

**GPS ÖLÇÜLERİ VE YERSEL GÖZLEMLERİN BÜTÜNLEŞİK
OLARAK DEĞERLENDİRİLDİKLERİ 3-BOYUTLU
DEFORMASYON AĞLARININ ÜLKE TEMEL
NİRENGİ AĞI SİSTEMİNE DÖNÜŞTÜRÜLMESİ**

*Ergün ÖZTÜRK
Veysel ATASOY
Haluk KONAK*

ÖZET

Mühendislik hizmetleri ve deformasyonların izlenmesi amacıyla oluşturulan 5-7 km kenar uzunluklu Jeodezik Ağlarda günümüz teknolojik olanakları ile gerçekleştirilen GPS ölçülerinin duyarlılıkları $\sigma_{\Delta X}=\sigma_{\Delta Y}=\pm 5$ mm, $\sigma_{\Delta Z}=\pm 9$ mm dir. Bu türden yüksek duyarlıklı ağlarda yatay doğrultular $\sigma_r=\pm 2^{\text{cc}}$, düşey açılar $\sigma_z=\pm 6^{\text{cc}}$, eğik uzunluklar $\sigma_d=\pm(5 \text{ mm}+0,2 \text{ ppm})$, nivelman yükseklik farkları $\sigma_{\Delta H}=\pm 12$ mm/km duyarlıkla ölçülebilmektedir.

Bu gözlemlerin tümünün WGS84 sisteminde 3-Boyutlu matematik model ile topluca dengelenmesi sonucunda elde edilen Yermerkezli 3-Boyutlu Dinamik Koordinatların duyarlılıkları $\sigma_x=\sigma_y=\pm 3$ mm, $\sigma_z=\pm 5$ mm dir. Dinamik koordinatların Ülke Temel Nirengi Ağı sistemine dönüştürülmesinden sonra hesaplanan UTM koordinatları ile halen kullanılmakta olan geçerli koordinatlar arasındaki farklar $v_g=2-3$ cm kadardır. Bütünleşik Deformasyon Ağının Ulusal Jeodezik Datuma dönüştürülmüş koordinatları, Ülke Ağı Koordinatları olarak kullanılabilir.

1. GİRİŞ

Günümüzde GPS uydularından yararlanarak yeryüzünün her bölgesindeki gözlem koşulları uygun noktaların 3-Boyutlu bağıl (rölatif) konumları, noktalar arasında görüş zorunluluğu olmaksızın, gece ve gündüz, hava koşullarına bağımlı kalmadan, hızlı, doğru ve ekonomik olarak belirlenebilmektedir. Deformasyon izleme ağlarında ölçülerin Serbestlik Ölçütlerini (redundanz paylarını) yeterli duruma getirmek ve GPS Ölçüleri ile Yersel Gözlemlerin birbirlerini karşılıklı olarak kontrol etmelerini sağlamak amacıyla bu ağlar, Bütünleşik Jeodezik Ağlar olarak ölçülmekte ve değerlendirilmektedir.

Yüksek duyarlık isteklerinin öngörüldüğü Deformasyon Ağları, zorlamalardan kaçınmak ve projeksiyondan kaynaklanan deformasyonları önleyebilmek için Yermerkezli 3-Boyutlu WGS koordinat sisteminde Serbest ağlar olarak dengelenirler. Elektronik uzunluk ölçerlerin ölçekleri ile GPS ölçüleri arasındaki uyumsuzluklar, düşey açılardaki refraksiyon etkileri, nivelman ölçülerinin dayandıkları Jeoid ile GPS ölçüleri ve trigonometrik yüksekliklerin dayandıkları Elipsoidin farklı yüzeyler olmaları ve Jeoid Dalgalanmalarının (n) henüz deformasyon ağlarından beklenen mm düzeyindeki duyarlıklara ulaşmamış olmaları nedeniyle dengeleme sırasında model hataları oluşmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, WGS84 sisteminde (World Geodetic System 1984) dengelendikten sonra Ülke Temel Nirengi Ağı sistemine dönüştürülen Yer Merkezli 3-Boyutlu Dinamik Koordinatların halen kullanılmakta olan Geçerli Koordinatlarla uyumlu olup olmadıklarını saptamak ve Deformasyon Ağlarından hesaplanan UTM koordinatlarının Ülke Ağı Koordinatları olarak kullanılıp kullanılmayacaklarını araştırmaktır.

