

## JEODEZİK DEFORMASYON ÖLÇMELERİ VE SONUÇLARIN YORUMU

Veysel ATASOY, Doç. Dr. Ergün ÖZTÜRK

Karadeniz Üniversitesi

### ÖZET :

Jeodezik deformasyon ölçmeleri ve ölçülerin değerlendirilmesi konusu mühendislik ölçmelerinin önemli bir bölümünü kapsar. Tektonik ve volkanik hareketler ile büyük mühendislik yapılarında, maden galerilerinde, tünellerde ya da bunların yakın çevrelerinde oluşan yatay ve düşey doğrultudaki konum değişimleri deformasyon adını alırlar. Yatay ya da düşey konumlardaki yer değiştirmelerden birinin diğerinden bir basamak daha küçük olduğunun belirlenebildiği durumlarda deformasyonlar, yatay ya da düşey konumdaki değişimler olarak ikiye ayrılmaktadır. Gerek yatay ve gerekse düşey konum değişimleri yüksek duyarlıklı mikrojeodezik ağılar yardımıyla saptanmaktadır. Doğrultu - Kenar Ağları olarak kurulan 1-2 km. kenar uzunluklu yerel jeodezi kağıtlarda 1 cm büyüklüğünde konum duyarlığına ulaşılabilir. Kenar uzunlukları 500 m yi geçmeyen mikrojeodezik ağılarda ulaşılan nokta konum duyarlığı 1-1.5 mm kadardır. Düşey konumdaki değişimleri saptamak amacıyla kurulan mikro-gravit'3 ağılarında özenle ölçülen gravite farklarının dikkatle indirgenmeleri durumunda 1 cm'den daha büyük düşey hareketler saptayabilmektedir. Duyarlıklı nivelman ağılarının yinelenme ölçülerinin değerlendirilmesi sonucunda 0.5 mm/yıl hızındaki düşey hareketler ortaya çıkartabilmektedir.

Günümüzde bilgisayarlar aracılığı ile hızlı ve doğru işlem yapma olanakları elde edildiğinden, deformasyon ölçülerinin değerlendirilmesi konusu, istatistik kuramına uygun, daha gerçekçi bir yaklaşımla ele alınabilir duruma gelmiştir.

## 1. GİRİŞ

Tektonik levha hareketleri, kara parçalarının kayması, yer çekirdeğinin yer değiştirmesi, gel-git olayları, hidrosfer ve atmosferdeki olaylar ve insan efi ile oluşturulan yapay olaylar nedeniyle yerkabuğunun bazı bölgelerinde oluşan şekil değişimleri ile barajlar, asma köprüler, asma yollar v.b. gibi büyük mühendislik yapılarında ya da bunların yakın çevrelerinde oluşan şekil değişimlerin'e deformasyon denir. Deformasyonlar şekil değişiminin yapısına göre iki gruba ayrılırlar.

- Nesneye etkiyen faktörün ortadan kalkması ile şekil değişiminin de ortadan kalktığı eğilme, burulma gibi elastiki deformasyonlar.
- Etkileyen faktörün ortadan kalkması durumunda da nesnenin önceki konumuna dönmediği çökme, yükselme, ötelenme, dönme, açılma, genişleme gibi kalıcı deformasyonlar.

Mühendislik yapılarında ya da küçük bölgelerde oluşan genellikle tehlikeli olmayan küçük deformasyonlar çoğunlukla ölçü duyarlıklarından dana küçüktür. Bu tür deformasyonlar ölçü hatalarından daha küçüktür. Bu tür deformasyonlar ölçü hatalarından ayırt edilemediklerinden belirlenmeleri çok zordur. Buna karşın, yerkabuğunun bazı bölgelerinde insan yaşamı süresince oluşan güncel yerkabuğu hareketleri ve büyük mühendislik yapılarında ya da bunların yakın çevrelerinde zamanla oluşan, belirli bir süre sonra fiziksel olarak da gözlenebilen, bölgelerin ve yapıların sürekliliğini olumsuz yönde etkileyen büyük deformasyonlar, duyarlıkları jeodezik ve jeofizik yöntemlerle belirlenebilirler. Isı, basınç, yeraltı su seviyesi değişiminden doğan yatay ve düşey doğrultudaki güncel yerkabuğu hareketleri ile barajlar, asma yollar, asma köprüler gibi büyük mühendislik yapılarında oluşan, çökme, açılma, dönme ve genişleme gibi şekil bozulmaları bu gruba giren hareketlerdir.

Sismik ve volkanik hareketler ile büyük mühendislik yapılarında ya da bunların yakın çevrelerinde oluşan hareketler yatay ve düşey doğrultuda olabildikleri halde gel-git olayı, ısı ve basınç değişimi, yeraltı su seviyesi değişimi, güne şaktivitesi değişiminin neden olduğu hareketler daha çok düşey hareketlerdir ve periyodik özellik taşırlar (AKSOY 1982).

Deformasyonların belirlenmesinde jeodezinin üstlendiği görev, hareketin yönünü ve hızını üç boyutta belirleyip izlemek ve deformasyon vektörünü sistematik olan ve olmayan bileşeklerine ayırmak, elde edilen sonuçları kendi disipliniinde yorumlamaktır. Bu bilgiler daha sonra genel bir şemada yorumlanmak üzere diğer disiplinlere veri olarak sunulur.

