

GÜLBURNU KÖPRÜSÜ

Zeki Harputođlu¹ , Dr. Nuri Çelebi² , Fikret Tulumtaş³
Yüksel Proje, Ankara

- 1) İnşaat Müh. (İTÜ - 1990)
- 2) İnşaat Yük. Müh. (Technische Nochschule Hannover – 1966 , Cornell University – 1972)
- 3) İnşaat Müh. (ODTÜ - 1987)

1. GİRİŞ

Gülburnu Köprüsü, Karadeniz Sahil Yolu İyileştirme Projesi Giresun-Espiye arası Devlet Yolu yapım işi kapsamında Güriş-Metiş Adi Ortaklığı 'nın taahhüdü altında yapılmaktadır. Tarihi Zefre Limanının bulunduğu koyun estetik bir köprüyle geçilmesi suretiyle doğal bir güzelliğe sahip olan Gülburnu Koyu korunmuş olmaktadır. (Şekil-1)



Şekil 1: Gülburnu Köprüsünün Denizden Görünüşü

Gülburnu köprüsü serbest konsol metodu ile inşa edilmekte olan ardgermeli yerinde dökme kutu kesitli bir köprüdür. Köprü 3 açıklıklı olup kenar açıklıkları 82.5 metre, orta açıklığı 165 metre olmak üzere toplam 330 metre uzunluğundadır. Üst yapı yüksekliği orta ayak üzerinde 8.25 metre, köprü ortasında ve uçlarında 3.50 metredir. Köprü gabarisi orta ayaklarda 7.50 metreden başlayarak orta açıkta yaklaşık 12.50 metreye yükselmektedir.

Köprü projesi ile ilgili ön çalışmalar 1998 yılı sonlarında başlamıştır. Sunulan alternatifler arasından Karayolları Genel Müdürlüğü Köprüler Dairesi tarafından büyük açıklıklı, songermeli, betonarme bir köprü tipi tercih edilmiştir. Köprü açıklıklarının büyük seçilmek istenmesi, deniz tabanının jeolojik ve topografik özellikleri ile yakından ilgilidir. Ana kayanın denizde yaklaşık 15 ila 20 metre derinde olması, denizdeki ayak adedinin mümkün olduğunca azaltılmasına ve ayakların daha sığ olan kenar kısımlara konulmasına yol açmaktadır.

Deniz içinde iskele kurulması mümkün olmadığı için burada yapım yöntemi olarak “Serbest Konsol Metodu” (Free Cantilever Method) seçilmiştir. Serbest konsol metodu deniz ve ırmak gibi su yolu veya derin vadi geçişlerinde veya zeminin herhangi bir sebeple iskele yapmaya müsait olmadığı yerlerde, özellikle yurt dışında sıkça kullanılmaktadır.

Yurdumuzda ise serbest konsol metodunun daha önce inşa edilmiş iki uygulaması bulunmaktadır. Bunların birincisi 1986 yılında hizmete giren 76.5 m. – 135 m. – 76.5 m. açıklıklı Malatya Kömürhan Köprüsü, ikincisi Ankara Mamak yolundaki 6 x 115.00 metre açıklıklı İmrahor Köprüsüdür.

Serbest konsol metodunda önce orta ayaklar ve köprünün küçük bir kısmı yerinde uygun bir kalıp sistemi ile inşa edilmektedir. Sonra ayağın iki tarafına özel kalıp arabaları bağlanarak 3 ila 5 metre uzunlukta birer ano imal edilmektedir. Kalıp arabası kalıbın ve betonun ve beton içerisindeki teçhizatın ağırlığını, bir önce dökülmüş olan anoya basarak taşımaktadır. Beton yeterli mukavemeti kazanınca, daha önce betonda bırakılmış kanallardan yüksek mukavemetli çelik kablolar geçirilmekte ve ardgerme tatbik edilmektedir. Ardgerme tatbik edilir edilmez kalıp arabası bir ano boyu kadar ötelenmekte ve yeni bir döngüye başlanmaktadır. Ayağın iki tarafındaki birer anonun imal edildiği bir döngü, yaklaşık olarak 1 haftada tamamlanmaktadır. Köprü mesnetin iki yanındaki açıklıkların ortasına geldiğinde, kalıp arabası sökülerek bir başka ayağa transfer edilmektedir.

Köprü yapımı sırasında betonun elastisite modülü, sünme ve rötre katsayıları iklim şartlarına bağlı olarak sürekli değişikliğe uğrayacaktır. İstenilen geometriyi sağlamak için kalıp arabasına verilecek ön sehim değerleri bu özellikler gözönünde tutularak uygulanacaktır.

2. ZEMİN KOŞULLARI

Köprü güzergahı üzerinde, 2 adedi karada ve 7 adedi denizde olmak üzere toplam 9 adet zemin sondajı Yüksel Proje Uluslararası A.Ş. tarafından gerçekleştirilmiş ve Ağustos 2000 de “Gülburnu Köprüsü Zemin Sondaj Raporu”, Kasım 2000’de de “Gülburnu Köprüsü Jeoteknik Raporu” hazırlanmıştır.

Söz konusu raporlardan da görüleceği üzere Gülburnu Koyu’nda ana kaya tabakası genelde çok sağlam yapıda ve sert aglomeradan oluşmaktadır. Aglomera birimi sadece çatlakları boyunca su taşıyan geçirimsiz bir kayadır. Köprü orta kesiminde, bu koyun geometrisini belirleyen ve doğu-batı yönünde uzanan 3 adet aktif olmayan fay bulunmaktadır. F1 ve F2 fayları arasındaki çöküntü bölgesinde kalınlığı 5 metre ile 8 metre arasında değişen gevşek bir kum-çakıl tabakası ve fay kenarlarında dökülmüş kaya blokları yer almaktadır. Kenardaki yüksek kısımlarda kaya tabakası üzerinde kayda değer bir çökelti tabakası yoktur.

Çöküntü bölgesindeki 3 , 4 ve 5 nolu sondajlarda bazalt dayk’ına girilmektedir. Bu bölge sert ve dayanımlı fakat parçalı bir yapı sergilemektedir (RQD = 0). Dolayısıyla su geçirimsizliği yüksektir.

Jeoteknik rapora dayanarak temellerin aglomera ve bazalt birimlerine soketli kazıklı temel şeklinde oluşturulmasına karar verilmiştir.

3. PROJE ÇALIŞMAŞLARI

Gülburnu köprüsü için ilk proje Prof Dr. Atila Öteş’in (Dortmund Üniversitesi) danışmanlığı ile Sn. Celal Kırandağ ve Dr. Nuri Çelebi tarafından 2001 yılında tamamlanmıştır. Bu projede köprü orta ayak temelleri, deniz tabanına oturan yüzeysel temeller şeklinde tasarlanmıştır. Orta ayaklar temele ve üst yapıya rijit bir şekilde bağlanmaktaydı. Bu durumda köprü ayaklarında, zati ve hareketli yükler, ısı genleşmesi, rötre ve sünme deformasyonları ve deprem yükleri altında eksenel kuvvetlerin yanısıra önemli eğilme momentleri de ortaya çıkmaktadır. Bu zorlanmaların azaltılması, ayak rijitliğinin azaltılmasına bağlı olduğu için hem ayak boylarının artırılması hem de ayak atalet momentlerinin azaltılmasına gayret edilmiştir. Ayak boyunu artırmak için

- Köprü kırmızı kotu yol bağlantılarının imkan verdiği ölçüde yükseltilmiş,
- Köprü giriş yüksekliği makul bir seviyede tutulmuş,
- Temel üst kotları olabildiğince derine indirilmiştir. Burada belirleyici olan daha sığ olan Trabzon tarafındaki ayaktır.

Ayak atalet momentinin azaltılması için ise tek parçalı bir enkesit yerine aynı alana sahip iki kolon kullanılmıştır.

Temellerin imal edilebilmesi için orta ayakların olduğu bölgelerde önce denizden 1 m yüksekliğe kadar kaya dolgusu yapılarak kara ile bağlantılı birer çalışma platformu oluşturulmuştur. Projede, platform üzerinden kesişen kazıklar çakılması suretiyle temelin kuruda yapılmasını sağlayacak bir batardo yapılması öngörülüyordu. Ancak uygulama sırasında kesişen kazıkların yapılmasında problemler çıkmış ve su geçirimsizliğinin sağlanamayacağı görülmüştür.

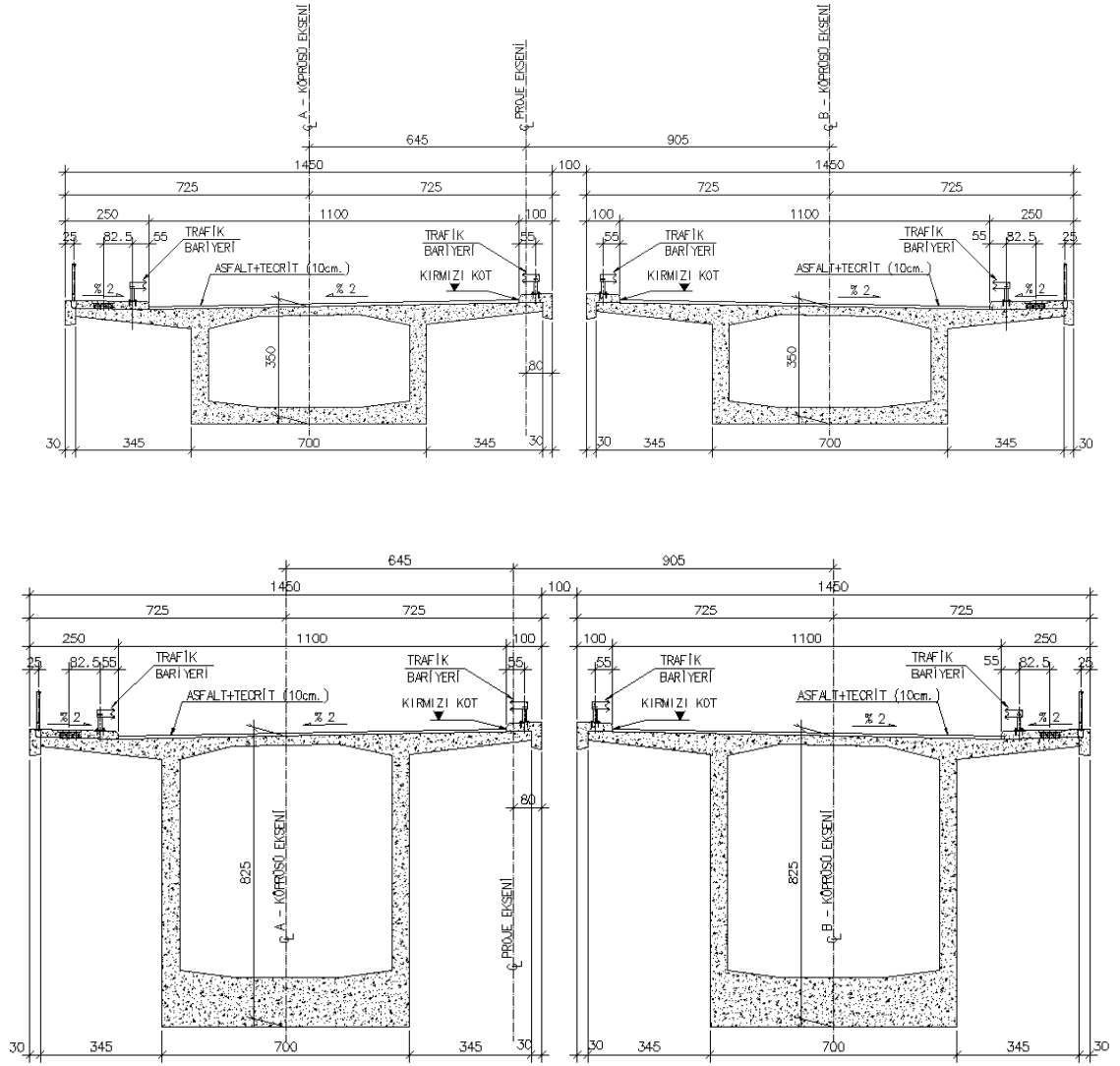
Bu durumda yeni tasarımların hazırlanması gündeme gelmiştir. Giresun tarafındaki temelin de çöküntü bölgesi dışına alınmasına yönelik olan ve Sn. Metin Özgüneri tarafından önerilen tasarımda orta açıklığının uzunluğu 225 metreye kadar çıkmaktaydı. Orta açıklık uzunluğu, yan açıklıklarının iki katından çok daha fazla olduğundan denge sağlanabilmesi için yan açıklıklar daha kalın ve ağır tasarlanmıştır. Bu tasarım idare tarafından kabul görmemiştir.

2005 te tamamlanarak uygulamaya konulan tasarımda ise köprü ayak yerleri değiştirilmemiş, fakat temeller deniz seviyesine yükseltilmiş ve temel altına taşıyıcı kazıklar konulmuştur. Bu durumda ayak yükseklikleri oldukça kısalmıştır. Serbest konsol metodunda genellikle ayaklar üst yapı ile monolitik bir şekilde bağlanmaktadır. Ancak ayağın üst yapı ile rijit bir şekilde bağlanması halinde üst yapının ısıl genleşmeleri, rötre ve sünmesi sebebiyle köprü ayağında taşınması imkansız eğilme momentleri ortaya çıkmakta ve yapı rijitliğinin büyümesinin bir sonucu olarak deprem yükleri de artmaktadır. Buna bağlı olarak temel kazıklarının çapı ve/veya adedinin uygulanan tasarıma göre daha fazla seçilmesi gerekecekti. Bütün bu sakıncaları ortadan kaldırmak için üst yapının ayaklardan ayrılmasına karar verilmiştir. Köprü önce orta ayağın iki tarafında bulunan geçici ayaklar üzerinde inşa edilecek, daha sonra köprü orta ayakları ile üst yapı arasına sürtünmeli sarkaç (friction pendulum) denilen mesnetler konulacaktır.

4. KÖPRÜ GEOMETRİSİ

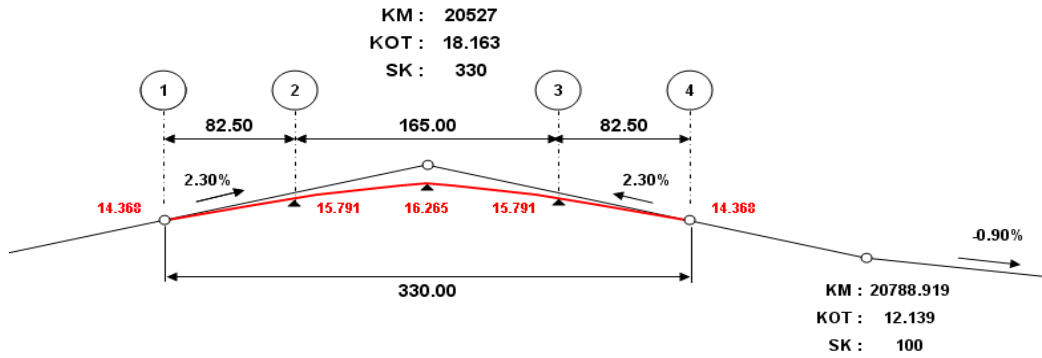
Gülburnu Köprüsü, Giresun-Espiye Devlet Yolunun Km: 20+362 - 20+692 kesimindedir. Yol projesinde proje eksenine, bu kesimde (proje artış kilometresine göre) sol taşın yolunun iç bördür dibindedir. Köprü de aynı şekilde, sol taşın yolunun iç bördür dibi proje eksenine gelecek şekilde yerleştirilmiştir.

Gülburnu köprüsü aynı temele oturan iki ayrı köprüden oluşmaktadır. Köprülerin verevlik açısı 0 derecedir. Köprü taşın yolu (2 x 3.50 metre trafik şeridi + 1 x 3.00 metre emniyet şeridi + 2 x 0.50 metre kenar bantı olmak üzere) 11.50 metre genişliğe sahiptir. Toplam platform genişliği, 2.50 metre kaldırım ve 1.00 metre bördür ile 14.50 metre olmaktadır. (Şekil 2) Sonradan yapılacak köprüünün imalatında bir zorlukla karşılaşılması için köprüler arasında 1 metre net boşluk bırakılmıştır. (İki köprü arasından bir yayanın aşağı düşme tehlikesine karşı önlem alınacaktır.)



Şekil-2: Açıklık Ortasında ve Orta Ayaklarda Köprü Enkesiti

Gülburnu köprüsü simetrik bir düşey karp üzerinde yer almaktadır. (Şekil-3) Köprü kırmızı kotu köprü ortasında 16.265 metre köprü kenar ayak eksenlerinde 14.360 metredir. Köprü yüksekliği parabolik olarak mesnette 8.25 metreden orta ve kenar açıklıklarda 3.50 metreye azalmaktadır.



Şekil-3: Köprü Kırmızı Kotu

5. MALZEME ÖZELLİKLERİ VE EMNİYET GERİLMELERİ

5.1. Malzeme

Köprü analizlerinde aşağıda belirtilen malzeme sınıfları kullanılmıştır.

Beton :

Prekast Kutu Kesit	: C-40	$f'_c = 40 \text{ MPa}$
Kazıklar , Temel ve Elevasyonlar	: C-30	$f'_c = 30 \text{ MPa}$
Kenarayaıklar	: C-25	$f'_c = 25 \text{ MPa}$

Artçekme yapılabilmesi için gerekli minimum beton dayanımı:

$$f_{ci}' = 27 \text{ MPa}$$

Çelik :

Öngerilme Çeliği	: Gr. 1600/1860 $\phi 0.62''$ (Düşük Gevşemeli)
	Akma gerilmesi = 1600 MPa
	Kopma gerilmesi = 1860 MPa
Donatı	: St-III

5.2. Emniyet Gerilmeleri

Analizlerde kullanılan emniyet gerilmeleri AASHTO-LRFD Şartnamesine göre alınmıştır.

Beton :

Bitmiş durumda kayıplardan sonra :

Beton basınç gerilmesi :

$$F_{\text{comp}} = 0.45 f'_c = 18.00 \text{ MPa} \quad (\text{Zati ve ardgerme yüklerinde})$$

$$F_{\text{comp}} = 0.60 \phi_w f'_c \quad (\text{Tüm yüklemeler dahil})$$

Burada ϕ_w kutu kesit narinliğine bağlı bir katsayı olup tüm köprü boyunca ano sonlarındaki kesitler için hesaplanmıştır. Dolayısıyla tüm yüklemelerin dahil olduğu durumda emniyetli basınç gerilmesi kesitlere göre değişiklik gösterir.

Beton çekme gerilmesi :

$$F_{\text{ten}} = 0.25 (f'_c)^{1/2} = 1.58 \text{ MPa}$$

İnşaat halinde kayıplardan önce:

Beton basınç gerilmesi :

$$F_{\text{comp}} = 0.60 f_{ci}' = 16.20 \text{ MPa}$$

CEB-FIP Model Code 90 Formül 2.1-57' ye göre, beton dayanımının beton yaşı ile artması ;

$$f_c' (t) = f_c' \exp (s (1 - (28 / t)^{0.5}))$$

Beton çekme gerilmesi :

$$F_{ten} = 0.25 (f_{ci}')^{1/2} = 1.30 \text{ MPa}$$

Ardgerme Celiği :

Akma gerilmesi , $f_{py} = 1600 \text{ MPa}$

Kopma gerilmesi , $f_{pu} = 1860 \text{ MPa}$

Germe kamaları oturtulmadan önce kısa süreli olarak , $0.90 f_{py} = 1440 \text{ MPa}$

Germe kamaları oturtulduktan hemen sonra ankrajlarda , $0.70 f_{pu} = 1302 \text{ MPa}$

Germe kamaları oturtulduktan hemen sonra, kama oturmasının etkisi ile gerilmenin azaldığı bölgenin sonunda , $0.74 f_{pu} = 1376 \text{ MPa}$

Kayıplardan sonra kullanım sırasında , $0.80 f_{py} = 1280 \text{ MPa}$

6. KÖPRÜ ANALİZİNDE KULLANILAN YÜKLER

6.1. İnşaat halinde alınacak yükler :

6.1.1. Köprü zati ağırlığı

İnşaat sırasında yaş beton birim ağırlığı 2.600 t/m^3 alınarak köprü zati yükleri hesaba katılmıştır.

6.1.2. Kalıp arabası yükü

Kalıp arabası yükü olarak 65 ton alınmıştır.

6.1.3. Yapım halindeki hareketli yükler

Orta açıklık tarafında 50 kg/m^2 , kenar açıklık tarafında 25 kg/m^2 alınmıştır.

6.1.4. Düşey yükün iki kolda farklı olması durumu

6.1.5. Yapıya gelen yatay rüzgar yükü

Köprü yanal yüzeylerine gelen rüzgar yükleridir. Köprü geometrisi parabolik olduğu için bu yükleme köprü boyunca değişken olarak hesaplanmıştır.

6.1.6. Yapıya tek taraflı alttan gelen rüzgar yükü

İnşaat sırasında sadece bir tarafta oluşan rüzgar kaldırma kuvveti 25 kg/m^2 alınmıştır.

6.1.7. Sünme etkileri

Sünme etkileri CEP-FIP-90 Şartnamesine göre alınmıştır.

6.1.8. Büzülme etkileri

Büzülme etkileri CEP-FIP-90 Şartnamesine göre alınmıştır.

6.1.9. Demet kuvvetleri

Akma gerilmesi , $f_{py} = 1600$ MPa

Kopma gerilmesi , $f_{pu} = 1860$ MPa

1 demetteki büklüm adedi = 19

Büklüm alanı (7 Telli) = 150mm^2

Demet alanı = 2850mm^2

Germe kamaları oturtulmadan önce kısa süreli olarak ,

$$0.90 f_{py} = 1440 \text{ MPa} \rightarrow P = 410.4 \text{ ton}$$

Germe kamaları oturtulduktan hemen sonra ankrajlarda ,

$$0.70 f_{pu} = 1302 \text{ MPa} \rightarrow P = 317.1 \text{ ton}$$

Germe kamaları oturtulduktan hemen sonra, kama oturmasının etkisi ile

gerilmenin azaldığı bölgenin sonunda , $0.74 f_{pu} = 1376$ MPa $\rightarrow P = 392.3$ ton

Kayıplardan sonra kullanım sırasında , $0.80 f_{py} = 1280$ MPa $\rightarrow P = 364.8$ ton

Yukarıda belirtilen gerilme ve kuvvetler sınır değerler olup gerçek değerler öngörülme kayıpları dikkate alınarak hesaplarda bulunmaktadır.

6.2. Bitmiş durumda alınacak yükler :

6.2.1. Köprü zati ağırlığı

İnşaat sırasında kuru beton birim ağırlığı 2.500 t/m^3 alınarak köprü zati yükleri hesaba katılmıştır.

6.2.2. Sonradan etkiyen sabit yükler

Köprü tamamlandıktan sonra köprü üzerine gelen ilave yüklerdir.(Asfalt, düzeltme betonu, korkuluk...vb.)Köprü kenarayaklarından köprü ortasına doğru 21 metre uzunlukta bir bölgede kutu kesit içinde alt başlığa 70 cm. kalınlıkta balast betonu dökülecektir. Böylece sadece orta açıklıkta hareketli yük olduğu zaman uç mesnetlerde çekme çıkması önlenmektedir.

6.2.3. Hareketli yükler (Taşıt ve Yaya Yükleri)

Köprü bitmiş durum analizinde taşıt yükü olarak Karayolları Teknik Şartnamesinde belirtilen H30-S24 kamyon yükü ile uzun araç ve askeri araç yüklemeleri yapılmıştır.

Yaya yükü olarak kaldırımlar üzerinde 300 kg/m^2 alınmıştır.

6.2.4. Köprü boyuna yönde fren kuvvetleri

Taşıtların fren yapması veya harekete geçmesi gibi etkileri hesaba katabilmek için alınan yüklerdir.

6.2.5. Yapıya gelen yatay rüzgar yükü

Köprü yanal yüzeylerine gelen rüzgar yükleridir. Köprü geometrisi parabolik olduğu için bu yükleme köprü boyunca değişken olarak hesaplanmıştır.

6.2.6. Hareketli yüklere gelen yatay rüzgar yükü

Köprü üzerindeki araçlara gelen rüzgar yükleridir.

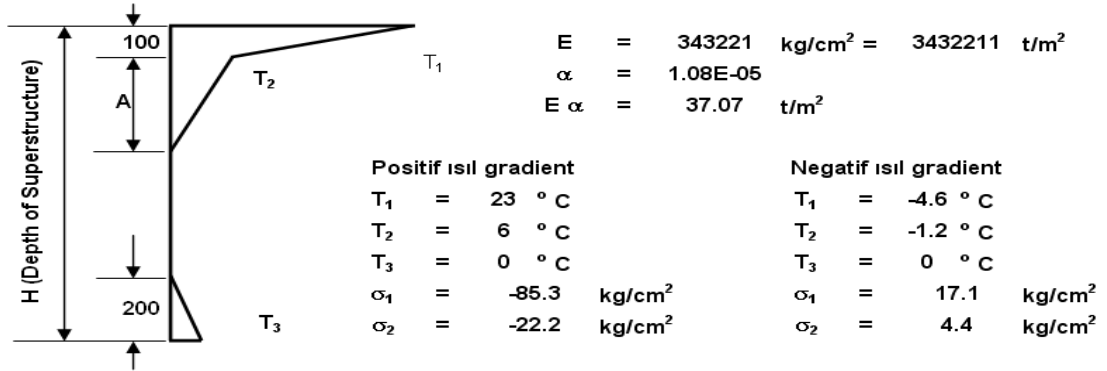
6.2.7. Düzgün ısı değişimleri

Isıda yükselme ve azalma miktarları yapım sırasında kabul edilen bir ısı derecesine bağlı olarak ve yapının bulunduğu bölgeye göre saptanmıştır. Meteoroloji bülteni değerlerine göre ısıda artma 20°C , ısıda azalma -15°C olarak alınmıştır.

6.2.8. Köprünün alt ve üstündeki farklı ısı değişimleri

Köprünün üst ve alt tabliyesini farklı ısınmasında dolaylı kesitte oluşacak eğilme tesirlerini hesaba katabilmek için yapılan yüklemidir.

AASHTO,2002 LRFD Spec. Şekil 3.12.3-2 de köprü enkesitindeki sıcaklık değişimi gösterilmektedir. Pozitif sıcaklık değişimi (köprü üstünün ısınması) için alınacak değerler Tablo 3.12.3-1 'de verilmektedir. Gülburnu köprüsü için Zone 3 geçerli sayılmıştır. Buna göre farklı ısı değişimi yüklemesinde alınan değerler aşağıdaki gibidir.



6.2.9. Sünme etkileri

Sünme etkileri CEP-FIP-90 Şartnamesine göre alınmıştır.

6.2.10. Büzülme etkileri

Sünme etkileri CEP-FIP-90 Şartnamesine göre alınmıştır.

6.2.11. Demet kuvvetleri

Demet kuvvetleri inşaat sırasında belirtildiği gibidir.

6.2.12. Hidrostatik yükler

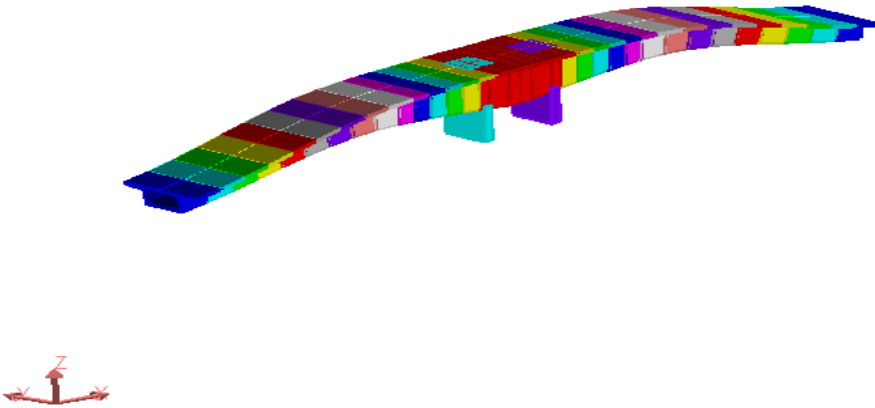
Köprü tamamlandıktan sonra inşaat sırasında kullanılan deniz içersinde dolgu kaldırılacaktır. Bu dolgunun tamamı kaldırılamasa bile zamanla kazıklar ile kazık başlığının bir kısmı su içinde kalacaktır. Dolayısıyla kazıklar ve kazık

başlığı hidrostatik kuvvetlere maruz kalacaktır. Kazık başlığında meydana gelen kaldırma kuvveti ile kazıklara gelen yanal su basıncı köprü bitmiş durum analizlerinde dikkate alınmıştır.

7. ANALİZ YÖNTEMİ

İnşaat sırasında köprü çeşitli aşamalardan geçmektedir. Önce Giresun tarafındaki, sonra Trabzon tarafındaki bölümler serbest konsol olarak inşa edilecek ve kenar ayaklara oturtulacaktır. Orta anonun yapılması ile, farklı yaşta ve farklı miktarlarda sünme yapmış olan iki köprü bölümü birleştirilerek konsol durumdan üç açıklıklı sürekli bir köprü durumuna geçilmiş olacaktır. Sonra orta ayaklara sürtünmeli sarkaç tipi mesnetler yerleştirilecek ve geçici ayaklar devreden çıkarılacaktır. Köprünün sürekli hale gelmesinden sonra betonun sünmesi son bulana kadar sürekli yükler altında çıkan eğilme momenti dağılımı değişme uğrayacak ve mesnet üzerindeki eksi işaretli eğilme momentleri azalırken orta açıklıktaki artı işaretli eğilme momentleri artacaktır. Bunları karşılamak üzere kutu kesit içinde hazırlanmış ankraj noktalarından kesit alt başlığında yer alan süreklilik demetleri gerdirilecektir. Daha sonra köprüye kaldırım ve asfalt yükleri ile hareketli yükler etkilenecektir. Yukarıda anlatılanlardan görüleceği gibi geçilen aşamalarda köprü geometrisinde, taşıyıcı sisteminde ve geçen zamana bağlı olarak malzeme özelliklerinde değişiklikler olmaktadır. Bu sebeple köprü hesapları aşamalı inşaat yapılmasını ve malzeme özelliklerinin zamanla değişmesini dikkate alabilen LARSA programı ile yapılmıştır. Hesap modelinde her aşamanın ne zaman gerçekleşeceği belirtilmektedir. Köprünün bir yarısının modeli Şekil 4' te gösterilmiştir.

Zoom 1.989X Stage: LEFT_18_SEGMENT_3 / Step_2_DeIFW
Deformed Model - LEFT_18_SEGMENT_3: Creep
Scale Factor: 181.



Şekil-4: Köprü Yarısının Modeli (Zati yükler ve Öngerilme altında Şekil Değiştirme)

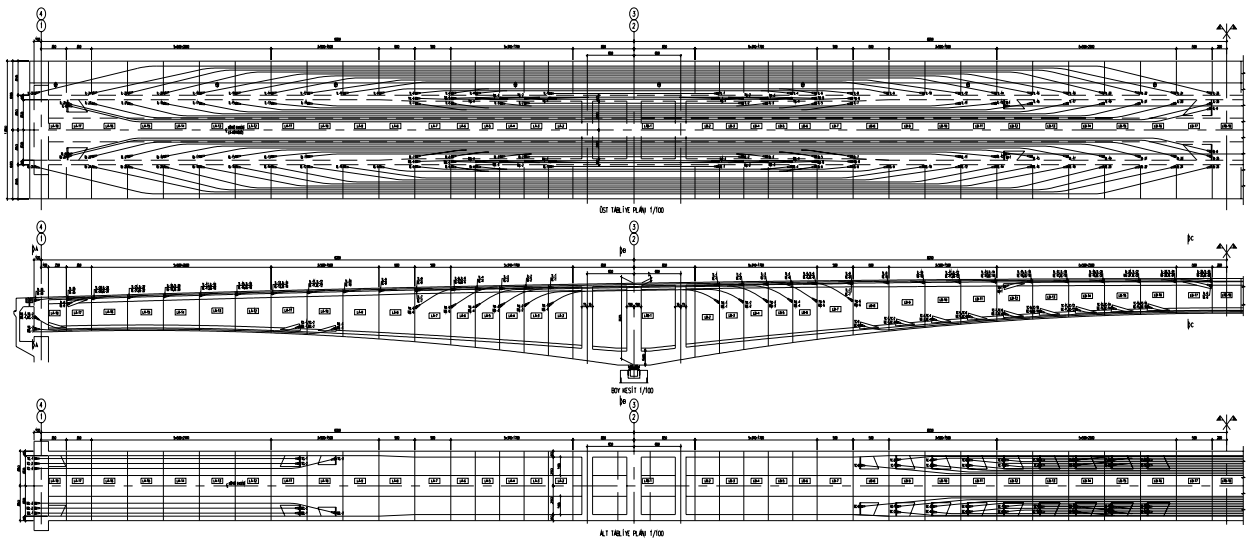
İnşaat durumu analizinde gözönüne alınan döngü aşağıdaki gibidir :

Serbest konsol metodunda önce orta ayaklar ve mesnet anosu uygun bir kalıp sistemi ile inşa edilmektedir. Sonra ayağın iki tarafına özel kalıp arabaları bağlanarak 3.4 ila 5 metre uzunlukta birer ano imal edilmektedir. Kalıp arabası kalıp, beton ve beton içerisindeki teçhizatın ağırlığını, bir önce dökülmüş olan anoya basarak taşımaktadır. Beton yeterli mukavemeti kazanınca, daha önce kutu kesit üst başlığı

içinde bırakılmış kılıf borularından öngerilme demetleri geçirilmekte ve artçekme tatbik edilmektedir. Artçekme tatbik edilir edilmez kalıp arabası bir ano boyu kadar ötelenmekte ve yeni bir döngüye başlanmaktadır. Ayağın iki tarafındaki birer anonun imal edildiği bir döngü, yaklaşık olarak 1 haftada tamamlanmaktadır. Köprü mesnetin iki yanındaki açıklıkların ortasına geldiğinde, kalıp arabası sökülerek bir başka ayağa taşınmaktadır.

- 1.GÜN : Kalıp arabasının kurulması
- 2.3.GÜN: Ano donatısının ve arderme kablo kılıflarının döşenmesi. Anonun beton dökümüne hazır hale getirilmesi.
4. GÜN : Beton dökülmesi.
5. 6. GÜN : Betonun mukavemet kazanması.
7. GÜN : Artçekme yapılması.
8. GÜN : Diğer anoya geçilmesi.

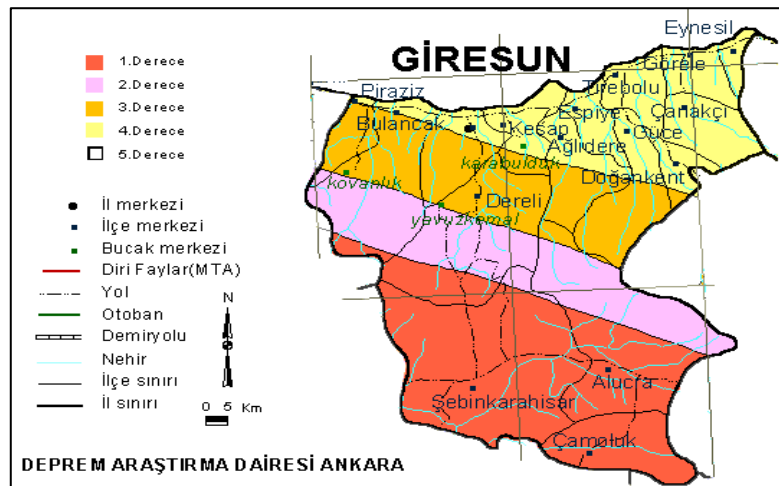
Köprüdeki konsol ve süreklilik öngerilme demetleri Şekil 5' te gösterilmiştir.



Şekil-5: Konsol ve Süreklilik Öngerilme Demetlerinin Yerleşimi

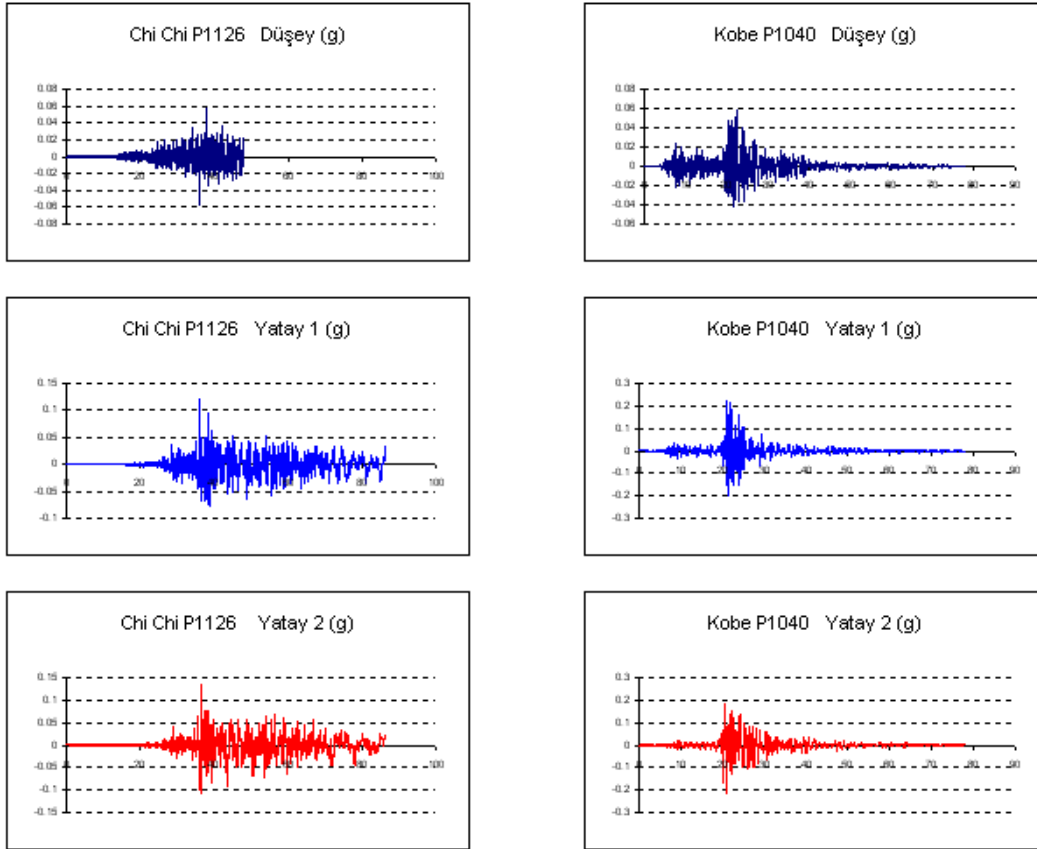
8. DEPREM HESABI

Köprünün bulunduğu yer deprem haritasına göre 4.derece deprem bölgesinde yer almaktadır.



Köprünün yapılacağı yerin sismisitesi (O.D.T.Ü.) Doçent Dr. Önder Çetin tarafından incelenmiştir. Bölgenin sismik aktivitesi, yanal atımlı fay mekanizmalarını barındıran ve üç milyon yıldan beri aktif olduğu bilinen Kuzey Anadolu Fay Hattı tarafından kontrol edilmektedir. Çalışma sahasına 200 km yarıçaplı bir alan içindeki mevcut fay kaynakları ile tarihsel deprem hareketleri gözönüne alınarak dört sismik tehlike kaynak alanı oluşturulmuştur. Her sismik tehlike kaynağının aktivitesi olasılıksal olarak belirlenmiştir.

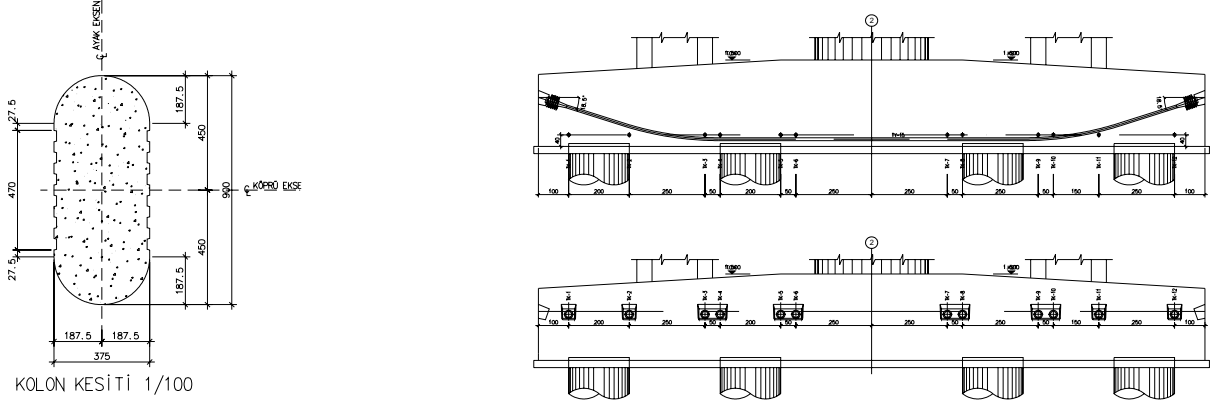
Köprüde deprem izolatörlerinin kullanılması, deprem analizlerinin non-lineer yöntemlerle yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu sebeple Köprünün deprem hesabı (O.D.T.Ü.) Doçent Dr. Önder Çetin tarafından köprü yerine göre belirlenmiş olan ivme-zaman dataları kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz (time history) yöntemi ile yapılmıştır. Time-History datalarını gösteren ivme - zaman grafiklerin bazıları aşağıdaki gibidir.



Deprem hesapları bitmiş köprü için yapılmıştır. Bu durumda denizde yapılan dolgular olmadığından kazıkların deniz tabanındaki alüvyon tabakasına saplandığı noktaya kadar yatay yatak katsayısı alınmamıştır. Kazıkların ve kazık başlığının suya batan kısmındaki su kütlesi hesaba katılmıştır. Bu aşamadaki hesaplar SAP2000 Version 9.0 Non-linear modülü ile yapılmıştır. Alınan farklı deprem dataları doğrultusunda 7 analiz yapılmış ve bunların ortalamasına göre bulunan kesit tesirleri köprü tasarımında kullanılmıştır.

9. KÖPRÜ ORTA AYAK TEMELİ

Orta ayak temellerinde 28 adet ϕ 200 cm'lik kazık bulunmaktadır. Kazık başlığında ise alışılmış uygulamalardan farklı olarak mevcut donatıya ek olarak öngerilme demetleri kullanılmıştır. Bunun nedeni inşaat durumu ve bitmiş durumda kazık başlığı altında çıkan çekme kuvvetlerinin normal donatı ile taşınmasında karşılaşılan zorluklardır. Ayrıca kısmen su içinde kalan kazık başlığı alt yüzeyinde çekme gerilmelerinin azaltılması hedeflenmiştir.



Şekil 6: Köprü Orta Ayak Enkesiti ile Kazık Başlığı Kesit ve Görünüşü

10. HESAP SONUÇLARI

Yukarıda tanımlanan hesap sonuçlarına göre köprüyü oluşturarak her ano kesitinde gerekli gerilme kontrolleri yapılmıştır. Betonun basınç ve çekme gerilmeleri ile ardgerme kablolarda oluşan gerilmeler kontrol edilmiştir. Gerilme tahkikleri için kullanılan yük kombinasyonları, inşaat hali için AASHTO-LRFD Tablo 5.14.2.3.3-1, bitmiş köprü hali için AASHTO-LRFD Tablo 3.4.1-1'e göre dir. Taşıma gücü yük kombinasyonları ise AASHTO-LRFD Tablo 3.4.1-1 ve AASHTO-LRFD 3.4.2'ye göre alınmıştır. Bu kombinasyonlar sonucu elde edilen en elverişsiz değerler tasarımda kullanılmıştır.

Köprü boyuna yön hesabı dışında enine yönde de hesap yapılmıştır. Bunun için köprü enkesiti gövde hizasında düşey yönde mesnetlenmiş düzlem çerçeve şeklinde modellenmiştir. Burada özellikle hareketli yüklerin değişik konumları incelenerek enine yönde döşeme tasarımı yapılmıştır. Analizler sonucu orta ayakta sürtünmeli sarkaç mesnetlere, kenarayakta ise elastomer mesnetlere gelen tesirler ile mesnet deplasman ve dönme değerleri de bulunmuştur. Buna göre bu mesnetlerde düşey yük kapasitesi, yatay deplasman kapasitesi, sürtünme değerleri gibi özellikler belirlenmiştir.

KAYNAKÇA

1. American Association of State Highway and Transportation Officials. (AASHTO-LRFD), 2004
2. Karayolları Teknik Şartnamesi