

Titresimli Genetik Algoritma ile Hizlandirilmis Kanat Profili Optimizasyonu

Abdurrahman HACIOGLU

HHO Dekanligi Havacilik Mühendisligi Bölümü, 34806,
Yesilyurt, Istanbul
a.hacioglu@hho.edu.tr

Ibrahim ÖZKOL

İTÜ Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Mühendisligi
Bölümü, 34469, Maslak, Istanbul
ozkol@itu.edu.tr

Özet

*Transonik kanat profili optimizasyonu, kanat profili üzerinde oluşan sok dalgası yok edilerek, sürüklemenin azaltılması amacıyla yapılır. Bu çalışmada, yeni bir genetik algoritma (GA) yaklaşımı olan Titresimli Genetik Algoritma (TGA) yönteminin, transonik kanat profili optimizasyonuna uygulaması yapılmıştır. Reel kodlu genetik algoritmalar için önerilen titresim kavramının arkasında yatan temel fikir, genetik algoritmanın arama/bulma etkinliğinin artırılması için, popülasyonun periyodik olarak çözüm uzayına yayılmasıdır. Böylece GA'nin daha az işlem yaparak hedefe ulaşması amaçlanmaktadır. Bu çalışmadaki TGA'da, titresim kavramının mutasyon işlemi için uygulanmasıyla elde edilen, Titresimli Mutasyon tekniği kullanılmıştır. Yöntemin, vizkoz, transonik akis şartlarında kanat profili optimizasyonunda etkinliği ve Hesaplamalı Akiskanlar Dinamigi hesabi sayısını önemli ölçüde azalttığı gösterilmiştir. **Anahtar Kelimeler:** Titresimli Genetik Algoritma, Transonik Kanat Profili Optimizasyonu.*

Accelerated Airfoil Optimization via Vibrational Genetic Algorithm

Abstract

Transonic airfoil optimization is made for drag minimisation through shock wave reduction. In this study, a new approach to genetic algorithms, called Vibrational Genetic Algorithm (VGA), is used for transonic airfoil optimization. Vibration concept, proposed for real coded genetic algorithm, is based on the idea that the population is spread out over the design space periodically to make exploration/exploitation of the genetic algorithm more effective. Therefore, GA makes less function evaluation to get the target solution. Vibrational Mutation technique resulting from Vibration concept, and the method of Vibrational Genetic Algorithm, which uses this technique, are detailed. The method is shown to be effective in airfoil optimization for transonic viscous flow conditions and considerably decreased the CFD calculations.

Keywords: *Vibrational Genetic Algorithm, Transonic Airfoil Optimization.*

1. Giriş

Transonik bir kanat profilinin optimizasyonunda, transonik akis şartlarında kanat profili üzerinde oluşan sok dalgasının yok edilmesi ile sürüklemenin azaltılması ve böylece aerodinamik verimliliğin artırılması hedeflenir. Genetik algoritma (GA) bu amaçla kullanıldığı zaman, optimize edilecek kanat profili ve ona çok yakın profillerden oluşan bir başlangıç popülasyonu oluşturulur. Bundan sonra

Hesaplamalı Akiskanlar Dinamigi (HAD) hesabi gerçekleştirilir ve aerodinamik verimlilikle ilişkili olan hedef fonksiyona bağlı olarak, popülasyon içerisinde uygun profiller seçilir. Bunu takiben seçilmiş olan uygun profillerden yeni bir popülasyon üretilir. Bütün bu işlemler belirlenmiş olan bir yakınsama kriteri sağlanıncaya kadar devam eder. Bu şekilde yapılan bir dizayn çalışması sırasında yüzlerce popülasyonun üretilmesi ve binlerce HAD hesabi yapılması gerekir. Toplam hesap süresi, kullanılan HAD tekniğine bağlı olarak, saatleri hatta günleri bulabilir. İşte bu nedenle,

daha az islemler ve dolayısıyla daha kısa sürede aerodinamik dizayn ve optimizasyon yapılmasını sağlayacak genetik algoritmalara ihtiyaç vardır.

Geçtiğimiz yakın zaman içerisinde bazı hızlı GA yöntemleri ortaya atılmıştır. Falco ve diğerleri [1] Breeder Genetik Algoritması'ni [2] aerodinamik dizayn ve optimizasyon için uygulamışlar ve hızlı yakınsama sağlamışlardır. Aerodinamik dizayn ve optimizasyonda kullanılacak olan ve hesap süresini azaltan bir mutasyon tekniği yine Falco ve diğerleri [3] tarafından geliştirilmiştir. Vicini ve Qualiarella [4], gradyan esaslı yöntemle GA tekniğini birleştiren melez (hybrid) bir metod geliştirerek işlem sayısını azaltmışlardır. Tse ve Chan [5], mikro genetik algoritma ile yapay sinir ağı kullanımını birlikte yaparak hızlı bir algoritma elde etmişlerdir.

Titresim yaklaşımı tarafımızdan önerilmiş ve bu yaklaşımı kullanan GA, *Titresimli Genetik Algoritma* (TGA) olarak isimlendirilmiştir. Yöntemin, sıkıştırılmaz, vizkoz olmayan, sesaltı akış şartları için kanat profili dizaynına uygulaması [6]'da yapılarak etkinliği gösterilmiştir. Bu çalışmada TGA, transonik kanat profili optimizasyonuna uygulanarak etkinliği araştırılmıştır.

Titresimli Genetik Algoritma (TGA), etkin bir çeşitlilik (diversity) ile arama ve bulmayı (exploration/exploitation) sağlaması nedeniyle yakınsama performansını arttıran bir yöntemdir. Titresimden kastedilen, genetik işlemlerde kullanılan birtakım parametrelerde meydana getirilen bazı dalga formlarındaki salınımdır. Titresim yaklaşımı hem mutasyon [6], hem de çaprazlama [6,7] işlemleri için kullanılabilir.

