

GPS AĞLARINDA DEFORMASYONLARIN STATİK VE KİNEMATİK MODELLERLE BELİRLENMESİ İÇİN GELİŞTİRİLMİŞ BİR DEFORMASYON YAZILIM PAKETİ

Temel BAYRAK, Mualla YALÇINKAYA
KTÜ, MMF, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü TRABZON
tbayrak@ktu.edu.tr, mualla@ktu.edu.tr

Özet: Son yıllarda deformasyon ölçmeleri, jeodezinin en önemli uygulama alanlarından biri olmuştur. Hareketlerin izlenmesi çalışmalarında genellikle statik deformasyon modelleri kullanılmaktadır. Zamanın dikkate alınmadığı uygulamalarda statik modeller yeterli olmaktadır. Buna karşılık günümüzde hareketin davranışının da izlenmesini gerektiren mühendislik uygulamaları yapılmaktadır. Bu uygulamalarda, konuma ilave olarak hareketlerin davranışlarını (hız, ivme) zamana bağlı olarak belirleyen kinematik deformasyon modelleri tercih edilmektedir. Günümüzde artık deformasyonların belirlenmesi için gerekli olan periyodik ölçülerin yapılmasında da yaygın olarak GPS alıcıları kullanılmaktadır.

Bütün bu gelişmelerden dolayı bu çalışmada, GPS ağlarında statik ve kinematik deformasyon modelleri kullanılarak hareketlerin belirlenmesi için bir bilgisayar yazılımı geliştirilmesi amaçlanmıştır. Yazılımın ilk aşamasında GPS baz vektörlerinin en küçük kareler yöntemine göre dengelenmesi yapılmaktadır. İkinci aşamasında üç boyutlu statik ve kinematik modellerle deformasyon analizi yapılmaktadır. Statik modelle deformasyon analizinde Teta-Kare (θ^2) Ölçütü yöntemi kullanılmıştır. Hareketleri zamana bağlı bir fonksiyonla belirleyen kinematik deformasyon modelinde Kinematik Tek Nokta Modeli kullanılmıştır ve Kalman-Filtreleme yöntemine göre çözümü yapılmıştır. Bu aşamada statik ve kinematik modellerle hesaplanan hareket parametreleri istatistik olarak test edilmekte ve anlamlı hareket eden noktalar ve hareket parametreleri belirlenmektedir. Yazılımın son aşamasında da istatistik olarak anlamlı bulunan sonuçlar sayısal olarak sunulmaktadır. Yazılım Windows işletim sistemi altında çalışabilen ve mevcut maksimum belleği kullanabilen Microsoft Fortran Visual Workbench v.1.0 derleyicisiyle yapılmıştır. Yazılım Trabzon ili Maçka ilçesi Kutlugün Köyünde devam eden bir heyelanın izlenmesi için kurulan bir mikro deformasyon izleme ağında başarılı bir şekilde kullanılmıştır.

