

Yarasa Algoritması ile Robust Kestirimin Nivelman Ağlarına Uygulanması

Mevlüt YETKİN^{1*}, Ömer BİLGİNER²

¹İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İzmir
(mevlut.yetkin@ikc.edu.tr) ORCID ID 0000 – 0003 – 3438 – 1801

²İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İzmir
(omer.bilginer@ikc.edu.tr) ORCID ID 0000 – 0002 – 1649 – 5584

Öz

Günümüzde, Yarasa Algoritması (YA) gibi modern metasezgisel algoritmalar karmaşık ve çözümü zaman alıcı zor optimizasyon problemlerinin çözümünde başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Jeodezi'de robust parametre kestirim yöntemlerinin jeodezik ağlara uygulanması önemli bir optimizasyon problemidir. Bu çalışmada, robust En Küçük Medyan Kareler (EKMK) yöntemi bir nivelman ağına global bir doğal optimizasyon algoritması olan YA kullanılarak uygulanmış ve kaba hatalı gözlem vektörü olması durumunda önerilen yaklaşımın klasik En Küçük Kareler (EKK) yönteminden daha iyi sonuç verdiği sayısal bir örnek ile gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Jeodezik ağ, global optimizasyon, yarasa algoritması, robust kestirim.

Application Of Robust Parameter Estimation To Leveling Networks Using The Bat Algorithm

Abstract

Recently, modern metaheuristic algorithms such as the Bat Algorithm (BA) are successfully used to solve complex and time consuming tough optimization problems. In geodesy, the application of robust estimation methods to geodetic networks is an important optimization problem. In this study, the Least Median Squares (LMS) method that is a robust method is applied to a leveling network using a global nature-inspired algorithm called the BA. Numerical example shows that the proposed approach might produce better results than the classical the Least Squares (LS) method when the observation vector is burdened with blunders.

Keywords: Geodetic network, global optimization, bat algorithm, robust estimation

* Sorumlu Yazar

1. GİRİŞ

Konum belirleme ve deformasyon izleme (yer kabuğu hareketleri, krip hareketleri ve yer çökmesi gibi) amacıyla oluşturulan jeodezik ağlar klasik olarak boyutlarına göre 1, 2 ve 3 boyutlu jeodezik ağlar olarak sınıflandırılabilir. 1 boyutlu ağlar yükseklik ağları (geometrik, trigonometrik ve hassas nivelman ölçme teknikleri kullanılabilir) 2 boyutlu ağlar ise yatay kontrol ağları olarak isimlendirilmektedir. 2 boyutlu ağlar geleneksel olarak açı ve mesafe ölçmeleri kullanılarak oluşturulabildiği gibi GPS ölçme tekniği de kullanılabilir. Hem yatay hem de düşey konumlanmanın birlikte yapıldığı 3 boyutlu ağlar ise geleneksel olarak eğik uzunluk, yatay doğrultu ve düşey açı gözlemleriyle oluşturulabilir. Öte yandan son zamanlarda GPS ölçmeleri 3 boyutlu konum belirlemelerinde en çok tercih edilen yöntem olmuştur. Düşey konumlanma amacıyla oluşturulan yükseklik ağları düşey yönlü deformasyon hareketlerinin izlenmesi için çok önemli araçlar olmuşlardır.

Herhangi bir jeodezik ağın kurulması tasarım, gözlem ve analiz olmak üzere başlıca üç aşamada gerçekleştirilebilir. Tasarım aşamasında ağdan beklenen kalite kriterlerine göre en uygun ağın planlaması yapılır. Gözlem aşamasında ise gerekli olan jeodezik ölçmeler yersel ve/veya uydu ölçmeleri ile yapılır. Analiz aşamasında ise toplanan veriler çeşitli yöntemler ile işlenerek kullanıcılara sunulur. Bu aşamanın en önemli ürünü noktaların koordinatları ve/veya yükseklikleridir (Kuang, 1996).

