

# OTOYOL KÖPRÜLERİNİN DEPREM YÖNÜNDEN HASAR GÖREBİLİRLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

## SEISMIC VULNERABILITY ASSESMENT OF HIGHWAY BRIDGES

A. Can Zülfıkar<sup>1</sup>, Özal Yüzüğüllü<sup>2</sup>

### SUMMARY

The purpose of this paper is to establish a database for the highway bridges on the O1 and O2 peripheral motorways in Istanbul and evaluate their seismic vulnerabilities according to a certain screening procedure. The preliminary screening procedure contemplates only the technical aspects of the problem and does not include political and economic considerations. To determine seismic rating of a bridge, a) Structural characteristics, b) Importance of the bridge as a vital transportation link, c) Foundation and site characteristics are to be taken into account. The results of this investigation are considered to be the essential step for the maintenance and improvement of the bridges in the future.

### ÖZET

Bu çalışmada amaç, geliştirilmiş bir önınceleme metodu kullanarak, İstanbul'da O1 ve O2 çevreyolları üzerinde bulunan otoyol köprülerinin deprem etkisi yönünden hasar görebilirliliğini değerlendirmektir. Kullanılan önınceleme metodu konuyu sadece mühendislik açısından değerlendirir, ekonomik ve idari yaklaşımları gözönüne almaz. Bir köprünün deprem yönünden hasar görebilirliliğinin puanlanmasında, köprünün yapısal karakteristiği, önemi ve zemin yapısı göz önüne alınır. Bu çalışmanın sonuçları, köprülerin ileride deprem yönünden takviye ve güçlendirme çalışmaları için gerekli görölmektedir.

### GİRİŞ

1989 Loma Prieta depreminde köprülerde görölen hasarlardan sonra hem yeni

---

<sup>1</sup> Arş. Gör. B.Ü., K.R.D.A.E., Deprem Mühendislięi Anabilim Dalı, Çengelköy, İstanbul

<sup>2</sup> Prof. Dr. B.Ü., K.R.D.A.E., Deprem Mühendislięi Anabilim Dalı, Çengelköy, İstanbul

yapılacak köprüler için hem de varolan köprülerin takviye ve güçlendirme çalışmaları için projelendirme kriterlerinin tekrar gözden geçirilme ihtiyacı doğmuştur. Bu ihtiyaç varolan köprülerin deprem etkisi yönünden hasar görebilirliğini tanımlayabilmek için çeşitli metodların geliştirilmesine sebep olmuştur. Günümüzde otoyol köprüleri için kullanılan öninceleme metodlarından başlıcaları CALTRANS (California Department of Transportation), WSDOT (Washington State Department of Transportation), IDOT (Illinois Department of Transportation) ve ATC (Applied Technology Council) [1] tarafından geliştirilmişlerdir. Bu çalışmada Memphis'te [2] otoyol köprülerinin hasar görebilirliğini değerlendirmek amacıyla uygulamaya konan bir öninceleme metodu kullanılarak, İstanbul'da O1 ve O2 çevreyolları (Şekil 1) üzerinde yer alan otoyol köprülerinin deprem etkisi altındaki hasar görebilirliği değerlendirilmiştir. Bu öninceleme metodu, köprünün yapısal elemanlarını, bir ulaşırma bağı olarak önemliliğini ve zemin durumunu göz önünde tutarak ayrıntılı inceleme gerektiren köprüleri belirler ve bunun sonucu olarak depreme dayanıklılığı artırıcı takviye ve güçlendirme çalışması yapılmasını gerektiren köprülere karar verilmesinde yardımcı olur.

## OTOYOL KÖPRÜLERİNİN DEPREM ETKİSİ YÖNÜNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ

Öninceleme metodunun amacı depreme dayanıklılığı artırıcı takviye ve güçlendirme çalışmasına bağlı olarak deprem riskine sahip öncelikli köprülerin belirlenmesidir. Deprem riskine sahip otoyol köprülerinin belirlenmesi, takviye ve güçlendirme çalışması yapılacak otoyol köprülerinin seçimi, mühendislik yaklaşımı kadar, ekonomik, sosyal ve idari yaklaşımları da gözönüne almayı gerektirir.

Otoyol köprülerinin depreme dayanıklılığını artırıcı takviye ve güçlendirme çalışmaları üç aşama halinde gerçekleştirilir.

- I. Aşama: Otoyol köprülerinin önincelenmesi,
- II. Aşama: Otoyol köprülerinin ayrıntılı incelenmesi,
- III. Aşama: Takviye ve güçlendirme çalışmalarının tasarımı,

Bu çalışmada, sadece I. Aşama sonuçlarına yer verilmiştir. I. Aşama da yer alan öninceleme metodunda aşağıdaki hususlar gözönüne alınır:

- a) Köprünün yapısal özellikleri,
- b) Köprünün bir ulaşırma bağı olarak önemi,
- c) Köprünün zemin özellikleri,

Metod her köprü için yukarıdaki hususlara verilen ağırlıklı bir puanlama sistemi ile başlar. Yukarıdaki hususlar ayrıca kendi içinde de alt kriterlere ayrılarak puanlanır (Tablo.1) ve bu puanlar toplanarak öninceleme için gerekli toplam puan oluşturulur.

Tablo 1'de yer alan alt kriterler aşağıdaki şekilde sıralanır:

### Üstyapı

Otoyol köprüleri üstyapılarına göre sürekli veya süreksiz olarak iki kısma ayrılır.

Öninceleme formunda üstyapısı süreksiz olan köprüler 0, üstyapısı sürekli olan köprüler ise 10 ile puanlandırılmıştır.

### **Genleşme Derzi Sayısı**

Üstyapıdaki genleşme derzi köprünün süreksizliğini artırır ve stabilitesini etkiler. Eğer köprü genleşme derzine sahip değilse veya 1 genleşme derzine sahipse 5 puan, 2 veya 3 genleşme derzine sahipse 4 puan ve 4 veya daha fazla genleşme derzi için 3 puan alır.

### **Mesnet Tipi**

İstanbul'da O1 çevreyolundaki köprülerin büyük bir çoğunluğunda ve O2 çevreyolundaki köprülerin tamamında elastomer mesnetler kullanılmıştır. Elastomer mesnetler, aralarına çelik levhalar yerleştirilmiş elastomer tabakalarından ibaret mesnetlerdir ve tabaka düzlemleri içinde sınırlı miktarda harekete izin verirler [3].

### **Verevlik Etkisi**

Köprüdeki verevlik, orta ayak doğrultusu ile köprü doğrultusuna çizilen dik doğru arasındaki açı olarak tanımlanır. Verevlikten dolayı köprünün ilk baskın modunun, üstyapının yatay düzleminde dönme oluşturacağı ve bunun sonucunda mesnetlere gelen kuvvetlerin eşit olarak dağılmayacağı [4] dolayısıyla bununda deprem anında mesnetlerin performansının olumsuz yönde etkileneceği düşünülerek, verevlik etkisi öninceleme formunda köprüdeki verevlik açısına göre 1 ile 5 arasında puanlandırılmıştır.

### **Köprünün Yapım Yılı**

Köprünün yapım yılı, kullanılan deprem şartnamesi ile doğrudan ilgilidir. Deprem şartnamesi gözönüne alınarak yapılan köprülere 10, deprem şartnamesi gözönüne alınmadan yapılan köprülere ise 0 puan verilmiştir.

### **Sınıflandırma**

Bu kriterde köprüler, düzenli ve düzensiz köprüler olarak sınıflandırılırlar. Farklı ayak yüksekliğine ve farklı rijitliğe sahip olan köprüler düzensiz köprüler olarak tanımlanırlar ve düzenli köprülerin deprem etkisi yönünden güvenilirliğinin daha üstün olacağı düşünülerek düzenli köprüler 10 ile düzensiz köprüler 0 ile puanlandırılmıştır.

### **Ayak Yüksekliği**

Bu kriterde ayak yüksekliği 5 m.'den fazla olan köprülerin deprem riskinin daha fazla olacağı düşünülerek, ayak yüksekliği 0 ile 5 m. arasında olan köprüler 5 ile ayak yüksekliği 5 m.'den fazla olan köprüler 0 ile puanlandırılır.

