

BETONARME KÖPRÜLERİN YAPISAL ÇELİK ELEMANLAR KULLANILARAK DEPREME KARŞI GÜÇLENDİRİLMESİ UYGULAMALARI

¹Esra NAMLI,² Demir H. YILDIZ, ³Alp ÖZTEN, ⁴Necdet ÇİLİNGİR

Emay Uluslararası Mühendislik ve Müşavirlik A.Ş., İstanbul Tel: (+90 216) 400 0 400

¹E-mail: enamli@emay.com

²E-mail: dyildiz@emay.com

³E-mail: aozten@emay.com

⁴E-mail: ncilingir@emay.com

Özet

İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) denetiminde yürütülen bir proje kapsamında, İstanbul Büyükşehir Belediye sınırları içinde yer alan, kritik önemdeki çeşitli mevcut köprülerin deprem güvenlikleri Emay Uluslararası Mühendislik ve Müşavirlik A.Ş. tarafından değerlendirilmiş ve gerekli görülen durumlarda depreme karşı güçlendirme uygulama projeleri hazırlanarak, öngörülen yeterli güvenlik seviyesinin sağlanması hedeflenmiştir. Bu bağlamda, yapılan değerlendirmeler sonucunda yetersizlik içerdiği belirlenen köprülerin depreme karşı güvenli hale getirilebilmesi için güçlendirme uygulama tasarımları geliştirilmiştir. Bu bildiriye, söz konusu proje kapsamında incelenen köprülerden Üsküdar Haydarpaşa Üstgeçit Köprüsü için, yapısal çelik elemanlar kullanılarak gerçekleştirilen güçlendirme çalışmaları sunulmuştur. Mevcut Üsküdar Haydarpaşa Üstgeçit Köprüsü'ne uygulanan güçlendirme tasarımında, yetersizlik gösteren mevcut betonarme kiriş-kolon birleşim bölgelerinin çelik plakalar ve yüksek dayanımlı bulonlardan oluşan guse elemanları ile takviye edilmesi öngörülmektedir. Bu bölgelerde, düşey yükler ve deprem etkilerinden meydana gelen pozitif ve negatif eğilme momentleri ile kesme kuvvetlerine karşı yeterli güvenlik oluşturulması amaçlanmış, sürtünme kesmesi yaklaşımı uygulanarak takviye elemanları ile mevcut yapı arasındaki kuvvet aktarımı sağlanmış, ayrıca birleşimlerin kapasite tasarımı ilkesine göre tahkikleri yapılmıştır. Bu tasarımların geliştirilmesinde izlenen yol ve göz önüne alınan hususlar bu bildiriye tartışılmış, hesap esasları açıklanmış ve güçlendirmenin yapı davranışına etkileri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Giriş

İstanbul, depremselliği yüksek bir bölgede yer almakta olup aynı zamanda oldukça yoğun bir nüfus barındırmaktadır. Büyük bir deprem durumunda çok kısa bir sürede arama/kurtarma ve tahliye için gerekli ulaşımın sağlanabilmesi, gereken malzeme, araç ve erzakın hızlı bir şekilde taşınabilmesi çok önemlidir; bu yüzden depreme karşı alınacak önlemlerde önem verilmesi gereken hayati sistemlerden biri de kentin ulaşım ağı ve bu ağın kritik noktaları olan köprülerdir.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) tarafından yönetilen proje kapsamında, Emay Uluslararası Mühendislik ve Müşavirlik A.Ş. tarafından İstanbul çapında çeşitli köprülerin deprem güvenlikleri

değerlendirildi ve gerek görülen köprüler için güçlendirme tasarımları ve projeleri hazırlanarak yeterli güvenlik seviyesinin sağlanması hedeflendi.

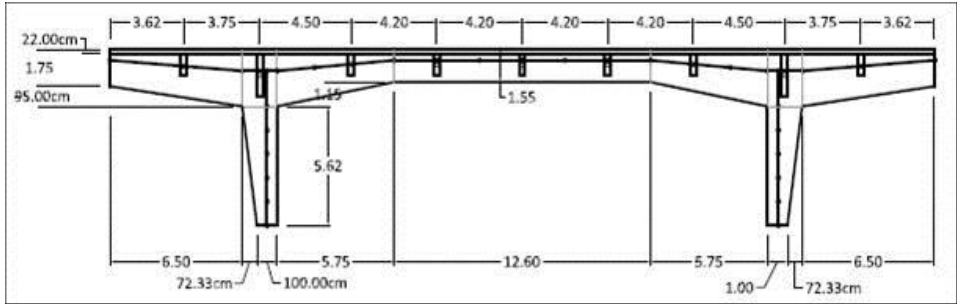
Üsküdar Haydarpaşa Üstgeçit Köprüsü, Üsküdar ile Haydarpaşa arasındaki trafik akışını sağlamaktadır. Söz konusu yapı 40.4m uzunluğunda, 20m genişliğinde ve 3° verevlik açısına sahiptir. Köprü birbirine eş 8 adet betonarme çerçeveden oluşmaktadır ve monolitik kolon-kiriş bağlantısına sahiptir. Köprü çerçeve sistemi 25.00m'lik bir iç açıklık ve 7.70m'lik iki adet konsoldan oluşmaktadır. Çerçeve sistemin ana kirişleri enleme kirişleri ile birbirlerine bağlanmaktadır. Ana kirişler 0.45m genişliğindedir ve yükseklikleri 1.33m~2.70m arasında değişmektedir. Köprü betonarme döşemesi 22cm kalınlıktadır.

Kolonlar 5.62m yüksekliğindedir ve değişken kesite sahiptir. Kolonların tekil temellere birleşimi mafsallı olarak tasarlanmıştır. Köprünün mevcut geometrik ölçüleri Tablo 1.1'de görülmektedir.

Tablo 1.1. Köprü Geometrik Ölçüleri.

Yapı tipi	Açıklık	Enkesit Genişliği	Kolon Yüksekliği
Üstgeçit Köprüsü	7.70m+25m+7.70m	20 m	5.62 m

Mevcut projeler incelenerek eleman detayları ve donatı miktarları belirlenmiştir. Kirişlerde mesnette üstte 16Ø32 altta 2Ø32, açıklıkta ise üstte 2Ø32 altta 16Ø32 donatı bulunmaktadır. Kolonların kenar açıklığına bakan yüzlerinde 10Ø32 iç açıklığına bakan yüzlerinde ise 5Ø32 düşey donatı bulunmaktadır. Köprünün boy kesit görünümü Şekil 1.1'de, mevcut durum genel görünümü ise Şekil 1.2'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Köprü boy kesit görünümü.



Şekil 1.2. Köprü mevcut durum görünümü.

Ön İnceleme Aşamaları ve Testler

Köprü'nün mevcut yapısal durumu ile ilgili veriler ön değerlendirme aşamasında yapılan yerinde incelemeler, ölçümler ve alınan malzeme örneklerinin dayanım deney sonuçlarına göre elde edilmiştir. Bu çalışmalar üç boyutlu haritalama/röleve çalışmaları, yerinde yapılan gözlem ve ölçümler, yerinde detaylı hasar ve durum incelemesi, malzeme deneyleri (karbonasyon, vs.) ile karot testleri ve diğer verilerden ibarettir.

Arazi çalışmaları sırasında köprü'nün uygun görülen yerlerinde yapılan ön değerlendirme çalışmaları: (1) beton karot numuneler alınarak beton basınç dayanımı belirlenmesi; (2) Schmidt çekici kullanılarak elde edilen darbe sayılarından yola çıkılarak, bunların karot dayanımları ile korelasyonu vasıtası ile, diğer noktalardaki beton basınç dayanımlarının da belirlenmesi, (3) beton paspayı derinliği (beton örtü veya kabuk kalınlığı) ile betonda karbonasyon derinliğinin belirlenmesi şeklinde sıralanabilir.

Bu köprüde, beton basınç dayanımının tespiti amacı ile ayak, temel ve başlık kirişi betonlarından toplam 8 adet 64 mm çapında ve ortalama 77 mm uzunluğunda beton karot numuneler alınarak yapı malzemesi laboratuvarında basınç testine tabi tutulmuş ve basınç dayanım değerleri elde edilmiştir. Köprü betonlarında (15x15) cm küp için karakteristik basınç dayanımı 374,7 kg/cm², ortalama dayanım 438.0 kg/cm² olarak tespit edilmiştir. Bu değerler (15x30) cm silindir için sırası ile 312,2 kg/cm² ve 365,0 kg/cm² değerlerine karşılık gelmektedir. Köprüde beton kabuk, kritik görülen yerlerde sıyrılarak mevcut donatı cinsi, çapı (kumpasla ölçülerek) ve aralığı tespit edilmiştir. Elde edilen projeler ve yerinde yapılan görsel değerlendirmeye göre donatı sınıfı S220 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, yapılan incelemeler sonucunda, paspayı derinliği 35-40mm olarak tespit edilmiştir.

Çalışma alanında planlanan hat üzerinde 2 adet geoteknik amaçlı sondaj yapılmıştır. Sondajlar sırasında kaya ortamında TCR, RQD, SCR ölçümleri yapılmış ve uygun derinliklerden numuneler alınmıştır.

Alınan numuneler üzerinde laboratuvar testleri yapılmış ve nokta yükleme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sondajlar sonucunda temellerin mesnetlendiği birim, kumtaşı birimi olarak belirlenmiştir. Çalışma alanında tespit edilen kumtaşı birimi için belirlenen zemin parametreleri Kıyı ve Liman Yapıları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Esasları (DLH) yönetmeliği esasları kullanılarak elde edilmiştir. Belirlenen zemin parametreleri Tablo 2.1'de verilmiştir.

Table 2.1. Zemin Parametreleri.

Deprem Bölgesi	1. Derece				
Jeolojik Birim	Kumtaşı				
Zemin Sınıfı	B				
Spektrum Değerleri	Ss<0.25	Ss=0.50	Ss=0.75	Ss=1	Ss>1.25
	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Sismik Değerlendirmenin Genel İlkeleri

Köprülerin değerlendirilmesinde DLH 2008 yönetmeliği temel alınmıştır. Buna göre köprü sınıfları özel, normal veya basit köprü olarak belirlendikten sonra (DLH 2008,3.1.2.), yönetmelikte verilen D1, D2 veya D3 deprem seviyeleri esas alınarak, gerekli analizler sonucunda değerlendirmeler yapılmaktadır.

