SAKARYA-2 VİYADÜĞÜNÜN SİSMİK İZOLASYON TEKNOLOJİSİ KULLANILARAK DEPREME KARŞI TASARIMI

C. Özkaya[1], G. Çetin[1], F. Tulumtaş[1], M. Gerçek[2], A. Marioni[2], Y. Esat[3] ve S. Cam[3]

[1]Yüksel Proje Uluslararası AŞ Birlik Mah. 450. Cad. No:23 Çankaya Ankara
[2]Alga SPA Milano-Italy
[3]KGM Genel Müdürlüğü Köprüler Şubesi Yücetepe-Ankara
E-Posta: kucukdahi@hotmail.com

ÖZET:

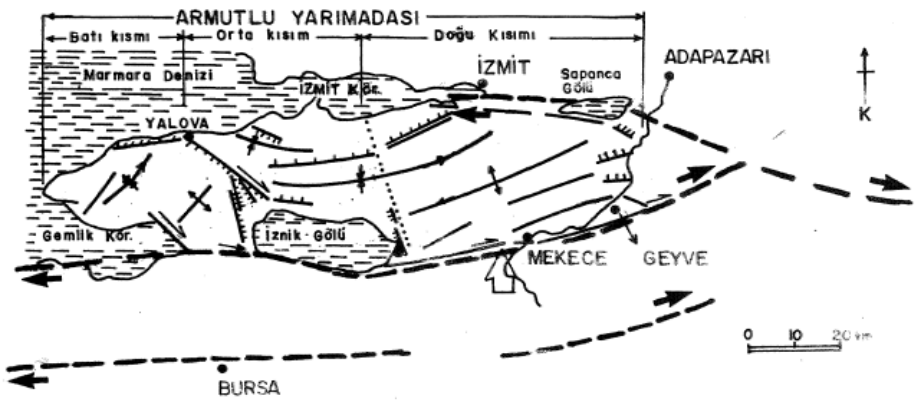
Bu çalışmada Kuzey Anadolu Fayının güney kolunun yaklaşık 300 metre yakınında yer alan Sakarya-2 Viyadüğü'nün sismik izolasyon teknolojisi kullanılarak depreme karşı tasarımı anlatılmıştır. Senaryo depremi durumunda, kuvvetli yakın saha etkisi ve sıvılaşma beklenmektedir. Viyadüğün sismik izolasyonunda hibrid bir sistem seçilmiştir. Hibrid sismik izolasyon sistemi, üstyapı enkesitindeki altı kirişin dördünün altına elastomer mesnetlerin, geriye kalan ikisinin altına ise kurşun çekirdekli kauçuk mesnetlerin yerleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetlerin karakteristik dayanımı üstyapı ağırlığının %10'u seçilerek yakın saha depremi altında izolatör ötelenmelerinin sınırlandırılması amaçlanmıştır. Elastomer mesnetlerin rijitlikleri yüksek tutularak, izolasyon sisteminin ikincil periyodu göreceli olarak kısa tutulmuş olup bununla yakın saha etkisi ve yumuşak zeminden kaynaklanan kuvvetli uzun periyotlu deprem etkilerinin azaltılması amaçlanmıştır. Zaman tanım alanında lineer olmayan analizler, kullanılan hibrid sismik izolasyon sisteminin yakın saha etkisinden ve sıvılaşmadan kaynaklanabilecek belirsizliklere daha az hassasiyet gösterdiğini ortaya koymuştur.

ANAHTAR KELİMELER: Yakın saha, Sıvılaşma, Sismik İzolasyon

1. GİRİŞ

Bozüyük-Mekece karayolu Akdeniz bölgesini ve Anadolu'nun iç kısımlarını İstanbul'a bağlamaktadır. Trafiğin yoğun olmasından kaynaklanan kazalar ve diğer problemler nedeniyle bu yolun geliştirilmesi planlanmış ve inşaatına başlanmıştır. Projenin toplam uzunluğu 85 km olmakla beraber çok sayıda tünel, köprü ve sanat yapısı içermekte olup, inşaatın ikinci kısmını Limak İnşaat, projesini ise Yüksel Proje gerçekleştirmiştir. Ankara-İstanbul hızlı demiryolu hattı da Bozüyük-Mekece karayolu ile aşağı yukarı aynı güzergâhı takip etmektedir.

Ülkemiz topraklarının büyük bir bölümü deprem kuşağında yer almakta ve depremler ciddi miktarda can ve mal kaybı ile sonuçlanmaktadır. Ülkemizde yıkıcı etkileri olan depremlere örnek olarak 17 Ağustos 1999 Kocaeli ve 12 Kasım 1999 Düzce depremlerini örnek gösterebiliriz. İki deprem de Kuzey Anadolu Fay Hattında gerçekleşmiştir. Kuzey Anadolu fayı yaklaşık 1500 km uzunluğunda olup, güney kol olarak adlandırılan kısmı Geyve, Mekece, İznik, Gemlik körfezinden Marmara denizine uzanmaktadır. Bu kol aktif olup, uzun zamandan beri büyük bir deprem üretmemiştir (Kuşçu ve diğerleri, 1992). Güney kolun projeyi ilgilendiren kısmı Şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1 Kuzey Anadolu Fayının Güney Kolunun Görünümü (Kuşçu ve diğerleri, 1992)

Sakarya-2 Viyadüğü Güney kol'a yaklaşık 300 metre uzaklıktadır. Aynı zamanda, köprü bölgesinde deprem durumunda sıvılaşması beklenen zemin koşulları mevcuttur. Köprünün faya çok yakın olması dolayısıyla birlikte zemin koşulları da tasarımı çok zorlaştırmaktadır.

2. DEPREM ANALİZLERİNDE KULLANILAN PARAMETRELER

Bölgeye özel yapılan depremsellik çalışmaları viyadüğün ekonomik ömrü boyunca büyüklüğü M_w=7.5 olan bir depremin beklenebileceğini ortaya koymuştur. Bu büyük depremin dönüşüm periyodu 1000 yıl olarak seçilmiştir. Azaltma ilişkileri kullanılarak, ana kayadaki maksimum yer ivmesi 0.96g olarak hesaplanmıştır (Çetin, 2008). Bununla beraber, faya 3 km'den yakın bölgeler için çok az deprem verisinin bulunduğunu belirtmekte de fayda var.

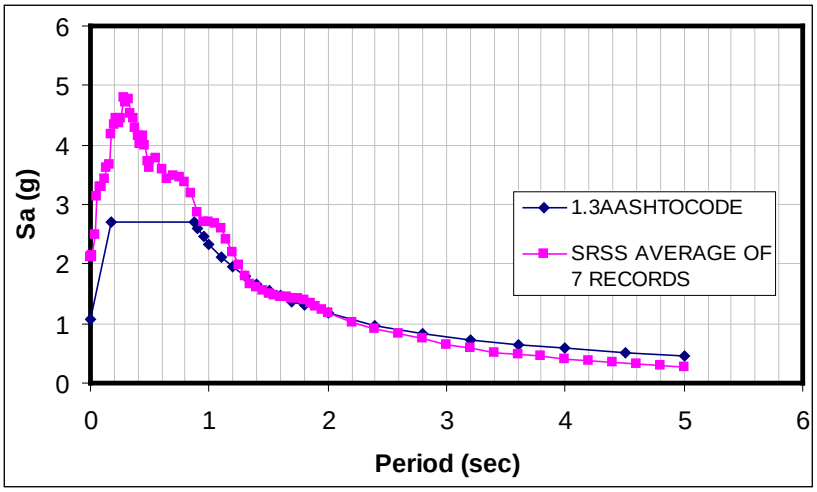
Viyadüğün faya çok yakın olması nedeniyle, büyük bir depremde kuvvetli yakın saha etkisi beklenmektedir. Yakın saha etkisi, genel olarak depremin enerjisinin çok kısa sürede boşaltılması olarak düşünülebilir. Yakın sahada yer alan yapılara, deprem enerjisinin çok büyük bir kısmı bir ya da maksimum iki döngüde etki etmektedir. Bu döngülerin periyotlarının da yüksek olması (0.5 san-5 san.) nedeniyle yapıda çok büyük ivme ve ötelenmeler ortaya çıkmaktadır (Bolt, 2004).

Elastik analiz metotları, kuvvetli lineer olmayan yakın saha depremlerinin etkilerini tam olarak dikkate alamadığından, tasarımda zaman tanım alanında lineer olmayan analizler kullanılmıştır. Şartnamelere (AASHTO, 1999) uygun olarak yedi adet kayıt seçilmiş ve analizlerde kullanılmıştır. Kullanılan kayıtların genel özellikleri Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1 Analizlerde Kullanılan Ölçeklenmiş Deprem Kayıtları (Çetin, 2008)

#	Deprem	İstasyon Kodu	M_w	PGA_{EW} (g)	PGA_{NS} (g)	PGV_{EW} (cm/sec)	PGV_{NS} (cm/sec)
1	1976-Gazli, Uzbekistan	9201 Karakyr	6.8	1.74	2.05	187	205
2	1994-Northridge, USA	655 Jensen Filter Plant	6.7	1.01	1.82	135	119
3	1994-Northridge, USA	637 LA – Sepulveda VA Hospital	6.7	2.74	3.41	285	277
4	1995-Kobe, Japan	CUE 99999 Takatori	6.9	0.49	0.50	103	98
5	1999-Duzce, Turkey	ERD 99999 Bolu	7.2	2.05	2.31	158	175
6	Northridge-01	Sylmar-Converter Station	6.69	0.76	1.11	146	126
7	1999-Chi Chi, Taiwan	TCU065	7.62	1.00	0.74	155	97

Seçilen kayıtların iki yönlü bileşenlerinin SRSS'lerinin ortalaması ile şartname spektrumunun 1.3 katının uyumu Şekil-2'de sunulmuştur. Şekil 2'den de görülebileceği üzere seçilen izolasyon periyodu (1.5 san.-2.5 san.) bölgesinde iki spektrum birbirine uyumludur.



Şekil 2 Şartname ve Seçilen Depremlerin Ortalama Spektrumu

Viyadük bölgesinde zemin ana kayaya kadar yaklaşık 30 metre kalınlığında kum-çakıl katmanlarından oluşmaktadır ve suya doygundur. Faya çok yakın olunmasından dolayı deprem durumundaki yer ivmelerinin yüksek olması beklendiğinden (PGA_{1000}=0.96g), bölgede potansiyel sıvılaşma tehlikesi mevcuttur. Sıvılaşma potansiyeli literatürdeki hesap metotları kullanılarak belirlenmiştir. İlave olarak, zemin tabakaları eşdeğer dinamik bir analiz programı olan Proshake (EduPro, 2003) programında da gerçek deprem kayıtları kullanılarak çalışılmıştır.

3. KÖPRÜ ÖZELLİKLERİ

Sakarya-2 Viyadüğü açıklıkları birbirine çok benzer yan yana iki köprüden oluşmaktadır. Viyadüğün toplam uzunluğu 385 metre olup, 9 açıklığa sahiptir. En büyük açıklık 52 metre, en küçük açıklık ise 32 metredir. Köprünün bir bölümünde Şekil 3'de görüldüğü üzere yatay kurp mevcuttur.

Viyadük üstyapısı çelik kirişler ve üzerinde betonarme tabliyeden oluşan kompozit bir üstyapıdır. Çelik kirişler, betonarme bir üstyapı sistemine nazaran hafif olması nedeniyle seçilmiştir. Çelik kirişlerin derinliği değişken olup, 1.75 metre ile 2.75 metre arasındadır. Enkesitte, kiriş aralığı 2.30 metredir. Genleşme derzi bir tek kenar ayaklarda mevcut olup bu sayede olası bir depremde kirişlerin mesnetlerinden düşme riski ortadan kaldırılmıştır.

Şekil 3 Sakarya-2 Viyadüğünün Görünüşü

Orta ayaklarda tek kolon yer almakta olup, daha önceki tecrübeler çift kolonlu sistemlerinin deprem davranışının daha iyi olduğunu ortaya koymuştur. Çift kolonlu bir sistemde stabilite problemi tek kolonlu bir sisteme nazaran daha azdır. Bununla beraber, köprünün mevcut karayolu, mevcut demiryolu ve yeni yapılmakta olan hızlı tren hattını geçiyor olması nedeniyle çift kolonlu bir sistem tercih edilememiştir. Orta ayaklarda 20° verev mevcuttur.

Viyadük temelleri kazıklı temeller olup, 120 cm çapında betonarme kazıklar seçilmiştir. Yalnızca bir ayakta, inşaat esnasında konglomera ile karşılaşılmış olup bu temel sistemi yüzeysel temele çevrilmiştir.

4. SİSMİK İZOLASYON SİSTEMİ

Bu viyadükte, kurşun çekirdekli kauçuk mesnetler ve elastomer mesnetlerden oluşan hibrid bir sismik izolasyon sistemi seçilmiştir. Enkesitteki altı kirişten dördünün altında elastomer mesnetler, ikisin altında ise kurşun çekirdekli kauçuk mesnetler yer almaktadır.

Elastomer mesnetlerin ikincil rijitlikleri yüksek tutularak izolasyon periyodu göreceli olarak kısa tutulmuştur. Bu sayede, yakın saha etkisinden ve yumuşak zemin koşullarından kaynaklanan kuvvetli uzun periyotlu bileşenlerin yapı üzerindeki etkisinin azaltılması amaçlanmıştır.

Kurşun çekirdekli mesnetlerin ortasındaki kurşun çekirdek elasto-plastik davranışı sayesinde enerji sönümleyebilmektedir. Bu sayede yapıya etkiyen deprem kuvvetleri ve yapısal deformasyonlar azalmaktadır. İzolasyon sisteminin karakteristik dayanımı üstyapı ağırlığının %10'u seçilerek izolatör ötelenmelerinin sınırlandırılması amaçlanmıştır. Bununla beraber, yüksek karakteristik dayanım

kurşun çekirdekte yüksek miktarda ısı çıkmasına ve sonucunda da artan yük döngüleri altında azalan enerji sönümleme kapasitesine neden olabilir.

5. ANALİZ MODELİ VE ANALİZ SONUÇLARI

Analizlerde köprünün 3-boyutlu bir modeli kullanılmıştır. Analiz modeli kolonlardan, sismik izolatörlerden ve yapı zemin etkileşiminden kaynaklanan lineer olmayan davranışı yansıtabilecek şekilde oluşturulmuştur. Kurşun çekirdekli mesnetler histeretik ötelenme yayları ile modellenmiştir. Modelde p-y eğrileri de yer almaktadır. Temel sistemindeki kazıklar, lineer olmayan artımsal itme analizleri sonucunda eşdeğer tek kazığa çevrilmiştir. Bu çevrim, analiz zamanlarını çok azaltmıştır.

Zaman tanım alanında lineer olmayan analizler sonucunda çok yüksek altyapı kuvvetleri ve izolatör ötelenmeleri ile karşılaşılmıştır. Efektif izolasyon periyodu 1.5 san. olarak seçilmiştir. Göreceli olarak kısa izolasyon periyoduyla, depremin kuvvetli olması beklenen uzun periyotlu bileşenlerinin etkisinin azaltılması amaçlanmıştır. Mesnetlerin tasarım yatay ötelenmesi ±850 mm'dir.

Altyapıda kolonlarda sınırlı miktarda plastikleşme beklenmekte olup, kazıklarda plastik mafsallaşmaya izin verilmemiştir. Kazıklara sıvılaşmadan ötürü etki edecek kuvvetler hesaplarda dikkate alınmıştır. Sıvılaşan ile sıvılaşmayan zeminlerin düğüm noktasında kazılara etkiyebilecek ilave tesirlere karşı dairesel etriye aralığı kazık boyunca 50 mm olarak tutulmuştur.

6. SİSMİK İZOLASYON SİSTEMİNİN TESTİ

Viyadükteki 10 aksın 9'undaki mesnetlerin çapı 1100 mm olup, yükseklikleri 580 mm'dir. Yüzeysel temelli aksta kullanılan mesnetlerin çapı 1400 mm, yüksekliği de 912 mm'dir. Mesnetlerdeki kauçuğun kayma modulü 0.42 MPa ile 0.95 MPa arasındadır. Çapı 1400 mm olan mesnetler iki parça üretilmiş olup, daha sonra pinler ve kaynak vasıtasıyla birleştirilmiştir.

Yapısal hesaplarda, mesnetlerin test hızı 2200 mm/san olarak hesaplanmıştır. Tasarım yatay ötelenmesinin ±850 mm olduğu da göz önünde bulundurulduğunda bu testleri dünyada yapabilecek birkaç laboratuar mevcuttur. Mesnet üreticisi firma testler için EUCentre, İtalya laboratuarını seçmiştir. Fakat, bu laboratuardaki ekipmanın yatay ötelenme kapasitesi ±580 mm ile sınırlı olduğundan testler statik prototip testleri ve dinamik prototip testleri olarak ikiye ayrılmıştır.

Statik prototip testleri Alga Spa laboratuarında yapılmış olup, test hızı 1.6 mm/san ve maksimum yatay ötelenme 1060 mm'dir. Bu testlerde, yatay ötelenme kapasitesi ve stabilite kontrol edilmiştir. Çok düşük test hızları nedeniyle, kurşun çekirdekte herhangi bir ısınma gözlemlenmemiştir.

Dinamik prototip testleri 2.2 m/san hız ile başlamıştır. Bu hızda, düşük ötelenme genliklerinde, alttaki hareketli plakadaki ivmeler 4g'ye kadar yükselmiştir (EUCentre, 2009). Taban plakasındaki atalet kuvvetleri toplam kuvvetin yaklaşık %50'sine denk gelmektedir. Bununla beraber, düşük eksenel yük nedeniyle ekipmanın stabilitesi de tehlikeye düşmüştür. Bu nedenlerle, 1.4 m/san., 1.6 m/san. ve 1.8 m/san hızlarda da testler yapılmıştır. Hidrolik yağın ısınması zaman zaman döngüler arasında ara verilmesini gerektirmiştir. Şekil 4'de gösterildiği gibi mesnetler testler esnasında hasar görmemiştir.

Şekil 4 Testler Sonunda Kurşun Çekirdekli Bir Mesnetin Görünümü

7. SONUÇ

Kuzey Anadolu fayının 300 metre yakınında yer alan Sakarya-2 Viyadüğü büyüklüğü M_w=7.5 olan bir depreme dayanabilecek şekilde tasarlanmıştır. Yakın saha etkisini dikkate alan zaman tanım alanında lineer olmayan analizler yapılmıştır. Elastomer mesnetler ve kurşun çekirdekli mesnetlerden oluşan bir sistem izolatör ötelenmelerini sınırlandırmak için seçilmiştir. İzolasyon periyodu göreceli olarak kısa tutularak, depremin kuvvetli uzun periyotlu bileşenlerinin etkisinin azaltılması amaçlanmıştır.

Yüksek hızlar ve ötelenme istemleri nedeniyle kurşun çekirdekli mesnetlerin testleri önemli hale gelmiştir. Testler esnasında, test ekipmanına özgü problemler meydana gelmiştir. Bununla beraber mesnetlerde herhangi bir hasar oluşmamıştır.

Teşekkür: Bu çalışmaya verdiği destekten ötürü yazarlar ODTÜ Mühendislik Bilimleri öğretim üyelerinden Sn. Prof. Dr. Murat Dicleli'ye teşekkürlerini sunarlar.

KAYNAKLAR

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (1999) Guide specifications for seismic isolation design. USA.

Bolt B.A. (2004) Seismic input motions for nonlinear structural analysis. ISET Journal of Earthquake Technology, Paper No: 448 Vol. 41 No2-4.
Cetin K.O. (2008) Sakarya-2 viyadüğü olasılıksal sismik tehlike analizi raporu. Orta Doğu Teknik Üniversitesi.

EduPro Civil Systems Inc. (2003) Proshake.

EUCentre. (2009) Pre-characterization & characterization tests of LRB Algasism 1100×580, Pavia-Italy.

Kuşçu İ., Barka A.A.., Kato H., Katoh K. (1992) Kuzey Anadolu Fayındaki bazı faylarda radon gazı (alpha izi) ölçümleri . Jeoloji Mühendisliği Dergisi, sayfa 33-40.