

# Asma Köprülerde Maraton Etkisi

**Y.Doç.Dr. Alp Caner<sup>1</sup>, Doç. Dr. Ahmet Türer<sup>1</sup>  
ve Prof. Dr. etin Yılmaz<sup>1</sup>,**

<sup>1</sup> ODTÜ İnŒaat MühendisliĐi, Dumlupınar Bulvarı No 1., 06800, ankaya, Ankara  
E-Posta: [acaner@metu.edu.tr](mailto:acaner@metu.edu.tr), [aturer@metu.edu.tr](mailto:aturer@metu.edu.tr), [cyilmaz@metu.edu.tr](mailto:cyilmaz@metu.edu.tr)

##  z

eŒitli maraton yarışı güzergahları üzerinde uzun açıklık geçen askı tip köprüler bulunmaktadır. Bu tip köprülerin maraton etkileri altındaki davranıŒları zaman zaman yapılan ölçümler ile anlaŒılmaya alıŒılmıŒtır. Maraton sırasında askı tipi köprülerin salınımlarını ve maratondan dolayı oluŒan etkileri analitik ortamda modellemek ve tahminlerde bulunmakta bilgisayar çağında mümkün olmuŒtur. Bu alıŒma kapsamında Avrasya maratonu güzergahı üzerinde bulunan Boğaziçi Köprüsünün aynısı olmasa bile bir benzer modeli üzerine alıŒılmıŒ ve model üzerinden koŒucuların geiŒi sırasında oluŒabilecek salınımlar   senaryo esas alınarak deĐerlendirilmiŒtir. İlk senaryoda geiŒ sırasında bütün koŒucuların aynı anda adım attıkları d Œ n lm Œ, ikinci senaryoda köprünün güney Œeridinden koŒan koŒucuların kuzey Œeridinden geçen koŒuculara göre yarım adım daha önce adım attıkları d Œ n lm Œ ve üçüncü senaryoda ise ikinci senaryo gibi alınmıŒ fakat kuzey Œeridindeki koŒucuların güney Œeridindeki koŒucuların yarısı yoğunlukta olduğu d Œ n lm Œt r. Bu alıŒma içinde analitik alıŒma sonucu çıkan tahminler köprünün maraton etkileri altında senaryosuna göre deĐiŒik salınımlar yapabileceğini g stermiŒtir. Bunun yanında köprüde maraton etkisinin köprü elemanları içinde önemli derecede büyük gerilmeler yaratmadığı hesaplanmıŒtır. Maraton sırasında köprünün yapısal olarak Avrupa normlarının yaya geiŒ konforu kriterlerini sağlamaya uygun olmadığı tespit edilmiŒtir.

**Anahtar sözcükler:** köprü, maraton, salınım

## Giriş

New York maratonu güzergahı üzerinde bulunan asma köprü olan Verrazona Narrows köprüsü yaklaşık olarak 1300 metrelik bir ana açıklığa sahip olup iki katlı olarak üretilmiştir. Verrazona Narrows köprüsünün depremselliği ve maraton etkileri Abrahams ve diğerleri (2006) tarafından çalışılmıştır. New York maratonu sırasında Brroklyn tarafındaki kuleden maratonun video kaydı tutulmuştur. Bu video kayıtlarını kullanarak koşucuların geçiş hızları sınıflandırılmaya çalışılmıştır. Maraton sırasında yapı üzerine yerleştirilen çanak antenler ile GPS teknolojisi kullanılmış ve bu sayede maraton sırasında yer değiştirmeler hesaplanmaya çalışılmıştır. Bu ölçümler sırasında çeşitli uydulardan faydlanmış ve yer değiştirme hesaplamalarına 1-2 mm civarında bir hata oluşabileceği kanatine varılmıştır. GPS ölçümleri ana açıklığın ortasında köprüünün her iki kenarından alınmıştır. İki taraftan alınmasının en büyük sebebi ise maraton sırasında oluşabilecek değişkenlik gösterebilecek maraton yükleri altında köprüdeki burulmayı ölçebilmek amacını gütmüştür. 2004 senesinde yapılan ölçümlerde orta açıklıkta 250 mm ye varan sehimler ölçülmüştür. Alınan kayıtlardan ve ölçümlerden sonra maraton sırasında ağırlığın yaklaşık olarak en az yoğun durumda  $0,02 \text{ kN/m}^2$  ve en yoğun durumda  $0,38 \text{ kN/m}^2$  olabileceği hesaplanmıştır. Koşucuların yaklaşık olarak bir saniye içinde 2,5 ile 2,9 aralığında adım attığı tespit edilmiştir. Yapılan ölçümler sırasında köprüde meydana gelen maraton kaynaklı salınımların koşucuları rahatsız etmediği ortaya çıkmıştır.



Şekil 1. New York Verrazona Köprüsü – New York Maratonu

Boğaziçi Köprüsü’de Verrazona Narrows köprüsü gibi maraton koşucularının kullandığı başka bir asma köprüdür. Boğaziçi Köprüsü’nün 2004 senesinin Ocak ayında diyagonal askılarından birisinin bağlantısının koptuğu Mehrabi (2005) tarafından raporlanmıştır. Halat kopması sonucunda Mehrabi (2005) köprü üzerinde hasarsız ölçüm sistemleriyle askılardaki yükleri tahmin etmeye çalışmıştır. 58 mm brüt çapa sahip olan askıların taşıma kapasitesi 288 ton olarak belirlenmiştir. Kısa süreli yapılan ölçümlerde geçen taşıt trafik yükünden dolayı askı kablolarında 50 ton civarında yük etkisi olduğu ölçülmüş ve ısı değişimlerinden de yaklaşık olarak 21 ton kadar daha bir değişim olduğu görülmüştür. Türer ve diğerlerinin (2006) çalışmasına göre askı kablo bağlantısının kopması askı kablolarına diyagonal şekilde tasarlanmış olması ve bununda yorulma dayanımını azalttığı yönünde yorumlanmıştır. Aynı çalışmada askı kablolarını değiştirmek için alternatif metodlar değerlendirilmiştir.

Bu çalışma kapasamında Boğaziçi köprüsünün aynısı olmasa da bir benzeri köprüde maraton etkisinden dolayı oluşan salanımların incelenen koşu adım senaryosuna göre değişimi raporlanmıştır. Maraton etkisi altında oluşan köprü askılarından yüklerin normal trafik yüklerinden oluşan askı ölçüm yük etkilerine oranı tespit edilmeye çalışılmıştır.

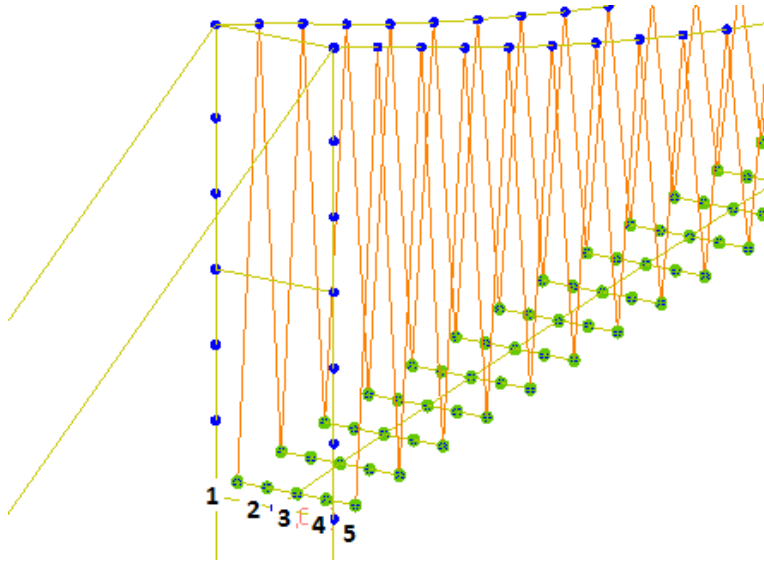
## **Analitik Model ve Değerlendirmeler**

