

GEOMETRİK DÜZENSİZLİĞE SAHİP NURTEPE VİYADÜĞÜNÜN SİSMİK PERFORMANSININ FARKLI YÖNTEMLER KULLANILARAK BELİRLENMESİ

¹Musa Kazım BODUROĞLU, ²Serhat YALÇIN, ³Taner HERGÜNER

¹(Deprem Mühendisi) Prizma Mühendislik Proje Taahhüt San. ve Tic. Ltd. Şti.
İstanbul, Türkiye Tel: 0 216 545 27 07 – E-mail: musa@prizmagroup.net

²Prizma Mühendislik Proje Taahhüt San. ve Tic. Ltd. Şti.
İstanbul, Türkiye Tel: 0 216 545 27 07 – E-mail: serhat@prizmagroup.net

³K.G.M. 1. Bölge Müdürlüğü Sanat yapıları Başmühendisi
İstanbul, Türkiye Tel: 0 212 312 17 00 – E-mail: tanerherguner@yahoo.com

Özet

Bu bildiride geometrik olarak düzensiz viyadüklerin deprem performansının belirlenmesi için değişik yöntemler kullanılarak hesaplamalar yapılmış ve bulunan analiz sonuçları ile yapının taşıyıcı elemanları değerlendirilmiştir. Analizler sırasında Köprü ve Viyadüklerin Dinamik Analiz yöntemlerinin (Artımsal İtme Analizi (Tek modlu-Çok modlu), Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi) belirlenmesi çalışmaları yapılmış olup yapının durumuna göre hangi yöntemin kullanılabileceği ile ilgili analizler yapılmıştır.

Nurtepe Viyadüğünde analizler sonucu çözüm yöntemi belirlenen Zaman Tanım Alanında Hesap yöntemi için türetilmiş deprem datası hazırlanmış ve sistem modeli kurulmuştur. Devamında yapı elemanları kontrol edilmiş, temel çözümlerinde temele gelen yüklemeler aşamalar olarak belirlenmiş ve hangi tür yükü güçlendirilmiş temelin hangi bölgesinin taşıdığı dikkate alınarak temel çözümleri elde edilmiştir. Tüm bu çalışmalar sonunda; bu tür viyadüklerde analiz yönteminin seçilmesi, analiz modellerinin hazırlanması, sonuçların yorumlanması ve tüm sistemin değerlendirilmesi yapılmıştır.

Viyadük Hakkında Kısa Bilgiler

Nurtepe Viyadüğü (Bkz. Resim 1) II. Çevreyolu-Okmeydanı Kavşağı bağlantı yolu üzerindedir. Toplam 10 açıklıklı olan viyadük 400 m uzunluğundadır. Üstyapı, öngerilmeli önçekim omega kirişlerden oluşmaktadır. Üstyapı genişliği 13 m ve taşıt yolu genişliği 11 m dir. Orta ayaklar H kesitli kolonlardan oluşmaktadır. Köprü üst yapısı farklı kalınlıklardaki çelik takviyeli elastomer mesnetlerden oluşmaktadır. Köprü aksları arası 40 m ve üstyapı tipi Öngerilmeli beton bitişik omega kirişler ile yerinde dökme 25 cm betonarme döşemeden oluşmaktadır.



Resim 1: Nurtepe Viyadüğünün

Yapılan Hesaplar Hakkında Açıklamalar

Model açıklamaları

Nurtepe viyadüğü analizleri öncelikle tek modlu Artımsal İtme Analizi yapılmış ve tüm sonuçlar (kütle katılım, deplasmanlar ve iç kuvvetler) kontrol edilmiştir. İkinci aşamada özellikle enine yönde kütle katılım oranının %60 larda kalması sebebiyle Zaman Tanım Alanında Hesap yöntemiyle yapılmıştır. Bu amaçla şekil 1 de verilen spektruma uyumlu olacak şekilde toplamda (Priestly ve Calvi, 1995) 7 adet deprem datası (Bkz. Şekil 7) türetilmiştir. Her bir depremin iki ana doğrultudaki türetilmiş dataları yapıya aynı anda etkiltilmiş ve buna göre çözüm yapılmıştır.

Yapılan modelleme çalışmasında köprü temelleride dikkate alınmış ve dinamik analizlerde temellerin dönmesinden dolayı oluşan etkilerde modele dahil edilmiştir (Bkz. Şekil 2-3). Özellikle temeller mevcut boyutlarında iken meydana gelen yüksek dönmeler yapıya gelen iç kuvvetleri azaltmış fakat bu durumda oldukça büyük gerilme ve çekme bölgeleri elde edilmiştir. Temel boyutları genişletildikten sonra yapılan statik itme analizlerinde kolonların altının ankastre kabul edilmesiyle, genişletilmiş temellerin tanımlanması arasında kayda değer bir fark elde edilememiştir. Bu yüzden oldukça vakit alan ve Zaman Tanım Alanında Hesap yöntemiyle kolonların altının ankastre olması durumu için yapılmıştır.

Orta ayak kolonlarında çatlamış kesit rijitliği kullanılmıştır. Her bir orta ayakta 1 adet plastik mafsalları tanımlanmıştır.

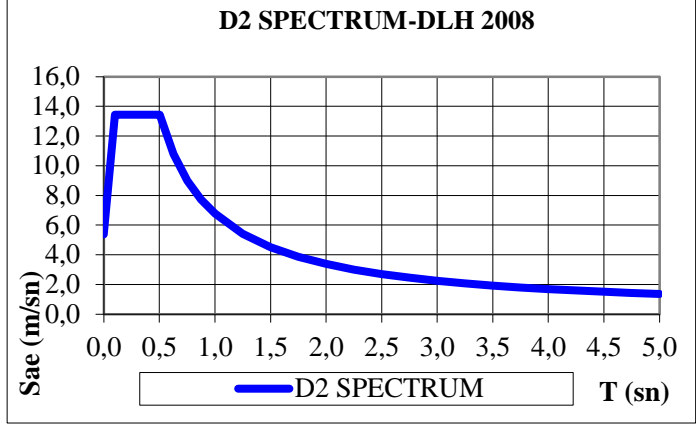
Köprü tabliyesi tek çubuk olarak modellenmiştir. Tüm tabliye enkesit karakteristikleri hesaplanarak tabliyenin ağırlık merkezinde tanımlanan çubuğa atanmıştır. Genleşme derzlerinin bulunduğu kesitlerde tabliyenin sürekliliği kesilmiştir.

Üstyapı enine yönde tutulu kabul edilmiştir. Boyuna yönde ise basınç için gap elemanları ile deprem takozları, hook elemanları ile çekme çubukları temsil edilmiştir.

Deprem Dataları

Zaman Tanım Alanında hesap DLH Yönetmeliğinde verilen D-2 deprem (Bkz. Şekil 1) seviyesi için gerçekleştirilmiştir. D2 deprem seviyesi 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan ve 475 yıllık tekerrür süresi olan deprem hareketini göstermektedir. Bu deprem hareketine ait olan spektrum aşağıda verilmiştir. Zaman Tanım Alanında analiz için seçilen spektruma uygun 7 adet deprem datası (Bkz. Şekil 6) türetilmiştir. Bu datalar için çözüm yapılmış ve sonuçlarının ortalaması kullanılmıştır. Çözümlerde her bir depremin her iki dik doğrultudaki türetilmiş dataları yapıya aynı anda etkiltilmiş ve çözüm yapılmıştır.

Şekil 1: D2 Spektrumu



Spektrumun ve buna uyumlu deprem datalarının çıkarılması ile ilgili detaylar ilerleyen bölümlerde verilmiştir.

Performans Seviyeleri

Sismik seviye	Tablo 1: Performans seviyeleri			
	Normal köprü		Önemli köprü	
D2	Sınırlanmış	Önemli	Süreklili	Tamir edilebilir

D2 deprem seviyelerinde istenen performansın sağlanabilmesi için betonarme kesimlerde kullanılacak birim deformasyon değerlerinin limitleri aşağıda verilmiştir.

Sismik seviye	Tablo 2: Deformasyon limitleri tablosu			
	Sargısız beton için deformasyon limitleri		Sargılı beton için deformasyon limitleri	
	Beton	Çelik	Beton	Çelik
D2	0.0027 (Basınç)	0.04 (Çekme)	0.012 (Basınç)	0.04 (Çekme)

Bu değerler S2 deprem seviyesi (50 yılda aşılma olasılığı %2) için verilen limitlere göre kullanılan spektruma uyumlu olarak 1.5 oranında azaltılmıştır.

Beton özellikleri:

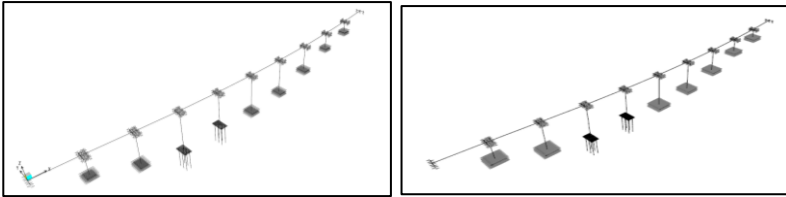
Tablo 3: Beton özellikleri tablosu			
Sınıf	Silindir Dayanımı (MPa)	Elastisite modülü (MPa) $E_c = 4730\sqrt{f'_c}$	Elemanlar
C25	25	23650	Tüm altyapı ve Döşeme
C20	20	21153	Kazıklar
C40	40	29915	Öngerilmeli Prekast Kirişler

W = 25 kN/m³ (Beton birim hacim ağırlığı)

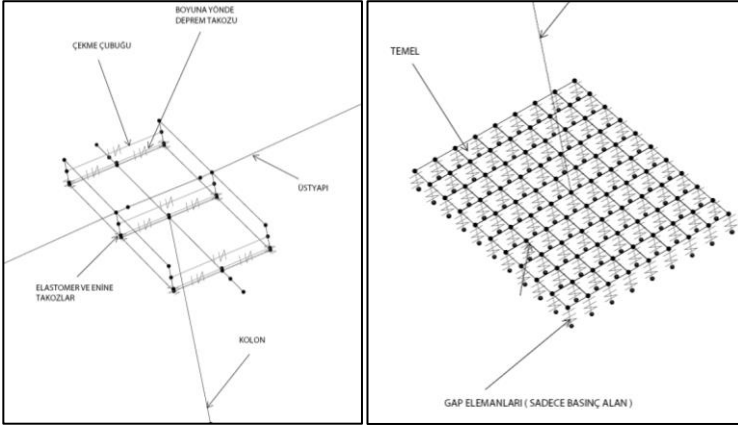
Çelik özellikleri:

Tablo 4: Çelik özellikleri tablosu			
Tip	Akma Dayanımı	Nihai dayanım	Kullanım
IIIa	500 Mpa	420 Mpa	Tüm elemanlar (kazık fretleri hariç)
I	275 Mpa	220 Mpa	Kazık fretleri

Matematik model şekilleri



Şekil 2 : Nurtepe Viyadüğünün mevcut ve güçlendirilmiş hal modelleri



Şekil 3 : Nurtepe Viyadüğü model detayları

Artımsal İtme Analizi Sonuçları

Nurtepe viyadüğü Artımsal İtme Analizleri (Bkz. Şekil 2-3) üç farklı modelleme çalışması (Yalçın, 2003) ile yapılmıştır. Buna göre öncelikle sistemin modeline mevcut temellerin gerçek boyutlarıyla eklenmesiyle sistem çözülmüştür. İkinci olarak ise yüzeysel temellerde genişletilmiş temel boyutları kullanılarak sistem çözülmüştür. Üçüncü ve son analiz ise kolonların altınan ankastre olarak kabul edildiği durumdur.

Temel boyutları statik itme analizi modelinde tanımlanarak temelde meydana gelecek olan dönmelerin sistemin periyodunun arttırmasına dolayısıyla kolonlarda meydana gelecek iç kuvvetleri azalması amaçlanmıştır. Böylece mevcut temeller için kendilerine gelecek en düşük kuvvetler araştırılmış ve bu kuvvetler altında temellerde oluşacak gerilme ve çekme miktarları elde edilerek temellerin yeterli olup olmadığı kararı verilmiştir.

- Yapılan statik itme analizlerinde her iki ana doğrultudaki hakim modları kütle katılımları (Bkz. Tablo 3-4-5) viyadük boyuna yönde %70, enine yönde ise %65 mertebelerindedir. Özellikle kısa ayakların hakim modlar da harekete katılmadığı bu sebepten kütle katılımların düşük kaldığı gözlenmiştir.

Tablo 3: Artımsal İtme Analizi kütle katılım oranları (Mevcut durumda)

Kombinasyon	Adım tipi	Adım numarası	Periyod	UX	UY	Toplam UX	Toplam UY
MODAL-PUSH-X	Mode	1	2.839835	0.720	0.000	0.720	0.000
MODAL-PUSH-Y	Mode	1	2.569701	0.000	0.670	0.000	0.670

Tablo 4: Artımsal İtme Analizi kütle katılım oranları (Güçlendirilmiş durumda)

Kombinasyon	Adım tipi	Adım numarası	Periyod	UX	UY	Toplam UX	Toplam UY
MODAL-PUSH-X	Mode	1	2.69877	0.700	0.000	0.700	0.000
MODAL-PUSH-Y	Mode	1	2.433972	0.000	0.640	0.000	0.640

Tablo 5: Artımsal İtme Analizi kütle katılım oranları (Kolonlar ankastre hal)

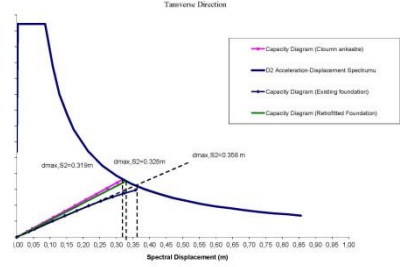
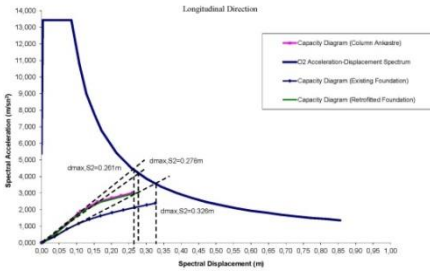
Kombinasyon	Adım tipi	Adım numarası	Periyod	UX	UY	Toplam UX	Toplam UY
MODAL-PUSH-X	Mode	1	2.645517	0.712	0.000	0.712	0.000
MODAL-PUSH-Y	Mode	1	2.377464	0.000	0.649	0.000	0.649

X : Boyuna yön ,Y : Enine yön

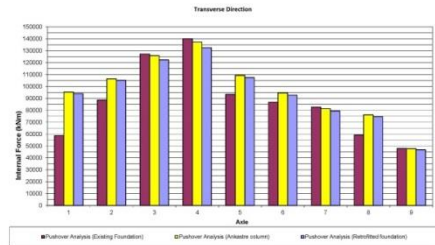
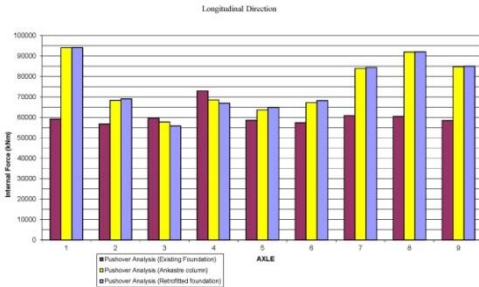
- Mevcut durumda yapılan statik itme analizlerine göre temelerde meydana gelen çekme bölgesi yüzdeleri ve oluşan gerilmeler tablo 6 da verilmiştir.

Tablo 6: Mevcut temel sonuçları

Akslar	Temel tipi	Ölçüler	Mevcut durum (Boyuna yön)		Mevcut durum (Enine yön)		Zemin gerilmesi (F.S.: 1.5)
			Çekme Bölgesi oranı	Gerilme kN/m ²	Çekme Bölgesi oranı	Gerilme kN/m ²	
		m					kN/m ²
P1	Yüzeysel	8.5x7.5m ² m	80%	3067	56%	1413	1013,8
P2	Yüzeysel	11x7.5x2m	60%	1465	56%	1257	980,7
P5	Yüzeysel	11x8.5x2m	30%	825	45%	1027	824,45
P6	Yüzeysel	11x7.5x2m	60%	1465	56%	1257	989,3
P7	Yüzeysel	11x7.5x2m	60%	1465	56%	1257	980,7
P8	Yüzeysel	8.5x7.5m ² m	80%	3067	56%	1413	1013,8
P9	Yüzeysel	8.5x7.5m ² m	80%	3067	56%	1413	1013,8



Şekil 4. D2 Sismik seviye Artımsal İtme Analizi köprü boyuna ve enine yönde ivme-deplasman spektrumu ve kapasite diyagramı



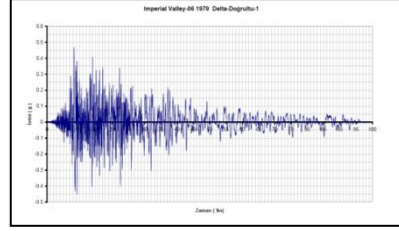
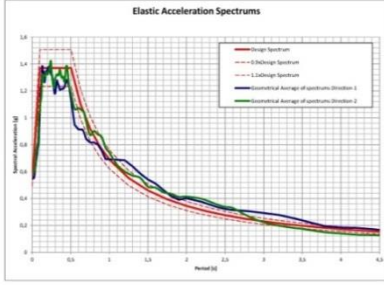
Şekil 5. İç kuvvetler karşılaştırma tablosu (Boyuna ve Enine Yönde)

- Bu sonuçlara göre boyuna ve enine yönde P-5 aksı hariç tüm yüzeysel temelerde çekme bölgesi (Bkz tablo 6) yüzdesi limitleri geçmiştir. Ayrıca oluşan gerilmeler limitlerin üzerindedir. Yüzeysel temelerde genişletme yapılması gerekmektedir. Yapılan analizler tüm yüzeysel temelerde genişletme yapılmasını gerektirmektedir.
- Kütle katılımların düşük kalması sebebiyle yeni temel boyutları Zaman Tanım Alanında analiz sonuçlarına göre boyutlandırılacaktır. Ayrıca Artımsal İtme Analizi eğrileri her iki doğrultuda incelendiğinde temellerin genişletilmesi sonucu elde edilen kapasite eğrisi ile kolon altı ankastre durumda elde edilen kapasite eğrileri birbirlerine oldukça yakındır. Dolayısıyla hem çözüm süresinin oldukça kısılması hem de elde edilen sonuçların değerlendirilmesi kolaylığı bakımından Zaman Tanım Alanında analizleri kolon altı ankastre durum için yapılacaktır. Bu durumda kolonlarda oluşacak iç kuvvetler ve plastik dönmelerin kabul edilen deprem seviyesi için en elverişsiz sonuçları elde edilmiş olacaktır. Elde edilen bu iç kuvvetler ile temeller genişletilmiş durum için ayrı ayrı analiz edilerek her bir temel çözümü yapılmış olacaktır. Temeller genişletilirken maks. çekme bölgesinin %50 de kalması ve oluşacak temel altı gerilmesinin onaylı geoteknik raporda verilen zemin emniyet gerilmesinden küçük kalması amaçlanmıştır.

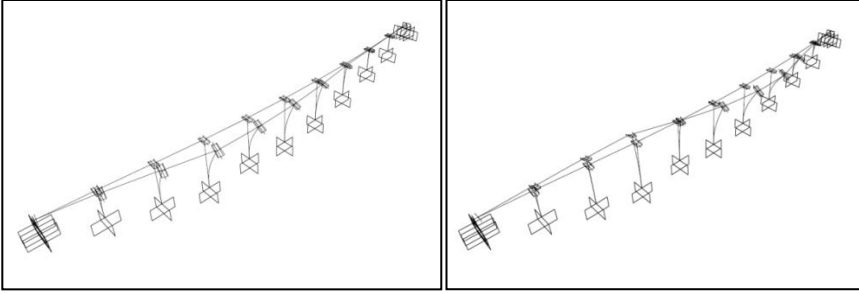
Zaman Tanım Alanında Analiz Aşamaları

Deprem Datalarının Üretilmesi

Nurtepe viyadüğü Zaman Tanım Alanında analizleri yapabilmek için DLH yönetmeliğine göre hazırlanan ve bölüm 3.2 de gösterilen D-2 Deprem seviyesi spektrumuna uygun olacak şekilde 7 adet deprem datası (Bkz. Şekil 6) türetilmiştir. Deprem dataları türetilirken Berkeley Üniversitesinin internet ortamında kullanıcılara sunduğu " Peer Ground Motion Database" Programı kullanılmıştır. Bu amaçla öncelikle İstanbul da meydana gelmesi beklenen deprem ana (Boduroğlu, 2007) karakteristikleri tanımlanmış ve programın verdiği geçmişte meydana gelmiş ve tanımladığımız karakteristiklere uygun deprem kayıtlarından 7 tanesi seçilmiştir. Kullanılan deprem kayıtları ivme-zaman kayıtlarıdır. Seçilen 7 adet deprem kaydının %5 sönümlü spektrumlarının geometrik ortalamasının DLH deprem yönetmeliğinde tanımlanan D-2 spektrumunun %90-%110 aralığında kalmasına dikkat edilmiştir. Bu aşamalardan sonra yapısal analizlerde kullanacağımız DLH yönetmeliği D-2 deprem seviyesine uyumlu 7 adet ivme-zaman deprem kaydı elde edilmiştir. Analizler sonucu bulunan birim uzama miktarları tablo 7 ve 8 de verilmiştir.



Şekil 6: Tasarım spektrumu bölgesi ve seçilen deprem spektrumlarının geometrik ortalaması-kullanılan sismik kayıtlardan biri



Şekil 7. 1. Mod şekili (T=2.459 s.) and 2. Mod şekili (T=1.724 s.)

Tablo 7. Boyuna birim uzama miktarları

Akslar	Plastik Mafsals Uzunluğu	Plastik Dönme	Plastik eğrilik	Elastik eğrilik	Toplam Eğrilik (E-3)	Birim Uzama (Beton)	Birim Uzama (Çelik)
	m					(E-3)	(E-3)
P1	1,785	0,011	0,006	0,001	7,728	2,167	16,260
P2	2,86	0,001	0,000	0,001	1,676	0,973	3,562
P3	3,591	0,000	0,000	0,001	1,310	-	-
P4	3,049	0,001	0,000	0,001	1,644	0,983	3,565
P5	3,403	0,000	0,000	0,001	1,305	-	-
P6	3,143	0,000	0,000	0,001	1,309	-	-
P7	2,45	0,000	0,000	0,001	1,464	0,949	3,555
P8	1,643	0,006	0,003	0,001	4,812	1,646	10,390
P9	1,243	0,013	0,011	0,001	11,907	3,034	24,865

Tablo 8. Enine yönde Birim Uzamalar

Akslar	Plastik Mafsal Uzunluğu	Plastik Dönme	Plastik eğrilik	Elastik eğrilik	Toplam Eğrilik	Birim Uzama (Beton)	Birim Uzama (Çelik)
	m				(E-3)	(E-3)	(E-3)
P1	1,785	0,004	0,002	0,001	3,085	2,603	7,859
P2	2,86	0,003	0,001	0,001	1,853	3,465	10,830
P3	3,591	0,004	0,001	0,001	2,018	3,502	10,690
P4	3,049	0,005	0,002	0,001	2,638	3,481	10,780
P5	3,403	0,002	0,000	0,001	1,361	2,712	7,753
P6	3,143	0,001	0,000	0,001	1,119	2,290	6,101
P7	2,45	0,002	0,001	0,001	1,912	2,635	7,738
P8	1,643	0,003	0,002	0,001	2,943	3,419	11,330
P9	1,243	0,002	0,002	0,001	2,861	2,552	8,220

Sonuçlar

Yapıların analizinde geometrisinin belirleyici olduğu aşıkardır. Artımsal İtme analizi tek modlu veya çok modlu olarak kullanıldığında Zaman Tanım Alanında analize göre daha hızlıdır. Ancak tek modlu çözümde yapının düzensizliği (Kurbta ve Ayak yüksekliklerinin arasında farklar olması) sonuçların gerçeklikten uzak olmasına neden olmaktadır. Bunun için çözümlerde yapının geometrik şeklinin gözönüne alınması gerekmektedir. Nurtepe Viyadüğü bu açıdan hem kurbta olması hemde ayak yüksekliklerinin değişken olması nedeniyle düzensizdir. Tek modlu çözümde kısa ayaklar modal kütle katılımına girmediği için kütle katılım oranı düşük kalmaktadır. Dolayısı ile çözüm Zaman Tanım Alanında analizi ile yapılmıştır. Çözümler arasındaki farklar tablolarla gösterilmiştir.

Kolonlar: Yapılan Zaman Tanım Alanında analizlere göre köprü kolonlarında boyuna ve enine yönde plastik dönmeler meydana gelmektedir. Bu plastik dönmelerden elde edilen plastik birim uzama ve kısalma değerleri limitlerin altındadır. Kolonlarda kesme kapasitesi yeterlidir.

Temeller: Yüzeysel temelerde güçlendirme sonrasında oluşan temel altı gerilmeleri verilen zemin emniyet gerilmelerinden küçüktür. Ayrıca oluşan çekme bölgesi oranı %50 nin altındadır. P3-P4 aksı kazıklı temellerinin kalınlaştırmasından sonra yeterlidir. Kazıklarda her ne kadar bir miktar plastik uzama meydana gelse de oluşan birim uzamalar limitlerin altındadır (Bkz tablo9-10).

Deprem Takozları ve Genleşme Derzleri: Tüm orta ve kenarayak akslarında kirişler arasına yeni deprem takozları yapılacaktır. A-B akslarında genleşme derzleri aynen korunacaktır.

Çekme Çubukları: Tüm orta ayak akslarında kirişler birbirlerine çekme çubukları ile birbirlerine bağlanacaktır. Isıl genleşme için 3 cm boşluk bırakılacaktır

Akslar	Temel Tipi	Mevcut Durum			Güçlendirilmiş Durum			Emniyet Gerilmesi (F.S.: 1.5)
		Ölçüler	Çekme Bölgesi alanı	Zemin Gerilmesi	Ölçüler	Çekme Bölgesi alanı	Zemin Gerilmesi	
		m		kN/m ²	m		kN/m ²	
P1	Yüzeysel	8.5x7.5x2 m	80%	3067	14x13x3.2 m	40,38%	1004,6	1013,8
P2	Yüzeysel	11x7.5x2 m	60%	1465	14x13x3.2 m	40,38%	949,4	980,7
P3	Kazıklı	12.5x7.5x2.25 m	Pile Foundation					
P4	Kazıklı	12.5x7.5x2.25 m	Pile Foundation					
P5	Yüzeysel	11x8.5x2 m	30%	825	14x12.5x3.2 m	28%	945,5	989,33
P6	Yüzeysel	11x7.5x2 m	60%	1465	14x13x3.2 m	40,38%	949,4	980,7
P7	Yüzeysel	11x7.5x2 m	60%	1465	14x13x3.2 m	40,38%	949,4	980,7
P8	Yüzeysel	8.5x7.5x2 m	80%	3067	14x13x3.2 m	40,38%	1004,6	1013,8
P9	Yüzeysel	8.5x7.5x2 m	80%	3067	14x13x3.2 m	40,38%	1004,6	1013,8

Table 10: Köprü Enine yönde yüzeysel temel sonuçları

Akslar	Temel Tipi	Mevcut Durum			Güçlendirilmiş Durum			Emniyet Gerilmesi (F.S.: 1.5)
		Ölçüler	Çekme Bölgesi alanı	Zemin Gerilmesi	Ölçüler	Çekme Bölgesi alanı	Zemin Gerilmesi	
		m		kN/m ²	m		kN/m ²	
P1	Yüzeysel	8.5x7.5x2 m	56%	1413	14x13x3.2 m	42,85%	1004,6	1013,8
P2	Yüzeysel	11x7.5x2 m	56%	1257	14x13x3.2 m	46,42%	949,4	980,7
P3	Kazıklı	12.5x7.5x2.25 m	Kazıklı Temel					
P4	Kazıklı	12.5x7.5x2.25 m	Kazıklı Temel					
P5	Yüzeysel	11x7.5x2 m	45%	1027	14x12.5x3.2 m	41,07%	945,5	989,33
P6	Yüzeysel	11x7.5x2 m	56%	1257	14x13x3.2 m	46,42%	949,4	980,7
P7	Yüzeysel	11x7.5x2 m	56%	1257	14x13x3.2 m	46,42%	949,4	980,7
P8	Yüzeysel	11x7.5x2 m	56%	1413	14x13x3.2 m	42,85%	1004,6	1013,8
P9	Yüzeysel	8.5x7.5x2 m	56%	1413	14x13x3.2 m	42,85%	1004,6	1013,8

Bu çalışmamızda bizlere yardım eden tüm iş arkadaşlarımıza teşekkür ederiz.

Kaynaklar

1. Boduroğlu, M., 2007. Kablolü Köprülerin Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemi ile Deprem Performansının belirlenmesi üzerine sayısal bir inceleme; İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Türkiye, 121 s.
2. CSD Ver.1.2, 2001. Seismic Design Criteria Version 1.2, *California Transportation*, California, USA, Kasım 2001, 120 s.
3. Priestley, N. ve Calvi, M., Seismic Design and Retrofit of Bridges, New York, John Wiley and Sons, USA, Ekim 1995, 686 s.
4. Yalçın, S., 2003. Viyadüklerin Deprem Durumunda AASHTO, CALTRANS standartlarına göre tahkiki ve bir uygulama, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Türkiye, 118 p.

Anahtar Sözcükler: Sismik Performans, Artımsal İtme Analizi, Zaman Tanım Alanında Hesap, Viyadük, Kütle katılımı