

LÜLE TASARIMINDA YAPAY ZEKA KULLANIMI

Abdurrahman HACIOĞLU

HHO Dekanlığı Havacılık Mühendisliği Bölümü,
34149, Yeşilyurt, İstanbul
hacioglu@hho.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, belli bir akış şartını sağlayan lüle geometrisinin tasarlanması problemi ele alınmıştır. Lüle içerisindeki transonik ve sesüstü akış için sanki bir boyutlu Euler denklemlerinin, sonlu hacim ve Roe akı ayırma yöntemleri kullanılarak çözümleri yapılmıştır. İstenilen akış şartlarını sağlayan lüle geometrisinin elde edilmesi için yapay zeka yöntemi olarak, yapay sinir ağı ile güçlendirilmiş bir genetik algoritma kullanılmıştır. Bu teknikle yapay sinir ağı, genetik sürecin her adımında, lüle geometrisini tahmin etmek için kullanılmış ve bu şekilde genetik işlemlerle üretilen popülasyon güçlendirilmiştir. Süpersonik akış koşullarında yapılan uygulamalar, kullanılan algoritmanın hedeflenen lüle geometrisini çabuklukla elde etmede başarılı olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Lüle Tasarımı, Yapay Sinir Ağı, Genetik Algoritma.

Using Artificial Intelligence in Nozzle Design

ABSTRACT

In this study, nozzle shape development problem is investigated. Nozzle flow analysis is performed by using quasi one dimensional Euler equations, which are solved by using finite volume technique and Roe flux splitting scheme. Nozzle geometry is constructed to get desired flow by utilizing an augmented genetic algorithm with artificial neural networks. In this algorithm, a properly trained neural network is used for predicting the nozzle shape instead of predicting its computational fluid dynamics calculation. At each step of the genetic process, by using the target flow solution as an input the trained neural network produces a nozzle shape, which is a candidate solution of the problem. Adding this candidate to the population improves the exploration power of the genetic process. The results indicate that the nozzle design can be performed successfully and quickly by using the implemented algorithm.

Key Words: Nozzle Design, Neural Network, Genetic Algorithm.

1. GİRİŞ

Yapay Sinir Ağları (YSA), aerodinamik konfigürasyon ile buna karşılık gelen aerodinamik performans arasındaki doğrusal olmayan ilişkiyi başarıyla taklit edebildikleri için, aerodinamik tasarım çalışmalarında sıklıkla kullanılırlar. YSA'nın aerodinamik tasarım çalışmalarında değişik kullanım şekilleri vardır. Bazı çalışmalarda YSA doğrudan tasarım probleminin çözümü için kullanılır. Örnek olarak, Hazarika ve diğerleri [1] YSA kullanarak tersten kanat profili tasarımı yapmışlar; Rai ve Madavan [2] türbin kanatçığının tasarımında; Papila

[3] süpersonik türbin optimizasyonunda YSA kullanmışlardır. Bir kısım başka çalışmada ise YSA, doğrudan tasarım probleminin çözümü için kullanılmaz. Bunun yerine doğrudan çözüm için bir başka yöntem, çoğunlukla genetik algoritma (GA) kullanılır. YSA ise verilen bir aerodinamik konfigürasyona ait performansın yaklaşık hesabını yapmada kullanılır. Bu tarz uygulama ile, GA için yapılması gereken Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) hesabının bir kısmı YSA ile yaklaşık olarak yapılır. Böylece çok fazla zaman alan gerçek HAD hesabı sayısı azaltılarak toplam tasarım süresi kısaltılır. Tse ve Chan [4], YSA'nın bu tarz kullanımı

ile mikro GA'nın tersten ve doğrudan kanat profili tasarımına uygulamasını yapmış; Giannakoglou [5], GA'ların hızlandırılması için bir metodoloji geliştirmiştir.

Bu çalışmada; YSA, GA içerisinde farklı bir teknikte kullanılmıştır. Daha önce [6]ve [7] ile tersten kanat profili tasarımına uygulaması yapılan ve *Yapay Sinir Ağı İle Güçlendirilmiş Genetik Algoritma* (YGGA) olarak isimlendirilmiş olan bu teknikte; YSA, GA içerisinde popülasyondaki bireylerin yaklaşık HAD hesabında kullanılmak yerine, genetik sürecin her bir adımında hedef çözümü sağlayan bireyi tahmin etmek için kullanılır. Tahmin edilen bu birey, genetik işlemlerle oluşturulan yeni popülasyona ilave edilerek, genetik sürecin bir sonraki adımına aktarılır. Bu teknikte YSA'nın her adım için çok başarılı bir birey (çözüm) üretmesi şart değildir. Bunun nedeni, YSA'dan gelen birey çok hatalı olsa bile, genetik sürecin başarısız bireyleri eleyerek süreç dışı bırakabilmesi ve daha az uygun bireylerden daha iyi bireyler üretebilecek olmasıdır. Yöntemin ayrıntıları 2. bölümde açıklanacaktır.

