

DÜŞEY YÖNDEKİ YERKABUĞU HAREKETLERİNİN
KİNEMATİK MODEL İLE BELİRLENMESİ

Ergün ÖZTÜRK
Mualla ÜNVER

ÖZET

Düşey yöndeki yer kabuğu hareketleri, jeodezide genellikle duyarlı nivelman yöntemi ile belirlenir. Bu yöntemde, ağ kurulduktan sonra, deformasyon noktalarının yüksekliklerinin belirlenmesi için duyarlı nivelman ölçüleri yapılır. Yapılan ölçüler en küçük kareler yöntemine göre dengelenir. Böylece deformasyon noktalarının yükseklikleri t_1 zamanında belirlenmiş olur. Aynı işlemler belirli zaman periyotlarında tekrar edilerek, nokta yükseklikleri çeşitli zamanlarda elde edilir. Bu verilerin, datum uyumu sağlanarak deformasyon irdelenmesi yapılır.

Bu çalışmada, deformasyon irdelenmesi için kinematik model uygulanmıştır. Bu model, ağıdaki konum değişimlerini zamanın fonksiyonu olarak verir. Sayısal uygulama olarak, Sultanhisar-Yenipazar bölgelerinde 1977, 1980, 1983, 1985 yıllarında yapılan duyarlı nivelman ölçülerinden yararlanarak deformasyon irdelenmesi yapılmıştır.

ABSTRACT

Vertical crustal movements are usually determined by precise levelling. In this method, precise levelling is carried out after the establishment of network. The aim is to determine the heights of deformation points. Observations are adjusted by the least squares method. So that, heights of deformation points at epoch t_1 are determined. The procedure is repeated in certain time periods. Datum confirmation should be provide in order to compare these data.

In this study, a kinematic model has been applied for deformation analysis. This model, which is established to define kinematic movements, give the position changes as a function of time. In a numerical example, the precise levelling measurements are made in Sultanhisar-Yenipazar at 1977, 1980, 1983, 1985 years and the deformations are determined by these data.

1. GİRİŞ

Yerkabuğunda veya büyük binalarda meydana gelebilen geometrik şekil değişikliklerine "Deformasyon" denir. Deformasyon düşey ve yatay doğrultudaki konum değişiklikleri şeklinde görülür. Bu çalışmada, düşey yerkabuğu hareketlerinin duyarlı nivelman yöntemiyle nasıl belirlendiği açıklanmıştır.

Jeodezik yöntemlerle düşey yerkabuğu hareketlerinin belirlenmesi işlemi, genellikle duyarlı nivelman yöntemiyle gerçekleştirilir. Bu yöntemi uygulamak için öncelikle deformasyon bölgesi ve çevresini kapsayan bir ağ oluşturulması ve değişik zamanlarda yapılacak ölçülere ihtiyaç olduğu için ağın iyi korunması gerekir.

Deformasyon noktalarının bir başlangıç zamanında yüksekliklerini belirlemek için duyarlı nivelman ölçüleri yapılır. Çok küçük hareketlerin belirlenmesi amaçlandığından ölçüler yapılırken duyarlı nivelmanın tüm koşulları yerine getirilmelidir. Yapılan ölçüler en küçük kareler yöntemine göre duyarlı veya serbest ağ olarak dengelenerek noktaların yükseklikleri belirlenir. Değişik zaman periyodunda aynı işlemler tekrarlanarak noktaların yükseklikleri, yeniden hesaplanır. Bu işlemler belirli zaman periyotlarında tekrarlanarak noktaların çeşitli zamanlardaki yükseklikleri elde edilir. Bu verilerin karşılaştırılması için datum uyusumu sağlanır.

Deformasyon irdelenmesinin yapılması için değişik deformasyon modelleri bulunmaktadır. Bunlar dinamik, statik, kinematik modellerdir. Bu çalışmada kinematik model ile deformasyon irdelenmesinin nasıl yapıldığı açıklanarak uygulanması yapılmıştır.

Kinematik modelde konu, üzerinde deformasyon incelenecek bölgenin karakteristik noktalarının hareketleri ve bu hareketlerin hızlarıdır. Kinematik hareketlerin tanımlanması için kurulan modeller jeodezik ağdaki konum değişikliklerini zamanın fonksiyonu olarak verirler.

Basit kinematik modellerde, konum değişiklikleri yalnızca zamanın fonksiyonları olarak yazılır. Tek boyutlu düşey konum ağlarının değerlendirilmesi işlemlerinde bu basit zamana bağlı model başarı ile uygulanmıştır.

Genişletilmiş kinematik modelde, hareketin zamanın ve konumun sürekli bir fonksiyonu olduğu düşünülür. Bu model tek boyutlu düşey konum ağlarında bir düşey deformasyon yüzeyini gösterir.

Ayrıca tek tek olayların etkisiyle oluşan ve sürekli olmayan konum değişimlerini de içeren modeller bulunmaktadır.

Sayısal uygulama olarak, Burunköy - Söke ve Sultanhisar - Yenipazar nivelman ağlarında 1977 - 1980 - 1983 - 1985 yıllarında yapılan duyarlı nivelman ölçülerinden yararlanarak basit kinematik model ve genişletilmiş kinematik model yardımıyla bölgelerde düşey yönde yer kabuğu hareketi oluşup oluşmadığı araştırılmıştır.

Başlangıç zamanı (1977)'ye göre zaman farkları kullanılarak basit ve genişletilmiş kinematik modeller kurulmuş, bu modellerden en küçük kareler yöntemine göre parametreler ve ortalama hataları hesaplanmıştır. Modeller, model hipotezinin testi yoluyla denetlenmiş, parametrelerin anlamlı olup olmadığı test edilmiştir. Uyuşumsuz yükseklik farkları yardımıyla hangi noktalarda deformasyon olduğu saptanmış ve oluşan hareketlerin yönleri belirlenmiştir.

