

## Kömürhan Köprüsü'nde Düşey Yerdeğiştirmeler

Sıddık ŞENER<sup>1</sup>  
Yasin ÇAĞLAR<sup>2</sup>

### ÖZ

Bu çalışmada, Türkiye'nin ilk dengeli konsol yöntemi ile yapılmış Kömürhan Köprüsü'nün düşey yükler altında yerdeğiştirmeleri, gerilme dağılımları hesaplanmıştır. Bu amaçla ANSYS programında, malzeme özellikleri ve sınır koşulları dikkate alınarak köprünün gerçek durumunu yansıtan sonlu eleman modeli oluşturulmuştur. Kömürhan Köprüsü, ana açıklığı 143.5m olan simetrik, kenar mesnetleri karada, öngerilmeli kutu kesitli köprüdür. Köprüde yapılan kamyon yüklemesi altında ölçülen yerdeğiştirme, sonlu elemanlar ile modellenen yapıda elde edilen yerdeğiştirme birbirine çok yakın bulunmuştur. Gerçek davranışı veren modelde aşırı yükler altında köprüde çekinceli kesitlerde yerdeğiştirmeler, normal gerilmeler, kesme gerilmeleri elde edilmiştir. Köprüdeki aşırı yerdeğiştirmelerin, normal, kesme gerilmelerinin çekinceli kesitlerde elde edilmesi köprü güvenliği için önemlidir.

**Anahtar Kelimeler:** Kömürhan, öngerilmeli köprü, ANSYS, sonlu elemanlar analizi, kutu kesit.

### ABSTRACT

#### Vertical Displacements of Kömürhan Bridge

In this study, displacements and stress distribution under vertical loads of Kömürhan Bridge that is built by balanced cantilever method for the first time in Turkey were determined. For this purpose ANSYS software is used and the real behaviour of the bridge is created with the finite elements model by taking into account the material properties and the boundary conditions. The main span of the Kömürhan Bridge is 143.50m, symmetric with prestressed box section whose end supports are located on the shore. The displacements obtained by the finite elements model of the bridge and those measured at the cantilever end under the truck load are found to be very close. The displacements, normal and shear stresses were obtained for the model which represents the real behavior of the bridge under excessive loadings. Excessive displacements, normal and shear stress at the critical cross sections are important for the safety of the bridge.

**Keywords:** Kömürhan, prestressed bridge, ANSYS, finite elements analysis, box girder.

---

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 15.01.2014 günü ulaşmıştır.
- 31 Mart 2016 gününe kadar tartışmaya açıktır.

1 Bilgi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul - siddik.sener@bilgi.edu.tr  
2 Kırıkkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale - ycaglar@kku.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Kömürhan Köprüsü, Elazığ-Malatya karayolunun 51. kilometresinde, Fırat nehri üzerinde bulunmaktadır. Fırat nehri, Malatya ve Elazığ illerini birbirinden ayıran doğal bir sınır niteliğindedir. Bu iki ilimiz arasındaki ulaşım bağlantısı önce sal ve kayıklarla, daha sonra ise 1.Dünya Savaşı yıllarında yapılmış olan ahşap bir köprüyle sağlanmıştır. Ancak 1929 yılında suların 14m kadar yükselmesi ile birlikte ahşap köprü yıkılmıő, dolayısıyla sal ve kayıklarla ulaşımaya yeniden dönülmüőtür. Bu duruma kalıcı bir çözüm bulmak amacıyla betonarme bir köprü yapılması gündeme gelmiő, bunun için uygun yerin Kömürhan Boğazı olduğına karar verilmiştir.

1 Ağustos 1930 tarihinde baőlayan betonarme köprü inőaatı 3 Nisan 1932 tarihinde tamamlanmıştır. İsveç firması olan Nidgvist&Helm Őirketi tarafından inőa edilmiő olan yapı, önceleri İsmet Paőa Köprüsü, sonraları Kömürhan Köprüsü olarak anılmıőtır. Kemer biçimindeki 109.6m orta açıklığına (Şek. 1a) sahip olan köprü, yapıldığı dönemde dünyadaki 6. en uzun açıklıklı köprü olarak nitelendirilmiőtir.



Şekil 1. a) Eski ve yeni (baraj yapılmadan önce) b)Yeni Kömürhan Köprüsü

Uzun yıllar hizmet eden betonarme kemer köprü, Güneydoğı Anadolu Projesi (GAP) kapsamında yapılan Karakaya Barajı ile sular altında kalmıőtır. Eski betonarme kemer köprünün hemen yanına öngerilmeli kutu kesitli 135m ana açıklıklı yeni Kömürhan Köprüsü 1986 yılında yapılmıştır [1-3]. Şek. 1'de eski ve yeni Kömürhan Köprüleri birarada gözükmetedir.

Kömürhan gibi diğer bir konsol köprü olan 1977'de yapıldığında dünyanın en uzun açıklıklı (285m) köprüsü Palau'da [4-8] zamanla oluşan aşırı yerdeğiştirmeler yüzünden onarım gerekip gerekmediğı sorgulanmıştır. Sonuçta onarım yapılmasına karar verilen köprünün 1996'da onarımdan 3 ay sonra göçmesi benzer problemlili Kömürhan'ın incelenme nedenidir. Kömürhan köprüsü konsol uçlarında zamanla oluşan düşey yerdeğiştirmeye ek birbirine göre bağılı yerdeğiştirme çelik profiller ile önlenmesine karşın 0.3m civarında olup kesit uçlarında dönmeler de vardır. Bu çalışmada, ANSYS programı ile malzeme özellikleri, sınır koşulları kullanılarak köprünün gerçek durumunu yansıtan sonlu eleman modeli [14] oluőturulmuőtır. Düşey yükler altında yerdeğiştirmeler, normal, kesme gerilmelerinin dağılımları bulunmuőtır.

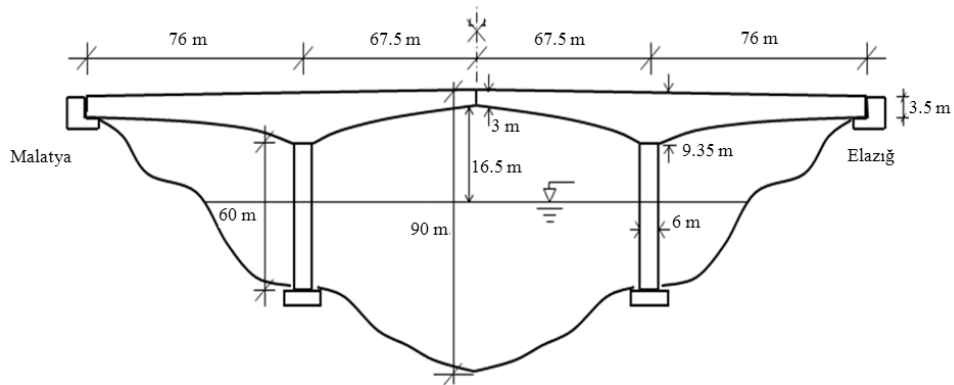
## 2. KÖMÜRHAN KÖPRÜSÜ

Yapımı STFA (Sezai Türkeş-Fevzi Akkaya) İnşaat A.Ş. tarafından gerçekleştirilen Kömürhan köprüsünde, ardgerme çalışmaları ise DSI [13] (DYWIDAG Systems International) firmasınınca gerçekleştirilmiştir. Köprü yapımına 23.02.1983 tarihinde başlanılmış, 08.04.1986 tarihinde köprü tamamlanarak trafiğe açılmıştır.



Şekil 2. Kömürhan Köprüsü'nün dengeli konsol yöntemi ile yapımı

Kömürhan Köprüsü Türkiye'de ilk olması yüzünden en uzun açıklıklı dengeli konsol yöntemi [16] ile yapılmış kutu kesitli öngerilmeli köprüdür (Şek. 2). Köprü, 135m uzunluğunda bir adet ana açıklık ve 76m uzunluğunda iki adet kenar açıklıktan oluşmakta olup, toplamda 287m boya sahiptir (Şek. 3). Donatılı kutu kesitin yüksekliği orta ayak üzerinde 9.35m olmakla beraber, iki taraflı parabolik bir azalım göstererek kenar mesnetlerde 3.50m'ye, ana açıklık ortasındaki genişleme derzinde ise 3.00m'ye düşmektedir. Böylece kenar açıklığın ana açıklık konsol boyundan uzun ( $76m > 67.5m$ ), konsol uç yüksekliğinin de büyük ( $3.5m > 3.0m$ ) olması statik dengeyi korumasını arttırmıştır. Kömürhan Köprüsü, yapım yılları olan 1983-1986'da dönemin teknik kurallarına göre oldukça küçük deprem ivmeleri ( $0.075g$ ) göz önüne alınarak tasarlanmıştır.