Bu çalışmada kullanılan GA, *Titreşimli Genetik Algoritma* (TGA)'dır. TGA yöntemi yazar tarafından yapılan doktora çalışmasında geliştirilmiş olup bunlara ait geniş bilgi [8]'de bulunabilir. TGA, daha sonra kısaca açıklanacaktır.

Dahili akış sistemleri için lüle tasarımı problemi yakın zamana kadar değişik yöntemlerle incelenmiştir. İbrahim ve diğerleri [9], bir boyutlu daimi Euler denklemlerini kullanarak, varyasyonel metodun, değişken kesitli lüle optimizasyona uygulamasını yapmışlardır. Wang ve Damodaran [10], paralel hesaplama yöntemleri ile Euler/Navier-Stokes çözücülerini ve tavlama benzetimi (simulated annealing) kullanarak, dahili akış sistemlerine ait aerodinamik optimizasyon üzerinde çalışmışlardır. Periaux ve diğerleri [11], oyun teorisi ve GA'yı birleştirerek lüle optimizasyonu problemine nasıl uygulandığını göstermişlerdir. Bu çalışmada ise YGGA'nın lüle tasarımı problemine uygulaması yapılarak etkinliği gösterilecektir. HAD hesabı, sanki bir boyutlu Euler denklemlerinin sonlu hacim çözümleri ile yapılacaktır.

2. HAD YÖNTEMİ

Lüle içerisindeki sanki bir boyutlu akış için daimi olmayan Euler denklemi kullanılacaktır. Akışkanlar dinamiği problemleri genel olarak iki yada üç boyutlu olmasına karşın, bir boyutlu çözümlerin de pek çok faydası vardır. Sayısal olarak çok çabuk yapılabilen, iki ve üç boyutlu akışlarla ilgili çoğu zor unsuru içeren bir boyutlu çözümler, eğitim ve akademik araştırma amaçlı kullanıma çok uygundur. Bir boyutlu zamana bağlı Euler denklemi korunumlu formda [12]'de aşağıdaki gibi verilir:

$$\frac{\partial}{\partial t}(S\bar{Q}) + \frac{\partial \bar{E}}{\partial x} - \bar{H} = 0 \quad (1)$$

Burada S kesit alanı olup, korunumlu değişkenler, ρ akışkanın yoğunluğu; u hızı; e birim kütle başına toplam iç enerjisi ve p basıncı olmak üzere;

$$\bar{Q} = \begin{bmatrix} \rho \\ \rho u \\ \rho e \end{bmatrix} \quad \bar{E} = \begin{bmatrix} \rho u \\ \rho u^2 + p \\ (\rho e + p)u \end{bmatrix} \quad \bar{H} = \frac{dS}{dx} \begin{bmatrix} 0 \\ p \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

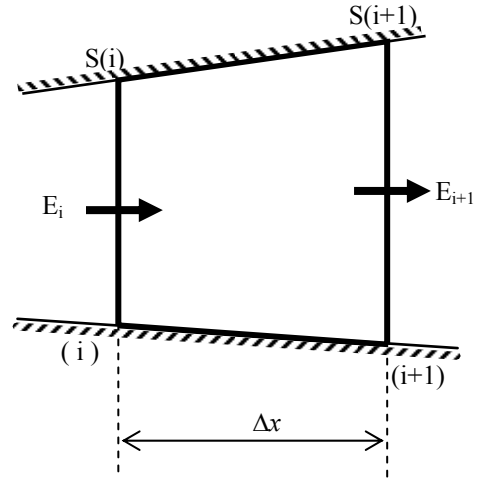
ile tanımlanır. Şekil 1'deki akışkan elemanı kullanılarak denklem (1) için sonlu hacim yöntemi uygulandığında;

$$\iint_A \frac{\partial}{\partial t}(SQ) dA + \iint_A \frac{\partial E}{\partial x} dA = \iint_A HdA = 0 \quad (3)$$

yazılır ve çözüm için aşağıdaki sonlu hacim denklemini elde edilir:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} + \frac{1}{\Delta x} \left[E_{i+1/2} \frac{S_{i+1/2}}{S_i} - E_{i-1/2} \frac{S_{i-1/2}}{S_i} \right] - \frac{1}{S_i} H_{i+1/2} = 0 \quad (4)$$

Bu denklem, kullanılacak akı hesaplama yönteminin başarısı ölçüsünde geçerli olacaktır. Sonlu hacim çözümünde, Şekil 1'de gösterilen akışkan elemanının sağ ve sol sınırlardaki akı teriminin hesabı için Roe akı ayırma yöntemi [13] kullanılacaktır.