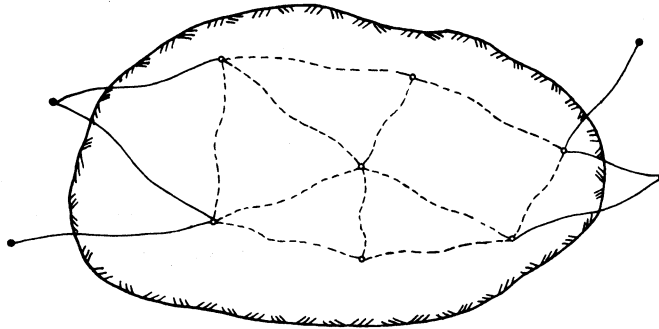
2. ÖLÇÜLERİN DENGELENMESİ

Düşey yer kabuğu hareketlerini, duyarlı nivelman ölçüleri ile belirleyebilmek için, öncelikle deformasyon bölgesi ve çevresini kapsayan bir ağ oluşturulması gerekir. "Kontrol Ağı" olarak adlandırılan bu ağ genellikle iki ayrı özellikte noktalardan oluşur. Bunlar,

- Deformasyon noktaları,
- Sabit noktalardır.

Deformasyon noktaları, deformasyon incelemesine konu olan bölgeyi temsil edebilen özelliklere sahip, en büyük deformasyon değerlerinin beklendiği yerlerde seçilen noktalardır.

Sabit noktalar, deformasyon beklenmeyen yerlerde seçilen, üzerinde ölçme yapılabilecek ve uzun yıllar hareketsiz kacağı düşünülen noktalardır (Algül, 1982).



- Sabit noktalar
- Deformasyon noktaları

Şekil-1: Düşey Kontrol Ağı

Ağ kurulduktan sonra, duyarlı nivelman yöntemi uygulanarak sabit noktalardan çıkış alıp, deformasyon noktalarının relatif yükseklikleri belirlenir. Çok küçük hareketlerin belirlenmesi amaçlandığı için ölçüler yapılırken duyarlı nivelman yönteminin bütün koşulları yerine getirilmelidir. Ağ ölçüldükten sonra, ölçüler en küçük kareler yöntemine göre datum noktalarına dayalı olarak dengelenir. Böylece deformasyon noktalarının yükseklikleri belirlenmiş olur.

Başka bir zaman periyodunda aynı ağın duyarlı nivelman ölçüleri yeniden yapılır. Ölçüler en küçük kareler yöntemine göre aynı datum noktalarına dayalı olarak dengelenip deformasyon noktalarının yükseklikleri tekrar belirlenir. Aynı işlem çeşitli zaman periyotlarında tekrarlanır. Böylece deformasyon noktalarının farklı zaman periyotlarında belirlenmiş yükseklikleri elde edilir. Bu yüksekliklerin karşılaştırılması için gereğinde datum uyumu sağlanır.

3. DEFORMASYON MODELLERİ

Deformasyonların belirlenmesi için, çeşitli deformasyon modelleri bulunmaktadır (Öztürk-Atasoy, 1984). Bunlar,

- Statik model,
- Dinamik model,
- Kinematik model,

Statik Model, deformasyon incelenmesine konu bölge veya yapının karakteristik noktalarını, deformasyon vektörlerinin zamandan ve etkiyen kuvvetlerden bağımsız olarak belirlenmesini sağlar. Bu modelde tüm ağın bir kez ölçülmesi sırasında noktaların sabit kaldığı varsayılır.

Dinamik model, yalnız geometrik değişimler değil, deformasyona neden olan kuvvetlerin zamana ve dış etkenlere bağlı olarak değişimi ve birbirleriyle ilişkileri yanında bu kuvvetlerin deformasyon sonucunu doğuran dönüşüm fonksiyonunu araştırır (Ayan, 1983).

Kinematik modelde konu, üzerinde deformasyon incelenecek bölgenin karakteristik noktalarının hareketleri ve bu hareketlerin hızlarıdır (Boolijen, 1984). Bu çalışmada deformasyon noktalarının hareketleri kinematik modelle belirlenmiştir.

4. KİNEMATİK DEFORMASYON MODELLERİ

Kinematik hareketlerin tanımlanması için kurulan modeller, bir jeodezik ağdaki konum değişikliklerini zamanın fonksiyonu olarak verirler. Basit modellerde konum değişiklikleri yalnızca zamanın fonksiyonları olarak yazılır. Genişletilmiş kinematik modellerdeki konum değişiklikleri, zamanın ve nokta konumlarının fonksiyonları olarak ele alınır. Özel durumlarda önemli olaylar sonucunda yalnız bir kez ortaya çıkan sürüksüz konum değişikliklerini de göz önüne alan modeller kurulur (Welsch, 1981).

Düşey konum için basit kinematik model (M_1), basit bir zaman fonksiyonu modeli ile aşağıdaki gibi tanımlanabilir,

$$M_1 : h_t = h_{t_0} + f_1 \Delta t + f_2 \Delta t^2 + \dots \quad (1)$$

f_1 , f_2 : hız vektörü

t_0 : başlangıç zamanı (referans zamanı)

t : ölçme zamanı

h_{t_0} : başlangıç zamanındaki yükseklik

h_t : ölçme zamanındaki yükseklik

$\Delta t = t - t_0$: zaman farkı

Bu model kısaca;

$$M_1 : h_t = h_{t_0} + \sum_{k=1}^{n_{th}} f_k \Delta t^k \quad (2)$$

biçiminde yazılabilir. Burada n_{th} , h_t için kurulan polinom biçimindeki zaman fonksiyonunun derecesidir.

Düşey konum için genişletilmiş kinematik model (M_2), düşey hareketi zamanın ve konumun sürekli bir fonksiyonu olarak değerlendiren modeldir. (Snay, Gergen 1978).

$$M_2 : h_t = h_{t_0} + g_1 \Delta t + g_2 \Delta t^2 + \dots \quad (3)$$

g_1 , g_2 : katsayılar

$$g_1 = a_1 + a_2 h_{t_0} + a_3 h_{t_0}^2$$

$$g_2 = a_4 + a_5 h_{t_0} + a_6 h_{t_0}^2$$

Bu model ise kısaca

$$M_2 : h_t = h_{to} + \sum_{i=0}^{n_h} \sum_{j=0}^{n_{th}} a_i h_{to}^i \Delta t^j \quad (4)$$

n_h : h Koordinatı için yazılan polinomun derecesi şeklinde gösterilebilir.

Yukarıda basit ve genişletilmiş modellerde görüldüğü gibi kinematik modeller, bir jeodezik ağda oluşan şekil değişikliklerini yorumlamaya yararlar. Jeodezik ağlarda oluşan deformasyonlar bu modeller yardımıyla konum ya da zamana bağlı fonksiyonlar biçiminde genelleştirilebilirler (Holdahl, 1978).

5. DUYARLI NİVELMAN ÖLÇÜLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

a. Model Hipotezinin Testi

Basit kinematik modellerde yükseklik değişimi için kurulan fonksiyonel model,

$$\begin{aligned} v_1 &= f_1 \Delta t_1 + f_2 \Delta t_1^2 + h_0 - h_1 \\ v_2 &= f_1 \Delta t_2 + f_2 \Delta t_2^2 + h_0 - h_2 \\ &\cdot \\ &\cdot \\ &\cdot \\ v_n &= f_1 \Delta t_n + f_2 \Delta t_n^2 + h_0 - h_n \end{aligned} \quad (5)$$

şeklinde dir. Genişletilmiş kinematik modellerde ise

$$\begin{aligned} v_1 &= (a_1 + a_2 h_0 + a_3 h_0^2) \Delta t_1 + (a_4 + a_5 h_0 + a_6 h_0^2) \Delta t_1^2 + h_0 - h_1 \\ v_2 &= (a_1 + a_2 h_0 + a_3 h_0^2) \Delta t_2 + (a_4 + a_5 h_0 + a_6 h_0^2) \Delta t_2^2 + h_0 - h_2 \\ &\cdot \\ &\cdot \\ &\cdot \\ v_n &= (a_1 + a_2 h_0 + a_3 h_0^2) \Delta t_n + (a_4 + a_5 h_0 + a_6 h_0^2) \Delta t_n^2 + h_0 - h_n \end{aligned} \quad (6)$$

ile yazılabilir.

Bu modeller model hipotezinin testi yoluyla test edilir.

Model hipotezinin testinde bir ön dengeleme ile bulunan veya deneysel olarak tahmin edilen birim ölçünün deneysel standart sapmasının öncül değeri s_o , ile dengeleme işlemi tamamlandıktan sonra bulunan aynı standart sapmanın soncul değeri m_o büyüklüklerinin, aynı bir kuramsal standart sapma σ_o 'ın uygulamada elde edilen deneysel değeri olduğu varsayılmaktadır.

Hipotezin test edilmesinde, farklı yollardan elde edilen bu deneysel standart sapmaların eşdeğer oldukları varsayılarak sıfır hipotezi yazılır.

$$H_o = E \{m_o^2\} = E \{s_o^2\} = \sigma_o^2$$

seçenek hipotezleri olarak, bu standart sapmalardan birinin diğerinden daha büyük olduğuna dair elimizde bilgi varsa tek yönlü seçenek hipotezi yazılabilir. Bilgi yoksa çift yönlü seçenek hipotezi yazılır.

$$H_{s1} = E \{m_o^2\} > E \{s_o^2\} \quad \text{Tek Yönlü Seçenek Hipotezi}$$

$$H_{s2} = E \{m_o^2\} \neq E \{s_o^2\} \quad \text{Çift Yönlü Seçenek Hipotezi}$$

Bu hipotezleri test edebilmek için test büyüklüğü T hesaplanır.

$$T = \frac{m_o^2}{s_o^2} \quad (m_o \text{ ve } s_o \text{ 'dan hangisi sayısal olarak büyükse o paya yazılır}).$$

T değeri, F dağılım tablo büyüklüğü q ile karşılaştırılır.

$$q = F_{f_m, f_s, 1-\alpha} \quad \text{Tek yönlü seçenek hipotezi için}$$

$$q = F_{f_m, f_s, 1-\alpha/2} \quad \text{Çift yönlü seçenek hipotezi için}$$

f_m : Payın serbestlik derecesi

f_s : Paydanın serbestlik derecesi

α : Yanılma olasılığı

$T > q$ ise H_o hipotezi geçersiz H_s hipotezi geçerli olur.

Bu durumda dengeleme modeli uygun değildir.

$T < q$ ise H_o hipotezi geçersiz sayılamaz.

Bu durumda dengeleme modeli uygundur.

Modeli test ettikten sonra, bulunan parametrenin anlamlı olup olmadıklarını irdelemek için test büyüklükleri hesaplanır.

$$T_{pf} = \frac{|f_i|}{m_{f_i}} \quad T_{pa} = \frac{|a_i|}{m_{a_i}}$$

M_1 için

M_2 için

f_i : M_1 Parametreleri

a_i : M_2 Parametreleri

m_{f_i} : Ortalama Hata

m_{a_i} : Ortalama Hata

Bulunan büyüklükler t-Dağılım tablo değeriyle karşılaştırılır.

$$t_{s_j, 0.975} = q, \quad s_j : \text{Serbestlik Derecesi}$$

$T_{pf} > q$ ise f_i parametreleri anlamlı, $T_{pa} > q$ ise a_i parametreleri anlamlıdır.

$T_{pf} \leq q$ ise f_i parametreleri anlamsız, $T_{pa} \leq q$ ise a_i parametreleri anlamsızdır.

b. Genişletmenin Anlamlı Olup Olmadığının İrdelenmesi

Genişletilmiş kinematik model,

$$v_1 = (a_1 + a_2 h_o + a_3 h_o^2) \Delta t_1 + (a_4 + a_5 h_o + a_6 h_o^2) \Delta t_1^2 + h_o - h_1$$

$$v_2 = (a_1 + a_2 h_o + a_3 h_o^2) \Delta t_2 + (a_4 + a_5 h_o + a_6 h_o^2) \Delta t_2^2 + h_o - h_2$$

.

.

$$v_n = (a_1 + a_2 h_o + a_3 h_o^2) \Delta t_n + (a_4 + a_5 h_o + a_6 h_o^2) \Delta t_n^2 + h_o - h_n$$

şeklinde yazılabilir. Bu modeli, içinde bulunan basit kinematik modelide göstererek matris gösterimiyle yazarsak aşağıdaki gibi olur.

$$V = A x - 1$$

Basit kinematik fonksiyonel model

$$V = A x + B y - 1$$

Genişletilmiş kinematik fonksiyonel model (7)

Buradaki matrislerin anlamları,

$$A = \begin{bmatrix} \Delta t_1 & \Delta t_1^2 \\ \Delta t_2 & \Delta t_2^2 \\ \vdots & \vdots \\ \Delta t_n & \Delta t_n^2 \end{bmatrix}, \quad x = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_4 \end{bmatrix}, \quad y = \begin{bmatrix} a_2 \\ a_3 \\ a_5 \\ a_6 \end{bmatrix}, \quad l = \begin{bmatrix} h_0 - h_1 \\ h_0 - h_2 \\ \vdots \\ h_0 - h_n \end{bmatrix},$$

$$B = \begin{bmatrix} h_0 & \Delta t_1 & h_0^2 & \Delta t_1 & h_0 & \Delta t_1^2 & h_0^2 & \Delta t_1^2 \\ h_0 & \Delta t_2 & h_0^2 & \Delta t_2 & h_0 & \Delta t_2^2 & h_0^2 & \Delta t_2^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ h_0 & \Delta t_n & h_0^2 & \Delta t_n & h_0 & \Delta t_n^2 & h_0^2 & \Delta t_n^2 \end{bmatrix}$$

ve

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{V^T P V}{n - u}}$$

Basit kinematik modelin dengelemesi sonucu hesaplanan birim ölçünün karesel ortalama hatası

Yukarıdaki eşitlikler

$$D = \begin{bmatrix} A & B \end{bmatrix} \quad Z = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad \text{kısaltmaları ile}$$

$$V = D Z - l \quad (8)$$

olur. ve P, ağırlık matrisi, ()⁺, pseudo tersi olmak üzere Z bilinmeyenlerin çözümü

$$\hat{Z} = (D^T P D)^+ D^T P l$$

ve bilinmeyenlerin ters ağırlık matrisi

$$Q_{\hat{Z}\hat{Z}} = \begin{bmatrix} Q_{xx} & Q_{xy} \\ Q_{yx} & Q_{yy} \end{bmatrix}$$

elde edilir. u_y ; y vektöründeki bilinmeyen sayısı olmak üzere, genişletilmiş kinematik modelden hesaplanan birim ölçünün karesel ortalama hatası,

$$m_0^{-2} = \frac{y^T Q_{yy}^{-1} y}{u_y} \quad (9)$$

olur. Genişletmenin anlamlı olup olmadığını belirlemek için

$$H_0 : E\{m_0^{-2}\} = E\{m_0^2\} = \sigma_0^2 \text{ sıfır hipotezi ,}$$

$$H_S : E\{m_0^{-2}\} \neq E\{m_0^2\} \text{ seçenek hipotezine karşı}$$

$$\bar{T}_g = \frac{m_0^{-2}}{m_0^2}$$

test büyüklüğü ile test edilir. Bu test büyüklüğü, yanılma olasılığı, α seçilerek F-Dağılımı cetvellerinden alınan sınır değeri ile karşılaştırılır.

$$F_{u_y, f, 1 - \frac{\alpha}{2}} = q \text{ F - Dağılımı tablo değeri}$$

$$T_g < q \text{ ise } H_0 \text{ hipotezi geçersiz sayılmaz}$$

Yorum: Fonksiyonel modelin genişletilmesi anlamlı değildir.

$$T_g > q \text{ ise } H_S \text{ hipotezi geçerlidir.}$$

Yorum: Fonksiyonel modelin genişletilmesi anlamlıdır.

c. Uyuşumsuz Yükseklik Farklarının Belirlenmesi

Düşey konum değişikliklerini irdelemek için noktaların t_0 ve t_i zamanlarında ölçülen yükseklikleri (Tablo-1) arasındaki d_j farkları (Tablo-2 ve Tablo-3)

$$d_j = h_j - h'_j \quad j = 1, \dots, n \quad (10)$$

n : Nokta sayısı

h_j : Noktaların t_0 zamanındaki yükseklikleri

h'_j : Noktaların t_i zamanındaki yükseklikleri olmak üzere

d_j yükseklik farklarından karesel ortalama hata

$$m'_0 = \pm \sqrt{\frac{[d^2]}{2n}} \quad (11)$$

ile bulunur. Test edebilmek için öncül değer s_0 ve soncul değer m'_0 değerleri ile test büyüklüğü T_d hesaplanır (Tablo-4).

$$T_d = \frac{m_o'^2}{s_o^2} \quad (12)$$

T_d değeri F - Dağılım tablosundaki q değeri ile karşılaştırılır.

$$q = F_{f1, f2, 0.975}$$

f1 :Payın serbestlik derecesi

f2 :Paydanın serbestlik derecesi

$T_d > q$ ise noktalardan en az birinde anlamlı bir konum değişimi vardır.

$T_d < q$ ise ağda anlamlı bir konum değişimi yoktur.

Hangi noktalarda anlamlı hareket olduğunu anlamak için noktalara göre irdeleme yapılır. Bunun için tekrar bir test büyüklüğü hesaplanır.

$$T_j = \frac{|d_j|}{m_{oj}'} \quad (13)$$

m_{oj}' : Her hareket belirlenen nokta çıkarıldıktan sonra hesaplanan ortalama hata

Hesaplanan T_j değerlerinden en büyük olanı t-Dağılım tablo değeri ile karşılaştırılır.

$T_{jmax} > t_{fj, 0.975}$ ise j noktasında anlamlı bir hareket oluşmuştur.

Hareket belirlenen j noktası çıkarılır ve geriye kalan (n-1) nokta ile d_j yükseklik farkları yeniden hesaplanır. Bu yükseklik farkları yardımı ile karesel ortalama hata m_{oj}' ve test büyüklüğü T_d bulunur. T_d değeri F-Dağılım tablo değerinden büyük ise noktalardan en az birinde anlamlı bir hareket oluşmuştur. Hangi noktada hareket olduğunu anlamak için T_j değerleri(n-1)nokta için yeniden hesaplanır. En büyük T_j değeri t-Dağılım tablo değeri ile karşılaştırılır. T_{jmax} tablo değerinden büyük ise j nci noktada hareket olduğu anlaşılır. Bu nokta da çıkarılır ve (n-2) nokta ile aynı işlemlere $T_d < F_{f1, f2, 0.975}$ oluncaya kadar devam edilir. Böylece geçen zaman içinde hareket oluşan noktalar belirlenmiş olur (Tablo-5).

6. SAYISAL UYGULAMA

Uygulama olarak SULTANHİSAR-YENİPAZAR nivelman ağında duyarlı nivelman ölçüleri yapılmıştır. Ölçüler, ölçü duyarlılığı 0.3 mm/km olan otomatik nivelman NIO02 aleti ve invar duyarlı nivelman miraları ile yapılmıştır. Nivelman işleminin çabukluğu ve düşey hareketleri iyi elimine etmesi nedeniyle ölçü şekli GİFG (geri, ileri, ileri, geri) olarak seçilmiştir. Okumalar, geri (sol), ileri (sol), ileri (sağ), geri(sağ) olarak yapılmıştır.

Bu şekilde Sultanhisar-Yenipazar nivelman ağında 1977, 1980, 1983, 1985 yıllarında duyarlı nivelman ölçüleri yapılmış ve tüm zamanlar için T57 noktası sabit alınarak nokta yükseklikleri hesaplanmıştır (Tablo-1).

Başlangıç zamanı (t_0) olarak 1977 alınmış ve t_i (1980, 1983, 1985) zamanlardaki yüksekliklerin, t_0 zamanındaki yüksekliklerden olan farkları (d_j) (10) eşitliğine göre hesaplanmıştır (Tablo-2). Aynı şekilde t_i zamanlarındaki yüksekliklerin çeşitli zaman periyotlarında yükseklik farkları hesaplanmıştır (Tablo-3).

Hesaplanan yükseklik farklarından deneysel standart sapma m'_0 (11) eşitliğine göre bulunmuş ve öncül deneysel standart sapma $s_0 = 0.10$ cm alınarak test büyüklüğü T_d (12) eşitliğinden elde edilmiştir. T_d değeri F-Dağılım tablo değeriyle karşılaştırılmış ve tüm zaman periyotları için bölgede hareket olduğu belirlenmiştir (Tablo-4).

Hangi noktalarda hareket olduğunu belirlemek için de noktalara göre irdeleme yapılmıştır. (13) eşitliğine göre T_{jmax} değeri hesaplanmış, bu değer t-Dağılım tablo değeriyle karşılaştırılmış ve $(T_{jmax} - t_{fi,0.975})$ değeri 0.5 den büyük olduğu için j noktalarında hareket olduğu belirlenmiştir (Tablo-5).

Zaman periyotları için yıllara göre hangi noktalarda anlamlı hareket oluştuğu, yükseklik farkları zaman farklarına bölünerek bulunmuş (Tablo-6) ve grafik olarak (Şekil-2, Şekil-3, Şekil-4, Şekil-5)'de gösterilmiştir.

Tablo-1 : T_0 (1977) ve t_i (1980, 1983, 1985) zamanındaki nokta yükseklikleri

YÜKSEKLİKLER H (m)				
Nokta	1977	1980	1983	1985
T57	61.55740	61.55740	61.55740	61.55740
101	51.17764	51.17770	51.17950	51.18136
102	49.91489	49.91548	49.91616	49.91661
104	46.11748	46.11915	46.12539	46.12243
105	50.22544	50.22172	50.22623	50.22434
106	52.76092	52.75396	52.76154	52.75310
107	58.03490	58.02601	58.03254	58.02176
108	67.85229	67.84855	67.86301	67.85290
109	83.08218	83.07497	83.08790	83.07505
110	86.60911	86.59695	86.60831	86.59078
111	79.93301	79.92135	79.93526	79.91803
T66	78.89513	78.88403	78.86581	78.84109

Tablo-2 : t_0 ve t_i zamanları arasındaki nokta yükseklik farkları

YÜKSEKLİK FARKLARI dH (cm)			
Nokta	1980 - 1977	1983 - 1977	1985 - 1977
T57	0.000	0.000	0.000
101	0.006	0.186	0.372
102	0.059	0.127	0.172
104	0.167	0.791	0.495
105	-0.372	0.179	-0.110
106	-0.696	0.062	-0.782
107	-0.889	0.236	-1.314
108	-0.374	1.072	0.061
109	-0.721	0.572	-0.713
110	-1.216	-0.080	-1.833
111	-1.166	0.225	-1.398
T66	-1.110	-2.932	-4.294

Tablo-3 : t_1 zamanlarının kendi aralarındaki yükseklik farkları

YÜKSEKLİK FARKLARI dH (cm)			
Nokta	1983 - 1980	1985 - 1980	1985 - 1983
T57	0.000	0.000	0.000
101	0.180	0.366	0.186
102	0.368	0.113	0.045
104	0.624	0.328	-0.296
105	0.451	0.262	-0.189
106	0.758	-0.086	-0.844
107	0.653	-0.425	-1.078
108	1.446	0.435	-1.011
109	1.293	0.008	-1.285
110	1.136	-0.617	-1.753
111	1.391	-0.232	-1.623
T66	-1.822	-4.294	-2.472