Şekil 3. Köprü boyuna kesiti

### Kömürhan Köprüsü'nde Düşey Yerdeğiştirmeler

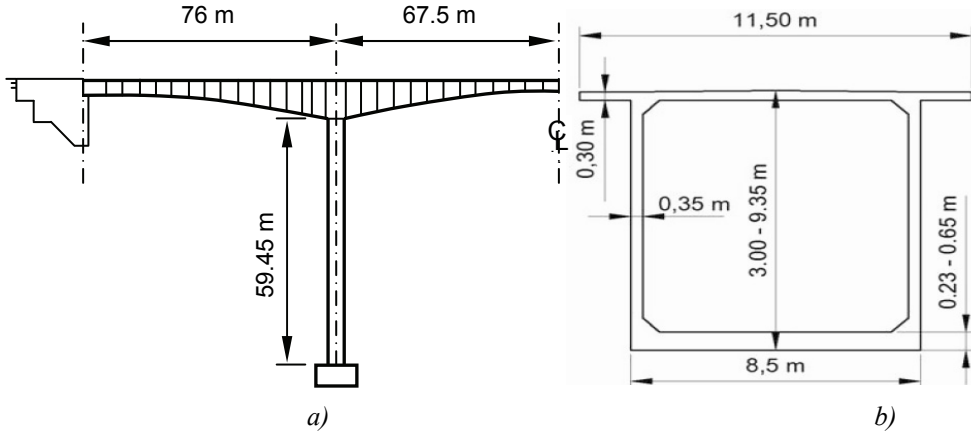
Kömürhan Köprüsü'nün ana açıklığının ortasında, mafsal biçiminde tasarlanan bir düzenek oluşturulmuştur. Orta açıklık da moment aktarmayan mafsal düzeneği kutu kesitin içinde boyuna yönde simetrik olarak yerleştirilen 2.9m uzunlukta iki adet IPB 600 kesitli çelik kirişten oluşmaktadır (Şek. 4). Bu bağlantı ile düşey yükler altında konsolların ortak hareketi sağlanmıştır. Ayrıca konsol uçlarında bırakılan derzle köprüde zamanla oluşacak sünme, rötre, gerilme kayıpları, farklı ısı değişiminden oluşacak boy değişimlerine izin verilmiştir.



Şekil 4. Orta açıklık genleşme derzindeki mafsal düzeneği

Köprü döşemesini kenar mesnete bağlamak amacıyla her bir mesnette 40 adet olmak üzere S420 kalitesinde Ø50 çapında çekme çubukları kullanılmıştır. Bu çubuklar Malatya kenar mesnetinde 3.7m, Elazığ kenar mesnetinde ise 4.7m uzunluğundadır.

Köprü gövdesi, 29 adet değişken kutu kesitli, yerinde dökme parçadan oluşmaktadır. Her bir parça donatılı kutu kesit olup, haftada bir ano dökülerek köprü tamamlanmıştır. Değişken kutu kesitli köprünün boyuna doğrultuda simetrisi vardır. Simetrik köprünün yarısı Şek. 5a'da, köprü enine kesiti ise Şek. 5b'de gösterilmektedir. Köprüde kullanılan betonun karakteristik basınç dayanımı 35MPa, yoğunluğu  $\rho=2325\text{kg/m}^3$  dir.

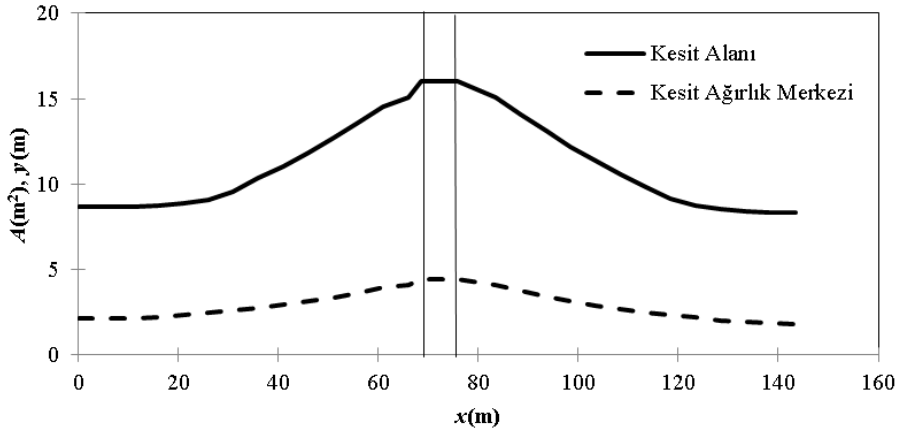


Şekil 5. Kömürhan Köprüsü a) Boyuna kesiti, b) Değişken enine kesiti

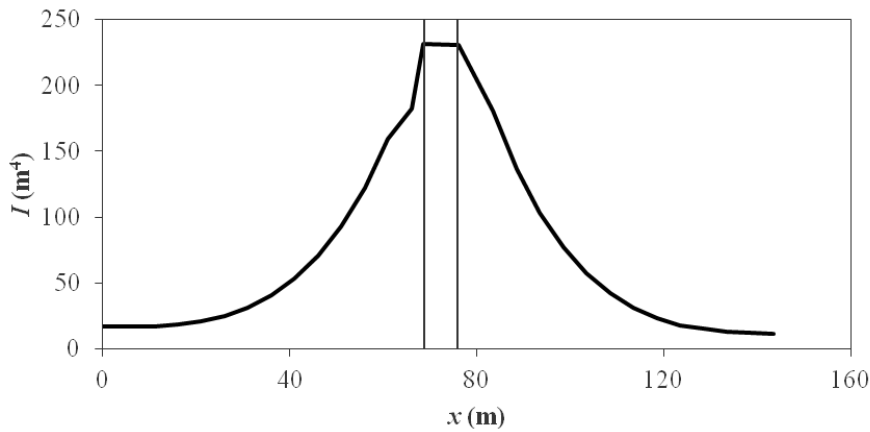
Her biri 59.45m yüksekliğinde olan ana ayakların boyutları temelde 14.40x4.5m olmasına karşın, doğrusal biçimde üste doğru azalarak köprü döşemesi ile birleşiminde 8.50x4.5m'ye düşmektedir.

## 2.1. Köprü Kesit Özellikleri

Köprü döşemesinin kesiti ile kesit ağırlık merkezinin köprü boyunca değişimi Şek. 6'da gösterilmiştir. Burada sürekli çizgi ile kesit alanı, kesikli çizgi ile ağırlık merkezinin değişimi aynı Şek. 6'da gösterilmiş olup kesit ( $A$ ) için  $m^2$ , ağırlık merkezi ( $y$ ) için  $m$  boyutu kullanılmıştır. Örnek olarak kenar mesnetten yaklaşık  $X=40m$  uzakta köprü kesitinin alanı  $A=11.4m^2$ , ağırlık merkezi  $y=2.9m$  olarak anlaşılmalıdır. Yatay eksendeki  $X$  değeri yere ankre edilen kenar açıklık ucu başlangıç alınarak ana açıklık ortasına doğru ölçülmüştür.



Şekil 6. Köprü boyunca değişken kesit alanı  $A$  ( $m^2$ ), kesit ağırlık merkezi  $y$  ( $m$ )



Şekil 7. Köprü boyunca eylemsizlik momenti  $I$  ( $m^4$ )

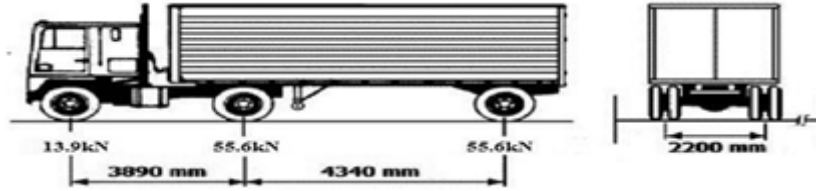
## Kömürhan Köprüsü'nde Düşey Yerdeğiştirmeler

Eylemsizlik momenti değişimleri Şek. 7'de gösterilmektedir. Şek. 6,7'deki düşey çizgiler ana ayağın yerini göstermektedir. Burada da köprü simetrisinden ötürü yarısının kesit özellikleri verilmiştir.

Şek. 6,7'den görüldüğü gibi en büyük kesit ( $A$ ) ve eylemsizlik momentleri ( $I$ ), eğilme momentinin en büyük olduğu ana ayakta oluşmaktadır.