Şekil 1. Sanki bir boyutlu akışkan elemanı.

3. LÜLE TASARIMI PROBLEMİNİN TANIMI

Ele alınacak olan tasarım probleminde, Akış doğrultusu boyunca tanımlanmış olan belli bir Mach sayısı dağılımı sağlayan simetrik bir lüle geometrisi bulunması amaçlanmaktadır. Lüle geometrisi, akış eksenine boyunca kesit alanının değişimiyle ifade

edilecektir. Bu problem için minimize edilecek olan amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$F(X) = \int (M - M_t)^2 dx \quad (5)$$

Burada M , lüle simetri eksenini boyunca hesaplanan; M_t hedeflenen Mach sayısı dağılımı; X tasarım parametreleri ve x , aynı zamanda akış doğrultusu olan simetri eksenidir. GA işlemlerinde kullanılacak olan uygunluk fonksiyonu ise;

$$\phi(X) = \frac{1}{F(X)} \quad (6)$$

olarak tanımlanacaktır. Bu durumda problemimiz bir en büyükleme problemine dönüşür. Bir başlangıç lüle geometrisi önerilerek tasarım probleminin çözümüne başlanır. Hedef Mach sayısı dağılımı, simetri eksenini doğrultusunda kesit alanı değişimi ft^2 olarak, [12]'de

$$S(x) = 1.398 + 0.347 \tanh(0.8x - 4) \quad (7)$$

şeklinde tanımlanan lüleden elde edilecektir. Lüle boyu $L=10$ ft alınacaktır. Lüle kesitinin birim genişlikte dikdörtgen olduğu kabul edilirse, kesit yüksekliği ft boyutunda S olacaktır. Başlangıç lüle şekli, girişten çıkışa doğru doğrusal olarak genişleyen birim genişlikteki dikdörtgen kesitli bir boru ile tanımlanacaktır. Lüle geometrisi, aşağıdaki bağıntı ile verilen Bezier eğrisiyle ifade edilecektir.

$$y(t) = \sum_{i=0}^m \frac{m!}{i!(m-i)!} t^i (1-t)^{m-i} x_i \quad (8)$$

Burada y , lüle kesitinin yerel yüksekliği; x_i ise, tasarım parametreleri olan, kontrol noktalarıdır. Bu uygulamada lüle geometrisi iki Bezier eğrisinin birleşimi ile oluşturulacaktır. İlk Bezier eğrisi için t , $[0,0.5]$ aralığında; ikinci Bezier eğrisi için $[0.5,1]$ aralığında yeknesak olarak değişecektir. Bir Bezier eğrisi için beş kontrol noktası ($m=4$) kullanılacaktır. Lüle giriş ve çıkış kesitleri için kontrol noktaları (x_0 ve x_9) sabit tutulacak (başlangıç lülesiyle aynı); lüle geometrisinin sürekliliği açısından iki Bezier eğrisinin bağlantı noktasındaki kontrol noktaları da birbirine eşit olacaktır ($x_4 = x_5$). Buna göre toplam tasarım parametresi sayısı 7'dir. Mach sayısı dağılımları akış doğrultusunda yeknesak olarak dağılmış 201 noktada hesaplanacaktır. Amaç fonksiyonunun en küçükleme ve arzu edilen lüle geometrisinin elde edilmesi için YGGA kullanılacaktır. Elde edilen lüle geometrisi ile hedeflenen geometri karşılaştırılarak kullanılan algoritmanın etkinliği araştırılacaktır.

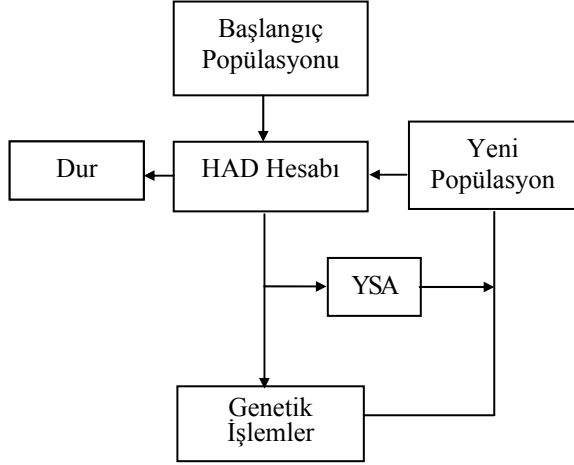
4. YGGA

YGGA yönteminde YSA, genetik sürecin her adımında bir tane aday çözüm üretmesi için kullanılır. Genetik süreçte kullanılan popülasyon içerisindeki bireyler (lüle geometrileri) ve bunlara ait HAD çözümleri (Mach sayısı dağılımları) YSA'nı eğitmek için, eğitim seti olarak kullanılır. Bu yapılırken Mach sayısı dağılımları girdileri, bunların ait oldukları lüle geometrileri (kontrol noktaları) çıktıları oluşturur. Eğitilmiş olan YSA, genetik sürecin o adımı için, tasarım probleminin girdisi olan hedef Mach sayısı dağılımını kullanarak bir lüle geometrisi üretir. Üretilen bu lüle, genetik işlemciler tarafından üretilmiş olan yeni popülasyona dahil edilerek bir sonraki adımda onlarla birlikte kullanılır. Genetik sürecin herhangi bir adımında, YSA'nın yapacağı yeterince iyi bir tahmin hedeflenen sonucu verebilecektir. Bununla birlikte, genetik sürecin ilk adımlarında, popülasyon hedef çözüme yeterince yakın olmayacağı için, bunların kullanılmasıyla eğitilecek olan YSA, hedef çözüme göre yeterince iyi tahmin yapamayacaktır. Diğer taraftan, YSA'nın yapacağı tahmin, muhtemelen genetik sürecin o adımda çıkartacağı en iyi bireyden daha iyi olabilecektir. Bu böyle olduğu zaman, YSA'nın ürettiği birey daha baskın olacak ve popülasyonun daha hızlı gelişmesini sağlayacaktır. Bu durumda da GA, YSA'dan gelen bireyle güçlendirilen popülasyondan daha iyi bir popülasyon üretecektir. Daha iyi bir popülasyon, hedef çözüme daha yakın olacağından, genetik süreç ilerlerken YSA için daha iyi bir eğitim seti elde edilmiş olacaktır. Bu, YSA'nın daha az hatalı bir birey üretmesini sağlayacak; YSA'dan gelecek daha az hatalı birey ile de GA daha iyi bir popülasyon üretecektir. Sonuç olarak, bu karşılıklı pozitif etkileşim genetik süreci oldukça hızlandıracak ve hedeflenen sonucun daha az işleme elde edilebilmesini sağlayacaktır..

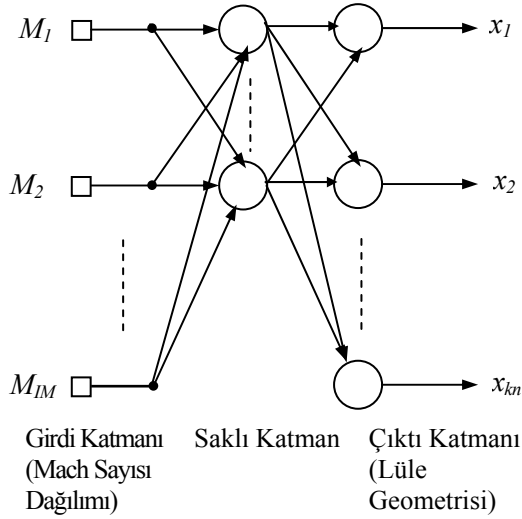
Blok diyagramı Şekil 2'de gösterilen YGGA'nın ana adımlarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- İlk olarak, popülasyondaki bireylere (lüleler) ait HAD hesapları yapılarak, Mach sayısı dağılımları ve uygunluk değerleri belirlenir ve genetik işlemler yapılarak yeni popülasyon üretilir.
- İkinci olarak, popülasyondaki lüleler ve bunlara ait Mach sayısı dağılımları kullanılarak YSA eğitilir. Eğitim sırasında Mach sayısı dağılımları girdi, lüle geometrileri çıktı olarak kullanılır.
- Son olarak, hedef Mach sayısı dağılımı girdi olarak kullanılarak eğitilmiş olan YSA'dan bir lüle elde edilir ve genetik sürecin bir sonraki adımında kullanılmak üzere, genetik işlemcilerle elde edilen popülasyona ilave edilir.

Bu işlemler hedeflenen çözüm elde edilinceye kadar genetik sürecin her adımında tekrarlanır.



Şekil 2. YGGA'nın blok diyagramı.



Şekil 3. Kullanılan YSA'nın (BPNN) yapısı.

Bu çalışmada kullanılan YSA geriye yayımlı yapay sinir ağı (back propagation neural network, BPNN) [14] olup; bu BPNN'de, saklı katmanda doğrusal olmayan sigmoid transfer fonksiyonu ve doğrusal çıktı katmanı kullanılmıştır. Bu YSA'nın yapısı Şekil 3'de gösterilmiştir. Yukarıda belirtildiği gibi, eğitim setinde $IM=201$ noktada hesaplanan Mach sayısı dağılımları girdileri, $kn=7$ tasarım parametresi (kontrol noktaları) ile temsil edilen lüleler de çıktıları oluşturmaktadır. YSA'nın kullandığı bu eğitim seti, genetik sürecin her adımında, o adımdaki popülasyon ve HAD çözümlerinden elde edilir. Eğitim sonucu elde edilen YSA'ya ait parametreler (ağırlıklar) korunarak, bir sonraki adımdaki YSA eğitiminde başlangıç değerleri olarak kullanılır. Bu işlem, YSA'nın eğitim hatalarını azaltarak, daha etkin tahmin yapmasını sağlar [4].

5. TİTREŞİMLİ GENETİK ALGORİTMA

Titreşimli Genetik Algoritma (TGA) etkin bir çeşitlilik ile arama/bulmayı sağlaması nedeniyle, GA'nın yakınsama performansını artıran bir yöntemdir. *Titreşimli Çaprazlama* ve *Titreşimli Mutasyon* olarak iki ayrı teknikten oluşur. Bu tekniklerin ayrıntıları [8] ve [15]'de verilmiştir.

Titreşimli mutasyon yenilemeden hemen sonra uygulanır. Uygulama, genetik sürecin başlangıcından itibaren periyodik olarak gerçekleştirilir. İlk adımı takiben, genliği rasgele bir şekilde değişen bir dalga popülasyona etki ettirilir. Titreşimli mutasyon sırasında, popülasyondaki bütün kromozomların (bireyler) tüm genleri aşağıda ifade edilen dalgaya bağlı olarak mutasyon geçirirler.

$$x_i^m = x_i^m \cdot [1 + w1 \cdot MA \cdot (0.5 - u)]$$

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

$$i = 1, \dots, kn$$
(9)

Burada x_i gen (kontrol noktası), kn kromozomdaki toplam gen sayısı (tasarım parametreleri), n popülasyondaki toplam birey (kromozom) sayısı, MA ana genlik, u $[0,1]$ aralığında rasgele bir reel sayı ve $w1$, bir civarında reel bir sayıdır.

Dalga uygulaması, ilk kromozomun belirli bir sırasındaki genden başlar ve 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. Ana genlik değeri MA genetik süreç boyunca aşağıdaki gibi belirlenir:

$$MA = \left[\frac{\log(1 + AF_0)}{\log(1 + AF_k)} \right]^r$$
(10)

AF_0 ve AF_k sırasıyla genetik sürecin başlangıç adımındaki ve içinde bulunulan adımındaki ortalama uygunluk değerleri olup r reel bir sayıdır. Denklem (10)'daki r , MA değerinin azalma hızını belirler.

6. UYGULAMA VE SONUÇLAR

Uygulama için aşağıdaki algoritmalar kullanılacaktır.

- i. A1: TGA
- ii. A2: TGA+YGGA

GA işlemlerinde popülasyon büyüklüğü 14 olacaktır. Çaprazlama metodu olarak $BLX-\alpha$ [16] metodu kullanılacak ve $\alpha = 0.5$ alınacaktır. Çaprazlama oranı, $P_c=1$ olup mutasyon oranı, titreşimli mutasyon uygulaması için $P_m=0.25$ ($IP=4$); denklem (9) ve (10)'daki $w1$ ve r değerleri 0.25 ve 2'dir. Seçim işlemi için Stokastik Tümel Örnekleme (*Stochastic Universal Sampling*, SUS) [17] yöntemi kullanılacaktır.

Sesüstü akış şartlarında tasarım: Hedef Mach sayısı dağılımı, (7) denklemi ile tarif edilen lülenin giriş kesitindeki Mach sayısı $M=1.5$ ve çıkış kesitindeki sesüstü kabul edildiğinde ortaya çıkacak olan dağılımdır.

Şekil 4, TGA (A1) ve YGGA (A2) ile yapılan tasarım çalışmalarına ait iterasyon özeti göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, aynı sayıdaki nesil üretimiyle A2 177000 uygunluk değerine ulaşırken; A1, 119000 değerine ulaşabilmiştir. Bu sonuç, A2'nin uygunluk değerini, A1'e göre %50 geliştirdiğini ifade etmektedir. Diğer taraftan, tasarım probleminin sonucuna yakınsama açısından yeterli bir büyüklük olan 100000 uygunluk değerine ulaşmak için A1 ile 127 nesil üretmek gerekirken, A2 ile 69 nesil üretmek yeterli olmuştur. Bu sonuç ise, A2 kullanıldığında yapılan HAD hesabı sayısının %46 azaldığını göstermektedir.

Şekil 5'te başlangıç lülesi ile, hedeflenen ve elde edilen lüneler gösterilmiştir. Burada düşey eksen, birim genişlikteki dikdörtgen olan lüle kesitinin yüksekliğini ifade etmektedir. Başlangıç lülesine, hedeflenen ve elde edilen lünelere ait Mach sayısı dağılımı Şekil 6'da verilmiştir. Ayrıca hedeflenen lüleye ait Mach sayısı dağılımının [12]'de verilen analitik çözümde de aynı şekil üzerinde gösterilmiştir.

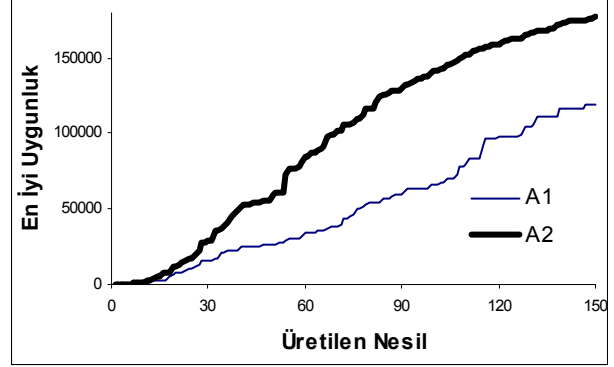
Transonik akış şartlarında tasarım: Transonik akış şartları için olan hedef Mach sayısı dağılımı, sesüstü akış şartları için tanımlanan durumda, çıkış kesitinde $M=0.43$ alınarak elde edilmiştir. Bu kez Şekil 7'den A2 ve A1'in 150000 ve 111000 değerlerine ulaştığı, dolayısıyla A2'nin uygunluk değerini %35 geliştirdiği görülmektedir. Diğer yandan 100000 uygunluk değerine ulaşmak için A1'de 131, A2'de ise 104 HAD hesabı gerekmesi, A2'nin HAD hesabı sayısını %21 azalttığını göstermektedir.

Performans açısından transonik akış şartları için elde edilen sonuçta bakıldığında, sesüstü akış için elde edilenlerden daha zayıf olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, lüle içerisinde oluşan şok dalgası nedeniyle çözüm bölgesinde meydana gelen süreksizliktir.

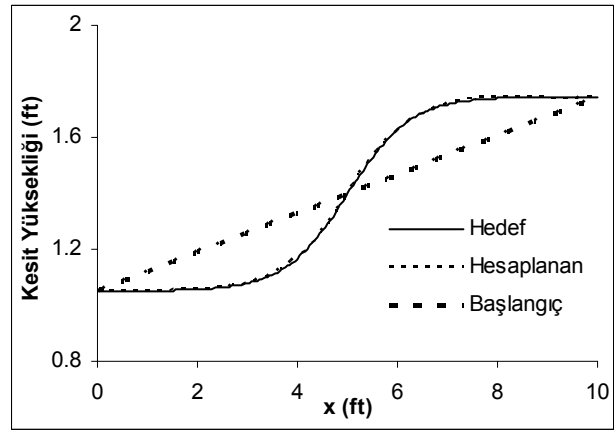
Transonik akış şartları için elde edilen lüle geometrisi, hedef ve başlangıç lüle geometrileri ile karşılaştırmalı olarak Şekil 8'de gösterilmiştir. Benzer olarak Şekil 9, hedeflenen, hesaplanan ve başlangıç lülesine ait Mach sayısı dağılımları ile, hedeflenen lüle geometrisine ait [12]'de verilen analitik Mach sayısı dağılımını göstermektedir.

Sesüstü ve transonik akış şartlarının her ikisi için de hesaplanan ve hedeflenen Mach sayısı dağılımlarının mükemmel uyumu, uygulanan tasarım algoritmalarının başarısını açıkça göstermektedir. Diğer taraftan, analitik çözüm ile, bu çalışmada kullanılan HAD çözücüsü tarafından üretilen hedef Mach sayısı dağılımları arasındaki uyum da kullanılan HAD yönteminin geçerliliğini ortaya koymaktadır.

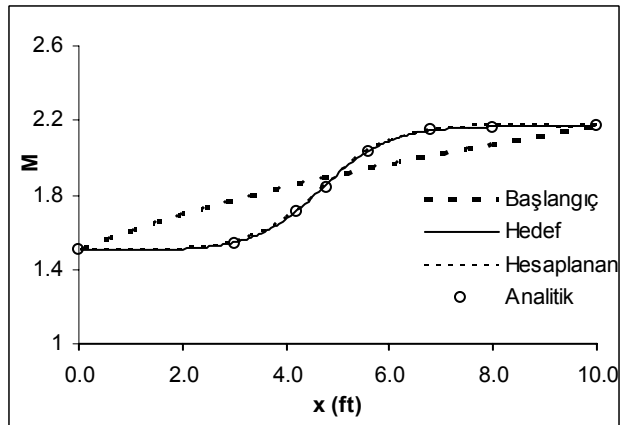
Elde edilen sonuçlara bakıldığında, lüle tasarımına uygulanan YGGA'nın (A2 algoritması), uygunluk değerini geliştirmede ve HAD hesabı sayısını



Şekil 4. İterasyon özeti (sesüstü akış).

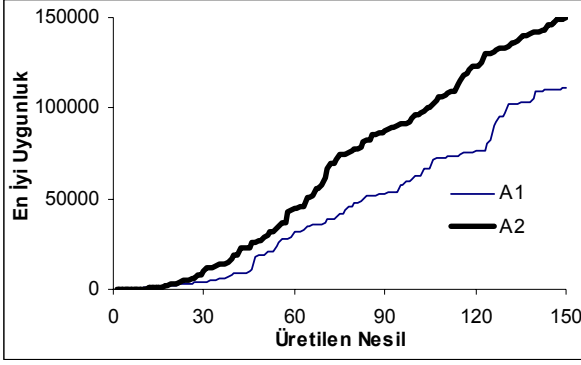


Şekil 5. Lüle geometrilerinin karşılaştırılması (sesüstü akış).

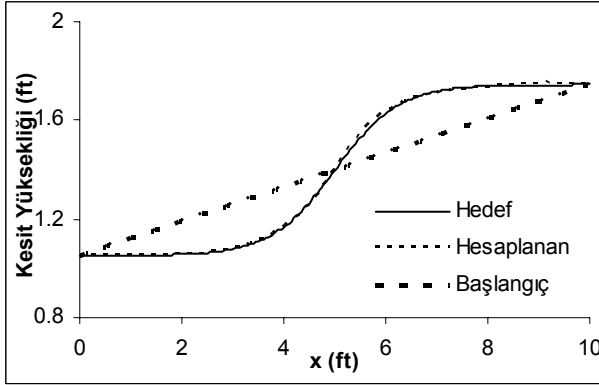


Şekil 6. Mach sayısı dağılımlarının karşılaştırılması (sesüstü akış).

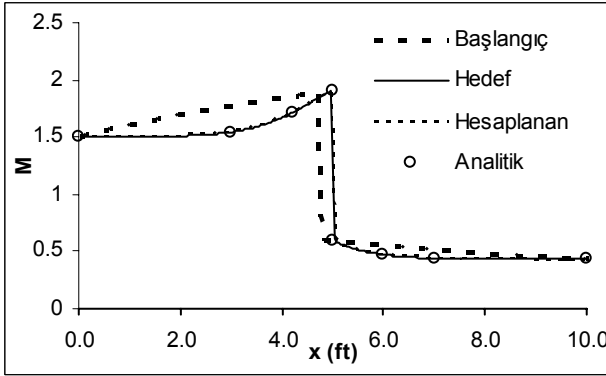
azaltmada oldukça etkili olduğu görülmektedir. Aerodinamik tasarım ve optimizasyon çalışmaları için cazip olan YGGA yönteminin başka mühendislik problemlerine uygulanması da mümkündür.



Şekil 7. İterasyon özeti (transonik durum).



Şekil 8. Lüle geometrilerinin karşılaştırılması (transonik akış).



Şekil 9. Mach sayısı dağılımlarının karşılaştırılması (sesüstü akış).

7. KAYNAKLAR

- [1] Hazarika, N., Tuncer, İ.H., and Lowe, D., "An Inverse Design Procedure for Airfoils Using Artificial Neural Networks", ICAS 1998.
- [2] Rai, M. M. and Madavan, N. K., "Aerodynamic Design using Neural Networks", AIAA Journal, Vol. 38, No. 1, 2000.
- [3] Papila, N., "Neural Network and Polynomial-Based Response Surface Techniques for Supersonic Turbine Design Optimization", PhD thesis, University of Florida, 2001.
- [4] Tse, D.C.M. and Chan, L.Y.Y., "Application of Micro Genetic Algorithms and Neural Networks for Airfoil Design Optimization", RTO MP-035 *Aerodynamic Design and Optimization of Flight Vehicles in a Concurrent Multi-Disciplinary Environment*, 1999.
- [5] Giannakoglou, K. C., "Acceleration GAs using ANN- Theoretical Background," GAs for Optimization in Aeronautics and Turbomachinery, von Karman Institute for Fluid Dynamics, Lecture Series 2000-07.
- [6] Hacıoğlu, A., "Yapay Sinir Ağı İle Güçlendirilmiş Genetik Algoritma ve Tersten Kanat Profili Dizaynı", HUTEN Havacılık ve Uzak Teknolojileri Dergisi, Cilt 1, Sayı 3, 2004.
- [7] Hacıoğlu, A., "Yapay Sinir Ağı ve Genetik Algoritma Kullanarak Hızlı Aerodinamik Dizayn", Kayseri 5. Havacılık Sempozyumu, 2004, pp. 39-43.
- [8] Hacıoğlu, A., "Aerodinamik Dizayn ve Optimizasyonda Genetik Algoritma Kullanımı," Uçak Mühendisliği Programı Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2003.
- [9] Ibrahim, A.H., Hou, G.J.W, Surandra, N.T. and Smith, R.E., "Aerodynamic Design Optimization Using Euler Equations and Variational Methods", Computer and Fluids, Vol. 31, 2002, pp. 227-243.
- [10] Wang, X. and Damodaran, M., "Aerodynamic Shape Optimization Using Computational Fluid Dynamics and Parallel Simulated Annealing Algorithms", AIAA Journal, Vol. 39, No. 8, 2001.
- [11] Periaux, J., Chen, H. Q., Mantel, B., Sefrioui, M, and Sui, H.T., "Combining Game Theory and Genetic Algorithms with Application To DDM- Nozzle Optimization Problems" Finite Elements in Analysis and Design, Vol. 37, 2001, pp.417-429.
- [12] Hoffmann, K.A. and Chiang, S.T., "Computational Fluid Dynamics for Engineers", Engineering Education System, Wichita, KS, Vol. 2, 1993.
- [13] Roe, P.L., "Approximate Riemann Solvers, Parameter Vectors, and Difference Schemes", Journal of Computational Physics, Vol.43, 1981, pp.347-372.
- [14] Rumelhart, D. E., Hinton, G. E., and Williams, R. J., "Learning Representations by Back Propagating Errors", *Nature*, 323, 1986, pp. 533-536.
- [15] Hacıoğlu, A. and Özkol, İ., "Transonic Airfoil Design and Optimisation by using Vibrational Genetic Algorithm," *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, Vol. 75, No 4, 2003.
- [16] Eshelman, L.J. and Schaffer, J. D., "Real Coded Genetic Algorithms and Interval Schemata," *Foundations of Genetic Algorithms 2*, Morgan Kaufmann Publishers, 1993, pp.187-202.

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

ÖZGEÇMİŞ

Hv.Dr.Müh.Bnb. Abdurrahman HACIOĞLU

İTÜ Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi Uçak Mühendisliği Bölümü'nden 1991 yılında mezun oldu. 1991-1995 yılları arasında Kayseri 2.HİBM K.lığında görev yaptı. 1995-1997 yılları arasında ODTÜ Havacılık Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimini; 1998-2003 yılları arasında İTÜ Uçak Mühendisliği Bölümü'ndeki doktora eğitimini tamamladı. Akışkanlar Mekaniği, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, Genetik Algoritmalar ve Aerodinamik Optimizasyon konuları ile ilgilenmektedir. Halen Binbaşı rütbesinde olup Hava Harp Okulu Dekanlığı, Havacılık Mühendisliği Bölümü'nde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır.