

GPS AĞLARI İÇİN BİR OPTİMİZASYON STRATEJİSİ

H. Konak¹, O.Kurt², E. Öztürk³

¹Kocaeli üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Bölümü, hkonak@kou.edu.tr

²Kocaeli Üniversitesi, Karamürsel M.Y.O., Teknik Programlar Bölümü, orhnkrt@yahoo.com

³Kocaeli üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Bölümü, eozturk@kou.edu.tr

ÖZET

Jeodezik ağlar günümüzde hızlı ve yüksek doğruluklu GPS ölçüleri ile değerlendirilmekte, ölçülerin ağ içerisinde dağılımları üzerinde pek fazla durulmamaktadır. Oysa jeodezik ağların kendilerinden beklenen işlevleri yeterince karşılayabilmeleri için; tasarım aşamasında, duyarlık ve güvenilirlik yönünden en uygun duruma getirilmelidir. Bu çalışmada; ilk adımda, gerçek bir GPS ağı için alternatif ölçme planları tasarlanmaktadır. Amaç fonksiyonu olarak da Taylor-Karman yapısında homojen ve izotrop yapılı ölçüt matrisleri kullanılmaktadır. İkinci adımda; bu ağlara ilişkin ölçülerin ağırlıkları ikinci dereceden optimizasyon işlemiyle elde edilmektedir. Son adımda güvenilirlik üzerinden bir maliyet optimizasyonu işlemi gerçekleştirilmekte, alternatif ağ sonuçları karşılaştırılmakta ve GPS gözlemleriyle ağ düzeninde karşılanması istenen ilk ağırlıklara ulaşılabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Duyarlık ve Güven Optimizasyonu, Ölçüt Matrisleri, Alternatif Ölçme Planı

ABSTRACT

An OPTİMİZATION STRATEGY for GEODETIC NETWORKS

Nowadays, geodetic networks are evaluated with rapidly and high accuracy GPS observations. It is not enough to make up the geodetic networks only for known standarts. For the reasons, when the geodetic Networks are desingned, at the same time the observation plan end the precision of the observation must be optimized. In this study, firstly the alternative observation plans are designed for a real GPS network. Here is used a Taylor-Karman Criterion Matrix as Objective Function. At the Second step, the weights of observation are estimated by the SOD-Approaches for GPS Networks. Finally, it is realized a cost optimization, the results of alternative networks are discussed

Keywords: Optimization of Precision and Reliability, Criterion Matrices, Alternative Observation Plan.

1. GİRİŞ

Jeodezik ağlar günümüzde yüksek doğruluklu ve hızlı ölçme olanağı sağlayan GPS ölçüleri ile değerlendirilmekte, ölçülerin ağ içerisinde dağılımları üzerinde pek fazla durulmamaktadır. Başka bir deyişle GPS ölçülerinin yüksek doğruluklu sonuçlar üretmesi önemsenmekte, buna karşın birbirlerine göre denetleme ölçütleri üzerinde pek fazla durulmamaktadır. Oysa jeodezik ağlar kendilerinden beklenen işlevleri yeterince karşılayabilmeleri için; tasarım aşamasından başlamak üzere duyarlık ve güvenilirlik yönünden en uygun duruma getirilmelidir. Ancak bu aşamadan sonra GPS gözlemlerinin ağ içerisindeki dağılımlarına ve duyarlık isteklerine yanıt verebilecek en uygun gözlem zamanlarının ve ölçme sürelerinin belirlenmesi aşamasına geçilebilir.

GPS ağlarının tasarımı aşamasında, ağ noktalarının yerleri belirlenirken; topografik koşulların, noktalara ulaşım olanaklarının, uydu sinyallerini kesen doğal ve yapay engellerin elverdiği oranda baz uzunluklarının eşit olarak seçilmesine, ağına kapladığı alana göre enine ve boyuna geçkilerin gergin noktalardan oluşturulmasına, enine ve boyuna bağlantılar arasındaki kesişimlerin dik açılar oluşturmalarına, geometrik şekillerin dik üçgenler biçiminde tasarlanmasına ve her noktada eşit sayıda gözlemlerin planlanmasına çalışılmalıdır (Wu vd., 2004, Konak vd., 2004). GPS gözlemleri bir jeodezik ağda, noktalar arasındaki ölçek ve dönüklük yönündeki belirsizlikleri ortadan kaldırmaktadır. Bu ilişki aynı zamanda noktalar arasındaki komşuluk ilişkilerinin (uzaklık ve açı) bir fonksiyonudur. Başka bir deyişle, bu durum optimizasyon işlemine başlanmadan önce, amaç fonksiyonlarının belirlenmesi aşamasında göz önünde bulundurulmalıdır. Bu gereksinimlere ancak ağına tamamını temsil edebilen ve noktalar arasındaki uzaklıkların bir fonksiyonundan oluşturulan, homojen ve izotrop yapılı ölçüt matrisleri ile yanıt verilebilir.

Jeodezik gözlemler genellikle Gauss Markoff Modelinde, Dolaylı Ölçüler olarak değerlendirilmektedir. GPS gözlemlerinin eşit ağırlıklarla değerlendirilmesi aşamasında, ağına geometrik şeklinden bağımsız ve oldukça iyimser sonuçlar elde edilmektedir. Bu durumda ağa ilişkin noktaların komşuluk ilişkileri hakkında bilgilere ulaşılamaz. Bu durum uygulayıcıları, ağına geometrik şeklinden bağımsız ölçme oturumlarının çözülmesi ve buna bağlı olarak da ölçme planlarının tasarlanmasına yönlendirebilmektedir.

Bu çalışmamızda sözünü ettiğimiz özel durumlar ve bu durumda karşılaşılabilecek olası sorunlar, gerçek GPS ağları üzerinde deneysel olarak tartışılmaktadır. Amaç fonksiyonu olarak Taylor-Karman yapısında homojen ve izotrop yapıli ölçüt matrisleri kullanılmakta ve ölçülerin ağırlıklı dağılımı ikinci dereceden optimizasyon işlemiyle elde edilmektedir.

Ayrıca ele alınan GPS ağlarında, alternatif ölçme planları etkileşimli olarak denenmekte ve ulaşılan optimizasyon sonuçları karşılaştırmalı olarak irdelenmektedir. Son adımda da güvenilirlik üzerinden bir maliyet optimizasyonu işlemi gerçekleştirilmekte ve böylece GPS gözlemleriyle ağ düzeninde karşılanması istenen ilk ağırlıklara ulaşabilmektedir. Bu noktadan sonra; ulaşılan gözlem planı ve ağırlık dağılımını en iyi şekilde karşılayan gözlem pencereleri ve oturumların planlanması aşamasına geçilir (Konak vd., 2004).

Böyle bir amaca yönelik optimizasyon sonuçlarını garanti altına alabilecek bir optimizasyon stratejisini üç temel adım üzerine kurabiliriz.

1. Ağ Kapasitesinin Araştırılması ve Alternatif Ölçme Planlarının Belirlenmesi:

1.1. Ağın geometrik şekli ve amaç fonksiyonunu karşılayan Ölçüt Matrisleri yardımıyla ağda ulaşabilecek en iyi duyarlık ölçütlerinin kestirilmesi

1.2. Amaçlanan duyarlık isteklerine en iyi yanıt verme olasılığı yüksek olan alternatif ölçme planlarının tasarlanması

2. Duyarlık ve Güvenirlik Optimizasyonu

2.1. Ağırlık Optimizasyonu

2.2. Güvenirlik İstekleri Üzerinden Maliyet Optimizasyonu

3. Ağ seçeneklerinin karşılaştırılması

2. OPTİMİZASYON STRATEJİSİ

2.1. Ağ Kapasitesinin Araştırılması ve Ölçüt Matrislerinin Belirlenmesi

Jeodezik ağların tasarımı aşamasında; kendilerinden beklenen işlevleri yeterince karşılayabilecek; ağın her noktasında benzer görünümlü olmak üzere, noktaların ağ içerisindeki konumlarına ve arasındaki uzaklıklarına bağlı olarak değişen büyüklükte benzer görünümlü hata elipsoidleri, amaç fonksiyonu olarak seçilmektedir. Böyle bir isteği karşılayabilecek en iyi ölçüt matrislerinden birisi de TAYLOR-KARMAN yapısındaki Ölçüt Matrisleridir (Grafarend vd., 1979, Öztürk 1992, Konak 1995, Kurt 1996).

Homojen izotrop bir ağ aşağıdaki özellikleri taşır.

- * Ağ noktalarının tümündeki güven elipsoidleri homojen ve izotrop görünümünde, d yarıçaplı küreler biçiminde olmalıdır.
- * P_i ve P_j noktaları arasında hesaplanan bağıl güven elipsoidleri küre görünümünde olmalı ve yarıçaplar $r_{ij} = c^2 S_{km}$ büyüklüğünde olmalıdır.
- * X, Y ve Z koordinatları arasındaki cebrik korelasyonlar gözardı edilebilecek büyüklükte kalmalıdır.

Söz konusu duyarlık isteklerini yansıtan üç boyutlu varyans kovaryans matrisi (D_{xx}), herhangi iki ağ noktası için

$$D_{xx} = \begin{bmatrix} d^2 & 0 & 0 & d^2 - r_{ij} & 0 & 0 \\ 0 & d^2 & 0 & 0 & d^2 - r_{ij} & 0 \\ 0 & 0 & d^2 & 0 & 0 & d^2 - r_{ij} \\ d^2 - r_{ij} & 0 & 0 & d^2 & 0 & 0 \\ 0 & d^2 - r_{ij} & 0 & 0 & d^2 & 0 \\ 0 & 0 & d^2 - r_{ij} & 0 & 0 & d^2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

görünümündedir

Bir Taylor-Karman Matrisi'nde ;

*Hata elipsleri küre görünümündedir (izotropluk).

*Tüm hata elipsoidleri eşit büyüklüktedir (homojenlik).

*Bağıl hata elipsoidlerinin yarı eksenlerinin oranları farklıdır (elipsoid görünümünde)

*Bağıl hata elipsoidleri, noktalar arasındaki uzaklığın bir fonksiyonu olarak tanımlanan iki karakteristik fonksiyon (enine ve boyuna korelasyon) ile tanımlanır.

Tam İzotrop Bir Matriste ;

*Hata elipsoidleri küre görünümündedir (izotropluk).

*Tüm hata elipsoidleri eşit büyüklüktedir (homojenlik).

*Bağıl hata elipsoidleri küre görünümündedir.

*Bağıl hata elipsoidlerinin yarıçapları noktalar arasındaki uzunluğun bir fonksiyonudur.

Ölçüt matrislerinin ($\underline{D}_{XX}$), ağda gerçekleştirilebilen varyans-kovaryans matrisi ile karşılaştırılabilmesi için

$$\underline{S} = \underline{I} - \underline{G}(\underline{G}^T \underline{G})^{-1} \underline{G}^T \quad \text{Dönüşüm Matrisi} \quad (2)$$

olmak üzere

$$\underline{C}_{XX} = \underline{S} \underline{D}_{XX} \underline{S}^T \quad (3)$$

şeklinde ağın datumuna dönüştürülmesi gerekir. Buradaki $\underline{G}$ matrisi söz konusu ağın yaklaşık koordinatlarıyla oluşturulur (Öztürk 1992)

Ölçüt (Kriterium) matrisleri, ağın geometrik şeklini temsil eden karakteristik uzunluğa bağlıdır. Taylor-Karman yapısındaki bir ölçüt matrisi çoğunlukla tekil (singüler, tutarsız) yapıdadır. Düzgün (regüler) yapıda bir Taylor - Karman matrisi (T-K Matrisi) oluşturabilmek için seçilen karakteristik uzunluk, ağın en büyük kenarına yakın bir değerdir. Enine ve boyuna korelasyonların eşit olarak ele alındığı izotrop yapıda bir T-K matrisi elde edebilmek için seçilecek karakteristik uzunluk, ağın ortalama uzunluğunun $\sqrt{2}$ katına karşılık gelmektedir.

Amaç fonksiyonu olarak seçilen ölçüt matrislerinin, ağın yapısıyla tam uyumlu oldukları söylenemez . Bu durum korelasyon fonksiyonuna, ağın karakteristik uzunluğuna ve ağın geometrik yapısına sıkı sıkıya bağlıdır. Uygun bir ölçüt matrisinin seçimi, günümüzde de halen bir sorun olmaya devam etmektedir. Buna karşın ağın karakteristik uzunluğunun ağdaki komşu noktalar ile bir sonraki kuşak noktaları karşılayacak büyüklükte olmasına özen gösterilmelidir (Konak 1995).