Analitik model için LARSA 4D köprü yazılımı kullanılmıştır. Benzer bir model Mehrabi (2005) çalışmasında DIANA yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Türer ve diğerleri (2006) çalışmasında SAP 2000 yazılımından faydalanılmıştır. Maraton etkilerinin köprü üzerine olan etkilerini tahmin etmek için hareket denkleminin faydalanmıştır.

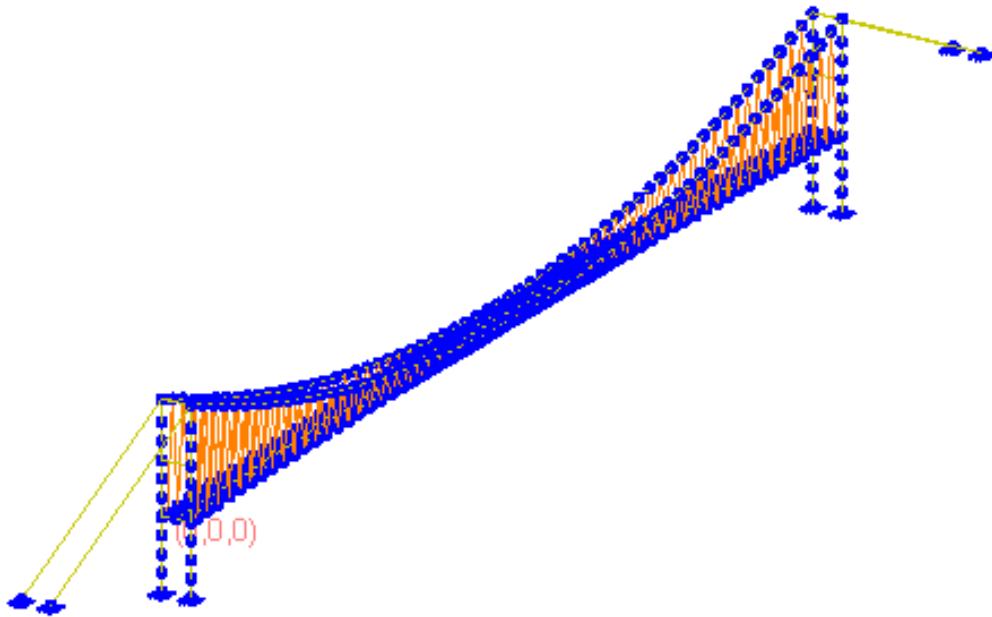
$$[M][\ddot{u}] + [C][\dot{u}] + [K][u] = [P(t)]$$

Bu denklem içinde  $[M]$  matrisi köprü ve maraton koşucularının kütlesi,  $[C]$  matrisi köprünün sönüm özelliği,  $[K]$  matrisi rijitliğini,  $[\ddot{u}]$  ivme vektörünü,  $[\dot{u}]$  hız vektörünü,  $[u]$  yer değiştirme vektörünü ve  $[P(t)]$  ise maraton hareketli yükünü temsil etmektedir. Hareket denkleminin sağında bulunan zaman değişkenliği bulunan yükün tanımlanmasında maratoncuların her adım atışlarında köprü üzerinde Verrazona Narrows köprüsünde ölçüldüğü gibi yaklaşık olarak  $0,378 \text{ kN/m}^2$  bir yük oluşturduğu düşünülmüştür. Koşu sırasında New York maratonunda olduğu gibi her adımın  $0.36 \text{ sn}$  ( $2.78 \text{ adım/sn}$  sıklığında) içinde gerçekleştiği kabul edilmiştir.

Köprü üst yapısı  $17,9 \text{ metre}$  uzunluğunda ve her biri  $140 \text{ ton}$  ağırlığında olan  $60$  adet ünitenin birleştirilmesi ile gerçekleştirilmiştir ( <http://www.kgm.gov.tr/SiteCollection/Documents/KGMdocuments/Bolgeler/17Bolge/BogaziciKoprusuProjeBilgileri.pdf>). Her bir ünite üzerinde yoğunluğun maksimuma ulaştığı durumda maratondan dolayı oluşan ağırlık yaklaşık olarak  $14 \text{ tondur}$ . Maraton sırasında her bir ünitenin maraton yükü ile ağırlığı  $154 \text{ ton}$  civarına çıkabilmektedir. Analitik modelde her bir ünite klasik olarak “balık kılıcı” modeli ile modellenmiştir. Ortadaki çubuklarda üst yapının rijitliği tanımlanırken, enine yönde kütlesi  $5$  eşit parçaya bölünmüştür. Bu kütleler  $[M]$  matrisini oluşturmada kullanılmıştır.  $[C]$  matrisi için ise Rayleigh sönümlemesi kullanılmış ve yapının hakim moduna denk gelen periyot içinde  $\%1$  sönümleme kabulü yapılmıştır.

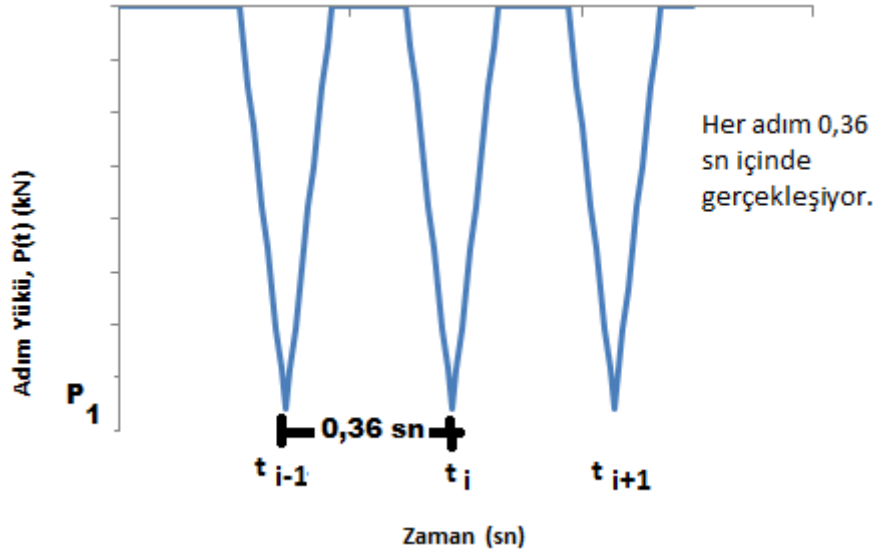


Şekil 2. Köprü "Balık Kılıcı" Modeli



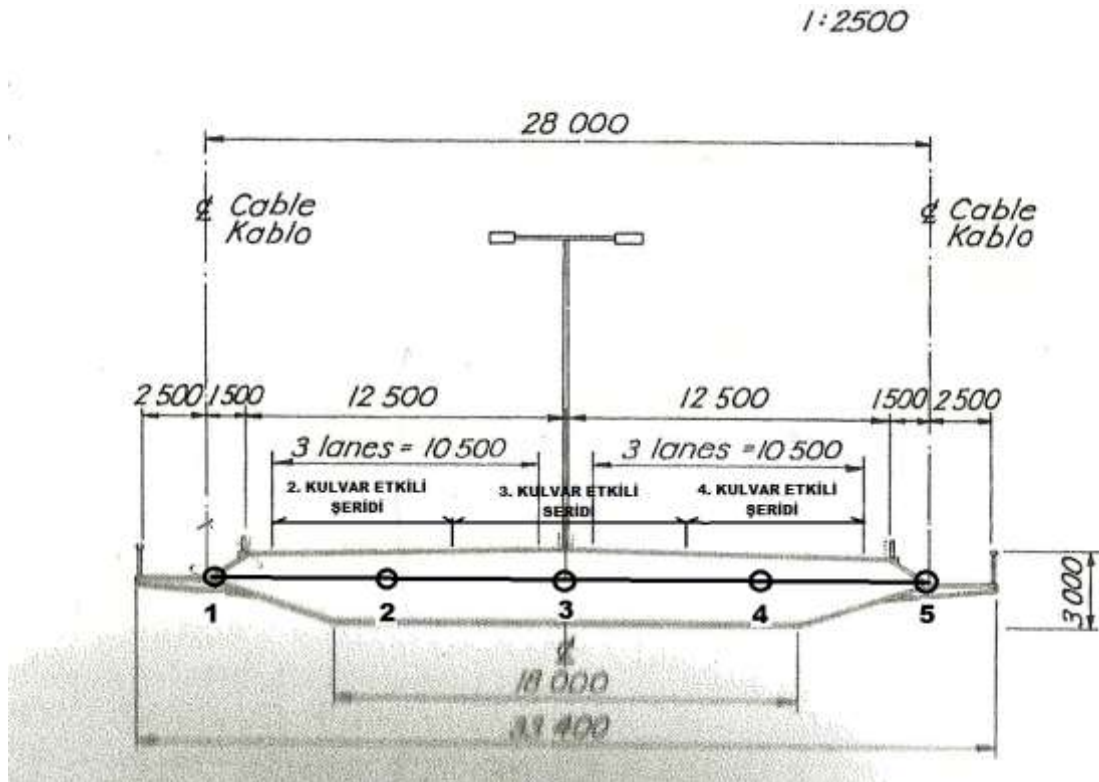
Şekil 3. Genel Bilgisayar Modeli Görünümü

