

GENEL ENİYİLEME YÖNTEMİ KULLANILARAK OLUŞTURULAN KİRİŞ-ÇUBUK MODELİNİN DİNAMİK AEROELASTİSİTE KARAKTERİSTİĞİNİN İNCELENMESİ

Murat AYDIN¹ ve Oğuzhan KÖSE²
ODTÜ, Havacılık ve Uzay Mühendisliği

Prof. Dr. Altan KAYRAN³
ODTÜ, Havacılık ve Uzay Mühendisliği

ÖZET

Genel eniyileme yöntemi olan karga arama algoritması ile oluşturulan AGARD 445.6 ve ODTÜ VLA kanadının kiriş-çubuk modelinin, dinamik aeroelastisite analizlerinde kullanımı incelenmiştir. Bu kiriş-çubuk modelleri ile AGARD 445.6 ve ODTÜ VLA kanadı detaylı sonlu elemanlar modelinin çarpınma analizleri yapılmıştır. Bu analizler için ZAERO ZTRAN birimi ve MSC NASTRAN Sol 145 birimi kullanılmıştır. AGARD 445.6 kanadı için transonik dip etkilerinin görülmesi için gerçekleştirilen hesaplamalı akışkanlar dinamiği vasıtası ile elde edilen sonuçlar ZTRAN analiz birimine aktarılmıştır. Elde edilen sonuçlar, NASA deneyleri ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar grafik şeklinde ilgili bölümde gösterilmiştir. ODTÜ VLA kanadı için ise elde edilen sonuçlar detaylı sonlu elemanlar modelinin MSC NASTRAN çarpınma analizi sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Kiriş modeli ile yapılan analizlerin, detaylı sonlu elemanlar modeli sonuçları ile uyduğu gözlemlenmiştir.

GİRİŞ

Büyük uçak modellerinde yapısal modelin serbestlik derecesinin fazla olması çoğu zaman hesaplama süresinde büyük artışlara sebep olmaktadır. Bu durum bazı zamanlarda yönetilebilir olsa da çoğu zaman yönetilmesi mümkün değildir. Özellikle hesaplamalı akışkanlar dinamiği ve yapısal sonlu elemanlar modeli bağılıklığı ile oluşturulan modellerde büyük problemler ortaya çıkarmaktadır. Bundan dolayı, düşük serbestlik derecesine sahip yapısal modellerin oluşturulması neredeyse mecburidir. Düşük serbestlik dereceli modelin dinamik aeroelastisite analizlerinde kullanılması için, asıl yapının dinamik karakterini yansıtması gerekmektedir. İndirgenmiş modeli oluşturmak için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Cirillo [Cirillo, 2011], kiriş kesiti bünye denklemleri kullanarak özel jet için kiriş-çubuk model oluşturmuştur. Bu yöntemi kullanarak elde ettiği kiriş-çubuk modelinin, detaylı sonlu elemanlar modelinin dinamik ve statik karakteristiğini benzer şekilde yansıttığını göstermiştir. Dinamik karakteristik için rüzgâr tepkisi analizine başvurmuştur. A. Elsayed [Elsayed, 2009], kiriş-çubuk modeli oluşturulmasında statik bir yaklaşım sergilemiştir. Bu modeli oluştururken belli eksenlerden kuvvetler uygulayıp statik deformasyonlardan kiriş özelliklerini bulup, sonuçların statik olarak, detaylı sonlu elemanlar modeli ile uyduğunu göstermiştir. A. Swift 2010 yılında yayınladığı makalesinde [Swift, 2010] kiriş-çubuk modelini sabit kaburga varsayımını uygulamak için kullanmış ve güvenilir çarpıntı tahminleri sağladığını göstermiştir. Pecora [Pecora, 2014] ise CS25 katagori bir uçakta tasarımsal denemeler için kiriş-çubuk modeli kullanmış ve çarpınma hareketlerini incelemiştir. Hızlı duyarlılık analizleri yapmak için, kanat sisteminin basitleştirilmiş ve oldukça temsili bir modeli olan kiriş-çubuk modelini kullandığını söylemiştir.

Bu bildiri de karga arama algoritması ile oluşturulan kiriş-çubuk modelinin dinamik aeroelastisite karakteristiği incelenmiştir. Sonuçlarımızın geçerliliğinin kanıtlanması için, deney sonuçları mevcut

¹ Y. Lisans Öğrencisi, Havacılık ve Uzay Müh. Böl., E-posta: aydin.murat@metu.edu.tr

² Y. Lisans Öğrencisi, Havacılık ve Uzay Müh. Böl., E-posta: oguzhan.kose@metu.edu.tr

³ Prof. Dr., Havacılık ve Uzay Müh. Böl., E-posta: akayran@metu.edu.tr

olan AGARD 445.6 kanadı ve kontrol yüzeylerini de içeren karmaşık sonlu elemanlar modeli olan ODTÜ VLA kanadı kullanılmıştır. AGARD 445.6 kanadının aeroelastisite davranışı özellikle akışın karışık olduğu transonik bölgede incelenmiştir. Fakat bu bölgedeki transonik dip fenomeninin bulunabilmesi için hesaplamalı akışkanlar dinamiği etkilerinin dâhil edilmesi gerekmektedir. ZAERO ZTRAN [ZONA TECHNOLOGY, 2020] birimi buna olanak sağladığı için analizlerde kullanılmıştır. Transonik dip fenomeni, akışın karışık bir karaktere sahip olduğu transonik bölgede meydana gelen ve kararsızlık noktasını aşağıya çeken bir durumdur. Bundan dolayı, analizlerde görülmesi önemlidir. Aksi takdirde analizlerin gerçek hayattaki deneylerinde problemlere sebep olabilir. ODTÜ VLA kanadı için ise kontrol yüzeyi ile alakalı çarpınma mekanizması incelenmiştir. Bu mekanizma ses altı bölgede gerçekleştiği için ZTRAN modülüne ihtiyaç duyulmamıştır.

YÖNTEM

Karga Arama Algoritması

Alireza Askarzadeh [Askarzadeh, 2009] tarafından geliştirilen Karga eniyileme metodu, optimizasyon problemini çözmek için kullanılan yeni bir sürü zekâsı meta-sezgisel eniyileme algoritmasıdır. Bu optimizasyon algoritması temel fikrini kargaların hafıza yeteneklerine, iletişim becerilerine ve yiyecek saklamaya yönelik sosyal davranışlarına dayandırır. Algoritmanın kargalardan esinlenen davranışları aşağıda listelenmiştir.

1. Kargalar yüzleri unutmazlar. Bu sebeple güçlü bir hafızaları vardır.
2. Kargalar sakladıkları yiyecek yerlerinin konumunu ezberler. Aylar geçse bile bu konumu unutmazlar.
3. Kargalar her zaman daha verimli bir yiyecek bölgesi ararlar. Bundan dolayı, başka bir karganın yiyeceğini çalmak için birbirlerini takip ederler.
4. Kargalar zeki hayvanlardır. Takip edildiklerini anlarlar ise yiyeceklerini diğer kargalardan korumak için rastgele bir bölgeye uçarlar. Ancak, rastgele bir bölgede daha verimli bir yiyecek bölgesi bulma olasılıkları vardır. Bu durum karga arama algoritmasının temelini oluşturur.

Bu meta-sezgisel yöntemin amacı, belirli bir karganın sakladığı yiyecek yerini keşfetmek için başka bir kargayı takip edebilmesidir. Bu süreçte karga kademeli olarak konumunu güncellemelidir. Ayrıca, karga, çalındığında yiyeceğin konumunu değiştirmek zorundadır. [UHUK-2022-114](#) numaralı bildirisinde detaylı şekilde bahsedildiği üzere bu eniyileme yöntemi kırı-çubuk modelinin oluşturulmasında kullanılmıştır.

UYGULAMALAR VE DEĞERLENDİRME

1.1 Agard 445.6 Kanadının Dinamik Karakteristiği

Karga arama algoritması kullanılarak oluşturulan Agard 445.6 kanadının kırı-çubuk modeli ile Elde edilen modal güvence kriteri ve doğal frekans değerleri sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2’de verilmiştir.

	Mod 1	Mod 2	Mod 3	Mod 4
MAC	0.964	0.921	0.905	0.906

Tablo 1: Modal Güvence Kriteri Değerleri (MAC)

	Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Modeli [Hz]	Kiriş-Çubuk Modeli [Hz]	Hata Payı [%]
Mod 1	9.46	9.45	0.11
Mod 2	39.70	38.58	2.82
Mod 3	49.45	53.4	7.99
Mod 4	95.10	91.18	4.12

Tablo 2: Frekans Değerleri Hata Payı

ZAERO ZTRAN ANALİZ BİRİMİ

Bu çalışmada dinamik aeroelastisite analizlerinde ZAERO yazılımı kullanılmıştır. ZAERO, statik aeroelastik/trim analizinden aeroservoelastisiteye kadar her türlü aeroelastik problemi çözmek amacıyla ZONA Technology INC tarafından geliştirilmiş ticari bir yazılımdır. Analizlerde hesaplamalı akışkanlar dinamik sonuçlarını analiz sürecine dahil ederek geliştirilmiş ZTRAN birimi kullanılmıştır. Bu sayede geleneksel metotların yakalayamadığı akış etkileri yakalanabilmektedir [ZONA TECHNOLOGY, 2020].

ZTRAN, zaman doğrusallaştırılmış transonik küçük bozulma integral denklemini çözmek için üst bir alan paneli yöntemi kullanmaktadır. Bu integral denklemi iki kısımdan oluşmaktadır. Bu kısımlar ZONA6 ve ZONA7 gibi panel yöntemleriyle çözülebilen bir yüzey integral denklemi ve yüzey paneli modelini çevreleyen hacim hücreleri ile akış alanının modellenmesiyle çözülen bir hacim integral denklemdir.

Hacim integralinde yer alan kaynak terim, Navier-Stokes çözücü gibi diğer yüksek doğruluklu hesaplamalı akışkanlar dinamiği kodları tarafından harici olarak sağlanan sabit arka plan akışı adı verilen sabit akış çözümünü içermektedir. ZTRAN, yüzey ve hacim integral denklemlerinden hesaplanan etki katsayılarını birleştirerek, ZONA6 ve ZONA7 gibi lineer panel yöntemleriyle hesaplanan, aynı forma sahip bir aerodinamik etki katsayı matrisi oluşturmaktadır [ZONA TECHNOLOGY, 2020].

Bu bildiriye ayrıca, analizlerde hesaplamalı akışkanlar dinamiği etkisi kaldırıldığında davranışı görmek için ZONA6 metodu kullanılarak da analizler yapılmıştır. ZONA6 metodu, doğrusal aerodinamik metotlar kullanarak aerodinamik yükleri hesaplayan bir metottur [ZONA TECHNOLOGY, 2020].

UHUK-2022-114 numaralı bildiriye bahsedilen giriş-çubuk modeli kullanılarak çirpinti analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerde tek değişkeni yapısal model kılabilmek için ZAERO Test Case 6 [ZONA TECHNOLOGY, 2020] kullanılmıştır. ZAERO Test Case 6 AGARD 445.6 kanadının detaylı sonlu elemanlar modelinin çirpinti analizlerini içeren örnek çalışmadır. Bu örnekte ZTRAN birimi yardımıyla kanadın transonik dip karakteristiği incelenmiş olup rüzgâr tüneli deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Tek değişken yapısal model olacak şekilde analizler belirli Mach sayılarında gerçekleştirilmiş ve NASA deney sonuçları [ZONA TECHNOLOGY, 2020] ile Tablo 4,5,6,7 ve Şekil 4,5'te karşılaştırılmıştır. Bu analizlerde elde edilen çirpinti hızı ve çirpinti frekansı kaydedilmiş, daha sonra bu değerler çirpinti hız indeksi (Denklem 1) ve çirpinti frekans oranına (Denklem 3) çevrilip grafik şeklinde sunulmuştur.

$$\text{Çirpinti Hızı İndeksi (FSI)} = \frac{U}{b \cdot \omega \sqrt{\mu}} \quad (1)$$

$$\mu = \frac{m}{\rho \cdot V} \quad (2)$$

m = yapının toplam yapısal kütlesi

ρ = akışın yoğunluğu

V = Alt taban çapı olarak aerodinamik yüzeyin akış yönündeki kök veter uzunluğuna, üst taban çapı olarak aerodinamik yüzeyin akış önünde uç veter uzunluğuna sahip ve yüksekliği aerodinamik yüzeyin kanat açıklığı olan bir kesik koni hacmi

U = Çırpıntı hızı

b = kök veter uzunluğunun yarısı

w_α = Yapının ilk burkulma modunun frekansı

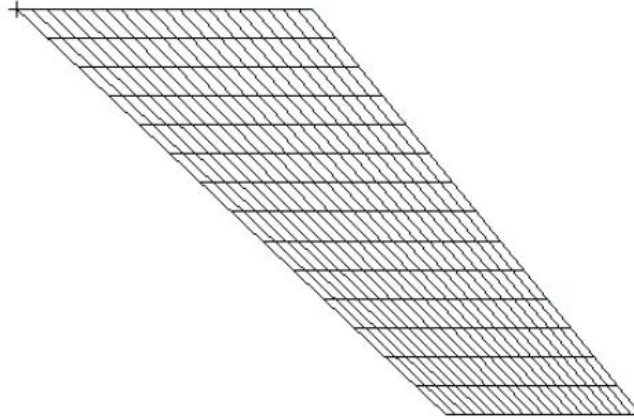
$$\text{Çırpıntı Frekans Oranı} = \frac{w}{w_\alpha}$$

(3)

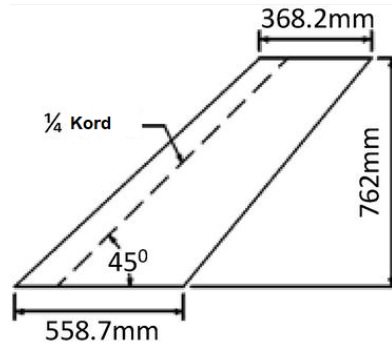
W = çırpıntı frekansı

w_α = Yapının ilk burkulma modunun frekansı

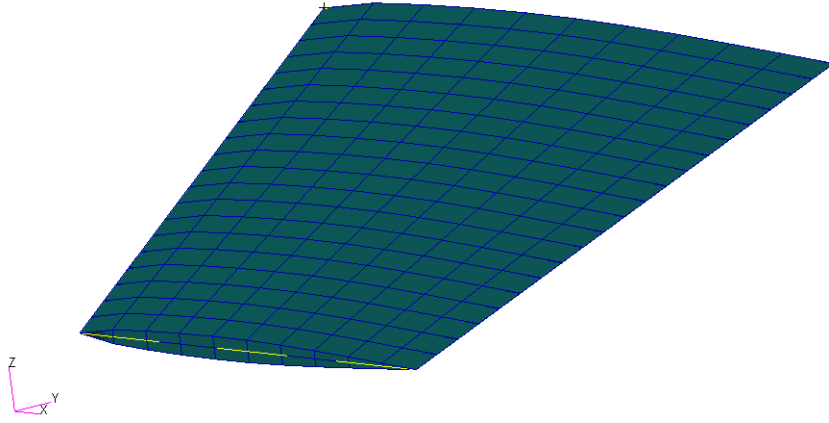
Analizlerde kullanılan aerodinamik model Şekil 1'de gösterilmiştir. Kullanılan modelin kök veter uzunluğu 0.5578 metre ve uç veter uzunluğu ise 0.3681 metre, kütlesi ise 1.684 kilogramdır.



Şekil 1: Aeroelastisite Analizlerinde Kullanılan Aerodinamik Model



Şekil 2: AGARD 445.6 Geometrik Özellikleri



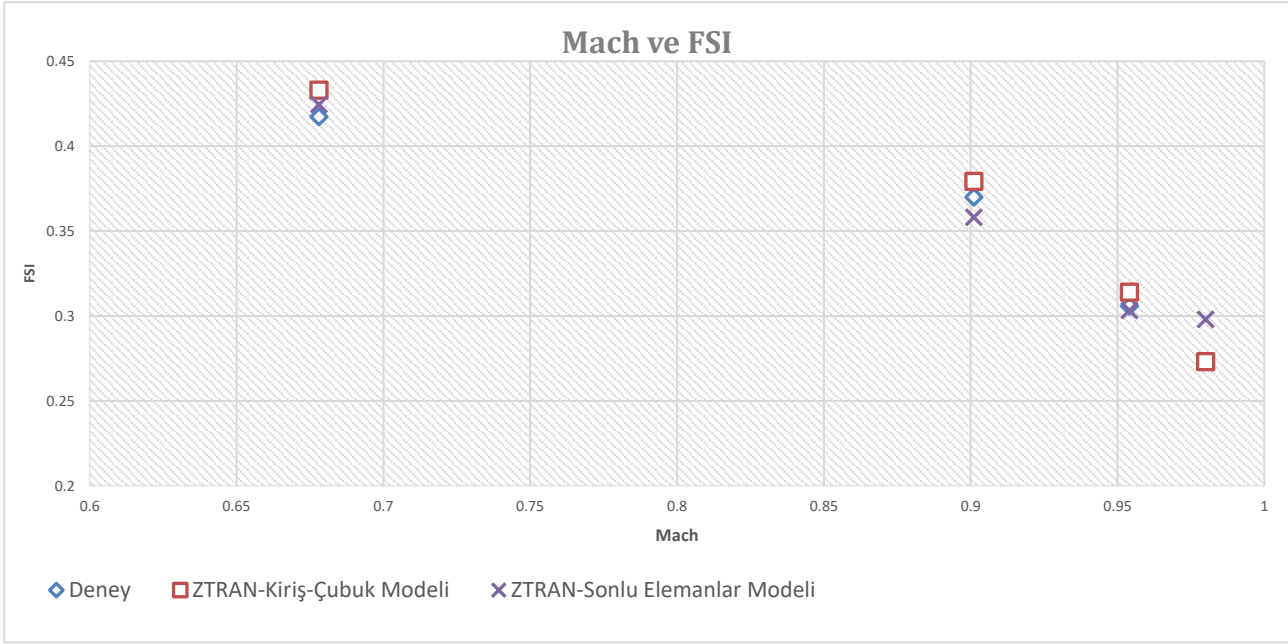
Şekil 3: AGARD 445.6 Sonlu Elemanlar Modeli

Parametre	Değer
Boyuna Elastisite Modülü	3.15 GPa
Yanal Elastisite Modülü	0.42 GPa
Kayma Modülü	0.44 GPa

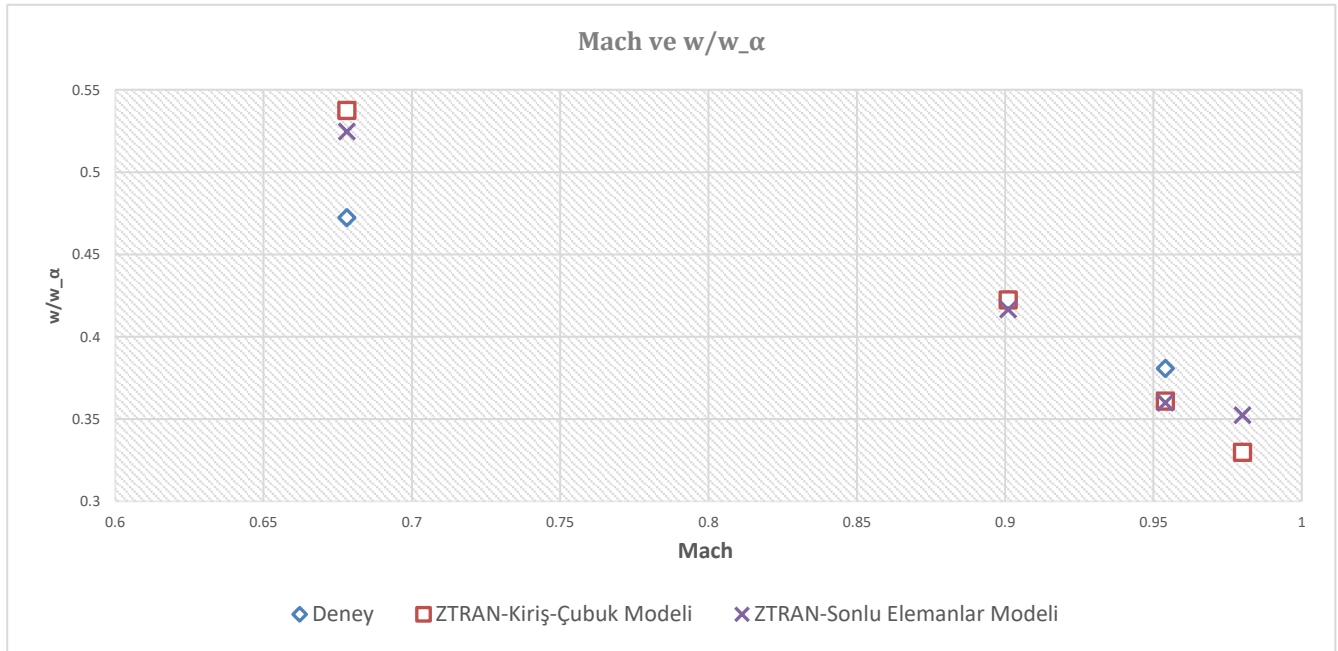
Tablo 3: AGARD 445.6 Malzeme Özellikleri

Mach	Deney Sonuçları		ZTRAN-Kiriş-Çubuk Modeli		ZONA6-Kiriş-Çubuk Modeli		ZTRAN- Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Modeli	
	$\frac{w}{w_\alpha}$	FSI	$\frac{w}{w_\alpha}$	FSI	$\frac{w}{w_\alpha}$	FSI	$\frac{w}{w_\alpha}$	FSI
0.678	0.4722	0.4174	0.537	0.452	0.536	0.452	0.524	0.424
0.901	0.4225	0.37	0.422	0.379	0.433	0.391	0.416	0.358
0.954	0.3807	0.3059	0.360	0.314	0.389	0.352	0.360	0.303
0.98	N/A	N/A	0.329	0.273	0.367	0.328	0.352	0.298

Tablo 4: Karşılaştırmalı Analiz sonuçları



Şekil 4: FSI'nin Mach sayısına göre değişimi

Şekil 5: Frekans oranı $\frac{w}{w_\alpha}$ 'ın Mach sayısına göre değişimi

Tablo 4'ten de görülebileceği üzere ZONA6 metodu kullanıldığında, yani hesaplamalı aerodinamik verileri kullanılarak ZTRAN birimi kullanılmadığında, elde edilen sonuçlar ZTRAN biriminden elde edilenlere göre daha yüksektir. Yani, ZONA6 metodu transonik dip fenomenini yakalayamamaktadır. Ancak, transonik bölge dışında (Mach = 0.678) elde edilen sonuçlar her iki metod için de neredeyse aynıdır. Ayrıca aynı davranışı oluşturulan kiriş-çubuk modeli de göstermektedir.

Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Modeli ile Kiriş-Çubuk Modeli Arasındaki Hata Payı [%] (ZTRAN)		
Mach	$\frac{w}{w_\alpha}$	FSI
0.678	-2.43	-1.99
0.901	-1.39	-5.91
0.954	-0.22	-3.55
0.98	6.41	8.31

Tablo 5: Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Modeli ile Kiriş-Çubuk Modeli Arasındaki Hata Payı

Deney Sonucu ile ZTRAN Kiriş-Çubuk Modeli Arasındaki Hata Payı [%]		
Mach	$\frac{w}{w_\alpha}$	FSI
0.678	-13.8	-3.72
0.901	0.04	-2.5
0.954	5.22	-2.67
0.98	N/A	N/A

Tablo 6: Deney Sonucu ile ZTRAN Kiriş-Çubuk Modeli Arasındaki Hata Payı

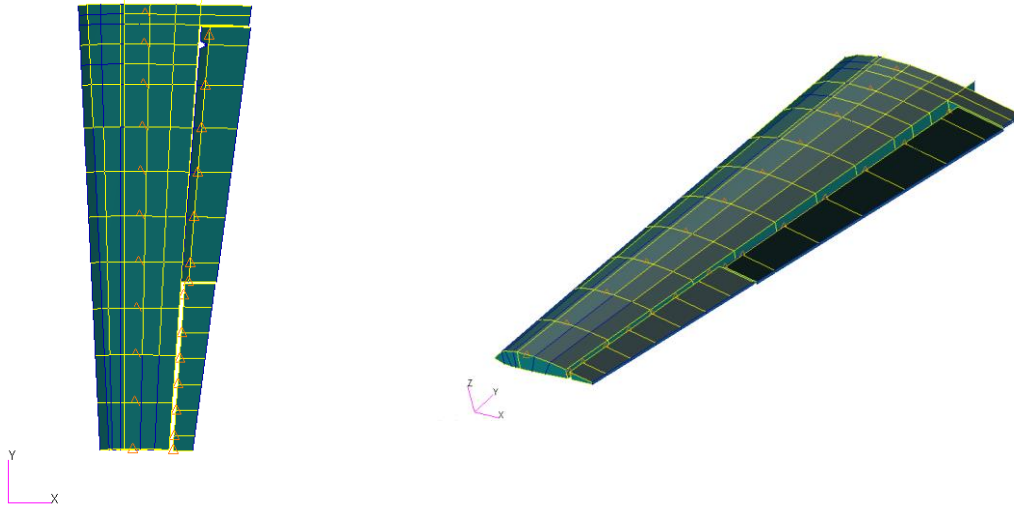
Deney Sonucu ile ZTRAN Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Modeli Arasındaki Hata Payı [%]		
Mach	$\frac{w}{w_\alpha}$	FSI
0.678	-11.09	-1.7
0.901	1.42	3.21
0.954	5.43	0.84
0.98	N/A	N/A

Tablo 7: Deney Sonucu ile ZTRAN Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Modeli Arasındaki Hata Payı [%]

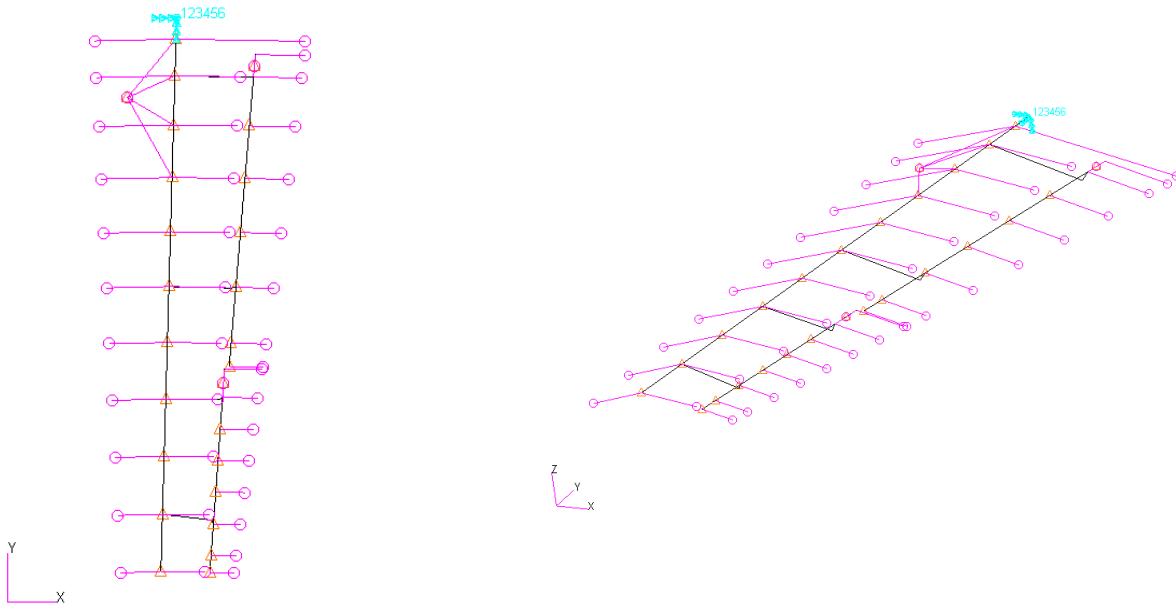
Tablo 5, 6 ve 7'de görülebileceği gibi, transonik bölgede ZTRAN birimi ile elde edilen sonuçlarla deney ve detaylı sonlu elemanlar modeli analiz sonuçları karşılaştırıldığında benzer davranışlar ve kabul edilebilir hata payları görülmüştür.

1.2 ODTÜ VLA Kanadı Dinamik Karakteristiği

Bu bölümde model olarak ODTÜ VLA uçağının, kanatçık ve flap içeren kanadı kullanılmıştır. ODTÜ VLA uçağı, ODTÜ ve Türk Havacılık ve Uzay Sanayii iş birliğinde yürütülen bir projedir. Uçak, ODTÜ lisans öğrencileri tarafından tasarlanıyor. Türk Havacılık ve Uzay Sanayii ise projeye danışmanlık yapıyor. Yapının sonlu elemanlar modeli Şekil 6'da gösterilmiştir.



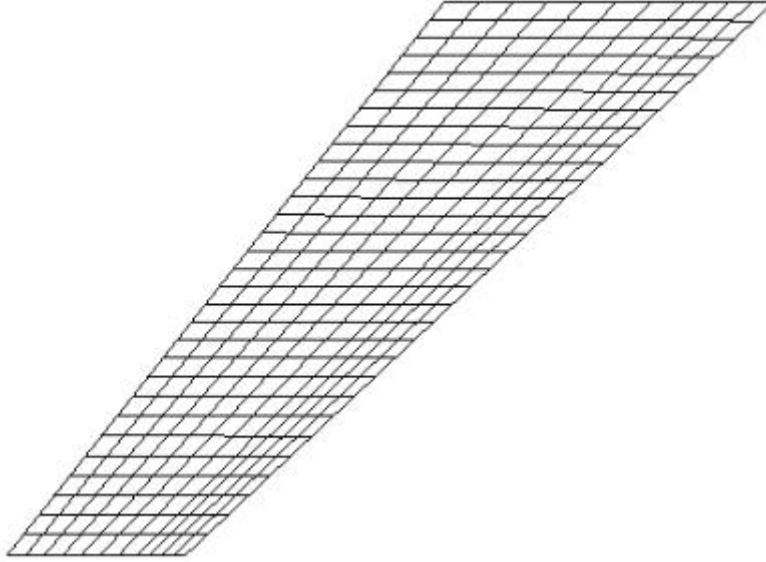
Şekil 6: ODTÜ VLA Kanadı



Şekil 7: ODTÜ VLA Kanadı Kiriş Çubuk Modeli

Oluşturulan kiriş-çubuk model Şekil 7'deki gibidir. Şekil 7'deki siyah elemanlar kirişleri temsil etmektedir. Turuncu üçgen elemanlar ise parça kütleleri temsil etmektedir. Parçalı kütle ile kiriş elemanları birbirlerine mor renkli RBE3 elemanları ile bağlanmıştır. Kirişlerden hücum kenarına ve firar kenarına uzanan mor elemanlar ise RBE2 elemanlarıdır. RBE2 elemanları rijit elemanlardır ve dinamik analizlerde kullanılan akışkan-katı etkileşimini iyileştirmek için modele eklenmiştir. Bu noktalar aerodinamik-yapısal etkileşimini sağlamak için kullanılmıştır.

ODTÜ VLA kanadının detaylı sonlu elemanlar modelinin MSC NASTRAN 145 analizleri için oluşturulan aerodinamik modeli Şekil 8'de gösterilmiştir. Aynı model kiriş-çubuk modeli çarpınma analizleri için de kullanılmıştır.



Şekil 8: ODTÜ VLA Kanadı Aeroelastisite Analizlerinde Kullanılan Aerodinamik Model

Çırpınma analizlerinin gerçekleştirildiği koşullar Tablo 8'te gösterilmiştir.

Mach	0.4
Yoğunluk [kg/m^3]	0.49
Metot	PK
Referans Veter Uzunluğu [m]	1.2

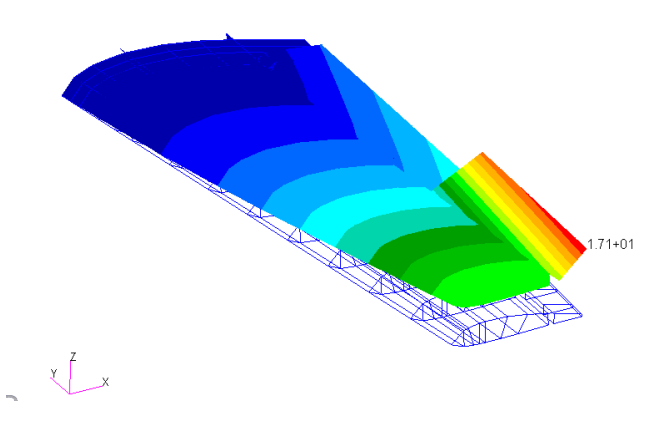
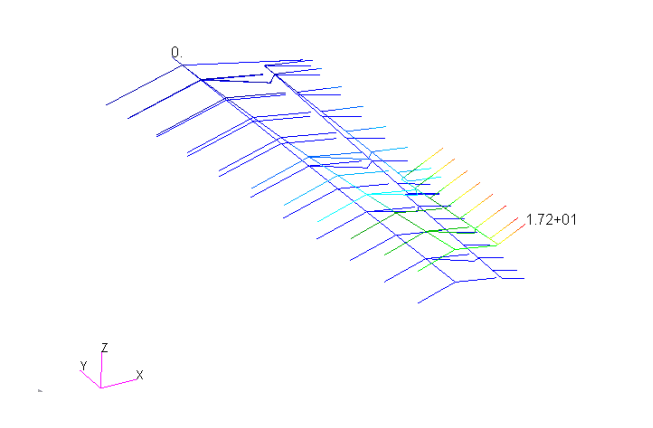
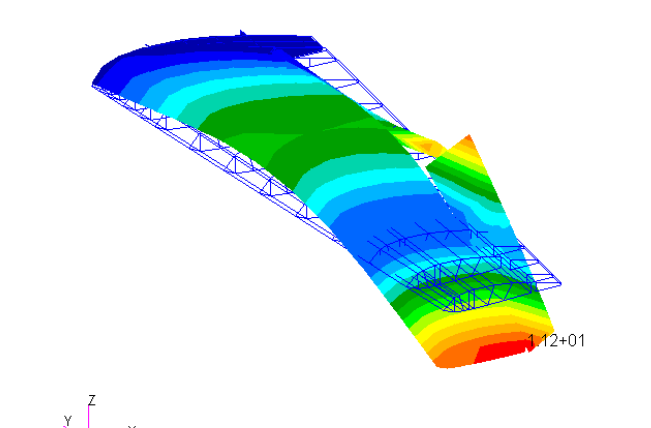
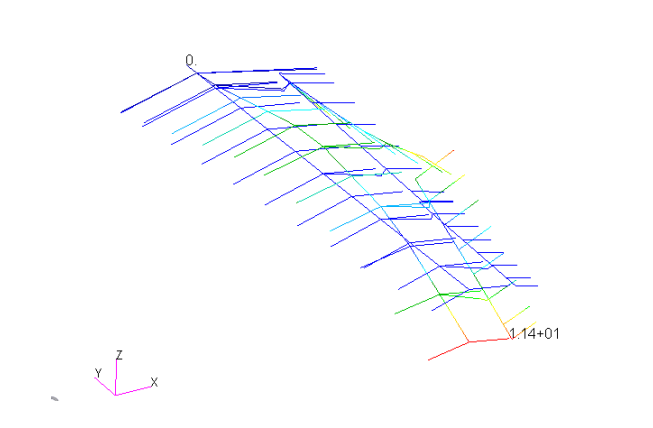
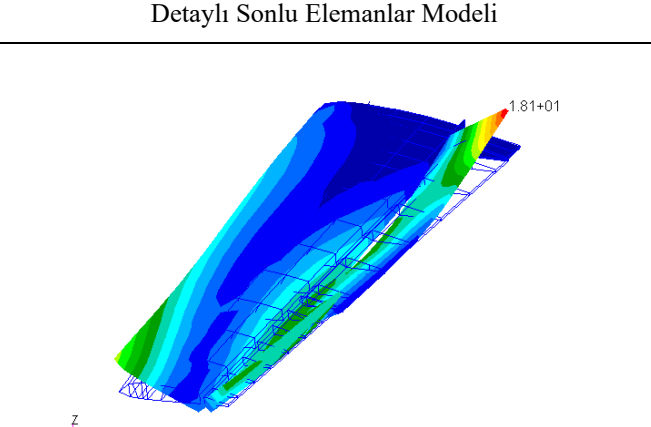
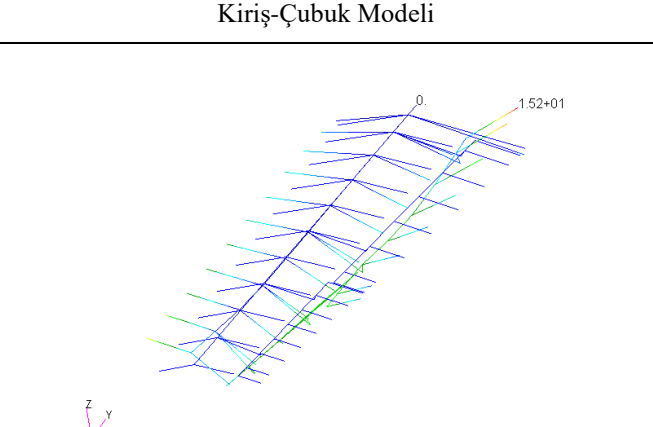
Tablo 8: Çırpınma Analizi Koşulları

Detaylı sonlu elemanlar modeli için çırpınma analizleri gerçekleştirildiğinde, üç çırpınma noktası görülmüş ve bu noktalar kiriş-çubuk modelinin çırpınma analizleri ile karşılaştırılmıştır. Bu çırpınma noktaları kanatçık ile ilgili mekanizmaları da içermektedir. Tablo 9 çırpınma hızı ve frekansları karşılaştırılmıştır. Tablo 10 faz açısı sıfır anında çırpınma mod şekillerini göstermektedir.

		Çırpınma Noktası 1				Çırpınma Noktası 2	
		Çırpınma Hızı [m/s]	Çırpınma Frekansı [Hz]			Çırpınma Hızı [m/s]	Çırpınma Frekansı [Hz]
Detaylı Sonlu Elemanlar Modeli		118.40	16.26	Detaylı Sonlu Elemanlar Modeli		264.63	54.95
Kiriş-Çubuk Modeli		121.76	16.54	Kiriş-Çubuk Modeli		266.80	53.53

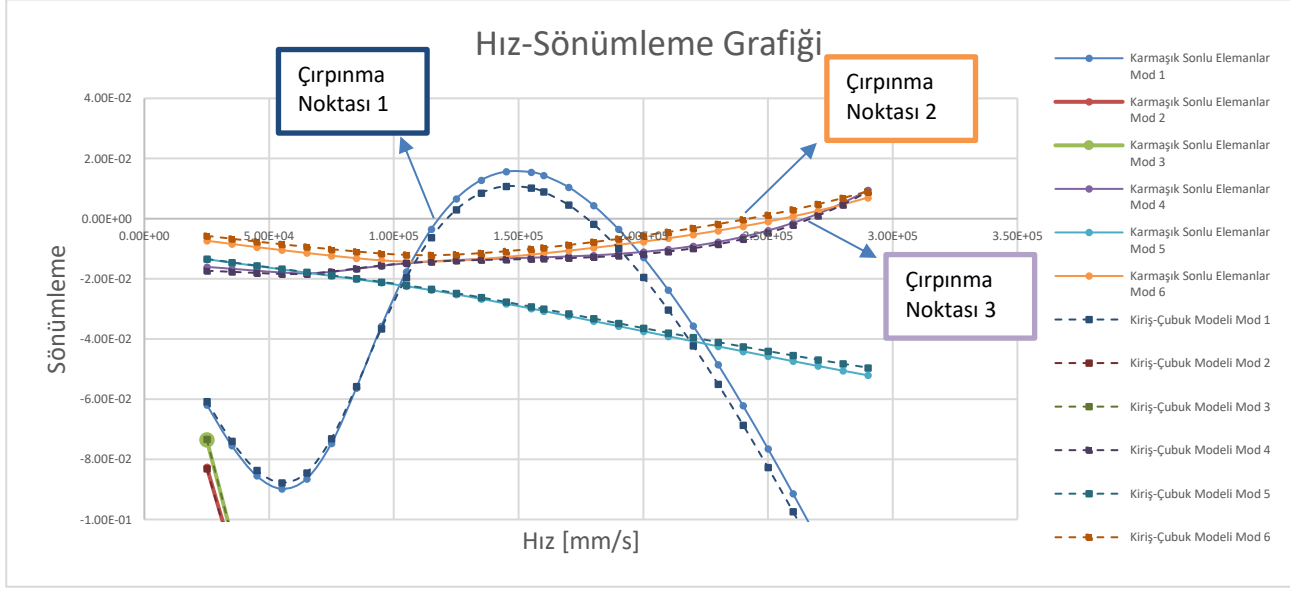
		Çırpınma Noktası 3	
		Çırpınma Hızı [m/s]	Çırpınma Frekansı [Hz]
Detaylı Sonlu Elemanlar Modeli		255.65	86.66
Kiriş-Çubuk Modeli		242.05	89.66

Tablo 9: Çırpınma Analizi Sonuçları

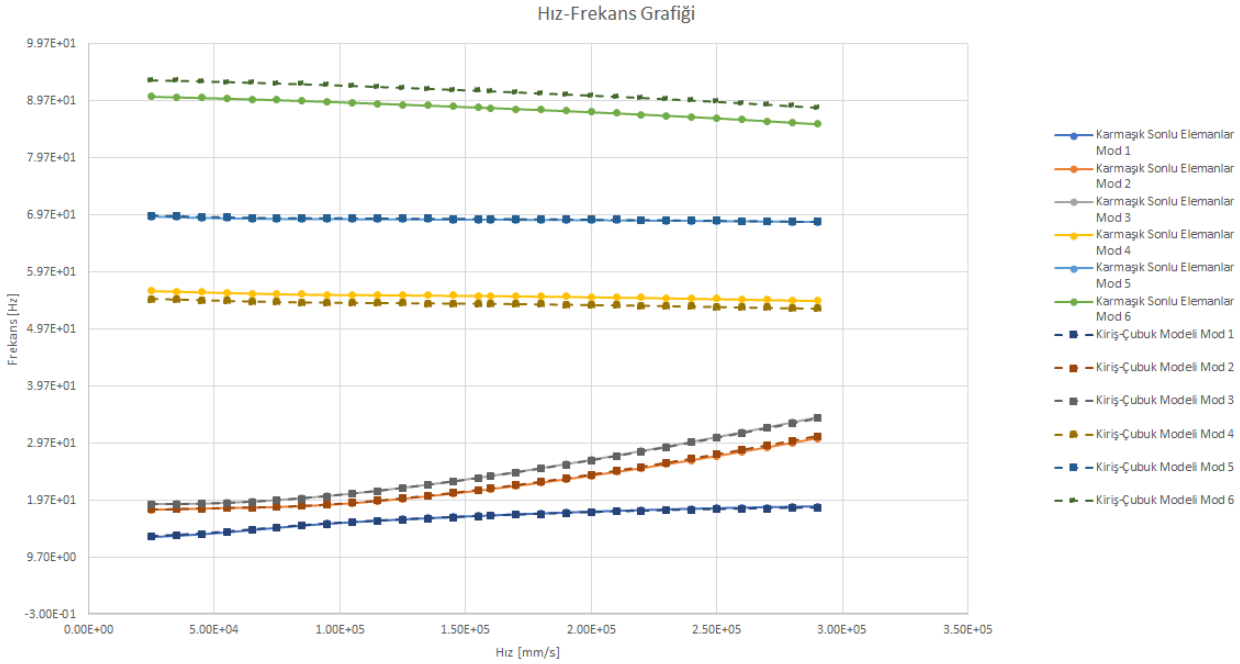
Çarpınma Noktası 1	
Detaylı Sonlu Elemanlar Modeli	Kiriş-Çubuk Modeli
	
Çarpınma Noktası 2	
Detaylı Sonlu Elemanlar Modeli	Kiriş-Çubuk Modeli
	
Çarpınma Noktası 3	
Detaylı Sonlu Elemanlar Modeli	Kiriş-Çubuk Modeli
	

Tablo 10: Çırpınma Anındaki Mod Şekilleri

Çırpınma karakteristiklerini daha iyi anlamak amacı ile hız-sönümlenme ve hız-frekans grafikleri üst üste çizdirilerek karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma Şekil 9,10'da gösterilmiştir.

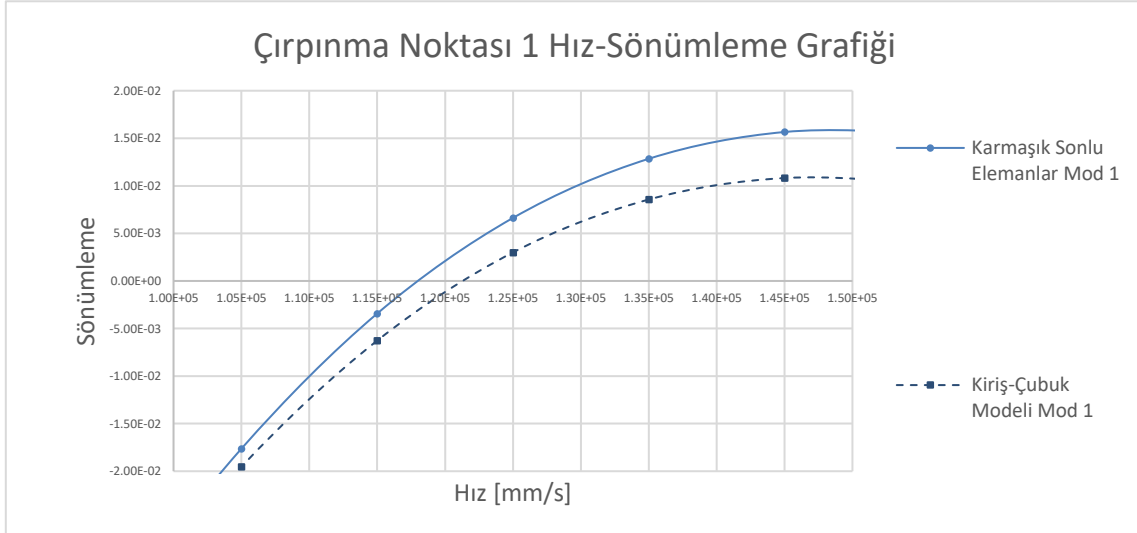


Şekil 9: ODTÜ-VLA kanadının hız-sönümlenme grafiği

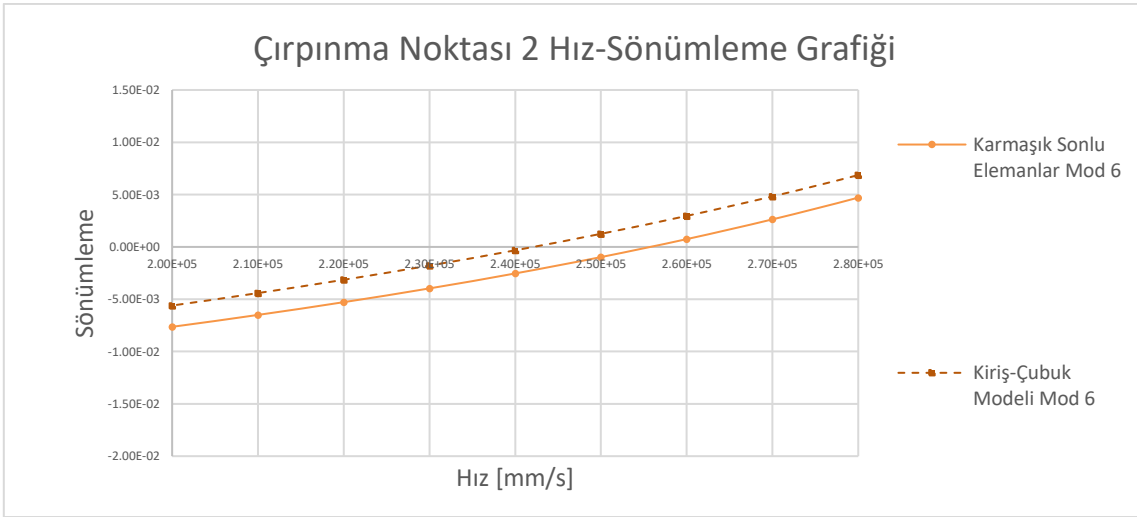


Şekil 10: ODTÜ-VLA kanadının hız-frekans grafiği

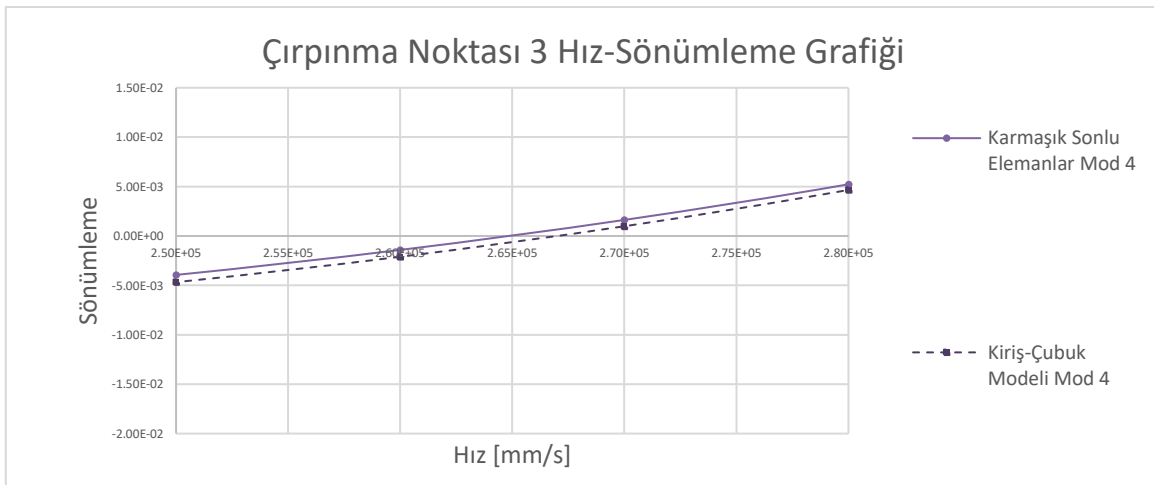
Çırpınma noktalarının hız-sönümlenme grafiğindeki noktaları yakından alınarak, sönümlenmenin sıfır geçtiği noktalar şekil 11,12 ve 13'te gösterilmiştir. Sönümlenmenin sıfır noktasını keserek pozitif bölgeye geçmesi çırpınma fenomeni olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 11: Çırpınma Noktası 1



Şekil 12: Çırpınma Noktası 2



Şekil 13: Çırpınma Noktası 3

Şekil 11, 12 ve 13'ten görülebileceği üzere; kiriş-çubuk modeli, karmaşık sonlu elemanlar modeli ile aynı çirpınma noktalarını yakalamaktadır. Çirpınma mekanizması kontrol yüzeyi içerse dahi kiriş çubuk model, küçük hata payları ile çirpınma noktasını yakalayabilmektedir.

1.2.1. ODTÜ VLA Kanadında Kütle Değişikliğinin Yarattığı Etkinin İncelenmesi

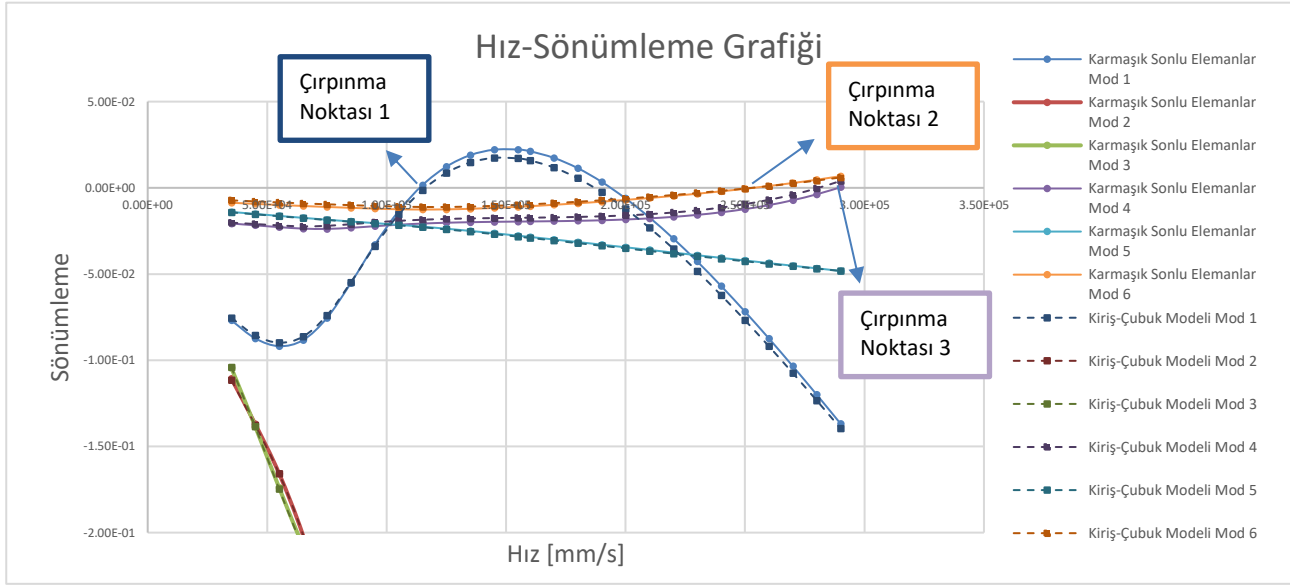
Kiriş-çubuk modellerinin genel amacı ufak değişikliklerle yeni konfigürasyona uygun hale getirilebilmesidir. Bundan dolayı bu değişiklikler sonucunda yapıda meydana gelen aeroelastik davranış değişikliklerinin yakalanması çok önemlidir. Bu yüzden, yakıt kütlesi kaldırılarak çirpınma analizleri yapılmış ve kiriş-çubuk modeli ile detaylı sonlu elemanlar modeli sonuçları karşılaştırılmıştır. Tablo 11 karşılaştırmaları göstermektedir.

		Çirpınma Noktası 1		Çirpınma Noktası 2	
		Çirpınma Hızı [m/s]	Çirpınma Frekansı [Hz]	Çirpınma Hızı [m/s]	Çirpınma Frekansı [Hz]
Detaylı Sonlu Elemanlar Modeli		113.96	16.28	289.16	58.41
Kiriş-Çubuk Modeli		116.34	16.33	280.74	56.19

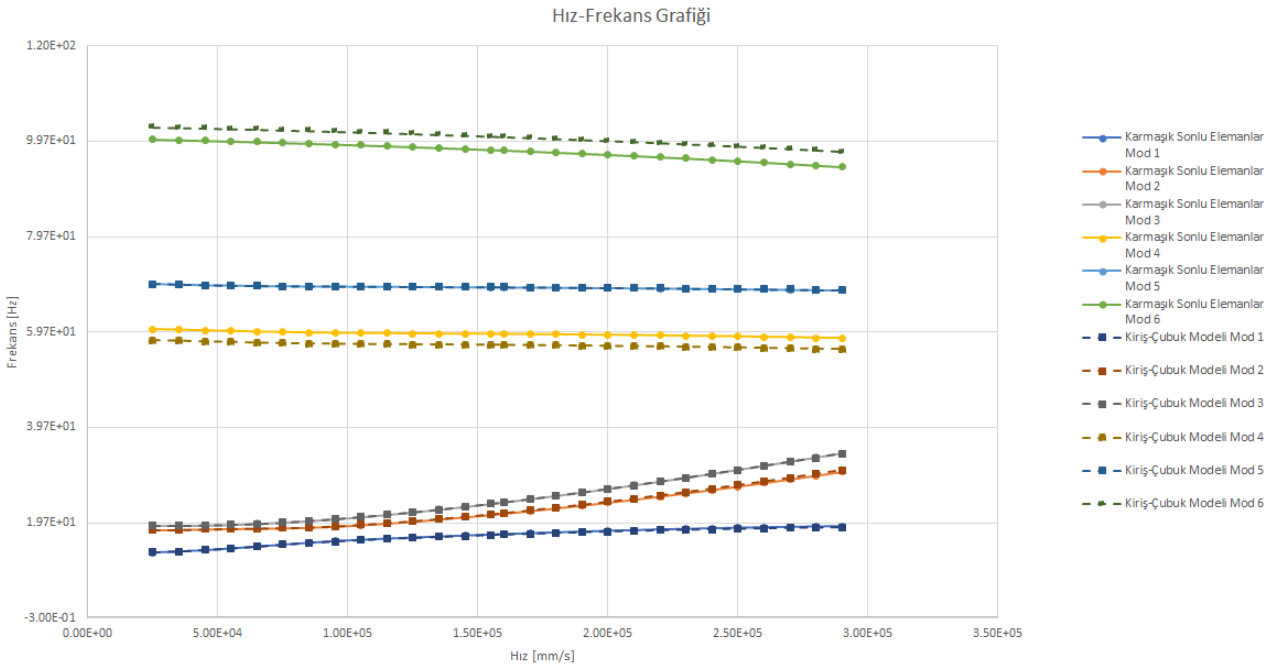
		Çirpınma Noktası 3	
		Çirpınma Hızı [m/s]	Çirpınma Frekansı [Hz]
Detaylı Sonlu Elemanlar Modeli		253.41	95.40
Kiriş-Çubuk Modeli		252.88	98.51

Tablo 11: Kütle Değişikliği Sonrası Çirpınma Analizi Sonuçları

Çırpınma karakteristiklerini daha iyi anlamak amacı ile hız-sönümlenme ve hız-frekans grafikleri üst üste çizdirilerek karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma Şekil 14,15'te gösterilmiştir.

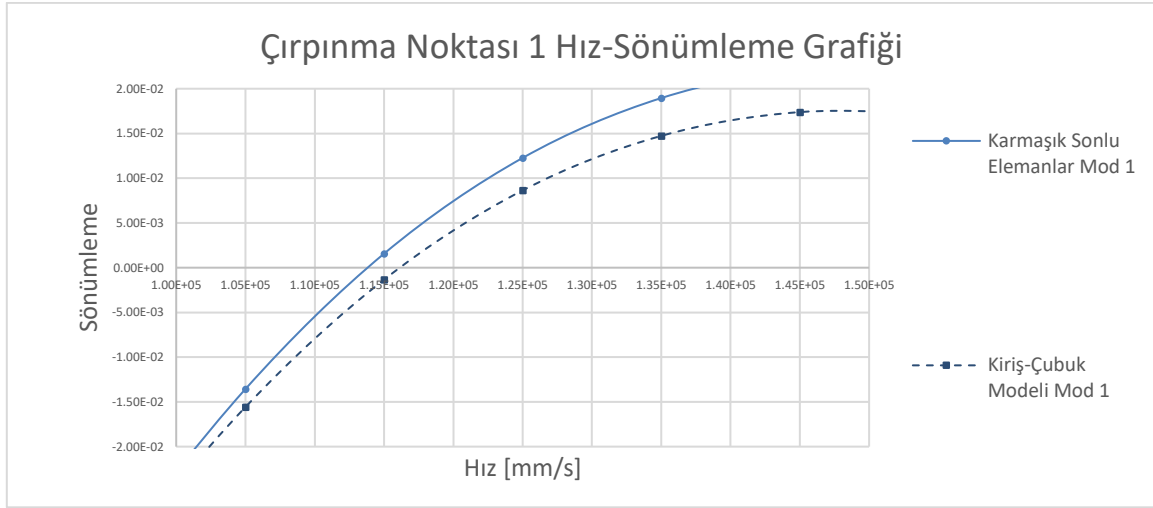


Şekil 14: Kütle Değişikliği Sonrası Hız-Sönümlenme Grafiği

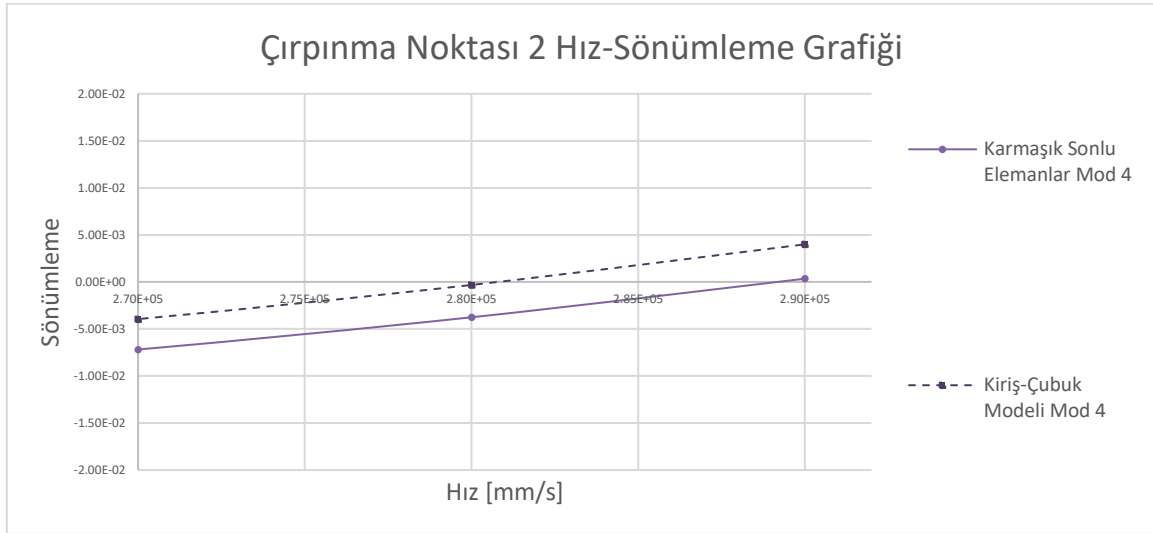


Şekil 15: Kütle Değişikliği Sonrası Hız-Frekans Grafiği

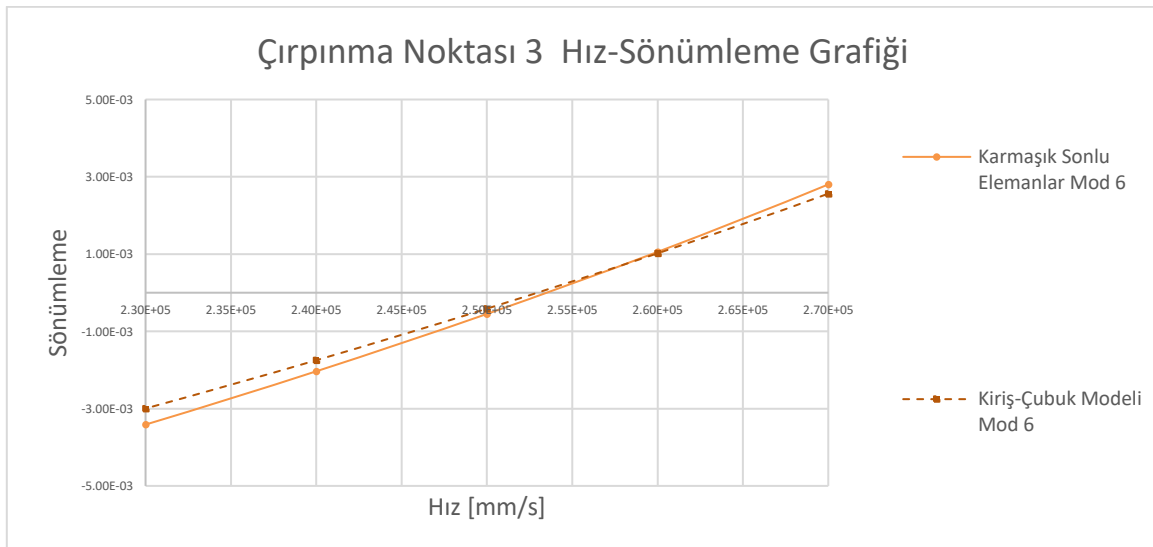
Çırpınma noktalarının hız-sönümlenme grafiğindeki noktaları yakından alınarak, sönümlenmenin sıfırı geçtiği noktalar şekil 16,17 ve 18'de gösterilmiştir.



Şekil 16: Çırpınma Noktası 1



Şekil 17: Çırpınma Noktası 1



Şekil 18: Çırpınma Noktası 1

Kütle değışikliği gibi tasarımsal değışikliklerin yansıtılması kiriş-çubuk modelinin amacı açısından çok kritiktir. Sonuçlardan görülebileceği gibi, kütleli açıdan meydana gelen değışiklikler kiriş-çubuk modeli ile yakalanabilmektedir.

SONUÇ

Bu bildiri de AGARD 445.6 ve ODTÜ VLA kanadının Kiriş-Çubuk modellerinin dinamik aeroelastisite davranışları incelenmiştir. Sonuçlardan görülebileceği üzere hata payları kabul edilebilir düzeydedir. Sonuçlardan yola çıkarak ister transonik bölgede ister kontrol yüzeyi içeren karmaşık bir çirpınma mekanizmasında kiriş-çubuk modelinin kullanılabilir olduğu görülmüştür. Sadece çirpınma noktalarına odaklanmaktan ziyade, sönümleme grafiklerine baktığımızda davranışlarının da benzer olduğu, kiriş-çubuk modelinin az düğüm noktasına sahip olmasına rağmen, detaylı yapısal model ile benzer davranışı gösterdiği görülmüştür. Kiriş-çubuk modellerinin aeroelastik analizlerde kullanımı, zaman ve enerji kaybını en aza indireceği gibi, sonuç üzerindeki etkisinin de kabul edilebilir olduğu gösterilmiştir.

Kaynaklar

- Askarzadeh, A. (2016). A novel metaheuristic method for solving constrained engineering optimization problems: crow search algorithm. *Computers & Structures*, 169, 1-12.
- Cirillo, R., "Detailed and Condensed Finite Element Models for Dynamic Analysis of a Business Jet Aircraft," MSc thesis, The University of Politecnico di Milano, 2011.
- Elsayed, M. S., Sedaghati, R., & Abdo, M. (2009). Accurate stick model development for static analysis of complex aircraft wing-box structures. *AIAA Journal*, 47(9), 2063–2075.
<https://doi.org/10.2514/1.38447>
- Pecora, R., Magnifico, M., Amoroso, F., & Monaco, E. (2014). Multi-parametric Flutter Analysis of a morphing wing trailing edge. *The Aeronautical Journal*, 118(1207), 1063–1078.
<https://doi.org/10.1017/s000192400000974x>
- Swift, A., & Badcock, K. (2010). Inter- grid transfer influence on transonic flutter predictions. 51st AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference<
> 18th AIAA/ASME/AHS Adaptive Structures Conference<
> 12th.
<https://doi.org/10.2514/6.2010-3049>
- Yates, E. Carson, Jr., "AGARD standard aeroelastic configurations for dynamic response.Candidate configuration I.-wing 445.6", Technical Memorandum (TM), August 1, 1987
- ZONA TECHNOLOGY INC, ZAERO V9.3, THEORETICAL MANUAL, 2020
- ZONA TECHNOLOGY INC, ZAERO V9.3, APPLICATION'S MANUAL (Vol. I), 2020