

PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU İLE GÜRÜLTÜLÜ RAMPA SİNYALLERE SABİT PARÇALI SİNYALLERİN OTURTULMASI

PIECEWISE CONSTANT LINE FITTING ON NOISY RAMPED SIGNALS BY PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

Berk Özer¹, Ayhan Altıntaş^{1,2}, Gökhan Moral², Orhan Arıkan¹

¹Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Bilkent Üniversitesi

o_berk@ug.bilkent.edu.tr , altintas@ee.bilkent.edu.tr, oarikan@ee.bilkent.edu.tr

²İletişim ve Spektrum Yönetimi Araştırma Merkezi (ISYAM)
Bilkent Üniversitesi
gm@bilkent.edu.tr

ÖZETÇE

Bu çalışmada gürültülü rampa sinyallerindeki değişim noktalarının belirlenmesi için standart Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) yöntemi kullanılmıştır. Tespit edilen değişim noktaları arası hareketli ortalamalar alınarak gürültü temizlenmiş ve sabit parçalı sinyaller elde edilmiştir. Çalışmadaki en önemli başarı kriteri, kullanılan sinyal üzerindeki değişim noktalarının gerçek pozisyonlarından çok az sapma ile tespit edilmesi olarak kabul edilmiştir. Bu kriterde standart PSO ile yüksek başarı sağlanamadığından “Türdeş Dağıtılmış Konum Vektörlü PSO” ve “Kademeli PSO” olmak üzere iki yeni yol önerilmiştir. Çalışma boyunca elektrik santrallerinin anlık çıkış gücünü gösteren gerçek sinyaller kullanılmıştır.

ABSTRACT

In this study, Particle Swarm Optimization(PSO) is proposed for change point (edge) detection on noisy ramped signals. By taking moving averages between detected edges, noise on ramped signals is filtered and desired piecewise constant signals are acquired. It is required to detect edges in the immediate vicinity of actual edges. Performance of PSO is measured by the difference between estimated and actual position of edges. It is not possible to satisfy such a condition by standard PSO. Hence, in this work, two modifications to standard PSO are proposed: “PSO with uniformly distributed position vectors” and “Cascading PSO”. Throughout this work, all implementations are done on real signals which indicate generated powers by plants.

1. GİRİŞ

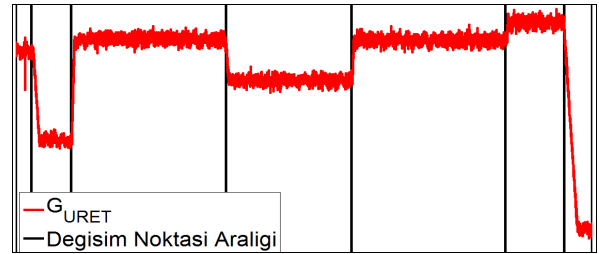
Elektrik santrallerinin güç üretimini gözlemlemek ve değerlendirmek amacıyla ölçülen gürültülü üretim gücü (G_{URET}) üzerinden santralin denge konumunda üretmesi gereken gücü gösteren referans değerinin (G_{REF}) hesaplanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. [1]

Güç üretimi (G_{URET}), ilgili modellerde [2] verilen gerekli ön işlemlerden geçtikten sonra sonlu rampa fonksiyonlarının toplamı olarak elde edilmektedir. Bu durumun sebebi, üretilen gücün denge konumunda sabit kalması, gelen bir emir karşısında ise doğrusal olarak artması yada azalmasıdır. Santraller gelen bir emri anlık olarak gerçekleştirememekte ve istenilen düzeye doğrusal bir şekilde yaklaşmaktadırlar. Arzu

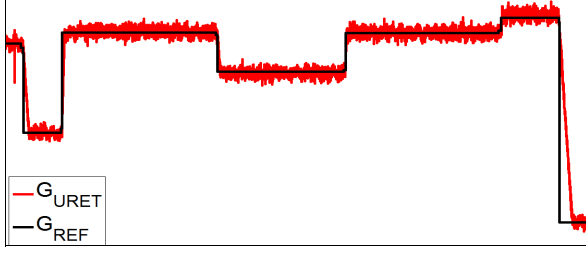
edilen üretim düzeyi sağlandıktan sonra tekrar denge konumuna geçilmektedir. Ancak bu değer ölçümü sırasında gürültü de ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden G_{URET} değeri sonlu rampa fonksiyonların ve gürültünün toplamı olarak ifade edilmektedir. Bu değer bütün bir gün boyunca saniyelik ölçülmekte ve 86400 ayrı örnekten oluşmaktadır.