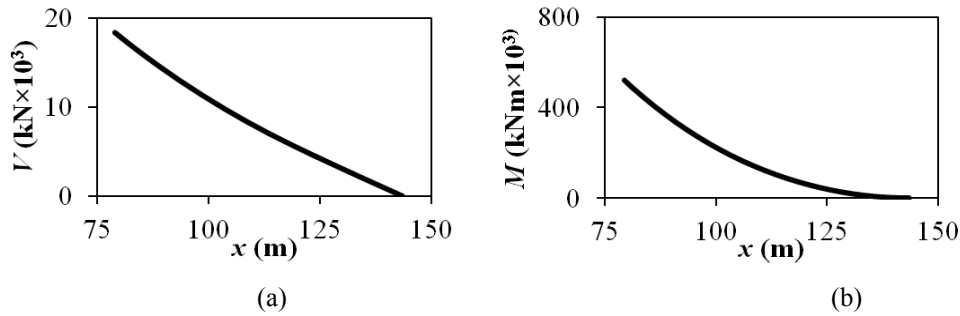
### 2.2. Köprüde Eğilme Momenti ( $M$ ), Kesme ( $V$ ) Kuvveti Diyagramları

Dengeli konsol yöntemiyle yapılan köprüde kendi ağırlığının yanı sıra, ortalama kalınlığı 90mm olan asfalt, bordür, boru hattı, kaldırım, korkuluk gibi etki eden ek ölü yükler bulunmaktadır. Ek olarak etki eden  $31\text{kN/m}^2$ 'lik yük [2,3] köprü genişliği 11.5m'ye bölünerek birim alandaki yayılı yük  $31(\text{kN/m})/11.5(\text{m})=2.7\text{kN/m}^2$  gözönüne alınmıştır. Köprüdeki en büyük zorlanmayı bulmak amacı ile kaldırımlarda  $2.94\text{kN/m}^2$  ( $300\text{ kg/m}^2$ ) yaya yükü, trafik yüklemesi olarak arka arkaya yaklaşık 8.5m boyunda  $250\text{kN}$  ağırlığında  $H_{30}S_{24}$  kamyonundan (Şek. 8) iki şeritte [24],  $n=(143.5/8.5)\times 2=34$  adet kullanılmıştır. Köprü genişliği 8.5m alındığında birim alana etki eden yayılı yük  $34\times 250/(8.5\times 143.5)=6.97\text{kN/m}^2$  elde edilir.



Şekil 8. En elverişsiz yükleme durumu için  $H_{30}S_{24}$  kamyonu

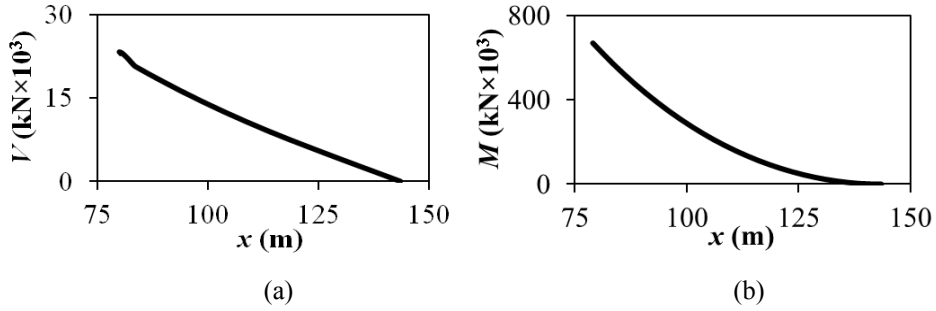
Statikçe belirli köprünün asfalt, bordür, boru hattı ile destekleri, korkuluk gibi ek ölü yükler yanında kendi ağırlığından oluşan eğilme momenti, kesme kuvveti diyagramlarına ait grafikler Şek. 9'da verilmiştir. Burada ise  $x$ , karadaki 60m yükseklikteki ana ayak yüzünden ana açıklık konsolunun ucuna doğru ölçülmüştür.



Şekil 9. Kendi ağırlığı, ek ölü yüklerden oluşan a) Kesme kuvveti, b) Eğilme momenti diyagramı

Kömürhan Köprüsü konsolunun ana ayak yüzünde kendi ağırlığı ile ek ölü yüklerinden oluşan kesme kuvveti  $18.3 \times 10^3$  kN (Şek. 9a), eğilme momenti  $526.9 \times 10^3$  kNm (Şek. 9b) olarak bulunmuştur.

Köprü'nün bütün açıklığının trafik yükü, kaldırımlarında yaya yükü altında olması durumunda birim boya gelen düzgün dağılı yük,  $G=1.5 \times 2 \times (2.94+2.7)+8.5 \times (2.7+6.97)=99.12$  kN/m dir. Toplam yükü oluşturan ölü yük, hareketli yük altında kesme kuvveti, eğilme momenti diyagramları Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. Toplam yük altında a) Kesme (V) kuvveti, b) Eğilme momenti (M)

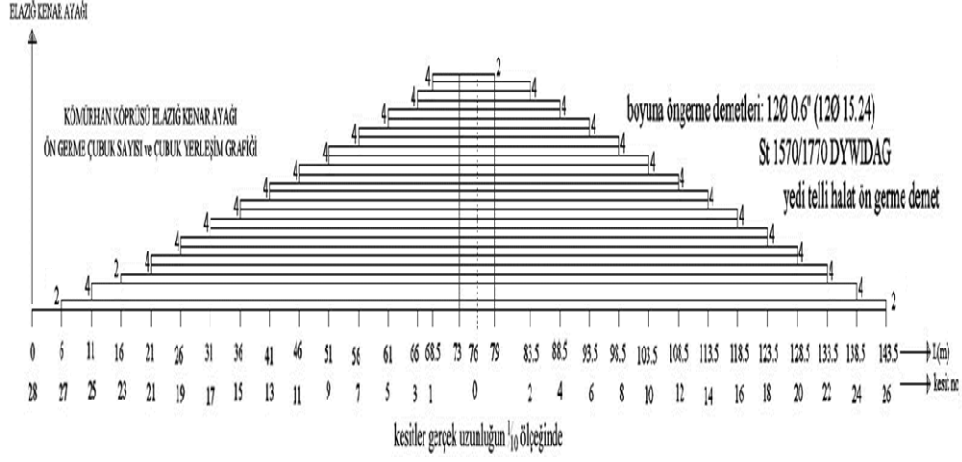
Toplam yük altında konsolun ana ayak yüzünde kesme kuvveti  $22.7 \times 10^3$  kN (Şek. 10a), eğilme momenti  $668.6 \times 10^3$  kNm (Şek. 10b) olarak bulunmuştur. Buradaki ölü yükler altında kesme kuvveti ile eğilme momenti diyagramı (Şek. 9), toplam yükler altındaki kesme kuvveti ile eğilme momenti diyagramı (Şek. 10) basit giriş kuramı ile elde edilmiştir.

### 2.3. Donatı Yerleşimi

Kömürhan Köprüsü'nün öngerme kablolarının uzunlukları, sayıları her bir beton döküm anosundaki kesitlerde moment ile orantılı değişiklik göstermektedir. Şek. 11'de köprü üst başlığında olan öngerme demeti sayıları, kesitlere göre dağılımları verilmiştir. Toplamda  $2 \times 52$  adet kablo demeti değişik uzunluklarda yerleştirilmiştir. Her bir öngerme demeti aynı kanalda olan 12 adet halattan, halat ise  $\varnothing 0.6''$  (15.2 mm) çapında burulmuş yedi telden (St1570/1770) oluşmaktadır. Gövdedeki kayma kuvvetleri için  $\varnothing 36'$ lık (St1080/1230) yüksek dayanımlı öngerme çubuğu kullanılmıştır. Halat, öngerme çubukları DYWIDAG ürünüdür. Boyuna kabloların akma gerilmesi  $f_{py}=1570$  MPa, kopma gerilmesi  $f_{pu}=1770$  MPa, elastisite modülü  $E=195$  GPa'dır.

Köprü'nün yapımı sırasında 1340 ton inşaat demiri, 143 ton öngerme kablosu,  $11000$  m<sup>3</sup> beton kullanılmıştır.

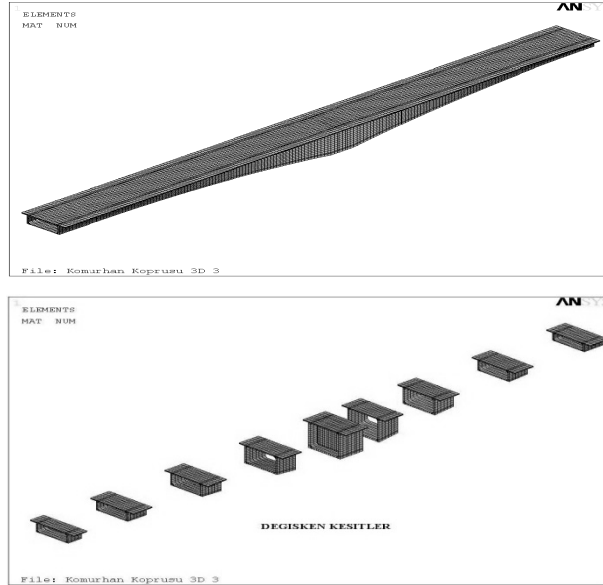
## Kömürhan Köprüsü'nde Düşey Yerdeğiştirmeler



Şekil 11. Kesitlere göre boyuna öngerme donatı demeti sayısı

### 3. KÖPRÜ MODELİNİN OLUŞTURULMASI

Köprü modellemesi için ANSYS [15] sonlu eleman programı kullanılmıştır. Değişken kesitli köprüde sonlu eleman analizi için, mesnetlerde daha sık olmak üzere farklı sayılarda sonlu elemanlara bölme, eleman ağı oluşturma (mesh) işlemi yapılmıştır (Şek. 12). Sonlu eleman ağının oluşturulmasında eleman özelliği, malzeme özelliği, gerçek sabit değerlerinin atanması işlemi yapılmıştır.

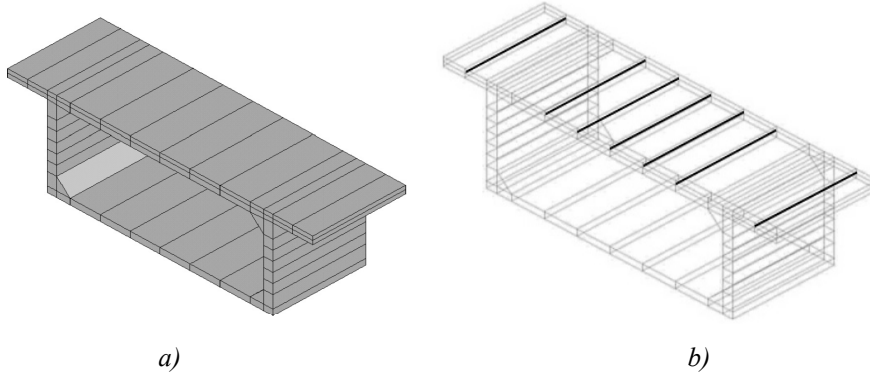


Şekil 12. Köprü boyunca değişken kesitler, sonlu eleman ağları



Kutu kesitli köprüde, kablo yerleşimleri de göz önünde bulundurularak ağ oluşturma işleminde hacim eleman sayıları, gövdede 7 adet, alt döşemede 10 adet, üst döşemede 14 adet (Şek. 13a) olarak seçilmiştir. Öngerme kablolarının üst başlığa yerleştirilebilmesi için üst başlık kalınlık boyunca ikiye bölünmüştür. Bu işlemden sonra programa en az boyut girilerek eleman ağı oluşturulmuştur. Modellenen kesitlerde 18970 adet hexahedral (6 yüzlü prizma) isoparametrik eleman, 29340 adet düğüm noktası kullanılarak sonlu eleman ağı oluşturulmuştur.

Modelin iki tabakalı üst başlığında öngerme kablolarının köprü üst başlığının orta noktalarına (Şek. 13b) yerleştirilmesi gösterilmektedir. Modellemede öngerme kabloları için Link8 çizgi elemanı kullanılmıştır. Öngerme kablolarının toplam kesit alanı 7'e bölünerek Link8 elemanının kesitleri, malzeme özellikleri tanımlanmıştır. ANSYS programının Link8 elemanının her bir düğüm noktasında  $x$ ,  $y$ ,  $z$  yönlerinde üç yer değiştirme serbestlik derecesi vardır.



Şekil 13. a) Kesit gösterimi, b) Öngerme kablolarının üst başlık içerisindeki yerleşimleri

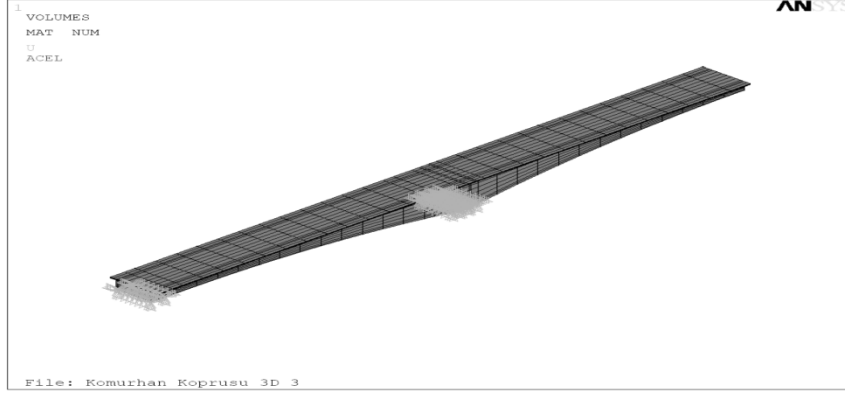
Her bir düğüm noktasında öngerme kablosu alanı, öngerme kuvveti büyüklüğüne göre gerçek sabitler (Real constant) atanmıştır. Link8 elemanın gerçek sabitleri; a) Kablo kesit özelliklerinin girildiği kesit alanları, b) Kablolarına uygulanan öngerme kuvvetinin büyüklüğünün tanımlanacağı ilk uzamalarıdır. Köprüde kullanılan 7 telli Ø15.2mm çaplı halatın (toron, büküm, sarmal) teknik özellikleri DYWIDAG tanıtım kılavuzundan alınmıştır. Kabloda etkin öngerilme ( $\sigma_{ef}$ ), başlangıç öngermesinin ( $\sigma_0$ ) yaklaşık %70 i varsayılmıştır. Bu durumda kablodaki etkin öngerilme (1) bağıntısı ile, etkin öngerilmeye karşı gelen modelde kullanılacak ilk uzama değeri ( $\varepsilon_i$ ) ise (2) bağıntısı ile verilmiştir.

$$\sigma_{ef} \approx 0.7 \times \sigma_0 = 0.7 \times 1582 \approx 1100 \text{ MPa} \quad (1)$$

$$\varepsilon_i = \sigma_{ef} / E_s = 0.00564 \text{ (ilk uzama değeri)} \quad (2)$$

Köprü sınır koşulları belirlenirken köprünün oturduğu ana ayak ile kenar mesnet sabit mesnet olarak kabul edilmiştir. Bu mesnetlerin düğüm noktalarında  $x$ ,  $y$  ve  $z$  yönlerindeki yer değiştirmeler, dönmeler engellenmiştir. Şek. 14'de köprü modelinin oturduğu mesnetler gösterilmektedir.

## Kömürhan Köprüsü'nde Düşey Yerdeğiştirmeler

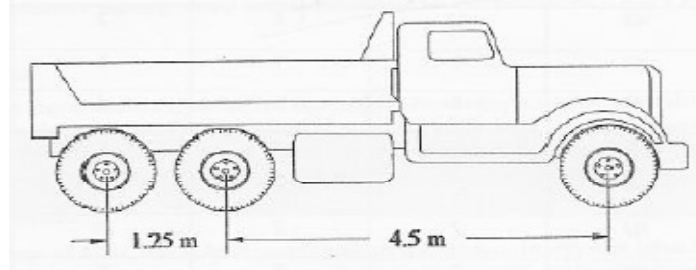


Şekil 14. Sonlu eleman ağı modelinin kenar, ana ayak mesnetleri

## 4. SAYISAL ANALİZ

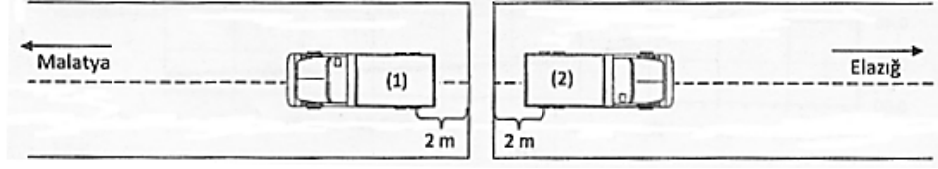
### 4.1. Tek Kamyon Yüklemesi

Köprüde onarım gerekip gerekmediğine karar vermek amacıyla köprü rijitliği deneysel olarak araştırılmıştır. Bu amaçla Yüksel Domaniç Mühendislik tarafından 2008 [12] yılında hazırlanan ön inceleme raporunda Karayolları 8.Bölge Müdürlüğü tarafından getirtilen yaklaşık 200kN'luk kamyonlar (Şek. 15) köprü yüklemesinde kullanılmıştır. Birbirinden farklı Y1, Y2 ve Y3 olarak adlandırılan üç yükleme durumu yapılmıştır.

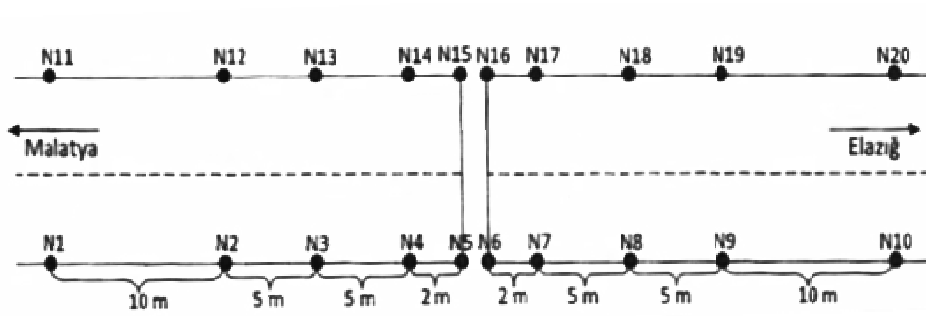


Şekil 15. Saha incelemesinde kullanılan kamyon

Y3 yüklemesinde (Şek. 16) iki konsol ucuna yaklaşık 200kN'luk birer adet kamyon yerleştirilmiştir. Köprü konsol uçlarına kamyonun ağır arka tekerlerin merkezi ile derz başlangıcı arasında 2m boşluk bırakıldığında her bir arka teker ağırlığı 78.5kN dur. Ön tekerlerin her birinin ağırlığı ise 19.6kN dur. Arka teker dingillerinin arası 1.25m, arka tekerler ile ön tekerlerin merkezi arasında 4.5m uzaklık vardır. Çalışma kapsamında ANSYS'de köprünün simetrisinden ötürü bütün köprünün yarısının modellenmesi yapıldığından Y1, Y2 yükleme durumlarında ana açıklık konsollarının bir tarafı yüklü olduğundan köprü ise açıklık ortasındaki profiller nedeni ile birlikte çalıştığından bu yüklemeler kullanılamamıştır. Yalnız simetrik yükleme olan Y3 yüklemesindeki yerdeğiştirmeler ile model sonuçlarının karşılaştırması yapılabilmektedir.