- Özel Köprüler: Stratejik güzergah üzerinde bulunan köprüler ve deprem sonrası hemen hizmet vermesi beklenen kritik köprüler.
- Normal Köprüler: Özel ve Basit köprüler dışındaki tüm köprüler.
- Basit Köprüler: Açıklığı 10m'den az, tek açıklıklı, özel köprüler dışındaki köprüler. Etkin yer ivmesi 0.1g'den küçük yerlerde bulunan özel köprüler dışındaki köprüler.

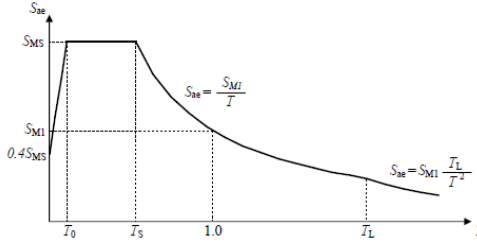
İdare tarafından bildirilen karara göre Üsküdar, Haydarpaşa Üstgeçit Köprüsü "özel" köprü sınıfında incelenmiştir.

Deprem davranış spektrumu DLH 2008 Ek.A'da verilen yöntemle, köprü koordinatları kullanılarak oluşturulmuş ve zemin sınıfına göre ayarlanmıştır. Köprülerin performansa dayalı hesaplarında kullanılacak deprem düzeyleri D1, D2 ve D3 olmak üzere üç ayrı şekilde göz önüne alınmıştır (DLH 2008, 1.2.1.). Bu seviyeler içinde D1 deprem seviyesi olasılığı en yüksek ancak büyüklüğü en düşük, D3 deprem seviyesi de olasılığı en düşük ancak büyüklüğü en yüksek olanıdır. D1 seviyesi 72 yıl, D2 seviyesi 475 yıl, D3 seviyesi 2475 yıllık bir dönüş periyodunda beklenen deprem seviyesine karşılık gelmektedir (Tablo 3.1.).

Tablo 3.3. Tasarım Deprem Düzeyleri (DLH 2008,1.2.1.).

Deprem Düzeyi	D1	D2	D3
DLH Bölüm	1.2.1.1	1.2.1.2	1.2.1.3
50 yılda aşılma olasılığı	%50	%10	%2
Dönüş Periyodu	72 yıl	475 yıl	2475 yıl

DLH 2008 Ek-A'daki spektral ivme değerleri S_s (kısa periyot için spektral ivme) ve S_1 (1.0 sn periyotu için spektral ivme) Zemin Sınıfı B için verilmiştir. Koordinatlara göre bulunan S_s ve S_1 değerleri zemin sınıfı ve spektral ivme değerleri kullanılarak DLH 2008 Tablo 1.1 ve DLH Tablo 1.2'deki düzeltme katsayıları ile çarpılır. Deprem spektrumu DLH'da verilen denklemlere göre oluşturulmuştur. Bu spektrumun genel hali Şekil 3.1.'de görülmektedir.



Şekil 3.1. Deprem tepki spektrumu [DLH 1.2.2.1 & 1.2.2.2]

Deprem Güvenliği Değerlendirme Yöntemleri

Mevcut köprülerin deprem etkileri altında değerlendirmesinde iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler dayanıma göre değerlendirme (DGD) ve şekil değiştirmeye göre değerlendirme (ŞGD) (DLH 2008,3.1.5.). Yapılan analizler sonucunda köprü taşıyıcı sisteminin ve köprü elemanlarının belirlenen deprem davranışları DLH yönetmeliğinde verilen performans limitleri ile karşılaştırılarak yapının deprem güvenlik seviyesi belirlenmiştir. Değerlendirmede kullanılan performans limitleri Minimum Hasar (MH) ve Kontrollü Hasar (KH) performans düzeylerine ait limitlerdir. Minimum Hasar (MH) performans düzeyi, köprüde deprem etkisi ile hiç hasar meydana gelmemesi veya meydana gelecek yapısal hasarın çok sınırlı olması durumunu tanımlayan performans düzeyidir. Bu durumda köprüde trafik kesintisiz olarak devam eder veya meydana gelebilecek aksamalar birkaç gün içinde kolayca giderilebilecek düzeyde kalır [DLH 2008, 3.1.3.1].

Kontrollü Hasar (KH) performans düzeyi ise, köprüde deprem etkisi altında çok ağır olmayan ve onarılabilir hasarın meydana gelmesine izin verilen performans düzeyi olarak tanımlanır. Bu

durumda, köprü operasyonunda kısa süreli (birkaç gün veya hafta) aksamaların meydana gelmesi beklenebilir (DLH 2008, 3.1.3.2).

Köprü sınıfına bağlı olarak hangi değerlendirme yönteminin ve hangi deprem seviyesinin kullanılacağı ve değerlendirmenin hangi performans limitine göre yapılacağı Tablo 3.2'de belirtilmiştir (DLH 2008 Tablo 3.1 & 3.2).

Tablo 3.2. DLH Köprü Sınıfına Göre Değerlendirme Yöntemleri

	Özel Köprüler		Normal Köprüler		Basit Köprüler
Deprem Seviyesi	D2	D3	D1	D2	D2
Değerlendirme Yöntemi	DGD	ŞGD	DGD	ŞGD	DGD
Performans Limiti	MH	KH	MH	KH	KH

Dayanıma Göre Değerlendirme (DGD) için yapının doğrusal elastik davranışından yola çıkılarak deprem etkileri bulunur ve Kapasite/Etki Oranı (K/E) kullanılarak bu etkiler değerlendirilir. Kapasite/Etki oranı yaklaşımı FHWA Seismic Retrofit Manual 2006 [FHWA] Bölüm 5.4 - Metod C'de tanımlandığı şekilde yapılacaktır.

Kapasite/etki oranının belirlenmesinde artık kapasite dikkate alınacaktır:

$$r = \frac{C - D_g}{D_{EQ}} \quad (3.1)$$

Bu bağıntıda; r: kapasite/ etki oranını, C: kesit kapasitesini, D_g : düşey (veya deprem harici diğer) yük etkilerini, D_{EQ} : deprem yükü etkisini temsil etmektedir.

Bütün köprü elemanları için kapasite/etki oranı(r)'nin 1.0'dan büyük olması durumunda kapasite yeterli, 1.0'dan küçük olması durumunda kapasite yetersiz kabul edilir.

Dayanıma göre değerlendirme için, köprü yapısı sonlu eleman programı SAP2000 ile geliştirilen matematik modelde, doğrusal elastik analiz yöntemi uygulanarak incelenmiştir.

Analiz sonucunda elde edilen deprem tesirleri doğrusal olmayan davranışı göz önüne almak üzere, deprem yükü azaltma katsayısı R'ye bölünmüştür.

Dayanıma Göre Değerlendirme (DGD) yöntemine göre köprü ayakları değerlendirilirken, yapı elemanının türüne ve sünekliliğine göre, deprem yüklerinde belirli bir oranda azaltma yapılarak deprem sırasında Minimum Hasar (MH) seviyesinde görülebilecek doğrusal olmayan davranışların enerji sönmülemeye olan etkisi de dikkate alınmış olur. Deprem yükü azaltma

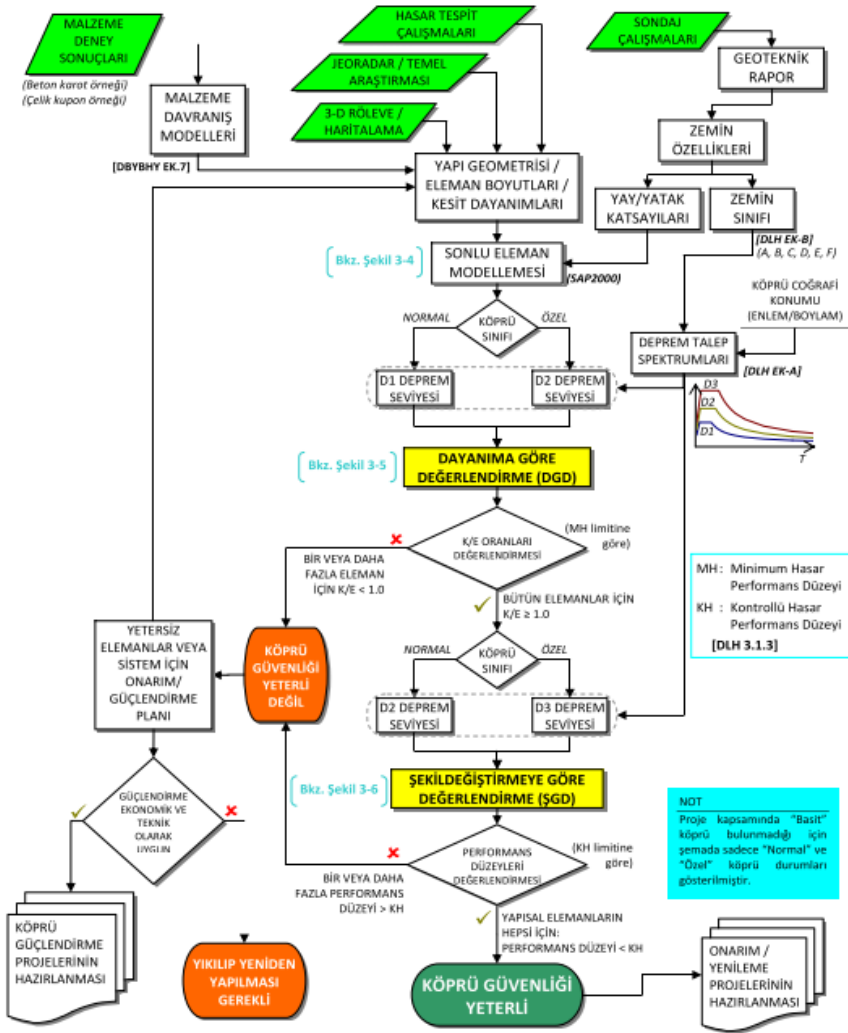
katsayısı (R) yatay yükleri taşıyan sistemin özelliklerine göre belirlenmiştir. Kesme kuvveti değerlendirilmesi durumunda, deprem yükü azaltma katsayısı $R=1$ olarak alınır. Başka bir deyişle, bu durumda doğrusal olmayan sünek davranış kabul edilmez, yani gevrek göçme söz konusudur. Eğilme durumunda göçme modu sünektir. Farklı türde ayakları olan köprülerde ayak davranış katsayılarının ağırlıklı ortalamasına göre Köprü Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı, R, hesaplanır.

Doğrusal deprem analizi köprünün her iki asal eksenini doğrultusunda deprem tepki spektrumunu uygulayarak yapılmıştır. Değerlendirmede iki asal doğrultunun karşılıklı etkileri %30 oranında aritmetik kombinasyonla gözönüne alınmıştır.

Yapı elemanlarının ve bağlantılarının dayanım kapasitelerine yaklaşması, ulaşması veya geçmesi durumlarında ortaya çıkan doğrusal olmayan davranışı göz önüne alabilen Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme (ŞGD) yöntemi, doğrusal elastik hesaplamaya göre daha karmaşık ve uzun olmakla birlikte daha gerçekçi kabul edilmektedir. Bu yöntemde malzemeler ve birleşimler doğrusal olmayan gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları ile tanımlanır ve değerlendirme yapının şekildeğiştirme ve yerdeğiştirmelerine göre yapılır. Bu yaklaşım aynı zamanda "Performansa Göre Değerlendirme" olarak da bilinmektedir. Deprem analizinden elde edilen yerdeğiştirmelere bağlı olarak yapı elemanlarında hesaplanan şekildeğiştirmeler performans limitleri ile karşılaştırılarak değerlendirilir. Kullanılacak performans limitleri DLH'nın ilgili bölümlerinden alınmıştır. İncelenen köprüde (ŞGD) için Kontrollü Hasar (KH) performans limitinin kullanılması öngörülmüştür.

Elemanların doğrusal olmayan davranışı çerçeve elemanlarında yığılı plastikleşme noktaları olarak, perde (kabuk) elemanlarında ise doğrusal olmayan katmanlardan (nonlinear layer) oluşan kesitler kullanılarak tanımlanır. Yığılı plastikleşme, aynı zamanda plastik mafsallık olarak da bilinen ve doğrusal olmayan analizde yaygın kullanılan bir kavramdır. Çerçeve elemanlarında en büyük zorlanmaların meydana geleceği uç noktalarda oluşması beklenen plastik davranış, o noktadaki kesitin akma yüzeylerine göre belirlenir. Akma yüzeyleri mafsallaşmanın başladığı durumu temsil eden aksel yük, P ve dik iki doğrultudaki eğilme momentleri, M_1 ve M_2 etkileşimini tanımlar. Bu ilişki kesitlerin eğilme moment-eğrilik analizi veya kesit fiber analizi dahil olmak üzere çeşitli yöntemlerle bulunabilir. İki boyutlu inceleme durumunda akma yüzeyi sadece aksel yük, P ve eğilme momenti, M 'ye bağlı bir akma eğrisine dönüşür. Bu çalışmada, akma yüzeyi ve dolayısıyla plastik mafsallık tanımlanması SAP2000 programında yer alan FEMA-356 mafsalları ile kesit özelliklerine göre otomatik olarak tanımlanmış ve doğrusal olmayan analizde kullanılmıştır. Plastik mafsalların oluşacağı kesitler plastikleşmesi beklenen elemanların uçlarında belirlenmiştir.

Plastik mafsallık uzunlukları FHWA (Madde 7.8.1.1) ve DLH 2008 (Madde 3.2.4.1.1) yönetmeliklerine göre hesaplanmıştır. Köprülerin depreme değerlendirilmesi ile ilgili detaylı akış şeması Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Köprülerin depreme göre karşı değerlendirilmesi akış şeması

