

İZMİR METROPOLİTAN GPS NİRENGİ AĞI 96

Tevfik AYAN
Rahmi Nurhan ÇELİK
Gökarp ALANKO

ÖZET:

Bu çalışmada, Ağustos 1996 tarihinde gerçekleştirilen, İzmir Metropolitan Nirengi Ağı Sıklaştırılma ve İyileştirme Projesi ve İzmir Metropolitan GPS Nirengi Ağı 96 hakkında bilgi verilmektedir. Bu tarihe kadar Türkiye de, bir Metropolitan alanında gerçekleştirilmiş en kapsamlı GPS projesi olması bu projenin önemini artırmaktadır. Bu projenin önemi İzmir Harita Özel sektöründeki 22 mütaahhitlik firmasının birleşmesiyle oluşturulmuş Grup Harita A.Ş. tarafından İTÜ Jeodezi Anabilim dalı danışmanlığında tamamlanmış olması nedeniyle de ayrıca önem kazanmaktadır.

Bu çalışmanın içeriğinde, metropolitan nirenigin oluşturulması, yürütülen GPS kampanyasının kapsamı, ve yönetim biçimi. Çalışmanın nasıl ele alındığı ve hangi aşamalardan geçerek sonuçlandırıldığı, bu tür bir çalışmanın Türkiye koşullarında nasıl ele alınması gerektiği, İzmir Metropolitan Nirengi Ağı 96 nirengi noktalarının elde edilen konum doğrulukları ve güvenilirliği, toplanan GPS verilerinin değerlendirilmesi sonucunda ülke koordinatlarının nasıl bir hesaplama yolu izlenerek elde edilebileceği açıklanmaktadır.

GİRİŞ

Dünyada GPS bir çok Jeodezi ve Fotogrametri uygulamasında ilk tercih edilen teknikler arasına girmeye başlamış, bununla beraber bir çok alanda ağırlıklı olarak öncül duruma geçmiştir. Hemen hemen tüm gelişmiş ülkeler, ülke nirengi ağlarını GPS tekniklerini kullanarak geliştirmiş ve buna ek olarak bu çalışmaları birleştirerek yer küreyi tamamıyla kapsayacak bir Jeodezik ağı oluşturmayı amaç edinmişlerdir. Türkiye de, bu bütünleşme yaklaşımına sıcak bakmasına ve bunun gerekliliğine inanmış olmasına rağmen günümüze kadar ülkenin tamamını kapsayan ve GPS teknikleri kullanılarak ölçülmüş bir Jeodezik ağın oluşumunu sağlayamamıştır.

Bu nedenle, bilgi ve iletişim çağına girildiği bu dönemde, Coğrafi Bilgi Sistemi (GIS) uygulaması yapmayı planlayan yerel kurumlar, sağlıklı ve güvenilir bir altlığa gereksinim duymaları sonucunda, eksikliğini hissettikleri jeodezik bir GPS ağını kendi çabalarıyla gerçekleştirmektedirler. Ülke çapında her kurumun kendi gereksinimine yanıt verebilecek bir Jeodezik ağı oluşturması büyük bir kaynak israfı olmasına karşın, hızla gelişen dünyayı yakalamak açısından gerekli bir girişimdir. Bu israfı durdurmanın yolu, kapasamlı bir çalışma ve deneyimli bir kadro gerektiren ülke 0. Derece yüzey ağının oluşumunu en kısa sürede (Çelik v.d., 1996) üniversiteler önderliğinde kadastro ve diğer kamu kurumlarının da katılımıyla gerçekleştirmek ivedi bir amaç olmalıdır.

İzmir Metropolitan GPS Nirengi Ağı 96 ve sıklaştırılması projesi de, GIS uygulamasına altlık sorunu olmadan sağlıklı ve güvenilir bir biçimde en kısa zamanda geçmeyi planlayan ve İzmir’de halen kullanılan birden fazla jeodezik ağın (metropolitan, kadastral, imar, vb.) varlığından kaynaklanan problemlere çözüm getirebilmek amacıyla İzmir Büyük Şehir, İZSU ve İZAY yapılanması tarafından “İzmir Grup Harita” ya verilen ve İTÜ Jeodezi Anabilim Dalı danışmanlığı ile gerçekleştirilen bir projedir.