2. Titresimli genetik algoritma

Obayashi ve diğerlerinin [8] belirttikleri gibi, reel kodlu GA'lar için kullanılan mutasyon oranının, ikilik sistemde kodlanmış (binary coded) GA'larda kullanılana göre daha büyük değerler olması gerekir. Bunun nedeni, ikilik sistemde kodlanmış bir sayının bir hanesinde yapılacak bir değişimin, sayı değerini büyük oranda değiştirebilecek olmasıdır. Oysa reel kodlu bir sayı için benzeri bir işlemin önemli bir değişimlere yol açma şansı daha azdır. Dolayısıyla, ikilik sistemdeki bir GA ile aynı mutasyon oranını kullanan reel kodlu bir GA dizayn uzayını arama açısından daha zayıf kalacaktır. Reel kodlu GA kullanılırken mutasyon oranının yüksek tutulması, dizayn uzayının algoritma tarafından tam olarak araştırılabilmesini sağlayacaktır. Bu düşünce, önermiş olduğumuz ve takip eden bölümde açıklanacak olan *Titresimli Mutasyon* tekniği ile gerçekleştirilebilir. Bu mutasyon esaslı titresim yaklaşımı, dizayn uzayının değişik bölgelerinden eş zamanlı olarak örnekleme yapılması ve böylece global optimumun mümkün

olduğunca çabuk yakalanabilmesi ilkesine dayanır. Bu amaçla, popülasyondaki her birey titresim yaklaşımı ile periyodik olarak mutasyon geçirir ve popülasyonun dizayn uzayına yayılması sağlanır. Böylece yerel optimumlardan çabuk kurtulmak ya da bunlara hiç yakalanmamak, daha uygun bireyleri keşfetmek mümkün olabilecektir.

3. Titresimli Mutasyon

Mutasyon esaslı titresim yaklaşımı yenilemeden hemen sonra uygulanır. Uygulama, Şekil 1.a'da gösterildiği gibi, genetik sürecin başlangıcından itibaren periyodik olarak gerçekleştirilir. İlk adımı takiben, genliği rassal bir şekilde değişen bir dalga popülasyona etki ettirilir. Titresimli mutasyon sırasında, popülasyondaki bütün kromozomların (bireyler) tüm genleri aşağıdaki dalgaya bağlı olarak mutasyon geçirirler.

$$y_i^m = y_i^m \cdot \omega \cdot \sin(\omega \cdot MA + \phi) \cdot u \quad (1)$$

$$m = 1, \dots, n$$

$$i = 1, \dots, kn$$

Burada y gen (kontrol noktası), kn kromozomdaki toplam gen sayısı, n popülasyondaki toplam birey (kromozom) sayısı, MA ana genlik ve u [0,1] aralığında rassal bir reel sayı olup, ω , bir civarında reel bir sayıdır.

Dalga uygulaması, ilk kromozomun belirli bir sırasındaki genlerden başlar ve Şekil 1.b'de gösterildiği gibi diğer kromozomlardaki aynı sıradaki genler boyunca devam eder. Bu işlem popülasyondaki tüm bireylere her IP periyotta uygulanır. IP bir tam sayı olmak üzere, mutasyon oranı $P_m = 1/IP$ 'dir. Genetik süreç boyunca iyi bir performans yakalanması için titresim periyodu IP 'nin uygun bir değere sabitlenmesi gereklidir. Bu periyod değerinin (dolayısıyla mutasyon oranı P_m değerinin) büyüklüğü metodun performansını etkileyecektir.

Titresim uygulaması, yeni popülasyondaki bireylerin çözüm bölgesinde (dizayn uzayı) rassal bir şekilde yayılmasını sağlar. Bu yeni popülasyondan itibaren genetik süreç belli bir süre (IP periyoduna göre) titresim uygulaması olmaksızın devam eder. Çünkü titresim sonucu ortaya çıkan popülasyondan en uygun bireylerin elde edilebilmesi biraz zaman alacaktır. Sonra tekrar titresim uygulaması yapılarak en son adımda bulunmuş olan popülasyonun çözüm bölgesine yayılması sağlanır. Titresimle ortaya çıkan rassal bir şekilde çözüm bölgesine yayılmış popülasyon yerel optimumlardan çabuk kurtulmayı ya da bunlara hiç takılmamayı sağlar. TGA'nin en önemli özelliği budur. Öte yandan, genetik süreç devam ederken popülasyonun ortalama uygunluk değerine dikkat edilmesi gereklidir. Ortalama uygunluk değeri artarken, titresim amacıyla kullanılan dalganın ana genliği azaltılmalıdır. Ortalama uygunluk değerinin artmasıyla global optimuma yaklaşılabileceği için, titresim uygulaması sırasında popülasyonun başlangıçtaki gibi çok

genis bir bölgeye yayilmasi gereksiz olacaktir ve bu ayni zamanda performansi olumsuz etkileyecektir. Bununla beraber, global optimuma yaklasilirken popülasyonu dar bir aralikta titresime maruz birakmak global optimumu yakalamayi hizlandiracaktir. Bu nedenle ana genlik degeri MA genetik süreç boyunca asagidaki gibi belirlenir:

$$MA = \frac{\log(1 + AF_0)^r}{\log(1 + AF_k)^r} \quad (2)$$

AF_0 ve AF_k sirasiyla genetik sürecin baslangiç adimindaki ve içinde bulunulan adimindaki ortalama uygunluk degerleri olup r reel bir sayidir. Genetik sürecin ilk adiminda $MA=1$ olacaktir. Eger ilk adim için 1'den farklı bir sayi arzu edilirse, MA bir parametre ile çarpılarak istenen ayarlama yapılabilir. MA , olabilecek en büyük dalga genligidir. Denklem (2)'deki r , MA degerinin azalma hizini belirler. Hizli bir azalma için r büyük bir deger almalı, yavas bir azalma için ise r küçültülmelidir.

