4. BÖLÜM

JEODEZİK KONTROL AĞLARININ ANALİZİ

Jeodezik deformasyon ölçülerinin amacı bir objenin hareketleri ve şekil değişimleri hakkında bilgi edinmektir. Analiz için önce *Bölüm 2.2.1.1.*'de referans ve obje noktalarını içeren bir jeodezik ağın oluşturulması gerekir. Daha sonra araştırılan obje yeterli sayıda objeyi karakterize eden noktalar ile tanımlanır. Bu noktaların deformasyon davranışlarına göre objenin bağıl ve mutlak hareketleri belirlenir. Bağıl değişimler objenin geometrik davranışının değişimi olarak, mutlak değişimler ise obje hareketlerinin objenin dışında bulunan (tercihen deformasyon alanı dışındaki) referans noktaları ile tanımlanmış referans bölgesine göre belirlenir.

Obje geometrisinin bir önceki duruma göre test edildiği ilk durumda bağıl modelden söz edilir. İkinci durumda ise mutlak modelden söz edilir. Gözlem ağının her ölçme döneminin analizinde ağ geometrisinin ya da bir kısmının yer değiştirmediği varsayılır. Analizde ise sıfır ölçme dönemindeki ağ geometrisi ile yineleme ölçülerinden belirlenen ağ geometrisi karşılaştırılır.

4.1. Deformasyon analizi için temel model

Jeodezik kontrol ağlarının analizi için genel olarak kuramsal yapısı birbirinden çok farklı olmayan çözüm yöntemleri vardır. Bu yöntemler arasındaki temel farklılıklar ağların gözlemi, dengelenmesi ve anlamlı nokta hareketlerinin belirlenmesindeki istatistik testlerde izlenen stratejidir.

Yinelemeli olarak ölçülen kontrol ağının analizi için temel model bir matematiksel model ve sıfır hipotezinden oluşmaktadır.

$$H_0 \quad : \quad E\{\ell\} = Ax \qquad \text{fonksiyonel model,}$$
$$Bx = w = 0 \qquad (4.01)$$
$$K\{\ell\} = \sigma_0^2 Q = \sigma_0^2 P^{-1} \qquad \text{stokastik model.}$$

İlk satırdaki fonksiyonel model Gauss-Markov modelidir. Ölçülerin normal dağılımlı oldukları varsayımına dayanılarak yapılan en küçük kareler yöntemi ilkesine göre dengeleme hesabında bilinmeyenler vektörü **x** ağ noktalarının koordinatlarını, **A** şekil matrisini, **ℓ** vektörü karşılaştırılan ölçme dönemlerine ilişkin ölçüleri göstermektedir.

İkinci satırdaki koşul denklemi sınama hipotezi testini formüle etmekte olup üçüncü satırda ise stokastik (fiziksel) model verilmektedir (Pelzer H., 1988). Bilinmeyenleri arasında koşul denklemleri bulunan dolaylı ölçüler dengelemesi yapısındaki bu model dengeleme hesabının en genel halidir.

Bir doğrusal hipotez, bilinmeyenlerce sağlanması gereken ve öngörülen doğrusal denklemler sistemi **Bx=w=0** ile verilir. Örneğin iki koordinat değerinin ya da iki nokta arasındaki uzaklığın belli bir değere eşit olması istenebilir. Doğrusal hipotez testinin yapılabilmesi için **Bx** büyüklüğü tahmin edilebilir bir fonksiyon olmalıdır. Eğer **B=cA** ise, yani **B**, **A** 'dan doğrusal bir dönüşümle bulunabiliyorsa bu koşul sağlanmış olur.

Bir dengeleme probleminde birbirinden doğrusal olarak bağımsız, tahmin edilebilir fonksiyonların sayısı **rang(A)** kadardır. Bunun tümünü içeren sayıda fonksiyon seçmek zorunluluğu yoktur (Hoşbaş, 1992).

(4.01) bağıntılarının birinci satırında verilen Gauss-Markov Modeli ile yapılan dolaylı ölçüler dengelemesi sonucu hesaplanan çözüm vektörü ve düzeltmelerin karelerinin ağırlıklı toplamı

$$x \quad , \quad \Omega = v^T P v \qquad (4.02)$$

ile koşullu modelden hesaplanan

$$x_H \quad , \quad \Omega_H = v_H^T P v_H \qquad (4.03)$$

değerleri farklıdır. Doğrusal hipotezleri de içeren (4.01) modeli için

$$(\ell - Ax_H)^T P(\ell - Ax_H) + 2k^T(Bx_H - w) \quad \rightarrow \quad \min \qquad (4.04)$$

ilkesi (Lagrange koşulu) geçerlidir. Bilinmeyenler vektörü $\mathbf{x_H}$'ya ve korelatlar vektörü **k**'ya göre kısmi türevler alınarak

$$\begin{aligned} A^T P A x_H + B^T k - A^T P \ell &= 0 \\ B x_H \qquad\quad - w \quad &= 0 \end{aligned} \qquad (4.05)$$

şeklinde *normal denklemler* elde edilir. İlk satırdan yararlanarak bilinmeyenler

$$\begin{aligned} x_H &= (A^T PA)^+ (A^T P\ell - B^T k) \\ &= (A^T PA)^+ A^T P\ell - (A^T PA)^+ B^T k \\ &= x - (A^T PA)^+ B^T k \end{aligned} \tag{4.06}$$

bağıntısı ile hesaplanır. Bu da normal denklemler sisteminin ikinci satırında yerine konularak

$$k = \left[B(A^T PA)^+ B^T \right]^+ (Bx - w) \tag{4.07}$$

korelatları elde edilir. Doğrusal hipotezleri de içeren matematiksel modeldeki bilinmeyenlerin kesin değeri

$$x_H = x - (A^T PA)^+ B^T \left[B\,(A^T PA)^+ B^T \right]^+ (Bx - w) \tag{4.08}$$

eşitliğinden bulunur. (4.08) bağıntısında görüldüğü gibi doğrusal hipotezlerin bilinmeyenlere olan etkisini belirlemek için yeni bir dengeleme hesabı yapılması zorunlu değildir. Söz konusu etki, oldukça uzun olan (4.08)'in ikinci teriminden hesaplanabilir.

Doğrusal hipotezleri içeren (4.01) matematiksel modelindeki düzeltmeler

$$v_H = Ax_H - \ell \tag{4.09a}$$

şeklinde elde edilir. Bu eşitliğin sol tarafına Ax 'in eklenip çıkarılması ile eşitlik değişmez. Bu şekilde yapılacak düzenleme ile

$$\begin{aligned} v_H &= Ax_H - \ell + Ax - Ax \\ &= Ax - \ell + A(x_H - x) = v + A(x_H - x) \end{aligned} \tag{4.09b}$$

eşitliği elde edilir. Düzeltmelerin ağırlıklı toplamının $A^T Pv = 0$ olduğu dikkate alınırsa koşullu modelden hesaplanan

$$\Omega_H = v_H^T P v_H = v^T Pv + (x_H - x)^T (A^T PA)(x_H - x) \tag{4.10}$$

eşitliğine ulaşılır. (4.10)'da $(x_H - x)$ 'ın yerine (4.08)'deki karşılığı konularak

$$\begin{aligned} \Omega_H = v_H^T P v_H &= v^T Pv + (Bx - w)^T (B(A^T PA)^+ B^T)^{-1} (Bx - w) \\ &= v^T Pv + R \end{aligned} \tag{4.11a}$$

elde edilir. Bu son eşitliğin ilk terimine dikkat edilirse, (4.01) modelinin ilk satırındaki verilen Gauss-Markov modelinin (4.02)'de verilen düzeltmelerin karelerinin ağırlıklı toplamı Ω olduğu görülür ve

$$\Omega_H = \Omega + R \tag{4.11b}$$

yazılabilir. (4.11a) eşitliğinin 2. terimi iki model arasındaki **R** artık büyüklüğü,

$$R = (Bx - w)^T \left[B\,(A^T PA)^+ B^T \right]^+ (Bx - w) \tag{4.12}$$

(4.01) matematiksel modeli oluşturulmadan doğrudan Gauss-Markov Modelinden bulunan **x** bilinmeyenler vektörü yardımı ile belirlenmiş olur.

Ω ve **R** stokastik bağımsız büyüklüklerdir ve

$$\Omega/\sigma_0^2 \approx \chi^2(f, \lambda\} \tag{4.13}$$

$$R/\sigma_0^2 \approx \chi^2(f, \lambda_H\} \tag{4.14}$$

dağılımları geçerlidir. Ω/σ_0^2 oranı, **f=n-rang(A)=n-u+d** serbestlik dereceli χ^2 dağılımına uyar. (4.01) modelinin geçerli olması durumunda merkez dışı parametre **λ=0** 'dır.

Benzer şekilde R/σ_0^2 oranı, serbestlik derecesi

$$h = rang\{B(A^T PA)^+ B^T\} \tag{4.15}$$

olan χ^2 dağılımına uyar ve $\mathbf{H_0}$ hipotezi geçerli ise merkez dışı parametre λ_H**=0** olur.

Başlangıç hipotezi $\mathbf{H_0}$ **: Bx=w** koşulunun geçerli olduğu durumlarda test büyüklüğü için (4.13) ve (4.14) ile verilen büyüklüklerin oranı şeklinde oluşturulan

$$T = \frac{R/h}{\Omega/f} = \frac{R\,.\,f}{h\,.\,\Omega} = \frac{R}{h\,.\,\sigma_0^2} \tag{4.16}$$

test büyüklüğü F dağılımına uyar. Test büyüklüğü T 'nin olasılık eşitliği olarak

$$P\{\, T > F\{h, f, \alpha\} \quad / \quad H_0\} = \alpha \tag{4.17}$$

geçerlidir. T test değeri, F dağılımının sınır değeri **F{h, f, α}** 'dan büyük olursa öngörülen α istatistiksel yanılma olasılığı ile $\mathbf{H_0}$ başlangıç hipotezi geçerli sayılmaz (Öztürk, Şerbetçi, 1992).

Birden çok ölçme döneminin birlikte değerlendirilmesi durumunda;

fonksiyonel model,

$$\begin{bmatrix} \ell_1 \\ \ell_2 \\ \vdots \\ \ell_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & & & 0 \\ & A_{22} & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & A_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \tag{4.18a}$$

ve stokastik model

$$\sigma_0^2 Q_{\ell\ell} = \sigma_0^2 \begin{bmatrix} Q_{11} & & & 0 \\ & Q_{22} & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & Q_{nn} \end{bmatrix} \tag{4.18b}$$

şeklinde oluşur.

Burada **A** şekil matrisinin değişkenleri ölçme dönemlerini ifade etmektedir. **A** matrisi, ağ geometrisi ve ölçü planı farklı ölçme dönemlerinde değişebileceği için birbirinden farklı olabilir. Bu durum bazı referans ve obje noktalarının ağ dışında tutulması veya ağa yeni noktalar dahil edilmesi ile ortaya çıkar. Bu değişikliklerden dolayı şekil matrisinde rang defektleri (bozuklukları) oluşur. **A** şekil matrisindeki köşegen dışı elemanların sıfır olması durumunda farklı ölçme dönemlerine ait parametreler arasında korelasyon olmadığı varsayılır. Eğer ölçme dönemleri arasında korelasyon söz konusu ise bu elemanlar sıfırdan farklı olacaktır.

Her bir ölçme döneminin fonksiyonel ve stokastik olarak bağımsız olmaları ayrık olarak dengelenmelerine olanak tanımaktadır. Böylece her bir ölçme dönemine ilişkin doğruluk ve güvenirlik ölçütleri hakkında daha iyi yorum yapma olanağı doğmaktadır. Özellikle her bir ölçme dönemine ilişkin soncul varyans değerleri birbirleri ile karşılaştırılabilir. Karşılaştırma sonucunda anlamlı farklılıklar ortaya çıkıyorsa ağırlık katsayıları (kofaktörler) matrisi incelenmelidir. Bu şekilde ölçü doğruluklarının homojenleştirilmesi ile ortak varyans değeri σ_0^2 elde edilir. Çoğunlukla kuramsal varyans değeri yerine s_0^2 deneysel varyans değeri kullanılır.

Her bir ölçme dönemi, dengelenmiş ağ noktalarının koordinat değerleri ve bunlara ilişkin kovaryans matrisi ile tanımlanır. Ortak olmayan noktalar cebirsel eleminasyon yöntemi ile koordinatlar arasından uzaklaştırılır. Burada önemli olan konu karşılaştırma dönemleri arasında ağ dengelemesinde yalnız ortak noktaların jeodezik datumu belirlemesidir.

Ortak noktalar deformasyon analizi için gereken bütün fonksiyonel ve stokastik bilgileri içerir. Analiz sıfır hipotezi ve alternatif hipotezi içeren doğrusal hipotez testi stratejisine göre yapılır. Sıfır hipotezi her bir ölçme döneminde ortak noktaların koordinat değerleri farklarının sıfır olduğu, yani nokta koordinatlarının aynı olduğunu ifade eder. Alternatif hipotez ise sıfır hipotezinin tersine olanak tanır. Aşağıdaki bölümlerde bir jeodezik kontrol ağının deformasyon analizinin temel ilkeleri üzerinde durulmaktadır.

4.2. Global test

Global testin amacı ortak noktalar ile tanımlanmış jeodezik kontrol ağının geometrisinin değişip değişmediğini belirlemektir. Bu test ile referans ve obje noktalarından oluşan iki kademeli ağın yerelleştirme çerçevesinde nokta hareketlerinin ortaya çıkarılmasında kullanılır. Global testle, ölçme döneminden ölçme dönemine (n=2) en az iki ölçme dönemi arasındaki nokta koordinatları birbirleri ile karşılaştırılır. Birden çok ölçme döneminin (n>2) birlikte değerlendirilmesi özel durum olarak adlandırılır.

4.2.1. Hipotez formülasyonu ve testi

Doğrusal hipotez olarak karşılaştırma dönemlerindeki nokta koordinatlarının irdelendiği sıfır hipotezi global testin temel modeli olarak (4.01) eşitlikleri ile verilmiştir. Öncelikle bu hipotezin anlamlılığı test edilmelidir. Daha sonra ortak modelden karşılaştırma dönemlerinin dengelenmesi ile elde edilen ölçü düzeltmelerinin kareleri toplamı hesaplanır. Bu toplamların farkı **R** değeri test istatistiğinin temelini oluşturmaktadır. Testin kabulünde veya reddinde *Fischer dağılımı* kullanılır.

4.2.1.1. Açık (eksplizit) hipotez oluşturma

Yalnız iki ölçme dönemi dikkate alındığında (k=2) global uyumluluk testi için Gauss-Markov dengeleme modeli (4.18a)'ya benzer şekilde

$$\begin{bmatrix} \ell_1 \\ \ell_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 \\ 0 & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \tag{4.21a}$$

şeklinde oluşur. Bu durumda stokastik model iki ölçü grubu arasında korelasyon olmadığı düşünülürse (4.18b)'deki ölçülerin kofaktörler matrisi de

$$\sigma_0^2 Q_{\ell\ell} = \sigma_0^2 \begin{bmatrix} Q_{11} & 0 \\ 0 & Q_{22} \end{bmatrix} \tag{4.21b}$$

şeklini alır. Bu fonksiyonel modele göre her ölçme dönemi için $\mathbf{x_i}$ koordinat vektörü diğerinden bağımsız olarak belirlenir. Yine bu modele göre (4.21b) yaklaşımı ile birim ağırlıklı ölçünün soncul varyansı σ_0^2 için tek bir değer elde edilir.

Esasen iki ayrı ölçme döneminin ayrık dengelemesi olan (4.21a) modeli global uyuşum testi için açık olarak daha basit yani anlaşılır hale getirilmiş olur. Datum birliğinin sağlanması, her iki ölçme döneminde aynı $\mathbf{x_0}$ yaklaşık koordinatlarının kullanılması şartı ile gerçekleştirilir. (4.21a) eşitliğinde doğrusallaştırma işlemi Taylor Serisi'ne açılarak yapılır.

Her iki ölçme dönemi arasındaki noktalarda değişim olmadığı öngörüsü sıfır hipotezi ile ifade edilir. Buna göre;

$$H_0 \quad : \quad E\{x_1\} = E\{x_2\} \tag{4.22}$$

ya da doğrusal hipotez testi olarak

$$H_0 \quad : \quad x_2 - x_1 = d = 0 \tag{4.23}$$

keza aynı şekilde **Bx-w=0** formunda

$$H_0 \quad : \quad \begin{vmatrix} -E & E \end{vmatrix} \begin{vmatrix} x_1 \\ x_2 \end{vmatrix} = 0 \tag{4.24}$$

olarak formüle edilir. (4.24) bağıntısı (4.11a)'da yerine konursa

$$R = |x_2 - x_1|^T \left[\begin{vmatrix} -E & E \end{vmatrix} \begin{vmatrix} (A_1^T P_1 A_1) & 0 \\ 0 & (A_2^T P_2 A_2) \end{vmatrix} \begin{vmatrix} -E \\ E \end{vmatrix} \right] |x_2 - x_1| \tag{4.25a}$$

elde edilir. Gerekli kısaltmalar yapılırsa

$$R = |x_2 - x_1|^T \left[(A_1^T P_1 A_1)^+ + (A_2^T P_2 A_2)^+ \right]^+ |x_2 - x_1| \tag{4.25b}$$

$$(A_1^T P_1 A_1)^+ + (A_2^T P_2 A_2)^+ = Q_{X_1 X_1} + Q_{X_2 X_2} = Q_{dd} \tag{4.26}$$

olur. Parantez içindeki değer hata yayılma kuralına göre fark vektörünün kofaktörler matrisidir. (4.26), (4.25b)'de yerine konularak

$$R = d^T Q_{dd}^+ d \tag{4.27}$$

bağıntısı elde edilir. Bu karesel form 1971 yılında deformasyon ölçülerinin analizinin gerçekleştirilmesi için Prof. **H. Pelzer** tarafından geliştirilmiştir.

Karesel formdaki $\mathbf{Q_{dd}}$ farkların kofaktörler matrisinin rangı

$$h = rang(Q_{X_1 X_1} + Q_{X_2 X_2}) \tag{4.28}$$

dir. Her iki ölçme dönemi için benzer ağ konfigürasyonu ve aynı datum olması durumunda

$$h = rang(Q_{X_1 X_1}) = rang(Q_{X_2 X_2}) = u - d = r \tag{4.29}$$

olur. Bu eşitlikte d serbest datum parametresini göstermektedir.

Birim ağırlıklı ölçünün öncül varyansı σ_0^2, (4.21a) dengeleme modeli yardımı ile veya her iki ölçme döneminin ayrık dengelemesinden hangisi daha pratik ise o tercih edilerek belirlenir. Her iki ayrı dengeleme sonucunda öncül varyans değerleri

$$\sigma_{01}^2 = \frac{v_1^T P_1 v_1}{f_1} \qquad \text{ve} \qquad \sigma_{02}^2 = \frac{v_2^T P_2 v_2}{f_2} \tag{4.30}$$

şeklinde elde edilir. Gözlemlerin raslantısal ölçü hataları ile yüklü olduğu düşünülürse bu varyanslar için temel hipotez

$$H_B \quad : \quad E\{\sigma_{01}^2\} = E\{\sigma_{02}^2\} \tag{4.31a}$$

$$P\left\{ \frac{\sigma_{01}^2}{\sigma_{02}^2} > F\{f_1, f_2, \alpha\} \quad / \quad H_B \right\} = \alpha \tag{4.31b}$$

eşitlikleri ile ifade edilir. Temel hipotezin geçerli olması durumunda

$$\Omega = v_1^T P_1 v_1 + v_2^T P_2 v_2 \tag{4.32a}$$

$$s_0^2 = \frac{v_1^T P_1 v_1 + v_2^T P_2 v_2}{(n_1 - u_1) + (n_2 - u_2)} = \frac{\Omega_1 + \Omega_2}{f_1 + f_2} = \frac{\Omega}{f} \tag{4.32b}$$

olmak üzere global uyumluluk testinin test büyüklükleri (4.16) eşitliğine benzer şekilde

$$T = \frac{d^T Q_{dd}^+ d}{h \,.\, s_0^2} = \frac{R}{h \,.\, s_0^2} \tag{4.33}$$

test büyüklükleri yine Almanya/Hannover Üniversitesinden bilim adamı jeodezici Prof. **Hans Pelzer** (1936-2006) tarafından önerilen yaklaşım kullanılarak elde edilir. Bu test büyüklüğünün olasılık geçerliliği

$$P\{ T > F\{h, f, \alpha\} \quad / \quad H_0 \} = \alpha \tag{4.34}$$

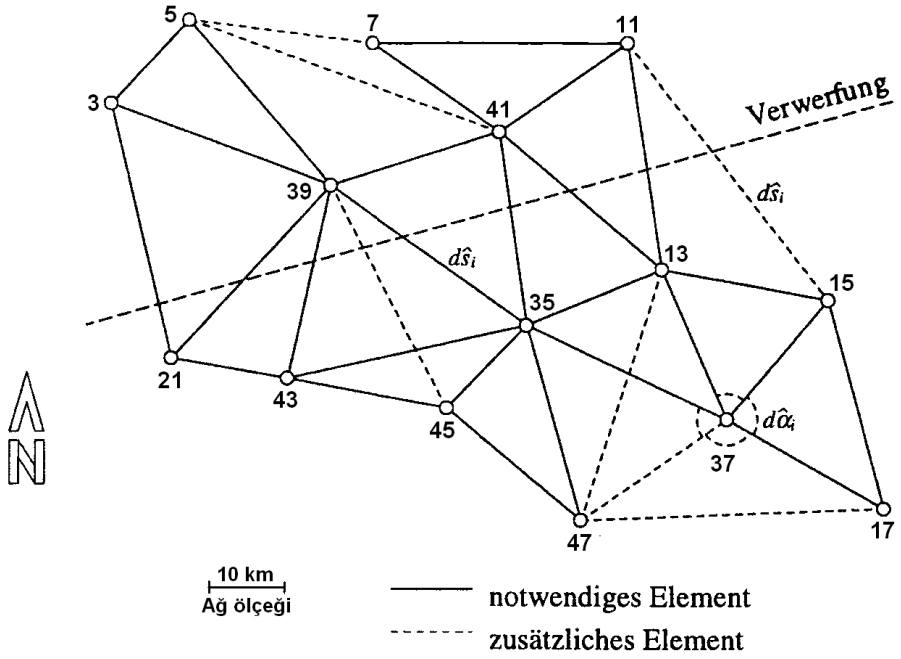
eşitliği ile ifade edilir.

Burada önemli olan fark vektörünü oluşturan $\mathbf{x_1}$ ve $\mathbf{x_2}$ koordinatlarının aynı jeodezik datumda olmasıdır. Bunun sağlanması ise hem datum noktalarının seçimi hem de datum parametrelerinin sayısı ve türüne bağlıdır. Aksi halde datum farklılığını ortadan kaldırmak için *S-transformasyonu* kullanılabilir. Daha sonra jeodezik datumun dış etkilerinden arındırılmış olarak iki ölçme döneminin koordinatları karşılaştırılabilir. Eğer jeodezik datumun irdelenmesi söz konusu ise

$$r\{Q_{X_1X_1}\} = r\{Q_{X_2X_2}\} = r\{Q_{X_1X_1} + Q_{X_2X_2}\} = r\{Q_{dd}\} = h$$

$$\theta = \sqrt{R/h} \tag{4.35}$$

İfadesi Prof. **H. Pelzer** tarafından *"ortalama aykırılık"* olarak adlandırılmıştır.

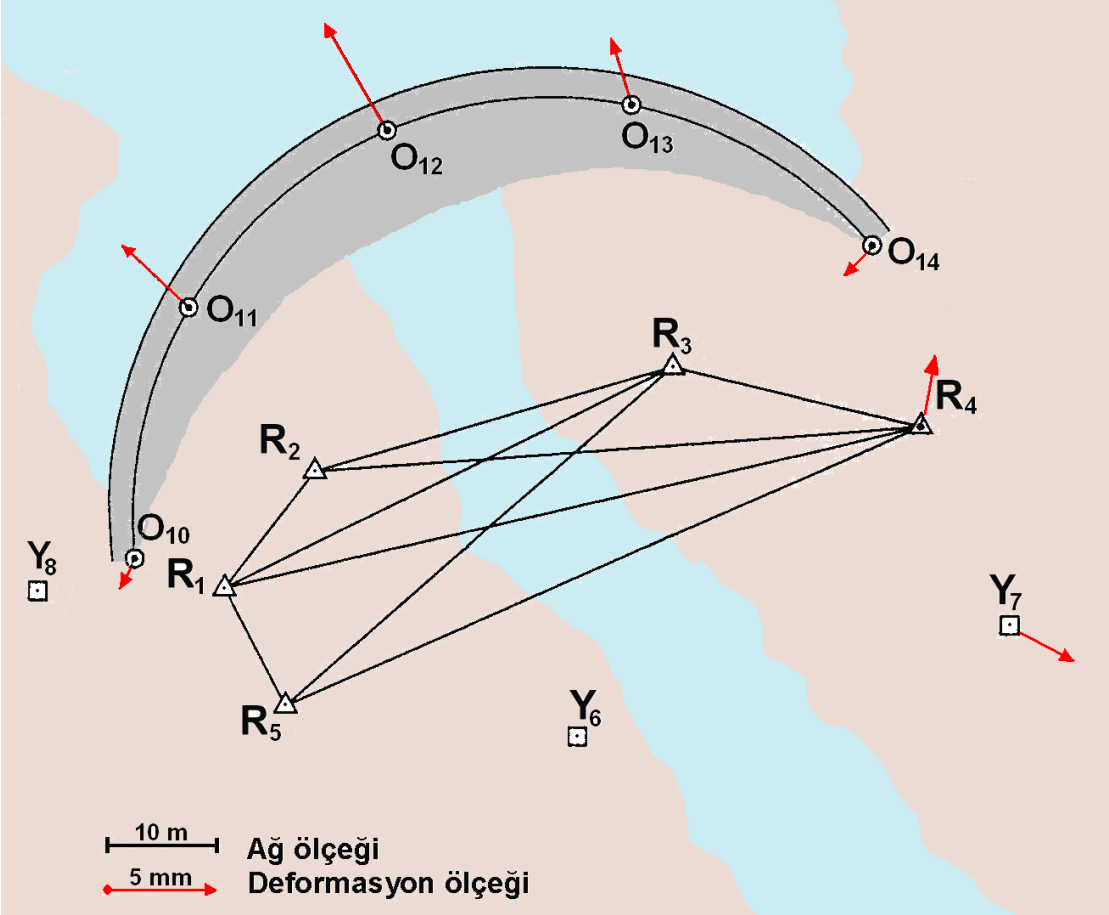


a- Klasik datum

b- Tüm iz = min. datumu

Şekil 4.01. Datum değişimlerinin bir fay hattı boyunca oluşturulmuş kontrol ağı üzerindeki etkileri

Şekil 4.01'de yerkabuğu hareketlerinin izlenmesinde kullanılan noktaların hareketleri görülmektedir. Bağıl ağlardaki datum noktalarının seçimi kural olarak serbesttir. Deformasyonlar datum seçimine bağlı olduğu için bunların gösterimi de farklı olabilir. Farklı datum seçimlerine rağmen içerdikleri bilgi aynıdır. Çünkü her iki datumda da uygulanan testin temeli ortalama aykırılıklara dayalıdır.



Şekil 4.02 Bir kemer barajdaki deformasyon vektörleri

Yukarıda Şekil 4.02'de 1 mm'den daha büyük deformasyon vektörleri gösterilmiştir. Burada uygulanan dengeleme hesabında tüm iz = min. ilkesine göre serbest ağ dengelemesi yapılmıştır. Şekilde de görüldüğü gibi 7 numaralı yöneltme noktası ile 4 numaralı referans noktasında büyük hareketler izlenmektedir.

4.2.1.2. Kapalı (implizit) hipotez

Koordinat farkları ile işlem yapmaya gerek olmadan ortalama aykırılığın hesaplanmasındaki ikinci bir yöntem ise sıfır hipotezinin açık olarak formülize edilmesidir. Burada temel modeldeki bilinmeyenler vektöründe

$$\begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} \\ A_{22} \end{bmatrix} x_H \tag{4.36}$$

ortak noktaların koordinat düzeltmeleri $\mathbf{x_H = x_1 = x_2}$ tek bilinmeyen olarak seçilir. (4.01)'deki stokastik model değişmeden aynı kalır. (4.36) modelindeki karşılaştırılan ölçme dönemlerinin birlikte dengelenmesi ile global test için düzeltmelerin kareleri toplamı $\mathbf{(v^T P v)_H}$ ve serbestlik derecesi $\mathbf{f_H}$ elde edilir. Buradan ortalama aykırılık

$$R = \Omega_H - \Omega = \Omega_H - (\Omega_1 + \Omega_2)$$

$$f_H = n_1 + n_2 - u + d$$

$$f_1 = n_1 - u + d$$

$$f_2 = n_2 - u + d$$

$$h = f_H - f = f_H - (f_1 + f_2)$$

$$\theta^2 = \frac{v_H^T P_H v_H - v^T P v}{f_H - f} = \frac{\Omega_H - \Omega}{f_H - f} = \frac{R}{h} \tag{4.37}$$

olarak hesaplanır. Düzeltmelerin ve bunların kareleri toplamının datumdan bağımsız olması nedeni ile serbest datum parametrelerinin göz ardı edilmesi referans noktalarının seçiminde etkili değildir, (Navratil G.,. 2006).gsr

4.2.1.3. Datum bağımlı fonksiyonlar

R'nin belirlenmesinde önemli bir durumda her bir ölçme döneminin karşılaştırılmasından elde edilen değişimlerin dengelenmiş koordinatlarının fonksiyonu olarak elde edilebilmesidir.

$$dl = \ell_2 - \ell_1 = F(x_2 - x_1) = Fd \tag{4.38}$$

ℓ'nin içinde tahmin edilebilir yani koordinatların datum bağımlı fonksiyonları, keza açı ve uzunluklardan oluşmuş koordinat değişimleri bulunmaktadır. Ortak noktalar ile tanımlanmış karşılaştırma ağları birbirini bütün olarak kapsaması halinde rast gele datum seçimi yapılabilir. Öyle ki **F** fonksiyon matrisinin sütunları $\mathbf{A_{ii}}$ şekil matrisi ile aynı ise

$$S\{F\} = S\{A_{ii}\} = h \tag{4.39}$$

dℓ değişimlerinin karesel formu için

$$d\ell^T Q_{d\ell}^- \, d\ell = d^T F^T (L\, Q_{dd}^- \, L^T)^- F \, d = d^T Q_{dd}^- \, d = R \tag{4.40}$$

geçerlidir. $r\{Q_{dl}\} = r\{Q_{dd}\} = h$ olduğu için form matris $L^T (\, L Q_{dd}^- L^T)^- L$ ve $\mathbf{Q_{dd}}$ 'nin inversine eşittir. Ortalama aykırılık test değeri (4.37)'ye göre hesaplanır.

Seçilen fonksiyonların yapılan ölçülerle uyuşumu zorunlu değildir. Ağ geometrisinin açık olarak belirlenmesi için gerekli olan **F** fonksiyonel matrisine birçok eleman dahil edilmişse bunun (4.40) karesel formu üzerinde ve $\mathbf{Q_{d\ell}}$ matrisinin rangı üzerinde bir etkisi yoktur.