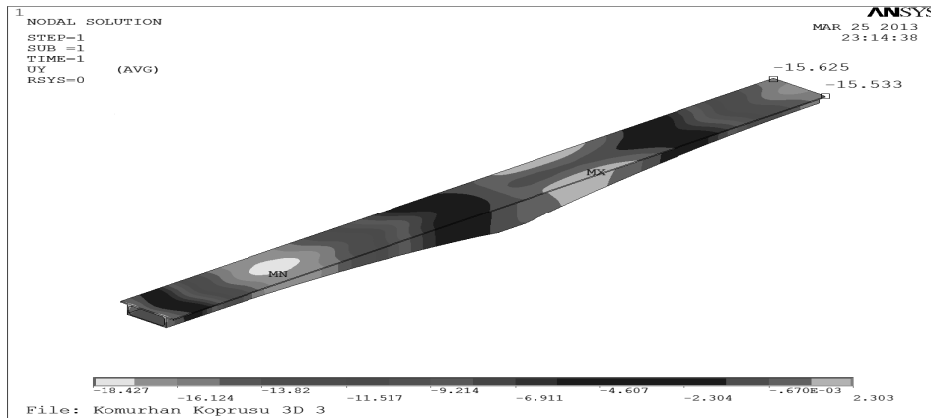
Şekil 16. Y3 yüklem durumu



Şekil 17. Nokta numaraları yerleşim planı

Y3 yüklem durumunda da sağ, sol bordür üzerinde toplam 20 noktada (Şek. 17) düşey yerdeğiştirme değerleri okunmuştur. Nokta numaraları köprü planında gösterilmiştir [12].

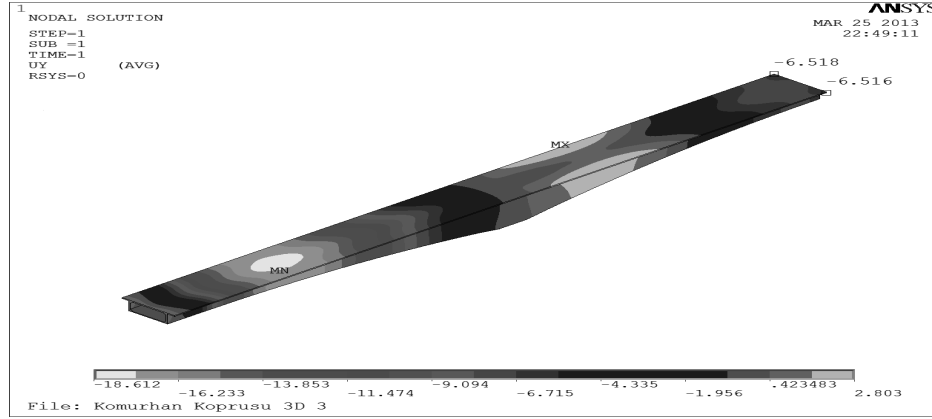
Köprüde var olan ölü yükler (kendi ağırlığı, kaplama, asfalt, kaldırım, korkuluk gibi ek ölü yükler) ile konsol ucuna 1 adet 200kN kamyonun teker ağırlıkları modele uygulandığında konsol ucunda -15.625mm düşey yerdeğiştirme (Şek. 18) bulunmuştur. Kamyon yüklemesi için kamyonun teker ağırlıkları, tekerlerin geldiği noktalara en yakın düğüm noktaları seçilerek modelin o noktalarına düşey olarak etkilmiştir. Ölü yükler ise düzgün dağılı olarak köprünün bütün düğüm noktalarına etkilmiştir.



Şekil 18. Ek ölü yükler, kendi ağırlığı, 1 adet 200kN, Y3 [12] kamyon yükünden ötürü konsol ucunda oluşan düşey yerdeğiştirme -15.625mm

### Kömürhan Köprüsü'nde Düşey Yerdeğiştirmeler

Kamyonun olmadığı köprü'nün yalnız ek ölü yükler altında olması durumunda konsol ucunda oluşan düşey yerdeğiştirme (Şek. 19) -6.518mm bulunmuştur.



Şekil 19. Ek ölü yükler ile kendi ağırlığından dolayı konsol ucunda oluşan düşey yerdeğiştirme -6.518 mm

Kamyon yüklemesi sonucu sonlu eleman modelinde bulunan düşey yerdeğiştirme  $15.625 - 6.518 = 9.107$ mm olarak elde edilir. Çiz. 1'de deney ile ANSYS sonucu elde edilen düşey yerdeğiştirmelerin karşılaştırılması gösterilmektedir. Görüldüğü gibi deney ile model sonuçları birbirinin aynı ya da birbirine çok yakın bulunmuştur.

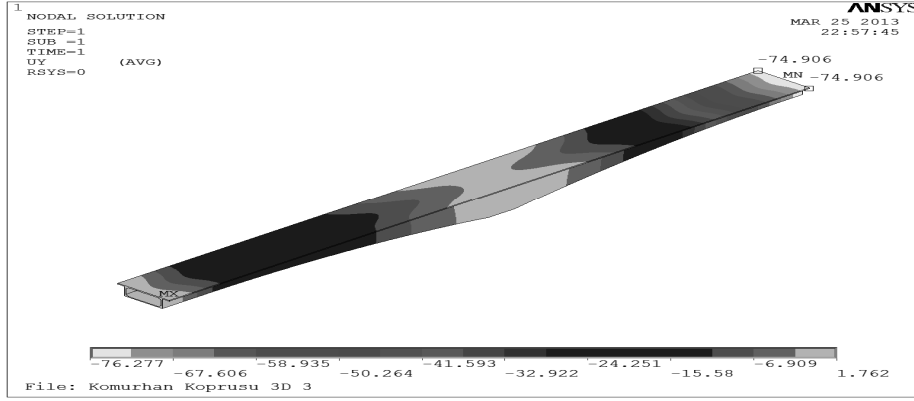
Çizelge 1. Y3 yüklemesi için deney, ANSYS sonuçları

		Domaniç, 2008	ANSYS sonucu
		mm	mm
		Y3	Y3
ELAZIĞ TARAFI, SAĞ BORDÜR	N6	9	9
	N7	9	9
	N8	8	7
	N9	6	6
	N10	4	4
ELAZIĞ TARAFI, SOL BORDÜR	N16	10	9
	N17	9	9
	N18	8	7
	N19	3	6
	N20	4	4



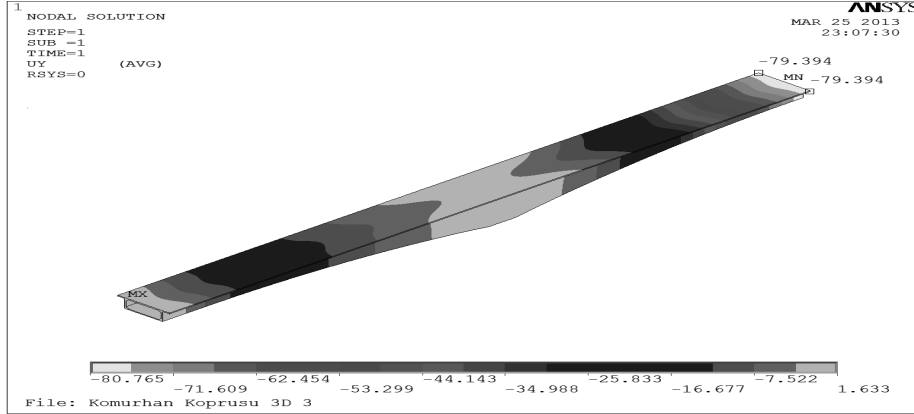
## Kömürhan Köprüsü'nde Düşey Yerdeğiştirmeler

Bütün köprünün trafik, yaya yükü (Şek. 20a) altında konsol ucunda düşey yerdeğiştirme 74.9mm (Şek. 22) bulunmuştur.