PROJENİN TANIMI

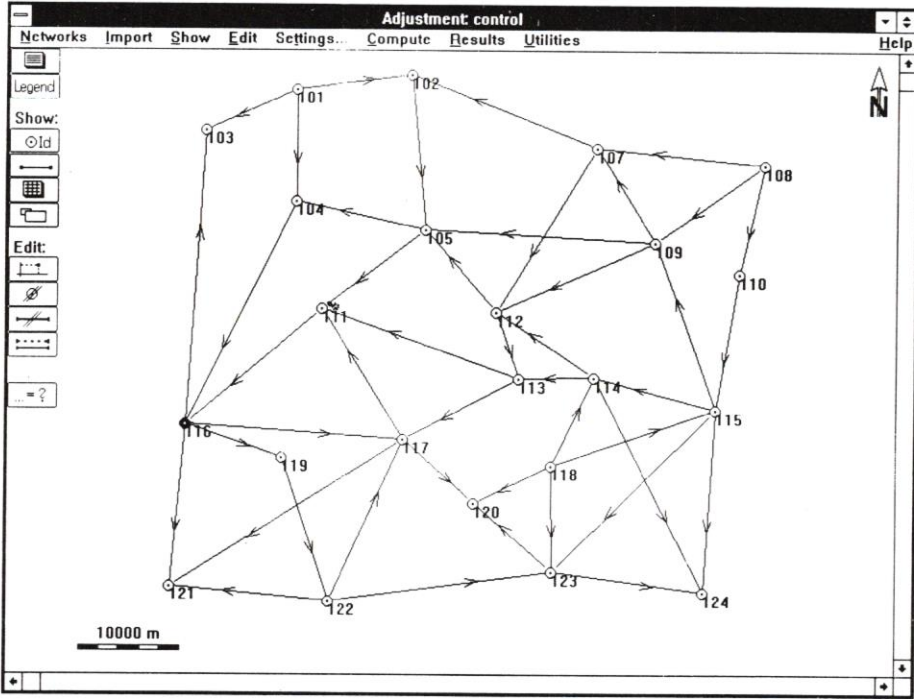
İzmir Metropolitan GPS Nirengi Ağı 96 yaklaşık 150,000 hektarlık alana yayılmış toplam 340 nirengi noktasından oluşmaktadır. Bu 340 noktaya ek olarak, biri Foça ve diğeri Çeşme’de olan iki adet sıfırıncı derece bağlantı sağlayabilecek özellikte olan jeodezik noktalar kullanılmıştır. Bu noktaların konumları SLR (Satellite Laser Ranging) bağılantılı noktalardan uzun süreli ve tekrarlanmış GPS ölçüleriyle daha önceden elde edilmiştir. Bu nedenle bu noktaların WGS84 sistemine bağlı mutlak konum koordinatları yüksek doğruluktadır. Çok geniş alana dağılmış bu 342 noktalık ağın GPS ve SLR bağlantı ölçümleri ve hesapları bölgenin çok zor topoğrafik koşullarına rağmen 20 gün gibi kısa bir sürede tamamlanmıştır.

Projenin amacı, 1/5000 ve 1/1000 ölçekli ortofoto harita yapımına, GIS uygulamalarına altlık oluşturacak , İzmir’de klasik jeodezik yöntemler kullanılarak önceden tesis edilmiş nirengi ağlarının problemlerini çözecek ve ülke nirengi ağını da sıklaştıracak bir jeodezik ağın GPS teknikleri kullanılarak ölçülmesidir. Bu projenin tamamlanması sonucunda İzmir Metropolitan GPS Nirengi Ağı 96 dünyaca kabul edilen WGS84 datumunu da referans alan bir özellik kazanmıştır. Dolayısıyla bu ağa dayalı toplanan tüm bilgiler tek bir referansa bağlı ele alınabilir, öncesinde yapılan çalışmalar ve bunlara bağlı toplanan bilgiler hem ülke hemde WGS84 sistemine bağlı kullanılabilir. Bunun diğer bir önemli katkısıda dünyada WGS84 tabanlı toplanan tüm bilgiler ile bu bilgilerin bir entegrasyon oluşturabilmesidir.

PROBLEMİN ELE ALINIŞI

İzmir Metropolitan GPS Niregi Ağı 96 ya ait 342 nokta iki farklı özellikte ağ oluşturacak biçimde ele alınmıştır. Bunlardan biri 'Ana Ağ' diğeri 'Sıklaştırma Ağı' olarak isimlendirilmiştir.