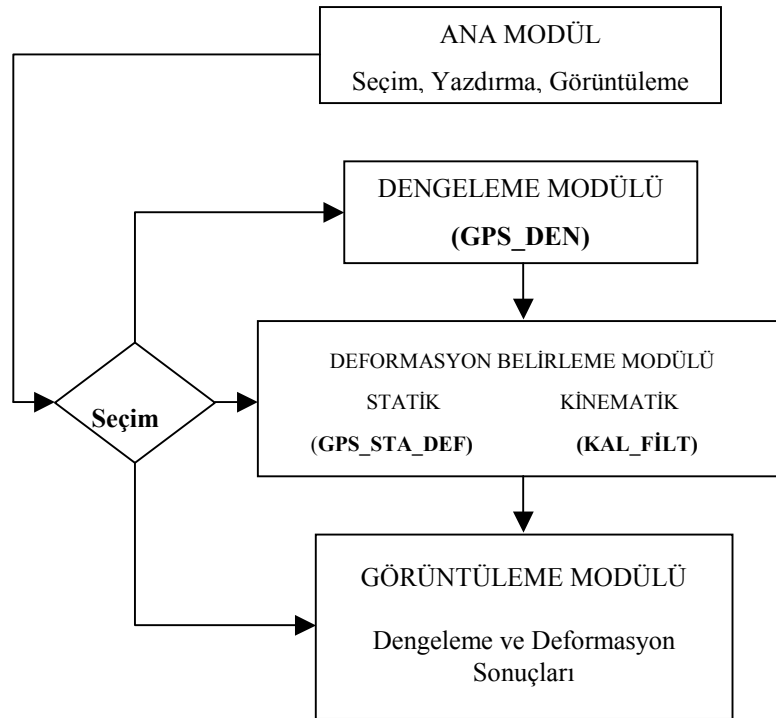
1. GİRİŞ

Gelişen ölçme teknikleri, deformasyon analizinde yeni değerlendirme modellerinin ve yazılımların kullanılmasını zorunlu kılmıştır. Günümüzde artık mühendislik ölçmelerinin amacı, köprüler, barajlar, kuleler ile heyelanlara ve depremlere maruz kalan kütleler gibi objelerin davranışlarını analiz etmek olmuştur. Bu uygulamalarda, konuma ilave olarak (statik model) hareketlerin davranışlarını (hız, ivme) zamana bağlı olarak belirleyen kinematik deformasyon modelleri tercih edilmektedir. Hareketlerin belirlenmesi ve hareketlerin davranışlarının yorumlanması hareketi izlemekle mümkündür. Son yıllarda deformasyon izleme çalışmalarında GPS klasik ölçme tekniklerinin yerini almıştır.

Bu makalede GPS ile periyodik olarak izlenmiş jeodezik ağlarda deformasyonların statik ve kinematik modellerle belirlenmesine yönelik geliştirilmiş bir yazılım paketi sunulmaktadır. Yazılım Windows işletim sistemi altında çalışabilen Microsoft Fortran Visual Workbench V. 1.0 programlama dilinde yazılmıştır. Bu program yardımıyla deformasyonlar statik ve kinematik olarak belirlenip sonuçların karşılaştırılması yapılabilmektedir.

2. DEFORMASYON YAZILIM PAKETİ

Yazılım paketi, dengeleme, deformasyon belirleme ve görüntüleme olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır. Genel akış şeması Şekil 1’de verilen paket, deformasyonların izlenmesine yönelik olarak yazılmıştır ve istenilen özelliklere göre geliştirilebilecek esnekliğe sahiptir.



Şekil 1. Yazılım paketinin iş akış şeması

2.1 Dengeleme Modülü

Yazılım paketinin ilk aşaması olan GPS_DEN modülü, en küçük kareler prensibine dayanarak dolaylı ölçüler yöntemine göre GPS deformasyon ağını serbest olarak dengeler. Modül dengeleme işleminde ağ noktalarının yaklaşık koordinatlarını, ölçülen bazları ve GPS faz ve pseudorange gözlemlerinden her kenar için elde edilmiş varyans-kovaryans matrislerini kullanır. GPS_DEN modülü Data-Snooping yöntemine göre korelasyonları dikkate alarak uyuşumsuz ölçüler testini yapabilmektedir ve ağın duyarlık ve güven ölçütlerini hesaplayabilmektedir. Sonuçta dengeli koordinatları ve onlara karşılık gelen varyans-kovaryans matrisini ürün olarak sunabilmektedir. Ayrıca modül statik ve kinematik analizler için gerekli tüm dosyaları hazırlayabilmektedir.

Dengeleme işleminin matematik modeli, uyumsuz ölçüler testi ve duyarlık ve güven ölçütlerine ait teorik bilgiler [Öztürk, 1987; Yalçınkaya, 1994; Konak, 1994; Eren, Uzel, 1995; Dilaver 1996; Wolf, 1997]'den elde edilebilir.

Dengeleme modülünün GPS dengelemesine, uyumsuz ölçüler testine ve GPS ağı duyarlık ve güven optimizasyonuna ait kısmi sonuçlar sırasıyla Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmiştir. GPS dengelemesi modülünde tüm ara işlemler için yazdırmalar mevcuttur. Seçim kullanıcının isteğine bırakılmıştır. Dengeleme modülünde tüm denetim işlemleri, model hipotezi ve uyumsuz ölçüler testi yapılmaktadır. Sonuçta uyumlu ölçülerle serbest ağı dengelemesi yapılarak veriler hesaplanmaktadır.

```

*** GPS DENGELENE PROGRAMI ***

Ağıdaki Nokta Sayısı = 14
Ağıdaki Ölçü Sayısı =132

Öncül Standart Sapma = .919 cm

*** DENETİM İŞLEMLERİ ***

          VTPv (cm) =          84.088
          VTPl (cm) =         -84.072
ΔTPi - dΔT * ΔTPl (cm) =          84.082

NN  DEN.X(m)  nx(cm)  DEN.Y(m)  ny(cm)  DEN.Z(m)  nz(cm)
  1  3710656.8976 .11  3083935.1534 .10  4157810.2912 .12
  2  3710501.7145 .12  3084005.0948 .11  4157907.9609 .12
  3  3710542.0876 .13  3084033.1875 .13  4157788.0150 .13
  4  3710709.5558 .09  3084028.6265 .08  4157648.6582 .10

ÖNCÜL DEĞER (TANI DENGELENESİNDEN)  So = .919
SONCUL DEĞER (UC BOY, SER.DEN, DEN)  Ho = .951

TEST BÜYÜKLÜĞÜ  T = 1.071
F-TABLO DEĞERİ ----> F 93, 93, 0.975  q = 1.502

T>q olduğu için ***** MODEL UYUSURLUDUR *****

