

MEVCUT BETONARME KÖPRÜLERİN DEPREME KARŞI DEĞERLENDİRME ve GÜÇLENDİRME UYGULAMALARI

¹M. Cem DÖNMEZ, ²Mehmet ERİNÇER, ³Şefika CACULİ, ⁴Necdet ÇİLİNGİR

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

¹E-mail: cdonmez@emay.com

³E-mail: scaculi@emay.com

⁴E-mail: ncilingir@emay.com

Özet

Çevresel etkiler ve yürürlükte bulunan yönetmeliklerdeki gelişmeler göz önüne alındığında mevcut köprülerin deprem tehlikesinin belirlenmesi ve gerekli hallerde güçlendirme veya yenileme çalışmalarının yapılması önem arz etmektedir. Bu kapsamda EMAY Uluslararası Mühendislik ve Müşavirlik A.Ş. tarafından İstanbul genelinde yer alan köprü ve viyadükler üzerinde gerçekleştirilmiş olan değerlendirme ve güçlendirme çalışmaları bu makalenin konusunu oluşturmaktadır. Makale kapsamında ilk olarak incelenmiş olan köprü tanıtılmış ve üç boyutlu rölöve çıkarılması, geoteknik ve jeofizik araştırmalar, malzeme deneyleri gibi, sistemin değerlendirmesinde girdi teşkil eden parametrelerin elde edilmesinde uygulanacak yöntemler açıklanmıştır. Elde edilen veriler ışığında, kullanılan yönetmeliklerle ilgili bilgi verilmiş, lineer ve lineer olmayan analiz yöntemleri açıklanarak sismik değerlendirme ve güçlendirme hesaplarının genel prensipleri hakkında detaylı bilgi verilmeye çalışılmıştır. Uygulamada kullanılmış olan güçlendirme detayları ve yapılan güçlendirme çalışmalarının taşıyıcı sistem üzerindeki etkileri de bildiri kapsamında incelenmiştir.

Giriş

İstanbul ili, 14 milyonun üzerinde nüfusa sahip ve kıtalar arası coğrafi konumda olması nedeniyle ulaşım ağı hızla gelişmekte olan bir metropoldür. Giderek kalabalıklaşan şehirde karayolu, demiryolu, denizyolu ve havayolu taşımacılığında kapasiteyi artırmaya yönelik kalıcı ve geçici çözümler bulmak gerektiği gibi, mevcut sistemlerin de servis ömrü boyunca güvenle hizmet edebilmesi için düzenli olarak muayene edilmesi, bakım-onarım ve ihtiyaç olması durumunda güçlendirme çalışmalarının da gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışma ile, onarım ve güçlendirme çalışmaları yapılmakta olan Yeşilköy Demiryolu Caddesi Üstgeçit Köprüsü ile ilgili bilgi verilerek köprülerin deprem etkileri altında incelenmesinde takip edilecek yöntemler ve kullanılacak analiz yöntemleri hakkında bilgi verilmesi amaçlanmıştır.

Çalışma kapsamında incelenmiş olan Yeşilköy Demiryolu Üstgeçit Köprüsü, betonarme dairesel kolonlar üzerine oturan, çelik ortotropik döşemeye sahip, 3 açıklıklı sürekli bir köprüdür. Toplam 71.51m uzunluğundaki köprü Fotoğraf.1.1'de gösterilmiştir.



Fotoğraf 1. Köprü genel görünüşü

Saha ve Laboratuvar Çalışmaları

Sözkonusu köprüye ait yapım uygulama projeleri bulunamadığından köprünün yerinde rölövesi çıkarılmış, ayrıca köprü yeri plankotesi de çıkarılarak, yapılması düşünülen köprü temel zemin sondaj çalışmaları yerleri ile inceleme amacı ile kazılarak açılması planlanan belirli köprü temellerinin yerleri bunun üzerine işlenmiş ve sonunda İdare ilgili birimlerden sondaj ve kazı ruhsatı çıkarılmış ve zemin araştırma çalışmaları, jeofizik yöntemlerden de yararlanılarak tamamlanmıştır.

Köprüde malzeme dayanımlarının belirlenmesi amacıyla beton ve çelik elemanlardan numuneler alınarak İTÜ Yapı Malzemesi Laboratuvarında teste tabi tutulmuş ve dayanım değerleri elde edilmiştir. Deneyler sonucunda, ortalama beton basınç dayanımının 22.2 MPa, ortalama yapısal çelik çekme dayanımının 425.5 MPa olduğu belirlenmiştir.