Sistematik olmayan hareketler genellikle çok yavaştır. 1-2 cm/yıl hızındaki bu hareketleri diğerlerinden ayırt edebilmek için yüksek duyarlıklı jeodezik ölçüler gereklidir. Deformasyon kapsamında ele alınan bu yavaş hareketler düşey ve yatay bileşenlerine ayrılır. Hareket hızının belirlenebilmesi için dördüncü boyut olarak zaman da işleme katılır.

## 2, DEFORMASYONLARIM BELİRLENMESİNDE GENEL İLKELER

Günümüze kadar uygulanan şekliyle deformasyonlar, yatay ve düşey konumlardaki değişimlerin belirlenmesi amacıyla ikiye ayrılarak ele alınmaktadır. Yatay ve düşey konumdaki hareketler genellikle yalnız başlarına değil, herikisi birlikte oluşmaktadır. Bunları belirlemek amacıyla uzunluk, doğrultu ve yükseklik farkı ölçmelerinin yanında başucu açıları, azimut ve gravite ölçmelerinin de yapılarak elde edilen verilerin üç boyutlu bir dengeleme işlemiyle değerlendirilmesi gerekir. Yatay ya da düşey konumdaki değişimlerden birinin diğerine göre gözardı edilebilecek kadar küçük olduğunun, ölçme işlemleri ile elde edilen verilerin dışındaki bir kaynaktan sağlanan bilgilerle belirlenebildiği durumlarda, deformasyonlar ikiye ayrılarak ele alınırlar. Böylelikle de yorucu, uzun ve zahmetli bir yol olan üç boyutlu değerlendirme işleminden kaçınılabılır.

### 2.1 YATAY KONUMDAKİ DEĞİŞİMLERİN BELİRLENMESİ

Yatay konumdaki hareketler, yersel olarak kurulan doğrultu-kenar ağırları ya da uzay tekniğine dayalı olarak kurulan uydu jeodezik ağırları yardımıyla saptanmaktadır. Büyük kara parçalarını kapsayan hareketlerin belirlenmesi için, ülke nirengi ağırları ya da bunların bir birim sistemde birleştirilmesi ile oluşturulacak dünya ağırlarından yararlanılması önerilmektedir (AKSOY 1982).

Güncel kabuk hareketlerinin yatay bileşenlerinin düşey bileşenlerden bir basamak daha büyük olduğu tektonik deformasyonlara ilişkin araştırmalar sonucunda açığa çıkarılmıştır. Günümüz teknik-

leriye kurulan yersel ağılarda cm büyüklüğünde nokta konum duyarlığına ulaşılabilmektedir. Bu yüksek duyarlıkta bile yatay hareketlerin saptanması oldukça güçtür. Bu nedenle daha dar alanlardaki yatay hareketlerin saptanması amacıyla yüksek duyarlıklı y-srel ağlar kurulmaktadır. Bu ağlar yardımıyla cm büyüklüğündeki yatay hareketleri belirleyebilmek için özenle, uygulanan özel ölçme yöntemleri gereklidir. Yatay Kontrol Ağı ya da Mikro-Jeodezik Ağ olarak adlandırılan bu ağlar, yüksek konum duyarlığına ulaşmak için Doğru-Kenar Ağları olarak kurulmaktadır.

Mikrojeodezik ağların kenar uzunlukları 500 m civarında seçilmektedir. Ağların yapılarında üç tür nokta grubu bulunur.

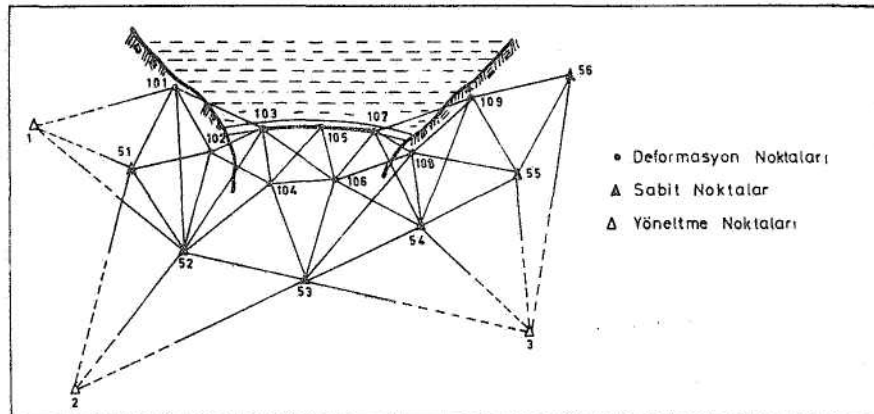
- Deformasyon noktaları : Obje noktaları olarak da adlandırılırlar. Deformasyon oluşması umulan yerlere özel çivi ya da pilye olarak kurulurlar.

- Sabit noktalar : Kontrol noktaları ya da referans noktaları olarak adlandırılırlar. Deformasyon noktalarını denetlemek amacıyla deformasyon beklenen alanların dışına pilye olarak kurulurlar.

