

BÜYÜK ORANDA ŞEKİL DEĞİŞTİREBİLEN KANATLAR İÇİN VETER VE KAMBUR DEĞİŞİMİ SAĞLAYAN BİR MEKANİZMANIN TASARIMI

Harun Levent Şahin¹
Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara

Yavuz Yaman²
Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara

ÖZET

Bu çalışmada büyük oranda şekil değiştirebilen kanatlar için veter ve kambur değişimi sağlayan bir mekanizmanın tasarımı sunulmuştur. Bu mekanizma ile çok esnek bir yüzeye sahip olduğu varsayılan bir kanadın ana girişleri arasındaki uzunluk değiştirilebilmekte ve kambur azaltma sağlanabilmektedir. İstenilen hareketleri verebilecek mekanizma için çeşitli kinematik sentez yöntemlerinden faydalanılmıştır. Çalışma sonunda elde edilen sonuçlar düzlemsel dört-çubuk mekanizmaları için büyük önem arz eden bağlama açısı, Grashof teoremi ve çevre uzunluklarına göre değerlendirilerek, aralarından en uygun mekanizma seçilmiştir.

GİRİŞ

Wright kardeşlerden itibaren insanoğlu uçakların verimliliğini artırmak için çeşitli yapısal değişikliklere gitmiştir. 1903'ten 2010 yılına kadar sabit kanatlı uçaklarda yapılan çalışmaların bir kısmı kronolojik olarak bir çalışmada sunulmuştur [Barbarino, Bilgen, Ajaj, Friswell ve Inman, 2011]. Bu değişikliklerin büyük bir bölümü uçakların temel kontrol elemanları olan uçak kanatları için düşünülmüş ve günümüzde uçuş esnasında büyük oranda yer değiştiren yapılar üzerindeki çalışmalar artmıştır [Barbarino, Bilgen, Ajaj, Friswell ve Inman, 2011], [Özgen, Yaman, Şahin, Seber, Ünlüsoy, Sakarya, İnsuyu, Bayram, Uludağ ve Yılmaz, 2010].

Büyük oranda şekil değiştirebilen kanat ve/ veya kontrol yüzeylerine sahip uçakların, sadece belli bir uçuş evresinde değil, farklı ve çeşitli uçuş evrelerinde de aerodinamik verimlilik gösterdikleri ve sağladıkları yakıt tasarrufundan dolayı çevreye daha az zarar verdikleri de düşünülmektedir [Yaman, Özgen, Şahin ve Gürses, 2012]. Çeşitli araştırmacılar uçak kanatlarında büyük oranda şekil değişikliği elde etmeyi, örneğin uçak kanat alanını %50'ye ve uçak kanat açıklığı oranını %200'e kadar değiştirmeyi amaçlamaktadırlar [Ramrakhani, Lesieutre, Frecker ve Bharti, 2004]. Bahsedilen değişiklikler uçak kanat yapısını oluşturan yapısal elemanların hareket ettirilmesiyle sağlanabilir.

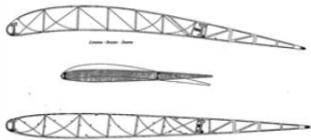
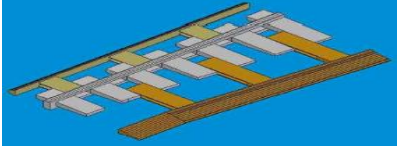

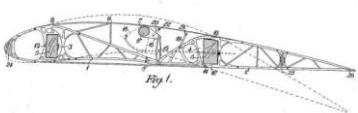

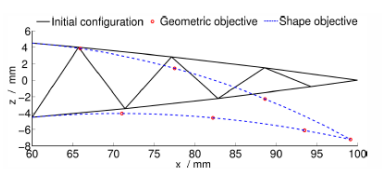
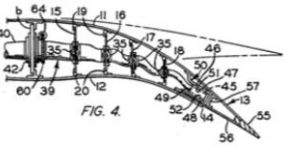
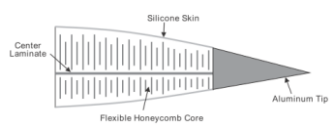
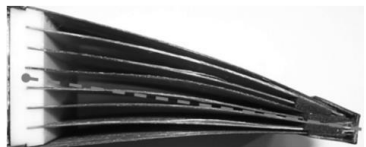
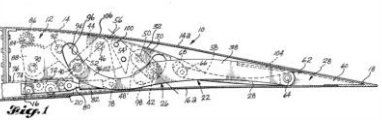

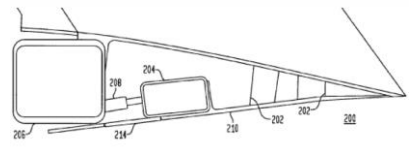

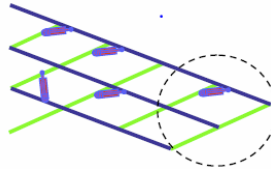
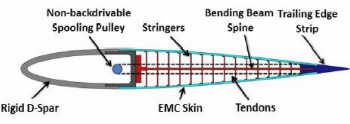
Büyük oranda şekil değiştirebilen uçak kanatlarında yapılan değişiklikler kanat kesiti değişimi, kanat alanı değişimi ve düzlem dışı dönüşüm olmak üzere üç temel gruba ayrılmaktadır. Bunlardan kanat kesiti değişimi kambur ve kanat kalınlığı olmak üzere iki; kanat alanı değişimi kanat açıklığı, kanat genişliği ve kanat ok açısı değişimi olmak üzere üç; düzlem dışı dönüşüm ise kanat açıklığı boyunca eğilme, kanat genişliği boyunca eğilme ve kanat burulması olmak üzere üç sınıfta incelenmektedir [Sofla, Meguid, Tan ve Yeo, 2010].

¹ Araştırma Görevlisi, Havacılık ve Uzay Müh. Böl., E-posta: hlsahin@metu.edu.tr

² Prof. Dr., Havacılık ve Uzay Müh. Böl., E-posta: yyaman@metu.edu.tr

Uçak kanadında oluşan kuvvet ve momentleri kontrol etmenin en etkili yolu uçak kanat kesitinin firar kesiminin eğimini değiştirmek, yani kambur azaltma/artırma yapmaktır [Friswell, 2012]. Ayrıca uçaklara manevra kabiliyeti kazandırmanın en etkili bir diğer yolu ise veter uzunluğunu büyük oranda değiştirmektir [Reed, Hemmelgarn, Pelley ve Havens, 2005]. Çizelge 1’de geçmişten günümüze özellikle kambur artırma/azaltma konularında şekil değiştirmeye ilgili yapılan bazı çalışmalar sunulmuştur.

Çizelge 1: 1920’den 2014’e Kadar Yapılan Bir Takım Büyük Oranda Kambur Değişime Çalışmaları

		
<p>[Parker, 1920]</p>	<p>[Perkins, Reed ve Havens, 2004]</p>	<p>DLR Finger Concept [Ricci, 2008]</p>
		
<p>[Antoni, 1932]</p>	<p>DLR Belt-Rib [Campanile, Anders, 2004]</p>	<p>[Baker ve Friswell, 2008]</p>
		
<p>[Bryant ve Stewart, 1963]</p>	<p>DARPA Smart Wing [Bartley-Cho, Wang, Martin, Kudva, West, 2004]</p>	<p>[Daynes, Weaver ve Potter, 2010]</p>
		
<p>Boeing [Zapel, 1978]</p>	<p>[Elzey, Sofla ve Wadley, 2005]</p>	<p>Flexsys, [Hetrick, Kota ve Ervin, 2013]</p>
		
<p>[Gilbert, 1981]</p>	<p>Scissor Mechanism [Joo, Sanders, Johnson ve Frecker, 2006]</p>	<p>Fish Bone [Woods, Bilgen ve Friswell, 2014]</p>

YÖNTEM

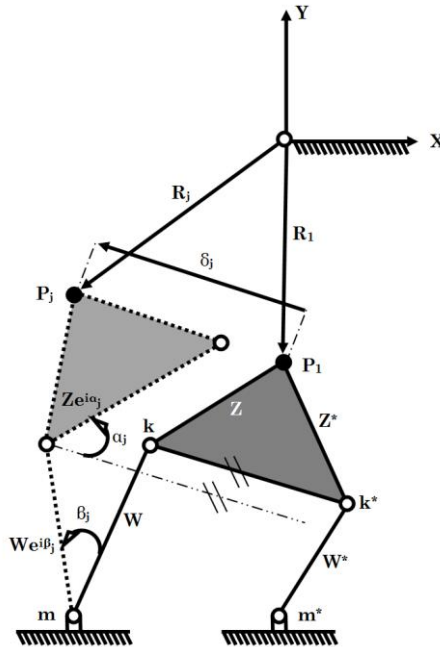
Mekanizmaların Kinematik Sentezi

Büyük oranda şekil değiştirebilen uçak kanatları dâhil çoğu makine tasarımı belirli bir hareket niteliğine sahiptir. Önceden belirli bir hareketi gerçekleştirebilecek en uygun mekanizma türünün belirlenmesine, uzuv sayısı ve uzuvların geometrik özelliklerinin saptanmasına kinematik sentez denilmektedir [Shigley ve Uicker, 1981]. Mekanizmaların kinematik sentezi; istenilen hareket veya kuvvetler için, hangi tür mekanizmanın uygun olacağına incelenildiği çalışmalar tür sentezi; türü belirli olan bir mekanizmanın kaç uzuvdan oluşacağına incelenildiği çalışmalar miktar sentezi; türü ve uzuv miktarı belirli olan bir mekanizmanın geometrik özelliklerinin belirlenmesinin incelendiği çalışmalar da boyutsal sentez olmak üzere üç temel sınıfta değerlendirilmektedir [Chiang, 2000].

Boyutsal kinematik sentezleme için ise iki farklı yaklaşım vardır. Bunlardan ilki grafiksel yaklaşım, diğeri ise sayısal yaklaşımdır. Bazı durumlarda grafiksel yaklaşımlar hızlı ve pratik çözümler sunsa da sayısal yaklaşımlar daha fazla sonucun hızlıca elde edilmesi, kıyaslanması ve en iyi sentez işleminin gerçekleştirilebilmesine olanak sağlamasından ötürü daha fazla güvenilirdir [Eckhardt, 1998]. Düzlemsel dört-çubuk mekanizmalar için sayısal yaklaşımlar ile boyutsal sentez ve en iyileştirme yöntemleri olarak günümüze kadar kırktan fazla çözüm sunulmuştur [Norton, 2004]. Sayısal yaklaşımlar ile mekanizmaların boyutsal kinematik sentezi için en etkili yöntemlerden birisi Burmester Eğrileri veya İkili Sentezleme (Dyad Synthesis) yöntemidir.

Burmester Eğrileri Konum Sentez Yöntemi

En önemli, en yaygın ve en basit mekanizma türlerinden birisi düzlemsel dört-çubuk mekanizmalarıdır. Düzlemsel dört-çubuk mekanizması ilk hareketi ve kuvveti veren kol veya krank uzvu, hareketi ve kuvveti bir sonraki uzva ileten biyel uzvu, son hareketi ve kuvveti aktaran çıkış uzvu ve çıkış uzvu ile krank uzvunu birleştiren sabit uzvundan oluşmaktadır [Mabie, Reinholtz, 1987]. Düzlemsel dört-çubuk mekanizmalarında sol ve sağ tarafta bulunan krank ve biyel uzuvları iki-çubuk vektör çiftleri veya ikililer (dyads) olarak tarif edilebilirler.



Şekil 1: Düzlemsel Dört-Çubuk Mekanizması Üzerinde Birinci ve jnci Pozisyonlarında İkililerin Tanımı

Şekil 1'de W ve W^* vektör çiftleri sırasıyla krank ve çıkış uzuvlarının uzunluklarını, Z ve Z^* vektör çiftleri ise sırasıyla üçlü biyel uzvunun sol ve sağ kol uzunluklarını temsil etmektedir ve koordinat sistemine göre pozisyonları karmaşık sayılar türünden ifade edilmektedirler. Diğer yandan m ve m^*

sabit mafsal noktalarını, k ve k^* sırasıyla krank uzvunun ve çıkış uzvunun biyel uzvuna bağlandığı hareketli mafsal noktalarını, P 'ler ise belirlenmiş pozisyonları ifade etmektedir.

Konum sentezi probleminde sol ve sağ ikililer (W ve Z , W^* ve Z^*) bilinmemektedir. Fakat belirlenmiş pozisyonlar için bu pozisyonlar arası yer değişimi karmaşık sayılar türünden ifade edilebilir: $\delta_j = R_j - R_1$.

Şekil 1'te jnci hareketin ardından oluşan vektörlerin kapalı bir döngü oluşturduğu düşünüldüğünde, benzer terimleri de birleştirerek aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

$$W(e^{i\beta_j} - 1) + Z(e^{i\alpha_j} - 1) = \delta_j \quad (1)$$

Denklem 1 düzlemsel dört-çubuk mekanizmaları için ikili (dyad) kinematik sentez yönteminin standart biçimi olarak kabul görmektedir [Sandor, Erdman, 1984]. Çizelge 2'de görüleceği üzere Denklem 1'deki belirlenmiş pozisyonlar, bilinmeyenler ve serbest seçilebilecek bilinmeyenler arasında kısıtlayıcı bir ilişki mevcuttur.

Çizelge 2: Kullanılan Belirlenmiş Pozisyonlara (δ_j 'ler ve α_j 'ler bilinmektedir) Göre İkili Kinematik Sentez Yöntemindeki Denklem, Bilinmeyen (W ve Z gerçek ve sanal olmak üzere iki elemanlı vektörlerdir.) ve Serbest Seçilebilecek Bilinmeyen Sayıları

Belirlenmiş Pozisyon Sayısı	Denklem Sayısı	Bilinmeyen Sayısı	Serbest Seçilebilecek Bilinmeyen Sayısı
2	2	5 (W, Z, β_2)	3
3	4	6 (W, Z, β_2, β_3)	2
4	6	7 ($W, Z, \beta_2, \beta_3, \beta_4$)	1
5	8	8 ($W, Z, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$)	0

Dört farklı belirlenmiş pozisyon (P_1, P_2, P_3, P_4) bir katı cisim için öteleme ve dönme hareketleri açısından belirlenirse, değişmez bir koordinat sistemine göre yer değiştirmeler ($\delta_2, \delta_3, \delta_4$) ve biyel uzvu dönme açıları ($\alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$) saptanabilir. Denklem 1, $j = 2, 3, 4$ için açıldığında toplam yedi bilinmeyenli üç denklem ikilisi (toplamda altı denklem) elde edilir. Dolayısıyla seçilen bir krank dönme açısı için, örneğin β_2 , denklem ikilileri diğer tüm bilinmeyenler için çözülebilir. Açılan denklem çiftleri artırılmış matris biçiminde yazılır ve determinantı sıfıra eşitlenir.

$$\det[M] = \det \begin{bmatrix} e^{i\beta_2} - 1 & e^{i\alpha_2} - 1 & \delta_2 \\ e^{i\beta_3} - 1 & e^{i\alpha_3} - 1 & \delta_3 \\ e^{i\beta_4} - 1 & e^{i\alpha_4} - 1 & \delta_4 \end{bmatrix} = 0 \quad (2)$$

Denklem 2'de M matrisinin sadece birinci sütununda bilinmeyenler $\beta_2, \beta_3, \beta_4$ yer almaktadır. Eğer M matrisi birinci sütununa göre bilinmeyenler türünden açılırsa aşağıdaki denklemler elde edilir.

$$\Delta_2 e^{i\beta_2} + \Delta_3 e^{i\beta_3} + \Delta_4 e^{i\beta_4} + \Delta_1 = 0 \quad (3)$$

$$\Delta_1 = - \sum_{j=2}^4 \Delta_j \quad (4)$$

Burada $\Delta_2, \Delta_3, \Delta_4$ ifadeleri Denklem 2'deki M matrisinin birinci sütunundaki elemanların eş çarpanlarıdır (cofactors) ve sadece bilinen elemanlardan oluşurlar.

$$\Delta_2 = \det \begin{bmatrix} e^{i\alpha_3} - 1 & \delta_3 \\ e^{i\alpha_4} - 1 & \delta_4 \end{bmatrix} \quad (5)$$