Bu bölümde verilen formüller FOTRAN programlama dilinde asagidaki yazilir:

```

MA=(log(1+AF0)/log(1+AFk))**r
do j=1, kn
do i=1,n
y(i,j)=y(i,j)*(1+w*MA*(0.5-u))
enddo
enddo
    
```

Titresimli mutasyon islemlerini (ayni zamanda yukaridaki FORTRAN kodun) kisaca su sekilde özetleyebiliriz: Genetik sürecin ilk adiminda, uygunluk degerlerinin hesaplanmasi, uygun bireylerin seçimi ve yenileme islemlerini takiben ortaya çıkan yeni bireylere titresim uygulaması yapılır. İlk olarak, bütün

kromozomların ilk siradaki genleri ($j=1$) bastan sona ($i=1$ 'den n 'e kadar) titresime tabi tutulur. Bunu takiben bütün kromozomların ikinci sirasındaki ($j=2$) genler aynı şekilde ($i=1$ 'den n 'e kadar) titresimden geçer. Tüm kromozomların son sirasındaki genler ($j=kn$) de titresimden geçtikten sonra baslangiç adimi için titresim uygulaması sana erer. Genetik süreç, bunu takip eden $IP-1$ adiminda (mutasyon oranı $P_m = 1/IP$), titresim uygulaması olmaksizin mutata sekilde (uygunluk degerlerinin hesaplanması, seçim, yenileme) devam eder. IP nci adimda, ayni ilk adimda olduğu gibi titresim uygulaması yapılır. Bu uygulama genetik süreç devam ederken her IP adimda bir tekrarlanır.

4. Test fonksiyonuna uygulama

Test fonksiyonu asagidaki gibi tanımlanan Griewank fonsiyonudur:

$$f_{Griewank} = \frac{1}{4000} \sum_{i=1}^{10} \frac{x_i^2}{i} \prod_{i=1}^{10} \cos\left(\frac{x_i}{\sqrt{i}}\right) + 1$$

Fonksiyonun -600 ile 600 aralığında global optimumu bulunacaktır. Bu fonksiyon $x_i=0, i=1, \dots, 10$ için $f_{Griewank}=0$ olacak şekilde global minimuma sahiptir. Griewank fonsiyonu belirtilen aralıkta çok fazla yerel optimumu olan bir fonksiyondur.

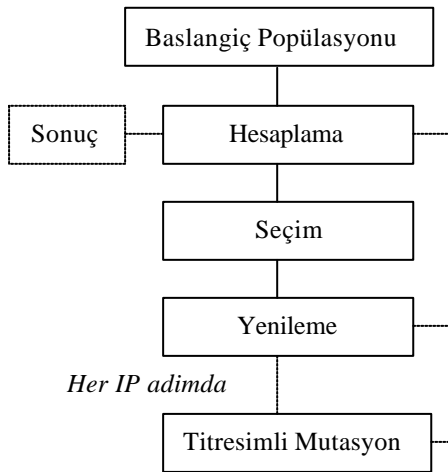
Uygulamada çaprazlama islemi için BLX- α yöntemi [9] kullanılacaktır. Bu yöntem;

$$\begin{aligned}
YeniBirey_1 &= (1 - \alpha) \cdot Birey_1 + \alpha \cdot Birey_2 \\
YeniBirey_2 &= \alpha \cdot Birey_1 + (1 - \alpha) \cdot Birey_2
\end{aligned}$$

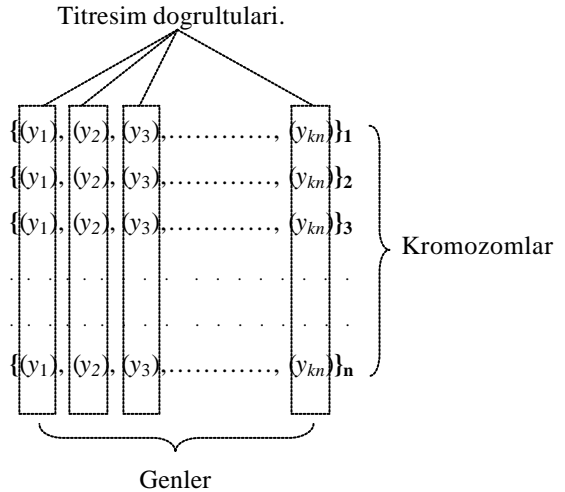
ve

$$u = (2\alpha - 1)u + \alpha$$

şeklinde tanımlanır. Burada u $[0,1]$ aralığında rastgele bir



Sekil 1.a: Titresimli mutasyonun akis semasi.



Sekil 1.b: Titresim dogrultulari.

sayı, μ kullanıcının belirleyeceği reel bir sayıdır. Burada $\mu=0.5$; mutasyon oranı $P_m=0.2$, yani $IP=5$ olarak alınmıştır. Popülasyon büyüklüğü 50'dir. Mutasyon oranı $P_m=0$ (titresim uygulaması yok) hali de test edilmiştir. Çaprazlama oranı $P_c=1$ olup denklem (2)'deki r değeri 0.1 olarak alınmıştır. Seçim yöntemi (Stochastic Universal Sampling) (SUS) [10] yöntemidir. Başlangıç popülasyonu [-600.0,600.0] aralığında rassal olarak oluşturulmuştur.