- Yönelme noktaları : Üzerine alet kurulmaksızın yalnızca diğer noktalardan gözlenen, ağın tümünün yöneltilmesi amacıyla, kurulan noktalardır. Günümüzde pek kullanılmamaktadır.

### Jeodezik Deformasyon Ağı

30



Yüksek duyarlıklı jeodezik deformasyon ağları kurulurken iki ilke gözönünde bulundurulur. Bunlar,

- Ağda deformasyon noktaları ile sabit noktaların yası yaklaşık olarak eşit olmalıdır,
- Deformasyon noktaları ve sabit noktalarda yapılan gözlemlerin duyarlılıkları eşit olmalıdır.

Bu tür ağlardan amaçlanan sonuçları elde edebilmek için ağların konumu, ölçme planı ve ölçü duyarlılığı (ağırlık) yönünden en uygun (optim) duruma getirilmeleri gerekir. Ölçmeler, önceden belirlenen plana göre atmosferik etkilerin en az olduğu saatlerde deneyimli ölçmecilerce gerçekleştirilir. Ağın ölçülmesi sırasında deformasyon oluşmadığı varsayıldığından işlerin olabildiğince kısa zamanda tamamlanması gerekir.

Ölçü duyarlılıkları I. derece nirengi ağlarında ulaşılan ölçü duyarlılıklarına eşit olmalıdır. Dikkatle yapılan atmosferik düzeltme ve ayar düzeltmelerinden sonra, elektronik uzaklık ölçerlerle ölçülen uzunlukların duyarlılığı;

50 km'lik bir kenarda;

Taşıyıcı dalga boyu	X = 10 cm	olan aletlerde	$m_s = \pm 8$ cm			
»	»	»	X = 3 cm	»	»	$m_s = \pm 6$ cm
»	»	»	X = 4 cm	»	»	$m_s = \pm 4$ cm

dir. Buna karşın 500 m gibi kısa kenarlarda mekometreler ile ulaşılan duyarlık

$$m_s = \pm 0.2 \text{ mm dir.}$$

Doğrultular 0.5 (cc) yi doğrudan okuyan W1LD T3 ve KERN DKM3 gibi aletlerle ölçüldüğünde ulaşılan duyarlık  $m_d = \pm 2$  (cc) dir.

Yatay konumdaki değişimleri belirleyip izlemek amacıyla kurulan yaklaşık 2 km kenar uzunluklu jeodezik ağlarda kenarlar GEODIMETRE ve TELLUROMETRE 1000, doğrultular WILD T3 ve KERN DKM3 ile ölçüldüğünde ulaşılan koordinat duyarlılıkları  $M_x, M_y \pm 0.8$  ile  $\pm 2.1$  cm arasında değişmektedir.

Kenar uzunlukları 500 m'yi geçmeyen Mikrojeodezik ağlarda kenarlar MEKOMETRE, ELDİ 2 ve ELDİ 3, doğrultular T3 ve DKM3 ile ölçülürse ulaşılan koordinat duyarlılıkları  $M_x, M_y \pm 0.7$  ile  $\pm 1.6$  mm arasında kalmaktadır (AKSOY 1982).

Ülkemizde, Kuzey Anadolu Fayındaki yatay kabuk hareketlerinin belirlenmesi amacıyla MTA-Jeodezi Grubunca Akyazı-Adapazarı'nda kurulan doğrultu-kenar ağının kenar uzunlukları 4-13 km arasında değişmektedir. Bu ağda kenarlar Range-Master II ile 12 kez, doğrultular WILD T3 ile 12 şer dizi ölçülmüştür. Ulaşılan duyarlıklar doğrultularda  $m_d = \pm 2.3$  (cc), kenarlarda  $m_s \pm 4$  cm, koordinat duyarlıkları  $M_x, M_y = \pm 1.4$  cm. dir.

Aynı ağın yaklaşık 30 km doğusunda Taşkesti bölgesinde İTÜ Jeodezi Bölümü elemanlarınca kurulup ölçülen ağın kenar uzunlukları 1000 ile 1800 m arasında değişmektedir. Ağda kenarlar UNIRANGER ile, doğrultular WILD T3 ile ölçülmüştür. Ulaşılan duyarlıklar doğrultularda  $m_d = \pm 2.3$  (cc), kenarlarda  $m_s = \pm 5.6$  mm, koordinat duyarlıkları  $M_x, M_y = W 1.3$  mm dir.

Baraj kreti üzerindeki noktalarla, galeri ve tünellerdeki yatay hareketlerin belirlenmesi amacıyla 20-25 m kenar uzunluklu duyarlı poligon geçkileri oluşturulmaktadır. Poligon güzergahlarının zemin işaretleri özel bronz çiviler ya da pilye olarak yapılmakta, geçkilerin başlangıç ve son noktaları sağlam zeminlerde kurulmaktadır. Duyarlıklı poligon geçkilerinde doğrultular, zorunlu merkezleştirme yöntemi uygulanarak saniye teodolitleri ile 4 er dizi (silisile) gözlenmektedir. Poligon kenarları, 1/50 000 oranında bağıl duyarlık sağlanacak şekilde ölçülmektedir.

