

CLEAN SKY PROGRAMI KAPSAMINDA SİVİL YOLCU UÇAKLARINDA KANATÇIKLARIN ŞEKİL DEĞİŞTİRME TEKNOLOJİSİNİN EVRİMİ

Mürüvvet Sinem SİCİM¹ ve
Prof.Dr. Metin Orhan KAYA²
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

Prof. Dr. Rosario PECORA³
University of Naples Federico II, Napoli

ÖZET

Geleneksel hava aracı tasarımları, sadece uçuş zarfındaki tek bir noktaya göre optimize edilir, bu da hava aracının diğer uçuş koşullarına göre optimumun altında bir performansa sahip olması demektir. Hava aracının performans gereksinimleri iniş-kalkış veya seyir koşulların göre değişkendir. Şekil değiştirebilen yapılar performans hedeflerini gerçekleştirmek için kullanılabilir. Büyük boyuttaki sivil hava araçlarında, hava aracının kanat ve kontrol yüzeyleri üzerindeki değişiklikler, aerodinamik performansı önemli ölçüde iyileştirebilir. Şekil değiştirebilen yapıların en büyük avantajı, hava sürükleme kuvvetlerini düşürerek ve hava aracının minimum ve maksimum hızlarını arttırarak aerodinamik verimliliği arttırmaktadır. Bu sayede yakıt tüketiminin azaltılarak ciddi bir maliyet kazanımı sağlanır. Bu proje çerçevesinde, büyük boyuttaki hava aracı kanatlarında özgün ve akıllı teknolojiler sayesinde uçuş esnasında kanat kamburluğunun şekil değiştirmesi öneriliyor. Tasarlanan çözümler ve entegre edilen denemeler, gelecekte ilgili ürünlere entegre edilmesi düşünülerek ürünlerle ilgili sertifikasyon ve operasyonel sıkı teknik gereksinimleri sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Bu çalışmada, sivil yolcu uçaklarında özel olarak tasarlanmış çok modlu bir kamber değiştirebilen kanatçık yapısının geliştirme aşamaları, yazarın geçmişte ve hala devam etmekte olan çalışmalarına atıfta bulunarak genel hatlarıyla anlatılmıştır.

GİRİŞ

Tarihin başlangıcından beri şekil değiştirebilen kanat yüzeyleri havacılığın bir parçası olmuştur. Şekil değiştiren kanat yapıları, büyük sivil uçaklarda aerodinamik performansları iyileştirme için en umut verici teknolojiler arasında kabul edilmektedir.

Modern havacılığın öncüsü olan ve kontrollü bir uçuşu gerçekleştirmeyi başaran Wright Flyer kardeşler, kanat bükülmesini [twist] kablolarla değiştirerek bir tür yatış kontrol [roll control] mekanizmasielde etmişlerdir. [Pendleton E.,2000]

Geleneksel uçaklarda, uçuş kontrolü için kanat üzerindeki aileron, flap veya slat sistemleri şekil değiştiren yapılar [morphing structures]olarak görülebilir. Günümüzde, kanat yapılarını değiştirme kavramı, akıllı malzemelerin veya mekanik sistemlerin kanada entegre edilmesiyle ilk geometrinin

¹ Doktora Öğrencisi , Uçak Müh. Böl., E-posta: msicim@thy.com

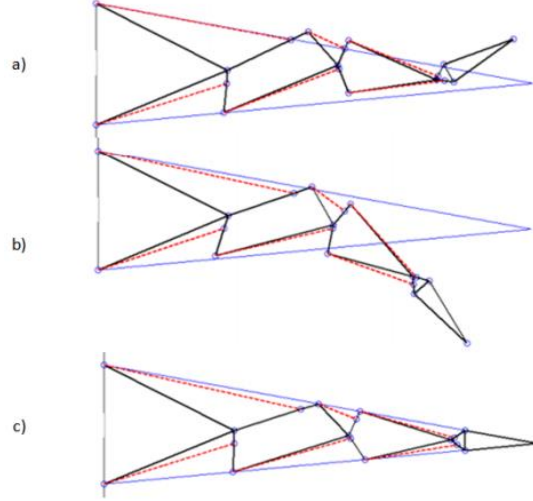
² Prof. Dr., Uçak Müh. Böl., E-posta: kayam@itu.edu.tr

³ Prof. Dr, Uçak Müh. Böl., E-posta: rosario.pecora@unina.it

değiştirilmesini içerir. [Moens F.,2019] Ortak inanılan, şekillendirme kanadının şekil bellek alaşımları ve piezoelektrik gibi akıllı malzemelerle elastik deformasyon yoluyla gerçekleştirilmesi gerektiğidir.

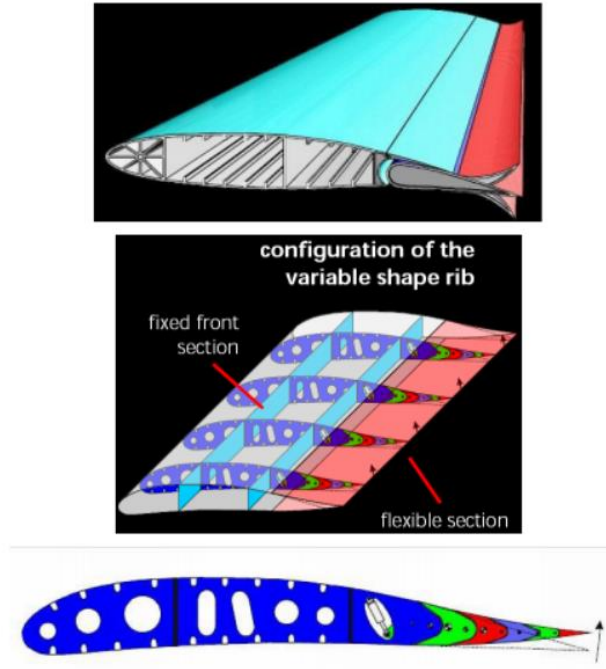
Barbarino et al. [2010], değişken geometrili kafeslerden [variable geometry trusses] yapılmış bir değişken kamber firar kenar kontrol [variable camber trailing edge] yüzeyi konsepti üzerine çalışmalar yaptı. Değişken kamber elde etmek için Şekil Hafızalı Alaşımlar [SMA] kullanılmıştır. Bu yaklaşımla, geleneksel kullanımdan kaynaklanan yüksek maliyet ve ağır ağırlık sorunları uzunluğu ayarlanabilen tahrikli elemanlar elimine edildi.

SMA kafes kirişleriyle beraber yukarı eğik, aşağı eğik ve deforme olmayan kontrol yüzeyleri Şekil 1 görülebilir.



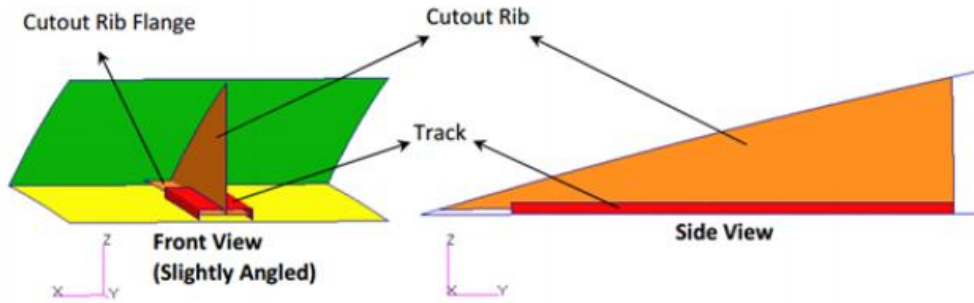
Şekil 1: a) yukarı doğru deforme olmuş, b) aşağı doğru deforme olmuş ve c) deforme olmamış [kırmızı noktalı çizgiler,SMA elemanları]

German Aerospace Center (DLR) tarafından kamber değişimi için iki farklı kavram üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Şekil 2 de görülen ilk metot, parmak kavramı [finger concept] olarak bilinen metalik bir yapıya sahip olan sistem şekil değişimi sırasında pürüzsüz bir profil elde etmeyi amaçlar. Firar kenarındaki esnek olmayan kirişler, birbirine birleştirilmiş ve birbirine göre dönebilen birkaç plaka benzeri eleman [parmak] ile değiştirilerek şekildeki görüntü elde edilmektedir. Her elemanın yüksek bir sertliği olmasına rağmen, tüm yapı esnek olup ve elektrik motorlarının çalıştırılmasıyla değişken kamber oluşumuna izin vermektedir.



Şekil 2: DLR Kamber Değişirebilen Kanat Tasarımı [Nabel B., 2014]

İnsan hava aracı üzerinde yapılan başka bir çalışma da, TÜBİTAK 107M103 nolu proje kapsamında, Orta Doğu Teknik Üniversitesinde başarıyla sonuçlandırılmıştır. Bu çalışmada yarı açık uçlu firar kenar kontrol yüzeyleri, kamberini değiştirebilir, üst ve alt kaplama panelleri arasındaki kılavuzların kaydırılmasıyla burulma hareketi elde edilmektedir. Kılavuz kızak mekanizması şekil 3 te gösterilmiştir. Hava aracı TAI tarafından üretilmiş ve uçuş testleri başarıyla gerçekleştirilmiştir. [Seber G., 2016]



Şekil 3: Mentşesiz Kılavuz Kızak Mekanizması [Seber G., 2009]



Şekil 4: TÜBİTAK 107M103 Projesi Kapsamında Tasarlanan Şekil Değiştirebilen İnsansız Hava Aracı [Seber G., 2016]

YÖNTEM

Küçük insansız hava araçları için değişen farklı geometrik özelliklerle başa çıkmak için kanat kavramının geçişi ile ilgili literatürde çok fazla çalışma olmasına rağmen, ticari uçak uygulamalarında araştırılan güvenilir şekil değiştirebilen yapıların sayısı çok azdır. Küçük insansız hava araçlarında şekil değiştirebilme özelliğini uygulamak ve test etmek ticari amaçla yolcu taşıyan uçaklara göre çok daha kolay olduğu için ilk çalışmalar bu yönde yapılmıştır. [Rea. F., 2018]

2010 yılında SARISTU projesi hayata geçirilmiş ve bu proje çerçevesinde morphing hücum ve firar kenarı şekil değiştirme çözümleri iyileştirilmiştir. Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt [DLR] tarafından kalkış ve iniş sırasında performansı artırmak için uyarlanabilir bir hücum kenarı tasarlanmıştır. [Kintscher M,2016]

Seyir performansını artırmayı amaçlayan uyarlanabilir firar kenarı cihazı [ATED] yakıt tüketimini azaltmak için Unina [Pecora vd.,2016] tasarlanmıştır. Sistemin tüm yapısal bileşenleri Pecora ve ekibi tarafından tasarlanmış olup, University of Naples Federico II bünyesinde bulunan akıllı yapılar laboratuvarında testleri gerçekleştirilmiştir. SARISTU projesi kapsamında yapılan bu çalışmalar sonucu elde edilen tasarım teknolojik olgunluk gösteren benzersiz bir yapıdır. Çalışma iki ana yenilik ortaya çıkarmıştır. Kamber şekil değişimi yetenekleri ile flap fonksiyonelliği artırılmış ve lift kontrolü sağlanmıştır.



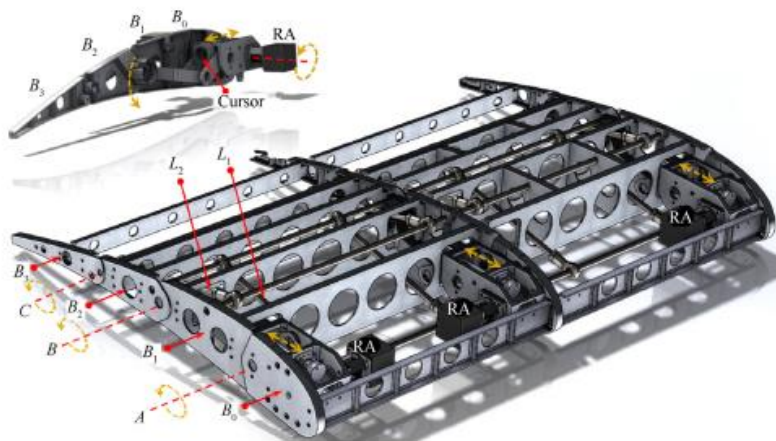
Şekil 5: Uyarlanabilir Firar Kenarı Tasarımı



Şekil 6: Sarısta Projesi Final Demonstrasyonu

1. Konsept Tasarım ve Tasarım Doğrulaması

Clean Sky programı çerçevesinde başlatılan çalışmalarda uçuş sırasında kamber flapın aktif kontrolü için büyük çaba harcanmıştır. Ana fikir, CL_{max} ve stall angle in artırılarak aerodinamik avantajlar elde etmesidir. Bunun bir sonucu olarak, geleneksel çift yarıkli kanat yerine şekil değiştirme özelliğine sahip tek yarıkli bir kanat kullanılabilir mi sorusunun cevabı bulunmaya çalışılmıştır. Geometrinin sadeleştirilmesiyle gürültü azaltması da hedeflenmektedir. Şekil değiştiren flap üzerine yapılan ön çalışmalar, şekil değiştirmenin pratik uygulanabilirliğini göstermeyi amaçlamaktadır. Bu nedenle, ilk yapılan çalışmalarda flepin karmaşıklılığını azaltmak için kanat incilmesi ihmal edilmiş ve kısım 0,62 m kanat genişliği, 0,18 m maksimum kalınlık ve 0,8 m kanat uzunluğu ile yeni bir model tasarlanmıştır. Tasarım üretilip ve test edilmiştir. Deneysel sonuçlar, kontrol edilebilir ve tekrarlanabilir bir şekilde bir şekil değiştiren flap mekanizması konseptinin uygulanabilirliğini doğrulamıştır. [Pecora vd.,2016a]



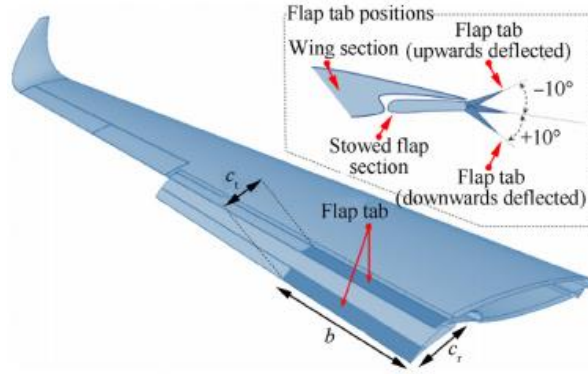
Şekil 7: Şekil Değiştiren Flap: kavramın kanıtı için oluşturulmuş ilk model [Pecora vd., 2016a, 2017, 2020]

2. Gelişmiş Tasarım ve Yeni Eklenen Fonksiyonlar

Clean Sky GRA-ITD'nin [2015-2016] ikinci aşaması sırasında, genel teknoloji gösterimi için büyük gerçek ölçekli segment tasarlandı. [Pecora vd.,2016b] Flap kısmının açıklığı 3,6 m, kök kirişi 1,2 m, uç kirişi 0,9 m ve maksimum kalınlık 0,24 m olarak tasarlanan yeni kanat modeli, ilk modele göre farklı bir tasarıma sahiptir. Konik kanat, daha karmaşık ve önemli yük setleri dikkate alınarak tasarlanmıştır. Kanat tasarımında geometrik değişikliklerin yanı sıra iki farklı biçim değiştirme modu yer almaktadır:

Mod 1: Kalkış ve iniş sırasında yüksek lift performansını arttırmak için kamberın tamamen değişmesi,

Mod 2: Aerodinamik verimliliği en üst düzeye çıkarmak için seyir sırasında flap açısının $[-10^\circ, +10^\circ]$ aralığında yukarı/aşağı dönüşünü içeren geçiş.



Şekil 8: Geliştirilmiş Şekil Değiştirebilen Flap Demostrasyonu

UYGULAMA ve DEĞERLENDİRME

Çalışma kapsamında işlevsellik ve statik olarak iki farklı test süreci gerçekleştirilmiştir. İç yapının ve gömülü ekipmanın durumunu görsel olarak kontrol etmek için, kanat yüzey modülleri tüm testler sırasında çıkarılmıştır. İşlevsellik testleri flap yapısının kontrollü ve tekrarlanabilir bir şekilde hedef biçimlendirilmiş şekilleri yeniden üretebildiğini göstermek için gerçekleştirilmiştir. Aktüatörlerin etkinleştirilmesiyle elde edilen bitişik kiriş blokları arasındaki açılar, her bir şekil değiştirme moduna uygun tasarım değerleriyle $0,5^\circ$ hassasiyetle eşleştiğinde, hedef şekil değiştirmeye başarıyla ulaşıldığı kabul edilmektedir. [Noviello vd., 2016]



Şekil 9: Kurulum Donanımı



Şekil 10: İşlevsellik Testleri

Testler sırasında kanat yüzeyi olmadığı için 2013 kg olan normal yük 1500 kg olarak uygulanmıştır. Deneysel sonuçlar, tasarım gereksinimlerine uygun, güvenilir, kontrol edilebilir ve kararlı geçişin cihaz tarafından her iki geçiş modu için sağlandığını ve incelenen limit yüküne kadar kalıcı deformasyonlar veya işlevsellik kaybı olmadığını göstermektedir.

Güncel Çalışmalar

Flap mekanizması genellikle kalkış ve iniş sırasında lift kuvvetini artırmak için kullanılır ve günümüzde herhangi bir ticari aracın ihtiyaçlarına uygun çeşitli konfigürasyonları mevcuttur. Ancak mevcut kanat tasarımları, sabit ve rijit bir kanat konfigürasyonunun sınırlarının aşılmasına imkan vermemektedir. Bu araştırma çalışmasının amacı, bölgesel uçaklara da mevcut rijit tasarımın yerini alabilen, uçağın aerodinamik ve uçuş performansını arttıracak içten tahrikli bir biçimde şekil değiştiren flap tasarlamaktır.

Güncel çalışmaların amaçları şu şekilde özetlenebilir:

1. 90 yolcu kapasiteli bölgesel bir uçak olan TP90 uçağının performansını artırmak için 3 farklı modda şekil değiştirebilen uygun tasarımın geliştirilmesi,
2. Tasarım konseptinin fizibilitesini göstermek,
3. Statik ve dinamik yükleme altında şekil değiştirebilen flap yapısının yapısal davranışını analiz etmek,
4. Şekil değiştirebilen flap yapısının işlevselliğinin doğrulanması,
5. Yapının rüzgar tüneli testlerinin gerçekleştirilmesi,
6. Elde edilen sonuçlar ışığında rüzgar tüneli test veri analizi teknoloji doğrulama çalışmalarının gerçekleştirilmesi.

Bu amaçları gerçekleştirmek için, uygulanan temel ilke ve yöntemleri belirlemek ve şekil değiştirebilen yüksek lift sağlayan flap tasarımında ortaya çıkan zorlukları anlamak için biçim değiştiren yapılar alanındaki son teknoloji çözümler araştırılmıştır.

1. Konseptin akış analizleriyle doğrulanabilmesi için 1:3 ölçekli yeni bir tasarım yapılmaktadır.
2. Yeni tasarım üzerinde oluşan aerodinamik yükleri belirleyebilmek için CFD analizleri yapılacaktır.
3. Yapının, mekanik ve aerodinamik yüklerin etkisi altındaki yapısal davranışını incelemek için sonlu eleman analizleri yapılacaktır.
4. Yer test ekipmanları tasarlanacaktır.
5. Test donanımı ve kurulum prosesi belirlenecektir.

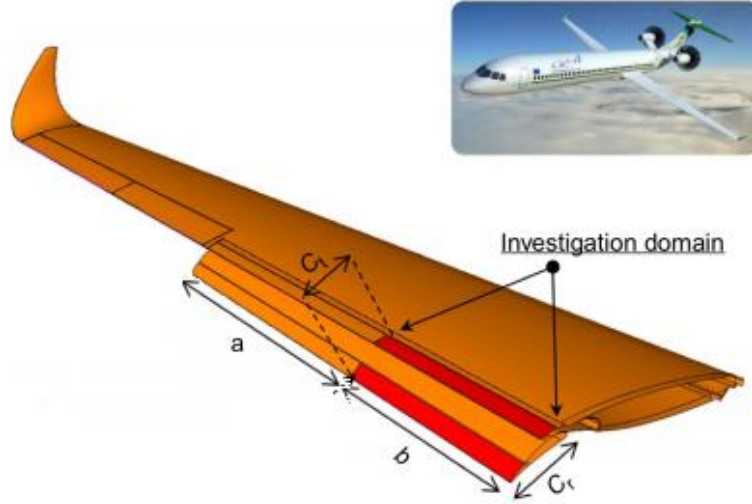


Figure 11: CFD Referans Modeli

Tablo 1:Kanat Geometrisinin Detay Ölçüleri

Lokasyon	Uzunluk [mm]
Span of Wing [s]	4466.23
Span of Inboard Flap [a]	1359.73
Span of Outboard Flap [a]	1703.04
Root Chord of Outboard Flap [Cr]	293.9
Tip Chord of Outboard Flap [Ct]	213.05

SONUÇ

Yapılan çalışmaların, konsept modelin çalışma prensibini doğrulamasının ardından, sıradaki çalışma için 90 yolcu kapasiteli bölgesel bir uçak olan TP90 için şekil değiştirebilen flap tasarımının ortaya konması hedeflenmektedir. Tüm flap yapısı, özel uçuş koşullarına göre 3 farklı modda şekil değiştirebilecektir. Tasarımın sürecinde yapısal ve akış analizleri tamamlanacaktır. Gerçek ölçekli modelin rüzgar tüneli testlerine girmesi farklı zorluklara yol açtığı için, çalışma kapsamında 1:3 ölçekli yeni bir kanat modeli tasarımı yapılarak işlevsellik, yapısal ve rüzgar tüneli testleri bu model üzerinde gerçekleştirilecektir. Bu testlerle ilgili datalar toplanarak yapılan analizlerin için doğrulama çalışması yapılacaktır.

Temel amaç, şekil değiştirebilen gelişmiş teknolojileri bölgesel uçaklara entegre etmek ve bu teknolojiyi doğrularak gelecekteki ürünlere entegrasyonu sırasında oluşacak riskleri azaltmaktır. Havayolları, yenilikçi teknolojileri uçaklara entegre ederek daha verimli, çevre dostu, daha düşük yakıt tüketimi seviyelerinde uçuşlar yaparak işletme maliyetlerini azaltabilir. Çalışmalar sonucunda şekil değiştirebilen flap yapısının kullanımıyla uçuş performansını optimum hale getirmek, yakıt tükemini ve emisyonu azaltmak hedeflenmektedir.

Kaynaklar

Pendleton E., Back to the future – how active aeroelastic wings are a return to Aviation's beginnings and a small step to future bird-like wings, RTO AVT Symposium on Active Control Technology for Enhanced Performance Operational Capabilities of Military Aircraft, Land Vehicles and Sea Vehicles, Braunschweig, Germany, 2000.

Moens F., Augmented aircraft performance with the use of morphing technology for a turboprop regional aircraft wing. *Biomimetics* 2019;4[3]:1–20.

Barbarino, S., Dettmer, W. G., and Friswell, M. I., “Morphing trailing edges with shape memory alloy rods,” *Proceedings of 21st international conference on adaptive structures and technologies [ICAST]*, Vol. 4, No. 6, 2010.

Sinapius M., Monner H.P., Kintscher M., Riemenschneider J., DLR's morphing wing activities within the european network, *Proceedings of the 23rd International Congress of Theoretical and Applied Mechanics [ICTAM]*, Beijing, August 19-24, 2012, <https://doi.org/10.1016/j.piutam.2014.01.036>.

Seber, G., Sakarya, E., Insuyu, T. E., Unlusoy, L., Sahin, M., Ozgen, S., and Yaman, Y., “Aeroservoelastic Analysis of the Effects of Camber and Twist on Tactical UAV Mission-Adaptive Wings,” http://http://ae.metu.edu.tr/~yyaman/LabCapabilities/TUBITAK_107M103.pdf, 2011.

Seber, G., Sakarya, E., Insuyu, T. E., Sahin, M., Ozgen, S., and Yaman, Y., “Evaluation of a Camber Morphing Concept Based on Controlled Flexibility,” 2009, IFASD2009, International Forum on Aeroelasticity and Structural Dynamics, 21-25 June 2009, Seattle, Washington, USA.

Rea, F., Amoroso, F., Pecora, R., Kintscher, M., “Design of an adaptive twist trailing edge for large commercial aircraft applications”, *Proceedings of SMASIS 2018 - Smart Materials, Adaptive Structures and Intelligent Systems Conference [San Antonio - TX, USA]*, sponsored by ASME [American Society of Mechanical Engineering], September 2018, Paper ID: SMASIS2018-7939.

Kintscher M., Kim J., Storm S., Peter F., Assessment of the SARISTU enhanced adaptive droop nose, *Proceedings of the Final Project Conference*, Springer International Publishing, 2016, ISBN 978-3-319-22413-8.

Pecora R. et al., Structural Design of an Adaptive Wing Trailing Edge for Large Aeroplanes. In: Wölcken P., Papadopoulos M. [eds] *Smart Intelligent Aircraft Structures [SARISTU]*. Springer, 2016.

Pecora R., Amoroso F, Magnifico M. Toward the bi-modal camber morphing of large aircraft wing flaps: The CleanSky experience. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. 2016.

Pecora R., Multi-modal morphing wing flaps for next generation green regional aircraft: the CleanSky challenge. *Proceedings of the ASME 2018 conference on Smart Materials, Adaptive Structures and Intelligent Systems [SMASIS].2018 September 10-12;San Antonio, USA.New York; 2018.*

Pecora R., Morphing wing flaps for large civil aircraft: Evolution of a smart technology across the Clean Sky program. *Chinese Journal of Aeronautics [2020]*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cja.2020.08.004>.

Noviello MC, Rea F, Arena M,et al., Actuation and control of a novel wing flap architecture with bi-modal camber morphing capabilities. *Proceedings of 7th International Conference on Mechanical and Aerospace Engineering [ICMAE]*. 2016. pp. 426–431.

Strüber H., The Aerodynamic Design of the A350 XWB-900 High Lift System, *Proceeding of ICAS*

2014, St. Petersburg, Russia, 7-12 September 2014.

Mangrulkar et al., Numerical studies on the near wall y^+ effect on heat and flow characteristics of the cross flow tube bank, *Journal of Physics: Conf. Series* 1240 [2019] 012110, doi:10.1088/1742-6596/1240/1/012110.

Ricci, S., "Adaptive camber mechanism for morphing-experiences at DIAPoliMi," *Advanced Course on Morphing Aircraft, Mechanisms and Systems*, Lisbon, Portugal, 2008.