Ana Ağ



Şekil 1 Ana Ağ

Ana Ağ toplam 23 noktadan oluşmaktadır. Bu noktalar 150,000 hektarlık alanı geometrik ve topoğrafik olarak uygun temsil eden ve İzmir de daha önceden yapılmış olan harita ve benzeri uygulamalarda önem taşıyan noktaların seçilmesiyle oluşturulmuştur. Ana Ağı belirleyen noktalar arasında ülke nirengi ağı noktalarının da olmasına ayrıca önem gösterilmiş, bu vesile ile WGS84 datumuna dayalı koordinatları üretilen Ana Ağı ED50 datumuna dönüştürülmesi sağlanmıştır. Böylece bu

ağa dayalı olarak üretilecek haritalarla, mevcut haritalarında birlikte kullanılabilirliği sağlanmıştır. Ölçme öncesi yapılan 'session' planlamasında, gözlem sonrası üretilebilecek olası tüm bağımsız bazlar ve her noktada yapılacak olan gözlem süreleri (1 saat ile 1 saat 30 dakika arasında), noktalara ulaşım zamanlaması, gözlem zamanı uydu konumları ve buna bağlı olarak öncül GDOP (Geometric Dilution of Precision) değerleri (Leick, 1995) öncelikle göz önüne alınmıştır. Üretilecek bağımsız GPS bazlarının önceden belirlenmesi yoluyla gözlem öncesi Ana Ağa ait geometrik yapı yüksek bir serbestlik derecesi ve güvenilirlik sağlayacak biçimde oluşturulmuştur, Şekil 1.

Ana Ağ, 3 gün süreyle statik yöntemle (Leick, 1995; Hoffman-Wellenhof vd., 1993) ölçülmüş, bu sürede 6-7 adet çift frekanslı Leica alıcı kullanılarak 9 'session' gözlem yapılmıştır. Ana Ağ noktaları arasındaki bazların tümü 28 km nin altındadır, bununla beraber ağdaki bazların ortalama uzunluğu 20 km dir. Aynı noktada ardışık 'session' planlandığı durumlarda, arazi ekipleri 'session' lar arasında alıcı antenini tekrar merkezlendirmek üzere talimatlandırılmışlardır. Bu işlemin amacı merkezlendirme nedeniyle ortaya çıkabilecek sistematik hataları ortadan kaldırmak ve bu yolla ardışık 'session' lar arasındaki fiziksel kolerasyonu da ortadan kaldırmaktır.

Sıklaştırma Ağı

Toplam 340 noktadan oluşan ağ noktalarının 23 Ana Ağ noktası dışında kalan 317 adet nokta Sıklaştırma Ağı noktaları olarak adlandırılmıştır. Sıklaştırma Ağı nokta nokta Ana Ağ bağlantılı hızlı statik yöntemle 6-7 adet Leica GPS alıcısı kullanılarak ölçülmüştür. Sıklaştırma Ağına ait her bir noktanın gözlemi, en az iki referans (Ana Ağ) noktasına bağlı iki bağımsız baz üretilebilecek biçimde planlanmıştır. Bu yolla her bir sıklaştırma noktası için hem geometrik kontrol hemde güvenilirlik sağlanmıştır. Bunlara ek olarak birbirine yakın (5-10 km) sıklaştırma noktaları üzerinde eş zamanlı (7-12 dakika) gözlem yapan GPS alıcılarının toplamış olduğu veriler kullanılarak; bu noktalar arasında oluşan bağımsız bazlarda çözülerek geometrik yapı daha da güçlendirilmiş ve nokta konumlarının doğruluğu ve güvenilirliği artırılmıştır (Ayan, v.d. 1996).

Sıklaştırma Ağına ait gözlemler 15 - 20 dakika süreyle yapılmış, gözlem noktalarının referans noktalarından olan uzaklıklarının 20 km nin altında olmasına özen gösterilmiştir. Günlük gözlem planına alınan bir noktanın iki referans noktasının herhangi birinden 20 km den daha uzak olması durumunda, gözlem süresinin uzatılması yoluyla statik yöntemle ölçme yoluna gidilmiştir.

GPS Ölçme Ekipleri ve Donanım

Izmir Metropolitan GPS Nirengi Ağı 96 nın GPS kampanyası süresince toplam 7 adet Leica SR399E ve SR399 çift frekanslı (L1 ve L2 frekanslarını alabilen) alıcılar kullanılmıştır. Alıcıların orijinal Leica 8 saatlik güç kaynakları olmasına rağmen her ekip 12 Volt 12/18 Amp. lik ek kuru aküler ile desteklenmiştir. Bu yolla arazi ölçme ekiplerinin günlük çalışma süreleri (yaklaşık 16 saat) boyunca yaptığı GPS gözlemlerinin kesintisiz sürdürülmesi sağlanmaya çalışılmıştır. Ayrıntılı donanım Tablo 1 de verilmiştir.

Arazi ekipleri en az iki, en fazla üç kişiden oluşmakta ve her ekipte en az bir alıcı operatörü ve bir sürücü bulunmaktadır. Arazi ekiplerinin tamamı gün boyunca motorize olarak çalışmış, ekipler arası iletişim uzun menzilli (40 km) Aselsan telsizleri ve cep telefonları kullanılarak sağlanmıştır. Günde ortalama yedi ekip diğer bir deyişle ortalama on sekiz kişilik bir teknik eleman kadrosu, GPS gözlemleri için araziye çıkmıştır. Bunlara ek olarak, arazi ekiplerinin dışında günlük arazi çalışmalarının organizasyonunu yapan, takip eden, ekiplerden gelen raporlara bağlı olarak tüm kampanyayı ve günlük ölçmeleri yönlendiren ve toplanan verileri günü gününe değerlendiren bir büro ekibi de deneyimli dört uzmandan oluşmuştur.

Tablo 1: Kampanyada Kullanılan Alet ve Donanımlar

Alet/Donanım	Cinsi	Adedi
GPS Alıcısı	Leica SR399E	6
GPS Alıcısı	LeicaSR399	1
Anten Sehpa	Wild	7
Sırt Çantası	Leica	2
Harici Akü Bağlantı Kablosu	Leica	8
Güç Ünitesi (12V, 8 saat)	Leica	6
Güç Ünitesi (12V, 1 saat)	Leica	2
Güç Ünitesi (12V, 18 Amp)	Global	4
Güç Ünitesi (12V, 12 Amp)	Varta	4
Şarj Aleti	Leica	3
Şarj Aleti	Endüstriyel	2
Otomobil	Muhtelif Markada	9
Arazi Otomobili	Muhtelif Markada	9
Bigisayar	Pentium PC	4
Bigisayar	NoteBook	2
Back-up Ünitesi	Manyetik Teypli	1
Back-up Ünitesi	CD Rom Yazıcı	1

GPS VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Kampanya süresince toplanan GPS verileri günü gününe değerlendirilerek, her günün değerlendirme sonuçları ışığında bir sonraki günün ölçme planı üretilerek kampanyanın eksiksiz ve sağlıklı yürümesi sağlanmıştır.

Tüm kampanya boyunca toplanan GPS verilerinin değerlendirmesi dengeleme hesapları, Leica SKI yazılımının 2.1 versiyonu kullanılarak yapılmıştır. Çift frekanslı Leica alıcılardan toplanan code, L1 ve L2 GPS ham verileri (raw data), yine bu üç ölçünün değerlendirmeye alınmasıyla sonuca gidilmiştir. Başka bir deyişle toplanan GPS verilerinden code ölçüsü ve L1, L2 faz ölçüleri kullanılarak baz çözümleri yapılmıştır.

GPS verileri 15 derecelik yükseklik açısıyla toplanmış, değerlendirmede de yükseklik açısı 15 derece olarak alınmıştır. Uyduların yörüngelerine ait veriler ölçme anında uydulardan yayınlanan yörünge verileri (Broadcast Ephemeris) olarak toplanmış ve değerlendirmede uydu konumlarının belirlenmesinde bu veriler kullanılmıştır (Ayan v.d., 1996)

- Toplanan günlük GPS verilerinin değerlendirilmesi aşağıda sırasıyla özet olarak verilmiştir.
- Günlük toplanan veriler alıcılardan bilgisayar ortamına aktarılır (down load)
- Aktarılan tüm orjinal veriler olduğu gibi yedeklenerek bilgisayar ortamında saklanır.
- Aktarılan bu veriler ayrıca arazi kayıt belgelerinde (log sheet) bulunan bilgilerle karşılaştırılır, varsa gerekli değişiklikler yapılır.
- Her bir alete ait verinin tarih sırasında bir kopyası üretilir ve yedek veri tabanına kayıt edilir ve saklanır.
- Verilerin değerlendirilmesi ve bazların hesaplanması için toplanan veriler Leica SKI yazılımında yaratılmış olan projeye aktarılır.
- Proje içinde veriler zamana bağlı grafikler üzerinde görüntülenir.
- Eş zamanlı toplanan GPS referans istasyonlarının verileri ve gezici istasyonların verileri işaretlenir ve değerlendirme için hazırlanır.

- İşaretlenen bazlar değerlendirmeye alınır ve hesaplanır.
- Hesaplanan baz sonuçları incelenir, yorumlanır ve bazların bir sonraki adımda kullanılıp kullanılamıyacağına karar verilir.
- Kabul gören baz vektörlerinin çözümleri veri tabanına kayıt edilir.
- Çözülen baz vektörleri, dengeleme hesabı ortamına aktarılır ve dengelemeye olanak veren baz vektörleri kullanılarak dengeleme hesabı yapılır.
- Dengeleme hesabı sonuçları incelenir ve yorumlanır.
- Uyuşumsuz olan baz vektörleri belirlenir.

Bu işlemler her günün sonunda tekrarlanarak, günü günü ne verilerin değerlendirilmesi sağlanmıştır. Böylece ölçmelerin tamamlanmasından sonraki gün GPS ölçmelerine ait tüm değerlendirmeler de tamamlanmıştır.

KOORDİNAT HESAP ve TRANSFORMASYONLARI

Ana Ağ Baz Vektörlerinin Serbest Dengelemesi

Bağlantı noktaları içermeyen ağlarda (serbest ağ), ölçüler üzerinde, bağlantı noktalarının zorlaması bulunmadığından serbest dengeleme sonucu bulunan doğruluk verilerinden, doğrudan doğruya sorumlu olan ağın geometrisi ile ölçülerin doğruluğudur. Bu nedenle Ana Ağı geometrisine ve ölçü doğruluğuna göre değerlendirebilmek amacıyla, ilk olarak Ana Ağ serbest dengelenme uygulanmıştır. Böylece ağın GPS ölçüleri ile elde edilen iç doğruluğu değerlendirilmiş, ülke ağı noktalarına uyuşumunun yorumları için temel bilgiler üretilmiştir. Dengelemede, bilinmeyen olarak Ana Ağ noktalarının WGS84 datumunda üç boyutlu (3D) Kartezyen koordinatları, ölçü olarak da irdelenmiş baz çözümünden elde edilen baz vektörü bileşenleri ΔX , ΔY , ΔZ ölçü olarak alınmıştır. Dengeleme sonrasında gerçekçi bir stokastik model oluşturabilmek amacıyla a-posteriori varyans analizi (Harvey, 1991; Alanko, 1996) a-priori varyansların a-posteriori varyanslarla değiştirilmesiyle itere edilerek yapılmıştır.

Bu dengeleme hesabının sonuçları, ağın geometrik yapısının yeteri kadar güçlü olduğunu, elde edilen ölçü doğruluklarının da yüksek olduğunu göstermektedir. Münferit baz vektörlerinin kendi içlerindeki değerlendirmelerindeki karesel ortalama

hata $m_0 \pm 0.25$ ile ± 0.78 arasında değerler almaktadır. Ağa ait nokta koordinatlarının a-posteriori karesel ortalama hataları ise,

$$m_{f \max} = \pm 9.1 \text{ mm}$$

$$m_{l \max} = \pm 9.3 \text{ mm}$$

$$m_{h \max} = \pm 23.0 \text{ mm}$$

olarak elde edilmiştir. Ana Ağ noktalarının konum doğrulukları ortalama olarak yatay konumda 4-5 mm, yükseklikte 10-15 mm dir. Bu sonuçlar ortalama 20 km kenar uzunluklarından oluşan Ana Ağda GPS ölçüleri ile hedeflenen doğruluğun hiç bir kuşkuyla meydan vermeyecek şekilde aşıldığını göstermektedir. Jeodezik ağların diğer bir değer yargısı da, kaba ölçü hatalarını açığa çıkarabilme gücü anlamına gelen güvenilirlik ölçütleridir. Serbest ağ dengelemesi sonucunda yapılan analizde uyşumsuz ölçüler araştırılmış, ayrıca her bir ölçüde ortaya çıkarılabilecek olan hata miktarları (iç güvenilirlik) ve bu hataların nokta koordinatlarına etkisi anlamındaki dış güvenilirlik değerleri de serbest ağ dengelemesi sonuçları kullanılarak incelenmiştir. Bu sonuçlarda konum doğruluğu için elde edilen sonuçlar gibi son derece olumludur (Ayan v.d., 1996).

Ana Ağın SLR Bazlı Noktalara Bağlantısı

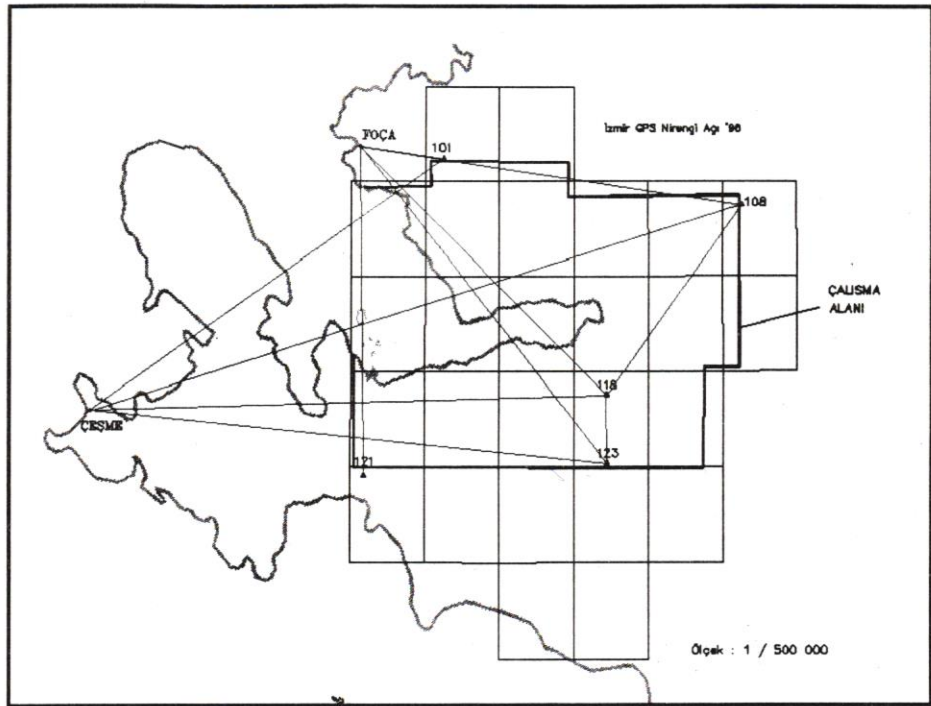
Çalışma alanına yakın olan Çeşme ve Foça'da bulunan iki noktanın yüksek doğrulukta mutlak konumları bilinmektedir. Bu noktaların koordinatları SLR bağlantılı yapılan daha önceki çalışmalarda bulunmuştur. Benzer çalışmalarda çevrede SLR yada SLR bazlı noktaların bulunmadığı durumlarda bu tür noktaların bulunduğu yerlerden yüksek doğrulukta mutlak koordinat kesinlikle taşınmalı ve ağ mutlak olarak konumlandırılmalıdır.

Bu iki noktaya konumsal olarak Ana Ağın köşelerinde seçilen dört nokta ile bağlantı yapılmıştır, Şekil 2 de Bağlantı Ağı görülmektedir. Bu noktalardan birinin de ülke birinci derece noktası olması, sıfıncı derece bağlantısını gerçekleştirebilmek amacıyla tercih edilmiştir. Bu noktaların oluşturduğu ağ 'Bağlantı Ağı' olarak isimlendirilmiştir. Bağlantı Ağı Foça ve Çeşme noktaları sabit tutularak dengelenmiş, sonuç olarak Ana Ağın dört noktasının yüksek doğrulukta mutlak koordinatları bulunmuştur. Bu koordinatlara ait maksimum nokta konum doğrulukları aşağıdaki gibidir.

$$m_{f \max} = \pm 13.1 \text{ mm}$$

$$m_{l \max} = \pm 12.7 \text{ mm}$$

$$m_{h \max} = \pm 28.2 \text{ mm}$$



Şekil 2 Bağlantı Ağı

Tablo 2 Bağlantı Ağı Ana Ağ Ölçek Uyuşumu

WGS84 - MUTLAK				SERBEST Dengeleme		
Nokta Adı	X	Y	Z	X	Y	Z
FOCA	4446746.953	2245317.389	3970021.048	4446746.654	2245317.244	3970021.507
CESME	4489154.448	226998.918	3932636.080	4489154.087	2226998.724	3932636.453
Mutlak Koordinatlardan Hesaplanan Uzunluk.:					S = 59427.248m	
Serbest Dengeleme Sonucu Hesaplanan Hesaplanan Uzunluk.:					S = 59427.273m	
				Fark.: ± 2.5 cm (0.4 ppm)		

Elde edilen nokta konum doğruluğunun yanında Bağlatı Ağı ile Ana Ağ arasındaki ölçek uyuşumu gözlemlendiğinde 0.4 ppm lik bir duyarlılık gerçekleştiği görülmektedir ki bu oldukça yüksek bir doğruluğun göstergesidir. Tablo 2 ye bakıldığında ölçek uyuşumunun nasıl test edildiği görülmektedir.

Ana Ağın Dayalı Ağ Olarak Ele Alınması

Bağlantı Ağının dengelenmesi sonucunda Ana Ağ noktalarından dördünün mutlak konumlarının belirlenmesiyle, daha önce serbest olarak dengelenmiş olan Ana Ağ bu sefer, bu dört noktanın sabit tutulmasıyla dayalı olarak tekrar dengelenmiştir. Dengeleme sonucunda elde edilen nokta konum koordinatları WGS84 datumundaki Ana Ağ noktalarının yüksek doğrulukdaki konum koordinatlarıdır. Böylece Ana Ağ olarak isimlendirilmiş olan 23 noktalı jeodezik ağ, GPS ölçülerinden yararlanılarak 3D (üç boyutlu) konumlandırılmış olur. Bu aşamadan sonra bu ağa bağlı diğer gözlemler ve hesaplamaların yapılması söz konusu olmalıdır; çünkü GIS ve benzeri amaçlar için kullanılması planlanan bir jeodezik ağın global anlamda mutlak konum sağlayabilir özellikte olması, üzerine inşaa edilecek diğer çalışmaların birbiriyle olan ilintisini gerçekleştirebilmek açısından bir gerekliliktir. Dayalı ağ olarak değerlendirilen Ana Ağ a ait maksimum nokta konum doğrulukları aşağıdaki gibidir.

$$m_{f \max} = \pm 16.9 \text{ mm}$$

$$m_{l \max} = \pm 16.8 \text{ mm}$$

$$m_{h \max} = \pm 34.5 \text{ mm}$$

Sıklaştırmaya Ağı Noktaları

Ana Ağ a dayalı olarak ölçülmüş olan 317 adet sıklaştırmaya noktasından oluşan Sıklaştırmaya Ağı, Ana Ağ ın mutlak konumlandırılmasından sonra dengelenerek, her bir noktaya ait WGS84 datumuna bağlı konumları bulunmuştur. Bu nokta koordinatlarına ait yatay konum doğrulukları ± 2 cm, düşey konum doğrulukları ise ± 4 cm nin altındadır.

Ana Ağ Noktalarının WGS84 Koordinatlarının Ülke Koordinat Sistemine Transformasyonu

GPS ölçülerinin değerlendirilmesi ile elde edilen ağ noktalarının WGS84 3D dik koordinatları x, y, z in ülke koordinat sistemi olan ED50 datumuna dönüşümü iki farklı bakış açısıyla ele alınabilir (Ayan, v.d., 1996).

Söz konusu bakış açılarının birincisi 3D transformasyondur. Buna göre ağ noktalarının verilen UTM ya da Gauss-Krüger (GK) koordinatları, önce elipsoidal coğrafi koordinatlara (B, L, h) dönüştürülür. Bu koordinatlardan da ülke sisteminin dayandığı Hayford ED50 elipsoidi sistemindeki 3D koordinatları X, Y, Z e geçilir.

İkinci adım olarak WGS84, 3D koordinatları x, y, z bir 3D transformasyonla ED50 3D koordinatlarına dönüştürülür. Bu transformasyon sonucunda elde edilen parametreler WGS84 elipsoidi ile ED50 Hayford elipsoidinin konum farklılıklarını ve iki koordinat sisteminin eksenleri arasındaki dönüklük açıları ile ölçek faktörünü ifade eder.

Üçüncü adımda ise ED50 ye transforme edilmiş GPS X, Y, Z koordinatlarından geri dönüştürülür GPS B, L, h ve buradan da GPS-GK koordinatları elde edilir.

Bu yaklaşım iki elipsoidin (WGS84 ve ED50) konumları hakkında bilgi gerektirmemektedir. Bu nedenle de avantajlı görünmektedir. Ancak ülke ağı noktalarının elipsoidal yüksekliklerine ihtiyaç göstermektedir (1. adım). Yeterli doğrulukta Elipsoidal yükseklikler, ancak prezizyonlu yükseklik ölçmeleriyle birlikte yeterli doğrulukta geoid yükseklikleri bilinirse elde edilebilir. İzmir Metropolitan GPS Nirengi Ağı 96 çalışması sırasında geoid yükseklikleri yeterli doğrulukta elde bulunmadığından ve ülke nirengi noktalarının verilen yükseklik değerleri, burada amaçlanan doğruluğun altında kaldığından bu transformasyon yolu izlenemeyecektir.

Bu nedenle WGS84 3D koordinatları x, y, z değerlerinden ülke koordinat sistemine geçiş, aşamalı olarak ve iki boyutlu (2D) transformasyon yaklaşımıyla gerçekleştirilecektir. Bunun için bir ön transformasyon yapılması öngörülmektedir. Bu ön transformasyon ile iki elipsoid yüzeyini birbirine yaklaştırarak lineer transformasyon bağıntılarının uygulanmasına olanak sağlamak amaçlanmaktadır; aksi halde elipsoidlerin farklı konumda bulunmalarının göz ardı edilmesinden kaynaklanacak olan hata suni bir ölçek faktörü olarak ortaya çıkacaktır.

İlk adımda, transformasyonda kullanılacak eşlenik noktaların verilen GK koordinatlarından elipsoidal coğrafi koordinatlar (B, L) hesaplanır. Bu noktaların yine verilen (prezizyonlu olmasa bile) yüksekliklerine $\pm 1m$ doğrulukla söz konusu nokta çevresi için bilinen global geoid yüksekliği eklenerek (Ayan, 1976) yaklaşık elipsoidal yükseklikleri h bulunur. ED50 datumundaki bu elipsoidal coğrafi koordinatlar ve elipsoidal yükseklikler den 3D Karteziyen koordinatlara geçilir. Daha sonra ise Şimşek 1995 de verilen Molodensky-Bodekas modeli ile transformasyonda

kullanılacak eşlenik noktaların WGS84 3D koordinatları x, y, z , ED50 3D koordinat sistemine üç boyutlu olarak transforme edilir (7 parametrelilik dönüşümü).

Ana nirengi ağı nokta koordinatlarının ülke koordinat sistemine dönüşümü, iki elipsoid arasındaki konum farkının minimum seviyeye indirilmesinden sonra 10 eşlenik nokta ile gerçekleştirilmiştir. 2D transformasyondan elde edilen dönüşüm parametreleri aşağıdaki gibidir.

Ötelenmeler	X Yönünde = -0.9575 Y Yönünde = -1.5694
Dönüklük	$\varepsilon = -0''.06$
Ölçek	$k = 1.000000263$

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

İzmir Metropolitan GPS Nirengi Ağı 96 projesinin tamamlanmasıyla, İzmir de önceden varolan ve klasik yöntemlerle ölçülmüş olan metroplitan nirengi ağı, kadastro nirengi ağı, ülke ağı, imar nirengi ağı arasındaki ilişkiler kurulmuş, dolayısıyla bu ağlara dayalı tüm çalışmalar arasında bir birlik sağlanmıştır.

İzmir Metropolitan GPS Nirengi Ağı 96'nın varlığı İzmir ve çevresinin yüksek doğrulukta mutlak konumu bilinen nokta gereksinimini ortadan kaldırarak, gelecekte yapılacak GPS ve GIS uygulamalarına güvenilir bir altlık oluşturmaktadır.

Toplam olarak 150,000 hektara yayılmış 340 noktadan oluşan İzmir Metropolitan GPS Nirengi Ağı 96, 20 gün gibi çok kısa bir sürede ölçme ve hesaplarıyla tamamlanmış bir çalışmanın ürünü olarak, GPS'in nirengi çalışmalarında hız ve ekonomi sağlayan bir sistem olarak Jeodezi ve Fotogrametri mühendislerinin dünyasına girdiğini bir kez daha Türkiye de, İzmir de kanıtlamıştır.

Çabuk çözüm getirmesinin yanında, yüksek doğrulukla konum belirlemeyi de sağlayan GPS teknikleri, 150,000 hektara gibi çok geniş bir alana yayılmış ve birbirlerinden uzaklıkları 10-40 km (Bağlantı ağında bu uzunluklar 100 km ye kadar çıkmaktadır) arasında olan noktaların birleşiminden oluşan İzmir Metropolitan GPS Nirengi Ağı 96 çalışmasında yatay konumda ± 2 cm nin altında ve düşey konumda ± 4 cm nin altında mutlak konum doğruluğu sağlamıştır.

KAYNAKLAR

- Alanko G. (1996) :** Presizyonlu Elektromanyetik Uzunluk Ölçmelerinde Atmosferik Etkilerin ve Ölçek Hatalarının Lokal Ölçek Parametreleri Modeli İle Giderilmesi, Dotor Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Temmuz 1996
- Ayan, T. (1976) :** Astro-Geodatische Geoidberechnung für das Geleiet der Türkei, Dissertation - Uni-Karlsruhe, Germany - 1976
- Ayan, T., Çelik, R. N., Alanko, G. (1996) :** GPS Tekniğı İle İzmir Metropolitan Nirengi Ağı Sıklaştırma ve İyileştirme Projesi, Rapor, İTÜ İnşaat Fakültesi, 20 Eylül 1996, 2119, İzmir
- Çelik, R. N. Dursun Z. Şeker (1996) :** GPS ve GIS İntegrasyonu, Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu 96, 26-28 Eylül 1996, İstanbul
- Harvey B. R. (1991) :** Practical Least Squares and Statistics for Surveyors, The School of Surveying, University of New South Wales, Australia
- Hoffmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H(1993), Collins, J. :** Global Positioning System Theory and Practice, Second Edition, Springer- Verlag Wien New York
- Leick, A. (1995) :** GPS Satellite Surveying, Second Edition, A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons Inc.
- Şimşek, M (1995) :**Uydu Tekniklerinin Ağ Sıklaştırmasında Kullanılabilirliği Üzerine Bir Araştırma, Doktora Tezi, YTÜ - 1995