

JEODEZİK GPS AĞLARININ TASARIMINDA BİLGİSAYAR DESTEKLİ SİMÜLASYON YÖNTEMİNİN KULLANIMI

Mualla YALÇINKAYA, Kamil TEKE

**Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği
Bölümü, 61080, Trabzon**

Özet

Jeodezik ağların kullanım amaçlarına uygun olarak tesis edilmesi için tasarım aşamasında optimizasyonunun yapılması gerekir. Bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerle birlikte jeodezik ağların tasarımında, çözüm algoritmalarından simülasyon yöntemleri ve analitik yöntemlerin kullanılması kolaylaşmıştır. Simülasyon yöntemleri, analitik yöntemlerin aksine güçlü bir matematiksel model gerektirmez ve etkileşimli grafik ara yüz kullanımına olanak sağlar. Bu çalışmada, Karadeniz Teknik Üniversitesi kampüs alanını ve Trabzon havalimanının bir bölümünü içine alan bir GPS ağı ölçü planı tasarımının yapılması amaçlanmıştır. üç alıcı kullanılması durumu dikkate alınarak oturumların planlanması yapılmıştır. Uygulamada, Matlab 6.1 derleyicisinde yazılan programla simülasyon yöntemlerinden tekrarlı en küçük kareler tekniği kullanılarak, duyarlık ve güven ölçütlerinden seçilen amaç fonksiyon değerlerine ulaşmak için en uygun GPS ağ konfigürasyonu ve ölçü planı oluşturulmuştur. Ağ tasarımında, simülasyon tekniğinin ve bu yöntemin gerçekleştirilmesinde Matlab derleyicisi kullanımının, sağladığı avantajlar ortaya konularak, GPS ağları ölçü planı tasarımına ilişkin uygulanabilir çözüm önerileri sunulmuştur.

Anahtar Sözcükler

Duyarlık, güvenilirlik, amaç fonksiyonu, optimizasyon, ölçü planı, simülasyon yöntemi.

Abstract

Computer Based Simulation Method Usage When Designing Geodetic GPS Networks

As to establish geodetic networks related to their usage aim, they should be optimized in designing stage. With the developments in computer technology simulation methods and analytical methods, which are optimization solution methods have been carried out easily. Simulation methods on the contrary of analytical methods are not required complicated mathematical models and give the opportunity of interactive graphic interface usage. In this study it was aimed to design a GPS network in the area of Karadeniz Technical University campus and a part of Trabzon airport. Sessions were planned as if three receivers would be used. In the application, optimal GPS

network baseline configuration and survey plan was designed depending on the selected accuracy and reliability objective functions by using sequential least squares method written code in Matlab 6.1 compiler. When programming simulation method, the advantages of simulation method in network design and Matlab compiler usage, were put forth for consideration and applicable solutions were suggested about designing optimal GPS survey plan.

Key Words

Accuracy, reliability, objective function, optimization, survey plan, simulation method.

1 Giriş

Jeodezik ağların, kuruluş amaçlarına uygun yapıda olmaları istenir. Bu nedenle ağların tasarımı, geliştirilmesi ve iyileştirilmesi aşamalarında kendilerinden beklenen işlevleri yerine getirebilmeleri için belirli duyarlık ve güven isteklerini sağlamaları gerekir. Bu nedenle jeodezik ağların tasarım aşamasında optimizasyonları yapılmalıdır. Jeodezik ağların optimizasyonunda genel amaç, duyarlığı iyi, güvenilirliği yüksek ve maliyeti düşük jeodezik ağların tesisi için en uygun şeklin ve gözlem planının oluşturulmasıdır. Günümüzde teknolojinin gelişimiyle birlikte jeodezide yersel ağların yerini GPS ağları almıştır. GPS ağlarının duyarlık ve güven yönünden optimizasyonu, ölçülecek bazların muhtemel tüm bazlar arasından seçimi şeklinde gerçekleştirilebilir (Grafarend ve Sanso, 1985; Kuang, 1996; Schaffrin, 1985; Konak, 1994; Even-Tzur, 2001).

Bu çalışmada, Karadeniz Teknik Üniversitesi kampüs alanı ve Trabzon hava alanının bir kısmını kapsayacak biçiminde bir GPS ağının ölçü planı optimizasyonunun, oturumların planlanması esas alınarak yapılması amaçlanmıştır. Ağın duyarlık optimizasyonunda, tüm noktaların duyarlık yönünden homojen yapıda olmasını hedefleyen A-optimal ve izotrop yapıda olmasını hedefleyen E-optimal ağ amaç fonksiyonları olarak seçilmiştir. Ağın güvenirlüğünün iyileştirilmesinde, ortalama serbestlik derecesinin 0.5 değerini aşması ölçülere ilişkin kısmi redundanz paylarının ortalama serbestlik derecesine yakın değerler alması, iç güven ölçütü değerlerinin 6m_j ve dış güven ölçütü değerlerinin 6 sınır değerlerinin altında kalması amaçlanmıştır. Ağın optimizasyonunda, tasarım parametresi olarak ölçü planı

optimizasyonu seçilmiş ve çözüm algoritması olarak bir simülasyon yöntemi olan tekrarlı en küçük kareler yöntemi kullanılmıştır.

2 GPS Ağlarında Duyarlık ve Güven Optimizasyonu

GPS ağı ölçüsünün optimum planlanması, yer noktalarının ve uyduların konfigürasyonuna, ölçülecek bazların seçimine, kullanılacak alıcıların tipine, çevresel hata kaynaklarına ve ekonomik koşullara bağlıdır (Wells vd., 1986; Even-Tzur ve Papo, 1996).

GPS ağlarında oturumların zamanının ve süresinin belirlenmesi, bazların ayrı ayrı duyarlıklarının artırılması için gereklidir. Ağın global duyarlılığının ve güvenilirliğinin artırılması ise büyük oranda ağ noktalarının konumlarına ve bazların konfigürasyonuna bağlıdır.

2.1 GPS Baz Vektörleri Bileşenlerinin Hesabı

Jeodezik ağların optimizasyonu, arazide herhangi bir ölçü yapmaksızın harita üzerinden elde edilen ölçüler kullanılarak gerçekleştirilir. GPS ağlarının ölçü planı optimizasyonu da nokta konumlarının ve ölçülecek bazların belirlenmesinin ardından ağın global duyarlık ve güven ölçütleri esas alınarak yapılabilir. Bunu gerçekleştirmek için bölgeye ait haritada, ulaşılabilirlik dikkate alınarak, gökyüzü görüşünün açık olduğu bölgelerde ağ noktaları belirlenir.

Ağın ilk ölçü planı minimum veya maksimum sayıda bazlarla oluşturularak global duyarlık ölçütlerinden seçilen skaler amaç fonksiyonlarının değerleri minimum yapılacak biçimde minimum ölçü planından maksimuma veya maksimumdan minimuma göre simülasyon yöntemiyle ağın duyarlık optimizasyonu yapılır. Minimum sayıda baz ile oluşturulacak bir ölçü planında **r**, alıcı sayısı; **n**, nokta sayısı; **m**, iki farklı oturumda birden fazla ölçü yapılan nokta sayısı olmak üzere, oturum sayısı (**s**) ve ağda iki kez ölçülen baz sayısı (**t**),

$$\begin{aligned} s &= (n - m)/(r - m) \\ t &= (s - 1)(m - 1) \end{aligned} \quad (1)$$

eşitlikleri ile hesaplanır.

Tasarlanan GPS ağında belirlenen bazların hesabı için ağ noktalarının WGS-84 datumunda kartezyen koordinatlarına gereksinim vardır. Ağ noktalarının WGS-84 kartezyen koordinatları aşağıdaki işlem adımlarıyla elde edilir.

- Harita üzerine işaretlenen noktaların projeksiyon koordinatları (UTM veya DUTM) okunur ve okunan sağa ve yukarı değerleri, Gauss-Krüger (x,y) koordinatlarına dönüştürülür.

- Noktaların Gauss-Krüger (x,y) koordinatları, Hayford elipsoidi coğrafi koordinatlarına (B, L),

$$\begin{aligned} B &= B_f + B_2 y^2 + B_4 y^4 \\ L &= L_0 + B_1 y + B_3 y^3 + B_5 y^5 \end{aligned} \quad (2)$$

eşitliğinden dönüştürülür. Buradaki kısaltmalar, **a**, elipsoidin büyük yarı eksen; **b**, elipsoidin küçük yarı eksen; **e**, elipsoidin ikinci eksentrisitesi; **B_f**, ayak noktası enlemi ve **L₀**, dilim orta meridyeni boylamını göstermek üzere,

$$\begin{aligned} e^2 &= \frac{a^2 - b^2}{b^2}, \quad c = \frac{a^2}{b}, \\ A' &= c \left(1 - \frac{3}{4} e^2 + \frac{45}{64} e^4 - \frac{175}{256} e^6 + \frac{11025}{16384} e^8 \right), \\ B' &= \frac{3}{8} e^2 - \frac{3}{16} e^4 + \frac{213}{2048} e^6 - \frac{255}{4096} e^8, \\ C' &= \frac{21}{256} e^4 - \frac{21}{256} e^6 + \frac{533}{8192} e^8, \\ D' &= \frac{151}{6144} e^6 - \frac{453}{12288} e^8, \\ \sigma &= \frac{x}{A'} \\ B_f &= \sigma + B'' \sin 2\sigma + C'' \sin 4\sigma + D'' \sin 6\sigma + \dots \\ t_f &= \tan B_f, \quad \eta_f^2 = e^2 \cos^2 B_f, \quad V_f = \sqrt{1 + \eta_f^2}, \quad \rho_f = \frac{c}{V_f} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} B_1 &= \frac{1}{\rho_f \cos B_f}, \\ B_2 &= \frac{t_f (-1 - \eta_f^2)}{2\rho_f^2}, \\ B_3 &= \frac{-1 - 2t_f^2 - \eta_f^2}{6\rho_f^3 \cos B_f}, \\ B_4 &= \frac{t_f (5 + 3t_f^2 + 6\eta_f^2 - 6t_f^2 \eta_f^2)}{24\rho_f^4}, \\ B_5 &= \frac{5 + 28t_f^2 + 24t_f^4 + 6\eta_f^2 + 8t_f^2 \eta_f^2}{120\rho_f^5 \cos B_f}, \end{aligned}$$

eşitliklerinden hesaplanır. Bu dönüşüm işlemi Hayford elipsoidinin iki temel geometrik parametresinin (a, b) bilinmesinin yeterli olduğu görülmektedir (Wolf ve Ghilani, 1997; Özbenli, 2001; Kaya, 1999).