```

Şekil 2. GPS dengeleme sonuçları

```

*** UYUSUMSUZ ÖLÇÜLER TESTİ ***

ÖNCÜL DEĞER (TANI DENGELENESİNDEN)  So = .919
SONCUL DEĞER (UC BOY, SER.DEN, DEN)  Ho = 1.257

TEST BÜYÜKLÜĞÜ  T = 1.871
F-TABLO DEĞERİ ----> F, 93, 93, .975  q = 1.502

T>q olduğu için ***** MODEL UYUSUMSUZDUR *****

Sınır Değer  q = t, 93, .987 = 2.276

16 Kenar (5 - 4 )  2.276  .572  .089  .254
17 Kenar (6 - 10 )  2.276  .269  .808  .145
18 Kenar (6 - 11 )  2.276  .803  1.207  2.467
19 Kenar (6 - 13 )  2.276  .280  .317  .407

TEST DEĞERİNİN AIT OLDUĞU UYUSUMSUZ KENAR ( 6 - 11 )
BU KENARA AIT TEST DEĞERLERİ --> tx = .803  ty = 1.207  tz =2.467

```

Şekil 3. Uyumsuz ölçüler testi sonuçları

```

*** GPS AĞI OPTİMİZASYONU ***

R1 : Redundanz Payı : R1>0.3 ya da R1>0.5 ise ölçüler iyi
Doi : İç Güven Ölçütü : <=6*M1 ya da 8*M1 ise ölçüler iyi
Loi : Dış Güven Ölçütü : <= 6 ya da 10 ise ölçüler iyi

r=n-u+d = 93 <----> 93.00 = iz(OvVP)

R1 Doj 6*Mx Loi
1 KENAR DX( 2 - 1 ) .54 .76 .84 3.71
2 KENAR DX( 2 - 3 ) .56 .87 .98 3.55
3 KENAR DX( 2 - 4 ) .83 .64 .88 1.79

R1 Doj 6*My Loi
1 KENAR DY( 2 - 1 ) .37 .82 .75 5.20
2 KENAR DY( 2 - 3 ) .66 .79 .96 2.90
3 KENAR DY( 2 - 4 ) .76 .62 .80 2.26

R1 Doj 6*Mz Loi
1 KENAR DZ( 2 - 1 ) .54 .82 .90 3.71
2 KENAR DZ( 2 - 3 ) .55 .89 .99 3.62
3 KENAR DZ( 2 - 4 ) .80 .70 .94 2.01

*** HATA ELİPSOİDİNİN ELEMANLARI ***

NN Mx My Mz Np AH BH CH Mp Xdon Ydon Zdon
1 .111 .103 .123 .195 .180 .057 .080 .205 188.887293 97.165177 89.262150
2 .128 .117 .126 .214 .205 .054 .076 .225 191.106136 99.653309 91.112984
3 .134 .134 .139 .235 .218 .062 .098 .247 183.043264 96.431862 83.440850

*** BAĞIL HATA ELİPSOİDİNİN ELEMANLARI ***

KENAR AHB BHB CHB NH Xdon Ydon Zdon
1 ( 2 - 1 ) .226 .061 .093 .252 189.153539 100.176159 89.154998
2 ( 2 - 3 ) .268 .068 .105 .296 187.197866 98.473205 87.291719
3 ( 2 - 4 ) .239 .065 .098 .266 188.553362 99.778993 88.555543

```

Şekil 4. GPS ağı duyarlık ve güven optimizasyonu sonuçları

Modülün duyarlık ve güven optimizasyonu kısmında redundanz payı, iç güven ölçütü, dış güven ölçütü, hata elipsoidinin elemanları ve bağıl hata elipsoidinin elemanları hesaplanarak ağı kalitesi yönündeki bilgiler elde edilmektedir.

2.2 Deformasyon Belirleme Modülü

Deformasyon belirleme modülü, statik (θ^2 -Ölçütü) ve kinematik (tek nokta modeli) deformasyon analizlerini içermektedir.