Sayısal Yöntemler Kullanılarak Deprem Güvenliğinin Belirlenmesi

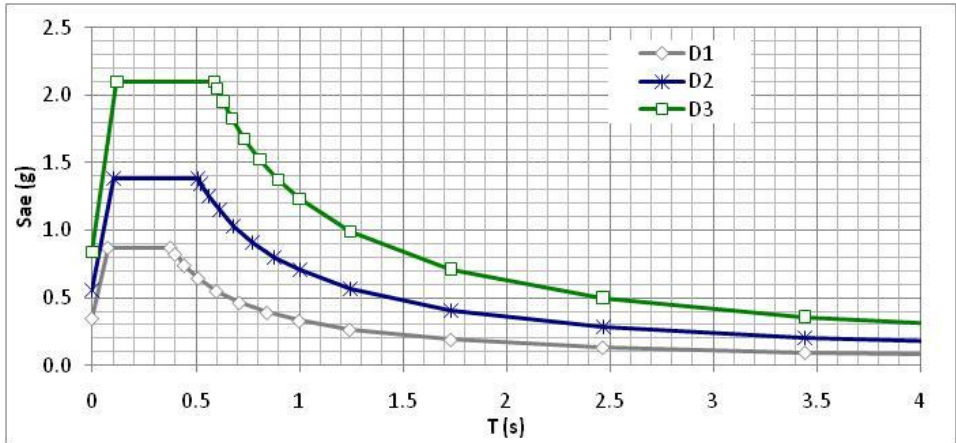
Analiz ve değerlendirmede İdare tarafından kabul görmüş olan DLH Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği, 2008 kullanılmış, gerekli durumlarda ise FHWA Seismic Retrofit Manual for Highway Structures: Part 1 - Bridges, FHWA-HRT-06-032, 2006 yönetmeliğinden yararlanılmıştır.

Sismik analizin hangi deprem seviyesi kullanılarak yapılacağının belirlenmesi için öncelikle köprü sınıfının belirlenmesi gerekmektedir. DLH yönetmeliği, köprüleri Özel Köprüler, Normal Köprüler ve Basit Köprüler olarak üç farklı sınıfta değerlendirmektedir. Yeşilköy Demiryolu Caddesi Üstgeçit Köprüsü, altından geçen yolun deprem sonrasında trafiğe kapanmaması amacıyla,

İdare tarafından Özel Köprü olarak belirlenmiştir. Özel Köprüler yönetmelikte, stratejik güzergah üzerinde bulunan köprüler ve deprem sonrası hemen hizmet vermesi beklenen kritik köprüler olarak açıklanmaktadır.

Yönetmelik gereği, Özel Köprülerin değerlendirilmesinde iki farklı deprem seviyesi için farklı performans hedefleriyle analiz yapılması gerekmektedir. Bunlardan ilki, 50 yılda aşılma olasılığı %10, buna karşılık gelen dönüş periyodu 475 yıl olan D2 deprem seviyesidir. Bu seviye için Dayanıma Göre Değerlendirme (DGD) yöntemi kullanılmakta, yapısal elemanların deprem davranışları ise Minimum Hasar (MH) Performans limiti ile kıyaslanarak belirlenmektedir.

Dayanıma göre değerlendirme yöntemi kapsamında çok modlu spectral analiz yöntemi uygulanmıştır. Köprüye ait enlem ve boylam değerleri kullanılarak 3 farklı deprem seviyesi için elde edilen spektrum grafikleri Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



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

Hesaplarda kullanılan ikinci deprem seviyesi ise 50 yılda aşılma olasılığı %2, buna karşılık gelen dönüş periyodu 2475 yıl olan D3 deprem seviyesidir. Bu seviye için Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme (ŞGD) yöntemi kullanılmakta, yapısal elemanların deprem davranışları ise Kontrollü Hasar (KH) Performans limiti ile kıyaslanarak belirlenmektedir.

Şekildeğiştirmeye göre değerlendirme yöntemi kapsamında Nonlinear Time History analiz yöntemi uygulanmıştır. Analizde kullanılan 7 farklı deprem kaydı Tablo 1'de gösterilmiştir. Kayıtlar PEER veritabanından elde edilmiştir.

Tablo 3.1. NTH Analizinde Kullanılan Deprem Kayıtları.

Earthquake	Date	M	Record/ Component	HP (Hz)	LP (Hz)	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)
KOCAELI	17.08.1999	7.4	KOCAELI/IZT090	0.1	30	0.22	29.8	17.12
DUZCE	12.11.1999	7.1	DUZCE/BOL090	0.05	null	0.822	62.1	13.55
ERZINCAN	13.03.1992	6.9	ERZINCAN/ERZ-EW	0.1	null	0.496	64.3	22.78
NORTHRIDGE	17.01.1994	6.7	NORTHRIDGE/SYL090	0.12	23	0.604	78.2	16.05
IMPERIAL VALLEY	15.10.1979	6.5	IMPVALL/H-BRA315	0.1	40	0.22	38.9	13.46
KOBE	16.01.1995	6.9	KOBE/TAK090	null	null	0.616	120.7	32.72
EL CENTRO	19.05.1940	7	IMPVALL/I-ELC180	0.2	15	0.313	29.8	13.32

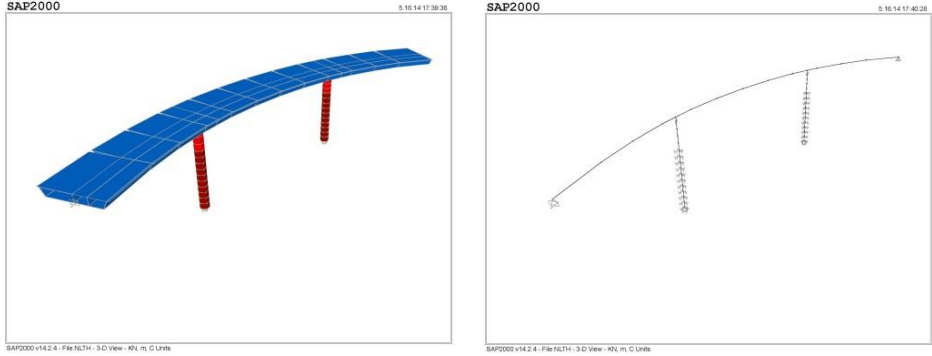
1. Dayanım ve Şekil değiştirmeye Göre Değerlendirme Yöntemleri

Yapısal Model

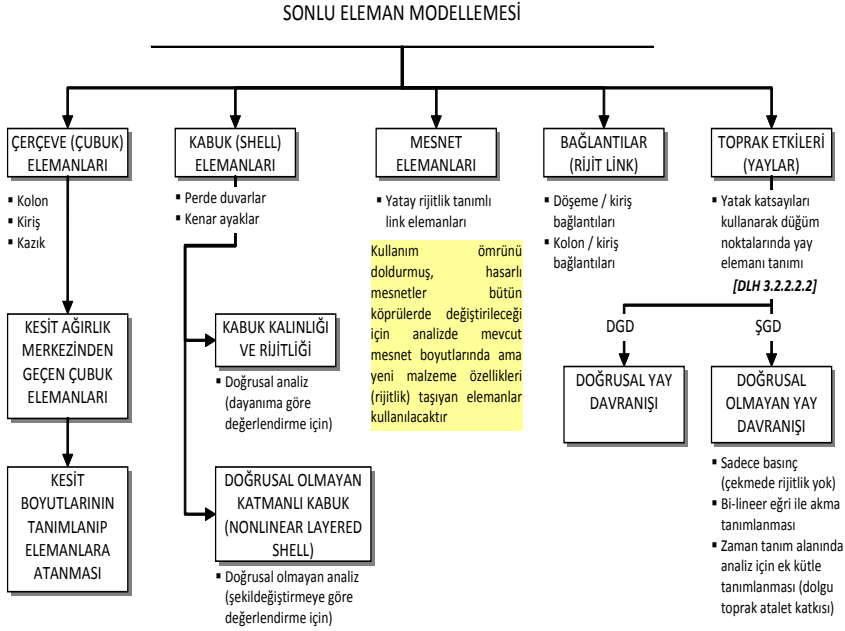
Hesaplarda SAP2000 yazılımı kullanılmıştır. Üstyapı, kolon ve kazıklar çubuk elemanlarla modellenmiştir (Şekil 2). Kenarayaklar için ise shell elemanlardan oluşan ayrı bir model hazırlanmıştır.

Yapısal modelin oluşturulmasında izlenen yol,

Şekil 4.1'deki akış şemasında gösterilmiştir. Şekil 4.1. Köprü genel görünüşü

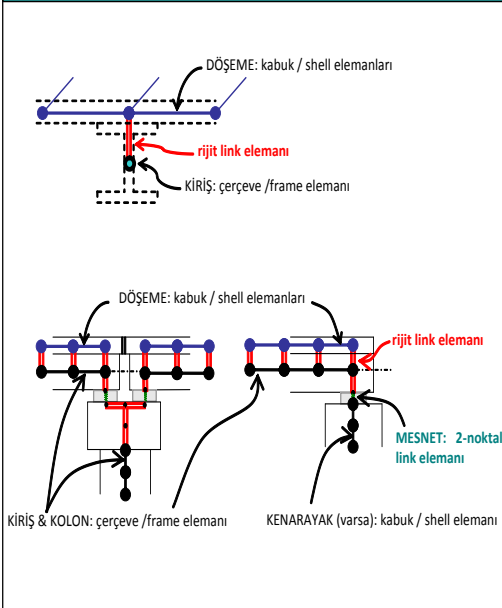


Şekil 4.1. Köprü genel görünüşü



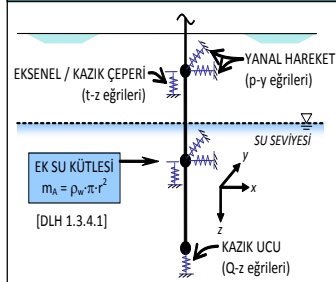
SONLU ELEMEN MODELLEMESİ

(Mabsout et. Al, 1997; Imbsen & Nutt, 1978; Erhan & Dicleli, 2009)



NONLINEER KAZIK MODELİ

[DLH 2.3.4.2.7]



Yaylar nonlineer link elemanı

DLH GEOTEKNIK TASARIM ESASLARI

p-y eğrileri : Bölüm 4.8 & 4.9

t-z eğrileri : Bölüm 4.6

Q-z eğrileri : Bölüm 4.7

Kazık için plastik mafsallık tanımlı

KAZIK / TABLİYE BİRLEŞİMİ:

$L_p = 0.044 f_{yk} d_b$ [DLH 2.3.2.2.3]

ZEMİN İÇİNDE:

$L_p = h$ [DLH 2.3.4.2.2(b)]

Şekil 4.2. Sonlu eleman modellemesi akış şeması

Dayanıma Göre Değerlendirme

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 yöntemi FHWA Seismic Retrofit Manual 2006 [FHWA] Bölüm 5.4 - Metod C'de tanımlandığı şekilde yapılacaktır.

Kapasite oranında artık kapasite dikkate alınacak:

$$r = \frac{C - D_g}{D_{EQ}}$$

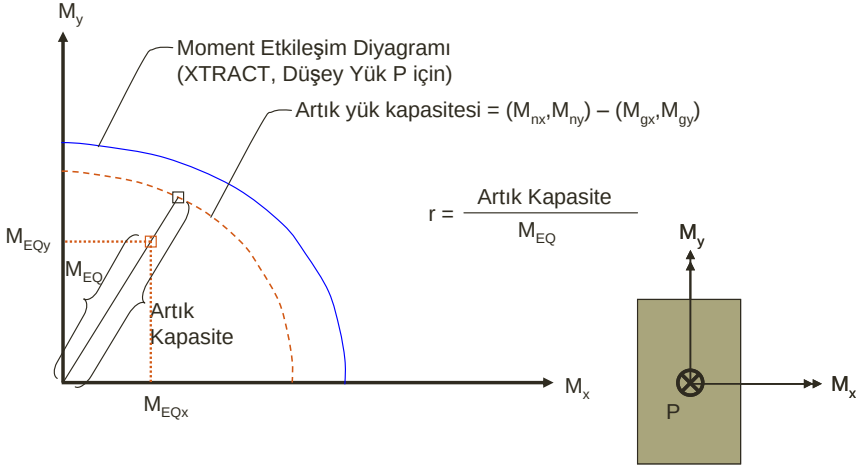
Bu bağıntıda; r: kapasite/etki oranı, C: kesit kapasitesi, D_g : düşey (veya deprem harici diğer) yük etkileri, D_{EQ} : deprem yükü etkisini temsil etmektedir.

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

Dayanıma Göre Değerlendirme yöntemi kapsamında yapılan hesaplara ilişkin akış şeması Şekil 4.2'de gösterilmiştir.

Kolon/Perde Eğilme ve Kesme Dayanımı

Kolonlarda ve perdelerde eğilme kapasite-etki oranı iki doğrultulu eğilme durumunda düşey yüke bağlı iki doğrultulu moment etkileşim eğrisine göre yapılır. Bu etkileşim eğrisinden artık kapasiteyi bulabilmek için eğriden her iki doğrultuda düşey yüklerden gelen moment etkileri eksiltilir. Kapasite-etki oranı, artık moment kapasitesi deprem moment etkilerinin bileşkesine bölünerek bulunabilir. Bu yöntem Şekil 4.3'te açıklanmıştır.



Şekil 4.3. Kapasite-etki oranının elde edilmesi

Elemanların kesme kuvveti kapasite-etki oranı kolonların artık kesme kapasitelerinin analizden bulunan kesme kuvvetlerine oranı olarak bulunur.

Kolon/Perde Görelî Ötelenme Limitleri

Kolonlar için ayrıca yerdeğiştirme kapasite-etki oranı DLH'ya göre değerlendirilmiştir. Kolon-tabliye birleşimlerindeki yerdeğiştirme limitleri DLH yönetmeliğinden alınmıştır [DLH 3.2.3.6].