2. ÖLÇÜLER VE SERBEST DATUMDA TANI DENGELEMELERİ

Deformasyon ağlarında $t \approx 60$ dakikalık sürede gerçekleştirilen GPS gözlemleri ile $\sigma_{\Delta X} = \sigma_{\Delta Y} = \pm 5$ mm ve $\sigma_{\Delta Z} = \pm 9$ mm ölçü duyarlıklarına ulaşılmaktadır. Bu ölçülerin duyarlı yörünge parametreleri (Precise Ephemeris PE) kullanılarak ölçü sonrası değerlendirme yöntemleri (Post Processing PP) ile işlenmeleri sonucunda elde edilen koordinat farkları ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$), Yermerkezli 3-Boyutlu Dünya Jeodezik Sistemindedir (WGS84). Her alet kurma ve ölçme oturumu için WGS84 sisteminde elde edilen koordinat farkları takımları ΔX ölçüler olarak ele alınır. Bu veriler, Varyans-kovaryans matrisleri $K_{\Delta X}$ den yararlanarak serbest ağ yöntemiyle WGS84 sisteminde değerlendirilirler. Meteorolojik koşullardan ve alıcı antenlerinin merkezleştirme hatalarından kaynaklanabilecek tutarsızlıkları gidermek amacıyla uygulanan 3-Boyutlu 4-Parametrelili Benzerlik Dönüşümü İşlemleri de Serbest Datumda yapılan Tanı Dengelemesi sırasında gerçekleştirilir (ÖZTÜRK 1987, NIEMEIER 1994).

$$l_G + v_G = [I \ D] \begin{bmatrix} dx \\ t \end{bmatrix} \quad \text{Fonksiyonel Model} \quad (1)$$

$$P_l = K_{l\Delta}^{-1} \quad \text{Stokastik Model} \quad (2)$$

$$\Delta X = \Delta X^0 + dx \quad \text{Dengeli Koordinat Farkları} \quad (3)$$

$$d_x^T = [dx \ dy \ dz] \quad \text{Küçültülmüş Bilinmeyenler} \quad (4)$$

$$t^T = [\varepsilon_x \ \varepsilon_y \ \varepsilon_z \ m_G] \quad \text{Dönüşüm Parametreleri; dönüklükler ve ölçek katsayıları} \quad (5)$$

l_G : Kısaltılmış GPS ölçüleri,

v_G : GPS ölçülerine eklenecek düzeltmeler,

$\Delta X^0, \Delta Y^0, \Delta Z^0$: Yaklaşık koordinat farkları.

Sabit alıcıların sayısının birden fazla olduğu durumlarda Yermerkezli 3-Boyutlu WGS84 koordinatları bilinmeyen seçilir. Tanı dengelenmesi işlemleri sırasında 3-Boyutlu 7-Parametrelilik Benzerlik Dönüşümü uygulanır.

Ağdaki yatay doğrultular $m_r = \pm 1^{cc}$ duyarlıklı elektronik teodolitlerle 8 tam dizi (silisile), düşey açılar 4 dizi, kenarlar karşılıklı 6 şar kez gözlenirler. Nivelman geçkileri olabildiğince döngüler (loop) olarak oluşturulur. $m_{\Delta H} = \pm 0,3$ mm/km duyarlıklı nivolar ve invar miralarla gidiş+dönüş olmak üzere 2 şer kez ölçüleri. Yersel gözlemler arasındaki tutarsızlıkları saptamak ve toplu dengelenmenin stokastik modelini belirlemek amacıyla yalnızca yersel gözlemlerle tanı dengelenmesi yapılır. Bu dengeleme sırasında ölçülen eğik uzunluklar için ölçek katsayısı da bilinmeyen olarak seçilir.

$$l_Y + v_Y = [A_x \ A_\Delta] \begin{bmatrix} X \\ \Delta \end{bmatrix}, \quad P_Y = K_Y^{-1} \quad (6)$$

$$x^T = [x \ y \ z] \quad \text{Koordinat Bilinmeyenleri} \quad (7)$$

$$\Delta^T = [\Delta\varphi \ \Delta\lambda \ m_d] \quad \text{Çekül Sapması Bilinmeyenleri ve Ölçek Katsayısı} \quad (8)$$

$$X = X^0 + x \quad \text{Dengeli Koordinatlar} \quad (9)$$

l_Y : Kısaltılmış yersel gözlemler,

v_Y : Yersel gözlemlere eklenecek düzeltmeler,

X^0 : WGS84 sisteminde yaklaşık koordinatlar.

3. GPS ÖLÇÜLERİ İLE YERSEL GÖZLEMLERİN TOPLU DENGELENMESİ

Tanı dengelenmeleri ile duyarlıkları belirlenen yatay doğrultular r_{ij} , düşey açılar Z_{ij} , eğik uzunluklar d_{ij} , geometrik nivelman ölçüleri ΔH_{ij} ve GPS ölçüleri $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)_{ij}$; WGS84 sisteminde belirlenmiş olan yaklaşık koordinatlardan yararlanarak topluca dengelenirler. Serbest Ağ (tüm iz min.) yöntemiyle gerçekleştirilen dengeleme işlemi sonunda elde edilen koordinatlar, WGS84 sistemindeki Dinamik Koordinatlardır. Deformasyon ağında ölçeğin uzunluk ölçüleri ile belirlenmesi öngörülür. GPS

ölçülerinin taşıdıkları datum bilgileri (3 dönüklük ve 1 ölçek katsayısı) ek parametrelerle yok edilerek fonksiyonel model oluşturulur (WOLF 1975, HECK 1987, NIEMEIER 1994). Tanı dengelemeleri ile belirlenen öncül varyanslardan yararlanarak stokastik model kurulur.

$$l + v = [A_x \ A_t] \begin{bmatrix} x \\ t \end{bmatrix}, \quad P = K_{ll}^{-1} \quad (10)$$

$$x^T = [dx \ dy \ dz \ d\Phi \ d\Lambda] \quad \text{Küçültülmüş Koordinat Bilinmeyenleri} \quad (11)$$

$$t^T = [\varepsilon_x \ \varepsilon_y \ \varepsilon_z \ m_G] \quad \begin{array}{l} \text{3-Boyutlu 4 Parametrelilik} \\ \text{Dönüşümünün Katsayıları} \end{array} \quad (12)$$

$$\begin{bmatrix} N_{xx} & N_{xt} & B \\ N_{tx} & N_{tt} & 0 \\ B^T & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ t \\ k \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} n_x \\ n_t \\ 0 \end{bmatrix} = 0 \quad \text{Genişletilmiş Normal Denklemler} \quad (13)$$

$$x^T x = \min. \quad \text{Tüm İz Minimum Koşulu} \quad (14)$$

B : Deformasyon Ağı noktalarının tümünün yaklaşık koordinatları ile oluşturulan 7-Parametrelilik Benzerlik Dönüşümünün Katsayılar Matrisi.

$$X = X^0 + x \quad \begin{array}{l} \text{WGS84 sisteminde Serbest Ağ olarak} \\ \text{Dengelenmiş Kordinatlar} \end{array} \quad (15)$$

Toplu dengeleme sonucunda Serbest Ağ Yöntemiyle elde edilen Dinamik Koordinatlar, Deformasyon Ölçülerin Değerlendirilmesi yöntemleri ile irdelenir ve yorumlanırlar (ÖZTÜRK-ŞERBETÇİ 1992, s. 357).

4. ÜLKE TEMEL NİRENGİ AĞINA BAĞLANMA

Serbest ağ olarak dengelenmiş olan Yermerkezli 3-Boyutlu Dinamik Koordinatlar (X,Y,Z)_{WGS84} üç boyutlu 7-Parametrelilik Benzerlik Dönüşümü ile Ülke Nirengi Temel Ağının elipsoid merkezli 3-Boyutlu Türkiye Ulusal Jeodezik Datumu (TUJD) koordinat sistemine dönüştürülür. Dönüşüm bağıntıları kısa gösterimle

$$X_{TUJD} = D_7 t_7 \quad \text{7-Parametrelilik Benzerlik Dönüşümü} \quad (16)$$

biçimini alırlar.

