

## AERODİNAMİK UYGULAMALARDA DERİN ÖĞRENME ALGORİTMALARINI GELİŞTİRMEK İÇİN YENİ AIRFOİL BELİRTEÇLERİNİN TANIMLANMASI

Haydar Tuna\*  
Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi,  
Osmaniye

Özcan Yırtıcı†  
Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi,  
Osmaniye

### ÖZET

*Bu çalışma, kanat profillerini analiz etmek için yeni basit şekil belirteçlerini tanımlamayı amaçlamaktadır. ImageJ platformu ile NACA airfoil resimleri üzerinde görüntü işleme gerçekleştirilerek alan, dışbükey gövde, katılık gibi on iki farklı şekil belirtecinin hesaplaması öngörülmektedir. Bu belirteçlerin farklı airfoil profilleri üzerinde hesaplanacak olan özellikleri diğer unsurlarla birleştirildiğinde Makine öğrenimi ve derin öğrenme uygulamalarının başarısını arttıracakları düşünülmektedir.*

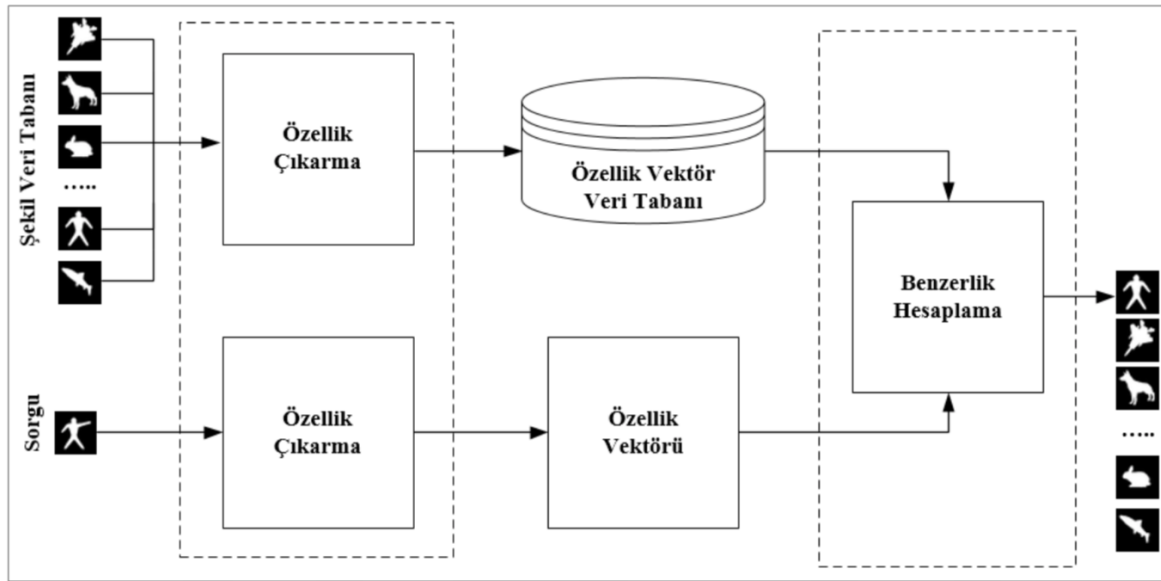
### GİRİŞ

Son zamanlarda bilgisayarlarda yapay zeka ve kullandıkları algoritmalar ile ilgili yapılan çalışmaların yoğunlaşması sonrası başta tüm mühendislik alanları olmak üzere tıp, matematik, sosyal bilimler, fizik, istatistik, ekonomi ve tarımda değişik problemlerin çözümünde yapay zeka uygulamalarını görmekteyiz [Yüksel et al., 2023; Abiodun et al., 2018]. Aerodinamik dizayn ve tasarım konusu havacılık ve rüzgar enerjisi sektöründe popülerliğini korumakta olup, son zamanlarda yapay zeka araçlarının aerodinamik yüklerin hesaplanmasında kullanıldığı görülmüştür [Santos et al, 2008; Du et al., 2021]. Kanat profillerini analiz etmek için basit şekil belirteçlerinin kullanımına ilişkin kapsamlı araştırmalar yapılmamıştır. Nesne tanımadaki insan beyninin yaptığına benzer bir şekilde bilgisayarlarda bir adet şekil veri tabanına ihtiyaç duyarlar. Veri tabanındaki cisimlere ait bilgiler şekil belirteç yöntemleri yardımıyla özellik vektörlerine dönüştürülür. Herhangi bir şekil veya geometri incelenmek istendiğinde önce şekil belirteçleri ile özellik vektörleri bulunur ve sonrasında veri tabanındaki özellik vektörleri ile eşleştirilerek sorgulanan özellik vektörüne en yakın olan şeklin sınıfı bulunur. Bilgisayarlı nesne tanıma sistemi Şekil 1'deki gibi gösterilebilir [Tuna, H., 2019]. Bu yüzden şekil veri tabanının özenle oluşturulması ve özellik vektörlerinin doğru temsil edilmesi nesne tanıma başarısını doğrudan etkilemektedir.