Analiz yöntemleri

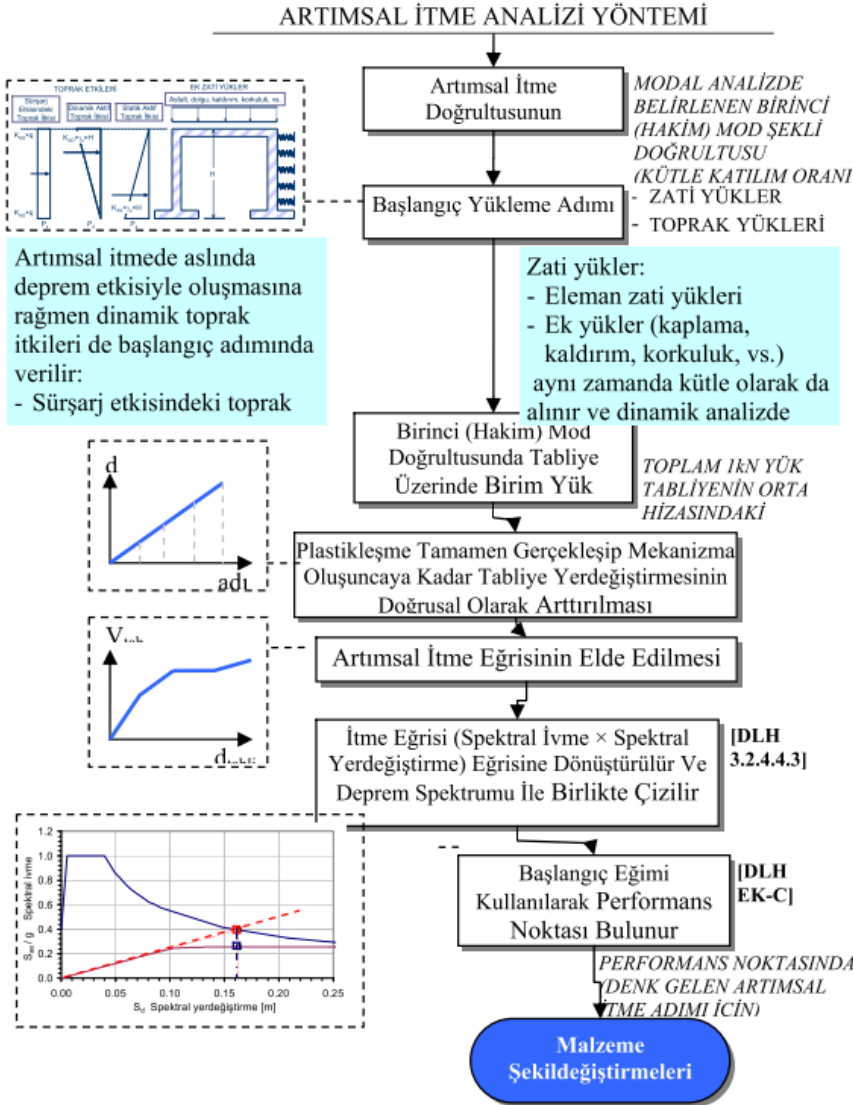
Şekildeğiştirmeye göre değerlendirme, birinci (hakim) moda ait etkin kütle katılım oranının %70'den fazla olduğu durumda artımsal itme analizi kullanarak yapılabilir [DLH 2008 4.4.4]. Bu koşul sağlanmıyorsa veya daha kapsamlı hesap gerektiren karmaşık ve/veya kurpta olan köprüler için değerlendirme zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Artımsal itme yöntemi ve zaman tanım alanında analiz yöntemi DLH 2008 yönetmeliği Bölüm 3.2.4'e göre gerçekleştirilmiştir. Zaman tanım alanında analiz için, her iki deprem doğrultusunda en az yedi ayrı deprem kaydı alınmakta ve bu depremler esas alınan tasarım deprem spektrumuna benzeştirilmektedir.

Öngörülen performans düzeyine göre birim şekildeğiştirme limitleri Tablo 3.3'te verilen değerler olarak alınmıştır (DLH 2008,Tablo 3.4). Burada verilen birim şekildeğiştirmeler kesitlerin eğilme momenti-eğrilik(M-K) analizi kullanılarak, performans düzeylerine karşı gelen eğrilik ve/veya dönme değerlerine dönüştürülmüştür.

Tablo 3.3. Performans Düzeyine Göre Birim Şekildeğiştirme Limitleri

Birim şekildeğiştirme	Performans Düzeyi	
	MH	KH
Beton basınç birim şekildeğiştirilmesi, ϵ_c	0.004	0.020
Donatı çeliği birim şekildeğiştirilmesi, ϵ_s	0.010	0.040

Artımsal itme analizi yönteminin detayları Şekil 3.3'de gösterilmektedir



Şekil 3.3. Artımsal itme analizi yöntemi akış şeması

Köprü Yapısının Sismik Değerlendirilmesi

Yapısal model

Köprünün yapısal modellemesi, SAP2000 bilgisayar programı ile, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Köprünün mevcut durumdaki deprem dayanımının analizi için, biri DGD için diğeri ŞGD için olmak üzere iki ayrı model kullanılmıştır. Güçlendirilmiş köprü için de yeni duruma göre bu modeller revize edilmiştir.

DGD analizi için çerçeve elemanları ile 3 boyutlu bir model oluşturulmuş, ana kirişler, enlemeler ve kolonların kesitleri çerçeve elemanlara atanmıştır. Döşemeler, ana giriş kesitlerinin tablalı olarak tanımlanmasıyla temsil edilmiştir. Düşey elemanlarda çatlamış kesit özellikleri aksel kuvvete bağlı etkin eğilme rijitliği ile tanımlanmış, kirişlerde ise çatlamış kesit eğilme rijitliği brüt kesit rijitliğinin %50'si olarak alınmıştır. Mevcut köprü modelinde Kolon altlarına yatay ve düşey doğrultuda sabit mesnetler atanmıştır. Konsol girişlerin ucu ise serbesttir.

ŞGD analizi için de yapı sistemi çerçeve elemanları ile 3 boyutlu olarak kullanılmıştır. Kesitler analiz türüne göre doğrusal veya doğrusal olmayan davranış özellikleri göstermektedirler.