- Noktaların ortometrik yükseklikleri haritadan elde edilir. Ortometrik yüksekliklere (**H**), noktalara ilişkin Hayford elipsoidi ile o bölgedeki jeoid yüzeyi arasındaki jeoid ondülasyonları (**N**) eklenerek elipsoid yükseklikleri (**h**),

$$h = H + N \quad (4)$$

eşitliği ile hesaplanır.

- Noktaların Avrupa datumu (ED-50)'deki coğrafi koordinatları (B, L, h)_{ED50}, kartezyen koordinatlara (X, Y, Z)_{ED50},

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}, \quad \rho = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}} \quad (5)$$

$$X_{ED50} = (\rho + h)\cos B \cos L$$

$$Y_{ED50} = (\rho + h)\cos B \sin L$$

$$Z_{ED50} = \left(\frac{b^2}{a^2}\rho + h\right)\sin B$$

eşitlikleri ile dönüştürülür. Burada, e , elipsoidin birinci eksentrisitesi ve ρ , elipsoidin enine eğrilik yarıçapını göstermektedir (Özbenli, 2001; Kaya, 1999).

▪ ED-50 datumundan WGS-84 datumuna dönüşüm için kartezyen koordinat sistemleri arasındaki 7 dönüşüm parametresi, 3 ortak noktanın koordinatları kullanılarak dengelemeli benzerlik dönüşümü ile hesaplanır. Böylece ED-50 datumundan WGS-84 datumuna, t_x, t_y, t_z , iki sistem orijinleri arasındaki ötelemeler; $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$, iki sistemin koordinat eksenleri arasındaki dönüklükler ve k , ölçek faktörü olmak üzere

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{WGS84} = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} + k \begin{bmatrix} 1 & \epsilon_z & -\epsilon_y \\ -\epsilon_z & 1 & \epsilon_x \\ \epsilon_y & -\epsilon_x & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ED50} \quad (6)$$

eşitliği ile dönüşüm yapılır.

▪ Ağ noktalarının WGS84 datumundaki koordinatlarının farkları alınarak tasarlanan baz vektörleri $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)_{WGS84}$ elde edilir.

2.2 Duyarlık Optimizasyonu

Jeodezik ağların kalitesini arttırabilmek için tasarımı aşamasında duyarlık ölçütlerinden türetilen amaç fonksiyonlarına göre duyarlık optimizasyonunun yapılması gerekir. Jeodezik GPS ağlarının duyarlık optimizasyonunda, noktaların koordinat duyarlılıkları, nokta konum duyarlılıkları, nokta koordinatlarının fonksiyonları olan dengeli kenarların duyarlılıkları, herhangi bir noktaya ilişkin güven elipsoidinin hacmi gibi ağın tek noktası veya komşu noktaları için tanımlanan lokal duyarlık ölçütleri birer amaç fonksiyonu olarak seçilebileceği gibi konum duyarlıklarından varyans ölçütü, varyans-kovaryans matrisinin özdeğerlerinden türetilen ağın tümünü temsil eden global duyarlık ölçütlerinden seçilen amaç fonksiyonları kullanılabilir (Baarda, 1968; Grafarend, 1974; Wolf, 1997; Öztürk, 1982).

m_x, m_y, m_z , koordinat bilinmeyenlerinin karesel ortalama hataları; Q_{xx} , koordinat bilinmeyenlerinin ters ağırlık matrisi; K_{xx} , koordinat bilinmeyenlerinin varyans-kovaryans matrisi; λ , koordinat bilinmeyenlerinin ters ağırlık matrisinin özdeğerleri olmak üzere ağın duyarlık optimizasyonunda minimum yapılması öngörülen skaler amaç fonksiyonlarından (Z), bazıları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Ağın duyarlık optimizasyonunda seçilebilecek amaç fonksiyonları

Duyarlık amaç fonksiyonları		
Lokal	Helmert nokta konum hatası	$Z = m_{P_i} = \sqrt{m_{X_i}^2 + m_{Y_i}^2 + m_{Z_i}^2}$
	Werkmeister nokta konum hatası	$Z = w_{P_i} = m_x m_y m_z$
	Helmert nokta hata elipsoidleri	$Z = \begin{cases} A_H = m_0 \sqrt{\lambda_1} \\ B_H = m_0 \sqrt{\lambda_2} \\ C_H = m_0 \sqrt{\lambda_3} \end{cases}$
Global	Ortalama koordinat duyarlılığı	$Z = m_x, m_y, m_z = m_0 \sqrt{\frac{iz(Q_{xx})}{3p}}$
	A-optimal ağ amaç fonksiyonu	$Z = iz(K_{xx}) = m_0^2 \sum_{i=1}^{3p} \lambda_i$
	D-optimal ağ amaç fonksiyonu	$Z = \det(K_{xx}) = m_0^2 \prod_{i=1}^{3p} \lambda_i$
	E-optimal ağ amaç fonksiyonu	$Z = \lambda_{\max.}$
	S-optimal ağ amaç fonksiyonu	$Z = \lambda_{\max.} - \lambda_{\min.}$
I-optimal ağ amaç fonksiyonu	$Z = 1 - \lambda_{\min.} / \lambda_{\max.}$	

Minimum veya maksimum ölçü planıyla tasarlanan ağda lokal veya global duyarlık ölçütlerinden seçilen skaler amaç fonksiyonları hesaplanır. Amaç fonksiyonuna en fazla ve en az etki yapan bazlar lokal duyarlık ölçütlerine bakılarak belirlenir. Amaç fonksiyonuna en az etki yapan baz ölçü kümesinden atılarak maksimumdan minimum ölçü planına doğru veya amaç fonksiyonuna en fazla etki yapan baz ölçü kümesine ilave edilerek minimumdan maksimum ölçü planına simülasyon yöntemiyle gidilir. Duyarlığın ölçülere bağlı olarak yeterince iyileştirilemediği noktaların bulunduğu bölgelerde yeni noktalar ve ölçüler planlanır.

Duyarlık amaç fonksiyonunun değerlerindeki değişimler azaldığında ağın maliyeti de göz önüne alınarak duyarlık optimizasyonu sonlandırılarak, tesis ve ölçü işlerine başlanır (Grafarend, 1974; Dare, 1995; Dare ve Saleh, 2000; Even-Tzur, 2001; Yalçınkaya vd., 2003).

2.3 Güven Optimizasyonu

GPS ağ geometrisinin model ve ölçü hatalarını ortaya çıkarabilme kabiliyetini arttırmak amacıyla ağın güven optimizasyonu yapılır. GPS ağlarının güven optimizasyonunda, ölçülerin redundanz payları, ağın iç ve dış güven ölçütleri amaç fonksiyonu olarak seçilir (Gazdzicki, 1976; Biacs vd., 1990).

Q_{vv} , düzeltmelerin ters ağırlık matrisi; P , ölçülerin ağırlık matrisi; α_0 , 1. tip hata; β_0 , 2. tip hata; $w_0 = F_{(\alpha_0, \beta_0, f, \infty)}$ dış merkezlik parametresinin sınır değeri; m_0 , soncul standart sapma olmak üzere ağın güven

optimizasyonunda esas alınacak bazı skaler amaç fonksiyonları ve sınır değerleri Tablo 2.'de verilmiştir.

Tablo 2: Ağın güvenilirlik optimizasyonunda seçilebilecek amaç fonksiyonları

Güvenirlik amaç fonksiyonları		Sınır değerler
Redundanz payı	$Z = r_j = (Q_{vv})_j P_j$	$Z = r_j > 0.5$ veya $r_j > 0.3$
İç güven ölçütü	$Z = \Delta_{0j} = m_0 \sqrt{\frac{w_0}{P_j r_j}}$	$Z = \Delta_{0j} \cong 6 m_j$ veya $8 m_j$
Dış güven ölçütü	$Z = \delta_j^2 = \frac{1 - r_j}{r_j} w_0$	$Z = \delta_{0j} \cong 6$ veya 10

Bir jeodezik ağın Tablo 2'den seçilen amaç fonksiyonları ile güven optimizasyonu şu adımlar izlenerek yapılabilir.

