilme değişimi	118
Şekil 3.31.	16. Dilimin yapım günlerine bağlı gerilme değişimi	119
Şekil 3.32.	17. Dilimin yapım günlerine bağlı gerilme değişimi	119
Şekil 3.33.	18. Dilimin yapım günlerine bağlı gerilme değişimi	120
Şekil 3.34.	1. Dilimin yapımı sonucunda elde edilen yerdeğiştirme grafiği	120
Şekil 3.35.	2. Dilimin yapımı sonucunda elde edilen yerdeğiştirme grafiği	121
Şekil 3.36.	3. Dilimin yapımı sonucunda elde edilen yerdeğiştirme grafiği	121
Şekil 3.37.	4. Dilimin yapımı sonucunda elde edilen yerdeğiştirme grafiği	122
Şekil 3.38.	5. Dilimin yapımı sonucunda elde edilen yerdeğiştirme grafiği	122
Şekil 3.39.	6. Dilimin yapımı sonucunda elde edilen yerdeğiştirme grafiği	123
Şekil 3.40.	7. Dilimin yapımı sonucunda elde edilen yerdeğiştirme grafiği	123
Şekil 3.41.	8. Dilimin yapımı sonucunda elde edilen yerdeğiştirme grafiği	123
Şekil 3.42.	9. Dilimin yapımı sonucunda elde edilen yerdeğiştirme grafiği	124
Şekil 3.43.	10. Dilimin yapımı sonucunda elde edilen yerdeğiştirme grafiği	124
Şekil 3.44.	11. Dilimin yapımı sonucunda elde edilen yerdeğiştirme grafiği	124
Şekil 3.45.	12. Dilimin yapımı sonucunda elde edilen yerdeğiştirme grafiği	125
Şekil 3.46.	13. Dilimin yapımı sonucunda elde edilen yerdeğiştirme grafiği	125
Şekil 3.47.	14. Dilimin yapımı sonucunda elde edilen yerdeğiştirme grafiği	125
Şekil 3.48.	15. Dilimin yapımı sonucunda elde edilen yerdeğiştirme grafiği	126
Şekil 3.49.	16. Dilimin yapımı sonucunda elde edilen yerdeğiştirme grafiği	126
Şekil 3.50.	17. Dilimin yapımı sonucunda elde edilen yerdeğiştirme grafiği	126
Şekil 3.51.	18. Dilimin yapımı sonucunda elde edilen yerdeğiştirme grafiği	127
Şekil 3.52.	Modelin genel görünüşü.....	129
Şekil 3.53.	Dengeli konsol köprünün 3d sonlu eleman modeli.....	129
Şekil 3.54.	Asfalt yüklerinin etki ettirilmesi	130
Şekil 3.55.	Kaldırım yüklerinin oluşturulması	130

Şekil 3.56.	H30-S24 kamyon yüklemesi	131
Şekil 3.57.	H30-S24 kamyon yükü ve yükleme datalarının oluşturulması-1	131
Şekil 3.58.	Kamyon yükü durumlarının oluşturulması-2	132
Şekil 3.59.	Ölü yük etkisi altında eğilme momenti diyagramı	132
Şekil 3.60.	Kaplama yükü etkisi altında eğilme momenti eğilme momenti diyagramı.....	133
Şekil 3.61.	New Jersey yükünden kaynaklı eğilme momenti diyagramı	134
Şekil 3.62.	Kamyon yükünden kaynaklı eğilme momenti diyagramı	134
Şekil 3.63.	Servis durumunda toplam yükten kaynaklı maksimum negatif eğilme momenti.....	135
Şekil 3.64.	Yapım aşamasında toplam yükten maksimum negatif eğilme momenti.....	135
Şekil 3.65.	Yapım Aşması ve sürekli sistem eğilme momenti karşılaştırması.....	137
Şekil 3.66.	Spektral ivme- periyot diyagramı.....	139
Şekil 3.67.	Ölçeklendirme hesabından gelen spektral ivme-periyot grafiği	139
Şekil 3.68.	Rsn1611_E ivme zaman grafiği	140
Şekil 3.69.	Rsn1611_N ivme zaman grafiği.....	141
Şekil 3.70.	Rsn1612_E ivme zaman grafiği	141
Şekil 3.71.	Rsn1612_N ivme zaman grafiği.....	142
Şekil 3.72.	Rsn1617_E ivme zaman grafiği	142
Şekil 3.73.	Rsn1617_N ivme zaman grafiği.....	143
Şekil 3.74.	Düzce 1999 Deprem Kayıtlarına göre köprü modelinin eğilme moment grafiği	143
Şekil 3.75.	Deprem Analizi Sonucu Elde Edilen Yerdeğiştirme Sonuçları	144
Şekil 3.76.	Köprü ayağında oluşan yerdeğiştirme grafiği (m)	145
Şekil 3.77.	Köprü ayağında oluşan moment grafiği (kNm)	145
Şekil 3.78.	Köprü ayağında meydana gelen gerilme grafiği (kN/m ²).....	146
Şekil 3.79.	Eğilme momenti karşılaştırması.....	147

Şekil 3.80.	Dengeli konsol ve prekast kirişli köprü için beton karşılaştırması	150
Şekil 3.81.	Dengeli konsol ve prekast kirişli köprü için beton karşılaştırması	150
Şekil 3.82.	Dengeli konsol köprüünün imalat kalemlerinin yüzde karşılığı	151
Şekil 3.83.	Prekast kirişli köprüünün imalat kalemlerinin yüzde karşılığı	151



TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1.	Köprülerin Dönüşün zamanları, geçilme olasılıkları	34
Tablo 1.2.	Deprem performans sınıfları	35
Tablo 1.3.	Bölgesel geoteknik katsayısı (S)	36
Tablo 1.4.	Açıklık boylarına göre kesit yükseklik oranları	41
Tablo 1.5.	Sismik kaynak tipleri.....	55
Tablo 2.1.	Dilim kesit özellikleri.....	63
Tablo 2.2.	Dilimlerin alanı	64
Tablo 2.3.	Dilim ağırlıkları vb. özellikleri	65
Tablo 2.4.	Dilim ağırlık ve yayılı yük hesabı.....	66
Tablo 2.5.	Tabliye kesit özellikleri.....	67
Tablo 2.6.	Kesitlerde dilim ağırlığından dolayı oluşan eğilme momenti kolları kNm (yapım aşaması)	69
Tablo 2.7.	Kesitlerde dilim ağırlığından dolayı oluşan herbir adım sonunda oluşan eğilme momentleri kNm	70
Tablo 2.8.	Kesitlerde kalıp arabasından dolayı meydana gelen eğilme momentleri kNm.....	71
Tablo 2.9.	Kesitlerde imalat yüklerinden dolayı meydana gelen eğilme momentleri (kN).	72
Tablo 2.10.	Kesit üstü geçen kablo adeti.....	80
Tablo 2.11.	Karşıyaka viyadüğü-yeraltısu derinlikleri.....	85
Tablo 2.12.	Yerel zemin sınıfları (URL-1).....	86
Tablo 2.13.	Yerel zemin etki katsayıları (URL-1).....	87
Tablo 2.14.	Etki sınıfı f_1 (URL-1).....	87
Tablo 3.1.	Periyot ve frekans değerleri.....	96
Tablo 3.2.	SAP 2000 modeli için ortalama kesitler.....	99

Tablo 3.3.	Gerilme sınır değerleri	110
Tablo 3.4.	Gerilme değişimleri.....	111
Tablo 3.5.	Yerdeğiştirme sınır değer kontrolü	128
Tablo 3.6.	Kullanılan deprem kayıtları.....	138
Tablo 3.7.	Depremlerin etki şiddetleri.....	138
Tablo 3.8.	Deprem kayıtlarının özellikleri	140
Tablo 3.9.	Prekast kirişli köprü metrajı	148
Tablo 3.10.	Prekast kirişli köprü maliyeti	148
Tablo 3.11.	Dengeli konsol köprü metrajları.....	149
Tablo 3.12.	Dengeli konsol köprü maliyeti	149

SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A	:Dilim kesit alanı
A(t)	:Spektral ivme katsayısı
B _{cc} (t)	:Betonun yaşına bağlı bir katsayı
B _s	:Zamana bağlı büyütme katsayısı
C _{sm}	:Elastik davranış katsayısı
E _{ci} (t)	:T günlük elastikiyet modülü
E _{ci}	:28 günlük elastikiyet modülü
f	:Frekans
f _{cm} (t)	:Herhangi bir yaştaki beton basıncı
f _{ci}	:Betonun karakteristik basınç dayanımı
g	:Yerçekimi İvmesi
G	:Ağırlık
H	:Tabliye Kesit Yüksekliği
H30-S24	:Kamyon Yüğü
L	:Dilim Uzunluğu
M	:Eğilme Momenti
N	:Gerekli Halat Adeti
P	:Halat Kuvveti
PGV	:Etkin yer Hızı
PGA	:Etkin yer ivmesi
P _t	:T saat sonraki çeliğin gevşemesi
M _w	:Magnitüt
S	:Zeminlerin Büyütme Parametresi
S _a (g)	:Yatay elastik tasarım ivmesi
S _r	:Kayma Oranı
S _s	:Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
S ₁	:1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
T	:Periyod
V	:Hacim
Z	:Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı
I	:Birincil Viyadükler İçin Önem Sınıfı
II	:Sekonder Viyadükler İçin Önem Sınıfı
X	:Moment Kolu
Q	:Titreşim Faktörü
σ	:Gerilme

1.GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Betonarme karayolu köprülerinin yapım maliyetlerinin yüksek olması ve bulundukları bölgeye bıraktığı lojistik önemleri dikkate alındığında, bu tür mühendislik yapılarının deprem davranışlarının belirlenilmesinin büyük önemi vardır. Özellikle, ülkemizin aktif bir deprem kuşağı üzerinde bulunması, karayolu köprülerinin projelendirilmesinde ve uygulanmasında depremin önemli bir dinamik parametre olarak dikkate alınmasını zorunlu kılmıştır. Köprülerin depremlerden zarar görmesi, can ve mal kaybının yanında şehirlerarası ulaşımı önemli ölçüde aksatacaktır.

Köprüler ulaşım engel olan vadi ve benzeri büyük engebeli araziler üzerinden geçen, arazideki ve bir kentsel yerleşme dokusundaki boşlukları geçerek iki uç hedef noktasını bağlayan bir yapısal sistemdir. Viyadükler arazi ve çevresiyle uyum sağlayan yapı inşasıdır, ve bu uyumun sonucu olarak köprü estetiği köprünün başlangıç aşamasında köprü tipini belirlemektedir. Daha sonraki projelendirme aşamalarında yapı geometrisi ortaya çıkarılmasıyla beraber ve yapım maliyet unsurunu da göz önünde tutarak köprü yapım teknolojisi seçimi yapılır. Köprü mühendisliğinin özel uygulamalarından olan dengeli konsol yöntemi çok büyük açıklıkların geçilmesinde yaygın olarak kullanılan bir yapım tekniğidir. Çok fazla köprü ayak yapımının köprünün inşa edildiği çevreden ve bununla beraber jeolojik özelliklerinden kaynaklanan nedenlerden dolayı mümkün olmadığı ve tabliye açıklıklarının 100 m'den daha yüksek olması durumunda dengeli konsol yapım tekniği rakipsiz kalmaktadır.

Yürütülen tez çalışması konusu olan dilimsel dengeli konsol yöntemi köprü üstyapısının boyuna doğrultusunda dilimlere bölünmesine dayanan bir yöntem çeşididir. Köprü ayaklarından açıklık ortasına giderek dilim enkesitleri değişken yükseltilere sahip olduğundan köprü üstyapısı boyuna yönde eğrisellik oluşturmaktadır ve köprü estetiği açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır.

Ardgermeli beton malzemesinden oluşan kutu kesitli dilimlere sahip köprü üstyapısı yapımı diğer yöntemlere göre daha yavaş ilerleyen bir yapım tekniğidir. Beton malzemesinin zamana bağlı oluşan büzülme ve sünme etkileri ve yüksek mukavemetli öngerme çeliğinin gevşemesi farklı zamanlarda inşa edilen yerinde dökme dilimlerin tasarımında dikkate alınması gereken hususlardır.

Dengeli konsol yöntemi ile inşa edilen köprü yapım aşamasında ve daha sonra sürekli sistem oluşturma aşamasında farklı etkilere maruz kalmaktadır. Bu yüzden köprü tasarımı bu iki farklı aşamada meydana gelen etkiler dikkate alınarak yapılması gerekmektedir (Nuri, 2019)

Dengeli konsol köprüler özellikle geniş açıklıkların geçilmesinde kullanılan bir köprü modelidir. Derinliğin yüksek olduğu vadilerde (Kömürhan vb.) , akarsu deniz vb. bulunduğu(Gülburnu Köprüsü vb.) yerlerde aktif olarak kullanılır. Yapımı prekast olarak ve yerinde dökme olarak yapılmaktadır. Gerek yapım zorluğu gerekse çeşitli nedenlerden ötürü yerinde dökme tekniği daha çok tercih edilmektedir.

1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı

Betonarme köprüler günümüzde yaygın olarak kullanılan köprü modelleridir. Bu köprü modelleri arasında dengeli konsol köprüler de en yaygın olarak kullanılan türlerden biridir. Özellikle ülkemizin engebeli bir araziye sahip olması bu köprü modelini kullanımını gerekli kılmaktadır. Ayrıca geniş ve yüksek açıklıkların geçilmesinde mevcut teknolojik imkanlara göre en önemli yapım metodudur. Bu tür bir yapının tasarım ve yapımı çok dikkat gerektirmektedir.

Bu çalışmanın öncelikli amacı, dilimli dengeli konsol yöntemine göre tasarlanmış bir köprünün, tasarımında yapım aşamalarının dikkate alınmasının köprünün sürekli sistem olarak tasarımı ile ortaya çıkan kesit tesirleri ile mukayesesini yapmaktır. Ayrıca sürekli köprü sistemin deprem analizi de gerçekleştirilmiştir. Bu analiz sırasında depremler uzak ve yakın fay etkisini inceleyecek şekilde seçilmiştir. Bu amaca yönelik olarak 2 ayaklı 3 açıklıklı toplam 345 m uzunluğunda bir dengeli konsol tasarlanmış ve analizler bu köprü üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Ülkemizde aktif olarak kullanılan diğer bir köprü çeşidi prekast kirişli köprüdür. Bu köprü metodu dengeli konsoldan daha fazla kullanılmaktadır. Özellikle derin vadilerin geçilmesinde köprü çeşitleri birbirini kovalamaktadır. Bu tür devasa yapıların yapılmasında ise maliyet ön plandadır. Bu köprü türleri yapımı devlet tarafından üstlenildiği için ülkemize maliyetinin düşük olabilmesi istenen bir durumdur.

Bu çalışmadaki örnek köprü modeli, Trabzon ili Ortahisar ilçesinde yer alan ve prekast kirişli köprü yöntemine göre yapımı halen devam etmekte olan Karşıyaka Viyadüğü'nün

aplikasyonuna göre tasarlanmıştır. Böylelikle iki farklı inşaa yönteminin mukayeseli maliyet analizini gerçekleştirmek de mümkün olmuştur.

Yapılan köprü, bina vb. imalatlar bir anda yapılıp bitirilecekmiş gibi tasarımı yapılmaktadır. Uygulamada ise parçalar (dilimler) halinde imalatlar yapılmaktadır. Bunun için öncelikle tasarımı yapılacak güzergahta kesit boyutlandırması yapılmıştır. Bu işlemde sonra ise tabliye, köprü ayağı ve temel tasarımları yapılmıştır. Tabliyenin eğilme momenti kolları ve kesit ağırlıkları hesaplanıp eğilme momenti hesabı yapılmıştır. Eğilme momenti hesabı yapıldıktan sonra ise tabliye kesitlerinde elde edilen halat hesabı yapılmıştır. Bu işlemler kesitlerin yapım aşamasına göre yapılmıştır. Elle yapılan bu hesabın sonucunda Structural Analysis Program-2000 (SAP 2000) (Wilson, 1997) programı ile köprü modeli hem bir anda bitecekmiş gibi (sürekli sistem) hemde yapım aşaması analiz metodu ile hesap edilmiştir. Elle yapılan yapım aşaması sonucu ile SAP 2000'den elde edilen sonuç aynı bulunmuştur. Ama yapım aşaması hesap sonuçları (eğilme momenti, gerilme, yerdeğiştirme vb. parametreler vb.) büyük değerler ortaya çıkarmaktadır. Dengeli konsol köprülerin taşıyıcı sisteminde halat elamanları kullanılmaktadır. Köprünün servis anında yapılan imalatlarda elde edilen sonuçlara göre halat adeti değişmektedir. Yapım aşamasında elde edilen halat adeti daha fazladır. Yapım aşamasına göre yapılan tasarım ise gerçeğe daha yakın sonuçlar ortaya çıkarmaktadır.

Amerikan Eyalet Karayolları ve Ulaştırma Kurumu Standart Şartnamesine göre tasarlanan modelin deprem anındaki davranışlarını görmek için deprem analizi gerçekleştirilmiştir. Deprem analizi sürekli haldeki köprü modeli için yapılmıştır. Bunun için Düzce 1999 deprem kayıtları ile deprem analizi yapılmıştır. Bu kayıtların bir kısmı yakın fay bir kısmı ise uzak fay etkisi gösteren depremlerdir. Bunun için deprem kayıtları Pasifik Araştırma Merkezinden (Peer, 2019) indirilmiştir. Bu indirilen kayıtlar SeismoSignal 2018 programı ile SAP 2000 programına aktarılabilmek için düzenlenmiştir. Ayrıca SAP 2000 programında istenen çarpım katsayısı için ölçeklendirme hesabı yapılmıştır. Yapılan deprem analizi sonucunda sürekli sistem de elde edilen sonuçlardan çok daha büyük sonuçlar elde edilmiştir.

1.3. Literatür Araştırması

Kawashima (1995), Northridge Depremi'nde ve Honkong Depremi'nde, 1980 önceleri yapılmış köprülerin ve viyadüklerin şiddetli zararlar gördüğünü belirtmiştir. Zararlardan sonra ise köprü tasarımları kapasite tasarımına göre modellenmeye başlanmıştır. Analiz programlarının da geliştirilmesiyle deneysel doğrulamanın akabinde plastik tepki üzerine de bilimsel bilgiler toplanmaya başladığını belirtmiştir. Yazar, analiz programlarıyla yakın saha zemin hareketlerinin doğrusal ve doğrusal olmayan etkileşimleri, statik ve dinamik etkileri ele alarak köprülerin tasarlandığını belirtmiştir.

Debaiky (1997), eğimli kutu kesitli betonarme köprülerin zamana bağlı gerilme değişimlerini incelemiştir. Eğimli kutu kirişli köprüler modern otoyolların temel unsurlarındandır. Bu köprüler zaman içinde aşama aşama inşa edilir. Kesitler ayrı ayrı konularak kablolarla birbirlerine bağlanır.

Cassas (1997), dengeli konsol yöntemi kullanarak beton köprü inşa etmede en önemli hususun devrilme nedeniyle denge kaybının sınır durumu konusunda olduğundan bahsetmiştir. Başlangıç olarak bu tür köprülerin inşasındaki iş ve yöntem üzerinde durmuştur. Çalışmasında ana açıklıkları 80 m ile 140 m arasında olan köprüleri irdlemiştir. Kısmi güvenlik katsayıları tabliyenin inşası esnasındaki tahmini hareketli yükler ve rüzgar kuvvetleri için de büyük oranda geçerli olduğunu vurgulamıştır. Sonuç olarak; 120 m ana açıklıklı bir köprünün elemanlarının dengelenmesinde tasarım değerini karşılaştırılmasını incelemiş ve önerilen güvenlik katsayılarını kullanarak güvenlik faktörünü 1,5 olarak elde etmiştir.

Thompson (1998), çalışmalarında sürekli dilimsel beton ve kutu kirişli dengeli konsol köprünün yapım aşamasını gözlemlemiş ölçümler ve deneyler gerçekleştirmiştir. Kablo gerilmelerini, sıcaklık değişimlerini, beton dayanımlarındaki değişimleri yapım aşamalarını dikkate alarak hesaplamıştır.

Wesolowsky ve Wilson (2003), çalışmalarında yakın fay etkisine maruz kalan kablolu köprülerin deprem reaksiyonlarında sismik izolasyonların etkisini araştırmışlardır. Yakın fay etkisine maruz kablolu köprülerde sismik izolasyon kullanmanın deprem reaksiyonlarında yüzde elliye yakın bir azalma olduğunu elde etmişlerdir.

Zapico vd. (2003), yapmış olduğu çalışmada çok açıklıklı bir karayolu köprüsünün dinamik karakteristiklerini ve sismik davranışını belirlemek amacıyla deneysel ortamında köprünün 1:50 ölçekli modelini oluşturmuşlardır. Model köprü, 4 m uzunluğunda ve dört

açıklı olup, ayakları farklı yükseklikte zemine oturmaktadır. Köprü ayaklarının düşey ve yatay yüklemeler altında göstereceği davranışı belirlemek amacıyla dört farklı kesit tipi dikkate alınmıştır. Köprü dinamik karakteristikleri, sarsma tablası üzerinde gerçekleştirilen zorlanmış titreşim testleri ile belirlenmiştir. Deneysel ölçümler sırasında enine yönde ve düşük yoğunluklu titreşimler uygulanmış, elde edilen frekans davranış fonksiyonları kullanılarak doğal frekanslar ve mod şekilleri belirlenmiştir. Deneysel olarak belirlenen dinamik karakteristikler sonlu eleman analizleri sonucunda elde edilen analitik veriler ile karşılaştırılmış, %30 civarında oluşan farklılıklar malzeme özellikleri dikkate alınarak %2'lere kadar düşürülmüştür.

Hasgür ve Umut (2007), yapmış olduğu çalışmada 6 açıklıklı bir köprüyü SAP 2000 programı ile tasarlamıştır. Bu köprüye 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depreminin Yarımca-Petkim Kaydı Kuzey-Güney (K-G) Bileşenini, 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depreminin Yakın Fay Etkisi bindirilmiş Yarımca Petkim Kaydı K-G Bileşenini, 12 Kasım 1999 Düzce Depremi'nin Bolu Kaydı Doğu-Batı (D-B) Bileşenini, 13 Mart 1992 Erzincan Depreminin K-G Bileşenini ve 17 Ocak 1994 Northridge Depreminin Slymar Kaydı K-G Bileşenini uygulamıştır. Uniform Building Code -1997'de yer alan yakın fay etkisi faya uzaklıklarına göre 2 km, 5 km ve 15 km'den uzak olacak şekilde ivme spektrumları bulunup SAP 2000 programıyla köprüye etki ettirilmiştir. Köprüye en büyük etkiyi Erzincan depremi, Northridge depremi ve UBC-1997'ye göre elde ettiği faya 2km'den daha yakın olan depremler yapmış olduğunu görmüştür. Yarımca kaydına yakın fay etkisinin bindirilmesiyle, en büyük yer değiştirme %75 artmıştır. Yakın fay etkisi Yarımca kaydıyla faya 5 km uzaklıktaki bölgeler için elde edilmiş olan UBC-1997 spektrumu birbirine yakın sonuçlar vermektedir. Çalışmanın sonucunda, faya 2 km'den daha yakın bölgeler için olan UBC-1997 spektrumu, faya 5 km uzaklıktaki bölgeler için olan UBC-1997 spektrumundan 1.25 kat, yakın fay etkisi göstermeyen bölgeler için olan UBC-1997 spektrumdan 2 kat daha etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Benaım (2008), 19. Yüzyılın sonuna doğru betonla birlikte çelik malzemenin de kullanılmaya başlandığını, betonarmenin oluştuğunu ve yapı mukavemetinin artırıldığını söylemiştir. Dünyanın en önemli yapı malzemesi betonarme olmasına rağmen yapıda çatlaklar oluşturmaktadır. Bu çatlakların demirin korozyona uğraması gibi etkileri ortaya çıkarmıştır. Bununla beraber uzun açıklıklı kiriş ve beton blokların (özellikle köprüler) yerinde dökümünün zor olduğundan ve yapım süresinin uzadığından bahsetmiştir. Bütün bunların sonucunda önerilmeli prekast yapıların ihtiyacı doğmuştur. Önerilmeli beton

1930’larda Eugene Freyssinet tarafından icat edilmiştir. Bu tür yapıda betonarme çeliğinin yerini öngerme kabloları almış ve gerilerek yapı ön yüklenmiştir. Böylece yapılarda çatlakların azaldığı görülmüştür.

Altunışık vd. (2009), çalışmalarında Elazığ-Malatya Karayolu üzerinde bulunan Kömürhan Köprüsünün yapım aşamaları ve zamana bağlı malzeme deformasyonları dikkate alınarak analizleri gerçekleştirmiştir. Çağımızda mühendislik yapılarının analizlerinde geleneksel yöntemler kullanılmış olduğunu, geleneksel yöntemlere dayalı hesaplamalarda yapıların yapım aşamaları dikkate alınmadan sanki bir an içerisinde inşasının tamamlanmış ve yüklendiğinin kabul edildiğini belirtmişlerdir. Bundan ötürüdür ki geleneksel yöntemlere dayalı hesaplamalar her zaman güvenilir sonuçlar vermeyeceğinden bahsetmiştir. Çözümlemelerde yapım aşamalarının dikkate alınması ve elde edilen kesit tesirlerinin hesaplamalarda kullanılması önermiştir.

Patel (2009), taşıma gücü yöntemine göre kompozit kutu kirişli bir köprünün dizaynını ele almıştır. Konvansiyonel sürekli köprülerin sadece pozitif eğilme momenti alanına etki ettiğinden bahsetmiş, bunu kutu kirişli köprülerle birlikte negatif eğilme momenti alanında da ele alınabileceğini, değişken kutu kesitli köprülerin buna uygun olacağını söylemiştir.

Altunışık (2010), karayolu köprülerinin yapısal davranışlarını analitik ve deneysel yöntemler kullanılarak belirlemiştir. Bu sebeple, laboratuvar ortamında oluşturulan model bir köprü ve arazi ortamında inşa edilen Kömürhan ve Gülburnu Köprüleri üzerinde analitik ve deneysel çalışmalar gerçekleştirmiştir. Karayolu köprüleri için oluşturulacak sonlu eleman modellerinin doğruluğunu kontrol etmek için köprülerin deneysel modal analizinin gerçekleştirilmesi çok önem arz etmekte olduğunu belirtmiştir. Bununla birlikte, karayolu köprüleri gibi yapımı uzun yıllar süren mühendislik yapılarının yapısal davranışlarının doğru bir şekilde belirlenmesi için yapım aşamalarının ve zaman bağlı malzeme deformasyonlarının dikkate alınması gerektiğini belirtmiştir.

Malm ve Sundquist (2010), dengeli konsol köprülerde dilimler halinde yapılan köprülerin zamana bağımlı analizlerini incelemişlerdir. Dilimler halinde yapılan beton konsol köprülerde çoğu kez tasarım hesaplarındaki yerdeğiştirmelerden daha büyük yerdeğiştirmelerin ortaya çıkarttığını görülmüştür. İnce ve uzun açıklık ile kalıcı yüklerin birleşimi, köprünün kullanım ömrü boyunca artan büyük yerdeğiştirmelere neden olan öngerilme ile kısmen dengelenmiş sayılacağını belirlenmiştir. Çalışmalarında dilimler halinde yapılan dengeli konsol köprülerde düşeydeki toplam yerdeğiştirmenin, kalıcı yükler,

hareketli yüklerin neden olduğu aşağı yöndeki büyük yerdeğiştirmeler ve öngerilmenin neden olduğu yukarı yöndeki yerdeğiştirmelerin neden olduğunu vurgulamışlardır.

Turan (2012), ülkemizde son yıllarda yaygın olarak inşa edilmeye başlanan dengeli konsol betonarme köprülerin dinamik karakteristiklerinin belirlenmesinde, sonlu eleman model iyileştirmelerinde ve köprü sağlığı izlenmesinde çevresel titreşimlere dayalı Operasyonel Modal Analiz Yöntemi'nin sağlıklı bir şekilde kullanılabileceğı vurgulamıştır.

Abid (2015), sıcaklık etkilerini dikkate alarak bir köprü tasarlamıştır. Çalışmasını kutu kirişli bir köprünün beton sıcaklığını, hava sıcaklığını ve rüzgâr hızını yerleştirilen sensörler yardımıyla ele almıştır. Araştırmanın sonunda beton köprülerdeki ısıl eylemler için tasarlama yöntemleri önermiştir.

Özkul (2015), Şehzadeler Viyadüğünde yaptığı çalışmalarla döküm eğrisinin oluşturulmasının önemini belirtmiştir. Dengeli konsol köprülerin döküm arabası ile ne kadar kolay bir şekilde döküldüğünü ve sistemin iyi bir şekilde uygulandığından bahsetmiştir. İmalat aşamasında döküm eğrisi için bilgisayar modellemesinin yapılmasının öneminden bahsetmiştir.

Sümerkan (2015), Artvin-Erzurum üzerinde 2008-2011 yıllarında yapılan dengeli konsol köprülerde doğal frekans ölçümleri yapmış. Yapılan deneysel çalışmalar ile teorik sonuçların Budan Köprüsünde birbirine benzer sonuçlar verdiğini görüp dengeli konsol köprüler için doğal frekans formülünü yükseklik ve uzunluk değerleri üzerine kurmuştur. Bunun için En Küçük Kareler Yöntemini kullanmıştır.

Ökte (2015), Bitlis Çayı üzerinde yapımı süren dengeli konsol köprü üzerine çalışmalar yapmıştır. Yaptığı çalışmalar ışığında ardgerme metodunun köprülerde zaman ve maliyet üzerindeki olumlu etkilerinden bahsetmiştir. Dengeli konsol metodunun estetik olarak köprüye kazandırdığı görünüş çay etrafını olumlu etkileyeceğini belirtmiştir.

Karaca (2017), Tatara Köprüsü sonlu elemanlar halinde çözmüştür. Çalışma yakın fay ve uzak fay yer hareketlerinin etkilerini belirlemek için Chi-Chi, Düzce, Kobe ve Kocaeli depremleri dikkate alınarak karşılaştırmalı bir analiz yapılarak elde edilen tabliye yerdeğiştirme ve eğilme momentileri karşılaştırmıştır. Yakın fay darbesiz yer hareketleri için elde edilen köprü tepkilerinin genel olarak uzak fay yer hareketleri için elde edilen tepki değerlerinden daha büyük tepki değerlerine neden olduğu gözlenmiştir. Ayrıca merkez açıklığı 1000 m'ye ulaşan ve dolayısıyla diğ er yapı sistemlerine göre daha büyük titreşim periyotlarına sahip olan uzun açıklıklı eğik kablo askılı köprülerin, büyük genlikli ve uzun periyotlu darbe etkilerinin görüldüğü darbe içerikli yakın fay yer hareketine maruz kalması

durumunda daha fazla hasar alma potansiyelinin olduğu gözlenmiştir. Bu durumda uzun açıklıklı eğik kablo askılı köprü sistemlerinin güvenli tasarımı için yakın fay yer hareketlerinin dikkate alınması gerektiğini belirtmiştir.

Çift (2018), iki farklı model üzerinde çalışmıştır. Bunlara Model 1(C50 beton sınıfı, 19 sarmal 305 mm çapında kablolar ile yaptığı tasarım) ve Model 2(C40 beton sınıfı ve 21 sarmal 305 mm çapında kablolar ile yaptığı tasarım) isimlerini vermiştir. Yaptığı analiz sonuçları göstermiştir ki model 1 periyodu model 2 periyoduna göre daha uzun sürmektedir. Model 1 en kritik yük altında 3,2 cm yatay yer değiştirme yaparken, model 2 aynı yükler altında 3,6 cm yer değiştirme yapmıştır. Model 1 beton maliyeti model 2 ile beton maliyeti ile birbirine yakın çıkmaktadır. Model 2 taban kesme kuvveti, model 1'e göre daha yüksek çıkmaktadır. Maksimum eğilme momenti, maksimum açıklık kesme kuvveti ve maksimum basınç değerleri model 2'de model 1'e göre daha fazladır.

Nuri (2019), çalışmasında dilim metodu ile dengeli konsol köprü modellemiştir. Toplam 530 m olarak modellenen köprü sonucunda dilim ağırlığının excel ile hesaplarına dayalı çözümler elde etmiştir ki bu sonuçlar sonlu elemanlar modeliyle benzer sonuçlar vermektedir. Bu çalışmada öncelikle dilimlerin yapım aşamaları artımsal zaman adımlı analiz yöntemine göre incelenmiştir ve her bir kesitte her bir dilimin yapımı tamamlandıktan sonra meydana gelen gerilmelerin tahkiki yapılmıştır. Yapım aşaması süresi boyunca hiçbir kesitte meydana gelen gerilmeler yönetmelikçe belirlenen izin verilen gerilme sınırlarını aşmamıştır.

1.4. Betonarme Köprüler

1.4.1. Betonun Özellikleri

Beton malzemesi Roma zamanından beri yaygın olarak kullanılmaktadır. Basit harçlar ise çok daha önceden bulunmuştu. Romalıların kullandığına benzer mukavemetli ve su geçirmeyen harçlar ise, Brown (1993) 'nın belirttiği gibi, 18. yy'ın sonlarında yeniden keşfedilmiştir.

Beton malzemesi belli miktarda çimento, su, agreganın karıştırılmasıyla oluşturulan sert, heterojen bir maddedir. Su ve çimento tepkimeye girerek bağlayıcı görevi gören sert bir kalıba dönüşür. Beton hacminin büyük kısmını dolgu malzemesi olan agregadan meydana gelmektedir. Beton karışımına, betonun belli niteliklerine etki etmesi için özel mineral katkı maddeleri ya da kimyasal karışımlar eklenir. Dayanım özel çimento çeşitleri

kullanılarak ve düşük su-çimento oranıyla artırılabilir. Bu da işlenebilirlik, geciktiriciler ve akışkanlaştırıcılarla sağlanabilir; dayanıklılık ise beton içinde kalan havanın hacmine bağlı olmaktadır. Betonun özelliği, betonun serilmesi ve kürlenmesi kadar, malzemelerin miktarı ve kimyasal yapısına bağlıdır (Erkan, 2011).

Beton malzemesi, pek çok avantajından dolayı, çağımızda dünyada kullanılan bir yapı malzemesidir. Kalıplarla hemen hemen her şekle girebilir, yapımı diğer yapı malzemelerine göre nispeten daha maliyetsizdir.

Betonarme betonu, beton ve betona gömülü çelikten oluşan bir karışımdır. Bu çelik çubuklar betonarme betonunun çekme gerilimine dayanıklılığını artırma görevi görür. Çünkü beton tek başına, basınca karşı kuvvetli olsa da , çekme gerilmesine daha az mukavemetlidir. Bir binanın hangi miktarda ve nerelerde takviyeye ihtiyaç duyduğu binanın tasarımı sırasında belirlenmektedir. Sağlam bir betonda çelik donatı, çeliğin yüzeyinde yatıştırıcı bir tabaka oluşturan betonun doğal alkalitesi ile korunabilmektedir (Erkan, 2011).

1.4.2. Betonun Zamana Bağlı Malzeme Özellikleri

1.4.2.1. Basınç Dayanımı

CEB-FIP (1990)'e göre betonun t yaşındaki basınç dayanımı çimento tipine, sıcaklığa ve kür şartlarına bağlı olarak değişebilmektedir. Betonun herhangi bir yaştaki basınç dayanımı,

$$f_{cm}(t)=\beta_{cc}(t)f_{cm} \quad (1. 1)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Denklem 1.1'de, $\beta_{cc}(t)$ betonun yaşına bağlı bir katsayıdır ve aşağıdaki denklem yardımıyla hesap edilebilmektedir.

$$\beta_{cc}(t) = \exp \left\{ s \left[1 - \left(\frac{28}{t/t_1} \right)^{1/2} \right] \right\} \quad (1. 2)$$

Denklem 1. 2’de, $f_{cm}(t)$ t günlük bir betonun basınç dayanımı, f_{cm} betonun 28 günlük basınç dayanımı, t betonun gün sınıfından yaşını göstermektedir. $t_1=1$ gündür ve s çimento tipine bağlı olarak değişen 0.20, 0.25 ve 0.38 gibi bir katsayı olarak nitelendirilir.

1.4.2.2. Betonun Yaşı

Betonun elastisite modülü zamanla birlikte değişmektedir. Elastisite modülü,

$$E_{ci}(t)=E_{ci}\sqrt{\beta_{cc}(t)} \quad (1. 3)$$

şeklinde hesap edilmektedir. Burada, $E_{ci}(t)$ t günlük betonun elastisite modülünü, E_{ci} betonun 28 günlük elastisite modülünü, $\beta_{cc}(t)$ ise betonun yaşına bağlı olarak belirlenen bir katsayıyı ifade etmektedir (Erkan, 2011).

1.4.2.3. Betonun Büzülmesi

CEB-FIP(1990) şartnamesine göre betonun toplam büzülme şekildeğiştirmesi,

$$\varepsilon_{cs}(t, t_s) = \varepsilon_{cso} \beta_s(t - t_s) \quad (1. 4)$$

denklemleri ile hesap edilmektedir. ε_{cso} kavramsal büzülme katsayısını, β_s ise zamana bağlı devam eden büzülmeyi gösteren bir katsayıyı ifade etmektedir. t betonun gün cinsinden yaşını, t_s ise beton için büzülmenin başladığı andan itibaren gün cinsinden yaşını göstermektedir. Kavramsal büzülme katsayısı aşağıdaki bağıntılar ile hesap edilebilmektedir.

$$\varepsilon_{cso} = \varepsilon_s(f_{cm}) \beta_{RH} \quad (1. 5a)$$

$$\varepsilon_s(f_{cm}) = \left[160 + 10 \beta_{sc} \left(9 - \frac{f_{cm}}{f_{cmo}} \right) \right] \quad (1. 5b)$$

Bu denklemde f_{cm} MPa cinsinden betonun 28 günlük basınç dayanımını göstermektedir. f_{cm0} 10MPa'dır. β_{sc} ise çimento tipine bağlı olarak 4 ve 8 arasında değişen bir katsayı olarak belirtilmektedir.

$$\left. \begin{aligned} \beta_{RH} &= -1.55\beta_{sRH} & 40\% \leq RH < 90\% \\ \beta_{RH} &= 0.25 & RH \geq 99\% \end{aligned} \right\} \quad (1.6)$$

Denkleminde 1.6'da,

$$\beta_{sRH} = 1 - \left(\frac{RH}{RH_o} \right)^3 \quad (1.7)$$

RH % olarak atmosferdeki nem oranını göstermektedir. RH_o 100%'dür. Zamana bağlı olarak devam eden büzülme,

$$\beta_s(t-t_s) = \sqrt{\frac{(t-t_s)/t_1}{350(h/h_o) + (t-t_s)/t_1}} \quad (1.8)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Bu denklemde h mm cinsinden ifade edilen kavramsal bir boyuttur ve $h = 2A_c / U$ ifadesi ile hesap edilmektedir. A_c kesit alanı, u ise atmosfer ile temas eden çevre uzunluğu. $h_o = 100\text{mm}$ ve $t_1 = 1$ gün olarak ifade edilir.

1.4.2.4. Betonun Sünmesi

Sünme etkisi CEB-FIP (1990) şartnamesinde sünme modeli olarak adlandırılan bir yaklaşımla hesaplanmaktadır. Bu yaklaşımda, t_o anında sabit bir gerilme için,

$$\varepsilon_{cc}(t, t_o) = \frac{\sigma_c(t_o)}{E_{ci}} \phi(t, t_o) \quad (1.9)$$

ifadesi dikkate alınmaktadır. Denklem 1.9'da, $\sigma(t_o)$ o anındaki yüklemeye karşılık gelen gerilmeyi, $\phi(t, t_o)$ ise sünme katsayısını göstermektedir. Bu katsayı,

$$\phi(t, t_o) = \beta_c (t - t_o) \phi_o \quad (1. 10)$$

ifadesi ile hesap edilmektedir. Burada, β_c yüklemekten sonra devam eden sünmeyi, t betonun gününü, t_o ise yükleme anındaki betonun yaşını göstermektedir. Sünme katsayısı,

$$\phi_o = \phi_{RH} \beta(f_{cm}) \beta(t_o) \quad (1. 11a)$$

$$\phi_{RH} = 1 + \frac{1 - \left(\frac{RH}{RH_o} \right)}{0.46 \left(\frac{h}{h_o} \right)^{1/3}} \quad (1. 11b)$$

$$\beta(f_{cm}) = \frac{5.3}{\sqrt[3]{f_{cm}}} \quad (1. 11c)$$

$$\beta(t_o) = \frac{1}{0.1 + \left(\frac{t_o}{t_1} \right)^{0.2}} \quad (1. 11d)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Buradaki bütün parametreler yukarıda açıklanmaktadır. Zamana bağlı olarak devam eden sünme,

$$\beta_c (t - t_o) = \left[\frac{(t - t_o) / t_1}{\beta_H + (t - t_o) / t_1} \right] \quad (1. 12a)$$

$$\beta_H = 150 \left\{ 1 + \left(1.2 \frac{RH}{RH_o} \right)^{18} \right\} \frac{h}{h_o} + 250 \leq 1500 \quad (1. 12b)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada, $t_1=1$ gün; $RH_o=100$ ve $h_o=100\text{mm}$ 'dir (Erkan, 2011).

1.4.2.5. Çeliğin Gevşemesi

CEB-FIP(1990) şartnamesine göre, önerilmeli çeliğin gevşemesi 3 gruba ayrılmaktadır. Birinci grup, tel ve halat grupları için normal gevşemeyi; ikinci grup, tel ve halat grupları için gelişen ve devam eden gevşemeyi; son grup ise demir çubuklar ve donatılar için gevşemeyi göstermektedir.

30 yıla kadarki gevşeme tahmini,

$$p_t = p_{1000} \left(\frac{t}{1000} \right)^k \quad (1.13)$$

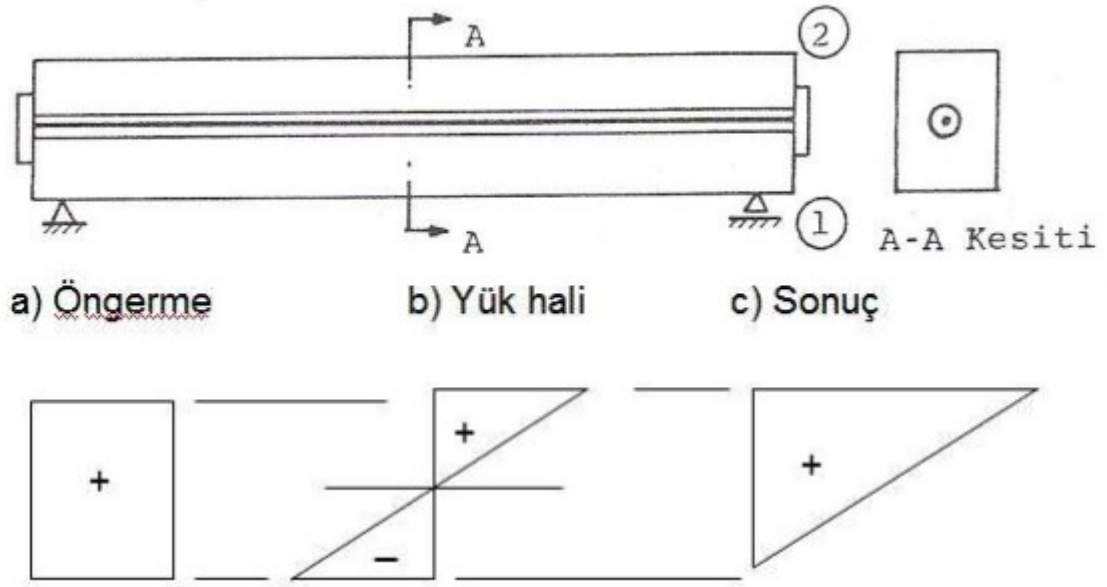
bağıntısı ile hesap edilmektedir. Denklem 1.13'de, p_t t saat sonraki gevşemeyi, p_{1000} ise 1000 saat sonraki gevşemeyi göstermektedir. $k \sim \log(p_{1000}/p_{100})$ yaklaşımında k 1. grup için 0, 12, ikinci grup için 0, 19 olarak dikkate alınmakta, p_{100} ise 100 saat sonraki gevşemeyi göstermektedir. Normalde, gevşemenin uzun süreli değerleri için uzun süreli testler yapılmaktadır. 50 yıl üzeri gevşeme değerleri için 1000 saatlik gevşemenin 3 katı dikkate alınmaktadır (Erkan, 2011).

1.5. İlk Beton Yapılar

Çoğu bilim insanı betonarmenin başlangıcıyla ilgilenmiştir. İnşaat sektöründe betonarmenin kullanılmasına yol açan gelişmelerin kapsamlı bir tarihi incelemesi Menn (1990) tarafından yapılmıştır. 1756 yılında John Smeaton kirecin yapılışını keşfetti ve 1824'te Joseph Aspdin İngiltere'de Portland Çimentosunu üretti. 1850'lerde, Birleşik Amerika'da, Thaddeus Hyatt (1816-1901) beton kirişlerin özelliğini incelemiştir.

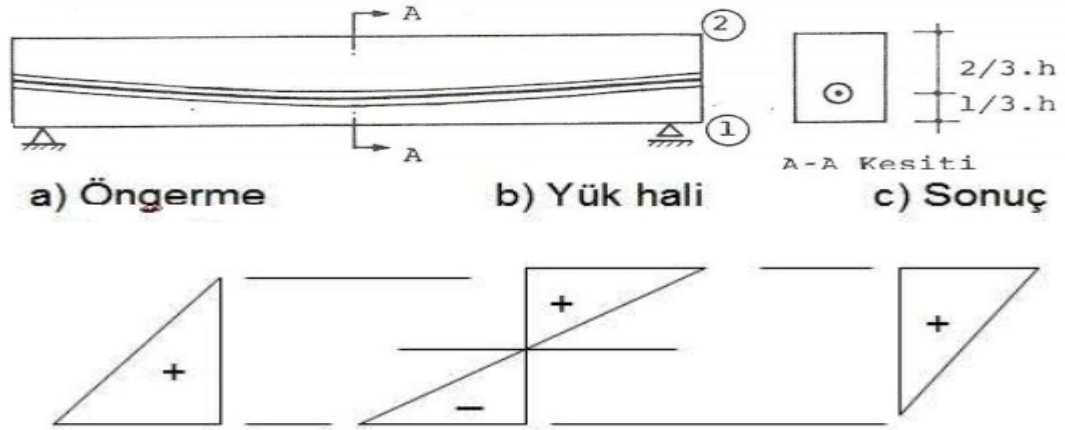
Belli bir süre sonra 1867'de, Fransız mühendis Joseph Monier betonu çelik hasırlarla güçlendirilmiş çiçek saksılarının patentini almıştır. Monier, ayrıca, 1875'te betonarme köprünün inşa eden ilk kişi oldu (Menn, 1990). Akabinde betonarmenin karakteri ve analizi üzerine ilk bilimsel yaklaşımlar ortaya çıktı ve daha gelişmiş yapıların önünü açmıştır.

Öngerilmeli taşıyıcı elemanın davranışını en basit şekli ile tanımlayabilmek için Şekil 1. 2'deki gibi basit, ortası çelik tellerin geçmesi için boş olan izostatik bir kiriş düşünülebilir. Taşıyıcı elemenda yük bulunması durumunda oluşacak gerilmeler (b) deki gibi olacaktır. (a) da ise gerilmiş ve düzgün bir dağılım elde edilmiş olan öngerme görülmektedir. Sonuca bakıldığında bu iki durum birleştirildiğinde çekme gerilmeleri ortadan kaldırılmış ve kesitin çatlaması engellenmiştir. Fakat pratikte bu uygulama farklı olarak gerçekleştirilir. Zira bu uygulamadan da görüleceği gibi sistemde çekme gerilemeleri yok edilmesine karşın basınç gerilmeleri iki katına çıkarılmıştır (Topçu, 2006).



Şekil 1.2. Merkezden Çekilen Öngerilmeli Basit Kiriş

Betonun zamana bağlı şekil değiştirmelerinden olan sünme yüksek basınç gerilmeleri altında daha da artacağından sistemin biraz daha iyileştirilerek bu soruna çözüm bulunması gerekmektedir. Germe kabloları Şekil 1.3'deki gibi kiriş merkezinde alt çekirdek noktasından geçirilecek olursa beton basınç gerilmeleri azalır. Bunun yanında öngerilme kuvveti de azalmış olur (Topçu, 2006).

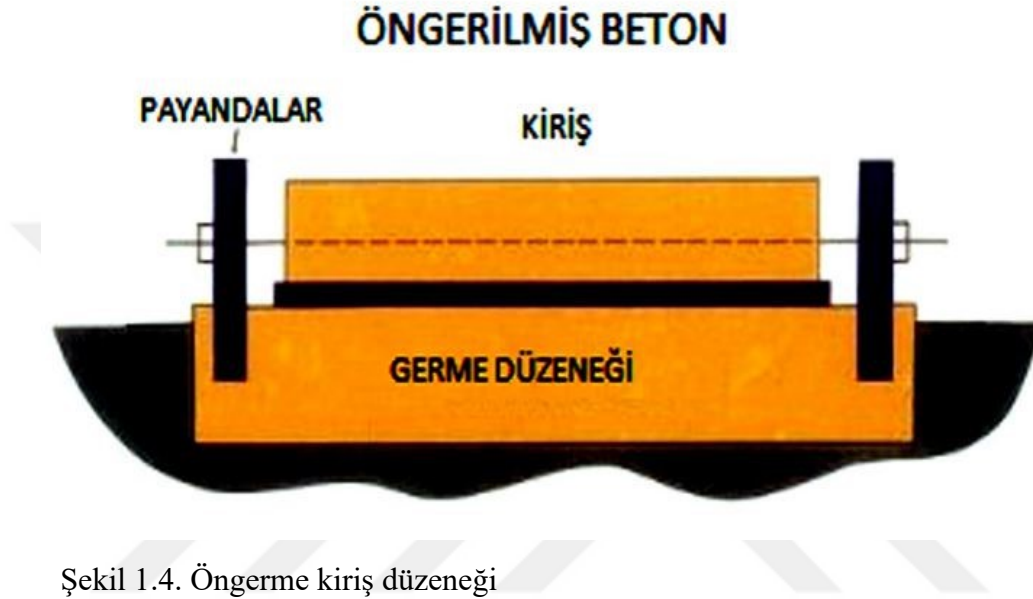


Şekil 1.3. Dış merkezli gerdirilen öngerilmeli basit kiriş

Bu açıklamalarda betonun doğrusal elastik davrandığı varsayılmaktadır. Beton çatlamadığına göre bu kabul yanlış sayılmamaktadır. Yükün verdiği gerilme durumu ile yapay gerilme durumunun yapının ömrü boyunca sabit kalması, daimi olması gereklidir. Yapay gerilme durumunun değeri, kablo yeri ve donatı alanı seçilince donatıdaki gerilmeye bağlıdır. Öngerme kablosunun uçları ankre edildikten sonra da donatı gerilmesi sabit kalıyor denemez. Betonun zamanla büzülmesi ve sabit basınç altında zamanla kısaltmaya uğraması sebebiyle kablo uçları arasındaki mesafe küçülür ve donatıdaki gerilme düşer. Bir de sabit iki nokta arasında gerilmiş bir çelik telin zamanla uzaması (rölaksasyon) vardır. Bu da ilave bir gerilme kaybına sebep olur. Zamana bağlı bu üç tür gerilme kaybının toplam ortalama değeri $250-300 \text{ N/mm}^2$ civarındadır. Sürtünme ve zamana bağlı gerilme kayıpları düşüldükten sonra geri kalan donatı gerilmesinin ve bunun betonda verdiği yapay gerilme durumunun artık daimi oldukları söylenebilir. Yukarıda belirtilen özellikleri olan ve dış yüklerin etkilenmesinden önce veya onların bir kısmının etkimesi ile beraber yaratılan ve taşıyıcı sisteme dış yüklerden gelecek gerilmeleri maksada uygun şekilde değiştiren yapay ve sürekli bir gerilme durumuna “öngerilme durumu” ve öngerilmenin verildiği betona da “öngerilmeli beton” denir (Topçu, 2006).

Öngerme donatısının zamana tabi gerilme kayıplarının 300 N/mm^2 ve sürtünme kaybının da minimum 50 N/mm^2 olduğu göz önüne alınırsa, daimi olarak elde 500 N/mm^2 ’lik bir gerilmenin kalabilmesi için öngerme donatısının en az 800 N/mm^2 ’lik bir başlangıç gerilmesi ile gerilmesinin gerektiği ortaya çıkar. Buna göre öngerme donatısı olarak, akma limiti en az 900 N/mm^2 ve daha yüksek olan yüksek kaliteli çelikler kullanılmalıdır (Topçu, 2006).

Öngerme prekast beton ile ilişkilidir. Pre öneki beton dökülmeden önce gerilmiş anlamına gelmektedir. Bu yöntemde önce çelik halatlar payandalar arasına konup sıkıştırılıp gerilmektedir. Sonrasında ise beton dökülmektedir. Beton mukavemetine ulaştıktan sonra ise Şekil 1. 4’de görüleceği üzere kesilmektedir. Bu süreç tipik olarak prekast tesislerinde gerçekleştirilir. İmalat yerine bütün bir parça olarak getirilip yerine konmaktadır.

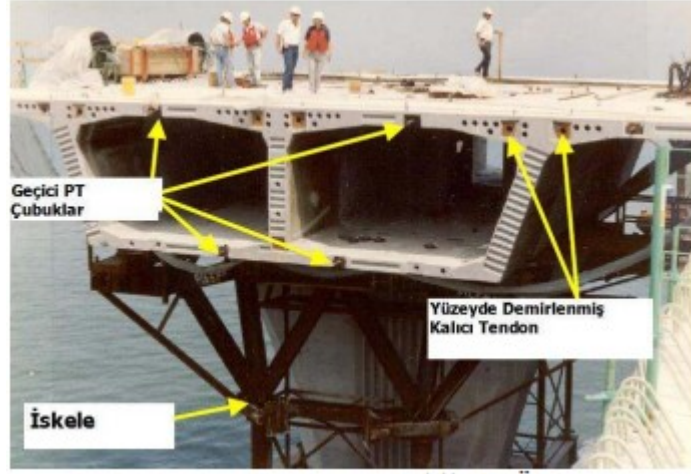


Şekil 1.4. Öngerme kiriş düzeneği

Bu teknolojiye TS 3233 göre çeşitli elemanlar kullanılmaktadır. Bunlar;

- Öngerilme Çubuğu: Yüksek dayanıklı çubuklardan yapılmış çelik alaşımlı çubuklardır.
- Öngerilme Teli: Yüksek dayanıklı ve düz kıvrımsal olarak ürettiği tellerdir.
- Öngerilme Toronu (Demeti): Öngerilme telinin birbiriyle sarılmasıyla elde edilen yapıdır.
- Öngerme Çeliği : Önyüklemeli elemanlarda çelikler teller, toronlar, çubuklar yada bu elemanlardan oluşturulan tendomlardır.
- Kılıf: Ön yüklemeli tendonlarda, betondaki öngerilme çeliğinin geçmesi için bırakılan metal yada plastikten yapılmış boru şeklindeki elemandır.
- Aktarma: Önyüklemeli donatıdan çekilmesiyle oluşan kuvvetin betona verilmesidir.

Önyüklemeli beton yapımları ağırlıklı olarak büyük sanayi inşaatlarında, köprü vb. ayaklarında ve kirişlerinde, borularda oluşmaktadır.



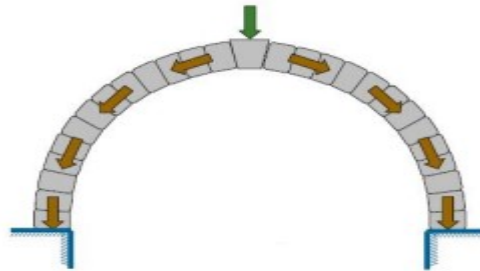
Şekil 1.5. Dengeli konsol en kesiti

1.7. Köprü Çeşitleri

1.7.1. Kemer Köprüler

Kemer köprülerin ana mantalitesi hareketli yükler dışında eğilmeye çalışma gibi bir hususun bulunmamasıdır. Tek olarak basınç durumunda bulunurlar ve bu durumdan ötürü taş, dökme çelik, beton vb. çekme dayanımı zayıf yapı elemanlarından yapılabilir. Çağımız durumlarında tuğla, ahşap, alüminyum ve dövme çelikten üretilmiş kemer köprüler de bulunmaktadır (Yağcı, 2009).

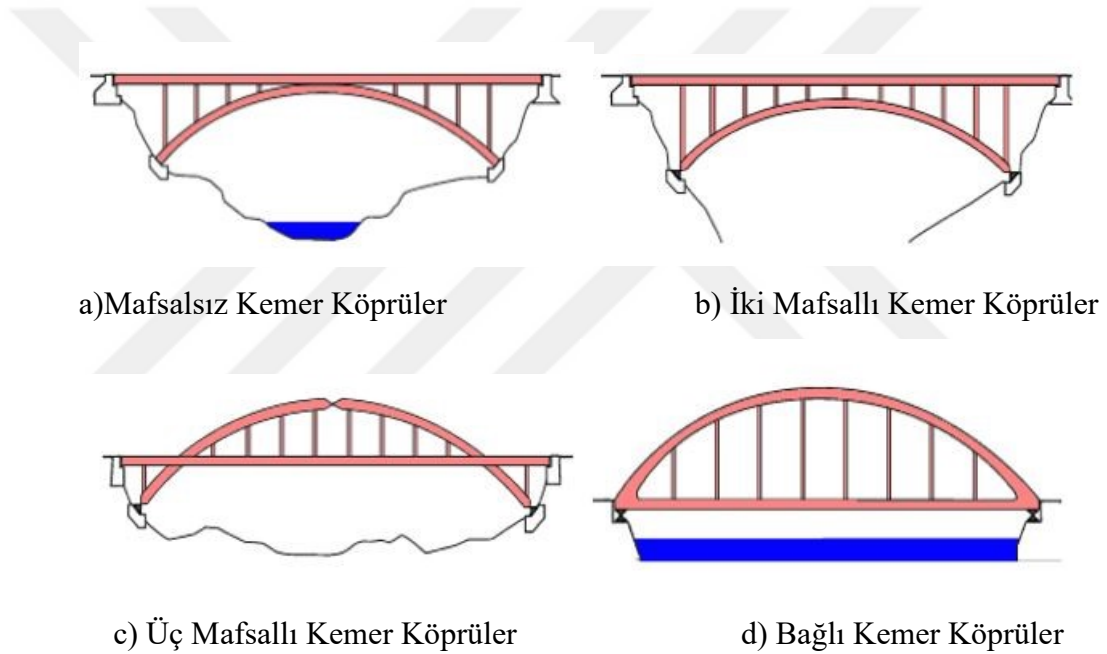
Kemerler bir bakıma köprü için en basit inşadır. Taş ya da kayadan üretildiği durumda kemer durumunu oluşturmaktan başka bir şeye muhtaç olmamaktadır. Agregaların uyumlu şekilde kesilmesi ve uyumlu açılarının yakalanması durumunda kendiliğinden dayanak olarak çalışacaklardır. Şekil 1.6'da kemer köprü en kesiti görülmektedir.



Şekil 1.6. Kemer köprü en kesiti

Kemer köprü yapılar basınca çalışabilmesi için üretildiğinde özel bir eğriliğe sahip değillerdir. Eğrilik zincir eğrisi denen eğri her hangi bir lokasyon da bütün yükler tam denge içinde olacak durumdadır. Asma ve kemer köprüler yukarıda görülen zincir eğrisine yakın formu bulunmaktadır. Kemerlerin bu durumları taşıt trafiği için uyumlu bulunmadığından ötürü genellikle üzerine oturtulan veya dibine asılan düz bir tabliye ile birlikte kullanılırlar (Yağcı, 2009).

Şekil 1.7’de kemer köprü çeşitleri görülmektedir. Kemer köprüler mafsalsız, iki mafsallı üç mafsallı, bağlı kemer köprüler olarak sınıflandırılmaktadır.



Şekil 1.7. Kemer köprü tipleri

Şekil 1.8’de kemer köprü çeşitlerine bir örnek olan Sydney Harbour Köprüsü görülmektedir.

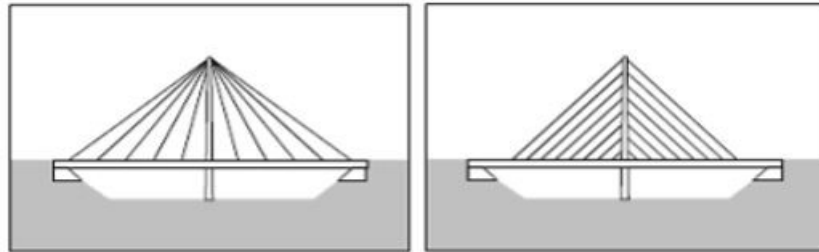


Şekil 1.8. Sydney harbour köprüsü

1.7.2. Kablolu Köprüler

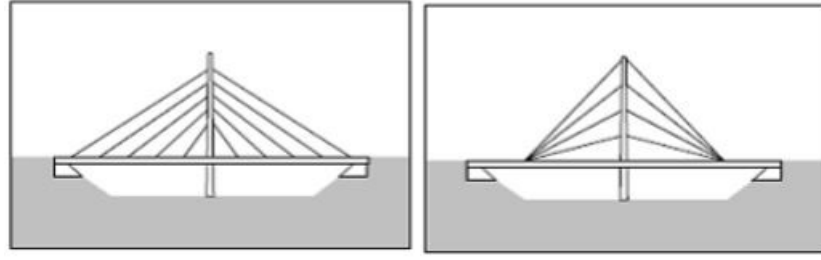
Kablolu tip köprüler çeşitli şekillerde bulunabilir. Köprü direkleri (kuleleri) ve köprü üst yapısı beton ya da çelik olabilmekle beraber kompozit beton ya da çelik elemanları bulunabilir. Köprü direkleri A, H, X, ters V ve Y şekilleri de dahil olmak üzere çok farklı şekil ve kombinasyonları barındırmaktadır. Kablolu bir köprüde, köprü tabliyesi üzerinden direklere bağlı olan düz eğimli askılar köprü tabliyesini taşımaktadır. Direk ve kablolar için çok sayıda tertibat planı bulunmaktadır.

Ayrıca kabloların birbirlerine doğru eğimli olacağı şekilde bir merkezi ya da iki yatay düzlemi bulunan köprüler de tasarlanabilmektedir. Kablo tipleri açısından kablolu köprülerin farklı tertip edilme şekilleri bulunabilmektedir. Farklı tertipler Şekil 1. 9'da gösterilmektedir. Askı tertiplerinin kule ile tam olarak simetrik olma zorunluluğu bulunmamaktadır. Askılar , hem köprü tabliyesinde ve hem de direktte sabitlenebilmektedir. Bununla birlikte direğin üst kısmında bir yuvada bulunabilmektedir. Kabloların sabitlenmesi aşınma ve yorulma mukavemeti bulunması gereken önemli yapısal detaylardır.



a)Yelpaze Düzeni

b)Arp Düzeni



c)Yarım Yelpaze Düzeni

d) Yıldız Düzeni

Şekil 1.9. Kablolu tertibatlar

Kablolu köprüler yirminci yüzyılda icat edilmemiştir. Geçen yüzyıllarda askılarla desteklenmiş köprü inşa etmek için bazı girişimlerde bulunulmuş olmasına rağmen bunların hiç birisinde başarı elde edilememiştir, çünkü istatistik olarak büyük bir belirsizlik içerisinde olan sistem için yeterli hesaplama ve yanı sıra askılar için yeterli materyal mevcut değildi. Avrupa’da ulaşım alt yapısının ekonomik olarak yeniden yapılanmasının temel konu olduğu İkinci Dünya Savaşı sonrasında askılı tip köprüler göz önüne gelmiştir.

Franz Dischinger demiryolu köprüsü tabliyesini desteklemek üzere askıları kullanmıştır. Modern anlamda inşa edilmiş olan askılı tip köprülerden ilki 1952 yılında Alman mühendis Leonhardt tarafından yapılmış olan çelik üst yapılı Düsseldorf kenti Ren Nehri üzerinde bulunan üç askılı köprü serisidir. Bunlardan bir tanesi de Şekil 1. 10’da gösterilmiş olan Oberkassel Ren Köprüsüdür. Bu tip ince köprüler, görünümdeki netlik ve basitliği ile bir askı uyumunu yansıtmaktadır. Akabinde, sadece pek azının bu derlemede bahsedildiği çok sayıda askılı tip köprü dünya çapında inşa edilmiştir (Brown, 1993). Ülkemizde de bu türün en bilineni Yavuz Sultan Selim Köprüsüdür. Yavuz Sultan Selim Köprüsü 59 metre genişliği ile dünyanın en geniş, 322 metre kule yüksekliği ile eğik askılı köprü sınıfında dünyanın en yüksek köprüsüdür.



Şekil 1.10. Oberkassel ren nehri köprüsü

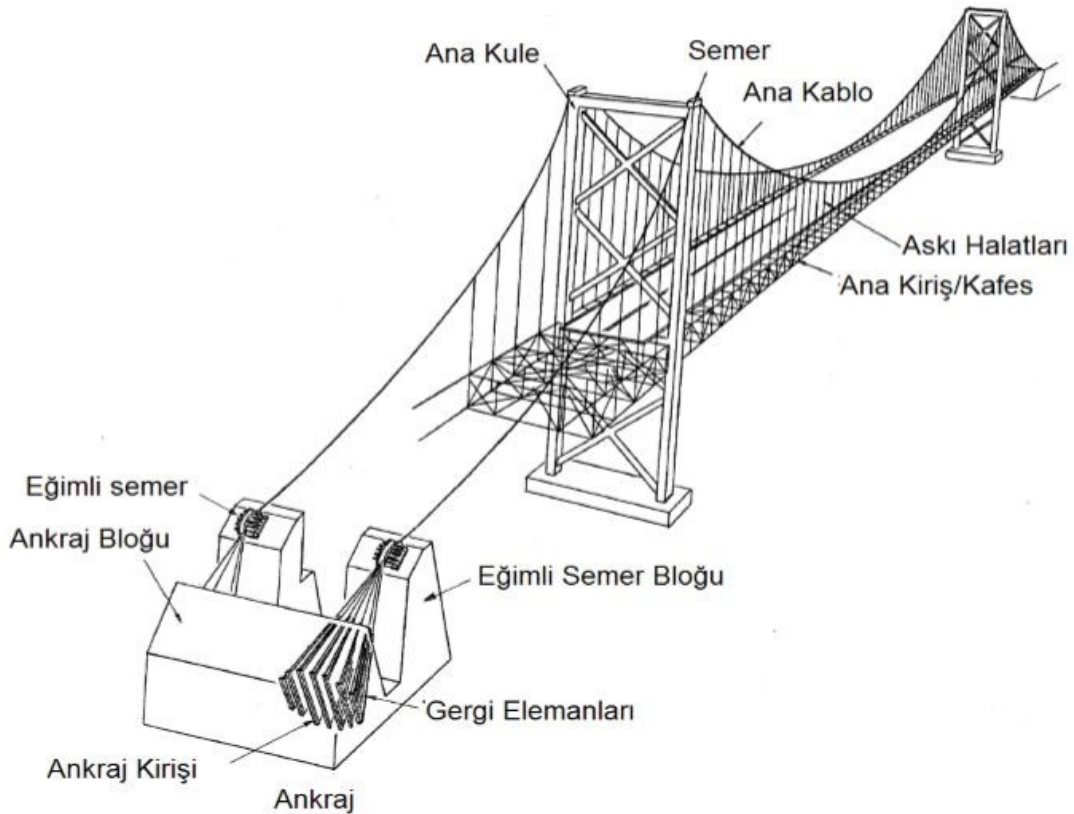


Şekil 1.11. Yavuz Sultan Selim köprüsü

1.7.3. Asma Köprüler

Asma köprüler, genelde 550 m'den büyük açıklıkların geçilmesi için, iki ana kablonun kuleler arasında asılması ve kablo uçlarının bloklara ankrajlanmasıyla inşa edilen yapılardır

(Merritt, 1983; Chen, 1999; Chen ve Duan, 2000). Ankraj, ana kablo, kule, askı ve tabliye gibi elemanlardan oluşmaktadır. Kule temelleri de asma köprüler için önemli olmakla birlikte, köprünün bir elemanı değildir (Bulson vd., 1983). Asma köprüler açıklıklarına, tabliyelerine, kulelerine, askılarına ve ankrajlanma tiplerine göre isimlendirilirler. Asma köprülerdeki sehim köprü davranışını etkilemektedir. Sehim azaldıkça ana kablolardaki çekme kuvveti artar ve buna bağlı olarak da köprünün rijitliği artar. Dolayısıyla ankraj bloklarına gelen çekme kuvveti de büyük olur. Ana kablolardaki sehim açıklığının $1/9 - 1/11$ 'i kadar olmalıdır (Chen, 1999; Chen ve Duan, 2000). Bazı özel durumlarda açıklığın $1/13$ 'ü oranında da alınabileceği, fakat bundan küçük seçilmesinin uygun olmayacağı belirtilmektedir (Chen, 1999; Chen ve Duan, 2000). Şekil 1.12'de tipik bir asma köprü modeli görülmektedir.



Şekil 1.12. Tipik bir asma köprü

Asma köprülerde iki büyük ana kablo, küçük çaplı tellerin iki kule arasında örülmesiyle oluşturulur ve zemine ankrajlanır. Kuleler üzerindeki mesnetlerde serbestçe

hareket eden ana kablolar, tabliye yükünü taşır. Tabliye yerleştirilmeden önce kablolar kendi ağırlığı altındadır. Ana kablo boyunca askı halatları köprü tabliyesine bağlanır. Bu yapıldığında köprüden geçen trafik yükü ile birlikte kablolardaki gerilmeler de artar (Gökmen, 2015). Şekil 1.13’de Türkiye’deki asma köprü örneği olan Fatih Sultan Mehmet köprüsü görülmektedir.



Şekil 1.13. Asma köprü uygulaması (Fatih Sultan Mehmet Köprüsü)

1.7.4. Öngermeli Köprüler

1.7.4.1. Prekast Kirişli Köprüler

Köprülerde mesafelerin öngermeli kirişlerle geçimi ülkemizde bilinen biçimde bulunan bir yöntemdir. Yöntemde tüm mesefede öngermeli kirişlerin elastiki mesnetlerin üstüne serbest olarak oturmaktadır. Öngermeli kiriş elamanları şantiyelerde imalatı tamamlanıp vinçler yardımı ile arzide yerine konmaktadır. Birçok açıklığın geçildiği köprü inşaatlarında ekonomi sağlanmaktadır (Yeşil, 1998).

Mesafelerin belirtilmesinde aşağıdaki durumlar göz önünde bulundurulmasıyla en iyi çözüm ortaya konulmaktadır .

- Mukavemet ve güvenlik
- Görünüş ve ortama uyum

- Üretim ve bakım ekonomisi
- Üretim tekniği ve zamanı
- Bölgesel üretim teknolojileri

Köprülerin inşasında öncelikle hazırlanan projeye göre arazi kazıları yapılarak zemin analizi yapılır. Gerekirse zemin iyileştirme metodları uygulanır. Akabinde temel imalatı yapılır. Temel imalatı yapıldıktan sonra ise köprü ayağı imalatı yapılır. Köprü ayağı imalatı bitince ise başlık kirişi imalatı yapılır. Başlık kirişleri iskele destekli yapılabildiği gibi platformlu kalıplarlada yapılabilmektedir. Temel ,köprü ayağı ve başlık kirişi yapıldıktan sonra ise elastomer mesnetler konulur. Üzerlerine prekast kirişler vinçler yardımıyla yerleştirilir. Bu işlem tamamlandıktan sonra ise tabliye donatı imalatı yapıp tabliye dökülür. Yol modeli oluşturulduktan sonra izolasyon yapılır. Bunun üzerine 3 kademe halinde asfalt yapıp yol tamamlanır. Bu köprü türünde her aks birleşim noktasında yol en kesiti boyunca dilatasyon derzi yapılır. Yapımı özellikle kolay olması, nispeten daha az nitelikli eleman ihtiyacı, maliyet vb. sebeplerden ötürü bu köprü türü oldukça fazla tercih edilmektedir (Yeşil, 1998). Şekil 1.14’de prekast kirişli köprü örneği görülmektedir.



Şekil 1.14. Prekast kirişli köprü(Karşıyaka Viyadüğü)

1.7.4.2. Dengeli Konsol Köprüler

Karayolları Teknik Şartnamesi (2013)'e göre köprüler, geçmişle günümüz arasında en önemli bağı kuran mühendislik yapılarının önde gelenlerinden biridir. Stratejik bakımdan da çok önemli bir yeri olan köprülerin, değişik taşıyıcı sisteme ve malzeme özelliklerine sahip birçok uygulaması günümüzde mevcuttur. Fakat uzun açıklıkların geçilmesi gereken yerlerde genel olarak betonarme köprüler, asma köprüler ve kablolu köprüler tercih edilmiştir. Bu köprü tipleri arasında özellikle betonarme karayolu köprüleri yapım aşamalarından ve zamana bağlı malzeme deformasyonlarından daha fazla etkilenmiştir. Betonarme karayolu köprüleri ile geniş ve uzun bir vadiyi maksimum açıklık ve minimum sayıda ayakla geçebilmek için en uygun ve en iyi yöntem yerinde dökme dengeli konsol yöntemidir (Karayolları Teknik Şartnamesi, 2013).

Dengeli konsol yöntemi önerilmeli beton kullanılarak büyük açıklıkların geçilmesinde yaygın olarak kullanılmıştır. Bu yöntemde, köprü üst yapısının her bir açıklığı, boyuna doğrultuda dilim denilen parçalara bölünmekte ve bu dilimler parça parça inşa edilmiştir. Zeminden ek bir destek alınmadan, sabit bir noktadan dışarıya doğru konsol biçiminde uzanan ve yük taşıyabilen bir yapı ardışık adımlarla inşa edilmiştir. Köprü orta ayağının her iki tarafında birbirini dengeleyecek biçimde yapılan bu yapım tekniği dengeli konsol yöntemi olarak adlandırılmıştır. Dengeli konsol yönteminde köprü üstyapısını oluşturan dilimlerin inşasına ait şematik gösterim Şekil 1.15'de gösterilmektedir (AASHTO LRFD, 1998).



Şekil 1.15. Köprü üstyapısını oluşturan dilimlerin inşasına ait şematik gösterim

Dengeli Konsol Yöntemi enkesit yüksekliği sabit veya değişken olan her türlü üstyapı için kullanılabilir. Fakat gerek yapım sırasında gerekse yapım sonrasında statik

zorlanmalara karşı en uygun form olarak değişken yükseklikli enkesit uygulaması tercih edilmektedir. Bu yöntemle inşa edilen köprülerde genellikle kutu kesitli üstyapı formu kullanılmaktadır (Çift, 2018).

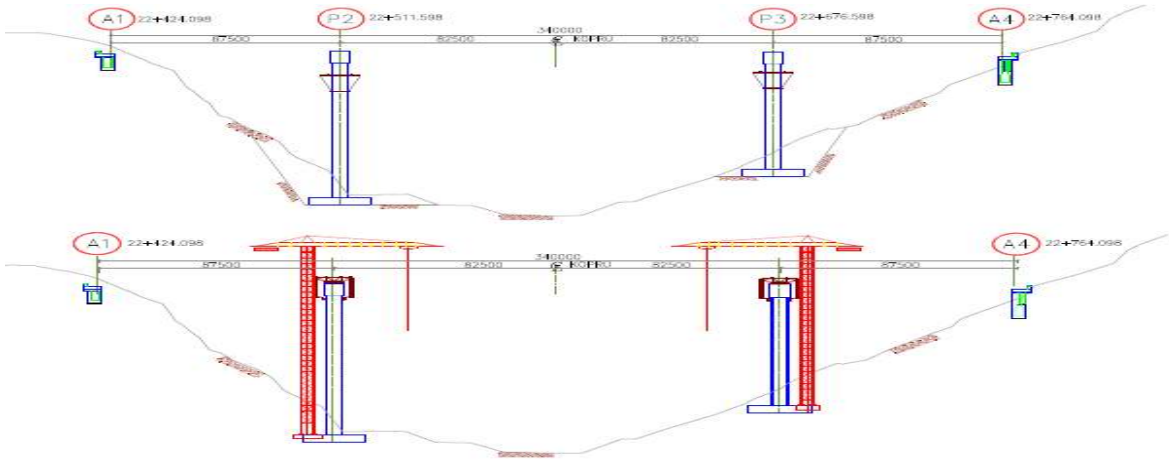
Köprü genişliğine bağlı olarak tek veya çok gözlü kutu kesit kombinasyonları yapılabilmektedir. Köprü üstyapısı orta ayaklar ile monolitik olarak birleşebildiği gibi, orta ayak başlığına yerleştirilen mesnetler vasıtasıyla da üst yapı çözümleri gerçekleştirilebilmektedir (Çift, 2018).

Ayrıca, aynı anda birçok ayakta üretim yapılabilmesi sayesinde esneklik ve hızlı bir iş programı hazırlanabilmekte, dilim boyunca aynı hareketli kalıp defalarca kullanılabilir. Açıklık ortaları sürekli olarak geçilebildiği gibi çeşitli çalışma prensiplerine göre hazırlanmış mafsal sistemleri de kullanılabilir.

Bir köprünün maliyeti; temeller, orta ayaklar ve kenar ayakların oluşturduğu altyapı ile köprü üstyapısının toplamından oluşmaktadır. Seçilen her bir üstyapı tipi için, köprü açıklığı büyüdükçe, üstyapı maliyeti artar. Köprünün toplam boyu sabit olduğuna göre, açıklıkların büyütülmesi, toplam açıklık sayısını ve dolayısıyla orta ayak sayısını azaltır. Köprü açıklığının artması ile köprü ayaklarına üst yapıdan gelen yükler de artar. Bu nedenle her bir orta ayağın maliyeti, küçük açıklıklı duruma ait orta ayaklarının beher maliyetinden büyüktür. Ancak yapılan çalışmalar ve deneyim göstermiştir ki beher maliyet arttığı halde, ayak sayısındaki azalış nedeniyle, toplam altyapı maliyeti önemli ölçüde azalır. Buna göre, eğer küçük açıklık yapmak için çok özel bir neden yoksa özellikle köprülerde, yapı malzemesinin en son olanaklarını kullanan büyük açıklıkların seçilmesi yoluna gidilmelidir. Buna karşın altyapı, özellikle temeller, tamamen zemin koşullarının etkisi altındadır. Özellikle taşıma gücü, deformasyon ve stabilite sorunları olan zeminlerde bir tek ayağı bile elimine etmek büyük tasarruflar sağlayabilir (Ünal ve Kürklü, 2007). Şekil 1.16'da Türkiye'de uygulanmış dengeli konsol örneği olan Berta köprüsü görülmektedir.



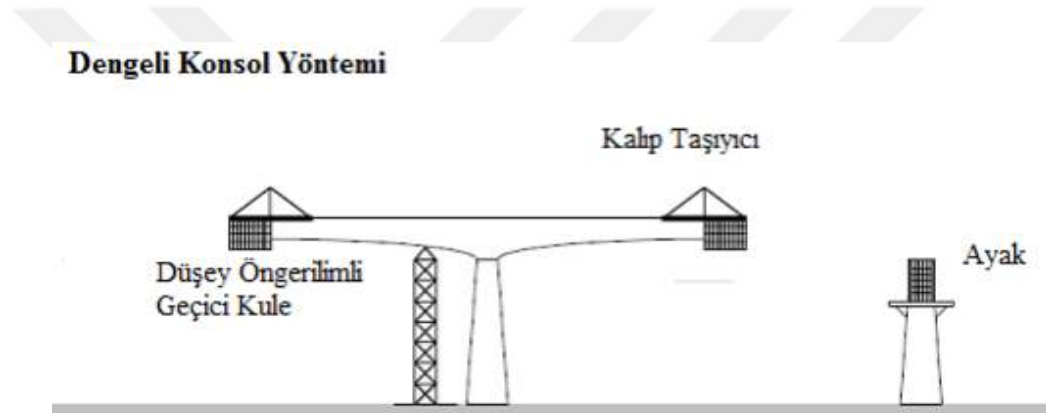
Şekil 1.16. Dengeli konsol örneği (Berta Köprüsü)



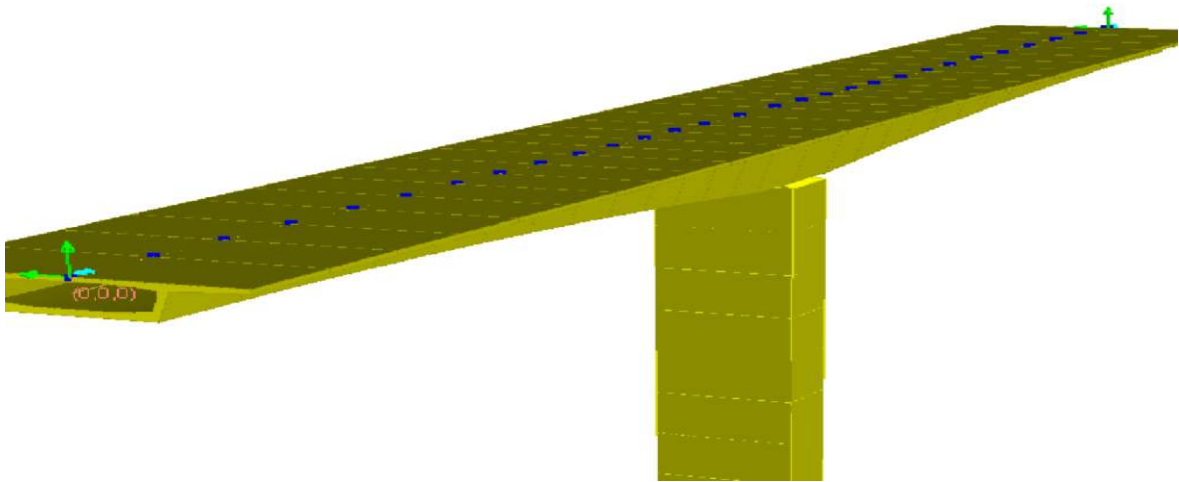
Şekil 1.17. Berta dengeli konsol köprüsü yapım aşamalarına ait şematik gösterim

Şekil 1.17. şematik olarak Dengeli Konsol İnşasındaki tipik bir inşa sürecini göstermektedir (Erkan, 2011). Dengeli konsol inşası destek ayağının her iki yüzünden terazi

şeklinde bir köprü üst yapısı oluşturma anlamına gelmektedir. Bu inşa yöntemi aynı zamanda serbest konsol inşası olarak da bilinmektedir. Konsollamanın başlangıç noktasından itibaren bir temel olarak vazife gören destek elemanının genellikle 6 – 12 metre arasındaki bir uzunlukta olduğu hakkında bilgi vermektedir. Konsol üst yapısının her iki kolunu da dengelemek üzere dilimler yaklaşık olarak uç noktasında eşit konumlara oturtulur. Yeni dilimlerin oturmaya başlaması ise aynı döneme denk gelecektir. Bu yüzden köprü ayağı eğim eğilme momentlerine tabi olabilmekte ve buna göre tasarlanmak durumundadır. Dikey konumlu ön gerilmeli ya da karşıt dengeleyici ağırlıklı geçici kuleler ilave bir destek sağlayabilmektedir. Şekil 1.18-1.19’da dengeli konsol inşası ve dengeli konsol köprü yapım aşaması üç boyutlu sonlu eleman modeli görülmektedir.



Şekil 1.18. Dengeli konsol inşası



Şekil 1.19. Dengeli konsol üç boyutlu görünüş

Dengeli konsol yerinde dökümlenmiş veya prefabrike dilimlerle gerçekleştirilebilmektedir. Yerinde dökümlenmiş dengeli konsollar için iki çeşit taşıyıcı gereklidir, her biri konsolun bir ucuna yerleştirilir. Çok açıklı köprüler için ise taşıyıcıları bir ayaktan konsollama işlemi bitirildikten sonra ve diğer konsolda yeni bir kurulum sağlanabileceği zaman yerleştirilebilmektedir. Farklı kutu kiriş derinliği bulunan köprülerin söz konusu olduğu durumlarda ise, ayak dilimi üst yapının en büyük parçasıdır. Bu dilim daha önce yerleştirilmiş olan iki taşıyıcısının hareket başlangıç noktaları olan bir çalışma platformu sağlamak üzere konsollama öncesinde inşa edilmek durumundadır. Aynı zamanda konsol kollarındaki kuvvet akışını ayaklara yönelten grafikleri de kapsamaktadır. Boyut, geometri ve inşadan dolayı üst yapının geri kalan kısmından ayrılma inşa süresi açısından kayda değer bir süre alacaktır. Büyük prefabrike dilimlerle ya da ayak mili üzerine monte edilmiş olan yerinde dökümlü kalıpla birlikte yerleştirilebilir. Fletcher (1984) tarafından özel olarak tasarlanmış olan ve konsollama için makul olan bir ayaktan bahsedilmektedir (Erkan, 2011).

1.8. Amerika Devlet Karayolu ve Ulaşım Görevlileri Birliği Şartnamesi (AASHTO)

1.8.1. AASHTO'ya Göre Köprülerin Depreme Dayanıklı Tasarımı

Amerika Devlet Karayolu ve Ulaşım Görevlileri Birliği Şartnamesine göre, viyadüklerin dayanımlı çözümü ve üretiminde çeşitli maddeler bulunmaktadır. Viyadük servis ömrü süresince, yönetmelikte ifade edilen deprem yükünün geçilme ihtimali azdır. Şartnameye uygun çözülen , üretilen viyadüklerde hatalar bulunabilse bile göçmenin olmaması sağlanmalıdır. Deprem tasarımının çeşitli aşamaları aşağıdaki gibidir:

1. Servis ömrü süresince gerçekleşme ihtimali yüksek, hafif şiddetli depremlerde viyadük materyallerinin elastiki sınırlarının içinde olması ya da çok düşük hasarların olması,
2. Orta şiddetteki depremlerde, köprü ayaklarındaki plastik mafsall oluşumunun sınırlı oluşumu ya da tamir edilebilecek sorunların oluşumu,
3. Şiddetli depremde ise viyadüğün tamamen veya kısmen göçmesi önlenmelidir (Akoğul, 2007)

1.8.2. AASHTO Yönetmelik İçeriği

Yapımı başlanacak viyadüklerde dayanım esaslı çözümü, inşa şartnamenin IA adındaki kısmında belirtilmektedir. Yönetmelik, çelik, prekast /beton kiriş, kutu şekilli olmak kaydıyla uzunlukları 150 metreye ulaşmayan viyadükler aplikasyonu yapılabilmektedir. İçeriği dışındaki köprüler asmalı, kablolu, kemer şekilli ve hareketli çeşitleridir.

Yönetmelik alt sınırları belirlemektedir. Şartnamede tek açıklıklı köprüler için ayrıntılı bir hesaba ihtiyaç duyulmamaktadır.

Hesapta kullanılacak ivme katsayısı, tehlike haritasından bulunmaktadır. Yönetmelikte ivme katsayısıyla isimlendirilen depremin yükü 50 senelik zaman periyodunda geçilme ihtimali %10'dur. Bu sayı hemen hemen 475 senelik dönüşüm zamanına denk gelmektedir.

İfade edilen hususlarda aşağıda bölgeye ait özel ivme katsayıları uzman ekiplerce bulunması gerekmektedir:

- Faal fay hatlarının olduğu bölgelerde
- Lokasyonda minimum ihtimalli depremin beklenilmesi ($<10\%$)
- Viyadüğün önem durumuna göre büyük zamanda kullanılması (>50 yıl)

Servis ömrü 250 yıl olan önemi yüksek bir viyadüğün çözüm depremi bu zaman periyodunda geçilme ihtimali %10 olduğu ifade ediliyorsa, dönüşüm zamanı 2400 seneye karşılık gelir. Mesela Amerika Birleşik Devletleri'nde bazı eyaletler kendi risk haritalarını oluşturmuştur. Eyaletlerin çoğu 475 senelik dönüşüm zamanını kullanır.

Ülkemizde de deprem yönetmeliğimiz kapsamında, binaların önem katsayısı $I=1$ olan yapılarda hesap depremi elli senelik zaman periyodunda geçilme ihtimali % 50 olduğu ifade edilmektedir. Hayati güvenliklerin yerine getirilmesi hususuyla tasarım depreminde kalıcı yapı hasarlarının oluşabilmesi kısıtlandırılmıştır. Deprem sonrası kullanılması gereken yapılar için 1.5 olarak belirlenmiştir. AASHTO yönetmeliğinde ise herhangi bir şekilde yapı önem sınıfları bulunmamaktadır. Güvenliğin ve köprü durağanlığının sağlanması deprem yüklerinin %50 çoğaltılması tasarımcıların ve yüklenicilerin yorumlanmasına bırakılmıştır. (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018).

1.8.3. İvme Katsayısı Bulunması

İvme katsayıları yönetmelikte kullanılan inşalarda kullanılmak üzere bulunan ATC-3-06 (1978) ismindeki hesaplarda bulunmuştur. Geoteknik yer değiştirmelerinden ortaya çıkan ivme , bunlardan ortaya çıkan elastiki davranışın spektrumunun taşıyıcı sistemin çeşidine bağımlı kalınmadan ATC-3-06'da gösterilen ivme ifadeleri viyadüklerde de kullanılır (ATC-6,1981).

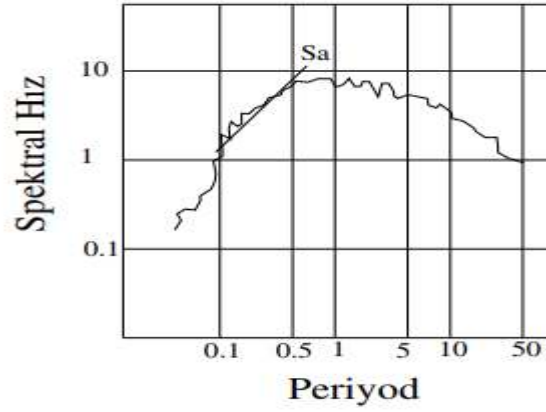
ATC-3-06 iki ivme katsayısı buna ait iki haritalardan oluşur. Bunlar A_a , A_v değerleridir. İvmelerin değerinde il haritaları, eş yükseklik eğrikli haritalar bulunması gerekir. Köprülerin tasarımında deprem çözüm ilkelerinin kullanılması durumunda sadece efektif hız hususuna bağımlı ivme değerinin kullanımı gerekir. Bu ivme katsayısı olarak ifade edilmesine kararlaştırılmıştır. Tasarım aşamasında rahatlık sağlanılmasında sadece eş yükselti eğrilerinden oluşmuş tehlike haritaları belirlenmiştir. 1983 yılında ATC-6 projesinde AASHTO yönetmeliğine ilave şart olarak eklenmiştir. Yönetmeliğimizde günümüzde gösterilen tehlike haritalarıysa 1988 senesinde Amerika Birleşik Devletleri Harita Kurumu'nun oluşturduğu ve Ulusal Deprem Tehlikesi Azaltma Programı'nın yayınladığı yeni inşa edilecek yapılar için deprem şartlarını içeren çalışmalarının aynısıdır (Akoğul, 2007).

1.8.4. Geoteknik Hareketlerin İfadeleri

Yer hareketini karakterize etmeye yarayan tasarım parametresi Efektif İvme'dir (EPA). Bu parametrenin fiziksel olarak tam bir tanımı yoktur ve elastik davranış spektrumunun oluşturulmasında kullanılmaktadır. Şekil 1.20'de görüldüğü üzere EPA 0.1~0.5sn arasında değişen periyodlarda spektral ordinatla orantılıdır. Bu oran %5 sönümlü spektrumlar için 2.5 alınmaktadır:

$$\text{Efektif İvme} = \frac{S_a}{2,5} \quad (1.20)$$

Yataylamasına gelen yükün bulunmasında kullanılan ivme katsayısı, efektif ivmenin yerçekimine bölümüyle bulunabilir. Şöyle açıklanırsa bu durum, şayet efektif ivme 0.2g olduğunda $A=0.2$ değerine ulaşır. (Akoğul, 2007).



Şekil 1.20. EPA'nın davranış spektrumundan üretilmesi

Yönetmelikte efektif ivmenin ilişkin olduğu alandaki 50 senelik sürede geçilme ihtimali %10'dur. Esasen ihtimal tam olarak bulunamamaktadır. Bu duruma ilave haritalar sismologların çalışmasıyla sadeleştirildiğinden depremin risk durumu tüm alanda eşit kalmamaktadır. Bu sebeple çözüm zemin hareketlerin geçilmeme ihtimali %80 ile %90 arasında oluşundan olduğu düşünülmektedir. Çözüm zamanı 50 senelik süre zarfında, tüm inşalar kesin olduğu söylenmemektedir. (AASHTO, 1998).

1.8.5. İvme Değerinin Hesaplama Yöntemleri

Deterministik ve probabilistik yöntem ile bir alana ait ivme belirlenebilmektedir.

İvmenin düzeyleri deprem kaynağı yerlerine, büyüklüğüne bağlı olarak deterministik yöntemde bulunmaktadır. Depremin magnitüdünün durumuna göre deneysel olarak lokasyonun yer ivmesi bulunabilir (Akoğul, 2007).

Başka bir ifade ile probabilistik bir yöntemdir. Yöntemde ivme düzeyi, alanın yakındaki faal lokasyonlardaki depremlerin oluşum ihtimalinin fonksiyonu gibi oluşturulmaktadır. Bu ifadede viyadüğün kullanım süresi, yanındaki kaynağın büyüklüğü, zemin ve aktivasyon durumları, deprem kaynağı ile zemin arasında yer hareketi ile ilgilidir. Metotta çözülen oluşum ihtimali depremin yaklaşık dönüşüm süresiyle kesin bütündür. Farklı söyleyişle elli senelik kullanım süresinde yüzde onluk geçilme ihtimaline ait geoteknik hareketlerin dönüşüm zamanı ortalama olarak 475 seneye karşılık gelir. Zaman altta gösterilen denklemlerle bulunabilir:

$$P(A_{\max}) = 1 - e^{-T/R} \quad (1.21)$$

Denkleimde bulunan P en yüksek ivmenin geçilme ihtimalini, T inşa kullanım zamanını, R depremin dönüş zamanını ifade eder. Dönüşün zamanları, geçilme ihtimalleri aralarındaki durum Tablo 1.1’de ifade edilmektedir (Akoğul, 2007).

Tablo 1.1. Köprülerin Dönüşün zamanları, geçilme olasılıkları

Dönüş Periyodu (Yıl)	Aşılma Olasılığı	
	50 yıl kullanım süresi	100 yıl kullanım süresi
25	86%	98%
50	63%	86%
72	50%	75%
150	28%	49%
250	18%	33%
475	10%	19%
950	5%	10%

1.8.6. Köprü Önem Sınıflandırması

Köprülerde şayet 0. 29'dan yüksek ivme katsayılarına sahip ise , Deprem Performansı Kategorisinin belirlenmesi için Önem Sınıflandırılması (ÖS) kullanılması gerekmektedir.

1. Birincil (Primer) Viyadükler – Önem Sınıflandırması = I
2. İkincil (Sekonder) Viyadükler – Önem Sınıflandırılması = II

Depremin Performanslarının Sınıfları bütün viyadük, İvme Katsayısı , önemlilik çeşidine göre 4 Deprem Performans Sınıfından biri atanmaktadır. Hesap ve tasarım kuralları, Deprem Performans Kategorisi (DPK) tarafından belirlenir (Akoğul, 2007).

Tablo 1.2. Deprem performans sınıfları

İvme Katsayısı	Köprü Sınıflandırması	
	Birincil	İkincil
$A \leq 0.09$	A	A
$0.09 \leq A \leq 0.19$	B	B
$0.19 \leq A \leq 0.29$	C	C
$0.29 \leq A$	D	D

1.8.7. Zeminin Etkisi

Köprü üzerindeki bölgesel geoteknik şartlarının etkileşimi, zeminin profilinin çeşidine bağımlı olarak Bölgesel Geoteknik Katsayısı (S) ile dikkate alınır.

4 çeşit zemin profil çeşidi ifade edilmektedir:

- Kategori I, altta gösterilen çeşitlerden biridir:

- Kaya (760 metre/saniye'den çok yukarıda bir kayma dalgası hızı ile karakterizasyonu yapılabilmektedir.)

- Kaya üzerinde bulunan kum ve kalınlığı 60 metreyi geçmeyen, çakıl veya sert kil tabakalarında oluşan sert zeminler

- Kategori II, sert kil yada derin kohezyonlu olmayan zeminlerden oluşmaktadır. Zeminin genişliği 60 metreden yukarıdadır, kaya üstündeki kum, çakıl veya sert kil tabakalarından oluşmaktadır

- Kategori III, yumuşak-orta mukavemette kil , kumdan oluşmaktadır

- Kategori IV, genişlikleri 12 metreyi geçen yumuşak kil veya siltdir.

Hemen hemen 2007 deprem şartnamesinde Z1, Z2, Z3 ve Z4 geoteknik profiline karşı geldiği bilinmektedir. (Celep ve Kumbasar, 2007). 2018 deprem yönetmeliğinde ise ZA, ZB, ZC, ZE sınıflarına karşılık gelmektedir (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ,2018). Lokasyona özel elastiki depremlerin katsayısı uzman elemanlarca belirlendiği hususlarda lokasyon katsayısının hesaba konulmasına ihtiyaç duyulmamaktadır.

1.8.8. Bölgesel Geoteknik Katsayısı

Geoteknik şartların, elastiki davranışların katsayısı ve spektrum üstündeki etkileşimi hemen hemen çözüme koymak için Bölgesel Geoteknik Katsayısı (S) belirlenmelidir.

Tablo 1.3. Bölgesel geoteknik katsayısı (S)(Akoğul, 2007)

	Zemin Profil Tipi			
	I	II	III	IV
S	1	1,2	1,5	2

1.9. Yapım Aşamasına Göre Dengeli Konsol Köprüler

Betonarme yapıların tasarımları bir anda bitecekmiş gibi yapılmaktadır. Bu durum uygulamada ise farklılık göstermektedir. Örneğin bir betonarme köprüsünün köprü ayakları dilim dilim, tabliyesi ise dilim dilim yapılmaktadır. Ama ortaya çıkan gerilme ve eğilme momenti değeri farklılık göstermektedir. Bu ise donatı ve halat hesabını etkileyen bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle viyadükler gibi yüksek maliyete sahip olan yapıların tasarımında yapım aşaması hesap yönteminin kullanılmasında büyük fayda vardır.

1.9.1. Yapım Tekniği

Dilimsel yapım yöntemi köprü üstyapısının köprü orta ayak üstü mesnet bölgesinden açıklık ortalarına doğru dilimler şeklinde devam eden bir yapım yöntemidir. Dilimler köprü ayağı başlarından itibaren iki ters yönde aynı anda uygulanmakta olup ayak üstü mesnet bölgesinde meydana gelen eğilme eğilme momentilerini sıfıra indirecek şekilde olacaktır. Bu şekilde inşa edilen bir dengeli konsol sisteminde eğilme momenti dengesinin sağlanması önem arz etmektedir.

Ayağın iki tarafındaki dilimlerin imal edilmesi yaklaşık bir haftada tamamlanmaktadır ve aşağıdaki şekilde özetlenmiştir:

- Kalıp arabasının imalatı tamamlanmış dilimlerden sökülüp bir sonraki dilimin yapılması için ilerlemesi (Şekil 1. 21).



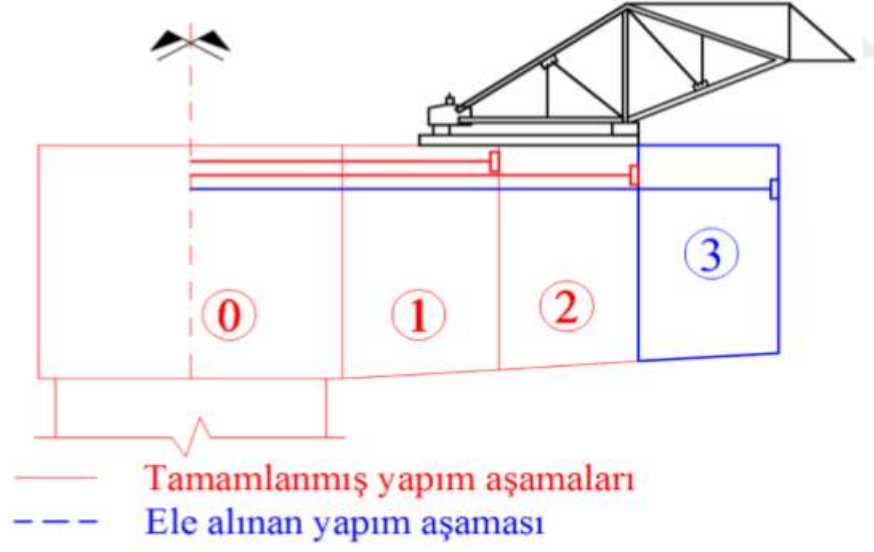
Şekil 1.21. Dilimsel dengeli konsol üstyapısının şematik olarak yapım aşamaları-1

- Alt flanş ve gövde donatılarının yerleşmesi, iç kalıbın ilerlemesi, üst flanş donatısının, kılıfların ve demetlerin yerleşmesi.
- Dilim betonun dökülmesi (Şekil 1. 22)



Şekil 1.22. Dilimsel dengeli konsol üstyapısının şematik olarak yapım aşamaları-2

- Betonun priz alması ve betonun tasarımda belirlenen mukavemetini kazandıktan sonra ardgerme tekniğinin uygulanması (Şekil 1. 23).



Şekil 1.23. Dilimsel dengeli konsol üstyapısının şematik olarak yapım aşamaları-3.

- Kalıp arabasının bir sonraki dilime geçmesi (Nuri, 2019).



Şekil 1.24. Dengeli konsol köprü döküm arabası



Şekil 1.25. Dengeli konsol tabliye iç görünüşü

Şekil 1. 27. görüleceği üzere ardgerme çekim işlemi yapılmaktadır. Bu çekim işlemi çeliğin kopma dayanımının yüzde 75'i oranında yapılmaktadır.



Şekil 1.26. Beton dökümüne ait dengeli konsol dilimi



Şekil 1.27. Ardgerme çekim işlemi

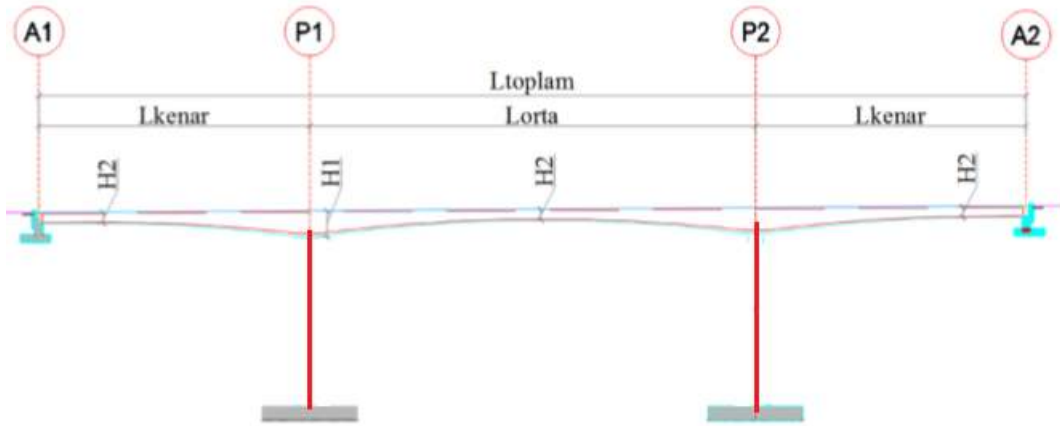
1.9.2. Dengeli Konsol Köprü Boyutlandırılması

Kutu formuna sahip köprü üstyapı tabliyesi açıklık ortasından mesnetlere doğru eğrisel geometrili bir değişim göstermektedir. Bu bölümde öntasarım için köprü üstyapısı kesit altında parabol gibi düşünülmekte olup uygun formüllerle eğrisellik ifade edilecektir. Kesit yüksekliği H ile köprü orta açıklığı L ile ifade edilsin. H/L oranı orta ayak köprü ayağı üstü mesnedinde α ile ve açıklık ortasında β ile gösterilsin. Bu oransal değer açıklıkların büyümesi ile değişiklik göstermekte olup tasarım pratiği yönünden ön boyutlandırma aşamasından itibaren dikkate alınması gerekir (Karaesmen E., 2015).

Tablo 1.4. Açıklık boylarına göre kesit yükseklik oranları

Açıklık Boyları, L(m)	Mesnette $a=H/L$	Açıklıkta $B=H/L$	α / β
80-120	1/18-1/20	1/36-1/40	2
120-150	1/18-1/20	1/40-1/42	2,1
150-180	1/20	1/42-1/45	2,2
>250	1/20	1/48	2,4-2,5

Belirtilen hesap parametreleri dışında yine köprü üstyapısı ön boyutlandırması için Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes kurumu (SETRA) tarafından önerilen ampirik bağıntılarda kullanılmaktadır. Şekil 1. 28'de belirtilen H_1 , H_2 , L kenar ve L_{orta} ifadelerinden oluşturulan formüllerle mesnet ve açıklık ortasındaki kesit hesabı yapılabilmektedir.



Şekil 1.28. Köprü boykesit görünüşü

Mesnet üzerinde,

$$L_{orta}/H_1=14+L_{orta}/45 \quad (1. 22)$$

formülü ile mesnet bölgesinde hesap edilmektedir.

Açıklık ortasında,

$$L_{orta}/H_2=19+L_{orta}/7 \quad (1.23)$$

formülüyle açıklık ortasında kesit boyutu hesabı yapılabilir.

1.9.3. Dengeli konsol Kesit üstü halat hesabı

Dengeli konsol kesit üstü hesabı için kesit alanları, eğilme momenti ve kesme kuvvetleri bulunması gerekir. Bunlar belirlendikten sonra halat hesabı yapılır.

A_o =başlık kesitindeki kesit alanı

A_{18} =Açıklık Bölgesi Enkesit Alanı,

Parabolik bağıntı açıklık ortasından mesnete doğru ilerleyen x mesafesine bağlı olarak aşağıdaki gibi verilebilir

$$A(x)=A_{18}+(A_o-A_{18}).\left(\frac{x}{L_{hesap}}\right)^2 \quad (1.24)$$

Enkesitlerin parabolik yaklaşımı; bağıntıda verilen L_{hesap} dengeli konsolun bir tarafının konsol uzunluğudur.

$$g(x)=A(x).25\frac{kN}{m^3} \quad (1.25)$$

enkesit alanlarına bağlı olarak yayılı yük değişimidir. Buradaki 25 kN/m^3 betonun birim hacim ağırlığıdır.

$$T(x)=\int_0^x g(x)dx \text{ Kesme Kuvveti Değişim Bağıntısı} \quad (1.26)$$

$$M(x)=\int_0^x T(x)dx \text{ Eğilme momenti değişim bağıntısı} \quad (1.27)$$

Buradaki negatif konsol eğilme momentidir. Yapım aşamasında bulunan eğilme momentidir. Bu bağıntılardan elde edilen eğilme momenti değerleri dilim ağırlığından dolayı elde edilen eğilme momentilere yakın sonuçlar vermesi gerekmektedir.

Yapılan çalışmalar sonucunda köprü üstyapısında herhangi bir kesitinde oluşan eğilme momenti değerini i kesitin x mesafesi değerini kullanarak elde etmek mümkün olmaktadır. Gerekli halat sayısının hesabı için köprü üstyapısı yapım aşaması halinde, diğer bir değişle dengeli konsol durumunda mesnet kesitinde meydana gelen en yüksek eğilme momenti değerine ihtiyaç duyulmaktadır.

En son dilim yapıldıktan sonra kapatma diliminin yapılması için kalıp arabasının en son dilim ucundaki durumundan dolayı oluşan eğilme momenti değeri gerekmektedir. Bu değer Denklem 1.28'e göre elde edilmektedir.

$$M_{\text{Kalıp Arabası}} = P_{\text{kalıp Arabası}} \times 1,1 \times L \text{ hesap} \quad (1.28)$$

En son dilim yapılana kadar inşaatla beraber ilerleyen imalat yüklerden dolayı meydana gelen eğilme momenti:

$$M_{\text{imalat momenti}} = (0,5 \times K_{\text{Köprü Genişliği}} \times (L_{\text{hesap}})^2) / 2 \quad (1.29)$$

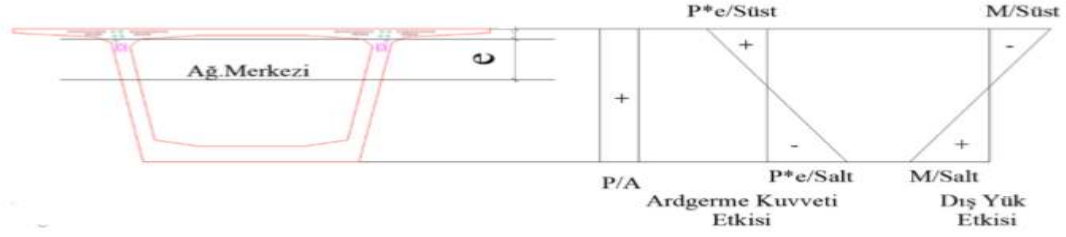
formülü ile hesabı yapılmaktadır.

Halat adedinin bulunması için yapım aşamasında dikkate alınan yüklerden dolayı mesnet kesitinde meydana gelen toplam eğilme momenti:

$$M_{\text{toplam}} = M_{\text{dilim ağırlık}} + M_{\text{kalıp arabası}} + M_{\text{imalat}} \quad (1.30)$$

gelen toplam eğilme momentiler ile hesapta kullanılan eğilme momenti değeri bulunabilmektedir.

Köprü kesitlerinde dış yüklemelerden ve ardgerme kuvvetinden oluşan gerilmeler izin verilen çekme gerilmesi sınırı ile sınırlandırılacaktır. Bu sebepten gerekli halat adedinin hesabı için oluşan gerilme değerinden çekme gerilmesi sınırı değeri düşürülerek işlem yapılacaktır. Dış yüklerin etkisi altında mesnet kesitinde negatif eğilme momenti, dolayısıyla çekme gerilmeleri kesit üstünde meydana gelecektir. Ardgermeli kesit hesabına esas kesitte oluşan gerilmeler aşağıdaki gibi dikkate alınacaktır (Nuri, 2019).



Şekil 1.29. Ardgermeli kutu kesitte meydana gelen gerilmeler

İzin verilen çekme gerilmesi sınırı AASHTO LRFD yönetmeliği tarafından aşağıdaki şekilde belirlenecektir.

$$\sigma_{em_çekme} = -0,24\sqrt{f_{ci}} \quad (1.31)$$

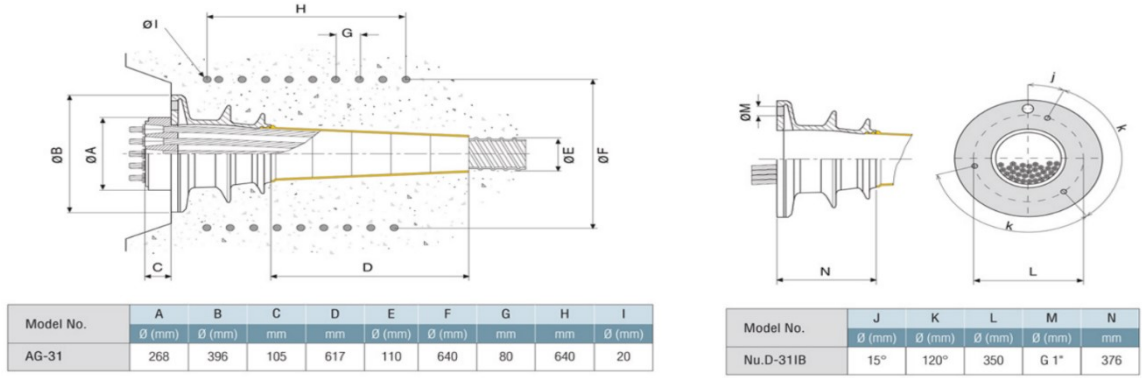
yapım aşamasında izin verilen beton çekme dayanımıdır. f_{ci} betonun karakteristik çekme dayanımıdır.

Tasarımlarda genellikle kullanılan halat 270K sınıfı halattır. Bu halatın kopma dayanımı 1860 Mpa dır. Halat çapı 15,2 mm olup kesit alanı 140 mm²dir. Bir halat 7 adet telden oluşmaktadır. 1 adet kablo ise 9, 12, 15, 19, 22, 27 ve 31 halattan oluşmaktadır. Bunun sebebi ise üreticiler tipik 9, 12, 15, 19, 22, 27, 31 halatlık yüksek dayanımlı özel çelik malzemesinden ardgerme plakaları üretmesidir.

Şekil 1. 30' da 31 adetli kablo düzeni verilmiştir. Bu halat düzeni modelde ilk 5 dilimde kullanılmıştır.



Şekil 1.30. 31'li halat düzenine sahip halat plakası



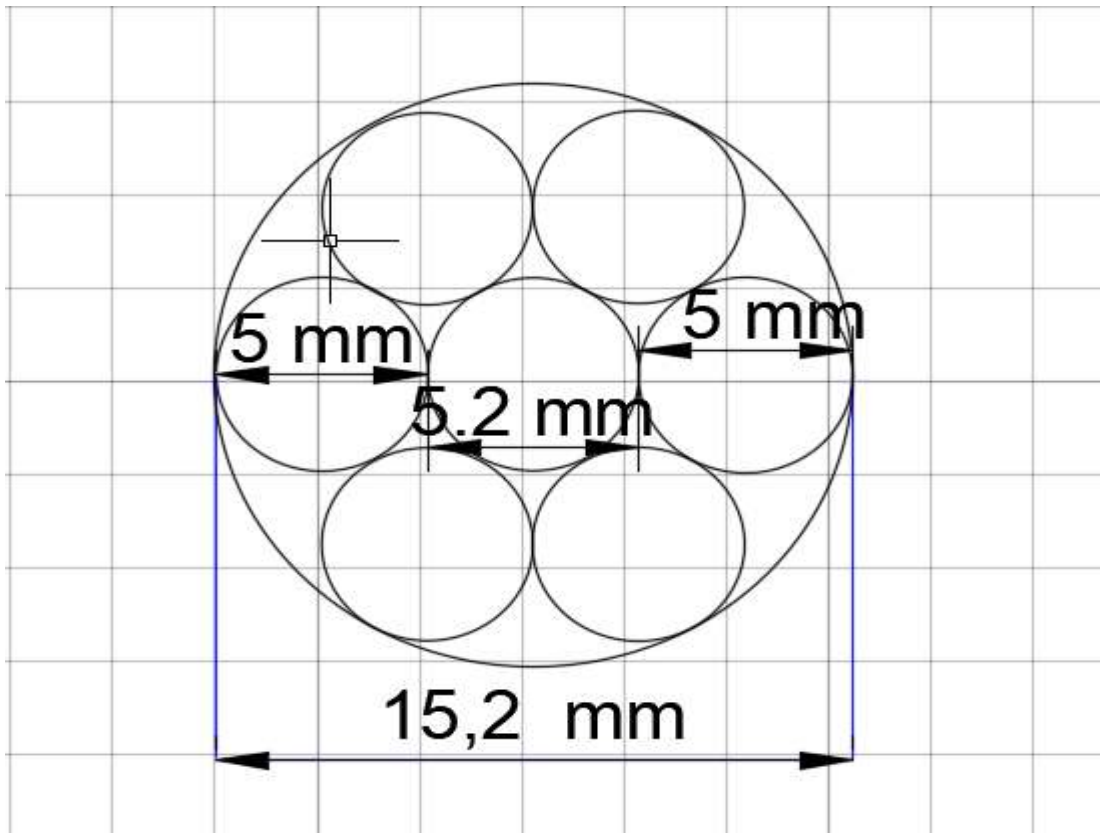
Şekil 1.31. 31 adet halata sahip plakanın teknik resmi

Şekil 1.31.'de görüleceği üzere argerme kabloların dışına koruyucu kılıflar konulmaktadır. Ardgerme işlemi yapıldıktan sonra ise bunun içine çimento şerbeti basılıp imalatı dilimlerde tamamlanmaktadır.