Adım yükünün bulunmasında her ünitenin enine yönde her parçasına denk gelen yük  $0,378 \text{ kN/m}^2 \times 10,5 \times 2$  şeritlerin eni / 3 kulvar  $\times 17,9 \text{ m}$  boyuna yön =  $47,36 \text{ kN}$  olarak hesaplanıp  $50 \text{ kN}$  yuvarlanmıştır. Bilgisayar modellemesinde Şekil 4'de gösterildiği gibi bir adım yükü,  $P(t)$  fonksiyonu bulunabilir. Analitik modelde zaman artırımını için  $0,01 \text{ sn}$  aralığı kullanılmıştır.



Şekil 4. Adım Yüklü  $P(t)$

Maraton etkisini değerlendirmek için 3 adet senaryo çalışmıştır. Bu senaryolar içinde koşucuların koştuğu etkili kulvar şerid genişlikleri ve şerit merkez noktaları Şekil 5’de gösterilmiştir. “3” nolu nokta köprü boyuna ekseninin temsil eden rijitlik değerleri girilmiştir.



Şekil 5. Analitik Model Kulvar Etkili Şerit Genişlikleri

Analiz senaryolar aşağıda açıklanmıştır.

- Senaryo 1: Bütün koşucular aynı anda adım atıyorlar.
- Senaryo 2: Şekil 5’de gösterilen 2. kulvardaki koşucular, 3. Ve 4. kulvardaki koşuculardan 0,18 sn sonra adım atmaktadırlar.
- Senaryo 3: Şekil 5’de gösterilen 2. kulvardaki koşucular, 3. Ve 4. kulvardaki koşuculardan hem 0,18 sn sonra adım atmakta hemde yoğunluk olarak 3. Ve 4. Kulvardakilerin yarı yoğunluğundadır.

Yukarıdaki senaryolara göre kabul edilen senaryo ve analitik model parametreleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 1. Analitik Model Parametreleri

Tanım	Kulvar	Kesit Alanı (mm <sup>2</sup> )	Kesit Zayıf Atalet Momenti (mm <sup>4</sup> )	Kütle x g* (kN)
Üst Yapı		683900	1,46e12	Kütleler senaryoya göre belirlendi. Senaryoya bakınız
Askı		2290		Özağırlığı etkinleştirildi
Ana Kablo		204280	3,32e09	Özağırlığı etkinleştirildi
Kule-Alt Kotu		1807500	8,51e12	Özağırlığı etkinleştirildi
Kule Üst Kotu		1477500	2,54e12	Özağırlığı etkinleştirildi
Kılıçık Eleman		300000000	9,00e14	Kütlesiz
Senaryo 1 ve 2	1, 5			275
	2,3,4			325
Senaryo 3	1, 5			275
	2			300
	3, 4			325

\*Kütlelerde yapının kendi öz ağırlığı ve koşucuların ağırlıkları göz önüne alınmıştır.

Yapılan analitik çalışma sonunda koşu senaryolarından oluşan etkiler aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

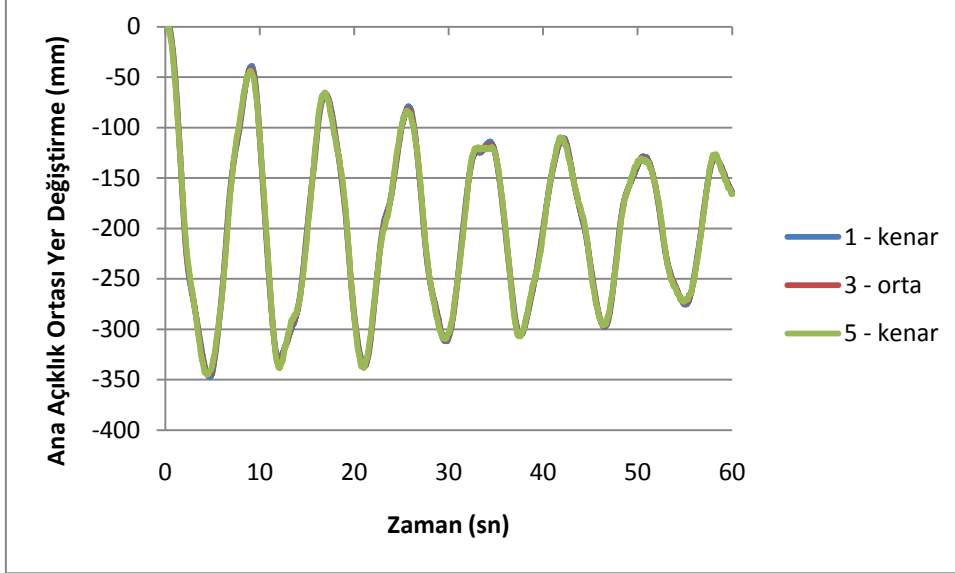
Tablo 2. Senaryoların Karşılaştırılması

Senaryo	Maksimum Askı Kuvveti (ton)	Maksimum Düşey Yer Değiştirme (mm)	Maksimum Düşey İvme < 0,07g*	Maksimum Yanal İvme < 0,04g*
1	22,5	346	0,241g	0,012g
2	21,7	346	0,189g	0,020g
3	9,3	287	0,158g	0,013g