$$t_7^T = [dX \ dY \ dZ \ \bar{\varepsilon}_X \ \bar{\varepsilon}_Y \ \bar{\varepsilon}_Z \ M] \quad \text{Dönüşüm Parametreleri} \quad (17)$$

D_7 : Benzerlik Dönüşümünün Katsayılar Matrisi

$$\varepsilon_i = \frac{\bar{\varepsilon}_i}{M} \rho \quad i = x,y,z \quad \text{Dönüklükler} \quad (18)$$

Dönüştürülmüş koordinatlar $(X,Y,Z)_{TUJD}$ nin varyans-kovaryans matrisi

$$K_{x,TUJD} = D_7 K_{t7} D_7^T \quad (19)$$

eşitliğinden hesaplanır. Bu bağıntıda

K_{t7} : Dönüşüm Parametrelerinin varyans-kovaryans matrisidir.

Dönüşüm parametrelerinin bilinmedikleri durumlarda bu büyüklükler, her iki sistemde koordinatları bilinen en az 3 eşlenik noktada (16) bağıntısından yararlanarak En Küçük Kareler Yöntemiyle hesaplanırlar.

Ülke Temel Nirengi Ağı sistemine dönüştürülmüş, 3-Boyutlu elipsoid merkezli dik koordinatlardan

$$(X,Y,Z)_{TUJD} \rightarrow (B,L,h)_{TUJD} \quad (20)$$

Elipsoid Merkezli Eğri Koordinatlar elde edilir. Kuvvet serileri yardımıyla

$$(B,L)_{TUJD} \rightarrow (x,y)_{UTM} \quad (21)$$

İki Boyutlu UTM Koordinatları bulunur. Elipsoide dayalı olan GPS yüksekliklerini (h), jeoide dayalı Türkiye Ulusal Düşey Datumu (TUDD) sistemine (H) dönüştürebilmek için yüksek duyarlıklı Jeoid Dalgalanmalarının (n) bilinmeleri gerekir. Günümüzde Jeoid Dalgalanmaları henüz deformasyon ölçüleri için öngörülen mm düzeyindeki duyarlılıklarla belirlenememektedir. Bu nedenle yükseklikleri, nivelman röperlerine dayalı olarak duyarlıklı nivelmanla belirlenen ağ noktaları, dayanak noktaları olarak alınırlar. Ağın diğer noktalarının TUDD sistemindeki yükseklikleri, dengelenmiş yükseklik farklarından yararlanarak en yakın dayanak noktasından yükseklik taşıma yoluyla belirlenirler.

Ülke Temel Nirengi Ağı ve Deformasyon Ağındaki Eşlenik Noktaların halen kullanılmakta olan geçerli koordinatları (L_g) ile serbest dengelendikten sonra TUJD sistemine dönüştürülen dinamik GPS koordinatlarının (L_e) birbirine eşdeğer olup olmadıkları Verilen Noktalar Kümesinde Uyuşum Testi yapılarak denetlenir (AKSOY 1987). Eşlenik datum noktalarının bütünleşik ağda hesaplanan dinamik UTM koordinatları (L_e, L_y), halen kullanılmakta olan geçerli koordinatları (L_g) gözlemler olarak ele alınır ve Birkaç Kez Belirlenen Bilinmeyenler Vektörlerinin Dengelenmesi yoluyla yeniden değerlendirilirler. Dinamik UTM koordinatlarının ülke ağı sistemine

dönüştürülmesi işleminin denetimi de bu dengeleme içinde gerçekleştirilir (ÖZTÜRK-KONAK-YAŞAYAN 1994).

$$\begin{bmatrix} L_e \\ L_y \\ L_g \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_e \\ v_y \\ v_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_e & 0 & A_{et} \\ 0 & I_y & A_{yt} \\ I_e & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_g \\ x_y \\ t \end{bmatrix} \quad \text{Fonksiyonel Model} \quad (22)$$

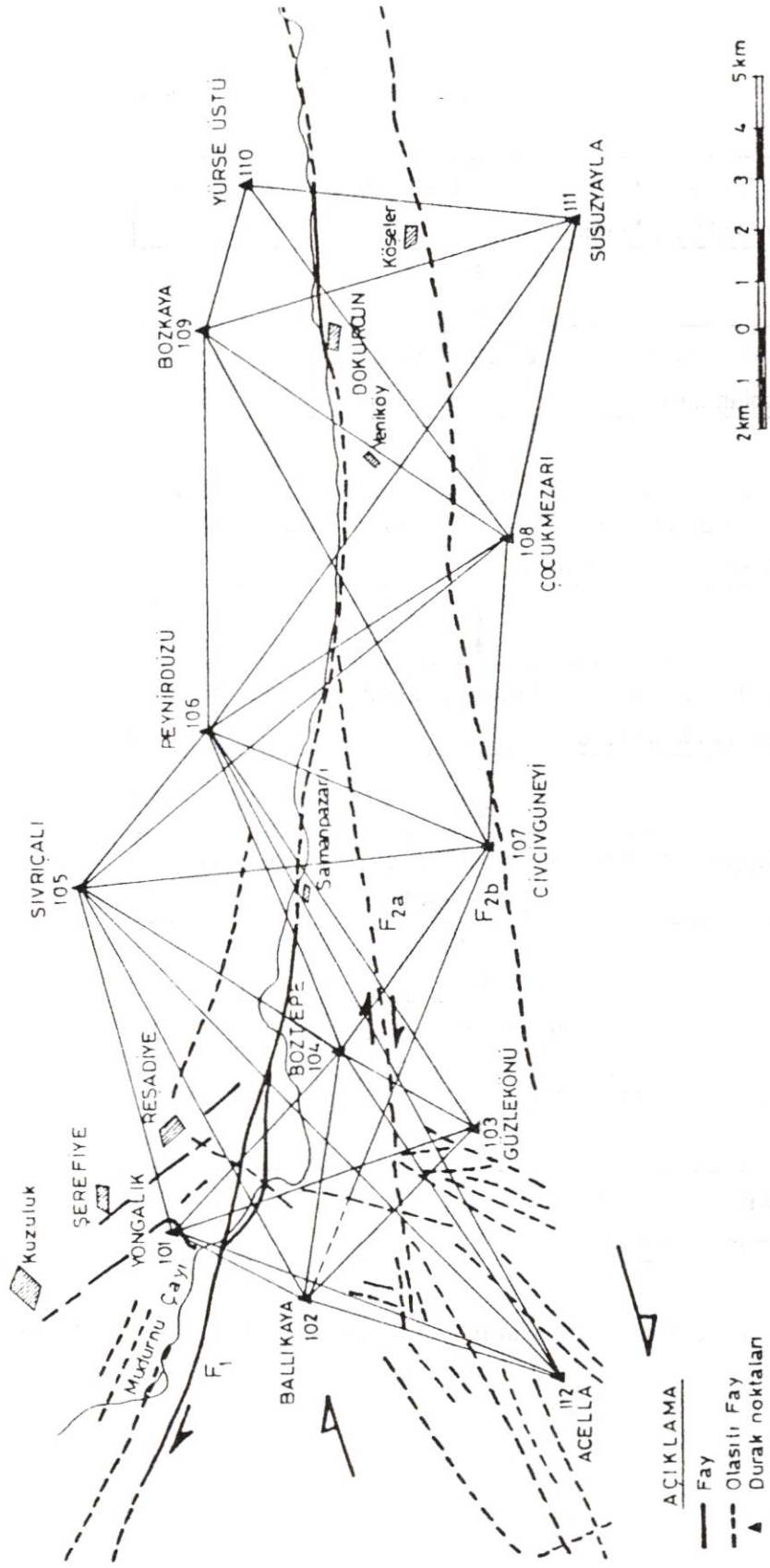
$$K_{LL} = \begin{bmatrix} \sigma_0^2 \begin{bmatrix} Q_{ee} & Q_{ey} \\ Q_{ye} & Q_{yy} \end{bmatrix} & 0 \\ 0 & \sigma_g^2 I_e \end{bmatrix} \quad \text{Stokastik Model} \quad (23)$$

Stokastik modeldeki $\sigma_0^2 Q_{EY}$ terimleri, deformasyon ağının toplu dengelemesi sonucunda elde edilen dönüştürülmüş Q_{xxD} matrisinden alınır. I birim matris, $\sigma_g^2=4 \text{ cm}^2$ Ülke Temel Nirengi Ağı Koordinatlarının varyanslarıdır.

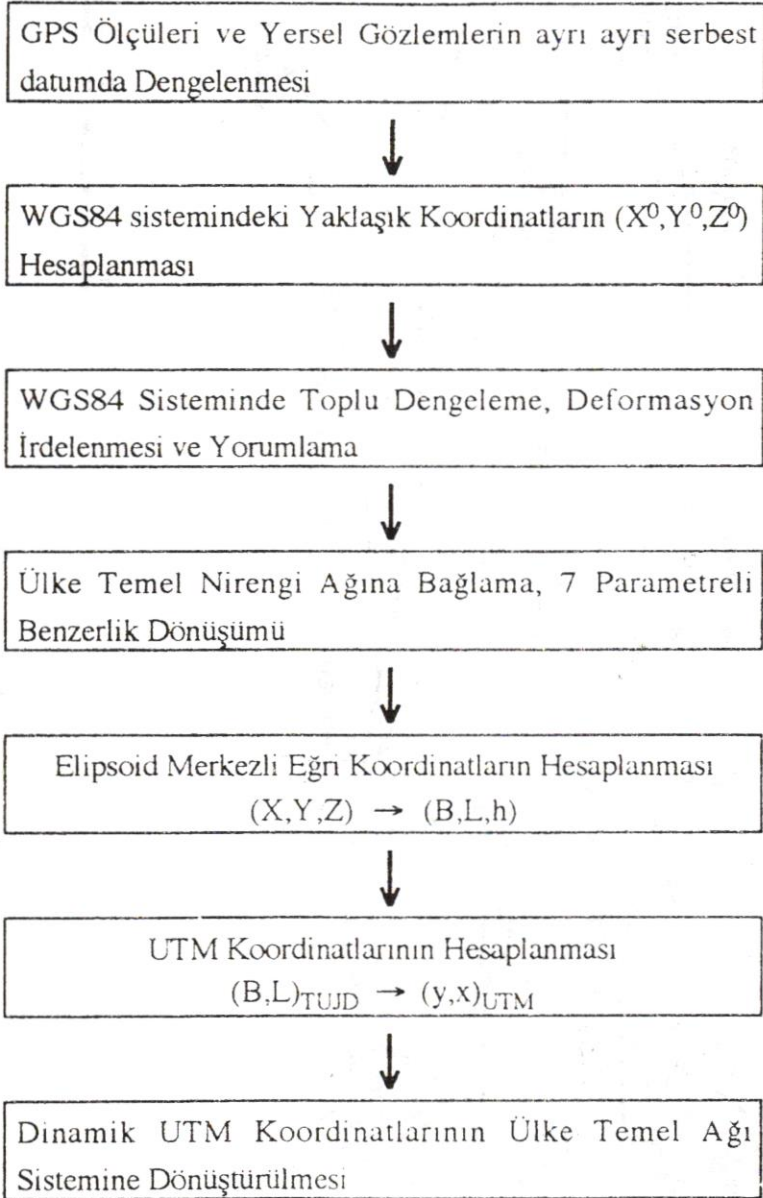
5. SAYISAL UYGULAMA VE SONUÇ

Akyazı-Dokurcun Deformasyon Ağında yapılan GPS gözlemlerinin tanı dengelemeleri sonucunda elde edilen 3-Boyutlu Koordinat Farklarının duyarlılıkları $\sigma_{\Delta X}=\sigma_{\Delta Y}=\pm 5$ mm, $\sigma_{\Delta Z}=\pm 9$ mm dir. Yersel gözlemlerin serbest ağ yöntemiyle yapılan tanı dengelemesi sonucunda $\sigma_r=\pm 2^{\text{cc}}$, $\sigma_z=\pm 6^{\text{cc}}$, $\sigma_d=\pm(5 \text{ mm} + 0,2 \text{ ppm})$, $\sigma_{\Delta H}=\pm 12$ mm/km elde edilmiştir. Duyarlı yörünge parametreleri PE kullanılarak ölçü sonrası değerlendirme yöntemleri ile elde edilen koordinat farkları $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)_{ij}$ ve yatay doğrultular r_{ij} , düşey açılar Z_{ij} , eğik uzunluklar d_{ij} , nivelman ölçüleri ΔH_{ij} , WGS84 sisteminde serbest ağ modeli ile topluca dengelenmiştir. Dengeleme sonucunda elde edilen Yermerkezli 3-Boyutlu Dinamik Koordinatların duyarlılıkları $\sigma_X=\sigma_Y=\pm(2-3)$ mm, $\sigma_Z=\pm(4-5)$ mm dir. Dinamik koordinatlar TUJD sistemine dönüştürüldükten sonra hesaplanan UTM koordinatları (y,x) ile Ülke Temel Nirengi Ağının halen kullanılmakta olan geçerli koordinatları arasındaki farklar $v_g=2-3$ cm arasında kalmaktadır.