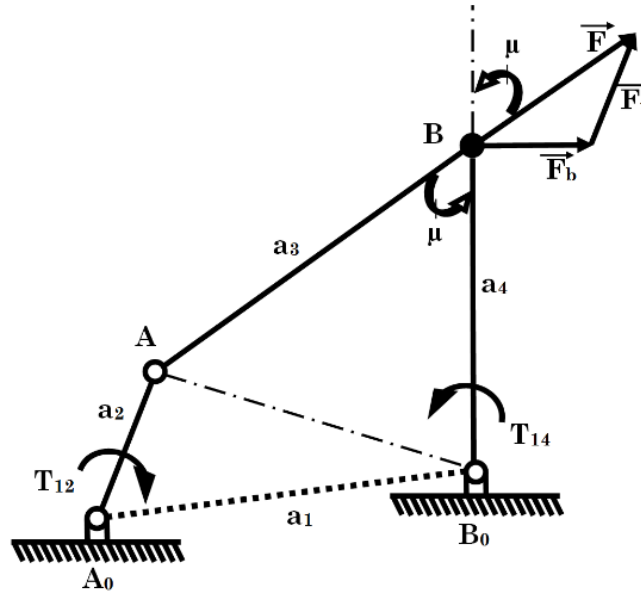
$$\Delta_3 = -\det \begin{bmatrix} e^{i\alpha_2} - 1 & \delta_2 \\ e^{i\alpha_4} - 1 & \delta_4 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\Delta_4 = \det \begin{bmatrix} e^{i\alpha_2} - 1 & \delta_2 \\ e^{i\alpha_3} - 1 & \delta_3 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Denklemler 3 ve 4 göz önüne alındığında seçilen herhangi bir β_2 açısı için diğer krank dönme açıları geometrik olarak hesaplanabilir [Sandor, Erdman, 1984].

Mekanizma Seçim Kısıtları

Bağlama Açısı: Kinematik sentez esnasında göz önünde bulundurulması gereken en önemli kavramlardan birisi, mekanizmanın yük altında nasıl bir davranış göstereceğidir. Bağlama açısı bir mekanizmanın yük altında davranışını belirlemek için kullanılabilir önemli bir parametredir ve çıkış uzvuna krank uzvundan iletilen kuvvetin ne kadarının iş yapar olduğunu göstermektedir [Söylemez, 2000].



Şekil 2: Düzlemsel Dört-Çubuk Mekanizmasında Bağlama Açısının Tarifi

Şekil 2'de görüldüğü üzere bağlama açısı mekanizma hareketine göre ve buna bağlı olarak biyel uzvu ile çıkış uzvunu bağlayan mafsal üzerine etkiyen F kuvveti de sürekli değişkenlik gösterir. Mekanizmanın mukavemet açısından tasarımı, etki edecek olan en büyük kuvvete göre olacağı için, F kuvvetinin mümkün olduğunca F_t 'den büyük olmamasına çalışılmalıdır.

Bağlama açısını giriş kolu açısına göre belirlemek için, Şekil 2'de gösterilen dört-çubuk mekanizması için A_0AB_0 üçgeni ile ABB_0 üçgenleri arasında kosinüs teoremi uygulanır ve AB_0 uzunluğu yazılır. Elde edilecek eşitlikten bağlama açısı çözüldüğünde aşağıdaki ifade elde edilir.

$$\cos(\mu) = \frac{a_4^2 + a_3^2 - a_1^2 - a_2^2}{2 a_3 a_4} + \frac{a_1 a_2}{a_3 a_4} \cos(\theta_{12}) \quad (8)$$

Denklem 8'de a_1, a_2, a_3, a_4 sırasıyla sabit, giriş, biyel ve çıkış uzuv uzunluklarını, μ bağlama açısını ve θ_{12} ise krank uzvu dönme açısını ifade etmektedir [Söylemez, 2000].

Grashof Teoremi: Düzlemsel dört-çubuk mekanizmaları, herhangi bir uzvun diğer uzuvlara göre tam dönebilirliği (360 [derece]) açısından Grashof teoremine göre sınıflandırılır. Bu bağlamda Grashof teoremi düzlemsel dört-çubuk mekanizmalarını, içinde en az bir tam dönebilir uzuv bulunduranlar ve hiç döner uzuv bulundurmayanlar olarak sırasıyla Grashof tipi ve Grashof tipi olmayan olarak ikiye ayırmaktadır. Herhangi bir düzlemsel dört-çubuk mekanizmasında en kısa uzuv uzunluğuna L_{min} , en uzun uzuv uzunluğuna L_{max} ve kalan iki uzvun uzunluklarına da L_a ve L_b denilirse, Grashof kıstası basitçe Denklem 9'daki ilişki ile ifade edebilir.

$$L_{min} + L_{max} < L_a + L_b \quad (9)$$

Düzlemsel dört-çubuk Grashof mekanizmalarının beş çeşidi ayrıca Çizelge 3'te görülmektedir [Wilson, Sadler, 1993].

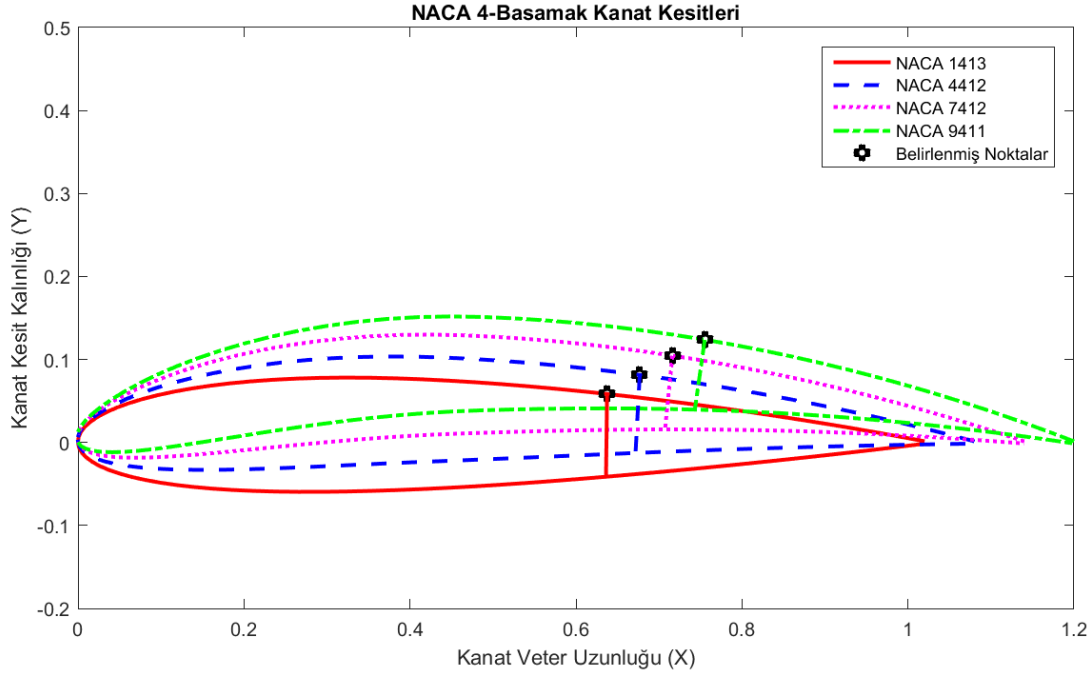
Çizelge 3: Düzlemsel Dört-Çubuk Grashof Mekanizmalarının Sınıflandırılması

Mekanizmanın Özel İsmi	En Kısa Uzuv	Uzuv Uzunlukları Arasındaki İlişki
Kol-Sarkaç	Krank	$L_{min} + L_{max} < L_a + L_b$
Çift-Krank	Sabit Uzuv	$L_{min} + L_{max} < L_a + L_b$
Çift-Sarkaç	Biyel	$L_{min} + L_{max} < L_a + L_b$
Kritik Konumlu Mekanizma	Herhangi Biri	$L_{min} + L_{max} = L_a + L_b$
Üçlü-Sarkaç	Herhangi Biri	$L_{min} + L_{max} > L_a + L_b$

En Kısa Çevre Uzunluğu: Sıklık (compactness) mekanizmalar için bir diğer önemli seçim kıstasıdır. Mekanizma uzuv uzunlukları arttıkça ağırlık artacağından, ilave alana ihtiyaç olacağından ve bu durumların özellikle havacılık sektöründe istenmediğinden ötürü, benzer bağlama açılarına sahip ve Grashof teoremine göre aynı sınıfa uyan mekanizmalardan, çevre uzunluğu en kısa olanı seçilmelidir [Martin, 2007].

UYGULAMALAR

Düzlemsel dört-çubuk mekanizması elde etmek için Burmester eğrileri sayısal konum sentez programı, bağlama açısı, Grashof teorisi ve en kısa çevre uzunluğu mekanizma seçim kıstasları göz önünde tutularak MATLAB R2014b çok dizili sayısal programlama dilinde geliştirilmiştir. Bu program ile dört belirlenmiş nokta için düzlemsel dört-çubuk mekanizması tasarlanabilmekte ve kıstaslar uygulanarak olası en iyi mekanizma seçilebilmektedir. Bu bildiride daha önceden belirlenen dört farklı kanat kesiti için firar ana kirişi tepe noktalarını hareket ettirecek düzlemsel dört-çubuk mekanizma tasarımı incelenmiştir. Kullanılan kanat kesitleri veter uzunluğu arttıkça kanat kesit kalınlığı değişmeyecek biçimde NACA tipi kanat kesitlerinden seçilmiş, ilk durum için veter uzunluğu 1 [birim] alınmıştır. Hedeflenen kanat kesitleri veter uzunluğu %20 oranında artacak, kanat kesiti kambur oranı %10 azalacak ve kanat kesiti hücum kenarı uç noktası sabit olacak biçimde dört farklı pozisyonda olmak üzere Şekil 3'te verilmiştir. Uçak kanat kabuğunun istenen büyük orandaki değişimleri sağlayabilecek çok esnek bir yüzeye sahip olduğu, kanat hücum ve firar ana kirişlerinin ise esnemez yapıda oldukları kabul edilmiştir.



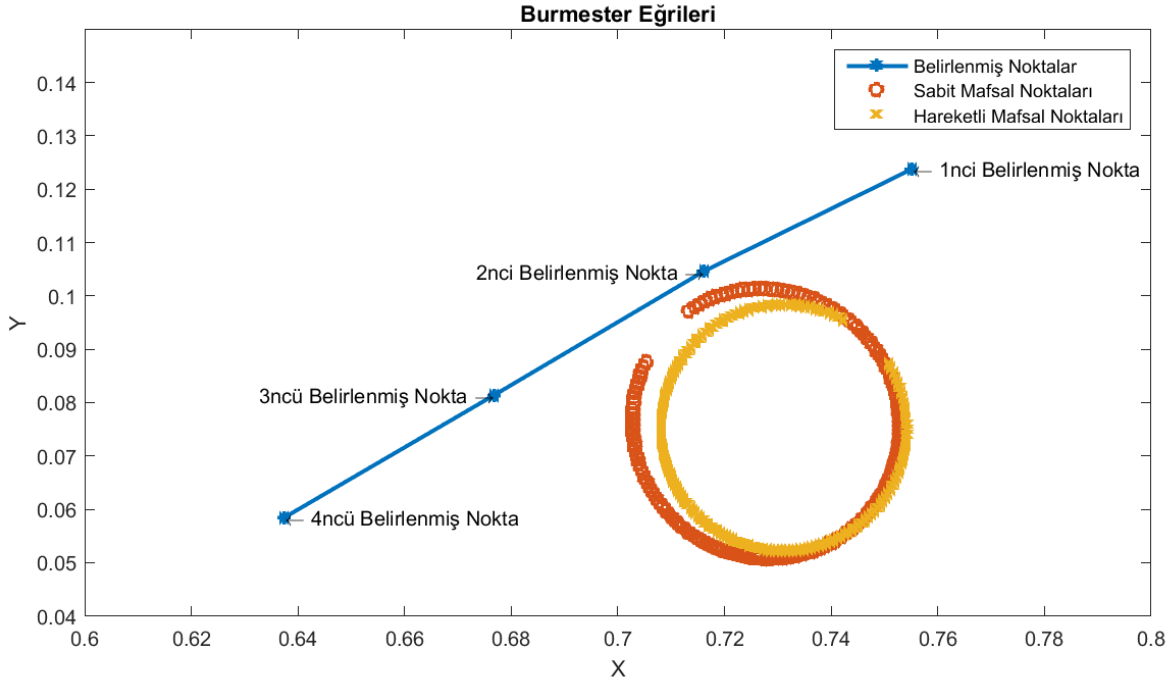
Şekil 3: Hareket Ettirilmesi Amaçlanan NACA Tipi Kanat Kesitleri

Şekil 3'te görülen birim veter uzunluğuna sahip NACA tipi kanat kesitlerinde veter uzunluğunun %60'ında bulunduğu varsayılan firar kenarı ana kiriş en üst noktaları ve firar kenarı ana kiriş yönelim (orientation)'leri Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3: Birim Veter Uzunluğuna Sahip NACA Tipi Kanat Kesitleri Firar Kenarı Ana Kiriş En Üst Noktaları ve Firar Kenarı Ana Kiriş Yönelimleri

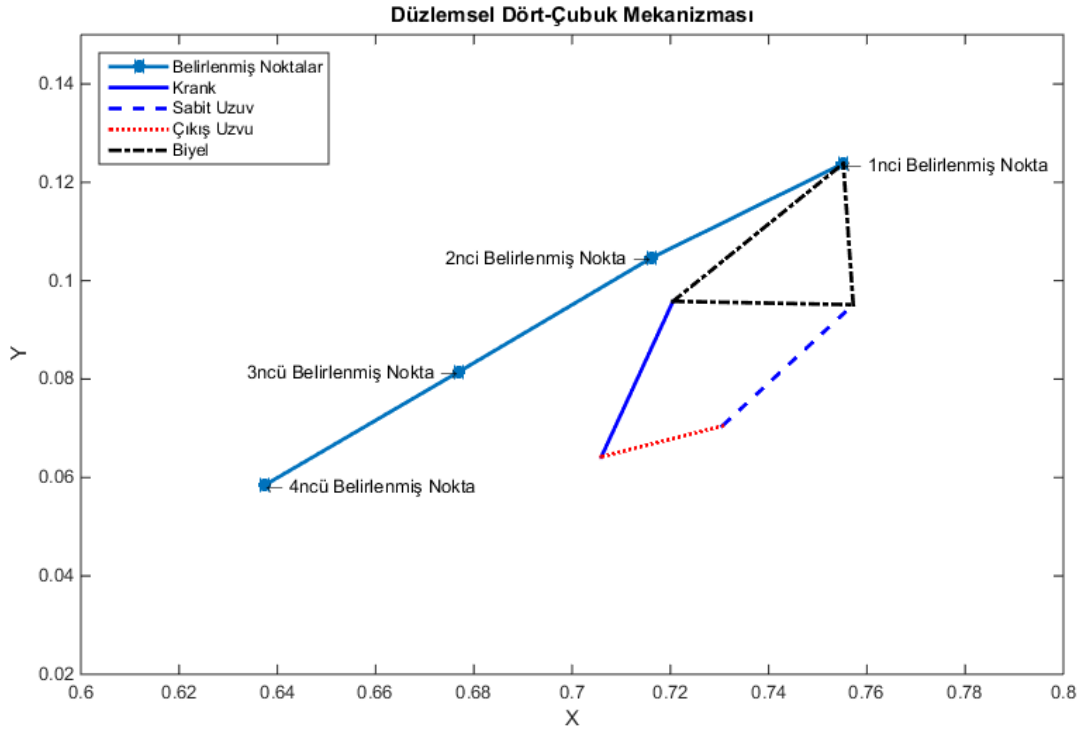
	X Eksenindeki Konum [birim]	Y Eksenindeki Konum [birim]	Yönelim Açı Değeri [derece]
1	0.63747	0.05847	89.271
2	0.67682	0.08142	86.917
3	0.71617	0.10465	84.319
4	0.75519	0.12381	81.913

Belirlenmiş noktalar (P_1, P_2, P_3, P_4) ve yönelim açıları ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$) 4'ten 1'e kadar sıralı biçimde MATLAB R2014b'de geliştirilen programa girilmiş ve Burmester eğrileri Şekil 4'deki gibi elde edilmiştir.



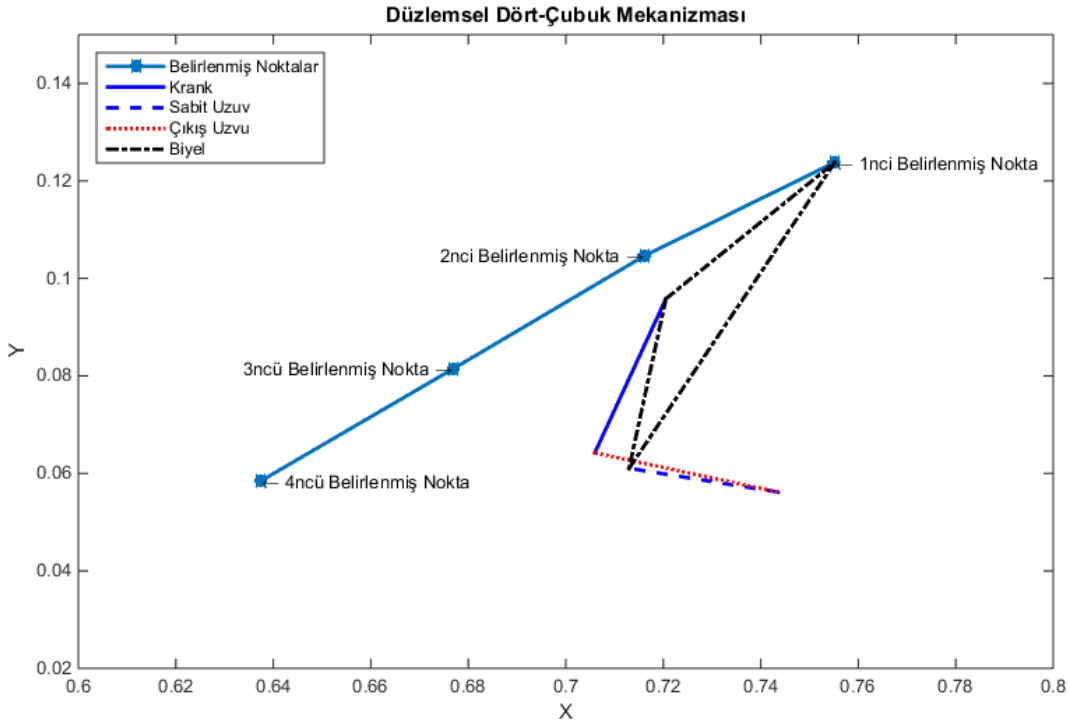
Şekil 4: Burmester Eğrileri (Olası Sabit ve Hareketli Mafsal Noktaları)

Burmester eğrileri çerçevesinde olası tüm mekanizmalar yine MATLAB R2014b'de geliştirilen programda hesaplanmış ve mekanizma seçim kriterleri uygulanmıştır. Mekanizma seçim kriterlerinden bağlama açısı için önerilen $40^\circ < \mu < 140^\circ$ açı değerleri seçilmiştir [Söylemez, 2000]. Elde edilen mekanizmanın, sunulan beş çeşit Grashof tipi mekanizmalardan bir türüne denk düşmesi sağlanmış, bunlardan da en kısa çevre uzunluğuna sahip olanlar seçilmiştir. Sonuç olarak beş farklı mekanizma elde edilmiştir. Elde edilen mekanizmalardan ilki Şekil 5'te görülen en kısa uzvun sabit uzun olduğu Grashof tipi çift-krank mekanizmasıdır.



Şekil 5: Tasarlanan Düzlemsel Çift-Krank Mekanizması

Elde edilen mekanizmalardan bir diğeri Şekil 6'da görülen en kısa uzvun krank olduğu Grashof tipi olmayan, üçlü-sarkaç mekanizmasıdır.



Şekil 6: Tasarlanan Düzlemsel Üçlü-Sarkaç Mekanizması

Şekil 5 ve 6'de sunulan mekanizmalardan yalnızca bir tanesi Grashof tipidir. Bu çift-krank mekanizması tam döner biçimde tahrik edilebilmesinden ötürü daha avantajlı olduğu için öncelikle tercih edilebilir.

SONUÇ

Bu çalışmada büyük oranda şekil değiştirebilen kanatlar için veter artırma ve kambur azaltma sağlayan çeşitli düzlemsel dört-çubuk mekanizmaları Burmester eğrileri konum sentez yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Bu tasarımlardan herhangi bir uzvun tam dönebilir olması düşünüldüğünde en makul olanı Şekil 5'te görülen çift-krank mekanizmasıdır. Bu mekanizma ile çok esnek bir yüzeye sahip olduğu varsayılan bir kanadın ana kirişleri arasındaki uzunluk ve kambur azaltma tek bir tahrik kolu vasıtasıyla aynı anda sağlanabilir.

Çalışmanın ilerleyen aşamalarında geliştirilen MATLAB R2014b programı sadece kısıtlı sayıda sonlu belirlenmiş noktalar için kalmayıp ayrıca çok sayıda (çok küçük aralıkta olanlar dâhil) belirlenmiş noktaları da hesaba katacak biçimde düzlemsel dört-çubuk ve hatta altı-çubuk üretecek şekilde geliştirilecek, bir topoloji en iyileştirilmesi yapılarak yapısal hatayı en aza indirecek ve en iyi mekanizmayı verecek yüzey(ler) ve belirlenmiş pozisyonlar seçilecektir.

Son olarak elde edilen mekanizmanın bir sonlu elemanlar paket programı kullanılarak uygulanabilirliği incelenecektir.

Kaynaklar

- Antoni, U., 1932. *Construction of flexible aeroplane wings having a variable profile*, US Patent No. 1,886,362, 8 Kasım
- Baker, D., Friswell, M.I., 2008. *The design of morphing aerofoils using compliant mechanisms*, 19th International Conference on Adaptive Structures and Technologies, Ascona, İsviçre, 6-9 Ekim
- Barbarino, S., Bilgen, O., Ajaj, R.M., Friswell, M.I., Inman, D.J., 2011. *A review of morphing aircraft*, Journal of Intelligent Material Systems and Structures, Cilt.22, Haziran
- Bartley-Cho, J.D., Wang, D.D., Martin, C.A., Kudva, J.N., West M.N., 2004. *Development of high-rate adaptive trailing edge control surface for the smart wing phase 2 wind tunnel model*, Journal of Intelligent Material Systems and Structures, Cilt.15, s.279-291
- Bryant, G.D., Stewart, A.W., 1963. *Variable camber airfoil*, US Patent No. 3,109,613, 5 Kasım
- Campanile, L.F., Anders, S., 2005. *Aerodynamic and aeroelastic amplification in adaptive belt rib airfoils*, Aerospace Science and Technology, Cilt.9
- Chiang, C.H., 2000. *Kinematic design of planar mechanisms*, Krieger Publishing Company, s.51-172
- Daynes, S., Weaver, P., Potter, K., 2010. *Device Which Is Subject to Fluid Flow*, US Patent No. 2010/0213320, 17 Şubat
- Eckhardt, H.D., 1998. *Kinematic design of machines and mechanisms*, McGraw-Hill, s.377-387
- Elzey D.M., Soa A.Y.N., Wadley H.N.G., 2005. *A bio-inspired, high-authority actuator for shape morphing structures*, Smart Structures and Materials 2003: Active Materials: Behavior and Mechanics, Proceedings of SPIE Cilt.5053
- Friswell, M.I., 2012. *Hierarchical models of morphing aircraft*, 19th International Conference on Adaptive Structures and Technologies, Nanjing, Çin, 11-13 Ekim
- Gilbert, W.W., 1981. *Mission adaptive wing system for tactical aircraft*, AIAA 80-1886R, Cilt.18, Temmuz
- Hetrick, H.M., S., Ervin, G.F., 2013. *Compliant structure design of varying surface contours*, US Patent No. 8,418,966, 16 Nisan
- Joo, J.J., Sanders, B., Johnson, T., Frecker, M.I., 2006. *Optimal actuator location within a morphing wing scissor mechanism configuration*, Smart Structures and Materials 2006: Modelling, Signal Processing, and Control, edited by Lindner, D.K., Proceedings of SPIE Cilt.6166
- Mabie, H.H., Reinholtz, C.F., 1987. *Mechanisms and dynamics of machinery, Fourth edition*, John Wiley and Sons Company, Kanada
- Martin P.J., 2007. *Burmester curve and numerical motion generation of Grashof mechanisms with perimeter and transmission angle optimization in Mathcad*, M.S. Thesis, New Jersey Institute of Technology, Ocak
- Norton, R.L., 2004. *Design of machinery an introduction to the synthesis and analysis of mechanisms and machines 3rd edition*, McGraw-Hill
- Özgen, S., Yaman, Y., Şahin, M., Seber, G., Ünlüsoy, L., Sakarya, E., İnsuyu, T., Bayram, G., Uludağ, Y., Yılmaz, A., 2010. *Morphing air vehicle concepts*, UVW2010, International Unmanned Vehicle Workshop, İstanbul, Türkiye, 10-12 Haziran
- Parker, H.F., 1920. *Variable camber rib for aeroplane wings*, US Patent No. 1,341,758, 1 Haziran
- Perkins, Reed, Havens, 2004. *Adaptive wing structures*, Smart Structures and Materials 2004: Industrial and Commercial Applications of Smart Structures Technologies, edited by Anderson, E.H., Proceedings of SPIE Cilt.5388, Bellingham
- Ramrakhani, D. S., Lesieutre, G. A., Frecker, M., Bharti, S., 2004. *Aircraft structural morphing using tendon actuated compliant cellular trusses*, 45th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics & Materials Conference, Palm Springs, California, 19-22 Nisan
- Reed, J.L., Hemmelgarn, C.D., Pelley, B.M., Havens, E., 2005. *Adaptive wing structures*, Smart Structures and Materials 2005: Industrial and Commercial Applications of Smart Structures Technologies, edited by White, E.V., Proceedings of SPIE Cilt.5762, Bellingham
- Ricci S., 2008. *Adaptive camber mechanism for morphing experiences at DIA-Polimi, Advanced course on morphing aircraft*, Mechanisms and Systems, Lisbon, Portekiz, Kasım

- Sandor, G.N., Erdman, A.G., 1984. *Advanced mechanism design: Analysis and synthesis*, Prentice-Hall, INC., New Jersey
- Shigley, J.E., Uicker, J.J., 1981. *Theory of machines and mechanisms, International edition*, McGrawHill, Singapur
- Sofla, A.Y.N., Meguid, S.A., Tan, K.T., Yeo, W.K., 2010. *Shape morphing of aircraft wing: Status and challenges*, Materials and Design, Cilt.31
- Söylemez, E., 2000. *Makine teorisi-1: Mekanizma tekniği*, Birsen Yayınevi, Ankara, Temmuz
- Wilson, C.E., Sadler, J.P., 1993. *Kinematic and dynamics of machinery, 2nd edition*, HarperCollins College Publishers, New York
- Woods, B.K.S., Bilgen, O., Friswell, M.I., 2014. *Wind tunnel testing of the fishbone active camber morphing concept*, Journal of Intelligent Material Systems and Structures, 5 Şubat
- Yaman, Y., Özgen, S., Şahin, M., Gürses, E., 2012. *Büyük oranda şekil değiştirebilen kanat/ kontrol yüzeylerinin uçustaki etkileri*, UHAT2012, I. Ulusal Havacılık Teknolojisi ve Uygulamaları Kongresi, Ege Üniversitesi, Ege Meslek Yüksek Okulu, İzmir, 20-22 Aralık
- Zapel, E.J., 1978. *Variable camber trailing edge for airfoil*, US Patent No. 4,131,253, 26 Aralık