- $\Delta_j = R \cdot \Delta_j$
- Δ_j : değerlendirmeye esas yerdeğiştirme
 - Δ_j : ayak-tabliye noktası yerdeğiştirmesi
 - R : davranış katsayısı (eğer analiz modelinden hesaplanan yerdeğiştirmeler deprem etkileri azaltılmadan bulunduysa R=1 alınacaktır)
 - Δ_j : katsayı (R ≤ 1.5 için 1, aksi durumda 2/3 alınacaktır)

Bulunan değerlendirmeye esas yerdeğiştirmeler kolon yüksekliğine bölünerek görelî ötelemeler (Δ_j / h_j) bulunmuştur. Görelî öteleme limitleri minimum hasar (MH) durumu için 0.008, kontrollü hasar (KH) durumu için 0.015 olarak verilmiştir [DLH 3.2.3.6].

Yerdeğiştirme kapasite-etki oranları (r) bu limitlere göre bulunur:

$$r = (\text{sınır görelî öteleme}) / (\text{hesaplanan görelî öteleme})$$

Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı

Dayanıma Göre Değerlendirme (DGD) yöntemine göre köprü ayakları değerlendirilirken yapı elemanının türü ve sünekliğine göre deprem yüklerinde belli bir oranda azaltma yapılarak deprem sırasında Minimum Hasar (MH) seviyesinde görülebilecek doğrusal olmayan davranışların enerji sönmlemeye olan etkisi de kayda alınmış olur.

Farklı türde ayakları olan köprülerde ayak davranış katsayılarının ağırlıklı ortalamasına göre Köprü Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı, R , hesaplanır. Ayak davranış katsayıları DLH yönetmeliğinde verilmiştir [DLH 3.2.3.2.1].

$R \leq 1.5$ olan durumlarda deprem yükü azaltma katsayısı, $R_a(T) = R$ alınır. Eğer $R > 1.5$ ise, $R_a(T)$ katsayısı doğal titreşim periyodu, T 'ye göre $1.5 + (R - 1.5) \times (T/T_s)$ olarak belirlenir [DLH 3.2.3.2.2]. Burada T köprü taşıyıcı sisteminin birinci doğal titreşim periyotunu, T_s ise spektrum köşe periyotunu göstermektedir.

Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme

Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme kapsamında, köprü kurpta olduğu için Nonlinear Time History Analizi tercih edilmiştir. Zaman tanım alanında analiz için, yedi ayrı deprem kaydı alınarak bu depremleler esas alınan tasarım deprem spektrumuna uydurulmuştur. Zaman tanım alanında analiz sonuçlarından bu yedi deprem kaydının oluşturduğu ortalama kesit iç kuvveti, yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme etkileri değerlendirmede kullanılmıştır. Şekildeğiştirme Bazlı Değerlendirme akış şeması Şekil 88'de gösterilmiştir.