Tablo-4 : Zaman periyotlarına göre bölgesel irdeleme

BÖLGESEL İRDELEME					
Yıllar	s_o (cm)	m'_o (cm)	T_d	F	Karar
1980-1977	0.10	0.51	26.01	1.55	Bölgede Hareket Var
1983-1977	0.10	0.67	44.89	1.55	Bölgede Hareket Var
1985-1977	0.10	1.25	156.25	1.55	Bölgede Hareket Var
1983-1980	0.10	0.71	2.01	1.55	Bölgede Hareket Var
1985-1980	0.10	0.90	1.22	1.55	Bölgede Hareket Yok
1985-1983	0.10	0.83	1.45	1.55	Bölgede Hareket Yok

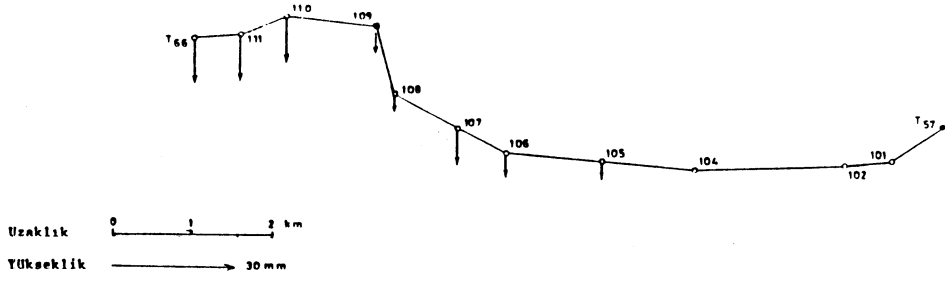
Tablo-5 : Zaman Periyotlarında Noktalara Göre İrdeleme

NOKTALARA GÜRE İRDELEMELER 1980-1977				
Nokta	m'_o (cm)	T_{max}	t	Karar
110	0.51	3.40	2.20	Nok. Anlamlı Hareket Var
111	0.46	3.52	2.23	Nok. Anlamlı Hareket Var
T66	0.34	3.60	2.31	Nok. Anlamlı Hareket Var
109	0.25	3.52	2.37	Nok. Anlamlı Hareket Var
106	0.24	2.92	2.45	Nok. Anlamlı Hareket Var
NOKTALARA GÜRE İRDELEMELER 1983-1977				
Nokta	m'_o (cm)	T_{max}	t	Karar
T66	0.67	4.36	2.20	Nok. Anlamlı Hareket Var
108	0.32	3.33	2.23	Nok. Anlamlı Hareket Var
104	0.24	3.33	2.26	Nok. Anlamlı Hareket Var
109	0.17	3.43	2.31	Nok. Anlamlı Hareket Var
NOKTALARA GÜRE İRDELEMELER 1985-1977				
Nokta	m'_o (cm)	T_{max}	t	Karar
T66	1.25	4.31	2.20	Nok. Anlamlı Hareket Var
110	0.62	2.93	2.23	Nok. Anlamlı Hareket Var
111	0.51	3.73	2.26	Nok. Anlamlı Hareket Var
107	0.43	3.08	2.31	Nok. Anlamlı Hareket Var
106	0.31	3.51	2.37	Nok. Anlamlı Hareket Var
109	0.26	3.76	2.45	Nok. Anlamlı Hareket Var
104	0.19	3.62	2.57	Nok. Anlamlı Hareket Var
NOKTALARA GÜRE İRDELEMELER 1983-1980				
Nokta	m'_o (cm)	T_{max}	t	Karar
T66	0.71	2.58	2.20	Nok. Anlamlı Hareket Yok
108	0.63	2.31	2.23	Nok. Anlamlı Hareket Yok
111	0.57	2.43	2.26	Nok. Anlamlı Hareket Yok
109	0.50	2.56	2.31	Nok. Anlamlı Hareket Yok
110	0.43	2.66	2.37	Nok. Anlamlı Hareket Yok
NOKTALARA GÜRE İRDELEMELER 1985-1980				
Nokta	m'_o (cm)	T_{max}	t	Karar
T66	0.90	4.75	2.20	Nok. Anlamlı Hareket Var
110	0.23	2.72	2.23	Nok. Anlamlı Hareket Yok
NOKTALARA GÜRE İRDELEMELER 1985-1983				
Nokta	m'_o (cm)	T_{max}	t	Karar
T66	0.83	2.98	2.20	Nok. Anlamlı Hareket Var
110	0.69	2.54	2.23	Nok. Anlamlı Hareket Yok
111	0.61	2.68	2.26	Nok. Anlamlı Hareket Yok
109	0.51	2.51	2.31	Nok. Anlamlı Hareket Yok
107	0.44	2.47	2.37	Nok. Anlamlı Hareket Yok
108	0.37	2.75	2.45	Nok. Anlamlı Hareket Yok
106	0.27	3.13	2.57	Nok. Anlamlı Hareket Var

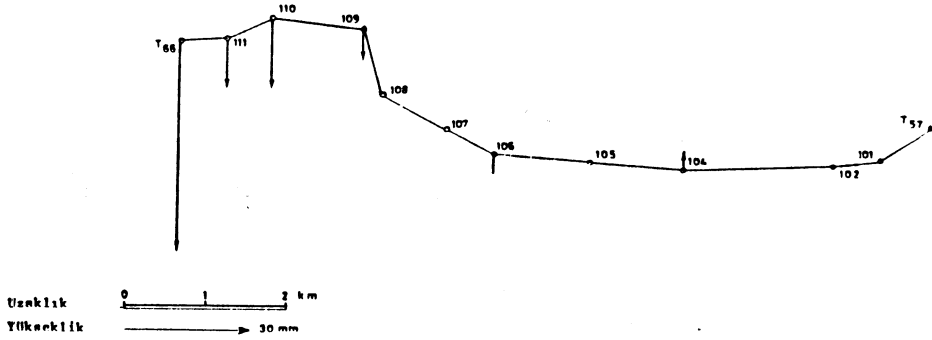
Tablo-5 : Zaman periyotlarında noktalara göre irdeleme

Tablo-6 : Sultanhisar - Yenipazar Nivelman Geçkisinde Belirlenebilen Anlamlı Düşey Hareketler

