

GENETİK ALGORİTMALAR İLE DC-AC ÇEVİRİCİLERDE HARMONİK ELİMİNASYONU

¹Barış GÜRSU ²Melih Cevdet İNCE

¹Keban Şebeke İşletme Grup Müdürlüğü

²Fırat Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

e-mail: ¹gursubaris@hotmail.com ²mcince@firat.edu.tr

Anahtar Kelimeler : Genetik Algoritma, Harmonik Eliminasyonu

ÖZET

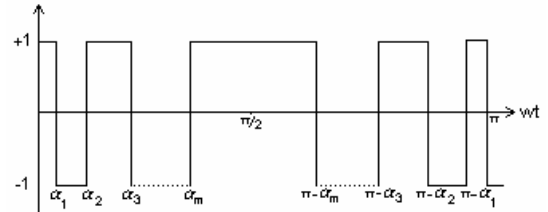
Bu çalışmada, yarım ve çeyrek dalga simetrisine sahip bir dalga şekli kullanarak minimum sayıda tetikleme açısı ile optimum sonucu sağlayan en uygun açı değerlerini belirleyen bir optimizasyon programı Genetik Algoritma(GA) mantığı içerisinde Matlab ortamında yazılmıştır. Optimum sonuc, kare dalgaının belirlenecek tetikleme açılarında birinci harmonik genliğinin en büyük, bastırılacak harmonik genliklerinin en küçük olduğu durumdur. Gerekli matematiksel temeller ortaya konularak problem GA'ya uygulanmış, uygunluk fonksiyonu tanımlanarak programın çalışması adım adım anlatılmıştır. GAHE(Genetik Algoritmalar ile Harmonik Eliminasyonu) programı ile çözülen problemlerin sonuçları, önceden klasik optimizasyon yöntemleriyle bulunmuş olan bazı çözümlerle ve değişik giriş durumlarında birbirleriyle karşılaştırılarak tablo ve grafik halinde verilmiştir.

1. GİRİŞ

Doğanın amacı uyumdur, en iyileme dolaylı bir sonuçtur. Kaynakların kısıtlı olduğu değişken bir ortamda, farklı genetik bilgilere sahip canlılar bunlar için yarışlar ve kabaca güçlü olanlar hayatta kalıp çoğalarak genetik bilgilerini bir sonraki kuşağa geçirme şansını yakalarlar. GA, doğadaki evrimsel süreçleri model olarak kullanan bilgisayara dayalı problem çözme teknikleridir. Geleneksel programlama teknikleriyle çözülmesi güç olan, çok boyutlu optimizasyon problemleri bunların yardımıyla daha kolay ve hızlı olarak çözülebilmektedir[1]. Algoritma, ilk olarak popülasyon diye adlandırılan bir çözüm seti ile başlatılır. Popülasyon kromozomlardan oluşur. Kromozomların ne kadar iyi olduğunu bulan uygunluk fonksiyonu, toplulukta bir kısım bireyin problemi nasıl çözeceği için iyi bir ölçüdür. Seçme, kaliteli olanların hayatta kalmaları prensibine göre çalışan bir elemandır. Çaprazlama, eski bireylerden iyi taraflar alınarak elde edilen yeni bireylerin daha iyi olması umuduyla yapılır. Çaprazlama, iki kromozomun bir araya gelerek genetik bilgi değişimi yapmasıdır. Çaprazlama vasıtasıyla üretilemeyen uygunluk değeri yüksek, yeni, görülmemiş, araştırılmamış kromozomları, mutasyon vasıtasıyla üretmek mümkün olmaktadır [2].

2.DC-AC ÇEVİRİCİLERDE HARMONİK ELİMİNASYONU YÖNTEMİ

Bu yöntem DGM'lu (Darbe Genişlik Modülasyonu) inverter çıkış gerilimindeki istenmeyen harmonikleri eleyen ve ana harmoniğin genliğini kontrol edebilen anahtarlama açılarının önceden hesap edilmesi esnasına dayanır. Yarım ve çeyrek dalga simetrisine sahip, geliştirilmiş bir DMG'lu tek fazlı inverter kutup gerilimi Şekil 1'deki gibidir.