Bütünleşik Deformasyon Ağının TUJD sistemine dönüştürülmüş koordinatları, Ülke Ağında hesaplanan koordinatlarla uyumludur. Söz konusu koordinatlar, Ülke Ağı Koordinatları olarak kullanıma sunulabilirler.



Şekil 1: Akyazi-Dokurcun Deformasyon Ağı



Şekil 2: Bütünleşik Deformasyon Ağlarının Değerlendirilmesi İŞ AKIŞ ÇİZGESİ

KAYNAKLAR

- Aksoy, A. (1987) : Koordinatları Verilen Noktalar Kümesinde Uyuşum Testi. Türkiye I. Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı Bildirileri s. 364, 23-27 Şubat 1987 Ankara.
- Boljen, J. (1993) : Ausgewählte Kapitel der Landes - und Ingenieurvermessung. Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen der Universität Hannover Nr.192, Hannover 1993.
- Bill, R. (1985) : Eine strategie zur Ausgleichung und Analyse von Verdichtungsnetzen. Deutsche Geod. Komm. Reihe C, Nr. 295, München 1985.
- Heck, B. (1987) : Rechenverfahren und Auswertemodelle der Landesvermessung. Herbert-Wichmann Verlag Karlsruhe 1987.
- Illner, I. (1985): Datumsfestlegung in freien Netzen. Deutsche Geod. Komm. Reihe C, NR.309, München 1985.
- Illner, M.-Jäger, R. (1993) : Ein Konzept zur Integration von GPS in Verdichtungsnetze, Modellbildung und Ableitung von zugehörigen Genauigkeits und zuverlässigkeitsmassen. ZfV 118 s.552, 1993.
- Koçak, E. (1985): Gauss-Krüger Projeksiyonunda Koordinat Dönüşümleri. KTÜ Yayınları 82, Trabzon 1985.
- Niemeier, W. (1992) : Zur Nutzung von GPS-Messergebnissen in Landes-und Ingenieurvermessung. ZfV Heft 8/9 s.542, Stuttgart 1992.
- Niemeier, W. (1994) : Aufbau eines 3-D Grundlagennetzes für das Pumpspeicherwerk Goldisthal durch Kombination von GPS-und terrestrischen Messungen, ZfV Heft 5, s. 241, Stuttgart 1994.
- Öztürk, E.-Şerbetçi, M. (1992) : Dengeleme Hesabı Cilt III. KTÜ Yayınları no:144, Trabzon 1992.
- Öztürk, E. (1993) : Ülke Nirengi Ağı Sıklaştırması için Yersel Gözlemlerle GPS Ölçülerinin Birlikte Dengelenmesi. Prof.Dr.-Ing.Dr.mult.H.WOLF Jeodezi Sempozyumu 3-5 Kasım 1993 İstanbul.
- Öztürk, E.-Konak, H.-Yaşan, R.Y. (1994) : Ankara GPS Test Ağında Yersel Gözlemlerle GPS ölçülerinin Birlikte Dengelenmesi. Harita ve Kadastro Mühendisliği Dergisi, sayı 76, s.7-20, Ankara 1994.

Schaffrin, B. (1985) : Das Geodätische Datum mit stochastischer Vorinformation.
Deutsche Geod. Komm. Reihe C, Nr. 313 München 1983.

Wolf, H. (1975) : Ausgleichsrechnung, Formeln zur Praktischen Anwendung,
Dümmler Verlag Bonn 1975.