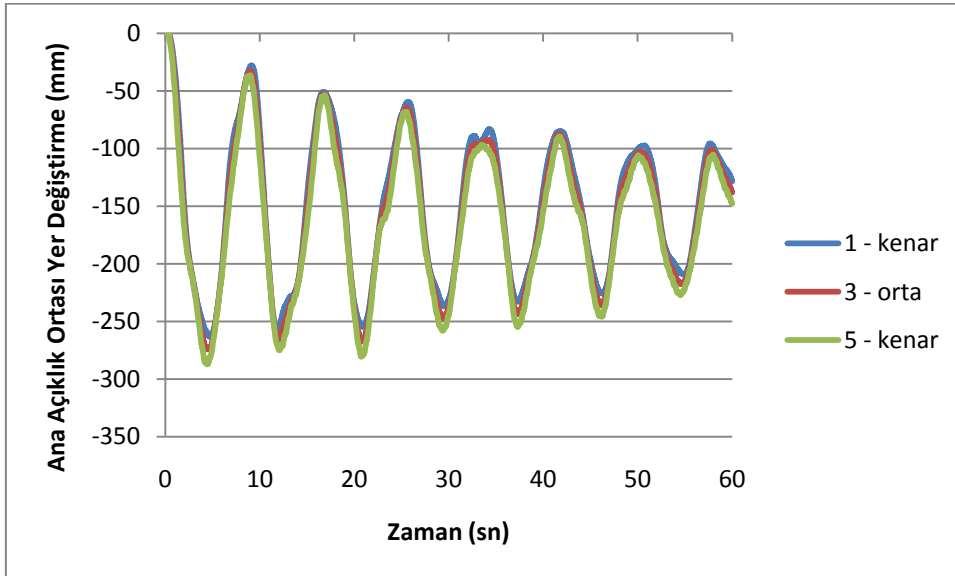
\* EN1990 (2002)

Yukarıdaki tablodanda anlaşılacağı gibi herkesin uydum adım marş koşması durumunda köprüde en fazla titreşim meydana gelmektedir. Avrupa normlarına göre tahmin edilen maksimum değer kabul edilebilir yaya geçiş konfor seviyesinden (0,07g) yaklaşık olarak 3 kat fazladır. Köprüde yoğunluk azladıkça veya uygun adım marş durumundan çıkılması durumunda bu etkiler azlamakta fakat yinede kabul edilebilir seviyelerin altına düşmemektedir. Yanal yöndeki ivme değerleri kabul edilebilir limitin

altında kalmaktadır. Bunun yanı sıra Mehrabi (2006) tarafından ölçülen normal taşıt trafiğinden dolayı meydana gelen askı kuvvetlerinin sadece yarısı kadar bir değer maraton sırasında askılarda oluşmaktadır. Analitik çalışmadan elde edilen seçilmiş yer değiştirme grafikler aşağıda verilmiştir. Analitik modelleme içinde maratonun orta bir zamanı göz önüne alınmış ve köprüye giriş bu çalışma içinde modellenmemiştir.

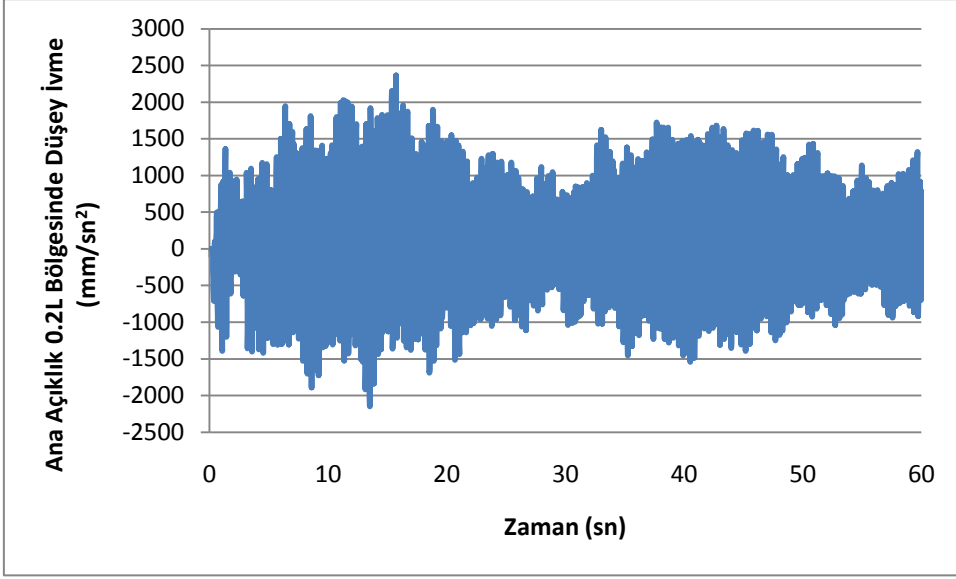


Şekil 6. Senaryo 2 - Ana Açıklık Ortası Yer Değiştirmeler

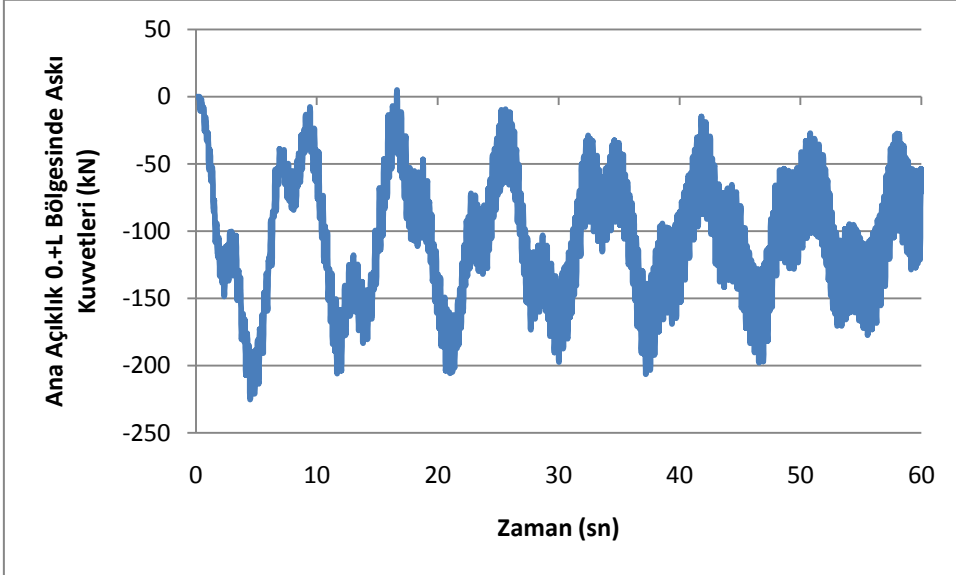


Şekil 7. Senaryo 3 - Ana Açıklık Ortası Yer Değiştirmeler

Beklendiği gibi maraton içerisinde koşucuların belli bir kenarda yoğunlaşmış koşması köprüde azda olsa burulma türünden salınımlara yol açabilmektedir (Şekil 7). Köprüde meydana gelen düşey salınımların etkileri Şekil 8' de gösterilmiştir.



Şekil 8. Senaryo 1. Düşey İvmelerin Değişimi



Şekil 9. Senaryo 1. Askı Kuvvetlerinin Değişimi

## Sonuçlar

İncelenen köprüde maraton etkisi altında yapısal güvenliğin ölçülen yükler ve tahmin edilen askı yükleri karşılaştırıldığı zaman sistemi tehlikeye sokan bir durum oluşturmadığı sonucuna varılmıştır. Öte yandan maraton etkisi altında Avrupa normlarınınca kabul edilen yaya konform limitinin uygun adım marş durumunda 3 katına kadar aşılabileceği tespit edilmiştir.



## **Kaynaklar**

Abrahams, M. J., Ingham, T., Bryson J., Wang J., Chang, J. Silberfarb B. ve Paskova T., Tip Top Shape, Roads and Bridges, Vol 44, No. 5, Mayıs 2006, sf 32-34.

Mehrabi, A. B. (2005), A Unique Bridge with a Unique Problem, Proceedings of 22nd Annual International Bridge Conference, IBC 05-41, Pittsburgh.

Turer, A., Caner, A. ve Yılmaz C. (2006) Cable Hanger Replacement; A Case Study on Bosporus Bridge, IABMAS, Bridge Maintenance, Safety, Management Cycle, Performance and Cost, London

Eurocode EN 1990 (2002) Basis of Structural Design, European Committee for Standardization, Brussels.