Şekil 1. İnverter kutup geriliminin genel şekli

Burada α_1, α_3 gibi tek sayılı indisli anahtarlama açıları negatife geçiş, α_2, α_4 gibi çift sayılı indisli anahtarlama açıları da pozitif geçiş açılarıdır. Bu işaret Fourier serisine açılırsa, dalga şeklinin simetrisinden dolayı tek sayılı sinüslü bileşenlerden oluştuğu görülür. Elimine edilebilecek harmonik sayısı, hesaplanması gereken α sayısından bir eksiktir[3]. Bu işaretin harmonik bileşenleri Fourier analizi ile hesaplanır.

$$f(\theta) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} [(a_n \cos n\theta) + (b_n \sin n\theta)]$$

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_0^T V_0(t) d\theta \quad a_n = \frac{2}{T} \int_0^T V_0(t) \cos n\theta d\theta \quad b_n = \frac{2}{T} \int_0^T V_0(t) \sin n\theta d\theta$$

şeklinde ve çeyrek dalga simetrisinden dolayı $b_n=0$ dır. Dalga şekli $\pi/2$ etrafında simetriktir.

$$a_n = \frac{4}{\pi} \left[\int_0^{\alpha_1} \sin n\theta d\theta - \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \sin n\theta d\theta + \int_{\alpha_2}^{\alpha_3} \sin n\theta d\theta - \int_{\alpha_3}^{\alpha_4} \sin n\theta d\theta + \int_{\alpha_4}^{\pi/2} \sin n\theta d\theta + \dots \right]$$

Genel denklem:

$$a_n = \frac{4}{n\pi} [1 - 2\cos n\alpha_1 + 2\cos n\alpha_2 - 2\cos n\alpha_3 + 2\cos n\alpha_4 - \dots + 2\cos n\alpha_m]$$

DC-AC çeviricide harmonik eliminasyonunun amacı olan; genel denklemde, a_1 temel harmoniğin maksimum yapan ve istenmeyen diğer harmonikleri bastıran anahtarlama açılarının bulunması, çok değişkenli ve çok sınırlayıcı bir optimizasyon

problemidir. Bunun çözümünde GA' ya dayalı yazılan Matlab programı GAHE kullanılacaktır.

3.GENETİK ALGORİTMANIN PROBLEME UYGULANMASI

Amaç fonksiyonu=1.harmoniğin mutlak değeri – elenmesi istenen diğer harmoniklerin toplamının mutlak değeri

Uygunluk fonksiyonu=amaç fonksiyonu+uygunluk fonksiyonunu negatif yapmayacak sayı[4].

yazılır. GAHE şu şekilde çalışmaktadır:

a-Elimine edilecek harmonik sayısı, Popülasyon sayısı, Maksimum generasyon sayısı, 3 ve 3'ün katı harmoniklerin elimine edilip edilmeyeceği, Elimine edilecek harmonik sayısından kaç fazla aç alınarak eliminasyon yapılacağı, 3. harmonikten itibaren harmonik katsayıları, Grafik ve değer olarak kaç harmoniğin görülmek istendiği, değerleri girilir.

b- Başlangıç generasyonu için popülasyon sayısı kadar ayrı ayrı, (rastgele olarak, elimine edilecek aç sayısından kaç fazla aç alınacak kadar) 0 ile 90 arasında sayı üretilir. Her popülasyon için ayrı olarak üretilen bu rastgele aç değerleri a_n genel denkleminde yerine konarak harmonikler hesaplanır. Amaç, uygunluk ve uygunluk ortalaması hesaplanır. Ölçeklenmiş uygunluklar ve bunlara göre kopya sayıları hesaplanır.

c-Hesaplanan kopya sayılarına göre en iyi açları binary sayılara dönüştürülür. Belirli bir kurala bağlı olarak başlangıç generasyonundaki en iyi aç değerleri çaprazlanır. Programımızda yapmış olduğumuz çaprazlamada her aç değerinin tek bir biti ve bu bitin de her çaprazlamada rastgele bir hanesi çaprazlamaya uğratılmaktadır.

d-Generasyon sayısı, maksimum generasyon sayısından küçükse, generasyon sayısı bir artırılır ve çaprazlama sonucunda oluşan yeni aç değerleri binaryden tekrar ondalık sayılara dönüştürülür. Bu yeni değerlere göre yeni harmonikler, yeni amaç ve yeni uygunluklar hesaplanır. Çaprazlama neticesinde hesaplanan yeni aç değerleri 90'dan büyük olursa bunların yerine rastgele 0-90 arasında değer üretilir.(0-90 arasındaki sayılar ikilik sistemde 7 bit ile ifade edilmektedir.90 sayısı=1011010 Burada 0 olan bitlerden biri 1 olursa sayı 90'dan büyük olacaktır.)