Şekil 1.32. Galvanizli ardgerme koruyucu kılıfları

Halat hesabı yapılırken kayıpların hesaba katılması gerekmektedir Bunun için halat hesabı yapılırken 0,85 güvenlik katsayısı ile çarpılmaktadır. Ayrıca ardgerme işleminde çekilen halat için bir çekim basıncı vardır. Bu da 0,75 katsayısı ile çarpılmaktadır. Yani söyle açıklarsak K270 çeliğinin kopma dayanımı 1860 Mpa ama uygulanan basınç 1395 Mpa olmaktadır. K270 ardgerme çeliğinin şematik olarak halat dizaynı Şekil 1. 33'de gösterilmiştir. Kenarlarında 5mm çapında 6 adet tel ve 5. 2 mm çapında 1 adet telden oluşmaktadır.



Şekil 1.33. Halatın şematik olarak görünüşü

$P_{\text{halat}} = 0.75 \times 0.85 \times \text{Halat Kopma Dayanımı} \times \text{Halat Kesit Alanı}$

P_{halat} bir halatın güvenle taşıyacağı çekme kuvveti, kısa vadeli etkilerin hesabında kablolarda %15 kayıpların olduğu varsayımıyla;

$$P_{\text{çekme}} = \frac{\frac{M_{\text{servis}}}{I_{\text{kesit}}} \times S_{\text{üst}} + \sigma_{\text{emniyet}}}{\frac{1}{A} + \frac{e}{I_{\text{kesit}}} S_{\text{üst}}} \quad (1.32)$$

toplam karşılanması gereken kuvveti ifade etmektedir. Denklem 1.32’de, M_{servis} tabliyede oluşan toplam eğilme momentini ifade etmektedir. I atalet momenti, A kesit alanı , e tarafsız eksene olan uzaklık ve σ çekme dayanımını ifade etmektedir.

Gerekli Halat Adeti

$$N_{gerekli\ halat} = P_{çekme} / P_{halat} \quad (1.33)$$

ile kesit üstü halat hesabı yapılmaktadır.

1.9.4. Dengeli konsol Kesit Altı Halat Hesabı

Kesit altı hesabı yapılırken bulunan servis momentinden hareketle kesit altı hesabı yapılabilmektedir.

$$M_{servis} = M_{dilim\ ağırlık} + M_{kaplama} + M_{kamyon} \quad (1.34)$$

formülleriyle kesit altı için eğilme momenti hesabı yapılır.

$$\sigma_{emniyet çekme} = -0,6\sqrt{fc} \quad (1.35)$$

formülü ise kesit altı için çekme gerilmesidir.

$$P_{çekme} = \frac{\frac{M_{servis}}{I_{kesit}} x y_{alt} + \sigma_{emniyet}}{\frac{1}{A} + \frac{e}{I_{kesit}} y_{alt}} \quad \text{formülü} \quad (1.36)$$

ile hesabı yapılmaktadır.

Gerekli Halat Adeti

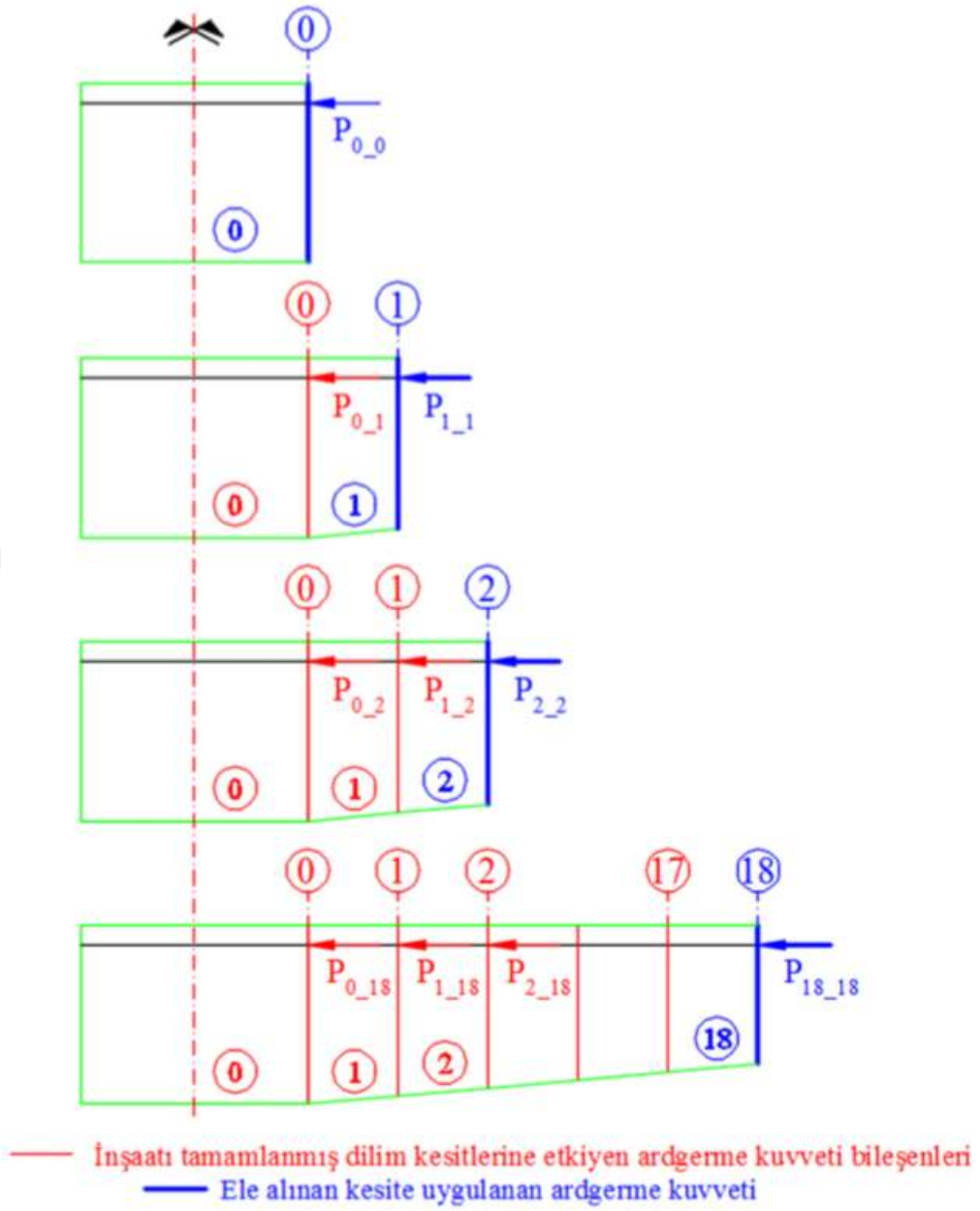
$$N_{mevcut} = P_{çekme} / P_{halat} \quad (1.37)$$

ile hesabı yapılabilmektedir.

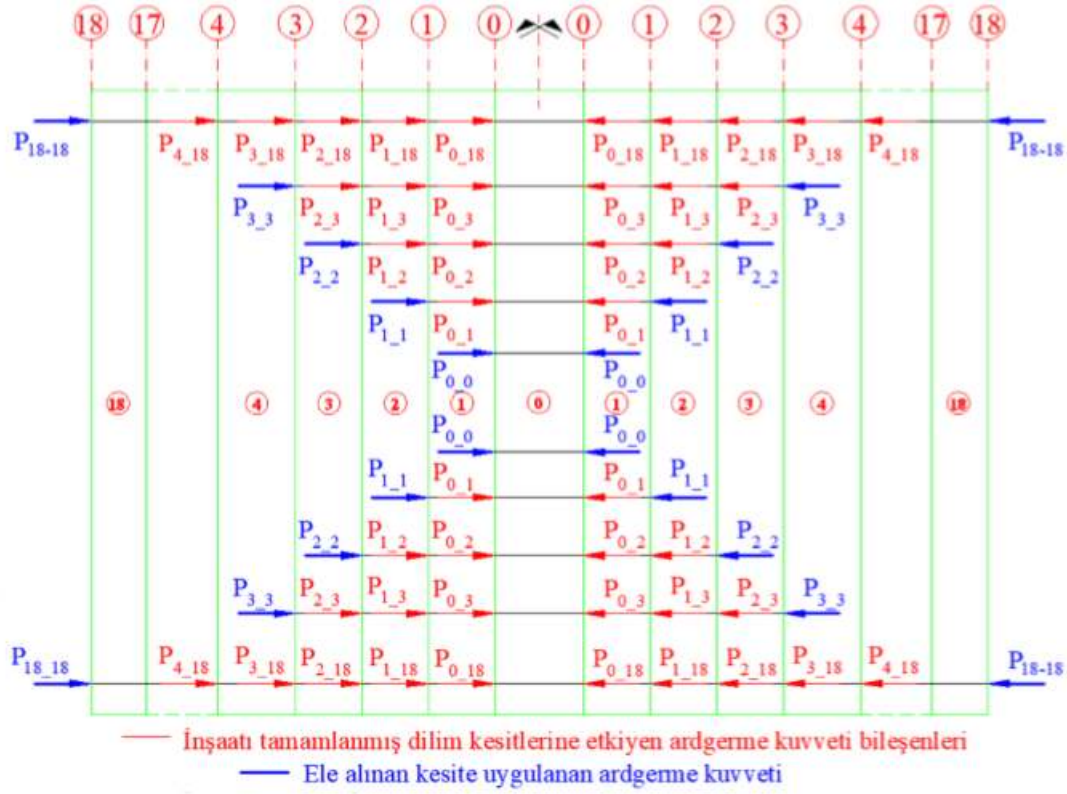
1.9.5. Artımsal Zaman Adımı Yöntemi

Dilimsel dengeli konsol yapım metoduyla yapılan köprü üstyapısı farklı şekillerde ve ardgerme kuvveti uygulama anında farklı gün cinsinden beton yaşına sahip olduğundan dilimler zamana bağlı etkiler altında basit açıklıklı kirişlere göre farklı davranış gösterebilmektedir. Kesit yükseklikleri fazla ve dilim boyları büyük olduğundan kesitlerde meydana gelen gerilme değişimleri özel çözüm hesabı gerektirmektedir. Her bir yapım metodunun zamanına ve dilimlere ardgerme kuvvetinin uygulanma anındaki beton zamanına bağlı olarak kesitlere etkiyen ardgerme kuvveti bileşenleri için zamana bağlı meydana gelen kayıplar ayrı-ayrı hesap edilmelidir. Bunun dışında bu metod kesitlerde her bir zaman adımıyla meydana gelen eğrilik ve buna bağlı çözülen düşey yerdeğiştirme için çok önem arz etmektedir. Yapım zamanları ve köprü açıklığı yeterli sayıda parçalara bölünmek üzere köprünün beton dökme zamanında geometri kontrolü gerekli hassasiyetle takip edilebilir. Tez kapsamında 7 günlük yapım süreleri zaman adımı olarak, dilim boyları ise büyük açıklığa sahip köprünün bölünmesi hedeflenen parça boyları olarak ele alınacaktır. Zamana bağlı öngerilme kayıplarının çözümü ve betonda oluşan etkiler köprü servis ömrünün sonundaki zamana göre çözülerek dikkate alınırsa kesin sonuçlar elde etmek mümkün olmayacaktır. Bu sebepten ötürüdür ki her bir dikkate alınan zaman dilimi sonucunda zaman periyoduna bağlı etkilere bağlı olarak bulunan öngerme kuvveti bir sonraki zaman dilimi için başlangıç değeri olarak alınacaktır. Böylece her bir kesit için çok sayıda ardgerme kuvveti bileşeni bulunmuş olduğundan artımsal zaman adımı yöntemini kullanmak amaca uygun olacaktır. Bu hesap yöntemi özel köprülerin inşaat aşamalarına göre analizini yapan bilgisayar programlarının temeli oluşturmaktadır (Nuri, 2019).

Çeşitli yapım aşamalarında dilimlere uygulanan ardgerme kuvveti ve bileşenleri tabliye profili ve planı üzerindeki dağılımı sırasıyla Şekil 1. 34 ve 1. 35’de verilmektedir.



Şekil 1.34. Farklı yapım aşamaları sonunda uygulanan ardgerme kuvveti ve bileşenleri tabliye profil görüntüsü.



Şekil 1.35. Farklı yapım aşamalarında uygulanan ardgerme kuvveti ve bileşenleri-
 tabliye plan görüntüsü

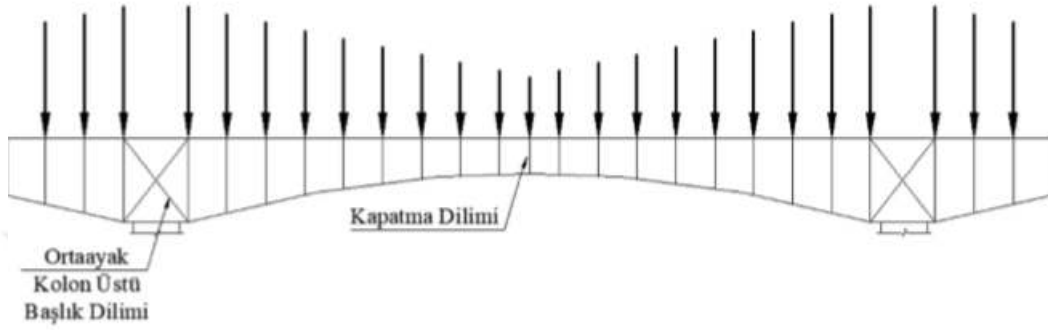
Şekil 1. 34. ve Şekil 1. 35’den de görüleceği üzere her bir yapım aşamasında kesitlerde etkiyen ardgerme kuvvet bileşen sayısı giderek artmaktadır ve beton yaşı ve ilerleyen yapım zamanlarına ve zamana bağlı olarak her biri kendi içinde değişim göstermektedir. Kuvvet ifadesindeki ilk alt indis ilgili kesiti, ikinci alt indis ise ele alınan kesite montajı yapılan ana halatı, dolayısıyla ele alınan kesite uygulanan ardgerme kuvvet bileşenini belirlemektedir (Nuri, 2019).

1.9.6. Kesit Tesirleri

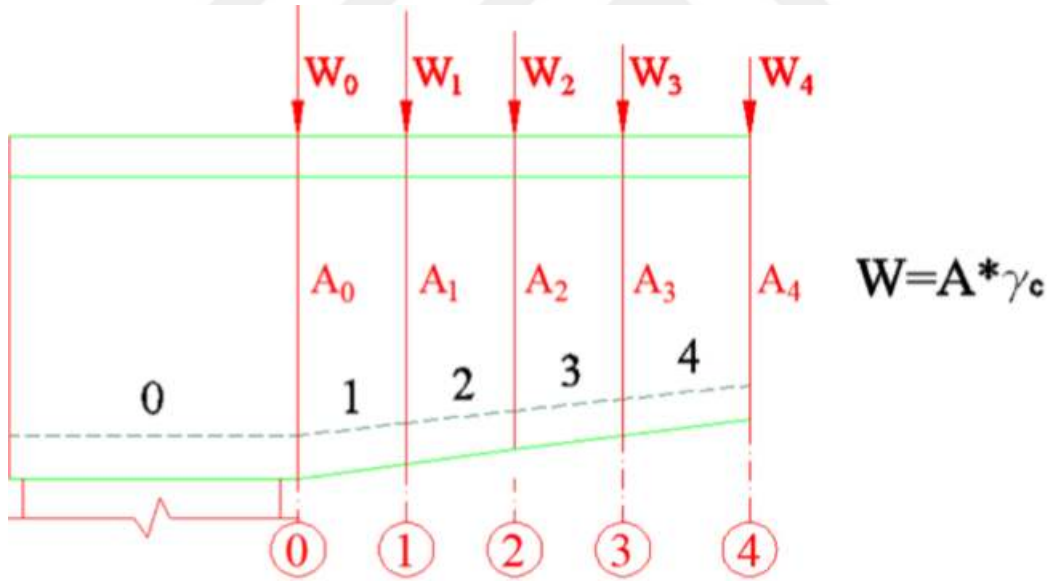
1.9.6.1. Dilimlerin Kendi Ağırlığından Dolayı Meydana Gelen Eğilme Momentleri

Bütün dilimlerin boyuna yönde farklı şekle sahip olduğu başlangıç ve bitiş kesitleri farklı özelliklere sahip olduğu dengeli konsolun olmazsa olmazıdır. Dilimlerin üzerlerindeki ölü yük dağılımı trapez yayılı yük olduğundan başlangıç ve bitiş kesitleri dikkate alınabilir.

Şekil 1. 36'dan de görüleceği üzere her bir dilimin başlangıç ve bitiş enkesit alanlarına bağlı olarak köprü üstyapısı üzerinde dilimlerin ölü yük dağılımı parabolik olarak değişim göstermemektedir. Üstyapı için ayrıntılı analiz hesap sonucu bulunan eğilme momenti değerleri parabolik yaklaşımla bulunan değerlerden daha küçük değerlere sahip olacaktır. Her bir dilimin enkesit alanına bağlı olarak birim yükler aşağıdaki gibi ifade edilebilir.



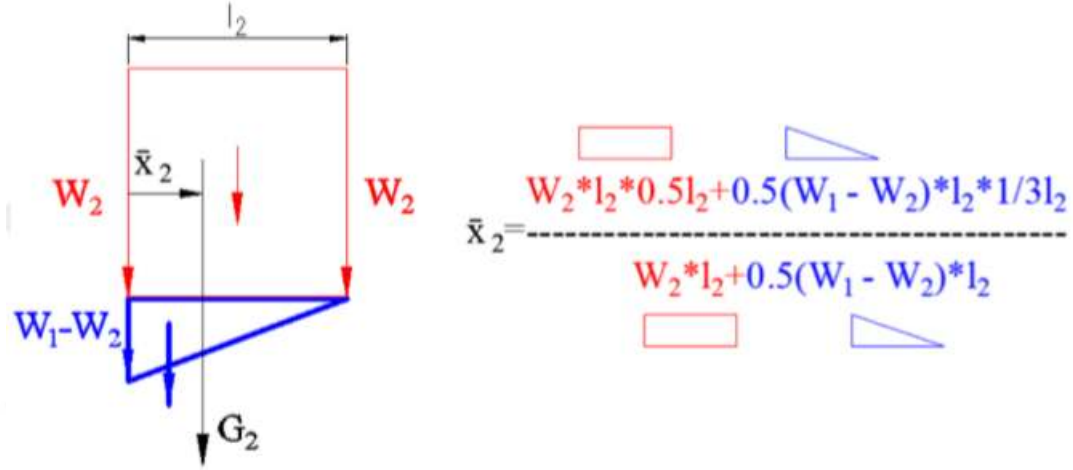
Şekil 1.36. Köprü üstyapısı dilimlerin ölü yük dağılımı.



Şekil 1.37. Dilim enkesit alanına bağlı olarak ölü yük hesabı

Ayrıntılı analiz durumunda her bir dilim için enkesit alanı değerine bağlı olarak ölü yük hesabı yapılması gerekmektedir. Burada W kN/m cinsinden enkesit ağırlığını, A enkesit alanını ve γ ise kN/m³ cinsinden beton birim hacim ağırlığını ifade etmektedir. Dilim ağırlık hesaplarında $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ olarak hesaplarda ele alınacaktır.

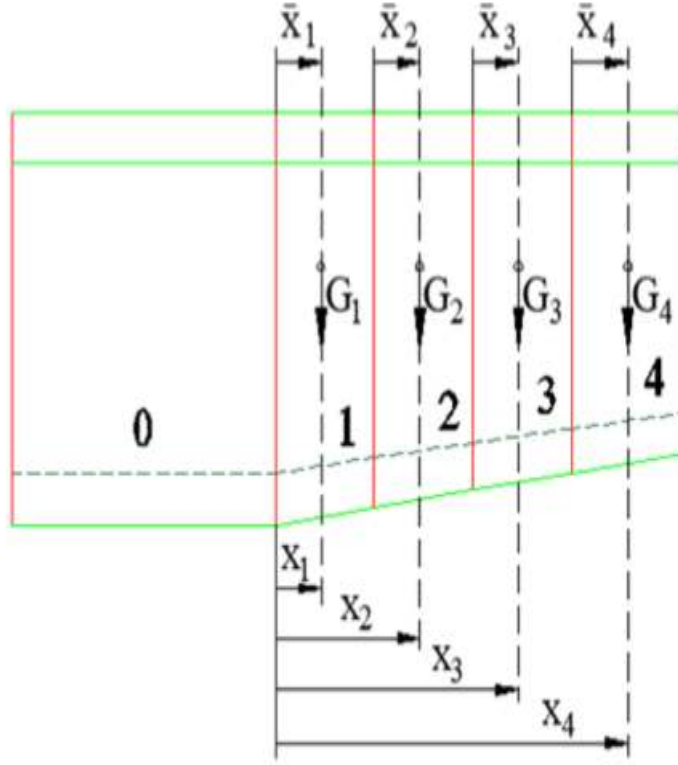
Yapım aşamalarında her bir dilim ağırlığından dolayı kesitlerde meydana gelen eğilme momenti değerinin hesabı için dilim ağırlık değerlerine ve dilim boyuna yönde ağırlık merkezinin yerine ihtiyaç duyulur (Nuri, 2019).



Şekil 1.38. Dilim başlangıç ve bitiş enkesit alanına bağlı ağırlık merkezi yeri hesap örneği-1

Burada G kN cinsinden ağırlığı göstermektedir. Dilim hacimleri V olarak ifade edilmektedir. Her bir dilimin ağırlığı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$G_n = V_n \gamma_n \quad (1.38)$$



Şekil 1.39. Dilim başlangıç ve bitiş enkesit alanına bağlı ağırlık merkezi yeri hesap örneği-2

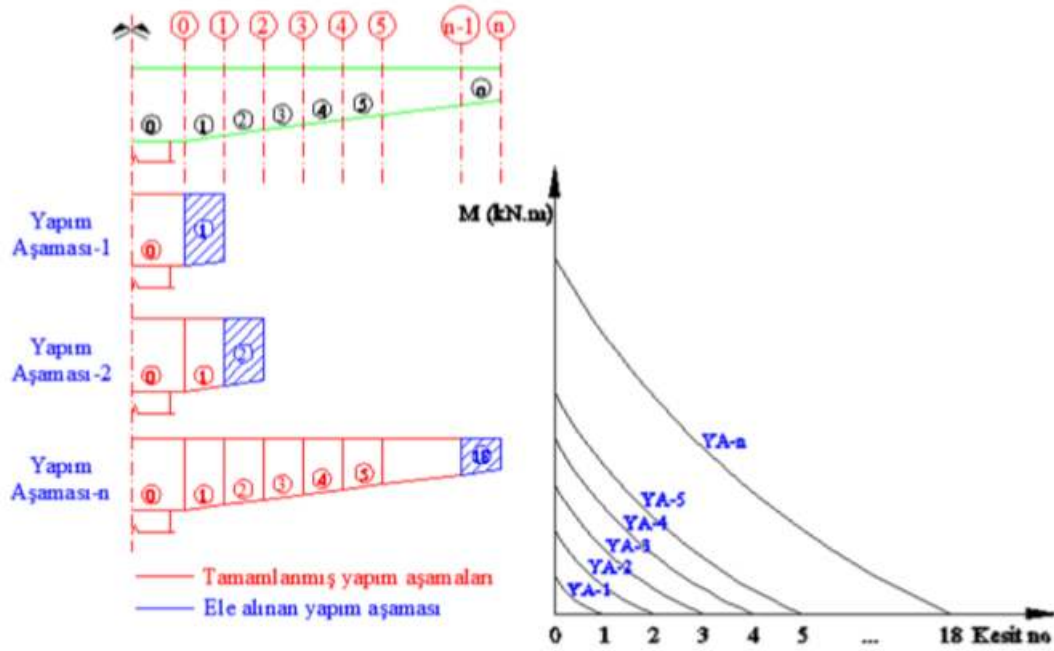
Burada, $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_n$: ilgili dilimin ağırlık merkezinin başlangıç enkesitine göre eğilme momenti kolu, x_1, x_2, x_n : ilgili dilimin ağırlık merkezinin ele alınan kesite göre eğilme momenti kolu,

G_1, G_2, G_n : ilgili dilimin kN cinsinden ağırlığı. Dilim başlangıç enkesitlerinde dilim ölü yükünden dolayı meydana gelen negatif konsol eğilme momentleri aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır:

$$M_{n-1} = G_n \cdot \bar{x}_n \quad (1.39)$$

Herhangi bir kesitin yapımının sonucu oluşan yükden dolayı meydana gelen konsol eğilme momentleri aşağıdaki şekilde hesaplanabilmektedir (Nuri,2019).

$$M_{mn} = G_n \cdot X_{mn} \quad (1.40)$$



Şekil 1.40. İlerleyen yapım aşamalarında dilim ölü yüklerinden dolayı meydana gelen eğilme momenti diyagramı.

Elde edilen eğilme momentlerine göre bu eğilme momentlerini karşılayacak halatların hesabı yapılacaktır.

1.10. Yakın Fay ve Uzak Fay Yer Hareketleri

Deprem anında bir lokasyondaki hareketli durumun çeşidini etkileyen birçok etken içerisinde deprem büyüklüğünün yanı sıra o yerin topoğrafik özellikleri, jeolojik yapısı ve yakın fay etkisi altında olması gibi faktörler de göz önüne alınmalıdır. Yakın fay hareketleri deprem kaydının ölçüldüğü yerin kırılan faya olan uzaklığından ve fayın kırılma yönünden etkilenen, kendine has bir karakteri olan kuvvetli yer hareketi olarak adlandırılmaktadır. Faya yakın yerlerdeki kuvvetli yer hareketleri büyük ölçüde fay geometrisinden ve fay yırtılma yönünden etkilenmektedir. Uzak yer hareketlerine mukayese edilirse yakın fay hareketleri yüksek hız ve genlikte, yüksek periyot karakterlerine sahiptir. Yakın fay etkisi altında oluşan depremlerin mertebesi büyük olur ve yüksek enerjiler içerirler, yüksek miktarda kalıcı yer değiştirmeye neden olmaktadır (Ağdaşan vd., 2011).

Yakın fay etkisi, deprem kayıt istasyonunun faya olan uzaklığı 10 km ve 10 km den az mesafede bulunan faylar sebebiyle ortaya çıkan ve etkin yer hızının etkin yer ivmesine oranı (PGV/PGA) 0.1 den büyük olan depremlerin etkisi olarak ifade edilebilir. Uzak fay

etkisi ise kilometresi 10 km den büyük olan ve PGV/PGA oranı 0.1 den küçük olan depremlerin etkisi olarak belirtilmektedir. Yakın fay yer hareketlerine örnek olarak 1999 Taiwan Chi-Chi, 1989 Loma Prieta, 1994 US Northridge, 1995 Japan Hyogoken-Nanbu ve 1999 Kocaeli depremleri gösterilebilir (Çavdar, 2013). Yakın ve uzak fay etkisinin önemli mühendislik yapılarından olan büyük açıklıklı köprüler, tüneller, barajlar üzerindeki etkisinin incelenmesi önem arz etmektedir.

Yakın deprem durumlarının tipik nitelikleri kalıcı yer değiştirmeleri, büyük uç ivmeler , yüksek zamanlı büyük uç zemin hızıdır. Fay yakını etkili deprem hareketlerinin maruzu inşalar üstünde sıradan kayıtlara göre çok etkileyicidir. Bu hareketlerin yer yer değişmesi veya süneklik isteklerine sebep olmasıyla 1971 San Fernando depreminin periyotlarında, Northridge 1994 , Kobe 1995 depreminde ortaya çıkan etkileri, bilim insanlarının araştırmaları sonucunda yakın fay alanlarında bulunan inşaatların, bu alanın haricinde bulunan inşaalara kıyasla büyük hasar gördüğünü ortaya çıkartmıştır.

Deprem mertebelerine göre sismik hareketler A, B ve C olacak şekilde üç farklı şekilde kabul görmüştür. Yüksek mertebeli deprem oluşturabilecek büyük fayları içeren ve mertebesi yedi veya daha büyük olabilecek depremler A tipi olarak adlandırılmıştır. Yüksek mertebeli deprem oluşturacak kadar özellikli fayları bulunmayan ve aktivitesi az olan faylarla oluşabilecek en fazla 6. 5 büyüklüğünde depremlere C tipi denmektedir. Bu iki depremlerin dışında kalan özellikteki depremlere B tipi denmektedir. Deprem kaynağı tipine ve uzaklığına göre, A tipteki depremler yerin altından 15km mesafeye kadar yakın fay hareketi, B tipi depremler ise yerin altından 10km mesafeye kadar yakın fay hareketi sayılmaktadır (Niğdeli, 2012).

Tablo 1.5. Sismik kaynak tipleri

Sismik Kaynak Tipi	Maksimum Eğilme momenti Büyüklüğü (M_w)	Kayma Oranı SR
A	$M_w \geq 7.00$	$SR \geq 5.00$
B	$6.5 \leq M_w < 7.00$	$2 \leq SR < 5$
C	$M_w < 6.5$	$SR < 2$

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, dilimli dengeli konsol yöntemine göre tasarlanmış bir köprünün, tasarımında yapım aşamalarının dikkate alınmasının köprünün sürekli sistem olarak tasarımı ile ortaya çıkan kesit tesirleri ile mukayesesi yapılmıştır. Ayrıca sürekli köprü sistemin deprem analizi de gerçekleştirilmiştir. Bu analiz sırasında depremler uzak ve yakın fay etkisini inceleyecek şekilde seçilmiştir. Bu amaca yönelik olarak 2 ayaklı 3 açıklıklı toplam 345 m uzunluğunda bir dengeli konsol tasarlanmış ve analizler bu köprü üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Dengeli konsol köprü tasarımı için öncelikle bir güzergah seçilmiştir. Seçilen güzergaha göre tabliye, köprü ayağı ve temel tasarımları yapılmıştır. Bu işlemler yapıldıktan sonra ise kesme kuvveti, normal kuvvet ve eğilme momenti diyagramları çizilmiştir. Bu elde edilen sonuçlar hem yapım aşamasına göre hem de köprü servis durumuna göre yapılmıştır. Elde edilen eğilme momenti diyagramlarına göre halat hesabı yapılmıştır. Halat hesabı yapılırken tabliye kesitleri için gerilme tahkikleri yapıp kesit kontrolü yapılmıştır. Köprüler gibi önemli mühendislik yapılarında yakın ve uzak fay etkisinde deprem analizi gerçekleştirilip köprünün dinamik analizi sonucunda oluşan yerdeğiştirmeler ve kesit etkileri belirlenip birbiriyle mukayesesi gerçekleştirilmiştir. Son olarak yapımı aynı güzergahta sona ermekte olan prekast kirişli köprü modeli için karşılıklı maliyet araştırması yapılmıştır.

2.1. Tasarlanan Köprü Modelinin Yeri

Dengeli konsol köprü modeli Trabzon ili Ortahisar ilçesinde 2018 yılında yapımına başlanıp halen yapımı süren Trabzon Şehir Geçişi Devlet Yolu (Kanuni Bulvarı ile Akyazı ve Sahil Yolları) Km:0+000-19+294. 73 ve Km 0+000-4+435 (Dokap) İkmal işleri kapsamında yapılan Karşıyaka Viyadüğü'nün yerine göre tasarlanmıştır. Bu kapsamda ilgili viyadük sahasındaki temel zeminleri durumunun anlaşılması amacıyla 17 adet sondaj çalışması yürütülmüştür. Ayrıca daha önce işin ihaleye hazır hale getirilmesi amacıyla Alter-Eryol Ortak Girişimi tarafından yapılan sondajlardan 4 adedinden faydalanılmıştır. Bu rapor ile sondajlardan elde edilen jeolojik – jeoteknik veriler doğrultusunda viyadük

temellerinin tasarımı yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında maliyet karşılaştırması yapılacak olan ve yapımı sürmekte olan prekast kirişli köprünün projesi Deha Proje tarafından yapıp, kontrollük hizmetlerini Karayolları 10. Bölge Müdürlüğü ile Emay Uluslararası Müh. ve Müh. A. Ş. yetkilileri tarafından yapılmaktadır.

Dengeli konsol köprü modeli 2 ayaklı olarak tasarlanmıştır. Dengeli konsol köprü modelinin toplam uzunluğu 345 metredir.

2.1.1. Tasarım Aşaması

Tasarlanan köprü modeli A B kolu olacak şekilde ayrı ayrı 2 adet yoldan oluşmaktadır. Modelin toplam boyu 345 metre uzunluğundadır. Köprü tabliye genişliği ise 18,5 metredir. Tabliye dilimleri köprü ayağı tarafından ilk üç adeti 3 metre, sonraki 3 adeti 3,5 metre, 2 adeti 4 metre ve 10 adeti 5 metre uzunluğundadır. Bunlar orta ayak kolonun bir tarafına ait verilerdir. Köprü ayağının sağ ve sol tarafı düşünülünce dilim sayısı iki katına ikinci köprü ayağını hesaba katarsak dört katına ve her iki şeridi hesaba katarsak bu sekiz katına çıkmaktadır. Yani dengeli konsol köprüde toplamda $18 \times 8 = 144$ adet dilim bulunmaktadır. Ayrıca köprü ayaklarının tepesinde kafa dilimi bulunmaktadır. Bunların toplam genişliği ise 8 metredir. İki adet köprü ayağının tabliyelerinin birleşim noktasında 1 adet dilim daha vardır. Buna kapatma dilimi denilmektedir. Bu da 2 metre uzunluğundadır. Modelin köprü ayağı yükseklikleri ise 45 ve 53 metre uzunluğundadır. Bu yükseklikler köprünün arazi koşullarına ve zemin özelliklerine bağlı olarak belirlenmiştir.

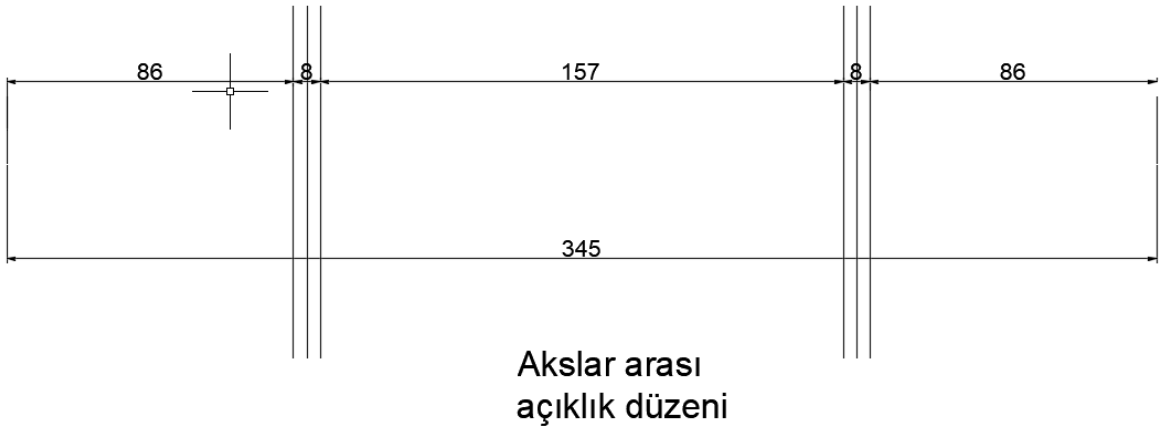


Şekil 2.1. Tasarım köprüsü güzergahı



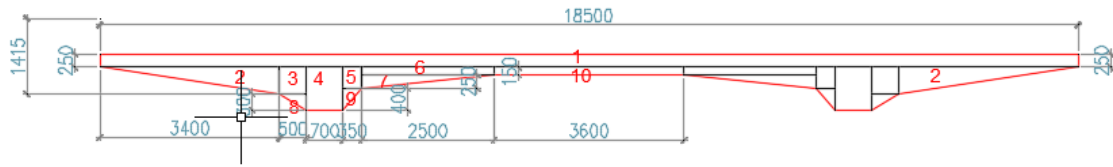
Şekil 2.2. Akslar arası açıklık düzeni

Dengeli konsol köprü modelinin tabliye kesit özellikleri boyunca 90 m, 165 m, 90 m olarak devam etmektedir. Modelin giriş ve çıkış kotları 3+777. 50 ve 4+119. 25'dir. Mevcut hali ile Türk Deprem yönetmeliğinde köprü ile tasarım parametreleri olmadığı için Karayolları Kurumu AASHTO LRFD 2012 yönetmeliği kullanılmaktadır. Köprü tasarımı bu yönetmeliğe göre yapılmıştır. Köprünün modellenmesinde Setra kurumun 2007 yılında yayınlamış olduğu tasarım parametreleri yine boyutlandırma aşamasında kullanılan bir diğer yönetmeliktir.



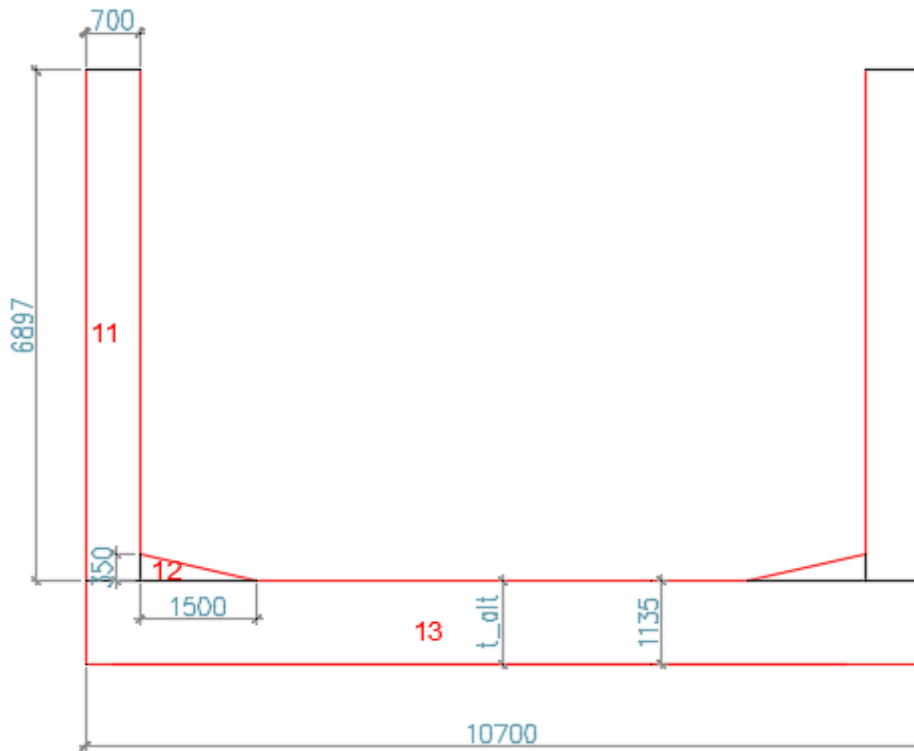
Şekil 2.3. Detaylı akslar arası açıklık düzeni

Tasarlanan dengeli konsol köprü modeli 90 m, 165 m ,90 m gitmesine rağmen köprü ayağının başında bulunan kafa diliminden dolayı tabliye uzunluk kesit ölçüleri 86 m,8 m,157 m,8 m,86 m olarak başlayıp bitmektedir. Şekil 2.4'te tabliye kesit özellikleri görülmektedir.



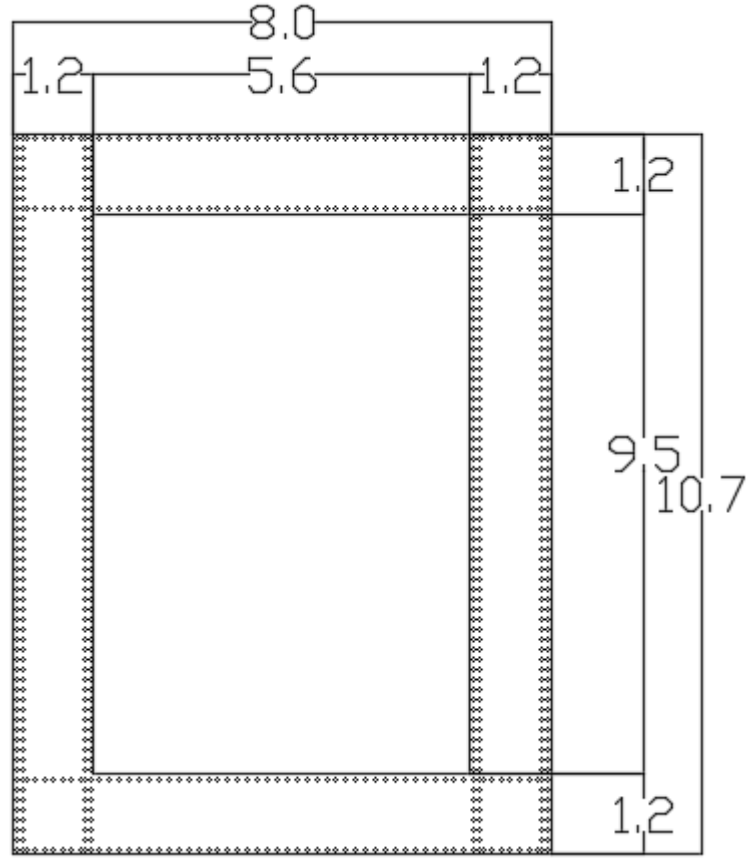
Şekil 2.6. Üst kısım detayları

Şekil 2. 7’de görülen 11, 12 ve 13 numaralı parçalar değişkenlik göstermektedir. Bu kısımlar tabliyenin değişken olan kısımlarını oluşturmaktadır. Bu kısımların ölçüleri köprü ayaklarından açıklık ortasına doğru küçülmektedir. Dengeli konsol köprü modeli 9,5 metreden başlayan tabliye kesit yüksekliği tabliye ortasında 4 metreye kadar azalmaktadır. Belirtilen ölçüler milimetredir.



Şekil 2.7. Alt kısım detayları

Dengeli konsol köprülerin ayaklarında genellikle ortası boş bir formda tasarımlar yapılmaktadır. Köprü ayakları 8 metreye 10,7 metre olacak şekilde tasarlanmıştır. Ortası boş olacak şekilde ve perdeleri 1, 2 metre olacak şekilde tasarlanmıştır.

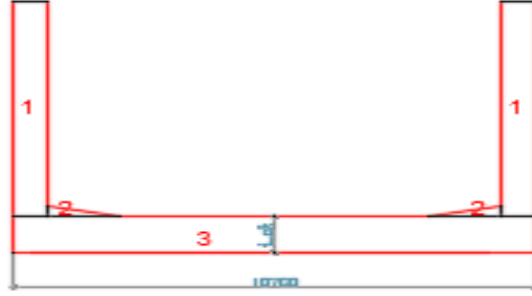


Şekil 2.8. Köprü ayağı kesit planı

Modelde Şekil 2. 9’da belirlilen üst başlık sabittir ve bütün kesitlerde aynıdır. Alt başlık ise tüm kesitlerde değişkenlik göstermektedir. Dengeli konsolun kesitinin farklı olduğu yerde burasıdır.



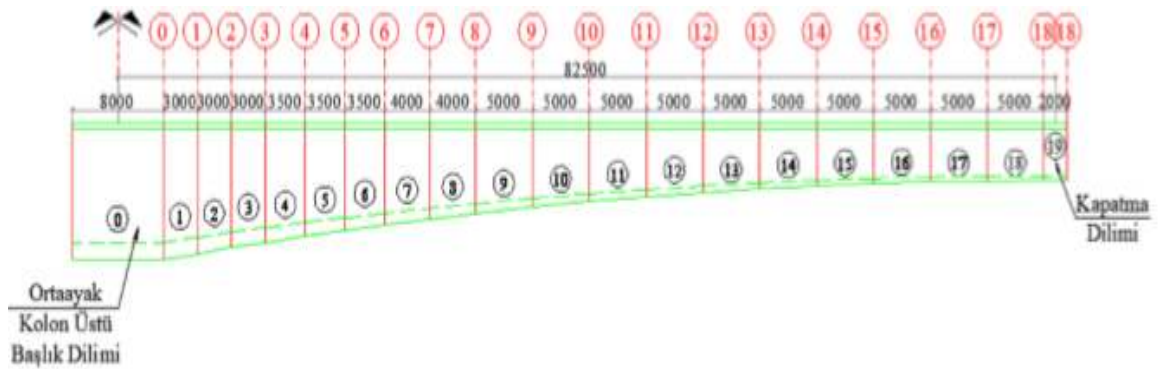
Üst başlık



Alt başlık

Şekil 2.9. Tabliye kesitinin üst başlık ve alt başlık

Şekil 2. 10’da görüleceği üzere üst tarafında üst halat alt tarafında ise alt halatı bulunmaktadır. Her dilimde bu halatlar karşılıklı olarak bağlanmaktadır. Yine burada görüleceği üzere başlık üstü dilimi ile başlayıp 18. dilimde imalat sona ermektedir. Karşılıklı iki ayaküstünde tabliye bittikten sonra arada 2 m uzunluğunda bir boşluk kalmaktadır. Bu en son yapılp bitirilmektedir. Tablo 2. 1’de görülen kesit yükseklikleri A0 diliminden başlayıp A18 dilimine kadar lineer azalma gösterecek şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 2.10. Köprü üst yapısına ait dilim düzeni

Tablo 2.1’de verilen hesaplardan üst başlık alanı Şekil 2. 6’da görüleceği üzere verilen ölçülerden hesaplanmıştır. Guse, alt döşeme alanları ise Şekil 2. 7’de verilen kesit ölçülerinden hesaplanmıştır. Üst başlık yüksekliği tabliye kesiti boyunca değişkenlik göstermemektedir. Alt tabliye kalınlığı ise A0 diliminden başlayıp A18 dilimine doğru linner olarak azalım göstermektedir.

Tablo 2.1. Dilim kesit özellikleri

Dilimler	Kesitler	Toplam Yükseklik	Üst başlık yüksekliği	Alt tabliye kalınlığı
	A0	9,500	1,05	1,200
1	A1	9,082	1,05	1,135
2	A2	8,681	1,05	1,073
3	A3	8,297	1,05	1,014
4	A4	7,859	1,05	0,948
5	A5	7,463	1,05	0,885
6	A6	7,080	1,05	0,826
7	A7	6,670	1,05	0,763
8	A8	6,289	1,05	0,704
9	A9	5,854	1,05	0,637
10	A10	5,465	1,05	0,576
11	A11	5,122	1,05	0,523
12	A12	4,824	1,05	0,477
13	A13	4,572	1,05	0,438
14	A14	4,366	1,05	0,407
15	A15	4,206	1,05	0,382
16	A16	4,092	1,05	0,364
17	A17	4,023	1,05	0,354
18	A18	4,000	1,05	0,350

Tablo 2.2’de gösterilen alanlar bulunurken kesitin (guse , yan perde vb.) en ve boy ölçüleri çarpılarak elde edilmiştir.

Tablo 2.2. Dilimlerin alanı

Dilimler	Yan Perde Alanları	Guse Alanları (m ²)	Alt Döşeme Alanı(m ²)	Üst başlık alanı (m ²)	Toplam alan (m ²)
Başlık Dilimi	10,15	0,525	12,84	10,43	33,95
1	9,656	0,525	12,145	10,43	32,76
2	9,181	0,525	11,481	10,43	31,62
3	8,726	0,525	10,85	10,43	30,53
4	8,205	0,525	10,144	10,43	29,3
5	7,739	0,525	9,47	10,43	28,16
6	7,286	0,525	8,838	10,43	27,08
7	6,8	0,525	8,164	10,43	25,92
8	6,349	0,525	7,533	10,43	24,84
9	5,834	0,525	6,816	10,43	23,6
10	5,375	0,525	6,163	10,43	22,49
11	4,969	0,525	5,596	10,43	21,52
12	4,616	0,525	5,104	10,43	20,67
13	4,318	0,525	4,687	10,43	19,96
14	4,073	0,525	4,355	10,43	19,38
15	3,884	0,525	4,087	10,43	18,93
16	3,749	0,525	3,895	10,43	18,6
17	3,667	0,525	3,788	10,43	18,41
18	3,64	0,525	3,745	10,43	18,34

Tablo 2. 3’de verilen ortalama alan kesitin başlangıç ve bitiş noktalarından dolayı ortaya çıkan alandır. Betonun birim hacim ağırlığı hesaplardan 25 kN/m^3 olarak hesaba katılmıştır. Her dilimin kendi içinde kesit özellikleri değerlendirilerek ağırlıkları, hacimleri, alanları vb. kesit özelliklerden kaynaklı parametreleri hesaplanmıştır. Bu hesaplar yapılırken tabiki bir dilimin başlangıcı ile bitişi arasında farklılık varyasyonlarından kaynaklı meydana gelmektedir. Bunun için ortalama alan bulunmuş buna göre diğer hesaplar yapılmıştır.

Tablo 2.3. Dilim ağırlıkları vb. özellikleri

Dilimler	Ortalama alan(m^2)	Dilim boyu (m)	Hacim(m^3)	Beton Birim Ağırlığı: 25 kN/m^3	Dilim ağırlığı (kN)	Ağırlık merkezinin dilimin başlangıç kesitine göre yeri(m)
1	33,35	3	100,05	25	2501,26	1,49
2	32,19	3	96,56	25	2413,97	1,49
3	31,07	3	93,22	25	2330,56	1,49
4	29,92	3,5	104,71	25	2617,78	1,74
5	28,73	3,5	100,57	25	2514,21	1,74
6	27,62	3,5	96,67	25	2416,86	1,74
7	26,5	4	106	25	2649,89	1,99
8	25,38	4	101,51	25	2537,79	1,99
9	24,22	5	121,1	25	3027,59	2,48
10	23,05	5	115,24	25	2881,09	2,48
11	22,01	5	110,03	25	2750,78	2,48
12	21,1	5	105,49	25	2637,15	2,48
13	20,32	5	101,58	25	2539,62	2,49
14	19,67	5	98,35	25	2458,86	2,49
15	19,15	5	95,77	25	2394,28	2,49
16	18,76	5	93,81	25	2345,31	2,49
17	18,5	5	92,52	25	2313,03	2,5
18	18,37	5	91,87	25	2296,84	2,5
TOPLAM					45626,9	

Tablo 2.3’de gösterilen ortalama alanlar kesitin başlangıç ve bitiş alanlarından oluşturulmuştur. 1. Dilim kesit ortalama alanı bulunurken başlangıç $33,95 \text{ m}^2$ ve bitiş $32,76 \text{ m}^2$ dir. Bunların ortalaması olarak $33,35 \text{ m}^2$ lik bir ortalama kesit elde edilmiştir. Dilimin boyu ile çarpılarak dilim hacmi $100,05 \text{ m}^3$ olarak elde edilmiştir. Betonun birim hacim

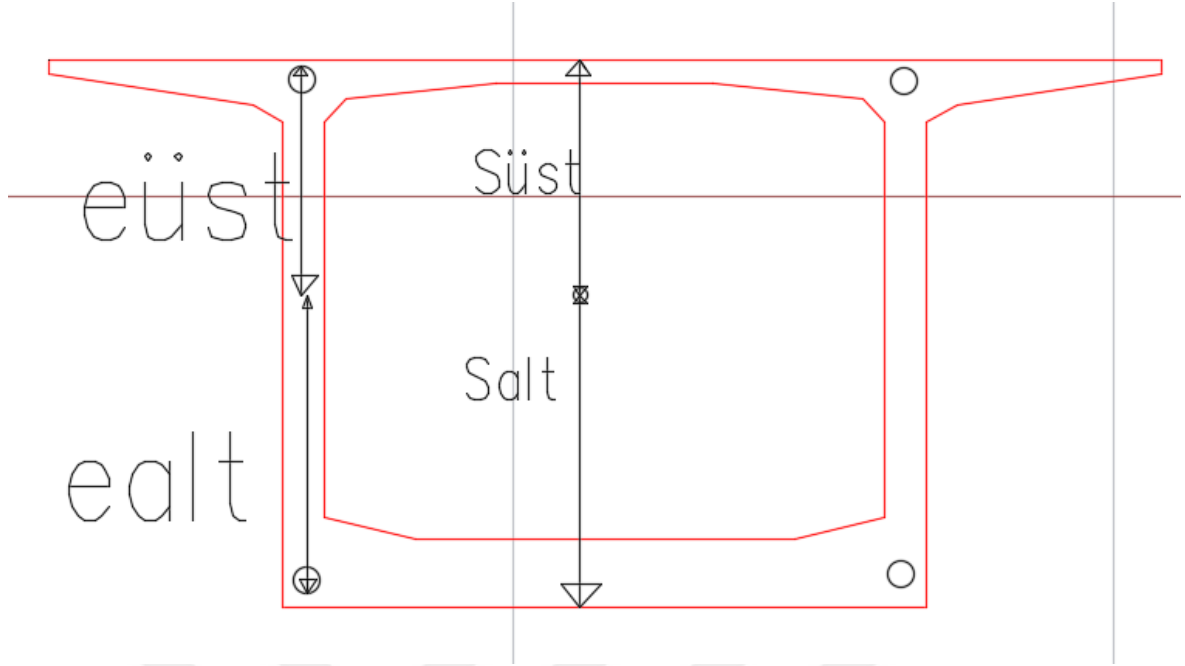
ağırlığı ile çarpılarak dilim ağırlığı bulunmuştur. Tablo 2.4’de dilim ağırlık ve yayılı yük hesabı verilmektedir.

Tablo 2.4. Dilim ağırlık ve yayılı yük hesabı

Dilimler	Kesit Alanları	Dilim uzunluk	Hacim	Beton	Ağırlık	Yayılı yük değeri kN/m
0	33,95	8	271,56	25	6789,00	848,63
1	32,76	3	100,05	25	2501,26	818,88
2	31,62	3	96,56	25	2413,97	790,43
3	30,53	3	93,22	25	2330,56	763,28
4	29,30	3,5	104,71	25	2617,78	732,60
5	28,16	3,5	100,57	25	2514,21	704,09
6	27,08	3,5	96,67	25	2416,86	676,97
7	25,92	4	106,00	25	2649,89	647,97
8	24,84	4	101,51	25	2537,79	620,92
9	23,60	5	121,10	25	3027,59	590,12
10	22,49	5	115,24	25	2881,09	562,32
11	21,52	5	110,03	25	2750,78	537,99
12	20,67	5	105,49	25	2637,15	516,87
13	19,96	5	101,58	25	2539,62	498,98
14	19,38	5	98,35	25	2458,86	484,56
15	18,93	5	95,77	25	2394,28	473,15
16	18,60	5	93,81	25	2345,31	464,98
17	18,41	5	92,52	25	2313,03	460,24
18	18,34	5	91,87	25	2296,84	458,50

Toplam uzunluk	77,5	m
Gerçek Toplam ağırlık	45626,87	kN
Yayılı yükten toplam ağırlık	50651,09375	kN
Azaltma katsayısı	0,90	

Şekil 2. 11’den görüleceği üzere $S_{üst}$ ve S_{alt} değerleri tarafsız eksenden en son beton lifine kadar olan mesafelere denmektedir. e_{alt} ve $e_{üst}$ ise paspayı düşüldükten sonra arada kalan mesafeye denmektedir. Paspayı 20 cm’dir.



Şekil 2.11. Eğilme momenti hesabı için kesit özellikleri

Tablo 2. 5’de görüleceği üzere atalet momenti ve mesafeler hesaplanmıştır.

Tablo 2.5. Tabliye kesit özellikleri

Dilim No	Kesit Yükseklikleri(m)	Alt Tabliye Kalınlığı (m)	Kesit Alanı(m ²)	S _{alt}	S _{üst}	Atalet Momenti (m ⁴)	e _{alt}	e _{üst}
A0	9,500	1,200	33,95	4,50	5,00	473,27	4,30	4,80
A1	9,082	1,135	32,76	4,36	4,72	419,27	4,16	4,52
A2	8,681	1,073	31,62	4,22	4,46	371,17	4,02	4,26
A3	8,297	1,014	30,53	4,09	4,20	328,41	3,89	4,00
A4	7,859	0,948	29,30	3,94	3,92	283,54	3,74	3,72
A5	7,463	0,885	28,16	3,80	3,66	246,08	3,60	3,46
A6	7,080	0,826	27,08	3,67	3,41	212,97	3,47	3,21
A7	6,670	0,763	25,92	3,52	3,15	180,65	3,32	2,95
A8	6,289	0,704	24,84	3,38	2,91	153,40	3,18	2,71
A9	5,854	0,637	23,60	3,21	2,64	125,49	3,01	2,44
A10	5,465	0,576	22,49	3,06	2,40	103,24	2,86	2,20
A11	5,122	0,523	21,52	2,92	2,20	85,76	2,72	2,00
A12	4,824	0,477	20,67	2,80	2,02	72,11	2,60	1,82
A13	4,572	0,438	19,96	2,70	1,87	61,64	2,50	1,67
A14	4,366	0,407	19,38	2,61	1,76	53,83	2,41	1,56
A15	4,206	0,382	18,93	2,54	1,67	48,16	2,34	1,47
A16	4,092	0,364	18,60	2,49	1,60	44,34	2,29	1,40
A17	4,023	0,354	18,41	2,46	1,56	42,15	2,26	1,36
A18	4,000	0,350	18,34	2,45	1,55	41,41	2,25	1,35

Tablo 2. 6’da belirtilen eğilme momenti kolları Şekil 1. 41’de belirtilen hesap akışı ile hesaplanmıştır. Bu işlem tüm kesitlerin için hem kendi kesiti içindeki konumu ve başlangıç noktasına göre bulunmuştur.

Tablo 2. 7’de kesitin kendi ağırlığından kaynaklı eğilme momentleri hesap edilmiştir. Bu eğilme momentleri hesap edilirken dilimin ağırlığı ile eğilme momenti kolu çarpılarak elde edilmiştir.

Tablo 2. 8’de kalıp arabasından kaynaklı eğilme momentleri hesaplanmıştır. Bu eğilme momentler için kalıp arabası 800 kN alınmıştır.

Tablo 2. 9’da imalat yüklerinden kaynaklı eğilme momentleri hesaplanmıştır. Bu eğilme momentleri hesap edilirken imalat yayılı yükü yönetmelikte belirtildiği gibi $0,5\text{kN/m}^2$ olarak alınmış ve momentler hesaplanmıştır.