### **Minimum Mesnet Uzunluğu**

Ötelenmeye izin verilen kiriş uçlarındaki gerçek mesnet uzunluğu, minimum mesnet uzunluğundan fazla olmalıdır. Aksi takdirde bir deprem sırasında mesnetin yeterli uzunlukta olmamasından dolayı, kirişin mesnetten düşme ihtimali vardır [5]. Değerlendirme de, eğer gerçek mesnet uzunluğu, hesaplanan minimum mesnet uzunluğundan fazla ise 10 ile aksi takdirde 0 ile puanlanır.

### **Toplam Yol Mesafesi**

Köprü'nün bir sonraki köprü ile arasında olan mesafe toplam yol mesafesi şeklinde tanımlanır. Puanlandırma, toplam yol mesafesi 3.5 km.'den az olan köprüler için 10, 3.5 ile 7 km. arasında olan köprüler için 5 ve 7 km.'den fazla olan köprüler için 0 puan şeklindedir.

### **Günlük Ortalama Trafik**

Bir köprü'nün deprem anında hasar görmesinin en kötü sonucu insan hayatına malolmasıdır. Bu sonuç köprü'nün önemini belirten bir kriter olarak günlük ortalama trafik ile tanımlanır.

İstanbul'daki O1 ve O2 çevreyolları (Şekil 1) üzerinde bulunan köprüler için günlük ortalama trafik Karayolları 17. Bölge Müdürlüğü İstatistik Bölümünden 10000 aracın üzerinde olarak belirtilmiştir.

Bu kriterde günlük ortalama trafik 2000 araçtan az olan köprüler için 10 ile, 2000-10000 araç arasında olan köprüler için 5 ile, ve 10000 araçtan fazla olan köprüler için 0 ile puanlandırılmıştır.

### **Zemin Durumu ve Sıvılaşma Potansiyeli**

Zemin durumunun deprem sırasında sarsıntının süresi ve genliği üzerinde ve dolayısıyla yapısal hasar üzerinde büyük etkisi vardır.

Genelde İstanbul için 5 çeşit zemin durumuna rastlanılır.

- Z1. Kuvarsit, Granit, bazalt ve şistli zemin,
- Z2. Gravak ve killi şist zemin,
- Z3. Kalker ve marnlı zemin,
- Z4. Kum, çakıl ve killi zemin,
- Z5. Alüvyonlu zemin,

Z1, Z2 ve Z3 zemin tipleri sert zeminlerdir dolayısıyla depreme dayanıklı zeminler olarak tanımlanırlar ve 10 ile puanlandırılırlar. Deprem etkisi açısından daha elverişsiz zeminler olan Z4 ve Z5 zemin tipleri ise sırasıyla 5 ve 0 ile puanlandırılırlar.

## **Kenar Ayak Yüksekliği**

Kenar ayaklarda en önemli hasar, dönmeden ve oturmadan dolayı olur. Kenar ayak yüksekliğine bağlı olarak zemin etkisi, 0-5 m. için 10 puan, 5-10 m. için 5 puan ve 10 m.'den büyük yükseklikler için ise 0 puan olarak verilmiştir.

## **O1 VE O2 OTOYOL KÖPRÜLERİ İÇİN PUANLAMA SONUÇLARI**

İstanbul ili, Karayolları 17. Bölge Müdürlüğü sınırları içerisinde yapılan bu çalışmada 26'sı O1 çevreyolu üzerinde ve 46'sı O2 çevreyolu üzerinde olmak üzere toplam 72 köprü önincelemeye tabi tutulmuştur. Gerekli olan projeler, Karayolları 17. Bölge Müdürlüğü, Köprüler Daire Başkanlığından ve günlük ortalama trafik'te İstatistik bölümünden elde edilmiştir. Zemin puanlamasında, İstanbul'un zemin yapısını gösteren jeolojik durum haritasından faydalanılmıştır.

Her köprü için toplam puan üç kısımdan oluşur.

- a) Yapısal puan 60,
- b) Önemlilik puanı 20,
- c) Zemin puanı 20,

Toplam 100 puanlık bir değer arzu edilen bir köprüyü temsil etmektedir. 0 puanlık bir değer ise depremin etkisine karşı hiçbir direnci olmayan köprüyü temsil etmektedir. Tablo 2'de, I. aşamaya ait puanlama sonuçları verilmiştir. Bu değerler, sosyal, politik, ekonomik ve idari konuları kapsamamaktadır. Elde edilen en yüksek puan 74, en düşük puan 42 ve ortalama puan 56 olmuştur. Tablo 3'te ise bazı kriterleri içeren ortalama sonuçlara yer verilmiştir.

## **SONUÇ**

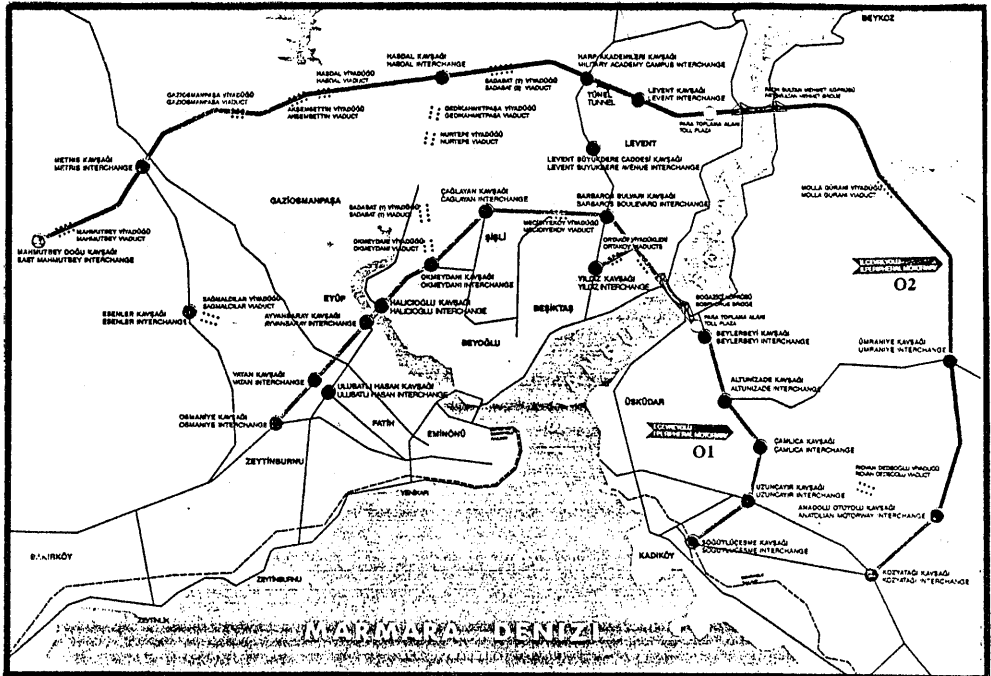
1- Yukarıda elde edilen sonuçlara ek olarak ekonomik, sosyal ve idari konular da gözönüne alınmalı ve belirlenen bir puanın altındaki puana sahip köprüler için 2. aşama incelemesine geçilmeli en son olarak da çalışma alanı içinde hasar görülebilirlik açısından risk taşıyan köprüler için bir takviye ve güçlendirme programı tasarlanmalı ve imkanlar oranında uygulamaya konmalıdır.

2- I. Aşama için uygulanan metod sadece Kaynak.2'de önerilen yöntemi kapsamaktadır. Bu konudaki mevcut diğer yöntemlerle de benzer bir puanlama yapılmalı ve elde edilen sonuçların tutarlığı karşılaştırılmalıdır.

## KAYNAKLAR

1. Basöz, N., Kremidjian, N., Straser, N., (1994) "Sismik Yönden Takviye ve Güçlendirme Çalışmaları için Köprülerin Değerlendirilmesi ", Fifth U.S. National Conference, (İngilizce)
2. Pezeshk, S., Chang, T. S., Yiak, K. C., Kung, H. T., (1993) "Memphis'de Otoyol Köprülerinin Sismik Yönden Hasar Görebilirliğinin Değerlendirilmesi", Earthquake Spectra, volume 9, no. 4, (İngilizce)
3. Gumba, "Köprü Mesnetleri Rehberi", (İngilizce)
4. Roy A. Imbsen, (1987), "Köprülerin Deprem Davranışını Tanımlamak için Tasarım ve Takviye Çalışmaları Yönünden Analitik Tekniklerin Değerlendirilmesi ", vol 2, FEMA- 136, (İngilizce)
5. AASHTO, (1983) "Otoyol Köprülerinin Sismik Tasarım Şartnamesi", (İngilizce)