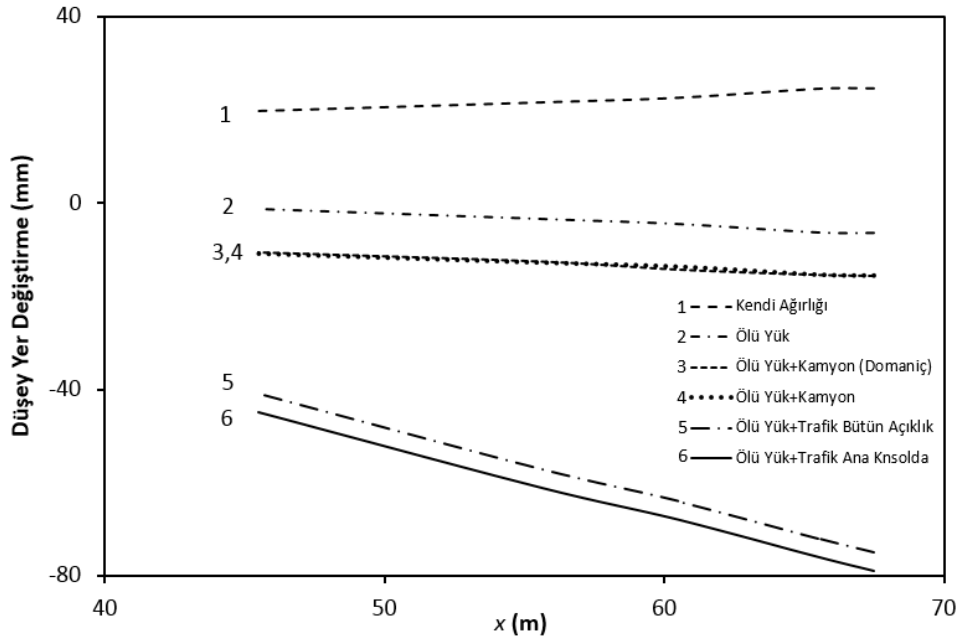
Şekil 22. Ek ölü yükler, kendi ağırlığı,  $H_{30}S_{24}$  kamyonları, yaya yükünden konsol ucunda oluşan düşey yerdeğiştirme -74.9mm

En elverişsiz yükleme olarak yalnız ana açıklık konsolunun en büyük trafik yüklemesi (Şek. 20b) altında olması durumunda konsol ucunda düşey yerdeğiştirme -79.4mm (Şek. 23) elde edilmiştir.



Şekil 23. Yalnız ana açıklık konsolu trafik yükü altında iken konsol ucunda oluşan düşey yerdeğiştirme -79.4mm

ANSYS sonlu eleman program çıktısı ile Y3 kamyon yükleme sonuçlarının karşılaştırılması Şek. 24'de gösterilmiştir. Burada ayrıca konsol ucunda bulunan düşey yerdeğiştirmeler trafik yükü köprünün tamamında, yalnız ana açıklık konsolunda olması durumu için de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi en büyük yerdeğiştirmeler köprünün tamamı değil, ana açıklık konsolunun trafik yükü ile yüklü olması durumunda elde edilmiştir.



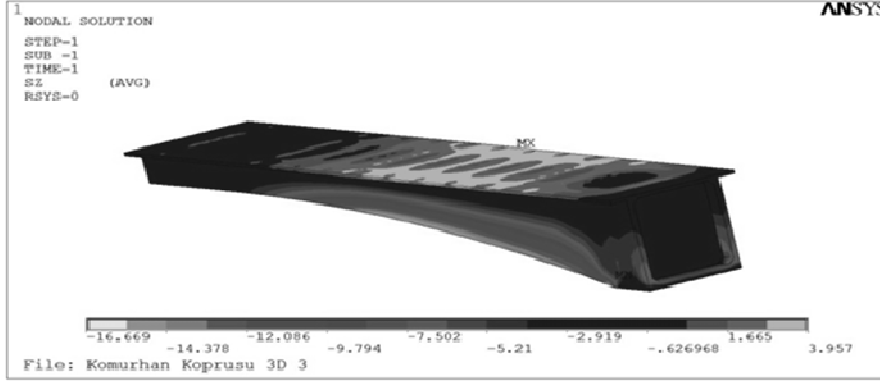
Şekil 24. Yüklemlere karşı gelen yerdeğiştirmeler

Şek. 24'de köprü yalnız kendi ağırlığı altında iken (1 yüklemesi) konsol boyunca yerdeğiştirmeler aşağı doğru değil, öngörülmeden ötürü yukarı doğru artı elde edilmiştir. Köprü kendi ağırlığına ek asphalt, bordür, boru hattı, kaldırım, korkuluk gibi ek ölü yükler (2 yüklemesi) etkilendiğinde ise yerdeğiştirmeler aşağı doğru eksi elde edilmiştir. 3. yükleme Domanıç'in kamyon yüklemesi ile bulunan yerdeğiştirmelerdir (Çiz. 1). 4. yükleme ise ANSYS programında yapılan kamyon yüklemesi sonucu bulunan yerdeğiştirmeleri göstermektedir. Görüldüğü gibi üçüncü ve dördüncü yüklemelerin sonuçları hemen hemen birbirinin aynı bulunmuştur. Beşinci, altıncı yüklemelerde modelde elde edilen yerdeğiştirmeler, köprünün bütün açıklığının yüklü (5.) olması durumu, diğeri ise yalnız ana açıklık konsolunun yüklü (6.) olması durumu için verilmiştir.

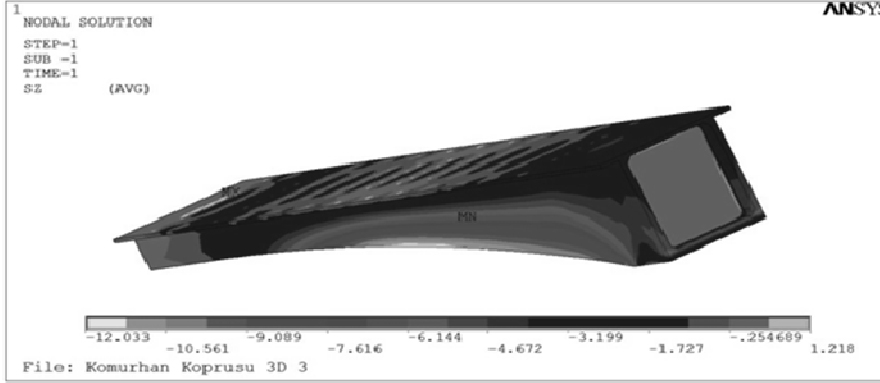
Yüklemeler altında köprüde oluşan iç kuvvetlerin oluşturduğu gerilmeler, değişken dış yüklemeler için elde edilmiştir. Bunlardan biri köprü ana ayağının ana açıklık yüzündeki normal gerilmelerin boyuna yönde dağılımı olup, trafik yükü köprünün bütününde

### Kömürhan Köprüsü'nde Düşey Yerdeğiştirmeler

(Şek. 20a) iken Şek. 25a, yalnız ana açıklık konsolu yüklü (Şek. 20b) iken Şek. 25b'de verilmiştir.



a)

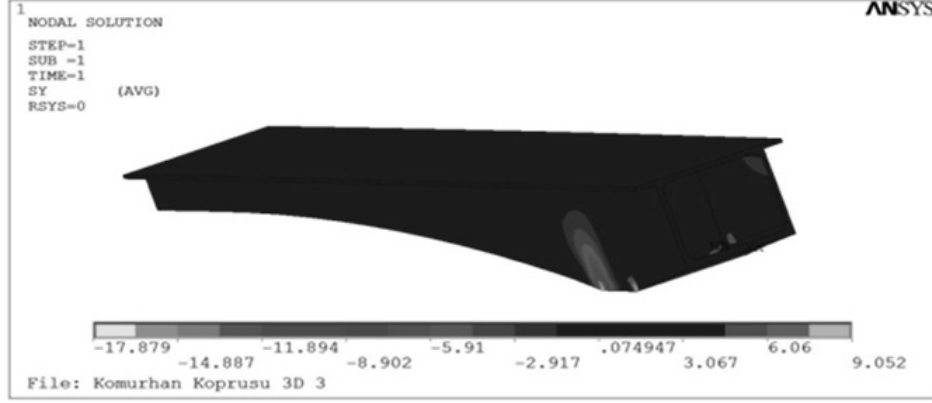


b)

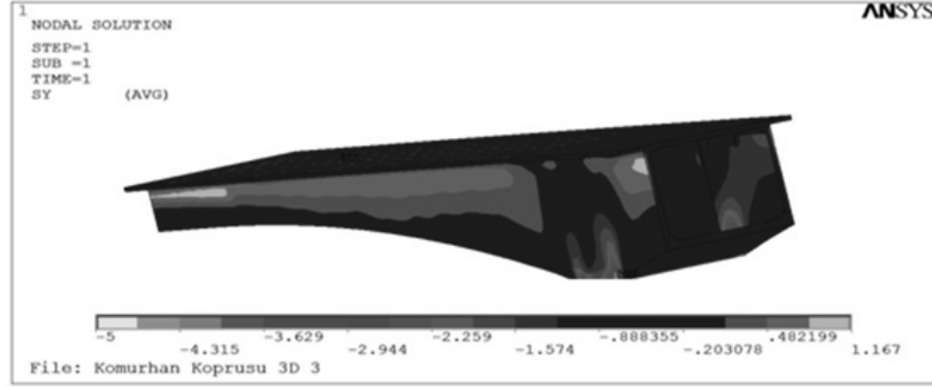
Şekil 25. Köprü ana ayak yüzünde normal gerilme dağılımı, trafik yüklemesi  
a) Köprü'nün bütününde, b) Yalnız ana açıklık konsolunda