Nokta koordinatlarının ve yüksekliklerinin hesaplanması için jeodezide en yaygın kullanılan parametre kestirim yöntemi EKK yöntemidir. Minimum varyans ve maksimum olasılık gibi olumlu özelliklere sahip olan EKK yöntemi ile doğru bir parametre kestirimi yapabilmek için gözlem vektörünün kaba ve sistematik hatalardan arındırılması ve sadece kaçınılmaz olan rasgele hataların gözlemleri etkilemesi gerekmektedir (Kuang, 1996). EKK yönteminin önemli bir dezavantajı maskeleme ve batma etkisi yüzünden herhangi bir gözlemede yapılan kaba hatanın ilgili gözlemden çok diğer gözlemlerin düzeltme

değerlerini etkilemesidir. Bu nedenle EKK yöntemi ile sonunda uygulanan klasik uyuşumsuz ölçü belirleme yöntemleri başarısız olabilmektedir. Maskeleme kaba hatalı bir gözlemin diğer gözlemlerden daha küçük düzeltme değeri alması batma ise tam tersine iyi bir gözlemin kaba hatalıymış gibi büyük bir düzeltme değeri almasıdır (Hekimoğlu, 2005). Uyuşumsuz ölçülerin başarılı şekilde saptanabilmesi için ilgili ölçüdeki kaba hatanın düzeltilmesine büyük oranda yansımaları gerekmektedir. Bununla birlikte, ağın geometrik tasarımı ve kullanılan stokastik modelin etkisiyle oluşan redundans matrisi köşegen bir matris olmadığı için bir gözlemede yapılan hata diğer gözlemleri de redundans matrisine bağlı olarak etkilemektedir. Bilindiği gibi redundans matrisi bir jeodezik ağda gözlemler ile düzeltmeler arasında ki ilişkiyi tanımlamaktadır (Kuang, 1996).

Öte yandan, çeşitli robust parametre kestirim yöntemleri kullanılarak kaba hataların bilinmeyenler üzerinde ki bozucu etkisi büyük oranda yerleştirilmekte ve daha güvenilir sonuçlar elde edilebilmektedir (Rousseuw ve Leroy, 1987). Bununla birlikte, bu çalışmada ele aldığımız EKMK yöntemi gibi robust parametre kestirim yöntemlerinin gerçekleştirilebilmesi için güçlü optimizasyon algoritmalarının kullanılması gerekmektedir (Baselga, 2007; Baselga ve Garcia-Asenjo 2008; Yetkin ve Berber, 2013; Yetkin ve Berber, 2014; Yetkin 2018).

Optimizasyon verilen bir amaç fonksiyonunun minimum veya maksimum yapılması suretiyle optimal değişken değerlerinin (bu çalışmada nivelman ağları kullanıldığı için değişken değerler nokta yükseklikleridir) bulunması işlemidir. Aşağıda (1) ve (2) numaralı eşitliklerde sırasıyla EKKY ve EKMKY'nin amaç fonksiyonları verilmiştir:

$$v^T P v \rightarrow \min \quad (1)$$

$$\text{medyan}(Pv^2) \rightarrow \min \quad (2)$$

burada v düzeltmeler vektörü P ise ağırlık matrisidir. Her iki parametre kestirim yöntemi de aşağıda verilen Gauss-Markov modeline dayalı olarak yapılmaktadır:

Fonksiyonel model

$$l + v = Ax \quad (3)$$

Stokastik model

$$P = \sigma_0^2 C_{ii}^{-1} \quad (4)$$

burada l gözlem vektörü, A tasarım matrisi, P ağırlık matrisi, σ_0^2 varyans faktörü, C_i ise gözlemlerin varyans-kovaryans matrisidir (Kuang, 1996).

Optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan optimizasyon algoritmaları lokal ve global optimizasyon algoritmaları olmak üzere ikiye ayrılabilir. Lokal optimizasyon teknikleri başlangıç noktasının global optimal çözüme yeterince yakın olmaması durumunda global optimal çözüm üretmeyi garanti edemez. Bu nedenle global optimizasyon tekniklerinin kullanılması gerekir (Xu, 2003). Başta Huber ve Andrews gibi M-Kestirim yöntemleri olmak üzere robust yöntemlerin gerçekleştirilmesi için kullanılan klasik yöntem Yinelemeli Yeniden Ağırlıklandırılmalı En Küçük Kareler (YYAEKK) yöntemidir. Kolay bir şekilde hesaplama yapılabilmesine rağmen bu yöntem eğer gerçek çözüm kaba hatalardan etkilenmiş başlangıç çözümünden uzak ise global optimum çözüm yerine lokal bir optimum çözüme yakınsayabilmektedir. Bu nedenle, global optimizasyon yöntemlerinin kullanılması önerilmiştir (Baselga, 2007).