- Ağda oluşabilecek model hatalarının denetlenmesi amacıyla ağın ortalama serbestlik derecesi (r_0) ve ölçülerin fazla ölçü sayısındaki payları (r_j) hesaplanır. Ölçülerin fazla ölçü sayısındaki payları r_j , ortalama fazla ölçü sayısı r_0 'dan çok küçük olursa ilgili ölçülerin diğer ölçüler yardımıyla yeterince denetlenemediklerine karar verilir. Söz konusu ölçülere dik yönde yeni ölçüler planlanır.

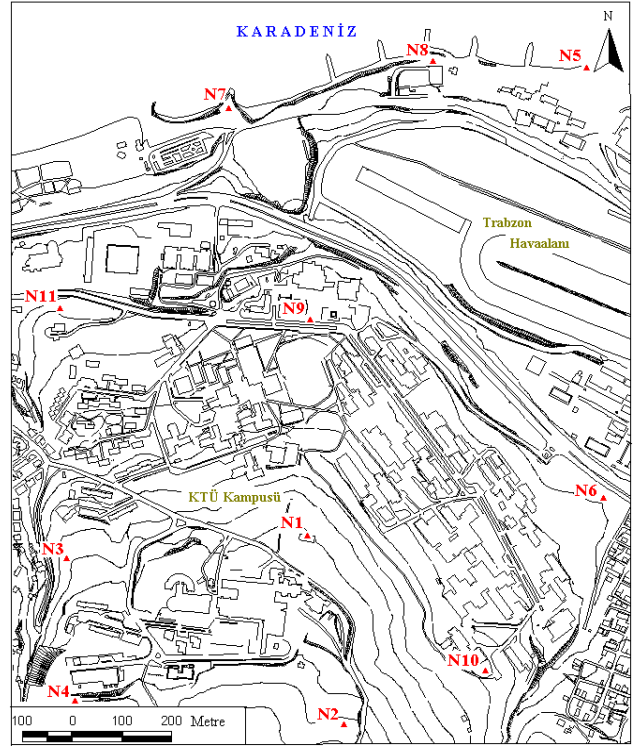
- İç güven ölçütleri Δ_{0j} ve ölçü hatalarının koordinatlara etkiye katsayıları olan dış güven ölçütleri δ_{0j} hesaplanır. İç ve dış güven ölçütleri Tablo 2'de verilen sınır değerlerden küçük olan ölçülerin diğer ölçüler yardımıyla iyi denetlenemediklerine karar verilir ve bu ölçülere dik yönde yeni ölçüler planlanır.

- Gereğinde ağın masraf, zaman ve emek yönünden en uygun durumda bulunmasını sağlamak amacıyla $r_j \gg r_0$ ve $\delta_{0j} \leq 6$ olan ölçülerin diğer ölçüler tarafından çok iyi denetlendiklerine karar verilir. Bu türden ölçüler ölçü planından çıkarılabilir.

- Geliştirilmiş ölçü planı, son bir kez daha gözden geçirilir. Tasarımı yapılan ağın kullanım amaçları için yeterli olup olmadığı denetlenerek tesis ve ölçüm işlerine başlanır (Baarda, 1977; Gazdzicki, 1976; Konak, 1994).

3 Uygulama

Çalışmada, Karadeniz Teknik Üniversitesi kampus alanı ve Trabzon hava alanının bir kısmını kapsayacak biçimde yaklaşık 1x1.5 km boyutlarında oluşturulan bir GPS ağının ölçü planı optimizasyonunun, oturma planlanması esas alınarak yapılması amaçlanmıştır. Önce çalışmanın gerçekleştirileceği bölgenin haritası üzerinde ağ noktaları, karelağ geometrisini yansıtacak biçimde, ulaşılabilirlik dikkate alınarak, gökyüzü görüşünün açık olduğu bölgelerde işaretlenmiştir (Şekil 1).



Şekil 1: Uygulama GPS ağı

Ağ noktalarının haritadan DUTM projeksiyon koordinat (sağa ve yukarı) değerleri okunmuştur. Bu koordinatlar, önce Gauss-Krüger (x,y) koordinatlarına, sonra (2 ve 3) eşitlikleri kullanılarak Hayford elipsoidi coğrafi koordinatlarına (B,L) dönüştürülmüştür. Bu dönüşüm işleminde Hayford elipsoidinin büyük ve küçük yarı eksenlerini oluşturan iki temel geometrik parametresi ($a = 6\ 378\ 388\ m.$; $b = 6\ 356\ 911,94613\ m.$) kullanılmıştır.

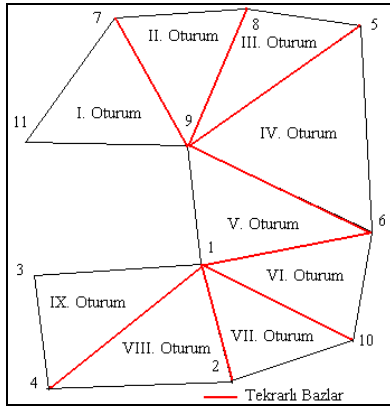
Noktaların haritadan elde edilen ortometrik yükseklik değerlerine (H), bölgede daha önce yapılmış çalışmalar sonucu belirlenmiş olan jeoid ondülasyon değerlerinden elde edilen ortalama bir ondülasyon değeri (N) eklenerek ağ noktalarının elipsoid yükseklikleri (h) (4) eşitliği ile hesaplanmıştır. Elipsoid yükseklikleri belirlendikten sonra noktaların coğrafi koordinatları (B, L, h)_{ED50}, (5) eşitliği ile kartezyen koordinatlara dönüştürülerek ağ noktalarının (X, Y, Z)_{ED50} koordinatları hesaplanmıştır.

ED-50 kartezyen koordinatlarından WGS-84 kartezyen koordinatlarına dönüşüm yapabilmek için gerekli olan iki sistem arasındaki 7 dönüşüm parametresi, 3 ortak nokta (N1, N6, N9) kullanılarak dengelemeli benzerlik dönüşümü ile hesaplanmıştır (Tablo 3). Bu dönüşüm parametreleri kullanılarak tüm noktaların ED-50 datumundaki koordinatları WGS-84 datumundaki koordinatlarına, (6) eşitliğiyle dönüştürülmüştür.

Tablo 3: GPS Ağına ED-50 datumundan WGS-84 datumuna lokal dönüşüm parametreleri

X eksenine etrafındaki dönüklük (ϵ_X)	814.5811 m.
Y eksenine etrafındaki dönüklük (ϵ_Y)	-493.8607 m.
Z eksenine etrafındaki dönüklük (ϵ_Z)	-484.2067 m.
X eksenine yönündeki öteleme (t_X)	6.3763
Y eksenine yönündeki öteleme (t_Y)	28.6308
Z eksenine yönündeki öteleme (t_Z)	-17.9857
Ölçek Faktörü (k)	1.000012301

Uygulama GPS ağına, oturum sayısı esas alınarak minimum ölçü planı oluşturulmuştur. Alıcı sayısı ($r=3$); nokta sayısı ($n=11$); iki farklı oturumda birden fazla ölçü yapılan nokta sayısı ($m=2$) olmak üzere (1) eşitliğinden oturum sayısı ($s=9$) ve ağda iki kez ölçülen baz sayısı ($t=8$) olarak hesaplanmıştır. Bu durumda, 11 noktalı uygulama ağı, her oturumda ortak bir baz olması koşuluyla, 3 alıcı ile minimum 9 oturumda ölçülecek biçimde oluşturulmuştur (Şekil 2).



Şekil 2: Duyarlık optimizasyonunda minimum oturum sayısı esas alınarak oluşturulan ilk ölçü planı

Şekil 2'de belirlenmiş olan ilk ölçü planındaki baz vektörleri bileşenleri, noktaların WGS84 koordinatlarının farkları alınarak oluşturulmuştur. Bu bazlar ölçü olarak alınarak ağ optimizasyonu yapılmıştır.

3.1 Duyarlık Amaç Fonksiyonları ile Ölçü Planı Optimizasyonu

Global duyarlık ölçütlerinden seçilen A- ve E- optimal ağ amaç fonksiyonları ile ağı duyarlık optimizasyonu üç alıcı kullanılması durumu esas alınarak yapılmıştır. A- ve E-optimal ağları oluşturmak amacıyla, amaç fonksiyonu değerine en fazla etki edecek bazları oluşturan oturumlar ağa eklenerek minimum ölçü planından maksimum ölçü planına gidilmiştir.

Minimum oturum sayısı esas alınarak tasarlanan ilk ölçü planındaki bazların ağırlıkları bir alınıp aralarındaki korelasyonlar da gözardı edilerek ağ serbest dengelenmiş ve amaç fonksiyonlarının değerleri hesaplanmıştır (Tablo 4).

Tablo 4: İlk ölçü planından hesaplanan amaç fonksiyonlarının değerleri

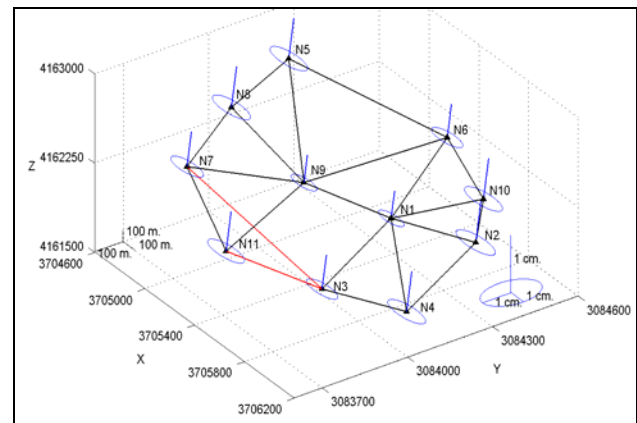
A-Optimal ağ amaç fonk.	E-Optimal ağ amaç fonk.	
$\sum_{i=1}^{33} \lambda_i = iz(Q_{XX})$	1.524	λ_{max}
		0.613

Tablo 4 incelendiğinde ilk ölçü planı ile oluşturulan ağı koordinat bilinmeyenlerinin ters ağırlık matrisinin en büyük özdeğerinin, özdeğerler toplamının yaklaşık yarısı büyüklüğünde olduğu görülmektedir. Bu da ağda duyarlık dağılımının homojen olmadığını gösterir. Bu nedenle ağa yeni oturumlar planlanmıştır. Yeni oturumları oluşturacak bazların ağa ilave edilmesinde, Tablo 1'deki eşitliklerden hesaplanan Helmert nokta konum hataları ve nokta hata elipsoidleri dikkate alınmıştır (Tablo 5).

Tablo 5: İlk ölçü planında Helmert nokta konum hataları ve nokta hata elipsoidleri yarı eksenleri

Nokta no	Helmert nokta kon. hat. (cm)	Hata elipsoidi yarı eksenleri		
		A_H (cm)	B_H (cm)	C_H (cm)
1	0.263	0.310	0.111	0.149
2	0.385	0.454	0.162	0.218
3	0.461	0.544	0.194	0.261
4	0.402	0.474	0.169	0.227
5	0.360	0.425	0.152	0.204
6	0.290	0.342	0.122	0.164
7	0.402	0.474	0.169	0.227
8	0.385	0.454	0.162	0.218
9	0.263	0.310	0.111	0.149
10	0.360	0.425	0.152	0.204
11	0.461	0.544	0.194	0.261

Tablo 5 incelendiğinde, 11, 3 ve 7 numaralı noktaların duyarlıklarının kötü olduğu görülmektedir. Bu nedenle ilk ölçü planına konum duyarlığı düşük olan bu noktaları birleştiren 11-3 ve 7-3 bazlarından oluşan bir oturum ilave edilerek ikinci ölçü planı oluşturulmuştur (Şekil 3).



Şekil 3: İkinci ölçü planı ile oluşturulan ağ

Şekil 3'de verilen ikinci ölçü planından oluşturulan ağdaki bazlar ölçü olarak alınıp ağ tekrar serbest dengelenmiş ve amaç fonksiyonlarının değerleri hesaplanmıştır (Tablo 6).

Tablo 6: İkinci ölçü planından hesaplanan amaç fonksiyonlarının değerleri

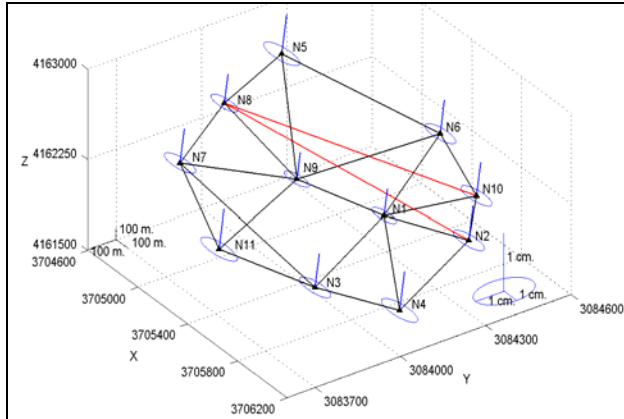
A-Optimal ağ amaç fonk.		E-Optimal ağ amaç fonk.	
$\sum_{i=1}^{33} \lambda_i = iz(Q_{xx})$	1.120	λ_{max}	0.317

Tablo 6'da görüldüğü gibi ilave edilen bazlar, skaler amaç fonksiyonu değerlerini küçültmüş ve en büyük özdeğerin, özdeğerler toplamına oranını da 1/2'den yaklaşık 1/4'e düşürmüştür. İkinci ölçü planından Helmert nokta konum hataları ve nokta hata elipsoidi yarı eksenleri tekrar hesaplanmıştır (Tablo 7).

Tablo 7: İkinci ölçü planında Helmert nokta konum hataları ve nokta hata elipsoidleri yarı eksenleri

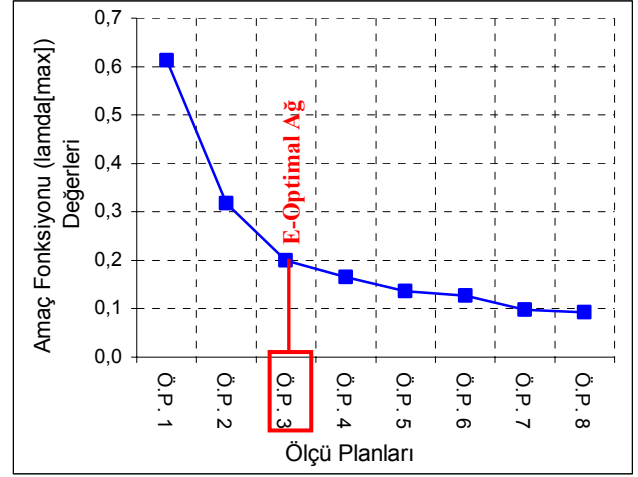
Nokta no	Helmert nokta kon. hat. (cm)	Hata elipsoidi yarı eksenleri		
		A _H (cm)	B _H (cm)	C _H (cm)
1	0.239	0.282	0.101	0.135
2	0.363	0.428	0.153	0.205
3	0.293	0.345	0.123	0.166
4	0.350	0.413	0.148	0.198
5	0.349	0.412	0.147	0.198
6	0.290	0.342	0.122	0.164
7	0.305	0.359	0.128	0.172
8	0.354	0.417	0.149	0.200
9	0.239	0.282	0.101	0.135
10	0.351	0.415	0.148	0.199
11	0.344	0.406	0.145	0.195

Tablo 7 incelendiğinde 2, 8 ve 10 numaralı noktaların duyarlıklarının kötü olduğu görülmektedir. Bu nedenle bu noktaları birleştiren 2-8 ve 8-10 bazları planlanarak üçüncü ölçü planı oluşturulmuştur (Şekil 4).



Şekil 4: Üçüncü ölçü planı ile oluşturulan E-optimal ağ

Her yeni ölçü planıyla yinelemeli olarak aynı işlemler yapılmış ve 8. ölçü planına kadar devam edilmiştir. E-optimal ağın planlanmasında eklenen bazların amaç fonksiyonlarına etkileri Şekil 5 'de verilmiştir.



Şekil 5: E-optimal ağın planlanmasında eklenen bazların amaç fonksiyonu değerlerine etkileri

Uygulamada, E-optimal ağa, $A_{Hmax(j)}$, j. ölçü planındaki en büyük Helmert nokta hata elipsoidi yarı eksenini; σ_0 , birim ölçünün kuramsal standart sapmasını göstermek üzere,

$$A_{Hmax(j)} = \sigma_0 \sqrt{\lambda_{max(j)}} \leq 0.5 \text{ cm}$$

koşulu sağlandığında ulaşıldığına karar verilmesi öngörülmüştür. Bu durumda $\sigma_0 = 1 \text{ cm}$ alınarak,

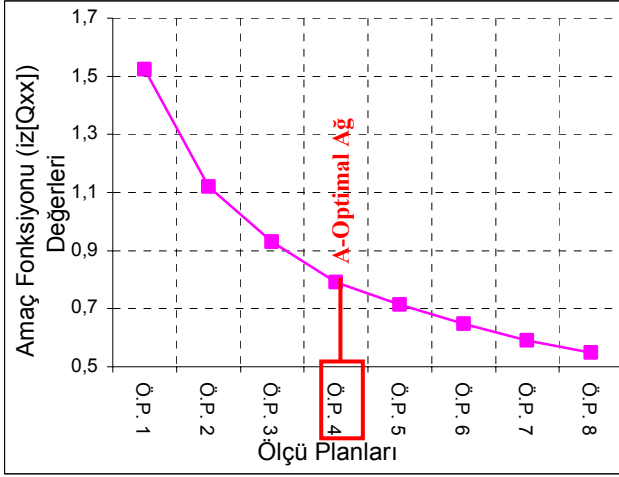
$$\lambda_{max(j)} \leq 0.25$$

şeklinde sınır değer sağlanmalıdır. Uygulama ağında her ölçü planı için amaç fonksiyonu değerleri hesaplandığında

$$\lambda_{max(2)} = 0.32 \quad ; \quad \lambda_{max(3)} = 0.20$$

olduğundan, ağa eklenen her bazın maliyeti arttıracığı da göz önüne alınarak E-optimal ağa üçüncü ölçü planı ile ulaşıldığına karar verilmiştir (Şekil 4).

A-optimal ağın planlanmasında eklenen bazların amaç fonksiyonlarına etkileri de Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6: A-optimal ağın planlanmasında eklenen bazların amaç fonksiyonu değerlerine etkileri

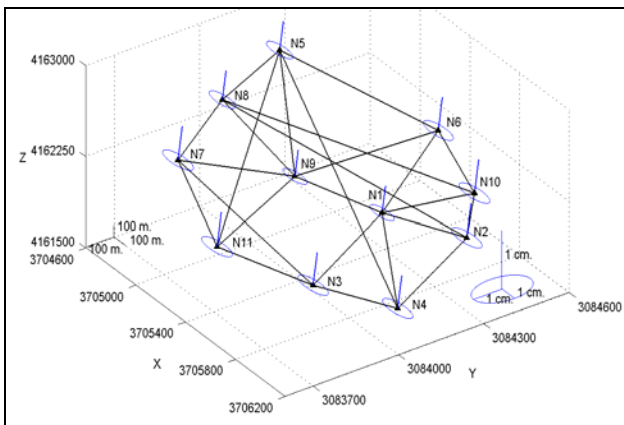
Uygulamada A-optimal ağa, $(iz(Q_{xx}))_j = \left(\sum_{i=1}^{3p} \lambda_i\right)_j$, j. ölçü planına ilişkin koordinat bilinmeyenlerinin ters ağırlık matrisinin izi olmak üzere,

$$\left(\sum_{i=1}^{3p} \lambda_i\right)_j \leq 0.8$$

koşulu sağlandığında ulaşıldığına karar verilmesi öngörülmüştür. Bu durumda her yinelemede hesaplanan amaç fonksiyonları

$$\left(\sum_{i=1}^{3p} \lambda_i\right)_3 = 0.93 \quad ; \quad \left(\sum_{i=1}^{3p} \lambda_i\right)_4 = 0.79$$

değerlerinden de görüldüğü gibi ağa eklenen her bazın maliyeti artıracacağı da göz önüne alınarak A-optimal ağa dördüncü ölçü planı ile ulaşıldığına karar verilmiştir (Şekil 7).



Şekil 7: Minimum ölçü planından maksimuma giderken karar verilen A-optimal ağ

A- ve E-optimal GPS ağı tasarlandıktan sonra alıcıların taşınmasında en kısa yol ve zaman gibi maliyeti etkileyici koşullar dikkate alınarak ölçü öncesi ölçü düzeni planlanmıştır (Tablo 8).

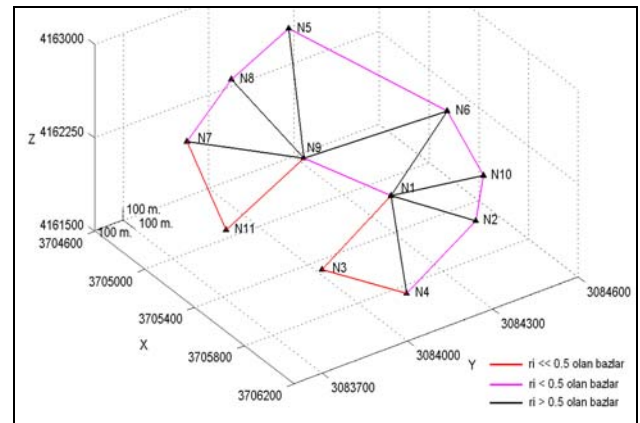
Tablo 8: A- ve E-optimal ağların ölçü düzeni şeması

A-Optimal Ağ Ölçü Düzeni		E-Optimal Ağ Ölçü Düzeni	
Oturum	İstasyonlar	Oturum	İstasyonlar
1	3-4-1	1	3-4-1
2	2-4-1	2	2-4-1
3	2-10-1	3	2-10-1
4	6-10-1	4	6-10-1
5	6-9-1	5	6-9-1
6	6-9-5	6	6-9-5
7	8-9-5	7	8-9-5
8	8-9-7	8	8-9-7
9	11-9-7	9	11-9-7
10	11-3-7	10	11-3-7
11	2-10-8	11	11-4-5
		12	10-2-8

3.2 Güven Amaç Fonksiyonları ile Ölçü Planı Optimizasyonu

Uygulama ağının güven optimizasyonunda, ortalama serbestlik derecesinin 0.5 değerinden büyük olması, ölçülere ilişkin kısmi redundanz paylarının ortalama serbestlik derecesine yakın olması, iç güven ölçütleri değerlerinin 6m_j sınır değerlerinden küçük olması ve dış güven ölçütleri değerlerinin de 6 sınır değerinden küçük olması amaçlanmış ve üç alıcı kullanılması durumu esas alınmıştır. İlk ölçü planından başlayarak amaç fonksiyonları sınır değerlerini sağlamayan bazlara dik yönde yeni bazlar eklenerek güvenilir ağ geometrisine ulaşılmıştır.

İlk ölçü planı (Şekil 2) ile oluşturulan ağ, bazların redundanz değerlerine göre sınır değer (0.5) dikkate alınarak Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8: Bazların redundanz değerlerine göre ilk ölçü planı

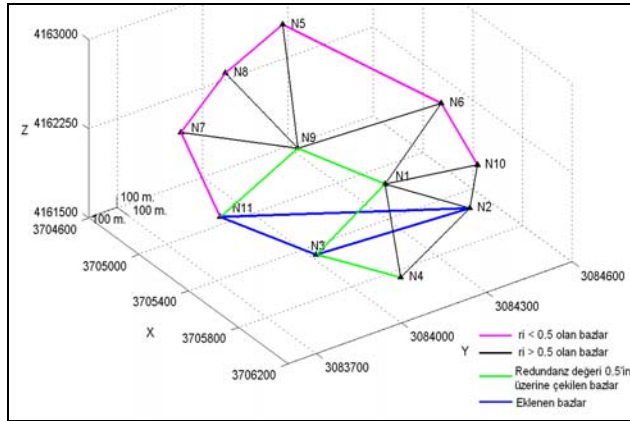
Şekil 8'den görüleceği gibi ağı çevreleyen bazların güvenilirlikleri yetersizdir. İlk ölçü planındaki baz vektörleri bileşenlerinin güven ölçütleri değerleri Tablo

2’de verilen eşitliklerle hesaplanmış ve sınır değerleri ile Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9: İlk ölçü planına ilişkin ağıın güven ölçütleri değerleri

Bazlar	Redundanz payı $r_{(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)_j}$ (Sınır değer=0.5)	İç güven ölçütü $ \Delta_{0(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)_j} $	Sınır Değer (6m _j)	Dış güven ölçütü $\delta_{0(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)_j}$ (Sınır değer=6)
N1-N2	0,55	1,21	1,34	3,62
N1-N4	0,53	1,26	1,37	3,78
N1-N3	0,38	1,70	1,57	5,09
N1-N6	0,55	1,20	1,34	3,60
N1-N10	0,55	1,20	1,34	3,60
N2-N10	0,45	1,49	1,49	4,46
N2-N4	0,44	1,51	1,50	4,53
N3-N4	0,38	1,70	1,57	5,09
N5-N6	0,45	1,48	1,49	4,45
N6-N10	0,45	1,48	1,49	4,45
N7-N9	0,53	1,26	1,37	3,78
N7-N8	0,44	1,51	1,50	4,53
N8-N9	0,55	1,21	1,34	3,62
N8-N5	0,45	1,49	1,49	4,46
N9-N5	0,55	1,20	1,34	3,60
N9-N6	0,55	1,20	1,34	3,60
N9-N1	0,45	1,48	1,49	4,45
N11-N7	0,38	1,70	1,57	5,09
N11-N9	0,38	1,70	1,57	5,09

Ağıdaki bazlar içerisinde güvenilirlikleri en düşük olan N1-N3, N3-N4, N11-N7 ve N11-N9 bazlarına dik yönde N2-N3, N2-N11 ve N3-N11 bazlarından oluşan bir oturum eklenmiştir. İkinci ölçü planı ile oluşturulan ağıdaki redundanz değerleri, sınır değer (0.5) altında kalan bazlar, redundanz değeri sınır değer üzerine çekilen bazlar ve eklenen bazlar Şekil 9’da verilmiştir.



Şekil 9: Bazların redundanz değerlerine göre ikinci ölçü planı

İkinci ölçü planındaki baz vektörleri bileşenlerinin güven ölçütleri değerleri ve sınır değerleri Tablo 10’da verilmiştir.