Sekil 2'de gösterilen sonuçlara göre TGA ($P_m=0.2$ durumu) çok iyi bir performansa sahiptir. TGA kullanılan durumda en iyi uygulugun 10^{-15} değerine ulasmasi 1100 yineleme (üretilen nesil) ile gerçekleşmiştir. Diğer taraftan titresim uygulaması yapılmayan durumda ($P_m=0$) en iyi uygunluk değeri 100000 yineleme sonunda ancak 10^{-2} değerine ulaşmıştır.

5. Kanat profili optimizasyonu için genetik algoritma işlemleri

Kanat profili optimizasyon problemleri için amaç fonksiyonları, belli bir dizayn tasıma katsayısını (C_L^*) sağlayacak ve sürüklemeyi azaltmaya çalışacak şekilde aşağıdaki gibi tanımlanır.

Buna göre problem tipik bir en büyük değeri elde etme problemi olur. Uygunluk değeri arttıkça, kanat profilinin aerodinamik verimliliği de artacak, tasıma katsayısı sabit tutulmaya çalışıldığı için, sürüklenme küçülecektir. Transonik akis şartlarında bu küçülme sok dalgalarının yok edilmesiyle sağlanır.

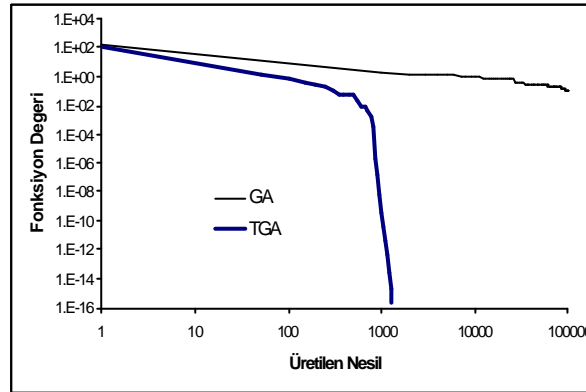
Genetik algoritma ile kanat profili dizaynındaki en önemli işlemlerden biri de kanat profili geometrisinin temsildir. Bu amaçla, kanat profilinin bir yüzeyine ait eğriyi m adet nokta ile ifade etmeyi sağlayan ve aşağıda denklemleri verilen Bezier eğrisi temsili kullanılacaktır.

$$y(t) = \sum_{i=0}^m C_m^i t^i (1-t)^{m-i} y_i \quad (5)$$

$$x(t) = \sum_{i=0}^m C_m^i t^i (1-t)^{m-i} x_i \quad (6)$$

Kanat profilinin temsilinde kullanılan m adet kontrol noktalarından ikisi, her bir yüzey için (hücum ve firar kenarlarındakiler) sabittir. $C_m^i = \frac{m!}{i!(m-i)!}$ olup $t \in [0,1]$

aralığında değişen değerler alan bir parametredir. Kontrol noktalarının koordinatları (x_i, y_i) ile verilmiştir. Burada



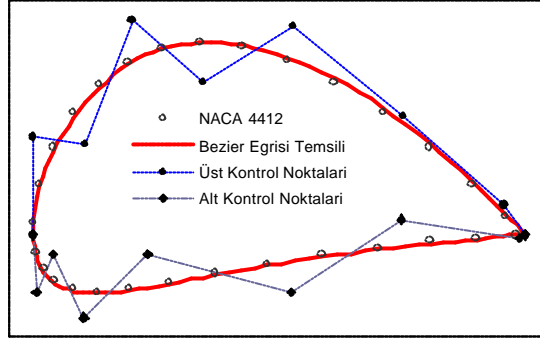
Sekil 2: Değişik GA'larla Griewank fonksiyonunun ulaştığı değerler.

$$J = \frac{C_D}{C_L} + 10 \frac{C_L}{C_L^*} \quad (3)$$

Popülasyondaki kanat profillerinin uygunluk değeri için uygunluk fonksiyonu aşağıdaki gibi olacaktır:

$$J = \frac{1}{J} \quad (4)$$

x_i 'ler sabit tutularak, genetik süreçte yalnızca y_i değerleri kullanılır. Kanat profilinin yüzeyini ifade eden kontrol noktalarının tamamı bir kromozom oluştururken, her bir kontrol noktası da bir gen olacaktır. NACA4412 profilinin Bezier eğrisiyle temsili Sekil 3'de gösterilmiştir. (Sekilde kanat profillerinin dikey eksene göre abartıldığına dikkat edilmelidir.)



Sekil 3: NACA4412 profilinin Bezier egrisi ile temsili.

6. Uygulamalar

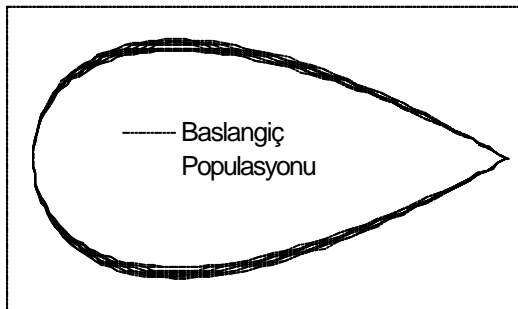
Durum-a: NACA0012 profilinin, $M=0.75$ ve 2° hücum açısında (Reynolds sayısı $Re_c=6.5 \times 10^6$), kanat profilinin tasimasi ve kalinlik oranı sabit kalmak şartıyla sürüklenme minimizasyonu yapılacaktır.

Durum-b: NACA0012 profilinin, Durum-a'da verilen koşullarda, kanat profilinin yalnızca tasimasi sabit kalmak şartıyla sürüklenme minimizasyonu yapılacaktır.

NACA0012'nin kalınlik oranı %5 oranında düzgün bir şekilde değiştirilerek başlangıç popülasyonu oluşturulacaktır. Sekil 4.a'da başlangıç popülasyonu verilmistir. Sekil 4.b'de ise ilk titresimli mutasyon uygulamasından sonraki popülasyon görülmektedir. (Sekillerde kanat profillerinin düşey eksene göre abartıldığına dikkat edilmelidir.)

Transonik, viskoz akım şartları için HAD çözücüsü olarak, [11]'de detayları verilmiş olan ve tam potansiyel denklemiyle etkileşimli çözüm yapan *Etkileşimli Sinir Tabaka (EST)* çözücüsü kullanılmıştır. Bütün durumlar için, türbülansın üst ve alt yüzeylerin her ikisinde de $x/c=0.05$ 'de başladığı kabul edilmiştir. Türbülans modeli olarak Cebeci-Smith türbülans modeli [12] kullanılmıştır.

Kanat profili optimizasyonunda, test edilecek bütün



Sekil 4.a: Başlangıç kanat profili popülasyonu.

durumlar için kanat profili temsiliinde, denklem (5) ve (6) ile verilen Bezier egrilerinde herbir yüzeyin temsili için 13 kontrol noktası kullanılacaktır. Optimizasyona iki ayrı strateji aşağıda belirtildiği gibi uygulanacaktır. Bunlar:

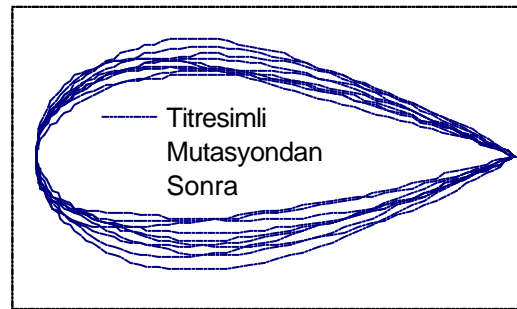
Strateji I: Klasik GA. Çaprazlama yöntemi BLX- η ve $\eta=0.7$; mutasyon oranı $P_m=1/60$ ve mutasyon için popülasyondan rasgele seçilen bir k nci bireyin (kromozom) i nci geninin (kontrol noktası) değeri aşağıdaki gibi değiştirilecektir.

$$y_i^k \rightarrow y_i^k + 2\eta w^k (0.5 - u)$$

Burada w kullanıcının belirleyeceği, u ise $[0,1]$ aralığındaki rassal bir reel sayıdır. Bu denklemdeki w değeri 0.04 olarak alınacaktır. Popülasyon büyüklüğü bütün durumlar için $n=30$ olacaktır.

Strateji II: TGA ve denklem (1) ile verilen *Titresimli Mutasyon Tekniği* kullanılacaktır. Çaprazlama yöntemi BLX- η ve $\eta=0.7$, denklem (2)'deki $r=4$ ve denklem (1)'deki $w=1$ alınacaktır. TGA'nin, küçük popülasyon büyüklükleri ve yüksek mutasyon oranlarıyla başarılı olduğu [6]'da belirtilmiştir. Bu nedenle, her iki durum için de, mutasyon oranı $P_m=1/4$ ($IP=4$) ve popülasyon büyüklüğü $n=14$ olacaktır.

Seçim yöntemi olarak SUS [10] yöntemi, amaç



Sekil 4.b: Titresimli mutasyondan sonraki popülasyon.

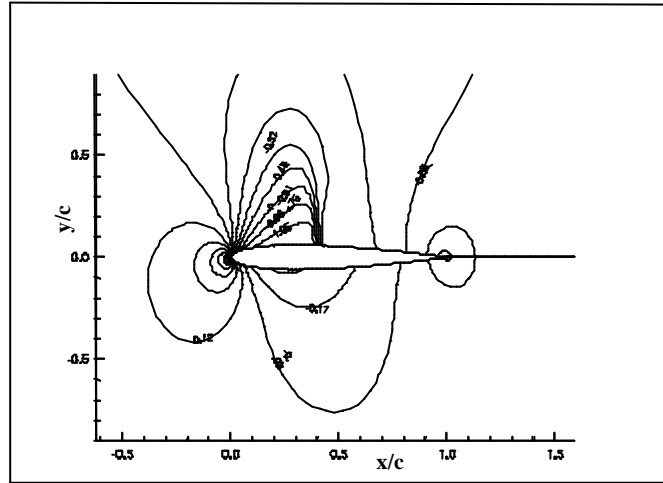
fonksiyonu olarak denklem (3) kullanılacaktır.

7. Sonuçlar

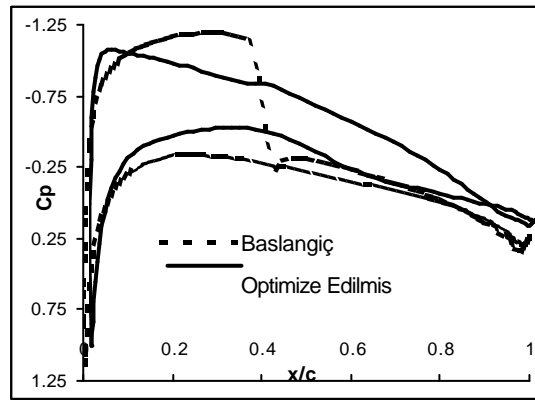
Durum-a: Verilen akim sartlari için bu profilin tasima ve sürükleme katsayilari $C_L=0.366$ ve $C_D=0.0147$ seklindedir. Bu oranlar aerodinamik verimlilik olarak (tasima/sürükleme) $L/D=24.8$ degerine karšilik gelir. Bu akim sartlari için NACA0012 profilinin es-basınç katsayisi çizgileri Sekil 5'de gösterildiđi gibidir. Sekillerden anlasilacagi gibi kanat profili üzerinde sok dalgasi vardir. Optimizasyon sonucunda elde edilen basınç katsayisi dagilimi Sekil 6'da, kanat profili Sekil 7'de, optimize edilmemis olanlarla karšilastirilmali olarak verilmistir. Elde edilen optimize edilmiř kanat profiline ait es-basınç katsayisi çizgileri Sekil 8'deki gibidir. Sekil 6 ve 8'den de görüldüđü gibi, optimize edilen kanat profili üzerinde sok dalgasi

görülmemektedir. Bunun sonucu olarak elde edilen yeni profilin tasima ve sürükleme katsayilari $C_L=0.366$ ve $C_D=0.0105$ seklindedir. Optimize edilmiř profil için $L/D=34.8$ olup bu profilin aerodinamik verimliliđinde %40 bir artisa karšilik gelmektedir.

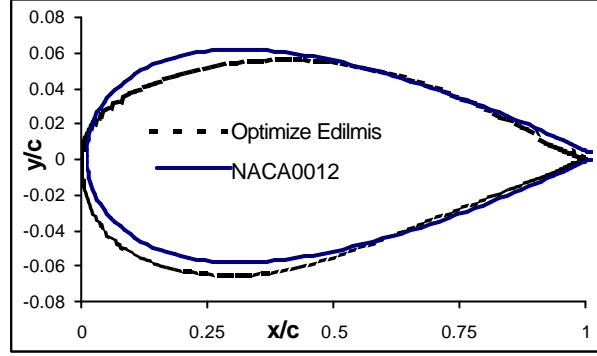
Yukarida belirtilmiř olan iki farkli strateji ile yapilan optimizasyon alıřmalarina ait sonuç Sekil 9'da verilmiřtir. Bu sekin yatay eksenini yapılan HAD hesabi sayisini, düsey eksen erisilen en iyi uygunluk degerini göstermektedir. Sekilden de görüldüđü gibi 34.8 uygunluk degerine ulasmak için klasik GA (Strateji I, ST-I) ile 1740 HAD hesabi yapmak gerekirken, TGA (ST-II) ile 742 adet HAD hesabi yeterli olmuřtur. Her iki stratejiye ait sonuç karšilastirilirse, TGA ile %58 daha az HAD hesabi ile ayni uygunluk degerine ulasildiđi görülmektedir.



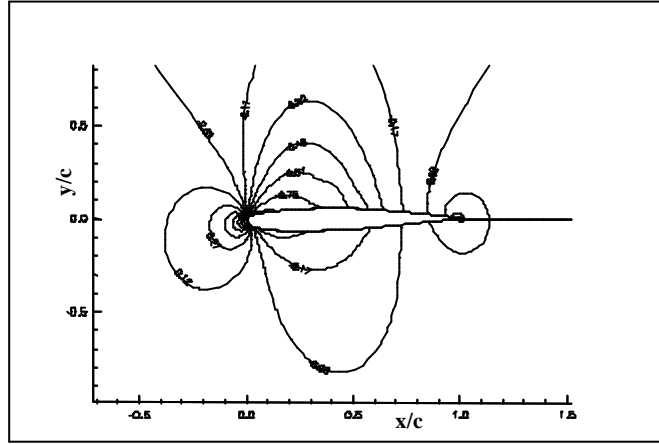
Sekil 5: NACA0012 için $M=0.75$ ve 2° hücum aisinda (Reynolds sayisi $Re_c=6.5 \times 10^6$) es-basınç katsayisi çizgileri.



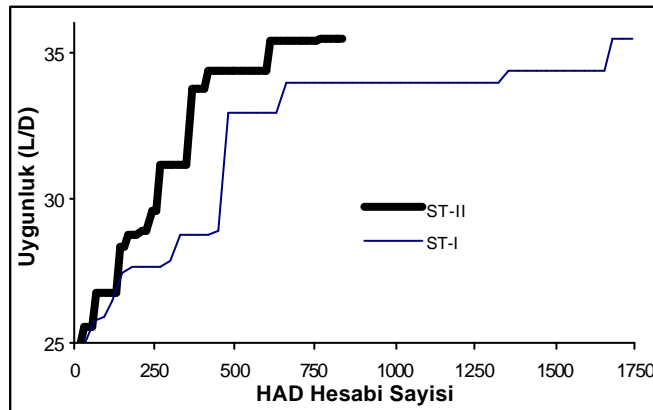
Sekil 6: Optimizasyon sonunda ulařilan basınç katsayisi dagilimi (Durum-a).



Sekil 7: Optimizasyon sonunda ulasilan kanat profili (Durum-a).



Sekil 8: Optimize edilen profil için $M=0.75$ ve 2° hücum açısında (Reynolds sayısı $Re_c=6.5 \times 10^6$) es-basınç katsayısı çizgileri (Durum-a).



Sekil 9: TGA (ST-II) ve klasik GA (ST-I) ile yapılan optimizasyon süreçlerinin karşılaştırılması (Durum-a).

Durum-b: Verilen akim sartlari için bu profilin aerodinamik parametreleri Duruma'da verilmistir. NACA0012 bu kez kalinlik orani sabit tutulmadan optimize edilmistir. Elde edilen optimize edilmiş kanat profiline ait basınç katsayisi dagilimi Sekil 10'da; elde edilen kanat profili Sekil 11'de ve es-basinç katsayisi çizgileri Sekil 12'de verilmistir. Üzerindeki sok dalgasi yok edildikten sonra, elde edilen yeni profilin tasima ve sürüklenme katsayıları $C_L=0.371$ ve $C_D=0.0055$ olarak ortaya çıkmistir. Bu degerlere göre optimize edilmiş profil için $L/D=67.5$ olup, bu deger profilin aerodinamik verimliliğinde %171 oranında bir artisa karsilik gelmektedir. NACA0012 için kalinlik orani $t/c=0.12$ iken, elde edilen kanat profilinin kalinlik orani $t/c=0.056$ olmustur.

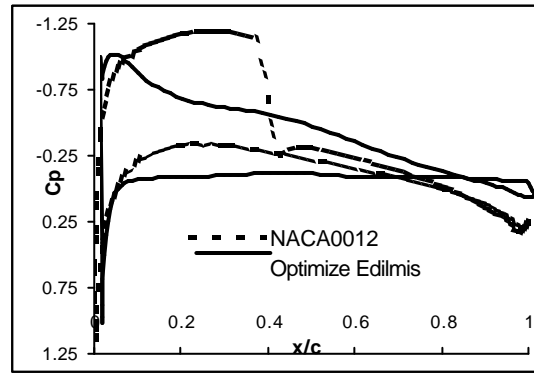
Yukarıda belirtilmiş olan iki farklı strateji ile yapılan optimizasyon çalışmalarına ait sonuç Sekil 13'de verilmistir. Sekilden görüldüğü gibi, TGA (ST-II) kullanıldığında 1500 HAD hesabi ile 67.5 uygunluk degerine ulasılabilirken, klasik GA (Strateji I, ST-I) kullanıldığında 1800 HAD hesabi sonunda ancak 61.7 uygunluk degerine ulasılabilmiştir. Sekil 6.9 incelendiğinde, TGA uygulamasında 61.7 uygunluk degerinin 798 HAD hesabi sonunda elde edildiği görülecektir. Buna göre, her iki stratejiye ait sonuç karsilastirilirse, aynı uygunluk degerine ulasmak için TGA ile %56 daha az HAD hesabi gerektiği; ve aynı

sayıdaki HAD hesabi ile TGA'nin daha iyi uygunluk degerlerine ulasabildiği görülmektedir.

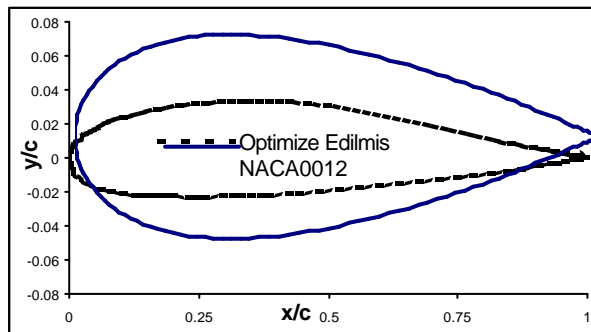
8. Analiz ve sonuç

Yapılan bu çalışma ile TGA, transonik kanat profili optimizasyonuna basariyla uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, öngörümüş olduğu gibi TGA'nin, klasik GA'ya göre daha etkin olduğunu ve daha az sayıda işlemle (HAD hesabi) optimizasyon yapmaya olanak sağladığını göstermektedir. Buradan verilen sonuçlara göre, HAD hesabi sayısı, %55-60 civarında azaltılmıştır. GA ile yapılan aerodinamik dizayn ve optimizasyon çalışmalarında, en fazla zaman alan kısmın HAD hesabi olduğu için, optimizasyon için harcanan süre de aynı oranlarda azaltılmıştır. Buna göre, TGA kullanımıyla, daha hızlı bir şekilde aerodinamik dizayn ve optimizasyon yapabilmek mümkün olacaktır.

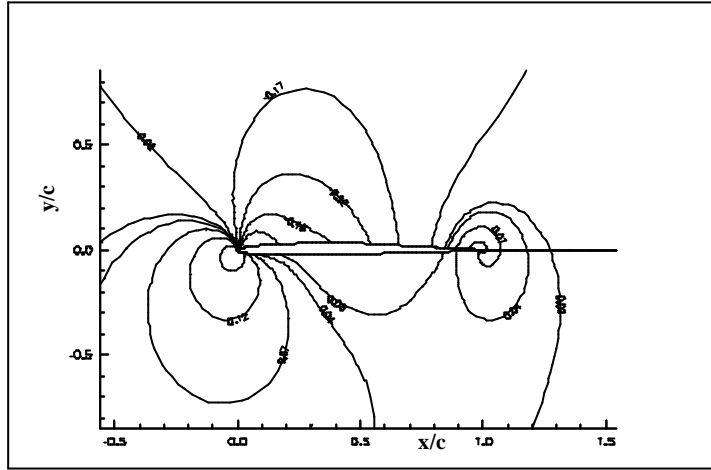
Sonuç olarak, daha önceki çalışmamızda [6] tersten kanat profili dizaynı için etkinliği gösterilmiş olan TGA; kanat profili optimizasyonunda da başarılı olmasının yanında, Ermis ve diğerlerinin [13] yaptığı gibi, başka mühendislik problemlerine de uygulanabilecek, GA'nin arama/bulma gücünü arttıran ve daha az işlemle sonuca ulaşmasını sağlayan, etkin bir yöntemdir.