Tablo 2. 6. Kesitlerde dilim ağırlığından dolayı oluşan eğilme momenti kolları kNm (yapım aşaması)

Dilim No	Ağırlık(kN)	0 kesit	1 kesit	2 kesit	3 kesit	4 kesit	5 kesit	6 kesit	7 kesit	8 kesit	9 kesit	10 kesit	11 kesit	12 kesit	13 kesit	14 kesit	15 kesit	16 kesit	17 kesit	18 kesit
0	2501,26	1,491	0																	
1	2413,97	4,491	1,491	0																
2	2330,56	7,491	4,491	1,491	0															
3	2617,78	10,738	7,738	4,738	1,738	0														
4	2514,21	14,238	11,238	8,238	5,238	1,738	0													
5	2416,86	17,739	14,739	11,739	8,739	5,239	1,739	0												
6	2649,89	21,485	18,485	15,485	12,485	8,985	5,485	1,985	0											
7	2537,79	25,486	22,486	19,486	16,486	12,986	9,486	5,986	1,986	0										
8	3027,59	29,979	26,979	23,979	20,979	17,479	13,979	10,479	6,479	2,479	0									
9	2881,09	34,980	31,980	28,980	25,980	22,480	18,980	15,480	11,480	7,480	2,480	0								
10	2750,78	39,982	36,982	33,982	30,982	27,482	23,982	20,482	16,482	12,482	7,482	2,482	0							
11	2637,15	44,983	41,983	38,983	35,983	32,483	28,983	25,483	21,483	17,483	12,483	7,483	2,483	0						
12	2539,62	49,985	46,985	43,985	40,985	37,485	33,985	30,485	26,485	22,485	17,485	12,485	7,485	2,485	0					
13	2458,86	54,988	51,988	48,988	45,988	42,488	38,988	35,488	31,488	27,488	22,488	17,488	12,488	7,488	2,488	0				
14	2394,28	59,990	56,990	53,990	50,990	47,490	43,990	40,490	36,490	32,490	27,490	22,490	17,490	12,490	7,490	2,490	0			
15	2345,31	64,993	61,993	58,993	55,993	52,493	48,993	45,493	41,493	37,493	32,493	27,493	22,493	17,493	12,493	7,493	2,493	0		
16	2313,03	69,996	66,996	63,996	60,996	57,496	53,996	50,496	46,496	42,496	37,496	32,496	27,496	22,496	17,496	12,496	7,496	2,496	0	
17	2296,84	74,998	71,998	68,998	65,998	62,498	58,998	55,498	51,498	47,498	42,498	37,498	32,498	27,498	22,498	17,498	12,498	7,498	2,498	0,00
18	847,00	78,472	75,472	72,472	69,472	65,972	62,472	58,972	54,972	50,972	45,972	40,972	35,972	30,972	25,972	20,972	15,972	10,972	0,972	0,00

Tablo 2.7. Kesitlerde dilim ağırlığından dolayı oluşan her bir adım sonunda oluşan eğilme momentleri kNm

Dilim	0 kesit	1 kesit	2 kesit	3 kesit	4 kesit	5 kesit	6 kesit	7 kesit	8 kesit	9 kesit	10 kesit	11 kesit	12 kesit	13 kesit	14 kesit	15 kesit	16 kesit	17 kesit	18 kesit
1	3729,6	0,0																	
2	14571,1	10841,5	0																
3	32030,0	28300,4	17458,8	0															
4	60139,8	56410,2	45568,7	28109,8	0														
5	95938,2	92208,6	81367,1	63908,3	35798,4	0													
6	138809,8	135080,2	124238,7	106779,8	78670,0	42871,6	0												
7	195743,6	192014,1	181172,5	163713,7	135603,8	99805,4	56933,9	0											
8	260421,1	256691,5	245850,0	228391,1	200281,3	164482,9	121611,3	64677,4	0										
9	351184,7	347455,2	336613,6	319154,8	291044,9	255246,5	212375,0	155441,1	90763,6	0									
10	451965,1	448235,5	437394,0	419935,1	391825,3	356026,9	313155,3	256221,5	191544,0	100780,4	0								
11	561945,7	558216,1	547374,5	529915,7	501805,9	466007,5	423135,9	366202,0	301524,6	210760,9	109980,6	0							
12	680573,4	676843,8	666002,3	648543,4	620433,6	584635,2	541763,6	484829,8	420152,3	329388,7	228608,3	109980,6	0						
13	807517,1	803787,5	792946,0	775487,1	747377,3	711578,9	668707,3	611773,4	547096,0	456332,3	355552,0	245571,4	118627,7	0					
14	942724,1	938994,6	928153,0	910694,2	882584,3	846785,9	803914,4	746980,5	682303,0	591539,4	490759,0	380778,5	262150,7	126943,7	0				
15	1086357,2	1082627,7	1071786,1	1054327,3	1026217,4	990419,0	947547,5	890613,6	825936,1	735172,5	634392,1	524411,6	405783,8	27840,2	135207,1	0			
16	1238785,5	1235055,9	1224214,4	1206755,6	1178645,7	1142847,3	1099975,7	1042041,9	978364,4	887600,8	786820,4	676839,8	558212,1	431268,4	296061,4	145633,1	0		
17	1400687,4	1396957,8	1386116,3	1368657,4	1340547,6	1304749,2	1261877,6	1204943,7	1140266,3	1049502,7	948722,3	838741,7	720114,0	593170,3	457963,3	314330,2	152428,3	0	
18	1572946,6	1569217,0	1558375,5	1540916,6	1512806,8	1477008,4	1434136,8	1377202,9	1312525,5	1221761,9	1120981,5	1011000,9	892373,2	765429,5	630222,5	486589,4	334161,1	161901,9	0,0

Tablo 2.8. Kesitlerde kalıp arabasından dolayı meydana gelen eğilme momentleri(kNm)

DİLİM NO	0 kesit	1 kesit	2 kesit	3 kesit	4 kesit	5 kesit	6 kesit	7 kesit	8 kesit	9 kesit	10 kesit	11 kesit	12 kesit	13 kesit	14 kesit	15 kesit	16 kesit	17 kesit	18 kesit
1	2640	0																	
2	13445080	2640	0																
3	12668040	12668040	2640	0															
4	11891000	11891000	11891000	3080	0														
5	11113520	11113520	11113520	11113520	3080	0													
6	10336040	10336040	10336040	10336040	10336040	3080	0												
7	9558560	9558560	9558560	9558560	9558560	3520	0												
8	8780640	8780640	8780640	8780640	8780640	8780640	3520	0											
9	8002720	8002720	8002720	8002720	8002720	8002720	8002720	8002720	4400	0									
10	7223920	7223920	7223920	7223920	7223920	7223920	7223920	7223920	7223920	4400	0								
11	6445120	6445120	6445120	6445120	6445120	6445120	6445120	6445120	6445120	6445120	4400	0							
12	5666320	5666320	5666320	5666320	5666320	5666320	5666320	5666320	5666320	5666320	5666320	4400	0						
13	4887520	4887520	4887520	4887520	4887520	4887520	4887520	4887520	4887520	4887520	4887520	4887520	4400	0					
14	4108720	4108720	4108720	4108720	4108720	4108720	4108720	4108720	4108720	4108720	4108720	4108720	4108720	4400	0				
15	3329920	3329920	3329920	3329920	3329920	3329920	3329920	3329920	3329920	3329920	3329920	3329920	3329920	3329920	4400	0			
16	2551120	2551120	2551120	2551120	2551120	2551120	2551120	2551120	2551120	2551120	2551120	2551120	2551120	2551120	2551120	4400	0		
17	1772320	1772320	1772320	1772320	1772320	1772320	1772320	1772320	1772320	1772320	1772320	1772320	1772320	1772320	1772320	1772320	4400	0	
18	993520	993520	993520	993520	993520	993520	993520	993520	993520	993520	993520	993520	993520	993520	993520	993520	993520	4400	0

Tablo 2.9. Kesitlerde imalat yüklerinden dolayı meydana gelen eğilme momentleri(kNm)

DİLMNO	0 kesit	1 kesit	2 kesit	3 kesit	4 kesit	5 kesit	6 kesit	7 kesit	8 kesit	9 kesit	10 kesit	11 kesit	12 kesit	13 kesit	14 kesit	15 kesit	16 kesit	17 kesit	18 kesit
1	41,63	0,00																	
2	248399,79	41,63	0,00																
3	222833,66	222833,66	41,63	0,00															
4	198655,60	198655,60	198655,60	56,66	0,00														
5	174964,91	174964,91	174964,91	174964,91	56,66	0,00													
6	152777,91	152777,91	152777,91	152777,91	152777,91	56,66	0,00												
7	132094,63	132094,63	132094,63	132094,63	132094,63	74,00	0,00	0,00											
8	112193,54	112193,54	112193,54	112193,54	112193,54	112193,54	74,00	0,00	0,00										
9	93916,41	93916,41	93916,41	93916,41	93916,41	93916,41	93916,41	115,63	0,00	0,00									
10	76072,29	76072,29	76072,29	76072,29	76072,29	76072,29	76072,29	76072,29	115,63	0,00	0,00								
11	60106,50	60106,50	60106,50	60106,50	60106,50	60106,50	60106,50	60106,50	60106,50	60106,50	115,63	0,00							
12	46019,04	46019,04	46019,04	46019,04	46019,04	46019,04	46019,04	46019,04	46019,04	46019,04	46019,04	115,63	0,00						
13	33809,91	33809,91	33809,91	33809,91	33809,91	33809,91	33809,91	33809,91	33809,91	33809,91	33809,91	115,63	0,00	0,00					
14	23479,10	23479,10	23479,10	23479,10	23479,10	23479,10	23479,10	23479,10	23479,10	23479,10	23479,10	23479,10	23479,10	115,63	0,00				
15	15026,63	15026,63	15026,63	15026,63	15026,63	15026,63	15026,63	15026,63	15026,63	15026,63	15026,63	15026,63	15026,63	15026,63	115,63	0,00			
16	8452,48	8452,48	8452,48	8452,48	8452,48	8452,48	8452,48	8452,48	8452,48	8452,48	8452,48	8452,48	8452,48	8452,48	8452,48	115,63	0,00		
17	3756,66	3756,66	3756,66	3756,66	3756,66	3756,66	3756,66	3756,66	3756,66	3756,66	3756,66	3756,66	3756,66	3756,66	3756,66	3756,66	115,63	0,00	
18	939,16	939,16	939,16	939,16	939,16	939,16	939,16	939,16	939,16	939,16	939,16	939,16	939,16	939,16	939,16	939,16	939,16	115,63	0,00

2.1.2. Yüklerin Tanımı ve Yük Birleşimleri

Köprü yapım aşamasında dengeli konsol durumunda iken mesnet üstü negatif eğilme momentlerini karşılamak amacıyla kesit üst life yakın bölgelere kablolar yerleştirilmektedir. Kablo adedini tahmin etmek için köprü analizinde kullanılan ve en kritik durumu temsil eden yük birleşimi aşağıda biçimde AASHTO LRFD göre belirtilmiştir.

$$DC+DIFF+CLL+(CE+IE) \quad (2.1)$$

DC: dilimlerin kendi ağırlığı,

DIFF: sabit yükün bir konsolda diğer konsola göre %2 oranında fazla olduğu kabul edilir.

CLL: yapım aşamasında köprü üstyapısının genişliğine bağlı olarak yapım hareketli yükü (0, 5kN/m² bir konsolda ve 0, 25kN/m² diğer konsolda)

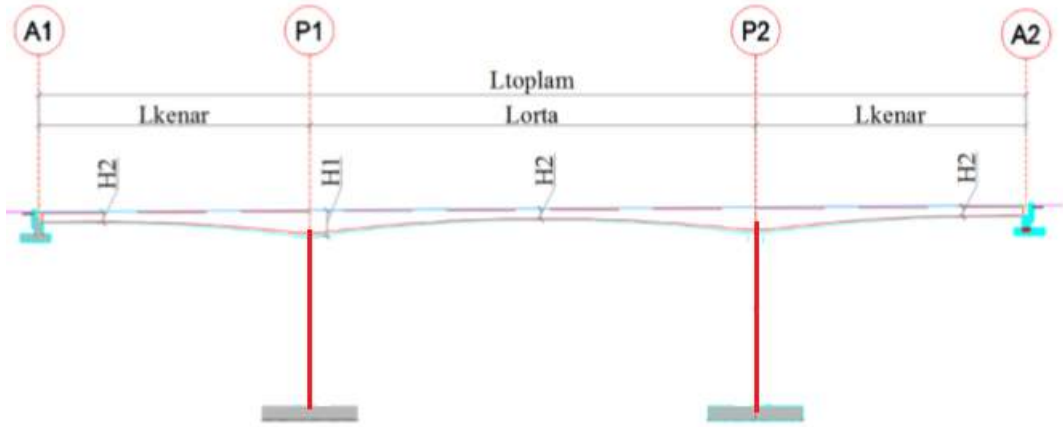
CE: gezici kalıp arabası (80-100 ton), tez kapsamında 80 ton alınmıştır.

IE: gezici kalıp arabasının çalışır durumda dinamik etkisi, ağırlığın %10 kadar alınmaktadır.

2.1.3. Kesit Ön Boyutlandırması

Kutu formuna sahip köprü üstyapı tabliyesi daha önce de belirtildiği gibi açıklık ortasından mesnetlere doğru eğrisel geometrilili bir değişim göstermektedir. Bu bölümde ön tasarım için köprü üstyapısı kesit altında parabol gibi düşünülmekte olup uygun formüllerle eğrisellik ifade edilecektir. Kesit yüksekliği H ile, köprü orta açıklığı L ile ifade edilsin. H/L oranı orta ayak köprü ayağı üstü mesnedinde α ile ve açıklık ortasında β ile gösterilsin. Bu oransal değer açıklıkların büyümesi ile değişiklik göstermekte olup tasarım pratiği yönünden ön boyutlandırma aşamasından itibaren dikkate alınması gerekir (Karaesmen E., 2015).

Tablo 1.4'den de görüleceği üzere orta açıklıklarının büyümesiyle ön boyutlandırmada kullanılan oransal değerler değişmekte olup birbirlerine oranlanmasıyla elde edilen sayısal değerler de değişmektedir. Ayrıca, açıklıklar büyüdükçe orta ayaküstü mesnet kesit yükseklikleri oransal olarak fazla değişmemekle beraber, açıklık ortası oransal değerler ciddi bir azalma göstermektedir. Ön tasarım için gerekli parametreler Tablo 1. 4'de verilmektedir.



Şekil 2.12. Köprü boy kesit görünüşü

Tablo 1. 4’de belirtilen hesap parametreleri dışında yine köprü üstyapısı ön boyutlandırması için SETRA kurumu tarafından önerilen ampirik bağıntılarda kullanılabilir:

Mesnet üzerinde,

$$L_{orta}/H_1=14+L_{orta}/45$$

Açıklık ortasında,

$$L_{orta}/H_2=19+L_{orta}/7$$

Mesnet Üst Kesit Yüksekliği

1. Yöntem (Karaesmen)

$$H_1=165/20=8,25\text{m(Karaesmen E. , 2015)}$$

2. Yöntem (Setra 2007)

$$165/H_1=14+165/45$$

$$H_1=9,34\text{m}$$

Elde edilen kesit sonuçlarına göre kesit yüksekliği mesnet bölgesinde 9,5 m olarak belirlenmiştir.

Açıklık Ortası Kesit Yüksekliği

1. Yöntem (Karaesmen,2015)

$$H_2=165/42=3,93\text{m}$$

2. Yöntem (Setra 2007)

$$165/H_2=19+165/7$$

$$H_2=3,88\text{m}$$

Açıklık bölgesinde yapılan hesaplar sonucu kesit yüksekliği 4m olarak belirlenmiştir. Hesaplamalardan görüleceği üzere ön boyutlandırması yapılan kesitler uyumlu olmaktadır.

2.2.4. Köprü Halat Hesabı

2.2.4.1. Dengeli Konsol Kesit Üstü Halat Hesabı

Kesit üstü halat hesabı yapılırken öncelikle mesnet bölgesi ve açıklık bölgesi kesit alanları hesap edilir.Konsol boyu ve kesit alanlarına dayalı parabolik yaklaşımlar sonucu eğilme momenti hesap edilir.Elde edilen eğilme momentine göre halat hesabı yapılır.

$A_o=33,95 \text{ m}^2$ Mesnet Bölgesi Tabliye Enkesit Alanı

$A_{18}=18,34 \text{ m}^2$ Açıklık Bölgesi Tabliye Enkesit Alanı,

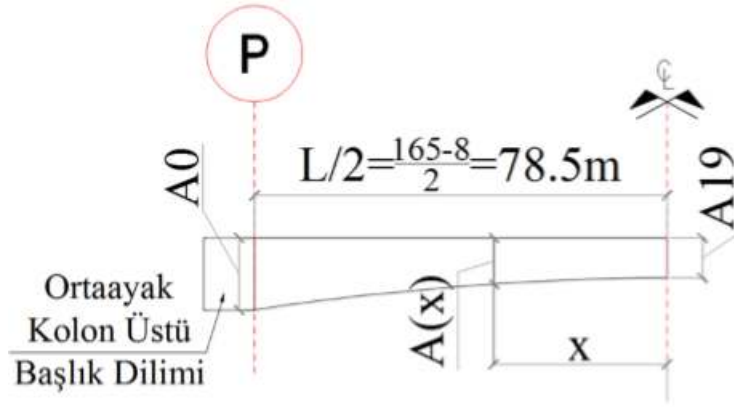
Parabolik bağıntı açıklık ortasından mesnete doğru ilerleyen x mesafesine bağlı olarak aşağıdaki gibi verilebilir

$$A(x)=A_{18}+(A_o-A_{18}).\left(\frac{x}{L_{\text{hesap}}}\right)^2 \quad \text{Enkesitlerin parabolik yaklaşımı} \quad (2.2)$$

$L_{\text{hesap}}=77,5 \text{ m}$ Köprü ayağı üstü başlık diliminden açıklık ortasına kadar mesafe:
 $(165-8)/2=78.5 \text{ m}$. Kapatma dilimi ortasına kadar mesafe 78. 5m.

$$A(x)=18,34+(33,34-18,34)x\left(\frac{x}{78,5}\right)^2$$

$$A(x)=18,34+0,0024341758x^2$$



Şekil 2.13. Köprü açıklığı boyunca enkesit alanlarının mesafeye göre değişiminin şematik gösterimi

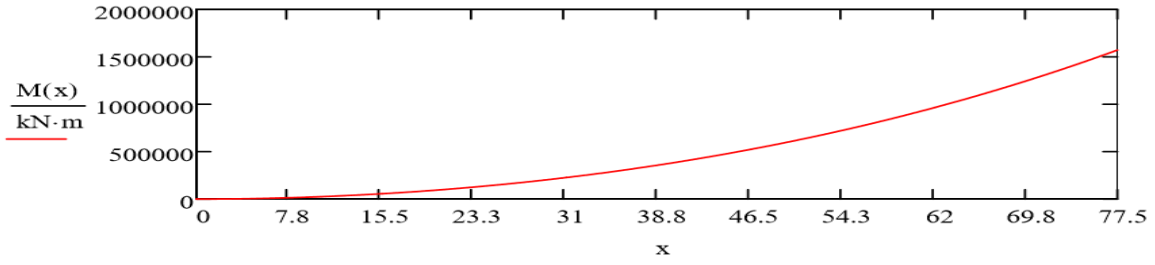
$$g(x)=A(x) \cdot 25 \frac{KN}{m^3} = 458,5 + 0,060854395x^2 \quad (2.3)$$

enkesit alanlarına bağlı olarak yayılı yük değişimi Denklem 2. 3’de olduğu gibi hesap edilmektedir.

$$T(x)=\int_0^x g(x)dx = 458,5x + 0,0202847967x^3 \text{ Kesme Kuvveti Değişim Bağlantısı} \quad (2. 4.)$$

$$M(x)=\int_0^x T(x)dx = 229,5x^2 + 0,0050711992x^4 \text{ Eğilme momenti değişim bağlantısı} \quad (2.5.)$$

(Bu negatif konsol eğilme momenti yapım aşamasında bulunan eğilme momentidir. Bu hesaba göre elde edilen eğilme momenti 1606799,1kNm’dir. Dilim ağırlığından dolayı yapılan hesaplarda elde edilen eğilme momenti ise 1572261,1 kN.m’dir. Buradan da anlaşılacağı üzere parabolik yaklaşımda güvenli bir sonuç vermektedir.



Şekil 2.14. Eğilme momenti değişimi

Yapılan çalışmalar sonucunda köprü üstyapısında herhangi bir kesitinde oluşan eğilme momenti değerini i kesitin x mesafesi değerini kullanarak elde etmek mümkün olmaktadır. Gerekli halat sayısının hesabı için köprü üstyapısı yapım aşaması halinde, diğer bir değişle dengeli konsol durumunda mesnet kesitinde meydana gelen en yüksek eğilme momenti değerine ihtiyaç duyulmaktadır. Tablo 2. 7 ile Tablo 2. 10 arasındaki tablolarda bu hesaplar tüm kesitler için adım adım hesaplanmıştır.

Dilim ağırlıklarından dolayı meydana gelen maksimum eğilme momenti:

$$M(77,5m)=1572261,1kNm$$

$$P_{kalıp arabası}=800 kN$$

En son dilim yapıldıktan sonra kapatma diliminin yapılması için kalıp arabasının en son dilim ucundaki durumundan dolayı oluşan eğilme momenti değeri:

$$M_{Kalıp Arabası}=P_{kalıp Arabası} \times 1,1 \times 77,5=68200kNm$$

En son dilim yapılana kadar inşaatla beraber ilerleyen imalat yüklerden dolayı meydana gelen eğilme momenti:

$$M_{imalat}=0,5 \frac{kN}{M^2} 18,5m. 0,5. (77,5)^2 = 27778,9 kNm$$

Halat adedinin bulunması için yapım aşamasında dikkate alınan yüklerde dolayı mesnet kesitinde meydana gelen toplam eğilme momenti:

$$M_{servis} = M_{Dilim Ağırlık} + M_{kalıp_arabası} + M_{imalat} = 1668240kNm$$

Halat adedinin hesaplanması ve seçimi:

Beton Sınıfı =C40

Beton Basınç Dayanımı $f_c=40$ Mpa

$F_{ci}=0,8f_c=32$ Mpa Argerme kuvvetinin uygulanabilmesi için betonun oluşması gereken dayanımdır.

İzin verilen çekme gerilmesi sınırı AASHTO LRFD yönetmeliği tarafından aşağıdaki şekilde belirlenecektir.

$\sigma_{em_çekme} = -0,24\sqrt{fci} = 1,358 \text{ Mpa}$ yapım aşamasında izin verilen beton çekme dayanımı

Kesit Özellikleri:

$$I_{kesit} = 473,27 \text{ m}^4, S_{üst} = 5 \text{ m}, A = 33,95 \text{ m}^2, e = S_{üst} - 0,2 \text{ m} = 4,8 \text{ m}$$

Tasarımda kullanılan halat 270K sınıfı halattır. Bu halatın kopma dayanımı 1860 Mpa'dır. Halat çapı 15,2 mm olup kesit alanı 140 mm²'dir. Bir halat 7 adet telden oluşmaktadır. 1 adet kablo ise 9, 12, 15, 19, 22, 27, 31 adet halattan oluşmaktadır. Bunun sebebi ise üreticiler tipik 9, 12, 15, 19, 22, 27, 31 halatlık yüksek dayanımlı özel çelik malzemesinden ardgerme plakaları üretmesidir.

Halat hesabı yapılırken kayıpların hesaba katılması gerekmektedir. Bunun için halat hesabı yapılırken 0,85 güvenlik katsayısı ile çarpılmaktadır. Ayrıca Argerme işleminde çekilen halat için bir çekim basıncı vardır. Buda 0,75 katsayısı ile çarpılmaktadır. Yani şöyle açıklarsak kopma dayanımı 1860 MPa ama uygulanan basınç 1395 Mpa olmaktadır.

$P_{halat} = 0,75 \times 0,85 \times 1862 \text{ MPa} \times 140 \text{ mm}^2 = 166,183 \text{ kN}$. Bir halatın güvenle taşıyacağı çekme kuvveti, kısa vadeli etkilerin hesabında kablolarda %15 kayıpların olduğu varsayımıyla;

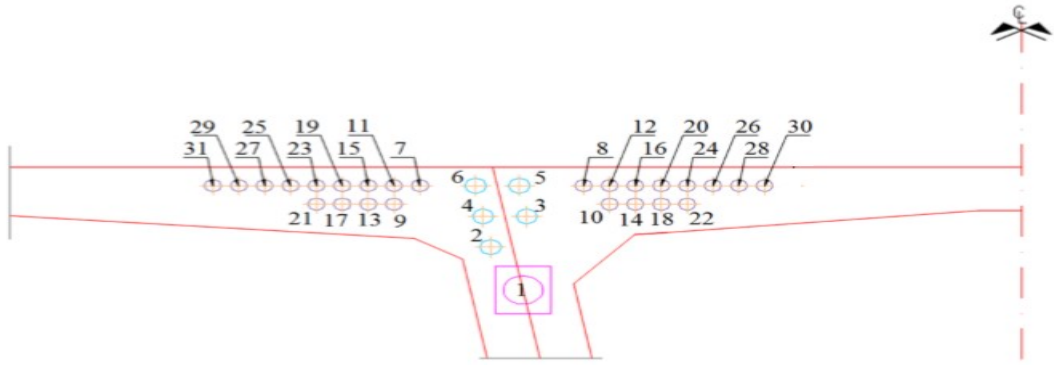
$$P_{çekme} = \frac{\frac{M_{servis}}{I_{kesit}} \times S_{üst} + \sigma_{emniyet}}{\frac{1}{A} + \frac{e}{I_{kesit}} S_{üst}} = 202915,8 \text{ kN}$$
 toplam karşılanması gereken kuvvet

Gerekli Halat Adeti

$$N_{gerekli \text{ halat}} = P_{çekme} / P_{halat} = 1221$$

Seçilen Halat Adeti

$N_{mevcut} = 31 \times 2 \times 6 + 22 \times 4 \times 12 = 1428$ İlk 6 Dilim için 31 lik sonrakiler için 22lik halat seçilmiştir.



Şekil 2.15. Mesnet dilim kesitinde ardgerme kablo kanalları yerleşimi ve numaralandırılması

Belirlenen halat miktarları kesitlere göre Tablo 2.10’da verilmiştir. Tüm kablolar başlık diliminden geçmektedir. Her dilim sonunda bu kablolar gerilip kesit tamamlanmaktadır.

Tablo2. 10. Kesit üstü geçen kablo adeti

Dilim No	kablodaki halat adedi	benzer kablo adedi	0 kesit	1 kesit	2 kesit	3 kesit	4 kesit	5 kesit	6 kesit	7 kesit	8 kesit	9 kesit	10 kesit	11 kesit	12 kesit	13 kesit	14 kesit	15 kesit	16 kesit	17 kesit	18 kesit
1 nolu dilim	31	2	62	62																	
2 nolu dilim	31	2	62	62	62																
3 nolu dilim	31	2	62	62	62	62															
4 nolu dilim	31	2	62	62	62	62	62														
5 nolu dilim	31	2	62	62	62	62	62	62													
6 nolu dilim	31	2	62	62	62	62	62	62	62												
7 nolu dilim	22	4	88	88	88	88	88	88	88	88											
8 nolu dilim	22	4	88	88	88	88	88	88	88	88	88										
9 nolu dilim	22	4	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88									
10 nolu dilim	22	4	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88								
11 nolu dilim	22	4	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88							
12 nolu dilim	22	4	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88						
13 nolu dilim	22	4	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88					
14 nolu dilim	22	4	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88				
15 nolu dilim	22	4	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88			
16 nolu dilim	22	4	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88		
17 nolu dilim	22	4	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	
18 nolu dilim	22	4	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88
Toplam halat			1428	1428	1366	1304	1242	1180	1118	1056	968	880	792	704	616	528	440	352	264	176	88

2.2.4.2. Dengeli Konsol Kesit Altı Halat Hesabı

Kesit altı halat hesabı yapılırken konsol, kaplama ve kamyon eğilme momenti hesaba katılması gerekmektedir. Bu elde edilen eğilme momenti ve kesit özellikleri sayesinde hesit altı halat hesabı yapılır.

$$M_{\text{dilim_ağırlık}} = 211371,11 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{kaplama}} = 10580 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{kamyon}} = 11224 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{servis}} = M_{\text{dilim_ağırlık}} + M_{\text{kaplama}} + M_{\text{kamyon}} = 233175,1 \text{ kNm}$$

$$\text{Betonun basınç dayanımı} = 40 \text{ Mpa}$$

$\sigma_{\text{emniyetçekme}} = -0,6\sqrt{f_c} = -3,795 \text{ MPa}$ uzun vadeli etkilerin hesabında betonun emniyetli çekme dayanımıdır.

$$I_{\text{kesit}} = 41,41 \text{ m}^4, S_{\text{alt}} = 2,45 \text{ m}, A = 18,34 \text{ m}^2, e = S_{\text{alt}} - 0,2 = 2,25 \text{ m}$$

$$P_{\text{halat}} = 0,75 \cdot 0,75 \cdot 1862 \text{ MPa} \cdot 140 \text{ mm}^2 = 146,632 \text{ kN}$$

$$\text{Not} = 1862 \text{ Mpa halatın kopma dayanımı}$$

$$P_{\text{çekme}} = \frac{\frac{M_{\text{servis}}}{I_{\text{kesit}}} \cdot x_{\text{yalt}} + \sigma_{\text{emniyet}}}{\frac{1}{A} + \frac{e}{I_{\text{kesit}}}} = 53297 \text{ kN}$$

Gerekli Halat Adeti

$$P_{\text{çekme}} / P_{\text{halat}} = 363$$

$$N_{\text{mevcut}} = 13 \times 2 \times 19 = 494$$

Açıklık ortasından itibaren (18. dilim dahil olmak üzere) toplamda 13 adet dilimde 19'luk kablo kullanılmıştır. Şekil 2.16'da kesit altı halat yerleşim planı görülmektedir.



Şekil 2.16. Kesit altı halat yerleşim planı

2.3. Dengeli Konsol Köprü Modelinde Kullanılan Yükler

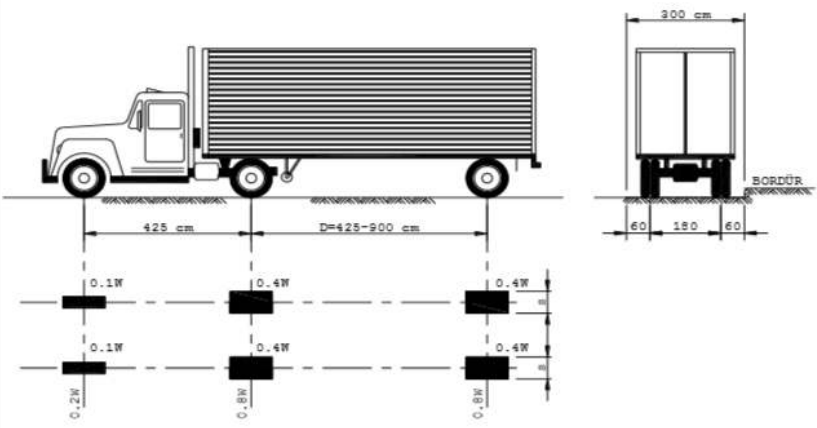
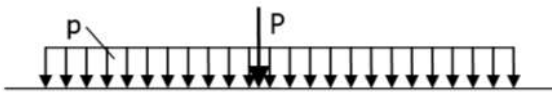
2.3.1. Sabit Yükler

Beton Birim Hacim Ağırlığı: 25 kN/m^3

Kaplama Birim Hacim Ağırlığı: 23 kN/m^3

2.3 2. Hareketli Yükler

Hareketli yük olarak Şekil 2.17’de verilen H30-S24 standart kamyon yükü ve eşdeğer şerit yükü alınmıştır.

STANDARD KAMYON YÜKÜ				
EŞDEĞER ŞERİT YÜKÜ				
YÜK SINIFI		H ₃₀ - S ₂₄	H ₂₀ - S ₁₆	H ₁₅ - S ₁₂
W (kN)		300	200	150
P (kN)	Eğilme için	135	90	67.5
	Kesme için	195	135	97.5
p (kN/m)		15	10	7.5
s (mm)		750	500	380

Şekil 2.17. Standart kamyon yükleri (Tören, 2011)

2.3.3. Titreşim (Impact) Faktörü

Nominal trafik yükleri AASHTO LRF yönetmeliğine göre aşağıda verilen katsayısı ile artırılmıştır.

$$Q=1+\frac{15}{L+37} \quad (2.6.)$$

Denklem 2. 6’da bulunan L ifadesi açıklık boyudur.

2.3.4. Fren Yüğü

Fren yüğü olarak standart kamyon yükünün 1/20’si trafik yönünde alınmıştır. (AASHTO Madde 3. 9).

2.3.5. Yaya Yüğü

Yaya hareketinin olabileceğı alanlara AASHTO Madde 3. 14. 1. 1’de belirtilen 3 kN/m² lik düzgün yayılı yaya yüğü hareketli yüklerle birlikte etkilmiştir.

2.3.6. İklim Yüğü

Beton yapılar için sıcaklık değışimi +,- 35° kabul edilmiştir. Isı genleşme katsayısı 1,08x10⁻⁵ / °C alınmıştır.

Rötre katsayısı 0, 0002 kabul edilmiştir.

2.3.7. Rüzgar Yüğü

Hareketli yük üzerindeki rüzgar yüğü 1,49 kN/m, köprünün yapısal elemanları üzerindeki rüzgar yüğü ise 2. 44 kN/m² olarak dikkate alınmıştır.

2.3.8. Yapım Yüklemleri

Yapım yüklemeleri AASHTO LRFD madde 5. 14. 2. 3. 2'e göre hesaplanmıştır.

- ☐ İmalat sırasında her iki konsol arasında %2'lik bir ağırlık farkı olması
- ☐ Yapım hareketli yükleri bir konsolda 0,48 kPa, diğerinde 0, 24 kPa
- ☐ Rüzgar yükü
- ☐ Rötire, sünme ve sıcaklık değişimi etkileri

2.4. Bölgenin Geoteknik Özellikleri

Köprü tasarımı yapılan arazide 17 adet sondaj çalışması ve bölgeye yapılacak köprünün ihaleye çıkması için Alter-Eryol Ortak Girişim firması tarafından bölgeye 4 adet sondaj çalışması yapılmıştır. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki:

Trabzon Karşıyaka Viyadüğü temel zeminleri genel olarak yüzeyden itibaren sitli killi ve killi silt zeminler ile zayıf, orta zayıf dayanımlı aglomera kayaç tabakalardan oluşmaktadır. Yer yer kilaşı ve bazalt türü kayaçlarada rastlanmaktadır.

Sondaj kuyularında sondajların bitiminde ortalama 1 ay sonra ölçülen yeraltı su seviyelerinin yüzeyden itibaren derinlikleri her bir sondaj için Tablo2. 11'de verilmektedir. Yeraltı su seviyelerinde gözlenen değişkenlikler ve derinlikler bu suların sondajlardan kalan su olabileceği ve/veya sızıntı suların varlığını işaret etmektedir. Bölgede akifer nitelikli bir yeraltı su tabakasından bahsedilemez.

Tablo 2.11. Karşıyaka viyadüğü-yeraltısuyu derinlikleri

Sondaj No	Yeraltı Su Derinliği
KVY SK-1	11,7
KVY SK-2	14,8
KVY SK-3	13,6
KVY SK-4	17,2
KVY SK-5	5,6
KVY SK-6	15,1
KVY SK-7	16,6
KVY SK-8	15,3
KVY SK-9	17,8
KVY SK-10	5
KVY SK-11	15
KVY SK-12	29
KVY SK-13	19,2
KVY SK-14	19
KVY SK-15	12,2
KVY SK-16	13,3
KVY SK-17	Su yok
KVY SK-3+740	-
KVY SK-4+030	-
KVY SK-4+060	-
KVY SK-4+120	-

Yapılan arazi ve laboratuvar çalışmalarında hareket ederek emniyetli taşıma gücü hesabı yapılmıştır.

$q_{\text{emniyet}}=1500 \text{ kN/m}^2$ olarak hesaplanmıştır.

2.5. Tasarım Spektrumları

50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyinde(DD2) ,yerel zemin sınıfı orta sıkı - sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakalarında (ZD) Trabzon ili Ortahisar İlçisi Beşirli Mahallesi Karşıyaka Mevkisindeki Enlem: 41. 00145°,Boylam 39. 7178° için sonuçlar Afad kurumundan elde edilmiştir.

S_s : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı:0,468

S_1 : 1. 0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı:0,120

PGA : En büyük yer ivmesi [g]:0,202

PGV : En büyük yer hızı (cm/sn):10,797

Tablo 2.12. Yerel zemin sınıfları(URL-1)

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		(V _s)30(m/s)	(N ₆₀)30(Darbe/30 cm)	(C _u)30(kPa)
ZA	Sağlam ,sert kayalar	>1500	-	-
ZB	Az ayrılmış,orta sağlam kayalar	760-1500	-	-
ZC	Çok sıkı kum,çakıl ve sert tabakaları veya ayrılmış,çok çatlaklı zayıf kayalar	360-760	>50	>250
ZD	Orta sıkı-sıkı kum,çakıl veya çok katı kil tabakaları	180-360	15-50	70-250
ZE	Gevşek kum ,çakıl veya yumuşak-katı kil tabakaları veya PI>20 ve w>%20 koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası içeren profiller	<180	<15	<70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1)Deprem etkisi altında ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşabilen zeminler i yüksek derecede hassas killer ,göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.) ,2)Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer , 3)Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli (PI>50) killer , 4)Çok kalın (>35m) yumuşak veya orta katı killer .			

Tablo 2.13. Yerel zemin etki katsayıları(URL-1)

Yerel Sınıfı	Zemin	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_s					
		$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1$	$S_s = 1.25$	$S_s \geq 1.50$
ZA		0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
ZB		0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
ZC		1,30	1,30	1,20	1,20	1,20	1,20
ZD		1,6	1,4	1,20	1,1	1	1
ZE		2,4	1,7	1,30	1,1	0,9	0,8
ZF		Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Yerel zemin sınıfı ZD ve $S_s=0,468$ için $F_s=1,426$ olarak elde edilmektedir.

Tablo 2.14. Etki sınıfı f_1 (URL-1)

Yerel Sınıfı	Zemin	1. 0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
		$S_s \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_s \geq 0.60$
ZA		0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
ZB		0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8
ZC		1,30	1,50	1,50	1,50	1,50	1,40
ZD		2,4	2,2	2,00	1,9	1,8	1,7
ZE		4,2	3,3	2,80	2,4	2,2	2
ZF		Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Yerel Zemin Sınıfı ZD ve $S_1=0.120$ için $F_1=2.360$ sonucu elde edilmektedir.

Buradan elde edilen sonuçlara göre tasarım spektral ivme katsayıları ;

$$S_{DS}=S_s F_s=0,468*1,426=0,667$$

$$S_{D1}=S_1 F_1=0,120*2,360=0,283 \text{ olarak elde edilmektedir.}$$

2.5.1. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’de (TBDY-2018) gözönüne alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım ivme spektrumunun ordinatları olan

yatay elastik tasarım spektral ivmeleri $S_{ae}(S)$, doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi (g) cinsinden Denk. (2. 7)'de tanımlanmıştır.

$$\begin{aligned}
 S_{ae}(T) &= \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A} \right) S_{DS} & (0 \leq T \leq T_A) \\
 S_{ae}(T) &= S_{DS} & (T_A \leq T \leq T_B) \\
 S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1}}{T} & (T_B \leq T \leq T_L) \\
 S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1} T_L}{T^2} & (T_L \leq T)
 \end{aligned} \tag{2.7}$$

Burada S_{DS} ve S_{D1} TBDY-2018'de tanımlanan tasarım spektral ivme katsayılarını, T ise doğal titreşim periyodunu göstermektedir. Yatay tasarım spektrumu köşe periyotları T_A ve T_B Denk. (2. 8) ile S_{DS} ve S_{D1} 'e bağlı olarak tanımlanır:

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad ; \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \tag{2. 8}$$

Sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu $T_L = 6$ s alınacaktır.

2.6. Maliyet Analizinde Karşılaştırma Yapılacak Trabzon Karşıyaka Viyadüğü

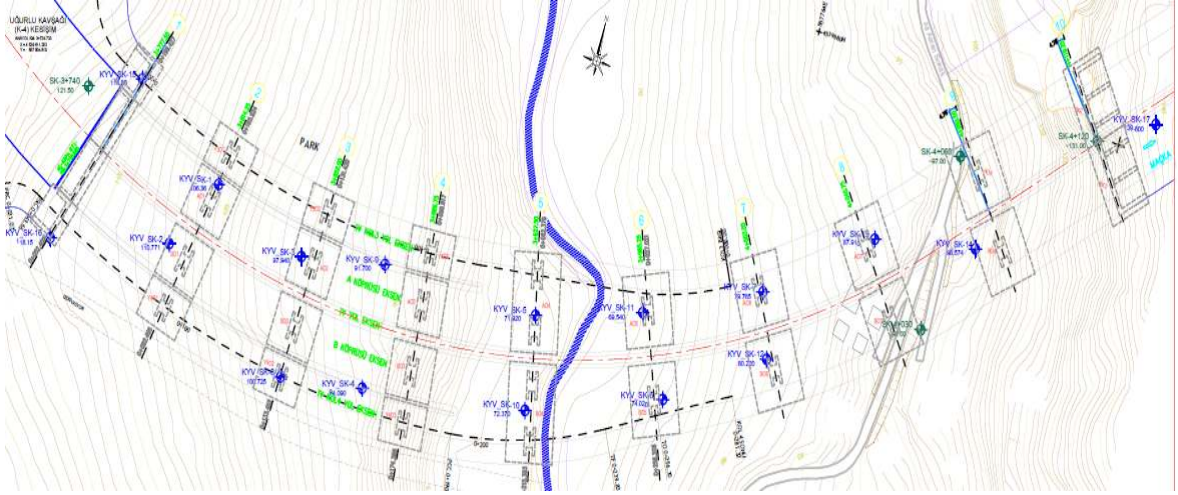
Dengeli konsol köprü modeli Trabzon Karşıyaka Viyadüğünün aplikasyonuna göre tasarlanmıştır. Bu köprü günümüzde yapımı prekast kirişli olarak sürmektedir. Bu köprü'nün 998 metre köprü ayağı, 24 adet başlık kirişi ile 24 adet temele sahiptir. En yüksek yerinde köprü ayağı yüksekliği 61 metredir. Bu yüksekliği ile Doğu Karadeniz Bölgesi'nin en yüksek viyadüğüdür.

Şekil 2. 18'de görüldüğü gibi Trabzon ili Ortahisar İlçesi Aydınlıkevler Mahallesi ile Beşirli Mahallesi arasında bulunan Karşıyaka Viyadüğü Kanuni Bulvarı Güzergahında yer

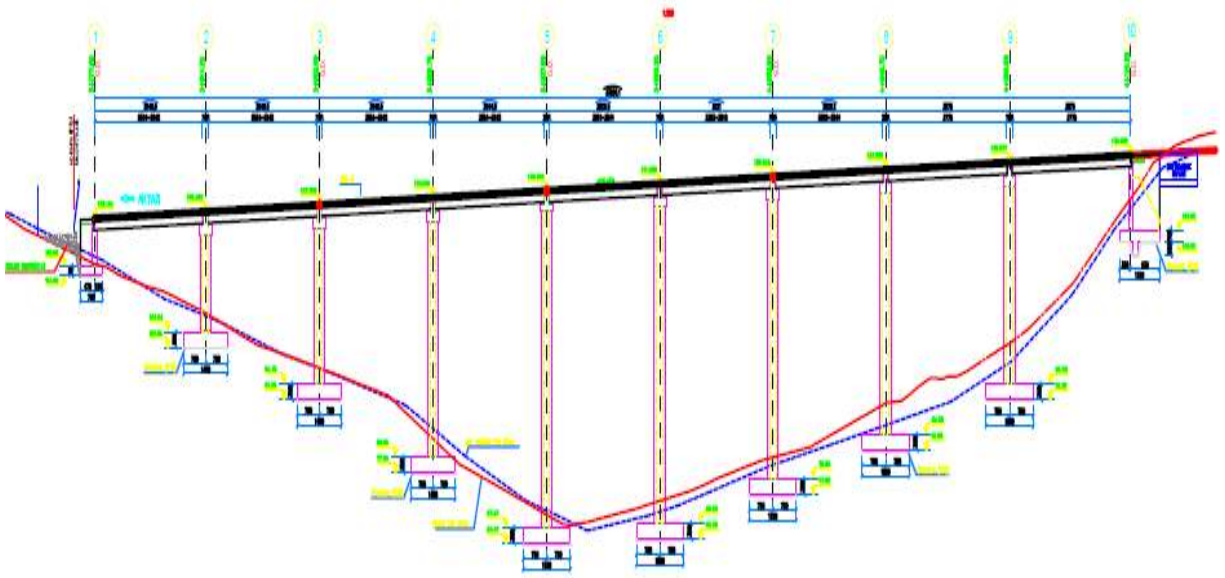
almaktadır. Şekil 2. 19’da viyadüğün üst görünüşü gösterilmiştir. Viyadüğün Beşirli tarafında heriki yönünde yanyol bağlantıları ile şehiriçi bağlantı yolları temasıda sağlanılmıştır. Şekil 2. 20’de görüleceği üzere arazisi eğimli olan Karşıyaka Viyadüğü Şekil 2. 19’da görülen vadinin heriki yönünde yükselmektedir.



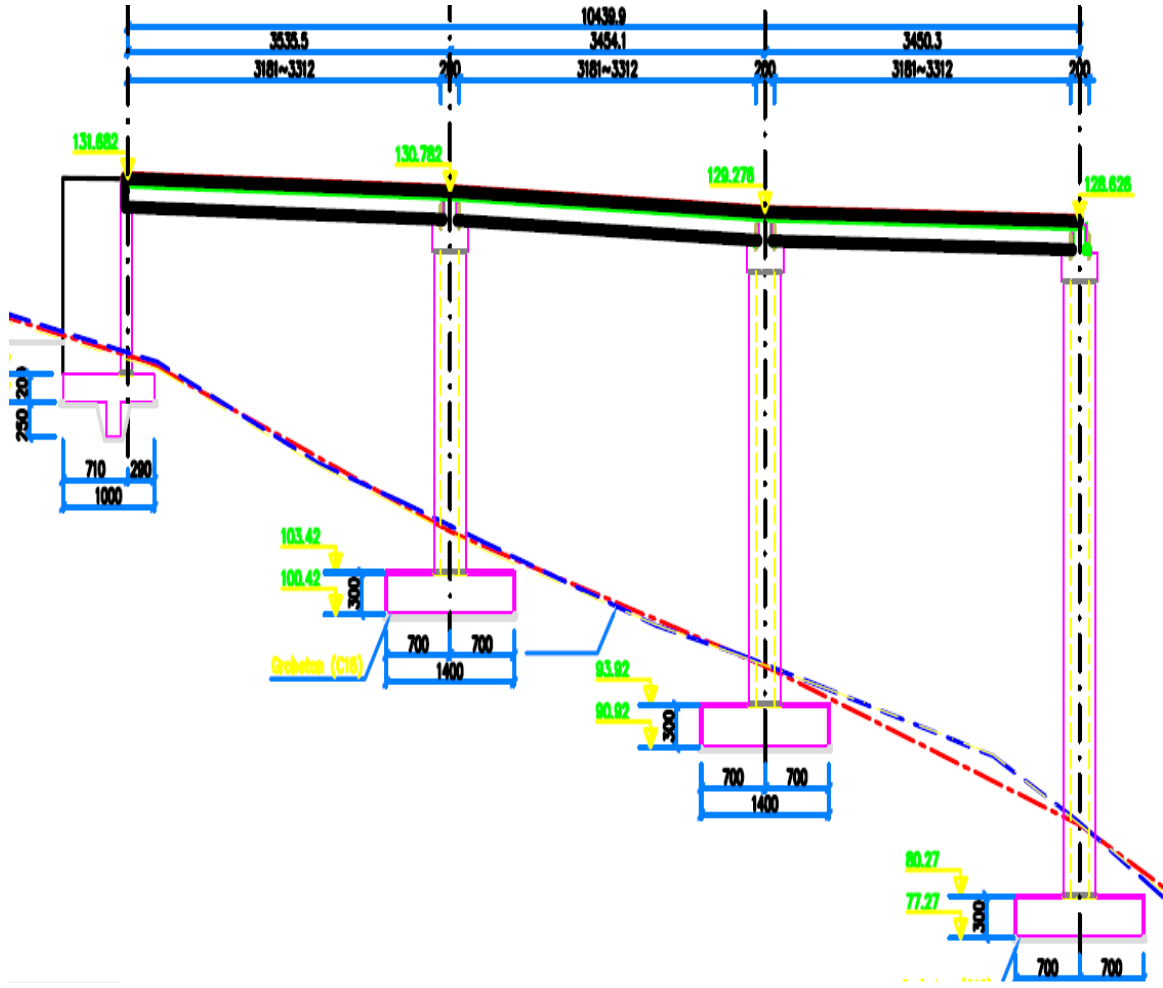
Şekil 2.18. Trabzon karşıyaka viyadüğü



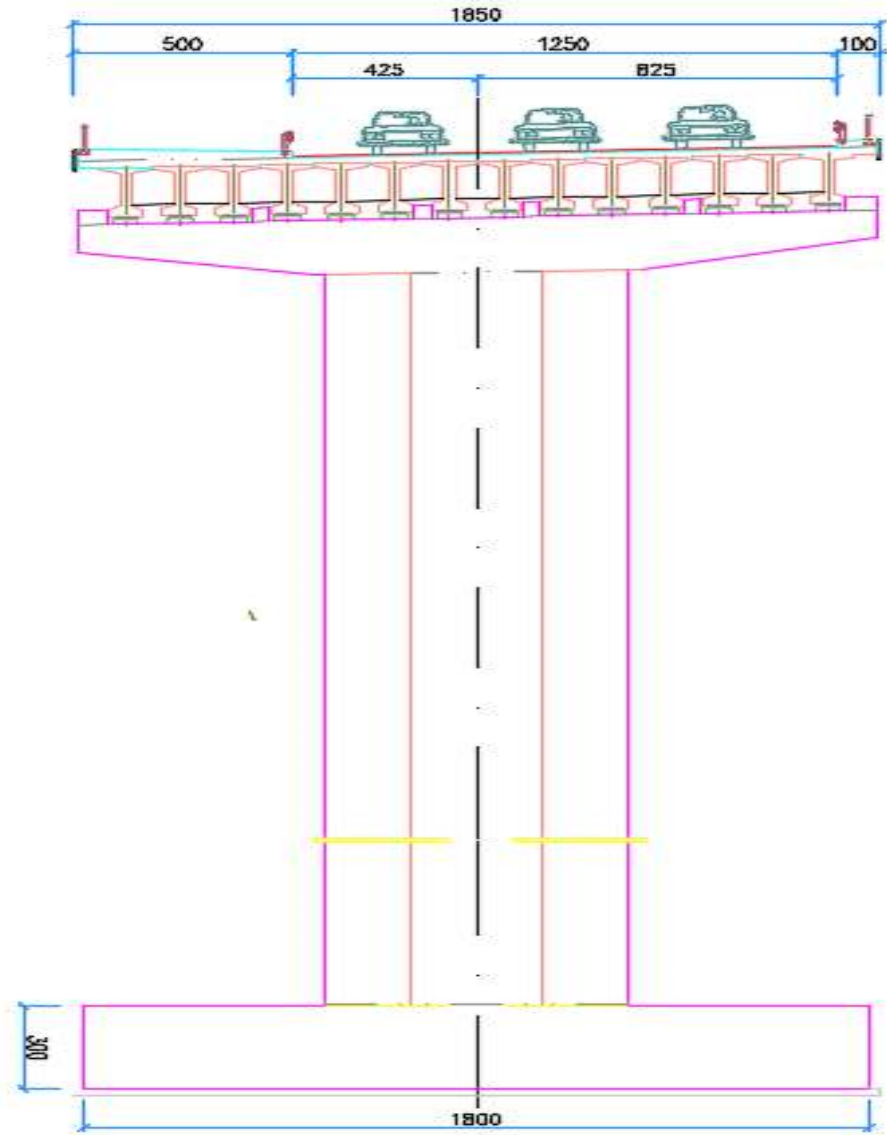
Şekil 2.19. Karşıyaka viyadüğü üst görünüş planı



Şekil 2.20. Karşıyaka viyadüğü anayol kesit planı



Şekil 2.21. Karşıyaka viyadüğü yan yol kesit planı



Şekil 2.22. Karşıyaka viyadüğü temel, köprü ayağı ve başlık kirişi planı

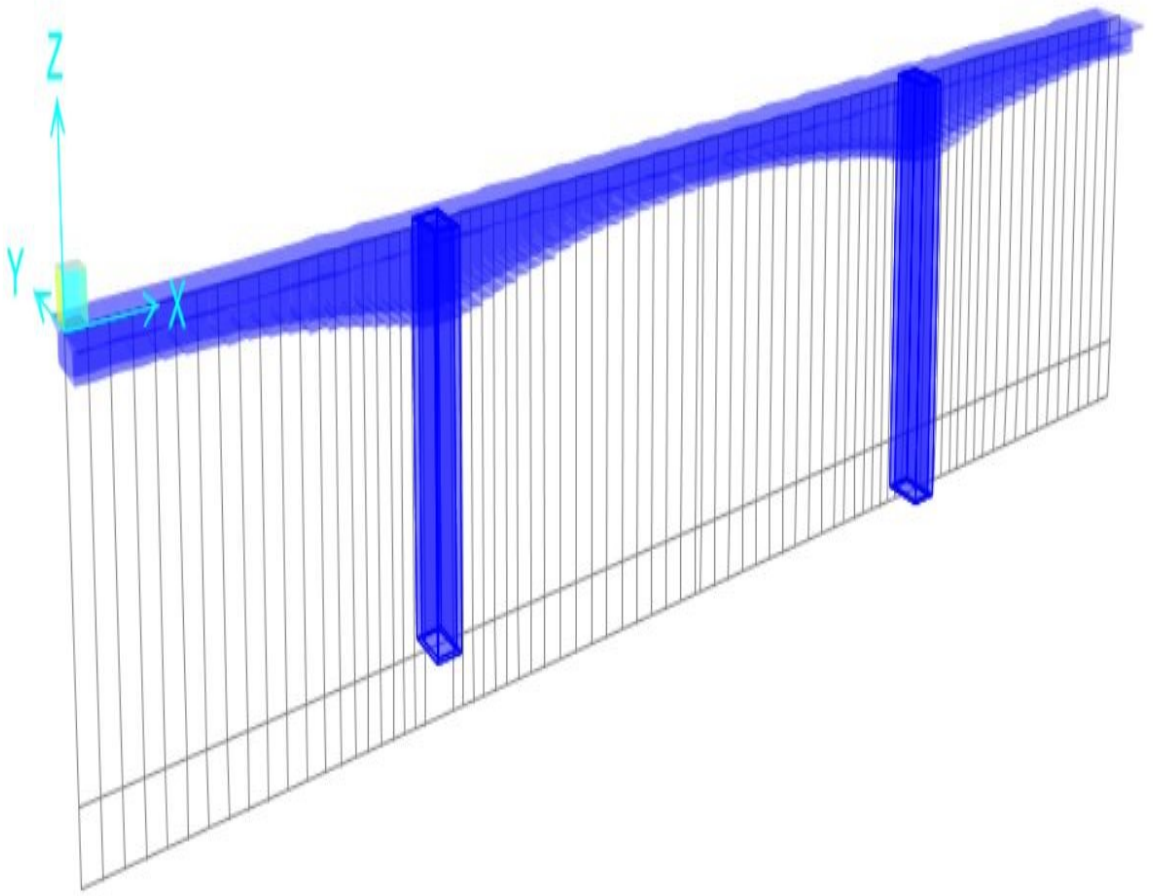
Temel boyutları 14x11x3 metre kesitlerine sahiptir. Bazı temellerin altında ise zeminin iyi olmamasından kaynaklı olarak fore kazık imalatı yapılmaktadır. Köprü ayakları ise platform elemanlar sayesinde yapılmaktadır.

3. BULGULAR VE İRDELEMELER

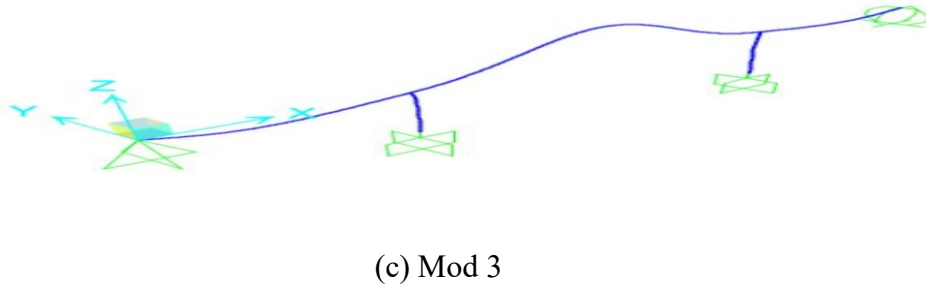
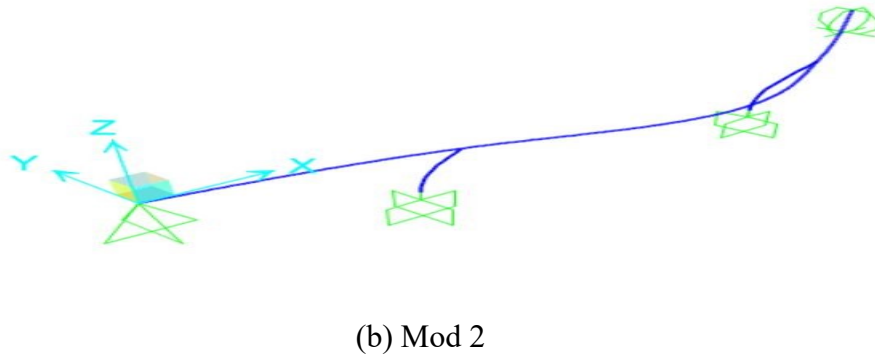
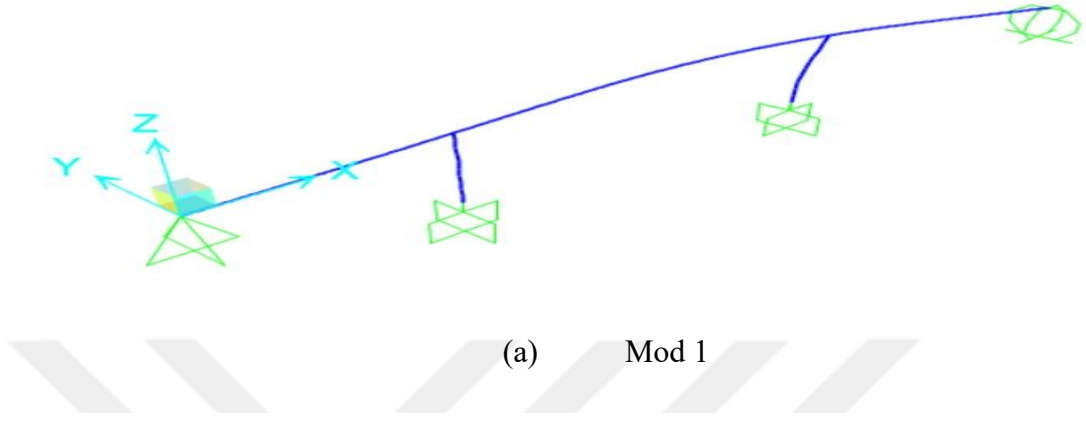
Tasarımı yapılan dengeli konsol köprü modelinin tabliye kesitleri çizilip dfx formatında SAP2000 programına aktarılmıştır. Üç boyutlu sonlu eleman modeli oluşturulduktan sonra öncelikle yapım aşamasına göre analiz yapıp gerilme, yerdeğiştirme, eğilme momenti ve kesme kuvveti tahkikleri yapılmıştır. Servis durumu için tekrar analizler gerçekleştirilerek yerdeğiştirme, eğilme momenti ve kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir ve her iki durumda oluşan etkiler mukayese edilmiştir. Köprüler gibi önemli mühendislik yapılarında deprem analizi önemli olduğundan ayrıca sürekli köprü modelinin yakın ve uzak fay etkisinde dinamik analizi gerçekleştirilmiştir. Son olarak da, prekast köprü modeli ile dengeli konsol köprü arasında maliyet karşılaştırması yapılmıştır.

3.1. Modelin Analiz Aşaması

Dengeli konsol köprü modeli için hem yapım aşaması hemde servis aşaması için ayrı ayrı analizler yapılmıştır. Bu analizler yapılmadan önce tabliye, köprü ayağı elemanları çizim programı ile çizip dfx formatında SAP2000 programına aktarılmıştır. Bunun akabinde tasarım kriterleri köprüye tanıtılmış ve analizler yapılmıştır. Tasarım yapılırken 100 mod dikkate alınmıştır. Burada sadece ilk üç mod şekli verilmiştir.



Şekil 3.1. Modelin SAP 2000 görünüşü



Şekil 3.2. Dengeli konsol köprünün modal analiz sonucunda oluşan (a) birinci mod (b) ikinci mod (c) üçüncü mod şekilleri

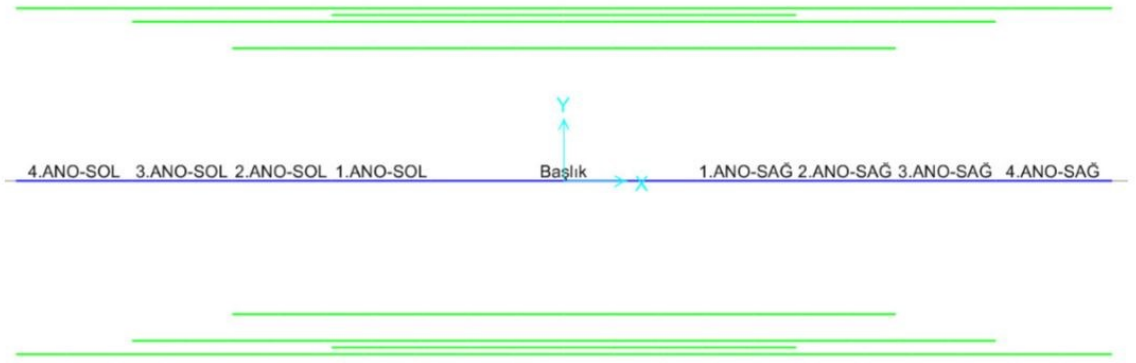
Şekil 3.2’de görüleceği üzere ilk hareket boyuna yönde gerçekleşmektedir. İkinci ve üçüncü mod da ise enine ve boyuna bir hareket görülmektedir. Tablo 3.1’de modal analiz sonucunda elde edilen periyot ve frekans değerleri yer almaktadır.

Tablo 3.1. Periyot ve frekans değerleri

Mod Adı	Periyot (s)	Frekans (Hertz)
Mod1	1,606	0,622
Mod2	1,158	0,863
Mod3	0,831	1,202
Mod4	0,684	1,461
Mod5	0,672	1,747
Mod6	0,448	2,229
Mod7	0,428	2,333
Mod8	0,362	2,755
Mod9	0,331	3,013
Mod10	0,262	3,802
Mod11	0,208	4,796
Mod12	0,184	5,426

3. 1. 1. Dengeli Konsol Köprünün Yapım Aşaması Analizi

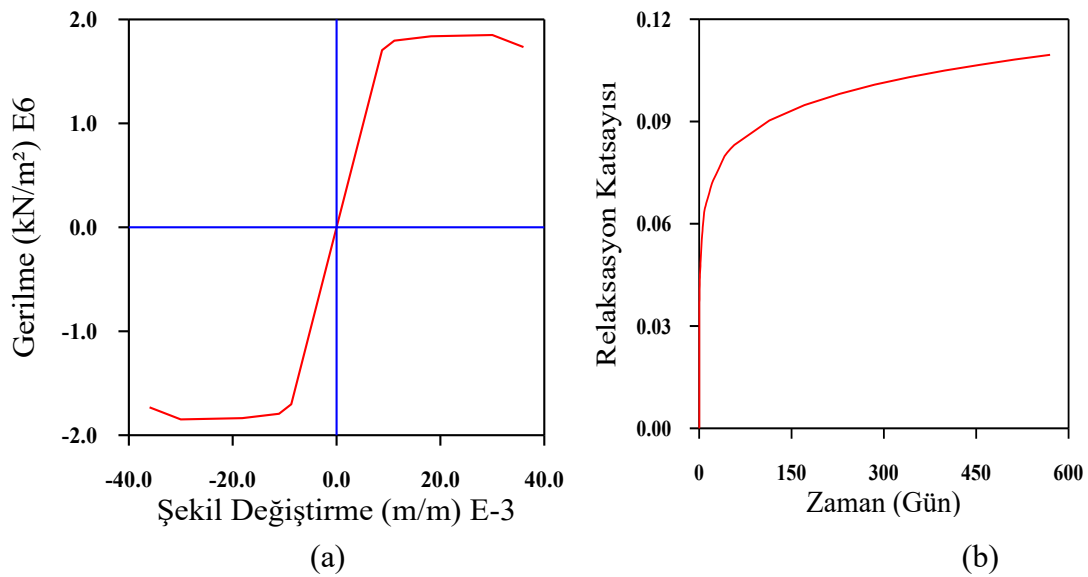
Şekil 3. 3’de gösterilen Sap 2000 çıktısında mavi çubuk elemanları ile ilk 4 dilimin ve bu dilimlerin yapım aşamasında uygulanacak ve negatif konsol eğilme momenti karşılayacak yeşil tendom elemanları ile ardgerme kabloları gösterilmiştir.



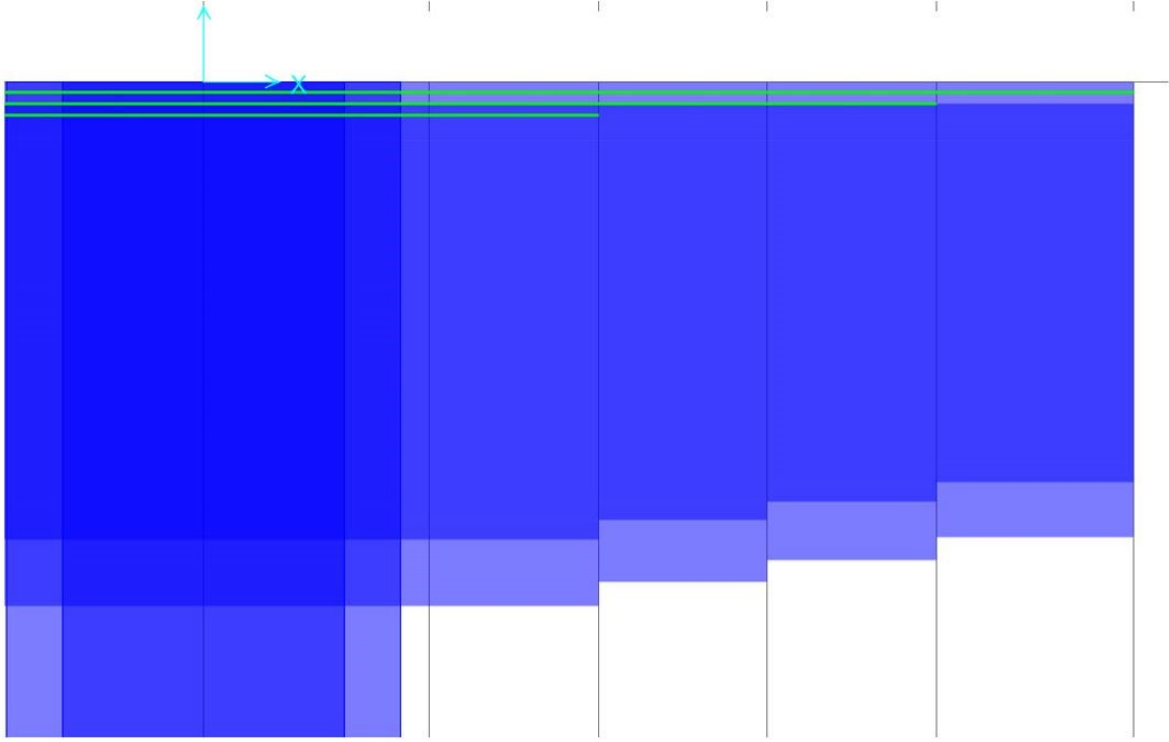
Şekil 3.3. Sistemin ardgerme dizaynı

Çelik için gerilme şekil değiştirme ve zamana bağlı değişen malzeme özellikleri grafikleri Şekil 3.4.'de verilmektedir. Analizlerde dikkate alınan bu parametreler SAP2000 sonlu eleman programı içerisinde de bulunan CEB-FIP tasarım kodun yardımıyla belirlenmiştir. Bu parametrelere bağlı olarak Şekil 3.4.'de verilen grafikler otomatik olarak değişmektedir.

Şekil 3. 5'de modelin hacimsel görünüşü verilmiştir. Normalde her bir dilim kendi içinde değişken yüksekliğe sahiptir. Daha önce her bir eleman için başlangıç ve bitiş kesitleri olarak tanımlanmıştır. Böylece değişken yükseklikli elemanlar elde edilmiştir.



Şekil 3.4. Öngerilmeli çelik için gerilme şekil-değiştirme (a) ve zamana bağlı malzeme özellikleri değişimi (b) diyagramları



Şekil 3.5. Modelin hacimsel görünüşü

Gerçeğe yakın model oluşturmak için her bir kutu kesiti SAP 2000 tasarımcı kesit tanımlama kısmından (Section Designer) tanımlanmıştır. Fakat SAP 2000 tasarımcı kesit tanımlama kısmından girilen kesitler ve bu başlangıç ve bitiş kesitleri değişken kesitli çubuk elemanlar için uygulandığında kutu kesitler içi dolu dikdörtgen kesit gibi gözüküyor. Bu yüzden her bir eleman için ortalama kesit tanımlayarak kutu kesitli üstyapı modeli kurulmuştur.

Tablo 2. 5’de modelin orjinal kesit özellikleri verilmiştir. Görüldüğü gibi 1. dilim başlangıç kesiti için $A_0 = 9,5$ m bitiş kesit $A_1 = 9,082$ m olacak şekilde ortalama kesit hesabı için kullanılmıştır.

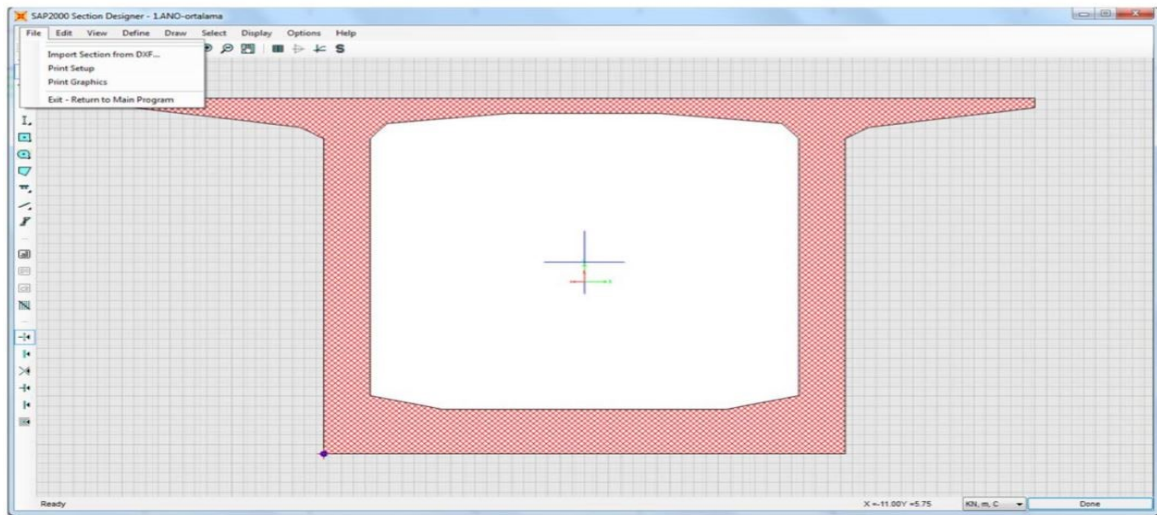
$$H = 0,5 \cdot (9,5 + 9,082) = 9,291 \text{ m}$$

Yine alt tabliye kalınlığı $= 0,5(1,2 + 1,135) = 1,168$ m olarak Tablo 3. 2’de görüleceği üzere bulunmuştur. Aynı hesapların tamamı bütün kesitler için uygulanıp tüm kesitlerde ortalama değerler bulunmuştur.

Tablo 3.2. SAP 2000 modeli için ortalama kesitler

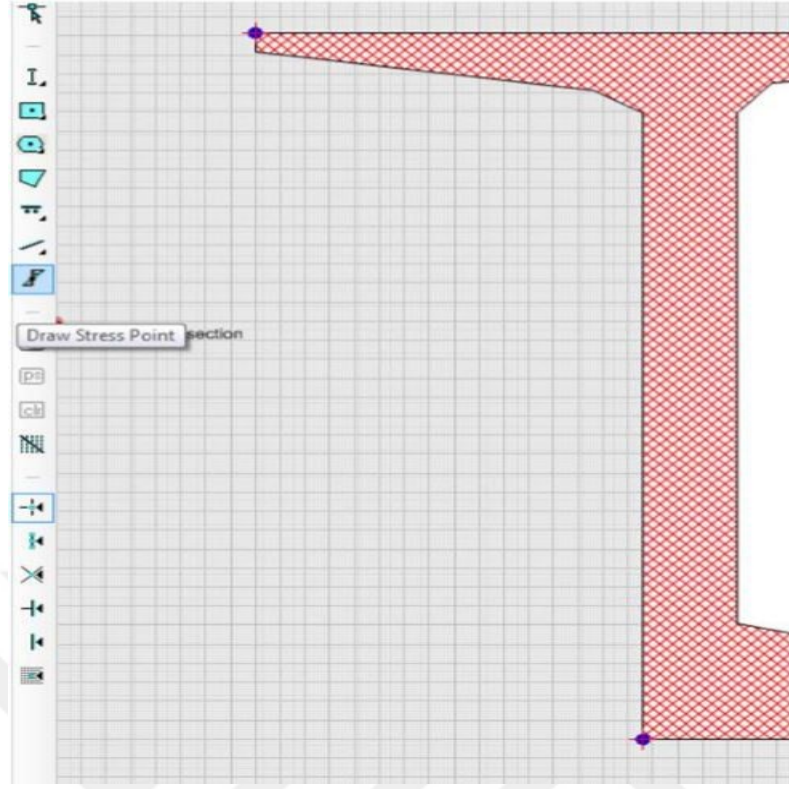
Dilim No	Kesit Yükseklikleri(m)	Alt Tabliye Kalınlığı (m)	Kesit Alanı(m ²)	S _{alt}	S _{üst}	Atalet Momenti (m ⁴)	e _{alt}	e _{üst}
A1	9,291	1,168	33,350	4,430	4,861	446,269	4,230	4,661
A2	8,882	1,104	32,186	4,292	4,589	395,217	4,092	4,389
A3	8,489	1,044	31,074	4,159	4,330	349,787	3,959	4,130
A4	8,078	0,981	29,918	4,016	4,062	305,972	3,816	3,862
A5	7,661	0,917	28,734	3,871	3,790	264,808	3,671	3,590
A6	7,272	0,856	27,621	3,734	3,538	229,524	3,534	3,338
A7	6,875	0,795	26,499	3,590	3,285	196,811	3,390	3,085
A8	6,480	0,734	25,378	3,445	3,034	167,026	3,245	2,834
A9	6,072	0,671	24,221	3,293	2,779	139,443	3,093	2,579
A10	5,660	0,607	23,049	3,135	2,524	114,363	2,935	2,324
A11	5,294	0,550	22,006	2,992	2,301	94,499	2,792	2,101
A12	4,973	0,500	21,097	2,863	2,110	78,935	2,663	1,910
A13	4,698	0,458	20,317	2,750	1,948	66,876	2,550	1,748
A14	4,469	0,423	19,671	2,653	1,816	57,738	2,453	1,616
A15	4,286	0,395	19,154	2,574	1,712	50,998	2,374	1,512
A16	4,149	0,373	18,763	2,515	1,634	46,251	2,315	1,434
A17	4,058	0,359	18,504	2,474	1,583	43,245	2,274	1,383
A18	4,012	0,352	18,375	2,454	1,558	41,780	2,254	1,358

Her bir ortalama kesit Autocad'de çizilerek DXF dosyası oluşturulmuştur. SAP 2000 kullanıcı kesit tanımlama menüsünden ilgili dilim için ortalama kesit DXF dosyası girilerek kesitler tanımlanmıştır.



Şekil 3.6. Tabliye kesitin çizimi ve Sap 2000 programına aktarılması

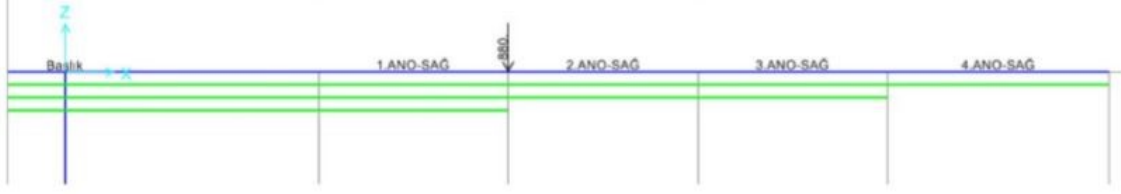
Gerilme değerlerini görebilmek için her bir girilen kesite Point1 kesit üstü ve Point2 kesit altı gerilme noktaları atılmıştır.



Şekil 3.7. Gerilme noktalarının atanması

Şekil 3.7’de gösterilen noktaların atanmasıyla yapım aşamasındaki analizde gerilme noktalarının okunması mümkün kılınmıştır.

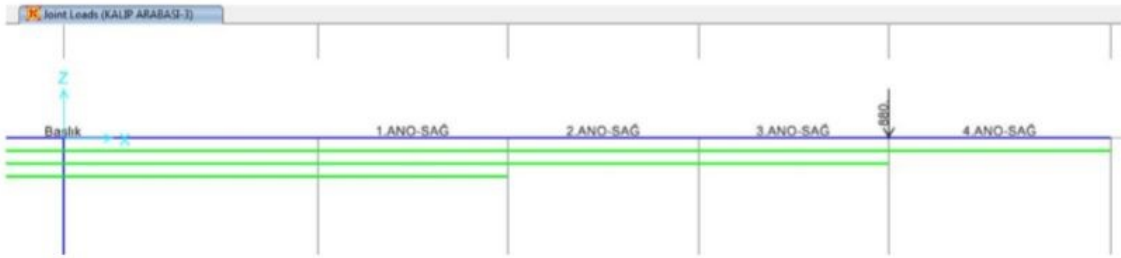
Şekil 3.8’ de her dilim sonunda yeşil olan tendomların gerilmesi ve kalıp arabasının ilerlemesi gösterilmiştir. Tüm bu işlemler modelin 18 dilimi boyunca devam etmiştir. Ayrıca yükler kalıp arabası ile tabiki ilerlemektedir. Bunun için kalıp arabasının ağırlığı 800 kN dinamik etkiler çarpanı 1,1 olarak alınıp kalıp arabasının ağırlığı 880 kN olarak modele etki ettirilmiştir.



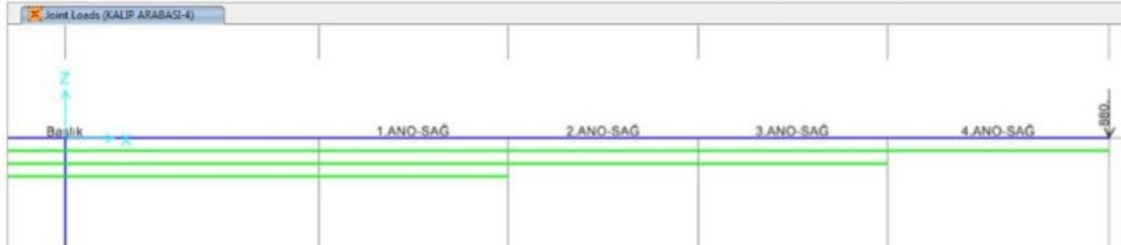
Kalıp arabasının 1.ano sonuna ilerlemesi



Kalıp arabasının 2.ano sonuna ilerlemesi



Kalıp arabasının 3.ano sonuna ilerlemesi



Kalıp arabasının 4.ano sonuna ilerlemesi

Şekil 3.8. Kalıp arabasının ilerlemesi

Şekil 3. 9' da imalat yüklerinde kaynaklı olarak yükler etki ettirilmişdir. Tüm bu işlemler sistemin yapım aşamasındayken (yani kapatma dilimi yapılmadığı durumda izostatik konsol halindeyken) 1. dilimden 18. dilimin sonuna kadar devam etmiştir.

İmalat yayılı yük değeri $0,5 \text{ kN/m}^2$, köprü platform uzunluğu $18,5 \text{ m}$ ile imalat çizgisel yükü hesap edilmiştir.

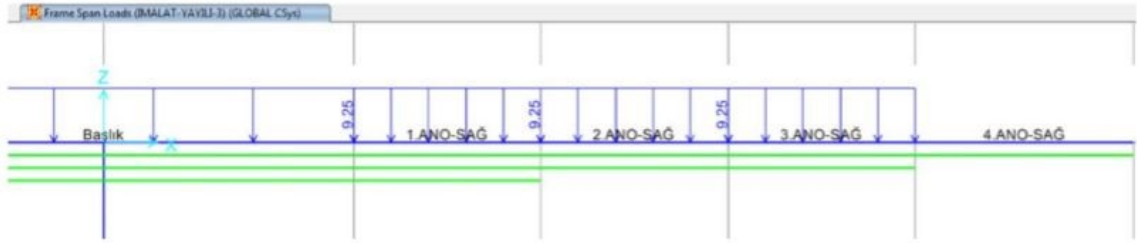
İmalat yükleri için çizgisel yük değeri $= 0,5 \text{ kN/m}^2 \times 18,5 \text{ m} = 9,25 \text{ kN/m}$ olarak hesap edilmiştir.



İmalat yayılı yükünün 1.ano sonuna ilerlemesi



İmalat yayılı yükünün 2.ano sonuna ilerlemesi



İmalat yayılı yükünün 3.ano sonuna ilerlemesi

Şekil 3.9. İmalat yayılı yükünün sisteme etki ettirilmesi

Takip eden işlem akışında tendon elemanlar Sap 2000 programına girilmiştir. Halat malzemesi yüksek dayanımlı $270K=1862MPa$ dayanıklı çelik malzemesi kullanılmıştır. Modelde 31'lik ve 19'luk halat düzeni kullanılmıştır.

Her bir halatın kesit alanı $140mm^2$, toplam 31 halatlık tendon kesit alanı $=31*140=4340 mm^2$ olarak hesap edilmiştir. 31 halatlı tendon ardgerme kuvveti böylece $=0,75*1862MPa*4340mm^2=6060,81 N$ olarak elde edilmiştir. İfadede geçen 0,75 ise ardgerme uygulanma oranını göstermektedir. Yani çeliğin dayanımının %75 oranında çekim yapılabileceğini göstermektedir.

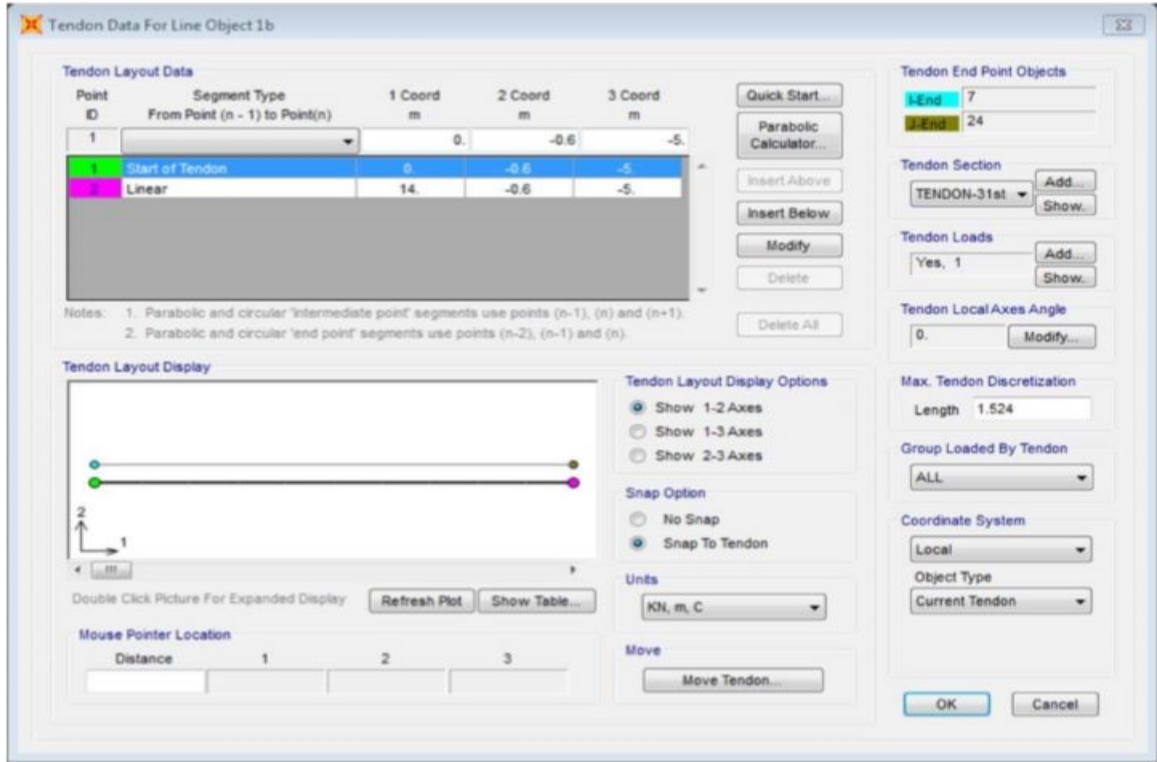
Ardgerme anında meydana gelen sürtünme vb. etkilerden dolayı kayıp oranı $=\%15$ SAP 2000'de 31 halatlı tendon ardgerme kuvveti $=6060,81kN * 0,85=5151,7 N$ olarak girilmiştir.

Diğer dilimler için boydan boya 19 halatlı tendon kullanılmıştır. Her bir halatın kesit alanı $140mm^2$, toplam 19 halatlık tendon kesit alanı $=19*140=2660 mm^2$ olarak hesap

edilmiştir. 19 halatlı tendon ardgerme kuvveti böylece $=0,75 \cdot 1862 \text{ MPa} \cdot 2660 \text{ mm}^2 = 3714,69 \text{ N}$ olarak belirlendi.

Ardgerme anında meydana gelen sürtünme vs. etkilerden dolayı kayıp oranı $=\%15$ SAP 2000’de 19 halatlı tendon ardgerme kuvveti $=3714,69 \text{ N} \cdot 0,85 = 3157,5 \text{ N}$ olarak girilmiştir.

Şekil 3.10 da Sap2000 programına halat dizaynı yerleştirilmiştir. Hesaplanan halat adetleri ile gerekli halat adetleri yerlerine konmuştur.



Şekil 3.10. Halat elemanların programa tanımlanması

Halatlar kesitlerdeki X eksenine göre kesit ortasına, Y eksenine göre kesit üstüne kadar mesafeleri verilerek koordinatları oluşturulmuştur. Her bir yapım aşamasında boydan boya uygulanacak halatlar için TENDON-1,2,3 diye halat yükleri oluşturulmuştur.

Interactive Database Editing - Case - Static 5 - Nonlinear Stage Definitions

File Excel Edit View Options

	Case	Stage	Duration	Output	OutputName	Comment
► 1	Yapim Asamasi	1	0.	Yes	Kolon	Kolon yapimi
2	Yapim Asamasi	2	0.	Yes	Baslik ANO	Baslik anosunun yapimi
3	Yapim Asamasi	3	3.	Yes	1.ANO-1	1.ano yapimi
4	Yapim Asamasi	4	3.	Yes	1.ANO-2	1.ano ardgermesi
5	Yapim Asamasi	5	1.	Yes	1.ANO-3	1.ano ucuna kalip arabasinin ilerlemesi
6	Yapim Asamasi	6	3.	Yes	2.ANO-1	2.ano yapimi
7	Yapim Asamasi	7	3.	Yes	2.ANO-2	2.ano ardgermesi
8	Yapim Asamasi	8	1.	Yes	2.ANO-3	2.ano ucuna kalip arabasinin ilerlemesi
9	Yapim Asamasi	9	3.	Yes	3.ANO-1	3.ano yapimi
10	Yapim Asamasi	10	3.	Yes	3.ANO-2	3.ano ardgermesi
11	Yapim Asamasi	11	1.	Yes	3.ANO-3	3.ano ucuna kalip arabasinin ilerlemesi
12	Yapim Asamasi	12	3.	Yes	4.ANO-1	4.ano yapimi
13	Yapim Asamasi	13	3.	Yes	4.ANO-2	4.ano ardgermesi
14	Yapim Asamasi	14	1.	Yes	4.ANO-3	4.ano ucuna kalip arabasinin ilerlemesi

Şekil 3.11. Yükleme durumlarının oluşturulması

Herbir yapım döngüsü elemanın yapımı (yani beton dökülmesi ve buna bağlı olarak dilim ağırlığının meydana gelmesi),ardgerme kuvvetinin uygulaması ve bundan sonra bir sonraki dilimin yapımı için kalıp arabasının ve imalat yüklerinin ilerlemesinden ibarettir.

Şekil 3. 12’de gösterilen yükün tümünün aktarılması demektir. 1(-) katsayısı ise yükü kaldır anlamına gelmektedir. Görüldüğü üzere imalat ve kalıp arabası için 1(-) kullanılmıştır. Kalıp arabası ve imalat yükleri aşama aşama sistemin ana felsefesi gereği kaldırıldığının anlamına gelmektedir.

Interactive Database Editing - Case - Static 6 - Nonlinear Stage Data

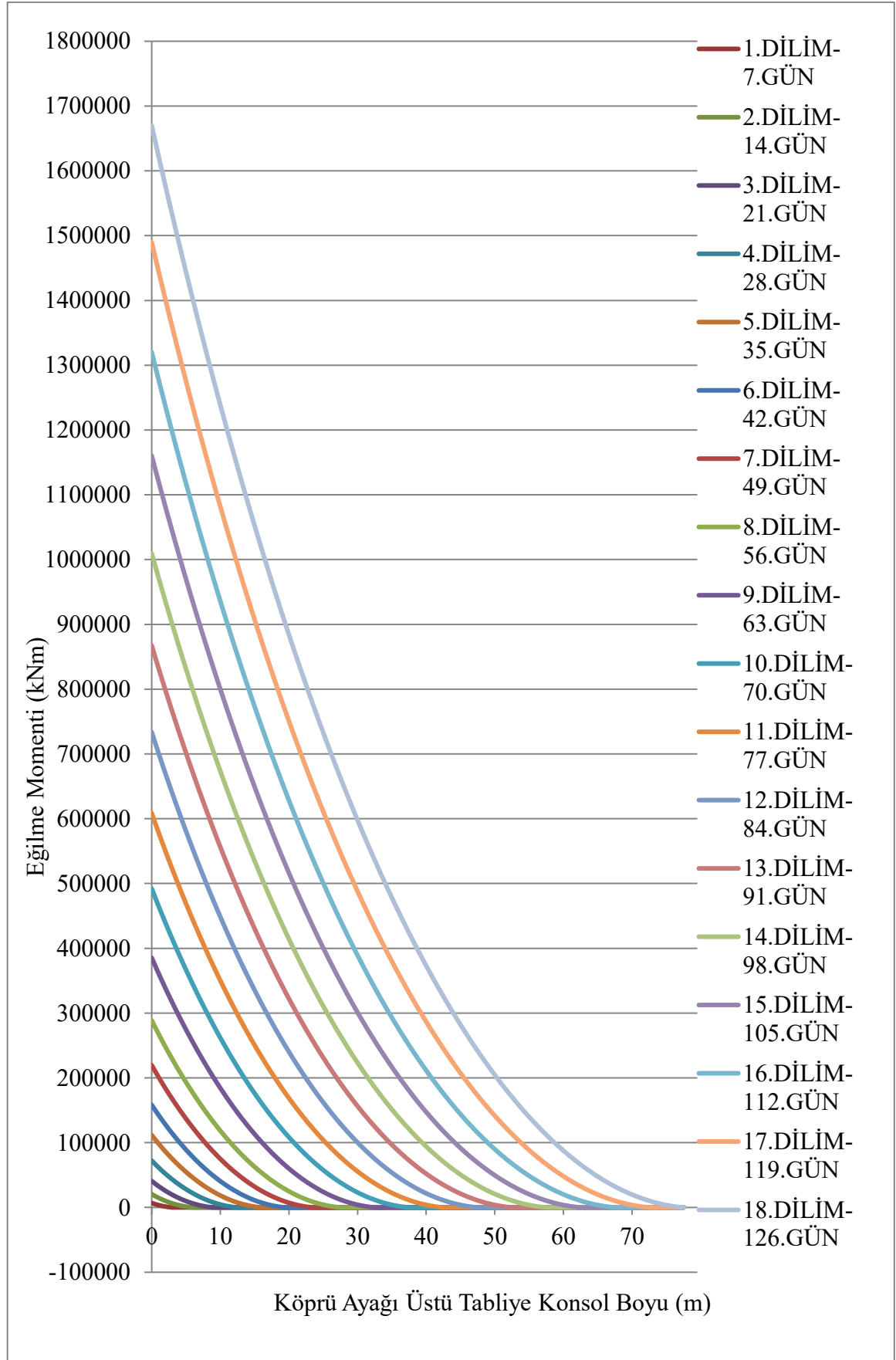
File Excel Edit View Options

Case - Static 6 - Nonlinear Stage Data

	Case	Stage	Operation	ObjType	ObjName	Age	LoadType	LoadName	LoadSF
1	Yapim Aşaması	1	Add Structure	Frame	Kolon	0.			
2	Yapim Aşaması	1	Load Objects If Added	Frame	Kolon		Load pattern	DEAD	1.
3	Yapim Aşaması	2	Add Structure	Frame	Bağlık	0.			
4	Yapim Aşaması	3	Add Structure	Group	1.ANO	0.			
5	Yapim Aşaması	3	Load Objects If Added	Group	1.ANO		Load pattern	DEAD	1.
6	Yapim Aşaması	4	Add Structure	Group	1.ANO-TENDON	0.			
7	Yapim Aşaması	4	Load Objects	Group	1.ANO-TENDON		Load pattern	TENDON-1	1.
8	Yapim Aşaması	5	Load Objects	Group	ALL		Load pattern	KALIP ARABASI-1	1.
9	Yapim Aşaması	5	Load Objects	Group	ALL		Load pattern	IMALAT-YAYILI-1	1.
10	Yapim Aşaması	6	Add Structure	Group	2.ANO	0.			
11	Yapim Aşaması	6	Load Objects If Added	Group	2.ANO		Load pattern	DEAD	1.
12	Yapim Aşaması	7	Add Structure	Group	2.ANO-TENDON	0.			
13	Yapim Aşaması	7	Load Objects	Group	2.ANO-TENDON		Load pattern	TENDON-2	1.
14	Yapim Aşaması	8	Load Objects	Group	ALL		Load pattern	KALIP ARABASI-2	1.
15	Yapim Aşaması	8	Load Objects	Group	ALL		Load pattern	KALIP ARABASI-1	-1.
16	Yapim Aşaması	8	Load Objects	Group	ALL		Load pattern	IMALAT-YAYILI-2	1.
17	Yapim Aşaması	8	Load Objects	Group	ALL		Load pattern	IMALAT-YAYILI-1	-1.
18	Yapim Aşaması	9	Add Structure	Group	3.ANO	0.			
19	Yapim Aşaması	9	Load Objects If Added	Group	3.ANO		Load pattern	DEAD	1.
20	Yapim Aşaması	10	Add Structure	Group	3.ANO-TENDON	0.			
21	Yapim Aşaması	10	Load Objects	Group	3.ANO-TENDON		Load pattern	TENDON-3	1.

Şekil 3.12. Yük aktarılması

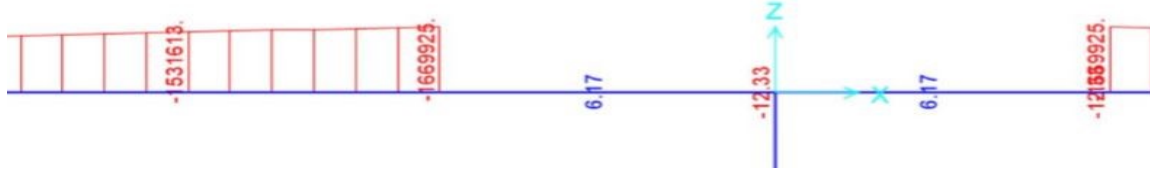
Şekil 3. 13'te dikey sütun tabliye kesitinde meydana gelen eğilme momenti değerlerini göstermektedir. Yatay sütun ise tabliye kesitinin tek bir köprü ayağı üzerinde bir tarafına ait olan mesafe yani 79,5 m göstermektedir. Bu değere karşılık gelen eğilme momenti değeri ise 1669925 kNm'dir. Burada her kesitin meydana getirdiği eğilme momenti değeri 1. dilimden 18. dilime kadar belirlenmiştir.



Şekil 3.13. Her dilim sonunda meydana gelen eğilme momenti değerleri

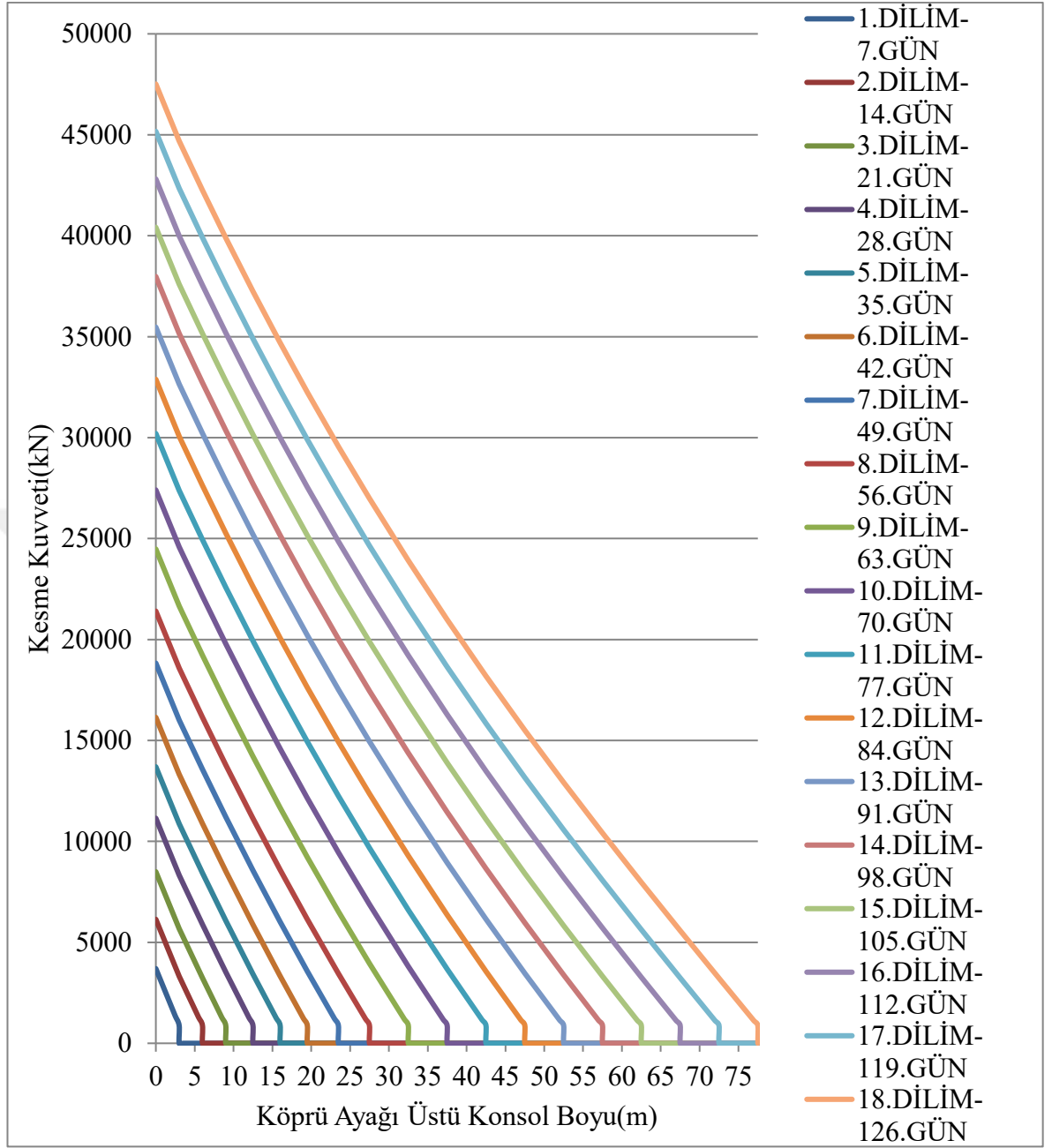
Yapım aşamasından kaynaklı maksimum eğilme momenti değeri Şekil 3.14’de 1669925 kNm olarak görülmektedir.

Elle yapılan hesap sonucunda elde edilen 1572261,1 kNm değerine yakın bir değer elde edilmiştir. Yapılan hesabın güvenli olduğunu göstermiştir.



Şekil 3.14. Yapım aşamasında maksimum yükten kaynaklı maksimum eğilme momenti

Şekil 3.15’ de görüleceği üzere kesme kuvveti değeri herbir dilimin yapımından sonra artmıştır. Tüm dilimlerin yapılmasıyla elde edilen maksimum kesme kuvveti değeri 4750 kN’dur. Yapım aşamasında dilimlerin yapımında elde edilen kesme kuvvetleri gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Yapım aşmasına göre elde edilen kesme kuvveti değerleri

3.1.2. Kesitlerde Meydana Gelen Gerilme Tahkikleri

Modelin dengeli konsol yapım aşaması için kesitlerde meydana gelen gerilme farklılıkları kesit üst ve alt lifler için verilmiştir. Ortaya çıkan değerler köprünün servis durumunda soğuk derzlerde donatı bağlantısı olması durumunda izin verilen gerilme sınırları ile kontrol edilecektir. Bununla birlikte kesitlerin doğrusal elastik davranış sergilediklerini

göstermek amacı ile kesitlerde meydana gelen basınç gerilmeleri ilgili yönetmelik tarafından belirlenen basınç gerilmesi sınırı ile kontrol edilmiştir.

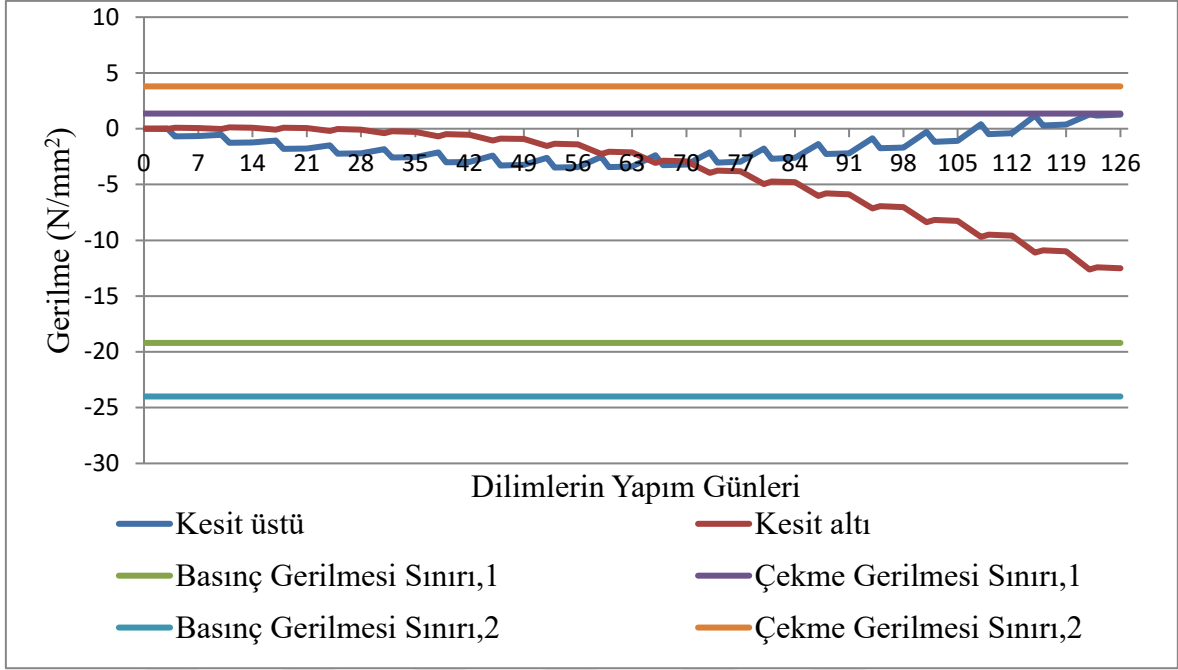
İzin verilen çekme gerilmesi sınırı AASHTO LRFD yönetmeliği tarafından aşağıdaki şekilde belirlenecektir:

$$\sigma_{\text{çekme}} < 0.24 \sqrt{f_{ci}} = 0.24 \sqrt{32} = 1.358 \text{ Mpa} \quad (3.1.)$$

İzin verilen basınç gerilmesi sınırı AASHTO LRFD yönetmeliği tarafından aşağıdaki şekilde belirlenecektir.

$$\sigma_{\text{basınç}} < 0.6 \sqrt{f_{ci}} = 0.6 \sqrt{32} = 19.2 \text{ Mpa} \quad (3.2.)$$

f_{ci} : Ardgerme kuvveti uygulanması zamanında betonun basınç dayanımı, $0.8 \cdot 40 = 32 \text{ MPa}$ Şekil 3. 16'da ifade edilen çekme gerilmesi sınır 1 değeri kısa vadede sınır değeridir. Bu elde edilen gerilme kalıp arabasının üstüne donatı monatajı, beton dökülmesi ve ardgerme uygulandıktan sonra elde edilen gerilme değeridir. Çekme gerilmesi sınır 2 değeri ise uzun vadede gerilme değeridir. Bu ise köprü servis duruma geldikten sonra elde edilen çekme gerilmesidir. Yani 28 gün sonunda elde edilen gerilmedir. Basınç gerilmesi sınır 1 değeri kısa vadede basınç gerilmesidir. Basınç gerilmesi sınır 2 değeri ise uzun vadede basınç gerilmesidir. Yönetmelik gereği bu sınır değerlerin aşılmaması gerekmektedir.



Şekil 3.16. 1. Dilim yapım günlerine bağlı gerilme değişimi

$$\text{Uzun vadeli çekme gerilmesi} = 0,6\sqrt{f'c'} \quad (3.3)$$

$$\text{Uzun vadeli basınç gerilmesi} = 0,6x f'c' \quad (3.4)$$

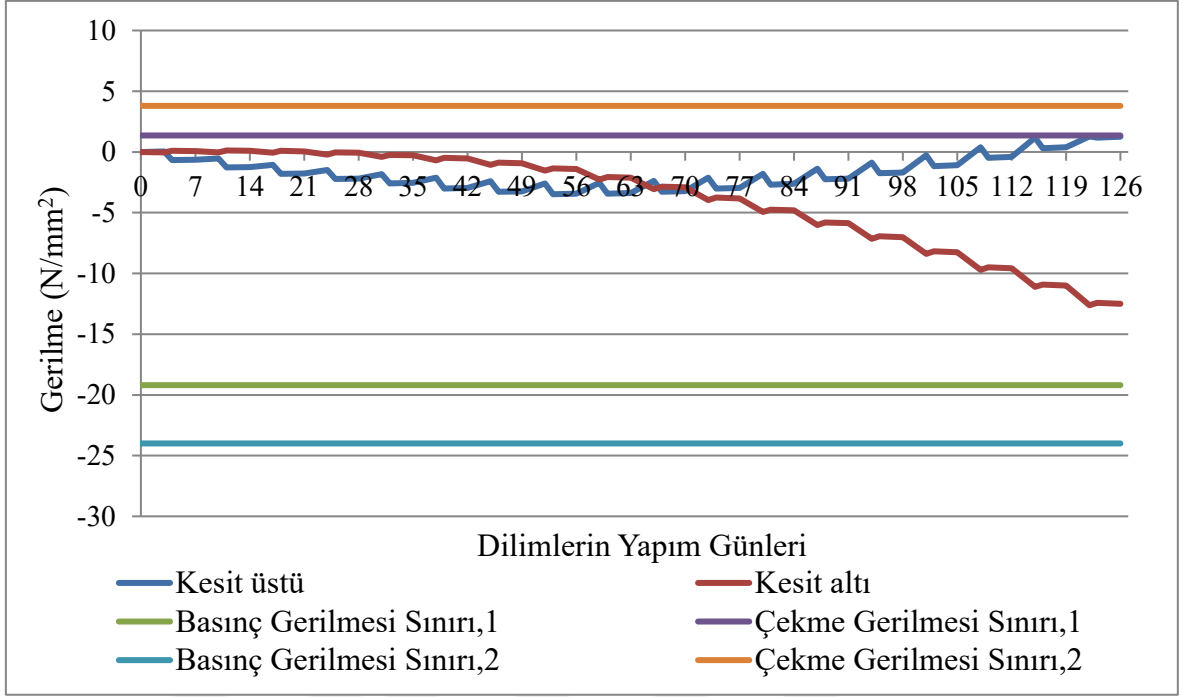
Tablo 3. 3'de belirtilen sınır ana ralıkları denklem (3.3.) ve (3.4.) ile hesap edilmektedir. Bu belirtilen sınır aralıklarında kalınması gerekmektedir.

Tablo 3.3. Gerilme sınır değerleri

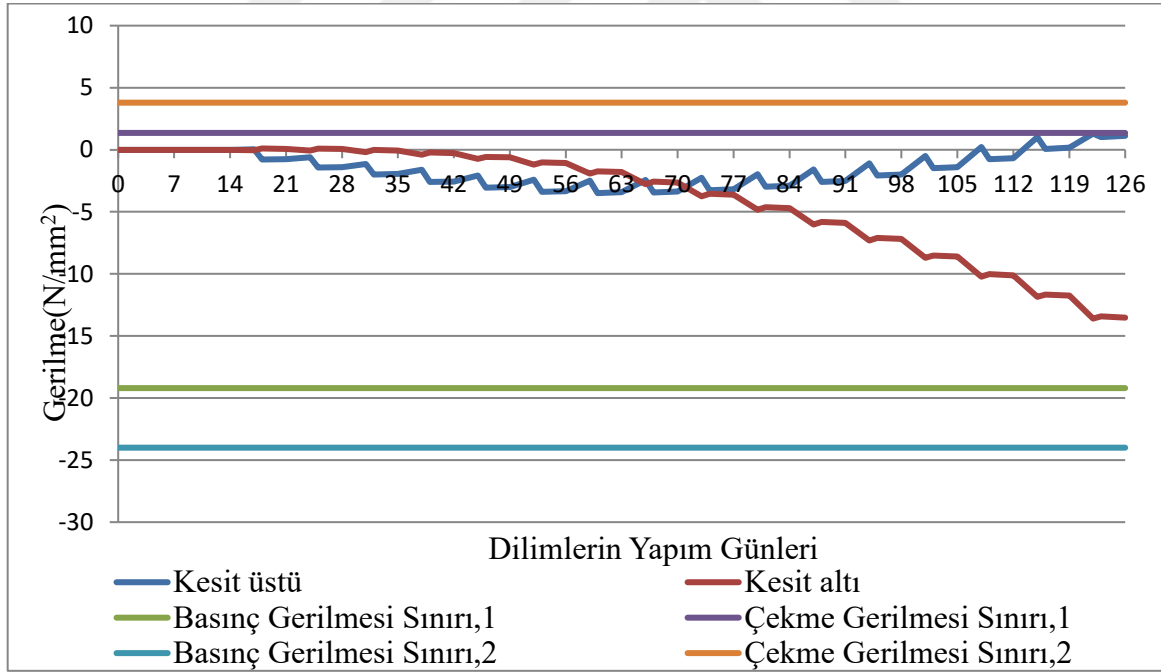
Beton karakteristik basınç dayanımı	f_{c'}	40	MPa
Ardgerme kuvveti aktarma anında dayanım	f_{ci}	32	MPa
Kısa vadeli basınç emniyet gerilmesi	σ_{bas,emn,1}	-19,2	MPa
Kısa vadeli çekme emniyet gerilmesi	σ_{çek,emn,1}	1,358	MPa
Uzun vadeli basınç emniyet gerilmesi	σ_{bas,emn,2}	-24	MPa
Uzun vadeli çekme emniyet gerilmesi	σ_{çek,emn,2}	3,79	MPa

Tablo 3.4. Gerilme değişimleri

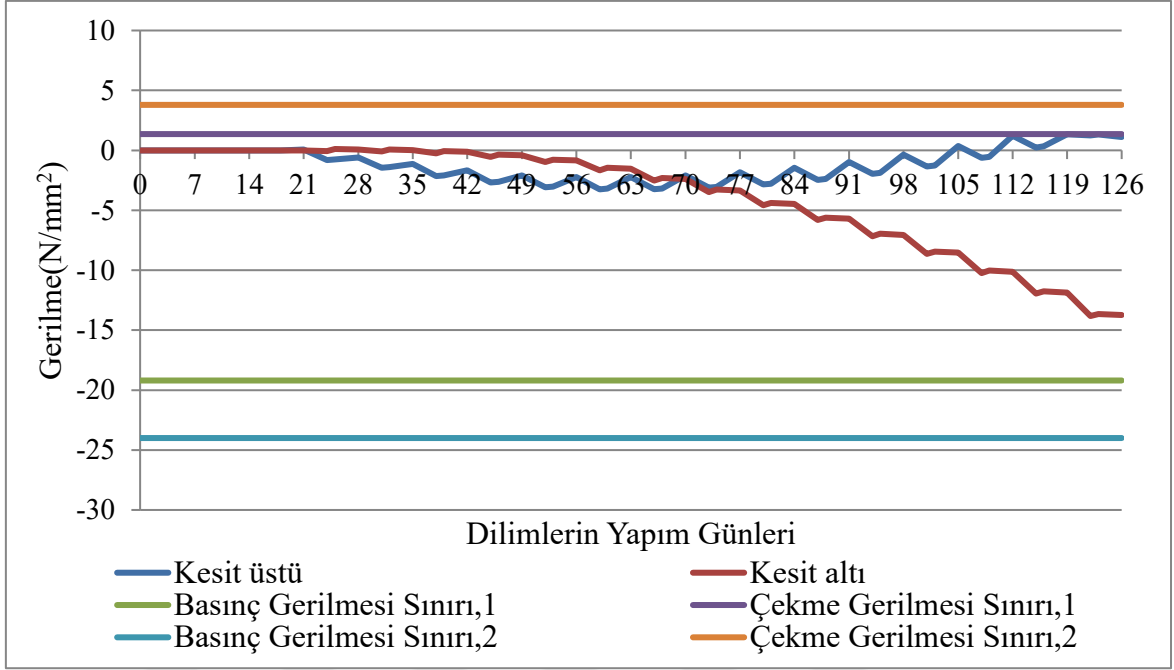
Yapım Günleri	İmalat Yeri	Çekme Gerilmesi	Basınç Gerilmesi	Kısa Vadeli Emniyetli Basınç gerilmesi	Kısa Vadeli Emniyetli Çekme Gerilmesi	Uzun vadeli Basınç Emniyet Gerilmesi	Uzun Vadeli Çekme Emniyet Gerilmesi
		N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
0	Kolon - 1	0	0	-19,2	1,36	-24	3,79
0	Baslık DİLİM - 1	0	0	-19,2	1,36	-24	3,79
3	1.DİLİM-1 - 1	0,043	-0,04	-19,2	1,36	-24	3,79
6	1.DİLİM-2 - 1	-0,673	0,097	-19,2	1,36	-24	3,79
7	1.DİLİM-3 - 1	-0,645	0,071	-19,2	1,36	-24	3,79
10	2.DİLİM-1 - 1	-0,535	-0,033	-19,2	1,36	-24	3,79
13	2.DİLİM-2 - 1	-1,269	0,123	-19,2	1,36	-24	3,79
14	2.DİLİM-3 - 1	-1,241	0,096	-19,2	1,36	-24	3,79
17	3.DİLİM-1 - 1	-1,063	-0,071	-19,2	1,36	-24	3,79
20	3.DİLİM-2 - 1	-1,796	0,084	-19,2	1,36	-24	3,79
21	3.DİLİM-3 - 1	-1,767	0,057	-19,2	1,36	-24	3,79
24	4.DİLİM-1 - 1	-1,482	-0,212	-19,2	1,36	-24	3,79
27	4.DİLİM-2 - 1	-2,234	-0,037	-19,2	1,36	-24	3,79
28	4.DİLİM-3 - 1	-2,199	-0,07	-19,2	1,36	-24	3,79
31	5.DİLİM-1 - 1	-1,837	-0,413	-19,2	1,36	-24	3,79
34	5.DİLİM-2 - 1	-2,586	-0,239	-19,2	1,36	-24	3,79
35	5.DİLİM-3 - 1	-2,551	-0,272	-19,2	1,36	-24	3,79
38	6.DİLİM-1 - 1	-2,118	-0,683	-19,2	1,36	-24	3,79
41	6.DİLİM-2 - 1	-3,008	-0,494	-19,2	1,36	-24	3,79
42	6.DİLİM-3 - 1	-2,972	-0,529	-19,2	1,36	-24	3,79
45	7.DİLİM-1 - 1	-2,399	-1,073	-19,2	1,36	-24	3,79
48	7.DİLİM-2 - 1	-3,286	-0,885	-19,2	1,36	-24	3,79
49	7.DİLİM-3 - 1	-3,243	-0,926	-19,2	1,36	-24	3,79
52	8.DİLİM-1 - 1	-2,595	-1,544	-19,2	1,36	-24	3,79
55	8.DİLİM-2 - 1	-3,48	-1,356	-19,2	1,36	-24	3,79
56	8.DİLİM-3 - 1	-3,435	-1,399	-19,2	1,36	-24	3,79
59	9.DİLİM-1 - 1	-2,528	-2,266	-19,2	1,36	-24	3,79
62	9.DİLİM-2 - 1	-3,435	-2,054	-19,2	1,36	-24	3,79
63	9.DİLİM-3 - 1	-3,378	-2,109	-19,2	1,36	-24	3,79
66	10.DİLİM-1 - 1	-2,373	-3,071	-19,2	1,36	-24	3,79
69	10.DİLİM-2 - 1	-3,277	-2,861	-19,2	1,36	-24	3,79
70	10.DİLİM-3 - 1	-3,217	-2,919	-19,2	1,36	-24	3,79
73	11.DİLİM-1 - 1	-2,125	-3,967	-19,2	1,36	-24	3,79
76	11.DİLİM-2 - 1	-3,025	-3,759	-19,2	1,36	-24	3,79
77	11.DİLİM-3 - 1	-2,963	-3,818	-19,2	1,36	-24	3,79
80	12.DİLİM-1 - 1	-1,789	-4,948	-19,2	1,36	-24	3,79
83	12.DİLİM-2 - 1	-2,686	-4,741	-19,2	1,36	-24	3,79
84	12.DİLİM-3 - 1	-2,622	-4,803	-19,2	1,36	-24	3,79
87	13.DİLİM-1 - 1	-1,368	-6,011	-19,2	1,36	-24	3,79
90	13.DİLİM-2 - 1	-2,261	-5,805	-19,2	1,36	-24	3,79
91	13.DİLİM-3 - 1	-2,195	-5,869	-19,2	1,36	-24	3,79
94	14.DİLİM-1 - 1	-0,865	-7,155	-19,2	1,36	-24	3,79
97	14.DİLİM-2 - 1	-1,753	-6,952	-19,2	1,36	-24	3,79
98	14.DİLİM-3 - 1	-1,685	-7,018	-19,2	1,36	-24	3,79
101	15.DİLİM-1 - 1	-0,277	-8,383	-19,2	1,36	-24	3,79
104	15.DİLİM-2 - 1	-1,161	-8,182	-19,2	1,36	-24	3,79
105	15.DİLİM-3 - 1	-1,091	-8,25	-19,2	1,36	-24	3,79
108	16.DİLİM-1 - 1	0,4	-9,698	-19,2	1,36	-24	3,79
111	16.DİLİM-2 - 1	-0,479	-9,5	-19,2	1,36	-24	3,79
112	16.DİLİM-3 - 1	-0,407	-9,57	-19,2	1,36	-24	3,79
115	17.DİLİM-1 - 1	1,172	-11,107	-19,2	1,36	-24	3,79
118	17.DİLİM-2 - 1	0,3	-10,913	-19,2	1,36	-24	3,79
119	17.DİLİM-3 - 1	0,374	-10,986	-19,2	1,36	-24	3,79
122	18.DİLİM-1 - 1	2,048	-12,619	-19,2	1,36	-24	3,79
125	18.DİLİM-2 - 1	1,185	-12,432	-19,2	1,36	-24	3,79
126	18.DİLİM-3 - 1	1,261	-12,506	-19,2	1,36	-24	3,79



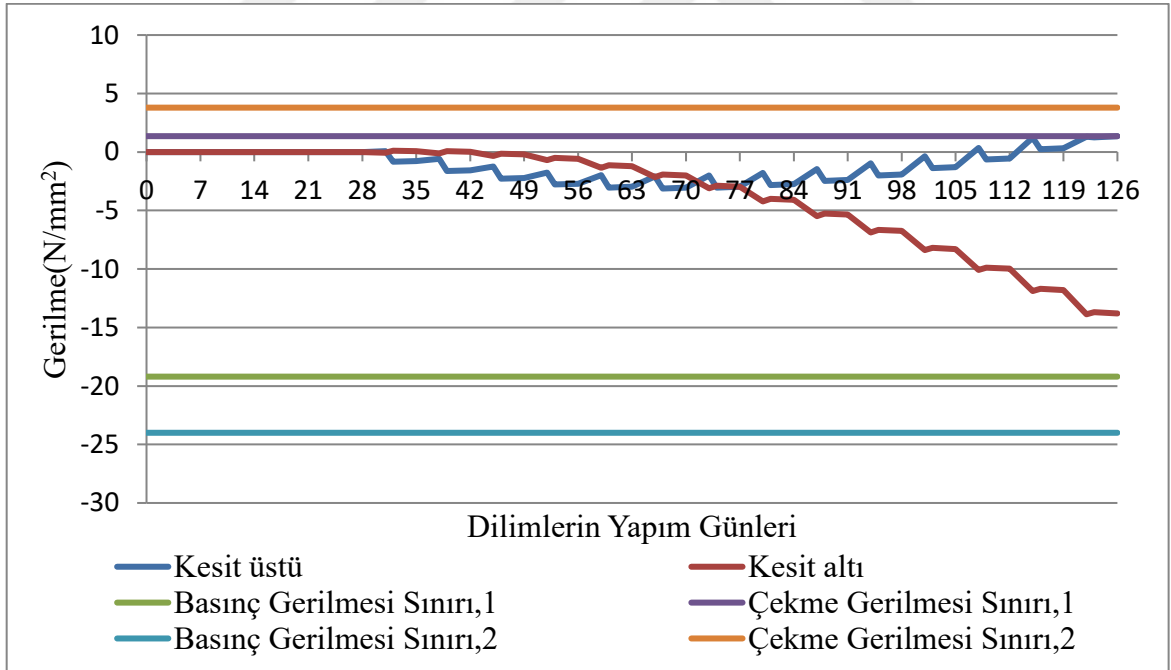
Şekil 3.17. 2. Dilimin yapım günlerine bağlı gerilme değişimi



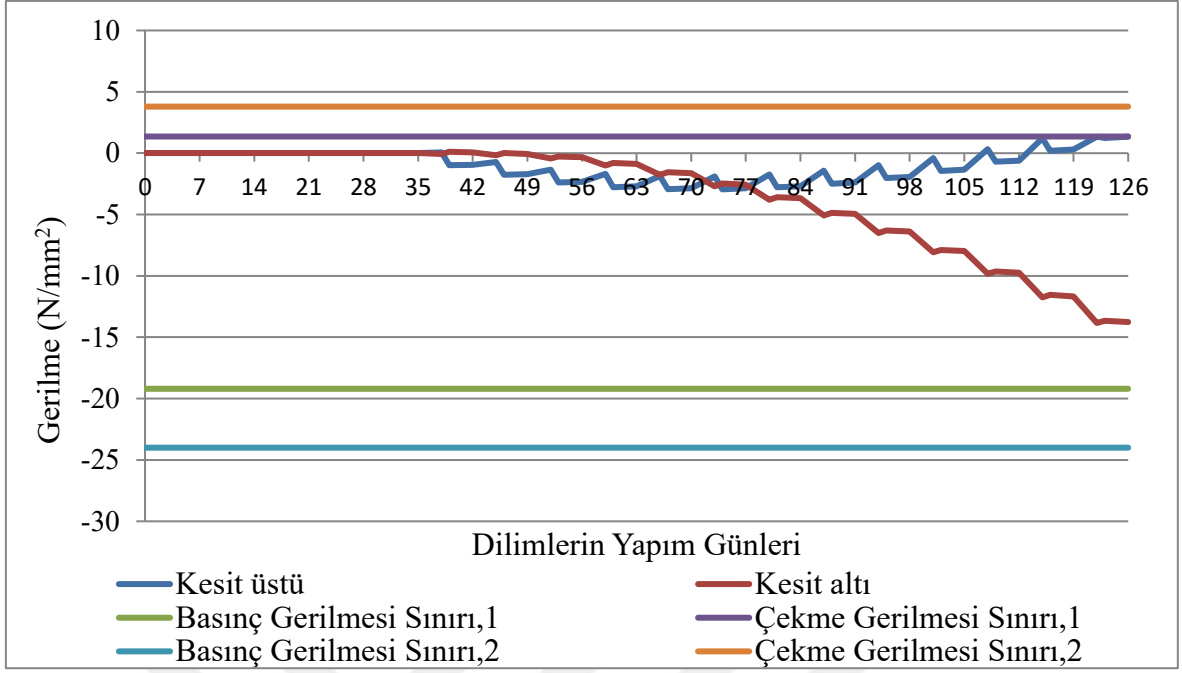
Şekil 3.18. 3. Dilimin yapım günlerine bağlı gerilme değişimi



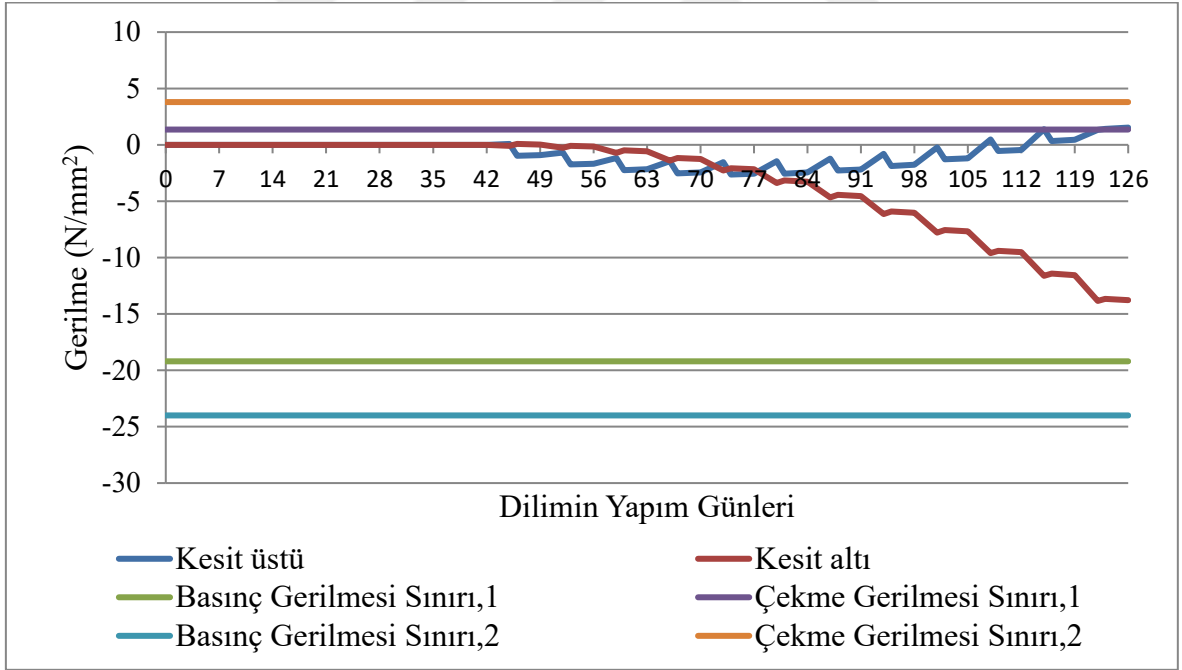
Şekil 3.19. 4. Dilimin yapım günlerine bağlı gerilme değişimi



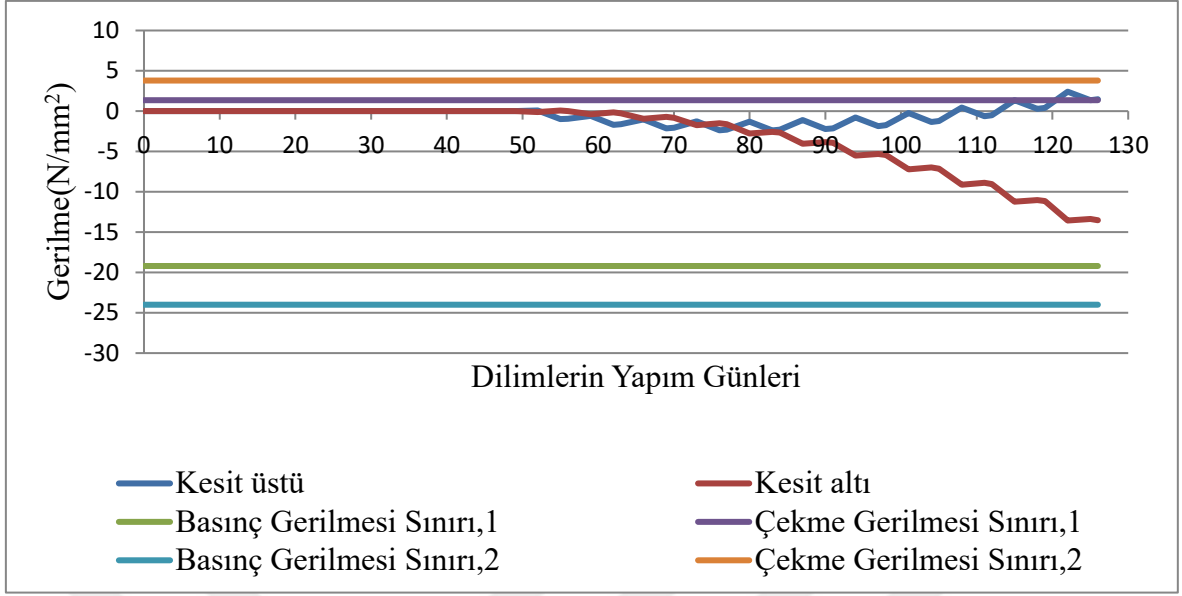
Şekil 3.20. 5. Dilimin yapım günlerine bağlı gerilme değişimi



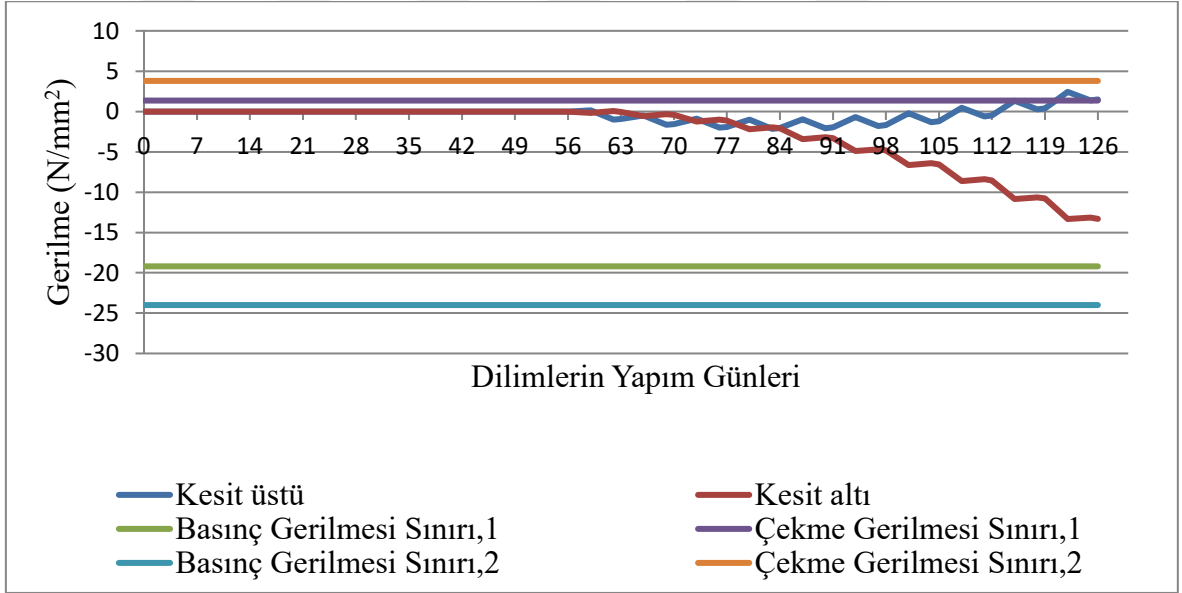
Şekil 3.21. 6. Dilimin yapım günlerine bağlı gerilme değişimi



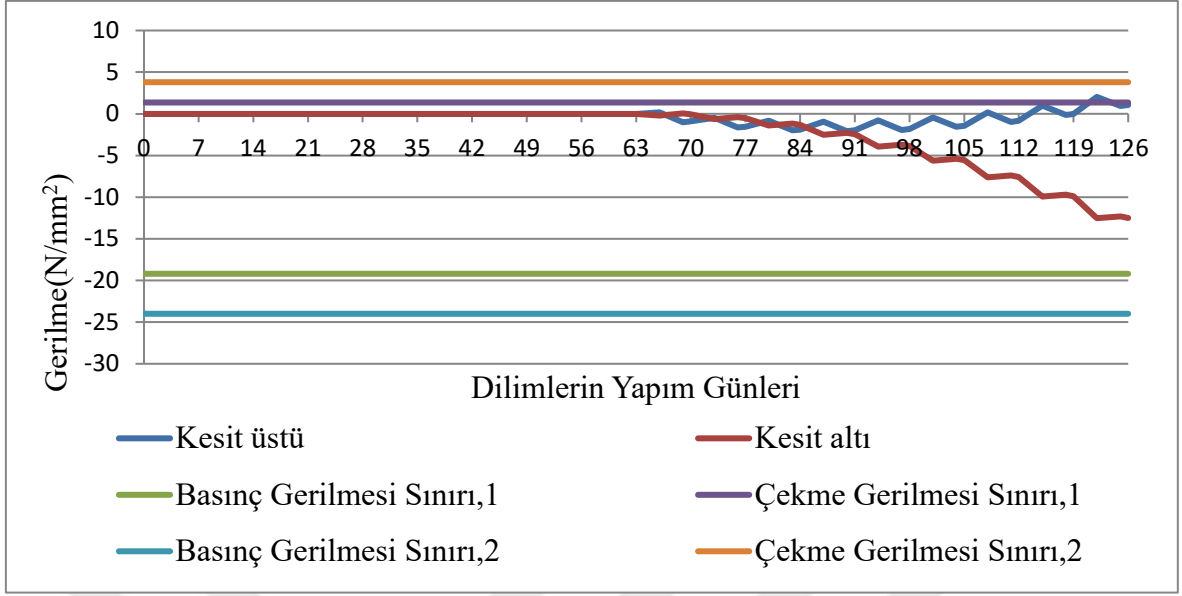
Şekil 3.22. 7. Dilimin yapım günlerine bağlı gerilme değişimi



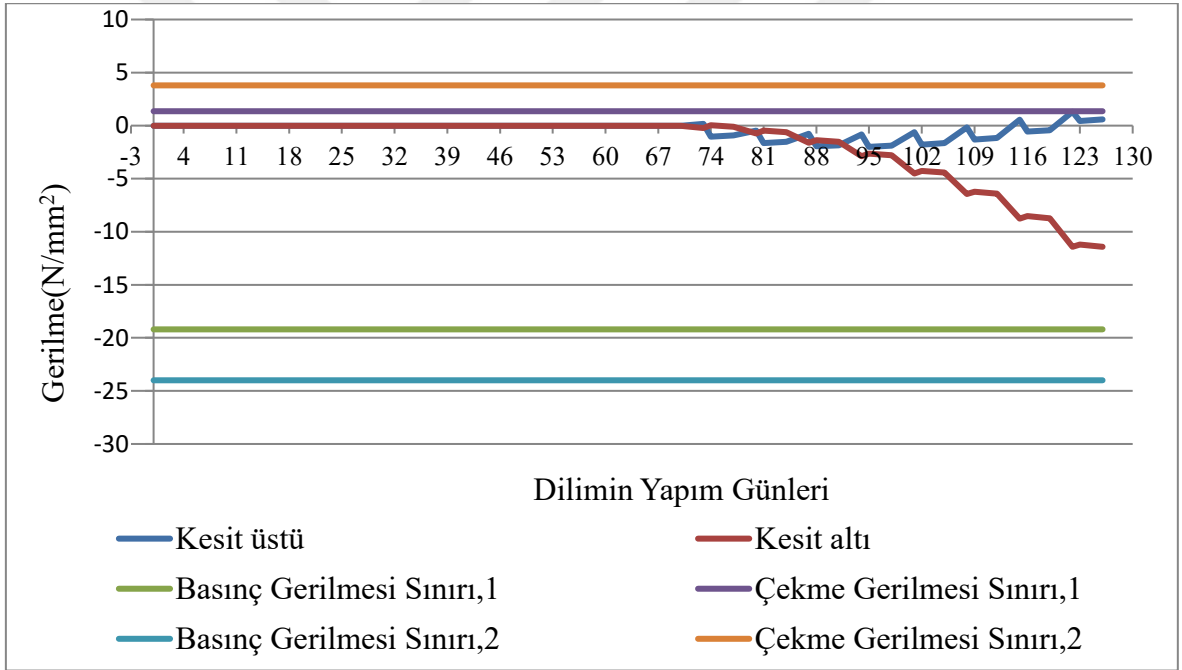
Şekil 3.23. 8. Dilimin yapım günlerine bağlı gerilme değişimi



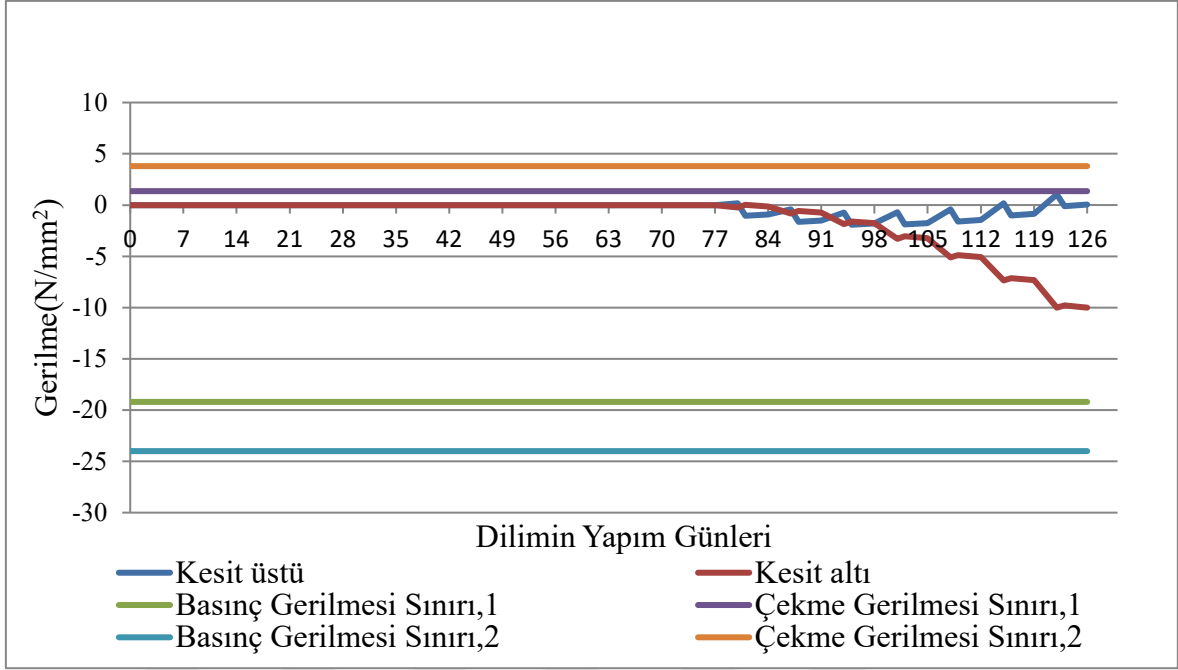
Şekil 3.24. 9. Dilimin yapım günlerine bağlı gerilme değişimi



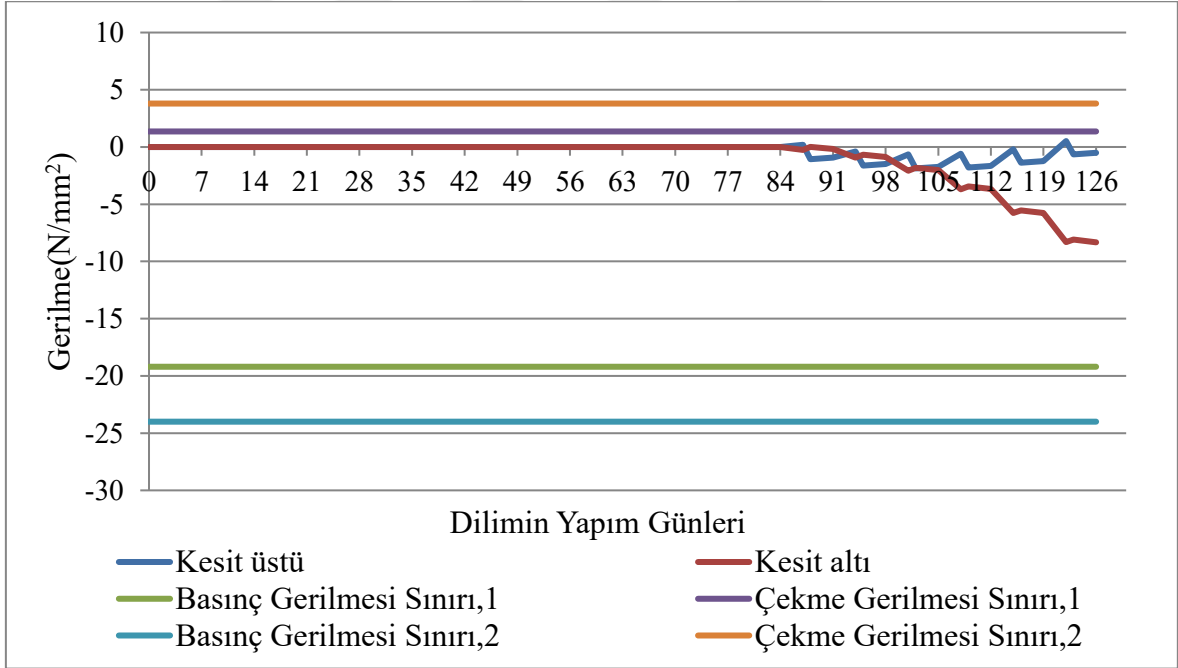
Şekil 3.25. 10. Dilimin yapım günlerine bağlı gerilme değişimi



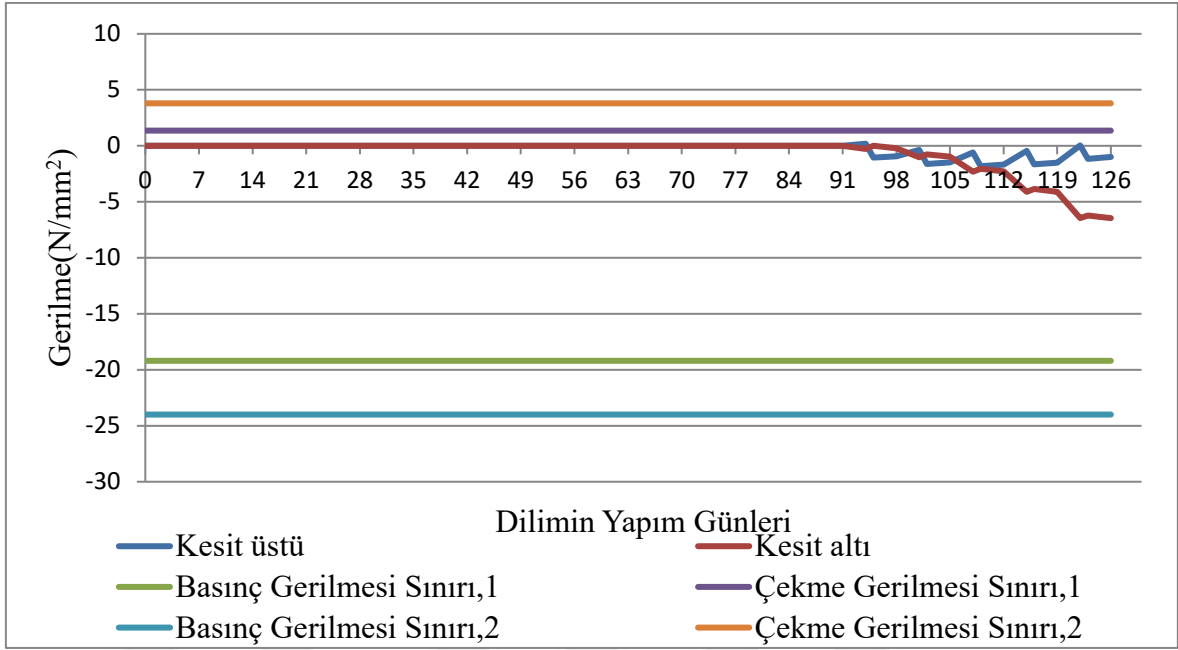
Şekil 3.6. 11. Dilimin yapım günlerine bağlı gerilme değişimi



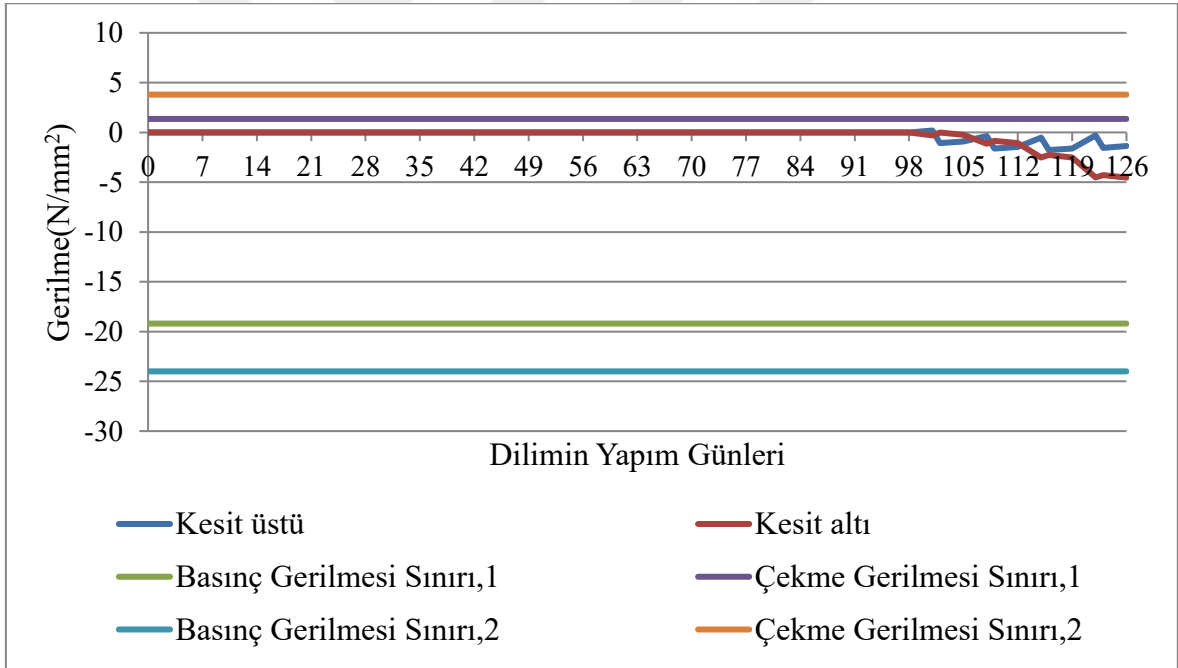
Şekil 3.27. 12. Dilimin yapım günlerine bağlı gerilme değişimi



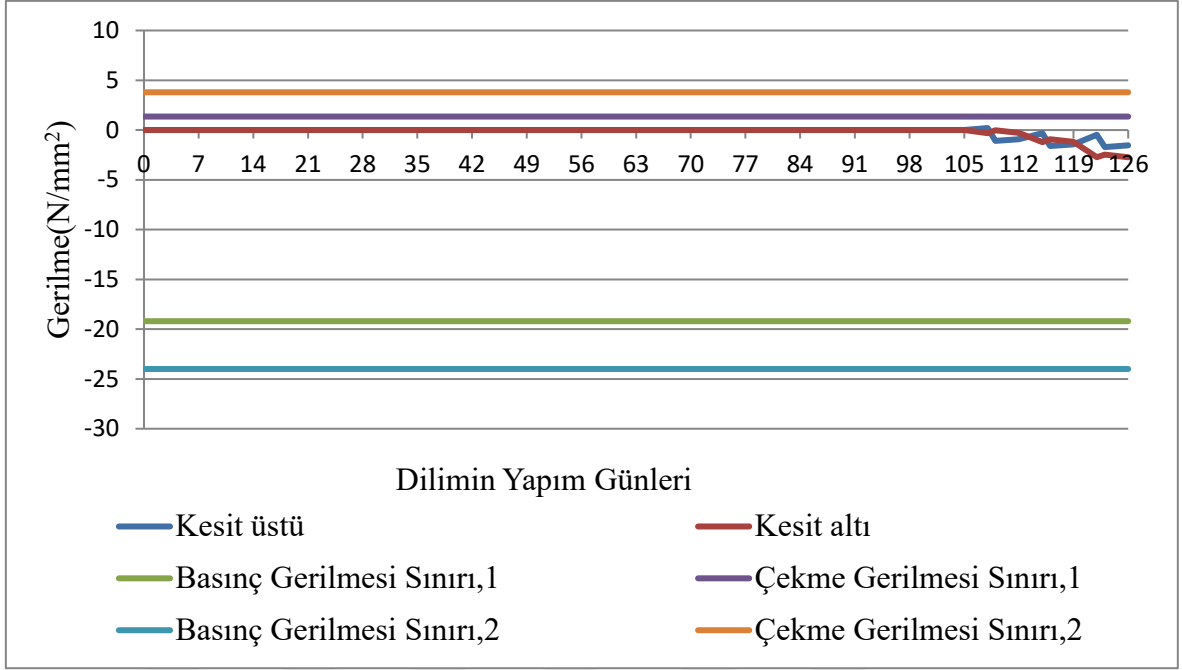
Şekil 3.28. 13. Dilimin Yapım günlerine bağlı gerilme değişimi



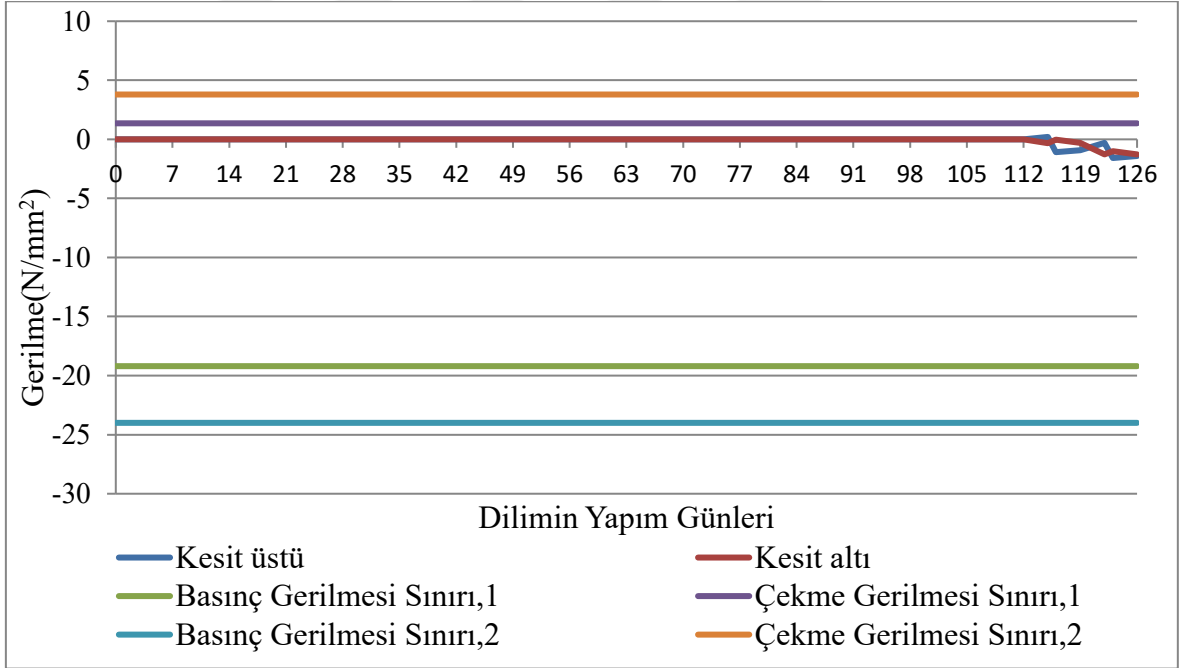
Şekil 3.29. 14. Dilimin yapım günlerine bağlı gerilme değişimi



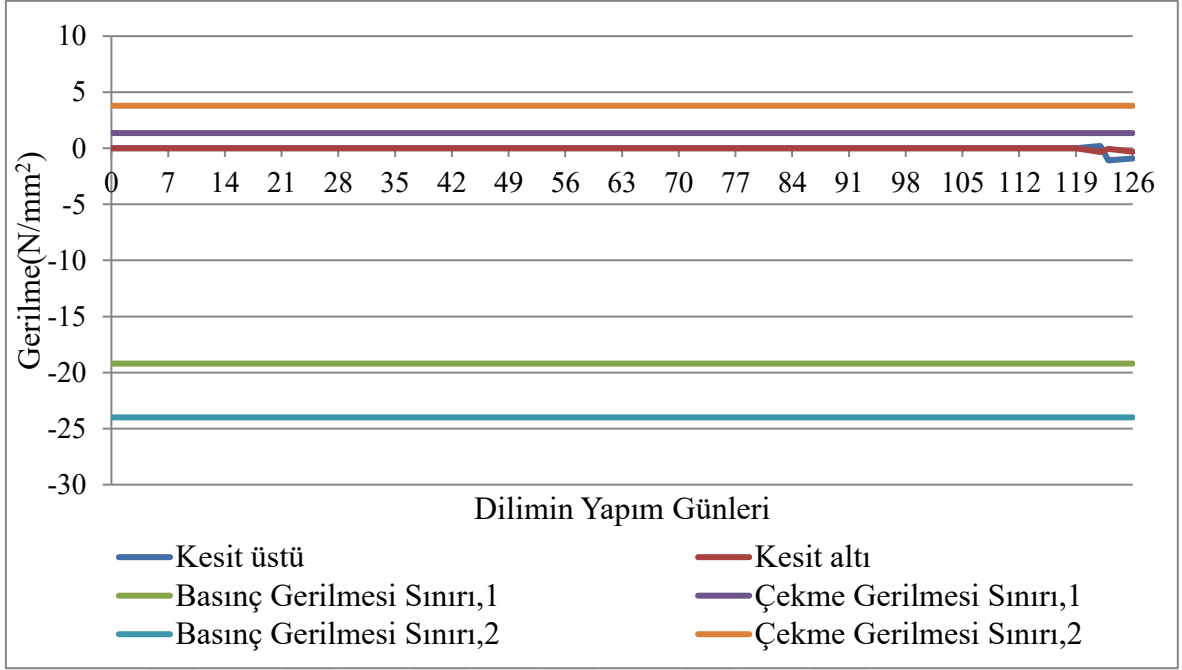
Şekil 3.30. 15. Dilimin yapım günlerine bağlı gerilme değişimi



Şekil 3.31. 16. Dilimin yapım günlerine bağlı gerilme değişimi



Şekil 3.32. 17. Dilimin yapım günlerine bağlı gerilme değişimi



Şekil 3.33. 18. Dilimin yapım günlerine bağlı gerilme değişimi

Şekil 3.17 – Şekil 3.33’den görüleceği üzere alt çekme sınır gerilme değeri bazı dilimlerde aşılsa da yönetmelikçe belirtilen gerilme üst değerinin dilimlerin tamamında aşılmadığı görülmektedir. Yapılan gerilme tahkikleri gösteriyor ki gerilme açısından güvenilir tarafta kalınmıştır.

3.1.3. Yapım Aşamasına Göre Yerdeğiştirme Değişimleri

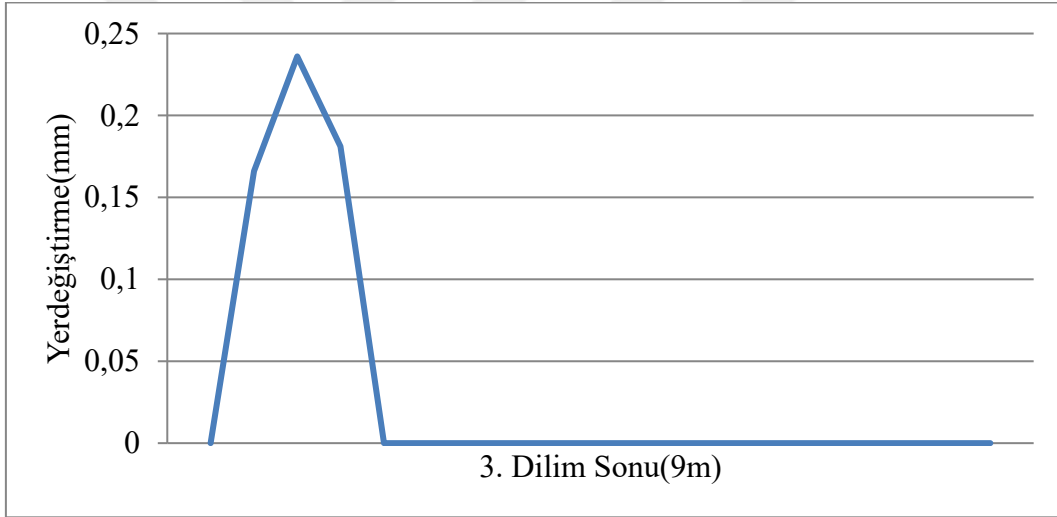
Bu bölümde her bir kesit için ayrı ayrı yerdeğiştirme hesabı yapılmıştır. SAP 2000 programı ile hesap edilen yerdeğiştirme değerleri excel programına aktarılmıştır. Excel yardımı ile yerdeğiştirme grafikleri çizilmiştir.



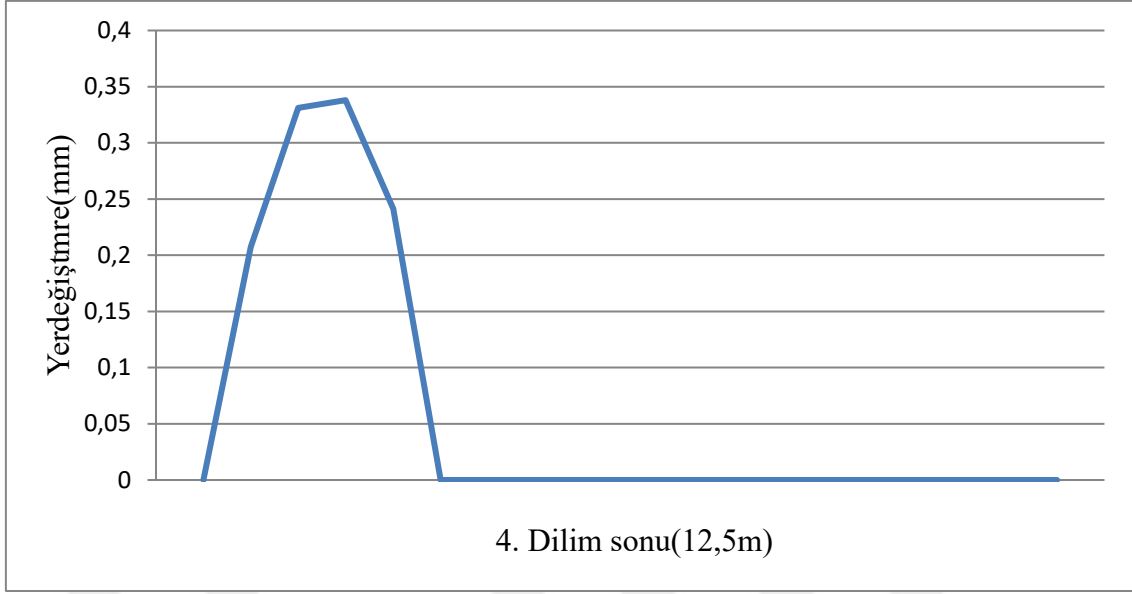
Şekil 3.34. 1. Dilimin yapımı sonucunda elde edilen yerdeğiştirme grafiği



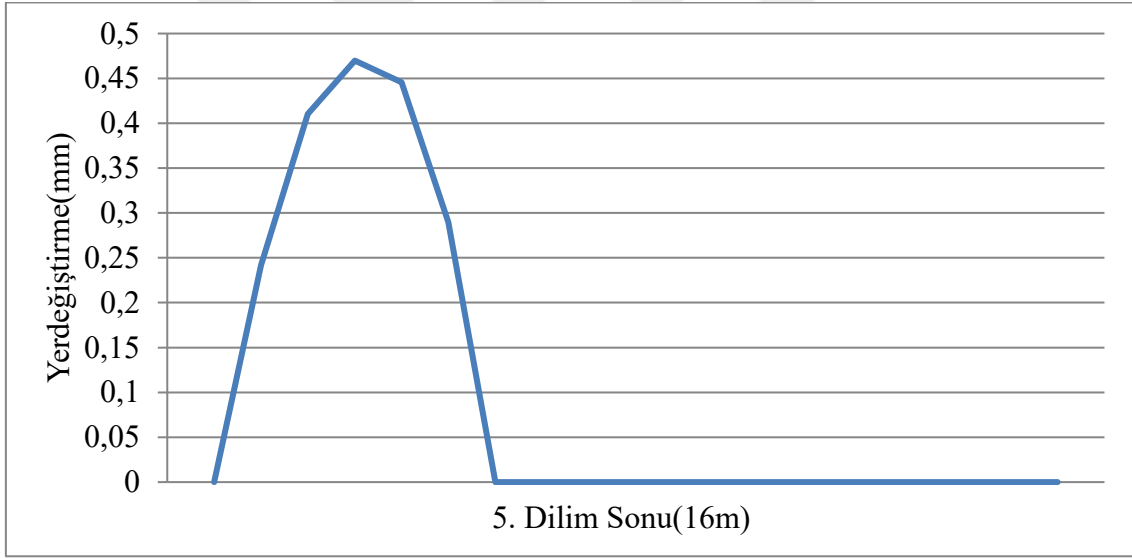
Şekil 3.35. 2. Dilimin yapımı sonucunda elde edilen yerdeğiştirme grafiği



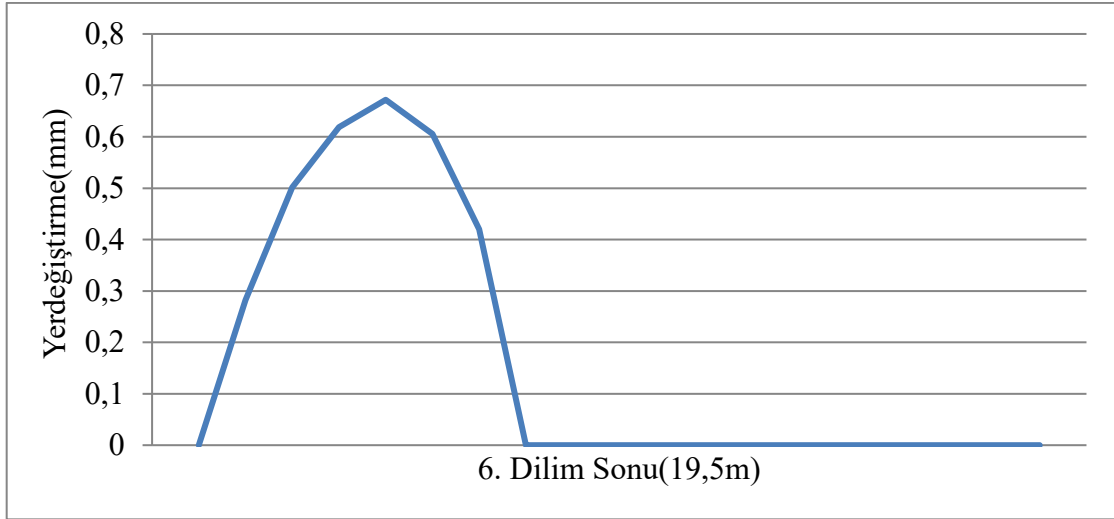
Şekil 3.36. 3. Dilimin yapımı sonucunda elde edilen yerdeğiştirme grafiği



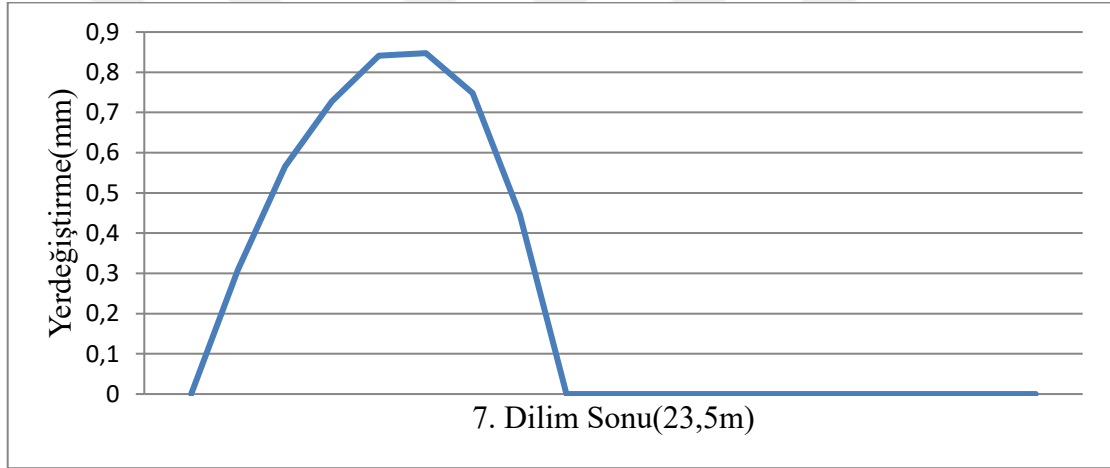
Şekil 3.37. 4. Dilimin yapımı sonucunda elde edilen yerdeğiştirme grafiği



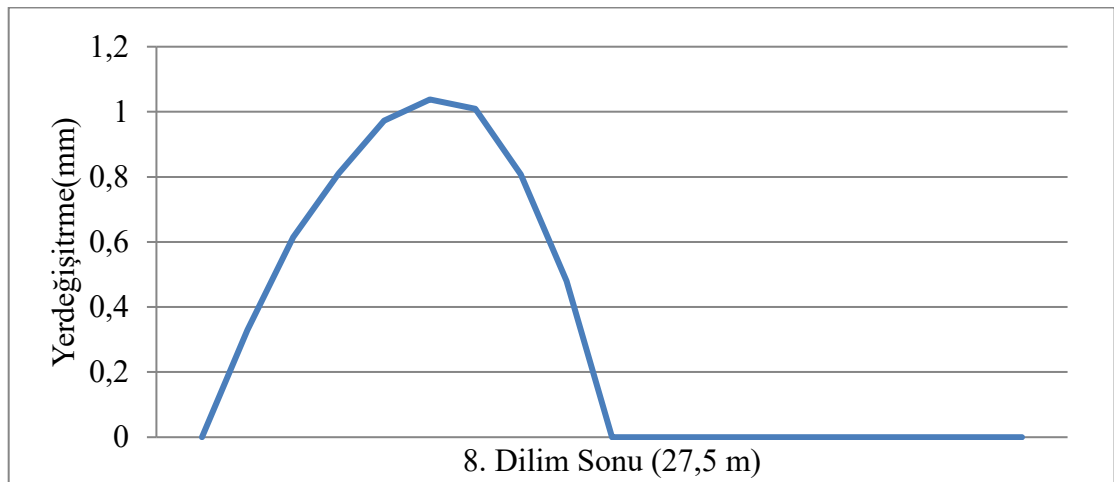
Şekil 3.38. 5. Dilimin yapımı sonucunda elde edilen yerdeğiştirme grafiği



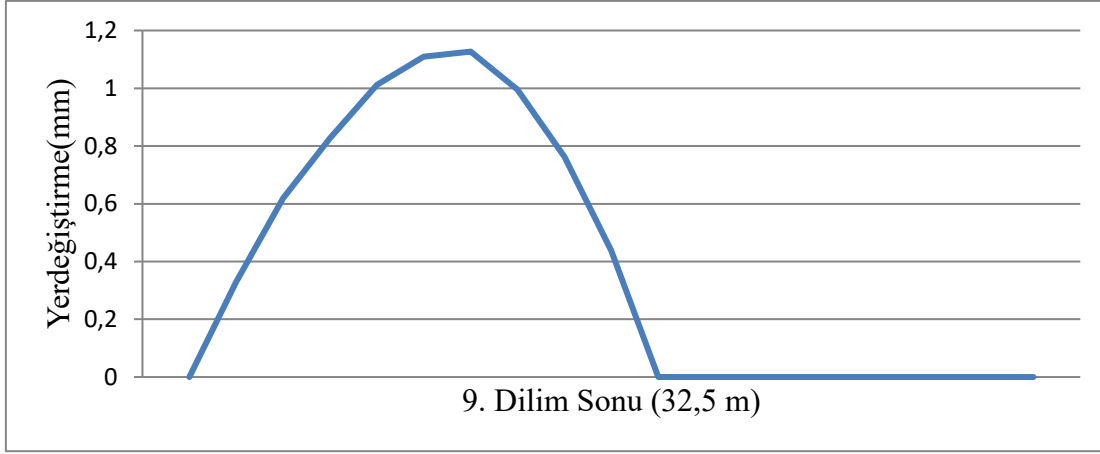
Şekil 3.39. 6. Dilimin yapımı sonucunda elde edilen yerdeğiştirme grafiği



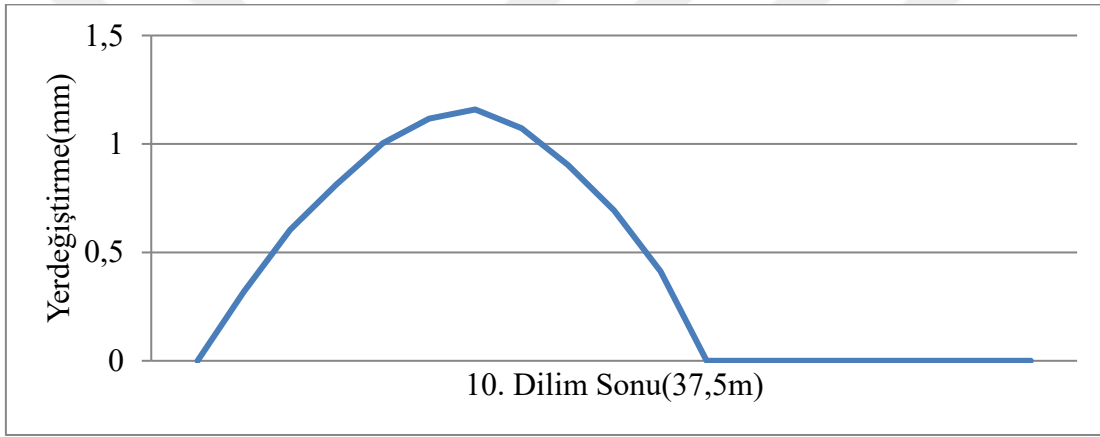
Şekil 3.40. 7. Dilimin yapımı sonucunda elde edilen yerdeğiştirme grafiği



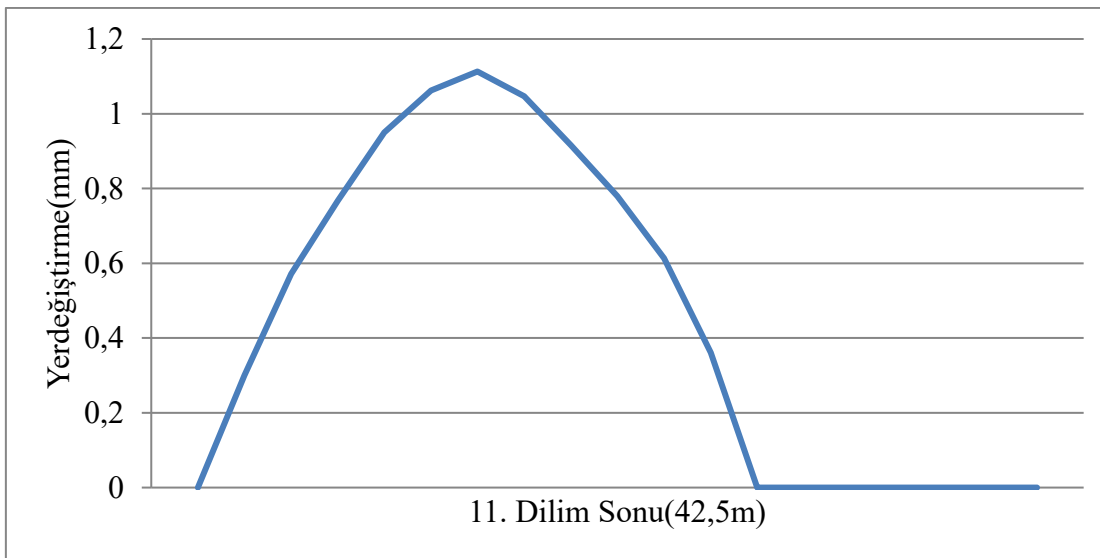
Şekil 3.41. 8. Dilimin yapımı sonucunda elde edilen yerdeğiştirme grafiği



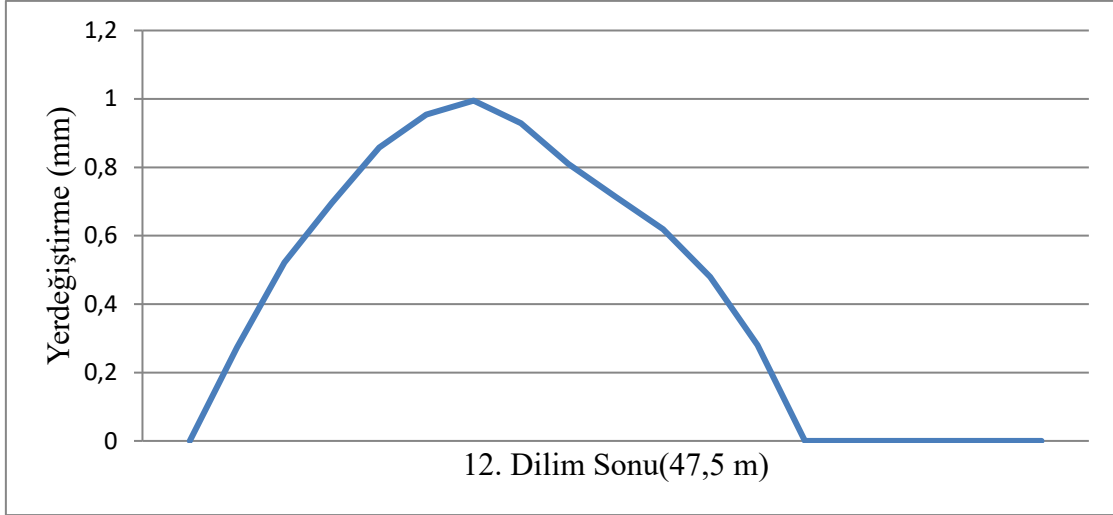
Şekil 3.42. 9. Dilimin yapımı sonucunda elde edilen yerdeğiştirme grafiği



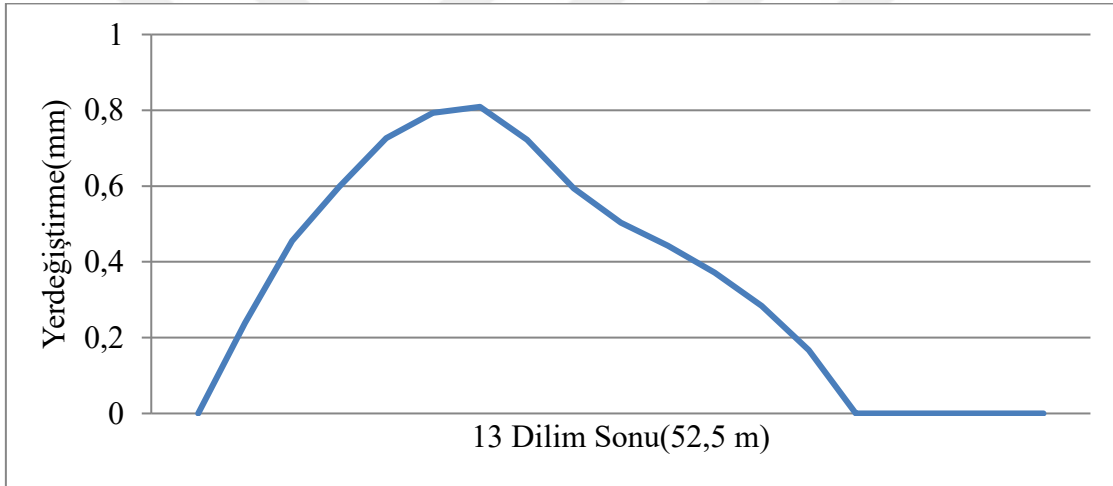
Şekil 3.43. 10. Dilimin yapımı sonucunda elde edilen yerdeğiştirme grafiği



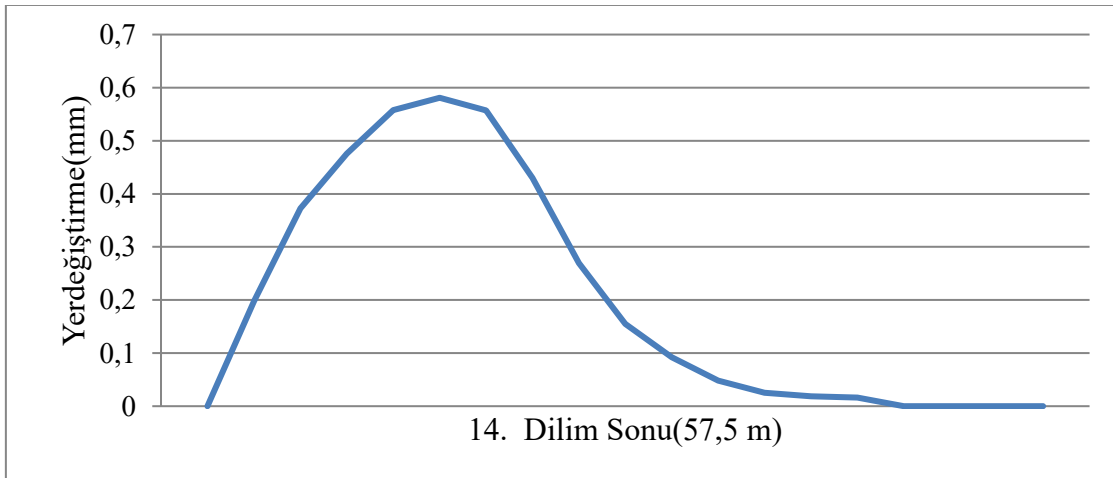
Şekil 3.44. 11. Dilimin yapımı sonucunda elde edilen yerdeğiştirme grafiği



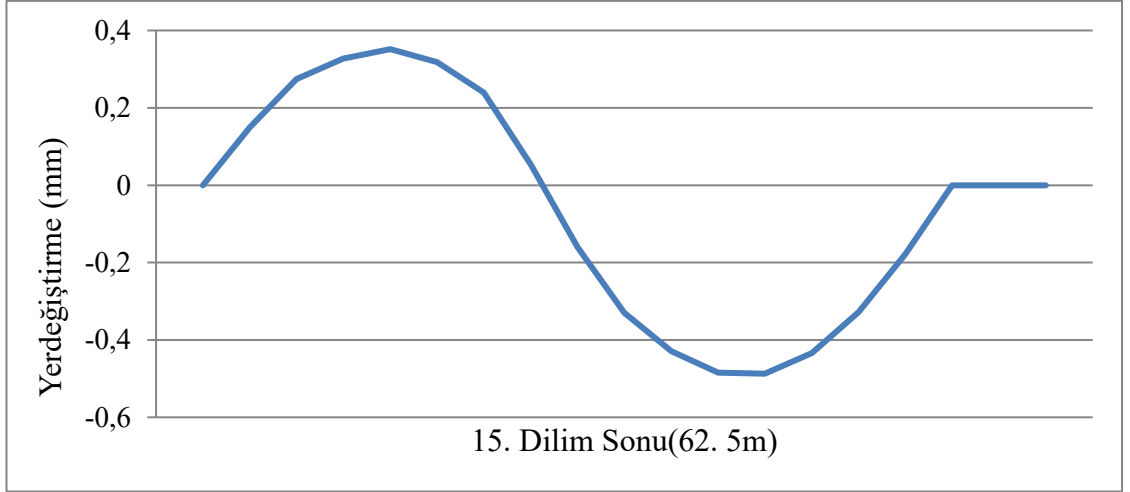
Şekil 3.45. 12. Dilimin yapımı sonucunda elde edilen yerdeğiştirme grafiği



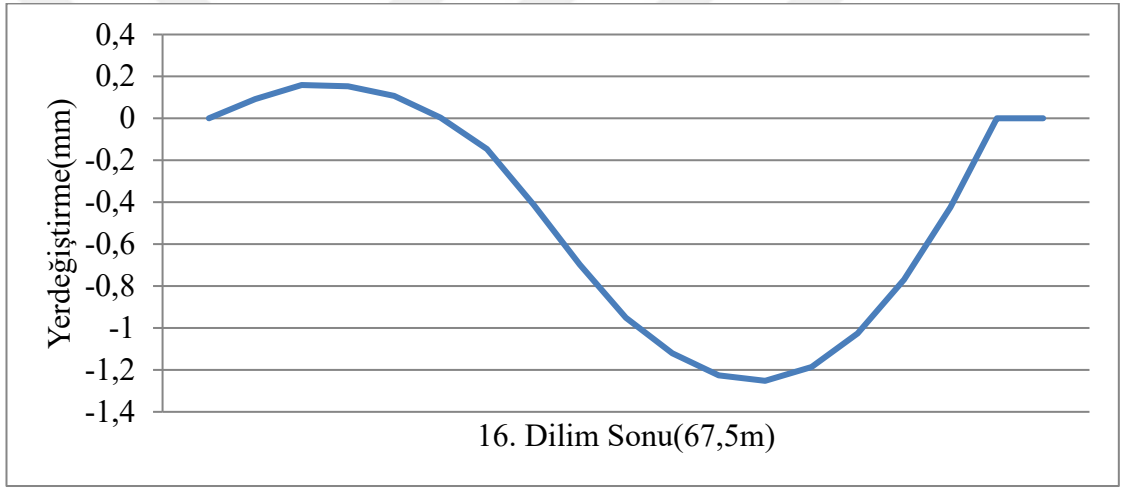
Şekil 3.46. 13. Dilimin yapımı sonucunda elde edilen yerdeğiştirme grafiği



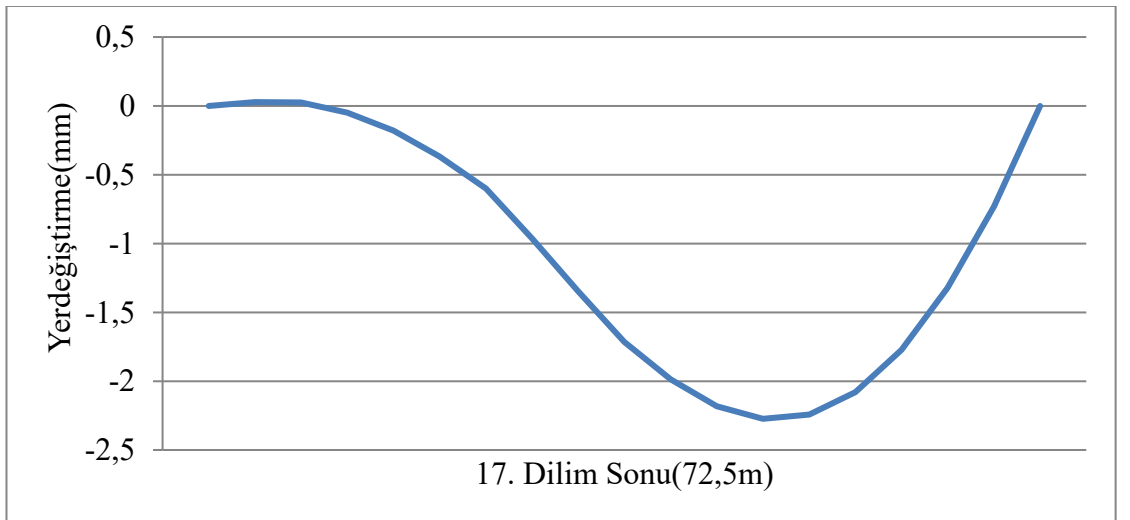
Şekil 3.47. 14. Dilimin yapımı sonucunda elde edilen yerdeğiştirme grafiği



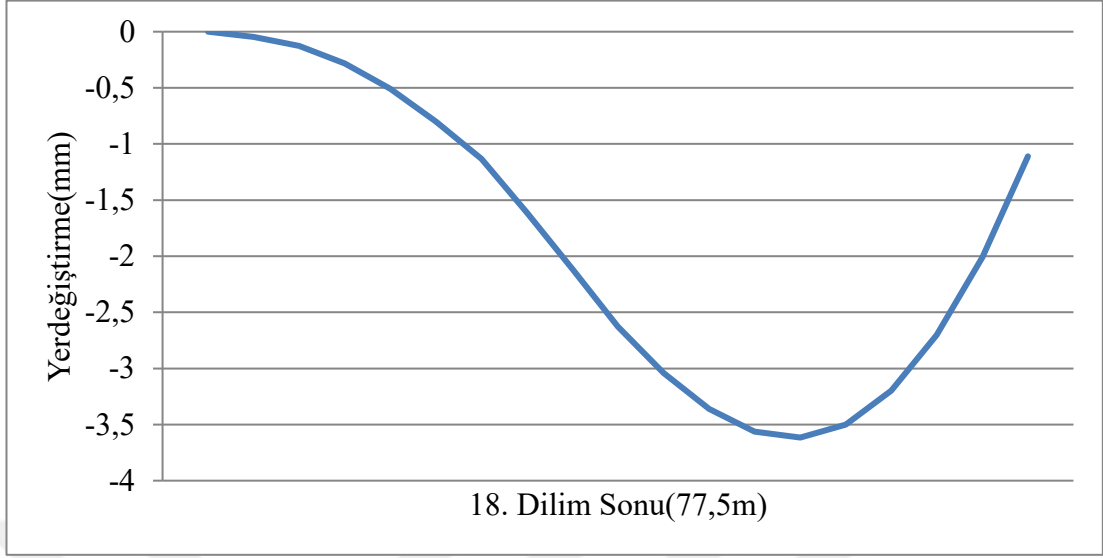
Şekil 3.48. 15. Dilimin yapımı sonucunda elde edilen yerdeğiştirme grafiği



Şekil 3.49. 16. Dilimin yapımı sonucunda elde edilen yerdeğiştirme grafiği



Şekil 3.50. 17. Dilimin yapımı sonucunda elde edilen yerdeğiştirme grafiği



Şekil 3.51. 18. Dilimin yapımı sonucunda elde edilen yerdeğiştirme grafiği

Şekil 3.51'de gösterildiği gibi 18. dilimin yapımıyla maksimum yerdeğiştirme 3,61 mm olarak elde edilmiştir. Şekil 3. 48. ile Şekil 3. 51. arasında yerdeğiştirme grafiği salınım göstermiştir. Bunun nedeni 14. dilimden sonra konulan kablolar küçülen tabliye kesitinde artık betonun aşağı yönde yaptığı yerdeğiştirme değerini yenmesinden kaynaklanmaktadır.

$$\text{Yerdeğiştirme Sınır Değeri} = \frac{L}{375} \quad (3. 5)$$

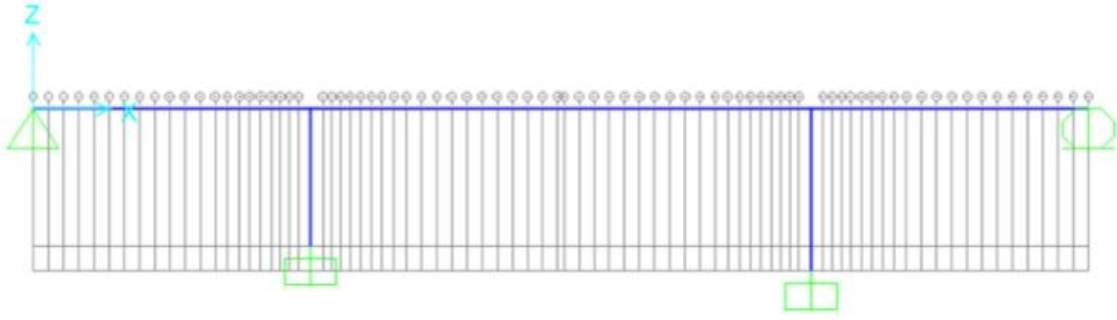
Denklem 3. 5'de tabliye yerdeğiştirme tahkiki ASHTO LRFD yönetmeliğine göre yapılmaktadır. Burada bulunan L başlık dilimine göre olan mesafedir. 1. Dilim için 3, 18. Dilim için 77, 5 m'dir. Yani aradaki mesafe dilimin başlangıç noktasına olan uzaklık değeridir. Tablo 3. 5'de belirtildiği gibi sınır değerler aşılmamıştır.

Tablo 3.5. Yerdeğiştirme sınır değer kontrolü

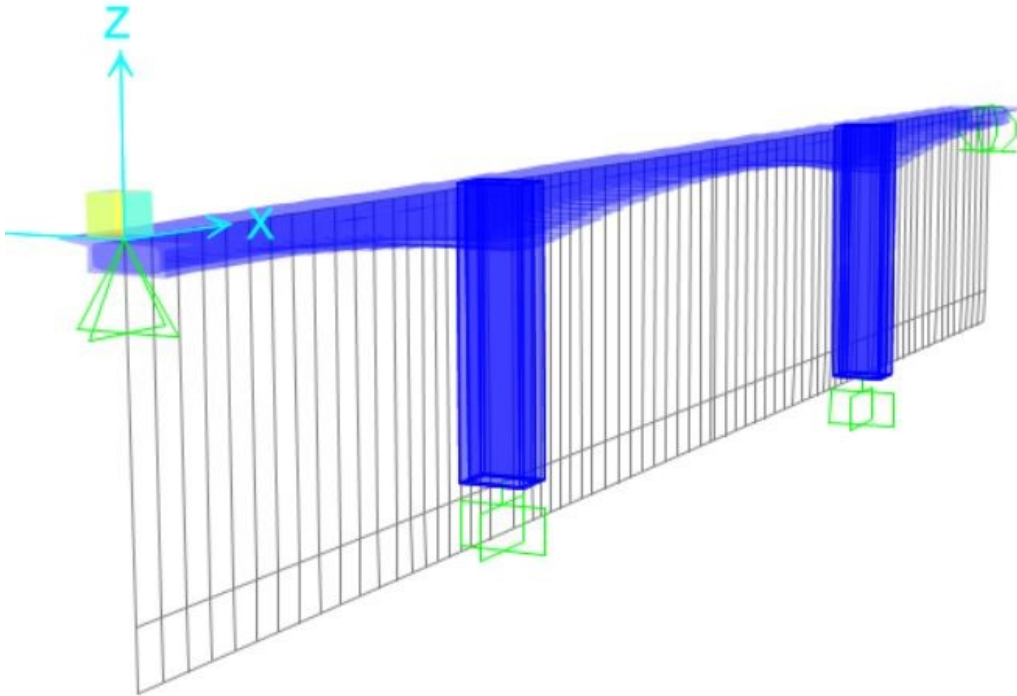
Dilim Adı	Dilimin Başlangıça Göre Uzaklığı (m)	Yerdeğiştirme Sınır Değeri (mm)	Yerdeğiştirme Değeri (mm)	Kontrol
1 nolu dilim	3	8	0,061	✓
2 nolu dilim	6	16	0,12	✓
3 nolu dilim	9	24	0,23	✓
4 nolu dilim	12,5	33	0,34	✓
5 nolu dilim	16	43	0,47	✓
6 nolu dilim	19,5	52	0,67	✓
7 nolu dilim	23,5	63	0,84	✓
8 nolu dilim	27,5	73	1,04	✓
9 nolu dilim	32,5	87	1,12	✓
10 nolu dilim	37,5	100	1,15	✓
11 nolu dilim	42,5	113	1,16	✓
12 nolu dilim	47,5	127	0,99	✓
13 nolu dilim	52,5	140	0,8	✓
14 nolu dilim	57,5	153	0,58	✓
15 nolu dilim	62,5	167	0,48	✓
16 nolu dilim	67,5	180	1,25	✓
17 nolu dilim	72,5	193	2,27	✓
18 nolu dilim	77,5	207	3,61	✓

3.2. SAP 2000 İle Dengeli Konsol Köprünün Sürekli Kiriş Olarak Analizi

Sürekli kiriş analizi için öncelikle güzergah tayini yapılmıştır. Yapılan güzergah tayini sonunda temel, köprü ayağı,ve tabliye yerleşim planı Şekil 3.52’de olduğu gibi yapılmıştır. Tabliye kesiti ise Şekil 3.53’de görüleceği üzere lineer olarak artıp azalmaktadır.



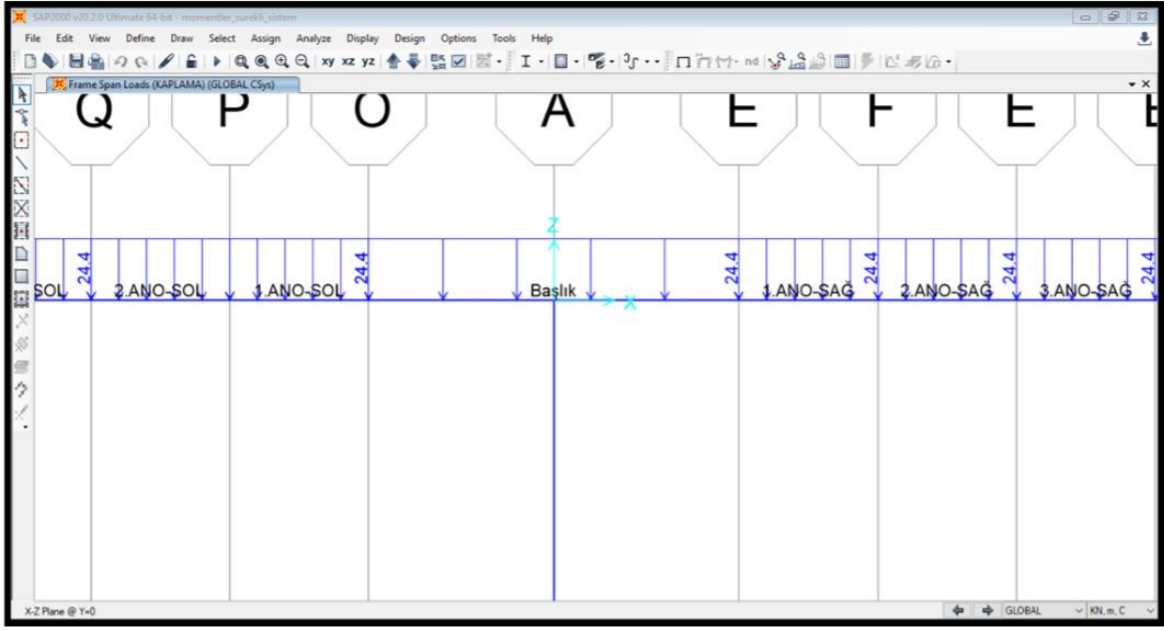
Şelik 3.52. Modelin genel görünüşü



Şekil 3.53. Dengeli konsol köprünün 3D sonlu eleman modeli

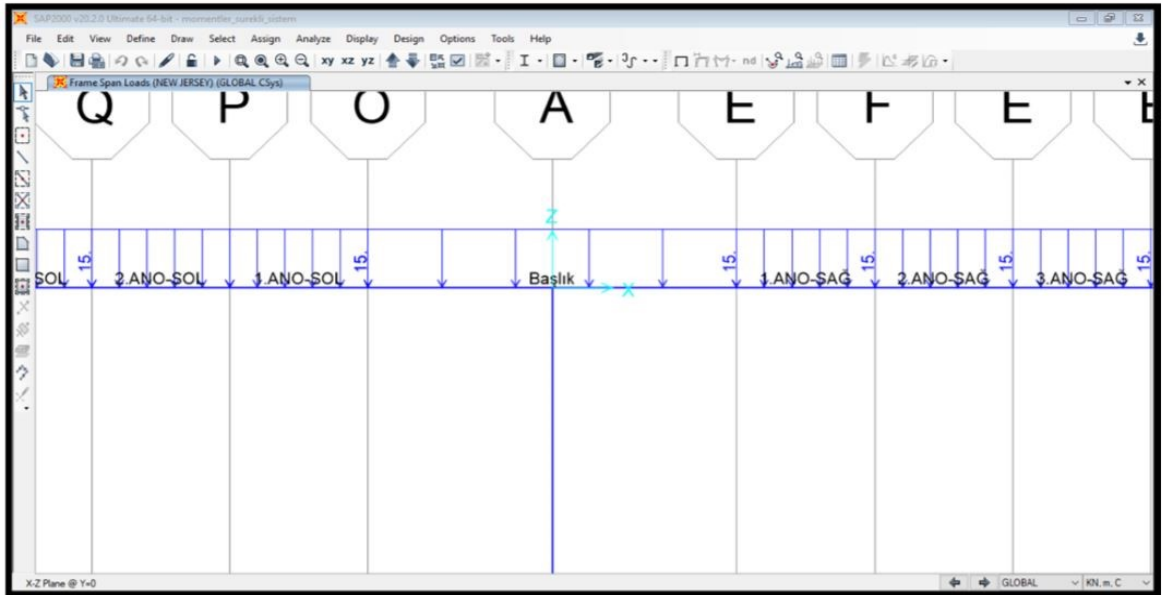
Öncelikle modele asfalt yükü etki ettirilmiştir. Burada 18, 5 metre genişliğinde yola 22kN/m^3 birim ağırlık ile 0,06 m asfalt yapılmıştır.

$18,5\text{m} \cdot 22\text{kN/m}^3 \cdot 0,06\text{m} = 24,4\text{kN/m}$ olarak hesap edilmiştir.



Şekil 3.54. Asfalt yüklerinin etki ettirilmesi

Şekil 3.55. gösterilen kaldırım taşı yükü $0,30\text{m}^2 \cdot 2 \cdot 25\text{kN/m}^3 = 15\text{kN/m}$ olarak etki ettirilmiştir.

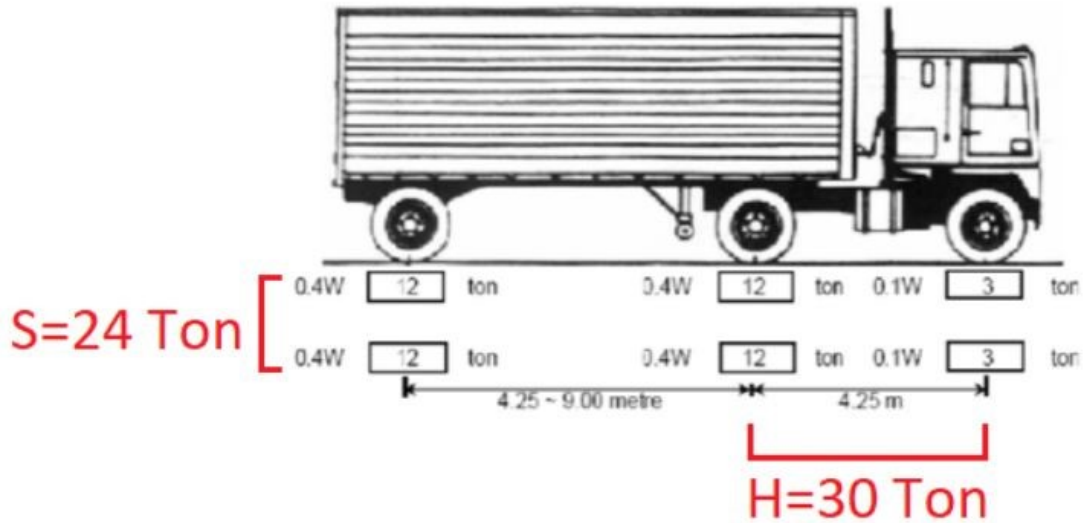


Şekil 3.55. Kaldırım yüklerinin oluşturulması

Şekil 3.56’de gösterilen kamyon yükleri aracın dingil ağırlığına göre AASHTO LRFD yönetmeliğinde hesaplanmıştır. Bu yönetmelikte yolun şerit sayısına göre 2 şerit için 0,90 ve 3 şerit için 0,75 olacak şekilde katsayılar verilmiştir. Yani en kritik andaki duruma göre

çözüm yapılacak olduğu için 3 kamyonun aynı anda şeritlerinden geçme durumu hesap edilmesi daha güvenli tarafta kalmayı sağlayacaktır. Bundan hareketle;

H30-S24 kamyon yükünün uygulanması: $60 \times 3 \times 0,75 = 135 \text{ kN}$; $240 \times 3 \times 0,75 = 540 \text{ kN}$ burada 60 ve 240 kN kamyon yükünü 3 şerit sayısını 0,75 ise şerit sayısına göre azaltma katsayısını göstermektedir.



Şekil 3.56. H30-S24 kamyon yüklemesi

The screenshot shows the 'Vehicle Data' dialog box. The 'Vehicle name' field contains 'H30-S24'. The 'Units' dropdown is set to 'KN, m, C'. The 'Load Elevation' section has three downward arrows. The 'Loads' table has the following data:

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Axle Load
Leading Load	Infinite	Infinite	0.	135.
Fixed Length	4.25	4.25	0.	540.
Fixed Length	8.5	8.5	0.	540.

Below the table are buttons for 'Add', 'Insert', 'Modify', and 'Delete'. At the bottom, there is a checkbox for 'Vehicle Remains Fully In Path' which is unchecked, and 'OK' and 'Cancel' buttons.

Şekil 3.57. H30-S24 kamyon yükü ve yükleme datalarının oluşturulması-1

Load Case Data - Moving Load

Load Case Name: KAMYON [Set Def Name] Notes: [Modify/Show...]

Load Case Type: Moving Load [Design...]

Stiffness to Use:

☒ Zero Initial Conditions - Unstressed State

☐ Stiffness at End of Nonlinear Case

Important Note: Loads from the Nonlinear Case are NOT included in the current case

Directional Factors: 1. []

MultiPath Scale Factors:

Number of Paths Loaded: 1

Reduction Scale Factor: 1. [Modify]

Mass Source: MSSSRC1 [OK] [Cancel]

Loads Applied:

Assign Number	Vehicle Class	Scale Factor	Min Loaded Paths	Max Loaded Paths	Paths Loaded
1	H30-S24	1.	0	0	All

[Add] [Modify] [Delete]

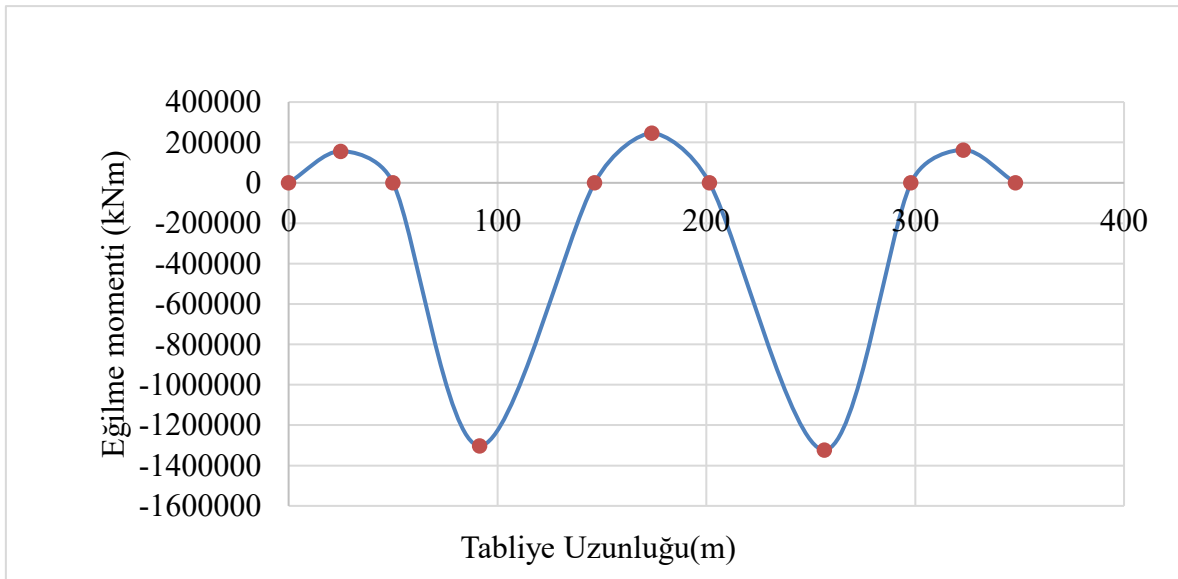
Paths Loaded for Assignment 1:

List of Path Definitions: []

Selected Path Definitions: H30-S24

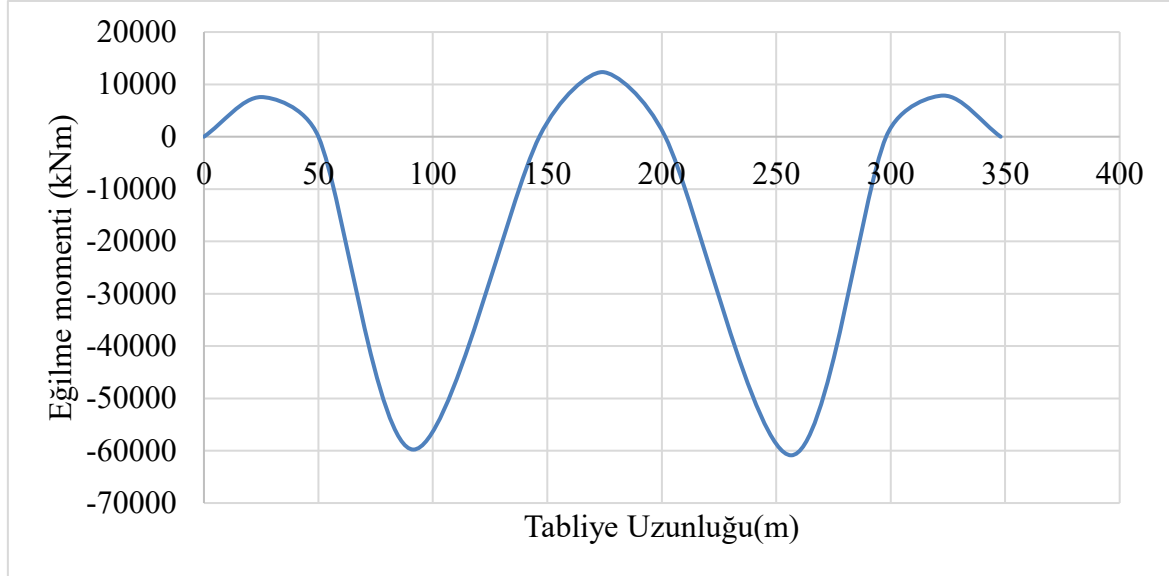
Şekil 3.58. Kamyon yükü durumlarının oluşturulması-2

Yapılan hesaplama sonucu ölü yük maksimum negatif eğilme momenti 1323329 kNm olarak elde edilmiştir. Ölü yük etkisi altında açıklık ortasında maksimum pozitif eğilme momenti= 245543 kNm olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.59. Ölü yük etkisi altında eğilme momenti diyagramı

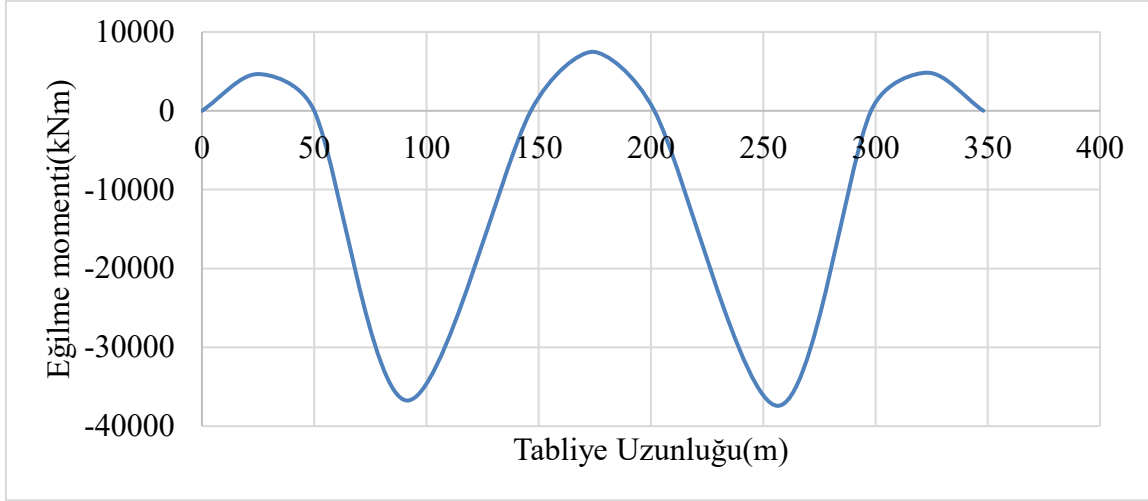
Şekil 3.60’da görüleceği üzere kaplama yükünden elde edilen maksimum negatif eğilme momentii 60878 kNm olarak bulunmuştur. Yapılan hesaplamalar sonucunda Şekil 3. 60’da görüleceği üzere maksimum pozitif eğilme momenti 12330 kNm olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.60. Kaplama yükü etkisi altında eğilme momenti diyagramı

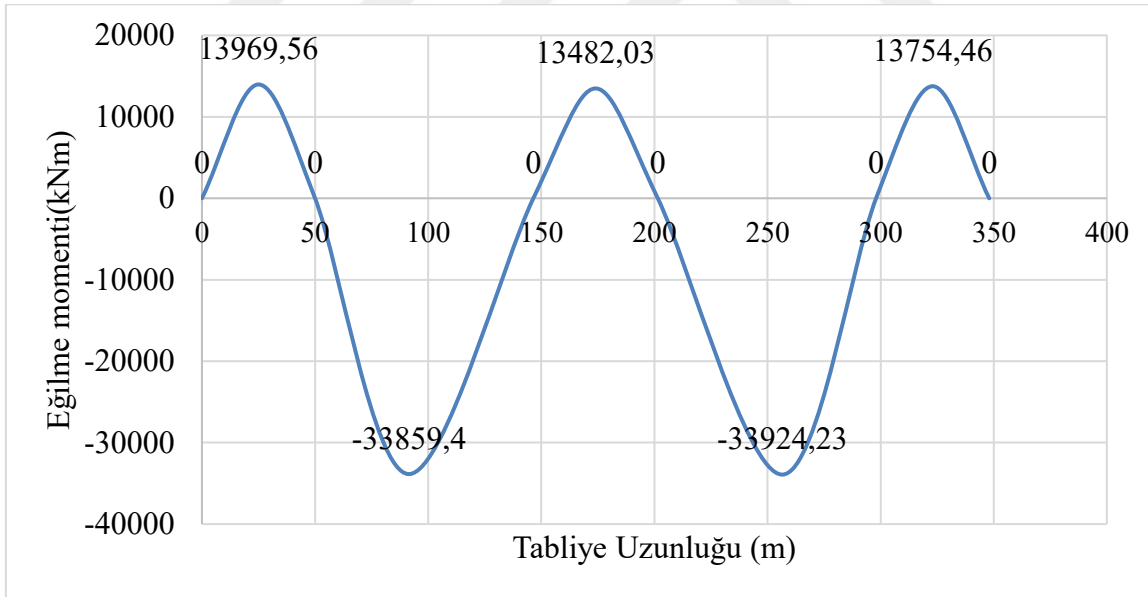
Kara yolu tipi New Jersey beton bariyeri kara ulaşımında araç trafiğini ayırmak için kullanılan betondan yapıdır, araçların çarpması durumunda oluşacak hasarı azaltmak için özel olarak tasarlanmış bir beton elemanıdır. Burada bundan kaynaklı eğilme momenti hesabı Şekil 3. 61’de yapılmıştır. Şekil 3. 61’de New Jersey yükünden kaynaklı elde edilen maksimum negatif eğilme momenti= 37425 kNm olarak hesaplanmıştır.

New Jersey yük açıklık ortasında Max pozitif eğilme momenti= 7580 kNm olarak çözümü yapılmıştır.



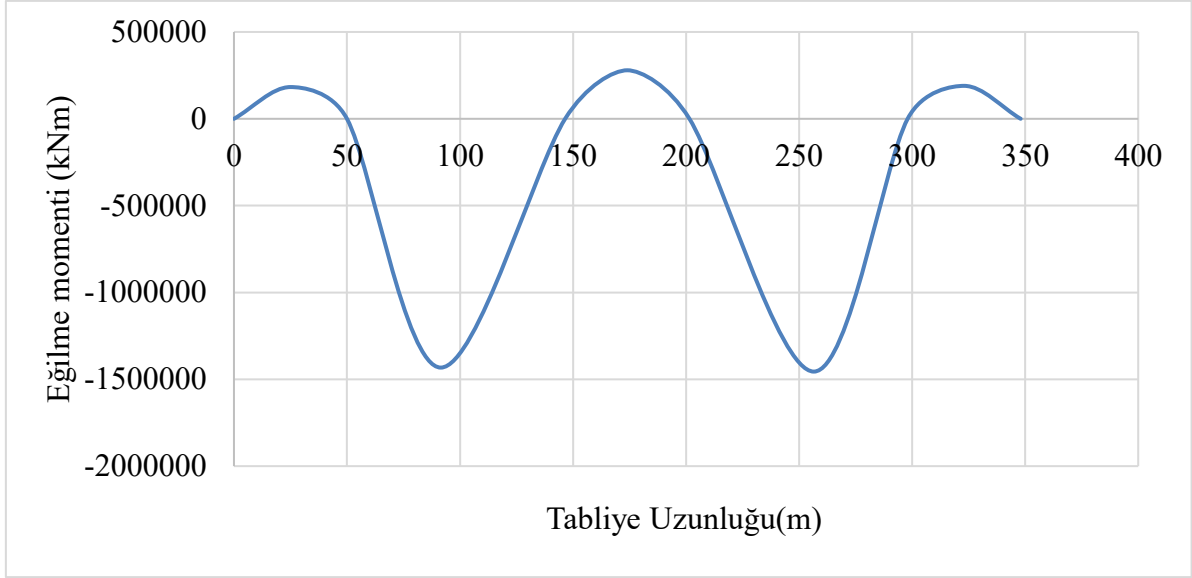
Şekil 3.61. New Jersey yükünden kaynaklı eğilme momenti diyagramı

Kamyon yükünden kaynaklı maksimum negatif eğilme momenti 33874 kNm olarak hesap edilmiştir. Kamyon yükünden kaynaklı açıklık ortasında maksimum pozitif eğilme momenti = 13527 kNm olarak hesabı yapılmıştır.



Şekil 3.62. Kamyon yükünden kaynaklı eğilme momenti diyagramı

Servis aşamasında toplam yükten meydana gelen eğilme momenti diyagramı (Ölü+Kaplama+New Jersey+Kamyon yükleri) Şekil 3. 63’de olduğu gibi birleştirilmiş halde gösterilmiştir.



Şekil 3.63. Servis durumunda toplam yükten kaynaklı maksimum negatif eğilme momenti

Servis durumunda toplam yükten maksimum negatif eğilme momenti= 1455557 kNm olarak hesap edilmiştir. Sürekli sistem analizinde toplam yükten oluşan max negatif eğilme momenti toplam yükten kaynaklı pozitif eğilme momenti= 279400 kNm olarak hesap edilmiştir.

Servis aşamasında elde edilen maksimum eğilme momenti değeri 1455557 kNm'dir.

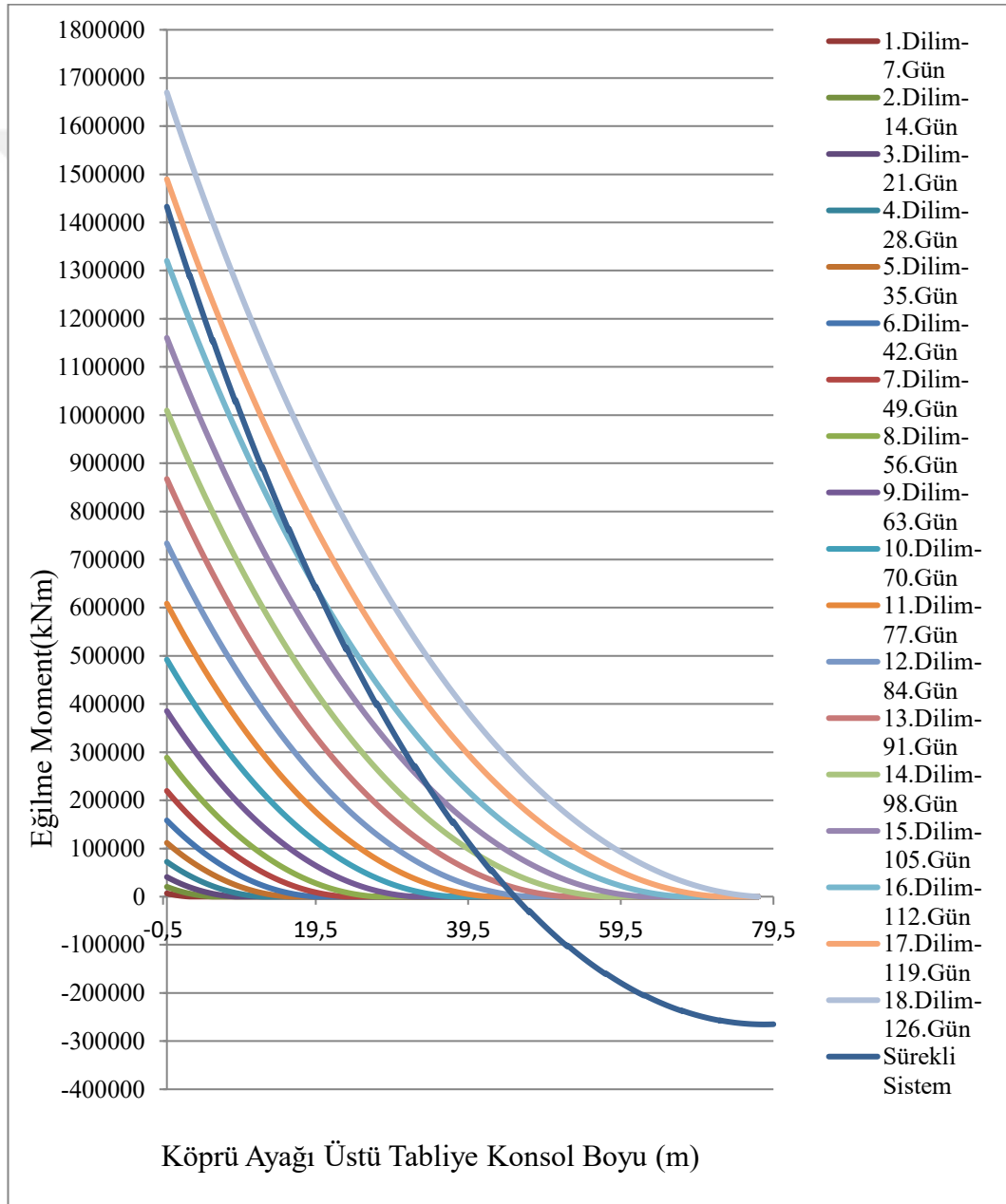
Görüldüğü gibi servis aşamasında elde ettiğimiz max negatif eğilme momenti 1455557 kNm yapım aşamasında elde ettiğimiz maksimum negatif eğilme momenti Şekil 3. 64' de görüleceği üzere 1669925 kNm'dur.



Şekil 3.64. Yapım aşamasında toplam yükten maksimum negatif eğilme momenti

Yapılan alaniz sonucu göstermektedir ki dengeli konsol kesit üstü halat hesabında kullanılması gereken eğilme momenti yapım aşamasından gelen eğilme momenti değeridir. Çünkü bu değer daha büyük çıkmıştır.

Şekil 3.65’ de gösterilen grafikte yapım aşamasına ve sürekli sistem haline göre eğilme momenti karşılaştırması yapılmıştır. Grafikte koyu mavi olan sürekli sistem halindeki eğilme momenti diyagramıdır. Diğerleri ise dilimlerin yapımı sonunda elde edilen eğilme momenti diyagramıdır. Burada birinci dilimin sonunda elde edilen eğilme momentinden başlamak üzere her yapılan dilim sonrasında eğilme momenti hesap edilmiştir.



Şekil 3.65. Yapım Aşaması ve sürekli sistem eğilme momenti karşılaştırması

3.3. Dengeli Konsol Köprünün Dinamik Analizi

Modelin deprem analizi için Düzce Deprem kayıtları kullanılmıştır. Bunun için Pasifik Araştırma Merkezinden deprem ivme kayıtları 0,01 saniyelik aralıktaki veriler olacak şekilde indirilmiştir. Bu kayıtlar Seismosignal 2018 programı ile düzenlenmiştir. Bunun akabinde bu veriler SAP 2000 programına yüklenmiş ve deprem analizi yapılmıştır.

Tablo 3.7’de Düzce Deprem kayıtlarının etki sınıfları verilmiştir. Depremin Pgv/pga değeri 0,1 den büyük olması durumunda , depremin odak noktası 10 km az ve 6,5 şiddetinden büyük olan depremler yakın fay etkisi gösteren deprem kayıtlarıdır. Bu depremin etkisi daha yüksektir.

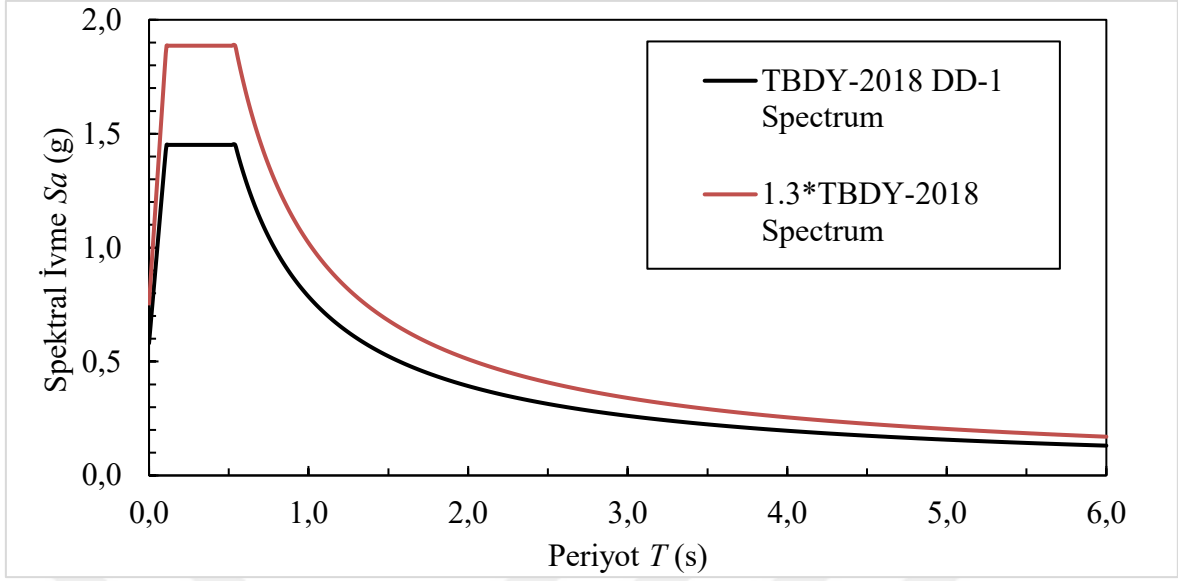
Tablo 3.6.Kullanılan deprem kayıtları

Sıra No	Kayıt Adı	Deprem Adı	Yılı	İstasyon
1	1612_E	Düzce	1999	Lamont 1059
2	1612_N	Düzce	1999	Lamont 1059
3	1611_E	Düzce	1999	Lamont 1058
4	1611_N	Düzce	1999	Lamont 1058
5	1617_E	Düzce	1999	Lamont 375
6	1617_N	Düzce	1999	Lamont 375

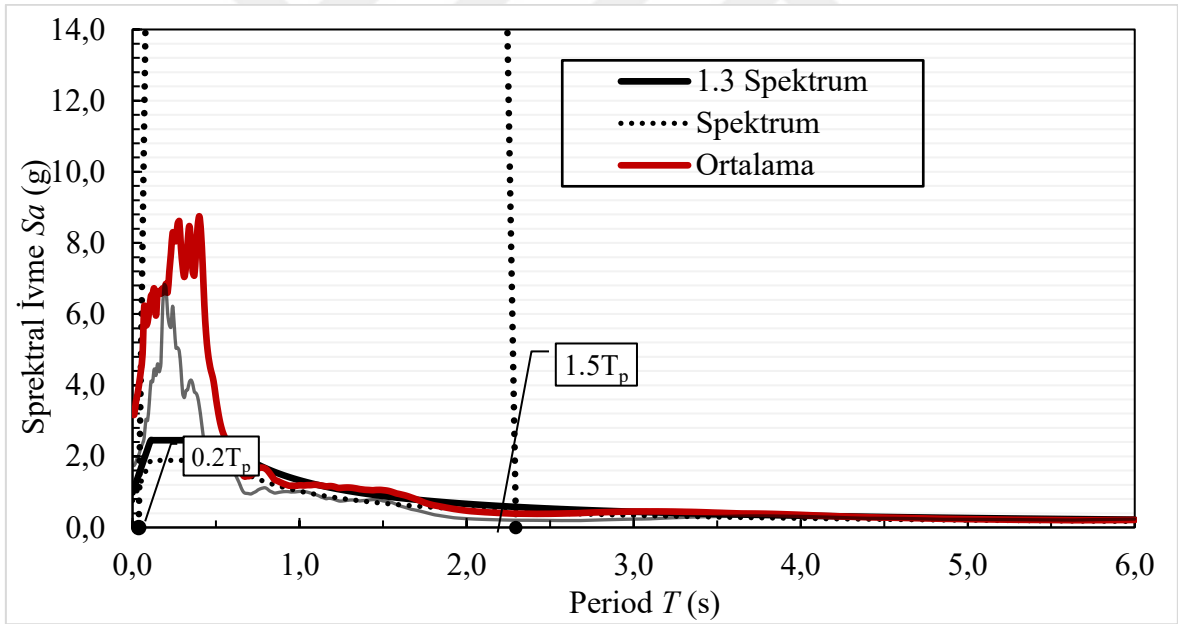
Tablo 3.7. Depremlerin etki şiddetleri

Sıra No	Kayıt Adı	Büyükölük(Mw)	Faya Olan Uzaklık(Km)	Depremin Hızı(m/s)
1	1612_E	7,14	15,96	551,30
2	1612_N	7,14	15,96	551,30
3	1611_E	7,14	0,21	529,18
4	1611_N	7,14	0,21	529,18
5	1617_E	7,14	3,93	454,20
6	1617_N	7,14	3,93	454,20

Denklem 2. 7’ye göre spektral ivme (S_a) değeri hesap edilmiştir. Bu hesap edilen spektral ivme değerlerine bağılı olarak Şekil 3.65’de gösterildiğı gibi Spektral İvme- Periyot Diyagramı çizilmiştir.



Şekil 3.66. Spektral ivme- periyot diyagramı



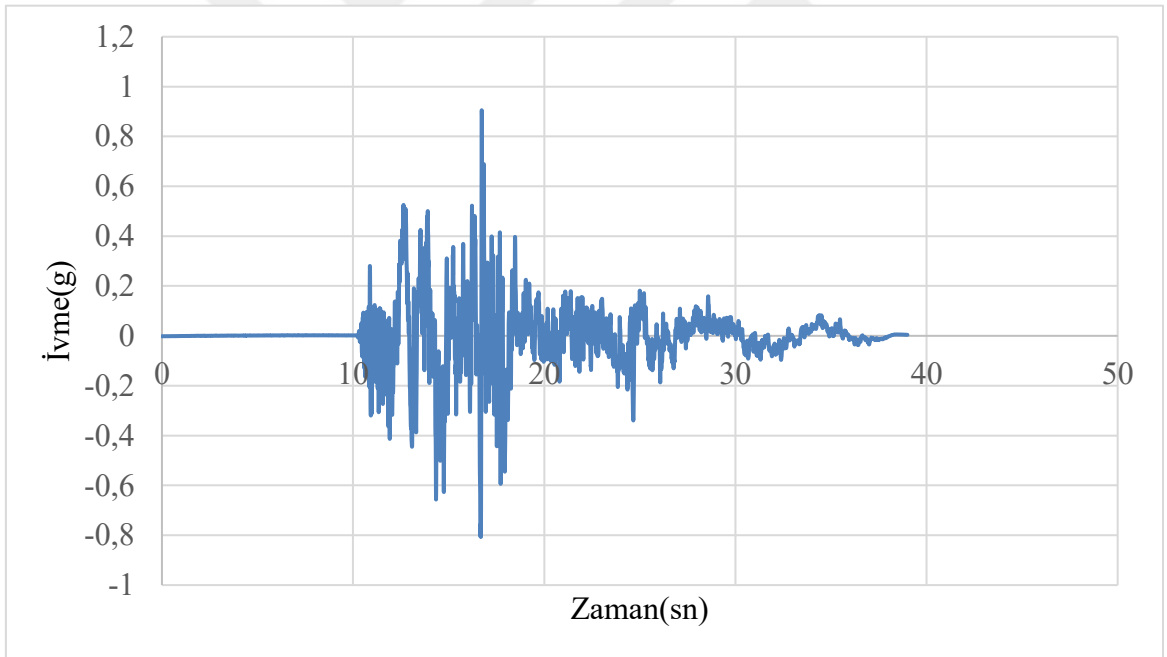
Şekil 3.67. Ölçeklendirme hesabından gelen spektral ivme-periyot grafiği

Tablo 3.8.'de PGV/PGA 0,1'den büyük olan depremler yakın fay, küçük olanlar uzak fay olacak şekilde hesap edilmiştir.

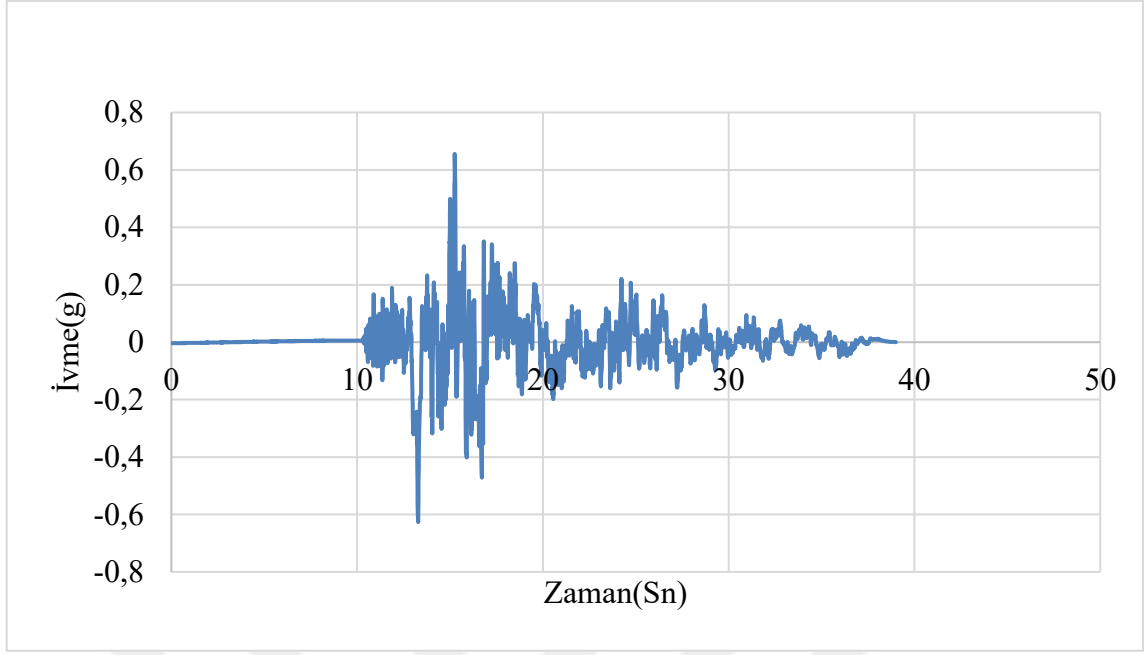
Tablo 3.8. Deprem kayıtlarının özellikleri

Sıra No	Kayıt Adı	Ölçek Faktörü	Pga	Pgv	Pgv/Pga	Fay Etkisi
1	1612_E	8,52	1,164	87,86	0,077	Uzak Fay
2	1612_N	8,52	1,09	109,59	0,103	Yakın Fay
3	1611_E	8,44	0,91	133,48	0,150	Yakın Fay
4	1611_N	8,44	0,66	120,60	0,186	Yakın Fay
5	1617_E	4,47	3,32	132,54	0,041	Uzak Fay
6	1617_N	4,47	5,76	240,61	0,043	Uzak Fay

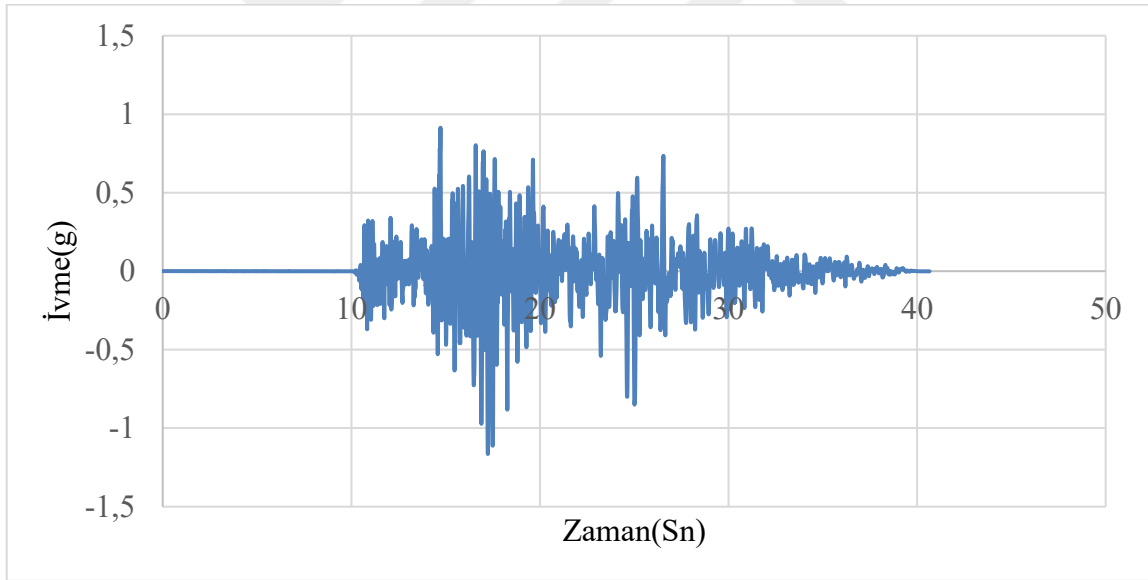
SAP 2000 programında sırayla Yükleme, Zaman Tanım Alanı girilerek deprem kayıtlarının yüklenecek menüye ulaşılmış ve veriler sırasıyla yüklenmiştir. Bu işlem yapıldıktan sonra ise data yükleme menüsünde zaman tanım alanı ,lineer analiz ve direkt integrasyon seçilerek yükleme durumları belirlenmiştir.



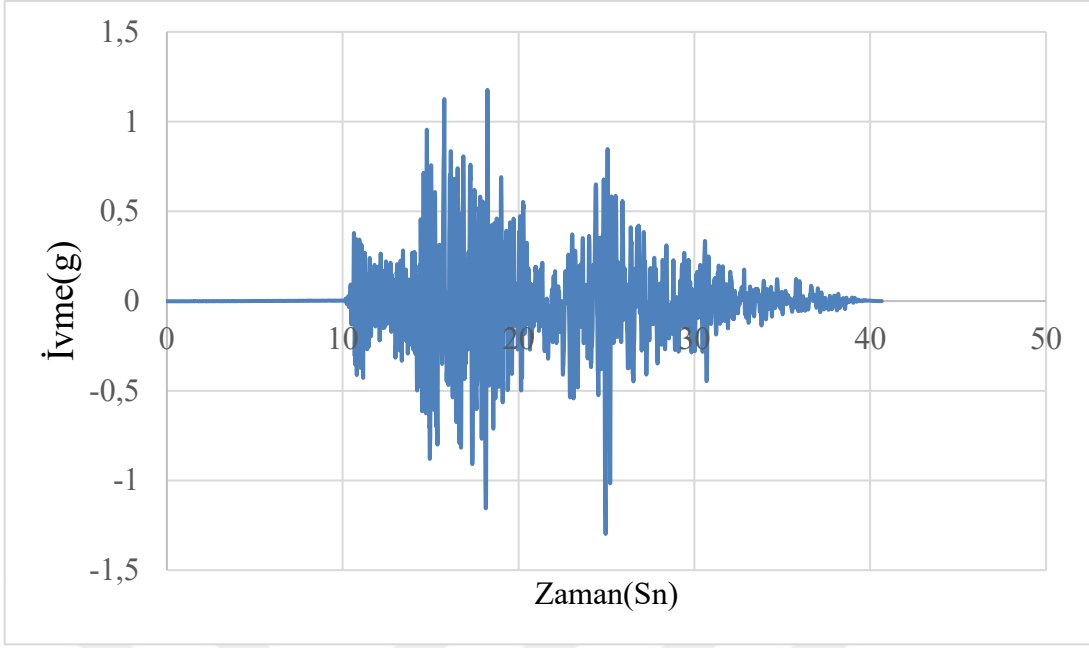
Şekil 3.68. Rsn1611_E ivme zaman grafiği



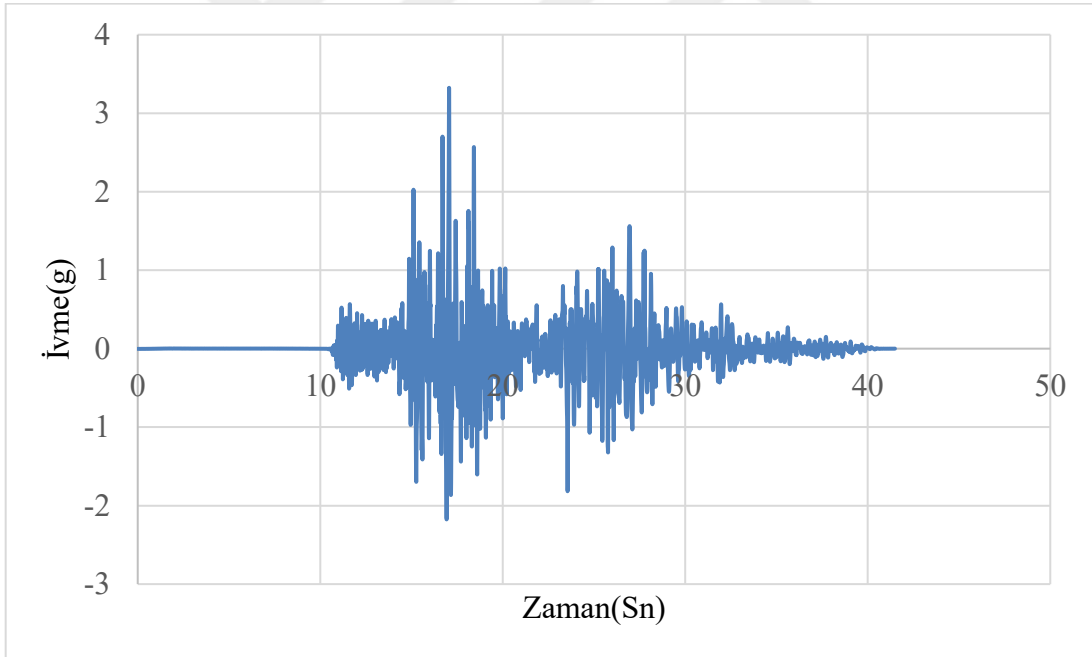
Şekil 3.69. Rsn1611_N ivme zaman grafiği



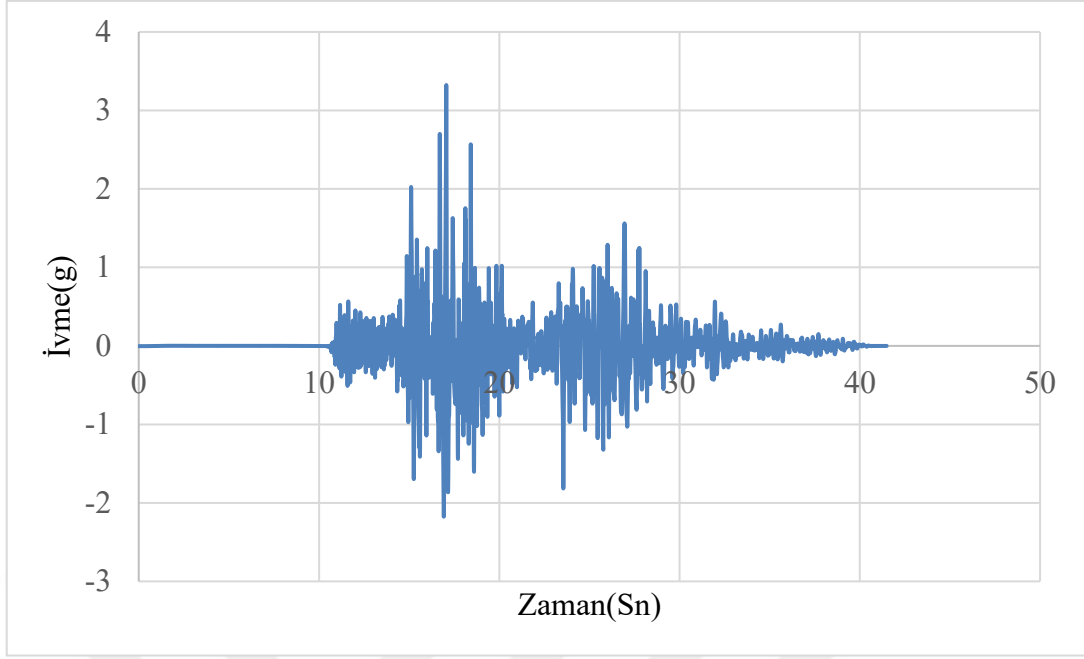
Şekil 3.70. Rsn1612_E ivme zaman grafiği



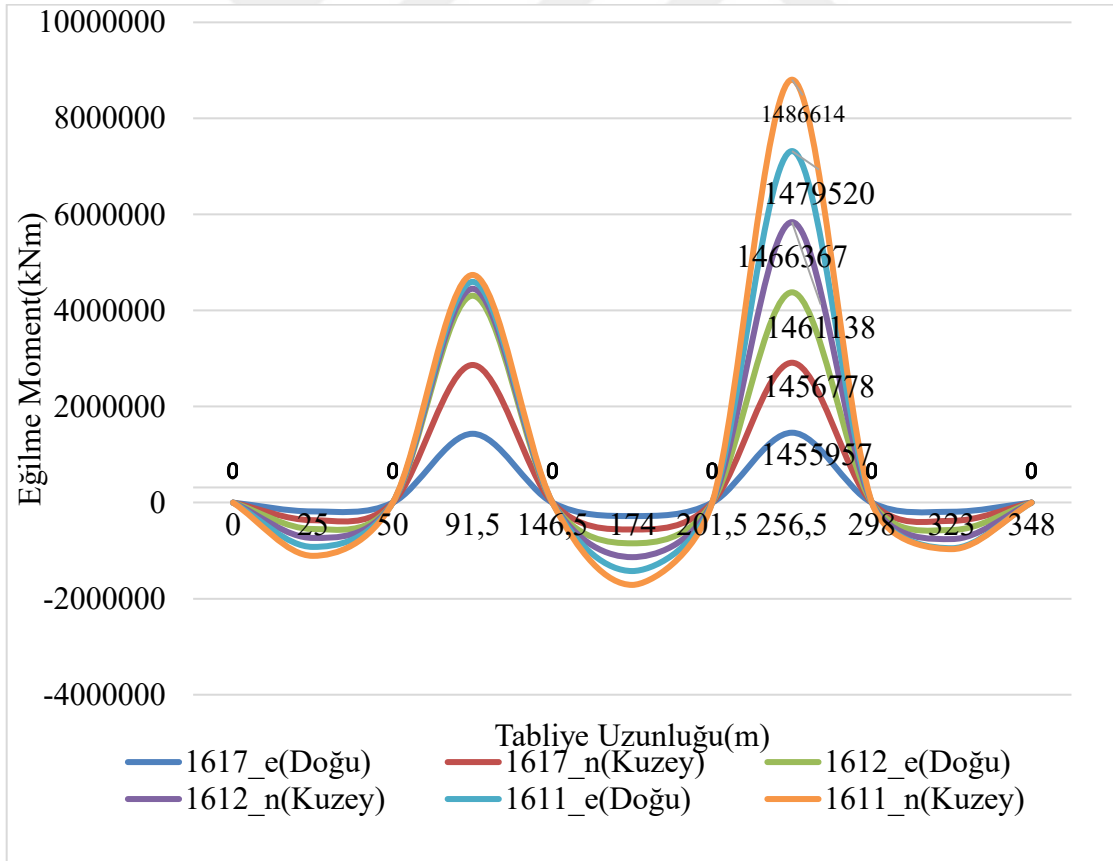
Şekil 3.71. Rsn1612_N ivme zaman grafiği



Şekil 3.72. Rsn1617_E ivme zaman grafiği



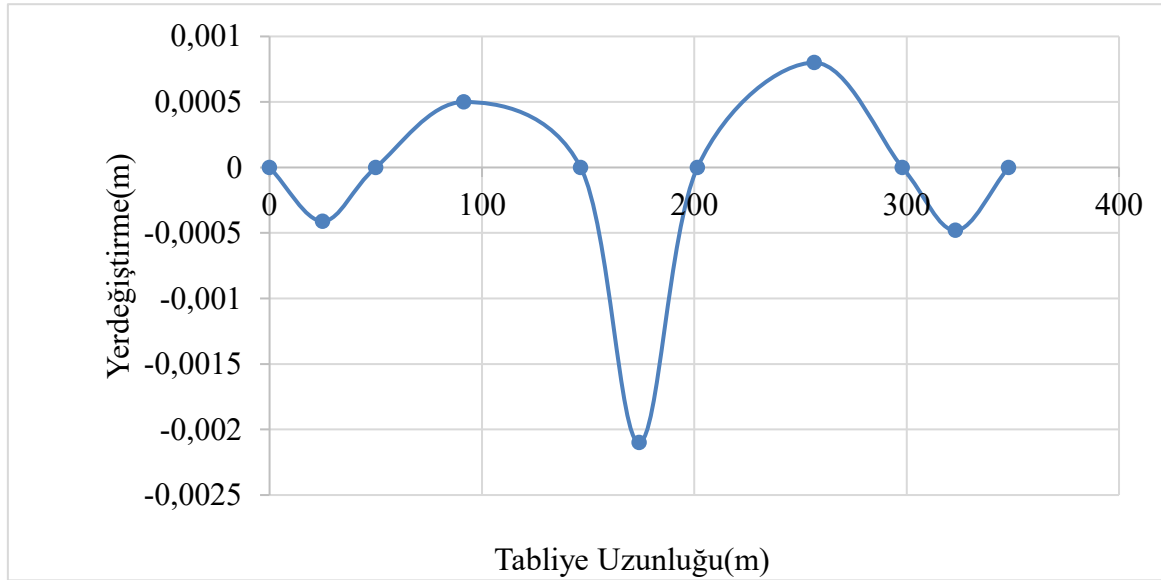
Şekil 3.73. Rsn1617_N ivme zaman grafiği



Şekil 3.74. Düzce 1999 Deprem Kayıtlarına göre köprü modelinin eğilme momenti grafiği

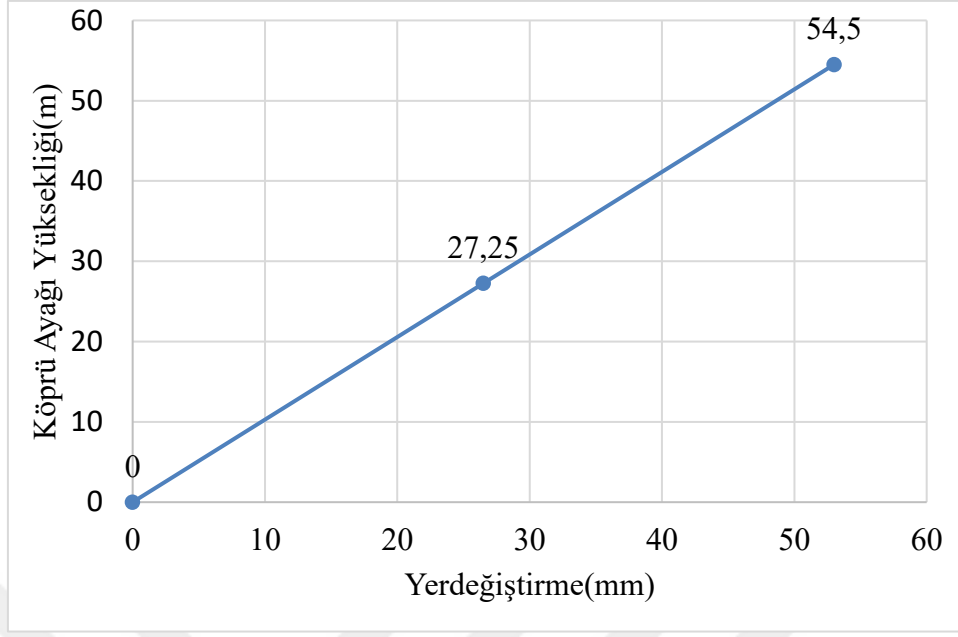
Şekil 3.74. de görüleceği üzere Düzce Depremi RSN1611_N(kuzey) kayıttından

1486614kNm , RSN1611_E(Doğu) kayıttan 1479520kNm maksimum eğilme moment değerleri elde edilmiştir.RSN1611 kayıtları yakın fay etkisi gösteren deprem kayıtlarıdır. RSN1617_E(doğu) kayıttan 1455957kNm ve RSN1611_N(kuzey) kayıttan 1456778 kNm maksimum eğilme momenti değeri elde edilmiştir.Bu elde edilen tüm değerler servis anındaki moment yani 1455557 kNm değerinden daha büyük moment değeri olarak karşımıza çıkmaktadır. Buradan anlaşılan şudur ki deprem anında çıkan moment değerine mevcut haldeki duruma göre daha büyük bir değerler alabilmektedir. Özellikle yakın fay etkisi gösteren bölgelerde bu etkinin göze alınması daha güvenli tarafta kalmayı sağlayabilmektedir.



Şekil 3.75. Deprem Analizi Sonucu Elde Edilen Yerdeğiştirme Sonuçları

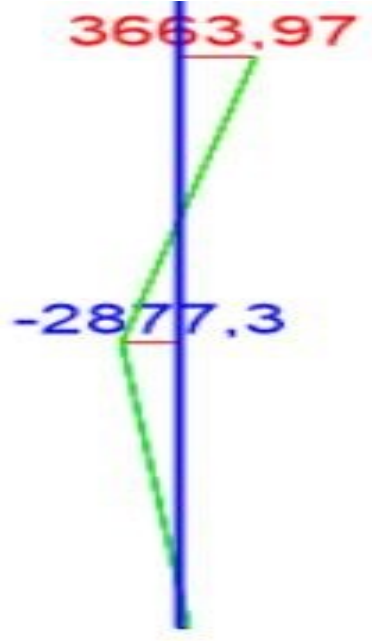
Şekil 3.75. de görüleceği üzere yerdeğiştirme sonuçları sonucu maksimum yerdeğiştirme 21 mm olarak elde edilmiştir.Bu elde edilen yerdeğiştirme yapım aşamasında elde edilen yerdeğiştirme sonucundan %581 daha büyük elde edilmiştir.Bu durum yapım aşamasının sonunda kapatma diliminin yapılması sonucu köprü modelinin sürekli hale gelmesi ve üzerine kamyon yükü ,deprem yükü vb yüklerin gelmesinden dolayı oluşmaktadır.



Şekil 3.76. Köprü ayağında oluşan yerdeğiştirme grafiği(mm)



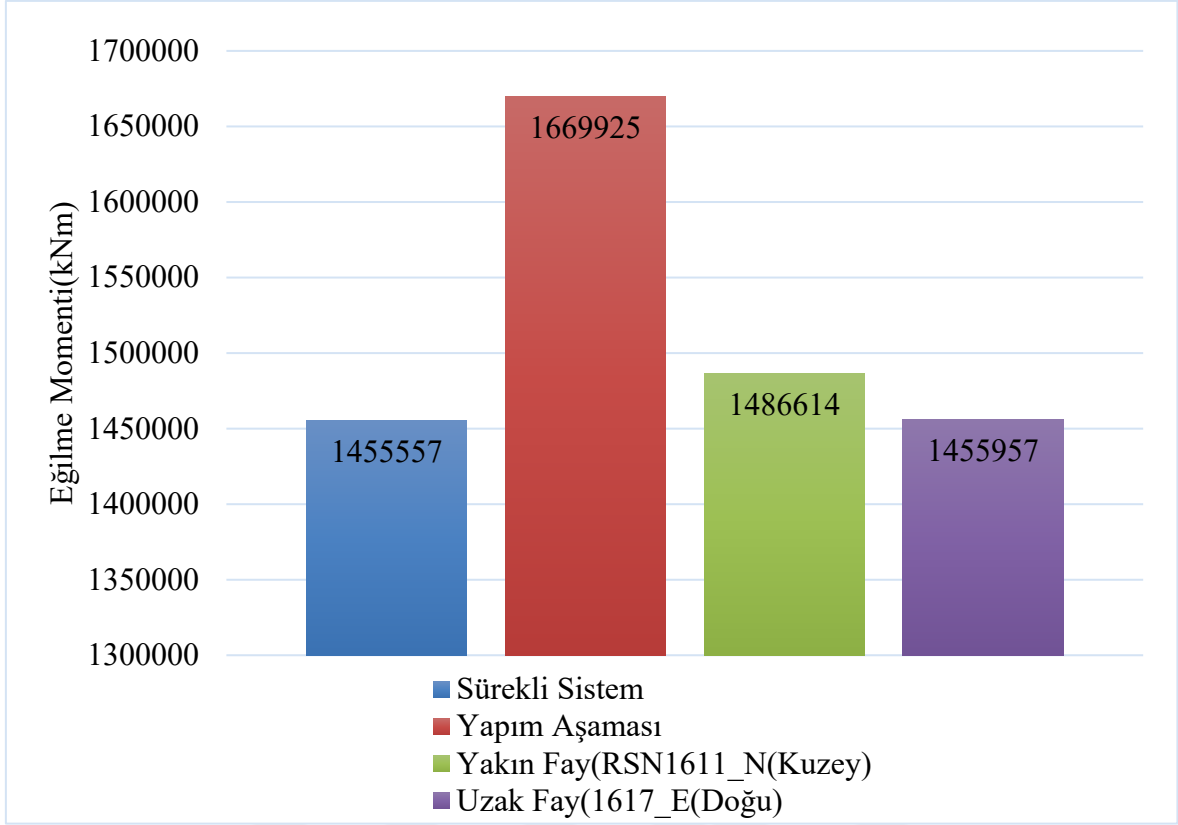
Şekil 3.77. Köprü ayağında oluşan moment grafiği(kNm)



Şekil 3.78. Köprü ayağında meydana gelen gerilme grafiği(kN/m²)

Şekil 3.76. ile Şekil 3.78. arasında elde edilen köprü ayağı yerdeğiştirme, gerilme, eğilme momenti sonuçları tabliye sonuçlarından daha düşük elde edilmiştir.

Yapım aşamasında elde edilen eğilme momenti değeri daha büyük bir değer almaktadır. Ayrıca deprem anındaki eğilme momenti değeri de köprü servis durumuna göre daha büyük çıkmaktadır. Özellikle yakın fay etkisi deprem anındaki eğilme momentini daha da artırmaktadır. Bu eğilme momenti değeri ise halat hesabını yani köprü taşıyıcı sistemini etkilebilmektedir.



Şekil 3.79. Eğilme momenti karşılaştırması (53 metre köprü ayağı üstü)

Şekil 3. 79. de görüleceği üzere yapım aşamasında elde edilen eğilme momenti değeri %14, uzak fay etkisinde %0,03 ve yakın fay etkisinde % 2,13 sürekli sistem eğilme momentine göre yüksek eğilme momenti değerleri vermiştir. Burada görüleceği üzere yapım aşaması eğilme momenti değerinin karşımıza sonuçları etkilebileceği sonucu çıkartmaktadır.

3.4. Metraj ve Maliyet Hesabı

Prekast kirişli olarak yapımı süren dengeli konsol köprü güzergahına 2019 Karayolları Birim Fiyatları ile maliyet karşılaştırması yapılmıştır. Maliyet karşılaştırması yapılırken poz fiyatları Karayolları kurumundan alınmıştır.

Tablo 3. 9. ile Tablo 3. 12. arasında maliyet analizi yapılmıştır. Prekast kirişli köprü daha maliyetli bulunmuştur. Bu maliyeti etkileyen ana etmen Tablo 3. 9. ve Tablo 3. 12' de görüleceği üzere köprü ayağı miktarları ile alakalıdır. Dengeli konsol köprüde 2 adet köprü ayağı kullanılması maliyeti ciddi oranda aşağıya çekmiştir. Yapılan hesap göstermiştir ki

prekast kirişli köprüde elavasyon miktarı %252 daha fazladır. Ayrıca tabliye miktarıda %24 daha fazladır.

Tablo 3.9. Prekast kirişli köprü metraji

PREKAST KİRİŞLİ KÖPRÜ METRAJLARI							
NO	İMALAT	KAZI (m ³)	KALIP (m ²)	GROBETON (M ³)	BETON (m ³)	DONATI (kg)	TENDOM (kg)
1	TEMEL	23520	4164	1336	15030	1233193	
2	KÖPRÜ AYAĞI		27941		16046,5	3356078	
3	BAŞLIK KİRİŞİ		4206,5		3287,9	433158	
4	TABLİYE		700		4653	480000	
5	KİRİŞ		10692		14256	1710720	784080
	Toplam	23520	47704	1336	53273,4	7213149	784080

Tablo 3.10. Prekast kirişli köprü maliyeti

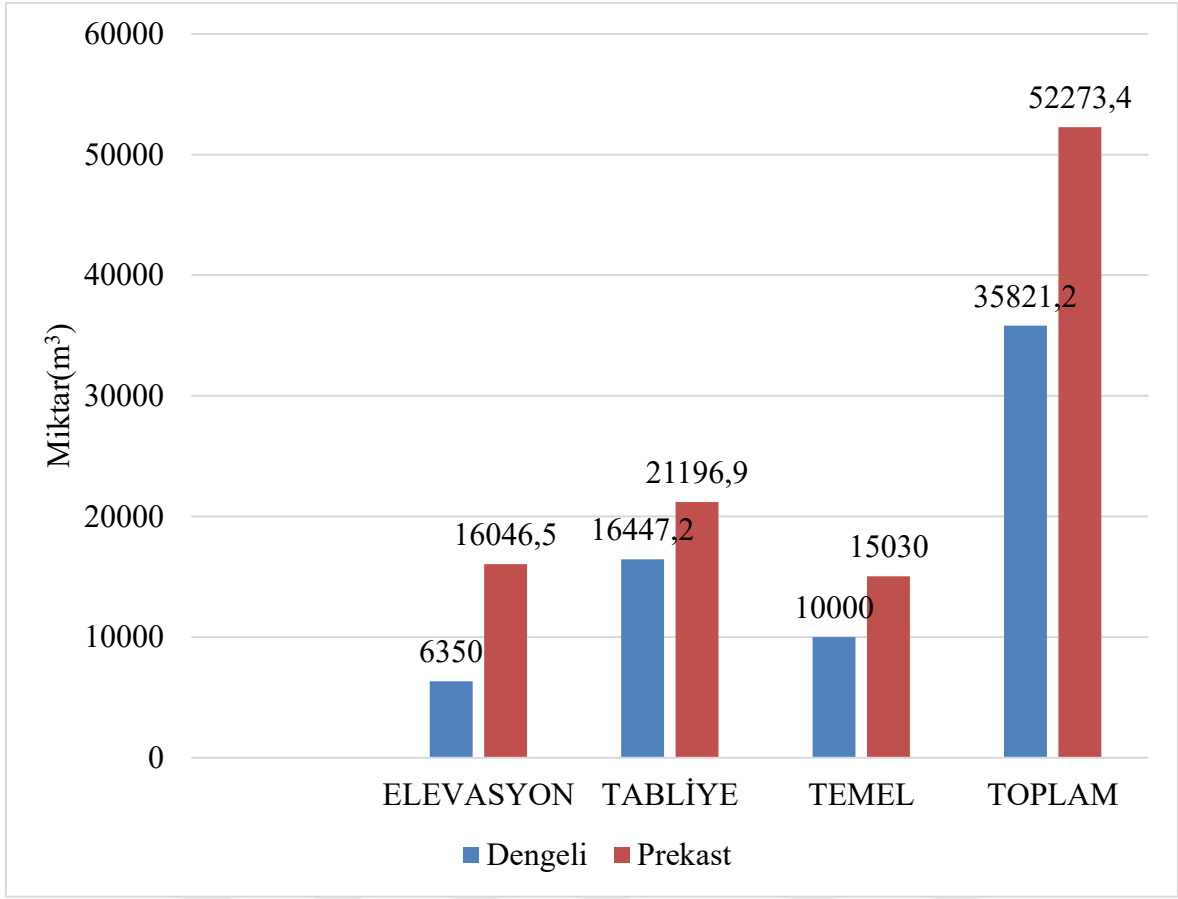
PREKAST KİRİŞLİ MALİYET				
İMALAT	B. FİYAT	MİKTAR	POZ NO	MALİYET (TL)
KAZI(M ³)	60,4	23520	KGM/14. 213	1420608
GROBETON(M3)	241,99	1336	KGM/16. 101/K-H	330558,34
BETON(M ³)	526,86	39017,4	Y16. 133/K-H	20556707,36
DONATI(TON)	4. 725,51	7213149	KGM/23. 015/K	34085735,59
HALAT (TON)	4. 750,00	784,08	KGM/3792/2	3724380
HALAT İŞÇİLİK (TON)	3. 549,26	784,08	KGM/23. 002/K-G	2782856,73
KİRİŞ BETONU(M ³)	743,63	14256	KGM/16. 137/K-H	10601189,28
KİRİŞ MONTAJ(TON)	48,29	19650	KGM/16. 136/K-1	948898,5
KDV				13401168
TOPLAM				87852102

Tablo 3.11. Dengeli konsol köprü metrajları

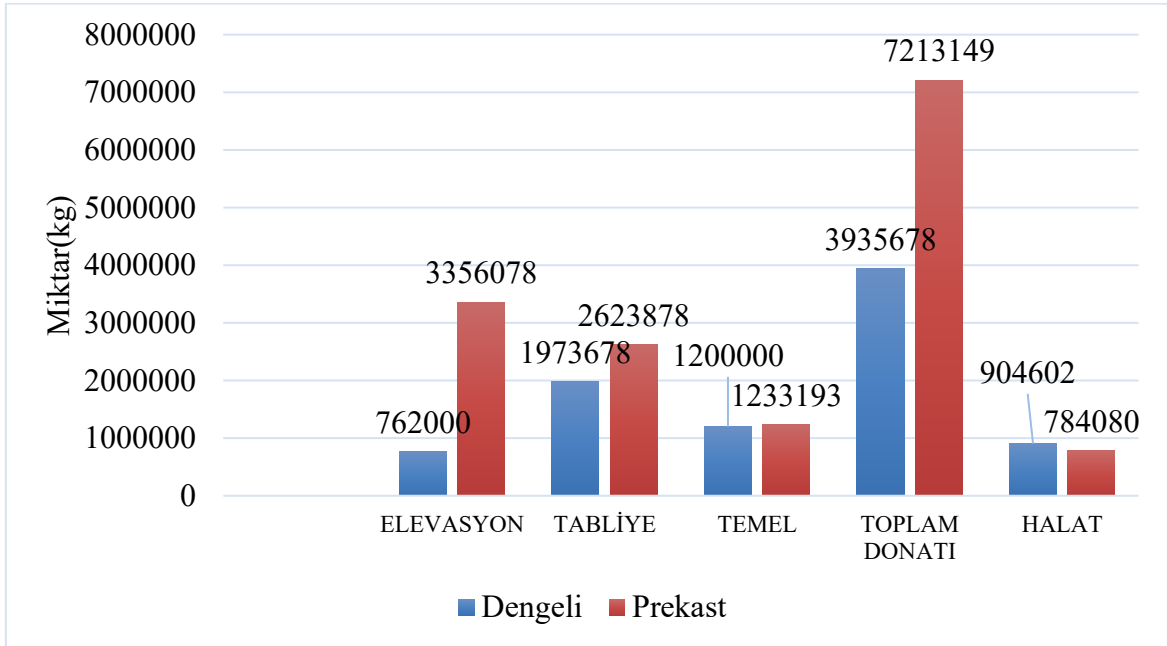
DENGELİ KONSOL MODELİ METRAJLARI							
NO	İMALAT	KAZI (m ³)	KALIP (m ²)	GROBETON (m ³)	BETON (m ³)	DONATI (kg)	TENDOM (kg)
1	KENARAYAKLAR	4032	1100	336	3024	362880	
2	KÖPRÜ AYAĞI		7722,4		6350	762000	
3	TABLİYE		50000		16447,2	1973678	904602
4	TEMEL	33792	10000	312	10000	1200000	
	TOPLAM	34824	68822,4	648	35821,2	4298558	904602

Tablo 3.12. Dengeli konsol köprü maliyeti

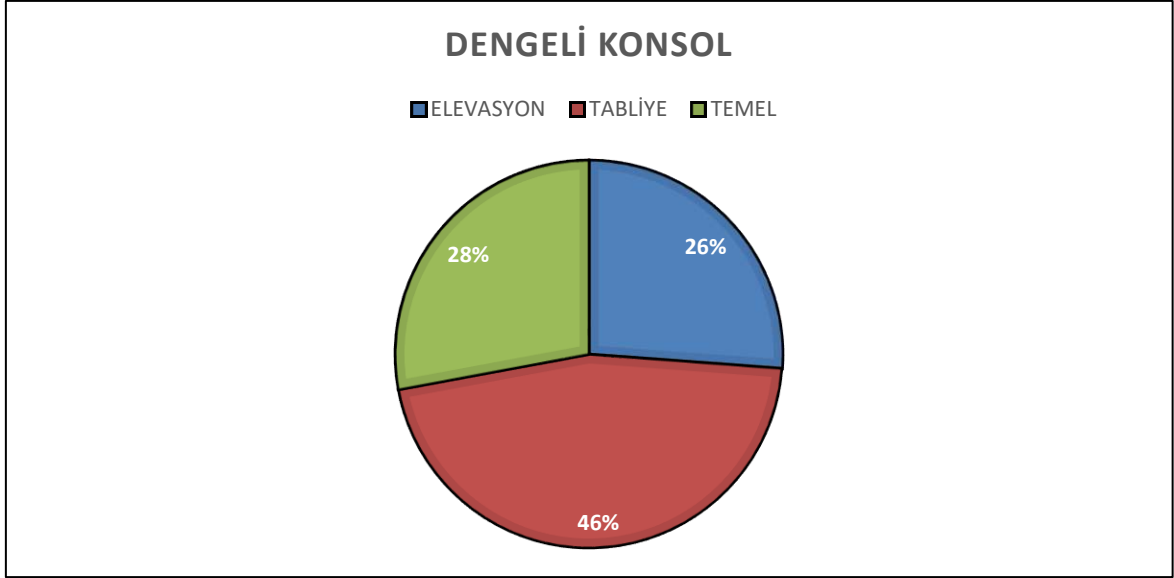
DENGELİ KONSOL MALİYETİ				
İMALAT	B. FİYAT	MİKTAR	POZ NO	MALİYET (TL)
KAZI	60,4	34824	KGM/14. 213	2103370
TABLİYE BETONU	743,63	16447,2	KGM/16. 137/K-H	12230631
GROBETON	241,99	648	KGM/16. 101/K-H	156809,5
BETON	526,86	19374	Y16. 133/K-H	10207386
DONATI	4. 725,51	4298,558	23. 015	20312879
HALAT	4. 750,00	904,602	KGM/3792/2	4298750
HALAT İŞÇİLİK	3. 549,26	904,602	KGM/23. 002/K-G	3211,845
KDV				8876347
TOPLAM				58189383,4



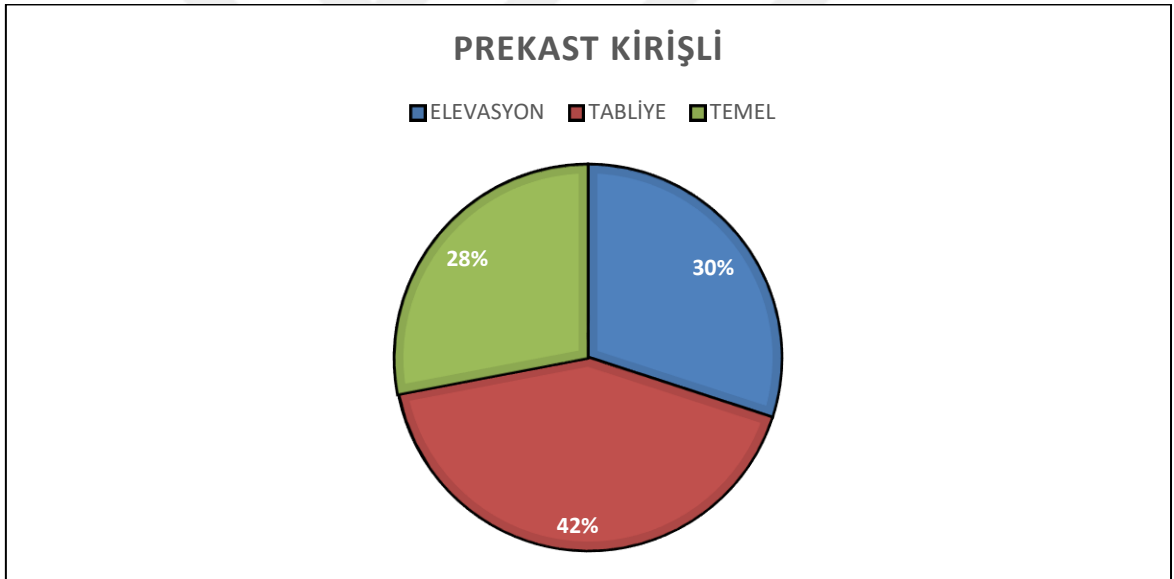
Şekil 3.80. Dengeli konsol ve prekast kirişli köprü için beton karşılaştırması



Şekil 3.81. Dengeli konsol ve prekast kirişli köprü için donatı ve halat karşılaştırması



Şekil 3.82. Dengeli konsol köprünün imalat kalemlerinin yüzde karşılığı



Şekil 3.83. Prekast kirişli köprünün imalat kalemlerinin yüzde karşılığı

Metraj ve maliyet hesaplarından anlaşılacağı üzere dengeli konsol köprü maliyeti prekast kirişe göre %33 daha azdır. Ama metod olarak da prekast kirişli köprülerin inşası daha kolay imalatlardır. İki metod temel ve köprü ayağı imalatlarında zorluk olarak aynıdır. Ama prekast kirişli köprülerde daha fazla ayak kullanılmaktadır. Sistemlerin en belirgin olduğu yer tabliyedir. Tabliyelerde yüksek prekast kirişli köprülerde büyük vinçler yada Karşıyaka Viyadüğünde olduğu gibi lancing makinesi kullanılmaktadır. Dengeli konsol köprü modellerinde ise bir döküm arabası denilen iskeleli sistemler kullanılmaktadır ama

maliyet hesabına lancing ve döküm arabasından kaynaklı maliyetler katılmamıştır. Yine prekast köprülerin tabliyelerinde özel platfomlar kullanılmaktadır. Sistemlerin genel durumuna bakılınca yapım olarak prekast köprü maliyet olarak dengeli konsol köprü modeli öne çıkmaktadır. Özellikle kurplu yerlerde dengeli konsol köprü modeli pek tercih edilmemektedir. Bunun nedeni ise dengeli konsol köprülerin ardgerme uygulama işlemleri köprü ayağı üstü başlık diliminin sağ ve sol kısımdan yapılması ve sistemin tam dengede olmasından kaynaklıdır. Sistemin bu halde ayakta durması oldukça güç bir durumdur.



4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, dilimsel dengeli konsol yapım yöntemi ile inşa edilen köprü hakkında genel bir bilgi aktarılmış olup, viyadük üstyapısı yapım aşamaları kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır. Dünya üzerinde 1960 yılından sonra aktif olarak kullanılmaya başlayan bu modelin ülkemizde çok fazla örneği olmasa da son yıllarda bu köprü çeşidi üzerinde çalışmalar sürmektedir. Yapılan bu tez çalışmasında köprü yapım aşamalarında sadece dengeli konsol köprü modeli kullanılmıştır. Köprü modeli çözümlemesi yapılırken sistemin yapım aşamalı ve sürekli sisteme geçtiği andaki analizleri dikkate alınmıştır. Analizlerde betonun zaman bağlı dayanım değişimi, elastisite modülünün değişimi, sünme ve rötre etkileri ile çeliğin relaksasyonu dikkate alınmıştır. Ayrıca yakın ve uzak fay etkisi dikkate alınarak tasarlanan dengeli konsol köprünün dinamik analizi gerçekleştirilmiştir. Daha sonraki bölümde ise Trabzon ili Karşıyaka Viyadüğü prekast kirişli köprü ile tasarlanan dengeli konsol köprünün maliyet karşılaştırması yapılmıştır.

Uluslararası kabul gören AASHTO LRFD köprü tasarım yönetmeliği ve SETRA kurumunun şartları doğrultusunda dengeli konsol köprü tasarımı yapılarak, yapım aşamasında ele alınarak yük ve yük birleşimleri ele alınmıştır. Kapsamlı analize geçiş yapılmadan önce ön boyutlandırma yapıp köprünün mesnet üstünde, açıklık ortasında yeterli kesit yüksekliği ve güvenli tarafta kalacak biçimde seçilmiş halat adedi bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır. Tasarımlar bir anda yapılacaktı gibi hesap edilmektedir. Bu durum yapıların statik sonuçlarını etkiyebilmektedir. Dengeli konsol köprüler gibi tasarımlarda kablo adeti yetersizliği yada modelin toptan çökme durumları gibi sonuçlar meydana gelebilmektedir. Bu durumun etkilerinden kurtulmak için yapım aşaması ve sürekli haldeki durumu için analiz yapılması gerekmektedir.

Dilimsel dengeli konsol köprü modelinde gerilme hesabı yapılmıştır. Hesap sonuçları gösteriyor ki AASHTO LRFD yönetmelik sınırları arasında kalınmıştır. Bir köprü imalatı sonrasında yönetmelikçe belirtilen gerilme sınır aralıklarında kalınması gerekmektedir. Ayrıca yerdeğiştirme sınır aralıklarında kalınması gerekmektedir. Dengeli konsol köprüde elde edilen düşey yerdeğiştirmelerin ve eğilme momentlerinin tabliye boyunca değişimi dikkate alındığında, yerdeğiştirmelerin köprü açıklık ortasına doğru

arttığı, eğilme momenti ise köprü ayaklarının olduğu bölgede maksimum değere ulaştığı görülmüştür.

Yapım aşaması dikkate alınarak yapılan çözüm metodunda elde edilen sonuçlar %14 daha yüksek eğilme momenti ortaya çıkarmıştır. Bu durum köprünün statik hesabını etkileyen bir durum olarak öne çıkmaktadır. Çünkü halat hesabını özellikle eğilme momenti sonuçları önemli oranda etkilemektedir.

Dengeli konsol köprü modeline Düzce 1999 deprem kayıtları ile deprem analizi yapılmıştır. Yapılan hesaplar göstermiştir yakın fay etkisinde %2,13 ve uzak fay etkisinde %0,03 daha yüksek eğilme momenti sonuçları elde edilmiştir. Yerdeğiştirmeler yapım aşamasında elde edilen sonuçlardan %581 daha yüksek sonuç vermiştir. Çözümleme yapılırken özellikle depremin etkin olduğu bölgelerde yakın ve uzak fay etkisinin göze alınması gereken bir husustur.

Yapılan metraj çalışmaları sonucunda dengeli konsol köprülerde kazı, beton, donatı miktarı daha az iken halat miktarı daha fazla çıkmaktadır. Yapılan genel maliyetlerde de görüleceği üzere dengeli konsol köprüler prekast kirişli köprülerden daha az maliyetlidir. Ama gerek teknik açıdan gerek teknolojik ve çalışan iş gücü bakımından prekast kirişli köprü yapımı daha kolaydır. Yüksek viyadüklerde özellikle döküm arabası denilen bir metod ile dengeli konsol köprüler yapılmaktadır. Kurplar dengeli konsol köprülerin yapımını hep zorlaştırır. Bu yüzdende kurp olan yerlerde prekast kirişli köprü yapmak daha uygun olacaktır.

Dengeli konsol köprüler kurpta çalışması güç olan köprü modelleridir. Halat dizaynından dolayı bu büyük sorunları ortaya çıkartmaktadır. Kurpta çalışabilen dengeli konsol köprüler daha kritik sonuçlara sahiptir. Tez kapsamında görüldüğü gibi yapım aşaması sonuçları yüksek çıktığı görülmüştür. Kurpta çalışan bir dengeli konsol köprünün ise sonuçları daha yüksek çıkabilir belki de tasarımı ciddi oranda değiştirmemize gerek duyulabilir.

Bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlar göstermiştir ki, önemli mühendislik yapılarından biri olan köprüler gibi yapımı uzun yıllar süren mühendislik yapılarının yapısal davranışlarının doğru bir şekilde belirlenmesi için yapım aşamalarının ve zamana bağlı malzeme deformasyonlarının dikkate alınması çok büyük önem arz etmektedir.

Tez kapsamında köprünün tabliyesi üzerine daha çok çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu tür büyük köprülerin yapı ile zemin arasındaki ilişkisi de önemlidir. Ayrıca bu tür devasa

bir kütlenin altındaki zeminin iyileştirmesi bile karşımıza önemli bir parametre olarak çıkmaktadır. Yapımı başlanacak köprüler için uygun zemin iyileştirme metodu bu tür önemli mühendislik yapıları için çok önemlidir.

Bu çalışmada yapım aşamaları statik yüklemeler için dikkate alınmıştır. Aynı analiz türü dinamik yüklemeler içinde gerçekleştirilebilir. Farklı tür taşıyıcı sisteme sahip köprülerin yapısal davranışları da yapım aşamaları ve zamana bağlı malzeme deformasyonları dikkate alınarak belirlenebilir.



5.KAYNAKLAR

- AASHTO LRFD, 1998. Bridge Design Specifications, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D. C.
- AASHTO, 1998. Commentary to Standard Specifications for Highway Bridges, American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO, 1996. Standard Specifications for Highway Bridges, Sixteenth Edition, American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO, 2002. Standard Specifications for Highway Bridges, Seventeenth Edition, American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Abid, S. ve Tayşi, N., 2015. Temperature Distributions and Variations in Concrete Box-Girder Bridges: Experimental and Finite Element Parametric Studies, Advances in Structural Engineering,18, 4, 469-486.
- Ağdaşan, A., Çokgör, Ş. ve Celep, U., 2011. Yakın Fay Hareketi Altında Ağırlık Tipi Kıyı Duvarlarının Kayma Yerdeğiştirmelerinin Tahmini. 7. Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, 189-197, Trabzon, 21-23 Kasım.
- Akoğul, C., 2007. Prekast Kirişli Betonarme Köprülerin Aashto'ya Göre Depreme Dayanıklı Tasarımı.Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,İstanbul, 5s.
- Altunışık, A. C., 2010. Karayolu Köprülerinin Yapısal Davranışlarının Analitik ve Deneysel Yöntemlerle Belirlenmesi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Altunışık, A. C., Bayraktar, A., Sevim, B., Adanur, S. ve Domaniç, A., 2009. Karayolu Köprülerinin Sonlu Eleman Analizinde Yapım Aşamalarının ve Zamana Bağlı Deformasyonların Dikkate Alınması, Yapı Dünyası Dergisi, 161, 11-15.
- ATC-3-06 1978. Tentative Provisions for the Development of Seismic Regulations for Buildings, Applied Technology Council, Federal Emergency Management Agency.
- ATC-6, 1981, Seismic Design Guidelines for Highway Bridges, Applied Technology Council, Federal Highway Administration.
- ATC-18, 1997. Seismic Design Criteria for Bridges and Other Highway Structures: Current and Future, Applied Technology Council, Federal Highway Administration.
- Benaïm, R., 2008. The Design of Prestressed Concrete Bridge,Taylor and Francis Grup, Newyork.
- Brown, D. J., 1993 Köprüler. Macmillan Yayın Şirketi. , New York, NY.
- Bulson, P. S., Caldwell, J. B. ve Severn, R. T. , 1983. Engineering Structures Developments in the Twentieth Century, The University of Bristol Press, Bristol.

- Cassas, J. R., 1997. Reliability-Based Partial Safety Factor in Cantilever Construction of Concrete Bridges, Journal of Structural Engineering, ASCE, 123, 3, 305-312 .
- CEB-FIP Model Code, 1990. British Library, ISBN: 0 7277 1696 4.
- Celep, Z. ve Kumbasar, N., 2007. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul.
- Chen, W. F., 1999. Structural Engineering Handbook, CRC Press LLC, Boca Raton.
- Chen, W. F. ve Duan, L., 2000. Bridge Engineering Handbook, CRC Press LLC, Boca Raton.
- Çavdar, Ö., 2013. Probabilistic sensitivity analysis of suspension bridges to near-fault ground motion, Steel and Composite Structures, 15, 1, 15-39.
- Çift, Ö., 2018, Dengeli Konsol Köprü Analizi ve Performans Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Gelişim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Debaiky, A., 1997. Analysis of Time-Dependent Effects on Dilimal Prestressed Concrete Curved Box-Girder Bridges ,Presented in Partial Fulfilment of the Requirements for the Degree of Master of Applied Science at, Concordia University, Montreal, Quebec, Canada.
- Erkan, S., 2011. Dengeli Konsol Yöntemi ile İnşa Edilen Betonarme Karayolu Köprülerinin Yapım Aşamalarına Göre Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 8s.
- Fletcher, M.S., 1984. In-Situ Free Cantilever Concrete Bridges, Highways and Transportation, 31, 11, 10-18.
- Gökmen, E., 2015. Asma Köprüler Ve Eğik Kablo Askılı Köprülerin Karşılaştırmalı Maliyet Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 5s.
- Hasgür, Z., Umut, Ö., 2007, Yakın Fay Hareketli Depremlerin Yapılar Üzerindeki Etkisi ve Temel Ayırıcılı-sıvı Sönümleyicilerin Bu Yapılardaki Etkinliği. Altıncı Ulusal Deprem Konferansı, 305-316, İstanbul 16-20 Ekim
- Karaca, H., 2017. Yakın Fay Etkisindeki Uzun Açıklıklı Köprü sistemlerin Dinamik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Karaesmen, E., 2015. Ardgermeli Beton ve Yeni Çözümler. Freysaş-Freyssinet Yapı Sistemleri San. A. Ş. İstanbul, Lord Matbaacılık ve Kağıtçılık Alpaslan Arıbuğa.
- Kawashima, K., 1995. Seismic Design and Retrofit of Bridges, 12WCEE, 2828.
- Thompson, K., Davis, R, Breen, J. and Kreger, M., 1998. Measured Behavior of a Balanced Cantilever Erected Curved Dilimal Concrete Bridge, Master of Science Engineering, The University Of Texas.

- KTS, 2013. Karayolları Teknik Şartnamesi (Yol Alt Yapısı, Sanat Yapıları, Köprü ve Tüneller, Üstyapı ve Çeşitli İşler), Karayolları Genel Müdürlüğü.
- Malm, R. ve Sundquist, H. , 2010. Time-Dependent Analyses of Dilimally Constructed Balanced Cantilever Bridges. Engineering Structures, 32, 1038-1045.
- Menn, C., 1990. Öngerilmeli Beton Köprüler, Birkhäuser Verlag, Basel (Switzerland), ISBN 0817624147.
- Merritt, F. S., 1983. Standard Handbook for Civil Engineers, Third Edition, McGraw-Hill, New York.
- Nigdeli, S. , M., 2012, Yakın Fay Etkisi Altındaki Aktif Tendonlar İle Yanal Yer Değiştirme ve Burulma Kontrolü. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü.
- Nuri, S., 2019. Dilimsel Dengeli Konsol Yöntemi İle İnşa Edilen Köprü Üstyapısının Yapım Aşamalarına Göre Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ökte, E., 2015. Bitlis Çayı Üzerinde Ard Germeli Beton Köprü'nün Yeniden İncelenmesi, 3. Viyadükler Sempozyumu, 478-487.
- Özkul, Ö., 2015. Yerinde Dökme Köprülerin Döküm Eğrisinin Takibi, 3. Köprüler Viyadükler Sempozyumu , Bursa.
- Patel, P., 2009, LRFD Design of Double Composite Box Girder Bridges, Master Thesis, College of Engineering University of South Florida.
- PEER, 2014 “Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) Ground Motion Database”, <http://ngawest2.berkeley.edu/>.
- Penzien, J., 2000. Seismic performance of transportation structures, Earthquake Engineering Research Institute (EERI) Distinguished Lecture, Annual Meeting, St. Louis, US, June 3, 2000.
- SAP2000, 2015. Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures, Computers and Structures Inc, Berkeley, California, USA.
- Sasani, M., 2006, New Measure for Severity of Near-Source Seismic Ground Motion. Journal of Structural Engineering (ASCE), 132, 1997-2005.
- SeismoSignal V5.0.0., 2010. Package for the Processing of Strong Motion Data, Seismosoft Ltd., Pavia Italy.
- SETRA., 2007, Design Guide Prestressed Concrete Bridges Built Using the Cantilver Method. Fransa, Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes.

- Sommerville, P. G., 2003, Magnitude Scaling of The Near Fault Rupture Directivity Pulse. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 137, 201–212.
- Sümerkan, S., 2015 Dengeli Konsol Betonarme Köprülerin Deneysel Yöntemlere Dayalı Doğal Frekans Formülü,3. Viyadükler Sempozyumu ,Bursa.
- TBDY., 2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Başkanlığı.
- TS500, 2000. Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Turan, F. N., 2012. Dengeli Konsol Betonarme Köprülerin Dinamik Karakteristiklerinin Çevresel Titreşim Verileri Kullanılarak Belirlenmesi ,Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü ,Trabzon.
- Tören, A., 2011. I ve Kutu Kesitli Çelik-Betonarme Kompozit Köprü Kirişlerinin Analitik İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi,Fen Bilimleri Enstitüsü,İstanbul Üniversitesi, 15s.
- URL-1, Afad,Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması, <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml>.
- Ünal, O., ve Kürklü,G., 2007. Öngerilmeli Beton Teknolojisi, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi.
- Yağcı, B., 2009. İnşaat Mühendisliğine Giriş Ders Notları ,Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,Balıkesir.
- Yeşil, B. A. (1998), “Viyadük/Köprü ve Üst Geçitler İçin Alt Yapı ve Üst Yapı Sistemleri Karşılaştırma Raporu”, Tefken Mühendislik A. S.
- Wesolowsky, M. J., and Wilson, J. G., 2003. Seismic isolation of cable-stayed bridges for near-field ground motions, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 32, 2107–2126.
- Zapico, J. L., Gonzalez, M. P. , Friswell, M. I. , Taylor, C. A. ve Crewe, A. J. , 2003. Finite Element Model Updating of a Small Scale Bridge, Journal of Sound and Vibration, 268, 993-1012.

ÖZGEÇMİŞ

İlköğretim

öğrenimini 2000-2008 yılları arasında Akçaabat Salacık İlköğretim Okulu'nda okul ikincisi olarak tamamladı. Lise eğitimini Akçaabat 17 Şubat Anadolu Lisesi'nde 2008-2012 yılları arasında tamamladı. Lisans eğitimine Erzincan Üniversitesi,Mühendislik Fakültesi,Makine Mühendisliği bölümünde 2012 yılında başladı. 2014 yılında inşaat mühendisliği bölümü ile çift anadal programına başladı. 2017 yılında Erzincan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ikincisi olarak makine mühendisi ve inşaat mühendisi unvanı ile heriki bölümden mezun oldu. 2017 yılında Gümüşhane Üniversitesi ,Fen Bilimleri Enstitüsü ,İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2017 yılında Özde Yapı İnşaat firmasının Kanuni Bulvarı projesinde saha mühendisi olarak çalışmaya başladı. Yükleniciliğini Mapa İnşaatın yaptığı projede halen çalışmaya devam etmektedir.