Bu çalışmada, bir nivelman ağında robust EKMK yöntemi global bir optimizasyon algoritması olan YA ile gerçekleştirilmiş ve sonuçlar klasik EKK yöntemi ile karşılaştırılmıştır.

2. YARASA ALGORİTMASI

Global optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılabilecek YA, Xin-She Yang tarafından 2010 yılında bilim dünyasına sunulmuş bir algoritmadır. YA sesle konum belirleme (echolocation) esasına dayanır. Doğal hayatta çeşitli yarasa türleri avlarını tespit etme, engellerden kaçınma ve karanlıkta tüneme amacıyla kullandıkları yarıkları bulmak için bir çeşit sonar olan sesle konum

belirleme yöntemini kullanmaktadır. YA bu doğal sürecin çeşitli optimizasyon problemlerini çözmek amacıyla taklit edildiği bir doğal metasezgisel optimizasyon algoritmasıdır (Yang, 2010).

YA'nda aday çözümler sanal yarasa olarak isimlendirilir. Her bir yarasanın d boyutlu bir araştırma uzayında güncellenen bir konumu (x_i) ve hızı (v_i) vardır. Temel amaç araştırma uzayında yeni çözümler üretmek ve iteratif (yinelemeli) olarak global optimum çözüme ulaşmaktır. Bütün metasezgisel algoritmalarda olduğu gibi YA'nda da global arama ile bütün araştırma uzayı araştırılarak en uygun çözüm bölgeleri elde edilirken lokal arama aşamasında ise ümit veren bölgelerde daha iyi çözümler üretilmeye çalışılmaktadır

Yarasa algoritması aşağıdaki formüller ile uygulanabilmektedir:

$$f_i = f_{min} + (f_{max} - f_{min})\beta \quad (5)$$

$$v_i^t = v_i^{t-1} + (x_i^t - x_g)f_i \quad (6)$$

$$x_i^t = x_i^{t-1} + v_i^t \quad (7)$$

burada β 0 ile 1 aralığında uniform dağılıma sahip sayılardan oluşan bir vektör x_g ise güncel global optimum çözüm vektörüdür. $t=1,2,\dots,T$ yineleme adıdır. $i=1,2,\dots,p$ popülasyondaki yarasa sayısıdır. λ dalga boyu ve f frekans olmak üzere λ/f_i i . yarasanın hız artışı olsun (6 numaralı eşitliğin sağ tarafında yer alan $(x_i^t - x_g)f_i$ ifade). f_i veya λ_i den birisi diğeri sabit tutularak dengeli bir hız değişimi sağlamak için kullanılabilir. Yang (2010)'da bunun için $f_{min}=0$ ve $f_{max}=d$ -araştırma uzayının boyutu- olarak seçilmiştir. Başlangıçta her bir yarasaya $[f_{min}, f_{max}]$ aralığında bir frekans ataması yapılmaktadır.

Lokal arama aşamasında ise güncel en iyi çözümler arasından bir çözüm seçilir ve rastgele yürüme (random walk) yöntemi ile her bir yarasa için yeni bir çözüm

$$x_{yeni} = x_{eski} + \epsilon A^t \quad (8)$$

formülü ile elde edilir. ϵ , -1 ile 1 aralığında rasgele bir sayıdır. A^t ilgili iterasyon adımıdır

tüm yarasaların ortalama ses şiddetidir. A sabit alınabildiği gibi yinelemeli süreçte azalan bir şekilde de kullanılabilir. Yang, 2010'da sabit bir değer olarak $A=0.25$ alınmasını önermiştir.

Sinyal emisyon hızı r_i güncel global optimum çözüm civarında yeni bir çözümün üretilip üretilmemesi konusu üzerinde karar verme aşamasında kullanılır. Eğer rastgele seçilen uniform dağılımlı bir sayı (0-1 aralığında) sinyal emisyon hızından büyük ise yeni bir çözüm üretilir. Öte yandan üretilen yeni çözümler ile bir iyileşme sağlanırsa ve rastgele seçilen uniform dağılımlı bir sayı (0-1 aralığında) ses şiddetinden küçük ise yeni üretilen çözümler kabul edilir. Her iterasyon adımında global optimum çözüm güncellenmelidir (Yang, 2010).

İterasyon adımları ilerledikçe ses şiddeti A_i ve sinyal emisyon hızı r_i sabit bir değer olarak alınmamış ise

$$A_i^{t+1} = \alpha A_i^t \quad (9)$$

formülü kullanılarak güncellenebilir. Benzer bir şekilde, sinyal emisyon hızı

$$r_i^{t+1} = r_i^0 [1 - \exp(-\gamma t)] \quad (10)$$

formülü kullanılarak güncellenebilir. Genellikle $\alpha = \gamma = 0.9$ olarak seçilmektedir. Başlangıçta, yarasaların ses şiddetleri 1,2 aralığında, sinyal emisyon hızları ise 0,1 aralığında seçilebilir. Ses şiddeti ve sinyal emisyon hızı sadece yeni üretilen çözümler ile iyileşme sağlanırsa güncellenmelidir. Daha iyi çözümler üretilmesi yarasaların optimal çözüme doğru hareket ettikleri anlamına gelir (Yang, 2010).

3. YARASA ALGORİTMASININ UYGULAMA ADIMLARI

Chawla ve Duhan (2015) YA'nın program kodunu vermiştir. Buna göre algoritma herhangi bir optimizasyon problemine uygulanabilir. Aşağıda maddeler halinde uygulama adımları ve çalışmamızda ele aldığımız problemle ilgili önemli hususlar belirtilmiştir.

1. Amaç fonksiyonu $f(x)$, $x = (x_1, \dots, x_d)$ belirlenir. d ağdaki nokta sayısıdır. x değerleri çalışmamızda nivelman ağı kullanıldığı için nokta yükseklikleri olmaktadır. Ağdaki nokta sayısı $d = 4$ ise 1 boyutlu bir yükseklik ağı probleminde x vektörünün boyutları 4×1 olacaktır. Benzer şekilde 3 boyutlu bir ağda uygulama yapılacak ve nokta sayısı 4 ise bu durumda x vektörünün boyutları 12×1 olacaktır.
2. Araştırma uzayı tanımlanır.
3. Başlangıç popülasyonu bir rastgele sayı üretici kullanılarak oluşturulur. Başlangıç popülasyonu n adet aday çözümden oluşuyorsa n adet x vektörü elde edilmelidir.
4. Aday çözümlerin hız vektörleri birer sıfır vektörü olarak atanır.
5. Parametre seçimi yapılır (f , r ve A).
6. İteratif döngü başlatılır.
7. (5), (6) ve (7) numaralı eşitlikler kullanılarak frekans dengelemesi ve hız/konum(çözüm) güncellemesi yapılır.
8. En iyi çözümler arasından rastgele bir çözüm seçilir ve seçilen bu çözüm etrafında lokal bir çözüm üretilir.
9. Araştırma uzayının farklı bölgelerini taramak için rastgele yeni bir çözüm üretilir.
10. Eğer daha iyi bir çözüm üretilmişse ve A_i rastgele seçilen 0-1 aralığındaki bir sayıdan büyük ise yeni çözüm kabul edilir. A_i (9) numaralı eşitlik ile r_i de (10) numaralı eşitlikle güncellenir.
11. Aday çözümler amaç fonksiyonu değerlerine göre sıralanır ve en iyi çözüm belirlenir. Problemimiz bir minimizasyon problemi olduğu için bir çözümün amaç fonksiyonu değeri ne kadar küçük ise o çözüm o kadar iyi olarak kabul edilir.
12. 7. İşlem adımına dönülerek yukarıda bahsedilen işlemler tekrarlanır.
13. Bütün aday çözümler optimum çözüme yakınsadığında algoritma durdurulur.

Araştırma uzayının belirlenmesi algoritmanın problem çözümünde başarılı olabilmesi için

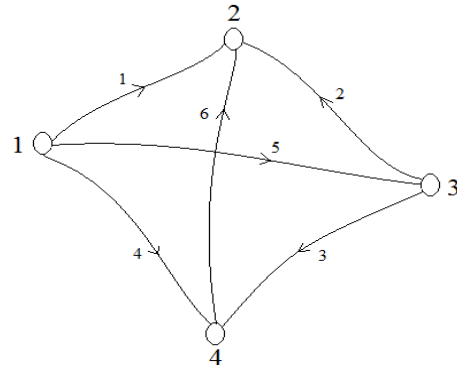
çok önemlidir. Eğer çok küçük bir araştırma uzayı

belirlenir ise algoritma lokal bir optimum çözüme yakınsayabilir. Öte yandan, aşırı bir şekilde büyük bir araştırma uzayı belirlenirse bu kez de yakınsamanın sağlanabilmesi için çok fazla sayıda iterasyona ihtiyaç duyulabilmektedir. Baselga (2007) EKK çözümünü araştırma uzayının merkezi kabul edip bu çözüm vektörünün her bir elemanına pozitif ve negatif işaretli bir artış uygulayarak araştırma uzayının sınırlarının belirlenmesini önermiştir. Buna göre örneğin bir noktanın yüksekliği EKK çözümü ile 101 m olarak belirlenmişse ± 5 m artış veya azalış uygulayarak söz konusu nokta için sınır değerler 96 m – 106 m olarak belirlenecek ve algoritma bu aralıkta optimum değeri bulmaya çalışacaktır.

4. SAYISAL UYGULAMA

Bu çalışmada 4 nokta ve 6 yükseklik farkından oluşan bir geometrik nivelman ağı simüle edilmiştir (Şekil 1). İlk olarak 1 numaralı noktanın yüksekliği sabit alınarak (minimum zorlamalı) EKK yöntemi ile dengelenmiştir. Bu dengeleme sonucu bulunan nokta yükseklikleri Tablo 1'in 2. sütununda gösterilmiştir. Uyuşumsuz ölçülerin EKK yöntemi ile elde edilen dengeleme sonuçlarına olan etkisini görmek için 1 numaralı yükseklik farkına +1 m'lik bir kaba hata kasıtlı olarak eklenmiştir. Kirletilmiş gözlem vektörü kullanılarak yapılan EKK yöntemi ile dengeleme sonuçları ise Tablo 1'in 3. sütununda gösterilmiştir. Söz konusu kaba hatanın dengeleme sonuçları üzerindeki bozucu etkisini azaltmak için bu kez ağ EKMK ile dengelenmiş ve dengelemede çözüm algoritması olarak YA kullanılmıştır. Problemin çözümünde x vektörü 3 boyutlu bir vektör olup nokta yüksekliklerini içermektedir. Dolayısıyla araştırma uzayı $d=3$ boyutludur. YA için seçilen parametreler $f_{min}=0$, $f_{max}=3$, iterasyon sayısı $T=1000$ ve popülasyon sayısı ise $p=30$ olarak seçilmiştir. EKMK-YA yöntemi ile elde edilen nokta yükseklikleri ise Tablo 1'in 4. sütununda gösterilmiştir. Kaba hata olmadığı zaman bilindiği gibi EKK yöntemi en iyi çözümü vermektedir. Bu

dengeleme ile elde edilen yükseklikleri hatasız yükseklikler olarak kabul edelim ve diğer iki dengeleme ile bulduğumuz yükseklikleri bunlarla kıyaslayalım. Tablo 1'in son satırında görüldüğü gibi EKMK-YA yöntemi kaba hatalı gözlem vektörü kullanılsa bile kaba hatasız EKK yöntemi dengelemesi ile elde ettiğimiz yüksekliklere oldukça yakın sonuçlar üretmektedir. Bu durum YA'nın bu çalışmada ele alınan jeodezik optimizasyon problemin çözümünde ne kadar etkili olduğunu göstermektedir.



Şekil 1. Nivelman ağı

Tablo 1. Nokta yükseklikleri (m)

Nokta No	EKKY (kaba hata yok)	EKKY (kaba hatalı)	EKMKY-YA (kaba hatalı)
2	101.9977	102.9450	102.0000
3	100.9989	101.6528	100.9990
4	101.4985	102.0265	101.5105
$\sum (m^2)$	0	1.6037	0.0001

Tablo 1'in son satırı farklı dengelemeler sonucunda bulunan yüksekliklerin EKKY (kaba hata yok) ile elde edilen yüksekliklerden olan farklarının karelerinin toplamıdır.