Gerçekleştirilen varyans-kovaryans matrisi $\underline{K}_{XX}$ ile duyarlık isteklerini içeren yapay varyans-kovaryans matrisi $\underline{C}_{XX}$ 'in eşdeğer olup olmadıkları

$$\underline{B} = \underline{C}_{XX}^{-1} \underline{K}_{XX} \quad (4)$$

matrisinden hesaplanan en büyük özdeğer $\lambda_{\max}$ 'ın, $\lambda_{\max} \leq 1$ eşitliği irdelenerek denetlenir (Öztürk 1992, Konak 1995, Kurt 1996)

Ölçüt matrisleri oluşturulması için

$Q(r) = K_1(r/d).r/d$	Bessel Fonksiyonu ($K_1(r/d)$: Bessel katsayısı)
$Q(r) = 1 - m r$	Baarda Fonksiyonu
$Q(r) = \exp(-r / d)$	Üstel fonksiyon
$Q(r) = \exp(-(r / d)^2)$	Gauss fonksiyon

(5)

kullanılmakta olan belli başlı korelasyon fonksiyonlarıdır (Öztürk 1992)

Ağın datumuna dönüştürülmüş bir Ölçüt Matrisi ağda ulaşabilecek en iyi kaliteyi göstermektedir (Şekil 1). Bu aynı zamanda bir ağırlık optimizasyonu sonucunda ulaşılacak ölçme planı ve ağırlık dağılımı anlamına gelmektedir. Başka bir deyişle ağın en ucundaki noktaya ilişkin hata elipsoidi, ölçüt matrisinin ön gördüğü en zayıf hata elipsoididir. Ölçüt matrislerinin bu temel özelliği ise bize optimizasyon işlemi sonucunda ulaşabileceğimiz en iyi kaliteyi göstermektedir. Bu durumda bu kaliteyi sağlayabilecek jeodezik ağlar tasarlanırken, daha tutarlı ve daha gerçekçi bir geometrik şekil ya da ölçme planı taslağına sahip farklı ağ seçenekleri üretebilmemiz de olanaklı hale gelmektedir.

2.1.1. Alternatif Ölçme Planlarının Tasarlanması

Optimizasyon işlemine başlanmadan önce maksimum gözlemde oluşan bir gözlem planı tasarlanır. Bu gözlem planında ağın her noktasında planlanan gözlem sayısı; n ağdaki nokta sayısı olmak üzere en fazla (n-1) olacaktır. Böyle bir ölçme planı ile ağırlıkların eşit alındığı GPS gözlemlerinin topluca değerlendirilmesi sonucunda ağın her

noktasında eşit büyüklükte hata küreleri elde edilmiş olur. Bu hata kürelerinin büyüklükleri tüm bazlarda eşit ağırlıklı GPS gözlemlerinin yapılabilmesi durumunda ağı maksimum kapasitesini gösterir. Böyle bir ölçme olanağının uygulamadan elde edilmesi mümkün olmadığı gibi, bu durum fiziksel gerçeklerle de bağdaşmaz. GPS gözlemleri, topluca değerlendirildikleri jeodezik ağlarda öteleme ve ölçek yönündeki belirsizlikleri ortadan kaldırırlar. Sözgelimi ağı ilişkin noktalar arasındaki gerilimler hakkında doğrudan hiçbir bilgi taşımazlar. Bu durumda ağı ilişkin noktalar arasındaki komşuluk ilişkilerini temsil eden ölçüt matrisleri üzerinden uygulanacak bir ağırlık optimizasyonu işlemi sonucunda; GPS ölçülerine ilişkin en uygun ölçme planı ve duyarlık dağılımının belirlenmesi gerekmektedir.

Bu tanı işlemi bizi aslında ağı her noktasında eşit sayıda gözlemlerin planlandığı, komşu üçgenler ya da kapalı çokgenler şeklinde farklı biçimde tasarlanmış ağ seçeneklerine götürecektir.

Bu amaçla tasarlanacak ölçme planı; ağı her noktasında üç gözlem bağlantısı olmak üzere olabildiğince komşu üçgenler ve kapalı çokgenler olarak tasarlanır. Ağı ilişkin eşit ağırlıklı gözlemleri temsil eden hata kürelerinin yarı çapları hesaplanır. En kötü koşullu hata elipsine ilişkin yarıçapın amaçlanandan daha büyük olması durumunda, ağı ölçme planı her noktada dört gözlem olacak şekilde artırılır. Bu araştırma işlemi, ağı ulaşılan hata kürelerinin yarıçapının, ölçüt matrisinin sağladığı elipsoidin yarıçapından daha küçük ya da ona eşitse durdurulur. Böylece optimizasyon işlemine başlanmadan önce, ele alınabilecek alternatif bir ölçme planı taslağı belirlenmiş olur (Şekil 7).

Bu araştırma işlemi yerine ağı her noktasında eşit sayıda gözlemlerin planlandığı alternatif ölçme planlarının araştırılması daha gerçekçi olacaktır (Şekil 5). Çünkü bazı ağlar, geometrik şekilleri gereği maksimum ölçme planı dışında tutarlı bir seçenek sunamazlar. Başlangıçta her durak noktasında en az üç adet gözlem planlanarak tasarım işlemine başlanır. Durak noktalarındaki ölçü sayısını eşitlemek amacıyla; gözlem sayıları birer birer artırılır. En kötü olasılıkla, ağı geometrik şekline göre bu sayı, ağıdaki nokta sayısı n olmak üzere; her durak noktası için $(n-1)$ olarak elde edilecektir. Bu durumda başka bir ağ seçeneğinden söz edilemez.

Ölçüt matrislerinin en büyük sorunu ağ içerisindeki baz uzunluklarının dağılımını temsil eden ve noktalar arasındaki korelasyonları belirleyen karakteristik baz uzunluğudur (Konak 1995). Bu uzunluğun seçimi, optimizasyon sonucunda gözlem yapılabilecek en uzak ağ noktalarının yerini de göstermektedir. Genellikle ağı fazla bir duyarlık kazancı sağlamayan oldukça yüksek denetlenebilir özellikteki gözlemler de ağ içerisinde kalabilmektedir. Bu durumun bir sonucu olarak; ağı datumunda belirlenmiş ölçüt matrisinin sağladığı duyarlık isteklerine oldukça yakın bir isteği sağlayabilen alternatif bir ölçme planı taslağı bize, ilk optimizasyon sonuçlarına ulaştığımızda gereksiz bağlantılardan oluşmayan, daha uygun bir ağırlık dağılımı ve daha az maliyetli bir ağ olanağı da sunabilecektir.

2.2. Duyarlık ve Güvenirlik Optimizasyonu

2.2.1. Ağırlık Optimizasyonu

Elde elden ağ seçenekleri için; Ölçüt matrisleri üzerinden bir duyarlık optimizasyonu işlemi gerçekleştirilir (Konak 1995). Ölçüt matrisleriyle gerçekleştirilecek bir ağırlık optimizasyonu için en uygun çözüm U_m çözümüdür. Bu durumda

$$\underline{p} = (\underline{U}^T \underline{U} + \underline{B}\underline{B}^T)^{-1} \underline{q} \quad \begin{array}{l} \text{İkinci Derece Optimizasyon} \\ \text{İşleminde EKK Çözümü} \end{array} \quad (6)$$
$$\underline{q} = \text{vektör } Q$$
$$\underline{Q} = \frac{1}{m_0^2} \underline{C}_{xx} \quad \text{Ölçüt Matrisi}$$
$$\underline{B} = \quad \text{İç Koşullar}$$

genişletilmiş fonksiyonel model yardımıyla; ağ içerisindeki ölçülere ilişkin ön görülebilecek iç koşulları da sağlayan ağırlık dağılımı hesaplanır.

2.2.2. Güvenirlik İstekleri Üzerinden Maliyet Optimizasyonu

Ulaşılan sonuçlar; duyarlık ve güvenirlik istekleri yönünden karşılaştırılır ve en uygun indirgenmiş gözlem planı belirlenir. Bu aşamada, ağırlık optimizasyonu ile ulaşılan indirgenmiş ölçme planı üzerinden, ağı ortalama serbestlik derecesi, iç güvenirlik ve dış güvenirlik ölçütlerine bakılarak oldukça yüksek denetlenebilir ölçüler ölçme planından çıkartılır. (6) eşitliğine göre yeni bir ağırlık dağılımı hesaplanır. Güvenirlik ölçütleri ile ağırlık dağılımının daha homojen olarak dağılım gösterdiği ölçme planı, en uygun maliyetli ağ tasarımı olarak değerlendirilir.

Güvenirlik üzerinden maliyet optimizasyonu aşamasında yüksek dereceden denetlenebilir gözlemlerin ayıklanması irdelenmeye değer bir durumdur. Yöntem olarak; ilk adımda ölçülerin serbestlik derecesi $r_i > 0.90$ olan en büyük ölçü gözlem planından çıkartılır. İndirgenmiş gözlem planı için bir kez daha ağırlık optimizasyonu işlemi gerçekleştirilebilir. Bu işlem ölçülerin serbestlik derecesi en azından $r_i < 0.90$ değerini sağlayıncaya kadar sürdürülür. Ağdan ulaşılan ilk duyarlık ölçütlerini karşılayan bir “Baz Optimizasyonu” işlemi sonucunda ise ölçülerin serbestlik derecelerinin dağılımı daha da iyileşebilmektedir (Konak vd. 2004). Bu durumda $r < 0.80$ ’den daha küçük bir serbestlik derecesi için güvenilirlik irdemesi ve maliyet araştırması yapmak ağı geometrik şeklini olumsuz yönde zorlayabilir

2.3. Ağ Seçeneklerinin Karşılaştırılması

1. Maximum ölçme planından ağ indirgemesi

- * Ağın datumuna dönüştürülmüş ölçüt matrisi ulaşılabilecek en iyi sonuçları gösterir. Bu nedenle gerçekleştirilecek bir (duyarlık) ağırlık optimizasyonu sonucunda; gözlemlerin bazıları tutarsız olacağından ölçme planından çıkartılır. Diğer gözlemlerden bazıları çok fazla ağırlık taşıırken, önemli bir kısmı da daha az ağırlıklar yüklenirler.
- * Bu durumda güven optimizasyonu üzerinden bir ağırlık optimizasyonu denenir. $R \leq 0.9$ ya da $r \leq 0.8$ koşulu altında ağırlık optimizasyonu gerçekleştirilir ve ağırlıklar homojenleştirilir.

2. Alternatif Ölçme Planları yardımıyla etkileşimli optimizasyon

- * Varsa; ele alınan ağa ilişkin ölçme planı seçenekleri belirlenir.
- * Bu ağlara ayrı ayrı ağırlık optimizasyonu ve güvenilirlik optimizasyonu uygulanır.
- * Optimizasyon sonuçları, ölçüt matrisini karşıyacak ölçü ağırlıklarını gösterir. Ölçü sayısı başlangıçta daha az olduğundan, ölçü ağırlıklarının dolayısıyla güvenilirlik ölçütlerinin de daha homojen olması beklenir.

3. Sonuçların karşılaştırılması

1. Alternatif ölçme planlarının optimizasyonu sonucunda ulaşılan duyarlık ölçütleri ve güvenilirlik ölçütlerinin dağılımı bir grafik üzerinde sergilenir.
2. Duyarlık ve güvenilirlik yönünden daha homojen bir yapı gösteren ağ uygun bir seçenek olarak belirlenir. Uygulamalardan elde sonuçlara göre, maksimum ölçme planından elde edilen ölçme planı daha fazla sayıda gözlemlerin yanısıra daha uygun bağıntılı gözlemler de içerebilmektedir.
3. Uygun ağ seçeneği; maksimum ölçme planından ulaşılan optimizasyon sonuçlarıyla karşılaştırılır.
4. Ulaşılan duyarlık isteklerini en iyi karşılayacak uygun bir GPS oturum planlaması için, gün içerisindeki en uygun gözlem pencerelerinin optimizasyonu aşamasına geçilir.
5. Ağ seçenekleri duyarlık ölçütleri yönünden birbirlerine çok yakın çıkarsa; kesin bir karara varabilmek için, her ağ seçeneğine bir kez de “Baz Optimizasyonu” işlemi uygulanabilir (Konak vd. 2004).

Baz optimizasyonu işleminin uygulanması durumunda;

6. Global ölçütler ve baz optimizasyonu sonucunda ulaşılan sonuçların yanı sıra; toplam ölçme süresi ve maliyet oranları da gözden geçirilir.
7. F_{max} ; maksimum ölçme planından elde edilen birim maliyet, F_{alt} ; alternatif ölçme planından elde edilen birim maliyet olmak üzere

$$BMK = \left| \frac{F_{max} - F_{alt}}{F_{max}} \right| \quad \text{Bağıl Maliyet Kazanım Oranı} \quad (8)$$

hesaplanır.

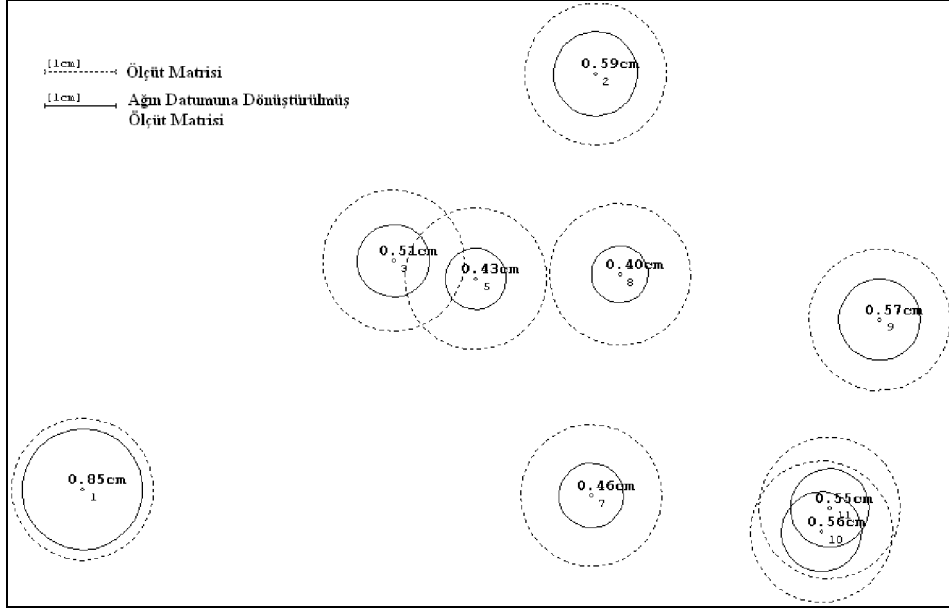
8. Bağıl maliyeti kazanım oranının (BMK) %5 ten daha fazla olması durumunda, alternatif ölçme planı tercih edilir.

3. SAYISAL UYGULAMA

1. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi (ZKÜ) GPS Ağı

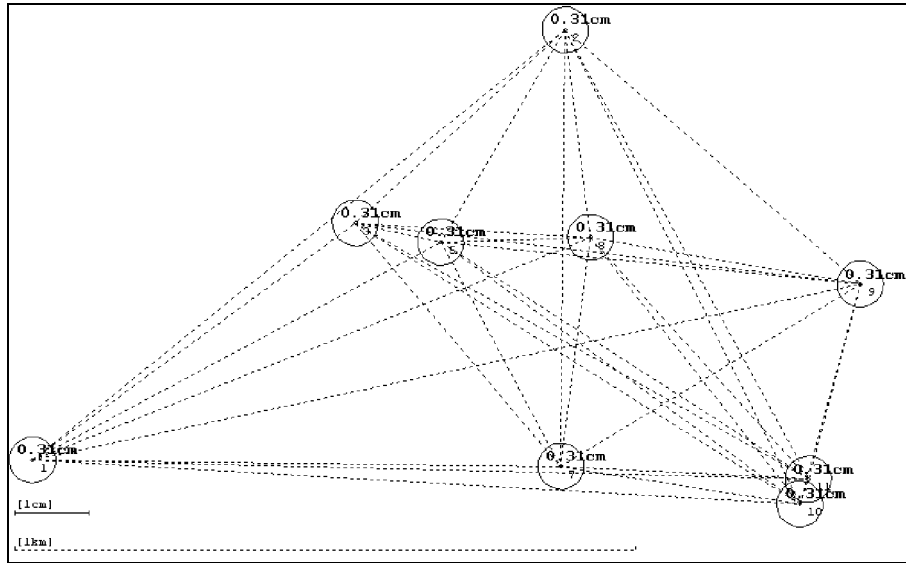
* Zonguldak Karaelmas (ZKÜ) GPS Ağı, temel haritaların üretilmesi amacıyla kurulmuş mühendislik amaçlı bir ağıdır. Bu ağıdaki nokta dağılımı ve noktalar arasındaki uzaklıklara bakıldığında; ağın geometrik şeklinin arazinin topoğrafik olanaklarına ve yerleşim durumuna bağlı olarak biçimlendiği görülmektedir. ZKÜ GPS Ağına benzer ağlar için uygun bir ölçme planı tasarlamak ve bu ağlarda uygun dağılımlı duyarlık ve güvenilirlik ölçütlerine ulaşmak ilginç bir mühendislik uygulaması ve araştırma konusu olacaktır.

*ZKÜ GPS ağına serbest datuma dönüştürülmüş Taylor-Karman matrisine göre; hata elipsoidlerinin yarı eksenleri ağı dış kuşak noktalarında; (1;0.85 cm) ile (9;0.57 cm) ağı iç bölgelerinde ise (5;0.43 cm) ile (8;0.40 cm) arasında dağılmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1: Ölçüt matrisi ve ZKÜGPS Ağı için ulaşılabilecek global duyarlık ölçütleri.

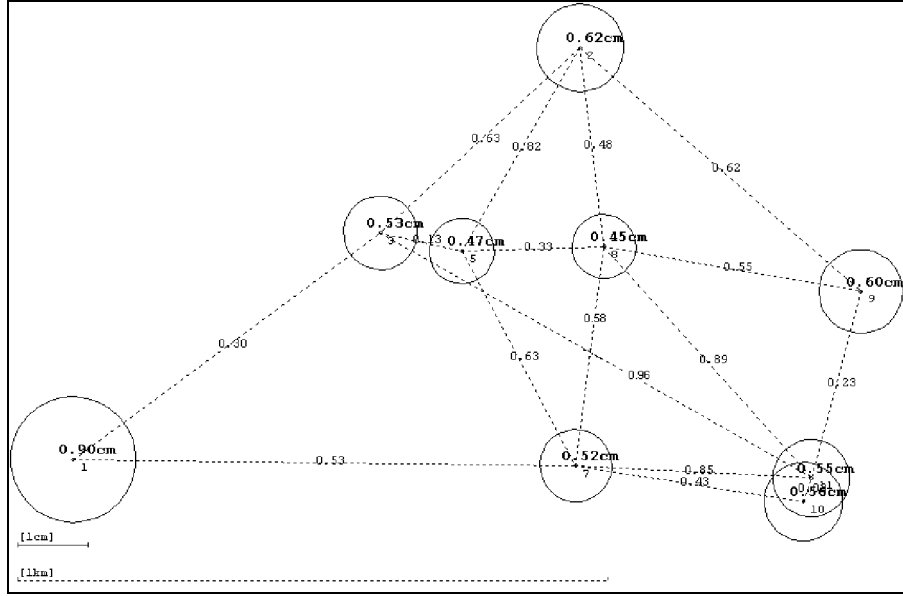
*ZKÜ GPS AĞI için, nokta sayısı n olmak üzere; her durak noktasında ($n-1 = 8$) ve toplam $[n(n-1)/2 = 36]$ adet baz vektöründen oluşan bir gözlem planı tasarlanmıştır (Şekil 2).



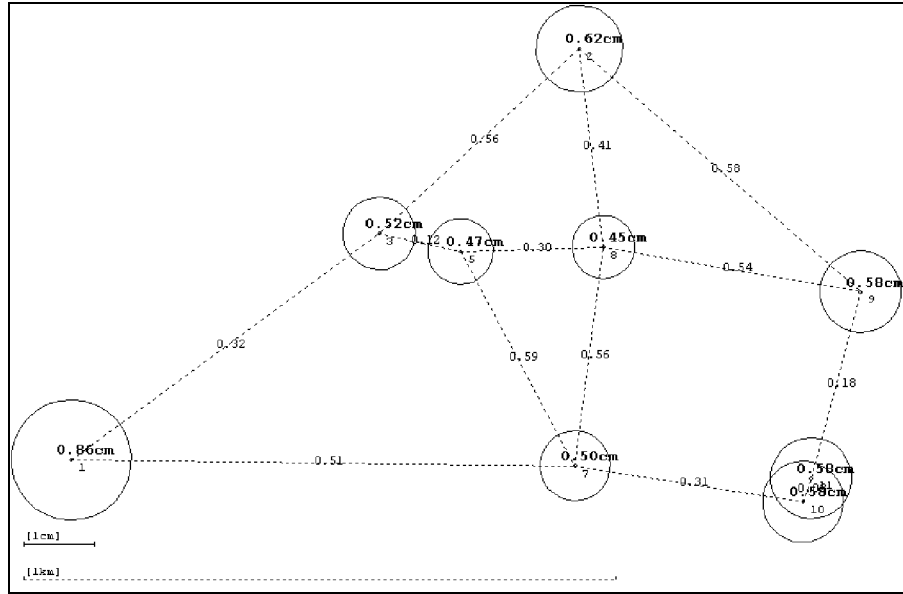
Şekil 2: ZKU-GPS Ağı maksimum ölçme planı ($P = I$).

* Maksimum gözlem planından elde edilen duyarlık optimizasyonu sonuçlarına göre bu değerler ağı dış kuşak noktalarında; (1;0.90 cm) ile (7;0.52 cm) ağı iç bölgelerinde ise (5;0.47 cm) ile (8;0.45 cm) arasında dağılmaktadır. (Şekil 3).

* Güvenirlik optimizasyonu sonucunda ulaşılan değerler ise; redundanz payları çok kısa kenarlı (10-11) gözlem bağlantısında 0.03 olarak elde edilebilmiştir. Bu ağı genellikle çok kısa kenarlı bağlantılı gözlemler dışında yeterince denetlenebilir ağ özelliğine sahip olduğu görülmektedir (Şekil 4). Öte yandan hata elipsoidlerinin yarı çapları dış kuşak noktalarında (1;0.86 cm) ile (7;0.50 cm), iç kuşak noktalarında ise (5;0.47 cm) ile (8;0.45 cm) arasında değişmektedir. Başka bir deyişle duyarlık dağılımları daha homojen olarak elde edilebilmiştir.



Şekil 3: ZKU-GPS Ağı maksimum ölçme planı için duyarlık optimizasyon sonuçları ($\underline{P} = \underline{P}_{opt}$).

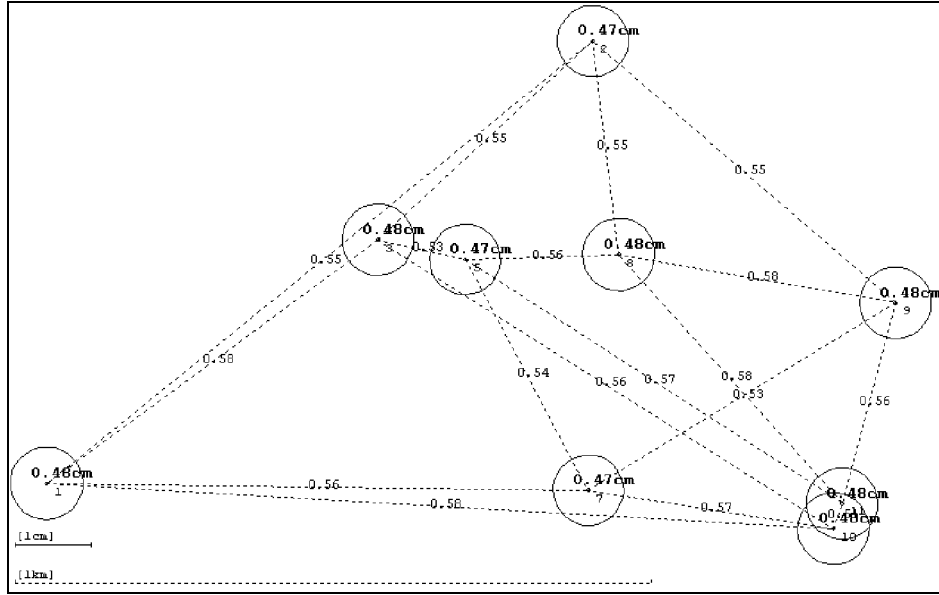


Şekil 4: ZKU-GPS Ağı maksimum ölçme planı için güvenirlilik ve maliyet optimizasyonu ($\underline{P} = \underline{P}_{opt}$, $r_i < 0.80$).

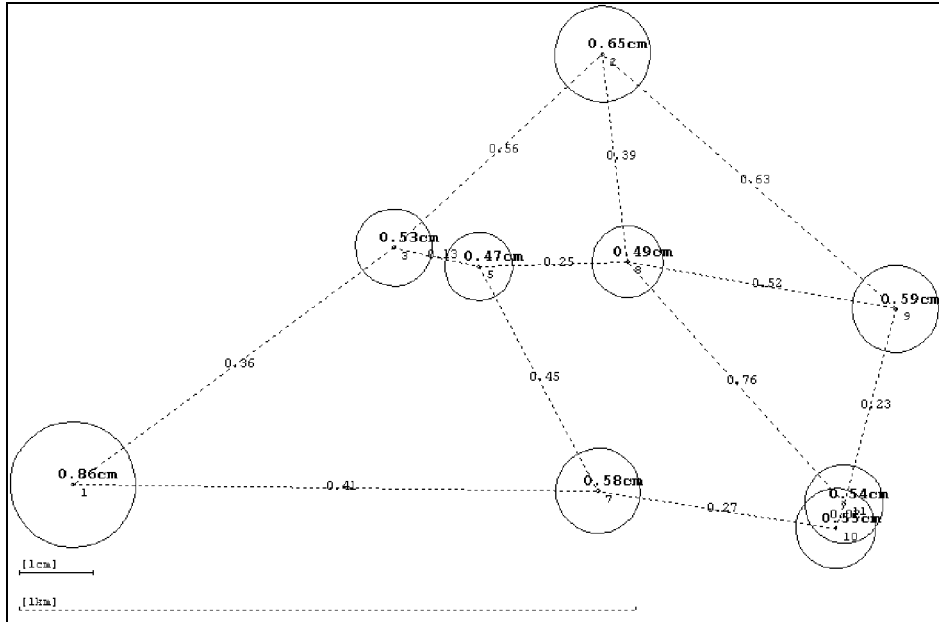
* ZKU GPS Ağı için; ağı geometrik yeri en zayıf olan noktasından çıkış alınarak her noktada dörder olmak üzere eşit sayıda gözlemlerin planlandığı alternatif bir ölçme planı tasarlanmıştır. Bu tasarıma göre ağırlıkların eşit alındığı varyans-kovaryans değerleri hesaplanmış ve hata elipsoidlerinin yarı eksenleri ağı dış kuşak noktalarında (1;0.86 cm) ile (9;0.48 cm) iç noktalarına (8;0.48cm) ile (5;0.47 cm) arasında elde edilmiştir (Şekil 5). Bu ağ için ulaşılan amaç fonksiyonunu en iyi karşılayan değerler ise; ağı dış kuşak noktaları için (1;0.86 cm) ile (11;0.54 cm), iç kuşak noktaları için (8;0.48 cm) ile arasında (5;0.47 cm) değişmiştir (Şekil 6).

* Öte yandan alternatif çözümle ulaşılan güvenirlilik dağılımı, (Şekil 4) ile ulaşılan güvenirlilik optimizasyonu sonuçlarıyla benzer bir dağılım göstermektedir ve ölçüler de eşit sayıda elde edilmiştir. Bu ölçme planında farklı olarak; (7-8) gözlemi yerine (11-8) gözlemi gelmiştir (Şekil 6).

* Sonuçlara bakıldığında maksimum ölçme planının optimizasyonu sonucunda elde edilen duyarlık dağılımı daha homojen olarak elde edilmiştir (Tablo 1).



Şekil 5: ZKU-GPS Ağı alternatif ölçme planı I ($\underline{P} = \underline{I}$).



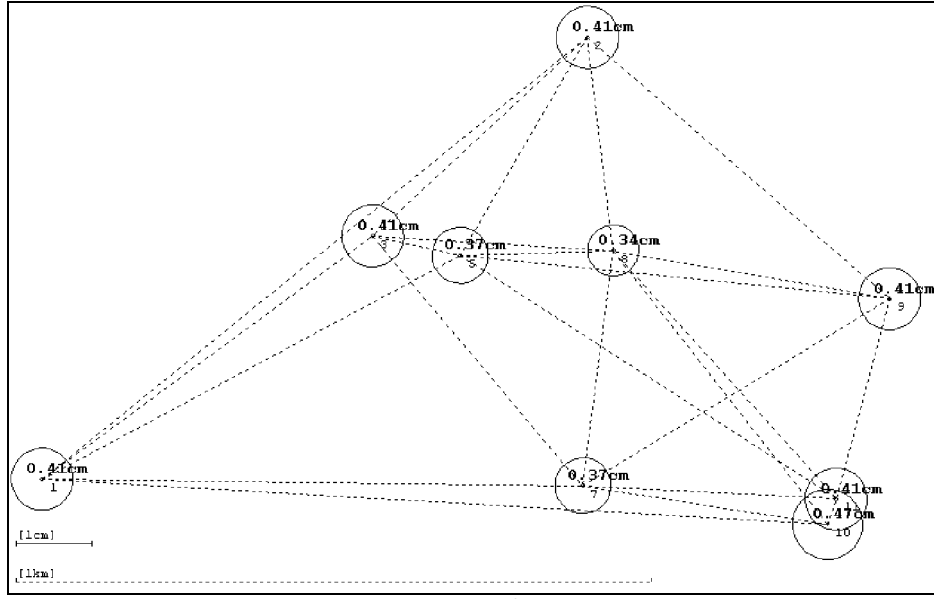
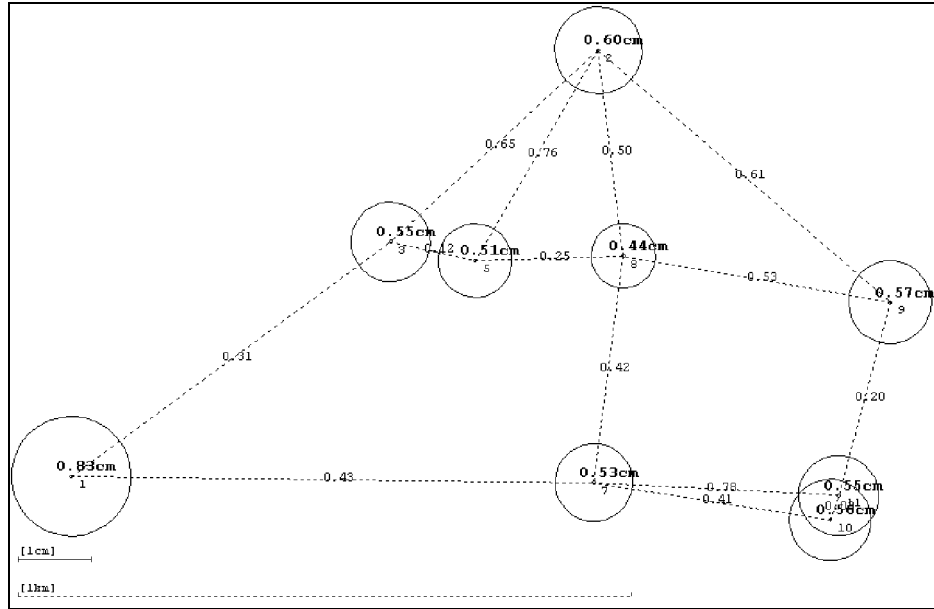
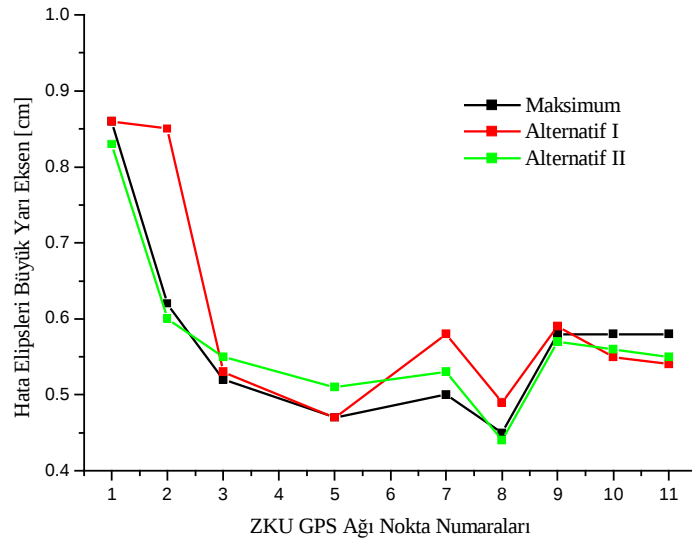
Şekil 6: ZKU-GPS Ağı alternatif ölçme planı I için duyarlık optimizasyon sonuçları ($\underline{P} = \underline{P}_{opt}$, $r_1 < 0.80$).

* ZKÜ GPS Ağı için; ağın geometrik yeri en zayıf olan noktasından çıkış alınarak her noktada olabildiğince eşit sayıda gözlemlerin planlandığı ikinci bir alternatif ölçme planı daha tasarlanmıştır. Bu tasarımda, en zayıf noktadaki hata elipsi yarı eksenleri, ağın datumundaki ölçüt matrisi sağladığı duyarlık ölçütlerini sağlamaktadır (Şekil 7). Bu yeni tasarım için güvenilirlik üzerinden gerçekleştirilen maliyet optimizasyonu işlemleri sonucunda; hata elipsoitlerinin yarı eksenleri; ağın dış kuşak noktaları için (1;0.83 cm) ile (7;0.53 cm), iç kuşak noktaları için (8;0.44 cm) ile (5;0.51 cm) arasında değişmiştir (Şekil 8).

* Bu yeni ağ seçeneğindeki duyarlık dağılım değerleri, diğer iki ağ seçeneğinde elde edilenlerin ortalaması civarında elde edilebilmiştir. Ancak her iki seçenek ağına bakıldığında; burada çok önemli bir duyarlık kazancı sağlanamadığı açıkça görülmektedir (Tablo 1).

* Önerilen ağ seçenekleri yerine kullanılabilecek anlamlı başka bir ağ seçeneği yoktur. Başka bir deyişle; önerilecek diğer seçenekler, bizi daha anlamlı ya da iyi koşullara sahip optimizasyon sonuçlarına götüremeyecektir (Şekil 8)

*Unutmamak gerekir ki; analitik olsun ya da olmasın, hiç bir optimizasyon işlemi eksiksiz ya da kusursuz bir çözümü garanti edemez (Konak, 1995). Optimizasyon sonuçları, kullanılan ölçme planı taslağına, ön görülen amaç fonksiyonları ile kısıtlayıcılara bağlı olarak değişmektedir. Sezgisel yaklaşımlara ya da simülasyon tekniklerine dayanan çözümler, bu anlamda yansız ve tutarlı çözümleri her zaman garanti altına alamazlar.

Şekil 7: ZKU-GPS Ağı alternatif ölçme planı II ($\underline{P} = \underline{I}$).Şekil 8: ZKU-GPS Ağı alternatif ölçme planı II için duyarlılık ve güvenilirlik optimizasyonu ($\underline{P} = \underline{P}_{opt}$, $r_i < 0.80$)

Şekil 9: ZKU GPS Ağında üç ayrı tasarım sonucunda elde edilen Hata Elipsi Yarı Eksenlerinin Dağılımı

*Sonuç olarak; maksimum ölçme planından yola çıkılarak gerçekleştirilen duyarlık ve güven optimizasyonu sonucunda ulaşılan ölçme planı ve duyarlıkları, en uygun gözlem pencerelerinin ve ölçme oturumlarının belirlenmesi aşamasında değişmez tasarım parametreleri olarak ele alınması uygun görülmüştür.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

*GPS ağlarının tasarımı aşamasında; amaç fonksiyonu olarak ağın tümünü temsil eden ve her noktasında eşit duyarlık isteklerini yeterince karşılayabilecek amaç fonksiyonları seçilmelidir. Optimizasyon stratejisi olarak; analitik çözümlerin kullanıldığı duyarlık ve güvenilirlik optimizasyonu temel alınmalıdır.

*GPS gözlemlerinin ağ düzeninden elde edilen duyarlık ve güvenilirlik ölçütlerine ilişkin optimizasyon sonuçları; daha sonra planlanması gereken Ölçme oturumlarının sayısı ve buna bağlı olarak ulaşılabilecek Varyans-Kovaryans dağılımları için öncül tasarım parametreleri olarak değerlendirilmelidir.

* Hiç bir optimizasyon süreci gerçek anlamda optimum çözümleri sağlayamaz. Başka bir deyişle optimizasyon çözümlerinin tümü, öngörülen amaç fonksiyonları ile kısıtlarına yeterince yanıt verebilme anlamında çözüm üretirler. Bu anlamda analitik çözümler yerine uzman görüşü ve deneyimi gerektiren sezgisel yaklaşımlara yada Simülasyon tekniklerine dayanan optimizasyon süreçleri, her zaman yansız, tutarlı ve daha güvenilir çözümler sergileyemezler.

* Bu çalışmamızda, En Küçük Kareler Çözümüne dayanan ve genel olarak üç önemli aşamadan oluşan optimizasyon stratejisinin uygulanması durumunda yansız, tutarlı ve daha güvenilir çözüm süreci garanti altına alınabilecektir.

KAYNAKLAR

Grafarend E., Heister H., Kelm R., Kropff H. ve Schaffrin, B., 1979. *Optimierung Geodatischer Messoperationen*, Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe

Konak H., 1995. *Yüzey Ağlarının Optimizasyonu*, Doktora Tezi, K.T.Ü., F.B.E., Trabzon.

Konak H., Kurt O. ve Öztürk E., 2004. *Günümüzde Mühendislik Ağlarının Tasarımı Üzerine Öneriler*, TUJK 2004 Bilimsel Toplantısı, Mühendislik Ölçmelerinde Jeodezik Ağlar Çalıştayı, 14-16 Ekim 2004, ZKÜ, Zonguldak.

Kurt O., 1996. *GPS Ölçülerini Değerlendirildiği Yermerkezli Üç Boyutlu Jeodezik ağlarda Duyarlık ve Güven Optimizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., F.B.E., Trabzon.

Kurt O., Konak H. ve Dilaver A., 1999. *GPS Ağlarında Duyarlık ve Güven Optimizasyonu*, 7. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı1 - 5 Mart 1999, Bildiriler I, 135 – 152, Ankara.

Öztürk E., 1992. *Dengeleme Hesabı Cilt III*, KTÜ Yayınları, 144/40, Trabzon.

Wu J. Tang, C. and Chen Y., O., 2004. *First-order Optimization for GPS Crustal Deformation Monitoring*, Department of Land Surveying and Geo-Informatics, Hong Kong.