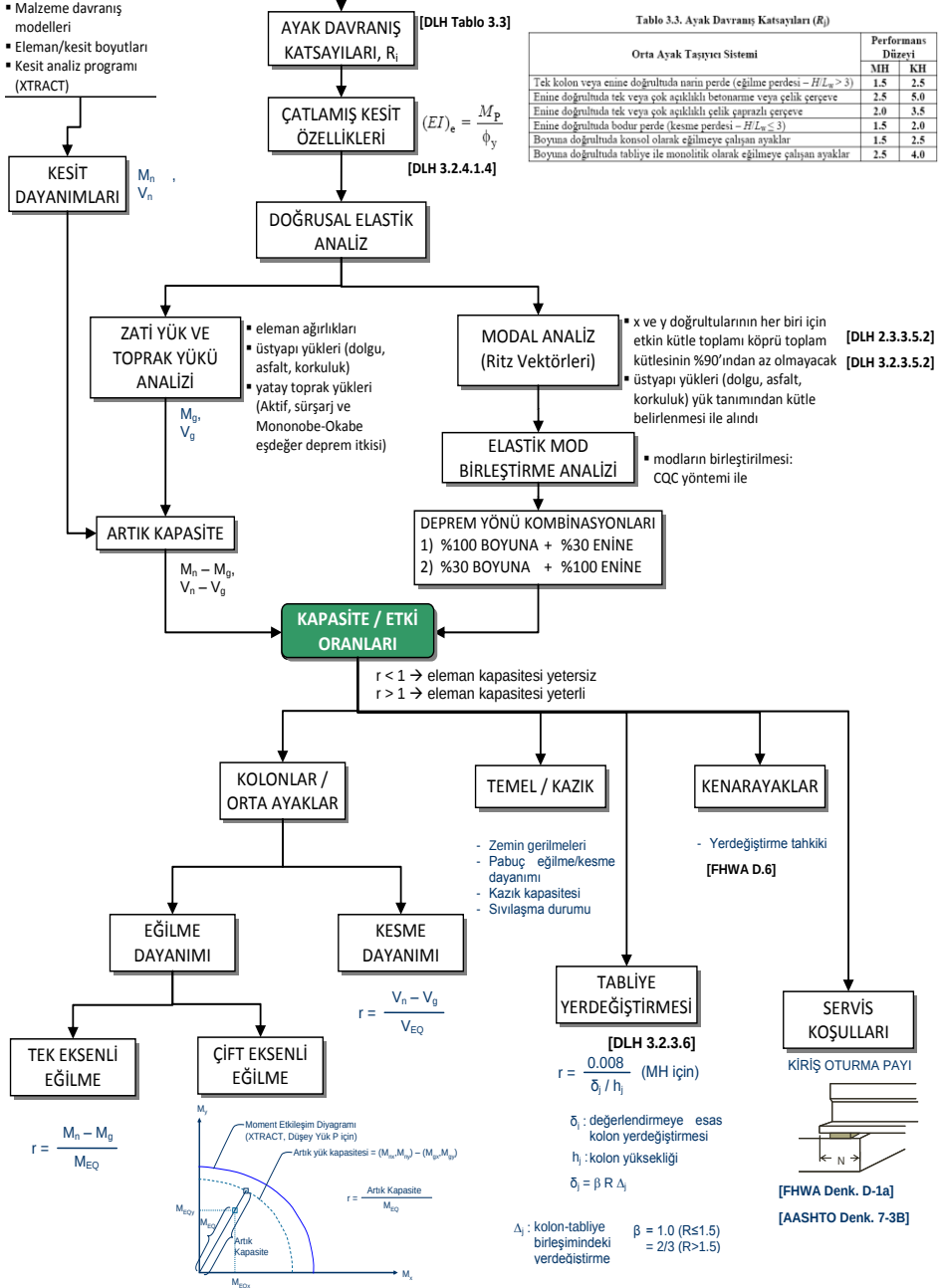
Elemanlarda Deprem Yüğü Şekildeğiştirmelerinin Değerlendirilmesi

İstenilen performans düzeyine göre birim şekildeğiştirme limitleri DLH'da verilen değerler olarak alınmıştır. Burada verilen birim şekildeğiştirmeler kesitlerin moment-eğrilik ($M-K$) analizi kullanılarak performans düzeylerine denk gelen eğrilik ve/veya dönme değerlerine dönüştürülmüştür.

Tablo 4.3. Ayakların plastik kesitleri için tanımlanan birim şekildeğiştirme kapasiteleri
[DLH Tablo 3.4]

Birim şekildeğiştirme	Performans Düzeyi	
	MH	KH
Beton basınç birim şekildeğiştirmesi, ϵ_c	0,004	0,020
Donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi, ϵ_s	0,010	0,040

DAYANIMA GÖRE DEĞERLENDİRME



Şekil 4.4. Dayanımına göre değerlendirme akış şeması

Beton basınç birim şekildeğiştirmesi KH (Kontrollü hasar) limiti kullanılan etriye miktarına göre 0.004 ve 0.020 arasında değişken olarak alınmıştır.