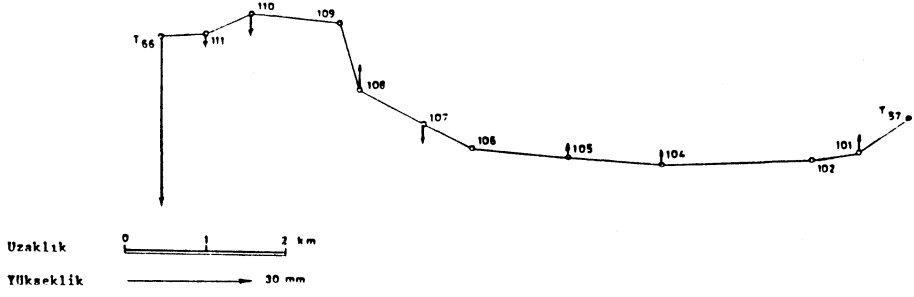
Karşılaş- tırma pe- riyodu	1980 - 1977 SULTANHİSAR - YENİPAZAR		1983 - 1980 SULTANHİSAR - YENİPAZAR		1985 - 1983 SULTANHİSAR - YENİPAZAR		1983 - 1977 SULTANHİSAR - YENİPAZAR		1985 - 1977 SULTANHİSAR - YENİPAZAR		1985 - 1980 SULTANHİSAR - YENİPAZAR	
	$h_{80}-h_{77}$ (mm)	$\frac{h_{80}-h_{77}}{\text{yıl}}$ (mm/yıl)	$h_{83}-h_{80}$ (mm)	$\frac{h_{83}-h_{80}}{\text{yıl}}$ (mm/yıl)	$h_{85}-h_{83}$ (mm)	$\frac{h_{85}-h_{83}}{\text{yıl}}$ (mm/yıl)	$h_{83}-h_{77}$ (mm)	$\frac{h_{83}-h_{77}}{\text{yıl}}$ (mm/yıl)	$h_{85}-h_{77}$ (mm)	$\frac{h_{85}-h_{77}}{\text{yıl}}$ (mm/yıl)	$h_{85}-h_{77}$ (mm)	$\frac{h_{85}-h_{80}}{\text{yıl}}$ (mm/yıl)
T57	0.00	—	0.00	—	0.00	—	0.00	—	0.00	—	0.00	—
101	0.06	—	1.80	—	1.86	0.93	1.86	—	3.72	—	3.66	—
102	0.59	—	0.68	—	0.45	—	1.27	—	1.72	—	1.13	—
104	1.67	—	6.24	2.08	- 2.96	- 1.48	7.91	1.32	4.95	—	3.28	—
i05	- 3.72	- 1.24	4.51	1.50	- 1.89	- 0.94	0.79	—	- 1.10	—	2.62	—
106	- 6.96	- 2.32	7.58	2.53	- 8.44	- 4.22	0.62	—	- 7.82	- 0.98	- 0.86	—
107	- 8.89	- 2.96	6.53	2.18	-10.78	- 5.39	- 2.36	—	- 1.31	- 1.64	- 4.28	—
108	- 3.74	- 1.25	14.46	4.82	-10.11	- 5.06	10.72	1.79	0.61	—	4.35	—
109	- 7.21	- 2.40	12.93	4.31	-12.85	- 6.42	5.72	0.95	- 7.13	—	0.08	—
110	-12.16	- 4.05	11.36	3.79	-17.53	- 8.76	- 0.80	—	-18.33	- 2.29	- 6.17	- 1.23
111	-11.66	- 3.89	13.91	4.64	-16.23	- 8.12	2.25	—	-13.98	- 1.74	- 2.32	—
T66	-11.10	- 3.70	-18.22	- 6.07	-24.72	-12.36	-29.32	- 4.89	-54.04	- 5.76	-42.94	- 8.59



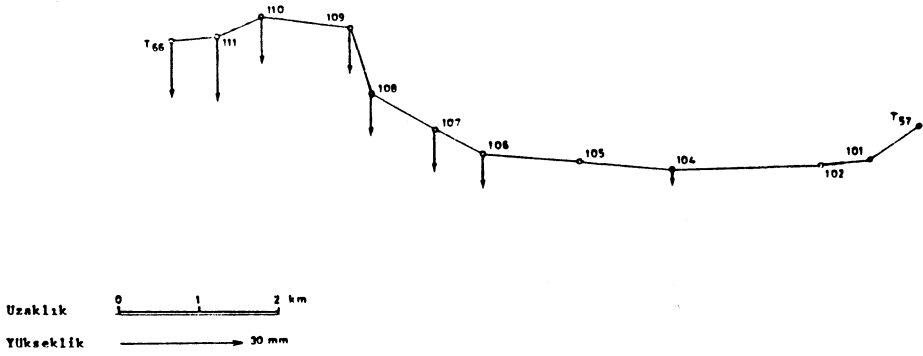
Şekil-2 : 1980 - 1977 Sultanhisar-Yenipazar Nivelman Geçkisinin Karşılaştırması



Şekil-3 : 1985 - 1977 Sultanhisar-Yenipazar Nivelman Geçkisinin Karşılaştırması



Şekil-4 : 1985 - 1980 Sultanhisar-Yenipazar Nivelman Geçkisinin Karşılaştırması



Şekil-5 : 1985 - 1983 Sultanhisar-Yenipazar Nivelman Geçkisinin Karşılaştırması

Sultanhisar-Yenipazar nivelman geçkisinde belirlenebilen anlamlı hareketler ve hareket miktarının yıllara göre oranı şöyle bulunmuştur.

1977 - 1980 - 1983 - 1985

$$|0.06|_{\text{mm}} \leq |h_j - h_i| \leq |54.04|_{\text{mm}}$$

$$|0.02|_{\text{mm/yıl}} \leq |h_j - h_i|/\text{yıl} \leq |12.36|_{\text{mm/yıl}}$$

1980 - 1983 - 1985

$$|0.08|_{\text{mm}} \leq |h_j - h_i| \leq |42.94|_{\text{mm}}$$

$$|0.02|_{\text{mm/yıl}} \leq |h_j - h_i|/\text{yıl} \leq |12.36|_{\text{mm/yıl}}$$

1983 - 1985

$$|0.08|_{\text{mm}} \leq |h_j - h_i| \leq |42.94|_{\text{mm}}$$

$$|0.02|_{\text{mm/yıl}} \leq |h_j - h_i|/\text{yıl} \leq |8.59|_{\text{mm/yıl}}$$

Sultanhisar-Yenipazar nivelman geçkisinde hareket miktarı max:54.04mm hareket miktarının yıllara göre oranı max:12.36mm/yıl olarak belirlenmiştir.

