

BOLU GEÇİŞİNDE DEPREM SEBEBİYLE MEYDANA GELEN DEFORMASYONLARIN KOORDİNAT DÖNÜŞÜMLERİYLE BELİRLENMESİ

Esra TEKDAL¹, Rahmi Nurhan ÇELİK², Tevfik AYAN³

¹tekdale@itu.edu.tr

²celikn@itu.edu.tr

³ayan@itu.edu.tr

İnsan katkısı olmaksızın meydana gelen doğal afetler günümüzde de insan hayatını derinden etkilemektedir. Hızla gelişen teknolojiler bile meydana gelen afetler karşısında çaresiz kalmaktadır. Yerkabuğu içindeki kırılmalar nedeniyle ani olarak ortaya çıkan titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak geçtiği ortamları ve yeryüzünü sarsma olayı olarak adlandırılan deprem de bu afetlerin en başında gelmektedir. Depremler sonucu oluşan kabuk hareketleri, mühendislik yapılarında deformasyonların meydana gelmesinde başlıca sebeplerden bir tanesidir. Özellikle 1999 yıllarında Kuzey Anadolu Fay Hattı'nın kırılmasıyla oluşan depremler sonucunda birçok mühendislik yapısı zarar görmüştür. 17 Ağustos 1999 ve 12 Kasım 1999 depremleri sırasında kırılan fay sebebiyle bina, yol ve viyadük gibi birçok mühendislik yapısı hasar görmüştür. Hasar gören mühendislik yapıları arasında, deprem sırasında yapımı süren ve ülkemiz ulaşım ağına büyük katkılar sağlayacak olan Bolu viyadüğü de zarar görmüştür.

Çalışmaya konu olan Bolu viyadüğü, Bolu dağı projesinin bir bölümüdür ve Türkiye'nin kuzey orta bölümünde yer almaktadır. Proje, Bolu'nun batı kısmındaki ulaşım koşullarını iyileştirmek üzere gerçekleştirilmiştir. Kaynaşlı/Bolu'dan başlayıp Elmalık/Bolu'da biten Bolu geçişi yaklaşık 25 km uzunluğundadır, iki viyadük ve bir tünelden (gidiş-geliş olmak üzere iki tüp) oluşmaktadır. 12 Kasım 1999 depremi, deprem sırasında inşaat halinde olan, Bolu viyadükleri ve Bolu tüneline ciddi zararlar vermiştir. Zarar gören viyadük,

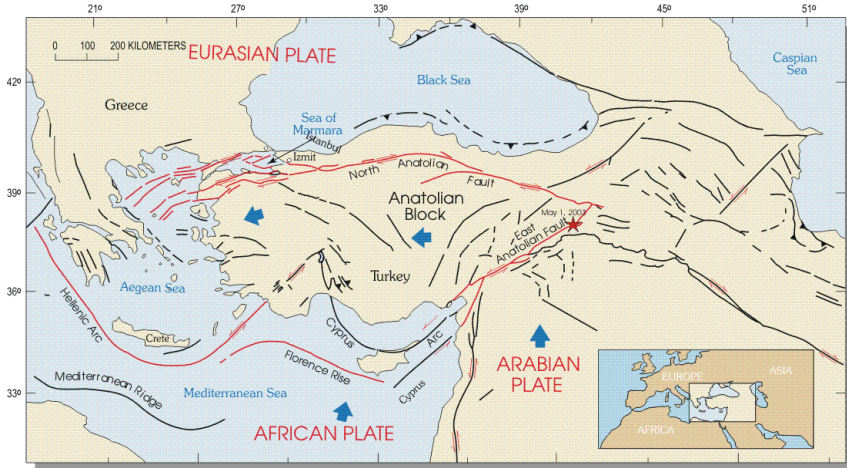
BOLU GEÇİŞİNDE DEPREM SEBEBİYLE MEYDANA GELEN DEFORMASYONLARIN KOORDİNAT DÖNÜŞÜMLERİYLE BELİRLENMESİ

Esra TEKDAL, Rahmi Nurhan ÇELİK, Tevfik AYAN

kasım 1999'da yani ikinci deprem meydana geldiği sırada neredeyse tamamlanmış durumdadır. Proje kapsamında inşaa edilmesi planlanan viyadüklerden diğeri de, temel inşaatı aşamasındadır, ve yapılan gözlemler sonucunda zarar görmediği belirlenmiştir. Bu çalışmada 1999 yılında meydana gelen depremlerin TEM'in (Transport European Motorway) bir parçası olan 114 km'lik Ankara-İstanbul otoyolunun Bolu geçişine ait viyadüklerde meydana gelen deformasyonları incelemek amacıyla kullanılan dönüşüm stratejileri ve jeodezik hesaplara ait bilgiler verilecek ve belirlenen deformasyonların giderilmesi için gerekli çözüm önerileri sunulacaktır.

Giriş

Türkiye meydana gelen depremler açısından uzun bir geçmişe sahiptir. 1939'da başlayan depremler sonucunda Kuzey Anadolu Fayının kuzey ve güneyinde yer alan plakalar, hem Doğu hem de Batı doğrultusunda hareket etmiştir. 1999 yılında Kuzey Anadolu Fay hattındaki hareketliliğin sebep olduğu iki büyük deprem İstanbul-Ankara otoyolunun Bolu geçişi üzerindeki mühendislik yapılarını da etkilemiştir. Şekil 1.1'de görüldüğü gibi, Türkiye bulunduğu yer itibariyle tektonik plakalar açısından kritik bir bölgededir.



Şekil 1: Türkiye ve çevresinin tektonik haritası (Çelik ve diğ. 2005)

BOLU GEÇİŞİNDE DEPREM SEBEBİYLE MEYDANA GELEN DEFORMASYONLARIN KOORDİNAT DÖNÜŞÜMLERİYLE BELİRLENMESİ

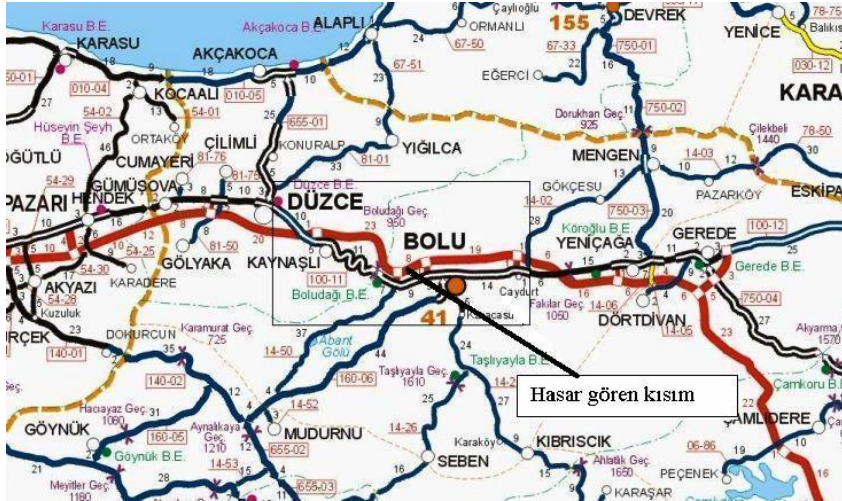
Esra TEKDAL, Rahmi Nurhan ÇELİK, Tevfik AYAN

İlk deprem 17 Ağustos 1999'da Türkiye saatiyle 03:01'de İzmit'in güneybatısında bulunan Sapanca gölü ile İzmit Körfezi arasında meydana gelmiştir. Kocaeli-Gölcük depremi olarak adlandırılan bu depremin büyüklüğü 7.4'tür, 45 saniye sürmüştür ve Türkiye'nin endüstriyelmiş olan batı kısmında meydana gelen en büyük depremlerden bir tanesidir.

İkinci deprem 12 Kasım 1999 günü Türkiye saatiyle 18:57'de meydana gelmiştir. Düzce-Bolu depremi moment büyüklüğü olarak 7.2'dir. Bu deprem Adapazarı'nın 70 km doğusu ile Ankara'nın 170 km kuzeybatısında yani 17 Ağustos depreminin 110 km doğusunda meydana gelmiştir.

İstanbul-Ankara Otoyolu Bolu Geçişi

Bolu dağı projesi Türkiye'nin kuzey orta bölümünde yer almaktadır, ve Bolu'nun batı kısmındaki ulaşım koşullarını iyileştirmek üzere gerçekleştirilmiştir. TEM (Transport European Motorway)'in Ankara İstanbul Otoyolunun bir bölümü olan Bolu geçişi iki adet viyadük (viyadük I, viyadük II), bir adet tünelden oluşmakta ve uzunluğu 25 kilometreyi bulmaktadır.



Şekil 2: Projenin Coğrafi Konumu

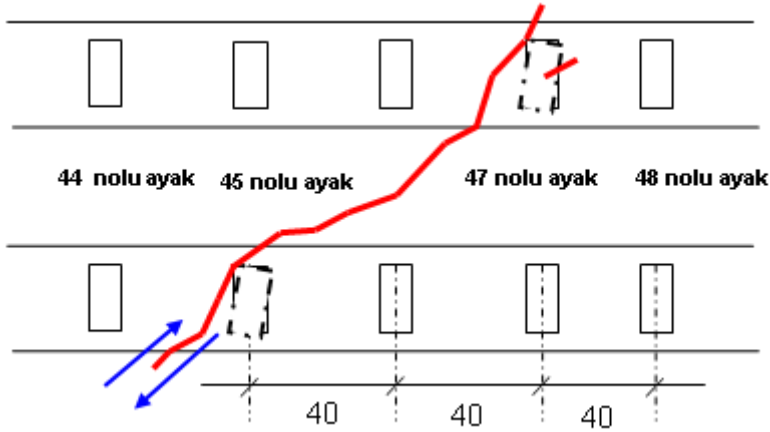
BOLU GEÇİŞİNDE DEPREM SEBEBİYLE MEYDANA GELEN DEFORMASYONLARIN KOORDİNAT DÖNÜŞÜMLERİYLE BELİRLENMESİ

Esra TEKDAL, Rahmi Nurhan ÇELİK, Tefvik AYAN

1999 depremi öncesinde neredeyse tamamlanmış olan Viyadük I önemli derecede hasar görmüştür. Yapıda meydana gelen hasarlar deprem dolayısıyla meydana gelmiştir. Viyadük I'ın projelendirilmesi sırasında, 1990 yılı AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) sismik tasarım yönetmeliği ile izolasyon sisteminin tasarlanması için İtalyan Yönetmelikleri kullanılmıştır.

Bolu Viyadüğünde Yapılan Analizler

Bolu dağı projesi başında, projeyi araziye applike edebilmek amacıyla bölgeye 1992 yılında bir jeodezik ağ tesis edilmiştir. Bu kontrol ağı yersel yöntemlerle ölçülmüş ve ülke koordinat sisteminde hesaplanmıştır. Bundan sonra da bu jeodezik ağ 1999 da oluşan depremlere kadar projenin yürütülmesinde kullanılmıştır. Bu depremler bölgenin topoğrafyasını tamamen değiştirmiş, tüm jeodezik ağı da hasarına neden olmuştur, çünkü fay jeodezik ağı en az iki parçaya ayırmıştır.



Şekil 3: Viyadük güzergahını kesen fay hattı

BOLU GEÇİŞİNDE DEPREM SEBEBİYLE MEYDANA GELEN DEFORMASYONLARIN KOORDİNAT DÖNÜŞÜMLERİYLE BELİRLENMESİ

Esra TEKDAL, Rahmi Nurhan ÇELİK, Tevfik AYAN

Söz konusu ağların bu halleriyle tekrar kullanılmaları mümkün değildir. Ancak ağın kuzey ve güney kısmına ait noktaları kendi aralarında süreklilik gösteriyorlarsa, ayrı ayrı kullanılabilirler.

Proje başlangıcında yersel ölçmelerle tesis edilen ağın datumu ED50'dir. Ancak GPS ölçmeleri kullanılarak tesis edilen yeni ağın datumu ITRF 96'dır. İki ağ arasında karşılaştırma yapabilmek için Helmert benzerlik dönüşümü kullanılarak ağların ortak bir datuma getirilmesi gerekmektedir.

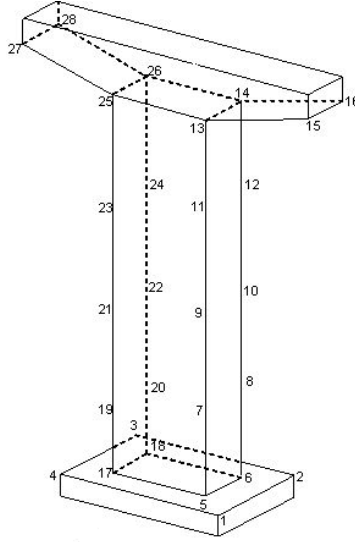
Transformation from Düzce to Bolu					Transformation from Düzce to Bolu				
No	Parameter	Value	R.m.s	Dim.	No	Parameter	Value	R.m.s	Dim.
1	Shift dX	-35.213	0.0229	m	1	Shift dX	-33.015	0.0152	m
2	Shift dY	-186.482	0.0229	m	2	Shift dY	-186.925	0.0152	m
3	Rotation about Z	-19.442	1.9000	["]	3	Rotation about Z	-25.229	1.6950	["]
4	Scale	101.435	9.2122	[ppm]	4	Scale	-41.215	8.2172	[ppm]

Tablo 1: Düzce tarafından Bolu tarafına ve Bolu tarafından Düzce tarafına elde edilen dönüşüm parametreleri

Analizi gerçekleştirmek için izlenen bir diğer yol da viyadük ayakları üzerinde bulunan kontrol noktalarının ölçülmesi sonucu elde edilen değerleri kullanarak bir benzerlik dönüşümü gerçekleştirmektir. Söz konusu depremler viyadük güzergahını iki parçaya böldüğünden iki ayrı dönüşüm gerçekleştirilmiştir.

BOLU GEÇİŞİNDE DEPREM SEBEBİYLE MEYDANA GELEN DEFORMASYONLARIN KOORDİNAT DÖNÜŞÜMLERİYLE BELİRLENMESİ

Esra TEKDAL, Rahmi Nurhan ÇELİK, Tefvik AYAN



Şekil 4: Viyadük ayakları üzerinde ölçülen detay noktaları

İlk dönüşümde 1 ile 35 arasındaki ayakların koordinatları kullanılarak, dönüşüm parametreleri elde edilmiş ve bu değerler 1 ile 48 arasındaki viyadük ayaklarının analizi için kullanılmıştır.

Transformation Parameters from Düzce to Bolu Pier 1 to 35				
No	Parameter	Value	R.m.s	Dim.
1	Shift dX	-33.285	0.0007	m
2	Shift dY	-186.815	0.0007	m
3	Rotation about Z	-14.629	0.4647	["]
4	Scale	-78.295	2.2530	[ppm]

Tablo 2: 1 ile 35 nolu ayaklar üzerindeki noktalar kullanılarak elde edilen dönüşüm parametreleri

**BOLU GEÇİŞİNDE DEPREM SEBEBİYLE MEYDANA GELEN
DEFORMASYONLARIN KOORDİNAT DÖNÜŞÜMLERİYLE
BELİRLENMESİ**

Esra TEKDAL, Rahmi Nurhan ÇELİK, Tevfik AYAN

İkinci dönüşümde 49 ile 57 arasındaki ayakların koordinatları kullanılarak, dönüşüm parametreleri elde edilmiş ve bu değerler 49 ile 58 arasındaki viyadük ayaklarının analizi için kullanılmıştır.

Transformation Parameters from Bolu to Düzce Pier 57 to 49				
No	Parameter	Value	R.m.s	Dim.
1	Shift dX	-35.452	0.0013	m
2	Shift dY	-186.704	0.0013	m
3	Rotation about Z	-29.721	2.2753	["]
4	Scale	-94.448	11.0299	[ppm]

Tablo 3: 49 ile 57 nolu ayaklar üzerindeki noktalar kullanılarak elde edilen dönüşüm Parametreleri

Sonuçlar

Mühendislik yapılarında meydana gelen deformasyonların erken aşamalarda belirlenmesi yapının güvenle kullanılabilmesi ve kurtarılabilmesi için çok önemlidir. Bolu dağı çıkışında bulunan iki viyadükte 1999 depremleri sırasında meydana gelen deformasyonların belirlenmesi için çeşitli hesaplamalar ve analizler yapılmıştır.

Çalışma alanında, Bolu Dağı projesi elemanlarının araziye aplikasyonu için 1992 yılında yersel yöntemlerle ED-50 datumunda kurulmuştur. Deprem sonrasında söz konusu ağa ait noktalar GPS yöntemiyle ITRF 96 datumunda yenilenmiştir. Analizleri gerçekleştirmek için yersel yöntemle ölçülmüş ED-50 datumundaki ağa ait koordinatlar iki boyutlu Helmert benzerlik dönüşümü ile ITRF 96 datumuna dönüştürülmüştür.

Yapılan analizler sonucunda özellikle 45, 46 ve 47 nolu ayaklarda diğer ayaklara oranla daha büyük deformasyonlar belirlenmiştir. Çünkü fay kırığı 45, 46 ve 47 nolu ayakların arasında net olarak gözlemlenebilmektedir.

BOLU GEÇİŞİNDE DEPREM SEBEBİYLE MEYDANA GELEN DEFORMASYONLARIN KOORDİNAT DÖNÜŞÜMLERİYLE BELİRLENMESİ

Esra TEKDAL, Rahmi Nurhan ÇELİK, Tevfik AYAN

Ölçmelere bağlı olarak projenin hali hazır durumu detaylı olarak bilinmektedir. Lokal ve yapısal deformasyonların belirlenmesi için yapılan analiz sonuçları ile elde edilen veriler yapının hasar görmüş bölümlerinin onarılarak tekrar eski konumuna getirilmesinin olası olmadığını göstermektedir. Yapının gerçekleştirilen tespitler doğrultusunda yeniden güncellenmesi gerekmektedir.

İnceleme konusu yapı Kuzey Anadolu fayı üzerinde bulunmaktadır. Deprem ile gerilim bir süre için sönmülmüş bile olsa, yeniden aktive olması olasıdır. Bundan dolayı, ülke için önemli bir yapı olan Bolu Dağı Tüneli ve viyadükleri, oluşabilecek yerkabuğu hareketlerine karşı sürekli ve periyodik olarak izlenmelidir.

Kaynaklar

Ayan, T., Çelik, R.N., Gümüşova Gerede Otoyolu Ölçme ve Analiz Raporu, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Jeodezi Anabilim Dalı Cilt 1,2,3.

Barr, J., Sanders, P., Davey, S., 2000. Effect of the 1999 Earthquakes on Seismically Isolated Viaducts on the İstanbul to Ankara Motorway, Turkey. High Point Rendel

Çelik, R.N., Acar, M., Kaplan, M. O., Ayan, T., Benefits of Using Geodetic Approaches for Determining Earthquake Damages on Large Structures, International Symposium “Modern Technologies, Education and Professional Practice In Geodesy and Related Fields” 3-4 November 2005, Sofia

Ghasemi, H., Cooper, J. D., Imbsen, R., Piskin, H., Inal, F., Tiras, A., The November 1999 Düzce Earthquake: Post-Earthquake Investigation of the Structures on TEM. FHWA-RD-00-146, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, 2000, Washington, DC.

Xiao, Y., Yaprak, T. T., Tokgözoğlu, F., 2000. Observations of the November 12, 1999, Düzce Earthquake. University of Southern California, Department of Civil Engineering.

Yılmaz, Ç., Sözen, M., Frosch, R., 2000. Damage to the Bolu Viaduct From Recent Earthquakes.