G_{URET} üzerinden hesaplanması gereken güç referansı (G_{REF}) değeri ise hiç bir gürültü olmadığında ve santralin istenilen üretim düzeyine anlık olarak çıkabildiği kabul edildiğinde beklenen güç üretimi değeridir. Bu durumda, G_{REF} sabit parçalı bir fonksiyon olarak elde edilmelidir. G_{REF} 'in sabit olduğu noktalar denge konumundaki gürültüden arındırılmış G_{URET} değerini, zıplamalar ise santralin alınan emri uygulamaya başladığı noktaları yansıtmaktadır.

G_{REF} 'in hesaplanması için G_{URET} üzerindeki gürültünün temizlenmesi ve doğrusal değişimlerin başlangıç noktalarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu işlemler ile santrale gelen emir noktaları tespit edilmektedir. Daha sonra bütün bir sinyal (G_{URET}) boyunca ardışık emir noktalarının arasında kalan ortalamalar alınmaktadır. Bu ortalamaların birleştirilmesiyle G_{REF} değerine ulaşılmaktadır. Şekil 1'de örnek G_{URET} sinyali ve Canny Ayrıt Saptama [3] yöntemi ile tespit edilen değişim noktaları verilmiştir. Şekil 2 ise G_{URET} sinyali ile belirlenen değişim noktaları üzerinden hesaplanan G_{REF} sinyalini göstermektedir. Tüm çalışmada olduğu gibi Şekil 1 ve 2 'de de yatay eksen örnekleme zamanını, dikey eksen ise güç üretimi göstermektedir.



Şekil 1: Örnek G_{URET} ve değişim noktaları



Şekil 2: Örnek G_{URET} ve G_{REF} sinyali.

$G_{URET}[n]$, n örnekleme zamanı indeksini göstermektedir, üzerinden $G_{REF}[n]$ 'in elde edilmesindeki en büyük başarı kriteri G_{URET} 'teki doğrusal değişim noktalarının çok küçük sapmalar ile tespit edilmesidir. Örneğin $n=150$ 'de olan bir değişim noktasın $n=240$ 'de tespit edilmesi istenilen yeterliliği karşılamamaktadır. Tolere edilebilir en fazla sapma miktarının 40-60 nokta civarında olması kabul edilmiştir. 86400 noktadan oluşan sinyalin tamamı göz önüne alındığında bu sapma payının tutturulması güç hale gelmektedir. İkinci önemli kriter ise G_{URET} 'in sabit olduğu noktalarda gürültüden dolayı tespit edilen ancak aslında var olmayan değişim noktalarıdır. Bu noktaların sayısının mümkün olduğunca düşürülmesi istenmektedir. Bir başka başarı kriteri ise hesaplama süresidir. Bu sürenin bir dakikadan fazla olmaması tercih edilmektedir.

Bu çalışmada gerçek G_{URET} sinyalleri üzerinde çalışılmış, doğrusal değişim noktalarını tespit etmek amaçlı Parçacık Sürü Optimizasyonu kullanılmış ve Türdeş Dağıtılmış Konum Vektörlü PSO ve kademli PSO olmak üzere iki farklı yöntem önerilmiştir.

2. PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU

Çalışmada standart PSO [4,5] kullanılmıştır. Her bir değişim noktası ayrı bir boyut olarak düşünülmüş ve parçacıklar (toplam değişim noktası) D boyutlu bir uzayda konumlandırılmıştır. İndeks numarası (i) ve boyut indeksi (d) olan her bir parçacık anlık konum $x_{i,d}$, hız $v_{i,d}$ ve en iyi konum $p_{i,d}$ vektörüne sahiptir. Konum vektörlerindeki her eleman bir değişim noktasını simgelemektedir. Sürüdeki en iyi konum vektörünün $p_{g,d}$ gösterdiği değişim noktaları arasında G_{URET} ortalamaları alınarak G_{REF} elde edilmektedir. Bu durum (1).denklemden gösterilmiştir. Konum vektörü güncellemeleri kaynak [4] verildiği gibi yapılmış, hız vektörü güncellemeleri ise (2).denklemden gibi kullanılmıştır. Parçacığın sırasıyla kendi en iyi konumuna ve sürüdeki en iyi konuma olan ilgisini gösteren e_1 ve e_2 değerleri yapılan gözlemler sonucunda -0.1 ile 0.1 aralığında rastgele değişen değerler olarak belirlenmiştir.

$$G_{REF}[n] = \frac{G_{URET}[p_{g,d+1}] - G_{URET}[p_{g,d}]}{p_{g,d+1} - p_{g,d}} \quad (1)$$

$$v_{i,d} = e_1(p_{i,d} - x_{i,d}) + e_2(p_{g,d} - x_{i,d}) \quad (2)$$

Zarar fonksiyonunun belirlenmesinde ise işlenen sinyalde (G_{URET}) bulunan gürültü üzerine yapılan gözlemler etkili olmuştur. Gürültünün sıfır etrafına dağıldığı ancak nadiren beklenmeyen büyük sapmalar gösterebileceği anlaşılmıştır. Bu durum Şekil 2'de verilen G_{URET} sinyalinin başlarında gözlemlenebilmektedir. Zarar fonksiyonunun

belirlenmesi sırasında gürültünün sıfır etrafındaki değerlerinin hesaplanan maliyete yansımaması, olası beklenmeyen büyük sapmaların ise maliyete belli limitler içerisinde etki etmesi istenmiştir. Buna göre tespit edilen değişim noktaları arasında alınan G_{URET} ortalamalarının altına ve üstüne bantlar çekilmiş ve bantın uzaklığına göre değişen ceza değerleri belirlenmiştir. Daha sonra bu değerler ilgili aralıklara düşen örnek sayısı ile çarpılarak toplanmış ve her aralık için ayrı bir maliyet elde edilmiştir. Bu durumda kullanılan en üst bant aralığının dışında kalan gürültü değerleri büyüklüğüne bakılmaksızın belli bir etkiye sahip olmakta ve kullanılan zarar fonksiyonunun gürbüz olması sağlanmaktadır. Zarar fonksiyonu için 3 ayrı bölge kullanıldığında, bu bölgelerinin nasıl hesaplanacağı (3).denklemden verilmiştir. B_k kullanılan bant değerini, R_k ise ceza bölgesini temsil etmektedir. (4).denklemden bu bölgeleri kullanarak parçacığın maliyetini (M) hesaplanmaktadır. Tablo 1'de kullanılan bant aralıkları ($B_{1,2,3}$) ve cezaları ($C_{1,2,3}$) için sayısal örnekler sunulmuştur.

$$R_k[n] = [G_{REF}[n] - B_k, G_{REF}[n] + B_k] \quad (3)$$

$$M = \sum_{i=1}^{86400} c_n, \quad c_n = \begin{cases} C_1 & \text{eğer } G_{URET}[n] \in R_1[n] \\ C_2 & \text{eğer } G_{URET}[n] \in R_2[n] \\ C_3 & \text{eğer } G_{URET}[n] \in R_3[n] \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (4)$$

86400 noktadan oluşan G_{URET} üzerindeki değişim noktaları tek bir PSO döngüsü ile bulunmak istenildiğinde değişim noktalarının tespitinde büyük sapmalar gözlemlenmiştir. Bu yüzden öncelikle işlenen sinyalin türdeş parçalara ayrılması ve her bir bölge için ayrı bir PSO döngüsünün başlatılması planlanmıştır. Bu alt bölgeler için küçük boyut sayıları (20-60) kullanıldığında değişim noktalarının gerçek yeri yeterli başarı ile tespit edilememiştir. Böylece yüksek boyut sayılarına [250-500] yönelinmiş ve sapma miktarı [0-50] örneğe kadar indirgenmiştir. Ancak bu çözüm iki problemi de beraberinde getirmiştir. Çok sayıda boyut kullanıldığında yöntemin hızı düşmekte ve gürültülü bir sinyal üzerinde alınan ortalamaların sayısının artması ile bir çok girinti ve çıkıntı oluşmaktadır. Bu noktada yukarıda verilen zarar fonksiyonunu kullanan iki alternatif çözüm geliştirilmiştir:

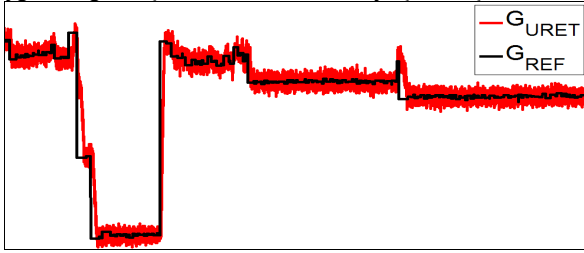
2.1. Türdeş dağıtılmış konum vektörlü PSO

Bu yöntemde çok sayıda boyut sayısı kullanılmış ve bunun sonucunda oluşan problemlere çözüm önerileri getirilmiştir.

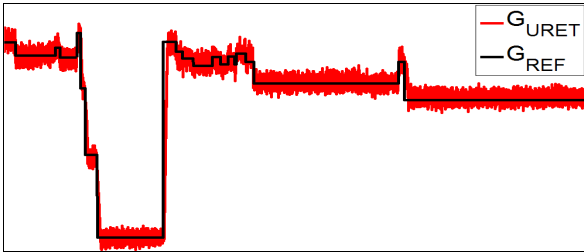
Hız sorunu işlenen sinyali bölgelere ayırmak yerine parçacıkların konum vektöründe bulunan her bir elemana, özel bir bölge ayrılması ile aşılmıştır. Buna göre her bir eleman için eşit büyüklükteki sınırlar tayin edilmiş, konum vektörü güncellemeleri bu sınır içinde kalan elemanlar için yapılmıştır. Böylece problem tek bir PSO iterasyon döngüsünün içinde parçalara ayrılmış, iş yükünün konum vektöründeki elemanlara türdeş bir şekilde dağıtılması sağlanmıştır. Bu yöntemde her bir bölge için ayrı bir en iyi sürü konumu yerine tek bir en iyi sürü konumu kullanılması değişim noktası tespiti açısından dezavantaj sağlasa da, tek bir PSO döngüsünün kullanılmış olması yapılan işlemleri hızlandırmış ve daha çok boyut kullanımı ile daha iyi bir performans sağlanmıştır. Bu yöntemin kullanılabilmesi için hız ve konum güncellemelerine başlanmadan önce kullanılan boyut sayısına (D) göre alan parsellemeleri yapılmış ve 86400/ D uzunlukta alt bölgeler elde edilmiştir. Daha sonra

her bir alt bölge sınırı içerisinde bir eleman rastgele atanmış ve konum vektörleri oluşturulmuştur. Bu işlemler ile konum vektörü elemanlarının artan yapıda ve bütün bir sinyali kapsayacak şekilde olması sağlanmıştır. Bu yapının vektör güncellemeleri başladıktan sonra da korunması sağlanmış, konum vektörüne ait bir elemanın başka bir elemanın bölgesine geçmesi engellenmiştir.

Yüksek sayıda boyut kullanılmasının getirdiği başka bir problem ise değişim noktalarının birbirine yaklaşması ve daha fazla ortalama alınması sonucu ortaya çıkan bir çok girinti ve çıkıntıdır. Şekil 3'te bu duruma bir örnek verilmektedir. Bu sorun zarar fonksiyonlarının yardımı ile çözülmüştür. Parçacıklar için tek bir maliyet değeri yerine ortalama alınan her aralık için ayrı bir maliyet tutulmuştur. Her iterasyon başında en az maliyete sahip parçacık bu değerlerin toplamı olarak seçilse de değerlerin asıl kullanımı tüm iterasyonlar bittikten sonra olmuştur. Elde edilen değişim noktalarının üzerinden son bir kez daha gidilerek, iki nokta arasındaki uzaklığın ve hesaplanan maliyetin belli değerlerin altında olması koşuluyla bu noktalar göz ardı edilmiştir. Böylece değişim noktalarının sayısı azaltılmış, daha büyük aralıklarda ortalamalar alınmış ve çok sayıda girinti ve çıkıntıdan kurtulunmuştur. Bu işlemler Şekil 3'teki sinyale uygulandığında Şekil 4'teki sonucu ortaya çıkarmıştır:



Şekil 3: G_{URET} ve girintili çıkıntılı G_{REF} sinyali.



Şekil 4: G_{URET} ve maliyet değerlerine göre üstünden geçilmiş G_{REF} sinyali

2.2. Kademeli PSO

Öncelikle 86400 noktadan oluşan bütün sinyalin homojen biçimde parçalanması ve elde edilen her bir alt bölge için ayrı PSO'ların oluşturulması planlanmıştır. Tek bir en iyi konum vektörü yerine her bir alt bölge için ayrı bir en iyi konum vektörünün bulunması yerel başarıyı artırır da, alt bölgelerin birleşimi sırasında bir alt bölgenin sonunda yapılan hatanın dolaylı olarak bir sonraki alt bölgenin başına etki etmesinin önüne geçilememiştir. Bu durum iki ardışık alt bölge arasındaki sınırın bir değişim noktasına denk gelmemesinden kaynaklanmaktadır. Her iki tarafta da bu noktayı sınır kabul eden ortalamalar, istenmeyen girinti ve çıkıntılarının oluşmasına yol açmaktadır. Öte yandan bir değişim noktasının her iki tarafında zaten ayrı ortalamalar alındığından, sinyali bu noktalar arasından bölmek, istenmeyen durumları

engellemekte ve büyük problemin birbirinden bağımsız küçük problemlere parçalanmasını sağlamaktadır.

Parçalamalar için alçak çözünürlükten yüksek çözünürlüğe doğru kademeli bir anlayış benimsenmiştir. Buna göre sinyal bir kaç adımdan oluşan bir büyütme mekanizması içerisinde incelenmiştir. İlk olarak bütün sinyal üzerinde boyut sayısı küçük olan bir PSO uygulanmıştır. Bu adımda zarar fonksiyonu için kullanılan bantlar yüksek tutulmuş, böylece küçük değişimler yerine büyük değişimlere karşı hassas olunmuştur. PSO döngüsünün tamamlanmasından sonra her bir değişim noktasının arasında tutulan maliyetler üzerinden gidilmiş ve belli bir maliyetin altındaki değişim noktaları ihmal edilmiştir. Bir sonraki adımda elde kalan değişim noktaları üzerinden sinyal, yeni PSO'lar ile tekrar parçalanmış ancak bu sefer daha büyük boyut sayısı ve daha küçük bant aralığı kullanılmıştır. Böylece bir önceki adımda belirlenemeyen değişim noktaları tespit edilebilir olmuştur. Bu prosedür istenilen yineleme sayısına göre tekrar edilmiş, artan boyut sayısı ve azalan bantlar ile her defasında daha ayrıntılı bir inceleme yapılmış ve daha küçük farkların yaşandığı değişim noktaları bulunmuştur. Tablo 1'de 3 adımdan oluşan bir mekanizmada kullanılan boyut sayısı ve bant aralıkları verilmektedir:

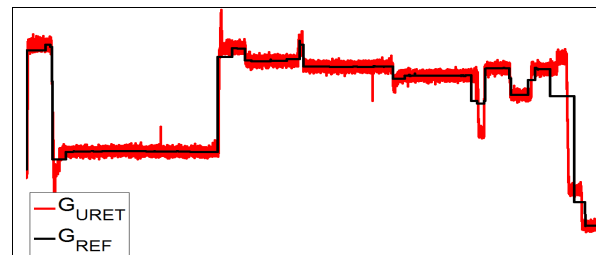
	1.Adım	2.Adım	3.Adım
Kullanılan Boyut:	5	10	15
1.Bant Aralığı:	3 (B_1)	3 (B_2)	0.5 (B_3)
2.Bant Aralığı:	5 (B_1)	4 (B_2)	1 (B_3)
3.Bant Aralığı:	8 (B_1)	5 (B_2)	1.5 (B_3)
Ceza Değeri	16 (C_1)	4 (C_2)	1 (C_3)

Tablo 1: Büyütme mekanizmasında kullanılan değerleri

3. SAYISAL UYGULAMALAR

3.1. Standart PSO

Kaynak [4] te verilen standart PSO 120 boyut, 50 parçacık ve 25 iterasyon ile kullanıldığında elde edilen sonuçlar Şekil 5'te verilmiştir:



Şekil 5: Bütün bir G_{URET} üzerinden hesaplanmış G_{REF} sinyali

3.2. Türdeş dağıtılmış konum vektörlü PSO

Bu yöntemin 1440 boyut, 20 parçacık ve 25 iterasyon ile kullanılmasından elde edilen sonuçlar Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir.

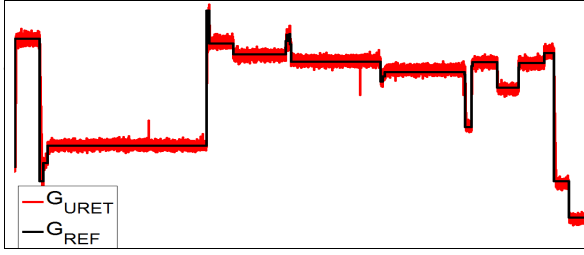
4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Önerilen türdeş dağıtılmış konum vektörlü PSO ile değişim noktalarının tespitinde büyük başarı elde edilmektedir. Şekil 6'de de görülebileceği üzere, sinyal üzerindeki tüm değişim noktaları bulunmuş, bu noktalar arası ortalamalar ile G_{REF} sinyali elde edilmiştir. Bu yöntem, Şekil 7'de verildiği üzere büyütülmüş bir pencereden izlendiğinde de iyi bir performans göstermektedir. Değişim noktaları ihmal edilebilecek sapmalar ile belirlenmiş ve Canny Ayrıt Belirleme (Şekil 2) ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. Hesaplama süresi yöntemin sağladığı sonuçlar düşünüldüğünde oldukça tatmin edicidir. Bu yöntemin dezavantajlı olduğu nokta fazla boyut sayısı kullanılmasından dolayı ortaya çıkan girinti ve çıkıntılarının temizlenmesinde kullanılan eşik değerinin doğru bir şekilde seçilmesi zorunluluğudur. Bu değer yüksek seçimi gerçekte var olan değişim noktalarının kaybedilmesine, düşük seçimi ise girinti ve çıkıntılarının yeterince temizlenmemesine sebep olmaktadır. Bu çalışmada bütün sinyaller için statik atanan bu değer, eldeki sinyalin karakteristiklerine göre hesaplanan dinamik bir yapıda olması planlanmaktadır.

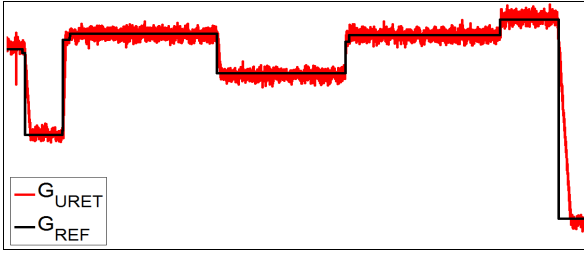
Şekil 8'de gösterilen sonuçlar kademeli PSO ile 3 adımlı bir inceleme sonrası elde edilen 120 değişim noktası arasında alınan ortalamalar ile elde edilmiştir. Standart PSO'nun 120 boyut ile verdiği sonuçlar Şekil 5'te verilmiştir. İki yöntem karşılaştırıldığında, kademeli PSO'nun standart PSO'ya büyük bir üstünlük kurduğu gözlenmektedir. Standart PSO'nun aksine kademeli PSO ile G_{URET} üzerindeki değişim noktalarının büyük bir çoğunluğu başarı ile tespit edilmiştir. Bütün problemi bir defada çözmek yerine kademeli olarak artan bir çözümleme anlayışı bu başarıyı getirmiştir. Ancak 3 adımdan oluşan kademeli PSO, değişim noktalarının tespitinde sapmalar gösterebilmektedir. Bu durum Şekil 9'da gözlemlenebilmektedir. Bu problem daha fazla adım sayısı kullanılarak çözülebilmekte ancak bu durumda hesaplama süresi istenilen değerlerin üstüne çıkmaktadır. Sonraki çalışmalarda kademeli PSO'nun G_{URET} üzerinde çeşitli filtreleme teknikleri ile birlikte kullanılarak az adımda başarıya ulaşılması ve böylece beklenen hesaplama süresinin altında kalması planlanmaktadır. Hız ve değişim noktasındaki sapmalar konusunda türdeş dağıtılmış konum vektörlü PSO'dan kötü bir performans sergileyen kademeli PSO'nun en büyük artısı hiç bir ekstra parametreye bağlı olmaksızın, doğru tanımlanmış bir zarar fonksiyonu ile her türlü G_{URET} sinyaline uygulanabilir olmasıdır.

5. KAYNAKÇA

- [1] Juston, P.; Guy, F.; et al.; "Monitoring of generating units' contribution to Frequency and Voltage Control", *IEEE Bucharest Power Conference*, 2009
- [2] "Feasibility Study For Establishing a Central Monitoring System for Ancillary Services in the Turkish Electricity Market." *Mercados* - September 2010.
- [3] Canny, J., "A Computational Approach To Edge Detection", *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 8(6):679-698, 1986.
- [4] Bratton, D.; Kennedy, J.; "Defining a Standard for Particle Swarm Optimization", *Swarm Intelligence Symposium*, April 2007.
- [5] Venter, G.; "Particle Swarm Optimization", *Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference*, 2002.



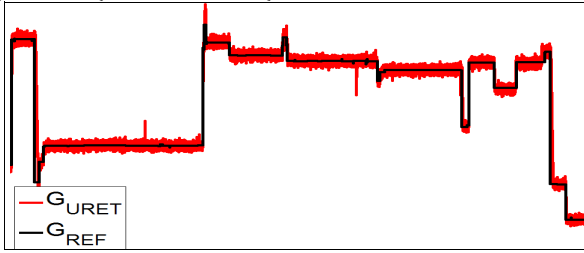
Şekil 6: Bütün bir G_{URET} üzerinden hesaplanmış G_{REF} sinyali



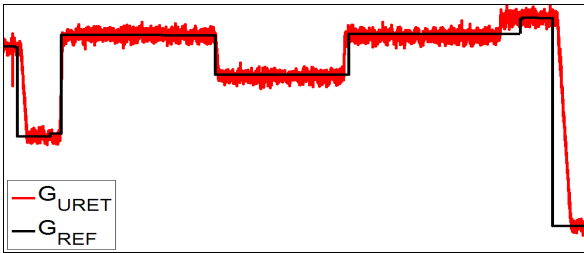
Şekil 7: G_{URET} ve G_{REF} 'in bir bölgesinin büyütülmüş hali

3.3. Kademeli PSO

Bu yöntem Tablo 1'deki değerlerin kullanımı ile performansı Şekil 8 ve Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 8: Bütün bir G_{URET} üzerinden hesaplanmış G_{REF} sinyali



Şekil 9: G_{URET} ve G_{REF} 'in bir bölgesinin büyütülmüş hali

3.4. Performans Kıyaslaması

Tablo 2'de standart PSO ile önerilen PSO yöntemleri için gereken hesaplama süreleri verilmiştir. Simulasyonlar 86400 örnekten oluşan bir sinyal için MATLAB'da yapılmıştır:

Kullanılan Yöntem	Hesaplama Süresi
Standart PSO	24.91 sn
Türdeş dağıtılmış PSO	35.23 sn
Kademeli PSO	57.06 sn

Tablo 2: Kullanılan yöntemler için hesaplama süreleri