

*XV. Ulusal Mekanik Kongresi, 03-07 Eylül 2007, ISPARTA*

## **GÜVENİLİRLİK ANALİZ METODUNUN KÖPRÜLERE UYGULANMASI**

F.Akgül ve H.Bayrak  
O.D.T.Ü  
Mühendislik Bilimleri Bölümü  
06531 Ankara, Türkiye

### **ÖZET**

Günümüzde köprülerin yapısal değerlendirilmesi konusunda ilerleme kaydetmiş olan ülkelerde köprülerin yapısal analizinde güvenilirlik metodlarının kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Ülkemizdeki köprüler ağır yüklere maruz bırakılmakta ve buna ilaveten bu köprülerin yetersiz onarım ve bakım uygulamaları ile uzun süre hizmet vermesi beklenmektedir. Bu çalışmada Ankara il sınırları içinde 1969 yılında T.C. Karayolları tarafından yapılmış olan Peçenek Köprüsü'nün dizayn yükü ve yıkılmasına sebep olan taşıt yükü arasındaki ilişki güvenilirlik analiz metoduna göre incelenmiştir.

### **ABSTRACT**

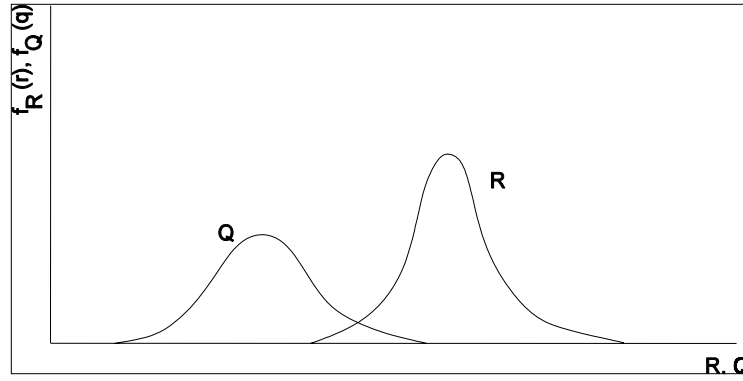
Nowadays, the use of reliability methods for structural analysis of bridges is rapidly increasing in countries that have shown progress in the subject of structural evaluation of bridges. In Turkey, bridges are being subjected to heavy loads. Furthermore, the bridges are being expected to be of service for long times without adequate repair and maintenance. In this work, the relation between the design load and the vehicular load that led to the collapse of Peçenek bridge, built by the Turkish Highways Department in 1969 within the Ankara province, has been investigated using the reliability analysis method.

### **1. GÜVENİLİRLİK ANALİZ METODU**

Köprüler yaşlandıkça, taşıdıkları ağır trafik ve çevresel etkenler sebebiyle oluşan yapısal zayıflama gittikçe önem kazanır. Bu faktörler yapılması gereken tamirlerin sıklığını artırır ve köprünün yük taşıma kapasitesini azaltır. Karayolu köprüleri maruz kaldıkları doğal ve trafik koşulları sebebiyle birçok etkenlerden etkilenmektedirler. Akarsu etkileri, trafik etkileri,

iklimsel etkiler, deprem etkileri, ilave ölü yükler ve çevre kirliliği köprülerde hasar oluşturan çevresel ve doğal etkenlerdir.

Köprülerin yapısal değerlendirmesi konusunda ilerleme kaydetmiş olan ülkelerde kullanılan hareketli yük katsayısı metodu veya güvenilirlik metodu gibi metodlar ülkemizde kullanılmamaktadır. Köprülerin yapısal değerlendirmesi konusunda ilerleme kaydetmiş olan ülkelerde köprü altyapısının bakım ve onarımına yönelik yatırım bütçelerinin belirlenmesinde yapısal sağlamlık ölçütü gözönüne alınması gereken kriterler arasında en önde gelen ölçüttür. Güvenilirlik analiz metodları, olasılığa dayalı mekanik çalışma alanının konusudur. Bir yapı elemanının mukavemetinin  $R$  ve yük etkisinin  $Q$  olasılık dağılım fonksiyonlarının Şekil 1’de görüldüğü şekilde olduğu varsayılırsa, bu yapı elemanının güvenilirliği  $P_s$ , (yapısal performansının yeterli seviyede olma olasılığı), müşterek olasılık dağılım fonksiyonu’nun  $f_{R,Q}(r,q)$  altında kalan hacim ile ifade edilir.



Şekil 1. Mukavemet R ve Yük etkisinin Q olasılık dağılımları

Bu durumda,  $R > Q$  durumunun gerçekleşme olasılığı aşağıdaki integral eşitliği ile hesaplanır.

$$P_s = P(R > Q) = P(R - Q > 0) = \iint_{R > Q} f_{R,Q}(r, q) dr dq \quad (1)$$

Bu eşitlikte,  $f_{R,Q}(r, q)$ ,  $R$  ve  $Q$ ’nun müşterek olasılık dağılım fonksiyonudur.  $R - Q$  terimi Güvenlik Bölgesi olarak tanımlanan ve  $M$  ile ifade edilen bir diğer rastgele değişkeni tanımlar.  $M$ ’nin ortalaması  $\mu_M$ , standard sapması ise  $\sigma_M$  ile gösterilir.

$$M = R - Q \quad (2)$$

Eğer  $R$  ve  $Q$  birbirinden bağımsız ve normal dağılıma sahip rastgele değişkenler iseler, çökme olasılığı, aşağıda belirtildiği gibi  $\mu_M / \sigma_M$  oranının bir fonksiyonu olarak hesaplanabilir.

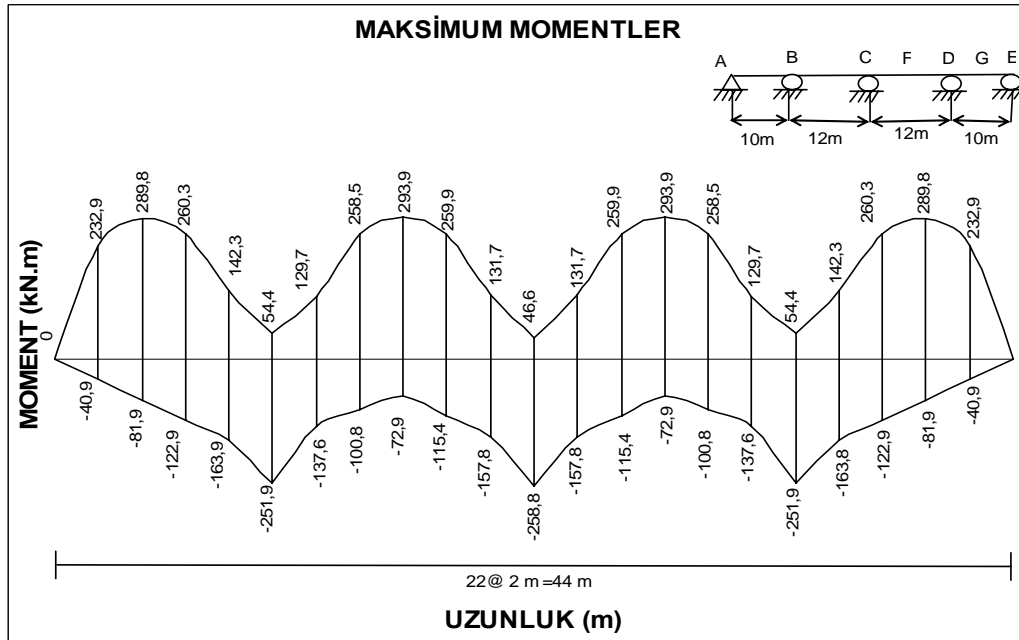
$$P_f = 1 - \Phi\left(\frac{\mu_M}{\sigma_M}\right) \quad (3)$$

Bu eşitlikte  $\Phi$  Laplace fonksiyonudur (Standard normal değişkenin kümülatif dağılım fonksiyonu).  $\mu_M / \sigma_M$  oranı güvenilirlik endeksi (veya güvenlik endeksi) olarak tanımlanır ve  $\beta$  ile ifade edilir. Böylece:

$$\beta = \frac{\mu_M}{\sigma_M} = \frac{\mu_R - \mu_Q}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_Q^2}} \quad (4)$$

Yukarıda tanımlanmış olan güvenlik bölgesi eşitliği  $M = R - Q$  aynı zamanda  $M = 0$  limit durumunu belirten performans fonksiyonu  $g(\mathbf{X})$  olarak ta ifade edilmekte olup şu şekilde tanımlanır. Buradaki  $\mathbf{X}$  vektörü, limit durum fonksiyonundaki rastgele değişkenleri içermektedir.  $g(\mathbf{X})$ , sistemin limit durumunu tanımladığından,  $g(\mathbf{X}) < 0$  çökme durumunu,  $g(\mathbf{X}) > 0$  ise güvenli durumu ifade eder. Güvenilirlik endeksi  $\beta$  limit durum fonksiyonu cinsinden yazılabilir. Güvenilirlik endeksinin hesaplanmasında FORM (Birinci Derece Güvenilirlik Metodu), SORM (İkinci Derece Güvenilirlik Metodu) veya benzeri metodlar kullanılmaktadır.

Bu çalışmada güvenilirlik analiz metodu, örnek teşkil etmesi amacıyla Peçenek Köprüsü'ne uygulanmıştır. Peçenek Köprüsü Türkiye Cumhuriyeti Karayolları tarafından 1969 yılında Ankara il sınırları içinde H15-S12 kamyon yüküne göre dizayn edilmiştir. Peçenek Köprüsü 4 açıklıklı yapılmış olup köprü enkesitinde 8 tane I profil kullanılmıştır. Köprü yapımında ST 37 çeliği ile Wb 28 betonu kullanılmıştır. Zamanla dayanımı azalan köprü aynı zamanda dizayn yükünden daha ağır yüklere maruz kalmıştır. Bu etkenler neticesinde yıkılmış olan Peçenek Köprüsü'nün dizayn yükleri ve yıkılmasına sebep olan yükler için yapılan analizler aşağıda sunulmuştur.



Peçenek Köprüsü yapısal olarak simetrik bir köprü olduğu için C, D, E olarak isimlendirilen mesnetlerdeki ve F, G olarak adlandırılan açıklıklarındaki yüklere göre analizi yapıldı. Köprü üzerinden geçen araçtan dolayı oluşan hareketli yük, köprüdeki kirişlere, hareketli yük dağıtım faktörü ve etki faktörü kullanılarak dağıtıldı. Kapasitede, ölü yükte ve hareketli yükteki belirsizlikler de hesaba katılıp FORM (Birinci Derece Güvenilirlik Metodu) kullanılarak köprünün güvenilirlik endeksi bulundu.

	C Mesnedi	F Açıklığı	D Mesnedi	G Açıklığı
Köprünün moment taşıma kapasite	683.28	683.28	683.28	683.28
Ölü yükten kaynaklanan moment	-96.40	48.19	-99.43	51.75
Hareketli yükten kaynaklanan moment	-61.23	69.55	-59.60	63.78
Moment taşıma kapasitenin varyansı	4668.99	4668.99	4668.99	4668.99
Yüklerin varyansları toplamı	173.20	199.30	166.80	169.50
Güvenilirlik Endeksi ( $\beta$ )	7.55	8.11	7.54	8.16

**Tablo 1.** Dizayn yüküne göre mesnet ve açıklıklardaki güvenilirlik endeksleri

H15-S12 aracı için yapılan analiz sonucunda  $\beta$ , (4) numaralı formüle göre hesaplandı ve (3) numaralı formül kullanılarak köprünün çökme olasılığı bulundu. Burada bulunan  $\beta$  değerlerine göre köprünün yıkılma olasılığı standart normal dağılım tablosu da gözönüne alınarak hesaplanmıştır. Güvenilirlik endeksinin 7.55 değerine karşılık gelen çökme olasılığı 0.20E-13 olup görüleceği üzere oldukça küçüktür.

Peçenek Köprüsü'nün yıkılmasına neden olan kamyon yükü için de güvenilirlik analizi yapıldı sonuçlar aşağıda verilmiştir.

	C Mesnedi	F Açıklığı	D Mesnedi	G Açıklığı
Köprünün moment taşıma kapasite	683.28	683.28	683.28	683.28
Ölü yükten kaynaklanan moment	-96.40	48.19	-99.43	51.75
Hareketli yükten kaynaklanan moment	-203.55	211.31	-191.10	209.63
Moment taşıma kapasitesinin varyansı	4668.99	4668.99	4668.99	4668.99
Yüklerin varyansları toplamı	1680.53	1791.90	1516.20	1764.83
Güvenilirlik Endeksi ( $\beta$ )	4.81	5.27	4.96	5.26
Çökme olasılığı ( $P_f$ )	0.793E-06	0.579E-07	0.371E-06	0.579E-07

**Tablo 2.** Peçenek Köprüsü'nü yıkan kamyon yükünün neden olduğu momentlere göre mesnet ve açıklıklardaki güvenilirlik endeksleri ve güvenilirlik endekslerine karşılık gelen çökme olasılıkları



**Resim 1.** Yıkılan Peçenek Köprüsü'nden bir görüntü

## **2. SONUÇ**

Güvenilirlik endeksi bir köprünün inşa edildiği yeni halini yansıtır. Zamanla köprünün güvenilirlik endeksi, maruz kaldığı çevresel etkiler ve taşıdığı trafik yükünün artması neticesi azalır. Hiç bakım ve onarım yapılmayan köprülerin maruz kaldıkları bu etkiler neticesinde belli bir zaman sonra çökme olasılık değerleri oldukça yükselir. Endeksin zaman içinde ne derece azalacağını tahmin edebilmek için günümüzde malzeme yıpranma modelleri ve istatistiksel yük artış modelleri geliştirilmektedir. Analizini yaptığımız Peçenek Köprüsü'nün yıkılmasına sebep olan yükün de, dizayn yüküne oranla çökme olasılığını ne kadar artırdığı yapılan analiz sonucu ortaya çıkmıştır. Buna ilaveten köprünün yaşlanmasından dolayı dayanım kapasitesinin azalması da köprünün yıkılmasında rol oynayan önemli bir unsurdur.

## **KAYNAK**

- [1] Akgul, F., Frangopol, D.M., Lifetime performance prediction of existing reinforced concrete bridges. I: Theory. Journal of Infrastructure Systems, American Society of Civil Engineers, Jun. 2005, Vol 11, No. 2, 122-128