Betonun davranış (gerilme-birim uzama) modeli DBYBHY Ek. 7B'de tanımlanan Mander modeline göre oluşturulmuştur. Bu modele göre sargılı ve sargısız betonun davranışı belirlenmiştir.

Deprem yükleri analizinde, AASHTO [AASHTO 2002] yönetmeliğine uygun olarak, deprem durumunda hareketli yükler hesaba katılmamıştır. AASHTO Tablo 3.22.1A'ya göre, deprem yükünün bulunduğu yük kombinasyon grubunda (Grup VII) hareketli yükler (LL) bulunmamaktadır.

Sonuçların Değerlendirilmesi

Köprü taşıyıcı sistemi detaylı inceleme sonucunda DGD ve ŞGD yöntemlerine göre değerlendirilmiştir. Dayanıma göre değerlendirme sonuçları Tablo 4.1' de verilmiştir. Artımsal itme analizinde sistem performans noktasına ulaşmadan stabilitesini yitirdiği için mevcut durum için şekil değiştirmeye göre değerlendirme yapılamamıştır. Buna göre: köprü taşıyıcı sistem elemanlarının esas alınan deprem seviyelerine göre yeterli güvenliğe sahip olmadığı, enine doğrultuda eğilme dayanımı açısından ve köprü boyuna doğrultusunda kesme dayanımı açısından yetersiz olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, köprü boyuna doğrultusundaki yüzeysel temeller zemin gerilmeleri bakımından yetersizdir. Tabliye yatay yerdeğiştirmesi, köprü enine doğrultusunda öngörülen sınırları aşmaktadır. Köprü ana girişleri de boyuna doğrultuda eğilme dayanımı açısından yetersiz bulunmuştur. Mevcut köprü DGD ve ŞGD değerlendirmeleri sonucunda karşılaşılan bu durum nedeniyle, ortaayak kolonlarının, yüzeysel temelin ve kolon giriş birleşim bölgelerinin güçlendirilmesine karar verilmiştir.

Tablo 4.1.

Değerlendirilen Eleman			r (etki/kapasite)	Sonuç
Eğilme tahkiki	Ortaayak kolonları	Köprü boyuna doğrultuda	1.713	≥ 1.00 yeterli
		Köprü enine doğrultuda	0.78	< 1.00 yeterli değil
Kesme tahkiki	Ortaayak kolonları	Köprü boyuna doğrultuda	0.80	< 1.00 yeterli değil
		Köprü enine doğrultuda	1.60	≥ 1.00 yeterli
Yüzeysel temel tahkiki	Ortaayak temeli	Köprü boyuna doğrultuda	0.56	< 1.00 yeterli değil
		Köprü enine doğrultuda	32.10	≥ 1.00 yeterli
Tabliye yerdeğiřtirme tahkiki		Köprü boyuna doğrultuda	1.42	≥ 1.00 yeterli
		Köprü enine doğrultuda	0.52	< 1.00 yeterli değil

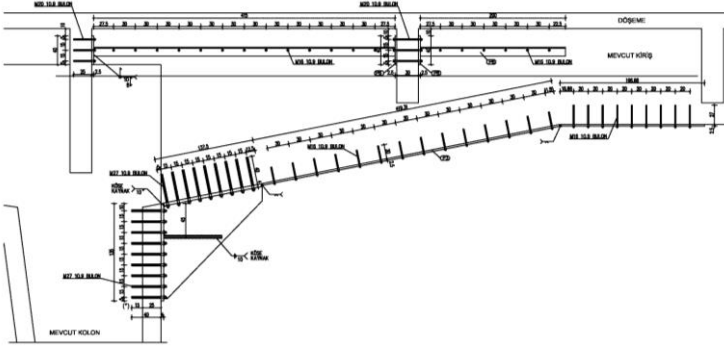
Dayanımına Göre Değerlendirme Sonuçları

Önerilen Onarım ve Güçlendirme Önlemleri

Mevcut köprü sisteminin DGD ve ŞGD yöntemleri ile değerlendirmeleri sonucunda karşılaşılan bu durum nedeniyle ortaayak kolonlarının betonarme mantolama yöntemiyle güçlendirilmesine karar verilmiştir. Ayrıca, mevcut durumda mafsallı olan kolon-temel bağlantısının rijit hale getirilmesine ve temel boyutunun köprü boyuna doğrultusunda büyütülmesine karar verilmiştir. Güçlendirilmiş duruma göre DGD ve ŞGD modelleri yeniden oluşturularak gerekli değerlendirmeler yapılmıştır. 25cm kalınlığındaki beton manto ile güçlendirilen ortaayak kolonları, köprü boyuna doğrultusunda yeni demir filizleri ekilerek ve yeni beton ilavesiyle güçlendirilen temeller gerekli tahkikleri sağlamıştır. Kolon alt ucunda oluşan ortaayak kolonlarının mantosuna yerleştirilen boyuna eğilme donatıları mevcut temel içinde ankraj boyu kadar devam ettirilmiş ve böylece kolon-temel birleşimi rijit (dönmeye karşı tam tutulu) hale getirilmiştir. Mevcut ana kirişler güçlendirilmiş durumda yeniden değerlendirilmiş, mesnet bölgelerinde ve açıklıkta teşkil edilecek çelik levhalı-bulonlu birleşimlerle güçlendirilmelerine karar verilmiştir. Kolon-kiriş birleşim bölgesinde altta moment aktaran bulonlu birleşim teşkil edilmiştir. Bayrak olarak tabir edilen bu takviyede çelik levhalar bulonlarla mevcut kolona ve mantolanmış kolona ankre edilmiştir. Kolon-kiriş birleşimi üst kesitte L120.120.10'luk korniyerler enleme kirişi yüzüne bulonlanmıştır. Kiriş üst kesitinde kapasite bu şekilde arttırılmıştır. Köprünün boyuna kiriş kapasitesinin yetersiz görüldüğü diğer kesitlerde de takviye levhaları devam ettirilmiştir. Güçlendirilmiş köprünün şekil değiştirmeye göre değerlendirme sonuçları Tablo 5.1'de gösterilmiştir. Mevcut kolonların ve kirişlerin çelik levhalarla güçlendirilmesine ait detay çizimi Şekil 5.1'de görülmektedir.

Tablo 5.1. Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme Sonuçları

		ŞEKİL DEĞİŞTİRME DEĞERLENDİRMESİ	ANALİZ	KH	SONUÇ
X-Doğrultusu	ORTAA YAK KOLONLARI	BETON	0.00102	0.020	YETERLİ
		DONATI	0.00311	0.040	YETERLİ
	ANA KİRİŞLER	BETON	0.00112	0.020	YETERLİ
		DONATI	0.00594	0.040	YETERLİ
Y-Doğrultusu	ORTAA YAK KOLONLARI	BETON	0.00153	0.020	YETERLİ
		DONATI	0.00562	0.040	YETERLİ
	ANA KİRİŞLER	BETON	0	0.020	YETERLİ
		DONATI	0.00233	0.040	YETERLİ
	ENLEME KİRİŞLERİ(0.3mx2.0m)	BETON	0.00029	0.020	YETERLİ
		DONATI	0.01312	0.040	YETERLİ
	ENLEME KİRİŞLERİ(0.3mx1.25m)	BETON	0.00023	0.060	YETERLİ
		DONATI	0.00267	0.080	YETERLİ



Şekil 5.1. Mevcut kolonların ve temelin mantolama yapılarak güçlendirilmesi

Güçlendirilen birleşimler kapasite tasarımı prensibine göre kontrol edilmiştir. Buna göre, birleşimin kapasitesinin artırılmış toplam etkilere göre elde edilen birleşim iç kuvvetlerini güvenle karşıladığı kanıtlanmıştır.

SONUÇ

İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) tarafından yönetilen bir proje kapsamında Emay Uluslararası Mühendislik ve Müşavirlik A.Ş. tarafından İstanbul çapında çeşitli köprülerin deprem güvenliği değerlendirilmiş ve gerek görülen güçlendirme tasarımları açıklanmıştır. Çalışmada, "DLH Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği (2008)" esasları dikkate alınmıştır. Bu bağlamda, yapılan değerlendirmeler sonucunda yetersizlik içerdiği belirlenen köprülerin depreme karşı güvenli hale getirilebilmesi için güçlendirme uygulama tasarımları geliştirilmiştir. Bu bildiriye, söz konusu proje kapsamında incelenen köprülerden Üsküdar Haydarpaşa Üstgeçit Köprüsü, projesinde yapısal çelik elemanlar kullanılarak gerçekleştirilen güçlendirme çalışmaları sunulmuştur. Sonuç olarak, ülkemizin depremselliği yüksek bir bölgede yer aldığı gözönünde tutularak, bu tür

değerlendirmelerin geliştirilmesinin ve yaygınlaştırılmasının deprem etkilerinin olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi açısından gerekli olduğu görüşüne varılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışmaya verdikleri destekten dolayı uzman mühendis Sayın Mehmet Erinçer'e ve İstanbul Teknik Üniversitesi'nden kıymetli hocamız Prof. Dr. Erkan Özer'e teşekkür ederiz.

Kaynaklar

1. AASHTO (2002), "Standard Specifications For Highway Bridges", American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO, 17th Edition.
2. DBYYHY (2007) "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik", T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
3. DLH (2008) "Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği", Demiryolları, Limanlar ve Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü.
4. FEMA356 (2000), "Prestandard and Commentary For the Seismic Rehabilitation of Buildings", American Society of Civil Engineers.
5. FHWA-HRT-06-032 (2006), "Seismic Retrofit Manual for Highway Structures: Part 1 – Bridges", U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration.
6. Dönmez M.C, Çilingir N., Özer E.(2014) "Seismic evaluation and retrofit of an existing bridge by using current codes of practice ", İstanbul Bridge Conference.

Anahtar Sözcükler: Betonarme köprüler, Deprem güvenliği değerlendirilmesi, Yapısal deprem tasarımı, Çelik yapısal elemanlar ile güçlendirme.