Şekil-4.03

4.2.1.4. İstatistiksel testlerin yapılması

Sıfır hipotezinin geçerli olması durumunda **R** karesel formu $\mathbf{v^T Pv}$ düzeltmelerin ağırlıklı karesel formu ile özdeştir. Ve ortalama aykırılığın karesi gözlemlerin dağılımı için bir ölçüttür. Her iki dağılım ölçütü de bu nedenle istatistiksel olarak birbirleri ile karşılaştırılabilir.

$$T = \frac{R/h}{v^T Pv/f} = \frac{\theta^2}{s_0^2} \quad \approx \quad F\{h, f\} \tag{4.41}$$

Bu dağılım *F-dağılımı* ile test edilebilir. *F-dağılımı* 'nın sınır değeri test istatistiğini aşarsa

$$T \geq F\{h, f, 1-\alpha\} \tag{4.42}$$

seçilen α yanılma olasılığı ya da $1-\alpha=\beta$ güven olasılığı ağın anlamlı deformasyonu ile beraberce hesaba katılmalıdır. Bu ana kadar irdelemelerde kuramsal varyans σ_0^2 yerine deneysel varyans s_0^2 kullanılabilir. Bu durumda testlerin yapılması esnasında **f** serbestlik derecesi sonsuza gider ve χ^2 *dağılımı* uygulanabilir. (4.41) dağılım ifadesi sıfır hipotezinin geçerli olması durumunda söz konusudur.

Sıfır hipotezi yerine bir seçenek hipotezi kullanıldığında *F dağılımı* 'nın test istatistiği merkez dışı parametre λ ile yapılır. Merkez dışı parametre bilinen seçenek hipotezlerle hesaplanabilir. Bunun için

$$\lambda = \frac{1}{s_0^2}(W-w)^T(H\,N^- H^T)^-(W-w) \\ = \frac{1}{s_0^2} W^T Q_{dd}^- W \tag{4.43}$$

bağıntısı kullanılabilir.

w=d=0'lı sıfır hipotezine karşılık seçenek hipotezinde **H_A : Bx=W** şeklinde formülize edilirse ortak noktaların koordinat farkları **d=W≠0** olur. Amprik varyans yerine kuramsal varyans da kullanılabilir. F testinin istatistiksel özelliği α, β ve λ parametreleri ile tanımlandığı için kabul edilen bir α istatistiksel yanılma olasılığında ve (4.43) eşitliğine göre hesaplanan merkez dışı parametre λ ikinci türden hatalar için elde edilir. Yanılma olasılığı için genel olarak **0.05>α>0.01**, **β=0.20** değerleri kabul edilmiştir. (4.42) testi kanıtlanıyorsa ağda bir deformasyon olduğu yargısına varılır. Ve global testin sonunda anlamlı nokta hareketlerinin yerelleştirilmesi aşamasına geçilir.

4.2.2. Deformasyonların yerelleştirilmesi

Global sınama testinin sonuçları, jeodezik kontrol ağının herhangi bir yerindeki anlamlı nokta hareketleri hakkında istatistiksel bilgiler verir. Yerelleştirmedeki amaç global testle ortaya çıkarılan sonucun, tek tek noktalar üzerine yöneltilmesi ile nokta hareketlerinin istatistiksel olarak anlamlılığının belirlenmesidir.

4.2.2.1. Aykırılıkların ayrıştırılması ve yerelleştirme

(4.27) karesel formu

$$R = d^T Q_{dd}^+ d = d^T P_{dd} d \tag{4.44}$$

kontrol ağının herhangi bir yerindeki nokta hareketleri hakkında bilgi verir. Bu noktaların konumu hakkında yaklaşık bir bilgi edinebilmek için (4.44) karesel formundan basit olarak her bir deformasyon vektörü için olasılık değerleri türetilebilir.

4.2.2.2. Genel yerelleştirme

$S_{dd} = s_0^2\, Q_{dd}$ kovaryans matrisi ile karesel form

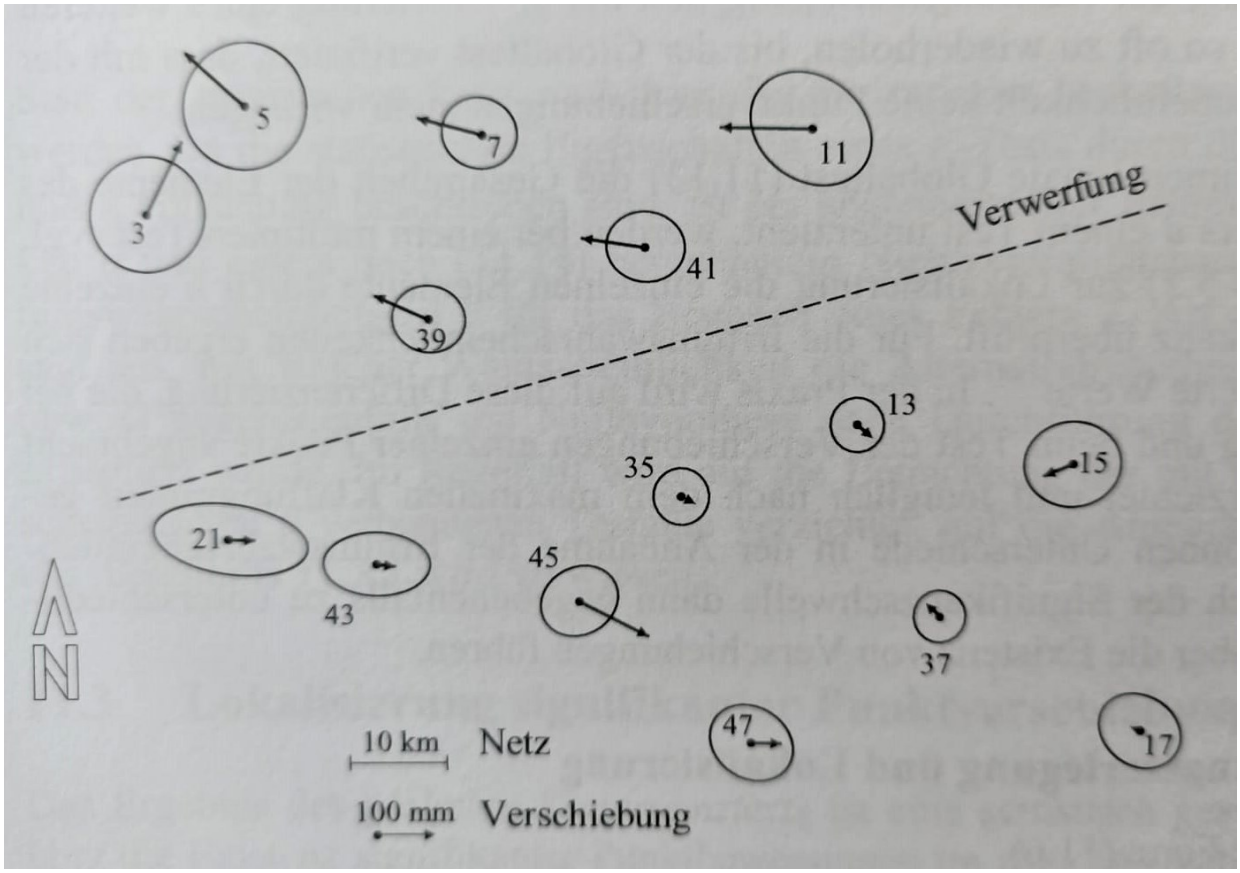
$$d^T S_{dd}^{-1} d \;\sim\; h\,F\{h, f\} \tag{4.45}$$

bağıntısı *F dağılımı'* nın geçerli olduğu bir çok boyutlu rastlantı değişkenini ifade eder. Bu global bir deformasyon ölçütüdür. **Q_{dd}** toplam matrisi noktasal olarak alt matrislere ayrılarak **d_i** fark vektörüne karşılık gelen bağıl güven

elipslerinin elemanları türetilebilir. Bu bilgiler çok yaklaşık olmakla beraber özellikle deformasyon vektörü ile birlikte çizilirse çok da güzel görsel bilgi verirler.

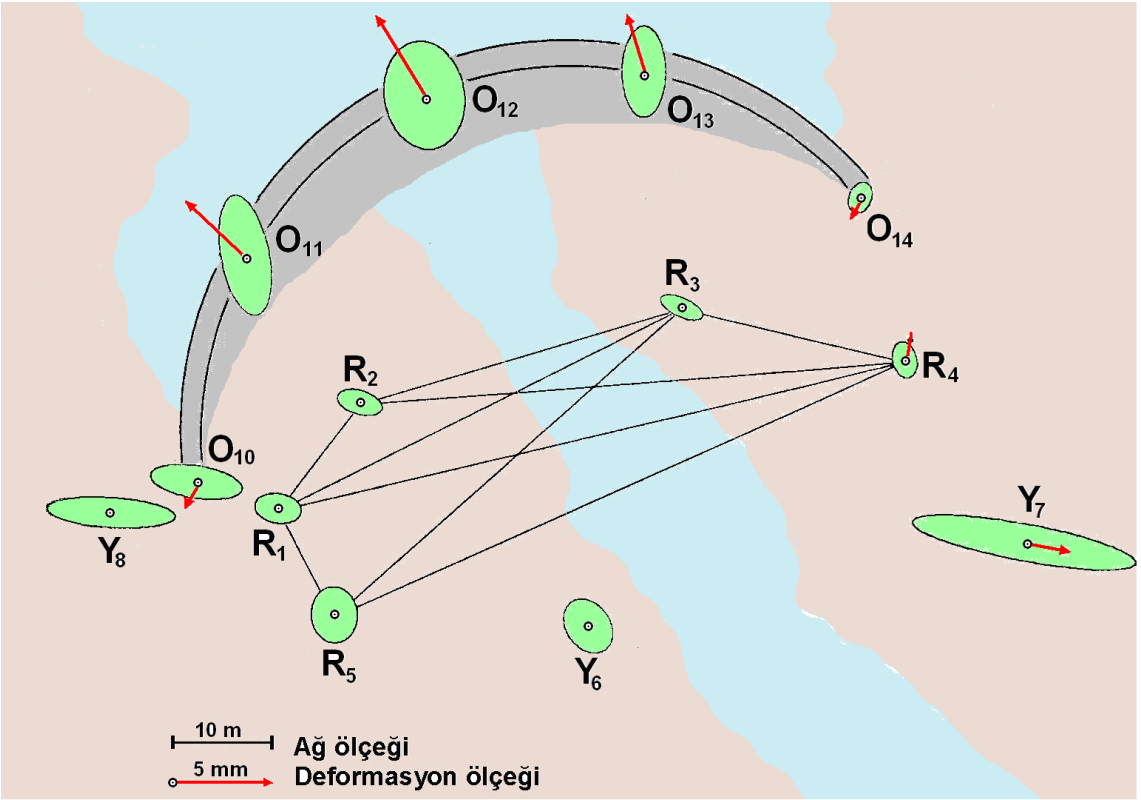
Anlamlı deformasyon olması durumunda $\mathbf{d_i}$ fark vektörünün ucu güven alanının dışında kalır. Bu gösterim kontrol ağının hangi yerinde anlamlı deformasyon araştırması yapılması gerektiği hakkında görsel bir bakış olanağı sağlar.

Şekil-4.04 ve Şekil-4.05'de % 95 olasılıklı bağıl güven elipsleri ile deformasyon vektörleri gösterilmiştir.



Şekil-4.04 Yer kabuğu hareketlerinin izlendiği kontrol ağında deformasyon vektörleri ve bağıl güven elipsleri

Şekil incelendiğinde fay hattının kuzeyindeki noktaların yaklaşık olarak aynı büyüklük ve yönde hareket ettikleri, yalnız 3 numaralı noktaya ilişkin vektörün bunlarla uyuşumlu olmadığı görülmektedir. Fayın güneyinde tesis edilmiş bulunan noktalardan 45 numaralı nokta hariç ilk olarak hiçbir anlamlı değişim görülmemektedir. Sonuç olarak yapılacak yorum; fay hattı boyunca her iki ağ kısmı blok olarak hareket etmiştir. Ancak bazı nedenlerden dolayı bu yorum 3 ve 45 numaralı noktaları kapsamamaktadır.



Şekil-4.05 Baraj gövdesindeki hareketlerin izlendiği kontrol ağında deformasyon vektörleri ve bağıl güven elipsleri

Barajdaki gözlem sonuçları kret üzerinde bulunan bütün obje noktalarında anlamlı hareketlerin olduğunu göstermektedir. Referans noktalarından 4 ve 7 numaralı noktalarda büyük yer değiştirmeler olduğu ortaya çıkmaktadır.

Bundan sonra yerelleştirmenin görevi bu olasılıkları istatistiksel olarak kanıtlamaktır.

4.2.2.3. Gauss'a göre aykırılıkların ayrıştırılması ile yerelleştirme

Yerelleştirmede en çok kullanılan algoritma Gauss eleminasyon yöntemidir. (4.44) karesel formu ilk olarak aşağıdaki şekilde ayrıştırılır.

$$\begin{aligned} d^T P_{dd}\, d &= \begin{vmatrix} d_F^T & d_B^T \end{vmatrix} \begin{vmatrix} P_{FF} & P_{FB} \\ P_{BF} & P_{BB} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} d_F \\ d_B \end{vmatrix} \\ &= d_F^T P_{FF}\, d_F + 2 d_F^T P_{FB}\, d_B + d_B^T P_{BB}\, d_B \end{aligned} \tag{4.46}$$

Bu ifade **d** fark vektörünün $\mathbf{d_F}$ ve $\mathbf{d_B}$ alt kısımlarının birbirinden bağımsız olmadığını göstermektedir. Değişmemiş olarak öngörülen nokta $\mathbf{P_B}$ jeodezik datum tanımına katılmaktadır.

Biri birinden bağımsız kısımlar içindeki aykırılık ayrıştırılması aşağıdaki şekilde yapılır. $\mathbf{d_F}$ ve $\mathbf{d_B}$ alt kısımları gözlemler olarak kabul edilir ve *Gauss-Markov*

Modeli 'ne yerleştirilir. Hipotezsel olarak kabul edilen **P_B** noktasının **Δ_B** hareketi ve (4.47) bağıntısında sıfır değeri ile gösterilen sabit noktanın **Δ_F** hareketi bilinmeyen parametreler olarak seçilir. Bunun yanında gözlemlerin ağırlığı olarak **P_{dd}** öngörülmüştür. Model böylelikle

$$\begin{vmatrix} d_F \\ d_B \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} v_F \\ v_B \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 0 & E \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \Delta_F \\ \Delta_B \end{vmatrix} \quad , \quad P = P_{dd} = \begin{vmatrix} P_{FF} & P_{FB} \\ P_{BF} & P_{BB} \end{vmatrix} \tag{4.47}$$

şeklinde ifade edilir. Düzeltme denklemleri sisteminde normal denklemler kurulur ve bilinmeyen parametrelere göre çözüm yapılarak tahmini değerler elde edilir.

$$\Delta_B = d_B + P_{BB}^{-1} P_{BF} d_F = \overline{d}_B \tag{4.48}$$

Kofaktörler (ağırlık katsayıları) matrisi ise $Q_{\Delta_B \Delta_B} = P_{BB}^{-1}$ şeklindedir. Böylelikle hareketli noktaların karesel form **R**'deki payları hesaplanabilir.

$$\overline{R}_B = \overline{d}_B^T P_{BB} \overline{d}_B \tag{4.49}$$

İşlemler sonucunda

$$\begin{vmatrix} v_F \\ v_B \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 0 & E \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \Delta_F \\ \Delta_B \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} d_F \\ d_B \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} P_{BB}^{-1} P_{BF} d_F \\ -d_F \end{vmatrix} \tag{4.50}$$

karesel form türetilerek

$$\begin{aligned} &\begin{vmatrix} v_F^T & v_B^T \end{vmatrix} \begin{vmatrix} P_{FF} & P_{FB} \\ P_{BF} & P_{BB} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} v_F \\ v_B \end{vmatrix} = \\ &= d_F^T (P_{FF} - P_{FB} P_{BB}^{-1} P_{BF}) d_F = d_F^T \overline{P}_{FF} d_F = \overline{R}_F \end{aligned} \tag{4.51}$$

bağıntıları elde edilir. (4.51)'deki $\overline{P}_{FF}$ şekil matrisi P_{dd} ağırlık matrisinin sütunlara ayrılması ile 4.1.41 nolu bağıntıda gösterildiği gibi *Gauss Eleminasyonu* yöntemi ile elde edilir. Açık olarak görüldüğü gibi aykırılık ayrıştırılması ile P_{FF}'den $\overline{P}_{FF}$'ye bir dönüşüm gerekmektedir.

Yerelleştirme için *Bölüm 3.3.1.1.*'de verildiği gibi ardışık hesaplamalar sonunda en küçük $\overline{R}_F$'yi veren nokta hareketli olarak öngörülür. Eğer bu nokta datum noktalarından biri ise fark vektörü **d**'nin ve bunun kofaktörler matrisi Q_{dd}, 5.1.23 ve 5.1.24 nolu bağıntılara göre bir *S-transformasyonu*'na tabi tutulmalıdır. Bu datum dönüşümü ile $\overline{R}_F$, R_F'ye ve $\overline{R}_B$'de R_B'ye dönüşür. Değişen R_F değeri test büyüklüğünün oluşturulmasında

$$\theta_F^2 = \frac{R_F}{h_F} \tag{4.52a}$$

$h_F = h - h_B$ 'dir. Bu bağıntıdaki geçen **h_B**

- Tek boyutlu düşey kontrol (nivelman) ağlarında **1**,
- İki boyutlu yatay kontrol ağlarında **2** ve
- Üç boyutlu konum ağlarında **3**'dür.

(4.52a) bağıntısı yerine P_B noktalarının değişimi (4.52b) bağıntısı ile test edilir.

$$\theta_B^2 = \frac{R_B}{h_B} \tag{4.52b}$$

Deformasyon vektörünün $\bar{d}x$ ve $\bar{d}y$ bileşenlerinin anlamlı değişimler olup olmadığı *t-testi* ile test edilir.

$$\theta_x = \frac{\bar{d}_{B_x}}{s_x} \leq t_f \quad \text{ve} \quad \theta_y = \frac{\bar{d}_{B_y}}{s_y} \leq t_f \tag{4.53}$$

4.2.2.4. S-transformasyonu ile deformasyonların yerelleştirilmesi

S-transformasyonu ile deformasyon analizi yöntemi, Hollanda/Delft Teknoloji Üniversitesi'nden büyük jeodezici Prof. **Willem Baarda** (1917-2005) tarafından 1950'lerde gerçekleştirilen bir yöntemdir. Bu yöntemde bir datumdan diğer datuma geçişte yeni bir dengeleme hesabı yapmaya gerek yoktur. Diğer bir ifade ile *tüm iz=min.*, *kısmi iz=min.* veya *zorlamasız ağ dengelemeleri* arasında geçiş yapılabilmektedir.

4.2.2.4.1. Referans noktalarında global uyuşum testi

Eğer **t_1** ve **t_2** ölçme dönemlerinde ağ geometrisi farklı ise global test yalnız eşlenik noktalardan oluşan ağ geometrisi arasında gerçekleştirilir. Yani iki farklı ölçme döneminde kontrol ağı eşlenik noktalardan oluşmalıdır.

Anlamlı nokta hareketlerinin araştırılmasında sürekli datum değişikliği zorunludur. Bu nedenle karşılaştırılacak kontrol ağları önce herhangi bir datumda dengelemek (defekt sayısı kadar parametreyi sabit alarak) ve sonuçları istenen datuma dönüştürmek kolaylık sağlamaktadır. Bu durumda düzeltmeler ve birim ağırlıklı ölçünün ortalama hatası sabit kalır. Noktaların konum bilinmeyenleri ve bunların ortalama hataları değişir. **t_n** ölçme döneminde gözlenen bir kontrol ağında;

x_E : *eşlenik* noktaların koordinat bilinmeyenleri,
x_D : diğer noktaların koordinat bilinmeyenleri ile gösterilirse

i datumuna ait $\mathbf{x_i}$ koordinat bilinmeyenleri vektörü,

$$x_i = \begin{bmatrix} x_E^i \\ x_D^i \end{bmatrix} \tag{4.54}$$

biçiminde iki alt bileşen içerecek şekilde oluşur. Bu ayırıma karşılık ağırlık katsayıları matrisi de benzer şekilde,

$$Q_{xx}^i = \begin{bmatrix} Q_{EE}^i & Q_{ED}^i \\ Q_{DE}^i & Q_{DD}^i \end{bmatrix} \tag{4.55}$$

şeklinde oluşacaktır. Datum belirleyici E matrisi, köşegeni üzerinde datumu belirleyen noktalara karşılık 1 (bir) diğerleri için 0 (sıfır) yazılarak köşegen matris olarak oluşturulur.

$$G = \begin{bmatrix} G_E \\ G_D \end{bmatrix} \quad \text{ve} \quad B_j = E_j G = \begin{bmatrix} G_E \\ 0 \end{bmatrix} \tag{4.56}$$

$$S_j = I - G\left(B_j^T G\right)^{-1} B_j^T \tag{4.57}$$

$\mathbf{S_j}$ tranformasyon matrisi ile **i** datumundan ağın eşlenik noktalara göre konumlandırılmasını sağlayan **j** datumuna,

$$x_j = S_j x_i \tag{4.58}$$

$$Q_{xx}^j = S_j Q_{xx}^i S_j^T \tag{4.59}$$

matrisleri ile geçilir. Dönüşüm işlemleri 1. ve 2. ölçme dönemleri için ayrı ayrı yapılarak aynı **j** datumunda eşlenik noktaların,

$\left(x_E^j\right)_1$, $\left(x_E^j\right)_2$: koordinat bilinmeyenleri ve

$\left(Q_{EE}^j\right)_1$, $\left(Q_{EE}^j\right)_2$: ağırlık katsayıları matrisleri bulunur.

Eşlenik nokta gruplarının global testi için;

$$H_0 \ : \ E\left(x_E^j\right)_1 = E\left(x_E^j\right)_2 \tag{4.60}$$

$$d_E = \left(x_E^j\right)_2 - \left(x_E^j\right)_1 \tag{4.61}$$

$$\left(Q_{dd}\right)_E = \left(Q_{EE}^j\right)_1 + \left(Q_{EE}^j\right)_2 \tag{4.62}$$

$$R_E = d_E^T \left(Q_{dd}\right)^+ d_E \tag{4.63}$$

ve R_E'nin serbestlik derecesi $h_E = u_E - d$ olmak üzere test büyüklüğü,

$$T_E = \frac{R_E}{h_E \cdot s_0^2} \tag{4.64}$$

bağıntısı ile hesaplanır. Eğer bu test büyüklüğü seçilen α yanılma olasılığı ile *Fischer dağılımı* tablosundan bulunacak sınır değerinden $F_E > F\{h_E, f, \alpha\}$ büyük ise anlamlı deformasyon vardır denilir, (Doğanalp 2009, Demirel 1987).

4.2.2.4.2. S-transformasyonu ile yerelleştirilmesi

Global test neticesinde ağın tamamında ya da eşlenik noktalar kümesinin herhangi bir yerinde deformasyon olduğuna karar verilirse hareketli noktaların belirlenmesi aşamasına geçilir. Eşlenik noktalardan her birinin hareket etmiş olabileceği öngörülerek **i** datumunda serbest ağ dengelemesi yöntemi ile belirlenmiş bir ölçme dönemine ilişkin (4.54) koordinat bilinmeyenleri vektörü ve (4.55) ağırlık katsayıları matrisleri uygun alt bölümlere ayrılır.

$$x_i = \begin{bmatrix} x_S^i \\ x_H^i \\ x_D^i \end{bmatrix} \tag{4.65}$$

Bu eşitlikte,

x_S^i : sabit olduğu öngörülen nokta koordinatları,

x_H^i : hareketli olduğu öngörülen nokta koordinatları ve

x_D^i : eşlenik olmayan nokta koordinatlarını göstermektedir.

$$Q_{xx}^i = \begin{bmatrix} Q_{SS}^i & Q_{SH}^i & Q_{SD}^i \\ Q_{HS}^i & Q_{HH}^i & Q_{HD}^i \\ Q_{DS}^i & Q_{DH}^i & Q_{DD}^i \end{bmatrix} \tag{4.66}$$

t_n zamanında ölçülen kontrol ağı, ilk aşamada koordinatları x_S vektörü içinde toplanmış sabit noktalara göre konumlandırılacaktır. Bu datum k ile gösterilirse (4.65) ve (4.66) eşitlikleri ayrımına göre (4.56) eşitlikleri,

$$G = \begin{bmatrix} G_S \\ G_H \\ G_D \end{bmatrix} \quad \text{ve} \quad B_k = E_k G = \begin{bmatrix} G_S \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \tag{4.67}$$

vektörleri ile (4.57)'den S_k transformasyon matrisi elde edilerek her bir ölçme dönemi için kofaktörler matrisinin,

$$\begin{bmatrix} Q_{SS}^k & Q_{SH}^k & Q_{SD}^k \\ Q_{HS}^k & Q_{HH}^k & Q_{HD}^k \\ Q_{DS}^k & Q_{DH}^k & Q_{DD}^k \end{bmatrix} = S_k . \begin{bmatrix} Q_{SS}^i & Q_{SH}^i & Q_{SD}^i \\ Q_{HS}^i & Q_{HH}^i & Q_{HD}^i \\ Q_{DS}^i & Q_{DH}^i & Q_{DD}^i \end{bmatrix} . S_k^T \tag{4.68}$$

transformasyonu yapılır. Sabit kaldıkları öngörülen noktaların sıfır hipotezi,

$$H_0 \ : \ E\left(x_S^k\right)_1 = E\left(x_S^k\right)_2 \tag{4.69}$$

'ın testi için (4.61), (4.62) ve (4.63) eşitliklerine uygun olarak iki ölçme dönemine ait x_S alt vektörlerinin d_S koordinat farkları,

$$d_S = \left(x_S^k\right)_2 - \left(x_S^k\right)_1 \tag{4.70}$$

ve bunların kofaktörler matrisi,

$$\left(Q_{dd}\right)_S = \left(Q_{SS}^k\right)_1 + \left(Q_{SS}^k\right)_2 \tag{4.71}$$

hesaplanır. Düzeltmelerin ağırlıklı kareleri toplamı için artım miktarı (4.63)'e benzer şekilde

$$R_S = d_S^T \left(Q_{dd}\right)_{SS}^+ d_S \tag{4.72}$$

ile elde edilir. (4.65)-(4.72) arası işlemler x_E alt vektöründeki her bir nokta için yinelenerek her defasında x_S ve x_H ayrımına karşılık bir R_S değeri hesaplanır. Global test neticesinde kontrol ağının herhangi bir deformasyon olduğuna karar verilmiş ise p eşlenik nokta sayısı olmak üzere,

$$\left(R_S\right)_{\min} = \min\left(R_{S,i} \quad i = 1, 2, \ldots, p\right) \tag{4.73}$$

$\left(R_S\right)_{\min}$ olan noktadaki hareketin istatistiksel olarak anlamlı olduğu ifade edilir. (4.64)'e göre,

$$T_S = \frac{R_S}{h_S . s_0^2} \tag{4.74}$$

test büyüklüğü hesaplanır. Test büyüklüğü $T_S > F\{h_S, f, \alpha\}$ F testi sınır değerinden büyük ise $\left(R_S\right)_{\min}$ olan noktada α yanılma olasılığı ile anlamlı hareket olduğuna karar verilir. Sonraki adımlarda bu nokta x_D vektörü içine alınarak test tekrarlanır, (Doğanalp 2009, İnal 2002, Demirel 1987).

4.2.2.5. Bağıl güven elipsleri yöntemi ile yerelleştirme

Jeodezik kontrol ağlarının analizinde kullanılan Bağıl Güven Elipsleri Yöntemi (Karlsruhe Yaklaşımı) günümüzdeki şekliyle her adımda doğrusal hipotez testi teorisini çok sayıda ardışık olarak kullanmaktadır.

Birinci aşamada ölçme her ölçme dönemine ait ölçüler serbest ağ dengelemesi yöntemi ile dengelenmektedir. Elektronik olarak ölçülen kenarlar için sıfır eki düzeltmeleri ve ölçek faktörleriyle doğrultu ve kenar ağları ayrı ayrı dengelenerek ağırlık ilişkileri ve varyanslar belirlenir. Öncelikle uyuşumsuz ölçü testlerinden biri kullanılarak kaba hatalı ve uyuşumsuz ölçüler araştırılır. Her adımda en büyük test büyüklüğüne sahip ölçü uyuşumsuz kabul edilmekte ve o ölçünün ağırlık değeri düşürülerek düzeltmelerin ağırlıklı kareleri üzerindeki etkisi azaltılmaktadır. Ardından belirlenen yeni ağırlık ile dengeleme hesabı yinelenir. İşlem global uyuşum testi sonucu olumlu çıkana kadar sürdürülür. Birinci aşamanın sonucu matematiksel model

$$\begin{aligned} &\ell_i + v_i = A_i x_i \\ &K_{\ell_i \ell_i} = s_0^2 \cdot Q_{\ell_i \ell_i} \\ &\operatorname{cov}(\ell_i, \ell_j) = 0, \quad i = j \end{aligned} \tag{4.75}$$

şeklinde oluşur. Burada **i** ve **j** indisleri $\mathbf{t_i}$ ve $\mathbf{t_j}$ ölçme dönemlerini göstermektedir. Bu model koşulsuz sıfır hipotezinin matematiksel modeline karşılık olup ikinci adımdaki tüm testlerin temelini oluşturmaktadır. Ölçme dönemlerine ait Ω_i karesel formlarından ve $\mathbf{f_i}$ serbestlik derecelerinden tüm düzeltmelerin karelerinin ağırlıklı toplamı Ω ve toplam serbestlik derecesi **f** bulunur.

$$\Omega = \sum_{i=1}^{n} \Omega_i \tag{4.76a}$$

$$f = \sum_{i=1}^{n} f_i \tag{4.76b}$$

4.2.2.5.1. Referans noktalarının hareketsizliğinin belirlenmesi

Yöntemin ikinci aşamasında kontrol ağının bölümlerinin uygunluğu üzerinde durulmaktadır. Kontrol ağının bölümlere ayrılmasında öncül gruplandırma hareketsiz olduğu öngörülen referans noktaları ve hareketli olacağı beklenilen obje noktaları biçiminde olmaktadır. Referans noktalarını kapsayan ağ bölümünün hareketsiz olduğu varsayıldığından ikinci aşamada tüm incelemeler bu bölümde yoğunlaşır. Ağ bölümlerinin uygunluğunu kontrol etmek için bütün ölçme dönemlerine ait ölçüler birlikte dengelenir. Sıfır hipotezi $\mathbf{H_0}$ (tüm referans noktaları hareketsizdir)'da bilinmeyenler vektörü içinde referans noktaları için birer çift koordinat bilinmeyeni, obje noktaları içinse çok sayıda koordinat bilinmeyeni öngörülür. Seçenek hipotezinde ise en az bir referans noktasının hareket ettiği varsayılır. Yalnız iki ölçme döneminin birlikte değerlendirilmesi halinde fonksiyonel model

$$\begin{bmatrix} \ell_1 \\ \ell_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{R1} & A_{O1} & 0 \\ A_{R2} & 0 & A_{O2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_R \\ x_{O1} \\ x_{O2} \end{bmatrix} \tag{4.77}$$

olur. Burada,

x_R : referans noktaları koordinat bilinmeyenleri vektörü

x_{O1} : t_1 ölçme dönemi obje noktaları koordinat bilinmeyenleri vektörü

x_{O2} : t_2 ölçme dönemi obje noktaları koordinat bilinmeyenleri vektörü

dür. Bu model bizi Ω ile karşılaştırılan Ω_H karesel formuna götürür. Buna karşılık **h** koşullarının sayısı iki boyutlu konum ağında,

$$h = 2 \times (referans\,noktaları\ sayısı) - d \tag{4.78}$$

olur. T test büyüklüğü, seçilen α istatistiksel yanılma olasılığı için F{h, f, α} test değerinden küçükse ağın tüm referans noktalarının sabit olduğu yani yer değiştirmediği yargısına varılır. Aksi takdirde referans noktaları arasında hareketli olan noktalar adım adım araştırılır. Bunun için sıra ile her defa bir nokta değişken alınır. Bu nedenle (4.77) modelindeki $\mathbf{x_R}$ alt vektöründen $\mathbf{R_i}$ noktasının koordinatları x_{R1i} ($\mathbf{R_i}$ noktasının $\mathbf{t_1}$ ölçme dönemindeki koordinat bilinmeyenleri) ve x_{R2i} ($\mathbf{R_i}$ noktasının $\mathbf{t_2}$ ölçme dönemindeki koordinat bilinmeyenleri) olarak ayrılır. Fonksiyonel modelin yeni şekli ise

$$\begin{bmatrix} \ell_1 \\ \ell_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{R1} & A_{O1} & A_{R1i} & 0 & 0 \\ A_{R2} & 0 & 0 & A_{O2} & A_{R2i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_R \\ x_{O1} \\ x_{R1i} \\ x_{O2} \\ x_{R2i} \end{bmatrix} \tag{4.79}$$

olur. Her defasında düzeltmelerin karelerinin ağırlıklı toplamı Ω_H için farklı **R(\i)** büyüklüğü bulunur, (\i, i'inci noktasız anlamında).

Referans noktaları kümesinden çıkarılması durumunda en küçük Ω_H, dolayısıyla **R** değerini veren noktanın anlamlı olarak yer değiştirdiği kabul edilir. Bu durumda test büyüklüğü

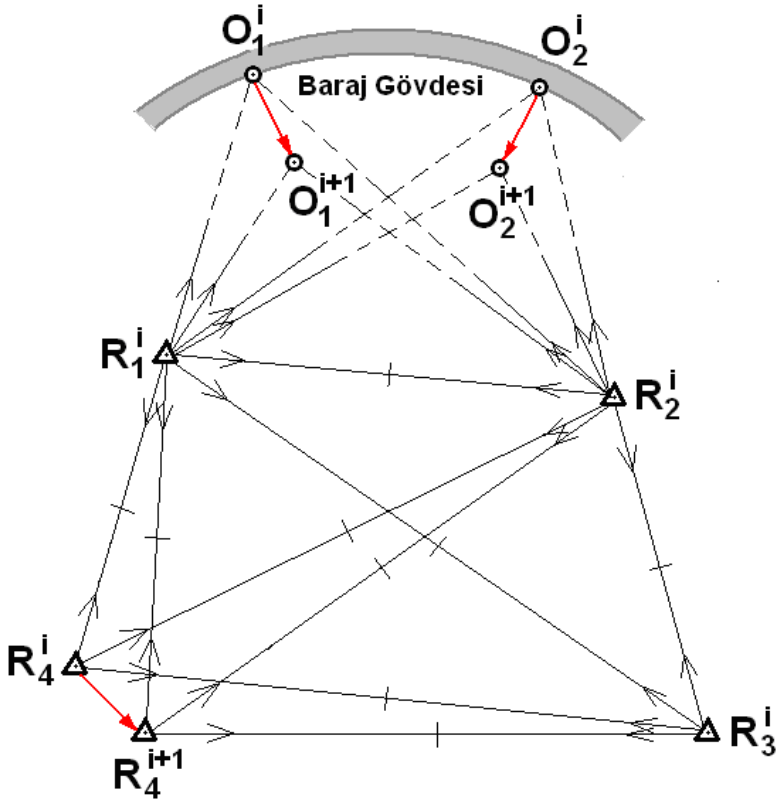
$$T(\backslash i) = \frac{R(\backslash i)\min}{(h-2)\,.\,s_0^2} \tag{4.80}$$

dir, (h-2 iki boyutlu dengeleme için geçerlidir). Bu referans noktası bir sonraki adımda obje noktası gibi değerlendirilir. T(\i) test büyüklüğü hala F{h-2, f, α} test değerinden büyükse kalan referans noktaları arasından kararsız olanlar

işlem tekrarlanarak belirlenir. Böylece analiz yönteminin ikinci aşamasında objenin mutlak deformasyonlarının belirlenmesine temel dayanak olacak hareketsiz referans noktaları kümesi belirlenmiş olur.

4.2.2.5.2. Obje noktalarında deformasyonların yerelleştirilmesi

Üçüncü aşamada kontrol ağının hareketsiz bölümünden yararlanarak obje noktaları kümesinde tek nokta hareketleri araştırılır. Bu aşamada jeodezik kontrol ağı (Şekil-6.)'de görüldüğü gibidir.



Şekil-4.06 t_1 ve t_2 ölçme dönemlerinde jeodezik kontrol ağının yapısı

Sıfır hipotezi $\mathbf{H_0}$, tüm ölçme dönemlerinde kararlı ağ bölümünün referans noktaları ile birlikte dikkate alının iki ölçme dönemi arasında hareketli $\mathbf{O_i}$ noktasının da yer değiştirmediği şeklindedir. Sıfır hipotezinden farklı olarak seçenek hipotezi $\mathbf{H_A}$ böyle hareketlere olanak tanır. Diğer noktalar yani obje noktaları için her iki hipotezde de bir yargıda bulunulmaz. İki ölçme döneminin birlikte dengelenmesinde bilinmeyenler vektörü (4.77) modeline göre

$$x^T = [x_R \; x_{O1} \; x_{O2}] \tag{4.81}$$

şeklindeydi. Bu gruplamaya uygun olarak **Bx=w** koşul denklemlerinde geçen **B** matrisi ve **w** vektörü, **I** iki boyutlu birim matris olarak sırayla incelenecek her $\mathbf{O_i}$ obje noktası çiftinin $\mathbf{x_{O1}}$ ve $\mathbf{x_{O2}}$ alt bilinmeyenler vektörlerindeki dizilişine karşı gelmek üzere (4.77) bağıntısına benzetilerek

$$B = [R \quad 0 \quad \ldots \quad -I \quad \ldots \quad 0 \ldots \quad I \quad \ldots] \tag{4.82}$$
$$w = 0$$

şeklinde alınarak sıfır ve seçenek hipotezleri

$$H_a \quad : \; x_{O2} - x_{O1} = 0 \tag{4.83}$$
$$H_0 \quad : \; x_{O2} - x_{O1} = d = 0$$

olarak öngörülür. Her obje noktası için $\mathbf{d_i}$ fark vektörü

$$d_i = B.d \qquad \text{ya da} \tag{4.84}$$
$$d_i = \begin{bmatrix} dx \\ dy \end{bmatrix}_i = \begin{bmatrix} x_{O2} - x_{O1} \\ y_{O2} - y_{O1} \end{bmatrix}_i$$

şeklinde açık olarak yazılabilir. (4.77) fonksiyonel modeline uygun olarak ağırlık katsayıları matrisi de,

$$Q_{xx} = \begin{bmatrix} Q_{RR} & Q_{RO1} & Q_{RO2} \\ Q_{O1R} & Q_{O1O1} & Q_{O1O2} \\ Q_{O2R} & Q_{O2O1} & Q_{O2O2} \end{bmatrix} \tag{4.85}$$

biçiminde alt matrislerden oluşur. Her obje noktası için fark vektörünün ağırlık katsayıları alt matrisi de (4.85) bağıntısına benzer olarak

$$Q_{di} = B\,Q_{xx}\,B^T = [Q_{O1O1} + Q_{O2O2} - Q_{O1O2} - Q_{O2O1}]_i \qquad \text{ya da} \tag{4.86}$$

$$Q_{di} = \begin{bmatrix} q_{dxdx} & q_{dxdy} \\ q_{dydx} & q_{dydy} \end{bmatrix}_i$$

şeklinde oluşur. İki boyutlu bu matrisin elemanları daha açık yazılacak olursa (3.41) ve (3.42)'ye uygun olarak,

$$(q_{dxdx})_i = (q_{xx}^{O1})_i + (q_{xx}^{O2})_i - 2(q_{xx}^{O1O2})_i \tag{4.87}$$
$$(q_{dydy})_i = (q_{yy}^{O1})_i + (q_{yy}^{O2})_i - 2(q_{yy}^{O1O2})_i$$
$$(q_{dxdy})_i = (q_{xy}^{O1})_i + (q_{xy}^{O2})_i - (q_{xy}^{O1O2})_i - (q_{yx}^{O1O2})_i$$
$$(q_{dxdy})_i = (q_{dydx})_i$$

bağıntılarından hesaplanır. Her $\mathbf{O_i}$ obje noktası için Ha seçenek hipotezince olanak tanınan $\mathbf{d_i}$ fark vektörünün deformasyon olup olmadığına karar verebilmek için test büyüklüğü,

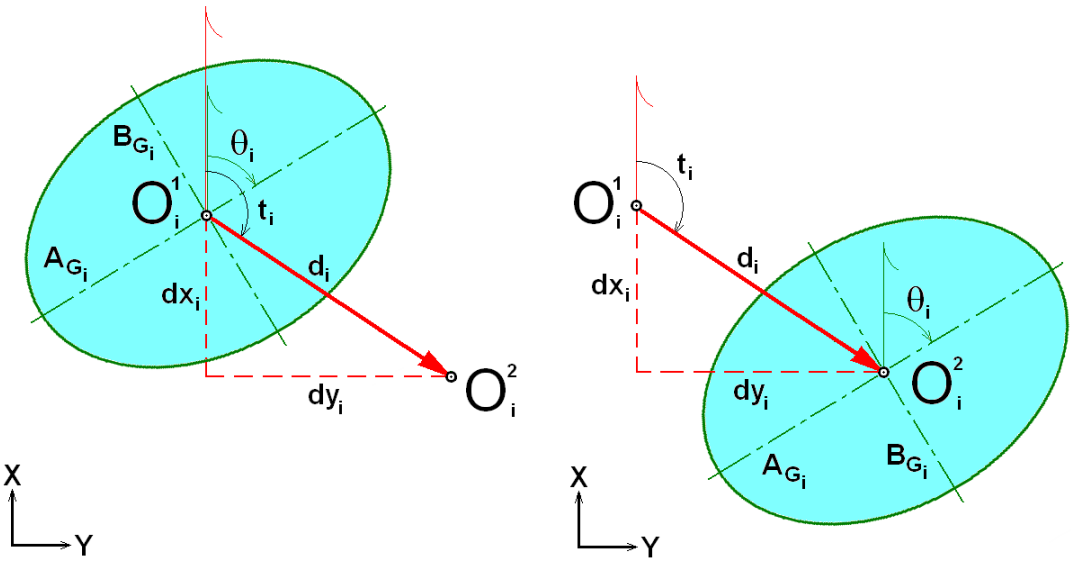
$$T_i = \frac{d_i^T Q_{di}^{-1} d_i}{2.s_o^2} \tag{4.88}$$

şeklinde oluşturulur. Test büyüklüğü α istatistiksel yanılma olasılığı, f_1=2 ve f_2=f serbestlik dereceleri ile F dağılımının buna ait sınır değeri F{2, f, α} 'dan büyükse o obje noktasının $\mathbf{t_1}$ ve $\mathbf{t_2}$ ölçme dönemleri arasında konum değiştirdiğine yani hareketli olduğu yargısına varılır. Bu durumda deformasyon vektörünün büyüklüğü ve yönü

$$d_i = \sqrt{dx_i^2 + dy_i^2} \qquad (4.89)$$

$$t_i = \arctan\left(\frac{dy_i}{dx_i}\right)$$

bağıntılarından hesaplanır. Aksi durumda karar, $\mathbf{d_i}$ fark vektörünün seçilen α yanılma olasılığı ile istatistiksel olarak anlamlı olmadığı şeklindedir. Yani $\mathbf{d_i}$ kaçınılmaz ölçü hatalarından kaynaklanmaktadır, /4/,/18/.



a- t_1 ölçme döneminde deformasyon vektörü ve bağıl güven elipsi

b- t_2 ölçme döneminde deformasyon vektörü ve bağıl güven elipsi

Şekil-4.07 Deformasyon vektörü ve bağıl güven elipsi elemanları

4.2.2.4.3. Deformasyonların grafik olarak gösterimi

(4.88) test büyüklüğü geometrik olarak da yorumlanabilir. $\mathbf{O_i}$ obje noktasına ait $\mathbf{d_i}$ fark vektörünün varyans-kovaryans matrisinin tersi

$$K_{di}^{-1} = \frac{1}{s_0} Q_{di}^{-1} \qquad (4.90)$$

dir. Bu eşitlik test büyüklüğünün sağ tarafında yerine konulur ve T_i=F{2, f, α} alınırsa,

$$d_i^T \, K_{di}^{-1} \, d_i = 2.F\{2, f, \alpha\} \qquad (4.91)$$

elde edilir. Bu eşitlik bir elips denklemidir ve dengeleme sonucu bulunan $\mathbf{O_{i1}}$ ve $\mathbf{O_{i2}}$ nokta çiftine ait güven elipsini verir. Dengeleme sonuçlarından, önce $\mathbf{d_i}$ fark vektörü ve $\mathbf{Q_{di}}$ ağırlık katsayıları matrisi hesaplanır. Sonra

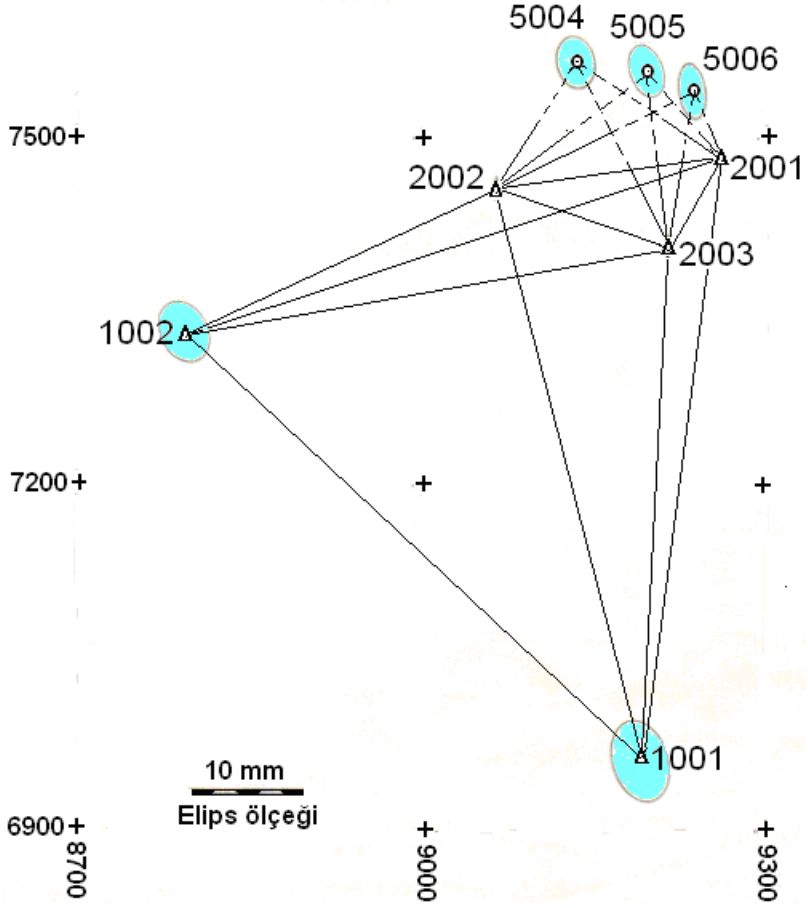
$$
\begin{aligned}
A_H &= s_0 \sqrt{A} \\
B_H &= s_0 \sqrt{B} \\
A &= \frac{1}{2}\left(Q_{dxdx} + Q_{dydy} + Q\right) \\
B &= \frac{1}{2}\left(Q_{dxdx} + Q_{dydy} - Q\right) \\
Q &= \sqrt{\left(Q_{dxdx} + Q_{dydy}\right)^2 + 4Q_{dxdy}}
\end{aligned}
\tag{4.92}
$$

bağıntıları ile Helmert bağıl hata elipsinin eksen uzunlukları belirlenir. Bu uzunluklarda 2.F{2, f, α} ile büyütülerek seçilen α istatistiksel yanılma olasılığı ile $\mathbf{O_i}$ nokta çifti için güven alanını gösteren bağıl güven elipsinin eksenleri bulunmuş olur. Bu elipsin dönüklüğü de,

$$\theta_i = \frac{1}{2} Arc\tan\left(\frac{2Q_{dxdy}}{Q_{dxdx} - Q_{dydy}}\right) \tag{4.93}$$

bağıntısından hesaplanır, /4/. Deformasyonların çizimsel gösterimi için dengeleme sonuçlarına göre nokta çiftleri ölçekli olarak kanava üzerine çizilir. Elemanları hesaplanmış bağıl güven elipsi bu noktalardan biri üzerine yerleştirilir, (Şekil-4.07). Eğer nokta çiftinin diğeri bu elipsin dışında kalıyorsa $\mathbf{O_i}$ obje noktası (t_2-t_1) zaman aralığında konum değiştirmiştir yorumu yapılır, /4/, /18/.

Uygulama 4.01 (Açık hipotez): Bir çift eğrilikli kemer baraj olan Oymapınar Barajı'nda 5 referans ve 3 obje noktasından oluşan yatay jeodezik kontrol ağı iki ölçme döneminde gözlenmiştir. Ağ geometrisi Şekil 4.08'de noktaların yaklaşık koordinatları ise Tablo 4.01'de verilmiştir. Bu dönemlerde yapılan ölçüler ile ölçülere ait öncül standart sapma değerleri doğrultu ölçüleri için Tablo 4.02'de kenar ölçüleri içinse Tablo 4.03'de görülmektedir.



Şekil 4.08 Oymapınar Barajı jeodezik kontrol ağı

Tablo 4.01 Jeodezik kontrol ağı noktalarının koordinatlarının yaklaşık değerleri

Nokta No	**Y (m)**	**X (m)**
1	***2***	***3***
Referans noktaları		
1001	6960.5951	9190.9361
1002	7332.7732	8793.4275
2001	7481.9086	9258.4941
2002	7456.7276	9064.4284
2003	7409.2068	9213.0999
Obje noktaları		
5004	7565.5821	9133.5871
5005	7558.3804	9195.0786
5006	7540.9373	9235.0315
	Y_0= 7413,2639	**X_0= 9135,5104**

Tablo 4.02 Oymapınar Barajı jeodezik kontrol ağı doğrultu ölçüleri

1. Ölçme Periyotu					2. Ölçme Periyotu			
1	*2*	*3*	*4*		*5*	*6*	*7*	*8*
D.N.	**B.N.**	**Doğrultu** (grad)	**σ(r)** (cc)		**D.N.**	**B.N.**	**Doğrultu** (grad)	**σ(r)** (cc)
1001	1002	0.00000	3.0		1001	1002	0.00000	3.0
	2002	36.19990				2002	36.19972	
	2003	55.23662				2003	55.23658	
	2001	60.29888				2001	60.29801	
1002	2002	0.00000	3.0		1002	2002	0.00000	3.0
	2003	15.84119				2001	7.55490	
	1001	75.21577				2003	15.84092	
						1001	75.21513	
2001	1001	0.00000	3.0		2001	1001	0.00000	3.0
	2003	27.32931				2003	27.32815	
	2002	83.57995				1002	72.04025	
						2002	83.58148	
2002	2001	72.84648	3.0		2002	1001	0.00000	3.0
	2003	100.75613				1002	88.58458	
	1001	160.16609				2001	307.67972	
	1002	253.75035				2003	335.58920	
2003	1002	0.00000	3.0		2003	1001	0.00000	3.0
	2002	31.16408				1002	85.38818	
	2001	147.00262				2002	116.55287	
	1001	314.61166				2001	232.39095	
2001	2002	0.00000	5.0		2001	2002	0.00000	5.0
	5004	45.78902				5004	45.77974	
	5005	64.13777				5005	64.12339	
	5006	84.12651				5006	84.11202	
	2003	343.75040				2003	343.74631	
2002	2003	0.00000	5.0		2002	2003	0.00000	5.0
	5004	316.33728				5004	316.34586	
	5005	338.21014				5005	338.21869	
	5006	351.11441				5006	351.12061	
	2001	372.08997				2001	372.09036	
2003	1002	0.00000	5.0		2003	2002	0.00000	5.0
	5004	8152283				5004	50.35304	
	5005	103.81562				5005	72.64699	
	5006	121.97123				5006	90.80505	
	2001	147.00317				2001	115.83773	

Kenar ölçülerinin öncül standart sapma değerleri $\sigma(s) = a + b\,S_{km}$ mm eşitliği ile hesaplanmıştır. Tablo-4.03'ün 4'üncü ve 8'inci sütunlarında verilen değerlerin hesabında kullanılan bu eşitlikteki a=5 mm ve b=5 değerleri ölçmede kullanılan alet için üretici firma tarafından verilen değerlerdir.

Tablo 4.03 Oymapınar Barajı jeodezik kontrol ağı kenar ölçüleri

1. Ölçme Periyotu					2. Ölçme Periyotu			
1	*2*	*3*	*4*		*5*	*6*	*7*	*8*
D.N.	**B.N.**	**Kenar** (m)	**σ(s)** (cm)		**D.N.**	**B.N.**	**Kenar** (m)	**σ(s)** (cm)
1001	1002	544.5233	0.7723		1001	1002	544.5205	0.7723
1001	2001	525.6777	0.7628		1001	2001	525.6667	0.7628
1001	2003	449.1620	0.7246		1001	2002	511.9968	0.7560
1002	2003	426.5675	0.7133		1001	2003	449.1563	0.7246
2001	1002	488.4016	0.7442		1002	2003	426.5523	0.7133
2001	2002	195.7009	0.5979		2001	1002	488.3655	0.7442
2001	2003	85.7170	0.5429		2001	2002	195.6829	0.5979
2002	1002	298.0016	0.6490		2001	2003	85.7113	0.5429
					2002	1002	297.9812	0.6490
					2002	2003	156.0821	0.5780

t_1 ve t_2 ölçme dönemlerinde yapılan doğrultu+kenar ölçülerinin *tüm iz=min.* dengeleme hesabı sonucunda elde edilen koordinat değerleri, bunların kofaktörler matrisleri, düzeltmelerin ağırlıklı kareleri toplamları ve varyans değerleri aşağıda kısım 1. ve 2.'de verilmiştir.

a) İki ölçme dönemi için elde edilen varyans değerlerinin uyuşumlu olup olmadığını gösteriniz.

b) Jeodezik kontrol ağının herhangi bir yerinde anlamlı yatay hareket olup olmadığını belirleyiniz.

c) Jeodezik kontrol ağında referans noktaları kümesinin hareketli olup olmadığını sorgulayınız.

d) Referans noktaları kümesindeki hareketli nokta var ise bu nokta veya noktaları belirleyiniz.

e) Hareketli obje noktalarını ardışık olarak irdeleyiniz.

f) 5005 numaralı hareketli obje noktasındaki bağıl güven elipsinin elemanlarını hesaplayınız.

1. 1.ölçme dönemi tüm iz=min. serbest ağ dengelemesi sonuçları

1. ölçme dönemine ait Tablo-4.02'de verilen doğrultu ölçüleri ile Tablo-4.03'de verilen kenar ölçüleri doğrultu+kenar ağı olarak dolaylı ölçüler dengelemesi yöntemi ile *tüm iz=min.* ilkesine göre serbest ağ olarak dengelenmiştir. Kontrol ağı noktalarının yaklaşık koordinatları olarak Tablo-01'de verilen

değerler alınmış ve G matrisi bu değerler ağırlık merkezine indirgenerek oluşturulmuştur. Stokastik model için ağırlık matrisinin hesabında birim ağırlıklı ölçünün standart sapması olarak referans noktalarının öncül standart sapma değeri $s_0=3^{cc}$ değeri seçilmiştir. Bu durumda;

Referans noktalarındaki doğrultu ölçülerinin ağırlıkları : $P_R = \left(\frac{3^{cc}}{3^{cc}}\right)^2 = 1$

Obje noktalarına yapılan doğrultu ölçülerinin ağırlıkları : $P_O = \left(\frac{3^{cc}}{5^{cc}}\right)^2 = 0.36$

Kenar ölçülerinin ağırlıkları ise : $P_K = \left(\frac{3^{cc}}{s_K^{cm}}\right)^2 = a\,\frac{cc^2}{cm^2}$

olmaktadır, (Not: s_k değeri olarak her kenar ölçüsü için Tablo-4.03'de verilen değerler kullanılmıştır.).

Bu şekilde oluşturulan kontrol ağının dengeleme hesabı sonrası hesaplanan nokta koordinatlarına ait kofaktörler (ağırlık katsayıları) matrisi Tablo-4.04'de verilmiştir.

Tablo-4.04 1.Ölçme Dönemi dengeleme hesabı kofaktörler matrisi (cm^2/cc^2 biriminde)

referans noktaları

$Q_{x_1x_1}=$

$q_{x_{1001}}$ q_{yx}	q_{xy} $q_{y_{1001}}$	$q_{x_{1002}}$ q_{yx}	q_{xy} $q_{y_{1002}}$	$q_{x_{2001}}$ q_{yx}	q_{xy} $q_{y_{2001}}$	$q_{x_{2002}}$ q_{yx}	q_{xy} $q_{y_{2002}}$	$q_{x_{2003}}$ q_{yx}	q_{yx} $q_{y_{2003}}$						
0.0109271	-0.0010223	0.0011542	0.0056298	-0.0013658	-0.0024873	-0.0007590	0.0017890	0.0002436	-0.0014607	-0.0035863	0.0003933	-0.0034704	-0.0009543	-0.0031434	-0.0018875
-0.0010223	0.0006735	0.0003574	-0.0009914	0.0001655	0.0000068	0.0002713	-0.0000839	0.0001844	0.0000327	0.0001735	0.0001121	0.0000036	0.0001392	-0.0001333	0.0001110
0.0011542	0.0003574	0.0012652	0.0015831	-0.0001881	-0.0007366	-0.0000122	0.0004165	0.0002457	-0.0004080	-0.0009804	-0.0001129	-0.0008131	-0.0004468	-0.0006714	-0.0006528
0.0056298	-0.0009914	0.0015831	0.0062997	-0.0009008	-0.0017929	-0.0007089	0.0007582	-0.0000129	-0.0012157	-0.0020670	-0.0003465	-0.0018893	-0.0011273	-0.0016340	-0.0015841
-0.0013658	0.0001655	-0.0001881	-0.0009008	0.0006493	0.0001877	0.0003053	-0.0000530	0.0002830	0.0000750	0.0001384	0.0001064	0.0001242	0.0002063	0.0000536	0.0002129
-0.0024873	0.0000068	-0.0007366	-0.0017929	0.0001877	0.0014363	-0.0001798	-0.0012072	-0.0008243	0.0006883	0.0013995	-0.0004938	0.0014140	0.0003646	0.0012267	0.0009980
-0.0007590	0.0002713	-0.0000122	-0.0007089	0.0003053	-0.0001798	0.0005746	0.0003689	0.0005658	0.0000412	-0.0002612	0.0002239	-0.0002195	0.0000600	-0.0001939	-0.0000764
0.0017890	-0.0000839	0.0004165	0.0007582	-0.0000530	-0.0012072	0.0003689	0.0019848	0.0010321	-0.0004280	-0.0015439	0.0004896	-0.0011990	-0.0004911	-0.0008106	-0.0010224
0.0002436	0.0001844	0.0002457	-0.0000129	0.0002830	-0.0008243	0.0005658	0.0010321	0.0011324	-0.0001797	-0.0008898	0.0004597	-0.0008537	-0.0001135	-0.0007270	-0.0005459
-0.0014607	0.0000327	-0.0004080	-0.0012157	0.0000750	0.0006883	0.0000412	-0.0004280	-0.0001797	0.0005676	0.0006371	-0.0002342	0.0006800	0.0001435	0.0006150	0.0004459
-0.0035863	0.0001735	-0.0009804	-0.0020670	0.0001384	0.0013995	-0.0002612	-0.0015439	-0.0008898	0.0006371	0.0030205	-0.0004682	0.0014855	0.0006378	0.0010733	0.0012311
0.0003933	0.0001121	-0.0001129	-0.0003465	0.0001064	-0.0004938	0.0002239	0.0004896	0.0004597	-0.0002342	-0.0004682	0.0009894	-0.0003296	-0.0001631	-0.0002725	-0.0003535
-0.0034704	0.0000036	-0.0008131	-0.0018893	0.0001242	0.0014140	-0.0002195	-0.0011990	-0.0008537	0.0006800	0.0014855	-0.0003296	0.0026696	0.0001625	0.0010775	0.0011578
-0.0009543	0.0001392	-0.0004468	-0.0011273	0.0002063	0.0003646	0.0000600	-0.0004911	-0.0001135	0.0001435	0.0006378	-0.0001631	0.0001625	0.0008304	0.0004479	0.0003037
-0.0031434	-0.0001333	-0.0006714	-0.0016340	0.0000536	0.0012267	-0.0001939	-0.0008106	-0.0007270	0.0006150	0.0010733	-0.0002725	0.0010775	0.0004479	0.0025312	0.0005608
-0.0018875	0.0001110	-0.0006528	-0.0015841	0.0002129	0.0009980	-0.0000764	-0.0010224	-0.0005459	0.0004459	0.0012311	-0.0003535	0.0011578	0.0003037	0.0005608	0.0011015
										$q_{x_{5004}}$ q_{yx}	q_{xy} $q_{y_{5004}}$	$q_{x_{5005}}$ q_{yx}	q_{xy} $q_{y_{5005}}$	$q_{x_{5006}}$ q_{yx}	q_{xy} $q_{y_{5006}}$

obje noktaları

Dengeleme hesabı sonrası düzeltmelerin ağırlıklı kareleri toplamı $\Omega_1 = [Pv_1v_1] = 233.150779\,cc^2$, serbestlik değeri $f_1 = (33+8)-(8\times 2+8)+3 = 20$ olarak belirlenmiştir. 1. ölçme dönemine ilişkin dengeleme sonrası birim ağırlıklı ölçünün soncul varyans ve standart sapma değerleri,

$$s_{01}^2 = \frac{233.150779}{20} = 11.657539\, cc^2 \quad \rightarrow \quad s_{01} = 3.4143\, cc$$

olarak belirlenmiştir.

Öncül ve soncul varyans değerlerinin uyuşumlu olup olmadığı yani ağırlık değerlerinin uygun seçilip seçilmediğini belirlemek için varyans uyuşum testi yapılmış ve

$$T_1 = \left(\frac{3.4143}{3}\right)^2 = 1.295 \quad < \quad F_1\{20, \infty, 0.05\} = 1.570$$

olduğu görülerek varyans değerlerinin uyuşumlu olduğu tespit edilmiştir.

Dengeleme sonrası referans+obje kesin koordinat değerleri özet çizelgesi (x koordinat vektörü bileşenlerini içeren) Tablo-4.05'de görülmektedir.

Tablo-4.05 1.Ölçme Dönemi kesin koordinat özet çizelgesi

$\Omega_1 =$

```
[PVV] =  233.150779
 So1  = +/-3.4143 cc
```

KOORDİNAT ÖZET ÇİZELGESİ

NOKTA NO.	DX (cm)	X=X0+DX (m)	K.O.H. Mx (cm)	DY (cm)	Y=Y0+DY (m)	K.O.H. My (cm)	H.N.H. Mp (cm)	H A T A AÇIKLIK (g)	E L İ P S İ A (cm)	B (cm)
					REFERANS NOKTALARI					
1001	0.16	6960.59674	0.36	-0.15	9190.93465	0.09	0.37	193.73	0.36	0.08
1002	-0.04	7332.77278	0.12	0.25	8793.42997	0.27	0.30	82.13	0.28	0.10
2001	0.10	7481.90958	0.09	0.27	9258.49675	0.13	0.16	85.83	0.13	0.08
2002	-0.07	7456.72686	0.08	-0.17	9064.42670	0.15	0.17	84.66	0.16	0.08
2003	-0.16	7409.20517	0.11	-0.02	9213.09968	0.08	0.14	181.96	0.12	0.08
					OBJE NOKTALARI					
5004	-0.03	7565.58180	0.19	-0.02	9133.58691	0.11	0.22	186.25	0.19	0.10
5005	0.00	7558.38044	0.18	-0.06	9195.07798	0.10	0.20	5.57	0.18	0.10
5006	0.04	7540.93775	0.17	-0.09	9235.03057	0.11	0.21	21.17	0.18	0.10

2. 2.ölçme dönemi tüm iz=min. serbest ağ dengelemesi sonuçları

2. ölçme dönemine ait Tablo-4.02'de verilen doğrultu ölçüleri ile Tablo-4.03'de verilen kenar ölçüleri de yine doğrultu+kenar ağı olarak dolaylı ölçüler dengelemesi yöntemi ile *tüm iz=min.* ilkesine göre serbest ağ olarak dengelenmiştir. Kontrol ağı noktalarının yaklaşık koordinatları olarak datum birliğini sağlamak amacıyla Tablo-01'de verilen değerler alınmış ve yine G matrisi bu değerler ağırlık merkezine indirgenerek oluşturulmuştur. Ağırlık matrisinin hesabında birim ağırlıklı ölçünün standart sapması olarak 1. ölçme döneminde olduğu gibi referans noktalarının öncül standart sapma değeri

$s_0=3^{cc}$ değeri seçilmiş ve yine ölçü grupları için 1. ölçme dönemindeki ağırlık değerleri aynı büyüklükler seçilmiştir.

1. ölçme dönemine benzer şekilde oluşturulan 2. ölçme dönemi kontrol ağının dengeleme hesabı sonrası hesaplanan nokta koordinatlarına ait kofaktörler (ağırlık katsayıları) matrisi Tablo-4.06'da verilmiştir.

Tablo-4.06 2.Ölçme Dönemi dengeleme hesabı kofaktörler matrisi (cm^2/cc^2 biriminde)

referans noktaları

$Q_{x_2x_2}=$

$q_{x_{1001}}$ q_{yx}	q_{xy} $q_{y_{1001}}$	$q_{x_{1002}}$ q_{yx}	q_{xy} $q_{y_{1002}}$	$q_{x_{2001}}$ q_{yx}	q_{xy} $q_{y_{2001}}$	$q_{x_{2002}}$ q_{yx}	q_{xy} $q_{y_{2002}}$	$q_{x_{2003}}$ q_{yx}	q_{yx} $q_{y_{2003}}$						
0.0088120	-0.0007997	0.0009236	0.0045237	-0.0010650	-0.0019828	-0.0005904	0.0013352	0.0001775	-0.0011837	-0.0028624	0.0003132	-0.0028085	-0.0007300	-0.0025867	-0.0014759
-0.0007997	0.0005972	0.0003198	-0.0008500	0.0001344	-0.0000145	0.0002493	-0.0000585	0.0001704	0.0000077	0.0001223	0.0001100	-0.0000358	0.0001210	-0.0001606	0.0000871
0.0009236	0.0003198	0.0011750	0.0014689	-0.0001997	-0.0005843	-0.0000244	0.0002789	0.0001732	-0.0003143	-0.0008517	-0.0001811	-0.0006679	-0.0004261	-0.0005281	-0.0005618
0.0045237	-0.0008500	0.0014689	0.0056266	-0.0007999	-0.0014674	-0.0006230	0.0004749	-0.0000794	-0.0009973	-0.0016783	-0.0004262	-0.0015120	-0.0010167	-0.0012998	-0.0013439
-0.0010650	0.0001344	-0.0001997	-0.0007999	0.0006107	0.0001188	0.0002947	0.0000011	0.0002956	0.0000274	0.0000644	0.0001414	0.0000357	0.0002013	-0.0000363	0.0001755
-0.0019828	-0.0000145	-0.0005843	-0.0014674	0.0001188	0.0012713	-0.0002204	-0.0010361	-0.0007770	0.0006183	0.0011535	-0.0004852	0.0012140	0.0002685	0.0010781	0.0008450
-0.0005904	0.0002493	-0.0000244	-0.0006230	0.0002947	-0.0002204	0.0005411	0.0003564	0.0005614	-0.0000056	-0.0002627	0.0002480	-0.0002606	0.0000762	-0.0002591	-0.0000809
0.0013352	-0.0000585	0.0002789	0.0004749	0.0000011	-0.0010361	0.0003564	0.0017388	0.0009571	-0.0003651	-0.0012530	0.0004712	-0.0009923	-0.0003774	-0.0006834	-0.0008478
0.0001775	0.0001704	0.0001732	-0.0000794	0.0002956	-0.0007770	0.0005614	0.0009571	0.0010998	-0.0001751	-0.0008031	0.0004640	-0.0008006	-0.0000710	-0.0007037	-0.0004889
-0.0011837	0.0000077	-0.0003143	-0.0009973	0.0000274	0.0006183	-0.0000056	-0.0003651	-0.0001751	0.0005425	0.0005119	-0.0002550	0.0005868	0.0000819	0.0005526	0.0003671
-0.0028624	0.0001223	-0.0008517	-0.0016783	0.0000644	0.0011535	-0.0002627	-0.0012530	-0.0008031	0.0005119	0.0026719	-0.0004083	0.0011939	0.0005279	0.0008497	0.0010239
0.0003132	0.0001100	-0.0001811	-0.0004262	0.0001414	-0.0004852	0.0002480	0.0004712	0.0004640	-0.0002550	-0.0004083	0.0010236	-0.0003039	-0.0001206	-0.0002733	-0.0003178
-0.0028085	-0.0000358	-0.0006679	-0.0015120	0.0000357	0.0012140	-0.0002606	-0.0009923	-0.0008006	0.0005868	0.0011939	-0.0003039	0.0024226	0.0000604	0.0008852	0.0009828
-0.0007300	0.0001210	-0.0004261	-0.0010167	0.0002013	0.0002685	0.0000762	-0.0003774	-0.0000710	0.0000819	0.0005279	-0.0001206	0.0000604	0.0008067	0.0003612	0.0002365
-0.0025867	-0.0001606	-0.0005281	-0.0012998	-0.0000363	0.0010781	-0.0002591	-0.0006834	-0.0007037	0.0005526	0.0008497	-0.0002733	0.0008852	0.0003612	0.0023789	0.0004252
-0.0014759	0.0000871	-0.0005618	-0.0013439	0.0001755	0.0008450	-0.0000809	-0.0008478	-0.0004889	0.0003671	0.0010239	-0.0003178	0.0009828	0.0002365	0.0004252	0.0009739
										$q_{x_{5004}}$ q_{yx}	q_{xy} $q_{y_{5004}}$	$q_{x_{5005}}$ q_{yx}	q_{xy} $q_{y_{5005}}$	$q_{x_{5006}}$ q_{yx}	q_{xy} $q_{y_{5006}}$

obje noktaları

2. ölçme dönemi gözlemlerinin dengeleme hesabı sonrası düzeltmelerinin ağırlıklı kareleri toplamı $\Omega_2=[Pv_2v_2]=313.373326\,cc^2$, serbestlik değeri $f_2=(35+10)-(8\times2+8)+3=24$ olarak belirlenmiştir. Bu ölçme dönemine ilişkin dengeleme sonrası birim ağırlıklı ölçünün soncul varyans ve standart sapma değerleri,

$$s_{02}^2=\frac{313.373326}{24}=13.057222\,cc^2 \quad\rightarrow\quad s_{02}=3.6135\,cc$$

olarak belirlenmiştir.

Öncül ve soncul varyans değerlerinin uyuşumlu olup olmadığı yani ağırlık değerlerinin uygun seçilip seçilmediğini belirlemek için varyans uyuşum testi yapılmış ve

$$T_2=\left(\frac{3.6135}{3}\right)^2=1.451 \quad < \quad F_2\{24,\infty,0.05\}=1.517$$

olduğu görülerek varyans değerlerinin uyuşumlu olduğu tespit edilmiştir.

Yine 2. ölçme dönemi gözlemlerinin dengelenmesi sonrası referans+obje noktalarının kesin koordinat değerleri özet çizelgesi (x koordinat bilinmeyenleri vektörü bileşenlerini içeren) Tablo-4.07'de verilmiştir.

Tablo-4.07 2.Ölçme Dönemi dengelenmiş koordinat değerleri

$\Omega_2=$

```
[PVV] =  313.373326
 So2  = +/-3.6135 cc
```

KOORDİNAT ÖZET ÇİZELGESİ

NOKTA NO.	DX (cm)	X=X0+DX (m)	K.O.H. Mx (cm)	DY (cm)	Y=Y0+DY (m)	K.O.H. My (cm)	H.N.H. Mp (cm)	H A T A AÇIKLIK (g)	E L İ P S İ A (cm)	B (cm)
				REFERANS NOKTALARI						
1001	2.55	6960.62063	0.34	0.32	9190.93933	0.09	0.35	193.88	0.34	0.08
1002	1.30	7332.78623	0.12	1.47	8793.44219	0.27	0.30	81.43	0.28	0.10
2001	0.86	7481.91720	0.09	-0.49	9258.48915	0.13	0.16	89.01	0.13	0.09
2002	0.94	7456.73703	0.08	0.48	9064.43320	0.15	0.17	82.91	0.15	0.08
2003	1.26	7409.21943	0.12	-0.08	9213.09905	0.08	0.15	182.14	0.12	0.08
				OBJE NOKTALARI						
7004	-2.49	7565.55718	0.19	0.29	9133.59004	0.12	0.22	185.36	0.19	0.11
7005	-2.63	7558.35411	0.18	-0.73	9195.07127	0.10	0.21	2.38	0.18	0.10
7006	-1.80	7540.91930	0.18	-1.25	9235.01898	0.11	0.21	17.33	0.18	0.11

a. İki ölçme dönemi varyans değerlerinin uyuşum testi

Global deformasyon analizi aşamasına geçmeden önce iki ölçme döneminin karşılaştırılabilmesi için bu dönemlere ilişkin ölçülerin aynı duyarlıkta olup olmadıklarının (4.31) eşitliklerine göre belirlenmesi gerekir. Bunun için iki taraflı F-dağılım testi uygulanır. Test büyüklüğünün belirlenmesi için iki ölçme döneminin varyans değeri daha büyük olanı küçük olana oranlanarak,

$$T=\frac{s_{02}^2}{s_{01}^2}=\frac{13.057222}{11.657539}=1.12$$

değeri elde edilir. Uygulamamızda 2. ölçme dönemine ait varyans değeri daha büyük olduğu için $F_1=f_2=24$ ve $F_2=f_1=20$ serbestlik değerleri alınarak iki yanlı F-dağılım tablosundan bulunan $F\{F_1=24, F_2=20, \alpha=0.05\}=2.03$ (ya da $\beta=0.95$ güven aralığı) değeri,

$$T=1.12\langle F=2.03$$

olduğundan olduğu için iki ölçme dönemine ilişkin ölçüler aynı duyarlıktadır. Dolayısıyla s_{01}^2 ve s_{02}^2 varyans değerleri yerine tek bir s_0^2 ortak varyans değeri kullanılabilir. Ortak varyans değeri (4.32b)'ye göre,

$$s_0^2 = \frac{\Omega_1 + \Omega_2}{f_1 + f_2} = \frac{233.150779 + 313.373326}{20 + 24} = \frac{546.524105}{44} = 12.4210\, cc^2$$

olarak elde edilir.

b. Açık hipotez ile ağın tümünde global deformasyon analizi

1. ölçme dönemi $\mathbf{t_1}$ zaman süreci ile 2. ölçme dönemi $\mathbf{t_2}$ zaman süreci arasında jeodezik kontrol ağının herhangi bir nokta grubunda anlamlı yer değiştirme olup olmadığını sorgulamak için *Açık Hipotez* yaklaşımına göre öncelikle koordinat farkları kofaktörler matrisi $\mathbf{Q_{dd}}$ (16*16 boyutlu) ve koordinat farkları vektörü **d** (16 satırlı) hesaplanmıştır. Kofaktörler matrisinin verildiği Tablo-4.08'de $\mathbf{Q_{RR}}$ (10*10 boyutlu) referans noktaları alt matrisi ve $\mathbf{Q_{OO}}$ (6*6 boyutlu) obje noktaları alt matrisi ile $\mathbf{Q_{RO}}$ (8*6 boyutlu) ve $\mathbf{Q_{OR}}$ (6*8 boyutlu) alt matrisleri de gösterilmiştir. Koordinat farkları vektörü ise Tablo-4.09'da verilmiş ve $\mathbf{Q_{dd}}$ kofaktörler matrisinin biriminin (cm^2/cc^2) olduğu için **d** fark vektörünün birimi de cm olarak belirlenmiştir.

Tablo-4.08 2. $d=x_2-x_1$ koordinat farkları kofaktörler matrisi (cm^2/cc^2 biriminde)

$\mathbf{Q_{dd}} = \mathbf{Q_{x_1x_1}} + \mathbf{Q_{x_2x_2}}$ — $\mathbf{Q_{RR}}$ — $\mathbf{Q_{RO}}$

referans noktaları

$\mathbf{Q_{dd}} =$

$q_{dx_{1001}}$ q_{dyx}	q_{dxy} $q_{dy_{1001}}$	$q_{dx_{1002}}$ q_{dyx}	q_{dxy} $q_{dy_{1002}}$	$q_{dx_{2001}}$ q_{dyx}	q_{dxy} $q_{dy_{2001}}$	$q_{dx_{2002}}$ q_{dyx}	q_{dxy} $q_{dy_{2002}}$	$q_{dx_{2003}}$ q_{dyx}	q_{dxy} $q_{dy_{2003}}$	$q_{dx_{5004}}$ q_{dyx}	q_{dxy} $q_{dy_{5004}}$	$q_{dx_{5005}}$ q_{dyx}	q_{dxy} $q_{dy_{5005}}$	$q_{dx_{5006}}$ q_{dyx}	q_{dxy} $q_{dy_{5006}}$
0.0197391	-0.0018220	0.0020778	0.0101535	-0.0024308	-0.0044701	-0.0013494	0.0031242	0.0004211	-0.0026444	-0.0064487	0.0007065	-0.0062789	-0.0016843	-0.0057301	-0.0033634
-0.0018220	0.0012707	0.0006772	-0.0018414	0.0002999	-0.0000077	0.0005206	-0.0001424	0.0003548	0.0000404	0.0002958	0.0002221	-0.0000322	0.0002602	-0.0002939	0.0001981
0.0020778	0.0006772	0.0024402	0.0030520	-0.0003878	-0.0013209	-0.0000366	0.0006954	0.0004189	-0.0007223	-0.0018321	-0.0002940	-0.0014810	-0.0008729	-0.0011995	-0.0012146
0.0101535	-0.0018414	0.0030520	0.0119263	-0.0017007	-0.0032603	-0.0013319	0.0012331	-0.0000923	-0.0022130	-0.0037453	-0.0007727	-0.0034013	-0.0021440	-0.0029338	-0.0029280
-0.0024308	0.0002999	-0.0003878	-0.0017007	0.0012600	0.0003065	0.0006000	-0.0000519	0.0005786	0.0001024	0.0002028	0.0002478	0.0001599	0.0004076	0.0000173	0.0003884
-0.0044701	-0.0000077	-0.0013209	-0.0032603	0.0003065	0.0027076	-0.0004002	-0.0022433	-0.0016013	0.0013066	0.0025530	-0.0009790	0.0026280	0.0006331	0.0023048	0.0018430
-0.0013494	0.0005206	-0.0000366	-0.0013319	0.0006000	-0.0004002	0.0011157	0.0007253	0.0011272	0.0000356	-0.0005239	0.0004719	-0.0004801	0.0001362	-0.0004530	-0.0001573
0.0031242	-0.0001424	0.0006954	0.0012331	-0.0000519	-0.0022433	0.0007253	0.0037236	0.0019892	-0.0007931	-0.0027969	0.0009608	-0.0021913	-0.0008685	-0.0014940	-0.0018702
0.0004211	0.0003548	0.0004189	-0.0000923	0.0005786	-0.0016013	0.0011272	0.0019892	0.0022322	-0.0003548	-0.0016929	0.0009237	-0.0016543	-0.0001845	-0.0014307	-0.0010348
-0.0026444	0.0000404	-0.0007223	-0.0022130	0.0001024	0.0013066	0.0000356	-0.0007931	-0.0003548	0.0011101	0.0011490	-0.0004892	0.0012668	0.0002254	0.0011676	0.0008130
-0.0064487	0.0002958	-0.0018321	-0.0037453	0.0002028	0.0025530	-0.0005239	-0.0027969	-0.0016929	0.0011490	0.0056924	-0.0008765	0.0026794	0.0011657	0.0019230	0.0022550
0.0007065	0.0002221	-0.0002940	-0.0007727	0.0002478	-0.0009790	0.0004719	0.0009608	0.0009237	-0.0004892	-0.0008765	0.0020130	-0.0006335	-0.0002837	-0.0005458	-0.0006713
-0.0062789	-0.0000322	-0.0014810	-0.0034013	0.0001599	0.0026280	-0.0004801	-0.0021913	-0.0016543	0.0012668	0.0026794	-0.0006335	0.0050922	0.0002229	0.0019627	0.0021406
-0.0016843	0.0002602	-0.0008729	-0.0021440	0.0004076	0.0006331	0.0001362	-0.0008685	-0.0001845	0.0002254	0.0011657	-0.0002837	0.0002229	0.0016371	0.0008091	0.0005402
-0.0057301	-0.0002939	-0.0011995	-0.0029338	0.0000173	0.0023048	-0.0004530	-0.0014940	-0.0014307	0.0011676	0.0019230	-0.0005458	0.0019627	0.0008091	0.0049101	0.0009860
-0.0033634	0.0001981	-0.0012146	-0.0029280	0.0003884	0.0018430	-0.0001573	-0.0018702	-0.0010348	0.0008130	0.0022550	-0.0006713	0.0021406	0.0005402	0.0009860	0.0020754

obje noktaları

$\mathbf{Q_{OR}}$ — $\mathbf{Q_{OO}}$

Serbest ağ dengelemesi ve jeodezik deformasyon analizinde kofaktörler matrislerinin pseudo invers alımında kullanılan **G** matrisi, jeodezik kontrol ağı noktalarının yaklaşık koordinat değerlerinin ağırlık merkezine indirgenmiş değerleri ile oluşturulmuştur. **G** matrisi, x ve y öteleme bileşenlerinin

katsayıları $\sqrt{n}$ ile, dönüklük ve ölçek bilinmeyenlerine ait bileşenler ise noktaların ağırlık merkezine olan uzaklıklarının ortalama değeri ile bölünerek normlaştırılmıştır. Kontrol ağında kenar ölçüleri de yapıldığı için ölçek bilinmeyenine karşılık olan son sütunü çıkarılarak oluşturulan 3 sütunlu **G** matrisi, Tablo-4.10'da verilmiştir.

Tablo-4.09 2. $d=x_2-x_1$ koordinat farkları vektörü (cm biriminde)

$$
\mathbf{d} = \begin{bmatrix} 6960.62063 \\ 9190.93933 \\ 7332.78623 \\ 8793.44219 \\ 7481.91720 \\ 9258.48915 \\ 7456.73703 \\ 9064.43320 \\ 7409.21943 \\ 9213.09905 \\ 7565.55718 \\ 9133.59004 \\ 7558.35411 \\ 9195.07127 \\ 7540.91930 \\ 9235.01898 \end{bmatrix}_{\mathbf{x_2}(m)} - \begin{bmatrix} 6960.59674 \\ 9190.93465 \\ 7332.77278 \\ 8793.42997 \\ 7481.90958 \\ 9258.49675 \\ 7456.72686 \\ 9064.42670 \\ 7409.20517 \\ 9213.09968 \\ 7565.58180 \\ 9133.58691 \\ 7558.38044 \\ 9195.07798 \\ 7540.93775 \\ 9235.03057 \end{bmatrix}_{\mathbf{x_1}(m)} = \begin{bmatrix} 2.389 \\ 0.468 \\ 1.345 \\ 1.222 \\ 0.762 \\ -0.760 \\ 1.017 \\ 0.650 \\ 1.426 \\ -0.063 \\ -2.462 \\ 0.313 \\ -2.633 \\ -0.671 \\ -1.845 \\ -1.159 \end{bmatrix}_{\mathbf{d}(cm)}
$$

$$
\begin{array}{l} x \\ y \\ x \\ y \\ x \\ y \\ x \\ y \\ x \\ y \\ x \\ y \\ x \\ y \\ x \\ y \end{array}
\begin{array}{l} 1001 \\ \\ 1002 \\ \\ 2001 \\ \\ 2002 \\ \\ 2003 \\ \\ 5004 \\ \\ 5005 \\ \\ 5006 \\ \\ \end{array}
\left.\begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{array}\right\} \mathbf{d_R}
\left.\begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{array}\right\} \mathbf{d_O}
$$

Referans Noktaları

Obje Noktaları

Tablo-4.10 Yaklaşık nokta koordinatları ile oluşturulmuş G matrisi

$$
\mathbf{G} = \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} 1/\sqrt{8} & 0 & -\Delta y/\Delta s_{ort.} \\ 0 & 1/\sqrt{8} & \Delta x/\Delta s_{ort.} \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0.35355 & 0.00000 & -0.08372 \\ 0.00000 & 0.35355 & -0.68374 \\ 0.35355 & 0.00000 & 0.51670 \\ 0.00000 & 0.35355 & -0.12158 \\ 0.35355 & 0.00000 & -0.18577 \\ 0.00000 & 0.35355 & 0.10369 \\ 0.35355 & 0.00000 & 0.10737 \\ 0.00000 & 0.35355 & 0.06565 \\ 0.35355 & 0.00000 & -0.11720 \\ 0.00000 & 0.35355 & -0.00613 \\ 0.35355 & 0.00000 & 0.00291 \\ 0.00000 & 0.35355 & 0.23007 \\ 0.35355 & 0.00000 & -0.08997 \\ 0.00000 & 0.35355 & 0.21919 \\ 0.35355 & 0.00000 & -0.15032 \\ 0.00000 & 0.35355 & 0.19285 \end{bmatrix} \end{array}
\begin{array}{l} 1001 \\ \\ 1002 \\ \\ 2001 \\ \\ 2002 \\ \\ 2003 \\ \\ 5004 \\ \\ 5005 \\ \\ 5006 \\ \\ \end{array}
\left.\begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{array}\right\} \mathbf{G_R}
\left.\begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{array}\right\} \mathbf{G_O}
$$

Referans Noktaları

Obje Noktaları

Tablo-4.11 Koordinat farkları ağırlık matrisi

$$P_{dd} = Q_{dd}^{+} = (Q_{dd}+GG^T)^{-1} - G(G^TGG^TG)^{-1}G^T$$

P_{RR} | P_{RO}

referans noktaları

$P_{dd} =$

$p_{dx_{1001}}$ p_{dyx}	p_{dxy} $p_{dy_{1001}}$	$p_{dx_{1002}}$ p_{dyx}	p_{dxy} $p_{dy_{1002}}$	$p_{dx_{2001}}$ p_{dyx}	p_{dxy} $p_{dy_{2001}}$	$p_{dx_{2002}}$ p_{dyx}	p_{dxy} $p_{dy_{2002}}$	$p_{dx_{2003}}$ p_{dyx}	p_{dxy} $p_{dy_{2003}}$	$p_{dx_{5004}}$ p_{dyx}	p_{dxy} $p_{dy_{5004}}$	$p_{dx_{5005}}$ p_{dyx}	p_{dxy} $p_{dy_{5005}}$	$p_{dx_{5006}}$ p_{dyx}	p_{dxy} $p_{dy_{5006}}$
84.91978	8.78228	-1.52698	-64.40345	-8.98893	11.11091	-23.33124	0.06411	-51.09142	44.28331	0.02262	0.04276	0.00698	0.05786	-0.01081	0.06222
8.78228	217.30449	104.91200	-48.72845	-253.47815	187.37202	167.05941	-7.03113	-27.24321	-348.28174	-0.04932	-0.15162	-0.01495	-0.20480	0.03194	-0.27871
-1.52698	104.91200	328.43451	-106.76848	192.18854	-208.47964	-471.50190	3.57788	-43.93922	239.08750	-4.39134	-8.60490	-1.33604	-11.18029	2.07241	-12.54398
-64.40345	-48.72845	-106.76848	162.58757	-53.91755	23.26797	231.64827	-57.52645	-7.23892	-85.67929	0.82928	1.61870	0.24776	2.10629	-0.39692	2.35362
-8.98893	-253.47815	192.18854	-53.91755	1826.54956	-1749.12374	-223.47074	217.90490	-1685.99094	1603.30957	3.54681	101.47913	-57.31159	51.61434	-46.52269	82.21123
11.11091	187.37202	-208.47964	23.26797	-1749.12374	5717.78731	-485.45304	-135.68469	3179.95902	-3998.10112	-57.06910	-95.37963	-224.42069	-360.96801	-466.52372	-1338.29279
-23.33124	167.05941	-471.50190	231.64827	-223.47074	-485.45304	2429.66833	69.96565	-1610.55872	337.96693	-27.30591	-87.18675	-44.16897	-90.35001	-29.33069	-143.65105
0.06411	-7.03113	3.57788	-57.52645	217.90490	-135.68469	69.96565	574.39968	-488.53320	-127.98249	131.84749	-208.05741	55.56501	-40.87334	9.60821	2.75587
-51.09142	-27.24321	-43.93922	-7.23892	-1685.99094	3179.95902	-1610.55872	-488.53320	3737.05892	-2467.89968	-135.28013	-70.32760	-104.86023	-74.73721	-105.33845	-43.97842
44.28331	-348.28174	239.08750	-85.67929	1603.30957	-3998.10112	337.96693	-127.98249	-2467.89968	4220.61148	84.70257	105.27281	75.47736	92.20909	83.07251	141.95039
0.02262	-0.04932	-4.39134	0.82928	3.54681	-57.06910	-27.30591	131.84749	-135.28013	84.70257	317.97213	36.95136	-83.77510	-65.16785	-70.78913	-132.04436
0.04276	-0.15162	-8.60490	1.61870	101.47913	-95.37963	-87.18675	-208.05741	-70.32760	105.27281	36.95136	480.15476	4.83444	-126.84068	22.81147	-156.61691
0.00698	-0.01495	-1.33604	0.24776	-57.31159	-224.42069	-44.16897	55.56501	-104.86023	75.47736	-83.77510	4.83444	377.30421	218.01042	-85.85925	-129.69930
0.05786	-0.20480	-11.18029	2.10629	51.61434	-360.96801	-90.35001	-40.87334	-74.73721	92.20909	-65.16785	-126.84068	218.01042	684.69515	-28.24718	-250.12352
-0.01081	0.03194	2.07241	-0.39692	-46.52269	-466.52372	-29.33069	9.60821	-105.33845	83.07251	-70.78913	22.81147	-85.85925	-28.24718	335.77861	379.64360
0.06222	-0.27871	-12.54398	2.35362	82.21123	-1338.29279	-143.65105	2.75587	-43.97842	141.95039	-132.04436	-156.61691	-129.69930	-250.12352	379.64360	1598.25165

obje noktaları

P_{OR} | P_{OO}

Bu ilk analiz aşamasında, jeodezik kontrol ağının tümünde anlamlı bir yer değiştirme olup olmadığını sorgulamak üzere test büyüklüğünü hesaplamak üzere önce $\mathbf{Q_{dd}}$ kofaktörler matrisinin pseuda inversi alınarak $\mathbf{P_{dd}}$ koordinat farkları ağırlık matrisi hesaplanmış ve Tablo-4.11'de verilmiştir. Test büyüklüğünü hesaplamak için (4.27) eşitliğine göre,

$$R_{GENEL} = d^T P_{dd} d = 4861.465540 \ cc^2$$

ve (4.29) eşitliğine göre $\mathbf{R_{GENEL}}$ büyüklüğünün rangı

$$h_{GENEL} = u_{GENEL} - d = 8 \times 2 - 3 = 13$$

olarak hesaplanmıştır. Genel serbestlik derecesi,

$$f_{GENEL} = f_1 + f_2 = 20 + 24 = 44$$

dir. θ^2 genel ortalama aykırılığı ve $\mathbf{T_{GENEL}}$ test büyüklüğü (4.33) ve benzeri eşitliklere, istatistiksel yanılma sınır değeri (4.34) ve benzeri eşitliklere göre,

$$\theta^2_{GENEL} = \frac{R_{GENEL}}{h_{GENEL}} = \frac{4861.465540}{13} = 373.958888 \, cc^2$$

$$T_{GENEL} = \frac{\theta^2_{GENEL}}{s_0^2} = \frac{373.958888 \, cc^2}{12.4210 \, cc^2} = 30.106981$$

$$F_{GENEL}\{13, 44, 0.05\} = 1.9489$$

$$T_{GENEL} = 30.106981 \quad > \quad F_{GENEL} = 1.9489$$

olarak hesaplanmıştır. Bu sonuca göre jeodezik kontrol ağının $\mathbf{t_1}$ zamanındaki 1. ölçme dönemi ile $\mathbf{t_2}$ zamanındaki 2. ölçme dönemleri arasında en az bir noktasının anlamlı yer değiştirdiği yargısına varılır.

C. Açık hipotez ile ağın referans noktaları kümesinde global deformasyon analizi

Deformasyon analizinin ikinci aşamasında, dikkatler referans noktaları kümesine yoğunlaştırılır. Bunun için Tablo-4.11'de verilen $\mathbf{P_{dd}}$ koordinat farkları ağırlık matrisindeki $\mathbf{P_{RR}}$ referans noktaları alt matrisinin indirgenmesi *Bölüm 4.2.2.3.*'de açıklanan *Gauss Eleminasyonu* yöntemi (4.51) eşitliği ile yapılmış ve Tablo-4.12'de verilmiştir.

Tablo-4.12 Referans noktaları kümesine ait indirgenmiş ağırlık matrisi

$$\bar{P}_{RR} = P_{RR} - P_{RO} P_{OO}^{-1} P_{OR}$$

referans noktaları

$$\bar{P}_{RR} = \begin{array}{c} \begin{array}{cccccccccc} \bar{p}_{dx_{1001}} & \bar{p}_{dxy} & \bar{p}_{dx_{1002}} & \bar{p}_{dxy} & \bar{p}_{dx_{2001}} & \bar{p}_{dxy} & \bar{p}_{dx_{2002}} & \bar{p}_{dxy} & \bar{p}_{dx_{2003}} & \bar{p}_{dxy} \\ \bar{p}_{dyx} & \bar{p}_{dy_{1001}} & \bar{p}_{dyx} & \bar{p}_{dy_{1002}} & \bar{p}_{dyx} & \bar{p}_{dy_{2001}} & \bar{p}_{dyx} & \bar{p}_{dy_{2002}} & \bar{p}_{dyx} & \bar{p}_{dy_{2003}} \end{array} \\ \begin{bmatrix} 84.91975 & 8.78239 & -1.52103 & -64.40457 & -9.04035 & 11.27741 & -23.28546 & 0.10399 & -51.07290 & 44.24077 \\ 8.78239 & 217.30407 & 104.89000 & -48.72431 & -253.27904 & 186.75920 & 166.89226 & -7.20079 & -27.28561 & -348.13813 \\ -1.52103 & 104.89000 & 327.25771 & -106.54681 & 202.37781 & -241.43639 & -480.55711 & -4.39401 & -47.55740 & 247.48728 \\ -64.40457 & -48.72431 & -106.54681 & 162.54582 & -55.83879 & 29.45975 & 233.35227 & -56.02349 & -6.56211 & -87.25781 \\ -9.04035 & -253.27904 & 202.37781 & -55.83879 & 1701.63333 & -1628.07420 & -161.28508 & 357.17604 & -1733.68564 & 1580.01573 \\ 11.27741 & 186.75920 & -241.43639 & 29.45975 & -1628.07420 & 3380.87479 & -857.40519 & -108.03988 & 2715.63827 & -3489.05301 \\ -23.28546 & 166.89226 & -480.55711 & 233.35227 & -161.28508 & -857.40519 & 2346.31045 & 22.69712 & -1681.18264 & 434.46294 \\ 0.10399 & -7.20079 & -4.39401 & -56.02349 & 357.17604 & -108.03988 & 22.69712 & 316.16462 & -375.58313 & -144.90043 \\ -51.07290 & -27.28561 & -47.55740 & -6.56211 & -1733.68564 & 2715.63827 & -1681.18264 & -375.58313 & 3513.49839 & -2306.20664 \\ 44.24077 & -348.13813 & 247.48728 & -87.25781 & 1580.01573 & -3489.05301 & 434.46294 & -144.90043 & -2306.20664 & 4069.34849 \end{bmatrix} \end{array}$$

Referans noktaları kümesine ait test büyüklüğünü hesaplamak için (4.51) eşitliğine göre,

$$R_{REFERANS} = d^T \bar{P}_{RR}\, d = 460.587325 \;\; cc^2$$

ve (4.29) eşitliğine göre $\mathbf{R_{REFERANS}}$ büyüklüğünün rangı

$$h_{REFERANS} = u_{REFERANS} - d = 5 \times 2 - 3 = 7$$

olarak hesaplanmıştır. Genel serbestlik derecesi $f_{GENEL} = 44$ olarak 1. aşamada hesaplanmıştı. Referans noktaları kümesi için θ^2 ortalama aykırılığı (4.52a) eşitliğine ve $\mathbf{T_{REFERANS}}$ test büyüklüğü (4.64) ve benzeri eşitliklere, istatistiksel yanılma sınır değeri (4.34) ve benzeri eşitliklere göre,

$$\theta^2_{REFERANS} = \frac{R_{REFERANS}}{h_{REFERANS}} = \frac{460.587325}{7} = 65.798189\, cc^2$$

$$T_{REFERANS} = \frac{\theta^2_{REFERANS}}{s_0^2} = \frac{65.798189\, cc^2}{12.4210\, cc^2} = 5.297333$$

$$F_{REFERANS}\{7,\, 44,\, 0.05\} = 2.2234$$

$$T_{REFERANS} = 5.297333 \quad > \quad F_{REFERANS} = 2.2234$$

olarak belirlenmiş ve **t_2-t_1** zaman aralığında referans noktaları kümesinde en az bir referans noktasının hareketliği olduğu yargısına varılmıştır. Bunun neticesinde her bir referans noktasının **$R_{REFERANS}$** test büyüklüğüne katkısının hesaplanması aşamasına geçilir.

d. Açık hipotez ile ağın referans noktaları kümesinde tek nokta hareketlerinin araştırılması

Referans noktaları kümesinde istatistik olarak anlamlı tek nokta hareketliliğinin araştırılması için önce $\overline{P}_{RR}$ ağırlık alt matrisi her defasında bir noktanın yer değiştirdiği öngörüsü ile yine alt matrislere ayrılır. Örneğimize göre çözüme 1001 referans noktası ile başlanmış ve bu noktaya göre alt matrislere bölme düzeni Tablo-4.13'te verilmiştir. $\overline{P}_{HH}$ 2*2 boyutlu (1 nokta ve iki boyutlu ağ olduğu için 1*2=2 bilinmeyen) alt matrisi hareketli olduğu öngörülen 1001 noktasını, $\overline{P}_{RR}$ 8*8 boyutlu (4 nokta ve iki boyutlu ağ olduğu için, 4*2=8 bilinmeyen) alt matrisi hareketsiz olduğu öngörülen diğer noktaları, $\overline{P}_{HR}$ 2*8 boyutlu alt matrisi ile $\overline{P}_{RH}$ 8*2 boyutlu alt matrisleri hareketli ve hareketsiz noktaların çapraz ağırlık katsayılarını temsil etmektedir.

Tablo-4.13 $\overline{P}_{RR}$ referans noktaları ağırlık matrisinin alt matrisleri

P_{HR}

referans noktaları

	$\overline{p}_{dx_{1001}}$	$\overline{p}_{dxy}$	$\overline{p}_{dx_{1002}}$	$\overline{p}_{dxy}$	$\overline{p}_{dx_{2001}}$	$\overline{p}_{dxy}$	$\overline{p}_{dx_{2002}}$	$\overline{p}_{dxy}$	$\overline{p}_{dx_{2003}}$	$\overline{p}_{dxy}$
	$\overline{p}_{dyx}$	$\overline{p}_{dy_{1001}}$	$\overline{p}_{dyx}$	$\overline{p}_{dy_{1002}}$	$\overline{p}_{dyx}$	$\overline{p}_{dy_{2001}}$	$\overline{p}_{dyx}$	$\overline{p}_{dy_{2002}}$	$\overline{p}_{dyx}$	$\overline{p}_{dy_{2003}}$
P_{HH}	84.91975	8.78239	-1.52103	-64.40457	-9.04035	11.27741	-23.28546	0.10399	-51.07290	44.24077
	8.78239	217.30407	104.89000	-48.72431	-253.27904	186.75920	166.89226	-7.20079	-27.28561	-348.13813
	-1.52103	104.89000	327.25771	-106.54681	202.37781	-241.43639	-480.55711	-4.39401	-47.55740	247.48728
	-64.40457	-48.72431	-106.54681	162.54582	-55.83879	29.45975	233.35227	-56.02349	-6.56211	-87.25781
$\overline{P}_{RR}$ =	-9.04035	-253.27904	202.37781	-55.83879	1701.63333	-1628.07420	-161.28508	357.17604	-1733.68564	1580.01573
	11.27741	186.75920	-241.43639	29.45975	-1628.07420	3380.87479	-857.40519	-108.03988	2715.63827	-3489.05301
	-23.28546	166.89226	-480.55711	233.35227	-161.28508	-857.40519	2346.31045	22.69712	-1681.18264	434.46294
P_{RH}	0.10399	-7.20079	-4.39401	-56.02349	357.17604	-108.03988	22.69712	316.16462	-375.58313	-144.90043
	-51.07290	-27.28561	-47.55740	-6.56211	-1733.68564	2715.63827	-1681.18264	-375.58313	3513.49839	-2306.20664
	44.24077	-348.13813	247.48728	-87.25781	1580.01573	-3489.05301	434.46294	-144.90043	-2306.20664	4069.34849

P_{RR}

Benzer şekilde **d_R** alt fark vektörü de, 1001 referans noktasının koordinat bileşenlerini içeren d_H^{1001} (1*2=2 satırlı) alt vektörü ve d_{RR} (4*2=8 satırlı) diğer referans noktalarını kapsayan alt vektöre bölünmüştür. Hareketli olduğu öngörülen d_H^{1001} vektörü üzerindeki hareketsiz olduğu düşünülen noktaların koordinat bileşenleri d_{RR} alt vektörünün etkisi *Gauss eleminasyonu* yöntemi ile

(4.48) eşitliği giderilerek $\bar{d}_{HH}^{1001}$ vektörü hesaplanmış ve bu noktanın $R_{REFERANS}$ büyüklüğü içindeki katkısı $\bar{R}_{HH}^{1001}$, (4.49) eşitliği ile hesaplanarak sonuçlar Tablo-4.14'de verilmiştir.

Tablo-4.14 $\mathbf{d_R}$ (cm) referans noktaları koordinat farkları vektörünün alt vektörleri ve 1001 referans noktasının $\mathbf{R_{REFERANS}}$ test büyüklüğüne katkısının hesabı

$$\mathbf{d_R} = \begin{bmatrix} 2.389 \\ 0.468 \\ 1.345 \\ 1.222 \\ 0.762 \\ -0.760 \\ 1.017 \\ 0.650 \\ 1.426 \\ -0.063 \end{bmatrix} \begin{matrix} x \\ y \\ x \\ y \\ x \\ y \\ x \\ y \\ x \\ y \end{matrix} \begin{matrix} 1001 \\ \\ 1002 \\ \\ 2001 \\ \\ 2002 \\ \\ 2003 \\ \\ \end{matrix} \begin{matrix} \mathbf{d}_{HH}^{1001} \\ \\ \mathbf{d}_{RR} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{matrix}$$

$$\bar{\mathbf{d}}_{HH} = \mathbf{d}_{HH} + \mathbf{P}_{HH}^{-1}\mathbf{P}_{HR}\mathbf{d}_{RR} \longrightarrow \bar{\mathbf{d}}_{HH}^{1001} = \begin{bmatrix} 0.1282278 \\ 0.0746693 \end{bmatrix}$$

$$\bar{\mathbf{R}}_{HH} = \bar{\mathbf{d}}_{HH}^{T}\mathbf{P}_{HH}\bar{\mathbf{d}}_{HH}$$

$$\bar{\mathbf{R}}_{HH}^{1001} = \begin{bmatrix} 0.1282278 & 0.0746693 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 84.9197487 & 8.78239152 \\ 8.7823915 & 217.30407408 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.1282278 \\ 0.0746693 \end{bmatrix} = 2.7760395$$

1001 referans noktasının katkısının hesabının ardından $\bar{R}_{RR}^{1001}$ kalan test büyüklüğünün hesabına geçilir. Bu değerin hesaplanabilmesi için P_{RR}'den $\bar{P}_{RR}^{KALAN}$'a geçiş gerekmektedir. Bu kalan referans noktaları alt matrisi (4.51) eşitliği kullanılarak hesaplanmış ve Tablo-4.15'de verilmiştir.

Tablo-4.15 1001 noktası hariç kalan noktalar alt matrisi

$$\bar{\mathbf{P}}_{RR}^{KALAN} = \mathbf{P}_{RR} - \mathbf{P}_{RH}\mathbf{P}_{HH}^{-1}\mathbf{P}_{HR}$$

kalan referans noktaları

$$\bar{\mathbf{P}}_{RR\backslash 1001}^{KALAN} = \begin{array}{c} \begin{matrix} \bar{p}_{dx_{1002}} & \bar{p}_{dxy} & \bar{p}_{dx_{2001}} & \bar{p}_{dxy} & \bar{p}_{dx_{2002}} & \bar{p}_{dxy} & \bar{p}_{dx_{2003}} & \bar{p}_{dxy} \\ \bar{p}_{dyx} & \bar{p}_{dy_{1002}} & \bar{p}_{dyx} & \bar{p}_{dy_{2001}} & \bar{p}_{dyx} & \bar{p}_{dy_{2002}} & \bar{p}_{dyx} & \bar{p}_{dy_{2003}} \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} 276.23624 & -87.28100 & 324.71394 & -331.32872 & -563.15949 & -0.89137 & -37.79072 & 419.50114 \\ -87.28100 & 105.52387 & -111.74646 & 74.08877 & 248.60125 & -57.34642 & -49.57378 & -122.26625 \\ 324.71394 & -111.74646 & 1406.40671 & -1410.44952 & 33.66111 & 348.77756 & -1764.78169 & 1173.41821 \\ -331.32872 & 74.08877 & -1410.44952 & 3220.20251 & -999.51419 & -101.86868 & 2741.29233 & -3192.42180 \\ -563.15949 & 248.60125 & 33.66111 & -999.51419 & 2207.47076 & 28.36770 & -1677.97223 & 722.54460 \\ -0.89137 & -57.34642 & 348.77756 & -101.86868 & 28.36770 & 315.92416 & -376.25388 & -156.70904 \\ -37.79072 & -49.57378 & -1764.78169 & 2741.29233 & -1677.97223 & -376.25388 & 3480.54446 & -2315.46388 \\ 419.50114 & -122.26625 & 1173.41821 & -3192.42180 & 722.54460 & -156.70904 & -2315.46388 & 3471.39629 \end{bmatrix} \end{array}$$

Kalan referans noktaları kümesinde anlamlı yer değiştirme olup olmadığını belirlemek için test büyüklüğünü hesaplamak üzere Tablo-4.14'de verilen **d_{RR}** kalan koordinat farkları vektörü ile (4.51) bağıntısına göre

$$\overline{R}_{RR/1001}^{KALAN} = d_{RR/1001}^{T}\ \overline{P}_{RR/1001}^{KALAN}\ d_{RR/1001} = 457.811285\ cc^2$$

hesaplanır. Bu test büyüklüğünün rangı ise,

$$h_{RR/1001}^{KALAN} = u_{RR/1001}^{KALAN} - d = [(5-1)\times 2] - 3 = 5$$

olacaktır. 1001 referans noktası için gerçekleştirilen bu işlem aşamaları diğer dört referans noktası içinde ardışık olarak gerçekleştirilmiş ve her bir noktanın $R_{REFERANS} = 460.587325\ cc^2$ içindeki katkı büyüklükleri, θ aykırılık büyüklüğü ve $\overline{R}_{RR/i}^{KALAN}$ test büyüklükleri hesaplanmış ve Tablo-4.16'da verilmiştir.

Tablo-4.16 Referans noktalarının **$R_{REFERANS}$** içindeki katkıları ve kalanları
(Her referans noktası $\overline{R}_{RR}^{i} + \overline{R}_{RR/i}^{KALAN} = R_{REFERANS}$ için olduğuna dikkat ediniz.)

NN	$\overline{R}_{RR}^{i}$	θ_i	$\overline{R}_{RR\backslash i}^{KALAN}$
1001	2.7760	1.1781	457.8113
1002	61.5917	5.5494	398.9956
2001	309.0171	12.4301	151.5703
2002	13.4051	2.5889	447.1822
2003	171.0032	9.2467	289.5841
	$\overline{R}_{RR/Max.}^{2001}$	→	$\overline{R}_{RR/2001}^{KALAN/Min.}$

Tablo-4.16'ya göre **$R_{REFERANS}$** içindeki katkısı en büyük olan nokta **2001 referans noktası**dır. O halde bu nokta istatistiksel olarak anlamlı yatay yer değiştirmiştir. Bu nokta sonraki aşamalarda hareketli obje noktaları arasına katılır. Böylece jeodezik kontrol ağı 4 hareketsiz referans noktası ve 3'ü obje ve 1'i hareketli referans noktası olmak üzere 4 hareketli nokta kümesinden oluşur. Referans noktaları kümesinde başka hareketli nokta olup olmadığının sorgulanmasında test büyüklüğünün hesabı için $\overline{R}_{RR/2001}^{KALAN} = 151.5703\ cc^2$ seçilir.

$$T_{RR/2001}^{KALAN} = \frac{R_{RR/2001}^{KALAN}}{h_{RR}^{KALAN}.s_0^2} = \frac{151.5703}{5\times 12.4210} = 2.441$$

olarak hesaplanmış ve F-dağılım tablosundan test büyüklüğü sınır değeri,

$$F_{RR/2001}^{KALAN}\{5,\ 44,\ 0.05\} = 2.422$$

$$T_{RR/2001}^{KALAN} = 2.441 \quad \rangle \quad F_{RR/2001}^{KALAN} = 2.422$$

olduğundan referans noktaları arasından en az bir noktanın daha hareketli olduğu yargısına varılır.

Bu süreçte, Tablo-4.09'daki $\mathbf{d_R}$ referans noktaları koordinat farkları vektöründen, Tablo-10'daki **G** matrisinden ve dolayısıyla Tablo-4.11'deki $\mathbf{P_{dd}}$ koordinat farkları ağırlık matrisinden 2001 referans noktasının bileşenleri, referans noktaları kümesinden çıkarılarak obje noktaları arasına katılır. Böylece 8 noktalı kontrol ağı 4 referans ve 4 obje olmak üzere yine 8 noktadan oluşur. Bu şekilde oluşan yeni vektör ve matrisler Tabo-4.17, Tablo-4.18 ve Tablo-4.19'da verilmiş olup hareketli referans noktasına ilişkin bilgiler korunmuş olur.

Tablo-4.17 $d=x_2-x_1$ koordinat farkları vektörünün yeni formu (cm biriminde)

$$\mathbf{d} = \begin{bmatrix} 2.389 \\ 0.468 \\ 1.345 \\ 1.222 \\ 1.017 \\ 0.650 \\ 1.426 \\ -0.063 \\ -2.462 \\ 0.313 \\ -2.633 \\ -0.671 \\ -1.845 \\ -1.159 \\ 0.762 \\ -0.760 \end{bmatrix} \begin{matrix} x \\ y \\ x \\ y \\ x \\ y \\ x \\ y \\ x \\ y \\ x \\ y \\ x \\ y \\ x \\ y \end{matrix} \begin{matrix} 1001 \\ \\ 1002 \\ \\ 2002 \\ \\ 2003 \\ \\ 5004 \\ \\ 5005 \\ \\ 5006 \\ \\ 2001 \end{matrix}$$

$\mathbf{d_R}$ Referans Noktaları

$\mathbf{d_O}$ Obje Noktaları

hareketli referans noktası

Tablo-4.18 Yaklaşık nokta koordinatları ile oluşturulmuş G matrisinin yeni formu

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{8} & 0 & -\Delta y/\Delta s_{ort.} \\ 0 & 1/\sqrt{8} & \Delta x/\Delta s_{ort.} \\ 0.35355 & 0.00000 & -0.08372 \\ 0.00000 & 0.35355 & -0.68374 \\ 0.35355 & 0.00000 & 0.51670 \\ 0.00000 & 0.35355 & -0.12158 \\ 0.35355 & 0.00000 & 0.10737 \\ 0.00000 & 0.35355 & 0.06565 \\ 0.35355 & 0.00000 & -0.11720 \\ 0.00000 & 0.35355 & -0.00613 \\ 0.35355 & 0.00000 & 0.00291 \\ 0.00000 & 0.35355 & 0.23007 \\ 0.35355 & 0.00000 & -0.08997 \\ 0.00000 & 0.35355 & 0.21919 \\ 0.35355 & 0.00000 & -0.15032 \\ 0.00000 & 0.35355 & 0.19285 \\ 0.35355 & 0.00000 & -0.18577 \\ 0.00000 & 0.35355 & 0.10369 \end{bmatrix} \begin{matrix} \\ \\ 1001 \\ \\ 1002 \\ \\ 2002 \\ \\ 2003 \\ \\ 5004 \\ \\ 5005 \\ \\ 5006 \\ \\ 2001 \end{matrix}$$

$\mathbf{G_R}$ Referans Noktaları

$\mathbf{G_O}$ Obje Noktaları

hareketli referans noktası

Tablo-4.19 Koordinat farkları ağırlık matrisinin yeni formu

$$P_{dd} = Q_{dd}^{+} = (Q_{dd}+GG^T)^{-1} - G(G^TGG^TG)^{-1}G^T$$

P_{RR} — referans noktaları; P_{RO} — obje noktaları; P_{OR}; P_{OO} — hareketli referans noktası

$P_{dd} =$

$p_{dx_{1001}}$ p_{dyx}	p_{dxy} $p_{dy_{1001}}$	$p_{dx_{1002}}$ p_{dyx}	p_{dxy} $p_{dy_{1002}}$	$p_{dx_{2002}}$ p_{dyx}	p_{dxy} $p_{dy_{2002}}$	$p_{dx_{2003}}$ p_{dyx}	p_{dxy} $p_{dy_{2003}}$	$p_{dx_{5004}}$ p_{dyx}	p_{dxy} $p_{dy_{5004}}$	$p_{dx_{5005}}$ p_{dyx}	p_{dxy} $p_{dy_{5005}}$	$p_{dx_{5006}}$ p_{dyx}	p_{dxy} $p_{dy_{5006}}$	$p_{dx_{2001}}$ p_{dyx}	p_{dxy} $p_{dy_{2001}}$
84.91978	8.78228	-1.52698	-64.40345	-23.33124	0.06411	-51.09142	44.28331	0.02262	0.04276	0.00698	0.05786	-0.01081	0.06222	-8.98893	11.11091
8.78228	217.30449	104.91200	-48.72845	167.05941	-7.03113	-27.24321	-348.28174	-0.04932	-0.15162	-0.01495	-0.20480	0.03194	-0.27871	-253.47815	187.37202
-1.52698	104.91200	328.43451	-106.76848	-471.50190	3.57788	-43.93922	239.08750	-4.39134	-8.60490	-1.33604	-11.18029	2.07241	-12.54398	192.18854	-208.47964
-64.40345	-48.72845	-106.76848	162.58757	231.64827	-57.52645	-7.23892	-85.67929	0.82928	1.61870	0.24776	2.10629	-0.39692	2.35362	-53.91755	23.26797
-23.33124	167.05941	-471.50190	231.64827	2429.66833	69.96565	-1610.55872	337.96693	-27.30591	-87.18675	-44.16897	-90.35001	-29.33069	-143.65105	-223.47074	-485.45304
0.06411	-7.03113	3.57788	-57.52645	69.96565	574.39968	-488.53320	-127.98249	131.84749	-208.05741	55.56501	-40.87334	9.60821	2.75587	217.90490	-135.68469
-51.09142	-27.24321	-43.93922	-7.23892	-1610.55872	-488.53320	3737.05892	-2467.89968	-135.28013	-70.32760	-104.86023	-74.73721	-105.33845	-43.97842	-1685.99094	3179.95902
44.28331	-348.28174	239.08750	-85.67929	337.96693	-127.98249	-2467.89968	4220.61148	84.70257	105.27281	75.47736	92.20909	83.07251	141.95039	1603.30957	-3998.10112
0.02262	-0.04932	-4.39134	0.82928	-27.30591	131.84749	-135.28013	84.70257	317.97213	36.95136	-83.77510	-65.16785	-70.78913	-132.04436	3.54681	-57.06910
0.04276	-0.15162	-8.60490	1.61870	-87.18675	-208.05741	-70.32760	105.27281	36.95136	480.15476	4.83444	-126.84068	22.81147	-156.61691	101.47913	-95.37963
0.00698	-0.01495	-1.33604	0.24776	-44.16897	55.56501	-104.86023	75.47736	-83.77510	4.83444	377.30421	218.01042	-85.85925	-129.69930	-57.31159	-224.42069
0.05786	-0.20480	-11.18029	2.10629	-90.35001	-40.87334	-74.73721	92.20909	-65.16785	-126.84068	218.01042	684.69515	-28.24718	-250.12352	51.61434	-360.96801
-0.01081	0.03194	2.07241	-0.39692	-29.33069	9.60821	-105.33845	83.07251	-70.78913	22.81147	-85.85925	-28.24718	335.77861	379.64360	-46.52269	-466.52372
0.06222	-0.27871	-12.54398	2.35362	-143.65105	2.75587	-43.97842	141.95039	-132.04436	-156.61691	-129.69930	-250.12352	379.64360	1598.25165	82.21123	-1338.29279
-8.98893	-253.47815	192.18854	-53.91755	-223.47074	217.90490	-1685.99094	1603.30957	3.54681	101.47913	-57.31159	51.61434	-46.52269	82.21123	1826.54956	-1749.12374
11.11091	187.37202	-208.47964	23.26797	-485.45304	-135.68469	3179.95902	-3998.10112	-57.06910	-95.37963	-224.42069	-360.96801	-466.52372	-1338.29279	-1749.12374	5717.78731

Bu yeni verilerle Tablo-4.19'daki kalan 4 referans noktasına ilişkin test büyüklüğü Tablo-4.11'deki alt matrislere bölünerek elde edilen Tablo-4.12'deki referans noktaları kümesine indirgenmiş ağırlık katsayıları matrisi vasıtasıyla 5 referans noktasına ait test büyüklüğü hesabına geçilir. Tablo-4.19'daki 4 noktalı $\mathbf{P_{RR}}$ alt matrisinden yeni $\overline{P}_{RR}$ indirgenmiş ağırlık matrisine geçilerek ve Tablo-4.17'deki referans noktaları koordinat farkları ile önceki aşamaya benzer şekilde yeni test büyüklüğü tekrar hesaplanırsa $R_{REFERANS}^{KALAN/2001} = 151.5703$ olarak,

$$h_{REFERANS}^{KALAN/2001} = [(5-1)\times 2] - 3 = 5$$

olmak üzere,

$$R_{RFERANS}^{KALAN/2001} = \frac{R_{REFERANS}^{KALAN/2001}}{h_{REFERANS}^{KALAN/2001}} = \frac{151.5703}{5\times 12.4210} = 2.441$$

$$F_{REFERANS}^{KALAN/2001}\{5,\ 44,\ 0.05\} = 2.422$$

$$T_{REFERANS}^{KALAN/2001} = 2.441 \quad \rangle \quad F_{REFERANS}^{KALAN/2001} = 2.422$$

olacağından referans noktaları arasından en az bir noktanın daha hareketli olduğu yargısına varılacaktır, (Bir önceki aşama ile karşılaştırınız.).

Kalan 4 referans noktasından hangisinin hareketli olup olmadığının belirlenmesi için yine her bir noktanın $R_{REFERANS}^{KALAN}$ içindeki katkısını belirlemek

üzere önceki aşamada olduğu gibi katkı büyüklükleri, θ aykırılık büyüklüğü ve $\overline{R}_{RR/i}^{KALAN}$ test büyüklükleri hesaplanmış ve Tablo-4.20'de verilmiştir.

Tablo-4.20 Kalan referans noktalarının $\mathbf{R_{REFERANS}}$ içindeki katkıları ve kalanları

NN	$\overline{R}_{RR}^{i}$	θ_i	$\overline{R}_{RR\backslash i}^{KALAN}$
1001	2.3469	1.0833	149.2234
1002	33.9798	4.1219	117.5905
2002	65.0164	5.7016	86.5539
2003	69.6850	5.9028	81.8853
	$\overline{R}_{RR/Max.}^{2003}$	→	$\overline{R}_{RR/2003}^{KALAN/Min.}$

Tablo-4.20'ye göre $R_{REFERANS}^{KALAN}$ içindeki katkısı en büyük olan bu kez nokta **2003 referans noktası**dır. Bu nokta da istatistiksel olarak anlamlı yatay yer değiştirmiştir. Sonraki aşamalarda **2003** noktası da hareketli obje noktaları arasına katılır. Artık kontrol ağı 3 hareketsiz referans noktası ve 3'ü obje ve 2'si hareketli referans noktası olmak üzere 5 hareketli nokta kümesinden oluşmaktadır. Kalan referans noktaları kümesinde başka hareketli nokta olup olmadığının sorgulanması amacı ile test büyüklüğünün hesabı için $\overline{R}_{RR/2003}^{KALAN} = 81.8853\ cc^2$ seçilerek,

$$h_{REFERANS}^{KALAN/2003} = [(4-1)\times 2] - 3 = 3$$

$$T_{RR/2003}^{KALAN} = \frac{R_{RR/2003}^{KALAN}}{h_{RR}^{KALAN/2003}.s_0^2} = \frac{81.8853}{3\times 12.4210} = 2.197$$

olarak hesaplanmış ve F-dağılım tablosundan test büyüklüğü sınır değeri,

$$F_{RR/2003}^{KALAN}\{3,\ 44,\ 0.05\} = 2.803$$

$$T_{RR/2003}^{KALAN} = 2.197 \quad \langle \quad F_{RR/2003}^{KALAN} = 2.803$$

olduğundan referans noktaları arasında hareketli olmadığı yargısına varılır.

e. Açık hipotez ile hareketli obje noktalarının ardışık araştırılması

Bu aşamada hareketli olduğu öngörülen obje noktalarının araştırılması ile hareketli olduğu tespit edilmiş referans noktalarındaki deformasyonların yerelleştirilmesinin gerçekleştirilmesidir. Bunun için önce **d** koordinat farkları vektörü Tablo-4.21'deki şekilde sıralanarak yeniden oluşturulur. Ardından aynı işlem **G** matrisi içinde yapılır, (Tablo-4.22). Yine $\mathbf{P_{dd}}$ ağırlık matrisi de kontrol ağı noktalarının bu yeni konumlarına göre şekillenerek Tablo-4.23'deki yeni

forma dönüşür. $\mathbf{d_o}$ obje+hareketli referans noktaları koordinat farkları vektöründeki hareketsiz referans noktalarının etkisinin (4.48) bağıntısı ile eleminasyonu sonrası $\bar{d}_o$ alt vektörü Tablo-4.24'de verilmiştir. Bu fark vektörünün bileşenleri, hareketsiz referans noktalarına göre kontrol ağındaki hareketli noktaların koordinat eksenleri yönündeki farkları göstermektedir.

Tablo-4.21 Hareketsiz referans noktalarının tespiti sonrası koordinat farkları vektörü

$$\mathbf{d} = \begin{bmatrix} 2.389 \\ 0.468 \\ 1.345 \\ 1.222 \\ 1.017 \\ 0.650 \\ -2.462 \\ 0.313 \\ -2.633 \\ -0.671 \\ -1.845 \\ -1.159 \\ 0.762 \\ -0.760 \\ 1.426 \\ -0.063 \end{bmatrix} \begin{matrix} x \\ y \\ x \\ y \\ x \\ y \\ x \\ y \\ x \\ y \\ x \\ y \\ x \\ y \\ x \\ y \end{matrix} \begin{matrix} 1001 \\ \\ 1002 \\ \\ 2002 \\ \\ 5004 \\ \\ 5005 \\ \\ 5006 \\ \\ 2001 \\ \\ 2003 \\ \\ \end{matrix} \begin{matrix} \mathbf{d_R} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \mathbf{d_O} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{matrix}$$

Referans Noktaları

Obje Noktaları

hareketli referans noktaları

Tablo-4.22 Hareketsiz referans noktalarının tespiti sonrası G matrisi

$$\mathbf{G} = \begin{array}{c} \begin{matrix} 1/\sqrt{8} & 0 & -\Delta y/\Delta s_{ort.} \\ 0 & 1/\sqrt{8} & \Delta x/\Delta s_{ort.} \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} 0.35355 & 0.00000 & -0.08372 \\ 0.00000 & 0.35355 & -0.68374 \\ 0.35355 & 0.00000 & 0.51670 \\ 0.00000 & 0.35355 & -0.12158 \\ 0.35355 & 0.00000 & 0.10737 \\ 0.00000 & 0.35355 & 0.06565 \\ 0.35355 & 0.00000 & 0.00291 \\ 0.00000 & 0.35355 & 0.23007 \\ 0.35355 & 0.00000 & -0.08997 \\ 0.00000 & 0.35355 & 0.21919 \\ 0.35355 & 0.00000 & -0.15032 \\ 0.00000 & 0.35355 & 0.19285 \\ 0.35355 & 0.00000 & -0.18577 \\ 0.00000 & 0.35355 & 0.10369 \\ 0.35355 & 0.00000 & -0.11720 \\ 0.00000 & 0.35355 & -0.00613 \end{bmatrix} \end{array} \begin{matrix} 1001 \\ \\ 1002 \\ \\ 2002 \\ \\ 5004 \\ \\ 5005 \\ \\ 5006 \\ \\ 2001 \\ \\ 2003 \\ \\ \end{matrix} \begin{matrix} \mathbf{G_R} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \mathbf{G_O} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{matrix}$$

Referans Noktaları

Obje Noktaları

hareketli referans noktaları

Tablo-4.23 Hareketsiz referans noktalarının tespiti sonrası $\mathbf{P_{dd}}$ matrisi

$$P_{dd} = Q_{dd}^{+} = (Q_{dd}+GG^T)^{-1} - G(G^TGG^TG)^{-1}G^T$$

P_{RR} | P_{RO}

referans noktaları

	$p_{dx_{1001}}$ p_{dyx}	p_{dxy} $p_{dy_{1001}}$	$p_{dx_{1002}}$ p_{dyx}	p_{dxy} $p_{dy_{1002}}$	$p_{dx_{2002}}$ p_{dyx}	p_{dxy} $p_{dy_{2002}}$	$p_{dx_{5004}}$ p_{dyx}	p_{dxy} $p_{dy_{5004}}$	$p_{dx_{5005}}$ p_{dyx}	p_{dxy} $p_{dy_{5005}}$	$p_{dx_{5006}}$ p_{dyx}	p_{dxy} $p_{dy_{5006}}$	$p_{dx_{2001}}$ p_{dyx}	p_{dxy} $p_{dy_{2001}}$	$p_{dx_{2003}}$ p_{dyx}	p_{dxy} $p_{dy_{2003}}$
$p_{dx_{1001}}$ p_{dyx}	84.91978	8.78228	-1.52698	-64.40345	-23.33124	0.06411	0.02262	0.04276	0.00698	0.05786	-0.01081	0.06222	-8.98893	11.11091	-51.09142	44.28331
p_{dxy} $p_{dy_{1001}}$	8.78228	217.30449	104.91200	-48.72845	167.05941	-7.03113	-0.04932	-0.15162	-0.01495	-0.20480	0.03194	-0.27871	-253.47815	187.37202	-27.24321	-348.28174
$p_{dx_{1002}}$ p_{dyx}	-1.52698	104.91200	328.43451	-106.76848	-471.50190	3.57788	-4.39134	-8.60490	-1.33604	-11.18029	2.07241	-12.54398	192.18854	-208.47964	-43.93922	239.08750
p_{dxy} $p_{dy_{1002}}$	-64.40345	-48.72845	-106.76848	162.58757	231.64827	-57.52645	0.82928	1.61870	0.24776	2.10629	-0.39692	2.35362	-53.91755	23.26797	-7.23892	-85.67929
$p_{dx_{2002}}$ p_{dyx}	-23.33124	167.05941	-471.50190	231.64827	2429.66833	69.96565	-27.30591	-87.18675	-44.16897	-90.35001	-29.33069	-143.65105	-223.47074	-485.45304	-1610.55872	337.96693
p_{dxy} $p_{dy_{2002}}$	0.06411	-7.03113	3.57788	-57.52645	69.96565	574.39968	131.84749	-208.05741	55.56501	-40.87334	9.60821	2.75587	217.90490	-135.68469	-488.53320	-127.98249
$p_{dx_{5004}}$ p_{dyx}	0.02262	-0.04932	-4.39134	0.82928	-27.30591	131.84749	317.97213	36.95136	-83.77510	-65.16785	-70.78913	-132.04436	3.54681	-57.06910	-135.28013	84.70257
p_{dxy} $p_{dy_{5004}}$	0.04276	-0.15162	-8.60490	1.61870	-87.18675	-208.05741	36.95136	480.15476	4.83444	-126.84068	22.81147	-156.61691	101.47913	-95.37963	-70.32760	105.27281
$p_{dx_{5005}}$ p_{dyx}	0.00698	-0.01495	-1.33604	0.24776	-44.16897	55.56501	-83.77510	4.83444	377.30421	218.01042	-85.85925	-129.69930	-57.31159	-224.42069	-104.86023	75.47736
p_{dxy} $p_{dy_{5005}}$	0.05786	-0.20480	-11.18029	2.10629	-90.35001	-40.87334	-65.16785	-126.84068	218.01042	684.69515	-28.24718	-250.12352	51.61434	-360.96801	-74.73721	92.20909
$p_{dx_{5006}}$ p_{dyx}	-0.01081	0.03194	2.07241	-0.39692	-29.33069	9.60821	-70.78913	22.81147	-85.85925	-28.24718	335.77861	379.64360	-46.52269	-466.52372	-105.33845	83.07251
p_{dxy} $p_{dy_{5006}}$	0.06222	-0.27871	-12.54398	2.35362	-143.65105	2.75587	-132.04436	-156.61691	-129.69930	-250.12352	379.64360	1598.25165	82.21123	-1338.29279	-43.97842	141.95039
$p_{dx_{2001}}$ p_{dyx}	-8.98893	-253.47815	192.18854	-53.91755	-223.47074	217.90490	3.54681	101.47913	-57.31159	51.61434	-46.52269	82.21123	1826.54956	-1749.12374	-1685.99094	1603.30957
p_{dxy} $p_{dy_{2001}}$	11.11091	187.37202	-208.47964	23.26797	-485.45304	-135.68469	-57.06910	-95.37963	-224.42069	-360.96801	-466.52372	-1338.29279	-1749.12374	5717.78731	3179.95902	-3998.10112
$p_{dx_{2003}}$ p_{dyx}	-51.09142	-27.24321	-43.93922	-7.23892	-1610.55872	-488.53320	-135.28013	-70.32760	-104.86023	-74.73721	-105.33845	-43.97842	-1685.99094	3179.95902	3737.05892	-2467.89968
p_{dxy} $p_{dy_{2003}}$	44.28331	-348.28174	239.08750	-85.67929	337.96693	-127.98249	84.70257	105.27281	75.47736	92.20909	83.07251	141.95039	1603.30957	-3998.10112	-2467.89968	4220.61148

$P_{dd} =$

obje noktaları

hareketli referans noktaları

P_{OR} | P_{OO}

Tablo-4.24 Obje+hareketli referans noktaları $\mathbf{d_O}$ (cm) koordinat farkları vektörü

$$\bar{d}_O = d_O + P_{OO}^{-1} P_{OR} d_R$$

$$\bar{d}_O = \begin{bmatrix} -3.303113 \\ -0.199011 \\ -3.492287 \\ -1.071263 \\ -2.740282 \\ -1.487450 \\ -0.246385 \\ -1.051245 \\ 0.293850 \\ -0.435838 \end{bmatrix} \begin{matrix} x \\ y \\ x \\ y \\ x \\ y \\ x \\ y \\ x \\ y \end{matrix} \begin{matrix} 5004 \\ \\ 5005 \\ \\ 5006 \\ \\ 2001 \\ \\ 2003 \\ \\ \end{matrix} \begin{matrix} d_O \\ \\ \\ d_{R_H} \end{matrix}$$

Obje noktaları

hareketli referans noktaları

Tablo-4.24'de verilen $\mathbf{P_{OO}}$ obje noktaları ağırlık matrisi ve Tablo-4.24'de verilmiş olan $\bar{d}_O$ indirgenmiş obje+hareketli referans noktaları koordinat farkları vektörü ile başlangıçta harekeli olduğu öngörülen bu noktaların her birinin $\mathbf{R_{GENEL}}$ içindeki etki büyüklükleri R_O^i'nin hesaplanmasına geçilir. Bunun için Her bir noktanın hareketli diğerlerinin ise hareketsiz olduğu düşünülür. Öncelikle Tablo-4.23'de verilen $\mathbf{P_{dd}}$ koordinat farkları ağırlık matrisinin $\mathbf{P_{OO}}$

obje noktaları alt matrisi her i noktası için de alt matrislere bölünür. Örnek olarak 5004 obje noktası için bu işlem yapılmış ve Tablo-4.25'de verilmiştir. (4.48) bağıntısı ile incelenen nokta üzerindeki diğer noktaların etkisi elemine edilir ve (4.49) eşitliği ile de düzeltmelerin ağırlıklı kareleri içindeki katkısı belirlenir. Tablo-4.26'da örnek obje noktası 5004 için bu büyüklüklerin nasıl hesaplandığı görülmektedir. Ayrıca 5004 noktasının çıkarılmasının ardından obje+referans noktalarını içeren dört obje noktasını içeren $\overline{P}_{RR/5005}^{KALAN}$ ağırlık matrisi hesabı yapılmış ve Tablo-4.27'de verilmiştir.

Tablo-4.25 $\mathbf{P_{OO}}$'nun içindeki 5004 obje noktasına ait alt ağırlık matrisleri

P_{OO}^{5004} P_{OR}^{5004} $P_{OO} =$ P_{RO}^{5004} P_{RR}^{5004}

317.97213	36.95136	-83.77510	-65.16785	-70.78913	-132.04436	3.54681	-57.06910	-135.28013	84.70257
36.95136	480.15476	4.83444	-126.84068	22.81147	-156.61691	101.47913	-95.37963	-70.32760	105.27281
-83.77510	4.83444	377.30421	218.01042	-85.85925	-129.69930	-57.31159	-224.42069	-104.86023	75.47736
-65.16785	-126.84068	218.01042	684.69515	-28.24718	-250.12352	51.61434	-360.96801	-74.73721	92.20909
-70.78913	22.81147	-85.85925	-28.24718	335.77861	379.64360	-46.52269	-466.52372	-105.33845	83.07251
-132.04436	-156.61691	-129.69930	-250.12352	379.64360	1598.25165	82.21123	-1338.29279	-43.97842	141.95039
3.54681	101.47913	-57.31159	51.61434	-46.52269	82.21123	1826.54956	-1749.12374	-1685.99094	1603.30957
-57.06910	-95.37963	-224.42069	-360.96801	-466.52372	-1338.29279	-1749.12374	5717.78731	3179.95902	-3998.10112
-135.28013	-70.32760	-104.86023	-74.73721	-105.33845	-43.97842	-1685.99094	3179.95902	3737.05892	-2467.89968
84.70257	105.27281	75.47736	92.20909	83.07251	141.95039	1603.30957	-3998.10112	-2467.89968	4220.61148
$p_{dx_{5004}}$ p_{dyx}	p_{dxy} $p_{dy_{5004}}$	$p_{dx_{5005}}$ p_{dyx}	p_{dxy} $p_{dy_{5005}}$	$p_{dx_{5006}}$ p_{dyx}	p_{dxy} $p_{dy_{5006}}$	$p_{dx_{2001}}$ p_{dyx}	p_{dxy} $p_{dy_{2001}}$	$p_{dx_{2003}}$ p_{dyx}	p_{dxy} $p_{dy_{2003}}$

obje noktaları — hareketli referans noktaları

Tablo-4.26 5004 obje noktası için $\mathbf{d_O}$ (cm) koordinat farkları vektörü

$$\overline{d}_O = \begin{bmatrix} -3.303113 \\ -0.199011 \\ -3.492287 \\ -1.071263 \\ -2.740282 \\ -1.487450 \\ -0.246385 \\ -1.051245 \\ 0.293850 \\ -0.435838 \end{bmatrix} \begin{matrix} x \\ y \\ x \\ y \\ x \\ y \\ x \\ y \\ x \\ y \end{matrix} \begin{matrix} 5004 \\ \\ 5005 \\ \\ 5006 \\ \\ 2001 \\ \\ 2003 \\ \\ \end{matrix}$$

d_O^{5004} Hareketli öngörülen Obje Noktası

d_{O_H} Hareketsiz öngörülen Obje Noktaları

$$\overline{d}_O^{5004} = d_O^{5004} + P_{OO}^{-1} P_{OR} d_{O_H} \longrightarrow \overline{d}_O^{5004} = \begin{bmatrix} -1.04284 \\ 0.24802 \end{bmatrix}$$

$$\overline{R}_O^{i} = \overline{d}_{O_i}^{T} P_{OO_i} \overline{d}_{O_i}$$

$$\overline{R}_O^{5004} = \begin{bmatrix} -1.04284 & 0.24802 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 317.97213 & 36.95136 \\ 36.95136 & 480.15476 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1.04284 \\ 0.24802 \end{bmatrix} = 356.22324$$

Tablo-4.27 5004 obje noktası için $\mathbf{P_{RR}}$ kalan ağırlık matrisi

$$\bar{P}_{RR}^{KALAN} = P_{RR} - P_{RO} P_{OO}^{-1} P_{OR}$$

$$\bar{P}_{RR\backslash 5004}^{KALAN} = \begin{bmatrix} 354.78615 & 204.49259 & -105.46015 & -160.16313 & -59.47159 & -236.73923 & -138.83010 & 94.87181 \\ 204.49259 & 641.44643 & -34.97611 & -312.59359 & 77.67222 & -394.90754 & -116.14904 & 133.48677 \\ -105.46015 & -34.97611 & 317.99462 & 359.46140 & -52.32512 & -473.44030 & -131.89373 & 95.70521 \\ -160.16313 & -312.59359 & 359.46140 & 1501.47711 & 113.68858 & -1388.33903 & -116.36773 & 205.45570 \\ -59.47159 & 77.67222 & -52.32512 & 113.68858 & 1805.04462 & -1729.63825 & -1672.88416 & 1582.09669 \\ -236.73923 & -394.90754 & -473.44030 & -1388.33903 & -1729.63825 & 5690.99327 & 3145.49505 & -3965.10130 \\ -138.83010 & -116.14904 & -131.89373 & -116.36773 & -1672.88416 & 3145.49505 & 3673.23814 & -2420.91237 \\ 94.87181 & 133.48677 & 95.70521 & 205.45570 & 1582.09669 & -3965.10130 & -2420.91237 & 4178.91056 \end{bmatrix}$$

$$\begin{array}{cccccccc} p_{dx_{5005}} & p_{dxy} & p_{dx_{5006}} & p_{dxy} & p_{dx_{2001}} & p_{dxy} & p_{dx_{2003}} & p_{dxy} \\ p_{dyx} & p_{dy_{5005}} & p_{dyx} & p_{dy_{5006}} & p_{dyx} & p_{dy_{2001}} & p_{dyx} & p_{dy_{2003}} \end{array}$$

obje noktaları — hareketli referans noktaları

Kalan obje+referans noktaları kümesinde başka anlamlı yer değiştiren nokta olup olmadığını belirlemek için test büyüklüğünü hesaplamak üzere $\bar{P}_{RR/5004}^{KALAN}$ ağırlık matrisi ve Tablo-4.26'da verilen $\mathbf{d_{OH}}$ hareketsiz olduğu öngörülen obje nokta kümesi koordinat farkları vektörü ile (4.51) bağıntısına göre

$$\bar{R}_{RR/5004}^{KALAN} = d_{O_H}^T \; \bar{P}_{RR/5004}^{KALAN} \; d_{O_H} = 4505.2423 \; cc^2$$

hesaplanır. 5004 obje noktası için gerçekleştirilen bu işlemler Tablo-4.25'de verilen $\mathbf{P_{OO}}$ ağırlık matrisindeki diğer dört nokta içinde ardışık olarak tekrarlanmış ve sonuçlar Tablo-4.28'de verilmiştir.

Tablo-4.28 Obje+hareketli referans noktalarının $\mathbf{R_{GENEL}}$ içindeki katkıları ve kalanları
(Her referans noktası için $\bar{R}_{OO}^{i} + \bar{R}_{OO/i}^{KALAN} = R_{GENEL}$ olduğuna dikkat ediniz.)

NN	$\bar{R}_{OO}^{i}$	θ_i	$\bar{R}_{OO\backslash i}^{KALAN}$
5004	356.2232	13.3458	4505.2423
5005	1182.7951	24.3187	3678.6704
5006	829.7031	20.3679	4031.7624
2001	1086.4301	23.3070	3775.0354
2003	156.5128	8.8463	4704.9527
	$\bar{R}_{OO/Max.}^{5005}$	→	$\bar{R}_{OO/5005}^{KALAN/Min.}$

Tablo-4.28'e göre R_{OBJE}^{KALAN} içindeki katkısı en büyük olan nokta bu kez **5005 obje noktasıdır**. Bu obje nokta istatistiksel olarak anlamlı yatay yer değiştirmiştir. Kalan obje+referans noktalarını içeren obje noktaları kümesinde

başka hareketli nokta olup olmadığının sorgulanması amacı ile test büyüklüğünün hesabı için $\overline{R}_{OO/5005}^{KALAN} = 3678.6704\ cc^2$ seçilerek,

$$h_{OO/5005}^{KALAN} = [(8-1)\times 2] - 3 = 11$$

$$T_{OO/5005}^{KALAN} = \frac{R_{OO/5005}^{KALAN}}{h_{OO/5005}^{KALAN} \cdot s_0^2} = \frac{3678.6704}{11\times 12.4210} = 26.924$$

olarak hesaplanmış ve F-dağılım tablosundan test büyüklüğü sınır değeri,

$$F_{OO/5005}^{KALAN}\{11, 44, 0.05\} = 2.013$$

$$T_{OO/5005}^{KALAN} = 26.924 \quad \rangle \quad F_{OO/5005}^{KALAN} = 2.013$$

olduğundan obje noktaları kümesinde en az bir noktanın daha hareketli olduğu yargısına varılır.

Bu aşamada hareketli olduğu tespit edilen 5005 obje noktası sistemden çıkarılır. Bunun için yeni bir datuma geçilmesi için S-transformasyonundan yararlanılır. (4.57) eşitliği ile dönüşüm matrisinin hesabı için Tablo-4.22'de verilen **G** matrisinin 5005 obje noktasına karşılık gelen iki satır sıfırlanarak **B** matrisi elde edilir (Tablo-4.29). I birim matris olmak üzere, **G** ve **B** matrisleri ile **S** dönüşüm matrisi hesaplanmış ve Tablo-4.30'da verilmiştir.

Tablo-4.21'de verilen **d** koordinat farkları vektörü (4.58) eşitliği ile dönüştürülmüş ve 5005 obje noktası çıkarılarak elde edilen $d_S^{/5005}$ fark vektörü Tablo-4.31'de görülmektedir.

Tablo-4.29 Yeni datum için S transformasyonda kullanılacak B matrisi

$$B = \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} 1/\sqrt{8} & 0 & -\Delta y/\Delta s_{ort.} \\ 0 & 1/\sqrt{8} & \Delta x/\Delta s_{ort.} \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0.35355 & 0.00000 & -0.08372 \\ 0.00000 & 0.35355 & -0.68374 \\ 0.35355 & 0.00000 & 0.51670 \\ 0.00000 & 0.35355 & -0.12158 \\ 0.35355 & 0.00000 & 0.10737 \\ 0.00000 & 0.35355 & 0.06565 \\ 0.35355 & 0.00000 & 0.00291 \\ 0.00000 & 0.35355 & 0.23007 \\ 0.00000 & 0.00000 & 0.00000 \\ 0.00000 & 0.00000 & 0.00000 \\ 0.35355 & 0.00000 & -0.15032 \\ 0.00000 & 0.35355 & 0.19285 \\ 0.35355 & 0.00000 & -0.18577 \\ 0.00000 & 0.35355 & 0.10369 \\ 0.35355 & 0.00000 & -0.11720 \\ 0.00000 & 0.35355 & -0.00613 \end{bmatrix} \end{array} \begin{array}{l} 1001 \\ 1002 \\ 2002 \\ 5004 \\ 5005 \\ 5006 \\ 2001 \\ 2003 \end{array}$$

B_R — Referans Noktaları

B_O — Obje Noktaları

hareketli obje noktası

hareketli referans noktaları

Tablo-4.30 \5005 noktası sonrası S-transformasyon matrisi

$$S = I - G\,(B^T G)^{-1} B^T$$

referans noktaları

	$s_{dx_{1001}}$ s_{dyx}	s_{dxy} $s_{dy_{1001}}$	$s_{dx_{1002}}$ s_{dyx}	s_{dxy} $s_{dy_{1002}}$	$s_{dx_{2002}}$ s_{dyx}	s_{dxy} $s_{dy_{2002}}$	$s_{dx_{5004}}$ s_{dyx}	s_{dxy} $s_{dy_{5004}}$	$s_{dx_{5005}}$ s_{dyx}	s_{dxy} $s_{dy_{5005}}$	$s_{dx_{5006}}$ s_{dyx}	s_{dxy} $s_{dy_{5006}}$	$s_{dx_{2001}}$ s_{dyx}	s_{dxy} $s_{dy_{2001}}$	$s_{dx_{2003}}$ s_{dyx}	s_{dxy} $s_{dy_{2003}}$
S =	0.84718	-0.06732	-0.09087	-0.00931	-0.13310	0.01001	-0.14388	0.02697	0.00000	0.00000	-0.15970	0.02313	-0.16335	0.01393	-0.15628	0.00260
	-0.06732	0.40230	0.35126	-0.20579	0.06589	-0.07526	-0.00694	0.03937	0.00000	0.00000	-0.11376	0.01342	-0.13847	-0.04874	-0.09066	-0.12530
	-0.09087	0.35126	0.58588	0.04860	-0.19374	-0.05220	-0.13750	-0.14073	0.00000	0.00000	-0.05501	-0.12069	-0.03592	-0.07268	-0.07284	-0.01356
	-0.00931	-0.20579	0.04860	0.84844	0.00912	-0.13350	-0.00096	-0.11765	0.00000	0.00000	-0.01574	-0.12124	-0.01916	-0.12984	-0.01254	-0.14043
	-0.13310	0.06589	-0.19374	0.00912	0.84760	-0.00979	-0.14185	-0.02640	0.00000	0.00000	-0.12638	-0.02264	-0.12280	-0.01363	-0.12972	-0.00254
	0.01001	-0.07526	-0.05220	-0.13350	-0.00979	0.84710	0.00103	-0.16994	0.00000	0.00000	0.01691	-0.16608	0.02058	-0.15684	0.01347	-0.14547
	-0.14388	-0.00694	-0.13750	-0.00096	-0.14185	0.00103	0.85704	0.00278	0.00000	0.00000	-0.14459	0.00238	-0.14497	0.00144	-0.14424	0.00027
	0.02697	0.03937	-0.14073	-0.11765	-0.02640	-0.16994	0.00278	0.78414	0.00000	0.00000	0.04558	-0.20547	0.05548	-0.18056	0.03632	-0.14989
	-0.15347	-0.07169	-0.08750	-0.00992	-0.13247	0.01065	-0.14395	0.02872	1.00000	0.00000	-0.16079	0.02463	-0.16468	0.01483	-0.15715	0.00277
	0.02585	0.03178	-0.13487	-0.11869	-0.02530	-0.16881	0.00266	-0.21282	0.00000	1.00000	0.04368	-0.20286	0.05317	-0.17899	0.03481	-0.14960
	-0.15970	-0.11376	-0.05501	-0.01574	-0.12638	0.01691	-0.14459	0.04558	0.00000	0.00000	0.82869	0.03908	-0.17749	0.02354	-0.16553	0.00439
	0.02313	0.01342	-0.12069	-0.12124	-0.02264	-0.16608	0.00238	-0.20547	0.00000	0.00000	0.03908	0.80345	0.04757	-0.17519	0.03115	-0.14889
	-0.16335	-0.13847	-0.03592	-0.01916	-0.12280	0.02058	-0.14497	0.05548	0.00000	0.00000	-0.17749	0.04757	0.81499	0.02865	-0.17046	0.00534
	0.01393	-0.04874	-0.07268	-0.12984	-0.01363	-0.15684	0.00144	-0.18056	0.00000	0.00000	0.02354	-0.17519	0.02865	0.83767	0.01876	-0.14649
	--0.15628	-0.09066	-0.07284	-0.01254	-0.12972	0.01347	-0.14424	0.03632	0.00000	0.00000	-0.16553	0.03115	-0.17046	0.01876	0.83907	0.00350
	0.00260	-0.12530	-0.01356	-0.14043	-0.00254	-0.14547	0.00027	-0.14989	0.00000	0.00000	0.00439	-0.14889	0.00534	-0.14649	0.00350	0.85647

hareketli referans noktaları

obje noktaları

Tablo-4.31 S-transformasyonu sonunda **d** vektörü (Tablo-4.21'e bakınız)

$$d_S = S * d$$

$$d_S = S * \begin{bmatrix} 2.389 \\ 0.468 \\ 1.345 \\ 1.222 \\ 1.017 \\ 0.650 \\ -2.462 \\ 0.313 \\ -2.633 \\ -0.671 \\ -1.845 \\ -1.159 \\ 0.762 \\ -0.760 \\ 1.426 \\ -0.063 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.00238 \\ 0.30037 \\ 1.02442 \\ 1.11621 \\ 0.65140 \\ 0.56481 \\ -2.83909 \\ 0.24590 \\ -3.02031 \\ -0.73930 \\ -2.23895 \\ -1.23020 \\ 0.36415 \\ -0.84101 \\ 1.03569 \\ -0.15609 \end{bmatrix} \begin{matrix} x \\ y \\ x \\ y \\ x \\ y \\ x \\ y \\ x \\ y \\ x \\ y \\ x \\ y \\ x \\ y \end{matrix} \begin{matrix} 1001 \\ \\ 1002 \\ \\ 2002 \\ \\ 5004 \\ \\ 5005 \\ \\ 5006 \\ \\ 2001 \\ \\ 2003 \\ \\ \end{matrix} \begin{matrix} d_R \\ \\ \\ \\ \\ \\ d_O \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{matrix}$$

Referans Noktaları

Obje Noktaları

hareketli referans noktaları

$$d_S^{\backslash 5005} = \begin{bmatrix} 2.00238 \\ 0.30037 \\ 1.02442 \\ 1.11621 \\ 0.65140 \\ 0.56481 \\ -2.83909 \\ 0.24590 \\ -2.23895 \\ -1.23020 \\ 0.36415 \\ -0.84101 \\ 1.03569 \\ -0.15609 \end{bmatrix} \begin{matrix} x \\ y \\ x \\ y \\ x \\ y \\ x \\ y \\ x \\ y \\ x \\ y \\ x \\ y \end{matrix} \begin{matrix} 1001 \\ \\ 1002 \\ \\ 2002 \\ \\ 5004 \\ \\ 5006 \\ \\ 2001 \\ \\ 2003 \\ \\ \end{matrix} \begin{matrix} d_R \\ \\ \\ \\ \\ \\ d_O \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{matrix}$$

Obje+referans noktalarından oluşan nokta kümesinde hareketli nokta araştırılmasına geçilmesi aşamasındaki Tablo-4.23'deki nokta kümelerini içeren $\mathbf{Q_{dd}}$ matrisinin S-transformasyonu ile elde edilen datumu değiştirilmiş yeni durumu $\mathbf{Q_{dd/S}}$ Tablo-4.32'de verilmiştir. **5005 obje noktasın**ın jeodezik kontrol ağı nokta grubundan çıkarılması sonucunda kalan noktalar kümesindeki test

büyüklüğünün hesabı için Tablo-4.32'deki koordinat farkları matrisinin bu noktaya ait satır ve sütunları çıkarılarak, ayrıca Tablo-4.29'daki **B** matrisinin aynı noktaya ilişkin satırları çıkarılarak oluşturulan yeni **G** matrisi ile $\mathbf{Q_{dd/s}}$ kofaktörler matrisinin inversi alınmış ve $\mathbf{P_{dd/s}}$ yeni koordinat farkları ağırlık matrisi hesaplanmış ve Tablo-4.33'de verilmiştir.

Tablo-4.32 S-transformasyonu sonunda $\mathbf{Q_{dd}}$ kofaktörler matrisi (cc^2/cm^2 biriminde)

$$Q_{dd\backslash S} = S * Q_{dd} * S^T$$

$Q_{dd\backslash S} =$

	$q_{dx_{1001}}$ q_{dyx}	q_{dxy} $q_{dy_{1001}}$	$q_{dx_{1002}}$ q_{dyx}	q_{dxy} $q_{dy_{1002}}$	$q_{dx_{2002}}$ q_{dyx}	q_{dxy} $q_{dy_{2002}}$	$q_{dx_{5004}}$ q_{dyx}	q_{dxy} $q_{dy_{5004}}$	$q_{dx_{5005}}$ q_{dyx}	q_{dxy} $q_{dy_{5005}}$	$q_{dx_{5006}}$ q_{dyx}	q_{dxy} $q_{dy_{5006}}$	$q_{dx_{2001}}$ q_{dyx}	q_{dxy} $q_{dy_{2001}}$	$q_{dx_{2003}}$ q_{dyx}	q_{dxy} $q_{dy_{2003}}$
$q_{dx_{1001}}$ q_{dyx}	0.0180182	-0.0021745	0.0011634	0.0094314	-0.0021984	0.0025833	-0.0068553	0.0004145	-0.0063049	-0.0018961	-0.0062607	-0.0032566	-0.0032331	-0.0043044	-0.0006339	-0.0026937
q_{dxy} $q_{dy_{1001}}$	-0.0021745	0.0012763	0.0006575	-0.0019872	0.0005307	-0.0002375	0.0004971	0.0002240	0.0003698	0.0002622	-0.0001364	0.0003718	0.0003401	0.0001959	0.0002855	0.0001567
$q_{dx_{1002}}$ q_{dyx}	0.0011634	0.0006575	0.0020196	0.0023802	-0.0002094	0.0002905	-0.0015835	-0.0004934	-0.0011429	-0.0007376	-0.0010526	-0.0010580	-0.0004508	-0.0011039	0.0001133	-0.0006729
q_{dxy} $q_{dy_{1002}}$	0.0094314	-0.0019872	0.0023802	0.0113740	-0.0018102	0.0008149	-0.0040537	-0.0011316	-0.0037832	-0.0022647	-0.0032678	-0.0031558	-0.0020947	-0.0034583	-0.0005852	-0.0024558
$q_{dx_{2002}}$ q_{dyx}	-0.0021984	0.0005307	-0.0002094	-0.0018102	0.0010873	0.0004459	-0.0001112	0.0004191	0.0002253	0.0002451	-0.0001493	0.0001770	0.0006535	-0.0000019	0.0009276	0.0002395
q_{dxy} $q_{dy_{2002}}$	0.0025833	-0.0002375	0.0002905	0.0008149	0.0004459	0.0035235	-0.0029449	0.0008566	-0.0025319	-0.0006585	-0.0017074	-0.0018680	-0.0003168	-0.0022381	0.0016494	-0.0008514
$q_{dx_{5004}}$ q_{dyx}	-0.0068553	0.0004971	-0.0015835	-0.0040537	-0.0001112	-0.0029449	0.0065629	-0.0008109	0.0039049	0.0013501	0.0026998	0.0027198	0.0007231	0.0030927	-0.0014360	0.0014999
q_{dxy} $q_{dy_{5004}}$	0.0004145	0.0002240	-0.0004934	-0.0011316	0.0004191	0.0008566	-0.0008109	0.0020043	-0.0008468	0.0000908	-0.0005503	-0.0005880	0.0002062	-0.0008984	0.0008148	-0.0004669
$q_{dx_{5005}}$ q_{dyx}	-0.0063049	0.0003698	-0.0011429	-0.0037832	0.0002253	-0.0025319	0.0039049	-0.0008468	0.0067703	0.0000952	0.0031777	0.0023542	0.0011289	0.0029666	-0.0009890	0.0014714
q_{dxy} $q_{dy_{5005}}$	-0.0018961	0.0002622	-0.0007376	-0.0022647	0.0002451	-0.0006585	0.0013501	0.0000908	0.0000952	0.0023856	0.0008595	0.0009921	0.0004051	0.0010452	-0.0002261	0.0005329
$q_{dx_{5006}}$ q_{dyx}	-0.0062607	-0.0001364	-0.0010526	-0.0032678	-0.0001493	-0.0017074	0.0026998	-0.0005503	0.0031777	0.0008595	0.0056023	0.0013952	0.0004406	0.0027971	-0.0012800	0.0014695
q_{dxy} $q_{dy_{5006}}$	-0.0032566	0.0003718	-0.0010580	-0.0031558	0.0001770	-0.0018680	0.0027198	-0.0005880	0.0023542	0.0009921	0.0013952	0.0022573	0.0007604	0.0020313	-0.0007379	0.0009514
$q_{dx_{2001}}$ q_{dyx}	-0.0032331	0.0003401	-0.0004508	-0.0020947	0.0006535	-0.0003168	0.0007231	0.0002062	0.0011289	0.0004051	0.0004406	0.0007604	0.0014082	0.0007550	0.0004586	0.0003498
q_{dxy} $q_{dy_{2001}}$	-0.0043044	0.0001959	-0.0011039	-0.0034583	-0.0000019	-0.0022381	0.0030927	-0.0008984	0.0029666	0.0010452	0.0027971	0.0020313	0.0007550	0.0029087	-0.0012345	0.0014590
$q_{dx_{2003}}$ q_{dyx}	-0.0006339	0.0002855	0.0001133	-0.0005852	0.0009276	0.0016494	-0.0014360	0.0008148	-0.0009890	-0.0002261	-0.0012800	-0.0007379	0.0004586	-0.0012345	0.0018504	-0.0001921
q_{dxy} $q_{dy_{2003}}$	-0.0026937	0.0001567	-0.0006729	-0.0024558	0.0002395	-0.0008514	0.0014999	-0.0004669	0.0014714	0.0005329	0.0014695	0.0009514	0.0003498	0.0014590	-0.0001921	0.0012070

referans noktaları — obje noktaları — hareketli referans noktaları

Q_{RR} Q_{RO} Q_{OR} Q_{OO}

Tablo-4.33 5005 obje noktasının çıkarılması sonrası dönüştürülmüş $\mathbf{P_{dd\backslash s}}$ ağırlık matrisi

$$P_{dd\backslash S} = Q^{+}_{dd\backslash S} = (Q_{dd\backslash S}+GG^T)^{-1} - G(G^TGG^TG)^{-1}G^T$$

$P_{dd\backslash S} =$

	$p_{dx_{1001}}$ p_{dyx}	p_{dxy} $p_{dy_{1001}}$	$p_{dx_{1002}}$ p_{dyx}	p_{dxy} $p_{dy_{1002}}$	$p_{dx_{2002}}$ p_{dyx}	p_{dxy} $p_{dy_{2002}}$	$p_{dx_{5004}}$ p_{dyx}	p_{dxy} $p_{dy_{5004}}$	$p_{dx_{5006}}$ p_{dyx}	p_{dxy} $p_{dy_{5006}}$	$p_{dx_{2001}}$ p_{dyx}	p_{dxy} $p_{dy_{2001}}$	$p_{dx_{2003}}$ p_{dyx}	p_{dxy} $p_{dy_{2003}}$
$p_{dx_{1001}}$ p_{dyx}	84.91977	8.78231	-1.52596	-64.40364	-23.32420	0.07011	0.02579	0.05517	-0.01128	0.08150	-8.99603	11.13734	-51.08809	44.27721
p_{dxy} $p_{dy_{1001}}$	8.78231	217.30443	104.90828	-48.72776	167.03492	-7.05454	-0.05852	-0.19696	0.03607	-0.34531	-253.45065	187.28181	-27.25241	-348.26168
$p_{dx_{1002}}$ p_{dyx}	-1.52596	104.90828	328.23588	-106.73104	-472.86596	2.41509	-5.00023	-11.00270	2.16634	-16.26667	193.56401	-213.58309	-44.57408	240.26013
p_{dxy} $p_{dy_{1002}}$	-64.40364	-48.72776	-106.73104	162.58052	231.90512	-57.30651	0.94318	2.07101	-0.41559	3.05436	-54.17759	24.22789	-7.12045	-85.89950
$p_{dx_{2002}}$ p_{dyx}	-23.32420	167.03492	-472.86596	231.90512	2416.97566	68.00267	-39.05789	-101.66206	-36.90305	-179.16039	-220.34882	-538.56175	-1624.47573	352.44149
p_{dxy} $p_{dy_{2002}}$	0.07011	-7.05454	2.41509	-57.30651	68.00267	556.68431	141.99553	-225.70187	25.04298	-1.02530	237.41230	-132.84599	-474.93868	-132.75011
$p_{dx_{5004}}$ p_{dyx}	0.02579	-0.05852	-5.00023	0.94318	-39.05789	141.99553	298.86821	34.13577	-89.21206	-166.09770	-6.63654	-113.83741	-158.98727	102.91916
p_{dxy} $p_{dy_{5004}}$	0.05517	-0.19696	-11.00270	2.07101	-101.66206	-225.70187	34.13577	450.01547	28.86824	-195.60021	121.87225	-146.16877	-72.26668	115.58132
$p_{dx_{5006}}$ p_{dyx}	-0.01128	0.03607	2.16634	-0.41559	-36.90305	25.04298	-89.21206	28.86824	315.42367	356.82745	-62.80419	-508.74911	-128.65942	98.38994
p_{dxy} $p_{dy_{5006}}$	0.08150	-0.34531	-16.26667	3.05436	-179.16039	-1.02530	-166.09770	-195.60021	356.82745	1498.74113	89.07621	-1487.95797	-84.46041	183.13329
$p_{dx_{2001}}$ p_{dyx}	-8.99603	-253.45065	193.56401	-54.17759	-220.34882	237.41230	-6.63654	121.87225	-62.80419	89.07621	1804.99499	-1748.13720	-1699.77342	1607.40467
p_{dxy} $p_{dy_{2001}}$	11.13734	187.28181	-213.58309	24.22789	-538.56175	-132.84599	-113.83741	-146.16877	-508.74911	-1487.95797	-1748.13720	5488.55230	3111.73121	-3933.08927
$p_{dx_{2003}}$ p_{dyx}	-51.08809	-27.25241	-44.57408	-7.12045	-1624.47573	-474.93868	-158.98727	-72.26668	-128.65942	-84.46041	-1699.77342	3111.73121	3707.55803	-2445.69260
p_{dxy} $p_{dy_{2003}}$	44.27721	-348.26168	240.26013	-85.89950	352.44149	-132.75011	102.91916	115.58132	98.38994	183.13329	1607.40467	-3933.08927	-2445.69260	4201.28595

referans noktaları — obje noktaları — hareketli referans noktaları

P_{RR} P_{RO} P_{OR} P_{OO}

S-transformasyonu sonrası bulunan Tablo-4.31'deki $\mathbf{d_S}$ koordinat farkları vektörü ve bunun ağırlık matrisi $\mathbf{Q_{dd/S}}$ ile yedi noktalı noktalı ağda hareketli nokta olup olmadığının testi için aranan büyüklük,

$$R_{dd/S}^{5005} = d_S^{(5005)T}\ P_{dd/S}\ d_S^{(5005)} = 3678.6704\ cc^2$$

(Tablo-4.28'deki $\overline{R}_{OO/5005}^{KALAN} = 3678.6704\ cc^2$ ile karşılaştırınız.)

hesaplanmış ve serbestlik derecesi,

$$h_{dd/S}^{5005} = (7 \times 2) - 3 = 11$$

$$T_{dd/S}^{5005} = \frac{R_{dd/S}^{5005}}{h_{dd/S}^{5005}\ .\ s_0^2} = \frac{3678.6704}{11 \times 12.4210} = 26.924$$

olarak hesaplanmış ve F-dağılım tablosundan test büyüklüğü sınır değeri,

$$F_{dd/S}^{5005}\{11,\ 44,\ 0.05\} = 2.013$$

$$T_{dd/S}^{5005} = 26.924 \quad \rangle \quad F_{dd/S}^{5005} = 2.013$$

olduğundan yedi noktalı kontrol ağında en az bir obje+referans noktasının daha hareketli olduğu yargısına varılır.

Not-1: Tablo-4.28'deki sonuçlara göre yapılan istatistik test ile Tablo-4.29'da başlayıp bu aşamaya kadar geçen süreçte test sürecinden aynı sonucun elde edilmesi yapılan işlemlerin doğru olduğunu göstermesi bakımından inceleyiniz.

5005 obje noktası hakkında varılan yargının ardından $\mathbf{d_{S(5005)}}$(Tablo-4.31)=**d** (Tablo-4.21) ve $\mathbf{P_{ddS}}$=(Tablo-4.33)=$\mathbf{P_{dd}}$(Tablo-4.23) atamaları yapılarak kalan 7 kontrol ağı noktası ile Tablo-4.21'den başlayan süreç tekrar edilerek sonuçta Tablo-4.34'deki sonuçlara ulaşılmıştır. Aynı süreç ardışık olarak hareketsiz obje noktasına ulaşılıncaya kadar diğer bir ifade ile F testi sınır değeri hesaplanan test büyüklüğünden küçük kalıncaya kadar yinelenerek elde edilen sonuçlar Tablo-4.35, Tablo-4.36 ve Tablo-4.37'de verilmiş ve jeodezik deformasyon ölçülerinin istatistiksel analiz süreci tamamlanmıştır.

Tablo-4.34 5005 obje noktası sonrası obje+hareketli referans noktalarının $\mathbf{R_{GENEL}}$ içindeki katkıları ve kalanları, test sonuçları

NN	$\overline{R}_{OO}^{i}$	θ_i	$\overline{R}_{OO\backslash i}^{KALAN}$	T_i	F_i(h=9, f=44)	KARAR
5004	777.6550	19.7187	2901.0154			
5006	1479.4385	27.1978	2199.2318	19.673 > 2.099		KALAN OBJE NOKTALARINDAN EN AZ BİRİ HAREKETLİ
2001	642.0433	17.9171	3036.6271			
2003	122.5940	7.8292	3556.0763			
	$\overline{R}_{OO/Max.}^{5006}$	→	$\overline{R}_{OO/5006}^{KALAN/Min.}$			

Tablo-4.35 5006 obje noktası sonrası obje+hareketli referans noktalarının **R_{GENEL}** içindeki katkıları ve kalanları, test sonuçları

NN	$\bar{R}^{i}_{OO}$	θ_i	$\bar{R}^{KALAN}_{OO\backslash i}$	T_i	$F_i(h=7,f=44)$	KARAR
5004	1738.6445	29.4843	460.5874	5.297 > 2.223		KALAN OBJE NOKTALARINDAN EN AZ BİRİ HAREKETLİ
2001	17.9427	2.9952	2181.2891			
2003	128.2081	8.0065	2071.0237			
	$\bar{R}^{5004}_{OO/Max.}$	→	$\bar{R}^{KALAN/Min.}_{OO/5004}$			

Tablo-4.36 5004 obje noktası sonrası obje+hareketli referans noktalarının **R_{GENEL}** içindeki katkıları ve kalanları, test sonuçları

NN	$\bar{R}^{i}_{OO}$	θ_i	$\bar{R}^{KALAN}_{OO\backslash i}$	T_i	$F_i(h=5,f=44)$	KARAR
2001	309.0170	12.4301	151.5703	2.441 > 2.422		KALAN OBJE NOKTALARINDAN EN AZ BİRİ HAREKETLİ
2003	171.0032	9.2467	289.5842			
	$\bar{R}^{2001}_{OO/Max.}$	→	$\bar{R}^{KALAN/Min.}_{OO/2001}$			

Tablo-4.37 2001 obje noktası sonrası Obje+hareketli referans noktalarının **R_{GENEL}** içindeki katkıları ve kalanları, test sonuçları (Tablo-4.20 ile karşılaştırınız.)

NN	$\bar{R}^{i}_{OO}$	θ_i	$\bar{R}^{KALAN}_{OO\backslash i}$	T_i	$F_i(h=3,f=44)$	KARAR
2003	69.6851	5.9028	81.8853	2.197 < 2.803		KALAN OBJE NOKTALARI HAREKETSİZ
	$\bar{R}^{2003}_{OO/Max.}$	→	$\bar{R}^{KALAN/Min.}_{OO/2003}$			

Not-2: Tablo-4.37'deki sonuçlara göre yapılan istatistik test ile Tablo-4.20'deki son hareketli referans noktasına ilişkin istatistiksel test neticesinde aynı sonucun elde edilmesi açısından yapılan işlemlerin doğru olduğunu göstermesi bakımından irdeleyiniz.

f. 5005 obje noktasına ait bağıl güven elipsi elemanlarının hesabı

Hareketli olduğu öngörülen obje+referans noktalarına ait deformasyonların grafik gösterimi için hareketli olduğu tespit edilen referans noktalarının belirlenmesi sonrası hesaplanmış olan $\bar{d}_O$ (Tablo-4.24) koordinat farkları vektörü ve $P^{+}_{OO} = Q_{OO}$ (Tablo-4.25, aynı zamanda Tablo-4.32'deki dönüştürülmemiş Q_{dd} koordinat farkları kofaktörler matrisinin obje noktaları kümesini içeren kısmı) kofaktörler matrisinin elemanları kullanılır (Tablo-4.38).

Tablo-4.38 Obje noktaları kofaktörler matrisi ve $\mathbf{q_{dd(5005)}}$ alt matrisi elemanları

$$Q_{OO}=\begin{bmatrix}
0.0061361 & 0.0012239 & 0.0031991 & 0.0027187 & 0.0026625 & 0.0035535 & 0.0005469 & 0.0037488 & -0.0008490 & 0.0024048 \\
0.0012239 & 0.0040897 & 0.0005253 & 0.0032609 & -0.0002341 & 0.0035415 & -0.0004666 & 0.0031376 & -0.0012653 & 0.0020879 \\
0.0031991 & 0.0005253 & 0.0058777 & 0.0008286 & 0.0030934 & 0.0025402 & 0.0008441 & 0.0030849 & -0.0005391 & 0.0019396 \\
0.0027187 & 0.0032609 & 0.0008286 & 0.0062127 & 0.0006481 & 0.0054931 & -0.0004183 & 0.0052645 & -0.0019542 & 0.0035193 \\
0.0026625 & -0.0002341 & 0.0030934 & 0.0006481 & 0.0064525 & 0.0007071 & 0.0010075 & 0.0022311 & -0.0001563 & 0.0013715 \\
0.0035535 & 0.0035415 & 0.0025402 & 0.0054931 & 0.0007071 & 0.0072257 & -0.0003200 & 0.0065673 & -0.0023573 & 0.0043823 \\
0.0005469 & -0.0004666 & 0.0008441 & -0.0004183 & 0.0010075 & -0.0003200 & 0.0012998 & -0.0000649 & 0.0005155 & -0.0002682 \\
0.0037488 & 0.0031376 & 0.0030849 & 0.0052645 & 0.0022311 & 0.0065673 & -0.0000649 & 0.0070292 & -0.0023766 & 0.0047051 \\
-0.0008490 & -0.0012653 & -0.0005391 & -0.0019542 & -0.0001563 & -0.0023573 & 0.0005155 & -0.0023766 & 0.0014443 & -0.0014194 \\
0.0024048 & 0.0020879 & 0.0019396 & 0.0035193 & 0.0013715 & 0.0043823 & -0.0002682 & 0.0047051 & -0.0014194 & 0.0035796
\end{bmatrix}$$

$$\begin{array}{cccccccccc}
q_{dx_{5004}} & q_{dxy} & q_{dx_{5005}} & q_{dxy} & q_{dx_{5006}} & q_{dxy} & q_{dx_{2001}} & q_{dxy} & q_{dx_{2003}} & q_{dxy} \\
q_{dyx} & q_{dy_{5004}} & q_{dyx} & q_{dy_{5005}} & q_{dyx} & q_{dy_{5006}} & q_{dyx} & q_{dy_{2001}} & q_{dyx} & q_{dy_{2003}}
\end{array}$$

obje noktaları — hareketli referans noktaları

(4.89) eşitlikleri ile 5005 obje noktasında $\mathbf{t_2}$-$\mathbf{t_1}$ sürecinde oluşan deformasyon vektörünün büyüklüğü ve yönü,

$$dx(5005) = -3.492287\ cm$$

$$dy(5005) = -1.071263\ cm$$

$$d(5005) = \sqrt{3.492287^{\,2} + 1.071263^{\,2}} = 3.652859\ cm \quad \rightarrow \quad 36.5\ mm$$

$$t(5005) = Arc\tan\frac{-1.071263}{-3.492287} = 18.94828 \quad \rightarrow \quad 218.94828\ gon$$

olarak hesaplanmıştır.

(4.92) eşitlikleri ile de bu noktadaki bağıl güven elipsi elemanları,

$$Q = \sqrt{(0.0058777 - 0.0062127)^2 + 4\times 0.0008286^{\,2}} = 0.00169072$$

$$A = \frac{1}{2}(0.0058777 + 0.0062127 + 0.00169072) = 0.00689056$$

$$B = \frac{1}{2}(0.0058777 + 0.0062127 - 0.00169072) = 0.00519984$$

$$A_H = 3.5243\sqrt{0.00689056} = 0.29255\ cm$$

$$B_H = 3.5243\sqrt{0.00519984} = 0.25414\ cm$$

$$\theta_{5005} = \frac{1}{2}Arc\tan\frac{2\times 0.0008286}{0.0058777 - 0.0062127} = -43.65098 \quad \rightarrow \quad 156.34902\ gon$$

$F\{2, 44, 0.05\} = 3.1817$ olarak F-dağılım tablosundan alınmış ve

$$A_G = \sqrt{2\times 3.1817}\times 0.29255 = 0.73798\ cm \quad \rightarrow \quad 7.4\ mm$$

$$B_G = \sqrt{2\times 3.1817}\times 0.25414 = 0.64109\ cm \quad \rightarrow \quad 6.4\ mm$$

hesaplanmıştır.

Uygulama 4.02 (Kapalı hipotez): Bir kez de Uygulama-4.01'de verilmiş olan Oymapınar Barajı'nda 5 referans ve 3 obje noktasından oluşan yatay jeodezik kontrol ağında deformasyon analiz süreci kapalı hipotez yöntemi ile irdelenecektir. İki ölçme dönemindeki gözlemlerin uyuşumluluk testi yapıldığı için uygulamanın **a** şıkkı çözümü tekrarlanmayacaktır.

b. Kapalı hipotez ile ağın tümünde global deformasyon analizi

t_1-t_2 zaman sürecinde jeodezik kontrol ağının herhangi bir yerinde anlamlı yer değiştirme olup olmadığını sorgulamak için *Kapalı Hipotez* yaklaşımına göre öncelikle her bir ölçe döneminin ayrı olarak dengeleme hesaplarının yapılmış olması gerekir. Bu işlemler yapılmış ve sonuçları Uygulama-4.01'de 1. ve 2. kısımlarda verilmişti. Bu işlemlerin ardından sanki 8 noktalı kontrol ağındaki bütün noktalar referans noktasıymış gibi (8*2=16 koordinat bilinmeyeni içeren şekilde), (4.36) modeline göre iki ölçme dönemi gözlemleri ile n_1+n_2=41+45=86 ölçülü olarak, **Bx-w=0** koşulunu ağın tamamının kapsadığı bir tüm iz=min. serbest ağ dengeleme hesabı yapılarak ve koordinat değerleri ile düzeltmelerin ağırlıklı kareleri toplamı Tablo-4.39'da verilmiştir.

Tablo-4.39 Bütün ağ noktaları hareketsiz öngörüsü ile yapılmış serbest ağ dengelemesi koordinat özet çizelgesi ve **Ω_H (genel)** karesel formu

KOORDİNAT ÖZET ÇİZELGESİ

NOKTA NO.	DX (mm)	X=X0+DX (m)	K.O.H. Mx (mm)	DY (mm)	Y=Y0+DY (m)	K.O.H. My (mm)	H.N.H. Mp (mm)	H A T A AÇIKLIK (g)	E L İ P S İ A (mm)	B (mm)
					REFERANS NOKTALARI					
1001	14.46	6960.60956	6.81	0.89	9190.93699	2.88	7.39	194.34	6.83	2.83
1002	6.36	7332.77956	2.93	8.82	8793.43632	5.32	6.07	81.33	5.50	2.57
2001	4.80	7481.91340	1.86	-1.59	9258.49251	2.56	3.16	91.06	2.57	1.85
2002	4.51	7456.73211	1.64	2.13	9064.43053	2.97	3.40	83.22	3.05	1.49
2003	5.74	7409.21254	2.35	-0.80	9213.09910	1.62	2.85	183.26	2.39	1.55
5004	-13.11	7565.56899	3.66	1.62	9133.58872	2.33	4.34	184.42	3.73	2.22
5005	-13.59	7558.36681	3.48	-4.06	9195.07454	2.12	4.08	1.76	3.49	2.12
5006	-9.17	7540.92813	3.45	-7.02	9235.02448	2.32	4.16	16.76	3.53	2.21

$$\Omega_H(\text{genel}) = \frac{[PVV]\ H = 5407.423107}{So = +/- 9.7400\ cc}$$

Kapalı hipotez analiz yöntemine göre istatistiksel test büyüklüğünün hesabı amacıyla (4.37) eşitlikleri ile,

$$\Omega_1 = 233.1508\, cc^2 \text{ ve } \Omega_2 = 313.3733\, cc^2 \text{ (Uyg.-4.01'den),}$$

$$R_H(genel) = \Omega_H(genel) - (\Omega_1 + \Omega_2)$$
$$= 5407.4231 - (233.1508 + 313.3733) = 4860.8990\ cc^2$$

$f_1 = 20$ ve $f_2 = 24$ (Uyg.-4.01'den),

$$f_H(genel) = (41+45) - [(8\times 2) + (8+8)] + 3 = 57$$

$$h_H(genel) = f_H(genel) - (f_1 + f_2)$$
$$= 57 - (20+24) = 13$$

$$h(genel) = u(genel) - d = 8\times 2 - 3 = 13$$

olarak hesaplanmıştır. θ^2 genel ortalama aykırılığı ve $\mathbf{T_H(genel)}$ test büyüklüğü ise (4.33) ve benzeri eşitliklerdeki gibi, F-testi istatistiksel yanılma sınırı (4.34) olasılık bağıntısına olduğu gibi,

$$\theta^2(genel) = \frac{R_H(genel)}{h_H(genel)} = \frac{4860.8990}{13} = 373.9153\ cc^2$$

$$T_H(genel) = \frac{\theta^2(genel)}{s_0^2} = \frac{373.9153}{12.4210} = 30.1035$$

$$F_H(genel)\{13,\ 44,\ 0.05\} = 1.9489$$

$$T_H(genel) = 30.1035 \quad > \quad F_H(genel) = 1.9489$$

olarak hesaplanmıştır. Bu sonuca göre jeodezik kontrol ağının $\mathbf{t_2}$-$\mathbf{t_1}$ zaman aralığında ölçme dönemleri arasında en az bir noktasının anlamlı yer değiştirdiği yargısına varılmıştır, (Uyg.-4.01/b çözümü ile karşılaştırınız).

C. Kapalı hipotez ile ağın referans noktaları kümesinde global deformasyon analizi

Kapalı hipotez ile deformasyon analizinin bu ikinci aşamasında, dikkatler başlangıçta hareketsiz olduğu öngörülen referans noktaları kümesine yoğunlaştırılır. Bunun için **Bx-w=0** koşulu referans noktaları kümesini kapsayacak şekilde tanımlanır. Bu durumda hareketli olduğu öngörülen obje noktaları koşullu serbest ağ dengelemesinde (4.77) bağıntısında ifade edildiği gibi iki ölçme dönemi için ayrı koordinat bilinmeyeni öngörülerek tanımlanır. Dolayısıyla kontrol ağındaki nokta sayısı 5 referans+3 obje (1. ölçme dönemi)+3 obje (2. ölçme dönemi) = 11 noktadan (11*2=22 koordinat bilinmeyeni içerecek şekilde) oluşacaktır. Dengeleme hesabı sonrası hesaplanacak düzeltmelerin ağırlıklı kareleri toplamı $\mathbf{\Omega_H(referans)}$ elbetteki genel dengeleme sonrası bulunan $\mathbf{\Omega_H(genel)}$ ile aynı büyüklük olmayacaktır. Dengeleme hesabı sonrası hesaplanan koordinat değerleri ve düzeltmelerin ağırlıklı kareleri toplamı Tablo-4.40'da görülmektedir.

Tablo-4.40 Referans noktaları kümesi hareketsiz öngörüsü ile yapılmış serbest ağ dengelemesi koordinat özet çizelgesi ve Ω_H **(referans)** karesel formu

KOORDİNAT ÖZET ÇİZELGESİ

NOKTA NO.	DX (mm)	X=X0+DX (m)	K.O.H. Mx (mm)	DY (mm)	Y=Y0+DY (m)	K.O.H. My (mm)	H.N.H. Mp (mm)	H A T A AÇIKLIK (g)	E L İ P S İ A (mm)	B (mm)
					REFERANS NOKTALARI					
1001	17.65	6960.61275	3.38	2.09	9190.93819	1.05	3.54	397.13	3.38	1.04
1002	9.51	7332.78271	1.40	9.85	8793.43735	2.52	2.89	175.86	2.68	1.06
2001	8.05	7481.91665	0.87	-0.66	9258.49344	1.11	1.41	225.35	1.15	0.81
2002	7.57	7456.73517	0.88	2.80	9064.43120	1.42	1.67	174.13	1.51	0.71
2003	8.93	7409.21573	1.30	0.17	9213.10007	0.71	1.48	385.40	1.32	0.67
					t1 ÖLÇME DÖNEMİ OBJE NOKTALARI					
5004	2.95	7565.58505	1.96	1.10	9133.58820	1.45	2.44	381.58	2.00	1.39
5005	3.81	7558.38421	1.91	-1.70	9195.07690	1.31	2.31	381.44	1.96	1.24
5006	5.02	7540.94232	2.02	-3.55	9235.02795	1.18	2.34	391.67	2.03	1.16
					t2 ÖLÇME DÖNEMİ OBJE NOKTALARI					
7004	-22.52	7565.55958	1.96	3.53	9133.59063	1.48	2.45	380.43	2.00	1.41
7005	-24.31	7558.35609	1.91	-4.83	9195.07377	1.31	2.32	381.03	1.96	1.23
7006	-16.66	7540.92064	2.03	-8.78	9235.02272	1.17	2.34	392.03	2.04	1.15

Ω_H(referans) = [PVV] H = 1008.178175
So = +/- 4.4461 cc

Referans noktaları kümesi için istatistiksel test büyüklüğünün hesabı için,

$$R_H(referans) = \Omega_H(referans) - (\Omega_1 + \Omega_2)$$
$$= 1008.1782 - (233.1508 + 313.3733) = 461.6541\, cc^2$$
$$f_H(referans) = (41+45) - [(5+3+3)\times 2 + (8+8)] + 3 = 51$$
$$h_H(referans) = f_H(referans) - (f_1 + f_2)$$
$$= 51 - (20+24) = 7$$
$$h(referans) = u(referans) - d = 5\times 2 - 3 = 7$$

olarak hesaplanmıştır. θ^2 referans noktaları ortalama aykırılığı ve T_H**(referans)** test büyüklüğü ve F-testi istatistiksel yanılma sınırı olasılık bağıntısı,

$$\theta^2(referans) = \frac{R_H(referans)}{h_H(referans)} = \frac{461.6541}{7} = 65.9506\, cc^2$$
$$T_H(referans) = \frac{\theta^2(referans)}{s_0^2} = \frac{65.9506}{12.4210} = 5.3096$$
$$F_H(referans)\{7, 44, 0.05\} = 2.2234$$
$$T_H(referans) = 5.3096 \quad > \quad F_H(referans) = 2.2234$$

olarak hesaplanmış ve bu sonuca göre kontrol ağının t_2-t_1 zaman aralığında referans noktaları arasında en az bir noktasının anlamlı yer değiştirdiği yargısına varılmıştır, (Uyg.-4.01/c çözümü ile karşılaştırınız).

d. Kapalı hipotez ile ağın referans noktaları kümesinde tek nokta hareketlerinin araştırılması

Referans noktaları kümesinde istatistik olarak anlamlı tek nokta hareketliliğinin araştırılması için bu kez de (4.79) bağıntısında gösterildiği gibi her defasında bir referans noktası kararlı noktalar kümesinden çıkarılarak obje noktası gibi değerlendirilir. **Bx-w=0** koşulu bu aşamada kalan 4 referans noktasını kapsayacak şekilde tanımlanmış olur. Neticede jeodezik kontrol ağının nokta sayısı ise 4 referans+[(3+1) 1. ölçme dönemi obje+referans]+[(3+1) 2. ölçme dönemi obje+referans] = 12 noktadan (12*2=24 koordinat bilinmeyeni içerecek şekilde) oluşacaktır. Dengeleme hesabı sonrası hesaplanacak düzeltmelerin ağırlıklı kareleri toplamı **Ω_H(ref.\i)**'nin bir önceki adımdaki dengeleme sonrası bulunan **Ω_H(referans)** ile aynı büyüklük olması beklenemez. İlk sıradaki 1001 referans noktası için bu modelle yapılan dengeleme hesabı sonrası hesaplanan koordinat değerleri ve düzeltmelerin ağırlıklı kareleri toplamı Tablo-4.41'de verilmiştir.

Tablo-4.41 1001'in referans noktaları kümesinden çıkarılması sonucu serbest ağ dengelemesi koordinat özet çizelgesi ve **Ω_H (ref.\1001)** karesel formu

KOORDİNAT ÖZET ÇİZELGESİ

NOKTA NO.	DX (mm)	X=X0+DX (m)	K.O.H. Mx (mm)	DY (mm)	Y=Y0+DY (m)	K.O.H. My (mm)	H.N.H. Mp (mm)	HATA AÇIKLIK (g)	ELİPSİ A (mm)	ELİPSİ B (mm)
					REFERANS NOKTALARI					
1002	8.84	7332.78204	1.36	9.48	8793.43698	2.60	2.93	81.67	2.69	1.17
2001	6.35	7481.91495	0.94	-0.66	9258.49344	1.13	1.46	104.68	1.13	0.93
2002	6.30	7456.73390	0.93	2.72	9064.43112	1.45	1.72	78.83	1.50	0.84
2003	7.33	7409.21413	1.25	-0.01	9213.09989	0.74	1.45	186.68	1.26	0.70
					t1 ÖLÇME DÖNEMİ OBJE NOKTALARI					
5004	1.54	7565.58364	2.13	1.27	9133.58837	1.48	2.59	183.50	2.17	1.42
5005	2.27	7558.38267	2.08	-1.55	9195.07705	1.32	2.46	185.79	2.11	1.27
5006	3.39	7540.94069	2.18	-3.43	9235.02807	1.19	2.48	195.71	2.18	1.19
1001	15.40	6960.61050	4.14	0.53	9190.93663	1.66	4.46	195.99	4.15	1.64
					t2 ÖLÇME DÖNEMİ OBJE NOKTALARI					
7004	-23.94	7565.55816	2.12	3.70	9133.59080	1.50	2.60	182.56	2.17	1.44
7005	-25.86	7558.35454	2.08	-4.67	9195.07393	1.33	2.47	185.33	2.12	1.27
7006	-18.30	7540.91900	2.19	-8.65	9235.02285	1.18	2.49	195.92	2.19	1.17
1001	16.68	6960.61178	3.87	1.28	9190.93738	1.62	4.19	196.29	3.87	1.61

$$\Omega_H(\text{ref.}\backslash 1001) = \frac{[PVV] \; H = \; 1005.386145}{So \; = \; +/- \; 4.5297 \; cc}$$

Tablo-4.41'deki 1001 noktasının referans noktaları kümesinden çıkarılması ile oluşturulan ağ geometrisi gibi, 1001 noktası geri alınıp, bu kez de 1002 noktası t_1 ve t_2 süreçlerindeki ölçme dönemlerinde ayrı noktalar olarak tanımlanarak serbest ağ dengelemesi yinelenir ve **Ω_H(ref.\1002)** karesel değeri hesaplanır. Bu işlem süreci diğer üç nokta içinde ardışık olarak yapılır. Hesaplamaların sonucu Tablo-4.42'de görülmektedir.

Tablo-4.42 Referans noktaları kümesinden **i**'inci noktanın çıkarılması ile serbest ağ dengelemesi sonucu hesaplanan **Ω_H (ref.\i)** karesel formları
(Sonuçları Tablo-4.16 ile karşılaştırınız)

NN	Ω_H(ref.\i)	R_H(ref.\i)	$\theta^2_{(\backslash i)}$	$T_{(\backslash i)}$	$F_{(\backslash i)}(h=5, f=44)$	KARAR
1001	1005.386145	458.8620				
1002	946.299981	399.7759				KALAN REFERANS NOKTALARINDAN EN AZ BİRİ HAREKETLİ
2001	698.116025	151.5919	30.3184	2.4409 > 2.4217		
2002	994.679593	448.1555				
2003	836.471040	289.9469				

$\Omega_H^{Min.}$(ref.\2001) → $R_H^{Min.}$(ref.\2001)

Bu hesaplamalar sonunda **Ω_H(ref.\i)** minimum olan 2001 referans noktasının hareketli olduğuna karar verilir. Kalan noktalar arasında hareketli nokta araştırması için test büyüklüğü,

$$R_H(ref./2001) = \Omega_H(ref./2001) - (f_1 + f_2)$$
$$= 698.116025 - (233.1508 + 313.3733) = 151.5919\ cc^2$$

$$f_H(ref./2001) = (41+45) - [(4+4+4)\times 2 + (8+8)] + 3 = 49$$
$$h_H(ref./2001) = f_H(ref./2001) - (f_1 + f_2)$$
$$= 49 - (20+24) = 5$$
$$h(ref./2001) = u(ref./2001) - d = 4\times 2 - 3 = 5$$

olarak hesaplanmıştır. **θ^2** kalan referans noktaları ortalama aykırılığı ve **T_H(ref.\2001)** test büyüklüğü ve F-testi istatistiksel yanılma sınırı olasılık bağıntısı,

$$\theta^2(ref./2001) = \frac{R_H(ref./2001)}{h_H(ref./2001)} = \frac{151.5919}{5} = 30.3184\ cc^2$$

$$T_H(ref./2001) = \frac{\theta^2(ref./2001)}{s_0^2} = \frac{30.3184}{12.4210} = 2.4409$$

$$F_H(ref./2001)\{5, 44, 0.05\} = 2.4217$$

$$T_H(ref./2001) = 2.4409 \quad > \quad F_H(ref./2001) = 2.4217$$

olarak hesaplanmış ve kontrol ağının $\mathbf{t_2}$-$\mathbf{t_1}$ sürecinde referans noktaları arasında en az bir noktanın daha anlamlı yer değiştirdiği yargısına varılmıştır. 2001 noktasının hareketliliğinin belirlenmesi süreci kalan 4 referans noktası için benzer şekilde gerçekleştirilmiş ve neticede 2003 noktasının da istatistiksel olarak hareketli olduğu kanısına varılmış ve yapılan test sonucu kalan 1001, 1002 ve 2002 noktalarının hareketsiz olduğu tespit edilmiş ve sonuçlar Tablo-4.43'de verilmiştir, (Uyg.-4.01/d çözümü ile karşılaştırınız).

Tablo-4.43 Referans noktaları kümesinden **2001** noktasının çıkarılması ile serbest ağ dengelemesi sonucu hesaplanan Ω_H **(ref.\i)** karesel formları (Sonuçları Tablo-4.20 ile karşılaştırınız)

NN	Ω_H(ref.\i)	R_H(ref.\i)	$\theta^2_{(\backslash i)}$	$T_{(\backslash i)}$	$F_{(\backslash i)}(h=3, f=44)$	KARAR
1001	695.751991	149.2279				
1002	663.966936	117.4428				
2002	633.125218	86.6011				
2003	628.485290	81.9612	27.3204	2.1995 < 2.8032		KALAN REFERANS NOKTALARI HAREKETSIZ

$\Omega_H^{Min.}$(ref.\2003) → $R_H^{Min.}$(ref.\2003)

Tablo-4.44 Hareketli referans noktalarının obje noktaları kümesine katılması sonrası serbest ağ dengelemesi koordinat özet çizelgesi ve Ω_H **(ref.\2001-2003)** karesel formu

KOORDİNAT ÖZET ÇİZELGESİ

NOKTA NO.	DX (mm)	X=X0+DX (m)	K.O.H. Mx (mm)	DY (mm)	Y=Y0+DY (m)	K.O.H. My (mm)	H.N.H. Mp (mm)	H A T A AÇIKLIK (g)	E L İ P S İ A (mm)	B (mm)
					REFERANS NOKTALARI					
1001	16.10	6960.61120	2.76	0.82	9190.93692	0.69	2.84	198.05	2.76	0.68
1002	8.96	7332.78216	1.09	9.58	8793.43708	2.13	2.39	76.74	2.26	0.78
2002	6.38	7456.73398	0.64	2.57	9064.43097	1.23	1.39	79.98	1.28	0.53
					t1 ÖLÇME DÖNEMİ OBJE NOKTALARI					
5004	5.67	7565.58777	1.90	3.49	9133.59059	1.42	2.38	0.40	1.90	1.42
5005	5.98	**7558.38638**	1.82	2.40	**9195.08100**	1.59	2.42	16.65	1.84	1.57
5006	6.52	7540.94382	1.86	1.63	9235.03313	1.73	2.53	33.26	1.92	1.66
2001	7.68	7481.91628	0.90	4.87	9258.49897	1.76	1.97	102.94	1.76	0.89
2003	5.88	7409.21268	1.19	2.34	9213.10224	1.20	1.69	149.05	1.43	0.89
					t2 ÖLÇME DÖNEMİ OBJE NOKTALARI					
7004	-27.37	7565.55473	1.85	1.51	9133.58861	1.46	2.36	198.46	1.86	1.46
7005	-28.95	**7558.35145**	1.80	-8.31	**9195.07029**	1.58	2.40	9.37	1.81	1.57
7006	-20.89	7540.91641	1.86	-13.24	9235.01826	1.68	2.50	24.86	1.89	1.64
2011	5.21	7481.91381	0.88	-5.64	9258.48846	1.70	1.92	101.97	1.71	0.88
2013	8.82	7409.21562	1.16	-2.01	9213.09789	1.20	1.67	147.20	1.39	0.91

$\Omega_H(\text{ref.}\backslash^{2001}_{2003}) =$ [PVV] H = 628.485290
So = +/- 3.6568 cc

Hareketsiz olduğu istatistiksel olarak kanıtlanmış 3 referans noktasına göre hareketli olduğu öngörülen/tespit edilmiş obje+referans noktalarına ilişkin serbest ağ dengelemesi sonucu hesaplanan kesin koordinat özet çizelgesi Tablo-4.44'de görülmektedir.

e. Kapalı hipotez ile hareketli obje noktalarının ardışık araştırılması

Başlangıçta hareketli olarak öngörülen obje noktaları ile hareketli ettiği belirlenen referans noktalarındaki deformasyonların yerelleştirme aşamasına geçilmiştir. 3 obje+2 hareketli referans noktası olmak toplamda 5 noktanın yerelleştirmesi için kapalı hipotez sistematiğine göre her defasında bir nokta kararlı noktalar arasından çıkarılarak serbest ağ dengeleme hesabı yinelenmiştir. 5004 obje noktası için yapılan dengeleme hesabı sonrası kesin koordinat özet çizelgesi ve Ω_H **(obj.\5004)** düzeltmelerin ağırlıklı kareleri toplamı Tablo-4.45'de verilmiştir.

Tablo-4.45 5004'ün obje noktaları kümesinden çıkarılması sonucu serbest ağ dengelemesi koordinat özet çizelgesi ve Ω_H **(obj.\5004)** karesel formu

KOORDİNAT ÖZET ÇİZELGESİ

NOKTA NO.	DX (mm)	X=X0+DX (m)	K.O.H. Mx (mm)	DY (mm)	Y=Y0+DY (m)	K.O.H. My (mm)	H.N.H. Mp (mm)	H A T A AÇIKLIK (g)	E L İ P S İ A (mm)	B (mm)
				REFERANS NOKTALARI						
1001	15.93	6960.61103	6.95	0.92	9190.93702	2.31	7.33	194.52	6.97	2.24
1002	7.68	7332.78088	2.80	8.70	8793.43620	5.26	5.96	78.74	5.51	2.26
2001	6.30	7481.91490	1.80	-1.78	9258.49232	2.62	3.18	103.88	2.62	1.80
2002	5.92	7456.73352	1.71	1.91	9064.43031	2.84	3.31	77.48	2.98	1.46
2003	7.22	7409.21402	2.52	-0.96	9213.09894	1.68	3.03	179.28	2.61	1.54
5005	-12.10	7558.36830	3.24	-4.29	9195.07431	2.05	3.83	2.46	3.24	2.05
5006	-7.66	7540.92964	3.24	-7.24	9235.02426	2.32	3.99	17.80	3.31	2.22
				t1 ÖLÇME DÖNEMİ OBJE NOKTALARI						
5004	-6.43	7565.57567	4.19	0.13	9133.58723	2.87	5.08	186.49	4.25	2.79
				t2 ÖLÇME DÖNEMİ OBJE NOKTALARI						
7004	-16.86	7565.56524	4.18	2.61	9133.58971	2.90	5.09	186.08	4.24	2.82

$$\Omega_H(\text{obj.}\backslash 5004) = \frac{[PVV]\ H = 5050.947673 \quad So = +/- 9.5831\ cc}{}$$

Bu 5 kez yinelenen obje noktaları yerelleştirme birinci aşaması dengeleme hesabı sonrası hesaplanan Ω_H **(obj.\i)** karesel formları Tablo-4.46'da görülmektedir. Burada kararlı noktalar arasından çıkarılması durumunda en küçük Ω_H **(obj.\i)** karesel formunu veren 5005 obje noktasının hareketli olduğuna karar verilmiştir.

Tablo-4.46 Jeodezik kontrol ağında **i**'inci obje noktanın çıkarılması ile serbest ağ dengelemesi sonucu hesaplanan **Ω_H (obj.\i)** karesel formları
(Sonuçları Tablo-4.28 ile karşılaştırınız)

NN	Ω_H(obj.\i)	R_H(obj.\i)	$\theta^2_{(\backslash i)}$	$T_{(\backslash i)}$	$F_{(\backslash i)}$(h=11, f=44)	KARAR
5004	5050.947680	4504.4236				
5005	4224.519331	3677.9952	334.3632	26.9192 > 2.0127		KALAN OBJE NOKTALARINDAN EN AZ BİRİ HAREKETLİ
5006	4578.724339	4032.2002				
2001	4322.677709	3776.1536				
2003	5250.712331	4704.1882				

$\Omega_H^{Min.}$(obj.\5005) → $R_H^{Min.}$(obj.\5005)

Kalan obje noktaları arasında başka hareketli nokta olup olmadığı sorgulaması için test büyüklüğü,

$$R_H(obj./5005) = \Omega_H(obj./5005) - (f_1 + f_2)$$
$$= 4224.519331 - (233.1508 + 313.3733) = 3677.9952\ cc^2$$

$$f_H(obj./5005) = (41+45) - [(7+1+1)\times 2 + (8+8)] + 3 = 55$$
$$h_H(ob./5005) = f_H(obj./5005) - (f_1 + f_2)$$
$$= 55 - (20+24) = 11$$
$$h(obj./5005) = u(obj./5005) - d = 7\times 2 - 3 = 11$$

olarak hesaplanmıştır. **θ^2** kalan referans noktaları ortalama aykırılığı ve **T_H(obj.\5005)** test büyüklüğü ve F-testi istatistiksel yanılma sınırı olasılık bağıntısı,

$$\theta^2(obj./5005) = \frac{R_H(obj./5005)}{h_H(obj./5005)} = \frac{3677.9952}{11} = 334.3632\ cc^2$$

$$T_H(obj./5005) = \frac{\theta^2(obj./5005)}{s_0^2} = \frac{334.3632}{12.4210} = 26.9192$$

$$F_H(obj./5005)\{11, 44, 0.05\} = 2.0127$$

$$T_H(obj./5005) = 26.9192 \quad > \quad F_H(obj./5005) = 2.0127$$

olduğu görülerek kontrol ağının **t_2-t_1** sürecinde obje noktaları arasında en az bir noktanın daha anlamlı olarak hareket ettiği kanaatine varılmıştır.

Obje noktalarının yerelleştirme sürecinde ikinci adıma geçilerek kalan 4 nokta içinde aynı süreç tekrarlanmıştır. İlk olarak hareketli 5005 obje noktasına ilaveten ilk nokta olan 5004 yine kararlı noktalar arasından çıkarılarak dengeleme hesabı yapılmış ve kesin koordinat özet çizelgesi ve düzeltmelerin

ağırlıklı kareleri toplamı Ω_H **(obj.\5004)** bir kez daha Tablo-4.47'de verilmiştir. Bu şekilde 4 kez yinelenen dengeleme hesabı sonrası hesaplanan Ω_H **(obj.\i)** karesel formları ve istatistiksel test sonuçları Tablo-4.48'de görülmektedir.

Tablo-4.47 5004'ün obje noktaları kümesinden çıkarılması sonucu serbest ağ dengelemesi koordinat özet çizelgesi ve Ω_H **(obj.\5004)** karesel formu (5005 obje noktasının hareketli olduğunun belirlenmesi sonrası)

KOORDİNAT ÖZET ÇİZELGESİ

NOKTA NO.	DX (mm)	X=X0+DX (m)	K.O.H. Mx (mm)	DY (mm)	Y=Y0+DY (m)	K.O.H. My (mm)	H.N.H. Mp (mm)	H A T A AÇIKLIK (g)	E L İ P S İ A (mm)	B (mm)
					REFERANS NOKTALARI					
1001	17.12	6960.61222	6.01	1.52	9190.93762	2.19	6.40	195.83	6.03	2.16
1002	8.83	7332.78203	2.57	9.20	8793.43670	4.50	5.18	76.84	4.75	2.07
2001	7.52	7481.91612	1.57	-1.32	9258.49278	2.14	2.66	116.34	2.18	1.52
2002	7.05	7456.73465	1.54	2.27	9064.43067	2.46	2.90	74.79	2.61	1.26
2003	8.41	7409.21521	2.27	-0.48	9213.09942	1.39	2.66	181.74	2.34	1.27
5006	-6.41	7540.93089	2.66	-6.82	9235.02468	1.91	3.28	11.83	2.68	1.88
					t1 ÖLÇME DÖNEMİ OBJE NOKTALARI					
5005	-0.86	7558.37954	3.40	-2.90	9195.07570	2.33	4.12	185.18	3.45	2.25
5004	-2.35	7565.57975	3.50	0.42	9133.58752	2.51	4.31	184.04	3.56	2.43
					t2 ÖLÇME DÖNEMİ OBJE NOKTALARI					
7005	-20.84	7558.35956	3.40	-4.90	9195.07370	2.33	4.12	184.84	3.46	2.24
7004	-18.46	7565.56364	3.49	3.02	9133.59012	2.54	4.32	183.39	3.56	2.45

$\Omega_H(\text{obj.}\backslash 5004) =$ [PVV] H = 3446.534039
So = +/- 8.0641 cc

Tablo-4.48 Jeodezik kontrol ağında **i**'inci obje noktanın çıkarılması ile serbest ağ dengelemesi sonucu hesaplanan Ω_H **(obj.\i)** karesel formları (5005 obje noktasının hareketli olduğunun belirlenmesi sonrası) (Sonuçları Tablo-4.34 ile karşılaştırınız)

NN	Ω_H(obj.\i)	R_H(obj.\i)	$\theta^2_{(li)}$	$T_{(li)}$	$F_{(li)}(h=9, f=44)$	KARAR
5004	3446.534039	2900.0099				
5006	2746.580489	2200.0564	244.4507	19.6804 > 2.0990		KALAN OBJE NOKTALARINDAN EN AZ BİRİ HAREKETLİ
2001	3583.928795	3037.4047				
2003	4101.683808	3555.1597				

$\Omega_H^{Min.}$(obj.\5006) → $R_H^{Min.}$(obj.\5006)

Tablo-4.48'e göre 5006 obje noktası hareketlidir. Yerelleştirme süreci 5005 ve 5006 noktaları için uygulanan prosedür yinelenerek sırası ile Tablo-4.49'a göre 5004 obje noktası, Tablo-4.50'ye göre 2001 referans noktası ve Tablo-4.51'e göre de 2003 referans noktası tekraren hareketli nokta olarak belirlenerek yerelleştirme süreci tamamlanmıştır, (Uyg.-4.01/e ile karşılaştırınız).

Tablo-4.49 Jeodezik kontrol ağında **i**'inci obje noktanın çıkarılması ile serbest ağ dengelemesi sonucu hesaplanan Ω_H **(obj.\i)** karesel formları (5006 obje noktasının hareketli olduğunun belirlenmesi sonrası) (Sonuçları Tablo-4.35 ile karşılaştırınız)

NN	Ω_H(obj.\i)	R_H(obj.\i)	$\theta^2_{(i)}$	$T_{(i)}$	$F_{(i)}(h=7, f=44)$	KARAR
5004	1008.178174	461.6541	65.9506	5.3096 > 2.2234		KALAN OBJE NOKTALARINDAN EN AZ BİRİ HAREKETLİ
2001	2728.633052	2182.1089				
2003	2618.072610	2071.5485				

$\Omega_H^{Min.}$(obj.\5004) → $R_H^{Min.}$(obj.\5004)

Tablo-4.50 Jeodezik kontrol ağında **i**'inci obje noktanın çıkarılması ile serbest ağ dengelemesi sonucu hesaplanan Ω_H **(obj.\i)** karesel formları (5004 obje noktasının hareketli olduğunun belirlenmesi sonrası) (Sonuçları Tablo-4.36 ile karşılaştırınız)

NN	Ω_H(obj.\i)	R_H(obj.\i)	$\theta^2_{(i)}$	$T_{(i)}$	$F_{(i)}(h=5, f=44)$	KARAR
2001	698.116025	151.5919	30.3184	2.4409 > 2.4217		KALAN OBJE NOKTALARINDAN EN AZ BİRİ HAREKETLİ
2003	836.471040	289.9469				

$\Omega_H^{Min.}$(obj.\2001) → $R_H^{Min.}$(obj.\2001)

Tablo-4.51 Jeodezik kontrol ağında **i**'inci obje noktanın çıkarılması ile serbest ağ dengelemesi sonucu hesaplanan Ω_H **(obj.\i)** karesel formları (2001 obje noktasının hareketli olduğunun belirlenmesi sonrası) (Sonuçları Tablo-4.37 ile karşılaştırınız)

NN	Ω_H(obj.\i)	R_H(obj.\i)	$\theta^2_{(i)}$	$T_{(i)}$	$F_{(i)}(h=3, f=44)$	KARAR
2003	628.485290	81.9612	27.3204	2.1995 > 2.8032		KALAN OBJE NOKTALARI HAREKETSİZ

$\Omega_H^{Min.}$(obj.\2003) → $R_H^{Min.}$(obj.\2003)

f. 5005 obje noktasına ait bağıl güven elipsi elemanlarının hesabı

Hareketli referans noktalarının (2001 ve 2003 referans noktaları) belirlenerek obje noktalarına dahil edildiği (d. şıkkı) aşamadaki obje noktalarındaki deformasyonların belirlenmesi (e. şıkkı) aşamasına geçildiği süreçteki $\mathbf{Q_{xx}}$ koordinat bilinmeyenlerinin kofaktörler matrisi (4.85) bağıntısındaki matris formundadır. Bu matris formuna göre 1001, 1002 ve 2002 hareketsiz olduğu istatistiksel olarak belirlenmiş referans noktalarına göre konumlanmış 5005 obje noktasının deformasyon vektörü bileşenlerinin hesabı (4.81)

bağıntısındaki **x** koordinat vektörü formundaki alt matrisleri belirlenerek (4.84) ve (4.89) eşitliklerine göre Tablo-4.44'deki veriler ile $dx_{5005} = x_{5005}^{t2} - x_{5005}^{t1}$ koordinat farkları hesaplanmıştır, (Karşılaştırma için Tablo-4.24'e bakınız).

$$dx(5005) = 7558.35145 - 7558.38638 = -0.003493\,m \quad \rightarrow \quad -34.93\,mm$$

$$dy(5005) = 9195.0702 - 9195.08100 = -0.001071\,m \quad \rightarrow \quad -10.71\,mm$$

$$d(5005) = \sqrt{34.93^2 + 10.71^2} = 36.54\ mm$$

$$t(5005) = Arc\tan\frac{-10.71}{-34.93} = 18.94026 \quad \rightarrow \quad 218.94026\,gon$$

Aynı işlem sürecindeki $\mathbf{Q_{xx}}$ kofaktör matrisindeki $(q_{x1x1}^{5005})_{t1}$, $(q_{x2x2}^{5005})_{t2}$, $(q_{x1x2}^{5005})_{t1t2}$ ve $(q_{t2t1}^{5005})_{t2t1}$ alt matris grupları tespit edilerek (4.86) ve (4.87) eşitliklerine göre koordinat farkları $\mathbf{q_{dd}}$ fark kofaktörleri hesaplanmış ve Tablo-4.52'de verilmiştir.

Tablo-4.52 5005 obje noktasının $\mathbf{q_{dd}}$ koordinat farkları kofaktörleri
(Sonuçları Tablo-4.38 ile karşılaştırınız)

$$\mathbf{Q}_{xx}^{5005} = \begin{bmatrix} \mathbf{q}_{x_1x_1} & \mathbf{q}_{x_1x_2} \\ \mathbf{q}_{x_2x_1} & \mathbf{q}_{x_2x_2} \end{bmatrix}_{5005} = \left[\begin{array}{cc|cc} 0.0024858 & 0.0001735 & -0.0004790 & -0.0003101 \\ 0.0001735 & 0.0018840 & -0.0002575 & -0.0012363 \\ \hline -0.0004790 & -0.0002574 & 0.0024338 & 0.0000875 \\ -0.0003102 & -0.0012363 & 0.0000875 & 0.0018560 \end{array}\right]_{5005}$$

$$\mathbf{q}_{dd}^{5005} = \left[\mathbf{q}_{x_1x_1} + \mathbf{q}_{x_2x_2} - \mathbf{q}_{x_1x_2} - \mathbf{q}_{x_2x_1}\right]_{5005} = \begin{bmatrix} \mathbf{q}_{dxdx} & \mathbf{q}_{dxdy} \\ \mathbf{q}_{dydx} & \mathbf{q}_{dydy} \end{bmatrix}_{5005} = \begin{bmatrix} 0.0058776 & 0.0008285 \\ 0.0008287 & 0.0062126 \end{bmatrix}_{5005}$$

Açık hipotez f şıkkı çözümünde olduğu gibi (4.92) eşitlikleri ile de bu noktadaki bağıl güven elipsi elemanları,

$$Q = \sqrt{(0.0058776 - 0.0062126)^2 + 4 \times 0.0008286^2} = 0.00169072$$

$$A = \frac{1}{2}(0.0058776 + 0.0062126 + 0.00169072) = 0.00689046$$

$$B = \frac{1}{2}(0.0058776 + 0.0062126 - 0.00169072) = 0.00519974$$

$$A_H = 3.5243\sqrt{0.00689046} = 0.29255\ cm$$

$$B_H = 3.5243\sqrt{0.00519974} = 0.25413\ cm$$

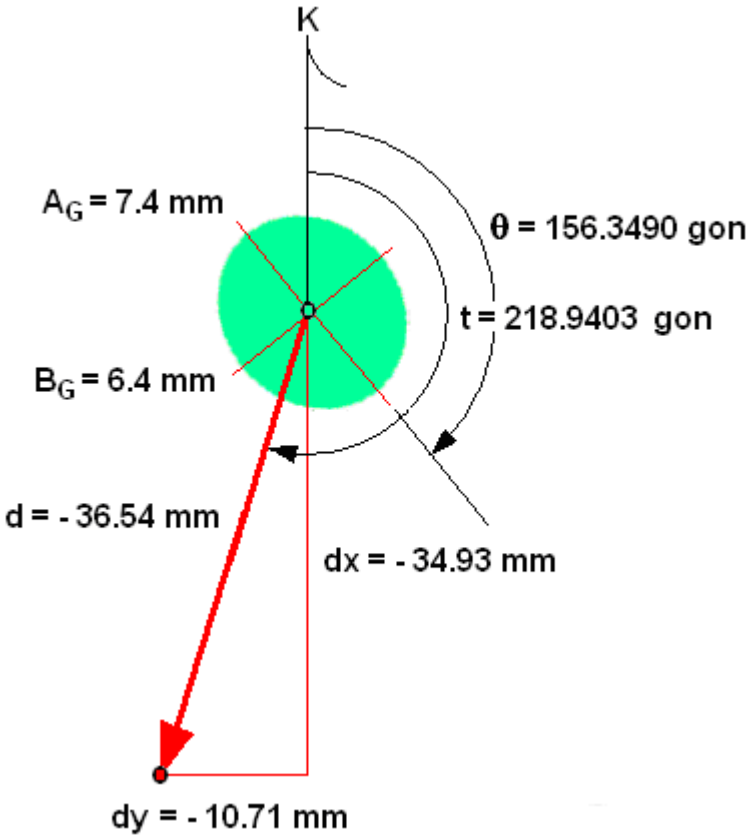
$$\theta_{5005} = \frac{1}{2}Arc\tan\frac{2 \times 0.0008286}{0.0058776 - 0.0062126} = -43.65098 \quad \rightarrow \quad 156.34902\,gon$$

$F\{2, 44, 0.05\} = 3.1817$ olarak F-dağılım tablosundan alınmış ve

$$A_G = \sqrt{2 \times 3.1817} \times 0.29255 = 0.73798\ cm \quad \rightarrow \quad 7.4\ mm$$

$$B_G = \sqrt{2 \times 3.1817} \times 0.25413 = 0.64106\ cm \quad \rightarrow \quad 6.4\ mm$$

hesaplanmıştır, (Sonuçları açık hipotez f şıkkı çözümü ile karşılaştırınız). Bu verilere göre deformasyon vektörü, bileşenleri ve bağıl güven elipsinin grafik gösterimi Şekil-4.09'da görülmektedir.



Şekil-4.09 5005 obje noktasının deformasyon vektörü, bileşenleri ve bağıl güven elipsi elemanları

Uygulama: Yatay hareketlerin belirlenmesi için Oymapınar Barajı jeodezik kontrol ağında, iki ölçme döneminde doğrultu ve kenar ölçmeleri yapılmıştır. Ölçme dönemlerine ilişkin bilgiler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Ölçme dönemi	Ölçülen doğrultu sayısı	Ölçülen kenar sayısı	Referans noktası sayısı	Obje noktası sayısı	Alet kurulan nokta sayısı	Ω=[Pvv] cc^2
Eylül 1985	33	8	5	3	8	183.0294
Mayıs 1986	35	10	5	3	8	356.3188

a) İki ölçme dönemi için elde edilen varyans değerlerinin uyuşumlu olup olmadığını gösteriniz. (F=2.09)

b) Kontrol ağının herhangi bir yerinde anlamlı yatay hareket olup olmadığını belirlemek için yapılan koşullu serbest dengelemeden, Ω_H(genel)= 5333,3895 cc^2 olarak elde ediliyor. Buna göre ağın herhangi bir yerinde anlamlı yatay hareket olup olmadığını belirleyiniz ($F_{(genel)}$=1.95).

c) İki ölçme dönemin arasında referans noktalarının sabitliğini belirlemek için yapılan koşullu serbest dengelemeden Ω_H(referans)= 935,7267 cc^2 olarak elde edilmiştir. $F_{(referans)}$=2,22 olduğuna göre yatay kontrol ağında referans noktaları arasında hareketli nokta olup olmadığını irdeleyiniz.

d) Referans noktaları kümesindeki hareketli noktayı belirlemek üzere her defasında bir nokta hareketsiz noktalar arasından çıkarılarak koşullu dengeleme yinelenerek aşağıdaki tabloda verilen Ω_H(\i) değerleri elde edilmiştir. Hareketli noktayı belirleyerek başka hareketli referans noktası olup olmadığını irdeleyiniz ($F_{(fererans\backslash i)}$=2,42).

Nokta No	**Ω_H(\i)**
1001	935.0200
1002	871.0489
2001	649.3536
2002	918.6150
2003	766.4636

a-İki ölçme dönemindeki varyansların belirlenerek uyuşum testinin yapılarak ortak varyans değerinin belirlenmesi.

Eylül 1985 ölçme dönemi için varyans hesabı:

n_1=33+8=**41** ölçü

u_1=(5+3)*2+8=**24** bilinmeyen

f_1=41-24+3=**20** serbestlik derecesi s_{01}^2=(183.0294/20)= **9.1515** cc^2

Mayıs 1986 ölçme dönemi için varyans hesabı:

n_2=35+10=**45** ölçü

u_2=(5+3)*2+8=**24** bilinmeyen

f_2=45-24+3=**24** serbestlik derecesi s_{02}^2=(356.3188/24)=**14.8466** cc^2

İki ölçme dönemi için ortak varyans hesabı:

T=(s_{02}^2/s_{01}^2)=(14.8466/9.1515)=**1.62**

F=[f_2=24, f_1=20, α=0.05]=**2.09**

T=**1.62** < F=**2.09** olduğundan ortak varyans değeri,

s_0^2=[(183.0294+356.3188)]/[(20+24)]=(539.3482/44)=**12.2579** cc^2

b-Jeodezik kontrol ağının herhangi bir nokta grubunda hareketli nokta olup olmadığının belirlenmesi:

R_H(genel)=Ω_H(genel)-(Ω_1+Ω_2)=5333.3895-(183.0294+356.3188)

=5333.3895-539.3482=**4794.0413** cc^2

f_H(genel)=(41+45)-[**(5+3)*2**+(8+8)]+3=86-32+3=**57**

5 referans+3 obje olmak üzere 8 noktalı ağ yapısı

h(genel)=f_H(genel)-(f_1+f_2)=57-(20+24)=**13**

=u(genel)-d=(5+3)*2-3=**13** **V**

T(genel)= R_H(genel)/[h(genel)*s_0^2]=4794.0413/(13*12.2579)=**30.08**

F(genel)={F_1=h(genel)=13, F_2=(f_1+f_2)=44, α=0.05}=**1.95**

T(genel)=**30.08** > F(genel)= **1.95** olduğundan jeodezik kontrol ağının herhangi bir nokta grubunda istatistiksel olarak anlamlı hareket eden nokta grubu veya nokta vardır.

c-Jeodezik kontrol ağının referans noktaları grubunda hareketli nokta olup olmadığının belirlenmesi:

R_H(referans)=Ω_H(referans)-(Ω_1+Ω_2)=935.7267-(183.0294+356.3188)

=935.7267-539.3482=**396.3785** cc^2

f_H(referans)=(41+45)-[**(5+3+3)*2**+(8+8)]+3=86-38+3=**51**

5 referans+1.dönem 3 obje+2.dönem 3 obje

olarak toplam 11 noktalı ağ yapısı

h(referans)=f_H(referans)-(f_1+f_2)=51-(20+24)=**7**

=u(referans)-d=5*2-3=**7** **V**

T(referans)= R_H(referans)/[h(referans)*s_0^2]=396.3785/(7*12.2579)= **4.62**

F(referans)={F_1=h(referans)=7, F_2=(f_1+f_2)=44, α=0.05}=**2.22**

T(referans)= **4.62** > F(referans)= **2.22** olduğundan jeodezik kontrol ağının referans noktaları grubunda istatistiksel olarak anlamlı hareket eden en az bir nokta vardır.

d-Jeodezik kontrol ağının referans noktaları grubunda hareketli nokta olup olmadığının belirlenmesi:

Ω(\i)min.=Ω(\2001)=649.3536 cc^2 olduğundan 2001 numaralı referans noktası hareketlidir. Kalan noktalar arasında başka hareketli referans noktası olup olmadığının belirlenmesi için;

R_H(\2001)=Ω_H(\2001)-(Ω_1+Ω_2)=649.3536-(183.0294+356.3188)

=649.3536-539.3482=**110.0054** cc^2

f_H(referans\2001)=(41+45)-[**(4+4+4)*2**+(8+8)]+3=86-40+3=**49**

4 referans+1.dönem 3+1 obje+2.dönem 3+1 obje

olarak toplam 12 noktalı ağ yapısı

h(referans\2001)=f_H(referans\2001)-(f_1+f_2)=49-(20+24)=**5**

=u(referans\2001)-d=4*2-3=**5** **V**

T(ref.\2001)= R_H(ref.\2001)/[h(ref.\2001)*s_0^2]=110.0054/(5*12.2579)=**1.80**

F(referans\2001)={F_1=h(referans\2001)=5, F_2=(f_1+f_2)=44, α=0.05}=**2.42**

T(referans\2001)=**1.80** < F(referans\2001)= **2.42** olduğundan jeodezik kontrol ağının referans noktaları grubunda istatistiksel olarak anlamlı hareket eden başka referans noktası yoktur.

KAYNAKLAR

Aydın C. (2014), "Geodetic Deformation Analysis, Short Lecture Notes for Graduate Students", YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Ders Notları, sayfa: 1-47, İstanbul.

Bülbül S. (2013), "Yatay Yöndeki Deformasyonların Belirlenmesinde Bağıl Güven Elipsleri ve Cholesky Çarpanlarına Ayırma Yönteminin Kullanılabilirliği", Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.

Erkaya H. (1987), Mühendislik Yapılarındaki Deformasyonların Jeodezik Yöntemlerle Saptanması ve Bir Model Üzerinde Uygulanması, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.

İnal C., Bülbül S. (2013), "Bağıl Güven Elipsleri Yöntemi ile Deformasyon Analizi: Ermenek Barajı Örneği", Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknoloji Dergisi, Cilt 1, Sayı 3, sayfa: 9-20, Konya.

Kalın G. (2010), "Kil Çekirdekli Kaya Dolgu Barajlarda Jeodezik Yöntemle Deformasyon Analizi: Atatürk Barajı Örneği", İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa: 1-93, İstanbul.

Kalkan Y., Alkan R.M. (2005), "Mühendislik Yapılarında Deformasyon Ölçmeleri", HKMO Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu, 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 23-25 Kasım 2015, Bildiriler Kitabı, Sayfa: 64-74, İTÜ İstanbul.

Susic Z., Batilovic M., Ninkov T., Aleksic I., Bulatovic V. (2015), "Identification of Movements Using Different Geodetic Methods of Deformation Analysis", Geodetiskivestnik, letn. Vol. 59, st. No. 3, 537-553, Crotia.