Ölçme periyotlarının daha sık seçildiği durumlarda, işin kısa sürede tamamlanması gerektiğinden oldukça basit ve kolay bir yöntem olan aliyman yöntemi uygulanmaktadır. Uzunluğu 200 m'den daha kısa olan aliyman dizilerinde noktaların doğrultuya göre yatay hareketleri, hareketli gözlem işaretleri kullanılarak 0.1 mm okuma duyarlığı ile doğrudan belirlenebilmektedir. liyman dizilerinin uzunluğu 200 m'yi aştığı durumlarda aliyman noktalarına özel ajiyman teodolitleri ya da saniye teodolitleri kurularak deformasyon noktalarına yerleştirilen gözlem plakalarının doğrultudan sapmaları saniye duyarlığında ölçülmektedir.

Son yıllarda uzay tekniğine dayalı olarak kurulan jeodezik amaçlı ağlar yardımıyla yer kabuğu hareketlerinin saptanmasına çalışılmaktadır. Yer noktalarından yapma uydulara ve yapma uydulardan yer noktalarına çok uzun kenarlı mikro dalga interferometre ölçüleri (VLBI very long baseline interferometry) yardımıyla çok uzun bazların belirlendiği bu yöntemden ümit verici sonuçlar alınmaktadır.

## 2.2 DÜŞEY KONUMDAKİ DEĞİŞİMLERİN BELİRLENMESİ

Düşey konumdaki değişimler; duyarlıklı nivelman, deniz seviyesi değişimlerinin izlenmesi, duyarlıklı gravite ölçüleri, trigonometrik yükseklik belirlenmesi ve uzay uzunluk ölçüleri yardımıyla belirlenmektedir.

Geniş alanlardaki düşey konum değişimleri ülke nivelman ağlarının yineleme ölçmeleri sonucunda ortaya çıkartabilmektedir. Duyarlıklı nivelman yöntemiyle yapılan ülke nivelman ölçmeleri 20-25 yıllık aralıklarla yinelenir.  $\pm 0.3$  mm duyarlıklı bu ölçülerin değerlendirilmesi sonucunda 0.5 mm/yıl büyüklüğündeki düşey hareketler ortaya çıkartabilmektedir.

Barajlar, asma köprüler, asma yollar ve büyük fabrikalar gibi mühendislik yapıları ile, yeraltı kaynaklarının işletimi amacıyla açılan maden galerileri ve bunların yakın çevrelerinde oluşan deformasyonlar yine duyarlıklı nivelman yöntemiyle ölçülen yerel nivelman ağı ölçmelerinin yinelenmesi sonucunda saptanabilmektedir.

Düşey hareketlerin belirlenmesi amacıyla kurulan nivelman ağlarında noktaların çoğu sağlam zeminlere kurulması zorunludur. Noktalar sağlam kalmadıkça ölçme sırasında gösterilen özen hiçbir anlam taşımaz. Bu nedenle nivelman ağları kurulurken nokta yerlerinin jeolojik etüdü en önemli konudur. Nivelman ölçüleri yardımıyla düşey konum değişikliklerini belirleyebilmek için, ölçülerin sistematik hatalardan kesinlikle arındırılmış olmaları gerekir. Ağır seyreden yer hareketlerinde nivelman ölçülerinin sistematik hataları düşey hareketlerden daha büyük olabilmektedir. Nivelman ölçülerine getirilebilecek önemli sistematik düzeltmeler; ay ve güneşin konum değiştirmesi sonucu oluşan düşey doğrultu sapmaları nedeniyle astronomik düzeltme, nivelman 'mirasının ısı ve ayar düzeltmesi, aletin eksen hatası nedeniyle oluşan hatanın düzeltilmesi, refraksiyon düzeltmesi, yerçekimi değişiminden kaynaklanan ortometrik düzeltmedir.

Düşey konum değişimlerini belirlemek amacıyla uygulanan bir başka yöntem de duyarlıklı gravimetredir. Günümüzde gravite farklarının ölçümünde ulaşılan duyarlık  $\pm 1$   $\mu$ gal'dır. Düşey hareket beklenen bölgelerde yaklaşık 500 m kenar uzunluklu Mikrogravite Ağları kurulur. Bu ağlarda özenle ölçülen gravite farklarında aşağıdaki nedenlere bağlı indirgemeler yapılırsa, 1 cm'den daha büyük düşey konum değişimleri bu ölçüler yardımıyla saptanabilmektedir.

Yağış nedeniyle oluşan gravite değişimi ..... yaklaşık 10 pgal  
Yeraltı su seviyesinin değişiminden  
kaynaklanan gravite değişimi ..... yaklaşık 5 y.gal  
Atmosferik basınç değişmesinden kaynak  
lanan gravite değişimi ..... yaklaşık 4 pıgal  
Deniz gel-git modeli hatasından kaynak  
lanan gravite değişimi ..... yaklaşık 3 jxgal  
Kara gel-git modeli hatasından kaynak  
lanan gravite değişimi ..... yaklaşık 0.3 pıgal  
Gravimetri aletinin taşınması sırasın  
da oluşan sarsıntı etkileri ..... yaklaşık 5 jagal

Ayrıca yerin üst yüzeyindeki yoğunluk değişiminin neden olduğu gravite değişimleri de bazen düşey hareketten kaynaklanan gravite değişimlerinden daha fazla olmaktadır. Bu etkinin indirgenmediği durumlarda gravite değişimlerinin düşey hareket olarak yorumlanması yanlış olur (AKSOY 1982).

Bunlardan başka kule, baraj, köprü gibi mühendislik yapılarındaki oturma ve eğilmeler duyarlıklı düşey açı gözlemleri yardımıyla hesaplanan trigonometrik yükseklikler karşılaştırılarak belirlenebilmektedir. Yapıların duvarlarındaki belirli noktaların yükseklik değişimlerinin farklı zamanlarda yinelenen ölçmeler yardımıyla izlenmesine dayanan bu yöntemde ışın kırılması etkileri (refraksiyon) yok edilmiş ölçüler kullanılmaktadır. Bunun gibi deniz seviyesi kayıtları da uzun zamanlı düşey kabuk hareketlerine ilişkin bilgi taşırlar.

Bir bölgedeki kayıt istasyonlarından elde edilen deniz seviyesi ölçülerinde başka kaynaklı etkiler giderildikten sonra, istasyonlardaki yükseklik değişimleri 1 cm duyarlıkla belirlenebilmekte ve elde edilen farklar bölgesel düşey kabuk hareketi olarak yorumlanabilmektedir.

### 3. DEFORMASYON MODELLERİ

Deformasyonlar problemin şekline, kapsamına ve uygulanan ölçme yöntemlerine bağlı 10lara kdinamik, kinematik ya da statik modeller kurularak incelenirler.



•Kinematik Modeller, deformasyon irdelemesi yapılacak bölge ya da yapının karakteristik noktalarının hareketlerini ve bu hareketlerin hızlarını belirlemek amacıyla kurulan modellerdir. Deformasyon irdelemesine konu olan bölge ve yapının bir periyottaki ölçme işleminin uzun zaman aldığı durumlarda uygulanır. Sözcüğü ülke nivelman ağının yinelenme ölçülerinden yararlanarak büyük bölgesel yer kabuğu hareketleri araştırılmak istenirse, ölçmeler 20-25 yıl aralıklarla yinelenmekte ve bir nivelman ölçmesi ancak 3-4 yılda tamamlanabilmektedir. Ölçme süresi olan 3-4 yıl boyunca nivelman noktalarının yüksekliklerinin sabit kaldıkları düşünülmemeyeceğinden, irdeleme sırasında noktaların yükseklikleri yerine yükseklik değişimleri zamanın fonksiyonu olarak yazılır ve düşey hareketlerin hızları araştırılır.

•Dinamik modeller, deformasyonların zamanın bir fonksiyonu olarak ele alındığı modellerdir. Dinamik deformasyon modellerinde, geometrik değişimlerin yanında deformasyonla beraber neden olan kuvvetlerin dış etkenlere bağlı değişimleri ve birbiri ile ilişkileri kuvvetlerin oluşmasına neden olan, zamana bağlı dönüşüm fonksiyonları yardımıyla araştırılır. Örnek olarak bir baraj deformasyon modeli ele alınırsa; baraj gölünde toplanan suyun hem baraj gövdesini hem de yakın çevre topografyasını etkilediği ortadadır. Etki basınç olarak ele alınırsa; basınç ve bunun su seviyesine göre değişimi, gövdede iç gerilmelere ve çevredeki yer kabuğu hareketlerine neden olmaktadır. Deformasyon oluşmasında etken olan kuvvetler ile yapı karakteristiklerinin yer ve zamana bağlı bir dönüşüm fonksiyonu modeli ile incelenerek deformasyonların ve nedenlerinin ortaya konması dinamik bir modeldir.

■ Statik modeller, deformasyon incelemesine konu olan bölge ve yapılarda seçilen karakteristik noktaların bir ölçme periyodu süresince konum değiştirmedikleri varsayımına dayalı olarak kurulan modellerdir. Bu modellerde yatay ya da, düşey yöndeki konum değişimleri zamandan ve etkileyen kuvvetlerden bağımsız olarak ele alınır. Jeodezik deformasyon ölçmelerinin irdelenmesinde en çok uygulama alanı bulunan yöntemdir.

#### 4. VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE SONUÇLARIN YORUMU

Deformasyon araştırmasının son ve en önemli bölümü verilerin değerlendirilmesi ve sonuçların yorumu aşamasıdır. Yanlış bir karar

verilmesinden doğacak sorumluluk ve zararın bedeli bazen ödene-  
meyecek kadar büyük olmaktadır. Bu nedenle çok dikkatli davran-  
mak gerektiği ve sonuçların kesinlikle güvenilir olması gerekliliği or-  
tadadır.

Bir değerlendirme işleminin akışı kısaca şöyle özetlenebilir. De-  
formasyon araştırmasına konu olan bölge ya da yapılar üzerinde se-  
çilen karakteristik noktalardan oluşturulan deformasyon noktaları-  
nın,  $t_i$  ve  $h$  gibi farklı zamanlardaki konumları belirlenir. Bir defor-  
masyon noktasının iki ayrı zamandaki konumları arasındaki farkın  
anlamli (sıfırdan farklı) olup olmadığı istatistik yöntemlerle irdelenir.  
Konum farkının, sıfırdan farklı olduğunun kanıtlandığı durumlarda irdelenen  
noktada deformasyon oluştuğuna karar verilir. Ters durum-  
larda, noktalardaki konum değişikliklerinin kaçınılmaz ölçü hataları-  
ndan daha küçük oldukları ve bu nedenle belirlenemedikleri söy-  
lenir.

Gerek yatay ve gerekse düşey konum değişimlerinin saptanma,-  
sı için yapılan jeodezik ağ ölçüleri, ağdaki noktaların tümünün koor-  
dinatlarının bilinmeyen olarak seçildiği serbest ağlar olarak denge-  
lenir. Böylelikle ölçülerin kendi aralarındaki tutarlılığı, gerçekçi ve  
zorlamasız bir hesaplama yöntemiyle bulunan duyarlıklar (ortalama  
hatalar) olara kelde edilir. Ağın ilk konumunu belirlemek amacıyla  
yapılan ölçülere sıfır ölçüsü ya da referans ölçüsü denir. Noktalar-  
daki deformasyonları saptamak için daha sonra yapılan ölçüler 1.  
yineleme, 2. yineleme,... ölçüleri adını alırlar. Kısaca ilk ölçülere  $t_0$ ,  
diğerlerine  $t_i$ ,  $t_2$ ,... periyodu ölçüleri denilmektedir.

İki ayrı ölçme periyodunda elde edilen verilerin şerbet denge-  
lenmesi sonucunda elde edilen koordinatlar karşılaştırılarak ağda  
hangi noktaların koordinatlarının sabit alınabileceği istatistik yön-  
temlerle belirlenir. Başka bir deyişle deformasyon ağlarında, jeode-  
zide alışlagelmiş koordinatları değişmez sabit nokta varsayımı, aşā-  
ma sıralı (hıyerarşik) nirengide olduğu gibi doğrudan yapılmaz. De-  
formasyon ağlarında hangi noktaların sabit alınabileceği anca.k ista-  
tistik test yöntemleri ile belirlenebilir. İki ayrı ölçme periyodundan  
elde edilen koordinat takımları, sabit oldukları kanıtlanan noktalar  
yardımıyla Helmert benzerlik dönüşümü hesabı yapılarak üstüste çā-  
kıştırıldıktan sonra .noktalardaki konum değişimleri irdelenir.

Ağın iki periyotta ölçülmesi sırasında, ağ noktalarının sayısı ve  
yerleri değişmemiş, ölçme planı ve ölçü duyarlıkları aynı kalmışsa

bu tür ağlara univaryat düzenli ağlar denilmektedir. Ağa yeni noktalar eklenmiş ya da bazı noktalar kaybolmuşsa, ölçme planı ya da ölçü duyarlılığı değişmişse bu durumda multivaryat düzenli ağlardan sözedilmektedir. Gerek univaryat ve gerekse multivaryat yapıdaki ağlarda  $t_0$  ve  $t$  zamanlarında yapılan ölçüler ayrı ayrı dengelenirse bivaryat dengeleme modeli,  $t_0, t_1, t_2, \dots, t_h$  ölçme periyotlarından elde edilen ölçüler,  $x_0, x_1, x_2, \dots, x^*$  bilinmeyen takımlarını belirlemek amacıyla bir kerede toptan dengelenirse multivaryat dengeleme modeli olarak adlandırılmaktadır.

Deformasyon araştırmalarında varsayımlardan olabildiğince kaçınılması ve kaçınılamayan varsayımların istatistik test yöntemleri ile irdelenmesi zorunludur. Bu nedenle kurulan dengeleme modellerinin de ölçüleri ebinmeyenler arasındaki geometrik ilişkilere ve fiziksel gerçeklere uygun olup olmadığının, ölçülerin duyarlılıkları (ortalama hataları) ve bunlar arasındaki korelasyonlar için dengelemeden önce elde edilen (a priori) bilgilerin dengeleme sonucunda bulunan (a posteriori) sonuçlarla uyumlu olup olmadıklarının test edilmesi gerekir. Uyuşumun sağlanmadığı durumlarda elde edilen sonuçları olarak değerlendirilir ve uygun dengeleme modelleri kurularak hesaplama işlemlerinin tümü kurulan yeni modellerle yinelenir. Bu uzun ve yorucu hesaplama işlemlerini gerçekleştirebilmek için zorunlu olarak bilgisayarlardan yararlanılmaktadır. Programlama tekniğine uygun olmas medeniyle dengeleme hesapları indirekt (dolaylı) ölçüler yöntemiyle yapılmaktadır.

Günümüzde bilgisayarların hızlı ve doğru işlem yapma özelliklerinden yararlanarak, deformasyonların daha gerçekçi bir yaklaşımla irdelenmesi olanakları elde edilmiştir. Sabit nokta varsayımının istatistik yöntemlerle test edilmesi, kaba ve sistematik hatalardan arındırılmış verilerin elde edilmesi, sonuçların duyarlılığı ve güvenilirliğinin istatistik kuramına dayanan ölçütlerle belirlenmesi işlemleri son yıllarda ulaşılan olanaklardır. Bu konuda; Pelzer (1971, 1974, 1976, 1981), Baarda (1977), Meier (1971), Baumann (1972), Milev (1973), Niemeier (1975, 1976, 1979), Heck-Kuntz-Hirmer (1977, 1984), Welsch (1981) örnek çalışmalar olarak sayılabilir. Son zamanlarda yeni yöntemler arama yerine uygulanan yöntemlerin en uygunlarının belirlenmesi ve sonuçların yorumu üzerindeki çalışmalar yoğunlaşmıştır.

Deformasyon ölçülerinin irdelenmesi konusunda uygulanagelen güvenilir yöntemler, (Ölçütü ya da, Pelzer Yöntemi (PELZER 1969), Analitik Yoldan İrdeme (HECK 1981), Bağlı Güven Elipsleri ile Deformasyon Analizi (RİTTER 1982), Cholesky Çarpanlarına Ayırma Yöntemi (CASPARY-SCHVVINTZER 1980), Mierlo Yöntemi (MIERLÖ 1981) dir.

Jeodezik deformasyon ölçmeleri ve ölçülerin değerlendirilmesi konusu mühendislik ölçmelerinin önemli bir bölümünü kapsar. Bu konuda karşılaşılan sorunlar UNESCO, FIG, Uluslararası Büyük Barajlar Komitesi v.b. kuruluşlar aracılığı ile uluslararası düzeyde tartışılmaya başlanmıştır. Ülkemizde kaynaklara geçen ilk ciddi çalışmalar Kuzey Anadolu Fay Kuşağı üzerinde yerkaşu hareketlerinin belirlenmesine yönelik araştırmalardır UĞUR (1974), ÖZTÜRK (1978), KARAHAN v.d. (1983), AKSOY (1983). Deformasyon ölçülerinin değerlendirilmesi ve sonuçların yorumu konusundaki Türkçe kaynaklar arasında ÖZTÜRK (1978), ALGÜL (1982), BARIŞKANER (1982), AKSOY (1983), AYAN (1983), ATASOY (1984) sayılabilir.

#### KAYNAKLAR

- AKSOY, A. (1982) :Yerbilimlerin ortak çalışma alanlarından Jeodinamik ve Jeodezinin bu çalışmalarda görevi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Yer Bitimleri Dergisi Jeoloji-Jeodezi s. 74-92, Nisan 1982 Trabzon.
- AKSOY, A. (1983) : Depremlerin Önoeden Bilinmesi ve Hasarların Azaltılması Araştırmaları Projesi Jeodezi Çalışma Grubu Faliyetleri, Nlusal Jeodezi-Jeofizik Birliğı XII. Genel Kurulu Toplantıları, 5-6 Mayıs 1983, Ankara
- AKSOY, A. (1983) : Measurements and computation in micro geodetic netz established on the North Anatolian fault zone for the purpose of earthquake prediotion research in Turkey, IASPEI SYMPOSIUM 6 XVIII. IUGG GENERAL ASSEMBLY, 25, 27 August 1983, Hamburg.
- ALGÜL, E. (1982) : Barajlarda jeodezik deformasyon ölçmeleri ve analizi, doç. tezi, istanbul 1982 (Yayımlanmadı).
- ATASOY, V. (1984) : Jeodezik deformasyon ölçülerinin irdelenmesi, yükseklisans tezi, Trabzon 1984 (Yayımlanmadı).
- AYAN, T. (1983) : Bağlı güven elipsleri ile deformasyon analizi, Harita Dergisi sayı 91, Ankara 1983.

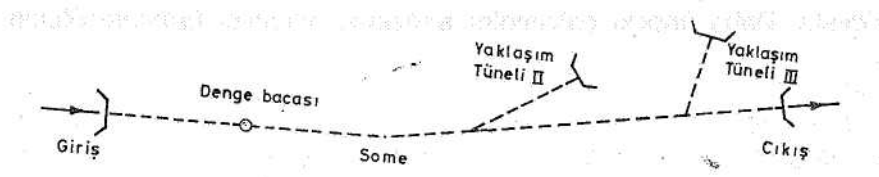
- AYAN, T. (1983) : Deformasyonların saptanmasında kontrol ağının ikiye ayrılması yöntemi. Harita ve Kadastro Dergisi sayı 45-46-47 Nisan-Temmuz-Ekim 1983. Ankara
- BAARDA, W. (1977) : Measure for the accuracy of geodetic networks. IAG Symposium on optimization of design and computation of control networks, Sopron 1977.
- BARIŞKANER, A. (1982) : Geodezik deformasyon ölçülerinin analizi, doç. tezi, Konya 1982.
- BAUMANN, E. (1972) : Die Anwendung statistischer Methoden bei der Untersuchung geodätischer Netze, DGK, Reihe C 175, München 1972.
- CASPARY, W. - SCHVINTZER, P. (1980) : Mathematische und Statistische Methoden zur Aufdeckung kleiner relativer Bewegungen von Punktgruppen, Ingenieur Vermessung, Zürich 1980.
- GHITAU, D. - WOLF, H. (1983) : Relativ-Modelle für die geodätische Bestimmung von Krustenbewegungen im Erdbebengebiet ZfV 4/1983 s. 146-160.
- HECK, B. - KUNTZ, E. MEIER-HIRMER, B. (1977) : Deformationsanalyse mittels relativer Fehlerellipsen AVN 3/1977 s. 78-87 Karlsruhe.
- HECK, B. (1981) : Die Verwendung relativer Fehlerellipsen zur Analyse von Deformationsmessungen, Proceedings of the II. International Symposium of Deformation Measurements by Geodatic Methods, Bonn 1981.
- HECK, B. (1984) : Zur geometrischen Analyse von Deformationen in Lagenetzen AVN 10/1984 s. 357-374.
- KARAHAN, Z. - ÖZTÜRK, E. UĞUR, E. - UYSAL, K. (1983) : Güncel yer kabuğu hareketlerinin jeodezik yöntemlerle irdelenmesi, Ulusal Jeodezi-Jeofizik Birliği XII. Genel Kurul Toplantıları 5-6 Mayıs 1983 Ankara.
- MILEV, G. (1973) : Ausgleichung, Analyse und Interpretation von Deformationsmessungen, DGK Reihe C 192 München 1973.
- MEITER, S. (1971) : Ausgleichung horizontaler Punktverschiebungen National Komitee für Geodäsie und Geophysik der DDR Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Reihe III, Heft 25, 1971.
- MIERLO, J. (1981) : A testing procedure for analysing geodetic deformation measurements, Proceedings of the II. International Symposium of Deformation Measurements by Geodatic Methods, Bonn 1981.

- NJEMEIER, W. (1975) : Zur generalisierung gemessener Deformationen mit statistischen Methoden, FIG Symposium Deformationsmessungen, Krakau 1975.
- NIEMEIER, W. (1976) : Grundprinzip und Rechenformeln einer strengen Analyse geodätischer Deformationsmessungen Int. Kurs. für Ingenieurvermessungen höherer Präzision, Darmstadt 1976.
- NIEMEIER, W. (1979) : Zur Kongruenz mehrfach beobachteter geodätischer Netze, Wiss. Arb. der Fachrichtung Verm. Nr. 98, Hannover 1979.
- ÖZTÜRK, E. (1978) : Jeodezik deformasyon ölçülerinin irdelenmesi, ©<sup>2</sup>- Ölçütü, Harita Dergisi sayı 85 Ankara 1978.
- PELZER, H. (1971) : Zur Analyse geodätischer Deformationsmessungen DGK Reihe C 164, München 1971.
- PELZER, H. (1974) : Zur Behandlung singulärer Ausgleichungsaufgaben ZfV 1974 s. 181 -194, s. 479 - 488.
- PELZER, H. (1976) : Über die statistischen Eigenschaften der Ergebnisse von Deformationsmessungen, Int. Kurs. für Ingenieurvermessungen höherer Präzision, Darmstadt 1976.
- PELZER, H. (1981) : Geodätische Überwachung dynamischer Systeme, Proceeding of the II. International Symposium on Deformation Measurements by Geodatic Methods, Bonn 1981.
- RITTER, B. (1982) : Untersuchungen geodätischer Netze in Island zur Analyse von Deformationsmessungen DGK Reihe C 271, München 1982.
- UĞUR, E. (1974) : Yerkabuğu hareketlerinin jeodezik yöntemlerle etüdü, Harita Dergisi özel sayı 11, Ankara 1974.
- WELSCH, W. (1981) : Gegenwärtiger Stand der geodätischen Analyse und Interpretation geometrischer Deformationen AVN 2/1981, s. 45-51 Stuttgart 1981.
- WOLF, H. (1963) : Zur Berechnung resenter Höhenänderungen im Rahmen des Europäischen Nivellementnetzes DGK Reihe B, Nr 104, München 1963.

## KINIK TÜNELİ EKSEN YÖNLENDİRİLMESİ (\*)

Doç. Dr. Erdal KOÇAK  
Karadeniz Üniversitesi

Ankara'nın gereksinimini karşılamak amacıyla Çamlıdere Barajı-İvedik su getirme projesi D.S.İ. Genel Müdürlüğü tarafından yürütülmektedir. İsale hattının geçeceği kısımlar, topoğrafik yapının bir gereği olarak yer yer tünel biçiminde, diğer kısımlarda da yer üstü geçişleri olarak projelendirilmiştir. 60 km'ye yaklaşan isale hattının en uzun tüneli yaklaşık 14 ile 30 uncu kilometreler arasındaki 16 km'lik kısımdır. Tünelin çıkışı Ankara'nın Kınık Köyü yakınında bulunmaktadır (Şekil 1),



Şekil 1 : Kınık tünelinin genel yapısı

Tünel açma çalışmaları, projenin giriş, çıkış ve yaklaşım tünellerinden girilerek sürdürülmüş ve önemli kısımlar tamamlanmış olup, halen çalışmaları devam etmektedir. Yaklaşım II ve Yaklaşım III tünellerinden karşılıklı yönde yapılan kazılar beklenen doğruluk sınırları içerisinde karşılaşılabilmektedir. Tünelin bu kesimindeki ölçme hizmetleri, yapım firmasının harita mühendisi yönetimindeki ölçme ekiplerince yürütülmektedir. Ölçme işlemlerinin sağlıklı yürütülmesi-

(\*) Bu çalışmanın finansmanı yapımçı firma KİSKA Kom. Şti. tarafından sağlanmıştır,