Klasik EKK yöntemi ve önerilen EKMK-YA ile yapılan parametre kestirimleri sonucunda elde edilen düzeltme değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'nin 3. ve 4. sütunlarında görüldüğü gibi gözlem vektörünün kaba hatalardan etkilenmesi durumunda düzeltme değerleri beklenildiği gibi kaba hatasız duruma göre daha büyük değerler almaktadır. Diğer bir deyişle +1 m'lik kaba düzeltmelerin daha büyük değerler almasına neden olmaktadır. 3. sütun incelendiği zaman EKK yönteminin kaba

hatayı yaydığı görülmektedir. Örneğin, maskeleme etkisi yüzünden en küçük düzeltmeyi 1 numaralı kaba hatalı gözlem almıştır. Benzer şekilde, batma etkisi yüzünden 3. sütunda da görüldüğü gibi en büyük düzeltmeyi aslında kaba hatasız bir gözlem olan 6 numaralı gözlem almıştır. Öte yandan EKMK yöntemi-YA yaklaşımı ile yapılan dengeleme hesabı ile bulunan düzeltme değerlerine bakıldığı zaman + 1 m'lik kaba hata değerinin büyük bir oranda ilgili gözlemin düzeltme değerine yansıdığı görülmektedir. 4. sütunda görüldüğü gibi 1 numaralı düzeltmenin değeri -0.997 m olarak elde edilmiştir. Bu durum robust bir yöntem olan en küçük medyan kareler yönteminin uyumsuz ölçü belirlemedeki başarısını göstermektedir.

Tablo 2. Düzeltmeler (m)

Gözlem No	EKK (Kaba hatasız)	EKK (Kaba hatalı)	EKMK-YA (Kaba hatalı)
1	0.0007	-0.0520	-0.9970
2	-0.0062	0.2872	-0.0040
3	0.0036	-0.1223	0.0155
4	-0.0085	0.5195	0.0035
5	0.0072	0.4264	-0.0025
6	-0.0041	0.6498	-0.0040

Önerilen yaklaşımın küçük genlikli kaba hataların belirlenmesindeki etkinliğini ortaya koymak için bu kez 2. ölçüye +10 cm'lik bir kaba hata ve 5. ölçüye de +15 cm'lik bir kaba hata simüle edilerek eklenmiştir. EKK yöntemi ile elde edilen nokta yükseklikleri Tablo 3'ün 2. sütununda gösterilmiştir. İlgili tablonun son sütununda ise önerilen EKMK-YA yöntemi ile elde edilen nokta yükseklikleri gösterilmiştir. EKK yöntemi ile kaba hatanın olmadığı ölçü kümesi kullanılarak dengeleme yapıldığı zaman elde edilen nokta yükseklikleri hatasız kabul edilerek bu dengeleme sonuçları ile diğer iki parametre kestirimi sonucu bulunan nokta yükseklikleri arasındaki farkların karelerinin toplamı Tablo 3'ün son satırında verilmiştir. İlk örnekte olduğu gibi burada da önerilen yaklaşım birinci duruma göre (kaba hatasız ölçüler ile EKK yöntemi ile dengeleme) daha yakın sonuç vermektedir.

Tablo 3. Nokta yükseklikleri (m)

Nokta No	EKKY (kaba hata yok)	EKKY (kaba hatalı)	EKMKY-YA (kaba hatalı)
2	101.9977	102.0019	101.9944
3	100.9989	100.9402	101.0057
4	101.4985	101.4580	101.5043
$\sum (m^2)$	0	0.0051	0.0001

Tablo 4 üç farklı parametre kestirimi sonucu bulunan düzeltme değerlerini göstermektedir. Önerilen yaklaşım sonucu bulunan düzeltme değerleri (2. sütun) incelenecek olursa +10 cm'lik kaba hata 2. ölçünün düzeltilmesine -0.12 cm olarak ve +15 cm'lik kaba hata da -0.15 cm olarak 5. ölçünün düzeltilmesine yansımıştır. Öte yandan 3. sütunda da görüldüğü gibi EKK yöntemi ile yapılan dengeleme sonucunda kaba hatasız 4. ve 6. ölçüler batma etkisi nedeniyle kaba hatalı 2. ve/veya 5. ölçüden daha büyük düzeltmeler almışlardır.

Tablo 4. Düzeltmeler (m)

Gözlem No	EKK (Kaba hatasız)	EKK (Kaba hatalı)	EKMK-YA (Kaba hatalı)
1	0.0007	0.0049	-0.0026
2	-0.0062	-0.0433	-0.1162
3	0.0036	0.0218	0.0027
4	-0.0085	-0.0490	-0.0027
5	0.0072	0.0519	-0.1519
6	-0.0041	-0.0628	0.0027

5. SONUÇLAR

EKK yöntemi gözlemleri sadece normal dağılımlı rasgele hataların etkilemesi durumunda maksimum olasılık kestirimi, dengelemede kullanılan ağırlık matrisi gözlemlerin varyans-kovaryans matrisinin tersi olarak alınması durumunda da minimum varyans kestirimi olmaktadır. Ayrıca, EKK yönteminin uygulanabilmesi için gözlemlerin dağılımı ile ilgili önsel bir bilgiye ihtiyaç duyulmamaktadır. Bununla birlikte, gözlemlerde kaba hata yapılması durumunda EKK yöntemi ile elde edilen sonuçlar olumsuz

yönde etkilenebilmektedir. Bu nedenle robust yöntemler EKK yönteminin tamamlayıcısı olarak kullanılmaktadır.

Jeodezik ağlarda belirlenemeyen kaba hatalar klasik EKK yöntemi sonuçlarını önemli oranda etkilemektedir. Bu yüzden elde edilen hatalı koordinatlar veya yükseklikler ile deformasyon analizi yapılması durumunda oldukça yanlış kararlar verilebilmektedir. Robust bir parametre kestirim yöntemi olan EKMK yöntemi jeodezik ağlara kaba hatalı gözlemler durumunda daha doğru sonuçlar elde etmek için YA kullanılarak başarılı bir şekilde uygulanabilir. Bu çalışmada önerilen robust EKMK-YA yaklaşımı gerek parametre kestirimi gerekse kaba hata belirleme açısından klasik EKK yöntemine daha başarılı sonuçlar verdiği sayısal uygulama ile gösterilmiştir. Öte yandan, YA'nda parametre seçimi elde edilecek sonuçların kalitesini büyük oranda etkilemektedir. Bununla birlikte bu çalışma kapsamında bu konu ayrıntılı bir şekilde ele alınmamıştır. Bu konu başka çalışmalarda ele alınabilir.

KAYNAKÇA

- Baselga,S. (2007). Global optimization solution of robust estimation. *Journal of Surveying Engineering* **133:3**, 123-128.
- Baselga, S. ve Garcia-Asenjo, L. (2008). Global robust estimation and its application to GPS positioning. *Computers and Mathematics with Applications* **56:3**, 709-714.
- Chawla, M. ve Duhan, M. (2015). Bat algorithm:A survey of the state of the art.Applied Artificial Intelligence **29**:617-634.
- Hekimoğlu, Ş. (2005). Do robust methods identify outliers more reliably than conventional tests for outliers?. *Zfv-Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement* **130:3**, 174-180.
- Kuang, S.L. (1996). Geodetic Network Analysis and Optimal Design: Concepts and Applications, Ann Arbor Press Inc., Chelsea, MI..
- Rousseeuw,P.J. ve Leroy, A.M. (1987). Robust Regression and Outlier Detection, Wiley, NY.
- Xu, P. (2003). A hybrid global optimization method:The multi-dimensional case. *Journal of Computational and Applied Mathematics* **155**:423-446

- Yang, X.S. (2010). Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms Second Edition, Luniver Press, University of Cambridge, U.K.
- Yetkin, M. ve Berber, M. (2013). Application of the sign-constrained robust least squares method to surveying networks. *Journal of Surveying Engineering* **139:1**, 59-65.
- Yetkin, M. ve Berber, M. (2014). Implementation of robust estimation in GPS networks using the artificial bee colony algorithm. *Earth Science Informatics* **7:1**, 39-46.
- Yetkin, M. (2018). Application of robust estimation in geodesy using the harmony search algorithm. *Journal of Spatial Science* **63:1**, 63-73.