İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DEPREM SONRASINDA MEYDANA GELEN DEFORMASYONLARIN JEODEZİK YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Esra TEKDAL

Anabilim Dalı : JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ MÜHENDİSLİĞİ

Programı : GEOMATİK MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2007

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DEPREM SONRASINDA MEYDANA GELEN DEFORMASYONLARIN JEODEZİK YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Esra TEKDAL
501051611

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 7 Mayıs 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 13 Haziran 2007

Tez Danışmanı :	**Prof. Dr. Tevfik AYAN**
Diğer Jüri Üyeleri	**Doç.Dr. Ş. Hakan KUTOĞLU (Z.K.Ü)**
	Yard.Doç.Dr. Konuralp GİRGİN (İ.T.Ü.)

HAZİRAN 2007

ÖNSÖZ

"Deprem sonrasında meydana gelen deformasyonların jeodezik yöntemlerle belirlenmesi" adlı çalışmamda değerli bilgi ve görüşlerinden faydalandığım, çalışmam süresince değerli katkıları ile beni yönlendiren değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Tevfik AYAN'a, Doç. Dr. Rahmi Nurhan ÇELİK'e ve Doç. Dr. Ş. Hakan KUTOĞLU'na en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın her aşamasında manevi ve teknik desteğini benden esirgemeyen çalışma arkadaşım Serdar EROL'a ve değerli hocalarım Yard. Doç. Konuralp GİRGİN'e ve Araş Gör. Yavuz DURGUN'a içtenlikle teşekkürlerimi sunuyorum.

Çalışmalarım süresince bana destek veren çalışma arkadaşlarım Caner GÜNEY'e ve Bihter EROL'a da ayrı ayrı teşekkür ederim.

Her an güvenlerini ve manevi desteklerini yanımda hissettiğim aileme, özellikle de annem Nurcihan TEKDAL'a ve (yakında hayat arkadaşım olacak) en büyük destekçim Cihan EMNİYETİ'ye yürekten teşekkür ederim.

Mayıs, 2007 Esra TEKDAL

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR **v**
TABLO LİSTESİ **vi**
ŞEKİL LİSTESİ **vii**
SEMBOL LİSTESİ **viii**
ÖZET **ix**
SUMMARY **xi**

1. GİRİŞ **1**

2. TÜRKİYE'NİN JEODİNAMİK YAPISI **3**
2.1. Yakın zamanda Türkiye'de Meydana Gelen Depremler 3
2.2. 1999 Depremleri ve TEM Bolu Dağı Geçişi 5

3. YAPISAL DEFORMASYONLARIN İNCELENMESİNE GENEL BAKIŞ **6**
3.1. Deformasyon Kavramı 6
3.2. Kontrol Ağları 6
3.3. Deformasyon Modelleri 8
3.3.1. Dinamik model 8
3.3.2. Kinematik model 8
3.3.3. Statik model 8
3.4. Deformasyonların Belirlenmesi 9
3.4.1. Jeodezik Ağların dengelenmesi 10
3.4.1.1. Gauss-Markoff modeli 10
3.4.1.2. Serbest ağ dengelemesi 11
3.5. Datum ve Datum Dönüşümü 13
3.5.1. Datum kavramı 13
3.5.2. İki boyutlu Helmert (benzerlik) dönüşümü 13
3.6. Uyuşumsuz Ölçülerin Belirlenmesi 15
3.6.1. Global model testi 15
3.6.2. τ (Tau) testi 18
3.6.3. t (Student) testi 20

4. İSTANBUL-ANKARA OTOYOLU BOLU GEÇİŞİ **21**
4.1. Viyadük I 22
4.2. Arazi Gözlemleri 23

5. UYGULAMA **27**
5.1. Bölgesel Jeodezik Deformasyon 27
5.1.1. Jeodezik kontrol ağları 27

5.1.1.1. Yatay kontrol ağı 27
5.1.1.2. Poligon ağı 28
5.1.1.3. Sıklaştırma noktaları 29
5.1.1.4. Nivelman ağı 29
5.1.2. Arazi çalışmaları 30
5.1.2.1. GPS ölçmeleri 30
5.1.2.2. Viyadük ölçmeleri 31
5.1.3. Jeodezik altyapının mühendislik çalışmalarındaki önemi 32
5.2. Viyadüğün Yapısal Deformasyonu 33
5.2.1. Deformasyon analizi 33
5.2.1.1. Jeodezik ağın deformasyon amaçlı analizi 33
5.2.1.2. Viyadük I'in analizi 35
5.3. Viyadük Elemanlarının Deformasyonu 36
5.3.1. Viyadük elemanlarında boyut kontrolü 36
5.3.2. Viyadük ayaklarında dönme ve eğilmeler 37
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 44

KAYNAKLAR 47

EKLER 49

ÖZGEÇMİŞ 82

KISALTMALAR

TEM	: Transport European Motorway
Km	: Kilometre
ED-50	: European Datum 1950
GPS	: Global Konum Belirleme Sistemi
WGS 84	: World Geodetic System 1984
3D	: Üç Boyutlu
TUTGA	: Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı
ITRF 96	: International Terrestrial Reference Frame, Epoch 1996
EKKY	: En Küçük Kareler Yöntemi
AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
UTM	: Universal Transversal Merkator
TM	: Transversal Merkator
2D	: İki Boyutlu
mm	: Milimetre
m	: Metre
SLR	: Satellite Laser Ranging
KAF	: Kuzey Anadolu Fayı

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 4.1	Bolu geçişi proje elemanları …….....	21
Tablo 5.1	Yatay ağa ait noktaların tür ve sayıları …….....	28
Tablo 5.2	Poligon ağına ait noktaların tür ve sayıları …….....	29
Tablo 5.3	Sıklaştırma noktalarının tür ve sayıları.....	29
Tablo 5.4	GPS Kampanyaları ….....	30
Tablo 5.5	Reflektörsüz Total Station Özellikleri ….....	31
Tablo 5.6	Viyadük Ayaklarında Meydana Gelen Eğilmeler …….....	38
Tablo 5.7	Viyadük Açıklıklarında Boy Kontrolü ……	43
Tablo A.1	Bolu tarafından Düzce tarafına dönüşüm sonuçları.....	50
Tablo A.2	Düzce tarafından Bolu tarafına dönüşüm sonuçları.....	51
Tablo A.3	İyi dağılmış 4 nokta kullanılarak yapılan dönüşüm.....	52
Tablo A.4	1-35 arasındaki ayaklarla yapılan dönüşüm.....	53
Tablo A.5	57-49 arasındaki ayaklarla yapılan dönüşüm.....	57
Tablo A.6	Viyadük ayaklarında meydana gelen lokal deformasyonlar.....	59
Tablo A.7	Viyadük ayaklarında meydana gelen yapısal deformasyonlar.....	65
Tablo A.8	Viyadük elemanlarında boyut kontrolü ……..	71

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 : Türkiye ve çevresinin tektonik haritası 3
Şekil 2.2 : Kuzey Anadolu Fay hattında görülen depremler..... 4
Şekil 2.3 : Marmara bölgesindeki aktif fayların dağılımı..... 4
Şekil 2.4 : Kasım 1999 depreminde meydana gelen fay kırığı..... 5
Şekil 4.1 : Projenin coğrafi konumu..... 21
Şekil 4.2 : Viyadüğün deprem meydana geldiğindeki durumu..... 22
Şekil 4.3 : Çelik kayıcı arayüz ve enerji sönümleyici birim..... 23
Şekil 4.4 : 46L nolu ayağa ait prekast kirişler..... 24
Şekil 4.5 : 45R nolu ayakta meydana gelen dönme..... 24
Şekil 4.6 : Periyodik hareket sonucu oluşan yerdeğiştirmeler..... 25
Şekil 4.7 : Fay güzergahı..... 25
Şekil 5.1 : Viyadük ayakları üzerinde ölçülen detay noktaları..... 31
Şekil 5.2 : Viyadük elemanlarının boyutları..... 36
Şekil 5.3 : Viyadük temel detayları..... 37
Şekil 5.4 : 45 nolu ayaklarda meydana gelen dönmeler..... 39
Şekil 5.5 : 46 nolu ayaklarda meydana gelen dönmeler..... 40
Şekil 5.6 : 47 nolu ayaklarda meydana gelen dönmeler..... 41
Şekil B.1 : Tablo A.3'teki dönüşüm parametrelerin elde edilmesinde kullanılan noktalar 77
Şekil B.2 : Tablo A.1 ve A.2'deki dönüşüm parametrelerin elde edilmesinde kullanılan noktalar..... 78
Şekil B.3 : 45, 46, 47 nolu ayaklar arasında meydana gelen fay kırığı..... 79
Şekil B.4 : Deprem sonrasında ayaklar arasındaki mesafelerin kontrolü..... 80
Şekil B.5 : Deprem öncesi ve sonrası durumun karşılaştırılması..... 81

SEMBOL LİSTESİ

$\underline{\mathbf{L}}$: Ölçüler vektörü
$\underline{\mathbf{X}}$: Koordinat bilinmeyenleri vektörü
$\underline{\mathbf{A}}$: Düzeltme denklemi katsayılar matrisi
$\underline{\mathbf{X}}$: Koordinat bilinmeyenlerinin dengelenmiş değeri
$\mathbf{t_x}$: x ekseni boyunca öteleme
$\mathbf{t_y}$: y ekseni boyunca öteleme
$\boldsymbol{\varepsilon}$: Dönüklük
k : Ölçek parametresi
a,b : Yardımcı parametreler
$\underline{\mathbf{Q}}_{\mathbf{xx}}$ **:** Bilinmeyenlerin kofaktörler matrisi
N : Ölçü sayısı
$\underline{\mathbf{N}}$: Normal denklem katsayıları matrisi
$\underline{\mathbf{P}}$: Ağırlık katsayıları matrisi

DEPREM SONRASINDA MEYDANA GELEN YAPISAL DEFORMASYONLARIN JEODEZİK YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ

ÖZET

Mühendislik yapılarının tasarlanması aşamasında veya inşaatının tamamlanmasından sonra, çevresel etkilerden veya yapının kullanım durumuna göre üzerine etkiyecek yükler sebebiyle, yapıda ve yapı elemanlarında oluşabilecek geometrik şekil değişikliklerin ve kabuk hareketlerinin saptanması, çökme, heyelan ve buzul hareketlerinin belirlenmesi için yapılan ölçmelere deformasyon ölçmeleri adı verilmektedir. Bu ölçülerin değerlendirilerek deformasyonların saptanması ve yorumlanmasıyla da deformasyon analizi gerçekleştirilmektedir.

Günümüzde deformasyon analizi, son zamanlarda sıkça meydana gelen kabuk hareketleri, şev stabilitesinin bozulması, buzul hareketleri, zemin çökmeleri ve mühendislik yapılarında meydana gelen deformasyonları belirlemek için kullanılmaktadır.

Büyük mühendislik yapılarında meydana gelen deformasyonların belirlemesi günümüzde önemli bir çalışma alanı oluşturmaktadır. Söz konusu mühendislik yapıları pahalı yapılar olduğundan meydana gelen deformasyonların erken aşamalarda belirlenerek önlem alınması yapının tamamen göçmesini engelleyebilmektedir.

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.

12 Kasım 1999 depremi, deprem sırasında inşaat halinde olan, Bolu viyadükleri ve Bolu tüneline ciddi zararlar vermiştir. Zarar gören viyadük, 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.

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.

Bu çalışmada 1999 yılında meydana gelen depremlerin TEM'in (Transport European Motorway) bir parçası olan 114 km'lik Ankara-İstanbul otoyolunun Bolu geçişinde meydana getirdiği hasarlar jeodezik yöntem ve analizler kullanılarak incelenecektir

DETERMINATION OF STRUCTURAL DEFORMATIONS CAUSED BY EARTHQUAKES USING GEODETIC TECHNIQUES

SUMMARY

In the design or the construction stage of the engineering structures, due to the environmental effects or the forces applied on the structure as a result of use, some deformations can be observed. The measurements carried out to determine the geometrical shape changes on the structure or the structural element, determination of the crustal movements, settlement, landslide and the glacier movements are called deformation measurements. The evaluation and interpretation of these observations, in order to determine the deformations is called deformation analysis.

Nowadays deformation analysis is used for, the determination of crustal movements which are frequently seen nowadays, glacier movements, land subsidence, and the deformations that arise in the engineering structures.

The determination of the deformations in large engineering structures in an important subject to work, because these structures are expensive. If the deformation can be observed in the early stages, some precautions can be taken and the structure can be prevented from collapsing.

The crustal movements that come out as a result of earthquakes are the main cause of the deformations in engineering structures. Especially in 1999, the earthquakes that happened because of the movements in the North Anatolian Fault cause damages on many engineering structures.

The earthquake that happened in 12th November 1999, cause serious damage to the Bolu viaducts and tunnel which were under construction. The damaged viaduct, viaduct #1 was nearly complete and the the viaduct #2 was in its foundation construction stage when the second earthquake (12th November earthquake) struck Turkey.

The Bolu viaduct #1, viaduct #2 and the tunnel are a part of the Bolu mountain project that is located in the north central Turkey. The project aims to improve the transportation conditions in the western part of Bolu.

The aim of this study is to investigate the deformation occurred on structures (especially the viaduct #1) of the Bolu pass of 114 km long Ankara-İstanbul motorway, after 17th August Marmara and 12th November Düzce earthquakes

1. GİRİŞ

İnsanlık tarihi kadar eski doğal afetler günümüzde de insan yaşamını derinden etkilemektedir. Hızla gelişen teknolojiler de kimi zaman 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.

Mühendislik yapılarının tasarlanması aşamasında veya inşaatının tamamlanmasından sonra, çevresel etkilerden veya yapının kullanım durumuna göre üzerine etkiyecek yükler sebebiyle, yapıda ve yapı elemanlarında oluşabilecek geometrik şekil değişikliklerin ve kabuk hareketlerinin saptanması, çökme, heyelan ve buzul hareketlerinin belirlenmesi için yapılan ölçmelere deformasyon ölçmeleri adı verilmektedir. Bu ölçülerin değerlendirilerek deformasyonların saptanması ve yorumlanmasıyla da deformasyon analizi gerçekleştirilmektedir.

Günümüzde deformasyon analizi, son zamanlarda sıkça meydana gelen kabuk hareketleri, şev stabilitesinin bozulması, buzul hareketleri, zemin çökmeleri ve mühendislik yapılarında meydana gelen deformasyonları belirlemek için kullanılmaktadır.

Büyük mühendislik yapılarında meydana gelen deformasyonların belirlemesi günümüzde önemli bir çalışma alanı oluşturmaktadır. Söz konusu mühendislik yapıları pahalı yapılar olduğundan meydana gelen deformasyonların erken aşamalarda belirlenerek önlem alınması yapının tamamen göçmesini engelleyebilmektedir.

Depremler, 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.

12 Kasım 1999 depremi sırasında kırılan fay İstanbul-Ankara otoyolunun Bolu dağı kesiminde proje güzergahını kesmiş, inşaat halinde olan viyadüklere ve Bolu tüneline ciddi zararlar vermiştir. Zarar gören viyadük, kasım 1999'da yani ikinci deprem

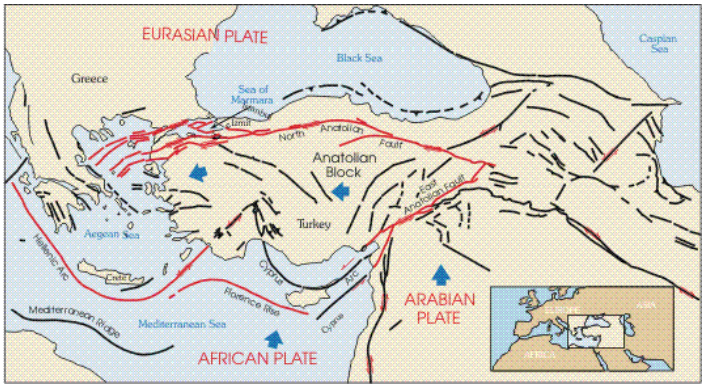
meydana geldiği sırada neredeyse tamamlanmış durumdadır. Proje kapsamında inşaa edilmesi planlanan viyadüklerden diğeri de, temel inşaatı aşamasındadır, ve yapılan gözlemler sonucunda zarar görmediği belirlenmiştir.

Bolu viyadüğü, otoyolun Bolu dağı geçişinin 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.

Bu çalışmada 1999 yılında meydana gelen depremlerin TEM'in (Transport European Motorway) bir parçası olan 114 km'lik Ankara-İstanbul otoyolunun Bolu geçişinde yer alan viyadüklerde deprem sonrası gerçekleştirilen jeodezik ölçmelerle yapının deformasyonlarının saptanması amaçlanmaktadır. Bunun için jeodezik ölçmelerin ve dönüşümlerin tasarımından, viyadük ayaklarının şekil değiştirme, ötelenme gibi hareketleri ile, ayakların olası eğilme, dönme ve burulmalarını ortaya çıkarmaya yarayan yöntemler geliştirilecek ve uygulanacaktır.

2. TÜRKİYE'NİN JEODİNAMİK YAPISI

Yerkabuğu içindeki kırılmalar nedeniyle ani olarak ortaya çıkan titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak geçtiği ortamları ve yeryüzünü sarsma olayı olarak adlandırılan deprem, bulunduğu konum itibariyle Türkiye'de sıkça karşılaşılan afetlerin başında gelmektedir. Şekil 2.1'de de görüldüğü gibi, Türkiye bulunduğu yer itibariyle tektonik plakalar açısından kritik bir bölgededir.



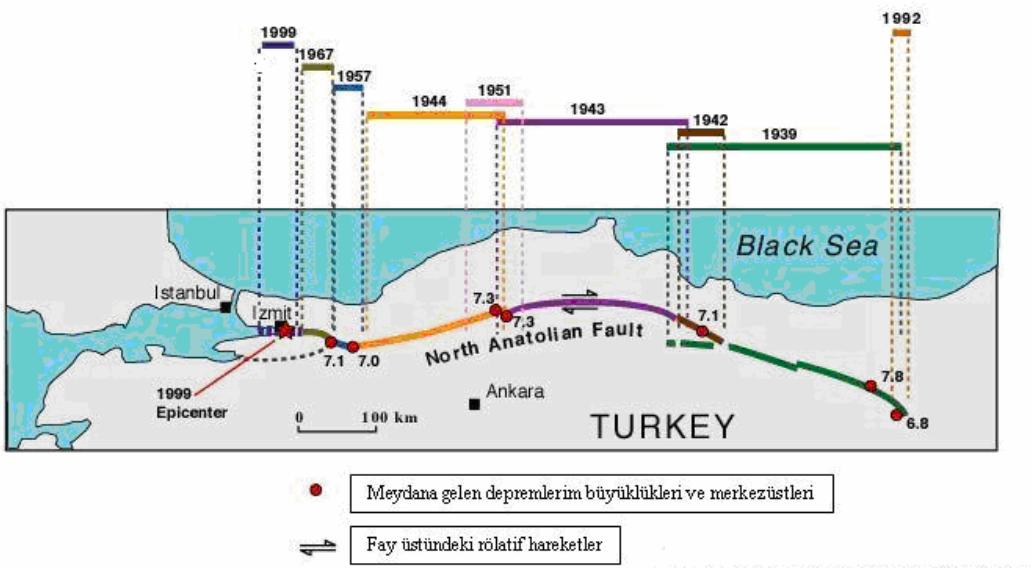
Şekil 2.1: Türkiye ve çevresinin tektonik haritası (Çelik ve diğ. 2005)

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. 1939 ve 1944 yılları arasında batıya doğru hareket gözlenmiştir. Bu yıllar arasında fayın 600 km'lik kısmı kırılmıştır. Fayın güneyinde yer alan Anadolu Bloğu'nun batıya doğru hareketleri daha sonraları yavaşlamıştır. 1957 ve 1967 yıllarında da önceki kırığın devamı olan 100 km'lik kısım kırılmıştır. Fayda, 1963 ve 1964 yıllarında da bu hareketlerin devamı olmayan batıya doğru bir aktivite gözlenmiştir (Yılmaz ve diğ. 2000).

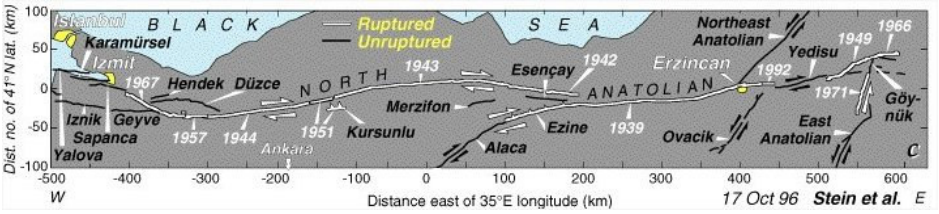
2.1 Yakın zamanda Türkiye'de Meydana Gelen Depremler

1999 yılında Kuzey Anadolu Fay hattındaki hareketliliğin sebep olduğu iki büyük deprem İstanbul-Ankara otoyolunun Bolu geçişi üzerindeki mühendislik yapılarını da etkilemiştir. 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 endüstriyelleşmiş olan batı kısmında meydana gelen en büyük depremlerden bir tanesidir. Şekil 2.2 ve 2.3'te Türkiye'de meydana gelen depremlerin tarihleri ve yerleri görülmektedir.



Şekil 2.2: Kuzey Anadolu Fay hattında görülen depremler (Çelik ve diğ. 2005)



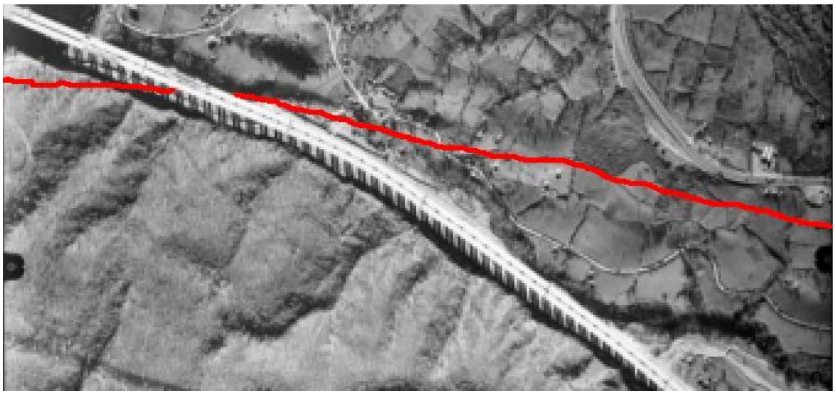
Şekil 2.3: Marmara bölgesindeki aktif fayların dağılımı (Çelik ve diğ. 2005)

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.

2.2 1999 Depremleri ve TEM Bolu Dağı Geçişi

Düzce fayı 1999 Düzce depremini ve Kuzey Anadolu Fayının kuzey kolunu temsil etmektedir. Bu fay Kuzey Anadolu ana fay zonundan Elmalık-Bolu alanında 10 ila 15 kilometrelik karmaşık bir yapı göstererek ayrılmaktadır (Barka ve diğ. 2003).

Proje kapsamında yer alan ve neredeyse tamamlanmış olan viyadük I'de deprem sebebiyle hasarlar meydana gelmiştir, çünkü fay viyadüğü şekil 2.4'te görüldüğü gibi kesmektedir. Fay kırığı viyadüğü iki ayrı parçaya ayırmıştır ve kırığa yakın ayaklarda hasarların meydana gelmesine sebep olmuştur.



Şekil 2.4: Kasım 1999 depreminde meydana gelen fay kırığı (Çelik ve diğ. 2005)

Fayın viyadüğü kesen bölümü yaklaşık olarak doğu-batı doğrultuludur ve viyadüğü 10-15 derecelik açıyla kesmektedir. Düzce Fayı üzerindeki incelemeler, yüzey kırığının 1999 depreminden önceki depremlerde de aynı yerde, benzer atım ve karakterde meydana geldiğini göstermektedir (Barka ve diğ. 2003).

"İnterferometri verileri Kasım 1999 Düzce depremi sırasında derinde 1-1.5 metrelik bir atım olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, fayın bu bölümündeki yerdeğiştirme hali hazırda tamamlanmıştır ve geriye hiç ya da az bir gerilim kalmıştır. 1999 yeraltı yerdeğiştirme miktarları ve ciddi bir atım birikiminin olmayışı verilerine dayanarak Düzce Fayının doğu ucunda, önümüzdeki 50 ila 100 sene içinde büyük bir deprem olmasının beklenmeyeceği görüşüne varılmıştır. Oluşabilecek herhangi bir yerdeğiştirmenin 50 cm'den az olup, muhtemelen 10 ila 20 cm mertebesinde kalacağı sonucuna varılmıştır." (Barka ve diğ. 2003)

3. YAPISAL DEFORMASYONLARIN İNCELENMESİNE GENEL BAKIŞ

3.1. Deformasyon Kavramı

Mühendislik yapılarının tasarlanması aşamasında veya inşaatının tamamlanmasından sonra, çevresel etkilerden veya yapının kullanım durumuna göre üzerine etkiyecek yükler sebebiyle, yapıda ve yapı elemanlarında oluşabilecek geometrik şekil değişikliklerin ve kabuk hareketlerinin saptanması, çökme, heyelan ve buzul hareketlerinin belirlenmesi için yapılan ölçmelere deformasyon ölçmeleri adı verilmektedir. Bu ölçülerin değerlendirilerek deformasyonların saptanması ve yorumlanmasıyla da deformasyon analizi gerçekleştirilmektedir.

Deformasyonların izlenmesinin amacı, genellikle,

- Jeofizik, jeoloji, buzulbilimi ve mühendislik bilimlerinde hipotezlerin kurulması ve ispatlanması
- Mühendislik yapılarının güvenlik ve performansının değerlendirilmesi
- Nüfusun, toprak kaymaları, depremler ve mühendislik yapılarından kaynaklanan felaketlerden korunması
- Madencilik, tünel açma ve benzeri çalışmalar sonucu meydana gelen hasarın nedeninin belirlenmesi

şeklinde özetlenebilir (Caspary, 1988) (Özlüdemir, 1993).

Deformasyonların jeodezik yöntemlerle belirlenmesinde, yersel veya uydu bazlı ölçmeler kullanılarak kurulmuş, kontrol ağlarında yapılan ölçmeler kullanılmaktadır.

3.2 Kontrol Ağları

Jeodezik deformasyon analizine konu bölge ya da yapı, genellikle, tesis edilmiş bir dizi noktayla temsil edilir.

Bu nokta kümesi, yapılan jeodezik ölçmelerle bir jeodezik ağa dönüşür. Bu ağlar genellikle lokal ağlar olarak kurulur ve konumlandırılmaları seçime bağlıdır,

yaklaşık ya da gelişigüzel alınabilirler. Diğer bir deyişle, bu ağların bilinen herhangi bir kot ya da koordinat sistemine bağlı olmaları gerekmez. Bu şekilde kurulan, deformasyonların belirlenmesi amacına yönelik ağlar "Kontrol Ağları" olarak tanımlanır (Ayan, 1982).

Kontrol ağındaki noktaların yerlerinin seçimine, topoğrafyanın veya yapının durumuna göre karar verilir. Ağda olması gereken nokta sayısına ise çalışmaya konu olan yapı veya alan için beklenen deformasyonun olası yeri ve büyüklüğüne göre karar verilir.

Deformasyonun belirlenmesi için kurulan jeodezik ağlar çoğunlukla lokal olarak kurulur, yani bu ağların herhangi global bir koordinat sisteminde olması gerekmez. Bu şekilde kurulan deformasyonların belirlenmesine yönelik ağlar kontrol ağları olarak anılır ve genellikle üç ayrı özellikte noktadan oluşur. Bunlar deformasyon noktaları, stabil noktalar ve yöneltme noktalarıdır (Ayan, 1982).

Deformasyon noktaları çalışma alanı içerisinde veya yapı üzerinde seçilen, mevcut hareketi modelleyebilecek özelliğe sahip noktalardır. Bu noktalarda deformasyonu belirlemek amacıyla farklı zamanlarda ölçme yapılacağı için, nokta üzerine kaybolmayacak bir tesis yapılmalıdır.

Stabil noktalar, çalışma alanı içerisinde veya yapı üzerinde deformasyon meydana gelmeyecek yerlerde seçilirler ve uzun yıllar kalmaları gerektiğinden pilye olarak inşaa edilirler. Deformasyon noktalarının hareketleri, sabit noktalara göre belirlenir.

Yöneltme noktaları, deformasyon noktaları ile sabit noktalardan oluşan ağın merkez kısmının tümden hareketlerini belirlemek ve presizyona katkıda bulunmak amacıyla yöneltmeye yarayan noktalardır (Ayan, 1982). Günümüzde bu noktalar artık pek kullanılmamaktadır.

Kontrol ağları çalışma alanında belirlenmesi planlanan deformasyonun presizyonunu sağlamalı ve kaba ölçü hatalarına karşı duyarlı (güvenilir) olmalıdır.

Genellikle, jeodezik yöntemlerle deformasyon ölçmelerinde noktalara göre iki tip ağ vardır (Ayan, 1982).

- Obje noktalarındaki mutlak yerdeğiştirmeyi belirlemeye hizmet eden ve deformasyon bölgesi dışında olan, ya da öyle kabul edilen, referans noktalarının bulunduğu ağlar,

- Ölçme yapılan bütün noktaların deformasyon bölgesinde olduğu kabul edilen rölatif ağlar.

Birinci durumda, deformasyon analizinin ana problemi, referans noktalarının sabitliğini sağlamak ve mümkün tek nokta hareketlerini belirlemektir. Rölatif ağ durumunda, deformasyon analizi çok daha karmaşıktır, çünkü tek nokta hareketine ek olarak, bütün noktalar çeşitli sebeplerle bağıl harekete maruz kalırlar.

3.3. Deformasyon Modelleri

Deformasyonlar, problemin şekline, kapsamına ve uygulanan ölçme yöntemlerinin türüne göre değişik modeller kullanılarak incelenir; bunlar dinamik, kinematik ve statik modellerdir.

3.3.1. Dinamik model

Bu modelde geometrik değişimler ve deformasyona neden olan kuvvetlerin zamana ve dış etkenlere bağlı olarak değişimi ve birbirleriyle ilişkileri yanında, bu kuvvetlerin deformasyon sonucunu oluşturan dönüşüm fonksiyonu araştırılır.

Dinamik deformasyon modelinde amaç dönüşüm fonksiyonunun saptanması ve nedenleriyle deformasyonların, yer, zaman ve frekans ilişkilerinin ortaya konmasıdır (Ayan, 1982).

3.3.2. Kinematik model

Kinematik modelde noktaların hareketlerinin yönüne ve büyüklüğüne ek olarak hareketin hızları da incelenmektedir. Bir başka deyişle nokta koordinatları zamanın fonksiyonu olarak tanımlanır. Bu model çoğunlukla büyük alanları kaplayan yerkabuğu hareketlerinin izlenmesinde kullanılmaktadır (Başkaya, 1995).

3.3.3. Statik model

Deformasyon incelemesine konu olan bölge veya yapının karakteristik noktalarının, deformasyon vektörlerinin zamandan ve etkiyen kuvvetlerden bağımsız olarak belirlenmesi statik modelin konusudur. Bu modelde tüm sistemin bir kez ölçülmesi sırasında noktaların sabit kaldığı varsayılır. Statik model jeodezik yöntemlerle deformasyon analizinde en çok kullanılan modeldir (Ayan, 1982).

3.4. Deformasyonların Belirlenmesi

Deformasyon analizi sırasında izlenecek adımlar, beklenen deformasyon türüne ve ağın yapısına bağlıdır. Analize sabit noktaların incelenerek hareket etmiş olanların elenmesiyle başlanır. Daha sonra deformasyon modeli kurulur ve ardından oluşturulan model istatistik testlerle kontrol edilir (Ayan, 1982).

Deformasyonların belirlenmesi için bölgeye veya yapıya ait farklı zamanlarda yapılmış ağ ölçülerine ihtiyaç vardır. Ölçülerin yinelenme süresine, çalışma alanında meydana gelebilecek deformasyonların büyüklüğü veya yapı üzerine etkiyecek olan kuvvetlerin değişimi göz önünde bulundurularak karar verilir. Ortaya çıkabilecek minimum deformasyon büyüklüğü ağın geometrik yapısına ve ölçme aletlerinin presizyonuna bağlıdır. Örneğin ±5 mm doğrulukla elde etmeye elveriyorsa, ortaya çıkabilecek deformasyon miktarı hemen hemen ±10 mm düzeyindedir. Bu büyüklükte deplasman meydana gelmeden ağın yineleme ölçüsünün yapılması anlamlı olmaz.

Yapıya etkiyen kuvvetlerin periyodik değişim zamanları deformasyonların yorumlanması için önemli olabilir. Örneğin bir barajda maksimum su seviyesi ve minimum su seviyesi hidrostatik basıncın en çok değişim gösterdiği zamanlardır. Bu gibi durumlar ölçme yineleme zamanının belirlenmesinde etkili olabilir.

Ağda yapılan ilk ölçüler, "Sıfır ölçüsü" veya "Referans ölçüsü" adını alır. Yineleme ölçüleri ise, yineleme sırasına göre adlar alır. 1. yineleme ölçüsü, 2. yineleme ölçüsü gibi, ya da t_o ölçü grubu, t_l ölçü grubu gibi ölçü oluşturulur (Ayan, 1982).

Sıfır ölçüsü ile bir yineleme ölçüsü arasında veya iki yineleme ölçüsü arasında kontrol ağı aynı kalmışsa, yani ağdan bazı noktalar eksilmemiş, ağa bazı noktalar eklenmemiş, ölçü planı değişmemiş ve presizyon aynı kalmışsa kontrol ağı "Univaryant Dizaynlı"dır denir.

Ölçü grupları arasında geçen zaman içinde ağın bazı noktaları kaybolmuş veya ağa yeni noktalar eklenmişse, "I. Derece Multivaryant Dizayn", ağ noktalarının aynı kalmasına karşın ağın ölçü planı, örneğin iki nokta arasındaki ölçü yapma olanağının ortadan kalkmasıyla değişmişse "II. Derece Multivaryant Dizayn"dan sözedilir (Ayan 1982).

Deformasyonların belirlenmesi için çalışmada kullanılan ağ, projenin araziye aplike edilebilmesi için kurulmuştur. Ancak bu ağı bir deformasyon ağı olarak değerlendirecek olursak ağda bazı noktalar kaybolmuş ve yerine yenileri eklenmiş olduğundan I. derece multivaryant ağ söz konusudur.

3.4.1. Jeodezik ağların dengelenmesi

Deformasyon analizine kontrol ağının dengelenmesi ile başlanır, dengelemenin bilinmeyenleri olarak ağ noktalarının koordinatları alınır. Nokta koordinatlarının dengelemenin bilinmeyenleri olarak seçilmesi deformasyonların geometrik gösteriminde ve yorumlanmasında kolaylık sağlar (Ayan,1981).

3.4.1.1. Gauss-Markoff modeli

Dengelemenin yapılabilmesi için, ölçülerle bilinmeyenler arasında matematiksel ilişki yani bir model oluşturulması gereklidir. Gauss-Markoff modeli, fonksiyonel ve stokastik bağıntılardan oluşan lineer bir matematik modeldir.

$$E(\underline{l}) = \underline{A}\,\underline{x} \qquad \textbf{(3.1)}$$

$$E(\underline{\varepsilon}\underline{\varepsilon}^T) = \underline{\Sigma}_{ll} = \sigma_o^{\,2}\,\underline{P}^{-1} \qquad \textbf{(3.2)}$$

ile verilmektedir. Bu model n ölçü sayısı, u bilinmeyen sayısı olmak üzere,

$\underline{l}$: (nx1) boyutlu ölçü vektörü

E(.): Ümit değer operatörü

$\underline{x}$: (uxl) boyutlu bilinmeyen parametreler vektörü

$\underline{A}$: (nxu) boyutlu katsayılar matrisi

$\underline{\varepsilon}$: (nxl) boyutlu gerçek hata vektörü

$\underline{\Sigma}_{ll}$: (nxn) boyutlu ölçülerin varyans kovaryans matrisi

σ_0^2: öncül (a-priori) varyansı

$\underline{Q}_{ll}$: (nxn) boyutlu ölçülerin kofaktörler matrisi

$\underline{P}$: (nxn) boyutlu ölçülerin ağırlık matrisi

$\underline{v}$: (nxl) boyutlu düzeltmeler vektörü

göstermektedir (Caspary, 1988). Bu modelde ölçülerin ümit değeri, bilinmeyen parametreler vektörü $\underline{x}$ ve katsayılar matrisi $\underline{A}$'nın lineer bir kombinasyonu şeklinde ifade edilir. Eğer ilişki lineer değilse Taylor serisine açılarak lineerleştirilir. Ağın güvenirliğini artırmak, deformasyon analizini güvenilir kılmak için ölçü sayısı n, parametre sayısı u'dan yeterince büyük olmalıdır (Erol, 1999) .

n>u olduğundan, E($\underline{l}$) yerine yazılacak $\underline{l}$ ölçü vektörü ile (3.1) eşitliği tutarsız olur. Bu tutarsızlık ölçülere bir tutarsızlık parametresi $\underline{v}$ eklenmesiyle giderilir. Bu durumda fonksiyonel model,

$$\hat{\underline{l}} = \underline{l} + \underline{v} = \underline{A}\,\hat{\underline{x}} \qquad \textbf{(3.3)}$$

şekline girer. Burada ölçüler ve x parametreleri üzerindeki ^ işareti söz konusu elemanların kestirim değeri anlamını ifade etmek için kullanılmaktadır. $\hat{\underline{l}}, \hat{\underline{x}}$, ölçülerin ve bilinmeyenlerin kestirim değerleri, başka bir deyişle dengelenmiş değerleri olup, ümit değerden farklıdır. Ancak ümit değer sağladığı bütün matematiksel bağıntıları sağlama özelliğine sahip, en olasılıklı, ve minimum varyanslı hesap (dengelenmiş) değerleridir.

3.4.1.2. Serbest ağ dengelemesi

Deformasyon analizine kontrol ağının dengelenmesiyle başlanır, uygulanacak dengeleme yöntemi ise hem hata hesaplarına hem de programlama tekniğine en uygun olan dolaylı ölçüler dengelemesidir (Ayan, 1982).

Bu hesap türünde ağda sabit nokta varsayımı yapılmaz, yani bütün ağ noktalarının koordinatları bilinmeyen olarak alınırsa, ağın konumlandırılması mümkün olmaz, başka bir deyişle dış parametreler belirsizdir (Ayan, 1983)**.** Dış parametrelerin belirsizliğine datum defekti ya da bozukluğu denir. Defekt, açı ağlarında 4 (X ve Y eksenleri yönündeki ötelenmeler, bir dönüklük ve ölçek değişimi), açı-kenar ağlarında 3 (X ve Y yönündeki ötelenmeler ve dönüklük), yükseklik ağlarında ise 1 (yükseklik doğrultusundaki ötelenme) dir.

Deformasyon analizinde varsayımlardan mümkün olduğu kadar sakınmak ilkesine uygun olarak, ağın konumlandırılması, yöneltilmesi ve ölçeklendirilmesi yani ağın datumu üzerinde varsayımlara meydan vermeyen ve ağın iç presizyonunu gerçekçi bir biçimde yansıtan serbest ağ dengelemesi uygulanır.

Dengelemenin normal denklemler katsayılar matrisi, $\underline{N}=\underline{A}^T\underline{P}\,\underline{A}$ ve $\underline{n}=\underline{A}^T\underline{P}\,\underline{l}$ ile,

$$\underline{N}\,\underline{\hat{x}} = \underline{n} \qquad \textbf{(3.4)}$$

olmak üzere, ağ serbest dengelenmek üzere tüm nokta koordinatları bilinmeyen olarak alındığında, katsayılar matrisinin rangı r(N), bilinmeyen sayısı u'dan küçüktür ve $\underline{N}$ matrisinin,

$$\underline{N}\,\underline{N}^{-1} = \underline{N}^{-1}\,\underline{N} = \underline{I} \qquad \textbf{(3.5)}$$

Bağıntısını sağlayan Cayley inversi $\underline{N}^{-1}$ yoktur.

Bu yüzden dengelemeye $\underline{v}^T\,\underline{P}\,\underline{v}$ = min ilkesine ek olarak,

$$\underline{x}^T\underline{x} = \text{min (Euclid Normu)} \qquad \textbf{(3.6)}$$

koşulu ileri sürülür. Bu koşulun sağlanması ve (3.6) eşitliğinin çözümü Moore-Penrose invers $\underline{N}^+$ ile olur (Ayan, 1981).

$$\underline{\hat{x}} = \underline{N}^+\,\underline{n} \qquad \textbf{(3.7)}$$

Moore-Penrose invers;

$$\underline{N}\,\underline{N}^+\,\underline{N} = \underline{N}$$

$$\underline{N}^+\,\underline{N}\,\underline{N}^+ = \underline{N}^+ \qquad \textbf{(3.8)}$$

$$(\underline{N}^+\,\underline{N})^T = \underline{N}^+\,\underline{N}$$

$$(\underline{N}\,\underline{N}^+)^T = \underline{N}\,\underline{N}^+$$

koşullarını sağlayan bir genelleştirilmiş inversdir (Ayan, 1982).

Bu inversin hesabı değişik yollarla yapılabilir. Serbest ağlarda $\underline{N}$ normal denklem katsayılar matrisinin rank düşüklüğü dr bilindiğinden, Moore-Penrose inversinin hesabı için bir yol olarak, $\underline{N}$

$$\sum x_i = 0$$

$$\sum y_i = 0 \qquad \textbf{(3.9)}$$

$$\sum(x_i^{\,o}\, y_i - y_1^{\,o} x_i) = 0$$

koşullarının katsayılardan oluşan G matrisi ile genişletilerek,

$$\underline{N}^+ = \begin{bmatrix} N & G \\ G' & O \end{bmatrix}^{-1} \qquad \textbf{(3.10)}$$

önerilebilir. (3.9) eşitliklerinden elde edilen G matrisi açı kenar ağları için

$$\underline{G}^{T}=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & ..... & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & ..... & 0 & 1 \\ -y_1 & x_1 & -y_2 & x_2 & ..... & -y_u & x_u \end{bmatrix} \qquad \textbf{(3.11)}$$

ve yalnız açı ağları için (dr=4)

$$\underline{G}^{T}=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & ..... & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & ..... & 0 & 1 \\ -y_1 & x_1 & -y_2 & x_2 & ..... & -y_u & x_u \\ x_1 & y_1 & x_2 & y_2 & ..... & x_u & y_u \end{bmatrix} \qquad \textbf{(3.12)}$$

olur (Ayan, 1982).

Deformasyon analizinin birinci ilkesi varsayımlardan mümkün olduğu kadar sakınmak, ikinci ilke ise varsayımların test edilmesi gereğidir. Bu nedenle dengelemenin içindeki varsayımlar da test edilmelidir (Ayan, 1982).

3.5. Datum ve Datum Dönüşümü

3.5.1. Datum kavramı

Datum, yeryüzünde jeodezik yöntemlerle ölçülen noktaların hesaplanacağı koordinat sistemine ait parametreleri tanımlamaktadır.

3.5.2. İki boyutlu Helmert (benzerlik) dönüşümü

ED-50 datumundan ITRF'e Benzerlik dönüşümü;

$$\begin{aligned} x_{ITRF} &= t_x + k\cos\varepsilon\, x_{ED50} - k\sin\varepsilon\, y_{ED50} \\ y_{ITRF} &= t_y + k\sin\varepsilon\, x_{ED50} + k\cos\varepsilon\, y_{ED50} \end{aligned} \qquad \textbf{(3.13)}$$

genel eşitliği ile tanımlanır. Burada t_x ve t_y x ve y eksenleri boyunca öteleme, ε dönüklük ve k ölçek parametresidir. Söz konusu eşitlik, $k\cos\varepsilon$=a ve $k\sin\varepsilon$=b kısa gösterimleri kullanılarak

$$\begin{aligned} x_{ITRF} &= t_x + a\,x_{ED50} - b\,y_{ED50} \\ y_{ITRF} &= t_y + b\,x_{ED50} + a\,y_{ED50} \end{aligned} \qquad \textbf{(3.14)}$$

doğrusal hale getirilir. Eşitlik (3.14) doğrusal olduğundan, En Küçük Kareler Yöntemi (EKKY) ile parametre tahmininde doğrudan doğruya kullanılabilir. Parametre tahmini için Eşitlik (3.14), ortak nokta koordinatları kullanılarak, aşağıdaki gibi matris-vektör formunda düzeltme denklemleri şeklinde düzenlenir (Kutoğlu, 2001).

$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & x_{ED50} & -y_{ED50} \\ 0 & 1 & y_{ED50} & x_{ED50} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ a \\ b \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_{ITRF} \\ y_{ITRF} \end{bmatrix}$$

$$\underline{v} \quad = \quad \underline{A} \quad \underline{x} \quad - \quad \underline{l} \qquad \textbf{(3.15)}$$

Her bir ortak nokta, bu eşitliğe iki yeni düzeltme denklemi ilave edecektir. Eşitlikten görüldüğü üzere, oluşan fonksiyonel model Dolaylı Ölçüler Dengelemesini gerektirir. Bu bağlamda aranan dönüşüm parametreleri

$$\underline{Q}_{xx} = \left(\underline{A}^T \underline{A}\right)^{-1} \qquad \textbf{(3.16)}$$

kofaktörler matrisi ile,

$$\underline{x} = \underline{Q}_{xx} \underline{A}^T \underline{l} \qquad \textbf{(3.17)}$$

eşitliğinden elde edilir. Bilinmeyenler vektöründeki a ve b yardımcı parametrelerinden ölçek ve dönüklük parametreleri

$$k = \sqrt{a^2 + b^2} \quad , \quad \alpha = \arctan(b/a) \qquad \textbf{(3.18)}$$

ile bulunabilirler. Elde edilen parametrelerin Eşitlik (3.15)'te yerine koyulmasıyla düzeltmeler bulunur. Bu düzeltmeler yardımıyla birim ölçünün ve bilinmeyenlerin karesel ortalama hataları aşağıdaki gibi hesaplanır (Kutoğlu, 2001):

$$m_0 = \pm\sqrt{\frac{[vv]}{2n-4}} \qquad n = nokta\ sayısı \qquad \textbf{(3.19)}$$

$$m_{xi} = m_0 \sqrt{q_{xxi}} \qquad \textbf{(3.20)}$$

3.6 Uyuşumsuz Ölçülerin Belirlenmesi

Kontrol ağı noktalarının koordinatlarının hesabında kullanılan Gauss-Markof modeli ile dengeleme ölçülerin normal dağılımda oldukları varsayımına dayanır. Deformasyon analizinde her varsayımın test edilmesi ilkesine uygun olarak, ölçülerin normal dağılımda olup olmadıkları test edilmeli, bu dağılıma uymayan ölçülerin ayıklanması sağlanmalıdır. Jeodezi ve Fotogrametri mühendisliğinde bu işleme uyuşumsuz ölçülerin belirlenmesi denir, ve istatistik test yöntemiyle gerçekleştirilir. Çünkü ölçü kümesinin sahip olduğu normal dağılıma girmeyen, kaba hatalı diyebileceğimiz ölçüler de deformasyon sinyali verirler. Bu nedenle bu tür ölçülerin hesap içinde yer almaması için özenle önlem alınması gerekir.

Geleneksel yöntemlerle uyuşumsuz ölçülerin belirlenmesinde, EKK (En Küçük Kareler) kestirim yöntemi kullanılmaktadır. Hesap algoritmasının basit oluşu, gözlemlerle ilgili istatistik dağılımların belirlenmesine gerek duyulmaması, başlangıçta kurulan fonksiyonel ve stokastik modellerin özelliklerinin sonuca ulaşıncaya kadar aynı kalması, varyans-kovaryans dağılımı ve hata istatistiği yönünden basit ve anlaşılır olması EKK kestirim yönteminin sıkça tercih edilmesinin sebeplerindendir.

Uyuşumsuz ölçüler testinde, temel veri ölçünün düzeltmesi v_i'dir. Bir ölçü düzeltmesi ise tüm ölçülerden etkilenmektedir, bu nedenle bir test ile ancak bir ölçünün uyuşumsuz olduğuna karar verilebilir. Sınır değeri aşan en büyük test büyüklüğünün ait olduğu ölçü ölçme planından çıkarıldıktan sonra, dengeleme yenilerek test edilmelidir (Ayan, 1992).

Çok büyük serbestlik derecelerinde test duyarsızlaşmaktadır, bu sebeple dengeleme problemi parçalara ayrılarak uyuşumsuz ölçülerin ayıklanması yoluna gidilmelidir.

3.6.1 Global model testi

Dengeleme sonrasında uygulanan ilk test bilinen dengeleme sonrası (a-posteriori) S_0^2 üzerine yapılan testtir. Bu test, ölçülerin doğruluğu hakkında bir ön bilgi olduğunda, örneğin dengeleme öncesi (a priori) varyans σ_0^2 biliniyorsa, kolayca uygulanabilir.

Global model testi için hipotez olarak, matematiksel modelin, ölçülerle bilinmeyenler arasındaki geometrik ve fiziksel ilişkiler ile ölçülerin stokastik özelliklerini doğru ve eksiksiz olarak tanımladığı ileri sürülür.

Bu hipotezin geçerliliğini test etmek için dengeleme öncesi (a priori) varyansı σ_0^2 ile dengeleme sonrası (a-posteriori) bulunan varyans S_0^2 karşılaştırılır (Erol, 1999). Buna göre model hipotezi doğru ise;

$$H_0 : E(S_0^2) = \sigma_0^2 \qquad \textbf{(3.21)}$$

sıfır hipotezi,

$$H_a : E(S_0^2) \neq \sigma_0^2 \qquad \textbf{(3.22)}$$

alternatif hipozete karşı geçerli olmalıdır. Varyanslar için;

$$T = \frac{S_0^2}{\sigma_0^2} = \frac{v^T P v}{\sigma_0^2} \sim F_{1-\alpha\,;\,f,\,\infty} = \frac{\chi^2_{1-\alpha;f}}{f} \qquad \textbf{(3.23)}$$

dağılımı geçerlidir.

T test istatistiği, f, ∞ serbestlik dereceleri ve 1-∝ istatistik güven ile F dağılımının kritik değerinden ya da f serbestlik derecesi ve aynı istatistik güvenle χ^2 dağılımının kritik değerinin, serbestlik derecesi f 'e bölümünden elde edilen değerden küçük,

$$T = \frac{S_0^2}{\sigma_0^2} < F_{1-\alpha\,;\,f,\,\infty} = \frac{\chi^2_{1-\alpha;f}}{f} \qquad \textbf{(3.24)}$$

ise sıfır hipotezi geçerlidir ve model hatası yoktur sonucuna varılır.

Aksi halde sıfır hipotezi reddedilir ve model hatası olduğuna karar verilir (Başkaya, 1995) (Erol,1999).

Olası hata kaynakları şunlardır:

(a) Fonksiyonel Modelde:

-Harita projeksiyonu (Koordinat Sistemi)
-Alet (Kalibrasyon Parametreleri)
-Gravite alanı
-Refraksiyon modeli
-Zaman faktörü

(b) Stokastik Modelde:

-Öncül (a priori) varyanslar
-Korelasyonlar

(c) Ölçme Verilerinde:

-Kaba ölçü hataları

-Nokta tanımlamalarında yapılan hatalar

-Sabit olmayan noktaların varlığı

-Merkezlendirme hataları

-Yazım veya kaydetme hataları

(d) Hesaplamalarda:

-Programlama hataları

-Girdi hataları

-Yuvarlama hataları

Hata kaynağının belirlenmesi zordur çünkü test de herhangi bir ek bilgi vermez (Caspary,1988) (Erol,1999). Hipotezin reddedilmesine neden olan sebep mutlaka araştırılmalıdır.

Bu amaçla birçok hipotez arasından, kendisi için tatmin edici, ama basit istatistiksel kavramın varolduğu tek hipotez olan konvansiyonel alternatif hipotez seçilir.

H_a: Bir ölçü, sıfır hipotezinin reddedilmesine neden oldu.

Bu durumda kaba hatalara ait Δ vektörü, i'inci ölçünün alınması durumunda;

$$\underline{\Delta} = \underline{e}\ \underline{\Delta}_i \qquad \textbf{(3.25)}$$

formunu alır. i'inci birim vektör (i'inci elemanı l, diğer elemanları 0 olan vektör) $\underline{e}_i$ ve l_i ölçüsünün sabit kaba hatası $\underline{\Delta}_i$ olarak gösterilir. Bu durumda düzeltilmiş ölçüler vektörü;

$$\underline{\tilde{l}} = \underline{l} + \underline{\Delta} = \underline{l} + \underline{e}\ \underline{\Delta}_i \qquad \textbf{(3.26)}$$

olur. Bu eşitlikte; $\underline{\tilde{l}}$, hatasız ölçüler

$\underline{l} = (\underline{\tilde{l}}_n)^T$ içlerinden birisi ($-\underline{\Delta}_i$) kadar kaba hatalı olan ölçüler kümesi

$\underline{e}\ \underline{\Delta}_i = (0, 0, ..., \underline{\Delta}_i, ...,0)^T$ düzeltmeler biçimindedir.

Eğer aşağıdaki düzeltilmiş modelin genel tahmin eşitlikleri:

$$\underline{\hat{\tilde{X}}} = \underline{N}^- \underline{A}^T \underline{P}\ (\underline{l} + \underline{\Delta}) = \underline{\hat{x}} + \underline{N}^- A^T P\ \underline{\Delta}$$

$$\underline{\bar{v}} = \underline{v} - \underline{Q}_v \underline{P} \underline{\Delta} \quad \textbf{(3.27)}$$

$$\underline{\bar{v}}^T \underline{P} \underline{v} = \underline{v}^T \underline{P} \underline{v} + \underline{\Delta}^T \underline{P} \underline{Q}_v \underline{P} \underline{Q}_v \underline{P} \underline{\Delta} - 2\underline{\Delta}^T \underline{P} \underline{Q}_v \underline{P} \underline{v}$$

$$\underline{P} \underline{Q}_v \underline{P} \underline{Q}_v = \underline{P} \underline{Q}_v \; ; \; E(\underline{\bar{v}}) = \underline{0} \; ; \; \underline{A}^T \underline{P} \underline{v} = \underline{0}$$

bu, özel alternatif hipoteze uygulanırsa aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$\underline{\hat{\bar{X}}} = \underline{\hat{x}} + \underline{N}^- \underline{A}^T \underline{P} e_i \underline{\Delta}_i = \underline{\hat{x}} + \underline{N}^- \underline{a}_i p_i \underline{\Delta}_i \quad \textbf{(3.28)}$$

Burada a_i, A^T matrisinin i. kolonunu, pi ise bilinen stokastik modele göre:

$$P = \text{diag}(P_l, P_2, ...P_i, ...P_n) \quad \textbf{(3.29)}$$

l_i ölçüsüne karşılık gelen ağırlıktır.

Düzeltmeler vektörü ise:

$$\underline{\bar{v}} = \underline{v} - \underline{Q}_v \underline{P} \underline{e}_i \underline{\Delta}_i = \underline{v} - q_{vi} p_i \underline{\Delta}_i \quad \textbf{(3.30)}$$

olur. Burada q_{vi} , Q_v matrisinin i'inci kolonudur.

Son eşitlik kaba hataların tespitinin ne derece güç olduğunun göstergesidir. Çünkü, düzeltmeler vektörünün tümü $\underline{\Delta}_i$ hatasından etkilenmiştir (Caspary, 1988).

Ölçülerdeki bu hatalardan kaynaklanan uyuşumsuzlukları ortadan kaldıracak bir çok test bulunmaktadır. Yaygın olarak kullanılan başlıca testler τ (tau) testi ve t testidir.

3.6.2 τ (Tau) testi

Pope tarafından geliştirilen Tau testinde, dengeleme öncesi varyans değeri bilinemiyor ya da güvenilir ve tecrübelere dayanan bir değer verilemiyorsa, uyuşumsuz ölçüler testi için, dengeleme sonrası elde edilen ve hesaplanmasında uyuşumsuz ölçülerin de kullanıldığı varyans S_0^2 kullanılabilir.

Test büyüklüğü

$$\tau_i = \frac{|v_i|}{S_{0vi}} = \frac{|v_i|}{S_0 \sqrt{q_{vivi}}} \sim \tau_{(f)} \quad \textbf{(3.31)}$$

biçiminde verilir. τ_i test istatistiği f serbestlik dereceli τ (tau) dağılımındadır.

t dağılımının tablolarına ulaşabilmek, τ dağılımı tablolarına ulaşabilmekten daha kolaydır. Bu nedenle bazen τ dağılımı değerlerini t-dağılımı değerlerine dönüştürmek veya tam tersi daha yerindedir:

$$\tau_{(f)} = \frac{\sqrt{f}\, t_{(f-1)}}{\sqrt{f-1+t^2_{(f-1)}}} \qquad \textbf{(3.32)}$$

$$t_{(f-1)} = \sqrt{\frac{(f-1)\tau^2_{(f)}}{f-\tau^2_{(f)}}} \quad (\tau^2 < f \text{ için}) \qquad \textbf{(3.33)}$$

böylece t-dağılımına ilişkin tablolar kullanılabilir (Caspary, 1988).

τ testinin sıfır hipotezinde,tüm ölçmelerin E(l)=A x ümit değeri ile normal dağılımda olduğu kabul edilir. Böylece Gauss-Markoff modelinde en küçük kareler tahminine ait düzeltmelerin ümit değeri,

$$H_0 : E(v_i)=0 \quad (i = (1, 2, ..., n)) \qquad \textbf{(3.34)}$$

olur.

Konvansiyonel alternatif hipotez ise;

H_a : Bir düzeltme uyuşumsuzdur olarak verilir.

τ dağılımının kritik değeri c olmak üzere, herhangi bir τ_i'nin c değerinden büyük olma olasılığı,

$$\alpha = P\{\ \tau_{max} > c\ \} = P\{\ \text{Bir ya da daha fazla } \tau_i \geq c\}$$

$$= 1-P\{\ \text{Tüm } \tau_i \leq c\ \} \qquad \textbf{(3.35)}$$

$$= 1-P\{(\tau_1 \leq c)\ n\ (\tau_2 \leq c) \cap .... \cap (\tau_n \leq c)\}$$

ile tanımlanır. τ_i değerleri korelasyonsuz ve benzer dağılımda kabul edilirse,

$$\alpha = 1-[P\{\tau i \leq \}]^n = 1-(1-\alpha_o)^n \qquad \textbf{(3.36)}$$

sonucu elde edilir. Buradan, τ_i değerlerinin herhangi birinin c'den büyük olma olasılığı,

$$\alpha_o = 1-(1-\alpha\ )^{1/n} \cong \frac{\alpha}{n} \qquad \textbf{(3.37)}$$

olarak bulunur.

Test istatistiği değerlerinden en büyüğü τ_{max} serbestlik derecesi f, ölçü sayısı n ve (3.37) eşitliğinden bulunacak α_o yanılma olasılığı ile belirlenecek,

$$c = \tau_{1-\alpha o;\, f} \qquad \textbf{(3.38)}$$

değerinden büyük ya da bu değere eşitse, yani;

$$\tau_{max} \geq c \qquad \textbf{(3.39)}$$

ise ilgili ölçünün uyuşumsuz olduğuna karar verilir. Bu ölçü atılır, ya da yeniden ölçülür. Bu işleme uyuşumsuz ölçü kalmayana dek devam edilir.

Bağıntılarda kullanılan α, tüm ölçülere ait yanılma olasılığıdır. Tekil ya da tek boyutlu testin yanılma olasılığı ise α_0'dır. Ölçü sayısı çok olduğunda (3.37) eşitliği ile belirlenen α_0 çok küçük çıkabilir ve tekil test duyarlı olmaz. Bu durumda tekil test için geçerli yanılma olasılığı α_0'ı sabit almak ve gerekirse toplam olasılık α'yı buna göre hesaplamak uygun olur. Ya da bu sakınca, incelenecek ağ küçük bölümlere ayrılarak giderilir (Erol, 1999).

3.6.3 t (Student)-testi

İncelenen ölçünün tüm düzeltmeler toplamı Ω içindeki payı çıkarılırsa bu ölçünün hatasından arınmış olarak elde edilen dengeleme sonrası varyans S_1^2 ile yukarıda verilen testlere benzer biçimde i'inci ölçü için test istatistiği;

$$t_i = \frac{|V_i|}{S_{1vi}} = \frac{|V_i|}{S_1\sqrt{q_{vivi}}} = |V_i|\sqrt{\frac{f-1}{\Omega q_{vivi} - V_i^2}} \sim t_{(f-1)} \qquad \textbf{(3.40)}$$

oluşturulabilir. Bu test istatistiği, (f-1) serbestlik dereceli t dağılımındadır. t_i test büyüklüklerinin en büyüğü t_{max} serbestlik derecesi (f-1) ve (3.37) eşitliğinden bulunacak α_0 yanılma olasılığı ile hesaplanacak,

$$t_{1-\frac{\alpha_0}{2};(f-1)} \qquad \textbf{(3.41)}$$

kritik değerinden büyükse ilgili ölçü uyuşumsuz sayılarak işleme katılmaz ya da yeniden ölçülür. Dengeleme işlemine uyuşumsuz ölçü kalmayana dek devam edilir (Erol, 1999).

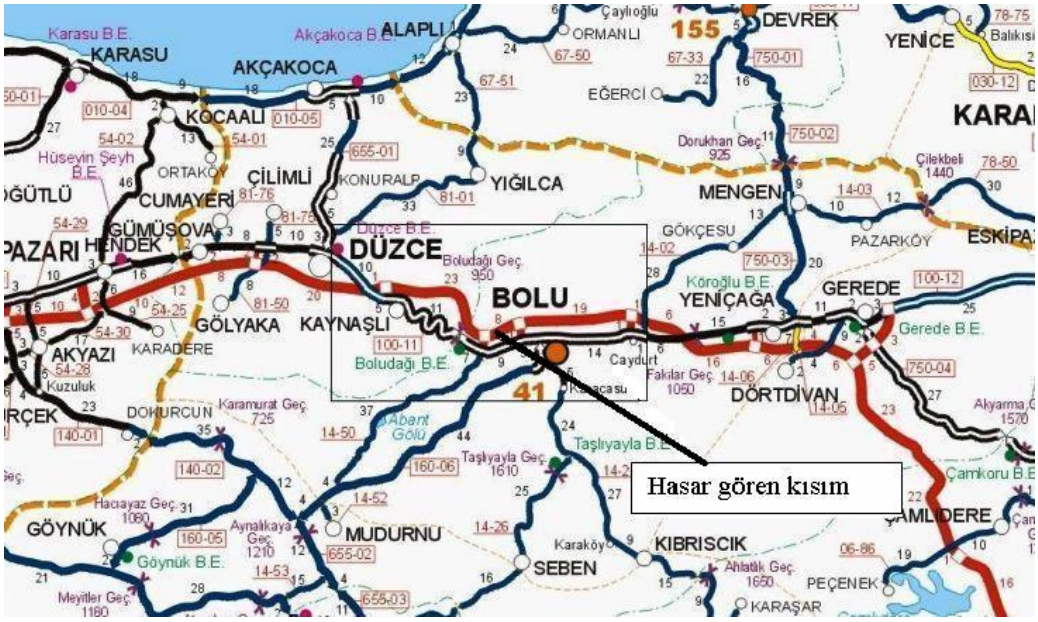
4. İSTANBUL-ANKARA OTOYOLU BOLU GEÇİŞİ

Vadi geçişlerinde, yüksek dolgular yerine yapılan yüksek ayaklı köprü veya yükseltilmiş yollara viyadük denir. 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.

Tablo 4.1: Bolu geçişi proje elemanları

	Viyadük I	**Viyadük II**	**Tünel**
Uzunluk (m)	2313	3559	3321
Genişlik (m)	2x17.5	2x17.5	12
Toplam Ayak sayısı	58-59	78	-
Maksimum Ayak yüksekliği (m)	49	48	-
Maksimum Açıklık (m)	39.6	39.6	-
Ayak temeli	1.8m çapında 12 adet sürtünme kazığı	1.8m çapında 12 adet sürtünme kazığı	-

Bolu dağı projesi Türkiye'nin kuzey orta bölümünde yer almaktadır, ve Bolu'nun batı kısmındaki ulaşım koşullarını iyileştirmek üzere gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.1: Projenin Coğrafi Konumu

4.1. Viyadük I

1999 depremi öncesinde neredeyse tamamlanmış olan ve Şekil 4.2'de görülen Viyadük I önemli derecede hasar görmüştür. Yapıda meydana gelen hasarlar deprem dolayısıyla meydana gelmiştir.



Şekil 4.2: Viyadüğün deprem meydana geldiğindeki durumu (Xiao ve diğ. 2000)

Viyadük I'in projelendirilmesi sırasında, 1990 yılı AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) sismik tasarım yönetmeliği ile izolasyon sisteminin tasarlanması için İtalyan Yönetmelikleri kullanılmıştır.

Viyadük açıklıkları çelik kayıcı arayüzlerin üzerine oturan, yedi adet öngermeli prekast kirişten oluşmaktadır. Çelik kayıcı arayüzler, hem ayaklara hem de prekast kirişlere epoksi ile birleştirilmiştir. Burada amaç prekast kirişlerin ayaklar üzerindeki hareketini kolaylaştırmaktır.

Her on açıklıkta bir genleşme derzleri için yer bırakılmıştır. Viyadük ayakları yerinde döküm betonarme tekil kolonlar şeklindedir ve deprem sırasında sünek davranış sergileyebilmeleri için tasarlanmışlardır. Sünek elemanlar yaptıkları deformasyonlarla deprem enerjisini yutarak yapının göçmesini engellerler (Gerçek, 2003).

Viyadükte, termal ve sismik etkiler sonucu meydana gelecek olan boyuna etkileri karşılaması için her ayak başlığına Şekil 4.3'te görülen enerji sönümleyici birimler yerleştirilmiştir.



Şekil 4.3: Çelik kayıcı arayüz ve enerji sönümleyici birim (Ghasemi ve diğ. 2000)

Enerji sönümleyici birim sırasıyla alt ve üst yapıya bağlıdır ve eğer üst yapı alt yapıya göre rölatif bir hareket yapacak olursa deforme olarak enerjiyi sönümlerler. Ayrıca her beş ayakta bir piston ve her on açıklıkta bir bırakılan genleşme derzine de, meydana gelebilecek etkiler sonucunda kirişlerin kayarak mesnetlerinden düşmesini engellemek için kablo şeklinde tutucular yerleştirilmiştir.

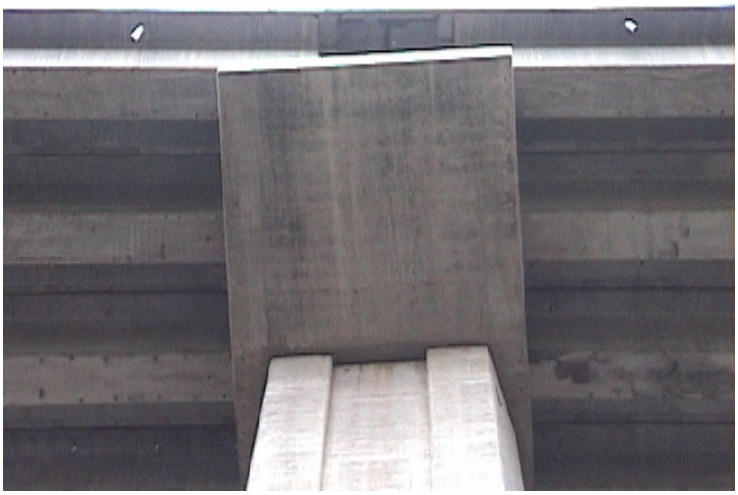
Özetle normal şartlar altında (ör: termal genleşme), deprem ve buna benzer etkiler sebebiyle meydana gelebilecek viyadük hareketi çelik kayıcı arayüz ve piston tarafından kontrol edilen enerji sönümleyici birim tarafından sağlanmaktadır. Dizayn şiddetindeki depremde (0.4g), piston kilitlenerek her on açıklıktaki tüm enerji sönümleyici birimleri engelleyerek altyapıya gelen kuvveti azaltır. Ancak 1999 yılında meydana gelen deprem sırasında maksimum yer ivmesi 0.8g olarak ölçülmüştür ve bu değer tasarım değerinin iki katından da fazladır.

4.2. Arazi Gözlemleri

Bölüm 2'de de bahsedildiği gibi Kuzey Anadolu Fay hattı viyadük güzergahını kesmektedir. Viyadüğün fay hattı üzerinde olması sebebiyle, meydana gelen ivme tasarım ivmesinden çok büyük olmuştur ve bunun sonucunda enerji sönümleyici birimler çalışamaz hale gelmiştir. Prekast kirişler de takozların üzerinden kaymış ve ayaklar üzerinde dönmüşlerdir. Tüm bu hareketler sonucunda hiçbir kiriş oturduğu ayağın üzerinden yere düşmemiştir.



Şekil 4.4: 46L nolu ayağa ait prekast kirişler (Yılmaz ve diğ. 2000).



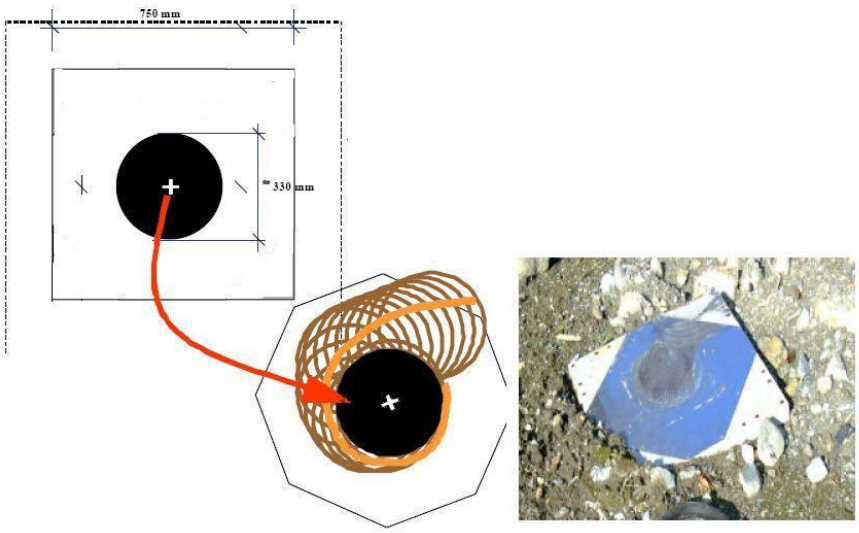
Şekil 4.5: 45R nolu ayakta meydana gelen dönme (Yılmaz ve diğ. 2000).

Yapılan ölçme ve gözlemler sonucunda şu sonuçlara varılmıştır.

-Deprem sırasında gelen ileri ve geri hareketler nedeniyle prekast kirişler mesnetleri ve çelik kayıcı arayüz üzerinden ötelenmişlerdir.

-Faya yakın ayaklarda hareket sebebiyle çelik kayıcı arayüz ile ayak başlıkları ve prekast kirişler arasındaki epoksi bağı kopmuştur.

- Depremden dolayı oluşan periyodik hareket sonucunda hemen hemen tüm çelik kayıcı arayüzler şekil 4.6'da görüldüğü gibi bir "9" hareketi gerçekleştirmiştir.



Şekil 4.6: Periyodik hareket sonucu oluşan yerdeğiştirmeler (Ghasemi ve diğ. 2000)

-Prekast kirişlerin oturduğu mesnetlerin yer değiştirme kapasitesi ±210 mm iken enerji sönümleyici arayüzün yer değiştirme kapasitesi ±320 mm. Dolayısıyla enerji sönümleyiciler optimum performansa ulaşamamışlardır (Ghasemi ve diğ. 2000).

-Çelik kayıcı arayüz üzerindeki üst yapının ağırlığı alt yapıya göre daha fazla olduğundan alt yapının hareketine tam uyum sağlayamamıştır. Ve enerji sönümleyici birimler de üst yapının hareketini kontrol edememişlerdir.

-Fay güzergahı Şekil 4.7'de olduğu gibi 45,46,47 nolu ayaklar arasında net olarak görülebilmektedir.



Şekil 4.7: Fay güzergahı (Yılmaz ve diğ. 2000)

Özet olarak üst yapının alt yapıya göre belirgin hareketi sonucunda enerji sönümleyici birimler ve mesnette hasarlar meydana getirmiştir. Yapı göçmediyse de ciddi hasarlar meydana gelmiştir. Projenin eski haline gelmesi mümkün değildir, dolayısıyla jeodezik ölçme ve değerlendirmeler sonucu elde edilen bilgilere göre proje revize edilmelidir (Ayan ve Çelik, 2000).

5. UYGULAMA

4. bölümde bahsedilen İstanbul Ankara Otoyolunun Bolu geçişinde depremler sonucu meydana gelen deformasyonların incelenmesi için çeşitli stratejiler izlenmiştir.

5.1. Bölgesel Jeodezik Deformasyon

5.1.1. Jeodezik kontrol ağları

Bu projenin başında, projeyi araziye aplike 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 değiştirmişlerdir, o halde tüm jeodezik ağın da hasarına neden olmuştur, çünkü fay jeodezik ağı en az iki parçaya ayırmıştır. Sonuç olarak projenin devamı için yeni bir jeodezik ağa gereksinim vardır. Buna ek olarak, arazide varolan projeye ait diğer yapıların da bu yeni ağın kontrol noktaları ile ilişkilendirilmesi gerekmektedir (Ayan ve Çelik, 2000).

5.1.1.1 Yatay kontrol ağı

Türkiye'de tüm jeodezik çalışmaların altlığı olan bir ulusal yatay jeodezik ağ mevcuttur. Bu ağın datumu ED-50 ve elipsoidi Uluslararası Hayford'dur. Bu ağın kontrol noktalarının koordinatları resmi daireler tarafından iki farklı projeksiyonda sağlanmaktadır: Universal Transversal Merkator (UTM) veya Transversal Merkator (TM). Bu projeksiyonlar Gauss-Krüger projeksiyonları olup biri 6^o diğeri $3^{o'}$lik dilim genişliğine sahiptir. Bunlara ilişkin koordinatlar birbirine dönüştürülebilmektedir. Bununla beraber, koordinatların tipi, özellikle her iki projeksiyon için dilim orta meridyenleri çakışık olan bölgelerde, bilinmelidir, çünkü bu durumda koordinatlar kolayca karşılaştırılabilmektedir. Bu konunun üzerinde durulmasının nedeni projenin uygulandığı alanda hangi projeksiyonun kullanıldığının net olmaması ve deprem

öncesinde kurulan jeodezik ağa ait belgelerde bu özelliğe ait bilgi bulunmamasıdır (Ayan ve Çelik, 2000).

Depremden sonrası ilk incelemeler Kuzey Anadolu Fay Hattı boyunca Doğudan Batıya 2 ile 4 metre arasında zemin hareketleri göstermektedir. O halde proje başlangıcında tesis edilen jeodezik ağın da deforme olması doğaldır. Sonuç olarak bu ağa ait tüm kontrol noktaları GPS teknikleriyle tekrar ölçülmüştür.

GPS in kontrol noktalarına 3D konum bilgisi sağlamasına karşın, 2D koordinatlar ele alınarak bir önceki ağ ile karşılaştırmalar yapılmıştır; GPS teknikleri ile ölçülen yeni ağın gelecekteki kullanımı 3D olarak düşünülmelidir. Diğer yönden, GPS'in farklı bir datumu ve elipsoidi olduğu da göz ardı edilmemelidir. Dolayısıyla bu jeodezik ağa yapılacak ek ölçmeler veya bağlantılar ülke sisteminde değil bu sistemde yapılmalı veya bu sisteme indirgenmelidir.

Yeni jeodezik ağ, ulusal GPS ağı olan TUTGA'ya YIĞILCA olarak isimlendirilen istasyon noktasından bağlanmıştır. Bu istasyon aynı zamanda uydulara laser ölçmesi yapılmak için kullanılan bir SLR (Satellite Laser Ranging) istasyonudur. YIĞILCA Türkiye'de bulunan beş SLR istasyonundan biridir. Bu istasyonun koordinatları ITRF96 sistemindedir. Bu bağlantı GPS kullanıldığında yüksek doğrulukta mutlak konum getirmekte ve yeni jeodezik ağın Türkiye Ulusal GPS ağına bağlanarak global olarak tanımlanmasını sağlamaktadır.

Yeni jeodezik ağda toplam 73 kontrol noktası vardır. Bu kontrol noktalarının 13 tanesi önceki jeodezik ağ ile ortaktır ve 32'si yeni tesis edilmiş kontrol noktasıdır.

Tablo 5.1: Yatay kontrol ağına ait noktaların tür ve sayıları (Ayan ve Çelik, 2000)

Nokta Türü	Nokta Sayısı	Ölçme Tekniği
TUTGA + SLR İstasyonu	1	GPS
Ortak Noktalar	13	GPS
Yeni Noktalar	32	GPS
Toplam	**46**	

5.1.1.2 Poligon ağı

Viyadük ayaklarının aplikasyonu için tesis edilmiş poligon ağı da deprem sırasında zarar görmüştür, bu sebeple yenilenmesi gerekmektedir. Poligon noktalarının koordinatları GPS teknikleri kullanılarak üç boyutlu olarak ölçülmüştür. Ancak poligon ağı noktaları proje başlangıcında tesis edilirken yersel ölçme yöntemleri

kullanılarak iki boyutlu olarak ölçülmüştür ve ED50 datumunda koordinatlandırılmıştır. İki boyutlu koordinat bilgilerine ek olarak, presizyonlu nivelmandan elde edilen yükseklik bilgileri deprem öncesi tesis edilen ağın üç boyutlu olarak değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır (Ayan ve Çelik, 2000).

Başlangıçta poligon noktalarının ayakların deplasmanlarının belirlenmesinde kullanılması düşünülmüştür. Poligon noktaları, konumları ve tesis türleri itibariyle hareket etmeye müsaittirler ve ayaklardaki deplasmanın belirlenmesinde kullanılamazlar. Sayıca da yetersiz olduklarından kaybolan ve hasar gören poligon noktaları yerine yeni poligon noktaları tesis edilmiş ve bu noktalar bölgesel düşey yerdeğiştirmelerin belirlenmesinde kullanılmışlardır.

Tablo 5.2: Poligon ağına ait noktaların tür ve sayıları (Ayan ve Çelik, 2000)

Kontrol noktası türü	**Nokta sayısı**	**Ölçme tekniği**
Ortak noktalar	30	GPS
Yeni noktalar	61	GPS
Toplam	**91**	**GPS**

5.1.1.3 Sıklaştırma noktaları

Proje başlangıcından itibaren kullanılan nirengi ve poligon noktaları doğal olaylar sonucunda veya inşaat esnasında ve benzer sebeplerden dolayı kaybolmuş veya hasar görmüştür. Kaybolan ve zarar gören noktaların yerine yeni noktalar tesis edilmiştir.

Tablo 5.3: Sıklaştırma noktalarının tür ve sayıları (Ayan ve Çelik, 2000)

Nokta Türü	**Nokta Sayısı**	**Ölçme Tekniği**
Kontrol Noktası	32	GPS
Poligon Noktası	61	GPS
Toplam	**93**	**GPS**

5.1.1.4 Nivelman ağı

Jeodezik noktalar GPS ile koordinatlandırılmış olmasına rağmen, noktaların deniz yüzeyinden olan yüksekliklerini elde edebilmek için bir nivelman ağı tesis edilmiştir. Çünkü GPS deniz yüzeyinde olan yükseklikleri değil elipsoidal yükseklikleri vermektedir. Türkiye'nin ulusal yükseklik sisteminin referansı ortalama deniz yüzeyini ifade eden geoiddir.

Jeodezik ağ noktalarının yüksekliklerini bulmak için öncelikle RS'ler arasında presizyonlu nivelman gerçekleştirilmiştir. Daha sonra RS'lerden geometrik nivelmanla ağ noktalarına kot taşınmıştır. Sonuçlar aynı zamanda çalışma alanında deprem sonrası oluşan yükseklik değişiminin analizinde kullanılmıştır.

5.1.2 Arazi çalışmaları

4 Ocak 2000 ve 1 Mart 2000 tarihleri arasında gerçekleştirilen arazi çalışmaları sırasında GPS ölçmeleri, viyadük ölçmeleri ve nivelman ölçmeleri gerçekleştirilmiştir.

5.1.2.1 GPS ölçmeleri

GPS gözlemleri tüm nirengiler ve bir çok poligon noktasında yapılmıştır. Tüm GPS kampanyasında 7 çift frekanslı GPS alıcısı kullanılmıştır. Her bir GPS oturumunda 3 nokta referans istasyonu olarak, diğerleri de gezici istasyon olarak kullanılmıştır. Nirengi noktalarının GPS gözlemlerinde bir saatin üzerinde oturumlar yapılmıştır. Referanslarla gezici alıcılar arasındaki ortalama mesafe 20 km nin altındadır. Benzer uzaklıklardaki GPS gözlemleri için 20 dakikalık ölçme süresiyle yeteri doğrulukta konum elde etmek mümkündür. Ancak söz konusu çalışma deformasyon belirlemeye yönelik olduğundan yani rutin bir haritalama çalışması olmadığından, süreleri olması gerekenin üzerinde alınmıştır. Benzer yaklaşım poligon ölçmelerinde de uygulanmıştır.

Ek olarak ayrı bir GPS kampanyası prezisyonlu mutlak GPS konumunu bulmak ve ağı TUTGA+SLR noktasına bağlamak için yapılmıştır. Bu kampanyalardan biri YIĞILCA noktası üzerinde olan ve diğer dördü GPS ağında iyi dağılmış noktalar üzerinde 5 çift frekanslı GPS alıcısı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu kampanyada oturum süresi yaklaşık olarak dört saatir. Tablo 5.4 GPS kampanyasını ve oturum sürelerini göstermektedir.

Tablo 5.4: GPS Kampanyaları (Ayan ve Çelik, 2000)

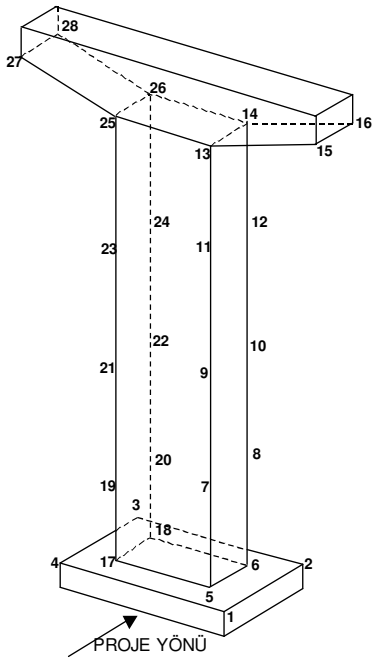
GPS Kampanyası	Oturumdaki referans nokta sayısı	Oturum sonunda ölçülen nokta	Ölçme süresi
TUTGA bağlantısı	1	4	> 4 saat
Kontrol noktaları	3	5	> 1 saat
Poligon noktaları	2	5	≈ 1 saat

5.1.2.2 Viyadük ölçmeleri

Viyadük I ölçmeleri yüksek teknoloji içeren reflektörsüz total station'lar kullanılarak yapılmıştır. Bu total stationlar kullanılarak 100 metreye kadar reflektörsüz detay ölçmeleri yapılabilmektedir. Tablo 5.5'te özellikleri görülen reflektörsüz total station'lar kullanılarak her bir viyadük ayağı üzerinde şekil 5.1'de görülen 28 detay noktası ölçülmüştür. Bu noktaların sayısı ayakların deplasmanlarının belirlenmesi için söz konusu eleman sayısından fazladır. Bununla beraber ölçme hatalarına karşı ayaklar üzerindeki ölçmeye elverişli tüm noktalar ölçülmüştür.

Tablo 5.5: Reflektörsüz Total Station Özellikleri (Ayan ve Çelik, 2000)

	LEICA TCR1101 Elektronik Total Station	**LEICA TCA1800 Motorize Total Station**
Açı Ölçmesi	0.1 mgon, 1"	0.1 mgon, 1"
Uzunluk Ölçmesi	2 mm + 2 ppm	1 mm + 2 ppm



Şekil 5.1: Viyadük ayakları üzerinde ölçülen detay noktaları

Detay ölçmelerini gerçekleştirmek için sağ ve sol viyadük ayaklarının ortasına poligon güzergahı tesis edilmiştir. Bu güzergah ölçme hatalarını ve hata yayılmasını minimize etmek için GPS poligon noktalarına bağlanmıştır. Bu güzergah önce yersel

teknikler kullanılarak ölçülmüştür ve bu noktaların koordinatları bulunmuştur. Geometrik nivelman yapılarak poligon noktalarının yükseklikleri bulunmuştur. Daha sonra bu poligon noktalarından ayaklar üzerindeki detay noktaları ölçülmüştür. Bu ölçmeler 3D olarak değerlendirilmiştir. Böylelikle değerlendirme sonunda her bir noktaya ait 3D koordinatlar bulunmuştur.

Soğuk hava ve don yüzünden viyadük üzerindeki detay noktalarının ölçmesi oldukça zor olmuştur. Çünkü çoğunlukla viyadük ayaklarının köşe ve kenarları buzla kaplanmıştır. Buna rağmen ölçmeler yapılmış ve tamamlanmıştır. Ek olarak, bir çok viyadük ayağı toprağa gömülüdür.

Ayakların bu bölümleri ekskavatörün toprakla kapalı bölümleri açması sonucunda ölçülebilmiştir. Bazı ayakların alt kısmında bulunan kenar ve köşeler belirgin değildir. Bu tür köşeleri ölçmek için bir çeşit gönye üretilmiştir. Bu gönye kullanılarak köşelerin yeri bulunmuş ve ölçmeleri yapılmıştır.

5.1.3 Jeodezik altyapının mühendislik çalışmalarındaki önemi

Köprü, baraj, tünel, demiryolu ve metro gibi mühendislik yapıları, jeodezik veri veya uydu görüntülerinden elde edilen haritalar üzerinde projelendirilirler. Mühendislik yapılarının her türlü yapım aşamasında jeodezik altyapı hayati önem taşımaktadır. GPS ağları, yatay jeodezik ağlar ve düşey jeodezik ağlar jeodezik altyapıyı oluşturmaktadır (Çelik ve diğ. 2000).

Mühendislik yapılarında jeodezik altyapının önemi ikiye ayrılabilir. İlk olarak mühendislik yapısının ulusal önem ve konum açısından değerlendirilmesidir. Bu tür projeler ulusal düzeyde düşünüldüğünden, planlama aşamasında söz konusu projenin diğer ulusal yapılarla bağlantılarının kurulması gerekmektedir. Proje yerinin belirlenmesin de çok dikkatli davranılmalıdır. Çünkü bu tür yapıların tamamlanma süreleri uzun, maliyetleri de fazla olmaktadır.

Jeodezik altyapının ikinci önemi ise, mühendislik yapısının güvenli bir yere, güvenli bir şekilde inşaa edilmesidir. Yapıların araziye aplikasyonu jeodezik ağlarla belirlenen üç boyutlu koordinatlarla yapılmaktadır. Üç boyutlu jeodezik ağlar sadece projenin araziye aplikasyonu için kullanılmamaktadır. Ayrıca inşaatın her aşamasında proje koordinatları ile araziye aplike edilen koordinatların karşılaştırılmasında kullanılmaktadır. Bunlara ek olarak jeodezik ağlar

deformasyonların gözlenmesinde ve kabuk hareketlerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır (Çelik ve diğ. 2000).

5.2 Viyadüğün Yapısal Deformasyonu

5.2.1 Deformasyon analizi

Deformasyon analizi iki bölümde ele alınmıştır çünkü viyadüğü bir bütün olarak bu çalışma kapsamında inceleme imkanımız yoktur. İlk analizde mevcut jeodezik ağ ile yeni GPS ağı arasında farklı dönüşüm stratejileri kullanılarak deformasyonlar belirlenmeye çalışılmıştır. İkinci analizdeyse, viyadük ayakları üzerindeki detay noktaları kullanılarak bir dönüşüm stratejisi geliştirilmeye çalışılmıştır.

5.2.1.1 Jeodezik ağın deformasyon amaçlı analizi

Meydana gelen depremler sonucunda çalışma alanında bulunan ve viyadüğün aplikasyonunda kullanılan ağlar en az iki parçaya bölünmüştür. Söz konusu ağların bu halleriyle tekrar kullanılmaları mümkün değildir. Ancak ağın kuzey ve güney kısmına ait noktaları kendi aralarında süreklilik gösteriyorlarsa, ayrı ayrı kullanılabilirler. Aynı zamanda henüz inşaat aşamasında olan Viyadük II'nin aplikasyonda kullanılmak ve Viyadük I'deki deformasyonları belirlemek için ağa ait noktalarla mühendislik yapıları arasında bağlantı ölçüleri yapılmıştır.

Yeni GPS ağı ile önceki ağ arasında ilişki kurabilmek için, iki ağda da ortak olan noktalar kullanılarak 2D Helmert dönüşümü yapılmıştır. Yapılan dönüşüm sonucunda kuzey ve güney bölümler arasında tutarlılık olmadığı görülmüştür. Buna bağlı olarak koordinat transformasyonu Doğudan-Batıya ve sonra da Batıdan-Doğuya doğru olacak biçimde, farklı stratejiler kullanılmıştır.

Dönüşüm hesaplarında doktora çalışmaları sırasında Doç. Dr. Ş. Hakan Kutoğlu tarafından geliştirilen program kullanılmıştır. Dönüşüm hesaplarında elde edilen parametreler sırasıyla t_x ve t_y , X ve Y eksenleri boyunca öteleme, α dönüklük, k ölçek parametresi, a ve b'de yardımcı parametrelerdir. Düzeltmeler X ve Y koordinatlarına getirilen düzeltmeleri ifade etmektedir. Güvenirlik değeri de dönüşüme katılan nokta koordinatlarının kullanılabilir olup olmadığını belirlemektedir. Elde edilen güvenirliklerin 0,40-0,50 seviyelerinin altında kalmamasına özen gösterilmiştir. t-testi ve Pope (tau) testi parametrelerinin ve

dönüşüme eklenen ölçü değerlerinin uygun olup olmadığının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Parametrelerin kabul edilebilmesi için dönüşüm sonucunda çıkan t-testi değerinin tablo değerinden büyük olması gerekmektedir. Dönüşüme eklenen ölçülerin kabul edilebilir olmaları için Pope test değerinin tablo değerinden küçük olması gerekmektedir. Dönüşümde kullanılan noktalarda 1 den 57'ye kadar olan sayılar viyadüğe ait ayak numarasını gösterirken R sağ ayağı, L ise sol ayağı göstermektedir.

İlk dönüşüm hesabı Bolu tarafından Düzce tarafına (Doğu-Batı) doğru başlatılmıştır. İterasyon stratejisi kullanılmıştır, bu durumda dönüşüme Bolu tarafından alınan 3 kontrol noktasıyla başlanmıştır. Dönüşüm sonucunda birbirine uyumlu çıkan noktalar alınarak bu yöne bir sonraki ortak nokta dönüşüm hesabına katılmıştır ve yeni transformasyon sonucu elde edilmiştir. Bu dönüşüm işlemine Bolu-Düzce yönünde uyumlu nokta kalmayıncaya kadar devam edilmiştir. Bu dönüşüm hesabının sonucu Kuzey Anadolu Fay Hattının viyadüğü kestiği noktaya kadar ortak noktaların birbiriyle uyumlu olduğunu göstermiştir. Dönüşüme ait sonuçlar ekler bölümünde Tablo A.1'de görülmektedir.

Aynı dönüşüm stratejisi Düzce- Bolu yönünde de uygulanmıştır. Bu dönüşümde de ortak noktalar fayın viyadüğü kestiği noktada uyumunu kaybetmeye başlamışlardır. Dönüşüme ait sonuçlar ekler bölümünde Tablo A.2'de görülmektedir.

Transformasyon parametreleri incelendiğinde Doğu-Batı doğrultusunda yaklaşık 2 metre yatay yer değiştirme görülmektedir. Bununla beraber, Kuzey-Güney doğrultusunda 1 metreden biraz az yatay değiştirme söz konusudur. Bu dönüşüm sonucundan fayın her iki yönde de aynı miktarda hareket etmediği görülmektedir.

1992 yılında projenin başlangıcı sırasında yersel ölçmelerle tesis edilen jeodezik ağ, 1999 yılında meydana gelen depremler sebebiyle hasar görmüştür. Geçen 7 yıllık sürede GPS gibi yeni ve hızlı ölçme teknikleri geliştirilmiştir. Bu sebeplere dayanarak projenin yeni koordinat sisteminin ITRF96 olması uygun görünmektedir. Bununla beraber, ülke koordinalarının gerekli olduğu durumlarda ekler bölümündeki Tablo A.3'te verilen 2D transformasyon parametreleri kullanılarak GPS koordinatları ülke koordinatlarına çevrilebilir. Bu transformasyon parametreleri bölgeye iyi dağılmış 4 ortak nokta kullanılarak elde edilmiştir. Bununla beraber tüm bu noktalar Kuzey Anadolu Fay Hattının Güney tarafındadır (Ayan ve Çelik, 2000).

5.2.1.2 Viyadük I'in analizi

Viyadük iki parça şeklinde incelenecektir. İlk bölüm Bolu'dan Düzce'ye doğru fayın viyadüğü kestiği yere kadardır. Viyadük 45. ve 47. ayağın bulunduğu yerden ikiye ayrılmıştır. O halde analizler iki yönden Düzce tarafından doğru 48. ayağa kadar, Bolu tarafından doğru 46. ayağa kadar incelenmiştir. Bu durumda her iki yönden gelen güzergah birbirini örten bir bölge oluşturmuş ve bölgesel geçişin etkisinin görülmesi sağlanmıştır.

İlk olarak Düzce'den Bolu'ya olan bölüm ele alınmıştır, jeodezik ağdan dönüşüm etkisi hesaba taşınmamıştır, viyadük ayakları viyadük ayakları üzerinde ölçülen noktalar kullanılarak dönüştürülmüştür. Dolayısıyla bu sadece viyadük için lokal bir incelemedir. Bu incelemenin amacı viyadük ayaklarının birbirlerine göre olan konum değişikliklerinin belirlenmesidir. Bu analiz için viyadük ayağından viyadük ayağına transformasyon yapılmıştır. Bu transformasyonda genel olarak viyadük ayağının üzerinde ölçülen ve Şekil 5.1'de gösterilen 5, 6, 17, 18 numaralı noktaların koordinatları kullanılmıştır. Bu noktaların ölçülmemiş olduğu durumlarda 1, 2, 3, ve 4 numaralı noktalar kullanılmıştır.

Bu dönüşüme 1. sol ve sağ ayak ile başlanmış ve izleyen ayaklar birer birer analiz yönünde dönüşüme eklenerek devam edilmiştir. Ayaklar arasındaki uyum 35 nolu ayağa kadar devam etmektedir.Bu dönüşümün sonuçları ekler bölümünde Tablo A.4'te görülmektedir.

Ayakların incelenmesinde kullanılan bir diğer dönüşüm stratejisi de 57 nolu ayaktan başlayarak geriye doğru hareket etmektir. Bu dönüşümde de uyum 49 nolu ayaktan sonra bozulmaya başlamıştır. Sonuçlar ekler bölümünde Tablo A.5'te görülmektedir.

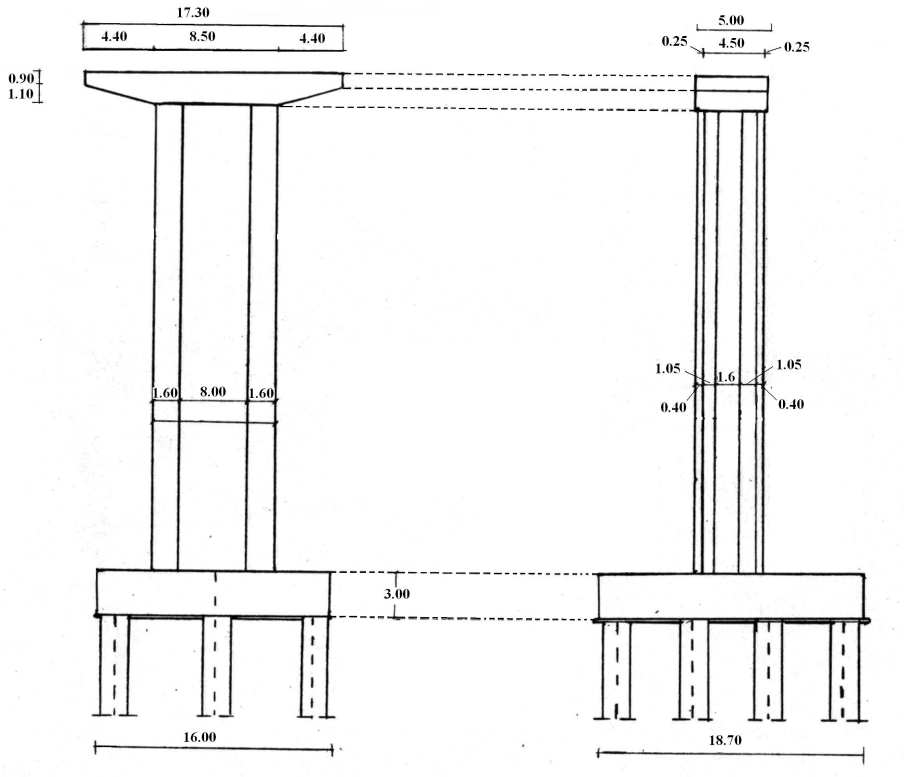
Elde edilen dönüşüm parametreleriyle fayın viyadüğü kestiği noktada bulunan 45, 46 ve 47 nolu ayaklara ait noktalarda dönüşüm yapılmıştır. Dönüşüm sonucunda elde edilen değerlerle deprem sonrası değerler kıyaslanarak viyadükteki lokal deformasyonlar belirlenmiştir. Sonuçlar ekler bölümünde Tablo A.6'da görüldüğü gibi 45R, 46R 47R ve 47L ayaklarında deformasyonlar meydana gelmiştir. Elde edilen deformasyon değerine göre proje değerleri ötelenerek yapısal deformasyonlar elde edilmiştir. Ekler bölümünde Tablo A.7'de görüldüğü gibi 46R ve 47R ayaklarında orjinin ötelenmesiyle birlikte deformasyonlar ortadan kalkmıştır.

5.3 Viyadük Elemanlarının Deformasyonu

Viyadük elemanlarında, deprem sonucu ortaya çıkan kesme kuvveti, normal kuvvet ve moment gibi kesit tesirleri sebebiyle deformasyonlar meydana gelmiştir. Değişik yöntemlerle deformasyonlar incelenecektir.

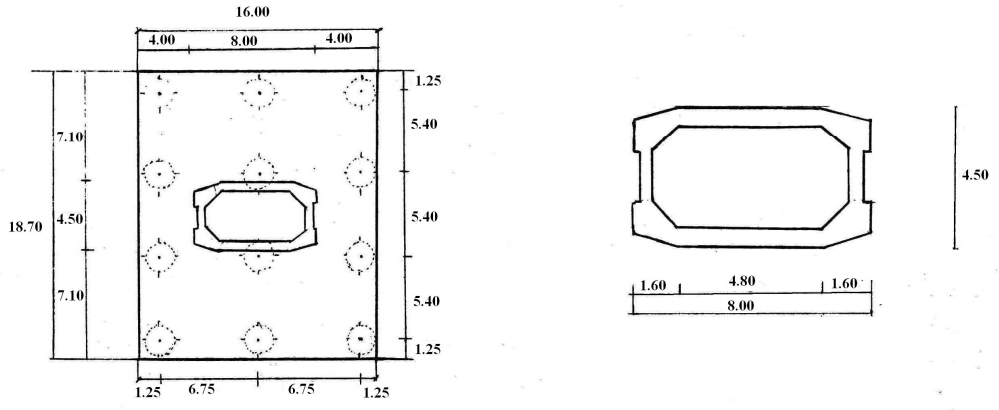
5.3.1 Viyadük elemanlarında boyut kontrolü

Ayaklarda meydana gelen deformasyonları belirlemek amacıyla, ayaklar üzerindeki detay noktaları kullanılarak ayak boyutları belirlenmiş ve proje değerleriyle kıyaslanarak kontrol edilmiştir. Viyadük için tasarlanan proje için verilen değerlere göre**,** viyadüğün ayaklarında pabuç olarak adlandırılan ve Şekil 5.1'de 1, 2, 3, 4 noktalarından oluşan temel kısmının boyutları 16 m'ye 18.7'm olarak verilmiştir. Böylesi sanat yapılarında kalıp hataları yok denecek kadar azdır, çünkü bu yapılar çok iyi denetimlerden geçirilmektedir. Dolayısıyla verilerden elde edilen farklar ya ölçme hatası ya da deformasyon olarak kabul edilecektir. Üzerine oturacak olan prekast kirişleri taşıyacak olan ve 15, 16, 27 ve 28 noktalarından oluşan başlık kirişlerinin boyutları da 17.3 m'ye 5 m olarak Şekil 5.2'de görülmektedir.



Şekil 5.2: Viyadük elemanlarının boyutları (Yılmaz ve diğ. 2000)

Temel pabucunun üzerine oturan ve 5, 6, 17, 18 noktalarıyla gösterilen kolon kısmı şekil 5.3'ten de görülebileceği gibi tam olarak dikdörtgen değildir ancak ölçülebilecek keskin köşelere sahiptir. Bu köşeler dikkate alındığında kolon kısmının boyutları da 8 m'ye yaklaşık 3.7 m olarak alınabilir. Ayaklara ait elevasyon (kolon) yükseklikleri arazinin topoğrafik durumuna göre değişkenlik gösterdiğinden kontrol için kullanılmamışlardır.



Şekil 5.3: Viyadük temel detayları (Yılmaz ve diğ. 2000)

Yapıda deprem sonucu meydana gelen deformasyonları belirlemek üzere ayakların birbirlerine göre konum değişimlerinin de belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için de izlenecek yol ise ayakların orta noktalarını bularak ayaklar arasındaki mesafeleri kontrol edilmesidir. Bu amaçla sağ ve sol ayaklar, biribirini izleyen ayaklar ve çapraz ayaklar arasındaki mesafeler koordinat değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Söz konusu tüm hesaplar proje başlangıcında hesaplanan proje değerleri ile deprem sonrası ölçülen koordinat değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplarda dönüşüm kullanılmamıştır, dolayısıyla elde edilen değerleri viyadüğün durumunu objektif bir şekilde yansıtmaktadır. Sonuçlar ekler bölümünde Tablo A.8'de verilmektedir. Bu tablonun değerlendirilmesi sonucunda özellikle 44, 45, 46 ve 47 nolu ayaklar arasındaki mesafelerde değişim meydana gelmiştir. Bu değişimin sebebi olarak fay hattının viyadük ayaklarını 45, 46 ve 47 nolu ayaklar arasında kesmesi gösterilebilir.

5.3.2 Viyadük ayaklarındaki dönme ve eğilmeler

Yukarıda viyadük ayaklarının şekil değiştirme ve ötelenme biçimindeki deformasyonları açıklanmış ve bunların saptanması için yollar önerilmiş ve gerçekleştirilmiştir. Normal olarak inceleme konusu viyadük gibi sanat yapılarında

beklenen deformasyonlar yukarıdaki hareketlerle sınırlandırılabilir. Depremde yapıya etkiyen kuvvetin büyüklüğü ve belirsiz yönü nedeniyle, ayaklarda dönme, eğilme ve burulmanın meydana gelmesi olasıdır. Yapının tasarımı sırasında bu tür deformasyonlara karşı önlem alınmış bile olsa, bu çalışmada bu yönde bir inceleme de gerekli görülmüştür.

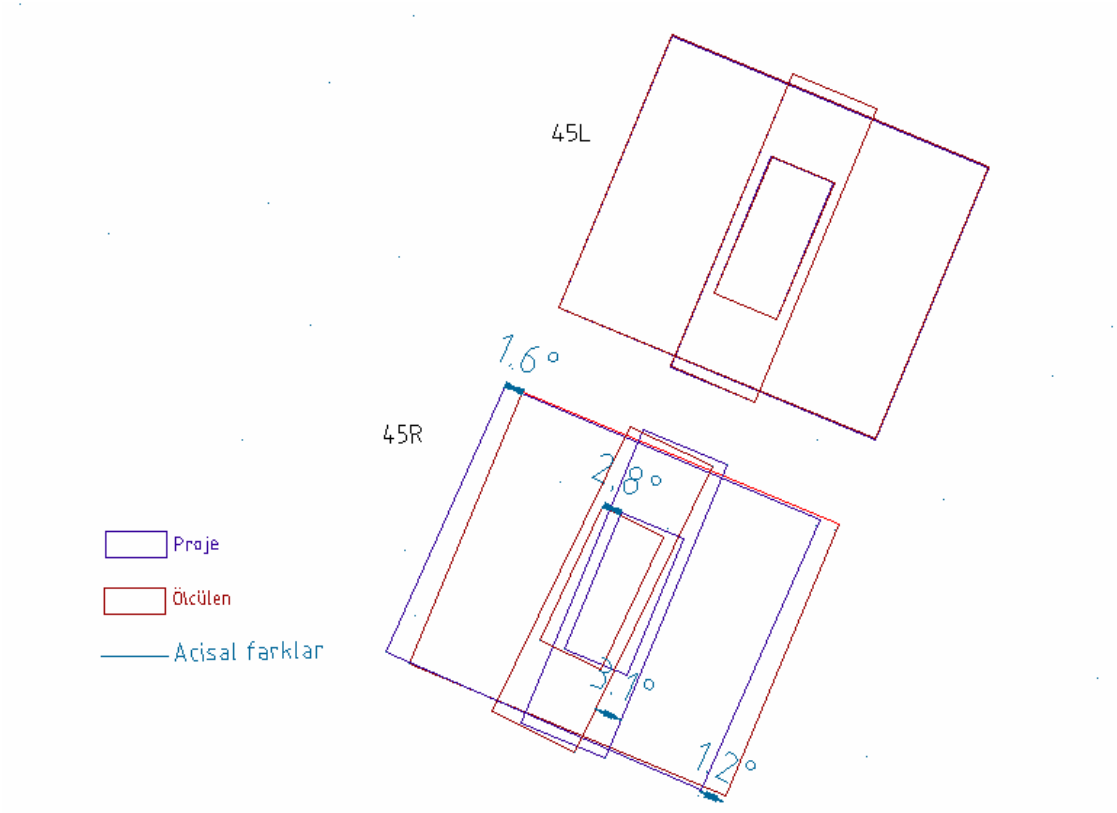
Ayaklarda meydana gelen dönme değerini belirlemek üzere, Autocad programında ayakların depremden önceki koordinartları ve deprem sonrası elde edilen koordinatlar kullanılarak yapılan çizimle önceki durumla mevcut durum arasındaki açısal farklar belirlenmiştir. Şekil 5.4'te görüldüğü gibi 45R nolu ayakta yaklaşık olarak 3^o 'lik bir dönme tespit edilmişitir. Şekil 5.5'te görüldüğü gibi 46R nolu ayak paralel olarak ötelenmiştir, yani herhangi bir dönme meydana gelmemiştir. Şekil 5.6'te görüldüğü gibi 47L nolu ayakta yaklaşık olarak 4^o'lik bir dönme meydana gelmiştir.

Burulmanın meydana gelmesi için ayaklar üzerindeki yatay elemanların birbirlerine göre farklı bir dönme meydana getirmeleri gerekmektedir. Eğer ayaklar üzerindeki yatay elemanlar farklı dönme değerlerine sahipse burulma söz konusudur. Şekil 5.4 ve 5.6'da görüldüğü gibi 45R ve 47L ayaklarında burulma meydana gelmiştir.

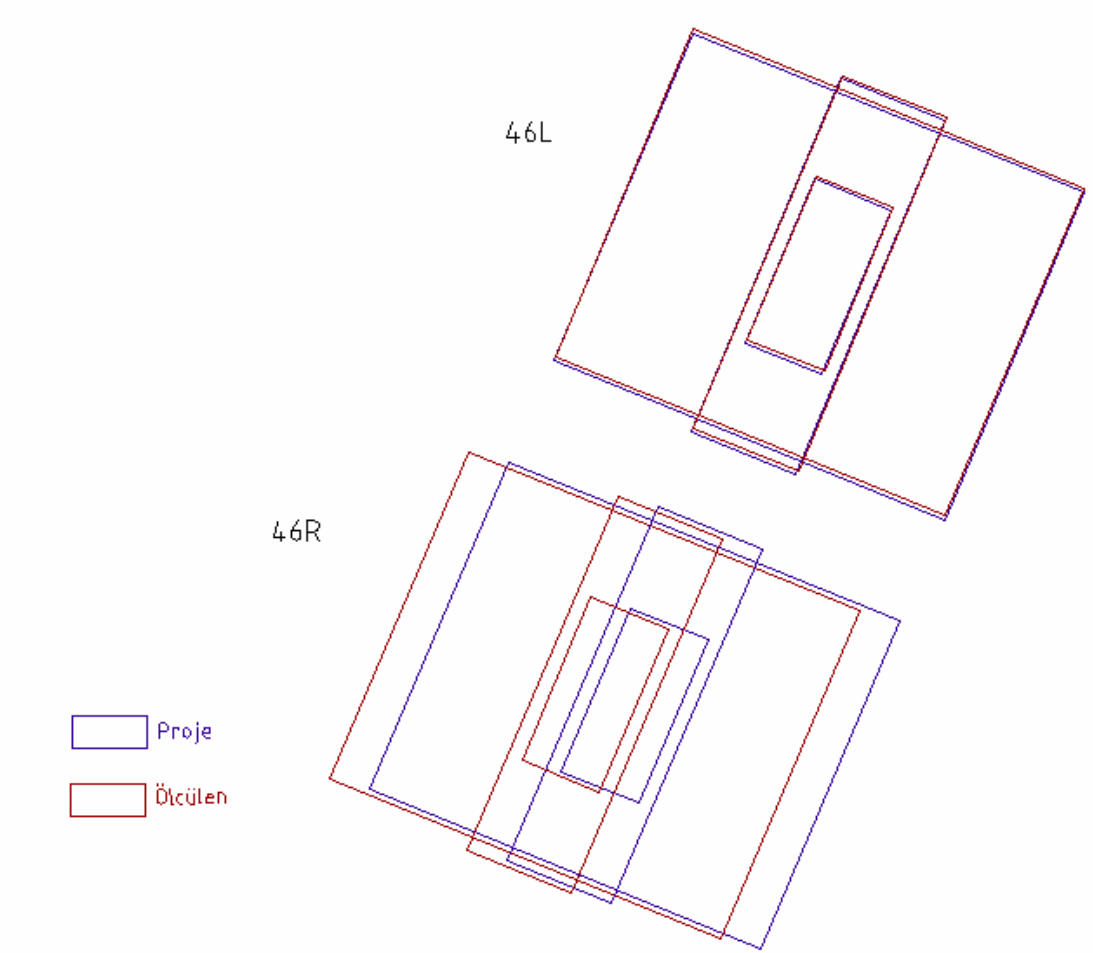
Eğilmenin meydana geldiğini söyleyebilmek için aynı düşey kenarı oluşturan noktaların doğrusallıktan saptıklarının belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için de şöyle bir yol izlenebilir. Viyadük ayaklarının 1, 2, 3, 4 noktalarından oluşan temel kısmının deprem öncesi koordinatlarla bulunmuş orta noktasıyla, deprem sonrası koordinatlarla bulunmuş orta noktası arasındaki mesafenin belirlenmesi ve bu değerin 13, 14, 25 ve 26 noktalarından oluşan elevasyon kısmının orta noktaları arasındaki mesafeye eşit olup olmadığının bulunması gerekmektedir. Hesaplamaların sonucunda Tablo 5.6'da görüldüğü gibi .

Tablo 5.6: Viyadük Ayaklarında Meydana Gelen Eğilmeler

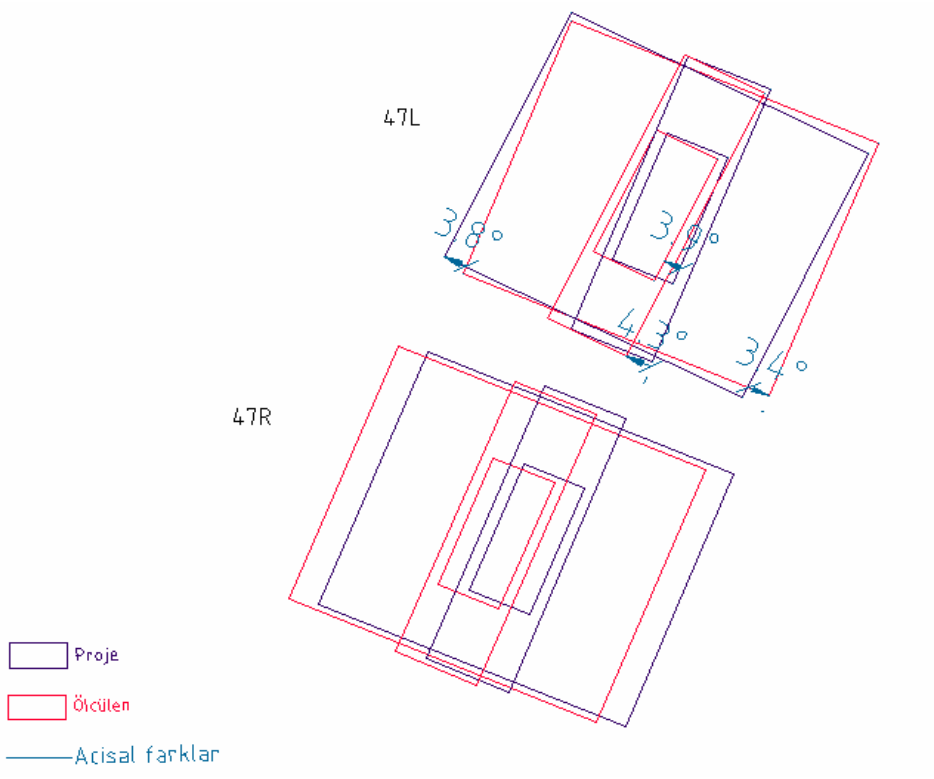
	Proje(m)		Ölçülen(m)			
Ayak No	Y	X	Y	X	Mesafe(cm)	Fark(cm)
45R(Alt)	615595.169	4515812.452	615594.020	4515812.495	115.0	
45R(Üst)	615595.169	4515812.097	615593.970	4515812.385	123.3	8
46R(Alt)	615631.368	4515797.050	615629.623	4515797.530	180.9	
46R(Üst)	615631.368	4515797.050	615629.620	4515797.527	181.1	0
47R(Alt)	615667.655	4515782.004	615665.933	4515782.293	174.7	
47R(Üst)	615667.655	4515782.004	615665.858	4515782.345	183.0	8
47L(Alt)	615675.605	4515801.360	615674.888	4515801.570	74.7	
47L(Üst)	615675.680	4515801.360	615674.830	4515801.550	87.1	12



Şekil 5.4 45 nolu ayaklarda meydana gelen dönmeler



Şekil 5.5 46 nolu ayaklarda meydana gelen dönmeler



Şekil 5.6 47 nolu ayaklarda meydana gelen dönmeler

Viyadük açıklıklarında meydana gelen boy değişikliğini belirlemek üzere ayakların orjin koordinatları hesaplanmış ve proje değerleri ile deprem sonrasındaki koordinatları karşılaştırılmıştır. Bu hesaplar sonunda viyadük boyunun yaklaşık 2m kadar kısaldığı tespit edilmiştir. Tablo 5.7 ayaklar arasındaki kısalma ve uzamalara ilişkin bilgi vermek amacıyla hazırlanmıştır. Viyadüğün sağ ayaklarında meydana gelen toplam uzama 1.43 m , kısalma ise 3.63 m'dir. Aynı şekilde viyadüğün sol ayaklarında meydana gelen toplam uzama 1.31 m, kısalma ise 3.26 metredir. Bu hesaba dayanarak şu sonuca varılabilir, fayın düzgün olmayan davranışından dolayı kimi ayakların arası kısalırken kimilerinin de arasındaki mesafe artmıştır. Hesaplar incelendiğinde sağ ayaklarda en büyük iki değer 44-45 ve 46-46 arasında görülmektedir. Sol ayaklar incelendiğinde en büyük iki değer 46-47 ve 47-48 ayakları arasında görülmektedir.

Tablo 5.7: Viyadük Açılıklarında Boy Kontrolü

Düzce>>Bolu

	Sağ Ayaklar (R) (m)			Sol Ayaklar (L) (m)		
Ayak No	**Proje**	**Ölçülen**	**Fark**	**Proje**	**Ölçülen**	**Fark**
1--2	39.08	39.21	**-0.13**	39.18	39.21	-0.03
2--3	39.30	39.25	0.05	39.23	39.13	**0.10**
3--4	39.22	39.13	**0.10**	39.19	39.26	-0.07
4--5	39.20	39.26	-0.06	39.20	39.27	-0.07
5--6	39.19	39.08	**0.11**	39.19	39.17	0.02
6--7	39.22	39.19	0.04	39.20	39.11	0.09
7--8	40.72	40.77	-0.04	39.20	39.20	0.00
8--9	38.42	38.39	0.03	39.20	39.24	-0.03
9--10	39.32	39.36	-0.04	39.32	39.31	0.02
10--11	39.33	39.33	0.00	39.32	39.32	0.00
11--12	39.19	39.23	-0.03	39.20	39.30	**-0.10**
12--13	39.20	39.16	0.04	39.19	39.09	**0.10**
13--14	39.20	39.21	0.00	39.20	39.21	0.00
14--15	39.20	39.18	0.02	39.20	39.19	0.01
15--16	39.20	39.19	0.01	39.21	39.15	0.05
16--17	39.20	39.20	-0.01	39.19	39.24	-0.05
17--18	39.20	39.24	-0.04	39.20	39.19	0.02
18--19	39.21	39.16	0.05	39.20	39.18	0.02
19--20	78.65	78.65	0.00	39.32	39.32	0.00
20--21				39.33	39.35	-0.02
21--22	39.20	39.20	0.00	39.20	39.18	0.01
22--23	39.20	39.20	0.00	39.20	39.15	0.04
23--24	39.21	39.22	-0.01	39.20	39.25	-0.05
24--25	39.20	39.17	0.03	39.20	39.21	-0.01
25--26	39.20	39.22	-0.02	39.20	39.21	-0.01
26--27	39.20	39.14	0.06	39.21	39.18	0.02
27--28	39.20	39.20	-0.01	39.20	39.14	0.06
28--29	39.21	39.19	0.01	39.20	39.17	0.03
29--30	40.30	40.28	0.01	48.99	48.94	0.05

Sağ ayaklarda meydana gelen toplam kısalma (m):3.63
Sağ ayaklarda meydana gelen toplam uzama (m):1.43
Toplamda 2.20 m kısalma meydana gelmiştir.

Düzce>>Bolu

	Sağ Ayaklar (R) (m)			Sol Ayaklar (L) (m)		
Ayak No	**Proje**	**Ölçülen**	**Fark**	**Proje**	**Ölçülen**	**Fark**
30--31	48.86	48.66	**0.20**	40.46	40.56	**-0.10**
31--32				39.20	39.10	**0.10**
32--33	117.57	117.52	0.05	39.21	39.20	0.01
33--34				78.38	78.29	0.09
34--35	39.20	38.85	**0.35**			
35--36	39.20	39.42	**-0.22**	39.20	39.26	-0.06
36--37	39.20	39.02	**0.18**	39.20	39.14	0.07
37--38	39.20	39.13	0.07	39.20	39.02	**0.19**
38--39	39.20	39.15	0.05	39.19	39.30	**-0.11**
39--40	39.33	39.31	0.02	39.33	39.52	**-0.19**
40--41	39.32	39.42	**-0.11**	39.33	39.34	-0.01
41--42	39.21	39.13	0.08	39.19	39.12	0.07
42--43	39.19	39.12	0.08	39.20	39.18	0.02
43--44	39.20	39.19	0.01	39.19	39.05	**0.14**
44--45	39.19	38.34	**0.85**	39.20	39.45	**-0.24**
45--46	39.20	38.61	**0.59**	39.20	39.18	0.02
46--47	39.20	39.38	-0.18	39.20	38.42	**0.78**
47--48	39.19	39.08	0.12	39.19	38.31	**0.88**
48--49	39.20	39.21	-0.01	39.20	39.21	-0.01
49--50	39.19	39.29	-0.10	39.32	39.29	0.03
50--51	39.46	39.41	0.05	39.33	39.34	-0.01
51--52	39.20	39.18	0.02	39.20	39.11	0.10
52--53	39.20	39.21	-0.01	39.19	39.25	-0.05
53--54	39.19	39.25	-0.06	39.20	39.24	-0.04
54--55	39.20	39.55	**-0.35**	39.19	39.17	0.02
55--56	39.20	38.88	**0.32**	39.20	39.21	0.00
56--57	39.20	39.16	0.04	39.20	39.22	-0.03
57--58	----------	----------		39.20	39.11	0.09
Toplam	2207.69	2205.49	2.20	2246.43	2244.48	1.95

Sol ayaklarda meydana gelen toplam kısalma (m):3.26
Sol ayaklarda meydana gelen toplam uzama (m):1.31
Toplamda 1.95 m kısalma meydana gelmiştir.

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

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. Elde edilen koordinatlar YIĞILCA noktası sabit alınarak zorlamasız olarak dengelenmiştir. Analizleri gerçekleştirmek için yersel yöntemle ölçülmüş ED-50 datumundaki ağa ait koordinatlar iki boyutlu Helmert benzerlik dönüşümü ile ITRF 96 datumuna dönüştürülmüştür. Bölgede depremden sonra kullanılabilir bir ülke jeodezik ağ kalmamıştır. O halde projenin önceki koordinat sistemi ITRF 96'ya dönüştürülmelidir. Sonuç olarak proje bu koordinat sisteminde güncellenmelidir. Çünkü bu koordinat sistemi GPS kullanılarak veya yersel yöntemler kullanılarak 3D koordinatlarla direkt olarak çalışmayı sağlayacak avantajları da beraberinde getirmektedir.

Bölüm 5'te ifade edildiği gibi 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. Üst yapıdaki hasara ek olarak 45R ve 47L nolu ayaklarda ayrıca temel hasarı da belirlenmiştir.

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.

Viyadük ayaklarının hasar gördüğü belirlenmiştir. Bununla beraber bir çok viyadük ayağı düzeltilebilecek durumdadır, fakat bu karar her bir ayak detaylı olarak incelendikten sonra verilmelidir. Buna ek olarak ciddi olarak hasarlı olan viyadük ayakları jeodezik yöntemlerin dışında farklı metotlar kullanılarak da incelenmeli ve bu sonuçlar desteklenmelidir.

Viyadük ayaklarının orta noktaları hesaplanarak yapılan eğilme analizi sonucunda 45R, 47R ve 47L ayaklarında eğilme tespit edilmiştir. Dönme analizi sonucunda 45R ve 47L ayaklarında dönme, 46R ayağında ise paralel olarak ötelenme tespit edilmiştir. 45R ve 47 ayaklarının, pabuç ve başlık kirişlerinde birbirine göre farklı bir dönme farklı bir dönme söz konusudur, yani bu ayaklarda burulma meydana gelmiştir.

Viyadük elemanlarında ve açıklıklarında yapılan boyut kontrolu sonucunda özellikle 45,46 ve 47 nolu ayaklar arasındaki mesafelerin proje değerlerine göre değiştiği belirlenmiştir.

Viyadük I'in uzunluğunun konrolü için yapılan analiz sonucunda viyadük boyunun yaklaşık 2 m kadar kısaldığı belirlenmektedir. Ancak hesaplamalar sırasında viyadükte sadece kısalma meydana gelmediği aynı zamanda bazı açıklıklarda uzama meydana geldiği belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlar fayın sistematik bir davranış göstermediğini ortaya koymaktadır. Özellikle fayın geçtiği kısımda boy kısalması meydana gelmiştir, belirlenen kısalma ise fayın davranışı ile ilgili bilgiler vermektedir.

Çalışma bölgesinde bulunan Viyadük I genel olarak AASHTO'ya göre tasarlanmıştır. Söz konusu tasarımda, meydana gelebilecek deprem sonucunda ortaya çıkacak yer ivmesi 475 yıllık bir döngü göz önünde bulundurularak 0.4 g olarak hesaplanmıştır. Ancak 1999 depremleri sırasında meydana çıkan maksimum yer ivmesi viyadük civarında 0.81g'yi bulmuştur ve bu değer 2000 yıllık bir döngüye karşılık gelmektedir (Barr ve diğ. 2000). Tasarım sırasında alınan ivmenin, deprem sırasında ortaya çıkandan küçük olması sebebiyle viyadükte analizler sonucunda elde edilen deformasyonlar meydana gelmiştir.

Bölüm 4'te bahsedildiği gibi, Prekast kirişlerin oturduğu mesnetlerin yer değiştirme kapasitesi ±210 mm iken enerji sönümleyici birimlerim yer değiştirme kapasitesi ±310 mm'dir. Dolayısıyla enerji sönümleyici birimler optimum performansa

ulaşamamıştır (Ghasemi ve diğ. 2000). Bu hata sebebiyle 1999 kasım depremi sırasında tüm çelik kayıcı arayüzler mesnetler üzerinden kaymış ve tüm enerji sönümleyici birimler çalışamaz hale gelmiştir. Bu sebeple tüm çelik kayıcı arayüzler ve enerji sönümleyici birimler yenileriyle değiştirilmiştir (Barr ve diğ. 2000). Enerji sönümleyici birimlerin deprem sırasında tam olarak çalışamaması sebebiyle viyadük ayaklarına gelen deprem kuvveti sönümlenememiştir. Bu sebeple ayaklarda kesit tesirleri (kesme kuvveti, normal kuvvet ve moment) ortaya çıkmıştır. Kesit tesirleri sebebiyle ayaklarda dönme, ötelenme, burulma ve eğilme gibi deformasyonlar oluşmuştur.

Viyadük I'e ait tüm ayaklar yeniden kullanılmıştır, ancak prekast kirişlerin oturduğu mesnetlerin yerdeğiştirme kapasitesini arttıracak önlemler alınmıştır. Özellikle 40 ile 50 arasındaki ayaklar kritik bölgede bulunduğundan bu ayakların yerdeğiştirme kapasitesini diğer ayaklardan farklı olarak ±900 mm sağlayacak aletler yerleştirilmiştir (Barr ve diğ. 2000). Analizlerde de görüldüğü gibi fay hattının viyadüğü kestiği bölgedeki prekast kirişler, mesnetlerin yerdeğiştirme kapasitelerinin yeterli olmaması sebebiyle diğer ayaklara kıyasla daha büyük deformasyonlara maruz kalmışlardır. Kritik bölgede bulunan ayaklardaki mesnetlerin yerdeğiştirme kapasitesinin artması, ileride bir deprem sırasında meydana gelebilecek deformasyonların büyük seviyelere ulaşmadan atlatılabilmesi için olanak sağlar.

İnceleme konusu yapı Kuzey Anadolu fayı üzerinde bulunmaktadır. Deprem ile gerilim bir süre için sönümlenmiş 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., 1981. Jeodezik Ağların Analizi, *Lisansüstü ders notları*, *İstanbul.*

Ayan, T., 1982. Jeodezik Ağlarda Deformasyon Analizine Genel Bakış, *İTÜ Dergisi* **40**.

Ayan, T., 1983. Bağıl Güven Elipsleri ile Deformasyon Analizi, *Harita Dergisi,* **91**.

Ayan, T., 1992. Uyuşumsuz Ölçüler Testi, *Harita ve Kadastro Mühendisliği Dergisi, 72, s:38-46*, Ankara.

Ayan, T., Çelik, R. N., 2000. Gümüşova Gerede Otoyolu Ölçme ve Analiz Raporu, *İTÜ İnşaat Fakültesi Jeodezi Anabilim Dalı, Cilt 1,2,3.*

Barka, A., Altunel, E., Çakır, Z., Kozacı, Ö., Hitchcock, C., Lindvall, S., Helmes, J., Bachhuber, J., Lettis., B., 2003**.** Bolu Dağı Çevresinin Deprem Potansiyeli, *Türkiye Kuvaterneri Çalıştayı,* İTÜ, İstanbul*, 29-30* Mayıs.

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

Başkaya, B., 1995. S-Transformasyonu ve Yatay Kontrol Ağlarında Deformasyon Analizi, *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Caspary, W. F., 1988. Concepts of Network and Deformation Analysis, Monograph 11 School of surveying, the Univesity of New South Wales, Australia.

Çelik, R. N., Acar, M., Kaplan, M. O., Ayan, T., 2005. 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",* Sofia, 3-4 November.

Çelik, R. N., 2007. *Kişisel görüşme.*

Durgun, Y., 2007. *Kişisel görüşme.*

Erol, S., 1999. Karasu Viaydüğünde GPS ile Deformasyon Ölçmeleri ve Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Fırat, O., 2003. Tektonik Bölgelerde ve Türkiye Genelinde Avrupa Datumu 1950 (ED50) ile Türkiye Ulusal GPS Ağı (TUTGA-99A) Arasında Datum Dönüşümü, *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Gerçek, M., 2003. Köprü ve Viyadüklerin Depreme Dayanıklı Olarak Projelendirilmesi ve Deprem İzolatör Uygulamaları, *5. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı,* İstanbul, 26-30 Mayıs

Ghasemi, H., Cooper, J. D., Imbsen, R., Piskin, H., Inal, F., Tiras, A., 2000. The November 1999 Düzce Earthquake : Post-Earthquake Investigation of the Structures on the TEM. *Yayın No. FHWA-RD-00-146, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, DC.*

Girgin, K., 2007. *Kişisel görüşme.*

Kaplan,O., 2003. Deformasyon Belirleme Amaçlı Kontrol Ağlarının Tasarımı ve Analizi, *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kutoğlu, Ş. H., 2001. GPS Ağlarının Ülke Nirengi Ağlarına Entegrasyonu, *Doktora Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Özlüdemir, M. T., 1993. Düşey kontrol ağlarında deformasyon analizi. *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

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 Bolu Viaduct From Recent Earthquakes. *http://cobweb.ecn.purdue.edu/~anatolia/viaduct/research/report.html*

EK-A

ANALİZLER SONUCUNDA ELDE EDİLEN TABLOLAR

Tablo A.1: Bolu tarafından Düzce tarafına dönüşüm sonuçları

	dx	mx	t-test değeri
tx	-187.667	0.083	2255.108
ty	-35.007	0.083	420.658
a	1.00010	0.00000921	11.008
b	-0.000094	0.00000921	10.230

t-testi tablo değeri=1.711

mo=0.08560

k=1.000101442 m_k=0.000009215 t-test değeri= 11.0086

α =-0.000094254 rad m_α =0.000009214rad t-test değeri= -10.230

Dönüşümde kullanılan nokta sayisi:14 Pope tablo değeri 2.9

	Dönüştürülmüş Koordinatlar(m)		Düzeltmeler(m)		Güvenirlik değerleri		Pope test değerleri	
43	4003.904	5592.000	-0.046	0.069	0.81	0.81	0.601	0.899
44	4518.426	7202.834	-0.144	-0.008	0.78	0.78	1.909	0.104
501	8532.121	627.244	0.005	0.151	0.71	0.71	0.058	2.087
505/A	8211.954	1702.231	-0.026	0.076	0.81	0.81	0.350	0.987
508	7855.265	2722.672	-0.060	0.032	0.88	0.88	0.761	0.402
510	7849.291	3458.257	-0.059	-0.002	0.90	0.90	0.728	0.032
513	7557.411	4537.217	-0.047	-0.041	0.93	0.93	0.573	0.506
531	7697.834	4807.831	0.098	-0.017	0.92	0.92	1.185	0.212
537	7825.014	6032.505	0.115	-0.040	0.90	0.90	1.413	0.495
540	7794.875	6275.637	0.138	-0.052	0.89	0.89	1.702	0.639
D30	7484.851	6222.894	0.006	-0.047	0.90	0.90	0.065	0.577
Elmalık	4113.717	6754.580	-0.167	-0.041	0.78	0.78	2.221	0.546
K27/B	8075.738	3389.420	0.052	-0.004	0.90	0.90	0.631	0.049
R1	7809.499	6407.014	0.142	-0.075	0.89	0.89	1.755	0.927

Tablo A.2:Düzce tarafından Bolu tarafına dönüşüm sonuçları

	dx	mx	t-test değeri
tx	-186.720	0.026	2.012
ty	-32.753	0.026	14.474
a	0.99996	0.00000821	4.991
b	-0.000122	0.00000821	14.815

Dönüşümde kullanılan nokta sayisi:18

mo=0.064

t-testi tablo değeri=1.694

Pope tablo değeri 3.02

k=0.999958813 m_k=0.000008210 t-test değeri= 4.990

α =-0.000122305rad m_α =0.000008211rad t-test değeri= -14.895

	Dönüştürülmüş Koordinatlar(m)		Düzeltmeler(m)		Güvenirlik değerleri		Pope test değerleri	
100	1851.736	1120.668	0.080	0.094	0.88	0.88	1.328	1.568
144	1830.579	1165.071	0.078	0.095	0.87	0.87	1.302	1.584
97	2001.785	702.578	-0.026	-0.004	0.90	0.90	0.434	0.063
98	1945.225	871.176	0.016	0.054	0.89	0.89	0.271	0.892
99	1909.143	997.781	0.020	0.079	0.88	0.88	0.338	1.313
PK5	2549.674	-3225.504	0.072	0.061	0.85	0.85	1.205	1.027
PK1	3121.656	-4114.996	-0.036	0.011	0.76	0.76	0.640	0.189
PK13	2063.606	-1104.769	-0.102	-0.084	0.94	0.94	1.637	1.347
PK14	2090.744	-831.516	-0.018	-0.098	0.94	0.94	0.285	1.563
PK16	2234.244	-306.693	0.014	-0.100	0.94	0.94	0.233	1.602
PK17	2308.174	-91.848	-0.029	-0.081	0.93	0.93	0.472	1.299
PK17A	2169.598	89.283	-0.022	-0.067	0.93	0.93	0.362	1.084
PK17B	2080.609	445.585	-0.040	-0.025	0.92	0.92	0.654	0.405
PK17C	2032.419	573.281	-0.028	-0.010	0.91	0.91	0.450	0.168
PK3A	2818.233	-3697.965	0.067	0.043	0.81	0.81	1.153	0.753
PK4A	2630.510	-3407.471	0.083	0.060	0.84	0.84	1.410	1.012
PK6A	2427.577	-2754.550	-0.036	0.004	0.89	0.89	0.593	0.073
PK8	2358.664	-2352.810	-0.093	-0.034	0.91	0.91	1.517	0.550

Tablo A.3: İyi dağılmış 4 nokta kullanılarak yapılan dönüşüm

	dx	mx	t-test değeri
tx	-187.198	0.284	658.575
ty	-35.823	0.284	126.028
a	1.000060038	0.00002037	2.947
b	-0.000021442	0.00002037	1.052

t-testi tablo değeri=2.132

mo=0.31955

k=1.000060038 m_k=0.000020369 t-test değeri= 2.947

α =-0.000021440rad m_α =0.000020368rad t-test değeri= -1.052

Dönüşümde kullanılan nokta sayisi:4

Pope tablo değeri 1.94

	Dönüştürülmüş Koordinatlar(m)		**Düzeltmeler(m)**		**Güvenirlik değerleri**		**Pope test değerleri**	
Elmalık	4113.707	15754.336	-0.178	-0.285	0.62	0.62	0.705	1.130
Kocadoruk	30.445	18119.142	0.085	0.355	0.40	0.40	0.424	1.760
Metro	7952.508	6958.728	-0.073	-0.287	0.67	0.67	0.280	1.096
Sazköy	7954.554	242.270	0.165	0.217	0.31	0.31	0.933	1.227

Tablo A.4: 1-35 arasındaki ayaklarla yapılan dönüşüm

	dx	mx	t-test değeri
tx	-186.711	0.004	44799.887
ty	-33.123	0.004	7947.503
a	0.99992	0.000002250	34.751
b	-0.000071	0.000002250	31.478

Dönüşümde kullanılan nokta sayisi:88

t-testi tablo değeri=1.660

mo=0.00685

Pope tablo değeri 3.58

k=0.999921708 m_k=0.000002253 t-test değeri= 34.750

α =-0.000070927rad m_α =0.000002253rad t-test değeri= -31.478

Nokta no	Dönüştürülmüş Koordinatlar(m)		Düzeltmeler(m)		Güvenirlik değerleri		Pope test değerleri	
1R05	1765.220	166.203	-0.010	0.003	0.98	0.98	1.405	0.505
1R06	1763.311	169.373	-0.009	0.003	0.98	0.98	1.349	0.489
1R17	1772.070	170.333	0.000	-0.007	0.98	0.98	0.035	1.090
1R18	1770.161	173.503	-0.009	-0.008	0.98	0.98	1.385	1.106
1L17	1791.449	178.361	-0.001	-0.009	0.98	0.98	0.104	1.386
1L18	1789.550	181.531	-0.010	0.001	0.98	0.98	1.525	0.073
2R05	1745.144	199.682	-0.006	0.002	0.98	0.98	0.820	0.328
2R17	1751.824	204.071	-0.006	-0.009	0.98	0.98	0.852	1.267
2R18	1749.785	207.161	-0.005	0.001	0.98	0.98	0.796	0.194
2L05	1764.603	207.790	-0.007	0.000	0.98	0.98	0.961	0.032
2L06	1762.584	210.880	-0.006	0.000	0.98	0.98	0.905	0.017
2L17	1771.303	212.159	0.003	-0.001	0.98	0.98	0.482	0.089
2L18	1769.284	215.249	-0.006	-0.001	0.98	0.98	0.936	0.103
3R05	1723.758	232.341	0.008	-0.009	0.98	0.98	1.240	1.297
3R06	1721.599	235.341	0.009	0.001	0.98	0.98	1.296	0.163

Tablo A.4: 1-35 arasındaki ayaklarla yapılan dönüşüm (devam)

Nokta no	Dönüştürülmüş Koordinatlar(m)		Düzeltmeler(m)		Güvenirlik değerleri		Pope test değerleri	
3R17	1730.258	237.000	0.008	-0.010	0.98	0.98	1.214	1.419
3R18	1728.099	240.000	0.009	0.000	0.98	0.98	1.270	0.041
3L05	1743.337	240.539	0.007	-0.001	0.98	0.98	1.100	0.124
3L06	1741.198	243.559	-0.002	-0.001	0.98	0.98	0.315	0.136
3L17	1749.857	245.158	-0.003	0.008	0.98	0.98	0.399	1.227
3L18	1747.718	248.178	-0.002	-0.002	0.98	0.98	0.342	0.257
4R05	1701.082	264.120	0.002	0.000	0.98	0.98	0.361	0.045
4R06	1698.813	267.040	0.013	0.000	0.98	0.98	1.888	0.035
4R17	1707.392	269.039	0.012	-0.001	0.98	0.98	1.811	0.077
4R18	1705.123	271.959	0.013	-0.001	0.98	0.98	1.867	0.086
4L05	1720.812	272.428	0.012	-0.002	0.98	0.98	1.692	0.256
4L06	1718.562	275.358	0.012	0.008	0.98	0.98	1.748	1.204
4L17	1727.161	277.297	0.011	-0.003	0.98	0.98	1.669	0.378
4L18	1724.912	280.227	0.012	0.007	0.98	0.98	1.726	1.082
6R05	1652.211	325.129	0.001	0.009	0.99	0.99	0.089	1.321
6R06	1649.791	327.929	0.001	0.009	0.99	0.99	0.146	1.314
6R17	1658.251	330.368	0.011	-0.002	0.99	0.99	1.543	0.270
6R18	1655.831	333.168	0.001	-0.002	0.99	0.99	0.131	0.277
6L05	1672.300	333.717	0.000	0.007	0.99	0.99	0.052	1.013
6L06	1669.890	336.527	0.010	0.007	0.99	0.99	1.473	1.006
6L17	1678.370	338.926	0.010	-0.004	0.99	0.99	1.401	0.578
6L18	1675.960	341.736	0.000	0.006	0.99	0.99	0.010	0.883
8R05	1600.599	384.078	-0.001	-0.002	0.99	0.99	0.171	0.287
8R06	1598.139	386.838	-0.001	0.008	0.99	0.99	0.114	1.174
8R17	1606.579	389.397	-0.001	-0.003	0.99	0.99	0.184	0.410
8R18	1604.119	392.157	-0.001	0.007	0.99	0.99	0.127	1.051
8L05	1620.898	392.816	0.008	0.006	0.99	0.99	1.153	0.868

Tablo A.4: 1-35 arasındaki ayaklarla yapılan dönüşüm (devam)

Nokta no	Dönüştürülmüş Koordinatlar(m)		Düzeltmeler(m)		Güvenirlik değerleri		Pope test değerleri	
8L06	1618.448	395.586	-0.002	-0.004	0.99	0.99	0.256	0.605
8L17	1626.888	398.125	-0.002	0.005	0.99	0.99	0.327	0.745
8L18	1624.438	400.895	-0.002	-0.005	0.99	0.99	0.270	0.728
9R05	1574.523	413.378	-0.007	-0.002	0.99	0.99	1.034	0.352
9R06	1572.083	416.168	0.003	-0.002	0.99	0.99	0.490	0.358
9R17	1580.543	418.647	0.003	-0.003	0.99	0.99	0.418	0.475
9R18	1578.103	421.437	0.003	-0.003	0.99	0.99	0.475	0.482
9L05	1594.882	422.155	0.002	-0.005	0.99	0.99	0.290	0.664
9L06	1592.432	424.935	0.002	0.005	0.99	0.99	0.347	0.796
9L17	1600.892	427.435	0.002	-0.005	0.99	0.99	0.276	0.788
9L18	1598.442	430.215	0.002	0.005	0.99	0.99	0.333	0.672
10R05	1548.587	442.997	-0.013	-0.013	0.99	0.99	1.895	1.889
10R06	1546.187	445.817	-0.013	-0.003	0.99	0.99	1.838	0.429
10R17	1554.667	448.196	-0.003	-0.004	0.99	0.99	0.443	0.545
10R18	1552.267	451.016	-0.013	-0.004	0.99	0.99	1.854	0.552
10L05	1568.886	451.725	-0.004	-0.005	0.99	0.99	0.570	0.734
10L06	1566.477	454.535	0.007	0.005	0.99	0.99	0.953	0.726
10L17	1574.956	456.934	-0.004	-0.006	0.99	0.99	0.586	0.857
10L18	1572.546	459.744	-0.004	-0.006	0.99	0.99	0.529	0.864
11L05	1543.230	481.584	0.000	0.004	0.99	0.99	0.035	0.657
11L06	1540.861	484.424	0.001	0.004	0.99	0.99	0.091	0.649
11L17	1549.360	486.724	-0.010	0.004	0.99	0.99	1.449	0.534
11L18	1546.991	489.564	-0.009	-0.006	0.99	0.99	1.392	0.940
11R05	1522.991	472.917	0.001	0.007	0.99	0.99	0.177	0.967
11R06	1520.612	475.747	-0.008	0.007	0.99	0.99	1.233	0.959
11R17	1529.131	478.046	0.001	0.006	0.99	0.99	0.160	0.844
11R18	1526.751	480.876	-0.009	0.006	0.99	0.99	1.250	0.837

Tablo A.4: 1-35 arasındaki ayaklarla yapılan dönüşüm (devam)

Nokta no	Dönüştürülmüş Koordinatlar(m)		Düzeltmeler(m)		Güvenirlik değerleri		Pope test değerleri	
13L06	1490.789	544.853	-0.001	0.003	0.99	0.99	0.171	0.476
13L17	1499.348	546.972	0.008	-0.008	0.99	0.99	1.220	1.105
13L18	1497.029	549.862	0.009	-0.008	0.99	0.99	1.277	1.114
13R05	1472.969	533.385	-0.011	0.005	0.99	0.99	1.554	0.794
13R06	1470.660	536.275	-0.010	0.005	0.99	0.99	1.498	0.785
13R17	1479.219	538.375	-0.011	0.005	0.99	0.99	1.574	0.671
13R18	1476.910	541.265	-0.010	0.005	0.99	0.99	1.518	0.662
21R05	1284.182	784.229	-0.008	-0.001	0.97	0.97	1.188	0.124
21R06	1281.992	787.219	0.002	0.009	0.97	0.97	0.351	1.347
21R17	1290.632	788.958	0.002	-0.002	0.97	0.97	0.269	0.247
21R18	1288.442	791.948	-0.008	-0.002	0.97	0.97	1.156	0.259
29L06	1116.454	48.520	0.004	-0.010	0.93	0.93	0.586	1.460
29L17	1125.093	50.240	0.003	-0.010	0.93	0.93	0.501	1.573
29R05	1098.764	37.133	0.004	0.003	0.93	0.93	0.673	0.380
29R06	1096.585	40.112	0.005	-0.008	0.93	0.93	0.731	1.147
29R18	1103.045	44.832	0.005	0.012	0.93	0.93	0.705	1.759
35L01	987.667	233.135	0.017	-0.015	0.88	0.88	2.644	2.319
35R01	968.028	224.907	0.008	-0.003	0.88	0.88	1.241	0.453
35R02	959.250	241.416	-0.020	0.016	0.88	0.88	3.133	2.553

Tablo A.5: 57-49 arasındaki ayaklarla yapılan dönüşüm

	dx	mx	t-test değeri
tx	-186.901	0.024	7938.298
ty	-35.142	0.024	1492.611
a	0.99991	0.000011030	8.563
b	-0.000144	0.000011030	13.063

Dönüşümde kullanılan nokta sayisi:48

mo=0.009

t-testi tablo değeri=1.664

k=0.999905560 m_k =0.000011030 t-test değeri= 8.562

Pope tablo değeri: 3.37

α =-0.000144094rad m_α =0.000011031rad t-test değeri= -13.063

Nokta no	Dönüştürülmüş Koordinatlar(m)		Düzeltmeler(m)		Güvenirlik değerleri		Pope test değerleri	
57R05	628.769	2024.786	0.009	0.006	0.95	0.95	1.049	0.641
57R06	627.350	2028.196	0.010	0.006	0.95	0.95	1.121	0.629
57R17	636.149	2027.854	0.009	0.004	0.95	0.95	1.020	0.487
57R18	634.730	2031.264	0.010	0.004	0.95	0.95	1.092	0.474
57L05	648.129	2032.902	0.009	0.002	0.95	0.95	0.974	0.237
57L06	646.709	2036.312	0.009	0.002	0.95	0.95	1.046	0.223
57L17	655.508	2035.971	0.008	0.001	0.95	0.95	0.945	0.083
57L18	654.089	2039.381	0.009	0.001	0.95	0.95	1.017	0.069
56R05	643.813	1988.587	0.003	-0.003	0.96	0.96	0.292	0.352
56R06	642.393	1991.997	0.003	-0.003	0.96	0.96	0.362	0.365
56R17	651.192	1991.656	0.002	-0.004	0.97	0.97	0.263	0.505
56R18	649.773	1995.065	0.003	0.005	0.96	0.96	0.334	0.612
56L05	663.172	1996.713	0.002	0.003	0.97	0.97	0.217	0.376
56L06	661.753	2000.123	0.003	0.003	0.96	0.96	0.288	0.363
56L17	670.552	1999.782	0.002	0.002	0.96	0.96	0.189	0.223
56L18	669.132	2003.192	0.002	0.002	0.96	0.96	0.259	0.210
55R05	658.856	1952.398	-0.004	-0.002	0.97	0.97	0.456	0.210
55R06	657.437	1955.808	-0.003	-0.002	0.97	0.97	0.386	0.223
55R17	666.236	1955.467	-0.004	-0.003	0.97	0.97	0.485	0.362

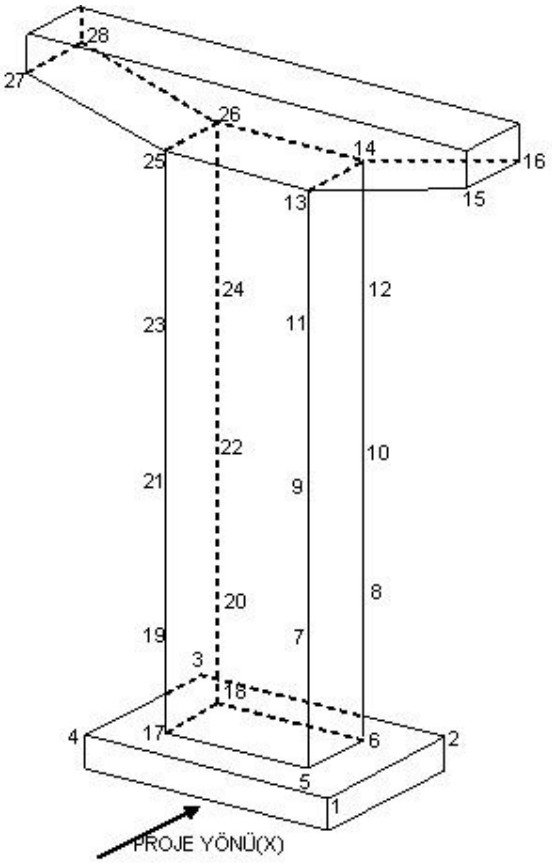
Nokta no	Dönüştürülmüş Koordinatlar(m)		Düzeltmeler(m)		Güvenirlik değerleri		Pope test değerleri	
55R18	664.816	1958.877	-0.004	-0.003	0.97	0.97	0.414	0.375
55L05	678.215	1960.515	-0.005	-0.005	0.97	0.97	0.530	0.610
55L06	676.796	1963.924	-0.004	-0.006	0.97	0.97	0.460	0.623
55L17	685.595	1963.583	-0.005	-0.007	0.97	0.97	0.559	0.762
55L18	684.176	1966.993	-0.004	-0.007	0.97	0.97	0.489	0.775
54R05	673.899	1916.199	-0.011	-0.001	0.98	0.98	1.200	0.069
54R06	672.480	1919.609	-0.010	-0.001	0.98	0.98	1.130	0.082
54R17	681.279	1919.268	-0.011	-0.002	0.98	0.98	1.228	0.221
54R18	679.860	1922.678	-0.010	-0.002	0.98	0.98	1.158	0.234
54L05	693.259	1924.326	-0.011	-0.004	0.98	0.98	1.274	0.468
54L06	691.839	1927.736	-0.011	-0.004	0.98	0.98	1.204	0.481
54L17	700.638	1927.394	-0.012	-0.006	0.98	0.98	1.302	0.620
54L18	699.219	1930.804	-0.011	-0.006	0.98	0.98	1.232	0.633
50L01	752.661	1770.972	-0.009	0.012	0.95	0.95	1.033	1.341
50L02	745.484	1788.231	-0.016	0.011	0.95	0.95	1.806	1.267
50L03	760.264	1794.368	-0.006	0.008	0.95	0.95	0.728	0.960
50L04	767.440	1777.109	-0.010	0.009	0.95	0.95	1.092	1.032
50R01	733.352	1762.735	-0.018	0.015	0.95	0.95	2.102	1.747
50R02	726.175	1779.995	-0.015	0.015	0.95	0.95	1.734	1.672
50R03	740.954	1786.132	-0.016	0.012	0.95	0.95	1.792	1.364
50R04	748.131	1768.873	-0.009	0.013	0.95	0.95	1.019	1.438
49L01	767.754	1734.663	0.014	-0.007	0.93	0.93	1.646	0.806
49L02	760.577	1751.922	0.017	-0.008	0.94	0.94	2.000	0.870
49L03	775.357	1758.060	0.017	-0.010	0.94	0.94	1.942	1.181
49L04	782.534	1740.800	0.014	-0.010	0.93	0.93	1.588	1.119
49R01	748.395	1726.547	0.015	-0.013	0.93	0.93	1.723	1.549
49R02	741.218	1743.806	0.018	-0.004	0.94	0.94	2.077	0.463
49R03	755.998	1749.943	0.018	-0.007	0.94	0.94	2.018	0.773
49R04	763.174	1732.684	0.014	-0.006	0.93	0.93	1.663	0.709

Tablo A.6: Viyadük ayaklarında meydana gelen lokal deformasyonlar (45R)

AYAK NO

45 R Lokal Deformasyonlar

	PROJE			ÖLÇÜLEN			FARK			
No	**Y**	**X**	**H**	**Y**	**X**	**H**	**dy**	**dx**	**dh**	**No**
1	615583.470	4515808.296	389.100	615582.180	4515808.900	388.850	1.29	-0.60	0.25	1
2	615600.729	4515801.118	389.100	615599.380	4515801.460	388.840	1.35	-0.34	0.26	2
3	615606.868	4515815.897	389.100	615605.840	4515816.140	388.870	1.03	-0.24	0.23	3
4	615589.609	4515823.075	389.100	615588.690	4515823.420	388.850	0.92	-0.35	0.25	4
5	615591.930	4515809.117	389.100	615590.640	4515809.730	388.870	1.29	-0.61	0.23	5
6	615595.339	4515807.697	389.100	615593.960	4515808.070	388.860	1.38	-0.37	0.24	6
7	615591.930	4515809.117	389.100	615590.630	4515809.720	394.960	1.30	-0.60		7
8	615595.339	4515807.697	389.100	615593.950	4515808.080	397.280	1.39	-0.38		8
9	615591.930	4515809.117	389.100	615590.620	4515809.680	405.540	1.31	-0.56		9
10	615595.339	4515807.697	389.100	615593.940	4515808.040	408.330	1.40	-0.34		10
11	615591.930	4515809.117	389.100	615590.600	4515809.650	416.880	1.33	-0.53		11
12	615595.339	4515807.697	389.100	615593.910	4515808.010	418.830	1.43	-0.31		12
13	615591.930	4515809.117	433.100	615590.590	4515809.580	419.650	1.34	-0.46		13
14	615595.339	4515807.697	433.100	615593.930	4515807.970	432.890	1.41	-0.27	0.21	14
15	615589.540	4515805.067	434.200	615587.980	4515805.680	433.950	1.56	-0.61	0.25	15
16	615594.160	4515803.147	434.200	615592.490	4515803.510	433.910	1.67	-0.36	0.29	16
17	615594.999	4515816.496	389.100	615594.100	4515816.880	388.850	0.90	-0.38	0.25	17
18	615598.409	4515815.077	389.100	615597.380	4515815.300	388.850	1.03	-0.22	0.25	18
19	615594.999	4515816.496	389.100	615594.110	4515816.900	394.940	0.89	-0.40		19
20	615598.409	4515815.077	389.100	615597.400	4515815.290	397.180	1.01	-0.21		20
21	615594.999	4515816.496	389.100	615594.090	4515816.870	405.600	0.91	-0.37		21
22	615598.409	4515815.077	389.100	615597.370	4515815.260	408.330	1.04	-0.18		22
23	615594.999	4515816.496	389.100	615594.080	4515816.820	416.940	0.92	-0.32		23
24	615598.409	4515815.077	389.100	615597.360	4515815.200	419.630	1.05	-0.12		24
25	615594.999	4515816.496	433.100	615594.020	4515816.810	432.910	0.98	-0.31	0.19	25
26	615598.409	4515815.077	433.100	615597.340	4515815.180	432.900	1.07	-0.10	0.20	26
27	615596.178	4515821.046	434.200	615595.480	4515821.210	434.010	0.70	-0.16	0.19	27
28	615600.798	4515819.126	434.200	615599.970	4515819.050	433.970	0.83	0.08	0.23	28

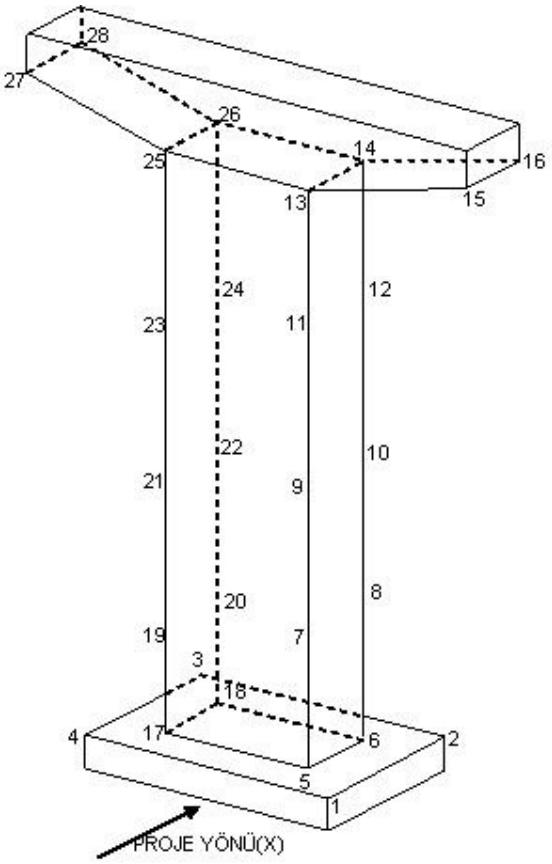


Tablo A.6: Viyadük ayaklarında meydana gelen lokal deformasyonlar (45L)

AYAK NO

45 L **Lokal Deformasyonlar**

	PROJE			ÖLÇÜLEN			FARK			
No	**Y**	**X**	**H**	**Y**	**X**	**H**	**dy**	**dx**	**dh**	**No**
1	615591.598	4515827.665	389.020	615591.630	4515827.700	388.840	-0.03	-0.04	0.18	1
2	615608.857	4515820.487	389.020	615608.880	4515820.530	388.850	-0.02	-0.04	0.17	2
3	615614.996	4515835.266	389.020	615614.990	4515835.300	388.850	0.01	-0.03	0.17	3
4	615597.737	4515842.444	389.020	615597.750	4515842.550	388.840	-0.01	-0.11	0.18	4
5	615600.058	4515828.486	389.020	615600.100	4515828.620	388.840	-0.04	-0.13	0.18	5
6	615603.467	4515827.066	389.020	615603.450	4515827.130	388.830	0.02	-0.06	0.19	6
7	615600.058	4515828.486	389.020	615600.110	4515828.590	396.290	-0.05	-0.10		7
8	615603.467	4515827.066	389.020	615603.460	4515827.120	397.300	0.01	-0.05		8
9	615600.058	4515828.486	389.020	615600.100	4515828.580	404.710	-0.04	-0.09		9
10	615603.467	4515827.066	389.020	615603.460	4515827.120	411.030	0.01	-0.05		10
11	615600.058	4515828.486	389.020	615600.110	4515828.550	417.130	-0.05	-0.06		11
12	615603.467	4515827.066	389.020	615603.520	4515827.120	420.740	-0.05	-0.05		12
13	615600.058	4515828.486	433.020	615600.080	4515828.480	432.830	-0.02	0.01	0.19	13
14	615603.467	4515827.066	433.020	615603.490	4515827.070	432.850	-0.02	0.00	0.17	14
15	615597.668	4515824.436	434.120	615597.730	4515824.470	433.930	-0.06	-0.03	0.19	15
16	615602.288	4515822.516	434.120	615602.320	4515822.550	433.900	-0.03	-0.03	0.22	16
17	615603.127	4515835.865	389.020	615603.150	4515835.940	388.840	-0.02	-0.08	0.18	17
18	615606.537	4515834.446	389.020	615606.600	4515834.520	388.850	-0.06	-0.07	0.17	18
19	615603.127	4515835.865	389.020	615603.160	4515835.950	396.440	-0.03	-0.09		19
20	615606.537	4515834.446	389.020	615606.610	4515834.510	397.310	-0.07	-0.06		20
21	615603.127	4515835.865	389.020	615603.210	4515835.920	404.710	-0.08	-0.06		21
22	615606.537	4515834.446	389.020	615606.640	4515834.440	410.900	-0.10	0.01		22
23	615603.127	4515835.865	389.020	615603.250	4515835.890	416.830	-0.12	-0.03		23
24	615606.537	4515834.446	389.020	615606.650	4515834.420	420.390	-0.11	0.03		24
25	615603.127	4515835.865	433.020	615603.220	4515835.860	432.840	-0.09	0.00	0.18	25
26	615606.537	4515834.446	433.020	615606.610	4515834.440	432.830	-0.07	0.01	0.19	26
27	615604.306	4515840.415	434.120	615604.370	4515840.380	433.970	-0.06	0.04	0.15	27
28	615608.926	4515838.495	434.120							28

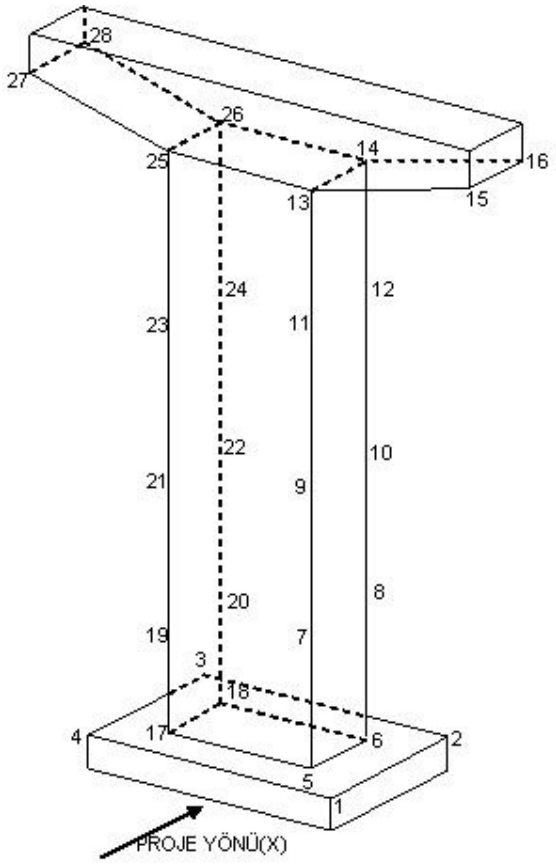


Tablo A.6: Viyadük ayaklarında meydana gelen lokal deformasyonlar (46R)

AYAK NO

46 R Lokal Deformasyonlar

	PROJE			ÖLÇÜLEN			FARK			
No	**Y**	**X**	**H**	**Y**	**X**	**H**	**dy**	**dx**	**dh**	**No**
1	615619.669	4515793.250	390.300	615617.922	4515793.730	389.990	1.75	-0.48	0.31	1
2	615636.928	4515786.072	390.300	615635.182	4515786.548	389.990	1.75	-0.48	0.31	2
3	615643.066	4515800.851	390.300	615641.324	4515801.329	389.990	1.74	-0.48	0.31	3
4	615625.807	4515808.029	390.300	615624.063	4515808.511	389.990	1.74	-0.48	0.31	4
5	615628.128	4515794.070	390.300							5
6	615631.538	4515792.651	390.300							6
7	615628.128	4515794.070	390.300	615626.382	4515794.550	397.990	1.75	-0.48		7
8	615631.538	4515792.651	390.300	615629.792	4515793.129	399.680	1.75	-0.48		8
9	615628.128	4515794.070	390.300	615626.382	4515794.550	410.990	1.75	-0.48		9
10	615631.538	4515792.651	390.300							10
11	615628.128	4515794.070	390.300	615626.382	4515794.550	410.990	1.75	-0.48		11
12	615631.538	4515792.651	390.300							12
13	615628.128	4515794.070	434.300	615626.382	4515794.550	433.990	1.75	-0.48	0.31	13
14	615631.538	4515792.651	434.300	615629.792	4515793.129	433.990	1.75	-0.48	0.31	14
15	615625.738	4515790.020	435.400	615623.982	4515790.490	435.090	1.76	-0.47	0.31	15
16	615630.358	4515788.101	435.400	615628.602	4515788.569	435.090	1.76	-0.47	0.31	16
17	615631.197	4515801.450	390.300							17
18	615634.607	4515800.030	390.300							18
19	615631.197	4515801.450	390.300							19
20	615634.607	4515800.030	390.300							20
21	615631.197	4515801.450	390.300							21
22	615634.607	4515800.030	390.300							22
23	615631.197	4515801.450	390.300	615629.443	4515801.920	419.270	1.75	-0.47		23
24	615634.607	4515800.030	390.300							24
25	615631.197	4515801.450	434.300	615629.443	4515801.920	389.990	1.75	-0.47		25
26	615634.607	4515800.030	434.300	615632.863	4515800.510	389.990	1.74	-0.48		26
27	615632.377	4515806.000	435.400	615630.623	4515806.470	435.090	1.75	-0.47	0.31	27
28	615636.996	4515804.080	435.400	615635.244	4515804.550	435.090	1.75	-0.47	0.31	28

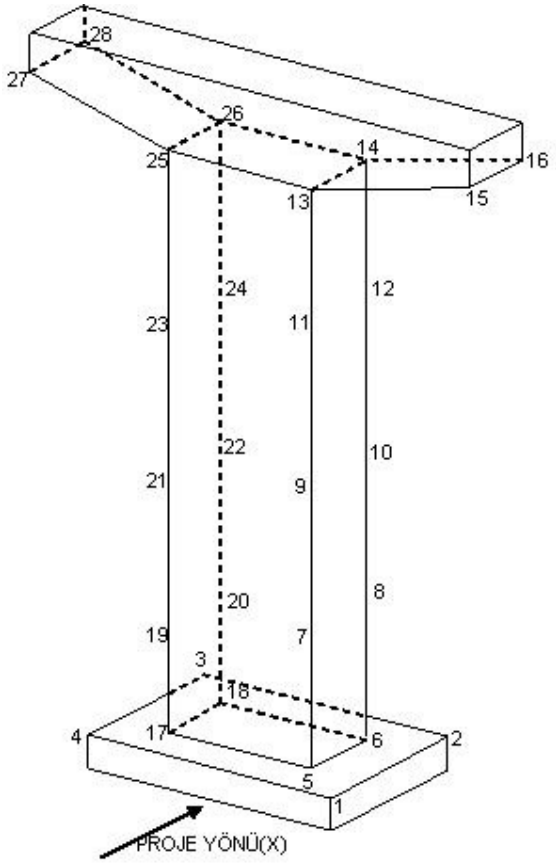


Tablo A.6: Viyadük ayaklarında meydana gelen lokal deformasyonlar (46L)

AYAK NO

46 L **Lokal Deformasyonlar**

	PROJE			ÖLÇÜLEN			FARK			
No	**Y**	**X**	**H**	**Y**	**X**	**H**	**dy**	**dx**	**dh**	**No**
1	615627.787	4515812.609	390.230	615627.860	4515812.770	389.920	-0.07	-0.16	0.31	1
2	615645.046	4515805.431	390.230	615645.100	4515805.640	389.940	-0.05	-0.21	0.29	2
3	615651.184	4515820.210	390.230	615651.210	4515820.410	389.930	-0.03	-0.20	0.30	3
4	615633.925	4515827.388	390.230	615633.980	4515827.580	389.920	-0.06	-0.19	0.31	4
5	615636.246	4515813.429	390.230							5
6	615639.656	4515812.010	390.230							6
7	615636.246	4515813.429	390.230	615636.310	4515813.610	398.050	-0.06	-0.18		7
8	615639.656	4515812.010	390.230	615639.690	4515812.200	395.980	-0.03	-0.19		8
9	615636.246	4515813.429	390.230							9
10	615639.656	4515812.010	390.230	615639.710	4515812.200	407.410	-0.05	-0.19		10
11	615636.246	4515813.429	390.230	615636.320	4515813.600	419.690	-0.07	-0.17		11
12	615639.656	4515812.010	390.230	615639.710	4515812.180	418.390	-0.05	-0.17		12
13	615636.246	4515813.429	434.230	615636.310	4515813.560	434.060	-0.06	-0.13	0.17	13
14	615639.656	4515812.010	434.230	615639.750	4515812.170	434.070	-0.09	-0.16	0.16	14
15	615633.856	4515809.379	435.330	615633.970	4515809.530	435.200	-0.11	-0.15	0.13	15
16	615638.476	4515807.460	435.330	615638.590	4515807.630	435.140	-0.11	-0.17	0.19	16
17	615639.315	4515820.809	390.230							17
18	615642.725	4515819.389	390.230							18
19	615639.315	4515820.809	390.230	615639.370	4515820.950	398.260	-0.06	-0.14		19
20	615642.725	4515819.389	390.230	615642.790	4515819.550	397.980	-0.07	-0.16		20
21	615639.315	4515820.809	390.230	615639.370	4515820.950	409.650	-0.06	-0.14		21
22	615642.725	4515819.389	390.230	615642.780	4515819.530	407.570	-0.06	-0.14		22
23	615639.315	4515820.809	390.230	615639.410	4515820.950	419.940	-0.10	-0.14		23
24	615642.725	4515819.389	390.230	615642.800	4515819.520	420.620	-0.08	-0.13		24
25	615639.315	4515820.809	434.230	615639.390	4515820.950	434.070	-0.08	-0.14	0.16	25
26	615642.725	4515819.389	434.230	615642.800	4515819.560	434.090	-0.08	-0.17	0.14	26
27	615640.495	4515825.359	435.330	615640.530	4515825.470	435.140	-0.04	-0.11	0.19	27
28	615645.114	4515823.439	435.330	615645.140	4515823.570	435.150	-0.03	-0.13	0.18	28

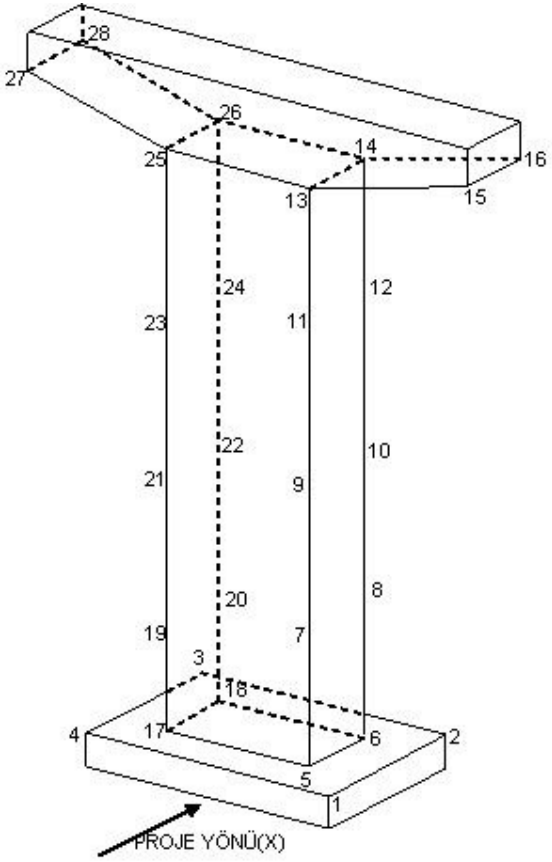


Tablo A.6: Viyadük ayaklarında meydana gelen lokal deformasyonlar (47R)

AYAK NO

47 R Lokal Deformasyonlar

	PROJE			ÖLÇÜLEN			FARK			
No	**Y**	**X**	**H**	**Y**	**X**	**H**	**dy**	**dx**	**dh**	**No**
1	615655.867	4515778.203	390.510	615654.230	4515778.510	390.320	1.64	-0.31	0.19	1
2	615673.126	4515771.025	390.510	615671.480	4515771.300	390.320	1.65	-0.28	0.19	2
3	615679.264	4515785.805	390.510	615677.640	4515786.080	390.350	1.62	-0.28	0.16	3
4	615662.005	4515792.983	390.510	615660.380	4515793.280	390.350	1.63	-0.30	0.16	4
5	615664.326	4515779.024	390.510							5
6	615667.736	4515777.604	390.510							6
7	615664.326	4515779.024	390.510	615662.610	4515779.410	397.930	1.72	-0.39		7
8	615667.736	4515777.604	390.510							8
9	615664.326	4515779.024	390.510	615662.620	4515779.400	410.140	1.71	-0.38		9
10	615667.736	4515777.604	390.510	615666.000	4515777.970	410.890	1.74	-0.37		10
11	615664.326	4515779.024	390.510	615662.610	4515779.390	424.010	1.72	-0.37		11
12	615667.736	4515777.604	390.510	615666.000	4515777.970	423.430	1.74	-0.37		12
13	615664.326	4515779.024	435.510	615662.610	4515779.370	435.350	1.72	-0.35	0.16	13
14	615667.736	4515777.604	435.510	615665.990	4515777.950	435.330	1.75	-0.35	0.18	14
15	615661.937	4515774.974	436.610	615660.200	4515775.400	436.410	1.74	-0.43	0.20	15
16	615666.556	4515773.055	436.610	615664.780	4515773.450	436.420	1.78	-0.40	0.19	16
17	615667.395	4515786.404	390.510							17
18	615670.805	4515784.984	390.510							18
19	615667.395	4515786.404	390.510	615665.690	4515786.770	407.310	1.71	-0.37		19
20	615670.805	4515784.984	390.510	615669.080	4515785.340	410.710	1.73	-0.36		20
21	615667.395	4515786.404	390.510	615665.690	4515786.770	417.820	1.71	-0.37		21
22	615670.805	4515784.984	390.510	615669.070	4515785.280	421.030	1.74	-0.30		22
23	615667.395	4515786.404	390.510							23
24	615670.805	4515784.984	390.510	615669.090	4515785.330	423.080	1.72	-0.35		24
25	615667.395	4515786.404	435.510	615665.690	4515786.750	435.330	1.71	-0.35	0.18	25
26	615670.805	4515784.984	435.510	615669.140	4515785.310	435.330	1.67	-0.33	0.18	26
27	615668.575	4515790.953	436.610	615666.930	4515791.260	436.390	1.64	-0.31	0.22	27
28	615673.195	4515789.034	436.610	615671.500	4515789.330	436.430	1.69	-0.30	0.18	28

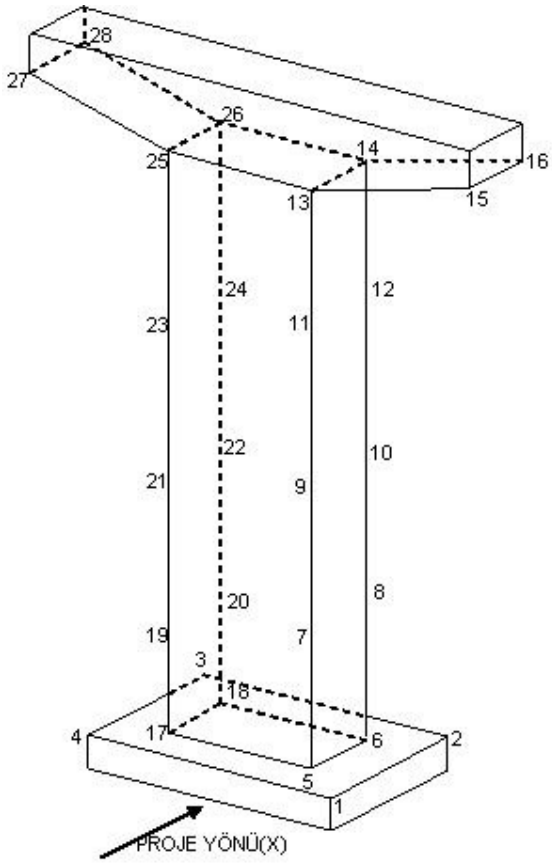


Tablo A.6: Viyadük ayaklarında meydana gelen lokal deformasyonlar (47L)

AYAK NO

47 L **Lokal Deformasyonlar**

	PROJE			ÖLÇÜLEN			FARK			
No	**Y**	**X**	**H**	**Y**	**X**	**H**	**dy**	**dx**	**dh**	**No**
1	615663.990	4515797.560	391.430	615662.967	4515798.538	391.260	1.02	-0.98	0.17	1
2	615681.240	4515790.380	391.430	615679.774	4515790.275	391.282	1.47	0.10	0.15	2
3	615687.380	4515805.160	391.430	615686.765	4515804.613	391.353	0.61	0.55	0.08	3
4	615670.120	4515812.340	391.430	615670.045	4515812.865	391.354	0.07	-0.53	0.08	4
5	615672.440	4515798.380	391.430							5
6	615675.850	4515796.960	391.430							6
7	615672.440	4515798.380	391.430	615671.560	4515798.800	397.200	0.88	-0.42		7
8	615675.850	4515796.960	391.430							8
9	615672.440	4515798.380	391.430	615671.520	4515798.800	408.150	0.92	-0.42		9
10	615675.850	4515796.960	391.430							10
11	615672.440	4515798.380	391.430							11
12	615675.850	4515796.960	391.430	615674.770	4515797.200	422.750	1.08	-0.24		12
13	615672.440	4515798.380	435.430	615671.370	4515798.860	435.280	1.07	-0.48	0.15	13
14	615675.850	4515796.960	435.430	615674.720	4515797.130	435.280	1.13	-0.17	0.15	14
15	615670.050	4515794.330	436.530	615668.730	4515794.990	436.360	1.32	-0.66	0.17	15
16	615674.670	4515792.410	436.530	615673.170	4515792.740	436.380	1.50	-0.33	0.15	16
17	615675.510	4515805.760	391.430							17
18	615678.920	4515804.340	391.430							18
19	615675.510	4515805.760	391.430	615675.040	4515805.960	398.800	0.47	-0.20		19
20	615678.920	4515804.340	391.430	615678.360	4515804.330	411.940	0.56	0.01		20
21	615675.510	4515805.760	391.430	615675.000	4515805.970	411.770	0.51	-0.21		21
22	615678.920	4515804.340	391.430	615678.290	4515804.340	419.390	0.63	0.00		22
23	615675.510	4515805.760	391.430	615674.960	4515805.960	422.290	0.55	-0.20		23
24	615678.920	4515804.340	391.430	615678.320	4515804.310	422.740	0.60	0.03		24
25	615675.510	4515805.760	435.430	615674.940	4515805.930	435.240	0.57	-0.17	0.19	25
26	615678.920	4515804.340	435.430	615678.290	4515804.280	435.300	0.63	0.06	0.13	26
27	615676.690	4515810.310	436.530	615676.520	4515810.350	436.390	0.17	-0.04	0.14	27
28	615681.310	4515808.390	436.530	615680.970	4515808.110	436.400	0.34	0.28	0.13	28

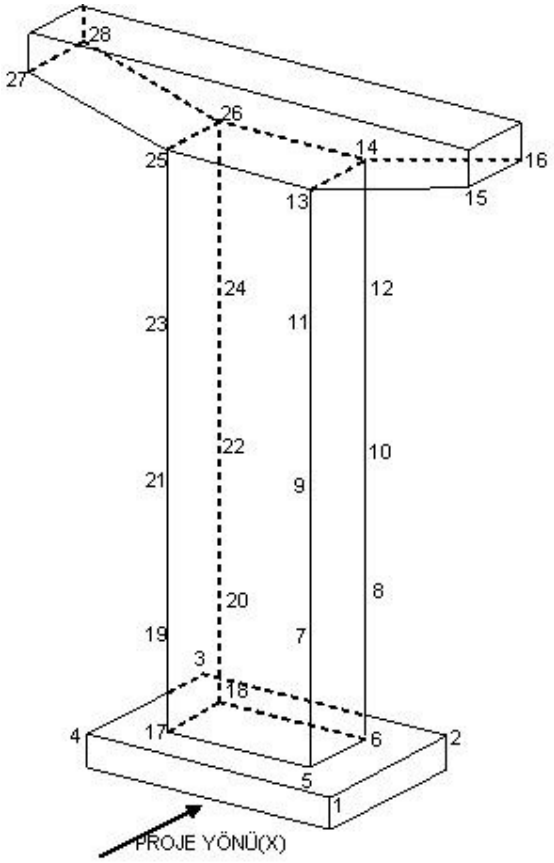


Tablo A.7: Viyadük ayaklarında meydana gelen yapısal deformasyonlar (45R)

AYAK NO

45 R Yapısal Deformasyonlar

	PROJE			ÖLÇÜLEN			FARK			
No	**Y**	**X**	**H**	**Y**	**X**	**H**	**dy**	**dx**	**dh**	**No**
1	615582.323	4515808.680	388.853	615582.180	4515808.900	388.850	0.14	-0.22	0.00	1
2	615599.583	4515801.500	388.853	615599.380	4515801.460	388.840	0.20	0.04	0.01	2
3	615605.723	4515816.280	388.853	615605.840	4515816.140	388.870	-0.12	0.14	-0.02	3
4	615588.463	4515823.460	388.853	615588.690	4515823.420	388.850	-0.23	0.04	0.00	4
5	615590.783	4515809.500	388.853	615590.640	4515809.730	388.870	0.14	-0.23	-0.02	5
6	615594.193	4515808.080	388.853	615593.960	4515808.070	388.860	0.23	0.01	-0.01	6
7	615590.783	4515809.500	388.853	615590.630	4515809.720	394.960	0.15	-0.22		7
8	615594.193	4515808.080	388.853	615593.950	4515808.080	397.280	0.24	0.00		8
9	615590.783	4515809.500	388.853	615590.620	4515809.680	405.540	0.16	-0.18		9
10	615594.193	4515808.080	388.853	615593.940	4515808.040	408.330	0.25	0.04		10
11	615590.783	4515809.500	388.853	615590.600	4515809.650	416.880	0.18	-0.15		11
12	615594.193	4515808.080	388.853	615593.910	4515808.010	418.830	0.28	0.07		12
13	615590.783	4515809.500	432.853	615590.590	4515809.580	419.650	0.19	-0.08		13
14	615594.193	4515808.080	432.853	615593.930	4515807.970	432.890	0.26	0.11	-0.04	14
15	615588.393	4515805.450	433.953	615587.980	4515805.680	433.950	0.41	-0.23	0.00	15
16	615593.013	4515803.530	433.953	615592.490	4515803.510	433.910	0.52	0.02	0.04	16
17	615593.853	4515816.880	388.853	615594.100	4515816.880	388.850	-0.25	0.00	0.00	17
18	615597.263	4515815.460	388.853	615597.380	4515815.300	388.850	-0.12	0.16	0.00	18
19	615593.853	4515816.880	388.853	615594.110	4515816.900	394.940	-0.26	-0.02		19
20	615597.263	4515815.460	388.853	615597.400	4515815.290	397.180	-0.14	0.17		20
21	615593.853	4515816.880	388.853	615594.090	4515816.870	405.600	-0.24	0.01		21
22	615597.263	4515815.460	388.853	615597.370	4515815.260	408.330	-0.11	0.20		22
23	615593.853	4515816.880	388.853	615594.080	4515816.820	416.940	-0.23	0.06		23
24	615597.263	4515815.460	388.853	615597.360	4515815.200	419.630	-0.10	0.26		24
25	615593.853	4515816.880	432.853	615594.020	4515816.810	432.910	-0.17	0.07	-0.06	25
26	615597.263	4515815.460	432.853	615597.340	4515815.180	432.900	-0.08	0.28	-0.05	26
27	615595.033	4515821.430	433.953	615595.480	4515821.210	434.010	-0.45	0.22	-0.06	27
28	615599.653	4515819.510	433.953	615599.970	4515819.050	433.970	-0.32	0.46	-0.02	28

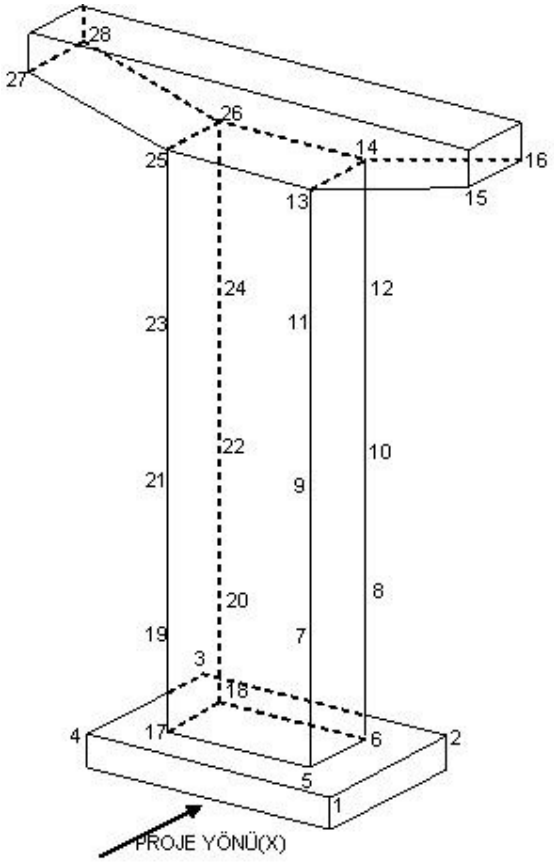


Tablo A.7: Viyadük ayaklarında meydana gelen yapısal deformasyonlar (45L)

AYAK NO

45 L **Yapısal Deformasyonlar**

	PROJE			ÖLÇÜLEN			FARK			
No	**Y**	**X**	**H**	**Y**	**X**	**H**	**dy**	**dx**	**dh**	**No**
1	615591.625	4515827.753	388.840	615591.630	4515827.700	388.840	-0.01	0.05	0.00	1
2	615608.885	4515820.573	388.840	615608.880	4515820.530	388.850	0.00	0.04	-0.01	2
3	615615.025	4515835.353	388.840	615614.990	4515835.300	388.850	0.03	0.05	-0.01	3
4	615597.765	4515842.533	388.840	615597.750	4515842.550	388.840	0.01	-0.02	0.00	4
5	615600.085	4515828.573	388.840	615600.100	4515828.620	388.840	-0.02	-0.05	0.00	5
6	615603.495	4515827.153	388.840	615603.450	4515827.130	388.830	0.04	0.02	0.01	6
7	615600.085	4515828.573	388.840	615600.110	4515828.590	396.290	-0.03	-0.02		7
8	615603.495	4515827.153	388.840	615603.460	4515827.120	397.300	0.03	0.03		8
9	615600.085	4515828.573	388.840	615600.100	4515828.580	404.710	-0.02	-0.01		9
10	615603.495	4515827.153	388.840	615603.460	4515827.120	411.030	0.03	0.03		10
11	615600.085	4515828.573	388.840	615600.110	4515828.550	417.130	-0.03	0.02		11
12	615603.495	4515827.153	388.840	615603.520	4515827.120	420.740	-0.03	0.03		12
13	615600.085	4515828.573	432.840	615600.080	4515828.480	432.830	0.01	0.09	0.01	13
14	615603.495	4515827.153	432.840	615603.490	4515827.070	432.850	0.00	0.08	-0.01	14
15	615597.695	4515824.523	433.940	615597.730	4515824.470	433.930	-0.04	0.05	0.01	15
16	615602.315	4515822.603	433.940	615602.320	4515822.550	433.900	-0.01	0.05	0.04	16
17	615603.155	4515835.953	388.840	615603.150	4515835.940	388.840	0.00	0.01	0.00	17
18	615606.565	4515834.533	388.840	615606.600	4515834.520	388.850	-0.04	0.01	-0.01	18
19	615603.155	4515835.953	388.840	615603.160	4515835.950	396.440	-0.01	0.00		19
20	615606.565	4515834.533	388.840	615606.610	4515834.510	397.310	-0.05	0.02		20
21	615603.155	4515835.953	388.840	615603.210	4515835.920	404.710	-0.06	0.03		21
22	615606.565	4515834.533	388.840	615606.640	4515834.440	410.900	-0.08	0.09		22
23	615603.155	4515835.953	388.840	615603.250	4515835.890	416.830	-0.10	0.06		23
24	615606.565	4515834.533	388.840	615606.650	4515834.420	420.390	-0.09	0.11		24
25	615603.155	4515835.953	432.840	615603.220	4515835.860	432.840	-0.07	0.09	0.00	25
26	615606.565	4515834.533	432.840	615606.610	4515834.440	432.830	-0.05	0.09	0.01	26
27	615604.335	4515840.503	433.940	615604.370	4515840.380	433.970	-0.04	0.12	-0.03	27
28	615608.955	4515838.583	433.940							28

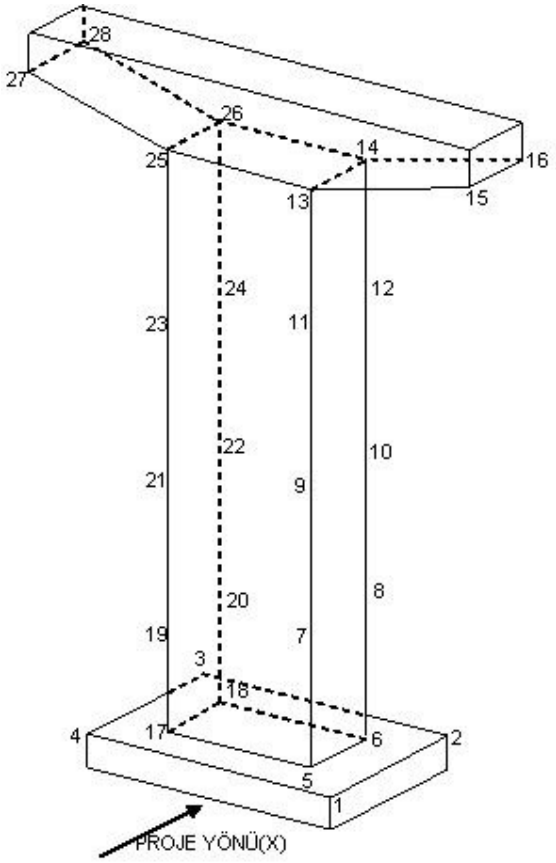


Tablo A.7: Viyadük ayaklarında meydana gelen yapısal deformasyonlar (46R)

AYAK NO

46 R Yapısal Deformasyonlar

	PROJE			ÖLÇÜLEN			FARK			
No	**Y**	**X**	**H**	**Y**	**X**	**H**	**dy**	**dx**	**dh**	**No**
1	615617.923	4515793.730	389.990	615617.922	4515793.730	389.990	0.00	0.00	0.00	1
2	615635.183	4515786.550	389.990	615635.182	4515786.548	389.990	0.00	0.00	0.00	2
3	615641.323	4515801.330	389.990	615641.324	4515801.329	389.990	0.00	0.00	0.00	3
4	615624.063	4515808.510	389.990	615624.063	4515808.511	389.990	0.00	0.00	0.00	4
5	615626.383	4515794.550	389.990							5
6	615629.793	4515793.130	389.990							6
7	615626.383	4515794.550	389.990	615626.382	4515794.550	397.990	0.00	0.00		7
8	615629.793	4515793.130	389.990	615629.792	4515793.129	399.680	0.00	0.00		8
9	615626.383	4515794.550	389.990	615626.382	4515794.550	410.990	0.00	0.00		9
10	615629.793	4515793.130	389.990							10
11	615626.383	4515794.550	389.990	615626.382	4515794.550	410.990	0.00	0.00		11
12	615629.793	4515793.130	389.990							12
13	615626.383	4515794.550	433.990	615626.382	4515794.550	433.990	0.00	0.00	0.00	13
14	615629.793	4515793.130	433.990	615629.792	4515793.129	433.990	0.00	0.00	0.00	14
15	615623.993	4515790.500	435.090	615623.982	4515790.490	435.090	0.01	0.01	0.00	15
16	615628.613	4515788.580	435.090	615628.602	4515788.569	435.090	0.01	0.01	0.00	16
17	615629.453	4515801.930	389.990							17
18	615632.863	4515800.510	389.990							18
19	615629.453	4515801.930	389.990							19
20	615632.863	4515800.510	389.990							20
21	615629.453	4515801.930	389.990							21
22	615632.863	4515800.510	389.990							22
23	615629.453	4515801.930	389.990	615629.443	4515801.920	419.270	0.01	0.01		23
24	615632.863	4515800.510	389.990							24
25	615629.453	4515801.930	433.990	615629.443	4515801.920	389.990	0.01	0.01		25
26	615632.863	4515800.510	433.990	615632.863	4515800.510	389.990	0.00	0.00		26
27	615630.633	4515806.480	435.090	615630.623	4515806.470	435.090	0.01	0.01	0.00	27
28	615635.253	4515804.560	435.090	615635.244	4515804.550	435.090	0.01	0.01	0.00	28

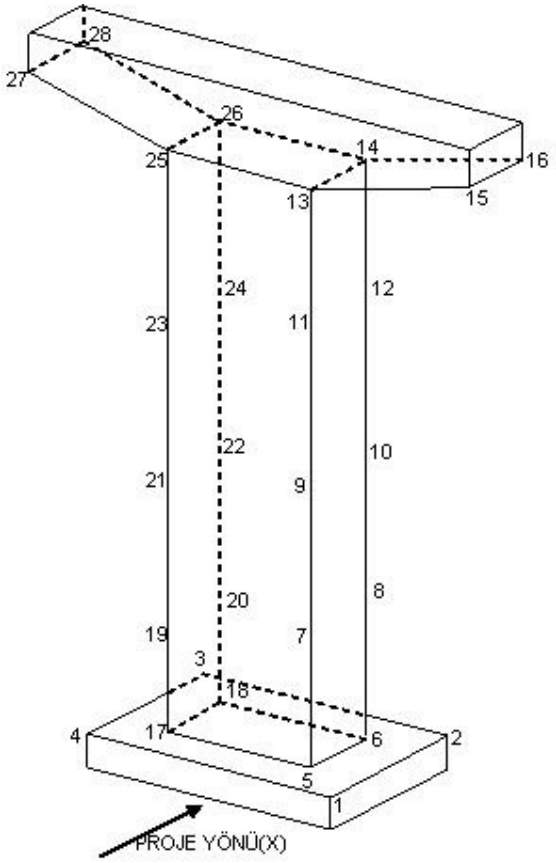


Tablo A.7: Viyadük ayaklarında meydana gelen yapısal deformasyonlar (46L)

AYAK NO

46 L Yapısal Deformasyonlar

	PROJE			ÖLÇÜLEN			FARK			
No	**Y**	**X**	**H**	**Y**	**X**	**H**	**dy**	**dx**	**dh**	**No**
1	615627.838	4515812.800	389.928	615627.860	4515812.770	389.920	-0.02	0.03	0.01	1
2	615645.098	4515805.620	389.928	615645.100	4515805.640	389.940	0.00	-0.02	-0.01	2
3	615651.238	4515820.400	389.928	615651.210	4515820.410	389.930	0.03	-0.01	0.00	3
4	615633.978	4515827.580	389.928	615633.980	4515827.580	389.920	0.00	0.00	0.01	4
5	615636.298	4515813.620	389.928							5
6	615639.708	4515812.200	389.928							6
7	615636.298	4515813.620	389.928	615636.310	4515813.610	398.050	-0.01	0.01		7
8	615639.708	4515812.200	389.928	615639.690	4515812.200	395.980	0.02	0.00		8
9	615636.298	4515813.620	389.928							9
10	615639.708	4515812.200	389.928	615639.710	4515812.200	407.410	0.00	0.00		10
11	615636.298	4515813.620	389.928	615636.320	4515813.600	419.690	-0.02	0.02		11
12	615639.708	4515812.200	389.928	615639.710	4515812.180	418.390	0.00	0.02		12
13	615636.298	4515813.620	433.928	615636.310	4515813.560	434.060	-0.01	0.06	-0.13	13
14	615639.708	4515812.200	433.928	615639.750	4515812.170	434.070	-0.04	0.03	-0.14	14
15	615633.908	4515809.570	435.028	615633.970	4515809.530	435.200	-0.06	0.04	-0.17	15
16	615638.528	4515807.650	435.028	615638.590	4515807.630	435.140	-0.06	0.02	-0.11	16
17	615639.368	4515821.000	389.928							17
18	615642.778	4515819.580	389.928							18
19	615639.368	4515821.000	389.928	615639.370	4515820.950	398.260	0.00	0.05		19
20	615642.778	4515819.580	389.928	615642.790	4515819.550	397.980	-0.01	0.03		20
21	615639.368	4515821.000	389.928	615639.370	4515820.950	409.650	0.00	0.05		21
22	615642.778	4515819.580	389.928	615642.780	4515819.530	407.570	0.00	0.05		22
23	615639.368	4515821.000	389.928	615639.410	4515820.950	419.940	-0.04	0.05		23
24	615642.778	4515819.580	389.928	615642.800	4515819.520	420.620	-0.02	0.06		24
25	615639.368	4515821.000	433.928	615639.390	4515820.950	434.070	-0.02	0.05	-0.14	25
26	615642.778	4515819.580	433.928	615642.800	4515819.560	434.090	-0.02	0.02	-0.16	26
27	615640.548	4515825.550	435.028	615640.530	4515825.470	435.140	0.02	0.08	-0.11	27
28	615645.168	4515823.630	435.028	615645.140	4515823.570	435.150	0.03	0.06	-0.12	28

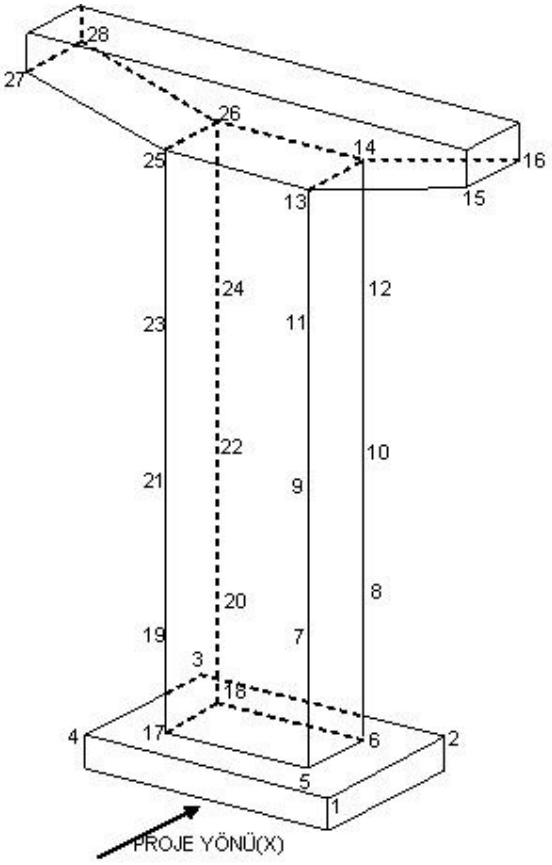


Tablo A.7: Viyadük ayaklarında meydana gelen yapısal deformasyonlar (47R)

AYAK NO

47 R Yapısal Deformasyonlar

	PROJE			ÖLÇÜLEN			FARK			
No	**Y**	**X**	**H**	**Y**	**X**	**H**	**dy**	**dx**	**dh**	**No**
1	615654.233	4515778.493	390.335	615654.230	4515778.510	390.320	0.00	-0.02	0.02	1
2	615671.493	4515771.313	390.335	615671.480	4515771.300	390.320	0.01	0.01	0.02	2
3	615677.633	4515786.093	390.335	615677.640	4515786.080	390.350	-0.01	0.01	-0.01	3
4	615660.373	4515793.273	390.335	615660.380	4515793.280	390.350	-0.01	-0.01	-0.01	4
5	615662.693	4515779.313	390.335							5
6	615666.103	4515777.893	390.335							6
7	615662.693	4515779.313	390.335	615662.610	4515779.410	397.930	0.08	-0.10		7
8	615666.103	4515777.893	390.335							8
9	615662.693	4515779.313	390.335	615662.620	4515779.400	410.140	0.07	-0.09		9
10	615666.103	4515777.893	390.335	615666.000	4515777.970	410.890	0.10	-0.08		10
11	615662.693	4515779.313	390.335	615662.610	4515779.390	424.010	0.08	-0.08		11
12	615666.103	4515777.893	390.335	615666.000	4515777.970	423.430	0.10	-0.08		12
13	615662.693	4515779.313	435.335	615662.610	4515779.370	435.350	0.08	-0.06	-0.01	13
14	615666.103	4515777.893	435.335	615665.990	4515777.950	435.330	0.11	-0.06	0.01	14
15	615660.303	4515775.263	436.435	615660.200	4515775.400	436.410	0.10	-0.14	0.03	15
16	615664.923	4515773.343	436.435	615664.780	4515773.450	436.420	0.14	-0.11	0.02	16
17	615665.763	4515786.693	390.335							17
18	615669.173	4515785.273	390.335							18
19	615665.763	4515786.693	390.335	615665.690	4515786.770	407.310	0.07	-0.08		19
20	615669.173	4515785.273	390.335	615669.080	4515785.340	410.710	0.09	-0.07		20
21	615665.763	4515786.693	390.335	615665.690	4515786.770	417.820	0.07	-0.08		21
22	615669.173	4515785.273	390.335	615669.070	4515785.280	421.030	0.10	-0.01		22
23	615665.763	4515786.693	390.335							23
24	615669.173	4515785.273	390.335	615669.090	4515785.330	423.080	0.08	-0.06		24
25	615665.763	4515786.693	435.335	615665.690	4515786.750	435.330	0.07	-0.06	0.01	25
26	615669.173	4515785.273	435.335	615669.140	4515785.310	435.330	0.03	-0.04	0.01	26
27	615666.943	4515791.243	436.435	615666.930	4515791.260	436.390	0.01	-0.02	0.05	27
28	615671.563	4515789.323	436.435	615671.500	4515789.330	436.430	0.06	-0.01	0.01	28

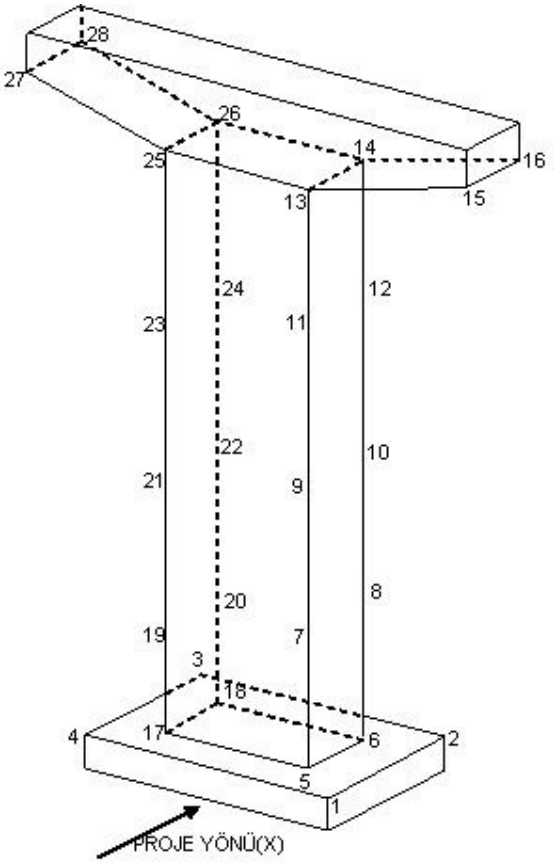


Tablo A.7: Viyadük ayaklarında meydana gelen yapısal deformasyonlar (47L)

AYAK NO

47 L Yapısal Deformasyonlar

	PROJE			ÖLÇÜLEN			FARK			
No	**Y**	**X**	**H**	**Y**	**X**	**H**	**dy**	**dx**	**dh**	**No**
1	615663.188	4515797.773	391.312	615662.967	4515798.538	391.260	0.22	-0.77	0.05	1
2	615680.448	4515790.593	391.312	615679.774	4515790.275	391.282	0.67	0.32	0.03	2
3	615686.588	4515805.373	391.312	615686.765	4515804.613	391.353	-0.18	0.76	-0.04	3
4	615669.328	4515812.553	391.312	615670.045	4515812.865	391.354	-0.72	-0.31	-0.04	4
5	615671.648	4515798.593	391.312							5
6	615675.058	4515797.173	391.312							6
7	615671.648	4515798.593	391.312	615671.560	4515798.800	397.200	0.09	-0.21		7
8	615675.058	4515797.173	391.312							8
9	615671.648	4515798.593	391.312	615671.520	4515798.800	408.150	0.13	-0.21		9
10	615675.058	4515797.173	391.312							10
11	615671.648	4515798.593	391.312							11
12	615675.058	4515797.173	391.312	615674.770	4515797.200	422.750	0.29	-0.03		12
13	615671.648	4515798.593	435.312	615671.370	4515798.860	435.280	0.28	-0.27	0.03	13
14	615675.058	4515797.173	435.312	615674.720	4515797.130	435.280	0.34	0.04	0.03	14
15	615669.258	4515794.543	436.412	615668.730	4515794.990	436.360	0.53	-0.45	0.05	15
16	615673.878	4515792.623	436.412	615673.170	4515792.740	436.380	0.71	-0.12	0.03	16
17	615674.718	4515805.973	391.312							17
18	615678.128	4515804.553	391.312							18
19	615674.718	4515805.973	391.312	615675.040	4515805.960	398.800	-0.32	0.01		19
20	615678.128	4515804.553	391.312	615678.360	4515804.330	411.940	-0.23	0.22		20
21	615674.718	4515805.973	391.312	615675.000	4515805.970	411.770	-0.28	0.00		21
22	615678.128	4515804.553	391.312	615678.290	4515804.340	419.390	-0.16	0.21		22
23	615674.718	4515805.973	391.312	615674.960	4515805.960	422.290	-0.24	0.01		23
24	615678.128	4515804.553	391.312	615678.320	4515804.310	422.740	-0.19	0.24		24
25	615674.718	4515805.973	435.312	615674.940	4515805.930	435.240	-0.22	0.04	0.07	25
26	615678.128	4515804.553	435.312	615678.290	4515804.280	435.300	-0.16	0.27	0.01	26
27	615675.898	4515810.523	436.412	615676.520	4515810.350	436.390	-0.62	0.17	0.02	27
28	615680.518	4515808.603	436.412	615680.970	4515808.110	436.400	-0.45	0.49	0.01	28



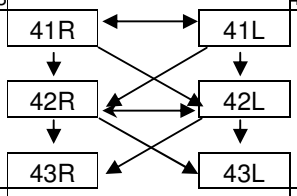
Tablo A.8 : Viyadük elemanlarında boyut kontrolü (41-42-43)

41R	**proje**	**Ölçü**	**Fark**
1--2	18.69	18.68	0.01
2--3	16.00	16.01	0.00
3--4	18.69	18.73	-0.04
4--1	16.00	16.00	0.01
5--6	3.69		
6--18	7.99		
18--17	3.69		
17--5	7.99		
13--14	3.69	3.68	0.01
14--26	7.99	7.99	0.01
26-25	3.69	3.72	-0.03
25-13	7.99	8.00	-0.01
15--16	5.00	4.99	0.01
16--28	17.30	17.06	0.25
28--27	5.00	4.98	0.02
27--15	17.30	17.30	0.00

41L	**proje**	**Ölçü**	**Fark**
1--2	18.69	18.69	0.01
2--3	16.00	16.00	0.01
3--4	18.69	18.69	0.00
4--1	16.00	16.01	-0.01
5--6	3.69		
6--18	7.99		
18--17	3.69		
17--5	7.99		
13--14	3.69	3.68	0.02
14--26	7.99	8.00	0.00
26-25	3.69	3.66	0.04
25-13	7.99	8.00	-0.01
15--16	5.00		
16--28	17.30		
28--27	5.00	5.00	0.00
27--15	17.30	17.24	0.06

	proje	ölçü	Fark
41R-41L	21.00	21.08	-0.09
41R-42L	44.53	44.66	-0.14
41R-42R	39.21	39.13	0.08

	proje	ölçü	Fark
41L-41R	21.00	21.08	-0.09
41L-42R	44.41	44.22	0.19
41L-42L	39.19	39.12	0.08



	proje	ölçü	Fark
42R-42L	21.00	21.08	-0.08
42R-43L	44.53	44.70	-0.17
42R-43R	39.19	39.12	0.08

	proje	ölçü	Fark
42L-42R	21.00	21.08	-0.08
42L-43R	44.41	44.33	0.09
42L-43L	39.20	39.18	0.03

42R	**proje**	**Ölçü**	**Fark**
1--2	18.69	18.70	-0.01
2--3	16.00	16.01	0.00
3--4	18.69	18.70	-0.01
4--1	16.00	16.01	0.00
5--6	3.69		
6--18	7.99		
18--17	3.69		
17--5	7.99		
13--14	3.69	3.69	0.01
14--26	7.99	7.97	0.02
26-25	3.69	3.67	0.02
25-13	7.99	7.99	0.00
15--16	5.00	4.91	0.09
16--28	17.30	17.19	0.12
28--27	5.00		
27--15	17.30		

42L	**proje**	**Ölçü**	**Fark**
1--2	18.69	18.69	0.00
2--3	16.00	16.00	0.00
3--4	18.69	18.69	0.00
4--1	16.00	16.00	0.00
5--6	3.69		
6--18	7.99		
18--17	3.69		
17--5	7.99		
13--14	3.69		
14--26	7.99	7.97	0.02
26-25	3.69	3.73	-0.04
25-13	7.99		
15--16	5.00		
16--28	17.30	17.26	0.05
28--27	5.00		
27--15	17.30	0.00	17.30

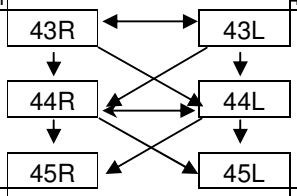
Tablo A.8 : Viyadük elemanlarında boyut kontrolü (43-44-45)

43R	**proje**	**Ölçü**	**Fark**
1--2	18.69	18.69	0.00
2--3	16.00	16.00	0.01
3--4	18.69	18.69	0.00
4--1	16.00	16.00	0.00
5--6	3.69		
6--18	7.99		
18--17	3.69		
17--5	7.99		
13--14	3.69	3.70	-0.01
14--26	7.99	7.99	0.00
26-25	3.69	3.73	-0.04
25-13	7.99	7.99	0.01
15--16	5.00	5.08	-0.07
16--28	17.30	17.21	0.09
28--27	5.00	5.00	0.00
27--15	17.30	17.25	0.05

43L	**proje**	**Ölçü**	**Fark**
1--2	18.69	18.68	0.02
2--3	16.00	16.04	-0.04
3--4	18.69	18.70	-0.01
4--1	16.00	16.00	0.01
5--6	3.69		
6--18	7.99		
18--17	3.69		
17--5	7.99		
13--14	3.69	3.72	-0.02
14--26	7.99	8.00	-0.01
26-25	3.69	3.69	0.00
25-13	7.99	7.99	0.00
15--16	5.00	5.01	0.00
16--28	17.30	17.24	0.07
28--27	5.00	5.02	-0.02
27--15	17.30	17.24	0.06

	proje	ölçü	Fark
43R-43L	21.01	21.31	-0.30
43R-44L	44.53	44.74	-0.21
43R-44R	39.20	39.19	0.01

	proje	ölçü	Fark
43L-43R	21.01	21.31	-0.30
43L-44L	39.19	39.05	0.15
43L-44R	44.41	44.21	0.20



	proje	ölçü	Fark
44R-44L	21.00	21.03	-0.02
44R-45L	44.53	44.85	-0.32
44R-45R	39.19	38.34	0.85

	proje	ölçü	Fark
44L-44R	21.00	21.03	-0.02
44L-45L	39.20	39.45	-0.24
44L-45R	44.41	43.63	0.78

44R	**proje**	**Ölçü**	**Fark**
1--2	18.69	18.68	0.02
2--3	16.00	15.99	0.01
3--4	18.69	18.68	0.01
4--1	16.00	15.98	0.02
5--6	3.69	3.71	-0.01
6--18	7.99	7.96	0.03
18--17	3.69	3.65	0.05
17--5	7.99	8.00	0.00
13--14	3.69	3.66	0.03
14--26	7.99	7.99	0.00
26-25	3.69	3.70	0.00
25-13	7.99	8.00	0.00
15--16	5.00	5.00	0.00
16--28	17.30	17.27	0.04
28--27	5.00	5.00	0.01
27--15	17.30	17.26	0.05

44L	**proje**	**Ölçü**	**Fark**
1--2	18.69	18.68	0.01
2--3	16.00	16.00	0.00
3--4	18.69	18.69	0.00
4--1	16.00	15.99	0.01
5--6	3.69	3.69	0.00
6--18	7.99	7.99	0.00
18--17	3.69	3.69	0.00
17--5	7.99	7.99	0.00
13--14	3.69	3.73	-0.04
14--26	7.99	7.96	0.04
26-25	3.69	3.71	-0.02
25-13	7.99	7.97	0.03
15--16	5.00		
16--28	17.30		
28--27	5.00	5.01	-0.01
27--15	17.30		

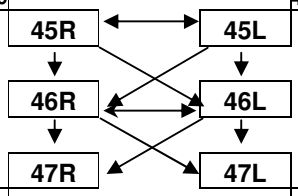
Tablo A.8 : Viyadük elemanlarında boyut kontrolü (45-46-47)

45R	**proje**	**Ölçü**	**Fark**
1--2	18.69	18.74	-0.05
2--3	16.00	16.04	-0.03
3--4	18.69	18.63	0.06
4--1	16.00	15.91	0.09
5--6	3.69	3.71	-0.02
6--18	7.99	8.00	-0.01
18--17	3.69	3.64	0.05
17--5	7.99	7.94	0.05
13--14	3.69	3.71	-0.01
14--26	7.99	7.98	0.02
26-25	3.69	3.70	0.00
25-13	7.99	8.00	-0.01
15--16	5.00	5.00	0.00
16--28	17.30	17.25	0.06
28--27	5.00	4.98	0.02
27--15	17.30	17.25	0.06

45L	**proje**	**Ölçü**	**Fark**
1--2	18.69	18.68	0.01
2--3	16.00	15.98	0.02
3--4	18.69	18.70	-0.01
4--1	16.00	16.06	-0.06
5--6	3.69	3.67	0.03
6--18	7.99	8.03	-0.04
18--17	3.69	3.73	-0.04
17--5	7.99	7.93	0.06
13--14	3.69	3.69	0.00
14--26	7.99	8.00	-0.01
26-25	3.69	3.68	0.02
25-13	7.99	8.02	-0.03
15--16	5.00	4.98	0.03
16--28	17.30		
28--27	5.00		
27--15	17.30	17.24	0.06

	proje	ölçü	Fark
45R-45L	21.01	21.19	-0.18
45R-46L	44.53	45.70	**-1.17**
45R-46R	39.20	38.61	**0.59**

	proje	ölçü	Fark
45L-45R	21.01	21.19	-0.18
45L-46L	39.20	39.18	0.02
45L-46R	44.41	42.98	**1.43**



	proje	ölçü	Fark
46R-46L	20.99	21.49	**-0.50**
46R-47L	44.53	45.45	**-0.92**
46R-47R	39.20	39.38	-0.17

	proje	ölçü	Fark
46L-46R	20.99	21.49	-0.50
46L-47L	39.20	38.41	**0.79**
46L-47R	44.41	43.29	**1.13**

46R	**proje**	**Ölçü**	**Fark**
1--2	18.69	18.70	0.00
2--3	16.00	16.01	0.00
3--4	18.69	18.70	0.00
4--1	16.00	16.01	0.00
5--6	3.69		
6--18	7.99		
18--17	3.69		
17--5	7.99		
13--14	3.69	3.69	0.00
14--26	7.99	7.99	0.00
26-25	3.69	3.70	-0.01
25-13	7.99	7.98	0.01
15--16	5.00	5.00	0.00
16--28	17.30	17.31	0.00
28--27	5.00	5.00	0.00
27--15	17.30	17.31	0.00

46L	**proje**	**Ölçü**	**Fark**
1--2	18.69	18.66	0.04
2--3	16.00	15.98	0.02
3--4	18.69	18.66	0.03
4--1	16.00	16.02	-0.02
5--6	3.69		
6--18	7.99		
18--17	3.69		
17--5	7.99		
13--14	3.69	3.71	-0.02
14--26	7.99	7.99	0.00
26-25	3.69	3.68	0.01
25-13	7.99	8.01	-0.01
15--16	5.00	5.00	0.01
16--28	17.30	17.23	0.07
28--27	5.00	4.99	0.02
27--15	17.30	17.24	0.07

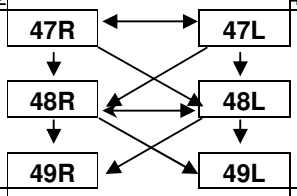
Tablo A.8 : Viyadük elemanlarında boyut kontrolü (47-48-49)

47R	proje	Ölçü	Fark
1--2	18.69	18.70	0.00
2--3	16.00	16.01	-0.01
3--4	18.69	18.70	-0.01
4--1	16.00	16.00	0.01
5--6	3.69		
6--18	7.99		
18--17	3.69		
17--5	7.99		
13--14	3.69	3.67	0.03
14--26	7.99	8.01	-0.01
26-25	3.69	3.74	-0.04
25-13	7.99	8.00	0.00
15--16	5.00	4.98	0.03
16--28	17.30	17.24	0.06
28--27	5.00	4.96	0.04
27--15	17.30	17.23	0.08

47L	proje	Ölçü	Fark
1--2	18.69	18.73	-0.03
2--3	16.00	15.95	0.05
3--4	18.69	18.65	0.05
4--1	16.00	15.98	0.02
5--6	3.69		
6--18	7.99		
18--17	3.69		
17--5	7.99		
13--14	3.69	3.77	-0.08
14--26	7.99	7.99	0.00
26-25	3.69	3.73	-0.04
25-13	7.99	7.92	0.07
15--16	5.00	4.98	0.03
16--28	17.30	17.24	0.07
28--27	5.00	4.98	0.02
27--15	17.30	17.22	0.08

	proje	ölçü	Fark
47R-47L	20.99	21.26	**-0.26**
47R-48L	44.52	44.44	0.08
47R-48R	39.19	39.08	0.12

	proje	ölçü	Fark
47L-47R	20.99	21.26	-0.26
47L-48L	39.19	38.32	**0.87**
47L-48R	44.41	43.71	**0.70**



	proje	ölçü	Fark
48R-48L	20.99	20.93	0.06
48R-49L	44.53	44.54	-0.01
48R-49R	39.20	39.21	-0.01

	proje	ölçü	Fark
48L-48R	20.99	20.93	0.06
48L-49L	39.20	39.21	-0.01
48L-49R	44.41	44.54	-0.13

48R	proje	Ölçü	Fark
1--2	18.69	18.68	0.01
2--3	16.00	16.01	-0.01
3--4	18.69	18.68	0.02
4--1	16.00	16.02	-0.01
5--6	3.69		
6--18	7.99		
18--17	3.69		
17--5	7.99		
13--14	3.69	3.70	-0.01
14--26	7.99		
26-25	3.69		
25-13	7.99	7.98	0.01
15--16	5.00	4.99	0.01
16--28	17.30	17.24	0.07
28--27	5.00	4.98	0.02
27--15	17.30	17.22	0.08

48L	proje	Ölçü	Fark
1--2	18.69	18.72	-0.02
2--3	16.00	16.01	-0.01
3--4	18.69	18.66	0.03
4--1	16.00	15.99	0.02
5--6	3.69		
6--18	7.99		
18--17	3.69		
17--5	7.99		
13--14	3.69	3.70	-0.01
14--26	7.99	7.99	0.00
26-25	3.69	3.70	0.00
25-13	7.99	8.00	-0.01
15--16	5.00	5.00	0.01
16--28	17.30	17.19	0.11
28--27	5.00	4.99	0.01
27--15	17.30	17.23	0.07

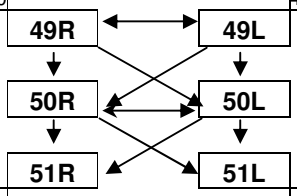
Tablo A.8 : Viyadük elemanlarında boyut kontrolü (49-50-51)

49R	proje	Ölçü	Fark
1--2	18.69	18.69	0.00
2--3	16.00	16.00	0.00
3--4	18.69	18.69	0.00
4--1	16.00	16.00	0.00
5--6	3.69		
6--18	7.99		
18--17	3.69		
17--5	7.99		
13--14	3.69	3.74	-0.05
14--26	7.99	7.97	0.02
26-25	3.69	3.72	-0.03
25-13	7.99	7.97	0.02
15--16	5.00	4.98	0.02
16--28	17.30	17.24	0.06
28--27	5.00	4.98	0.02
27--15	17.30	17.22	0.09

49L	proje	Ölçü	Fark
1--2	18.69	18.69	0.00
2--3	16.00	16.00	0.00
3--4	18.69	18.69	0.00
4--1	16.00	16.00	0.00
5--6	3.69		
6--18	7.99		
18--17	3.69		
17--5	7.99		
13--14	3.69	3.74	-0.05
14--26	7.99	7.97	0.02
26-25	3.69	3.72	-0.03
25-13	7.99	7.97	0.02
15--16	5.00	4.98	0.02
16--28	17.30	17.24	0.06
28--27	5.00	4.98	0.02
27--15	17.30	17.22	0.09

	proje	ölçü	Fark
49R-49L	20.99	20.99	0.00
49R-50L	44.63	44.37	0.27
49R-50R	39.19	39.29	-0.10

	proje	ölçü	Fark
49L-49R	20.99	20.99	0.00
49L-50L	39.32	39.29	0.03
49L-50R	44.41	44.37	0.04



	proje	ölçü	Fark
50R-50L	20.99	20.99	0.00
50R-51L	44.75	44.76	-0.01
50R-51R	39.46	39.41	0.05

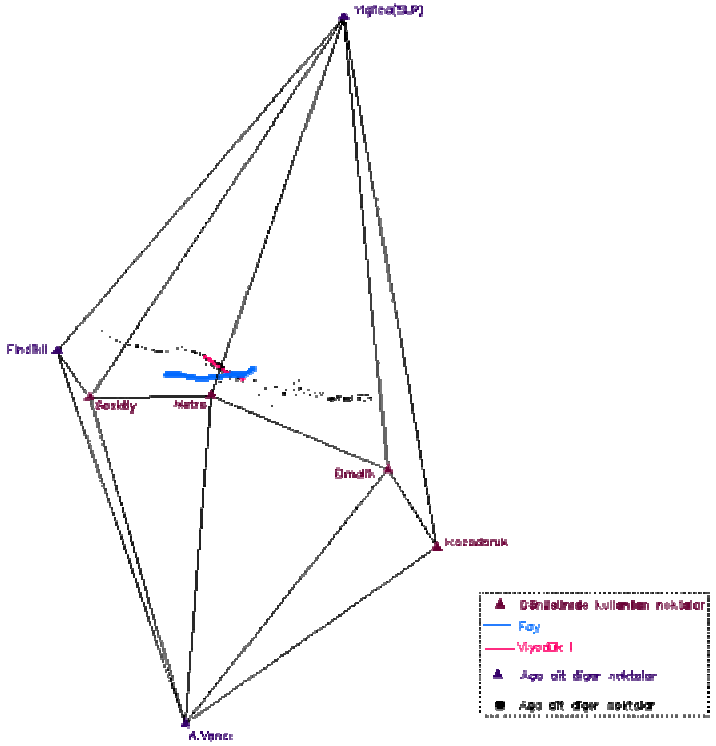
	proje	ölçü	Fark
50L-50R	20.99	20.99	0.00
50L-51L	39.33	39.34	-0.01
50L-51R	44.20	44.12	0.08

50R	proje	Ölçü	Fark
1--2	18.69	18.69	0.00
2--3	16.00	16.00	0.00
3--4	18.69	18.69	0.00
4--1	16.00	16.00	0.01
5--6	3.69		
6--18	7.99		
18--17	3.69		
17--5	7.99		
13--14	3.69	3.63	0.06
14--26	7.99	8.02	-0.03
26-25	3.69	3.75	-0.05
25-13	7.99	8.01	-0.02
15--16	5.00	5.24	-0.24
16--28	17.30	17.21	0.10
28--27	5.00	5.23	-0.23
27--15	17.30	17.24	0.06

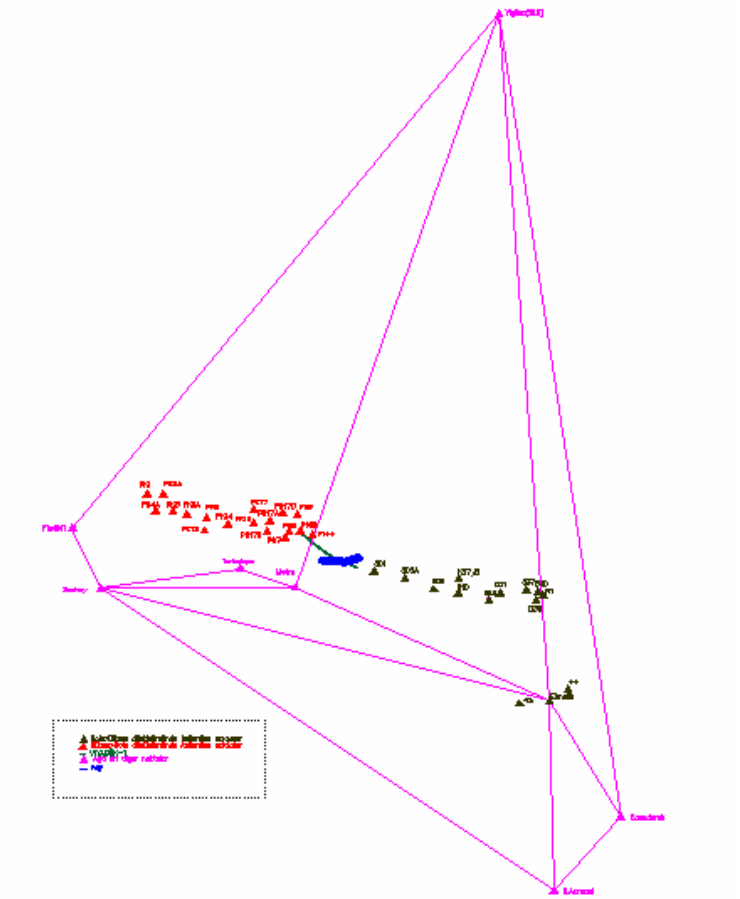
50L	proje	Ölçü	Fark
1--2	18.69	18.69	0.00
2--3	16.00	16.00	0.01
3--4	18.69	18.69	0.00
4--1	16.00	16.00	0.00
5--6	3.69		
6--18	7.99		
18--17	3.69		
17--5	7.99		
13--14	3.69	3.66	0.03
14--26	7.99	7.93	0.06
26-25	3.69	3.73	-0.04
25-13	7.99	7.97	0.03
15--16	5.00	5.29	-0.29
16--28	17.30		
28--27	5.00		
27--15	17.30	17.26	0.05

EK-B

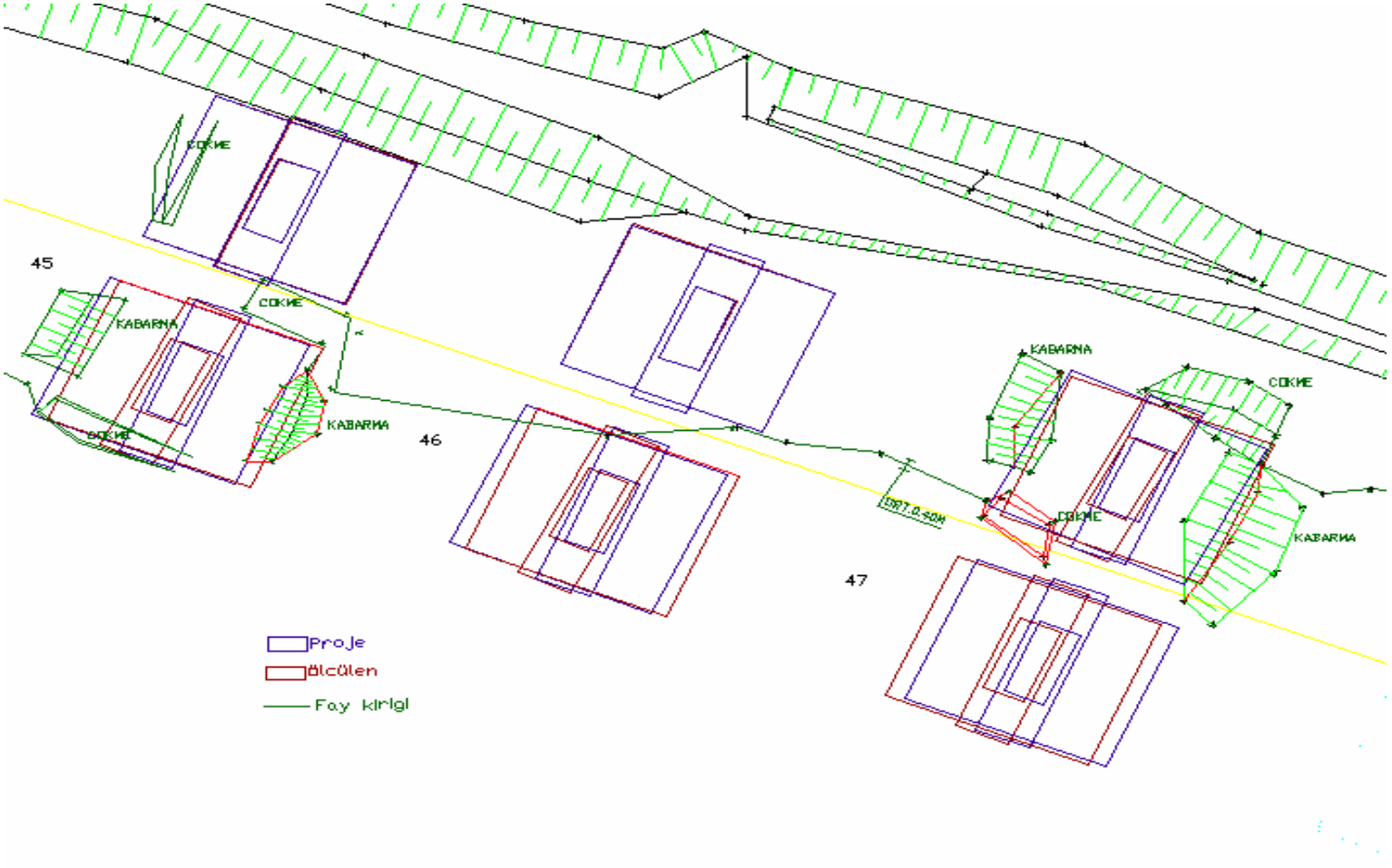
ANALİZLER SONUCUNDA ELDE EDİLEN ÇİZİMLER



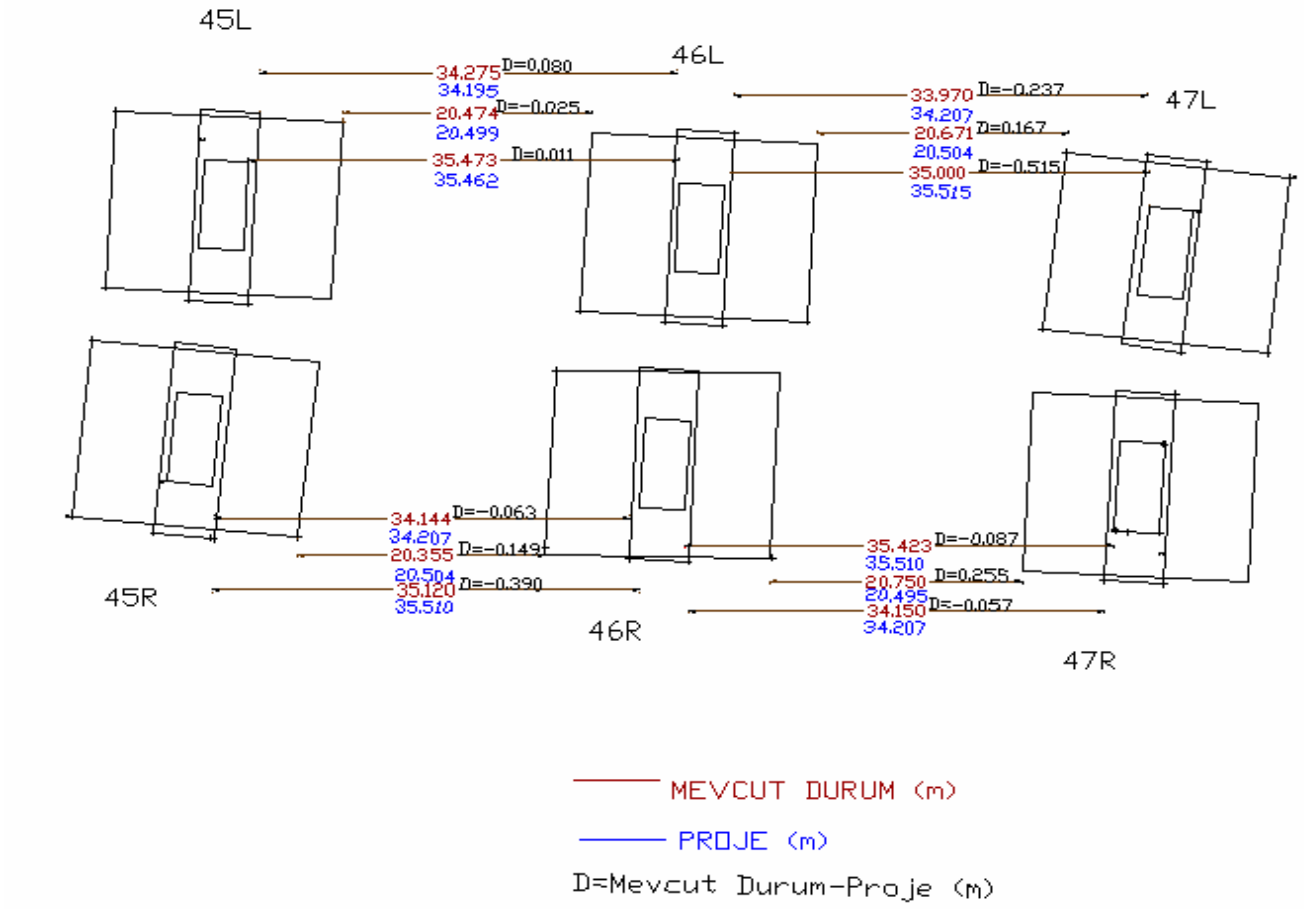
Şekil B.1: Tablo A.3'teki dönüşüm parametrelerin elde edilmesinde kullanılan noktalar



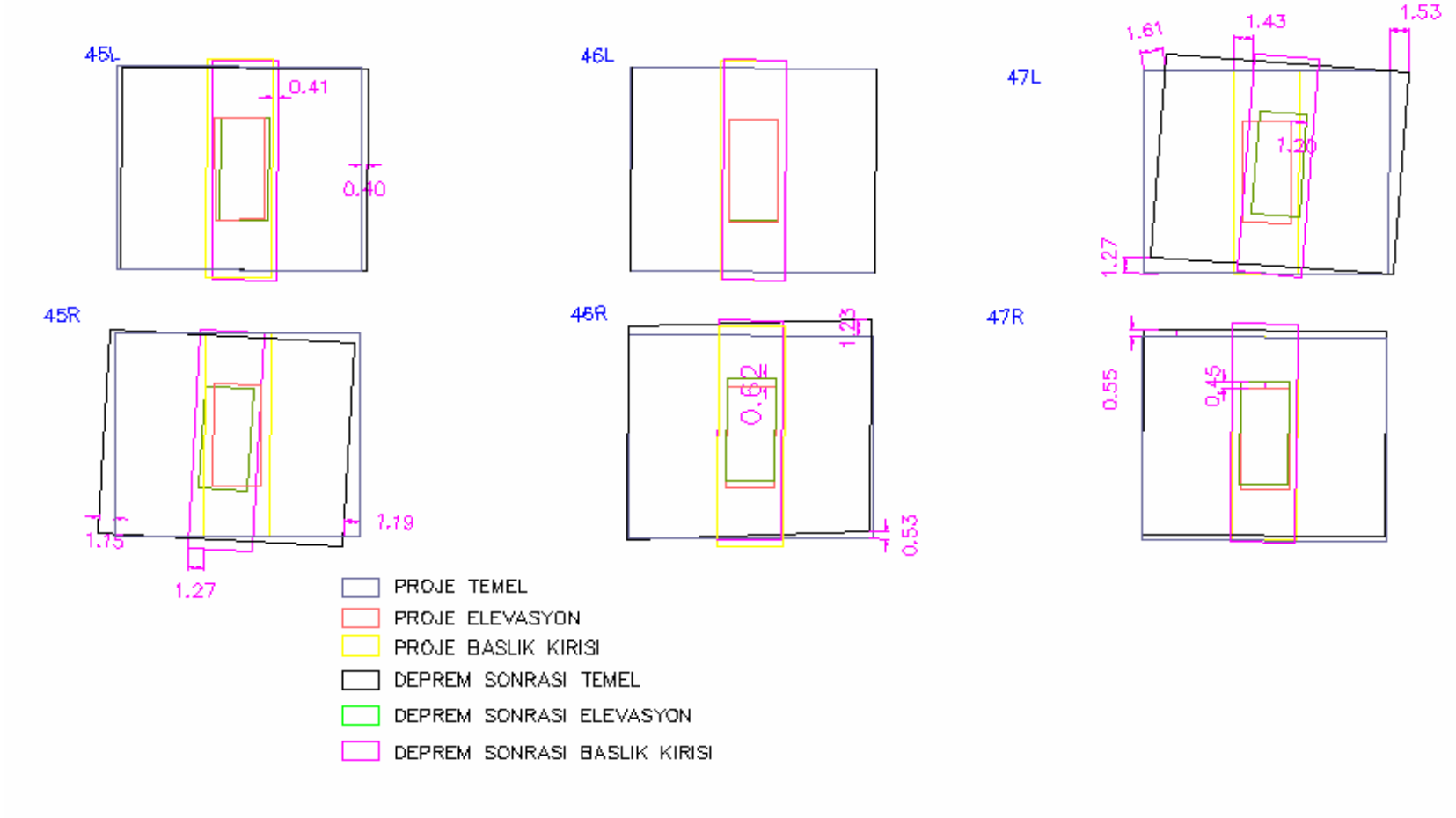
Şekil B.2: Tablo A.1 ve A.2'deki dönüşüm parametrelerin elde edilmesinde kullanılan noktalar



Şekil B.3: 45, 46, 47 nolu ayaklar arasında meydana gelen fay kırığı



Şekil B.4: Deprem sonrasında ayaklar arasındaki mesafelerin kontrolü



Şekil B.5: Deprem öncesi ve sonrası durumun karşılaştırılması

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında İstanbul'da doğdu. 1994 ve 2001 yılları arasında orta ve lise öğrenimini, F.M.V. Özel Ayazağa Işık Lisesi'nde burslu olarak tamamladı. 2001 yılında, İstanbul Teknik Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Bölümünde lisans öğrenime başladı. 2003 yılında İstanbul Teknik Ünivesitesi İnşaat Mühendisliği Bölümüyle ÇAP (Çift Anadal Programı) yapmaya başladı. 2005 yılında lisans öğrenimini tamamlayıp, hemen ardından İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Geomatik Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans öğrenimine başladı. 2005 Aralık ayında Jeodezi Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevliliğine atandı. 2007 yılında İnşaat mühendisliği öğrenimini tamamladı. Halen Araştırma görevlisi olarak Jeodezi Anabilim Dalı'nda görev yapmaktadır ve yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.