

Kanat dizaynında genetik algoritma ve dinamik ağ yöntemlerinin birleştirilmesi

Ergüven VATANDAŞ*, İbrahim ÖZKOL

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Uçak Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Bu çalışma titreşimli genetik algoritma yöntemini, dinamik ağ ve bir Euler akış çözücüsü ile birleştirerek üç boyutlu kanat modellerinin (Onera M6 kanadı) optimizasyonuna uygulamaktadır. Genetik prosesler sonucunda elde edilen üç boyutlu modeller için yeniden ağ yapısı (mesh) oluşturulmasında dinamik ağ yöntemi kullanılmıştır. Bunun için yazılan bilgisayar programıyla, sıfırdan ağ oluşturulmasına göre, yapı bozulmadan daha hızlı bir şekilde yeni ağ yapıları elde edilmiştir. Genetik Algoritmanın önemli özelliklerinden birisi bir noktadan yola çıkarak en iyiyi aramaması, aksine geniş bir topluluk içinden en iyilerini seçmesidir. Ancak Genetik Algoritmanın zayıf noktalarından biri, özellikle üç boyutlu geometriler için, işlemci zamanının çok fazla olmasıdır. Bu zamanın büyük bir bölümü de akış alanını çözen program tarafından kullanılmaktadır. Başlangıç modelinin profil şekli ve daha sonra sivrilik oranı değiştirilerek başlangıç popülasyonu elde edilmiştir. Her bir popülasyonda 14 farklı profil şekli ve sivrilik oranına sahip Onera M6 kanadı bulunmaktadır. İşlemci zamanından tasarruf sağlamak için program, önceki çözümleri başlangıç çözümü olarak kullanılmaktadır. Taşıma ile sürüklenme kuvvetlerinden yola çıkılarak uygunluk değerleri hesaplanmaktadır. Genetik algoritma bireyleri bu uygunluk değerlerine göre değerlendirmektedir. Uygunluk değeri yüksek olan bireyin seçilme şansı ve özelliklerinin sonraki nesillere aktarılma ihtimali yükselmektedir. Uygunluk fonksiyonu seçilirken, kanat modelleri belirli bir dizayn - taşıma kuvvetinden fazla uzaklaşmadan sürüklenme kuvvetlerini minimize edecek şekilde olmasına dikkat edilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde optimizasyon işleminin beklentilere uygun şekilde sürüklenme kuvvetini yaklaşık yüzde 25 oranında azalttığı gözlemlenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sezgisel algoritmalar, dinamik ağ, optimizasyon, ağ modifikasyonu.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Ergüven VATANDAŞ. e.vatandas@hho.edu.tr; Tel: (212) 6632490/4413.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Uçak Mühendisliği Programı'nda tamamlanmış olan "Three dimensional shape optimization of bodies subjected to air flow by heuristic algorithms" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 12.04.2006 tarihinde dergiye ulaşmış, 17.05.2006 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.08.2007 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Combining genetic algorithm and dynamic mesh technique in the wing design

Extended abstract

Today, evolutionary type of algorithms is entering in many engineering fields. This technique is required to create a population; once the population is created new members are obtained by modifying the previous ones. Recent developments in the computer technology and numerical algorithms let the researchers develop fast and powerful ways plugging the evolutionary type algorithms by which several parameters can be determined considering and satisfying many requirements simultaneously to find an optimum solution, i.e. a design fulfilling all requirements including in the fitness function in the design of aerodynamic shaped objects such as wing sections, airfoils, turbine blades or other lift producing surfaces. The time consuming flow solvers and gradient type optimization techniques have not been preferred recently. Instead of this, flow solvers are carried into parallel computing type machines and optimizations are carried out by evolutionary techniques.

In this study, Onera M6 wing has been optimized on two parameters, the wing section and the taper ratio by combining recent preferable approach i.e. parallel computing and evolutionary techniques. The dynamic mesh technique has been applied, for the first time, to determine the mesh structures of genetically obtained new members in the genetic algorithms. The Vibrational Genetic Algorithm is applied to 3-D wing optimization problems. To overcome some problems encountered in 3-D applications, such as large calculation time, flow solution difficulties, force calculations; some techniques like parallelization, purification and finite element numeric integration are employed, developed and adapted to this research. The code developed for this aim is robust and faster than the codes, which are only producing mesh by classical techniques. The flow solver ACER3D has been used to obtain the flow parameters for each member. Because the operating time of the program is very long, parallel processing has been used.

The Vibrational Genetic Algorithm (VGA) is a GA, which uses the vibration concept, in that, by

applying a vibrational mutation periodically to all individuals in a population; they are spread out over the design space. Therefore, it becomes possible to escape from local optimums and thus to obtain a global optimum quickly. This vibration strategy in the mutation is used after a recombination. The unstructured tetrahedral mesh is modified according to the change in wing sections by using dynamic mesh technique and for all members of a generation; new mesh structures have been calculated. Aerodynamic force, lift and drag, calculations have been done by using a finite element method. The pressure value for each triangular wall boundary face is taken as the average of the pressures on the corner nodes. Then the total forces are calculated by using a numerical integration. In the optimization process, there are 14 members in each generation. These are 14 Onera M6 wing planforms that have different wing sections. All of them are solved by ACER3D and their lift and drag forces are calculated. The best member is kept in each generation and carried into the next generation. So the best member found in each generation cannot be worse than the best member of the previous generation.

The CPU time of the first step in dynamic mesh method is approximately the same as the mesh generation time. However, at the later steps of dynamic mesh technique much less time is needed than the first step. Therefore, especially, if a lot of configurations are to be considered, the dynamic mesh method offers more advantage. From the results, it is observed that the optimization process is working as expected. The drag coefficient was reduced by about 25 percent. While this has been done, its lift coefficient is tried to be close to the design value determined at the beginning. This is done by arranging the fitness function. At the 30th generation, the difference between the lift coefficient of the best member and the design lift coefficient value is about 1 percent and the difference between thickness ratios is 3 percent. The taper ratio is getting smaller while the code is trying to minimize the drag force. But it cannot be reduced to very small values and is kept almost the same at the later steps, because the program should not only reduce the drag force but also hold the lift force close to the design value.

Keywords: Heuristic algorithms, dynamic mesh, optimization, grid modification.

Giriş

Günümüzde evrimsel algoritmalar mühendislik uygulamalarında gittikçe daha fazla yaygınlaşmaktadır. Bu yöntemde önce bir başlangıç popülasyonu oluşturulur; daha sonra yeni bireyler, öncekilerin üzerinde bir takım işlemler yapılmayla elde edilir. Bilgisayar teknolojilerindeki gelişmeler araştırmacıların bir çok parametreyi aynı anda hesaplayıp dikkate alabilen ve optimum bir sonuç arayan evrimsel algoritmalar gibi hızlı ve etkin yöntemler geliştirmelerine imkan sağlamıştır. Örneğin bir kanat yada türbin kanadı kesitine ait bir çok parametreyi içeren bir uygunluk fonksiyonunu sağlayan çözümün aranması gibi.

Özellikle üç boyutlu problemlerde çok uzun zaman gerektiren akış çözücü programlar ve gradyen esaslı yöntemler artık pek fazla tercih edilmemektedir. Bunların yerine paralel hesaplama yöntemleri ve evrimsel algoritmalar daha fazla ön plana çıkmıştır.

Bu çalışmada Genetik Algoritma kullanılarak Onera M6 kanadı optimize edilmiştir. Elde edilen üç boyutlu modeller için yeniden ağ yapısı (mesh) oluşturulmasında dinamik ağ (Batina, 1991) yöntemi kullanılmıştır. Bunun için yazılan bilgisayar programıyla, sıfırdan ağ oluşturan programlara göre, yapı bozulmadan daha hızlı bir şekilde yeni ağ yapıları elde edilmiştir (Vatandaş vd., 2003-2005; Vatandaş ve Özkol 2006).

Genetik Algoritma gibi sezgisel algoritmalar son yıllarda gittikçe güçlenmekte ve her geçen gün biraz daha popüler olmaktadır (Golberg, 1989). Genetik Algoritma yöntemi doğal genetik ve doğal seçim mantığına dayanmaktadır. Biyolojik popülasyonun çaprazlama, seçim ve mutasyon ile çevresine uyum sağladığını iddia eden Darwin teorisine benzetilerek geliştirilmiştir (Hacıoğlu ve Özkol 2002).

Genetik Algoritmanın önemli özelliklerinden birisi, bir noktadan yola çıkarak en iyiyi aramaması, aksine geniş bir topluluk içinden en iyilerini seçmesidir (Obayashi, vd. 1998).

Ancak Genetik Algoritmanın zayıf noktalarından biri, özellikle üç boyutlu geometriler için, işlemci zamanının çok fazla olmasıdır. Bu zamanın büyük bir bölümü de akış alanını çözen program tarafından kullanılmaktadır. Genetik işlemlere nazaran akışın çözülmesi çok daha fazla zaman kaybına sebep olmaktadır. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) ve bilgisayar teknolojisinde kaydedilen gelişmelerle, HAD, uçak dizayn işlemlerinin vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. HAD, rüzgar tüneli deneyleri gibi çalışmalarını azaltması nedeniyle, dizayn işlemlerinin süresini ve maliyetlerini düşürmektedir.

Ancak bilgisayar teknolojisindeki ilerlemelere rağmen özellikle işlemci zamanının azaltılması önemli bir problem olarak yerini korumaktadır. Aerodinamik dizayn problemlerinde değişen geometrilere çözüm ağı uydurmak için araştırmacılar farklı yöntemler geliştirmişlerdir. Bunlar 4 grupta toplanabilir:

- Kütle-yay-sönümlenme (MSD) sistemi
- Sınır elemanı yöntemi (BEM)
- Sonlu farklar yöntemi (FDM)
- Sonlu elemanlar yöntemi (FEM)

Bu çalışmada kullanılan MSD modeli aslında küçük parçalara bölünen açısız değişimler gibi geometri değişimlerine uygulanır. Ancak bu çalışmada genetik popülasyonlar arasındaki değişimlerin küçük olmasından yararlanılarak dinamik ağ yöntemi genetik algoritma için kullanılmıştır.

Dinamik ağ yöntemine genel bakış

Dinamik ağ yönteminde (Batina, 1990-1991) orijinal modele ait ağ yapısı, yeni modele uyum sağlayacak şekilde hareket ettirilir. Bu yapılırken ağ yapısındaki her bir üçgen piramit (tetrahedron)'in kenarları bir yay gibi modellenir. Yay sabiti, i ve j noktaları arasındaki kenarın uzunluğu ile ters orantılı olacak şekilde şu şekilde belirlenir:

$$k_m = 1/[(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 + (z_j - z_i)^2]^{1/2} \quad (1)$$

Dinamik ağ yöntemi için model üzerindeki noktaların hareketinin bir şekilde tanımlanması gerekir. En dış bölgedeki ağ noktaları ise sabit tutulur. Her bir zaman adımında, x, y ve z doğrultularındaki statik denge denklemi çözülür ve her bir i noktası için x, y ve z doğrultularındaki yer değişimleri δ_{xi} , δ_{yi} , ve δ_{zi} hesaplanır. Bu işlem bir “tahmin et – düzelt” yöntemiyle yapılır. İlk olarak aşağıdaki yöntemle bir önceki adımlardan yararlanılarak yer değişimleri için bir tahminde bulunulur.

$$\begin{aligned}\overline{\delta_{xi}} &= 2\delta_{xi}^n - \delta_{xi}^{n-1} \\ \overline{\delta_{yi}} &= 2\delta_{yi}^n - \delta_{yi}^{n-1} \\ \overline{\delta_{zi}} &= 2\delta_{zi}^n - \delta_{zi}^{n-1}\end{aligned}\quad (2)$$

Daha sonra Jacobi iterasyonları kullanılarak aşağıdaki statik denge denklemleri çözülür ve bu yer değiştirmeler düzeltilerek sonuca ulaşılır.

$$\begin{aligned}\delta_{xi}^{n+1} &= \frac{\sum k_m \overline{\delta_{x_m}}}{\sum k_m} \\ \delta_{yi}^{n+1} &= \frac{\sum k_m \overline{\delta_{y_m}}}{\sum k_m} \\ \delta_{zi}^{n+1} &= \frac{\sum k_m \overline{\delta_{z_m}}}{\sum k_m}\end{aligned}\quad (3)$$

Bu eşitliklerdeki toplama işlemi hesap yapılan i noktasının etrafındaki bütün komşu noktalarda yapılır. Daha sonrada i noktasının yeni yeri aşağıdaki gibi bulunur.

$$\begin{aligned}x_i^{n+1} &= x_i^n + \delta_{xi}^{n+1} \\ y_i^{n+1} &= y_i^n + \delta_{yi}^{n+1} \\ z_i^{n+1} &= z_i^n + \delta_{zi}^{n+1}\end{aligned}\quad (4)$$

Sezgisel algoritmalarda dinamik ağ yöntemleri

Şekil değiştiren cisimlerin davranışları çeşitli mühendislik alanları için önemli bir problemdir. Aerodinamik alanında viskoz olmayan akış tiplerinde, dinamik ağ yöntemi John T. Batina tara-

findan zamana bağlı Euler profil çözümlerinde (Batina, 1990) ve kompleks uçak aerodinamiği analizinde kullanılmıştır (Batina, 1991). Bu çalışmalarda, açısı yada şekli değiştirilen bir geometri için dinamik ağ yöntemiyle yeni ağ yapısı hesaplanmıştır.

Dinamik ağ metoduyla hücum açısı ya da şekli değişen bir uçak modeli için yeni ağ yapıları bulunabilir.

Genetik algoritmada örnek olarak, dinamik ağ yöntemi burulma açısı verilen kanat için ağ yapısının modifiye edilmesinde kullanılmıştır (Obayashi, vd., 1998). Özellikle üç boyutlu ortamlarda akışı çözen programların ağ üreten kısmı bulunmayabilmekte yada genetik algoritma sırasında üretilen çok sayıdaki model için her seferinde aynı oranda başarılı bir ağ üretimi gerçekleştirebilmekte yada bu işlem zaman alıcı olabilmektedir.

Bu ve benzeri nedenlerle, bu çalışmada hem bilgisayar zamanından tasarruf, hem de hesaplamalarda daha iyi performans elde etmek için genetik algoritmada dinamik ağ yöntemi kullanılmıştır (Vatandaş vd., 2003).

Geliştirilen yöntemin genel yapısı

Dinamik ağ yöntemi bu güne kadar çok değişik aerodinamik probleme uygulanmıştır. Ancak bunlar genellikle hücum açısı değişimi yada geometrideki açısal bir değişimdir.

Bununla birlikte genetik algoritmada modellerin (bireylerin) parametrize edilmesi gerekmektedir. Yeniden üretme, mutasyon ya da çaprazlama yöntemleri bu parametreler esas alınarak yapılmaktadır. Fakat yeni bireyler birbirine yakındır ve çok fazla şekil farklılıkları söz konusu değildir.

Daha önceki bölümlerde de izah edildiği gibi dinamik ağ yönteminde model üzerindeki yer değişimlerinin bir şekilde önceden belirlenmesi ya da hesaplanması gerekmektedir. Bu çalışmada önce başlangıç modeli olarak kullanılan kanat (Onera M6) planformu sabit tutularak profil değişimlerine tabi tutulmuştur. Bu yöntemin temel avantajı modeli temsil ederken daha az

sayıda parametre kullanılmasıdır. Bunun için daha önceki çalışmalarda da kullanılan Bezier eğrisi (Hacıoğlu, 2003) yöntemi kullanılmıştır. Bezier eğrisi yöntemi profili parametrize eden kontrol noktalarından profilin boyutsuz koordinatlarının elde edilmesinde kullanılır.

Başlangıç modeli olarak Onera M6 kanadı kullanılmasıyla birlikte bu kanadın profil şekli değiştirilerek başlangıç popülasyonu elde edilmiştir. Her bir popülasyonda 14 farklı profil şekline sahip Onera M6 kanadı bulunmaktadır.

Akış alanını çözmek için 'ACER3D' isimli Euler denklemlerini çözen FORTRAN program kullanılmıştır (Yılmaz, 2000). İşlemci zamanından tasarruf sağlamak için program, önceki çözümleri başlangıç çözümü olarak kullanmaktadır.

Akış alanını çözen program sonuçları noktasal basınç ve hız değerleri olarak vermektedir. Daha sonra yazılan ek bir alt program ile bu basınç değerleri, Mecitoğlu ve Dökmeçi (1990) tarafından da kullanılan bir sonlu eleman yöntemi kullanılarak integre edilmekte ve taşıma ile sürüklenme kuvvetleri hesaplanmaktadır.

Bu kuvvetlerden yola çıkılarak uygunluk değerleri hesaplanabilmektedir. Genetik algoritma, bireyleri bu uygunluk değerlerine göre değerlendirmektedir. Uygunluk değeri yüksek olan bireyin seçilme şansı ve özelliklerinin sonraki nesillere aktarılma ihtimali yükselmektedir.

Bu çalışmada, uygunluk fonksiyonu seçilirken, kanat modelleri belirli bir dizayn-taşıma kuvvetinden fazla uzaklaşmadan sürüklenme kuvvetlerini minimize edecek şekilde olmasına dikkat edilmiştir.

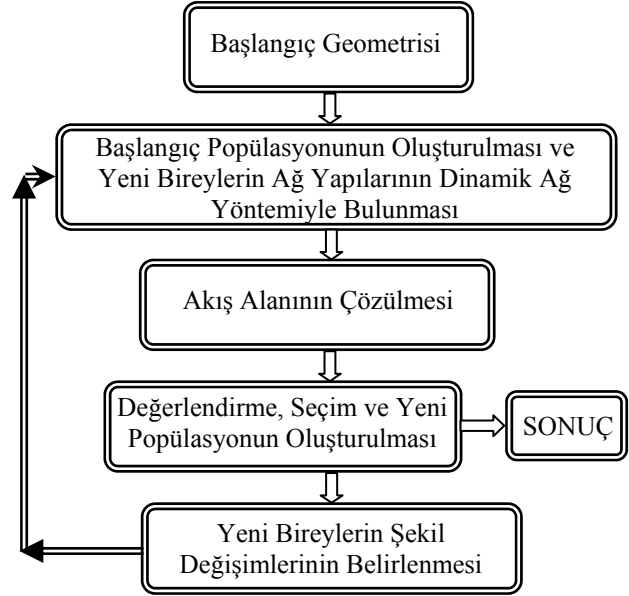
Programın ana basamakları Şekil 1'de kısaca özetlenmiştir.

Optimizasyon

Nesiller arası değişimler

Optimizasyon prosesi sırasında her bir nesil ya da popülasyonda 14 birey bulunmaktadır. Başka bir deyişle her bir popülasyonda 14 farklı profil

şekline sahip Onera M6 kanatları bulunmaktadır. Her birinin ayrı ayrı, ACER3D Euler akış çözücü program kullanılarak aerodinamik performans hesabı yapılmakta, taşıma ve sürüklenme kuvvetleri hesaplanmaktadır.



Şekil 1. Dinamik Ağ yönteminin kullanıldığı Genetik Algoritma prosesinin genel akış şeması

Hesaplanan bu kuvvetler kullanılarak her bir bireyin uygunluk değeri hesaplanmaktadır. Uygunluk fonksiyonu aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

$$f(i) = C_D + a(C_L - C_{Ld})^2 + b(Th - Th_d)^2 \quad (5)$$

$$\text{Uygunluk Değeri} = 1/f(i) \quad (6)$$

C_D : Hesaplanan sürüklenme katsayısı

C_L : Hesaplanan taşıma katsayısı

C_{Ld} : Dizayn taşıma katsayısı

a : Taşıma katsayısı kısıtının ağırlığını belirleyen sabit sayı

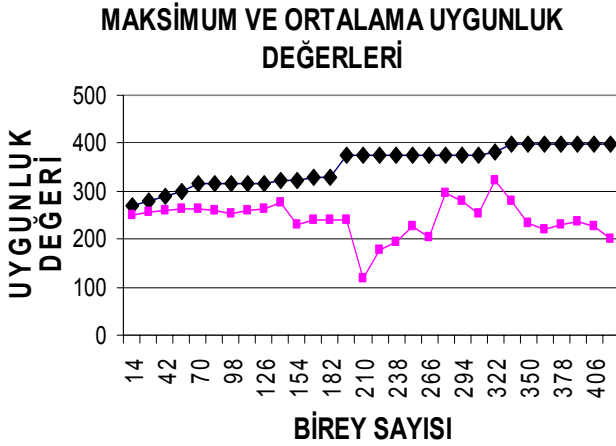
Th : Kalınlık oranı

Th_d : Dizayn kalınlık oranı

b : Kalınlık oranı kısıtının ağırlığını belirleyen sabit sayı

Uygunluk fonksiyonundan da anlaşılacağı gibi sürüklenme katsayısı ne kadar az olursa ve taşıma katsayısı dizayn taşıma katsayısına ne kadar yakın olursa o bireyin uygunluk değeri o

kadar artmaktadır. Tersine olması halinde de uygunluk değeri azalmaktadır. Şekil 2’de her bir nesil için hesaplanmış maksimum ve ortalama uygunluk değerleri görülmektedir. Maksimum uygunluk değeri o popülasyonda bulunmuş en iyi bireye karşılık gelmektedir.



Şekil 2. Ortalama (alt) ve maksimum (üst) uygunluk değerlerindeki değişim

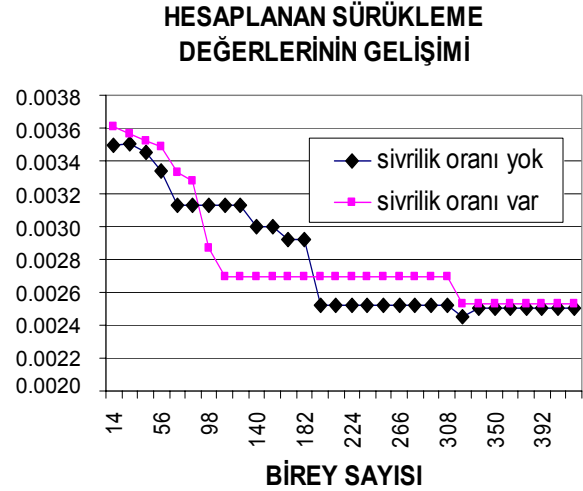
Ayrıca her bir nesilde (popülasyonda) bulunan en iyi birey aynen korunmuş ve bir sonraki nesle taşınmıştır. Böylece her bir nesilde bulunan en iyi bireyin, en kötü ihtimalle bir önceki neslin aynısı olması sağlanmıştır. Buna “elitizm” denilmektedir. Böylece Şekil 2’de de görüldüğü gibi bulunan en iyi uygunluk değeri hiçbir zaman azalmamaktadır.

Şekil 2’de görülen ortalama uygunluk değerleri farklı yönlerde değişim gösterebilir. Önemli olan maksimum uygunluk değerlerinin nesiller ilerledikçe artış göstermesidir.

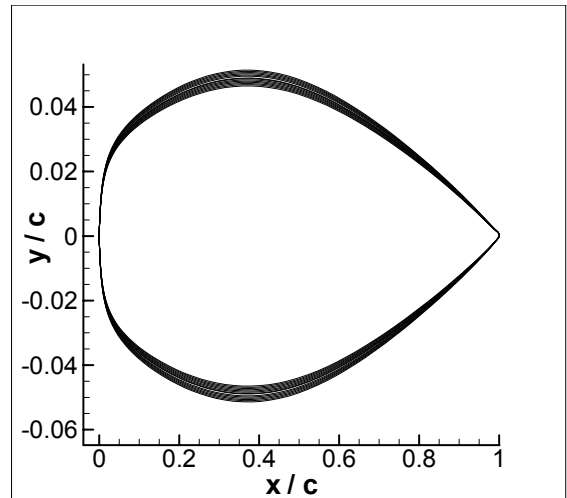
Şekil 3’te sivrilik oranının hem sabit tutulması, hem de dizayn değişkeni olarak sivrilik oranının dikkate alınması hallerinde sürüklenme değerinin nasıl azaldığı görülmektedir. Başlangıç popülasyonu Onera M6 kanadının kalınlık oranının azaltıp, artırılmasıyla elde edilmiştir. Söz konusu başlangıç popülasyonu Şekil 4’te gösterilmiştir. (Profiller arası farkların daha net görülebilmesi için şekiller y eksenine doğrultusunda büyütülmüştür.)

Sonraki adımlarda, kanat profil şekilleri çaprazlama ve mutasyon gibi genetik işlemlere tabi

tutulmaktadır. Bu işlemler bireylerin uygunluk değerleri baz alınarak yapılır. Uygunluk değeri yüksek olan bireyin çaprazlamaya girme şansı da yüksek olacaktır. Örnek olarak 50. adımda bulunmuş profil şekilleri Şekil 5’te gösterilmiştir.



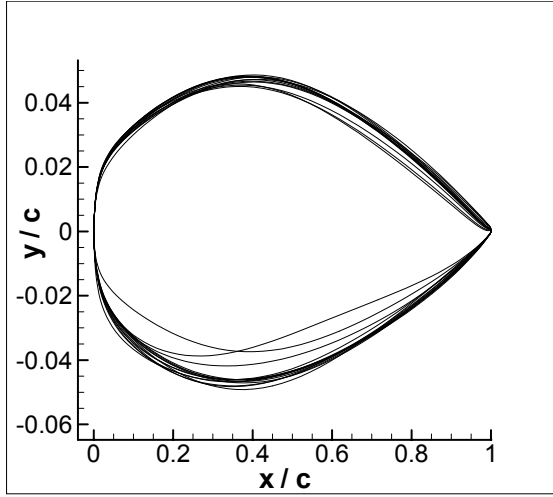
Şekil 3. Sivrilik oranı değişkeninin olup olması halinde sürüklenme değerlerindeki azalma



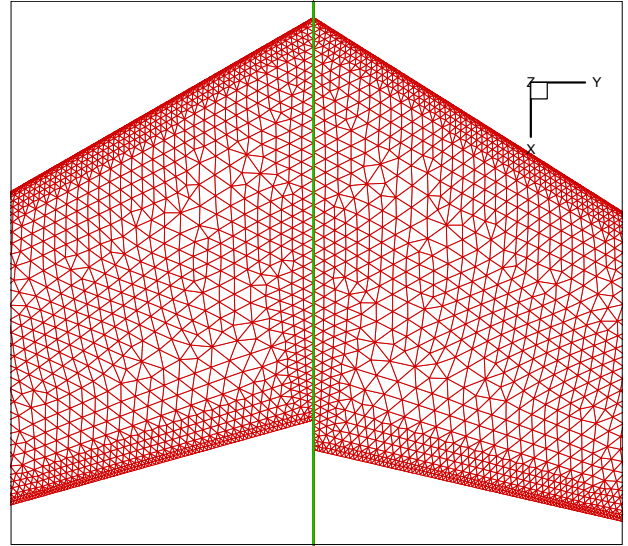
Şekil 4. Başlangıç popülasyonundaki kanat kesit şekilleri (14 birey)

Ağ yapılarındaki değişim

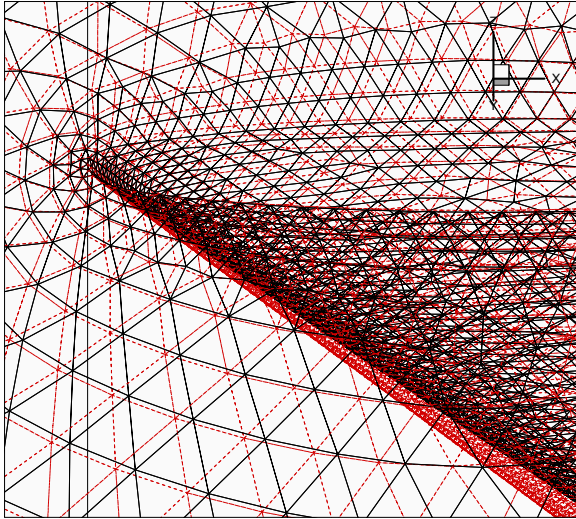
Mevcut Onera M6 kanadına ait yapısal olmayan üçgen pramit (tetrahedral) ağ yapısı “Dinamik Ağ” yöntemi kullanılarak kanat profilindeki değişime bağlı olarak modifiye edilmekte ve böylece yeni üretilmiş bireylere ait ağ yapıları hesaplanmaktadır.



Şekil 5. 50. adımda bulunan kanat profil şekilleri (14 adet)



Şekil 7. Orijinal (solda) ağ yapısı ile 50. adımda en iyi birey (sağda) için bulunmuş ağ yapısı

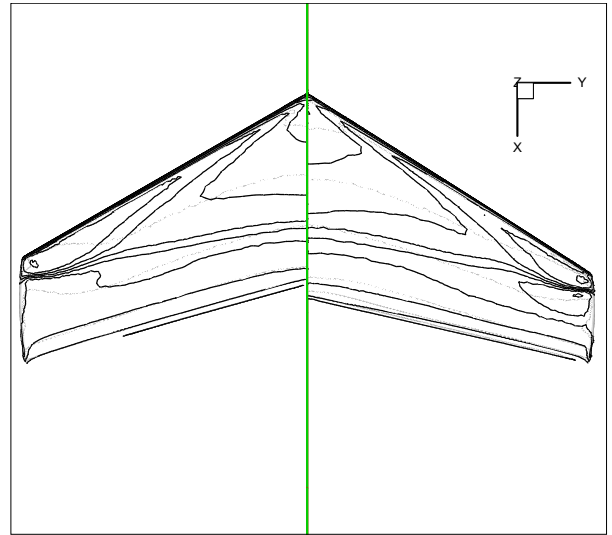


Şekil 6. Orijinal (kesik çizgi) ağ yapısı ile 50. adımda (sürekli çizgi) bulunan ağ yapısı

Örnek olarak orijinal ağ yapısı ile 50. adımda en iyi birey için bulunmuş ağ yapısı 6 ve 7. şekillerde gösterilmektedir.

Basınç dağılımlarındaki değişim

Şekil 8 ve 9'da orijinal kanat ile 50. adımda bulunan en iyi bireye ait basınç katsayısı dağılımları arasındaki farklar gösterilmektedir. Ayrıca orijinal kanat ile 50. adımda bulunan en iyi kanadın basınç katsayısı dağılımları Şekil 10'da kanat kök kesiti için, Şekil 11'de de %80 açıklıkta bulunan kanat kesiti için verilmiştir.



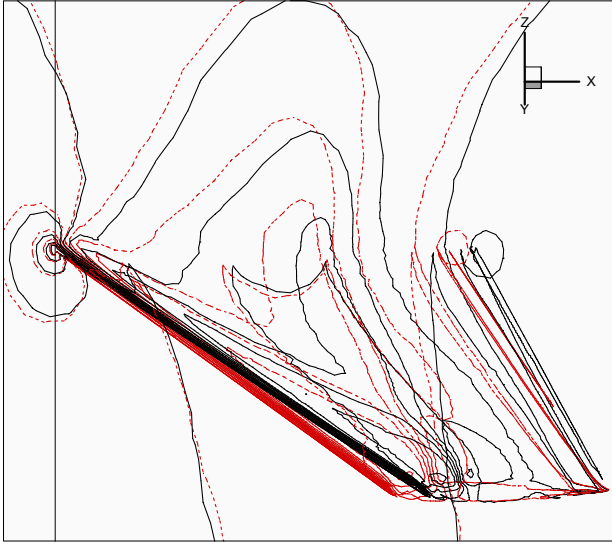
Şekil 8. Orijinal (sol) ve 50. adımda bulunan kanada (sağ) ait basınç katsayısı dağılımları

Genetik işlemler sonucunda bulunan en iyi kanat şekilleri

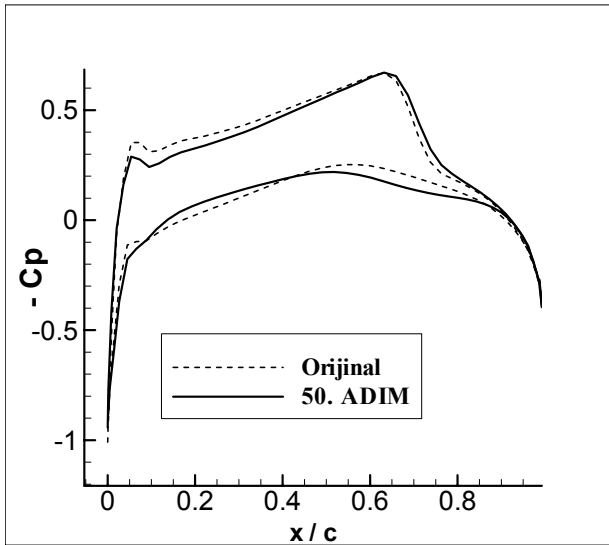
Şekil 12'de farklı aşamalarda bulunmuş en iyi kanat profil şekilleri görülmektedir. 100. adımda bulunmuş en iyi kanat kesit şekli (sürekli çizgi ile gösterilen) ile orijinal Onera M6 kanat kesiti (kesik çizgili) karşılaştırıldığında kalınlık oranının azalmış olduğu gözlemlenmektedir.

Bütün bu işlemler sırasında kanadın hesaplanan taşıma katsayısı hemen hemen sabit kalırken,

sürüklenme katsayısında yüzde 25 oranında bir azalma meydana gelmiştir.



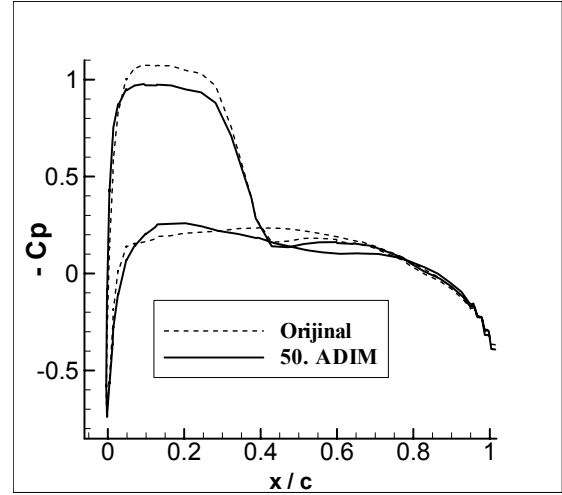
Şekil 9. Orijinal (kesik çizgi) ve 50. adımda bulunan (sürekli çizgi) basınç dağılımları



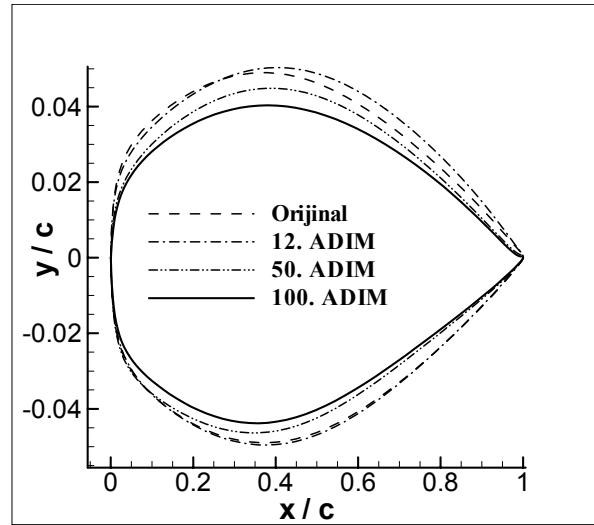
Şekil 10. Orijinal ve 50. adımda bulunan kanadın kök kesitlerindeki basınç dağılımları

Şekil 12’de gösterilen optimizasyon işleminde kalınlık oranı şartı bulunmamaktadır. Bu nedenle profil şeklinde inceltme olması doğaldır. Bu her ne kadar kolay bir sürüklenme azaltma yolu olarak görünse de optimizasyon işleminin sağlıklı bir yönde geliştiğini görmek açısından ilk aşamada kalınlık oranı şartı olmadan işlem yapılmıştır.

Daha sonra uygunluk fonksiyonuna kalınlık oranı şartı eklenmiştir. Kalınlık oranı şartı olması halinde Şekil 13’de görüldüğü gibi profilin fazla inceltmesi önlenmektedir. Şekil 14’de de en son elde edilmiş en iyi kanat kesiti normal ölçülerinde görülmektedir.

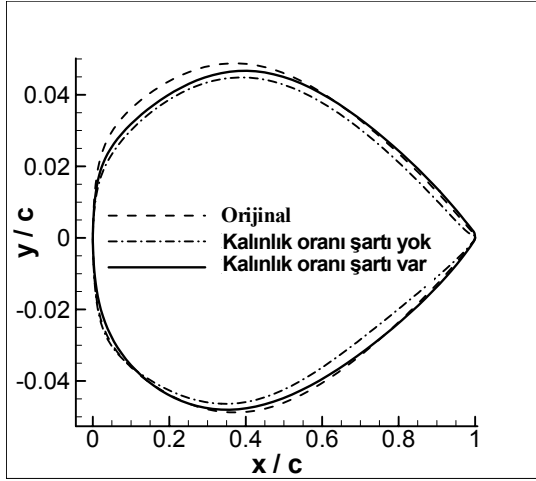


Şekil 11. Orijinal kanat ile bulunan en iyi kanadın %80 açıklıktaki basınç dağılımları

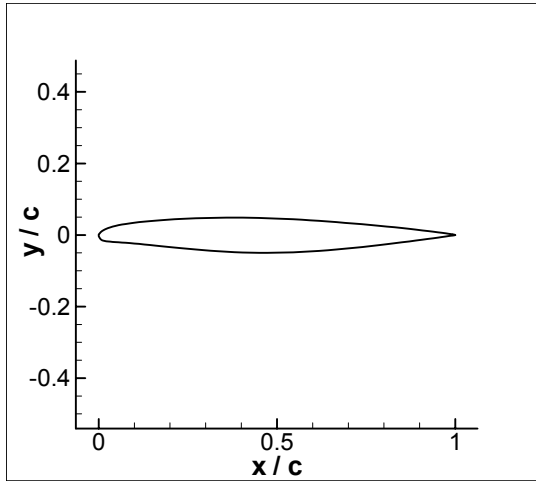


Şekil 12. Orijinal, 12, 50 ve 100. adımlarda elde edilen en iyi Onera M6 kanat profil şekilleri

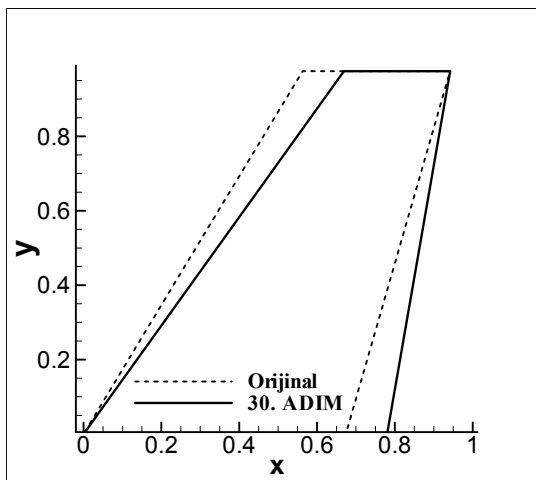
Bundan sonra aynı uygunluk fonksiyonu kullanılmış ancak dizayn değişkenlerine (kontrol noktalarına) sivrilik oranı da ilave edilmiştir. Sivrilik oranındaki gelişime bağlı olarak kanat planform şeklinde oluşan değişiklik Şekil 15’te görülmektedir.



Şekil 13. Kalınlık oranı şartının olup olmaması halinde elde edilen kesit şekilleri



Şekil 14. 50. adımda elde edilen en iyi kanada ait profil şekli (Gerçek görünüş)



Şekil 15. Kanat sivrilik oranındaki değişim

Sonuç

Dinamik ağ yöntemiyle ağ yapısının modifiye edilerek yeni bireylere ait ağ yapılarının bulunması ilk adımda yaklaşık olarak yeniden ağ üretmek kadar zaman alabilmektedir. Ancak sonraki adımlarda dinamik ağ yöntemi çok daha hızlı sonuç vermektedir. Bu nedenle genetik algoritma gibi birbirine benzer çok sayıda modelin çözümünün yapılacağı problemlerde dinamik ağ gibi modifiye eden yöntemler daha avantajlı olabilmektedir.

Profil şeklinde inceleme olmaması için sonraki aşamada uygunluk fonksiyonuna kalınlık oranı şartını temsil eden bir parametre ilave edilmiştir. Bundan sonra sivrilik oranı bir dizayn değişkeni olarak ele alınmış ve kontrol noktalarına eklenmiştir.

Sonuçlar analiz edildiğinde, optimizasyon işleminin beklendiği şekilde geliştiği gözlemlenmektedir. Sürükleme kuvvetinin yaklaşık yüzde 25 azaldığı görülmüştür. Ayrıca bu yapılırken taşıma kuvvetinin ve kalınlık oranının başta belirlenmiş dizayn taşıma kuvveti ve orijinal kalınlık oranına yakın kalması sağlanmıştır. Bu işlem uygunluk fonksiyonu ile ayarlanmaktadır. Örneğin 50. nesilde taşıma kuvvetindeki değişim yüzde 1, kalınlık oranında değişim ise yüzde 3 mertebesinde kalmıştır.

Program sürükleme kuvvetini minimize etmeye çalışırken sivrilik oranının azaldığı gözlemlenmiştir. Ancak bu azalma çok düşük seviyelere inmemekte, belli bir aşamadan sonra hemen hemen sabit kalmaktadır, çünkü programın amacı sadece sürüklemeyi azaltmak değil aynı zamanda taşıma kuvvetini sabit tutmaktır.

Genetik algoritmada çözülecek model sayısı problemin ve modelin tipine bağlı olarak 700 ile 3000 arasında değişebilmektedir. Üç boyutlu akış çözücü program ACER3D'nin yeterli sonuç vermesi -örneğin 1 GHz hızındaki bir bilgisayarda- 10 saat kadar sürebilmektedir. Bu programın ağ üreten kısmı bulunmamaktadır. Ayrı bir programla da ağ üretilmesi yaklaşık 10 dakika sürmektedir (Van der Burg, 2006). Bütün

bunlar optimizasyon prosesinin 10 – 40 ay arasında süreceği anlamına gelir ki bu uygulanabilir değildir.

Bunun için yukarıda belirtilen şartlarda gerek yazılım, gerekse donanım olarak iyileştirmeler yapılması zorunludur. Öncelikle akış çözen program sıfırdan değil önceki çözümlerden başlatılarak çalıştırılmalıdır. Bu yaklaşık 3 yada 4 kat daha hızlı sonuç alınmasını sağlamaktadır. Özellikle genetik algoritmada, birbirine yakın çok sayıda modelin çözümü yapıldığı için bu yöntem çok daha etkilidir. Ayrıca paralel hesaplama yoluyla da bu süreyi 5-7 kat azaltmak mümkündür.

Teşekkür

Bu çalışmada yapılan hesaplamalarda İTÜ Bilişim Enstitüsü'nün imkanlarından yararlanılmıştır.

Kaynaklar

- Batina, J.T., (1990). Unsteady Euler airfoil solutions using unstructured dynamic meshes, *AIAA Journal*, **28**, 8, 1381-1388.
- Batina, J.T., (1991). Unsteady Euler algorithm with unstructured dynamic mesh for complex-aircraft aerodynamic analysis, *AIAA Journal*, **29**, 3, 327-333.
- Golberg, D.E., (1989). Genetic Algorithms in search, optimization & machine learning, *Addison-Wesley Publishing Company, Inc.* Reading.
- Hacıoğlu, A., ve Özkol, İ., (2002). Vibrational Genetic Algorithm as a new concept in aerodynamic design, *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, **74**, 3, 228-236.
- Hacıoğlu, A., (2003). Aerodinamik dizayn ve optimizasyonda genetik algoritma kullanımı, *Uçak*

Mühendisliği Programı Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2003.

- Mecitoğlu, Z. , Dökmeci, M.C., (1990). Vibration analysis stiffened cylindrical thin shell *Proc. 17th Congress of the International Council of Aeronautical Sciences*, 986-993, Stockholm.
- Obayashi, S., Nakahashi, K., Oyama, A. ve Yoshino, N., (1998). Design optimization of supersonic wings using evolutionary algorithms, *ECCOMAS 98*, John Wiley & Sons, Ltd.
- Vatandaş, E., Özkol, İ. ve Kaya, M.O., (2003). Implementation of the dynamic mesh methods on genetically obtained mesh structures for 3-D geometries, *Proceedings of International Congress on Evolutionary Methods for Design, Optimization and Control with Applications to Industrial Problems*, EUROGEN'03, Barcelona, Spain.
- Vatandaş, E., Özkol, İ., ve Kaya, M.O., (2004). Using the dynamic mesh method for genetically obtained wing structures, *Aircraft Engineering & Aerospace Technology*, **76**, 3, 314-319.
- Vatandaş, E., Özkol İ., ve Hacıoğlu, A. (2005). Combining vibrational genetic algorithm (VGA) and dynamic mesh in the optimization of 3-d wing geometries, *Finite Element for Flow Problems FEF05 IACM Special Interest Conference supported by ECCOMAS*, April 4-6, 2005, Swansea, Wales, UK.
- Vatandaş, E. ve Özkol, İ., (2006). Dynamic mesh and heuristic algorithms for the design of a transonic wing, *Aircraft Engineering & Aerospace Technology*, **78**, 1, 34-44.
- Yılmaz, E., (2000) A three dimensional parallel and adaptive Euler flow solver for unstructured grids, *Ph.D. Thesis*, Middle East Technical University (METU), January, Ankara-Turkey.

Van der Burg, J.W. FASTFLO I - Fully automatic CFD system for inviscid flow simulations, <http://www.fastflo.nl/publication.html> (25.04.2006)