e-Önceki hesapladığımız uygunluklar ile, çaprazlama neticesinde hesapladığımız her popülasyonun ayrı ayrı uygunluğu kıyaslanıp uygunluğu en büyük olan popülasyonların açları seçilir. Bu popülasyonların uygunluk ortalaması hesaplanır.Bu uygunluk ortalaması, önceki uygunluk ortalamasından küçük veya eşitse(çaprazlama neticesinde bir başarı sağlanamamışsa) mutasyon işlemine geçilir. En son elde edilen açları tekrar binary sayıya çevrilir. Son açların rastgele seçilen bir biti mutasyona uğratarak, yeni açlar elde edilir. Mutasyon sonucunda oluşan yeni açlara göre yeni uygunluklar hesaplanır. Bu yeni uygunluklar eski

uygunluklardan büyükse her büyük olan uygunluğun kendi popülasyonuna açları seçilir.

f-Generasyon sayısı maksimum generasyon sayısından büyükse tüm generasyonlardaki uygunluğu en büyük olan açlar seçilir. Bu en iyi açlara göre kaç harmonik görülmek isteniyorsa, hesaplanır ve genlik spektrumu çizilir[5].

Programda ayrıca bastırılacak harmoniklere ağırlıklar vermekte mümkündür. Burada mantık; üretilen dalga şeklinin süreceği sistemde, harmonik akımlarının sistemin yapısından kaynaklanan nedenlerle kendiliğinden küçük olabilmesi gerçeğidir. Örneğin belli harmonikleri bastırılmış bir dalga şekli, basit olması için bir tek fazlı asenkron motoru sürüyor olsun. Asenkron motor en basit haliyle bir omik-endüktif statik yük olarak ele alınabilir. Omik-endüktif bu yükten zaten yüksek dereceli harmonikler, bu frekansta yük büyük empedans göstereceğinden, büyük akımlar akıtmayacaktır. Bu nedenle bastırılacak harmonikler içinde yüksek dereceli olanların çok küçük genlikli olması gerekmez.

3.1 Klasik Çözüm Yöntemiyle Karşılaştırma

Çeyrek ve yarı dalga simetrisine sahip işaretin aç yerleri 'Tatar' tarafından aşağıdaki gibi bulunmuştur.(Lagrange yöntemine göre)

3.5140 7.9990 10.7820 16.8760 18.9840 89.6700
Burada amaç bu 6 aç ile 5.,7.,11.,13. harmonikleri bastırmaktır. 3 ve 3'ün katları harmonikler 3 fazlı 3 telli sistemlerde akım akıtmadığından bastırılmamıştır. Kutup gerilimleri arasında 120° faz farkı olduğunda 3' ün çarpanları olan harmoniklerde kutup gerilimi 360° farklılık gösterir. Kutup gerilimlerinin farkı alındığında, bu harmonikler fazlar arası gerilimde gözükmez. Yüksek dereceli harmonikler filtre ile rahatlıkla giderilebilir. İdeal sonuç, düşük dereceli harmoniklerin tamamen süzülmesi ve bağlı darbe genişliği ile doğrudan orantılı bir temel bileşenin kalmasıdır. Yüksek dereceli harmoniklerin filtreleme elemanı ile bastırılabilmesi daha kolaydır.

Tablo 1. Klasik Optimizasyon Yöntemi Çözüm Harmonikleri

1.har.	3.har.	5.har.	7.har.	9.har.	11.har.
1.2048	0.2909	0.0325	0.0247	0.0671	0.0117
13.har.	15.har.	17.har.	19.har.	21.har.	23.har.
0.0046	0.0487	0.0198	0.0276	0.0324	0.0261

$$\text{Toplam Harmonik Distorsiyonu} = \frac{\sqrt{H_3 + H_7 + H_{11} + H_{13}}}{H_1}$$

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{0.0325 + 0.0247 + 0.0117 + 0.0046}}{1.2048} = 0.225$$

Genetik Algoritmalar ile Çözüm:

Elimine edilecek harmonik sayısı:4, Popülasyon sayısı:15, Maksimum generasyon sayısı:16, 3 ve 3'ün katları harmoniklerin elimine edilip edilmeyeceği: Edilmesin, Elimine edilecek

harmonik sayısından kaç fazla açılı alınarak eliminasyon yapılacağı:2, Toplam görülmek istenen harmonik sayısı:12, Harmonik ağırlıkları:1 Değerleri girilerek;
8.2813 13.2813 **21.2813** **21.2813** 25.2813
27.2813 Açılıları hesaplanır.

Tablo 2. Genetik Algoritmalar Yöntemi Çözüm Harmonikleri

1.har.	3.har.	5.har.	7.har.	9.har.	11.har.
1.1923	0.2187	0.0099	0.0238	0.0004	0.0115
13.har.	15.har.	17.har.	19.har.	21.har.	23.har.
0.0092	0.0294	0.0010	0.0932	0.2179	0.3065

$$THD = \frac{\sqrt{0.0099 + 0.0238 + 0.0115 + 0.0092}}{1.1923} = 0.195$$

Görüldüğü gibi GA ile yapılan çözümde Toplam Harmonik Distorsiyonu daha düşük bulunmuştur. Harmonik bozulma daha azdır. GA' lara dayalı yapılan çözümde bastırılması istenen tüm harmonikler daha iyi bastırılmıştır. Ayrıca Lagrange yöntemiyle yapılan çözümde, başlangıç değerlerinin iyi seçilmesi zorunluluğu vardır. Oysa GA' lara dayalı yapmış olduğumuz programda rastgele değerlerle en iyi çözüme gidilir. Burada dikkat edilmesi gereken önemli bir husus ta GA ile yapılan çözümde bulunan ateşleme açılarından; 21.2813 değeri iki açılı için de aynıdır. Bu iki açılı aynı ise bu açılardan biri alınmadan da aynı çözüm bulunur. Öyleyse GA' nın bir diğer avantajı da daha az açılı ile daha iyi çözümü bulduğudur.

3.2 Harmonik Ağırlıklarının Etkisi

10 popülasyonla, harmoniklere 1 verilerek, 3,5,7,9,11,13. harmoniklerin 11 generasyonda elimine edildiği çözüm aşağıdaki gibi bulunmuştur.
0.7188 4.0938 7.7188 11.0569 13.5097
14.9688 24.9688 28.1563 Açılıları hesaplanır.

Tablo 3. Çözüm Harmonikleri

1.har.	3.har.	5.har.	7.har.	9.har.	11.har.
1.1635	0.1525	-0.0495	-0.0448	0.0101	0.0116
13.har.	15.har.	17.har.	19.har.	21.har.	23.har.
-0.0599	-0.1413	-0.1485	-0.0528	0.0901	0.1812

Diğer değerler aynı şekilde girilip, sadece harmonik ağırlıklarını değiştirirsek;
1.0000 0.8000 0.5000 0.4000 0.2000 0.1000
Değerleri girilerek program çalıştırıldığında;
2.8449 3.7188 5.5313 11.3692 21.2188
21.4688 24.4688 28.7813 Açılıları hesaplanır.

Tablo 4. HAE Çözüm Harmonikleri

1.har.	3.har.	5.har.	7.har.	9.har.	11.har.
1.1430	0.1088	-0.0786	-0.0359	0.0438	0.0278
13.har.	15.har.	17.har.	19.har.	21.har.	23.har.
-0.0998	-0.2408	-0.2716	-0.1473	0.0605	0.2208

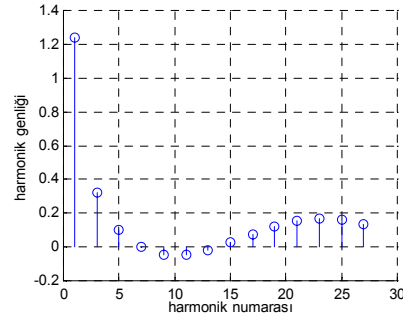
Görüldüğü gibi 3. harmoniğe en büyük ağırlık verilerek 0.1525' den 0.1088' e düşürülmüştür.

3.3 Eliminasyon İşleminde Açılı Sayısının Etkisi

9 popülasyonla 5,7,11,13,17. harmoniklerin bastırıldığı çözüm, 6 açılı ile 10 generasyonda bulunmuştur.

Çözüm açıları:

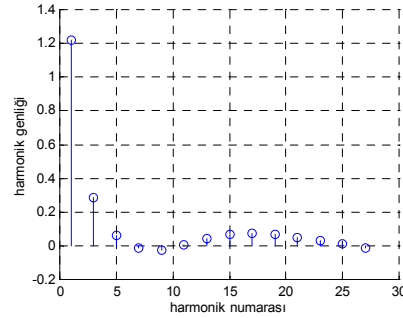
5.1888 5.2433 7.1563 9.0313 11.2475 13.8125



Şekil 2. Harmonik Spektrumu

Diğer değerler aynı şekilde girilip, sadece Elimine edilecek harmonik sayısından 2 fazla açılı alınarak eliminasyon yapılır; Çözüm açıları:

1.9062 1.9063 4.3750 11.3750 14.3750
20.4063 21.3750



Şekil 3. ASE Harmonik Spektrumu

Görüldüğü gibi 2 fazla açılı alarak yaptığımız örnekte GA yine çözüme ulaşmış ancak 1 fazla açılı alarak yaptığımız örneğe göre farklı açılılar bularak eliminasyon yapmıştır. 2 fazla açılı alarak yaptığımız örnekte çözüm açılarına dikkat edecek olursak;

Çözüm açıları:

1.9062 1.9063 4.3750 11.3750 14.3750
20.4063 21.3750

Burada 1. ve 2. açılı birbirine çok yakındır. Öyleyse bu açılardan herhangi birini almadan da eliminasyon yapılacaktır. Böylece daha az ateşleme açısıyla çok yakın sonuçlar bulunacaktır. Yani anahtarlama sayısı artmayacak ve dolayısıyla anahtarlama kayıpları olmayacaktır. Yani harmonik kayıplar ile yüksek anahtarlama frekansından kaynaklanan anahtarlama kayıplarını optimum bir noktada dengeleyecek şekilde en az anahtarlama yapılmalıdır. Anahtarlama sayısının az olması kullanılacak mikroişlemcinin de hızının artmasına sebep olacaktır. Yaptığımız örneklerde elimine edilecek açılı sayısından fazla açılı alınarak yapılan

eliminasyonda, açı sayısının artırılmasının genetik algoritmada büyük bir avantaj olmadığını gördük.

3.4 Farklı Başlangıç Değerlerinin Etkisi

10 popülasyonla harmoniklere sırasıyla 1 0.44 0.34 0.24 verilerek 3,5,7,9. harmoniklerin bastırıldığı çözüm 10 generasyonla bulunmuştur. Çözüm açıları:9.2188 18.4688 19.1563 23.8438 27.7188

Tablo 5. Başlangıç Değerleri

Pop.	Anahtarlama Açılıarı				
	1.Açı	2.Açı	3.Açı	4.Açı	5.Açı
1.pop	33.2036	44.7685	67.9165	84.7322	85.6613
2.pop	9.2704	12.7350	30.3262	61.0919	76.9551
3.pop	24.9179	34.0996	55.9959	62.6275	86.3103
4.pop	32.6006	51.2686	51.6696	64.4436	73.6609
5.pop	25.9790	39.2175	57.9546	64.2511	74.2558
6.pop	21.0544	50.6749	58.7699	62.6693	78.5449
7.pop	3.5786	17.6130	32.4534	76.5357	87.3717
8.pop	16.4036	27.1610	69.4590	69.7781	80.7962
9.pop	9.5544	39.7985	81.6625	86.0363	89.7215
10.pop	12.2477	50.5863	62.2798	66.3118	86.3493

Tablo 6. Çözüm Harmonikleri

1.har.	3.har.	5.har.	7.har.	9.har.	11.har.
-1.1556	-0.1342	0.0653	0.0469	-0.0212	-0.0159
13.har.	15.har.	17.har.	19.har.	21.har.	
0.0978	0.2559	0.3523	0.3225	0.1921	

Aynı değerlerle GAHE programı tekrar çalıştırıldığında farklı başlangıç değerleri alacak ve çözümü bulacaktır. Çözüm açıları:

8.3750 18.4779 18.8495 22.5574 28.1302

Tablo 7. FBDE Başlangıç Değerleri

Pop.	Anahtarlama Açılıarı				
	1.Açı	2.Açı	3.Açı	4.Açı	5.Açı
1.pop	24.8309	54.0479	55.3082	77.3869	84.5206
2.pop	41.1784	54.0196	57.7314	63.1059	71.2743
3.pop	55.3179	61.9408	70.8401	81.7655	85.6395
4.pop	12.3946	38.7237	55.3325	78.0707	80.3784
5.pop	59.2631	65.4434	67.7861	70.9495	84.9612
6.pop	12.5485	36.7622	36.7970	37.9054	50.4792
7.pop	2.7883	9.3704	19.3849	38.1100	56.4024
8.pop	5.5061	48.0075	49.8366	60.9109	64.0357
9.pop	2.2802	37.4214	48.4355	57.9596	67.7055
10.pop	20.6161	33.7085	52.1420	64.3403	80.6238

Tablo 8. FBDE Çözüm Harmonikleri

1.har.	3.har.	5.har.	7.har.	9.har.	11.har.
-1.1348	-0.0909	0.0885	0.0160	-0.1050	-0.1160
13.har.	15.har.	17.har.	19.har.	21.har.	
0.0290	0.2455	0.3905	0.3730	0.2183	

Görüldüğü gibi farklı başlangıç değerlerinde de genetik algoritma en iyi çözümü bulabilmektedir. Çünkü GA hangi başlangıç değerleri olursa olsun popülasyon büyüklüğüne göre çok geniş bir çözüm havzasını tarayacaktır. Bu çözüm havzasının içerinden her zaman en iyi sonuca gider. Biz kendi

yaptığımız diğer uygulamalarda da hangi başlangıç değerleri olursa olsun GA' nın her zaman en iyi sonuca gittiğini ve başarıyla eliminasyon yaptığını gördük.

4. SONUÇLAR

Önceden çözülmüş bir problem GAHE kullanılarak çözülmüş, her iki sonucun Toplam Harmonik Distorsiyonu (THD) karşılaştırılmış, GAHE ile bulunan sonucun daha iyi olduğu görülmüştür. Yine aynı problem 6 açı yerine 5 açıyla da GAHE ile çözümlenerek, kabul edilebilir iyi bir çözüm bulunmuştur. Bu da DC-AC çeviricinin gerçekleştirilmesinde kolaylık sağlayacaktır.

Uygunluk fonksiyonunda bastırılacak harmoniklere verilen ağırlık katsayıları uygun seçilerek, bastırılacak harmoniklerin içinde istenilen harmoniğin daha da küçük yapılabileceği gösterilmiştir. Hazırlanan program çalıştırılmaya başlatıldığında kullanıcıya sorulan seçenekler sayesinde, kullanıcı bastırılacak harmoniklerin hangilerinin özellikle daha çok bastırılması gerektiğini seçebileceği gibi, açı sayısını da belirleyebilir. Böylece elde edilen program esnek bir yapı kazanmıştır.

Program aynı problem için her çalıştırıldığında farklı başlangıç popülasyonlarıyla başladığı ve program içerisinde rastgele bitler seçerek çaprazlama ve gerekiyorsa mutasyon işlemi yaptığı halde, hemen hemen aynı sonuçlara ulaşmaktadır.

Klasik optimizasyon yöntemlerinde başlangıç değerlerinin iyi seçilmesi zorunluluğu varken, GA ile yapılan problem çözümünde bu zorunluluk yoktur. Hangi başlangıç değerleri olursa olsun çözüm bulunur. Bu algoritma özellikle başlangıç değerlerinin iyi seçilmesinin gerektiği, uğraşılacak problemlerin analitik türevlerinin zor olduğu problemlerde üstünlük sağlar.

KAYNAKLAR

- [1]-Goldberg, D.E., Genetic Algorithms in Search, Optimisation and Machine Learning, Addison Wesley Publishing Co., Inc. USA, 1989
- [2]-Holland, J.H., Genetic Algorithms, Scientific American, July 1992, pp. 66-72
- [3]-Tatar, Y., Sayısal İşaret İşlemci Temelli Darbe Genişlik Modülasyonlu Frekans Eviricisi ile Sincap kafesli Asenkron Motor Kontrolü İçin İşaret Üretimi, Doktora Tezi, F.Ü., Elazığ 1994.
- [4]-İnce, M.C., Genetik Algoritma ile Optimizasyon İçin Bir Fortran Bilgisayar Programı, 4. Bilgisayar-Haberleşme Sempozyumu, pp.107-110, Bursa, 1996
- [5]-Gürsu, B., Genetik Algoritmalar İle DC-AC Çeviricilerde Harmonik Eliminasyonu, Yüksek Lisans Tezi, F.Ü., Elazığ, 2002