

## GÖZLEM AMAÇLI SABİT KANATLI İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İÇİN GENETİK ALGORİTMA İLE XFOIL VE MATLAB BAZLI KANAT PROFİLİ OPTİMİZASYONU

Kağan Ün<sup>1</sup>, Kaan Yıldız<sup>2</sup> ve Metin Orhan Kaya<sup>3</sup>  
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

### ÖZET

*Bu yazıda 1500-2000kg arası kalkış ağırlıklı bir orta irtifa-uzun havada kalış (MALE) sınıfı insansız bir sabit kanatlı gözlem uçağının kanat profil optimizasyonu yer almaktadır. Profil optimizasyonu için MATLAB üzerinden XFOil profil analiz programı aracılığıyla Bezier noktalarından elde edilen kanat profilleri genetik algoritmayla oluşturulup denenmiştir. Analizlerin sonucunda uçağın uçuş koşullarına uygun bir biçimde yüksek taşıma verimine sahip profiller elde edilmiştir.*

### GİRİŞ

Gözlem amaçlı sabit kanatlı insansız hava araçları görev tanımları gereği genel olarak uzun menzile ve yüksek havada kalma süresine sahip olacak biçimde tasarlanır. Bu nedenle gözlem amaçlı tasarlanacak bir hava aracının yüksek aerodinamik verimliliğe sahip olması gereklidir. Bu sebepten dolayı bu tür hava araçları genel olarak yüksek kanat açıklık oranlarına sahiptir ve bu araçların kanatları özel olarak tasarlanmış kanat profilleri içermektedir. Bu kanat profilleri genel olarak yüksek taşıma-sürüklenme oranlarına sahip olacak biçimde tasarlanır. Buna karşılık yüksek açıklık oranlı uçakların uzun kanat yapılarından dolayı bu tür uçakların kanatları yüksek eğilme momentine sahip olmaktadır. Bu yüzden bu tür uçakların kanat profillerinin tasarımında kanat için hafif iç iskeleti sığdırmak ile ideal aerodinamiği sağlamak arasında bir denge sağlanması gereklidir.

Bu çalışmada uçuş verimini arttıracak verimli kanat profilleri oluşturulması için genetik algoritma kullanan ve XFOil üzerinden kanat analizi yapan bir MATLAB programı kullanılması planlanmaktadır. Genetik algoritma kullanımı, çok değişkenli problemlerde görece hızlı sonuç verebildiğinden dolayı günümüzde kullanımı artarak yaygınlaşmaktadır.

Bu çalışmadaki programda bu dengelerin sağlanması için programda kanat profili tasarımı için mutlak kısıtlamalar yerleştirilmiştir. Bu kısıtlamalar arasında kanat profil kalınlığı, profil kalınlığının yeri ve profilin üst kısmının tepesinin bulunduğu yer aralığı bulunmaktadır. Ayrıca acil manevra sırasında tutunma kaybının engellenmesi için taşıma kaybının ortaya çıktığı hücum açısının da acil manevra sırasındaki en yüksek hücum açısından daha yüksek olmasına dikkat edilmelidir.

### Bezier Eğrileri, Bu Çalışmada ve Önceki Çalışmalarda Kullanılışı

Bezier eğrileri, düzgün bir eğri ile bir dizi veri noktasını temsil etmek için kullanılan parametrik eğrilerdir. Derecesi n olan bir Bezier eğrisinin matematiksel formu aşağıdaki şekilde gibidir:

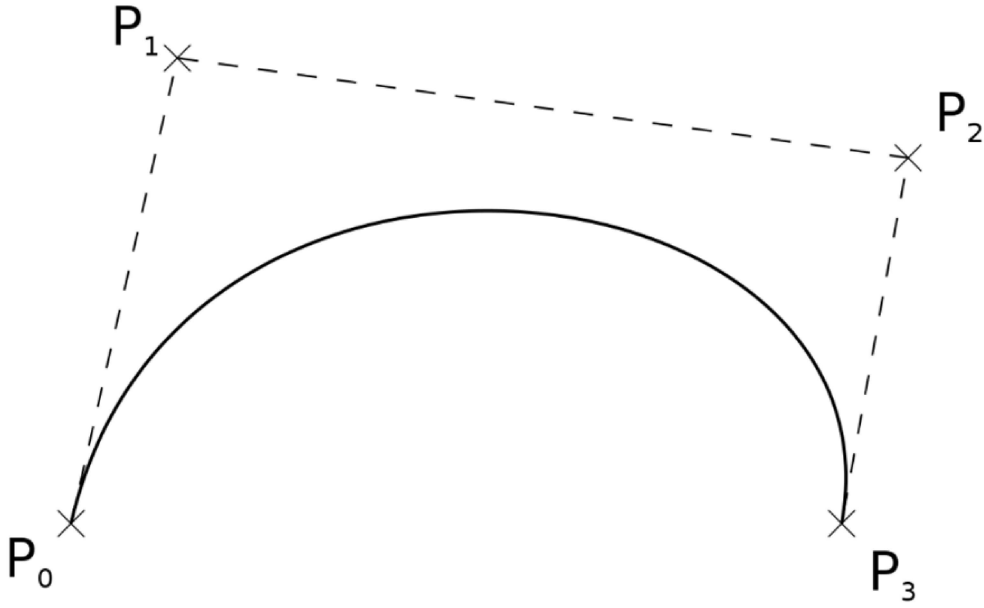
$$[b_0^n(t)]^T = \sum_{i=0}^n B_i^n(t) [b_i]^T \quad (1)$$

$$B_i^n = \binom{n}{i} (t)^i (1-t)^{n-i} \quad (2)$$

Şekil 1 ve 2: Bezier eğrisinin matematiksel gösterimi. Derecesi n olan Bernstein polinomunun açılımı. Parantez içindeki dikey sütun binom katsayısıdır.

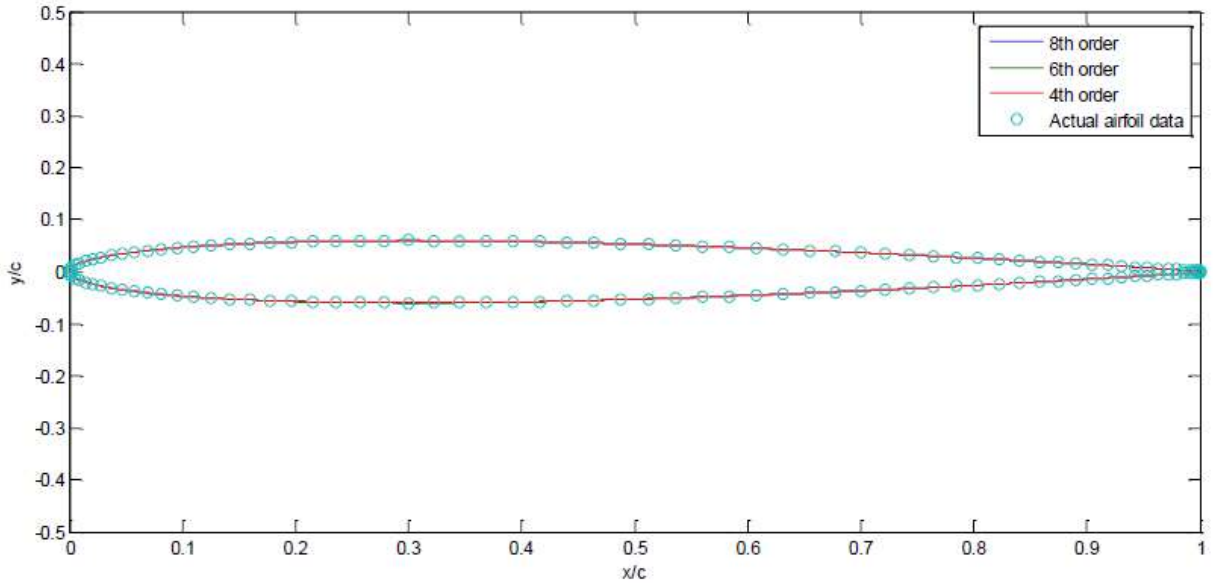
Şekillerdeki  $b_0$  noktası eğrinin herhangi bir yerindeki nokta iken  $b_i$  noktaları Bezier eğrisinin kontrol noktalarıdır. Görüldüğü gibi, Bezier eğrisi kontrol noktalarının ağırlıklı toplamı olarak tanımlanır. Bu çalışma için yazılan MATLAB fonksiyonlarının biri sadece bu eğrilerin oluşturulması için yazılmıştır.

<sup>1</sup> Prof. Dr., Uçak Müh. Böl., E-posta: yazar1@itu.edu.tr



Şekil 3: Yukarıdaki şekilde 3. dereceden bir Bezier eğrisi görülmektedir.  $P_0$  noktasında eğrinin eğim vektörü  $P_0P_1$  doğru parçasına paraleldir. Aynı durum  $P_3$  noktasında ve  $P_2P_3$  doğru parçasında da görülmektedir.

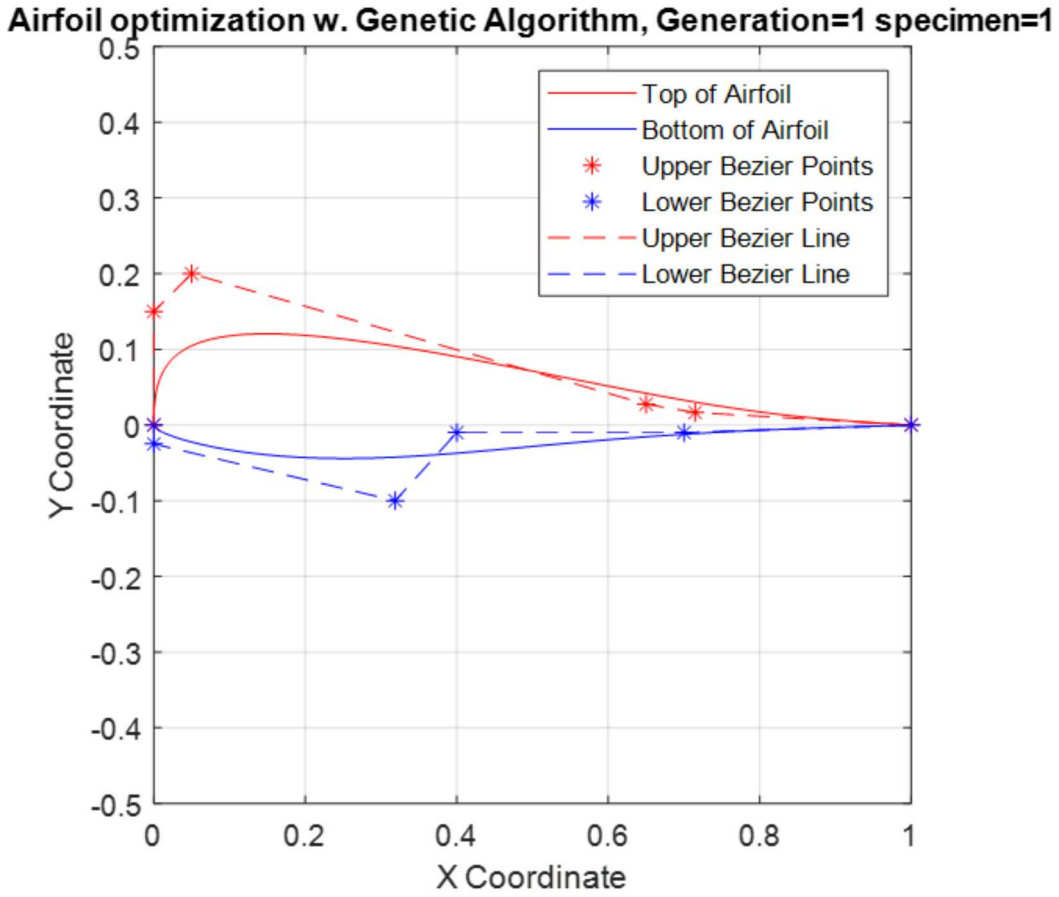
Önceki çalışmalardan birinde, Bezier eğrileri hâlihazırda var olan bazı profillerin numerik temsiliyetinde kullanılmıştır.



Şekil 5: Benzer çalışmalardan birinde NACA 0008 kanat profilinin Bezier eğrileriyle farklı derecelerden temsili [Jaiswal, 2017].

Bu yazıdaki çalışmada ise Bezier eğrileri sıfırdan kanat profil üretimi için kullanılmaktadır.

Bezier eğrilerinin en önemli özelliklerinden biri de eğrideki parametrik türev vektörünün başlangıçtaki değerinin ilk ve ikinci kontrol noktalarının oluşturduğu doğru parçasının eğimine eşit olmasıdır. Aynı özellik eğrinin son noktasında sondan ikinci ve son kontrol noktalarının oluşturduğu doğru parçası için de geçerlidir. Bu çalışmada kanat profillerinin hücum kenarlarını yuvarlak tutmak için Bezier eğrilerinin bu özelliği kullanılmıştır.

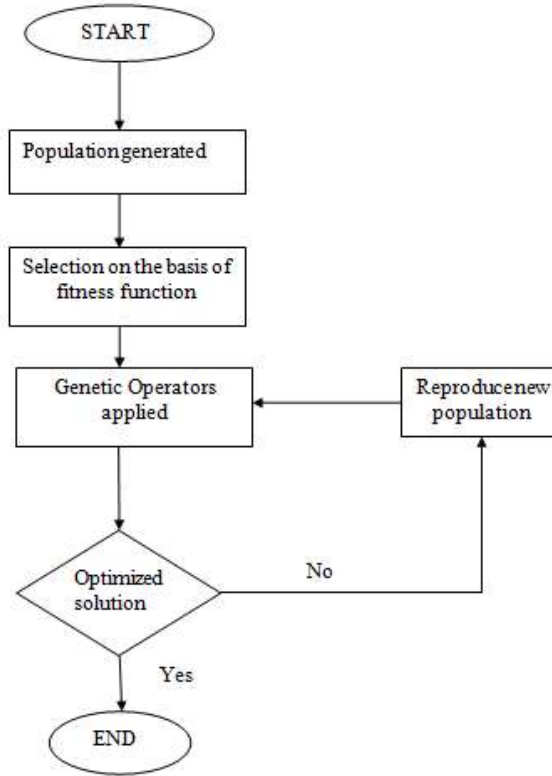


Şekil 4: Yukarıdaki şekilde bu çalışmada oluşturulan kanat profillerinden biri onun alt ve üst yüzeyini oluşturan Bezier eğrileri ve bu eğrileri oluşturan noktalar ile gösterilmiştir.

Hücum kenarında üst ve alt yüzey eğrilerini oluşturan nokta dizilerinde 3 noktanın tek bir doğru oluşturarak iki eğrinin hücum kenarı noktasında birbirine teğet olmasını sağladığı görülmektedir. Eğer bu teğetsellik durumu sağlanmazsa profilin hücum kenarında akım ayrılması durumuyla karşılaşılır ve profilin performansı ciddi ölçüde düşer. Ayrıca bu tür koşullarda XFOIL programı ya oldukça yanlış sonuç vermekte ya da herhangi bir sonuca yakınsayamamaktadır.

### Genetik Algoritma ve Bu Çalışmada Kullanılışı

Genetik algoritma, matematik olarak modellenmesi zor olan problemlerin süratli bir biçimde çözülmesini amaçlayan bir algoritma biçimidir. Bu algorithmada çözüm için ilk olarak çözüm alanı içinde rastgele çözüm girdileri üretilir. Bu çözüm girdileri optimizasyonu sağlanacak fonksiyonun girdileri olur. Böylelikle ilk nesil oluşturulur. Bu nesildeki girdilerden en iyi sonuçları veren girdiler seçilir. Bu elenmeyen girdilerin yanına elenen girdiler yerine geçmesi için bu girdilerden her nesilde daha az yoğunlukta olacak biçimde mutasyona uğrattılır. Bu mutant girdiler yeni nesil için önceki neslin kazanan girdileriyle birlikte yeni nesle eklenir. Bu nesil yine ilk nesil gibi elemeyen geçirilir ve yeni nesil için yeni nüfus oluşturulur. Bu eleme ve yeni nesil oluşturma işlemleri en fazla belli bir nesil sayısına kadar sürdürülür. Nesiller arası medyan sonuçlar birbirine çok yaklaşırsa veya maksimum nesil sayısına ulaşırsa program durdurulur ve son nesildeki en iyi girdi kazanan olarak seçilir. Genetik algoritmanın şematik gösterimi aşağıdaki gibidir:



Şekil 6: Genetik algoritmanın çalışma şeklinin gösterimi [Kaur, Goyal, 2011].

### Kullanılan Programlar ve Kullanım Biçimleri

Bu genetik algoritma çalışmasının seçilim algoritması için MATLAB programı kullanılırken profil analiz kısmı için XFoil kullanılmaktadır.

MATLAB'ta Genetik Algoritma Kullanımı: Bu makale için kullanılan genetik algoritma programı, MATLAB'ta standart olarak bulunan ga fonksiyonunu kullanmaktadır. Bu fonksiyonun girdisi olarak kanat profillerini oluşturacak Bezier eğrilerinin kontrol noktalarını belirleyen parametreler yer almaktadır. MATLAB'daki ga fonksiyonunun ayarları arasında nesil nüfusu, maksimum nesil sayısı, kaç duraklama neslinde (stall generation, maksimum değer aynı kaldığı nesil) sistemin duracağı gibi parametreler vardır. Bu çalışmada ga fonksiyonu için parametreler aşağıdaki gibi ayarlanmıştır:

Değişken sayısı: 16,

Her nesildeki denek sayısı:150,

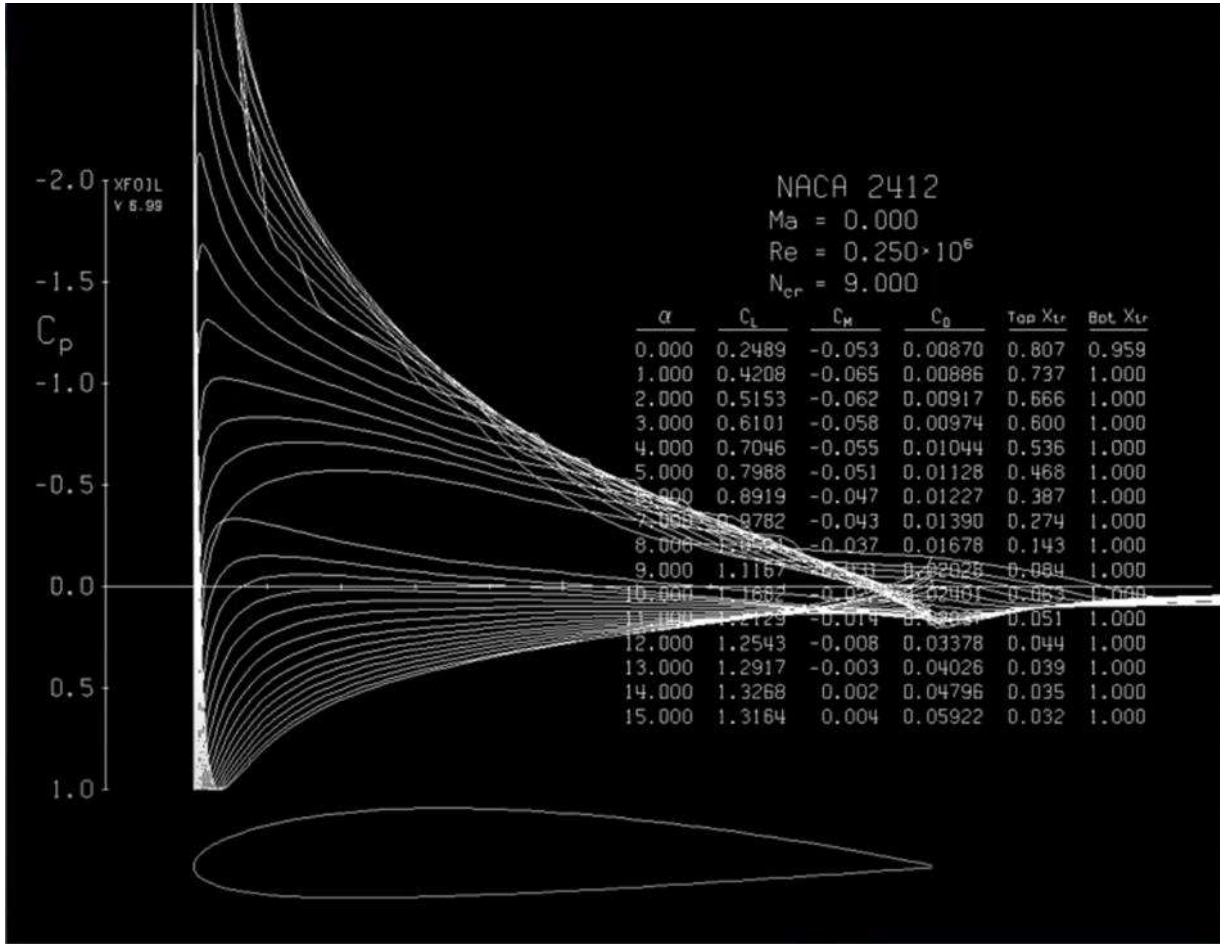
Maksimum yeni nesil sayısı: 60,

Maksimum peş peşe duraklama nesli sayısı: 10

İlk nesilde örnekler arası standart sapma (scale): 1

İlk nesildeki standart sapma ile son nesildeki standart sapma farkı (shrink): 1 (son nesile doğru standart sapma lineer olarak azalmaktadır.)

XFoil'in MATLAB'ta Kullanımı: XFoil programı Mark Drela tarafından ilk olarak 1988'de insan gücüyle çalışan Daedalus uçağının tasarımı için geliştirilmiş FORTRAN tabanlı bir programdır [Clark, 2006]. XFoil programı herhangi bir var olan tekil kanat profilinin viskoz veya ideal akışa göre hesaplayabilir. XFoil programının MATLAB'da kullanımı için MATLAB koduna birtakım dışarıdan çalıştırma talimatları yazılmıştır. XFoil'e dışarıdan verilen talimatlar arasında oluşturulan kanat profilinin koordinat dosyası, uçağın seyir irtifasında ve süratinde kanadın karşılaşılabileceği Reynolds sayısı, kanadın manevralar sırasında karşılaşılabileceği hücum açısı aralığı, hücum açılarının ölçüm aralığı ve Mach sayısı vardır.



Şekil 7: Üstteki şekilde NACA 2412 kanat profilinin 250000 Reynolds numarasında ve 1'er derece ölçüm aralığıyla 0 ve 15 derece arasında Xfoil ile toplu analizinin ekran görüntüsü görülmektedir.

Bu çalışmadaki kuramsal uçağın ağırlık ve kanat alanı olarak ANKA'ya benzeyeceği düşünüldüğünden seyir süratinin ANKA gibi 110 knot civarında olduğu tahmin edilmekte ve dolayısıyla Xfoil analizinde Mach sayısının oldukça düşük olacağından dolayı analizi basitleştirmek amacıyla sıfır olduğu varsayılmaktadır. Analize giren kanat profili dosyalarında her profilin nokta sayısı ise analiz süresi ve yuvarlama("roundoff") hataları ile kesme("truncation") hataları arasında denge sağlamak adına 95 olarak belirlenmiştir.

## YÖNTEM

Bu çalışmada uygulanan yöntem, bir döngüyü oluşturan üç ana aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar sırayla MATLAB'da Bezier noktalarından kanat profili oluşturma, oluşturulan profillerin MATLAB üzerinden Xfoil ile analizleri ve bu profillerin genetik algoritmayla seçim yoluyla elemenden ve mutasyondan geçirilerek yeni kontrol noktaları oluşturulmasıdır.

### Bezier Noktaları Kullanımıyla Profil Oluşturma

Bu çalışmada analiz edilen kanat profilleri Bezier noktaları kullanılarak oluşturulmuştur. Her bir kanat profili her biri 6 kontrol noktası içeren iki Bezier eğrisi ile oluşturulur. Bu eğrilerden oluşturulan kanat profilleri nokta interpolasyonu ile kolay analiz edilebilen kosinüs dağılımlı Selig formatına çevrilir.

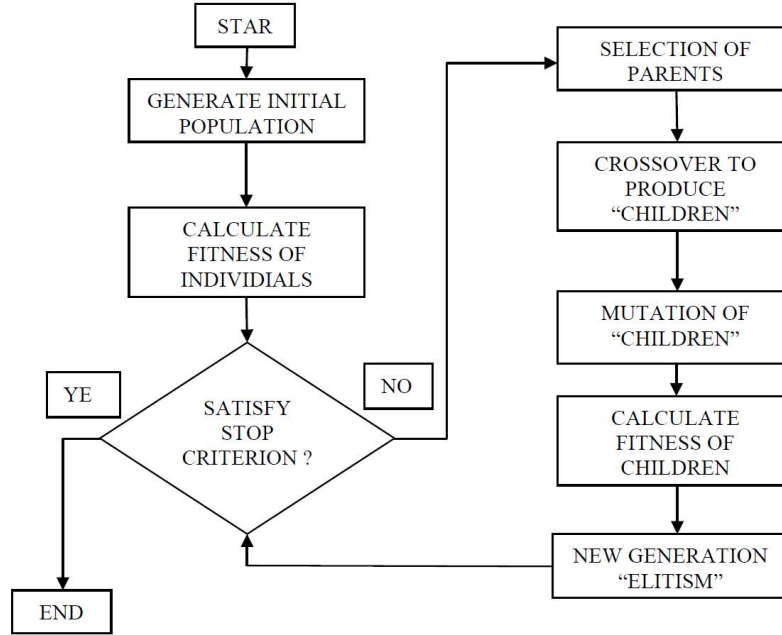
### Oluşturulan Profillerin MATLAB Üzerinden Xfoil ile Analiz Edilmesi

Önceki aşamada Bezier eğrileriyle oluşturulan profiller bu aşamada MATLAB ara yüzüyle Xfoil profil analiz programıyla analiz edilir. Bu kodda profil uçağın maruz kalabileceği hücum açısı aralığının olan -2 ile +15 derece arasında 0.5 derece aralıkla 1.3 milyon Reynolds sayısında ve Mach sayısının sıfır olduğu varsayımıyla denenecek elemeye maruz bırakılır. Bu elemeye tutunma kaybı açısı için minimum 10 derece, kalınlık oranı aralığı olarak kanat ucu için %20-%10 arası ve kanat kökü için %20-%15 arası, sıfır derece hücum açısında taşıma katsayısı için de 0.1 üstü

olması gibi eleyici şartlar vardır. Ayrıca hesap hatalarının elenmesi için birtakım ek koşullar bulunmakta olup, hesap hatalı veya hesaplanmakta başarısız olunan profiller de programdan elenmektedir.

### Genetik Algoritma Aracılığı ile Yeni Nesil Üretimi

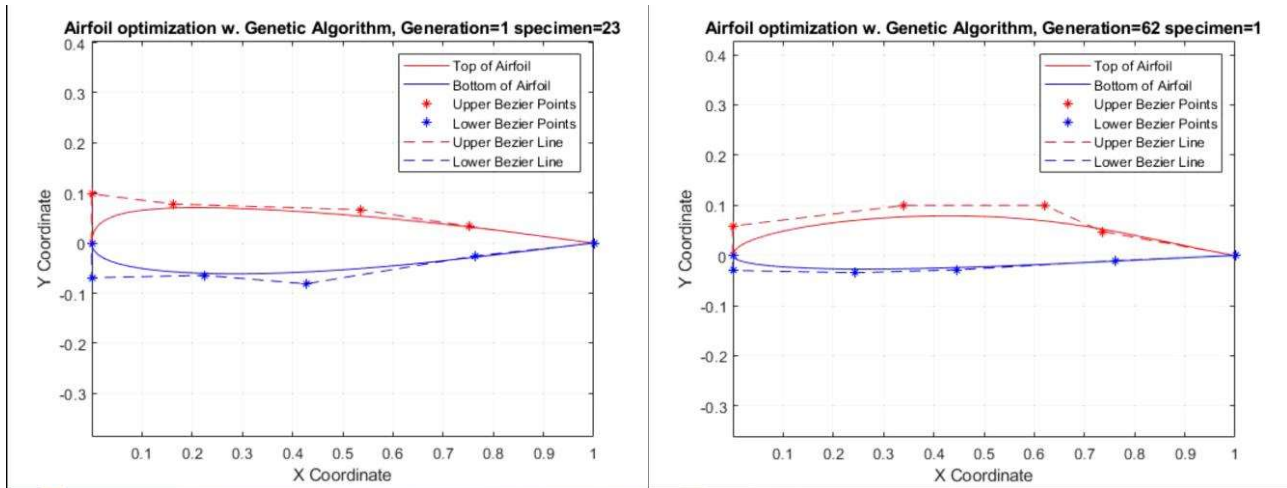
Elemenden sağ çıkan kanat profillerini oluşturan Bezier noktaları kaydedilir ve elenen profillerin yerini alacak yeni eleme adaylarını üretmede kullanılır. Yeni kanat profillerini oluşturacak kontrol noktaları, elemenden sağ çıkan eski profilleri oluşturan eski kontrol noktalarıyla birlikte yeni nesil oluşturur. Bu çalışmada her nesil 150 adet 16 farklı değişkenden oluşan test parametre dizisi içermektedir. Ayrıca bu çalışmada oluşturulacak nesil sayısı toplam işlem süresi ve hassasiyet arasındaki dengeyi sağlamak adına deneme yanılma yoluyla 61 olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan algoritmanın özeti aşağıdaki gibidir:



Şekil 8: Yukarıdaki şemada bu çalışmada kullanılan programın algoritması görülmektedir [Dina, Danaila, Pricop, Bunescu, 2019]

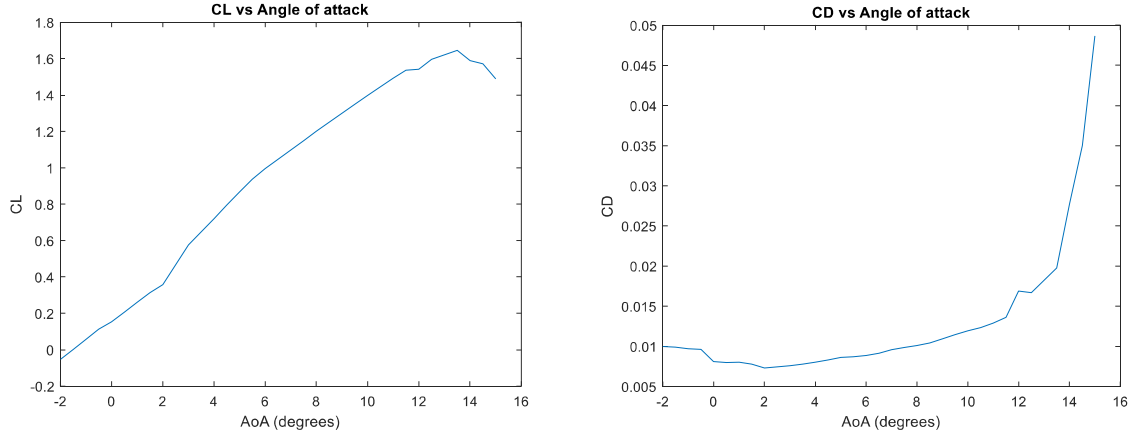
### UYGULAMALAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada programı ilk olarak kanat ucu profil optimizasyonu için kullanılmıştır. Uygulamanın sonucunda Şekil 8'teki profil oluşturulmuştur. Bu optimizasyon sürecinin çalışma süresi yaklaşık 7 saat olarak hesaplanmıştır.



Şekil 9 ve 10: Solda kanat ucu için ilk nesilde girdi olarak üretilen 150 profilden biri görüntülenmektedir. Sağda ise son nesilde kanat ucu için oluşturulan profiller arasında en iyi performans sağlayan kanat profili görüntülenmektedir.

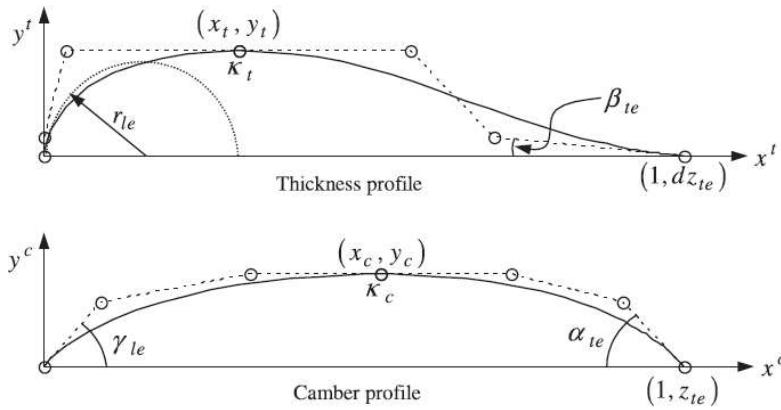
Bu çalışmada sadece taşıma-sürüklenme oranı ile sınırlı kalınmayıp profillerin hücum açısına göre taşıma ve sürüklenme katsayıları, moment katsayıları ve taşıma-sürüklenme katsayı grafikleri de oluşturulmuştur.



Şekil 11 ve 12: Bu grafiklerde 8. şekildedeki kanat profili için solda taşıma katsayısının hücum açısına göre değişim grafiği, sağda ise sürüklenme katsayısının hücum açısına göre grafiği görüntülenmektedir.

### SONUÇ

Bu çalışmaların sonucunda programın tasarımı yapılacak uçak için belirlenmiş uçuş koşullarına uygun verimli kanat profilleri üretebildiği görülmektedir. Bu profil üretme tekniği ile üretilmiş profiller genel olarak laminar akış profilleri olarak nitelendirilen NACA 6 serisi profillere ve birtakım diğer yüksek performanslı sesaltı hız kanat profillerine benzemektedir. Sonraki çalışmalarda profillerin daha serbest bir şekilde üretilmesi için kanat profilinin üst ve altının doğrudan Bezier eğrisi ile oluşturulması yerine benzer profillerin kalınlık dağılımı ve kamburluk eğrisi oluşturularak üretilmesi sağlanabilir veya bütün uçak kanat planformu aynı şekilde genetik algorithmadan geçirilebilir.



Şekil 13: Kalınlık ve kamburluk dağılımlarının Bezier eğrileriyle oluşturulmasına örnek [Salunke, Channiwala ve Juned Ahamad, 2014].

### Kaynaklar

Clark L., Aero-Astro, <http://web.mit.edu/aeroastro/news/magazine/aeroastro-no3/2006drela.html>, 2006

Jaiswal, National Aerospace Laboratories, *Shape Parameterization of Airfoil Shapes Using Bezier Curves*, 2017. Springer, Cilt 1, s.3, s.7

Dina K., Danaila S., Pricop M. V., Bunescu I., *Using genetic algorithms to optimize airfoils in incompressible regime*, INCAS, 2019.

- Salunke, Channiwala ve Juned Ahamad. *Airfoil Parameterization Techniques: A Review*. 2014. American Journal of Mechanical Engineering, Cilt 2, s.102
- Kaur A., Goyal S., *A genetic algorithm for regression test case prioritization using code coverage*. 2011. International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering, Cilt 3, s.1840