Bu çalışma ile farklı kanat profillerinden oluşan bir veri seti üzerinde şekil tanımlayıcıyı değerlendirerek bu boşluğu gidermek amaçlanmıştır.

\*Assist.Prof. Dr., Bilgisayar Müh. Böl., E-posta: haydartuna@osmaniye.edu.tr

†Assist.Prof. Dr., Bilgisayar Müh. Böl., E-posta: ozcanyirtici@osmaniye.edu.tr



Şekil 1: Bilgisayarlı nesne tanıma ([Tuna, H., 2019]).

## BASİT ŞEKİL BELİRTEÇLERİ

Basit şekil belirteçleri veya skaler değerler, şekillerin geometrik özelliklerini tanımlamak için yaygın olarak kullanılır. Bu tanımlayıcıların sağladığı niceliksel özellikler analiz ve karşılaştırmayı kolaylaştırır. Bu belirteçler belirli bağlamlarda yararlı olabilsede, kesin şekil karakterizasyonu için yeterli değildir. Bu teknikler genellikle etkinliğini artırmak için diğer yöntemlerle zenginleştirilir. Alan, çevre, minimum kapalı dikdörtgen alanı, kapsam ve dairesellik gibi çeşitli tanımlayıcılar bu belirteçlerin tipik örnekleridir. Ancak kanat profili veya herhangi bir şekli tarif etmek için tek bir tanımlayıcı yeterli olmayıp, birden fazla özellik vektörlerine ihtiyaç duyulur.

### Alan

Bir nesnenin alanını belirlemenin en basit yöntemi, herhangi bir şekli temsil eden piksel sayısını saymaktır. Şekil pikselleri için  $pix(x, y) = 1$  ve arka plan pikselleri için  $pix(x, y) = 0$  olan ikili bir görüntüdeki piksel  $pix$ 'i için, bir nesnenin alanını tahmin etmek amacıyla aşağıdaki algoritma kullanılabilir.

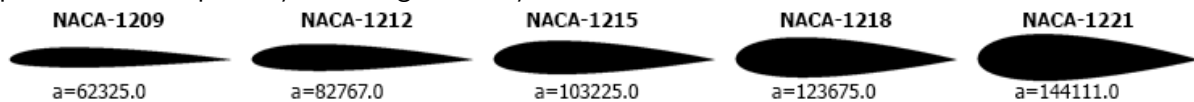
#### Algorithm 1 Bir nesnenin yaklaşık alan hesabı

```

1: area ← 0;
2: for x ← 0 to M-1 do
3:   for y ← 0 to N-1 do
4:     end for
5:   end for
6: area ← area + pix(x, y);

```

burada M ve N sırasıyla satır ve sütun sayısını temsil eder. Ayrıca x satır numarası, y ise sütun numarasıdır. Bu Algoritma ölçeklendirilmiş ve siyah-beyaz görüntülere dönüştürülmüş kanat profillerinin alanlarını hesaplamak için kullanılabilir. Şekil 1 de bazı 12XX ailesi NACA kanat profillerinin hesaplanmış alanları gösterilmiştir.



Şekil 2: NACA-12XX airfoil ailesi ve hesaplanan alanları

### Çevre Uzunluğu

Bir şeklin çevresinin ölçümü, konturundaki ardışık noktalar arasındaki mesafenin ölçülmesine dayanır. Bu problemin çözümünü yaklaşık olarak, yay uzunluğunu kontür bazlı bir hesaplama kullanarak bulmaya çalışılır. Bunu Şekil 2-a ve 2-b de gösterildiği gibi, konturu temsil etmek için kullanılan 4-komşuluk (Freeman 4: FR4) ve 8-komşuluk (Freeman 8: FR8) zincir kodlarına dayanan yay uzunluğu tahmin edilerek elde edilebilir [Gonzales et al., 2018; Freeman., 1961]. Bu zincir kodları pixel komşuluğunu baz alır.

	1	
2		0
	3	

Şekil 3-a: FR4 için zincir kodlarının yön numarası

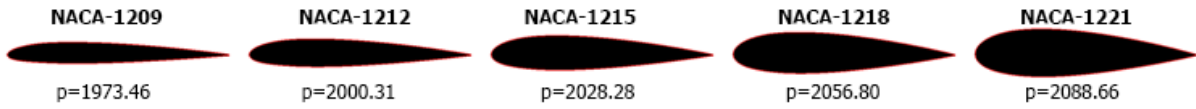
3	2	1
4		0
5	6	7

Şekil 3-b: FR8 için zincir kodlarının yön numarası

Çevre uzunluğunu FR4 zinciri ile hesaplarırken köşegen yay uzunluğu dikkate alınmadığı için FR4 zincir kodu uygun değildir. Buna karşılık, FR8 zincir kodu konturu temsil etmek için kullanıldığında yay uzunluğu aşağıdaki gibi tahmin edilebilir:

$$p = n_e + n_0\sqrt{2} \quad (1)$$

burada çift yön kodlarına sahip ardışık kontur noktalarının sayısı  $n_e$  ile temsil edilirken, tek yön kodlarının sayısı  $n_0$  ile temsil edilir. Bu formülü kullanarak, NACA-12XX kanat profilleri ailesi ve bunlara karşılık gelen çevreler Şekil 3'te gösterilmektedir.



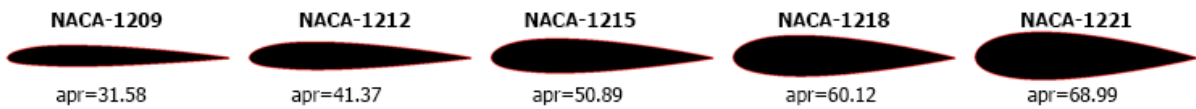
Şekil 4: NACA-12XX airfoil ailesi ve çevre uzunlukları

### Alanın Çevreye Oranı

Alanın çevreye oranı önemli bir şekil tanımlayıcısı olup, aşağıda verilen denklem ile hesaplanır [Costa L. da Fonta and Jr.Cesar R.M., 2018].

$$apr = \frac{a_s}{p_s}$$

NACA-12XX ailesinin bu formül ile hesaplanan ilgili Alanın çevreye oranı (apr) tanımlayıcı değerleri aşağıdaki resimde gösterilmiştir.



Şekil 5: NACA-12XX ailesi için alanın çevreye oranları

### Şekli Minimum Bir Şekilde Çevreleyen Dikdörtgenin Alanı (AMER)

Şekli minimum çevreleyen dikdörtgen (AMER), x-y düzleminde şekli minimum alan elde edecek şekilde içine alan dikdörtgen olarak tanımlanır. AMER döner caliper algoritması kullanılarak hesaplanabilir. Fakat iki boyutlu kanat kesitleri x-y düzlemine paralel olduğu ve döndürülmediği için sınırlayıcı kutu algoritması (bounding box algortihm) AMER'i hesaplamak için kullanılır. M resmin genişliği ve N ise yüksekliğidir. xMin ve xMax, şekil üzerindeki minimum ve maksimum x

koordinatlarıdır. Benzer şekilde,  $yMin$  ve  $yMax$  sırasıyla şeklin minimum ve maksimum  $y$  koordinatlarıdır. Bu algoritma kullanıldığında,  $(xMax, yMin)$  dörtgenin üst-sol koordinatlarını ve  $(xMax, yMax)$  dörtgenin orta-sağ koordinatlarını gösterir. Oluşan dörtgenin alanı aşağıdaki özel ifade ile tanımlanır.

$$amer = (xMax - xMin) * (yMax - yMin) \quad (2)$$

Bu yöntemle hesaplanan NACA-12XX ailesinin şekilleri ve ilgili AMER alan büyüklükleri aşağıdaki resimde verilmiştir.

---

### Algorithm 2 Airfoil için AMER'in bounding box algoritması kullanılarak hesaplanması

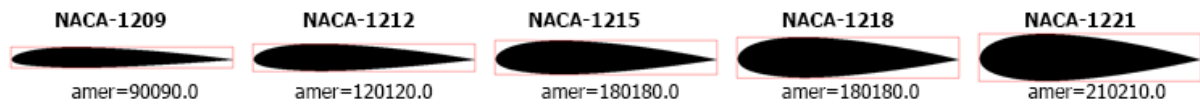
---

```

1:  $xMin = M$ 
2:  $xMax = 0$ 
3:  $yMin = N$ 
4:  $yMax = 0$ 
5: for  $x \leftarrow 0$  to  $M-1$  do
6:   for  $y \leftarrow 0$  to  $N-1$  do
7:     if  $p(x, y) = 1$  and  $x < xMin$  then
8:        $xMin = x$ 
9:     end if
10:    if  $p(x, y) = 1$  and  $x > xMax$  then
11:       $xMax = x$ 
12:    end if
13:    if  $p(x, y) = 1$  and  $y < yMin$  then
14:       $yMin = y$ 
15:    end if
16:    if  $p(x, y) = 1$  and  $y > yMax$  then
17:       $yMax = y$ 
18:    end if
19:  end for
20: end for

```

---



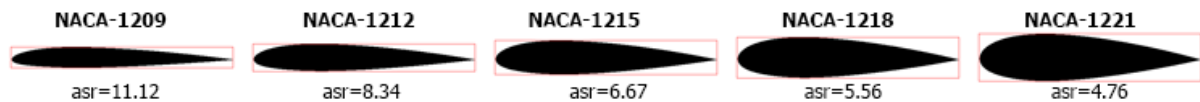
Şekil 5: NACA-12XX ailesi için hesaplanan AMER alanının büyüklükleri

### En Boy Oranı (Aspect Ratio)

En boy oranı ( $asr$ ), şekli sınırlandıran ve ayrıca minimum çevreleyen dikdörtgenin uzun kenarının kısa kenarına oranı hesaplanarak belirlenebilen geometrik bir özelliktir [Castleman, K., 1996]. Bu değer aşağıda verilen ifade ile hesaplanır.

$$asr = \frac{width_{AMER}}{height_{AMER}} \quad (3)$$

burada  $width_{AMER}$  ve  $height_{AMER}$  AMER'in sırasıyla en uzun ve en kısa kenarlarının değerlerini belirlemek için kullanılır. NACA-12XX ailesi kanat profillerinin bir kısmının hesaplanan  $asr$  değerleri Şekil 6'da görülebilir.

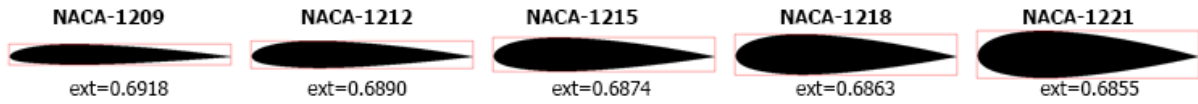


Şekil 6: NACA-12XX airfoil ailesi ve hesaplanan  $asr$ 'ler

### Kapsam (Extent)

Kapsam, bir şeklin dikdörtgenliğini tanımlamak için kullanılan bir terimdir. Kapsam, şeklin sahip olduğu AMER'in ne kadar boyut kapladığı anlamına gelir ve aşağıdaki ifade ile hesaplanır. Bu ifadede  $a_s$  şeklin alanı olup ve  $a_{amer}$  de çevreyi saran minimum dikdörtgenin alanıdır. İlgili ailenin hesaplanan kapsam değerleri Şekil 7'de gösterilmiştir.

$$ext = \frac{a_s}{a_{amer}} \quad (4)$$



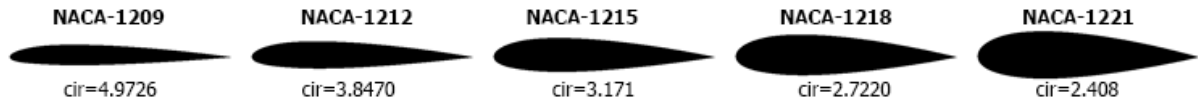
Şekil 7:NACA-12XX airfoil ailesi ve hesaplanan kapsam değerleri

### Dairesellik (Circularity)

Dairesellik, bir nesnenin şeklinin matematiksel açıdan mükemmel bir daireye ne kadar benzediğini ifade eden yuvarlaklık derecesini ölçmek için kullanılan bir metriktir. Bu ifade, sınırın karmaşıklığını tasvir etmek için kullanılır. Dairesel şekiller en düşük dairesellik değeri olan 1.0 değerine sahiptir ve daha karmaşık şekiller için bu değer giderek artar. Dairesellik (*cir*) aşağıdaki verilen ifade ile hesaplanır:

$$cir = \frac{p_s^2}{4\pi a_s} \quad (5)$$

burada şeklin alanı ve çevresi sırasıyla  $a_s$  ve  $p_s$  olarak gösterilmiştir. Şekil 8, denklem (5) kullanılarak hesaplanan NACA-12XX ailesinden kanat profillerinin dairesellik özelliklerinin bir özeti sunmaktadır.

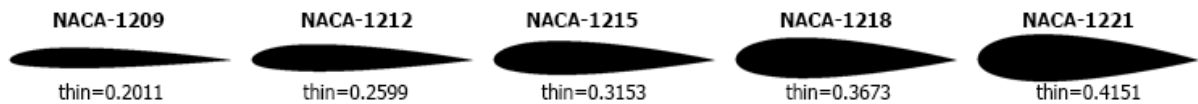


Şekil 8:NACA-12XX airfoil ailesi ve hesaplanan dairesellik değerleri

### İncelik Oranı (Thinness Ratio)

İncelik oranı şekil belirteçleri arasında en önemlilerinden biri olup, daireselliğin tersidir. Düzgün bir şekle sahip cisimler düzgün olmayanlara kıyasla yüksek bir oran değerine sahip olurlar. Örneğin, en yüksek incelik değerine sahip olan dairenin incelik değeri 1.0 olacaktır. Bu incelik oranı aşağıda verilen ifade ile bulunur [Costa L. da Fonta and Jr.Cesar R.M., 2018]. Bu ifadede  $a_s$  ve  $p_s$  sırasıyla alan ve çevre uzunluğu olup,  $4\pi$  çarpanı normalize faktör olarak kullanılmıştır. Şekil 9'da ilgili kanat profili için hesaplanan incelik oran değerleri gösterilmiştir.

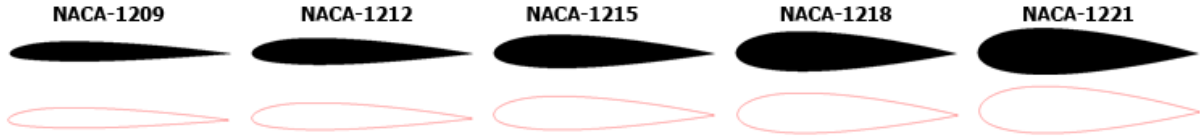
$$thin = \frac{4\pi a_s}{p_s^2} \quad (6)$$



Şekil 9:NACA-12XX airfoil ailesi ve hesaplanan incelik oran değerleri

### Konveks Hull

Konveks Hull, bir cisim üzerindeki tüm noktalar kullanılarak bulunan ve kanat profilini çerçeveleyen en küçük alanlı çokgen olarak tanımlanır [Chand,D.R. and Kapur,S.S., 1970; Jarvis,R.A., 1973; Tuna, H., 2019]. Konveks Hull, verilen noktalar setinin oluşturduğu şeklin sınırlarını verir. Örneğin aşağıdaki şekilde 1000 nokta sayısından oluşan NACA-12XX ailesinin hesaplanan konveks hull'leri gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde NACA-12XX airfoilleri için konveks hulleri ile kenarları birebir eşittir. Bunun nedeni her bir kanat profili için convex hull'lerinin airfoil kontürüne benzemesidir.



Şekil 10:NACA-12XX airfoil ailesi ve hesaplanan convex hull'ler

### Kanat Profilleri için Veri seti

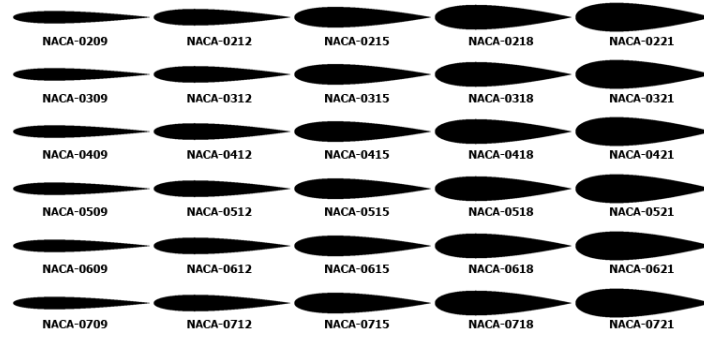
Şekil belirteçlerinin etkisinin incelenmesi ve değerlendirilmesi amacıyla NACA ailesinden 120 farklı kanat profili kullanılmıştır. Kanat profilleri hesaplamalarında her bir kanat için 1000 nokta kullanılmış olup, aşağıdaki resimde kullanılan değişik airfoiller gösterilmiştir.

Kanat profilleri için hesaplanan şekil belirteçlerinin değerlerinin bazıları tabüle edilerek aşağıda verilmiştir.

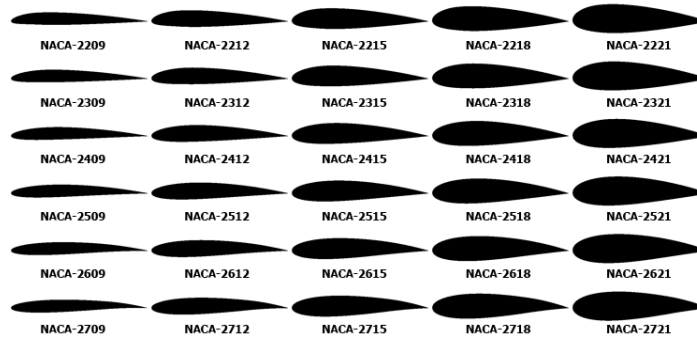
### ÖN DEĞERLENDİRME

Bu çalışmanın temel amacı, basit şekil tanımlayıcıları kullanarak kanat profillerinin şeklini araştırmaktır. Bu çalışmanın en önemli bulgularından biri, kanat profilinin kalınlığındaki artışın, buna karşılık olarak alanında, çevresinde bir artışa yol açmasıdır. Çalışmanın ilerleyen kısımlarında daha fazla şekil belirteçleri farklı kanat profilleri için incelenecek ve bulunan bu belirteçler XFOIL ile elde edilecek olan kaldırma ve sürüklenme katsayılarına eklenecektir. Elde edilecek olan veri setleri ile yapay zekanın aerodinamik yük hesaplanmasını geliştireceği umulmaktadır.

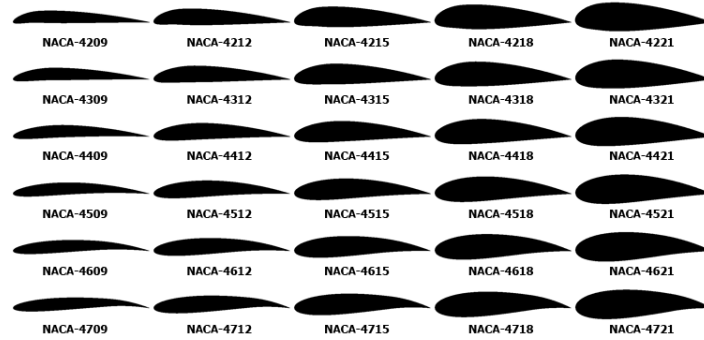
NACA-XXXX	a	p	apr	amer	asr	ext	cir	thin	c
0209	62273,0	1973,46	31,56	91000,0	10,9890	0,6843	4,9768	0,2009	63203,0
0212	82725,0	2000,32	41,36	121000,0	8,2645	0,6837	3,8490	0,2598	83649,0
0215	103159,0	2028,28	50,86	151000,0	6,6225	0,6832	3,1735	0,3151	104076,0
0218	123609,0	2056,25	60,11	181000,0	5,5249	0,6829	2,7220	0,3674	124506,0
0221	144055,0	2088,67	68,97	211000,0	4,7393	0,6827	2,4099	0,4150	144960,0
0309	62273,0	1973,46	31,56	91000,0	10,9890	0,6843	4,9768	0,2009	63203,0
0312	82725,0	2000,32	41,36	121000,0	8,2645	0,6837	3,8490	0,2598	83649,0
0315	103159,0	2028,28	50,86	151000,0	6,6225	0,6832	3,1735	0,3151	104076,0
0318	123609,0	2056,25	60,11	181000,0	5,5249	0,6829	2,7220	0,3674	124506,0
0321	144055,0	2088,67	68,97	211000,0	4,7393	0,6827	2,4099	0,4150	144960,0
0409	62273,0	1973,46	31,56	91000,0	10,9890	0,6843	4,9768	0,2009	63203,0
0412	82725,0	2000,32	41,36	121000,0	8,2645	0,6837	3,8490	0,2598	83649,0
0415	103159,0	2028,28	50,86	151000,0	6,6225	0,6832	3,1735	0,3151	104076,0
0418	123609,0	2056,25	60,11	181000,0	5,5249	0,6829	2,7220	0,3674	124506,0
0421	144055,0	2088,67	68,97	211000,0	4,7393	0,6827	2,4099	0,4150	144960,0
0509	62273,0	1973,46	31,56	91000,0	10,9890	0,6843	4,9768	0,2009	63203,0
0512	82725,0	2000,32	41,36	121000,0	8,2645	0,6837	3,8490	0,2598	83649,0
0515	103159,0	2028,28	50,86	151000,0	6,6225	0,6832	3,1735	0,3151	104076,0
0518	123609,0	2056,25	60,11	181000,0	5,5249	0,6829	2,7220	0,3674	124506,0
0521	144055,0	2088,67	68,97	211000,0	4,7393	0,6827	2,4099	0,4150	144960,0
0609	62273,0	1973,46	31,56	91000,0	10,9890	0,6843	4,9768	0,2009	63203,0
0612	82725,0	2000,32	41,36	121000,0	8,2645	0,6837	3,8490	0,2598	83649,0
0615	103159,0	2028,28	50,86	151000,0	6,6225	0,6832	3,1735	0,3151	104076,0
0618	123609,0	2056,25	60,11	181000,0	5,5249	0,6829	2,7220	0,3674	124506,0
0621	144055,0	2088,67	68,97	211000,0	4,7393	0,6827	2,4099	0,4150	144960,0
0709	62273,0	1973,46	31,56	91000,0	10,9890	0,6843	4,9768	0,2009	63203,0
0712	82725,0	2000,32	41,36	121000,0	8,2645	0,6837	3,8490	0,2598	83649,0
0715	103159,0	2028,28	50,86	151000,0	6,6225	0,6832	3,1735	0,3151	104076,0
0718	123609,0	2056,25	60,11	181000,0	5,5249	0,6829	2,7220	0,3674	124506,0
0721	144055,0	2088,67	68,97	211000,0	4,7393	0,6827	2,4099	0,4150	144960,0
2209	62410,0	1973,46	31,62	90090,0	11,1222	0,6928	4,9658	0,2014	63265,0
2212	82866,0	2000,32	41,43	120120,0	8,3417	0,6899	3,8425	0,2602	83706,0
2215	103329,0	2028,28	50,94	150150,0	6,6733	0,6882	3,1683	0,3156	104180,0
2218	123789,0	2057,92	60,15	180180,0	5,5611	0,6870	2,7225	0,3673	124654,0
2221	144245,0	2087,00	69,12	210210,0	4,7667	0,6862	2,4029	0,4162	145107,0
2309	62397,0	1973,69	31,61	91091,0	11,0000	0,6850	4,9680	0,2013	63282,0
2312	82810,0	2001,10	41,38	121121,0	8,2727	0,6837	3,8481	0,2599	83743,0
2315	103274,0	2029,07	50,90	151151,0	6,6291	0,6833	3,1724	0,3152	104212,0
2318	123729,0	2058,15	60,12	181181,0	5,5304	0,6829	2,7244	0,3671	124672,0
2321	144195,0	2087,78	69,07	211211,0	4,7441	0,6827	2,4055	0,4157	145128,0
2409	62372,0	1975,81	31,57	93093,0	11,0013	0,6700	4,9807	0,2008	63287,0
2412	82862,0	2001,88	41,39	122122,0	8,2632	0,6785	3,8487	0,2598	83749,0
2415	103287,0	2029,85	50,88	152152,0	6,6294	0,6788	3,1745	0,3150	104192,0
2418	123731,0	2058,15	60,12	181181,0	5,5556	0,6829	2,7244	0,3671	124607,0
2421	144193,0	2087,78	69,07	211211,0	4,7391	0,6827	2,4056	0,4157	145094,0
2509	62360,0	1975,81	31,56	93093,0	10,9898	0,6699	4,9817	0,2007	63922,0
2512	82823,0	2001,88	41,37	122122,0	8,2548	0,6782	3,8505	0,2597	83768,0
2515	103290,0	2029,30	50,90	152152,0	6,6227	0,6789	3,1727	0,3152	104159,0
2518	123730,0	2058,38	60,11	182182,0	5,5190	0,6792	2,7250	0,3670	124606,0
2521	144178,0	2086,67	69,09	211211,0	4,7622	0,6826	2,4033	0,4161	145049,0



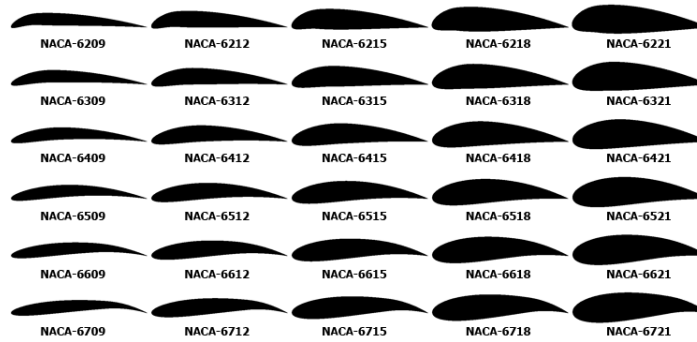
(a) NACA-0YYY



(b) NACA-2YYY



(c) NACA-4YYY



(d) NACA-6YYY

Figure 1: Şekil 11: Kullanılan NACA kanat profilleri



## Kaynaklar

- Abiodun, O.I., Jantan, A., Omolara, A.E., Dada, K.V., Mohamed, N.A. , Arshad, H., 2018. *State-of-the-art in artificial neural network applications: A survey.*, Heliyon, 4(11).
- Castleman,K. 1996 *Digital Image Processing* , Prentice Hall, 1996.
- Chand,D.R. and Kapur,S.S., 1970 *An Algorithm for Convex Polytopes*, Journal of the ACM (JACM) 17(1), 78-86
- Costa L. da Fonta and Jr.Cesar R.M., 2018 *Shape Classification and Analysis:Theory and Practice*, Crc Press.
- X. Du, P. He, J. R. Martins, 2021 *Rapid airfoil design optimization via neural networks-based parameterization and surrogate modeling*, Aerospace Science and Technology 113, 106701.
- H. Freeman, 1961 *On the encoding of arbitrary geometric configurations*, IRE Transactions on Electronic Computers (2) 260–268.
- R. Gonzalez, R. Woods, 2018 *Digital Image Processing*, Pearson
- Jarvis,R.A., 1973 *On the Identification of the Convex Hull of a Finite Set of Points in the Plane*, Information Processing Letters 2(1)1973, 18-21.
- M. Santos, B. Mattos, R. Girardi,2008. *Aerodynamic coefficient prediction of airfoils using neural networks.*, 46th AIAA aerospace sciences meeting and exhibit, 2008, p. 887.
- Haydar Tuna, 2019 *Kabuk Zincir Koduyla Şekil Tanıma*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi
- Yüksel, N., Börklü, H. R., Sezer, H. K., Canyurt, O. E., 2023. *Review of artificial intelligence applications in engineering design perspective.*, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 118, 105697.