Tablo 10: İkinci ölçü planına ilişkin ağıın güven ölçütü değerleri

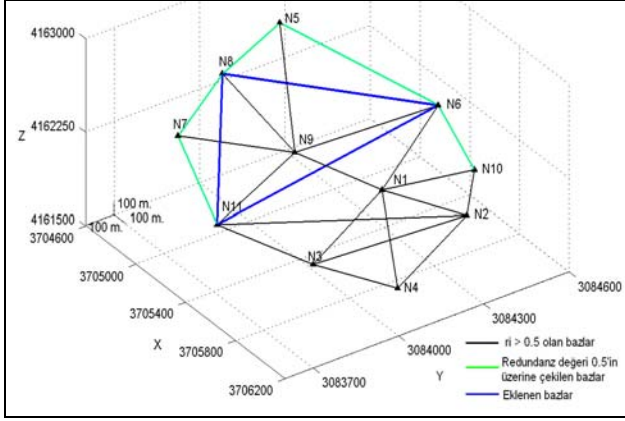
Bazlar	Redundanz payı $r_{(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)_j}$ (Sınır değer=0.5)	İç güven ölçütü $ \Delta_{0(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)_j} $	Sınır Değer (6m _j)	Dış güven ölçütü $\delta_{0(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)_j}$ (Sınır değer=6)
N1-N2	0,67	0,94	1,15	2,83
N1-N4	0,55	1,21	1,34	3,63
N1-N3	0,61	1,07	1,25	3,20
N1-N6	0,58	1,12	1,29	3,37
N1-N10	0,56	1,17	1,32	3,51
N2-N3	0,62	1,04	1,23	3,13
N2-N10	0,51	1,31	1,40	3,92
N2-N11	0,55	1,21	1,34	3,62
N2-N4	0,55	1,20	1,34	3,61
N3-N4	0,53	1,25	1,37	3,75
N3-N11	0,52	1,27	1,38	3,82
N5-N6	0,47	1,42	1,46	4,26
N6-N10	0,48	1,38	1,44	4,14
N7-N9	0,55	1,20	1,34	3,60
N7-N8	0,45	1,46	1,48	4,39
N8-N9	0,55	1,21	1,34	3,62
N8-N5	0,45	1,46	1,48	4,39
N9-N5	0,56	1,19	1,33	3,58
N9-N6	0,59	1,10	1,27	3,31
N9-N1	0,59	1,12	1,28	3,35
N11-N7	0,46	1,44	1,47	4,32
N11-N9	0,58	1,14	1,30	3,43

Tablo 10 incelendiğinde ağıdaki bazlar içerisinde güvenilirliklerinin N5-N6, N6-N10, N7-N8, N8-N5 ve N11-N7 yetersiz olduğu görülür. Bu bazlara dik yönde N6-N8, N6-N11 ve N8-N11 bazlarından oluşan bir oturum eklenerek üçüncü ölçü planı oluşturulmuştur. Üçüncü ölçü planındaki baz vektörleri bileşenlerinin güven ölçütleri değerleri ve sınır değerleri hesaplanmıştır (Tablo 11).

Tablo 11: Üçüncü ölçü planına ilişkin ağıın güven ölçütü değerleri

Bazlar	Redundanz payı $r_{(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)_j}$ (Sınır değer=0.5)	İç güven ölçütü $ \Delta_{0(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)_j} $	Sınır Değer (6m _j)	Dış güven ölçütü $\delta_{0(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)_j}$ (Sınır değer=6)
N1-N2	0,68	0,92	1,14	2,77
N1-N4	0,55	1,20	1,34	3,60
N1-N3	0,62	1,03	1,23	3,10
N1-N6	0,65	0,99	1,19	2,96
N1-N10	0,57	1,16	1,31	3,49
N2-N3	0,62	1,04	1,23	3,12
N2-N10	0,53	1,26	1,37	3,77
N2-N11	0,60	1,09	1,27	3,28
N2-N4	0,55	1,20	1,34	3,60
N3-N4	0,54	1,24	1,36	3,73
N3-N11	0,56	1,18	1,33	3,54
N5-N6	0,56	1,19	1,33	3,56
N6-N8	0,66	0,96	1,17	2,89
N6-N10	0,52	1,28	1,39	3,84
N6-N11	0,68	0,92	1,14	2,76
N7-N9	0,57	1,17	1,32	3,50
N7-N8	0,55	1,20	1,34	3,59
N8-N9	0,68	0,91	1,13	2,72
N8-N5	0,55	1,20	1,34	3,59
N8-N11	0,65	0,97	1,18	2,91
N9-N5	0,57	1,16	1,32	3,49
N9-N6	0,70	0,88	1,10	2,64
N9-N1	0,61	1,08	1,26	3,23
N11-N7	0,56	1,19	1,33	3,58
N11-N9	0,69	0,90	1,12	2,69

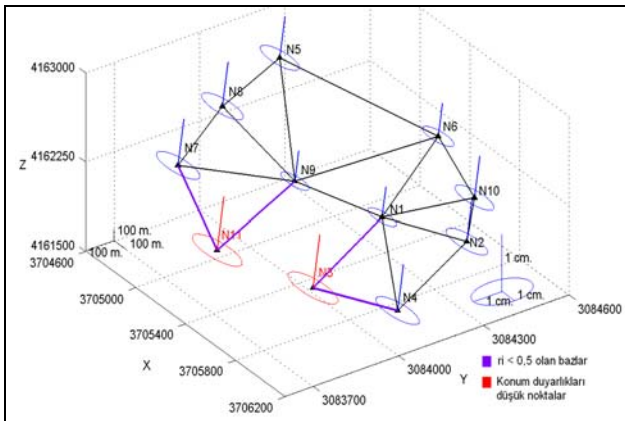
Üçüncü ölçü planı ile ağdaki tüm bazların kısmi serbestlik derecelerinin, ağıın iç ve dış güven ölçütü değerlerinin sınır değer şartlarını sağladığı Tablo 11'den görülmektedir. Böylece üçüncü ölçü planı ile güvenilir ağına ulaşıldığına karar verilmiştir. Üçüncü ölçü planı ile oluşturulan ağda, redundanz değeri sınır değer üzerine çekilen bazlar ve eklenen bazlar Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10: Üçüncü ölçü planı ile karar verilen güvenilir ağ

3.3 Duyarlık ve Güven Amaç Fonksiyonlarının Birlikte Ele Alındığı Ölçü Planı Optimizasyonu

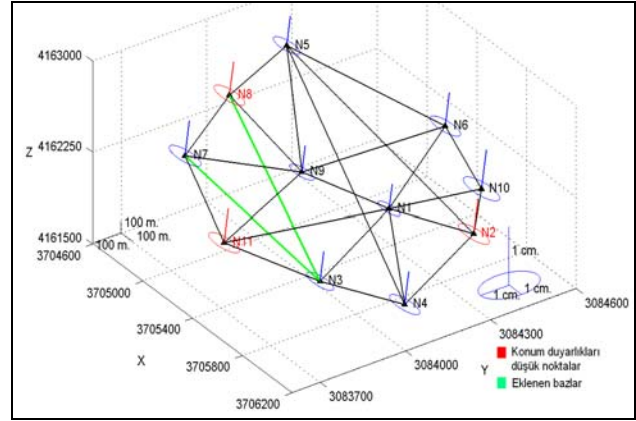
Duyarlık ve güven amaç fonksiyonları birlikte ele alınarak ağıın ölçü planı optimizasyonunun yapılması da amaçlanmıştır. Bu amaçla Şekil 2'de verilen ilk ölçü planıyla oluşan ağıın duyarlık ve güven amaç fonksiyonları hesaplanmıştır (Tablo 4, Tablo 9). Ağıın duyarlı ve güvenilir olmadığı görülmüştür. Ağıın noktalarının hata elipsoidleri elemanları hesaplanarak ağda konum duyarlığı düşük noktalar ve güvenilirliği yetersiz bazlar belirlenmiştir (Şekil 11).



Şekil 11: Birinci ölçü planı ile oluşturulan ağda konum duyarlığı düşük noktalar ve güvenilirliği yetersiz bazlar

İlk ölçü planında güvenilirlikleri yetersiz bazlar (N1-N3, N3-N4, N11-N7 ve N11-N9) ve konum duyarlıkları düşük

noktalar (N3 ve N11) dikkate alınarak N1-N11 ve N3-N11 bazlarından oluşan bir oturum ölçü planına dahil edilmiştir. İkinci ve diğer ölçü planları da duyarlıkları zayıf noktalar ve güvenilirlikleri zayıf bazlar dikkate alınarak oluşturulmuştur. Aynı işlemlere yinelemeli olarak devam edilmiş ve tasarlanan 4. ölçü planı ile oluşturulan ağdaki tüm bazların güven ölçütlerinden seçilen amaç fonksiyonları değerlerinin sınır değer şartlarını sağladığı görülerek güvenilir ağ geometrisine ulaşıldığına karar verilmiştir (Şekil 12 ve Tablo 12).



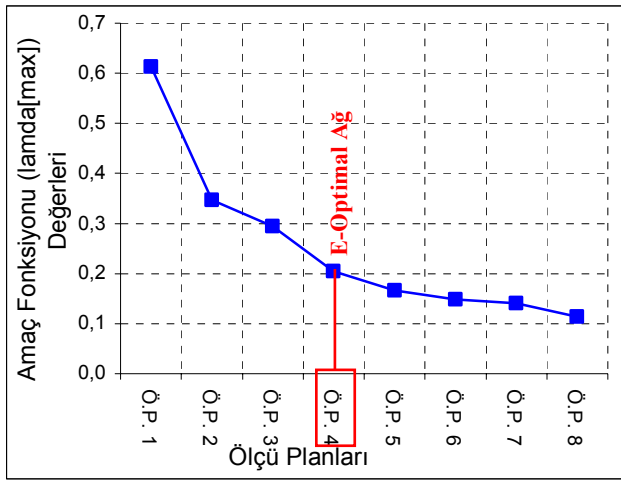
Şekil 12: Duyarlık ve güven optimizasyonunun birlikte yapıldığı durumda dördüncü ölçü planı ile karar verilen güvenilir ağ.

Tablo 12: Dördüncü ölçü planına ilişkin ağıın güven ölçütü değerleri

Bazlar	Redundanz payı $r_{(AX, AY, AZ)_j}$ (Sınır değeri=0.5)	İç güven ölçütü $ \Delta_{0(A, X, AY, AZ)_j} $	Sınır Değer Sınır Değer (6m _{ij})	Dış güven ölçütü $\delta_{0(A, X, AY, AZ)_j}$ (Sınır değeri=6)
N1-N2	0,63	1,02	1,21	3,05
N1-N4	0,64	1,01	1,21	3,02
N1-N3	0,65	0,97	1,18	2,91
N1-N6	0,64	1,01	1,21	3,02
N1-N10	0,56	1,17	1,32	3,52
N1-N11	0,61	1,07	1,25	3,20
N2-N10	0,51	1,31	1,40	3,94
N2-N4	0,57	1,15	1,31	3,45
N3-N4	0,57	1,17	1,32	3,50
N3-N7	0,61	1,07	1,25	3,22
N3-N8	0,60	1,10	1,27	3,30
N3-N11	0,61	1,06	1,25	3,19
N5-N2	0,58	1,13	1,29	3,38
N5-N4	0,59	1,10	1,27	3,31
N5-N6	0,59	1,12	1,28	3,35
N6-N10	0,51	1,31	1,40	3,93
N7-N9	0,62	1,05	1,24	3,15
N7-N8	0,58	1,14	1,30	3,41
N8-N9	0,63	1,03	1,22	3,09
N8-N5	0,57	1,16	1,31	3,48
N9-N5	0,65	0,98	1,18	2,94
N9-N6	0,60	1,09	1,26	3,26
N9-N1	0,69	0,90	1,12	2,70
N11-N7	0,58	1,13	1,29	3,40
N11-N9	0,62	1,04	1,23	3,12

4. ölçü planında duyarlık amaç fonksiyonları değerlerinde bir azalma görülmediğinden duyarlık optimizasyonu için yinelemeye 8. ölçü planına kadar devam edilmiştir. E-

optimal ağın planlanmasında eklenen bazların amaç fonksiyonlarına etkileri Şekil 13’ de verilmiştir.



Şekil 13: E-Optimal ağın planlanmasında eklenen bazların amaç fonksiyonu değerlerine etkileri

Uygulamada E-optimal ağa,

$$A_{Hmax(j)} = \sigma_0 \sqrt{\lambda_{max(j)}} \leq 0.5 \text{ cm}$$

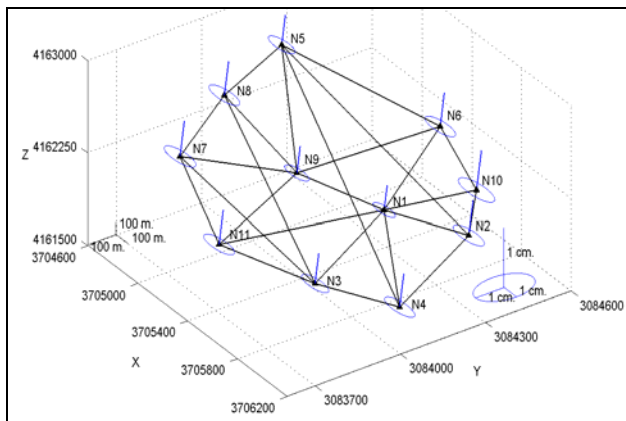
koşulu sağlandığında ulaşıldığına karar verilmesi öngörülmüştür. Bu durumda $\sigma_0 = 1 \text{ cm}$ alınarak,

$$\lambda_{max(j)} \leq 0.25$$

şeklinde sınır değer sağlanmalıdır. Her ölçü planı için amaç fonksiyonu değerleri hesaplandığında

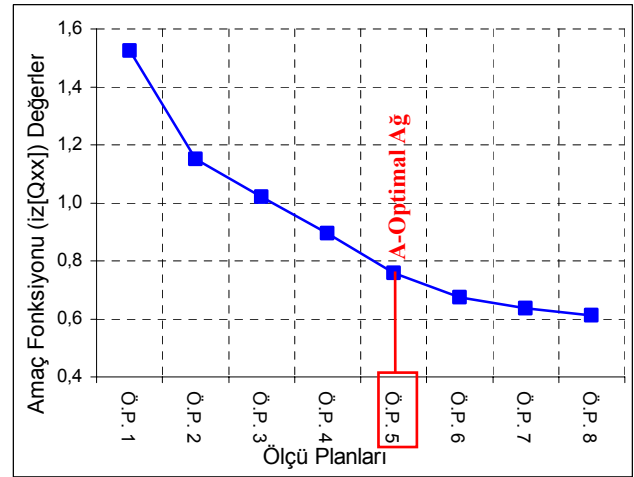
$$\lambda_{max(3)} = 0.29 \quad ; \quad \lambda_{max(4)} = 0.21$$

olduğundan, ağa eklenen her bazın maliyeti arttıracığı da göz önüne alınarak E-optimal ağa dördüncü ölçü planı ile ulaşıldığına karar verilmiştir (Şekil 14).



Şekil 14: Ölçü planı optimizasyonunda karar verilen güvenilir E-optimal ağ

A-optimal ağın planlanmasında eklenen bazların amaç fonksiyonlarına etkileri Şekil 15’ de verilmiştir.



Şekil 15: A-Optimal ağın planlanmasında eklenen bazların amaç fonksiyonu değerlerine etkileri

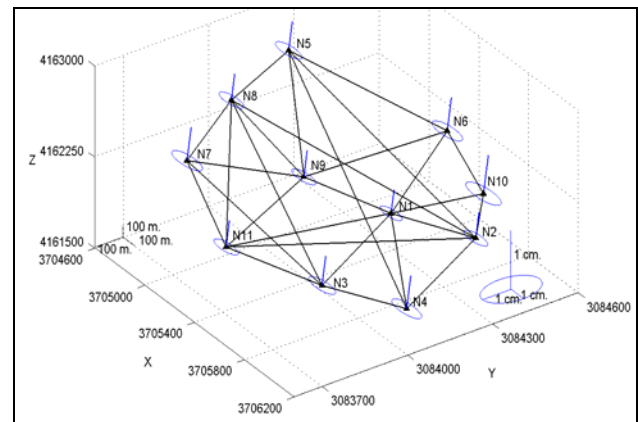
Uygulamada A-optimal ağa,

$$\left(\sum_{i=1}^{3p} \lambda_i \right)_j \leq 0.8$$

koşulu sağlandığında ulaşıldığına karar verilmesi öngörülmüştür. Bu durumda hesaplanan amaç fonksiyonları

$$\left(\sum_{i=1}^{3p} \lambda_i \right)_4 = 0.89 \quad ; \quad \left(\sum_{i=1}^{3p} \lambda_i \right)_5 = 0.76$$

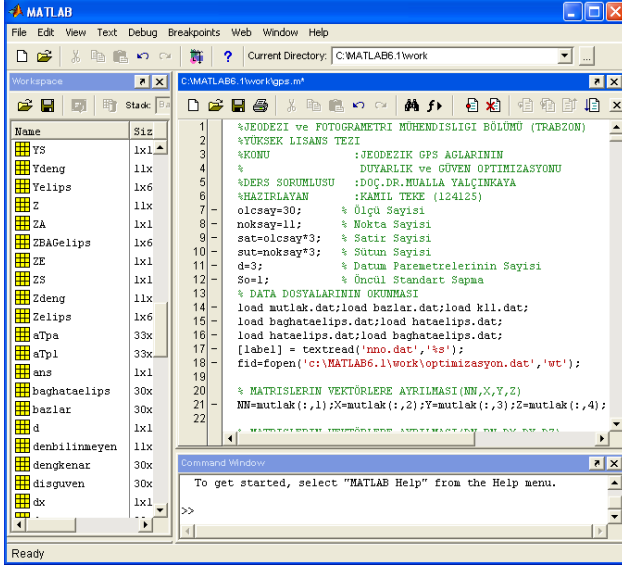
değerlerinden de görüldüğü gibi ağa eklenen her bazın maliyeti arttıracığı da göz önüne alınarak A-optimal ağa beşinci ölçü planı ile ulaşıldığına karar verilmiştir (Şekil 16).



Şekil 16: Ölçü planı optimizasyonunda karar verilen güvenilir A-optimal ağ

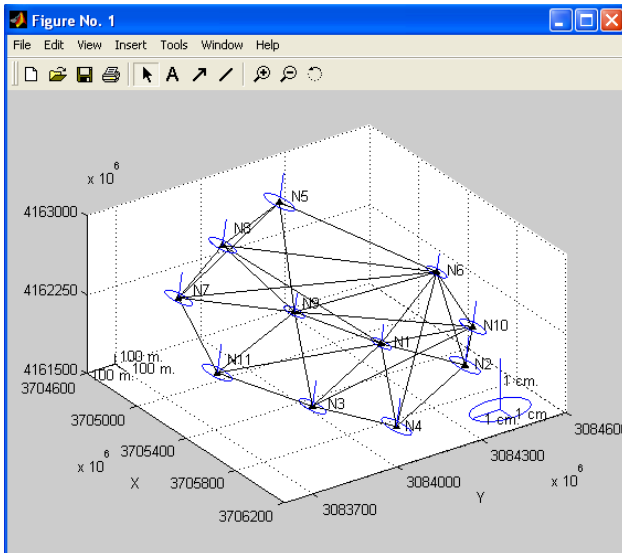
3.4 Optimizasyonda Kullanılan Simülasyon Yönteminin Matlab Derleyicisi ile Uygulanması

Uygulamada, nokta koordinatlarının dönüşümü, baz vektörlerinin hesabı, ağın dengelenmesi, duyarlık ve güven ölçütlerinden seçilen amaç fonksiyonu değerlerinin hesabı, matlab (MATrix LABORatuary) derleyicisi ile yapılmıştır (Şekil 17).



Şekil 17: Matlab derleyicisi arayüzü

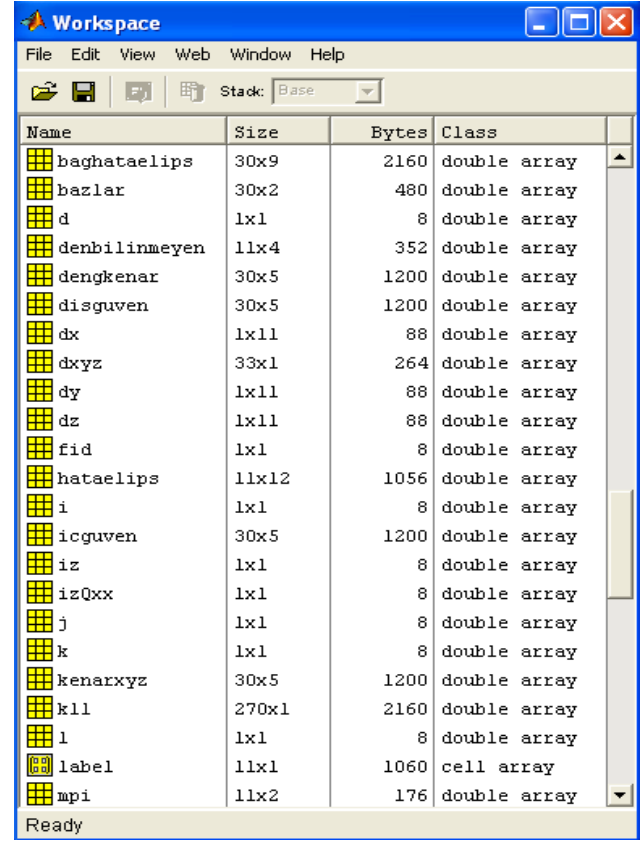
Üç boyutlu ağı çizdirilmesinde, Matlab derleyicisi grafik arayüzü (Şekil 18) ve grafik fonksiyonları kullanılmıştır. Her yinelemede sonuç değerleri ayrı dosyalara yazdırılmıştır.



Şekil 18: Matlab derleyicisi grafik arayüzü

Matlab derleyicisinin hazır fonksiyon dosyaları (m-dosyaları) kod yazımında büyük kolaylık sağlamıştır. Programın workspace ortamı (Şekil 19) ara değerlere

doğrudan erişime olanak verdiğinden ara değerlerin ayrıca dosyaya yazdırılması gerekmemiştir.



Şekil 19: Matlab derleyici workspace arayüzü

Matlab derleyicisi ile simülasyon ve grafiksel görüntüleme işlemleri hazır fonksiyon dosyalarını çağıran kodlarla kolaylıkla gerçekleştirilebilmiştir.

4 Sonuçlar ve Öneriler

Çalışma sonucunda, simülasyon yönteminin ölçü planında değişiklik yapılması sürecinde hangi bazların eklenmesi gerektiğine bilgisayarla karar verebilecek algoritmaların geliştirilmesine olanak sağladığı, bu üstünlüklerine karşın yinelemeli çözüm yapıldığından işlenmesi gereken veri yükünün çok olduğu görülmüştür.

Minimum ölçü planından maksimum ölçü planına gidilerek yapılan optimizasyon işleminde, seçilen duyarlık amaç fonksiyonlarına en fazla etki eden bazların, büyük olan nokta hata elipsoidleri eksenleri yönünde ilave edilen yeni bazlar olduğu belirlenmiştir. Bu bazlar ölçü planına eklenmiş ve amaç fonksiyonu değeri sınır değer altında kaldığında optimal ölçü planına ulaşıldığına karar verilmiştir.

Tasarım aşamasında seçilen duyarlık amaç fonksiyonları değerlerinin ağıdaki baz sayısı ile ters orantılı olduğu fakat doğrusal olmadığı görülmüştür.

Ağın global duyarlık ölçütleri değerlerinin iyi olması veya ağın ortalama serbestlik derecesinin yüksek olması duyarlı ve güvenilir bir ağ olduğu anlamına gelmediğinden, ağa ilişkin lokal duyarlık ve güven ölçütlerinin de ayrı ayrı denetlenmesi ve iyileştirilmesi gerektiği görülmüştür.

Duyarlık ve güven amaç fonksiyonlarının birlikte ele alındığı ölçü planı tasarımında sadece duyarlık veya sadece güven amaç fonksiyonlarına bağlı kalınarak gerçekleştirilen optimizasyon işleminden farklı olarak yineleme sayısının fazla olduğu fakat ağa hem duyarlık hem de güven isteklerini sağlayacak güçlü bir geometri kazandırıldığı görülmüştür.

Sonuç olarak, bir GPS ağının tasarımında,

- *ağın duyarlık optimizasyonunda*, tasarım aşamasında bazların kapalı luplardan oluşturulması ve oturumların her sonraki oturumun en az daha önceden ölçü yapılan bir bazı içermesi,
- baz hatalarının nokta konum hatalarına etkisini azaltmak ve güvenilirliği artırmak için bazların birbirine dik planlanması diğer bir deyişle küçük açılarla kestirilmemeleri,
- ağın simülasyon yöntemiyle optimizasyonunda minimum ölçü planından maksimum ölçü planına gidilirken duyarlığı düşük olan noktaları birleştiren bazların ağa ilave edilmesi,
- *ağın güven optimizasyonunda*, ağın ölçüleri homojen dağılmadığında ağın ortalama serbestlik derecesinin yüksek olması güvenilir bir ağ olduğu anlamına gelmediğinden ölçülerin geometrisine bağlı olarak ağda ölçülerin redundanz değerlerinin, ağın iç ve dış güven ölçütleri değerlerinin sınır değer şartlarını ayrı ayrı gerçekleştirmeleri ve tüm ağda homojen yapıda olmalarının sağlanması,
- ağın, duyarlık ve güven optimizasyonunun birlikte yapılması,

önerilir.

Kaynaklar

- Baarda (1968)**, “A Testing Procedure for Use in Geodetic Networks”, Publication on Geodesy, New Series, Vol. 2, No. 5, Netherlands Geodetic Commission, 5-59, The Netherlands.
- Baarda (1977)**, “Measures for the Accuracy of Geodetic Networks” IAG-Symp., Sopron.
- Biacs, Krakiwsky ve Lapucha (1990)**, “Reliability Analysis of Phase Observations in GPS Baseline Estimation”, Journal of Surveying Engineering, ASCE, 116(4), 204 – 224.
- Dare (1995)**, “Optimal Design of GPS Networks: Operational Procedures”, Phd. Thesis, School of Surveying, University of East London.
- Dare ve Saleh (2000)**, “GPS Network Design: Logistics Solution Using Optimal and Near-Optimal Methods”, Journal of Geodesy, Vol. 74, 467-478.
- Even-Tzur ve Papo (1996)**, “Optimisation of GPS Networks by linear programming”, *Survey Review*, Vol. 33, 537 – 545.
- Even-Tzur (2001)**, “GPS Vector Configuration Design For Monitoring Deformation Network in the North of Israel”, The 10th FIG International Symposium on Deformation Measurements, Orange, California, USA.
- Gazdzicki (1976)**, “Strength Analysis of Geodetic Control Network”, *Bull. Geodesique*, 50(4), 363-376.
- Grafarend (1974)**, “Optimization of Geodetic Networks”, *Bolletino di Geodesia a Science Affini*, 33(4), 351 - 406.
- Grafarend ve Sanso (1985)**, “Optimization And Design of Geodetic Networks”, Springer – Verlag, Berlin, Heidelberg, Newyork, Tokyo.
- Schaffrin (1985)**, “Aspects of Network Design, Optimization and Design of Geodetic Networks”, Grafarend and Sanso, eds. Springer – Verlag, Berlin, 548-597.
- Kaya (1999)**, Jeodezi-II, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon
- Kuang (1996)**, “Geodetic Network Analysis and Optimal Design”, Ann Arbor Press, Inc., ISBN 1-57504-044-1.
- Konak (1994)**, “Yüzey Ağlarının Optimizasyonu”, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Özbenli (2001)**, “Jeodezi-I”, II. Baskı, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Öztürk (1982)**, Jeodezik Ağlarda Güven Ölçütleri ve Ölçme Planının En Uygunlaştırılması, K.T.Ü. Yayınları, Trabzon.
- Wells, Beck, Delikaraoglu, Kleusberg, Krakiwsky, Lachapelle, Langley, Nakiboglu, Schwarz, Tranquilla, ve Vanicek (1986)**, “Guide to GPS Positioning”, Canadian GPS Associates, Fredericton, Canada.
- Wolf ve Ghilani (1997)**, “Adjustment Computation: Statistics and Least Squares in Surveying and GIS”, John Wiley and Sons, Inc., ISBN 0-471-16833-5.
- Yalçınkaya, Teke ve Bayrak (2003)**, “GPS İle Ölçülen Jeodezik Ağlarda Duyarlık ve Güven Optimizasyonu”, Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu 2003 Yılı Bilimsel Toplantısı, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştay, Konya.