Palau Köprüsü, ana ayağının ana açıklık yüzünden  $x=14.63\text{m}$  uzakta oluşan kesme gerilmelerinin aşılması ile göçmüştür [4-9, 17-19]. Kömürhan Köprüsü'nde de bu yüzden kesme gerilmelerinin büyüklüğü sorgulanmıştır. Bu amaçla köprü ana ayağı ana açıklık yüzünden  $x=d=9.2\text{m}$  uzakta kesme gerilmelerinin enine kesitte dağılımı trafik yükü köprü'nün bütününde iken, Şek. 26a, yalnız ana açıklık konsolu yüklü iken Şek. 26b'de verilmiştir.





a)



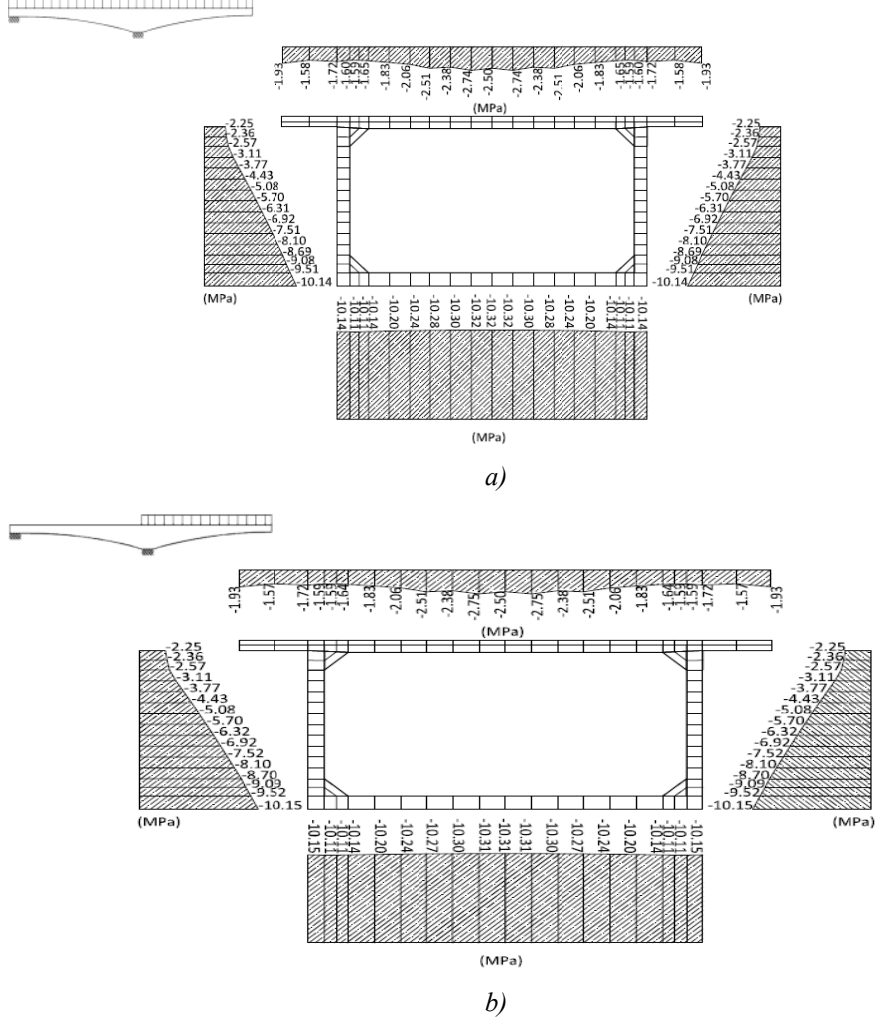
b)

Şekil 26. Köprü ana ayak yüzünden  $x=9.2$  m kadar uzakta kesme gerilmesi trafik yükü  
a) Köprü'nün bütününde, b) Yalnız ana açıklık konsolunda

Köprü kesitinin değişken olmasından dolayı, alt, üst döşemelerde yerel gerilme farklılıkları olmaktadır. Basit giriş kuramıyla yapılan incelemelerde bu farklılıklar göz ardı edilmiştir.

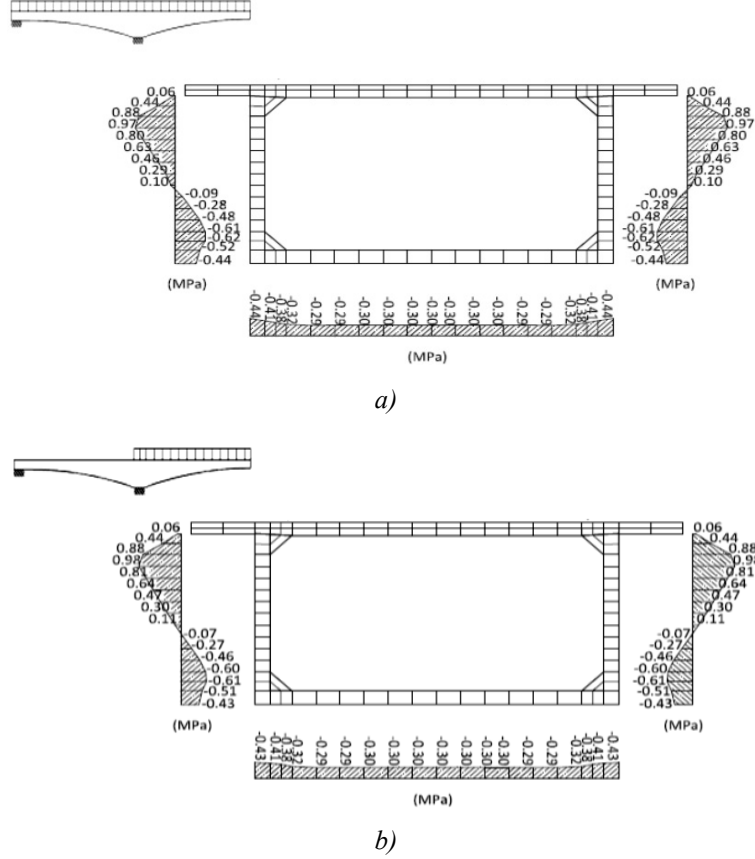
ANSYS modelinden elde edilen ana ayağın ana açıklık yönünden  $x=9.2$ m uzaktaki normal gerilmelerin köprü kesitinde dağılımı, trafik yükü köprü'nün bütününde iken Şek. 27a, trafik yükü yalnız köprü ana açıklık konsolunda iken Şek. 27b'de verilmiştir. Normal gerilmelerin kesitte dağılımında, gerilmeler üst başlıkta az olup kutu kesitli konsol köprü'nün basınç başlığı olan alt başlığa gidildikçe artmaktadır. Üst başlıkta normal gerilmeler 2MPa civarında iken alt başlığa gidildikçe artmakta, alt başlıkta ise hemen hemen her yerde birbirinin aynı olup 10MPa civarında değişmektedir. Normal gerilmeler köprü'nün bütününe ya da ana açıklık konsolunun trafik yükü ile yüklü olması durumunda fazla etkilanmemektedir. En büyük normal gerilme değeri alt başlığın gövde ile birleşiminde 10.3MPa olarak elde edilmiştir.

## Kömürhan Köprüsü'nde Düşey Yerdeğiştirmeler



Şekil 27. Köprü ana ayak yüzünden  $x=9.2$  m kadar uzakta normal gerilmeler, trafik yükü  
a) Köprü'nün bütününde, b) Yalnız ana açıklık konsolunda etkili

Ana ayağın ana açıklık yüzünden  $x=9.2$ m uzaktaki kesme gerilmelerinin köprü kesitinde dağılımı, trafik yükü köprü'nün bütününde iken Şek. 28a, köprü'nün ana açıklık konsolunda iken Şek. 28b'de verilmiştir.



Şekil 28. Köprü ana ayak yüzünden  $x=9.2$  m kadar uzakta kesme gerilmeleri, trafik yükü  
a) Köprü'nün bütününde, b) Yalnız ana açıklık konsolunda etkili

## 5. KÖPRÜ GÜVENLİĞİ

Köprüde elverişsiz düşey yüklemeler altındaki yerdeğiştirmelerin genelde en büyük değerleri, yalnız ana açıklık konsolu yüklü iken elde edilmiştir. Sünme, büzülme gibi etkiler altında uzun süreli yerdeğiştirmeler için en uygun beton modeli olduğu düşünülen Bazant'ın B3 [4] modelinin başka çalışmalarda [10-11, 18-22] kullanımı sürdürülmektedir.

Normal, kesme gerilmelerinin kesitte dağılımı, Palau'daki KB köprüsünün onarımdan üç ay sonra 1996'da kesmeden geçmesi nedeni ile, Kömürhan'da çekinceli kesit olan  $x=d$  uzakta elde edilmiştir. ANSYS modelinde elde edilen normal, kesme gerilmeleri en büyük değerleri normal gerilme için alt başlıkta 10.3MPa, kesme gerilmesi için gövdede 0.98MPa olarak bulunmuştur. Her iki gerilmeye, toplam yükler kirisin ana açıklık konsolunda olması durumu için elde edilmiştir. Betonun projedeki basınç dayanımı 35MPa olduğuna göre bu değerlerin yapıda aşırı zorlanma oluşturmayacağı görülmektedir.

## Kömürhan Köprüsü'nde Düşey Yerdeğiştirmeler

Ön gerilme kayıplarını belirlemede en büyük engel, köprünün yapıldığı günden günümüze kadar yaptığı düşey yerdeğiştirmelerin belirsizliğidir. Köprüdeki gerçek düşey yerdeğiştirmelerin bilinmesi ile gerilme kayıpları bulunabilir.

### 6. SONUÇLAR

ANSYS sonlu eleman programı ile modellenen köprüde bulunan sonuçlar şunlardır:

- 1- Domaıç'in Y3 kamyon yüklemesi sonucunda konsol boyunca ölçtüğü düşey yerdeğiştirmelerin ANSYS'de bulunan sonuçlar ile karşılaştırıldığında birbirinin aynı bulunması sonucu, köprünün gerçeğe yakın modelinin elde edildiği varsayılmıştır.
- 2- Köprünün ana ayağından oluşan en büyük normal gerilmeler alt başlıkta, kesme gerilmeleri ise gövdede oluşmuştur.
- 3- Köprünün, ana ayak yüzünden  $x=d$  uzakta, gövdedeki kesme gerilmeleri, normal gerilmeler köprünün bütünü ya da yalnız ana açıklık konsolunun trafik yükü ile yüklü olması durumunda değışmeyip birbirinin aynı bulunmuştur.
- 4- Ana ayak yüzünden  $x=d=9.2m$  uzaklıktaki kesme gerilmeleri üst başlıkta hemen hemen sıfır iken (en büyük değer 0.06MPa), gövdede 0.98MPa, alt başlıkta ise 0.43MPa bulunmuştur. Aynı kesitteki normal gerilmenin en büyük değeri, alt başlıkta 10.3MPa bulunmuştur.

#### Semboller

DSI	: DYWIDAG Systems of International
GAP	: Güneydoğu Anadolu Projesi
STFA	: Sezai Türkeş-Fevzi Akkaya İnşaat A.Ş.
$A$	: Kesit Alanı
$d$	: Ana ayak tarafındaki kesitin faydalı yüksekliği
$E$	: Elastisite Modülü
$E_s$	: Çelik elastisite modülü
$f_{py}$	: Ardgerme kablolarının akma gerilmesi
$f_{pu}$	: Ardgerme kablolarının kopma gerilmesi
$g$	: Yer çekimi ivmesi
$G$	: Ölü Yük
$I$	: Eylemsizlik modülü
$M$	: Eğilme Momenti
$n$	: Kamyon sayısı

$x$	: Ana ayak yüzünden konsol ucuna doğru uzaklık
$X$	: Kenar mesnetten uzaklık
$V$	: Kesme Kuvveti
$\varepsilon_i$	: İlk birim uzama
$\rho$	: Yoğunluk
$\sigma_{ef}$	: Etkin öngerilme
$\sigma_0$	: Başlangıç öngerimesi

### Kaynaklar

- [1] Altunışık, A.C., “Karayolları Köprülerinin Yapısal Davranışlarının Analitik ve Deneysel Yöntemlerle Belirlenmesi”, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2010.
- [2] Bayraktar, A., Altunışık, A., Sevim, B., Türker, T., Domaniç, A., and Taş, Y., “Vibration Characteristics of Kömürhan Highway Bridge Constructed with Balanced Cantilever Method”, J. Perform. Constr. Facil., 23(2): 90–99, 2009a.
- [3] Bayraktar, A., Altunışık A.C., Sevim, B., Türker, T., “Kömürhan Köprüsü’nün Sonlu Eleman Model İyileştirmesi”, İMO Teknik Dergi, s.4675-4700, 2009b.
- [4] Bazant, Z.P., Baweja, S., “Creep and Shrinkage Prediction Model for Analysis and Design of Concrete Structures-Model B3 (Rilem Recommendation)”, Materials and Structures, 28, 357-365, 1995.
- [5] Bazant, Z.P., Hubler, M.H., Yu, Q., “Excessive Creep Deflections: an Awakening”, Concrete International, 32(6): 44-46 , 2011.
- [6] Bazant, Z.P., Hubler, M.H., Yu, Q., “Pervasiveness of Excessive Segmental Bridge Deflections: Wake-up call for Creep”, ACI, Structural J., 766-774, 2011.
- [7] Bazant, Z.P., Yu, Q., Li, G.H., “Excessive Long-Time Deflections of Prestressed Box Girders. I: Record-Span Bridge in Palau and Other Paradigms”, ASCE, J.Structural Engineering, 138, 676- 686, 2012.
- [8] Bazant, Z.P., Yu, Q., Li, G.H., “Excessive Long-Time Deflections of Prestressed Box Girders. II: Numerical Analysis and Lessons Learned”, ASCE, J.Structural Engineering, 138, 687- 696, 2012.
- [9] Bazant, Z.P., Yu, Q., Li, G.H., Klein, G.J., Kristek, V., “Excessive Deflections of Record-Span Prestressed Box Girder”, ACI Concrete International, 32(6): 44-52, 2010.
- [10] Çağlar, Y., Şener, S., Belgin, Ç., Şener, K.C., "Kutu Kesitli Öngerilmeli Köprülerde Zamana Bağlı Yerdeğiştirmeler", XVII.Ulusal Mekanik Kongresi, 172-181, Fırat Üni. Elazığ, 2011.

*Kömürhan Köprüsü'nde Düşey Yerdeğiştirmeler*

- [11] Çağlar, Y., Şener, S., Yıldırım, O., Baştürk, A., Belgin, Ç., Arslan, A., “Kömürhan Köprüsü'nde Yerdeğiştirmeler”, 2. Köprüler ve Viyadükler Sempozyumu, 83, Eskişehir, 2011.
- [12] Domaniç Y., Mühendislik LTD. ŞTİ., “Kömürhan Köprüsü Ön İnceleme Raporu”, Karayolları Genel Müdürlüğü Köprüler Dairesi Başkanlığı Karayolları 8.Bölge Müdürlüğü, 2008.
- [13] Dywidag Prestressing Systems Using Bars, Dywidag Systems International.
- [14] Korkmaz, Ü., “Kömürhan Köprüsünde Öngerilme Kayıpları”, Gazi Üni. Y.Lisans Tezi, Ankara, 2013.
- [15] Nakasoneand, Y., Yoshimoto, S., Stolarski, T.A., “Engineering Analysis with ANSYS Software”, Elsevier Butterworth-Heinemann, 2006.
- [16] Şener, S., “Öngerilmeli Beton”, Alp yayınevi, Ankara, 2006.
- [17] Şener, S., Çağlar, Y., Şener, K.C., "Palau Köprüsü'nün Göçme Nedenleri", İMO-İTÜ, Prof. Dr. Nahit Kumbasar için Betonarme Yapılar Seminerinde çağrılı konuşma, 63-72, İstanbul, 2009.
- [18] Şener, S., Çağlar, Y., Benzer, M.A., Şener, K.C., "Vertical Displacements of Collapsed Bridge in Palau", ACE 2010, 9th Int.Conf. on Advances in Civil Eng., 239, Trabzon, 2010.
- [19] Şener, S., Çağlar, Y., Benzer, M.A., Şener, K.C., “Vertical Displacement of Collapsed Bridge in Palau”, Challenge Journal of Structural Mechanics, 1(2): 43-48, 2015.
- [20] Şener, S., Çağlar, Y., Üçpınar, V., Şahin, C., “Ardgermeli Tigem Köprüsü'nde Yerdeğiştirmeler”, İMO-İTÜ, Prof. Dr. Zekai Celep onuruna Betonarme Yapılar Seminerinde Çağrılı konuşma, 17-28, İstanbul, 2013.
- [21] Şener, S., Çağlar, Y., Şener, K.C., Gündüz, N., “The Differential Shrinkage Displacements of Box Section Prestressed Concrete Bridges”, IBC 2014, 31-32, İstanbul, 2014.
- [22] Şener, S., Şener, K.C., Gündüz, N., Yecan, E., “Öngerilmeli Beton Köprülerde Zamana Bağlı Yerdeğiştirmeler”, 3. Köprüler ve Viyadükler Sempozyumu, 37, Bursa, 2015.
- [23] Tanyıldız, H., “Kömürhan Köprüsü'nün Nivelman Değişimlerinin İncelenmesi”, 2. Köprüler ve Viyadükler Sempozyumu, 487-494, Antalya, 2007.
- [24] Yol Köprüleri için Teknik Şartname, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, 1982.