Sultanhisar-Yenipazar nivelman geçkisinde çeşitli periyotlarda yapılan test işlemleri sonucu aşağıdaki noktalarda anlamlı hareketler belirlenmiştir.

a. 106 ve 107 Numaralı Noktalarda,

1977-1980 periyodunda (-6.96, -8.89mm) hareket belirlenmiştir.

1983-1985 periyodunda (-8.44, -10.78mm) hareket belirlenmiştir.

1977-1985 periyodunda (-7.82, -1.31mm) hareket belirlenmiştir.

b. 109 Numaralı Noktada,

1977-1980 periyodunda (-12.16mm) hareket belirlenmiştir.

1980-1983 periyodunda (12.93mm) hareket belirlenmiştir.

1977-1983 periyodunda (5.72mm) hareket belirlenmiştir.

1983-1985 periyodunda (-12.85mm) hareket belirlenmiştir.

1977-1985 periyodunda (-7.13mm) hareket belirlenmiştir.

1977 yılından 1985 yılına kadar 109 numaralı noktada çökme görülmüştür.

c. 110 Numaralı Noktada,

1977-1980 periyodunda (-12.16mm) hareket belirlenmiştir.

1980-1983 periyodunda (11.36mm) hareket belirlenmiştir.

1983-1985 periyodunda (-17.53mm) hareket belirlenmiştir.

1980-1985 periyodunda (-6.17mm) hareket belirlenmiştir.

1977-1985 periyodunda (-18.33mm) hareket belirlenmiştir.

1977 yılından 1985 yılına kadar 110 numaralı noktada çökme görülmüştür.

d. 111 Numaralı Noktada,

1977-1980 periyodunda (-11.66mm) hareket belirlenmiştir.

1980-1983 periyodunda (13.91mm) hareket belirlenmiştir.

1983-1985 periyodunda (-16.23mm) hareket belirlenmiştir.

1977-1985 periyodunda (-13.98mm) hareket belirlenmiştir.

1977 yılından 1985 yılına kadar 111 numaralı noktada çökme görülmüştür.

e. T66 Numaralı Noktada,

1977-1980 periyodunda (-11.10mm) hareket belirlenmiştir.

1977-1983 periyodunda (-24.72mm) hareket belirlenmiştir.

1980-1983 periyodunda (-18.22mm) hareket belirlenmiştir.

1980-1985 periyodunda (-42.94mm) hareket belirlenmiştir.

1977-1985 periyodunda (-64.04mm) hareket belirlenmiştir.

1977 yılından 1985 yılına kadar T66 numaralı noktada çökme görülmüştür.

Sonuç olarak, Sultanhisar-Yenipazar nivelman geçkisinde 1977 yılından 1985 yılına kadar 106, 107, 109, 110, 111, T66 numaralı noktalarında anlamlı ÇÖKME hareketi görülmüştür.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Açıklamalardan da anlaşıldığı gibi, duyarlı nivelman yöntemi ile deformasyonun belirlenmesi için, öncelikle deformasyon bölgesi ve çevresini kapsayan, bölgeyi iyi temsil edebilen bir ağın özenle tesis edilmesi gerekir.

Çok küçük değerlerin saptandığı deformasyon irdelemesinde duyarlı aletler kullanılarak duyarlı nivelman ölçülerinin tüm koşulları yerine getirilmesidir.

Aynı ağın çeşitli zaman periyotlarında ölçülmesi gerektiğinden, ağ çok iyi korunmalıdır.

Kinematik modellerle deformasyonların belirlenmesi için çeşitli periyotlardaki ölçülere gereksinim olduğundan ölçülerin özenle ve belirli zaman aralıklarında düzenli olarak yapılması gerekir.

Ayrı ayrı ölçme periyotları sonucunda elde edilen yüksekliklerin karşılaştırılabilmesi için bunlar arasında datum uyusmasının sağlanması gerekir.

K A Y N A K L A R

- /1/ Algül E. : Barajlarda Jeodezik Deformasyon Ölçmeleri ve Analizi. Doçentlik Tezi, İstanbul, 1982.
- /2/ Ayan T. : Jeodezik Ağlarla Deformasyon Analizine Genel Bakış. İTÜ.Derg.,c.40, Sayı 1, İstanbul, 1982.
- /3/ Boolijen J. : Statische, Kinematische und Dynamische Deformationsmodelle. Zeitschrift für Vermessungswesen cilt 109, Sayı 9, s.461-468, 1984.
- /4/ Holdahl S.H. : Models for Extracting Vertical Crustal Movements from Levelling Data. Proceedings of the 9th GEOP Conference, an International Symposium on the Applications of Geodesy and Geodynamics, Dept. of Geodetic Sciences, Report No.280, pp.183-190, Ohio., 1978.
- /5/ Öztürk E., Atasoy V. : Jeodezik Deformasyon Ölçüleri ve Sonuçların Yorumu. Harita ve Kadastro Mühendisliği Dergisi, Sayı 50-51, s. 27-40, Ankara, 1984.
- /6/ Snay R.A., Gergen J.G. : Monitoring Regional Crustal Deformation with Horizontal Geodetic Data. Proceedings of the 9th GEOP Conference, an International Symposium on the Applications of Geodesy and Geodynamics, Dept. of Geodetic Sciences, Report No.280, pp. 87-92, Ohio, 1978.
- /7/ Welsch W. : Gegenwärtiger Stand der Geodätischen Analyse und Interpretation Geometrischer Deformationen. Allgemeine Vermessungsnachrichten cilt 88, Sayı 2, S.41-51, 1981.