**Jeodezik Deformasyon Ağlarının Analizi**

**Levent Taşçı1,\***

*\*Fırat Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri (Geomatik) Mühendisliği Bölümü, 23279 Elazığ, Türkiye.*

***Özet***

*Modern programların ve hesaplama tekniklerinin gelişimi, verilerin değerlendirilmesinde ve elde edilebilmesinde büyük imkânlar sağlamaktadır. Aynı zamanda, büyük ölçekli olarak yapılmış jeodezik ölçülerden elde edilmiş istatistiksel verilerden yararlanarak doğru karar verebilme yeteneği de artmaktadır. Bu özellikle deformasyon analizinde çok önemlidir. Çünkü çok küçük hareketlerin veri analizi yoluyla belirlenmesi kolay değildir. Bu makale dört epokta ölçülmüş bir baraj deformasyon ağının deformasyon analizini sonuçlarını göstermektedir. Deformasyon ölçmesi çift frekanslı GPS ölçme aletleri ile statik ölçme yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Jeodezik ölçülerin değerlendirilmesi ve deformasyon analizlerinin gerçekleştirilmesi Panda deformasyon analiz programı ile yapılmıştır.*

Anahtar Sözcükler

Deformasyon, GPS,Baraj

**1.Giriş**

Çalışma alanı olarak, kaya dolgu türündeki Altınkaya barajı seçilmiş ve bu alanda 6 adet referans ve 11 adet obje noktasından oluşan bir deformasyon ağı kurulmuştur. Bu çalışmada, deformasyon ölçüsü, 2000-2002 yılları arasında ve su yüksekliğinin maksimum-minimum olacağı tahmin edilen Haziran ve Eylül ayları seçilerek 4 periyot olarak çift frekanslı GPS alıcıları ile statik GPS ölçme yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Referans ağında 45 dakika statik ölçüm modunda ve 10 saniye veri toplama aralığında ölçüm yapılmıştır. Baraj bölgesinin dar bir vadi olmasından dolayı oluşacak multipath etkisinden etkilenmeyi en aza indirmek için yükseklik açısı sınırı (elevation mask) 15 derece olarak seçilmiştir. Böylelikle 15 derecenin altında olan uydulardan gelen bilgiler kullanılmamıştır. Baraj kreti üzerindeki obje noktalarında 30 dakikalık Statik ölçüm modunda 10 saniye aralıklı veri kayıt aralığında ve 15 derecelik yükseklik açısı sınırında ölçüm yapılmıştır. Deformasyon ölçülerinin değerlendirilmesi ve analizi PANDA ticari yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

1. **DEFANA Deformasyon Analiz Modülü ile** **Deformasyon Analizinin Prensipleri**

Bir kontrol ağı yada gözlem ağı en az iki epok olarak gözlenmiş ve değerlendirilmişse, deformasyon analizi ağ noktalarındaki hareketleri belirlemek için yapılır.

PANDA program paketi içerisinde yer alan DEFANA deformasyon analiz modülü deformasyon analiz hesaplamalarını yapmaktadır. Bu program iki periyotta gözlenmiş ağların deformasyon analizini gerçekleştirir. Hareketleri belirleyebilmek için ya kesin yada yaklaşık deformasyon analizi yapılır.

DEFANA modülünde deformasyon analizinin temeli, referans noktaları içerisindeki önemli yer değiştirmeleri belirleyecek Global Yaklaşım Testidir. Global yaklaşım testinde datum etkisinden kaçınmak için yer değiştirmeler ve uygun kovaryans matrisi S dönüşümü ile yeni bir datuma dönüştürülür (PANDA 2009; Niemeier and Tengen 1990; Ališić 2011).

DEFANA deformasyon analizi programı için iki strateji vardır.

Referans noktaları grubuna bağlı geriye doğru (backward) stratejisi; bu grup içerisinde önemli deformasyonlar mevcut olduğu sürece bir nokta lokalleşecek ve kaldırılacak. Bu işlem önemli uyumsuzluklar ortaya çıkmadığında son bulur.

Olası hareketsiz referans noktaları grubuna bağlı ileriye doğru (forward) stratejisi, mevcut grup içerisinde önemli deformasyonlar olmadığı sürece potansiyel olarak hareket etmiş noktaların grubu dışındaki bir nokta eklenir. Bu işlem önemli deformasyonlar göründüğünde son bulur. (PANDA 2009; Niemeier and Tengen 1990; Ališić 2011).

Deformasyon analizinde hareketi belirleyebilmek için, ağın yapısına göre bir adım yada iki adım analiz seçilebilir.

* 1. **Bir-Adım Analizi (Rölatif model)**

Bir adım analiz esnasında, bir noktanın hareketi diğer noktalara göre belirlenir. Bu analiz, nokta grubu içinde referans ve obje noktalarını ayırt edemez ve bütün noktalar referans noktası olur. Referans noktasında geriye doğru strateji ile başlandığı zaman, önemli şekilde yer değiştirmiş referans noktaları bulunur. Takip eden ileriye doğru stratejide noktalar bir bir referans noktalarına eklenir ve bu nedenle referans noktalarının genişletilmiş ağı herhangi bir önemli uyumsuzluğa sebep olan ekleri görebilmek için test edilir (global yaklaşım testi). Eğer önemli uyumsuzluklar belli ise o zaman eklenmiş en son nokta referans noktası listesinden tekrar kaldırılır ve ileriye doğru strateji son bulur. Eğer önemli uyumsuzluk bulunamazsa o zaman bir sonraki nokta eklenir ve test edilir (PANDA 2009; Niemeier and Tengen 1990; Ališić 2011).

* 1. **İki-Adım Analizi (Mutlak model)**

Ağ, referans ve obje noktaları olarak bölünür. İki adım analizi ile tanımlanmış referans noktalarına göre bir objenin hareketi belirlenir. İlk olarak, referans noktaları içinde herhangi bir hareketi bulmak için analiz gerçekleştirilir.

* Bütün referans noktaları için geriye doğru strateji
* Yer değiştirmiş olarak tanımlanmış referans noktaları için ileriye doğru strateji

Sonradan, önemli uyumsuzlukları bulmak için her bir obje noktası için ve her bir yer değiştirmiş referans noktası için F- testi (tek nokta testi) gerçekleştirilir (PANDA 2009; Niemeier and Tengen 1990; Ališić 2011).

1. **Jeodezik Deformasyon Ağının analizi**

Bu çalışma, Altınkaya barajı deformasyon ağına ait veriler kullanılarak deformasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada çift frekanslı GPS alıcıları kullanılmış ve 4 periyot deformasyon gözlemi yapılmıştır. GPS alıcıları ile yapılan gözlemler 1, 2, 3 ve 4 periyodu olarak adlandırılmıştır. 1. Periyot, referans periyodu olarak tanımlanmış ve 1-2, 1-3 ve 1-4 periyotları oluşturularak referans periyoduna göre deformasyon analizi yapılmıştır. Datum noktaları olarak referans ağı olarak seçilen 1001, 1002, 1003, 1004, 1005 ve 1006 nolu noktalar kullanılmıştır (Taşçı 2003)

DEFANA deformasyon analizi modülü ile yukarıda özelliği belirtilen iki adım analizi uygulanmıştır. Bu analiz sonucunda elde edilen grafik sonuçlar aşağıda verilmiştir (Şekil1–2–3) ve sayısal sonuçlar Tablo1,2 ve 3’ de verilmiştir.



*Şekil 1. 3 boyutlu deformasyon analizi, 1-2 epoğu*

****

*Şekil 2. 3 boyutlu deformasyon analizi, 1-3 epoğu*



*Şekil 3. 3 boyutlu deformasyon analizi, 1-4 epoğu*

*Tablo 1. İki adım analizinin sonuçları – Epok 1 ve 2*

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Referans Noktaları** | | | | | | | |
| *Sıra No.* | *Nokta* | *dx [mm]* | *dy [mm]* | *dz [mm]* | *Yerdeğiştirme [mm]* | T | Sonuç |
| 1 | 1001 | 1.52 | -3.28 | -2.90 | 4.64 | 0.84 | **HAREKETSİZ** |
| 2 | 1002 | -2.68 | 1.30 | 5.02 | 5.84 | 0.82 | **HAREKETSİZ** |
| 3 | 1003 | 1.67 | 0.63 | 3.28 | 3.73 | 0.23 | **HAREKETSİZ** |
| 4 | 1004 | -1.77 | 1.73 | -2.16 | 3.28 | 0.42 | **HAREKETSİZ** |
| 5 | 1005 | 1.27 | -0.38 | -3.24 | 3.50 | 0.96 | **HAREKETSİZ** |
| **Obje Noktaları** | | | | | | | |
| 1 | 0003 | -13.99 | -16.08 | -11.42 | 24.18 | 8.42 | HAREKETLİ |
| 2 | 0005 | -14.43 | -12.22 | -11.51 | 22.14 | 4.82 | HAREKETLİ |
| 3 | 0007 | -13.60 | -6.45 | -4.51 | 15.71 | 7.40 | HAREKETLİ |
| 4 | 0009 | -29.29 | -19.06 | -22.66 | 41.65 | 27.80 | HAREKETLİ |
| 5 | 0011 | -21.13 | -8.85 | -14.26 | 26.98 | 21.04 | HAREKETLİ |
| 6 | 0013 | -20.76 | -6.55 | -21.22 | 30.40 | 30.78 | HAREKETLİ |
| 7 | 0015 | -15.63 | -14.84 | -17.71 | 27.89 | 24.67 | HAREKETLİ |
| 8 | 0017 | -7.88 | -8.60 | -8.72 | 14.57 | 6.33 | HAREKETLİ |
| 9 | 0019 | 0.74 | -3.79 | -7.39 | 8.34 | 3.44 | HAREKETLİ |
| 10 | 0021 | -1.96 | -0.18 | -3.49 | 4.00 | 0.43 | **HAREKETSİZ** |
| 11 | 0023 | -3.34 | -7.58 | -1.43 | 8.40 | 1.79 | **HAREKETSİZ** |
| 12 | 1006 | 11.75 | 15.87 | 9.92 | 22.10 | 9.29 | HAREKETLİ |

*Tablo 2. İki adım analizinin sonuçları – Epok 1 ve 3*

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Referans Noktaları** | | | | | | | |
| *Sıra No.* | *Nokta* | *dx [mm]* | *dy [mm]* | *dz [mm]* | *Yerdeğiştirme [mm]* | T | Sonuç |
| 1 | 1001 | -8.09 | -1.64 | 1.36 | 8.378 | 0.85 | **HAREKETSİZ** |
| 2 | 1002 | 8.02 | 6.80 | -1.72 | 10.65 | 0.81 | **HAREKETSİZ** |
| 3 | 1003 | -0.79 | -2.04 | 2.05 | 2.99 | 0.34 | **HAREKETSİZ** |
| 4 | 1004 | 0.17 | -1.14 | -3.38 | 3.57 | 0.31 | **HAREKETSİZ** |
| 5 | 1005 | 0.69 | -1.98 | 1.69 | 2.69 | 0.21 | **HAREKETSİZ** |
| **Obje Noktaları** | | | | | | | |
| 1 | 0003 | -3.63 | -12.18 | 0.84 | 12.74 | 7.44 | HAREKETLİ |
| 2 | 0005 | -23.71 | -18.32 | -19.62 | 35.81 | 11.94 | HAREKETLİ |
| 3 | 0007 | -22.26 | -21.18 | -18.75 | 35.99 | 24.13 | HAREKETLİ |
| 4 | 0009 | -23.57 | -20.51 | -23.57 | 39.14 | 16.49 | HAREKETLİ |
| 5 | 0011 | -15.01 | -9.55 | -7.40 | 19.27 | 2.97 | HAREKETLİ |
| 6 | 0013 | -13.64 | -6.25 | -16.21 | 22.09 | 8.41 | HAREKETLİ |
| 7 | 0015 | -14.41 | -20.42 | -21.10 | 32.71 | 22.08 | HAREKETLİ |
| 8 | 0017 | -9.59 | -5.21 | -16.81 | 20.04 | 9.05 | HAREKETLİ |
| 9 | 0019 | 3.17 | -1.17 | -7.49 | 8.21 | 3.01 | HAREKETLİ |
| 10 | 0021 | -12.10 | -10.28 | -16.38 | 22.81 | 6.02 | HAREKETLİ |
| 11 | 0023 | -12.96 | -16.94 | -19.66 | 29.01 | 6.34 | HAREKETLİ |
| 12 | 1006 | 14.75 | 14.23 | 6.74 | 21.58 | 5.94 | HAREKETLİ |

*Tablo 3. İki adım analizinin sonuçları – Epok 1 ve 4*

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Referans Noktaları** | | | | | | | |
| *Sıra No.* | *Nokta* | *dx [mm]* | *dy [mm]* | *dz [mm]* | *Yerdeğiştirme [mm]* | T | Sonuç |
| 1 | 1001 | 7.08 | 2.57 | 2.21 | 7.85 | 0.65 | **HAREKETSİZ** |
| 2 | 1002 | -6.85 | -7.22 | -3.64 | 10.59 | 0.68 | **HAREKETSİZ** |
| 3 | 1004 | -0.90 | -1.19 | 3.16 | 3.49 | 0.65 | **HAREKETSİZ** |
| 4 | 1005 | 1.31 | 2.37 | -5.01 | 5.70 | 0.79 | **HAREKETSİZ** |
| 5 | 1006 | -0.65 | 3.47 | 3.28 | 4.82 | 0.77 | **HAREKETSİZ** |
| **Obje Noktaları** | | | | | | | |
| 1 | 0003 | 0.92 | -2.05 | 11.76 | 11.97 | 7.80 | HAREKETLİ |
| 2 | 0005 | -17.66 | -12.08 | -9.35 | 23.35 | 6.51 | HAREKETLİ |
| 3 | 0007 | -10.53 | -1.65 | -1.51 | 10.76 | 6.82 | HAREKETLİ |
| 4 | 0009 | -29.55 | -14.95 | -17.62 | 37.52 | 25.41 | HAREKETLİ |
| 5 | 0011 | -20.24 | 3.44 | -7.39 | 21.82 | 44.12 | HAREKETLİ |
| 6 | 0013 | -13.06 | 2.99 | -11.07 | 17.38 | 18.70 | HAREKETLİ |
| 7 | 0015 | -15.45 | -14.59 | -17.49 | 27.52 | 17.46 | HAREKETLİ |
| 8 | 0017 | -3.78 | 2.32 | -4.85 | 6.57 | 3.47 | HAREKETLİ |
| 9 | 0019 | 8.05 | 5.02 | 2.20 | 9.74 | 3.36 | HAREKETLİ |
| 10 | 0021 | 1.15 | -1.09 | 2.00 | 2.55 | 0.37 | **HAREKETSİZ** |
| 11 | 0023 | -3.28 | -2.72 | -1.53 | 4.53 | 0.31 | **HAREKETSİZ** |
| 12 | 1003 | 12.45 | 11.29 | 11.29 | 20.25 | 9.98 | HAREKETLİ |

1. **Sonuçlar**

Panda program paketi ile jeodezik ölçmelerin değerlendirilmesi (dengeleme, deformasyon analizi gibi) oldukça kolay olmaktadır. Özellikle program paketi kısa zamanda elde edilen istatistiksel testler ile analizlerin yorumlanmasını ve karar verebilme yeteneğini üst seviyeye çıkarmaktadır.

Bu çalışmada, deformasyon analizi için 6 referans 11 obje noktasından oluşan bir jeodezik deformasyon ağı kullanılmıştır. Referans ve obje noktalarının yer değiştirmeleri büyük bir duyarlılıkla elde edilmiştir. Aynı deformasyon ağında DEFANA programından elde edilmiş analiz sonuçları ile daha önceden yapılan farklı analiz çalışmaları neticesinde elde edilen sonuçlar ile büyük bir uyum sağlamıştır.

Deformasyon sonucu elde edilen veriler incelendiğinde referans noktası olarak seçilen yerlerin sağlam zeminde oldukları ve hareketlerin minimum seviyede olduğu anlaşılmaktadır. Obje noktalarındaki değişimi ise sadece su yüküne göre yorumlamak yetersiz kalacaktır. Bunun için deformasyon incelemesi yapılan mühendislik yapılarında mutlaka jeolojik ve jeoteknik ölçme yöntemlerinden yararlanılarak hareketin doğası hakkında daha sağlıklı yorumlama yapma yoluna gidilmelidir.

**Kaynaklar**

Ališić, I., Redovniković, L., Ivković, M. 2011. Application of deformation analysis on the geodetic measurements., INGEO – 5th International Conference on Engineering Surveying Brijuni, Croatia, September 22-24, 2011

Handbook for software package PANDA, 2009. Version 4.08, GEOTEC Gmbh, Geodetical technologies, Laatzen, Germany

Niemeier, W., Tengen, D., 1990. P A N D A The Software Package for Precise Engineering Networks. Presented Paper Second Accelerator Workshop DESY, Hamburg, Sept.

Taşçı, L., 2003, Kaya Dolgu Barajlarda Deformasyonların GPS yöntemi ile Belirlenmesi, Doktora Tezi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, K.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.