

BAĞIL GÜVEN ELİPSLERİ YÖNTEMİYLE DEFORMASYON ANALİZİ: ERMENEK BARAJI ÖRNEĞİ

¹Cevat İNAL, ²Sercan BÜLBÜL

¹Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 42075, Konya, Türkiye

¹cevat@selcuk.edu.tr, ²sbulbul@selcuk.edu.tr

(Geliş/Received: 13.09.2013; Kabul/Accepted in Revised Form: 24.11.2013)

ÖZET: Jeodezinin önemli görevlerinden biri yer kabuğunda ve yapılarda meydana gelen deformasyonları araştırmaktır. Özellikle mühendislik yapılarında gerek inşaat sırasında gerekse inşaat sonrasında kontrol ölçmeleri yapılır. Yapılan ölçüler değerlendirilir ve bir tehlike oluşup oluşmadığı araştırılır.

Ölçülerin değerlendirilmesinde farklı analiz yöntemleri kullanılır. Bu çalışmada yatay yöndeki deformasyonların belirlenmesinde kullanılan statik değerlendirme yöntemlerinden bağıl güven elipsleri yöntemi teorik olarak incelenmiş, Ermenek barajında yapılan iki periyot doğrultu ve kenar ölçüsü kullanılarak analitik ve grafik yöntemle deformasyon araştırması yapılmıştır. Jeodezik ağ 13 referans noktası ve kret üzerinde bulunan 10 obje noktasında oluşmaktadır. Değerlendirme doğrultu gözlemleri ve doğrultu + kenar ölçüleri kullanılarak ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Doğrultu gözlemleriyle yapılan değerlendirmede 6, 7, 8, 9, 12, 13 referans noktaları ile 104, 501 obje noktalarında, doğrultu + kenar ölçüleriyle yapılan değerlendirmede 6, 12, 13 referans noktalarında %95 istatistik güvenle deformasyona rastlanmamıştır. Deformasyona uğrayan noktalarda sadece doğrultu gözlemleriyle yapılan değerlendirmede 1.91 mm - 7.35 mm, doğrultu ve kenar ölçüleri kullanılarak yapılan değerlendirmede ise 1.46 mm - 6.60 mm arasında değişim belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bağıl güven elipsleri, Deformasyon, Deformasyon analizi

Deformation Analysis with Relative Confidence Ellipses Method: A Case Study, Ermenek Dam

ABSTRACT: One of the important tasks of geodesy is to investigate the deformations that occur in the earth's crust and structures. Control measurements are made especially in engineering structures both during and after construction. The measurements are evaluated for investigating whether there is a threat or not.

Different methods of analysis are used in the evaluation of the measurements. In this study, Relative Confidence Ellipses Method, which is one of the static evaluation methods used in the determination of deformations in the horizontal direction, is theoretically examined, using direction observations and ranging data measured in Ermenek Dam for two periods and deformation measurements were conducted by analytical and graphical methods. Geodetic network consists of 13 reference points and 10 object points which were located on the crest. Evaluation was made separately both for direction observations and for direction observation + ranging data. With 95% statistical confidence, any deformation was not observed on 6, 7, 8, 9, 12, 13 reference points and 104, 501 object points in the evaluation according to direction observations and on 6, 12, 13 reference points in the evaluation according to direction observation + ranging data. At the points subjected to deformation, deformations between 1.91 mm- 7.35 mm based on only direction observation and deformations between 1.46 mm- 6.60 mm based on both direction observations and ranging data were determined.

Key words: Relative confidence ellipses, Deformation, Deformation analysis

GİRİŞ(INTRODUCTION)

Deformasyon ölçmeleri araştırılan alanlardaki deformasyonları ve hareket büyüklüklerini belirlemek için dünya çapında yaygın olarak kullanılır (Even-Tzur, G., 2002). Can ve mal kayıpları gibi büyük felaketlerin şiddetinin azaltılabilmesi ve gerekli tedbirlerin alınabilmesi için köprü, baraj, gökdelen vb. büyük mühendislik yapılarındaki değişimlerin izlenmesi zorunludur (Agatze, 1985). Bu amaç için kullanılan deformasyon izleme ağları ; doğruluk, güvenilirlik ve hassasiyet gibi üç temel kritere göre analiz edilmelidir(Cooper, M., 1987). Doğruluk ve güvenilirlik jeodezik ağların tasarlanmasında temel tasarım kriterleri olarak dikkate alınmaktadır (Kock, K., 1985; Kuang, S., 1993; Ezen-Tzur, G., 1999). Deformasyonların belirlenmesinde jeodezik ve fiziksel ölçme yöntemleri kullanılır. Jeodezik yöntemlerle mutlak deformasyonlar, fiziksel yöntemlerle bağıl deformasyonlar belirlenir ve sonuçlar yorumlanır.

Değişik alanlarda yapılan deformasyon ölçüleri farklı yöntemlerle analiz edilmektedir. Analizlerde genellikle Ortalama Aykırılıklar Yöntemi (θ^2 Ölçütü), Bağıl Güven Elipsleri Yöntemi, Mierlo Yöntemi, Cholesky Çarpınlarına Ayırma Yöntemi ve S Transformasyonu ile deformasyon analizi yöntemleri kullanılmaktadır.

Bu çalışmada Ermenek barajında Bağıl Güven Elipsleri yöntemiyle yatay hareketlerin belirlenmesi teorik ve uygulamalı olarak araştırılmıştır. Yöntemin özelliği, hareket belirlemesini yapabilmek için, ağın sabit ve hareketli noktalarının başlangıçta bilinmesine gerek olmasıdır.