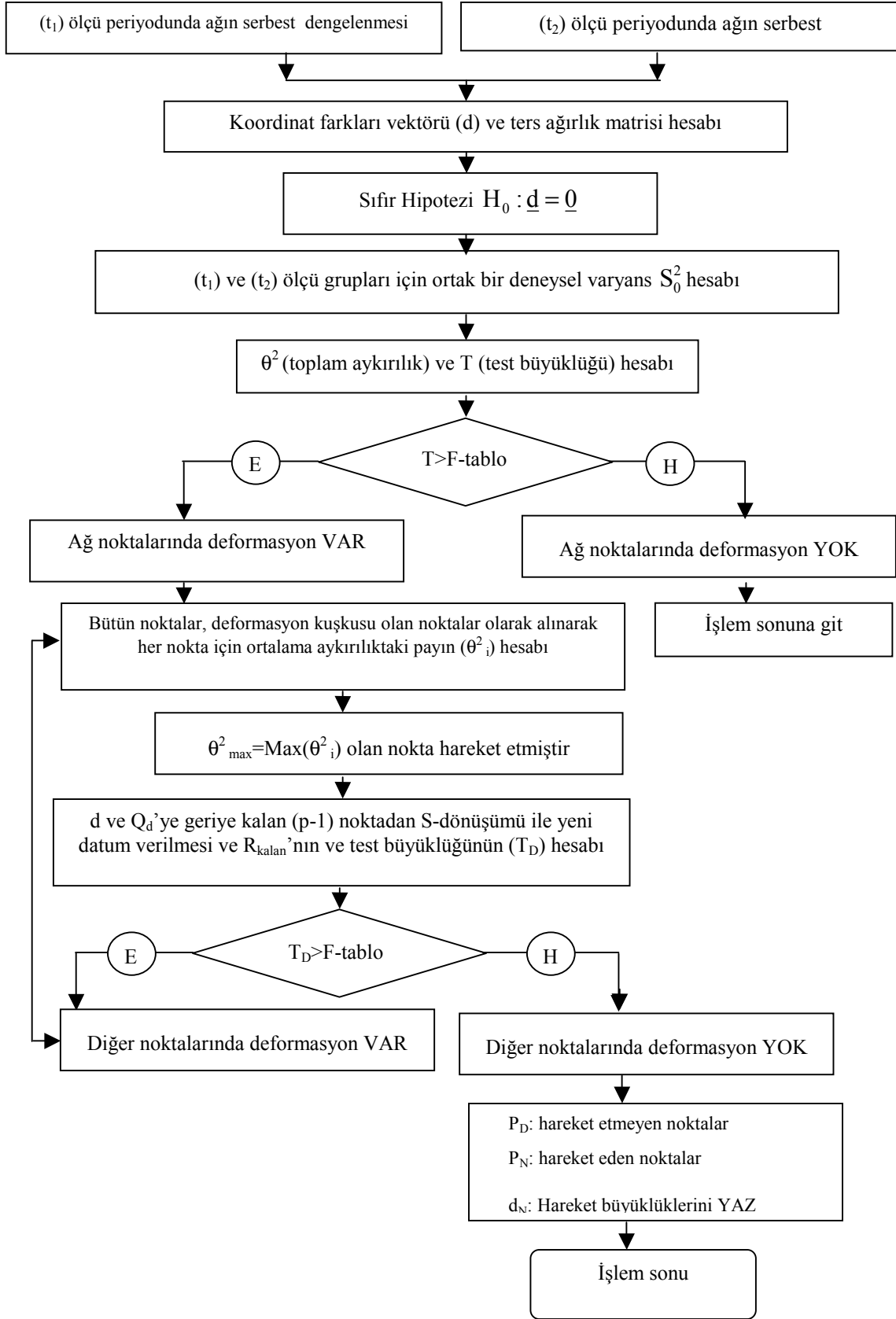
2.2.1 Statik (θ^2 -Ölçütü) Deformasyon Analizi

Statik model, zamanı dikkate almaksızın, bir objenin geometrik reaksiyonları ve yükler arasındaki fonksiyonel ilişkiyi tanımlar. Ölçme periyotları arasındaki koordinatlardaki farklar hem araştırılan objedeki deformasyonu hem de gözlemlerdeki hataları yansıtır. Deformasyon incelemesine konu bölge veya yapının karakteristik noktalarının, deformasyon vektörlerinin zamandan ve etkiyen kuvvetlerden bağımsız olarak belirlenmesi statik modelin konusu içine girer. Statik model deformasyon belirleme amaçlı mühendislik uygulamalarında en çok uygulanan bir deformasyon analizi yoludur.

GPS_STA_DEF programı, θ^2 -Ölçütü yöntemine göre ağ noktalarının iki periyot sonunda elde edilen koordinat farklarını ve onlara ait varyans-kovaryans matrislerini kullanarak ağdaki noktaların sabit ya da hareketli olup olmadıklarını istatistik olarak belirler. Kullanılan yöntemine göre ağın herhangi bir noktasında deformasyon olup olmadığını araştırmak için ağın hiçbir noktasında deformasyon yoktur şeklinde bir kabul yapılır. Koordinat farkları ve onlara karşılık gelen varyans-kovaryans matrislerinden bir ortalama aykırılık değeri ve her iki ölçü kümesine ait ortak bir standart sapma hesaplanır. Bu değerlerden test büyüklüğü ve ona karşılık gelen F-tablo değeri hesaplanır. $T > F$ -tablo ise ağ noktalarından birinde ya da birkaçında deformasyon olduğuna karar verilir. Sonraki adımda tüm ağ noktalarına ait ortalama aykırılıklar ve onlara karşılık gelen test büyüklükleri hesaplanır. Ortalama aykırılık değeri maksimum (R_{max}) olan noktada deformasyon olduğuna karar verilir. İlgili nokta, farklar ve onlara karşılık gelen varyans- kovaryans kümesinden atılır. Ağda deformasyon bulunan başka nokta olup olmadığını araştırmak için koordinat farkları ve onlara karşılık gelen varyans-kovaryans matrisine bir S dönüşümü ile geriye kalan noktalardan yararlanarak yeni bir datum verilir. Geriye kalan noktalardan tekrar bir ortalama aykırılık değeri ve ona karşılık gelen F-tablo değeri hesaplanır. $T > F$ -tablo ise ağ noktalarında birinde ya da bir kaçında deformasyon vardır denir ve yukarıdaki işlem adımları tekrarlanır. Bu işlemlere test büyüklüğü tablo değerinden küçük oluncaya kadar devam edilir. Yöntem yinelemelidir. Her defasında bir ağ noktası test edilebilir. Yöntemin sayısal çözümüne ait bir örnek Şekil 5’de gösterilmektedir. Ayrıca yöntemin akış diyagramını Şekil 6’ da verilmektedir. Yazılımdan Şekil 5’de görüldüğü gibi özet bilgiler alınabileceği gibi daha ayrıntılı çıktılarda alınabilir. Konunun teorisi ile ilgili daha açıklayıcı bilgiler [Pelzer, 1971, 1985; Öztürk, 1978, 1992; Koch, 1984; Caspary, 1988; Yalçınkaya, 1994; Tanır 2000]’den elde edilebilir.

NN	Rmax	Test	Sınır	KARAR	dx(cm)	dy(cm)	dz(cm)	DEF.
1	120599.06	2227.64	1.47	T > q	-13.82	16.23	-4.84	Uar
2								Yok
3	5945.23	277.03	1.51	T > q	-1.97	4.41	-6.94	Uar
4	1624.75	101.43	1.56	T > q	2.26	-0.54	1.82	Uar
5	5149.56	287.14	1.49	T > q	-3.44	2.24	-1.01	Uar
6	11.82	5.80	1.99	T > q	-0.33	0.18	-0.16	Uar
7	1211.52	59.01	1.59	T > q	-1.47	2.41	-1.83	Uar
8								Yok
9	1738.75	118.25	1.53	T > q	-3.12	1.03	-1.36	Uar
10								Yok
11	152.99	10.77	1.68	T > q	-1.06	-0.22	-1.22	Uar
12	38.81	6.04	1.84	T > q	-0.08	0.74	-0.34	Uar
13								Yok
14	433.75	18.75	1.63	T > q	-1.10	0.73	0.39	Uar

Şekil 5. Statik deformasyon analiz sonuçları

Şekil 6. θ^2 -Ölçütü ile deformasyon analizi iş akış şeması (Tanır 2000)

2.2.2 Kinematik (Tek Nokta Modeli) Deformasyon Analizi

Kinematik modelin amacı, neden olan güçleri dikkate almaksızın zamana bağlı fonksiyonlar yardımıyla nokta hareketlerinin uygun bir tanımını bulmaktır. Kinematik modelde konu, üzerinde deformasyon incelenecek bölgenin karakteristik noktalarının hareketleri bu hareketlerin hızları ve ivmeleridir. Kinematik deformasyon analizinde, jeodezik ağda zamanla hareket eden noktalar, hareketin büyüklüğü, hareket hızları ve ivmeleri zamana bağlı bir fonksiyonla saptanır. Deformasyon alanında düzgün bir hareket olduğu varsayımı altında yer değiştirme vektörü hız ve ivmenin bir fonksiyonudur Hareket parametrelerinden oluşan durum vektörü, konum ve konumun zamana göre birinci türevi hız, ikinci türevi ivmeden oluşan değişkenlerdir

Bu çalışmada deformasyonların kinematik modelle belirlenmesinde Kinematik Tek Nokta modeli kullanılmıştır. Bu model, Hannover yaklaşımına göre adım adım aşağıdaki şekilde uygulanmıştır.

1. Adım : Her periyot ölçüleri serbest ağ yöntemi ile dengelenmekte ve hesaplanan

x_k : Dengeli koordinatlar vektörü

$(Q_{xx})_k$: Ters ağırlık matrisi

$(s_0^2)_k$: Birim ağırlığın varyansı

değerleri ikinci adımda veri olarak kullanılmaktadır.

2. Adım : Bu adımda hareketler,

$$x_j^{(k)} = x_j^{(0)} \quad (1)$$

şeklinde oluşturulan statik modelle belirlenmektedir. Bu modelin sıfır hipotezi “ $x_0^{(s)}$: **Zamanlar arasında geçen sürede hareket oluşmamıştır**” şeklinde oluşturulmaktadır. Test sonucunda bu hipotez reddedilirse, tüm bölgede hareket olup olmadığına bakılarak hareket varsa diğer adıma geçilmektedir.

3. Adım : (1) bağıntısındaki statik model hız parametreleri ile genişletilerek doğrusal model,

$$x_j^{(k)} = x_j^{(0)} + v_j(t_k - t_0) \quad (2)$$

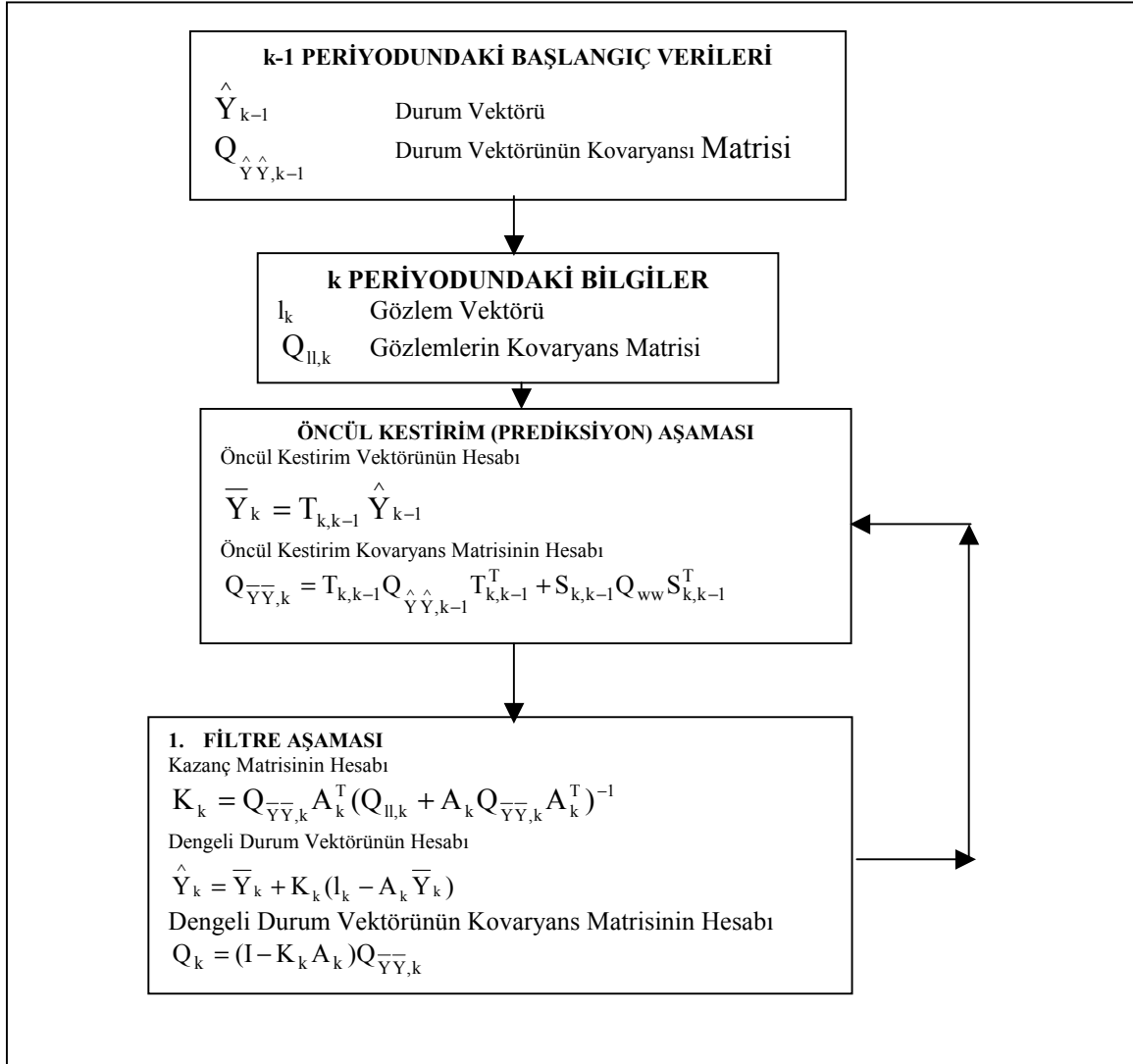
şeklinde oluşturulmaktadır. Doğrusal modelin sıfır hipotezi “ $x_0^{(d)}$: **Tüm noktalarda doğrusal hareket vardır**” biçiminde kurulmaktadır. Eğer test sonucunda bu hipotez reddedilirse daha yüksek dereceli bir hareket modeli olan karesel hareket modeline geçilmektedir.

4. Adım : (2) modeli ivme parametresi ile genişletilerek karesel model,

$$x_j^{(k)} = x_j^{(0)} + v_j(t_k - t_0) + \frac{1}{2} a_j(t_k - t_0)^2 \quad (3)$$

biçiminde oluşturulmaktadır. Bu modelin sıfır hipotezi “ $x_0^{(k)}$: **Tüm noktalarda ivmesel hareket vardır**” biçiminde kurulmuştur. Karesel modelden daha yüksek derecede modele yorumlama hatası yapılabilme olasılığı nedeniyle geçilmemiştir.

Kinematik tek nokta modelinde (3), her noktanın hareket parametrelerinin aynı anda dengeli olarak hesaplanabilmesi için çok sayıda ölçme periyodunda yapılan ölçülere gereksinim vardır. Bu nedenle bu model az sayıda ölçme periyoduna gereksinim duyan Kalman-Filtreleme yöntemi ile çözülmüştür. Konunun teorisi ile ilgili daha açıklayıcı bilgiler [Holdahl, 1979; Holdahl ve Hardh, 1979; Pelzer, 1985, 1986, 1987; Yalçinkaya, 1994, 1996, 2001; Gülal, 1996, 1999; Rossikopoulos, 1998]’den edinilebilir. Kinematik Tek Nokta Modelinin Kalman-Filtreleme tekniği ile çözümünün iş akış şeması Şekil 7’de ve Kalman-Filtreleme ile çözüme ait sonuçlar şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 7. KALMAN-Filtreleme tekniğinin iş akış şeması (Yalçinkaya 2001)

```

*** KINEMATIC DEFORMASYON ANALIZI ***

T > q (+) Anlamli Hareket Var
T < q (-) Yok

NN  Koordinat Bil.( cm )      Test Buyuklukleri  S.Deg.  KARAR
    dx   dy   dz      Tdx   Tdy   Tdz      q
1  -16.09  18.46  -6.40  66.71  76.81  26.67  1.98  + + +
2   0.07  -0.02  -0.53   0.32   0.09   2.40  1.98  - - -
3  -2.90   5.22  -7.93  11.84  21.67  33.00  1.98  + + +
4   1.80  -0.27   1.54   7.62   1.15   6.47  1.98  + - +
5  -4.69   3.20  -2.11  19.56  12.79   8.65  1.98  + + +
.
.

NN  Hiz Bil.(cm / 3Ay)      Test Buyuklukleri  S.Deg.  KARAR
    vx   vy   vz      Tvx   Tvy   Tvz      q
1  -1.31  2.25  -0.16  12.49  22.36   1.49  1.98  + + -
2   0.01  0.00  -0.06   0.34   0.00   1.45  1.98  - - -
3  -0.95  1.28  -2.26   8.16  11.20  19.66  1.98  + + +
4  -0.21  -0.39  -0.27   2.06   3.95   2.50  1.98  + + +
5  -1.17  0.81  -0.60   9.66   6.75   4.62  1.98  + + +
.
.

NN  Ivme Bil.(cm / 3Ay2)    Test Buyuklukleri  S.Deg.  KARAR
    ax   ay   az      Tax   Tay   Taz      q
1   0.11  0.05  0.13   4.64   2.09   5.07  1.98  + + +
2   0.00  0.00  0.00   0.20   0.06   0.39  1.98  - - -
3  -0.15  0.17  -0.34   5.51   6.27  12.21  1.98  + + +
4  -0.10  -0.09  -0.11   4.11   3.72   4.17  1.98  + + +
5  -0.16  0.11  -0.09   5.44   3.88   2.86  1.98  + + +
.
.

```

Şekil 8. Kinematik deformasyon analiz sonuçları

2.3 Görüntüleme Modülü

Yazılımın bu bölümü dengeleme ve deformasyon analiz sonuçlarının sayısal olarak görüntülenmesini sağlamaktadır. Sonuçların görüntülenmesine ait dosya örnekleri yukarıda verilmiştir. Kullanıcı sonuç dosyalarına ihtiyacına göre yazdırmalar yapabilir. Yazılım bu konuda esnekler.

3. SONUÇLAR

Deformasyon ağlarının değerlendirilmesine yönelik olarak geliştirilen bu yazılım paketi, önce her periyottaki GPS ölçülerini serbest ağ yöntemine göre dengeleyerek, ağın hem statik hem de kinematik tek nokta modeli ile deformasyon analizini yapabilmektedir. Böylece kullanıcı statik ve kinematik model sonuçlarını karşılaştırılabilmektedir. Yazılımda, Statik modelle hareketler, ayırma gücü fazla olan θ^2 -ölçütü yöntemine göre hesaplanmıştır. Kinematik tek nokta modelinde, her noktanın x, y, ve z yönlerindeki hareketi, hareketin hızı ve ivmesi zamana bağlı olarak belirlenebilmektedir. Bu

yazılımda kinematik hareket parametreleri Kalman-Filtreleme yöntemiyle hesaplanmaktadır. Parametrelerin hesabı, genişletilmiş fonksiyonel modelin testine göre adım adım yapılabilmektedir. Böylece ara sonuçların görülebilmesi ve deformasyonun seyrinin izlenmesi olanağı da sağlanabilmektedir.

4. KAYNAKLAR

- Caspary, W.F., 1989. Concepts of Network and Deformation Analysis, Monograph 11, Edited by J.M. Rueger, The University of New South Wales, Australia, 183p.
- Dilaver, A., Jeodezik Ağlarda Kaba Hatalı Ölçüleri Ayıklanması ve Güven Ölçütleri, K.T.Ü. M.M.F., Fakülte Yayın No:1996/2.
- Eren, K., Uzel, T., GPS Ölçmeleri, 1995, Yıldız Teknik Üniversitesi Matbaası, Yayın No:301.
- Gülal, E., Hoşbaş, R.G., Uzel, T., Kinematik Deformasyon Analizinde Kalman-Filtreleme Tekniği, Y.T.Ü.D., Sayfa 30-37, 1996/3-4.
- Gülal, E., Kalman-Filtreleme Tekniğinin Deformasyon Analizinde Uygulanması, Y.T.Ü.D., 1999/1.
- Holdahl, R.S., Hardh, L.R., Solvability and Multiquadric Analysis as Applied to Investigations of Vertical Crustal Movements, Proceedings of the IUGG Interdisciplinary Symposium, Recent Crustal Movements, Australia, 1979.
- Koch, K.R., Statistical Tests for Detecting Crustal Movements Using Bayesian Inference, NOAA Tech. Rep. NOS NGS 29, pp. 1-6, National Geodetic Survey, Rockville, Md., 1984.
- Konak, H., Yüzey Ağlarının Optimizasyonu, Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1994.
- Öztürk, E., Jeodezik Deformasyon Ölçülerinin İrdelenmesi θ^2 -Ölçütü, Harita Dergisi, 85, 1978, 44-52.
- Öztürk, E., Jeodezik ağlarda duyarlık ve Güven Ölçütleri, Türkiye I. Harita ve Teknik Kurultayı, 23-27 Şubat, 1987, Ankara, 641-699.
- Öztürk, E., Şerbetçi, M., Dengeleme Hesabı, Cilt III, K.T.Ü. Basımevi, Trabzon, 1992.
- Pelzer, H., Zur Analyse Geodetischer Deformationsmessungen, DGK, R.C., Nr. 164, Munchen, 1971.
- Pelzer, H., Statische, Kinematische und Dynamische Punktfelder, in: Geodatische Netze in Landes-und Ingenieurvermessung II, PELZER, H., Stuttgart, 1985.
- Pelzer, H., Application of Kalman- and Wiener-Filtering on the Determination of Vertical Movements, The Symposium on Height Determination on Recent Vertical Crustal Movements in Western Europa, Hannover, Determination of Heights and Height Changes, 539-555, 1986.
- Pelzer, H., Deformationsuntersuchungen auf der Basis Kinematischer Bewegungsmodelle, AVN, 94 2, 49-62, 1987.
- Rossikopoulos, D., Fotiou, A., Livieratos, E., Bald, P., A Rigorous Analysis of GPS data to detect Crustal Deformations in The Area of The Ionian Sea, Tectonophysics 294, 1998, 271-280.

- Tanır, E., Deformasyon Analizinde Statik Değerlendirme Yöntemleri, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2000.
- Wolf, P. R. ve Charles D., Ghilani: Adjustment Computation : Statistics and Last Squares in Surveying and GIS,1997, John Wiley and Sons, Inc., ISBN 0-471-16833-5.
- Yalçinkaya (Ünver), M., Düşey Yöndeki Yerkabuğu Deformasyonlarının Kinematik Model İle Belirlenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1994.
- Yalçinkaya (Ünver), M., Öztürk, E., Determination of Vertical Crustal Movement, 1st International Symposium on Deformations in Turkey, September 5-9, İstanbul, 1994.
- Yalçinkaya (Ünver), M., Kalman-Filtreleme Yöntemi İle Kinematik Düşey Hareketlerin Belirlenmesi, Harita Dergisi, S.116, 1996.
- Yalçinkaya (Ünver), M., Üç Boyutlu Ağlarda Kalman-Filtreleme Tekniğinin Uygulanması: Matlab ve Fortran Programlama Dilleriyle Çözümü, K.T.Ü. M.M.F. Araştırma Raporları, Fakülte Yayın No: 2001/1.