Şekil 1 - O1 ve O2 Çevreyolları



Tablo 1

YAPISAL PUAN				Puan
1.Üstyapı (10 puan)		Sürekli 10	Süreksiz 0	
2.Genleşme Derzi Sayısı (5 puan)	<=1 5	2 4	3 4	>=4 3
3.Mesnet Tipi (5 puan)	Elastomer Mesnet 4	Kayıcı Mesnet 5		
4.Verevlik (5 puan)	Düz 5	Açı (<20 <sup>0</sup> ) 4	Açı (>20 <sup>0</sup> ) 1	
5.Yapım Yılı (10 puan)	Deprem Şartnamesi Öncesi 0	Deprem Şartnamesi Sonrası 10		
6.Sınıflandırma (Farklı Ayak Yüksekliği) (10 puan)	Düzenli 10	Düzensiz 0		
7.Maks. Ayak Yüksekliği (5 puan)	<5 m 5	>5 m 0		
8.Gerçek Mesnet Uzunluğu > Min. Gerekli Mesnet Uzunluğu (10 puan)	Yes 10	No 0		
Toplam Yapısal Puan (60 puan)				
ÖNEMLİLİK PUANI				Puan
9.Toplam Yol (10 puan)	> 7 km 0	3.5 - 7 km 5	<3.5 km 10	
10.Günlük Ortalama Trafik (10 puan)	<2000 10	2000-10000 5	>10000 0	
Toplam Önemlilik Puanı (20 puan)				
ZEMİN PUANI				Puan
11.Zemin Durumu ve Sıvılaşma Potansiyeli (10 puan)	Z1-Z2-Z3 10	Z4 5	Z5 0	
12.Kenar ayak Yüksekliği(m) (10 puan)	0-5 10	5-10 5	>10 0	
Toplam Zemin Puanı (20 puan)				

Tablo 2

Köprü Adı	Toplam Puan (100 puan)
O2-KM01	45
O2-İÇÖ	49
O2-BRO	48
O2-BSK	49
O2-M102	49
O2-M101	54
O2-M302	64
O2-M301	59
O2-M401	49
O2-M402	64
O2-M501	63
O2-NM01	40
O2-B2	44
O2-B19	50
O2-B3	65
O2-B6	58
O2-B10	50
O2-B11	45

Köprü Adı	Toplam Puan (100 puan)
O2-M2U2	59
O2-M5U2	62
O2-M5U1	44
O2-V2A	53
O2-V2	53
O2-V4	48
O2-V1	53
O2-B1	55
O2-VM01	49
O2-RM01	50
O2-RM02	63
O2-B17	57
O2-B16	58
O2-BLU1	54
O2-L102	54
O2-M1U1	49
O2-M1U2	59
O2-B21	42

Köprü Adı	Toplam Puan (100 puan)
O2-B12	45
O2-B13	43
O2-B14	48
O2-B3C	63
O2-B3B	55
O2-B5	63
O2-KMU4	50
O2-KMU3	54
O2-NMU3	54
O2-NMU4	52
O1- K101	74
O1-K102	68
O1-K103	57
O1-K106	62
O1-K202	59
O1-K204	63
O1-K206	63
O1-K207	68

Köprü Adı	Toplam Puan (100 puan)
O1-K212	58
O1-K303	68
O1-K305	64
O1-K402	62
O1-K404	62
O1-K410	60
O1-K414	67
O1-503	68
O1-K505	64
O1-K510	63
O1-K512	48
O1-K515	53
O1-K517	53
O1-K104	59
O1-K205	63
O1-K300	60
O1-K501	54
O1-K509	67



Tablo 3

	Kriter	Ortalama (%)
Üstyapı	Sürekli	36.1
	Süreksiz	63.9
Genleşme Derzi	< = 1	52.8
	2	38.9
	3	8.3
	> = 4	0.0
Verevlik	Düz	31.9
	Açı ( < 20 <sup>0</sup> )	33.3
	Açı ( > 20 <sup>0</sup> )	34.8
Yapım Yılı	Deprem Şartnamesi Öncesi	36.1
	Deprem Şartnamesi Sonrası	63.9
Sınıflandırma	Düzenli	40.3
	Düzensiz	59.7
Gerçek Mesnet Uzunluğu > Min. Gerekli Mesnet Uzunluğu	Evet	100
	Hayır	0
Ayak Yüksekliği	< 5 m	3.0
	> 5 m	97.0