BAĞIL GÜVEN ELİPSLERİ YÖNTEMİYLE DEFORMASYON ANALİZİ(DEFORMATION ANALYSIS OF RELATIVE CONFIDENCE ELLIPSES METHOD)

Bu yöntemde önce periyot ölçüleri ayrı ayrı serbest dengelenir. Uyuşumsuz ölçüler aykırılır. Jeodezik ağdaki ölçüler ayrı birer ağ ölçüsü gibi düşünüldüğünden, dengelemede koordinat bilinmeyenleri için aynı yaklaşık değerler kullanılsa bile ağların datumları birbirinden farklı olur. Bu nedenle t_1 ve t_2 periyoduna ilişkin sonuçlar birbirleriyle doğrudan karşılaştırılmazlar. Bu iki periyoda ilişkin ölçüleri birbirine bağlamak için, t_1 - t_2 zaman aralığında konum değiştirmemiş ortak noktalar aranır. Ağın kurulması sırasında konumlarının değişmeyeceği düşünülen noktalara istatistik testler uygulanarak sabit kalıp kalmadıkları saptanır (İnal, 1988;Uzel, 1991). Sabit noktalar belirlendikten sonra periyot ölçüleri dengelemesi sonucu elde edilen fark vektörü ve bunun ters ağırlık matrisi yardımıyla noktalardaki deformasyonların anlamlı olup olmadığının irdelenmesi analitik ya da grafik olarak yapılmaktadır.

Sabit Noktaların Deformasyon Analizi (Deformation Analysis of Reference Points)

Bu adımda öncelikle bağımsız periyotlara ilişkin ölçüler ayrı ayrı serbest dengelenir. İki periyodun ayrı ayrı dengelenmesi sonucunda koordinat bilinmeyenleri \hat{x}_1, \hat{x}_2 elde edilir. Aradaki datum aykırılığını ortadan kaldırmak için konum değiştirmedeği varsayılan ölçme noktalarının koordinatları Helmert dönüşümü ile üst üste çakıştırılır. Bu noktaların her biri için Helmert dönüşümünün düzeltme denklemleri bir j noktası için,

$$V_{x_{1j}} = a_0 + a\hat{x}_{2j} - b\hat{y}_{2j} - \hat{x}_{1j} \quad (1)$$

$$V_{y_{1j}} = b_0 + a\hat{y}_{2j} + b\hat{x}_{2j} - \hat{y}_{1j} \quad (2)$$

şeklinde yazılabilir. Burada;

a_0, a, b_0, b : Dönüşüm katsayıları

$\hat{x}_{1j}, \hat{y}_{1j}$: j noktasının 1.ölçme dönemindeki koordinatları

$\hat{x}_{2j}, \hat{y}_{2j}$: j noktasının 2.ölçme dönemindeki koordinatlarını

göstermektedir. Dönüşüm için önce katsayıların hesabı gerekir. Her iki periyoda elde edilen koordinatlardan yararlanarak birinci periyot için;

$$X_{11} = [\hat{x}_{1j}]/n \quad Y_{11} = [\hat{y}_{1j}]/n \quad (3)$$

$$\bar{x}_{1j} = \hat{x}_{1j} - X_{11} \quad \bar{y}_{1j} = \hat{y}_{1j} - Y_{11} \quad (4)$$

ağırlık merkezine dönüştürülmüş koordinatlar bulunur. Aynı işlem ikinci periyot içinde yapılırsa,

$$X_{22} = [\hat{x}_{2j}]/n \quad Y_{22} = [\hat{y}_{2j}]/n \quad (5)$$

$$\bar{x}_{2j} = \hat{x}_{2j} - X_{22} \quad \bar{y}_{2j} = \hat{y}_{2j} - Y_{22} \quad (6)$$

elde edilir. Burada;

X_{11}, Y_{11} : 1. Periyotta ağırlık merkezi koordinatları

$\bar{x}_{1j}, \bar{y}_{1j}$:1. Periyotta ağırlık merkezine dönüştürülmüş koordinatlar

n : Dönüşümde kullanılan ortak nokta sayısı

X_{22}, Y_{22} : 2. Periyotta ağırlık merkezi koordinatları

$\bar{x}_{2j}, \bar{y}_{2j}$:1. Periyotta ağırlık merkezine dönüştürülmüş koordinatları

göstermektedir.

$$a = [\bar{x}_{1j} \cdot \bar{x}_{2j} + \bar{y}_{1j} \cdot \bar{y}_{2j}] / [\bar{x}_{2j}^2 + \bar{y}_{2j}^2] \quad (7)$$

$$b = [-\bar{x}_{1j} \cdot \bar{y}_{2j} + \bar{y}_{1j} \cdot \bar{x}_{2j}] / [\bar{x}_{2j}^2 + \bar{y}_{2j}^2] \quad (8)$$

ile a ve b katsayıları hesaplanır, a_0, b_0 ise;

$$a_0 = X_{11} - a \cdot X_{22} + b \cdot Y_{22} \quad (9)$$

$$b_0 = Y_{11} - a \cdot Y_{22} - b \cdot X_{22} \quad (10)$$

bağıntıları ile bulunur.

Helmert dönüşüm katsayılarından yararlanarak sabit kabul edilen noktaların ikinci periyottaki koordinatları, birinci periyoda dönüştürülür. Datum çakışmasının ortak hataları V_{x_j}, V_{y_j} (1) ve (2) bağıntıları yardımıyla hesaplanır (İnal, 1988).

Koordinat bilinmeyenlerinin ters ağırlık matrisleri $Q_{x_1x_1}, Q_{x_2x_2}$ koordinat bilinmeyenlerinin ortalama hataları $m_{x_1}, m_{y_1}, m_{x_2}, m_{y_2}$ hesaplanır. Her periyodun dengelenmesi sonucu elde edilen koordinat duyarlıklarına göre bir P_j noktasının t_i, t_{i+1} periyodu verileriyle bulunan koordinat farklarının ortalama hataları,

$$\begin{aligned} m_{x_j}^2 &= (m_{x_1}^2 + m_{x_2}^2)_j \\ m_{y_j}^2 &= (m_{y_1}^2 + m_{y_2}^2)_j \end{aligned} \quad (11)$$

bağıntılarıyla hesaplanır (Ünver ve Tanır, 2001). Hareket etmediği varsayılan noktaların testi için oluşturulacak sıfır hipotezi;

$$H_0 : E\{V_{x_j}\} = 0, E\{V_{y_j}\} = 0 \quad (12)$$

olur. Test büyüklükleri;

$$t_{x_j} = \frac{|v_{x_j}|}{m_{x_j}}, t_{y_j} = \frac{|v_{y_j}|}{m_{y_j}} \quad (13)$$

bağıntılarıyla hesaplanır. Test büyüklükleri $1-\alpha$ istatistik güven ve $f=n$ (nokta sayısı) serbestlik dereceleri ile t-dağılım çizelgesinden alınan karşılaştırma ölçütü ile kıyaslanır.

Eğer; $t_{x_j} > t_{f, 1-\alpha}$ ve/veya $t_{y_j} > t_{f, 1-\alpha}$

ise P_j referans noktası t_2-t_1 zaman aralığında konum değiştirmiştir. Bu nedenle her iki ölçme dönemine ait ağırları birbirine bağlayacak ortak nokta olarak alınamaz. Aksi durumda o noktanın sabit kaldığı kabul edilir. Eğer konum değiştiren noktalar varsa bu noktalar çıkarılarak dönüşüm tekrar edilir ve artık noktaların ne durum aldığı incelenir (İnal, 2012).

Objekt Noktalarının Deformasyon Analizi (Deformation Analysis of Object Points)

Helmert dönüşümü sonucu sabit noktalar belirlendikten sonra sabit noktalar için bir çift, hareketli ağırlık noktaları için her döneme ait birer çift koordinat bilinmeyenleri yazılır. Her iki döneme ait ölçüler birlikte dengelenir. Birlikte dengelemenin ölçüleri ve bilinmeyenler vektörleri,

$$\mathbf{l} = \begin{bmatrix} \underline{\mathbf{l}}_1 \\ \dots \\ \underline{\mathbf{l}}_2 \end{bmatrix}, \mathbf{x} = \begin{bmatrix} \underline{\hat{\mathbf{x}}}_F \\ \dots \\ \underline{\hat{\mathbf{x}}}_1 \\ \underline{\hat{\mathbf{x}}}_2 \end{bmatrix} \quad (14)$$

biçiminde yazılabilir. Burada;

$\underline{\mathbf{l}}_1$: 1. periyotta ait ölçüler vektörü

$\underline{\mathbf{l}}_2$: 2. periyotta ait ölçüler vektörü

$\underline{\hat{\mathbf{x}}}_1$: Deformasyon noktalarının 1. periyottaki bilinmeyenler vektörü

$\underline{\hat{\mathbf{x}}}_2$: Deformasyon noktalarının 2. periyottaki bilinmeyenler vektörü

$\underline{\hat{\mathbf{x}}}_F$: Ortak noktalar için bilinmeyenler vektörünü

göstermektedir.

Birlikte dengeleme sonucu;

$$\mathbf{Q} = (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^+ = \begin{bmatrix} \underline{\mathbf{Q}}_{FF} & \underline{\mathbf{Q}}_{F1} & \underline{\mathbf{Q}}_{F2} \\ \underline{\mathbf{Q}}_{1F} & \underline{\mathbf{Q}}_{11} & \underline{\mathbf{Q}}_{12} \\ \underline{\mathbf{Q}}_{2F} & \underline{\mathbf{Q}}_{21} & \underline{\mathbf{Q}}_{22} \end{bmatrix} \quad (15)$$

şeklinde $\underline{\mathbf{Q}}$ kofaktör matrisi elde edilir. Burada;

\mathbf{A} : 1. ve 2. periyotlara ait tüm ölçülerin düzeltme denklemlerinden oluşan katsayılar matrisidir.

Birlikte dengeleme sonucu birim ağırlıklı ölçünün varyansı,

$$m^2 = \frac{\mathbf{v}^T \underline{\mathbf{Q}}_u^{-1} \mathbf{v}}{n-u+d} \quad (16)$$

eşitliği ile bulunur.

Burada;

$n = n_1 + n_2$: 1. ve 2. periyot için toplam ölçü sayısı

u =: Bilinmeyen sayısı

d : Normal denklem matrisinin defekt sayısı

dır. Bu aşamadan sonra öncelikle ağda deformasyon olup olmadığı araştırılmalıdır. Hareketli varsayılan noktaların yer değiştirmedeği kabul edilirse koordinatların umut değerleri farkı sıfır olmalıdır şeklinde,

$$H_0 = E\{\hat{\mathbf{x}}_2 - \hat{\mathbf{x}}_1\} = 0 \quad (17)$$

sıfır hipotezi ileri sürülür. Başka bir deyişle koordinat farklarının rastlantı hatalardan mı, yoksa nokta kaymalarından mı ileri geldiği araştırılmalıdır.

$$\hat{\mathbf{d}} = \hat{\mathbf{x}}_2 - \hat{\mathbf{x}}_1 \quad (18)$$

$$\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{d}}} = \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}_1\hat{\mathbf{x}}_1} + \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}_2\hat{\mathbf{x}}_2} - \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}_1\hat{\mathbf{x}}_2} - \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}_2\hat{\mathbf{x}}_1} \quad (19)$$

olmak üzere,

$$\hat{\mathbf{F}} = \frac{\hat{\mathbf{d}}^T \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{d}}}^{-1} \hat{\mathbf{d}}}{r m^2} \quad (20)$$

test büyüklüğü elde edilir. Burada;

$\hat{\mathbf{d}}$:Fark vektörü

$\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{d}}}$:Fark vektörünün ağırlık katsayılar matrisi

r :Hareketli nokta sayısının iki katını

göstermektedir.

F test büyüklüğü F-dağılım çizelgesinden alınan $F_{r,n-u+d,1-\alpha}$ sınır değeriyle karşılaştırılır.

$\hat{\mathbf{F}} < F_{r,n-u+d,1-\alpha}$ ise hipotez kabul edilir. Aksi durumda $1-\alpha$ olasılığı ile ağda deformasyon olduğu yargısına varılır. Ağın tümünde ya da bir bölümünde deformasyon olup olmadığını belirtmek için yapılan bu teste *global test* denir.

Bu aşamadan sonra noktalar tek tek incelenerek hangi noktalarda deformasyon olduğu incelenir (İnal, 2010).

Obje noktalarındaki deformasyonun yerelleştirilmesi (Localization of Deformation on the Object Points)

Birlikte dengeleme sonuçlarından $\hat{\mathbf{d}}_i$ farkları ve $\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{d}}_i}$ matrisi hesaplanır.

$$\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{d}}_j} = \begin{bmatrix} \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}\hat{\mathbf{x}}_d} & \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}\hat{\mathbf{y}}_d} \\ \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{y}}\hat{\mathbf{x}}_d} & \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{y}}\hat{\mathbf{y}}_d} \end{bmatrix}_j \quad (21)$$

$\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{d}}_j}$ matrisinin elemanları her j noktası için;

$$\begin{aligned} \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}\hat{\mathbf{x}}_d} &= \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}_j\hat{\mathbf{x}}_j}^{11} + \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}_j\hat{\mathbf{x}}_j}^{22} - 2\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}_j\hat{\mathbf{x}}_j}^{12} \\ \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{y}}\hat{\mathbf{y}}_d} &= \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{y}}_j\hat{\mathbf{y}}_j}^{11} + \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{y}}_j\hat{\mathbf{y}}_j}^{22} - 2\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{y}}_j\hat{\mathbf{y}}_j}^{12} \\ \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}\hat{\mathbf{y}}_d} &= \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{y}}\hat{\mathbf{x}}_d} = \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}_j\hat{\mathbf{y}}_j}^{11} + \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}_j\hat{\mathbf{y}}_j}^{22} - \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{y}}_j\hat{\mathbf{x}}_j}^{12} - \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}_j\hat{\mathbf{y}}_j}^{21} \end{aligned} \quad (22)$$

şeklinde hesaplanır.

Her P_j noktasındaki deformasyon araştırması için sıfır hipotezi;

$$H_0 : E\{\hat{\mathbf{d}}_j\} = 0 \quad (23)$$

şeklinde kurulur ve test büyüklüğü;

$$\hat{F} = \frac{\mathbf{d}_j^T \mathbf{Q}_{d_j}^{-1} \mathbf{d}_j}{2 m^2} \quad (24)$$

bağıntısından hesaplanır.

$\hat{F} < F_{2,n-u+d,1-\alpha}$ ise, sıfır hipotezi geçerlidir. Başka bir deyişle P_j noktası $1-\alpha$ olasılıkla konum değiştirmemiştir. Farkın ölçülerdeki rastlantı hatalardan meydana geldiği söylenebilir. $\hat{F} > F_{2,n-u+d,1-\alpha}$ ise P_j noktasında deformasyon olduğu kararı verilir (İnal, 1988).

Deformasyonu çizim yoluyla da belirlemek mümkündür. Tüm dengeleme ile elde edilen P_{j1} ve P_{j2} nokta çiftlerine ilişkin bağıl güven elipsleri çizilir. Bu elipsin eksen uzunlukları A_G , B_G ve açıklık açısı θ_G :

$$\lambda_1 = \frac{1}{2} (\mathbf{Q}_{\hat{x}\hat{x}d_j} + \mathbf{Q}_{\hat{y}\hat{y}d_j} + W) ; \lambda_2 = \frac{1}{2} (\mathbf{Q}_{\hat{x}\hat{x}d_j} + \mathbf{Q}_{\hat{y}\hat{y}d_j} - W) \quad (25)$$

$$W = \sqrt{(\mathbf{Q}_{\hat{x}\hat{x}d_j} - \mathbf{Q}_{\hat{y}\hat{y}d_j})^2 + 4\mathbf{Q}_{xy}^2} \quad (26)$$

eşitliklerinden yararlanarak,

$$A_G = m_0 \sqrt{2\lambda_1 F_{2,n-u+d,1-\alpha}} \quad (27)$$

$$B_G = m_0 \sqrt{2\lambda_2 F_{2,n-u+d,1-\alpha}} \quad (28)$$

$$\theta_G = \frac{1}{2} \arctan \left(\frac{2\mathbf{Q}_{yx}d_j}{\mathbf{Q}_{\hat{x}\hat{x}d_j} - \mathbf{Q}_{\hat{y}\hat{y}d_j}} \right) \quad (29)$$

bağıntılarıyla hesaplanır (Ayan, 1983).

Deformasyonun geometrik olarak yorumu için ölçekli olarak çizilmiş P_{j1} ve P_{j2} noktalardan birinin üzerine bu nokta çifti için hesaplanan bağıl güven elipsi çizilir. Şayet diğer nokta bu elipsin dışında kalıyorsa, P_j noktası iki periyot arasında $1-\alpha$ olasılıkla konum değiştirmiştir kararı verilir.

Deformasyon vektörünün yönü ve büyüklüğü,

$$d_j = (d_{x_j}^2 + d_{y_j}^2)^{1/2}, \varphi = \arctan \left(\frac{d_{y_j}}{d_{x_j}} \right) \quad (30)$$

bağıntılarından hesaplanabilir (İnal, 2010; Algül, 1982).

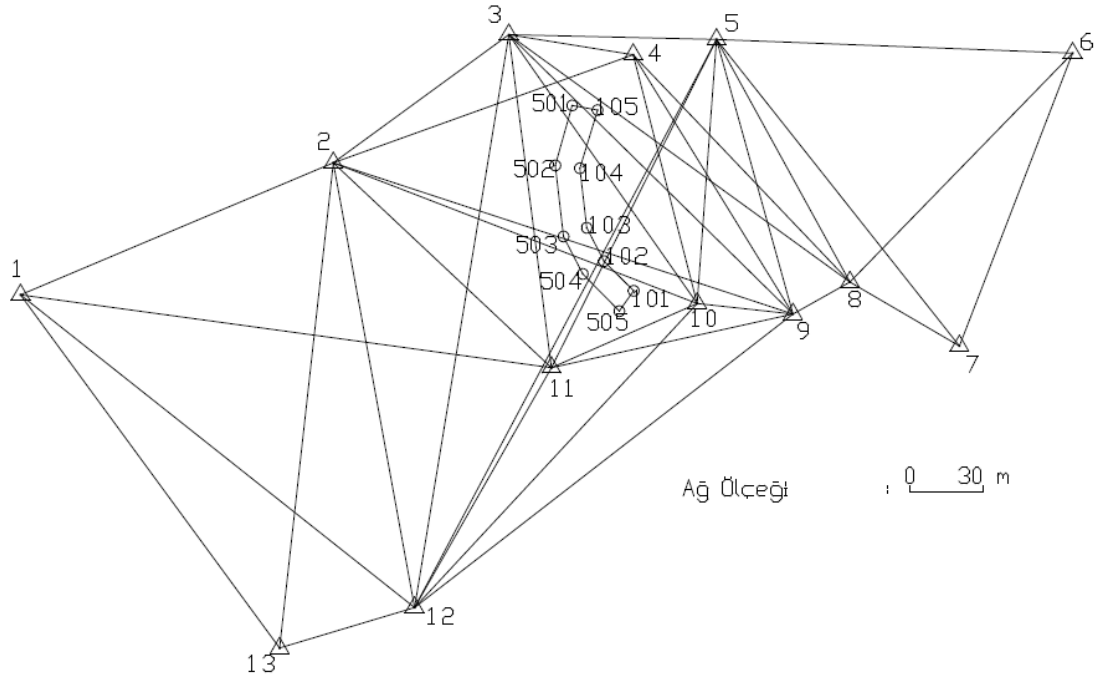
UYGULAMA (APPLICATION)

Ermenek Barajı, Karaman'da bulunan Göksu Nehri'nin Ermenek Çayı üzerinde, enerji üretmek amacıyla 2002 yılında inşa edilmeye başlanmıştır. Barajın bulunduğu vadi olan Görmel Boğazında oldukça sarp ve dik uçurumlar bulunmaktadır. Barajın gövdesi ince beton kemer gövde ve dolgu tiplidir. Barajın gövde hacmi 272.000 m.³tür ve akarsu yatağından yüksekliği 210.00 m.'dir. Normal su kotunda göl hacmi 4,582.00 hm.³, normal su kotunda göl alanı 58.74 km.²'dir. Baraj yıllık 306 MW. güç ile 1.048 GWh.'lik enerji üretmesi planlanmaktadır. Baraj 2002 yılında inşasına başlanmış ve ilk olarak su toplamaya 10 Ağustos 2009 günü başlamıştır (Vikipedi, 2012). Ermenek barajı **gövde yüksekliği bakımından** dünyanın **21.**, Avrupa'nın **6.**, Türkiye'nin ise **2.** en büyük barajı olarak önem taşımaktadır (Şekil 1)(Bülbül, 2013).



Şekil 1. Ermenek barajının üstten görünümü (*The view of Ermenek Dam from top*) (Sezer, 2012)

Ermenek barajında kret üzerindeki hareketleri belirlemek amacıyla 13 referans ve 10 obje noktası kullanılmıştır. Referans noktaları 1, 2,.., 13 olarak numaralandırılmıştır. 501, 502, 503, 504 ve 505 numaralı obje noktaları barajın memba tarafında, 101, 102, 103, 104 ve 105 numaralı noktalar ise mansap tarafındadır (Şekil 2).



Şekil 2. Referans Noktalarından Oluşan Yatay Ağ ve Görüşler (*Horizontal network, created from reference points, and views*)

Oluşturulan jeodezik ağda referans noktaları pilye şeklinde, kret üzerindeki obje noktaları ise reflektör tutulabilecek şekilde tesis edilmiştir (Şekil 3,4).



Şekil 3.Referans noktasındaki prizma
(Prism on the reference points)



Şekil 4. Kret üzerindeki obje noktasındaki prizma
(Prism on the reference points on the crest)

Jeodezik ağda 4 silsile doğrultu ölçüsü ve kenar ölçümleri yapılmıştır. Ağda 166 doğrultu, 128 kenar ölçülmüştür. Deformasyon araştırması doğrultu+kenar ve doğrultu ölçüleri kullanılarak ayrı ayrı yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Doğrultu ölçülerine göre yapılan değerlendirmede referans ölçüsü olarak alınan Aralık 2010 ölçüleri ile tekrar ölçüsü olarak alınan Haziran 2012 ölçülerinin analizi yapılmıştır. Periyot ölçüleri ayrı ayrı serbest dengelenmiş, uyuşumsuz ölçüler ayıklanmıştır. Aralık 2010 ölçülerinde 10-11 ve 11-10 doğrultuları uyuşumsuz olduğu için ölçü vektöründen çıkarılmıştır. Haziran 2012 ölçülerinde ise uyuşumsuz ölçüye rastlanmamıştır. Uyuşumsuz ölçüler ayıklandıktan sonra periyot ölçülerinin serbest dengelenmesi tekrarlanmış ve referans noktalarının koordinatları kullanılarak Helmert dönüşümü yapılmıştır. Dönüşüm sonucunda 11,2,10,9,1,5,4,3 noktalarının deformasyona uğradığı tespit edilmiş ve periyot ölçülerinin birlikte dengelenmesinde bu noktalar obje noktası olarak dikkate alınmıştır. Doğrultu ve kenar ölçülerinin birlikte kullanılmasıyla yapılan değerlendirmede ise Aralık 2010 ölçülerinde 10-11, 11-10, 9-10 doğrultuları ile 10-11 kenarı, Haziran 2012 ölçülerinde ise 10-11, 4-505, 9-505 doğrultuları uyuşumsuz olduğu için ölçü vektöründen çıkartılmıştır. Uyuşumsuz ölçüler ayıklandıktan sonra periyot ölçülerinin serbest dengelenmesi tekrarlanmış ve referans noktalarının koordinatları kullanılarak Helmert dönüşümü yapılmıştır. Dönüşüm sonucunda 2, 11, 10, 12, 5, 1, 4, 3, 9, 8, 7 noktalarının deformasyona uğradığı tespit edilmiş ve periyot ölçülerinin birlikte dengelenmesinde bu noktalar obje noktası olarak dikkate alınmıştır. Gerek doğrultu ölçüleri gerekse doğrultu ve kenar ölçüleri kullanılarak yapılan değerlendirmede (20) eşitliği kullanılarak global test, (21)-(24) eşitlikleri kullanılarak deformasyonların yerleştirilmesi yapılmıştır(Tablo 1,2).

Doğrultular kullanılarak yapılan analiz sonucunda 6, 7, 8, 9, 12, 13, referans noktaları ile 104, 501 obje noktalarında, doğrultu+kenar ölçüleri kullanılarak yapılan analizde ise 6, 12, 13 referans noktalarında %95 istatistik güvenle deformasyon olmadığı sonucuna varılmıştır.

Tablo 1. Doğrultu ölçülerine göre değerlendirme (Evaluation according to direction observation)

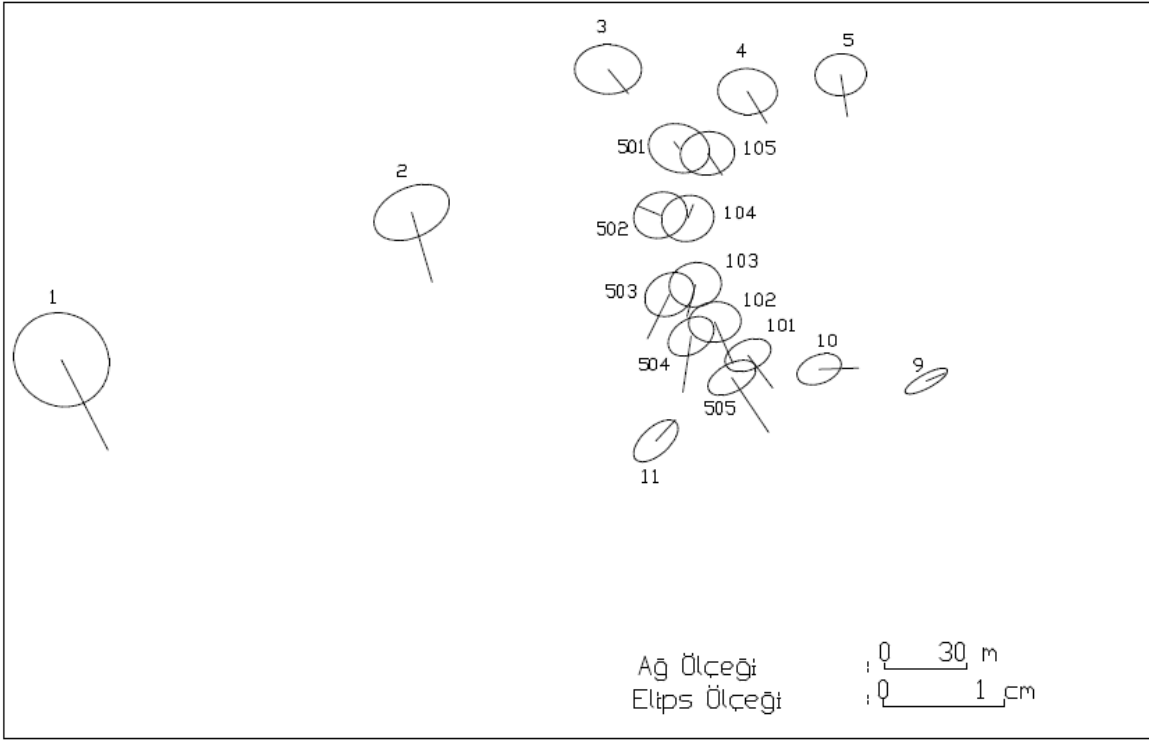
NN	dx(cm)	dy(cm)	Test Büyüklüğü	Tablo Değeri	Karar
1	-0.65	0.34	12.840	3.036	Hareket anlamlı
2	-0.51	0.14	25.137	3.036	Hareket Anlamlı
3	-0.19	0.15	4.356	3.036	Hareket Anlamlı
4	-0.23	0.14	6.601	3.036	Hareket Anlamlı
5	-0.31	0.05	12.529	3.036	Hareket Anlamlı
9	0.07	0.14	2.468	3.036	Hareket Anlamsız

10	0.01	0.30	11.012	3.036	Hareket Anlamlı
11	0.15	0.14	3.237	3.036	Hareket Anlamlı
101	-0.24	0.18	22.994	3.036	Hareket Anlamlı
102	-0.30	0.13	13.880	3.036	Hareket Anlamlı
103	-0.23	-0.05	6.238	3.036	Hareket Anlamlı
104	0.10	0.04	1.060	3.036	Hareket Anlamsız
105	-0.16	0.11	3.967	3.036	Hareket Anlamlı
501	0.04	-0.04	0.240	3.036	Hareket Anlamsız
502	0.08	-0.17	3.212	3.036	Hareket Anlamlı
503	-0.32	-0.15	12.428	3.036	Hareket Anlamlı
504	-0.41	-0.05	25.507	3.036	Hareket Anlamlı
505	-0.40	0.27	65.651	3.036	Hareket Anlamlı

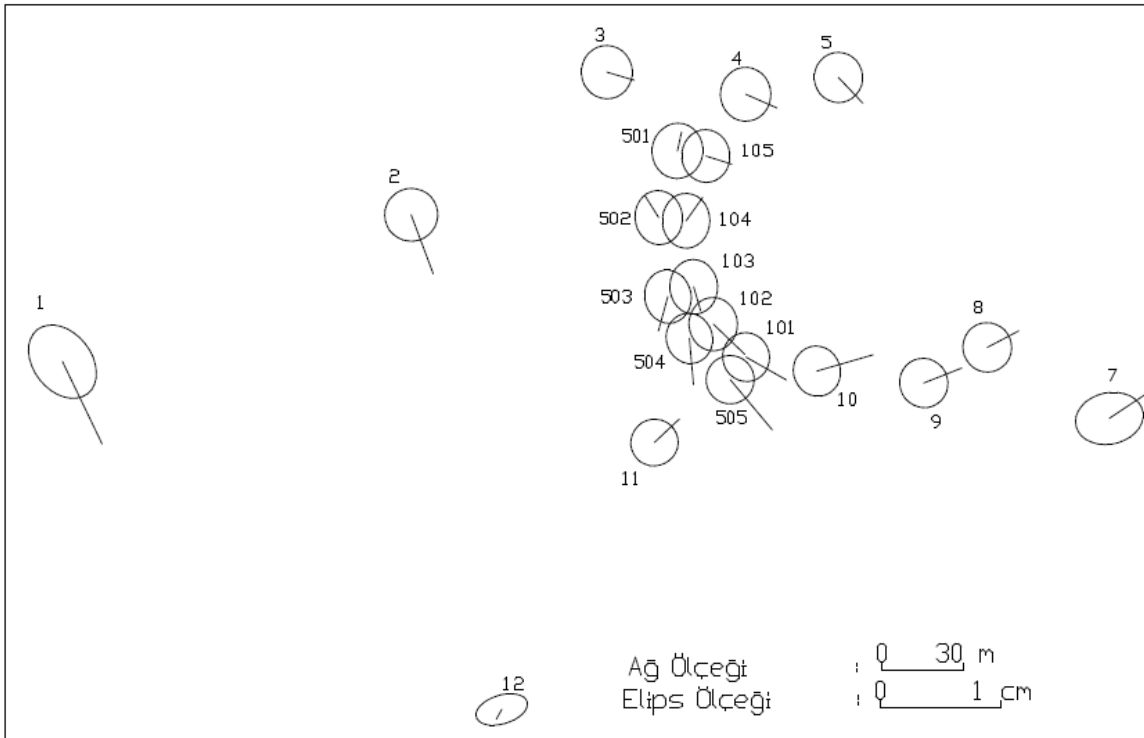
Tablo 2. Doğrultu+Kenar ölçülerine göre değerlendirme (Evaluation according to direction observation and ranging data)

NN	dx(cm)	dy(cm)	Test Büyüklüğü	Tablo Değeri	Karar
1	-0.60	0.28	29.234	3.015	Hareket Anlamlı
2	-0.43	0.16	33.611	3.015	Hareket Anlamlı
3	-0.07	0.20	4.115	3.015	Hareket Anlamlı
4	-0.09	0.22	5.890	3.015	Hareket Anlamlı
5	-0.19	0.17	9.689	3.015	Hareket Anlamlı
7	0.17	0.26	9.358	3.015	Hareket Anlamlı
8	0.12	0.24	6.708	3.015	Hareket Anlamlı
9	0.11	0.27	8.548	3.015	Hareket Anlamlı
10	0.12	0.41	18.894	3.015	Hareket Anlamlı
11	0.17	0.18	6.857	3.015	Hareket Anlamlı
12	-0.08	-0.03	2.373	3.015	Hareket Anlamsız
101	-0.17	0.31	16.818	3.015	Hareket Anlamlı
102	-0.22	0.24	13.462	3.015	Hareket Anlamlı
103	-0.17	0.05	4.342	3.015	Hareket Anlamlı
104	0.17	0.12	5.623	3.015	Hareket Anlamlı
105	-0.06	0.19	4.079	3.015	Hareket Anlamlı
501	0.14	0.03	3.099	3.015	Hareket Anlamlı
502	0.16	-0.10	4.796	3.015	Hareket Anlamlı
503	-0.25	-0.08	9.808	3.015	Hareket Anlamlı
504	-0.34	0.03	19.936	3.015	Hareket Anlamlı
505	-0.37	0.31	41.634	3.015	Hareket Anlamlı

Deformasyonların grafik olarak belirlenmesi amacıyla (25)-(30) eşitlikleri kullanılarak bağıl güven elipsleri ve deformasyon vektörleri ilgili noktalar üzerinde gösterilmiştir (Şekil 5,6).



Şekil 5. Doğrultu ölçülerine göre bağıl güven elipsleri ve deformasyon vektörleri (*Relative confidence ellipses according to direction observations and deformation vectors*)



Şekil 6. Doğrultu + kenar ölçülerine göre bağıl güven elipsleri ve deformasyon vektörleri (*relative confidence ellipses according to direction observations + range data and deformation vectors*)

SONUÇLAR(CONCLUSIONS)

Yerkabuğunda, yapılarda, makine tesislerinde meydana gelen deformasyonların araştırılması harita mühendisliğinin en önemli uygulama alanlarında biridir. Deformasyon belirleme amacıyla yapılan ölçüler analiz yöntemleriyle değerlendirilir ve belli bir istatistik güvenle anlamlı deformasyon olup olmadığına karar verilir.

Deformasyon ölçülerinin değerlendirilmesinde farklı analiz yöntemleri kullanılır. Bu çalışmada deformasyon analizinde kullanılan statik değerlendirme yöntemlerinden bağıl güven elipsleri yöntemi teorik olarak incelenmiş ve Ermenek Barajında yapılan iki periyot ölçününün değerlendirilmesi yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Bağıl güven elipsleri yönteminde sabit ve hareketli noktaların başlangıçta bilinmesine ihtiyaç vardır. Bu yöntemde sabit nokta araştırması benzerlik dönüşümü ile yapılmaktadır. İrdelenecek olan iki periyotta en az dengelenen ağın boyutu kadar konumu değişmemiş noktanın bulunması gerekir. Nokta sayısının fazla olması durumunda bu noktaların içinde test sınırına yakın olanlar obje noktası olarak düşünülebilir. Çünkü daha sonra bu noktalar tek tek irdeleme sırasında hareketsiz nokta olarak elde edilebilir. Yöntemin üstün özelliği, hareket eden noktalar ve hareketin büyüklüğünün grafik olarak gösterilebilir ve yorumlanabilir olmasıdır.

Yapılan araştırmada Ermenek barajında Aralık 2010 ve Haziran 2012 de yapılan doğrultu ve kenar ölçüleri kullanılarak deformasyon araştırması yapılmıştır. Sadece doğrultu ölçüleri kullanılarak yapılan değerlendirmede 6, 7, 8, 9, 12, 13 referans noktaları ile 104, 501 obje noktalarının, Doğrultu ve kenar ölçüleri birlikte değerlendirildiğinde ise 6, 12, 13 noktalarının %95 istatistik güvenle sabit kaldığı sonucuna varılmıştır. Ölçü planındaki farklılığın analiz sonuçlarını etkilediği görülmektedir. Analiz sonucunda analitik yöntemle elde edilen sonuçlar ile grafik yöntemle elde edilen sonuçlar birbiriyle uyumludur. Deformasyona uğrayan noktalarda sadece doğrultu gözlemleriyle yapılan değerlendirmede 1.91 mm - 7.35 mm, doğrultu ve kenar ölçüleri kullanılarak yapılan değerlendirmede ise 1.46 mm -6.60 mm arasında değişim belirlenmiştir.

KATKI BELİRTME (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu makale Prof. Dr. Cevat İNAL danışmanlığında yürütülen “Yatay Yöndeki Deformasyonların Belirlenmesinde Bağıl Güven Elipsleri Ve Cholesky Çarpanlarına Ayırma Yönteminin Kullanılabilirliği” isimli tezinden üretilmiştir.

KAYNAKLAR(REFERENCES)

- Agatze, A., M., Mistsakaki, C., 1985, “Deformation Studies in The Mornos Dam Area”, *Survey Review Vol.* 28. 217.
- Algül, E., 1982, “Barajlarda Jeodezik Deformasyon Ölçmeleri ve Analizi”, *Doçentlik Çalışması, İstanbul.*
- Ayan, T., 1983, “Bağıl Güven Elipsleri Yöntemiyle Deformasyon Analizi”, *Harita Dergisi, Sayı 91, s.1-11, Ankara.*
- Bülbül, S., 2013, “Yatay Yöndeki Deformasyonların Belirlenmesinde Bağıl Güven Elipsleri ve Cholesky Çarpanlarına Ayırma Yönteminin Kullanılabilirliği”, *Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.*
- Cooper, M., 1987, “Control Surveys in Civil Engineering”, *Collins, London.*
- Even-Tzur, G., 2002, “GPS Vector Configuration Design for Monitoring Deformation Networks”, *Journal of Geodesy, 76:455-461, DOI 10.1007/s00190-002-0274-5,*
- İnal, C., 2012, “Deformasyon Ölçülerinin Analizi”, *Ders Notları (Basılmamış), Konya.*
- İnal, C., 1998, “Konya Alaeddin Camii'nin Deformasyon ve Deplasmanının Jeodezik Yöntemlerle Belirlenmesi”, *Doktora Tezi, Y.T.Ü. Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*

- Kock, KR., 1985, "Optimization of the Configuration of a Network by Introducing Small Position Changes". In Grafarand, Sanso (eds) Optimization and Design of Geodetic Networks, Springer, Berlin Heidelberg New York, sayfa 56-73.
- Kuang, S., 1993, "On Optimal Design of Three-Dimensional Engineering Networks", *Manuser Geod*, sayfa 18:33-45
- Sezer, S., "Ermenek Barajı Bilgilendirmesi", <http://www.ermenekbaraji.com/>, Ziyaret Tarihi 14 Haziran 2012.
- Uzel, T., 1991, "Barajların Güvenliği", *Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları*, Sayı 221, İstanbul.
- Ünver, M., Tanır, E., 2001, "Cholesky Çarpanlarına Ayırma ve Bağlı Güven Elipsi Yöntemleriyle Yatay Hareketlerin Belirlenmesi", *Harita Dergisi*, Sayı 126, s.17-34, Ankara.
- Vikipedi, "Ermenek Barajı ve Hidroelektrik Santrali", http://tr.wikipedia.org/wiki/Ermenek_Baraj%C4%B1_ve_Hidroelektrik_Santrali, Ziyaret Tarihi 3 Mayıs 2012.