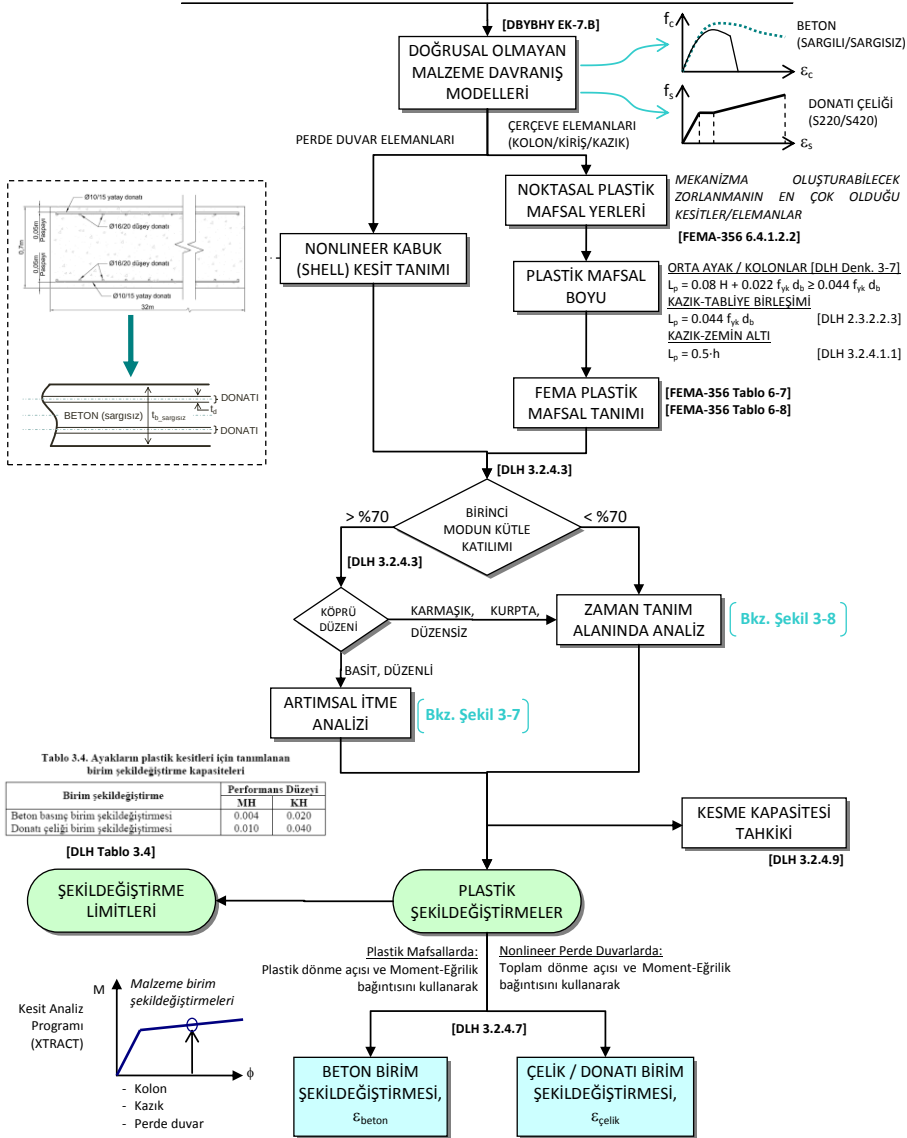
$$KH = 0.004 + 0.016 \cdot (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.020 \quad (4.1)$$

burada;

ρ_s : kolonda kullanılan etriye oranı

ρ_{sm} : geçerli yönetmelięe göre minimum etriye oranı

şEKİLDEğİşTİRMEYE GÖRE DEğERLENDİRME



Tablo 3.4. Ayakların plastik kesitleri için tanımlanan birim şekildeğiştirme kapasiteleri

Birim şekildeğiştirme	MH	KH
Beton basınç birim şekildeğiştirmesi	0.004	0.020
Donatı elięi birim şekildeğiştirmesi	0.010	0.040

[DLH Tablo 3.4]

KESME KAPASİTESİ TAHKİKİ
[DLH 3.2.4.9]

şekil 4.3. şekildeğiştirmeye göre değerlendirme akış şeması

Sonuçların Değerlendirilmesi

Yapılan hesaplarda, mesnetler dışındaki eleman kapasitelerinin oldukça yüksek olduğu gözlenmiştir. Analiz sonuçları, DGD için Tablo 4.1'de, ŞGD için Tablo 4.2'de gösterilmektedir.

Tablo 4.1 DGD Özet Sonuçlar

DEĞERLENDİRİLEN ELEMAN		r	SONUÇ
EĞİLME TAHKİKİ	Ortaayak	5	≥ 1.00 YETERLİ
	Kenarayak	11.82	≥ 1.00 YETERLİ
KESME TAHKİKİ	Ortaayak	3.80	≥ 1.00 YETERLİ
	Kenarayak	32.00	≥ 1.00 YETERLİ
YÜZEYSEL TEMEL TAHKİKİ	Kenarayak	4.00	≥ 1.00 YETERLİ
TABLİYE YERDEĞİŞTİRMESİ TAHKİKİ		6.97	≥ 1.00 YETERLİ
KİRİŞ OTURMA PAYI TAHKİKİ		2.29	≥ 1.00 YETERLİ
DEPREM TAKOZU TAHKİKİ		0	< 1.00 YETERLİ DEĞİL

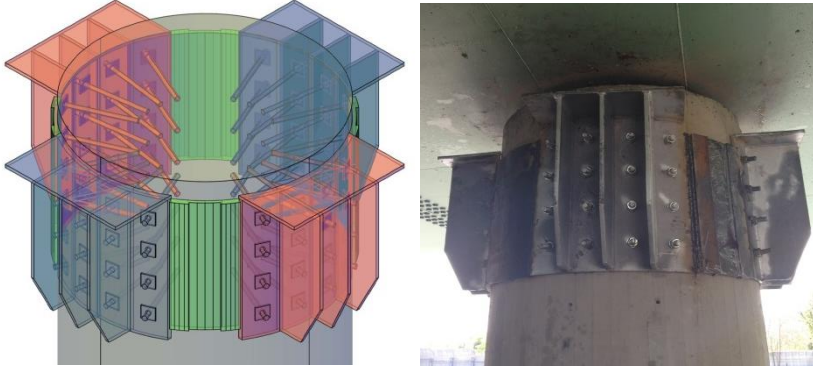
Tablo 4.2 ŞGD Özet Sonuçlar

ŞEKİLDEĞİŞTİRME DEĞERLENDİRMESİ	ANALİZ	KH	SONUÇ
BETON	-	0.020	PLASTİK MAFSAL OLUŞMAMIŞTIR. YETERLİ
DONATI	-	0.040	PLASTİK MAFSAL OLUŞMAMIŞTIR. YETERLİ

Ortaayaklarda kullanılan elastomer mesnetlerin, imal edildiği tarihten beri hiç değiştirilmemiş olduğu gözlenmiştir. Kenarayaklarda kullanılan sabit mesnetlerin ise yapılan hesaplar sonunda yetersiz kaldığı tespit edilmiştir. Bu nedenle kenarayak mesnetlerini değiştirmek, üstyapı mesnet koşullarını değiştirmek gibi çözümler üzerinde durulması gereği ortaya çıkmıştır.

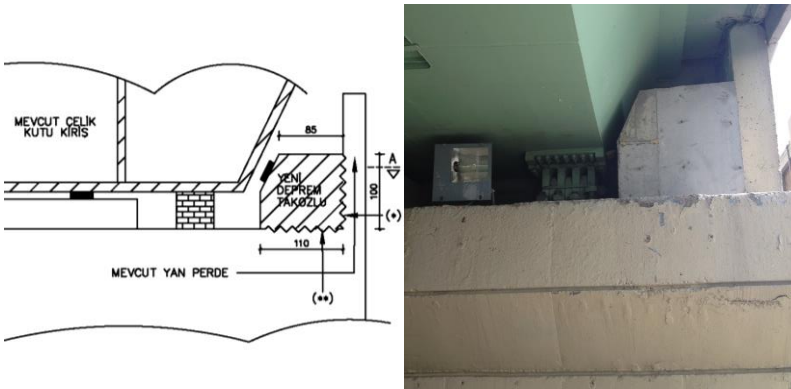
Gerçekleştirilen Onarım ve Güçlendirme Çalışmaları

Ortaayak mesnetlerinin değiştirilmesi için kolonların üst bölümlerinde geçici çelik imalatlar yapılması önerilmiştir. Bu elemanlar, düşey yükler altında gerekli olan krika kapasiteleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Elastomer mesnet değişimi için imal edilmiş olan geçici çelik guse Şekil 5.1'de görülmektedir.



Şekil 5.1. Ortaayak geçici çelik guse imalatı

Kenarayak mesnetlerindeki yetersizliğin giderilmesi için alternatifler üretilmiş olsa da trafik akışını aksatmayacak bir çözüm olduğu için ilave deprem takozu imal edilmesine karar verilmiştir. Deprem takozları, üstyapıdan gelen bütün etkiyi karşılayacak şekilde tasarlanmıştır. Dolayısıyla kenarayak mesnetlerindeki olası devre dışı kalma durumuna göre bir önlem alınmıştır. Söz konusu imalat Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Kenarayak deprem takozu imalatı

Köprüde yer alan lokal ve yapısal olmayan hasarlar için geleneksel onarım yöntemlerinin kullanılması önerilmiştir.

Sonuç

Bu çalışmada mevcut bir köprünün deprem etkileri altındaki davranışı incelenmiş, incelemede başvuru şartnamelerle ilgili özet bilgiler verilerek uygulanması gereken değerlendirme yaklaşımları ve analiz yöntemlerine ilişkin akış şemaları verilmiştir. Yapılan hesaplar sonucunda köprüde bulunan yetersiz elemanlar tespit edilmiş ve bu elemanların güçlendirilmesi için gereken önlemler açıklanmıştır.

Ülkemizin sismik koşulları düşünüldüğünde, mevcut yapıların güncel deprem yönetmeliklerine göre değerlendirilmesi ve gerekli durumlarda onarım-güçlendirme önlemlerinin alınması gerektiği açıktır. Bunun için ise periyodik bakımların ve değerlendirmelerin aksatılmadan yapılması ve riskli yapıların doğru olarak belirlenmesi gerekmektedir.

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 Şan Bakanlıı, Ankara.
3. DLH (2008) "Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları naatlarına likin Deprem Teknik Yönetmelii", Demiryolları, Limanlar ve Hava Meydanları naatı Genel Müdürlüü.
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.

Anahtar Sözcükler: Sismik değerlendirme, Güçlendirme, Non-lineer analiz.