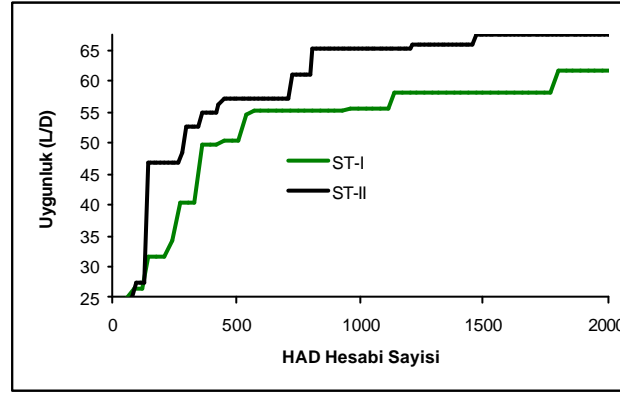
Sekil 10: Durum-b için yapılan optimizasyon sonucunda elde edilen basınç katsayisi dagilimi.



Sekil 11: Durum-b için yapılan optimizasyon sonucunda elde edilen kanat profili.



Sekil 12: Optimize edilen profil için $M=0.75$ ve 2° hücum açısında (Reynolds sayısı $Re_c=6.5 \times 10^6$) es-basınç katsayısı çizgileri (Durum-b).



Sekil 13: TGA (ST-II) ve klasik GA (ST-I) ile yapılan optimizasyon süreçlerinin karşılaştırılması (Durum-b).

9. Kaynaklar

- [1] Falco, I. D., Cioppa, A. D., Balio R. D. and Tarantino, E., "Breeder Genetic Algorithms for Airfoil Design Optimisation", IEEE Int. Conf. On Evolutionary Computing, Nagoya, Japan, 1996.
- [2] Mühlenbein, H. and Schlierkamp-Voosen, D., "Predictive Models for the Breeder Genetic Algorithm I. Continuous Parameter Optimization", Evolutionary Computation 1, pp. 25-49, 1993.
- [3] Falco, I. D., Cioppa, A. D., Lazzetta A. and Tarantino, E., " M_{ij} Mutation Operator for Airfoil Design Optimisation", Soft Computing in Engineering Design and Manufacturing, Springer Verlag, pp. 211-220, 1998.

[4] Vicini, A. and Quagliarella, D., "Airfoil and Wing Design Through Hybrid Optimization Strategies", AIAA Journal, Vol. 37, No. 5, 1999.

[5] Tse, D.C.M., and Chan, L.Y.Y., "Application of Micro Genetic Algorithms and Neural Networks for Airfoil Design Optimization", RTO MP-035 RTO-MP-035 Aerodynamic Design and Optimisation of Flight Vehicles in a Concurrent Multi-Disciplinary Environment, 1999.

[6] Hacıoğlu, A. and Özkol, I., "Vibrational Genetic Algorithm as a New Concept in Aerodynamic Design", Aircraft Engineering and Aerospace Technology, Vol. 74, No. 3, pp. 228-236, 2002.

[7] Hacıoğlu, A. and Özkol, I., "Modified BLX-?: Double Directional Alpha Method", Proceedings of the Sixteenth

International Symposium On Computer And Information Sciences (ISCIS XVI), 5-7 November, 2001.

[8] Obayashi, S., Takanashi, S. and Takeguchi, Y., “*Niching and Elitist Model for MOGAs*”, Paralel Problem Solving from Nature-PPSN V, Lecture Notes in Computer Science, Springer, pp. 260-269, 1999.

[9] Eshelman, L.J. and Schaffer, J. D., “*Real Coded Genetic Algorithms and Interval Schemata*”, Foundations of Genetic Algorithms 2, Morgan Kaufmann Publishers, pp. 187-202, 1993.

[10] Baker, J. E., “*Reducing Bias and Inefficiency in the Selection Algorithm*”, Proceedings of the Second International Conference on Genetic Algorithms, Morgan Kaufmann Publishers, pp.14-21, 1987.

[11] Hacıoğlu, A., “*Interactive Solution Procedure for Full Potential and Boundary Layer Equations*”, Havacılık Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, 1997.

[12] Cebeci, T. and Bradshaw, P., “*Physical and Computational Aspect of Convective Heat Transfer*”, Springer-Verlag, New York, 1994.

[13] Ermis, M., Ülengin, F. and Hacıoğlu, A., “*Vibrational Genetic Algorithm (VGA) For Solving Continuous Covering Location Problems*”, Lecture Notes in Computer Science, Volume 2457, pp 293-302, 2002.

Biyografi:

Abdurrahman Hacıoğlu İTÜ Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi Uçak Mühendisliği bölümünden 1991 yılında mezun oldu. 1991-1995 yılları arasında Kayseri 2.HİBM K.ligında görev yaptı. 1995-1997 yılları arasında ODTÜ Havacılık Mühendisliğinde yüksek lisans eğitimini tamamladı. Akiskanlar Mekanigi, Hesaplamalı Akiskanlar Dinamigi, Genetik Algoritmalar ve Optimizasyon konulari ile ilgilenmektedir. 1998 yılından beri, Hava Harp Okulu Dekanligi, Havacılık Mühendisliği bölümünde öğretim elemanı olarak görev yapmakta ve İTÜ Uçak Mühendisliği bölümünde doktora eğitimine devam etmektedir.

İbrahim Özkol 1962 yılında İzmir’de doğdu. İTÜ Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi Uçak Mühendisliği bölümünden 1985 yılında mezun oldu. Aynı bölümdeki yüksek lisans ve doktora eğitimlerini 1988 ve 1992 yıllarında tamamladı. İsi Transferi, Akiskanlar Mekanigi, İleri Dinamik, Genetik algoritmalar ve Optimizasyon Teknikleri konulari ile ilgilenmektedir. 1995 yılından beri İTÜ Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi Uçak Mühendisliği bölümünde Doçent öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır.