

Kompozit Rüzgar Türbini Kanadının Mukavemet Özelliklerinin İlerlemeli Hasar Analizi Yardımıyla İyileştirilmesi

Can Muyan, Doç. Dr. Demirkan Çöker
ODTÜ Rüzgar Enerjisi Araştırma Merkezi

4 Ekim 2019

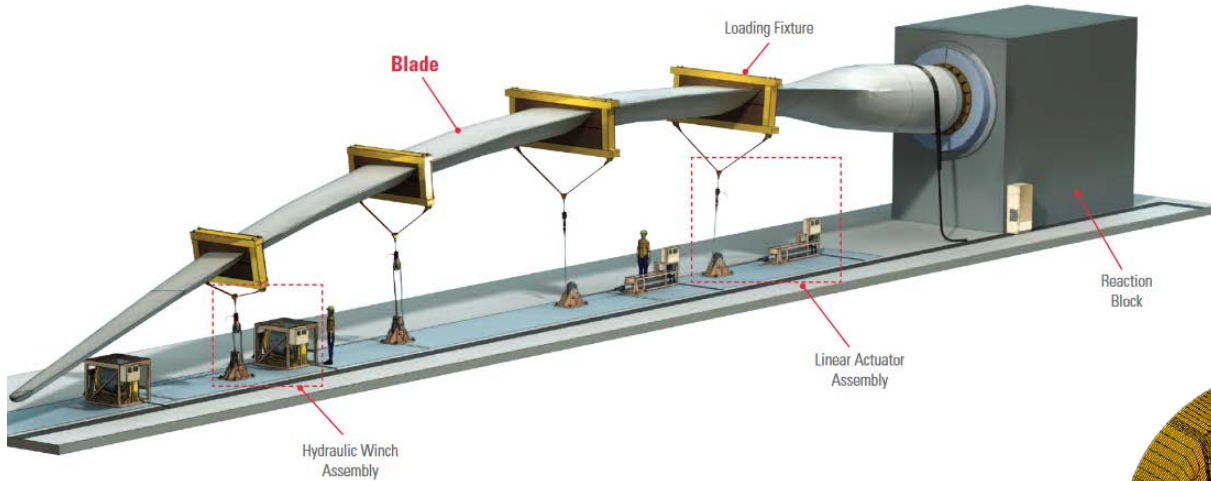
5. İzmir Rüzgar Sempozyumu

İÇERİK

- Giriş
- Çalışmanın Amacı
- Metod
 - Puck Hasar Kriteri Kullanılarak İlerlemeli Hasar Analizi
 - Sonlu Elemanlar Modeli
- 5m RÜZGEM Kanadı Tam Ölçekli Yapısal Test Simülasyonu
- Sonuçlar
- Sonuçların Değerlendirilmesi
- Gelecekteki Çalışma

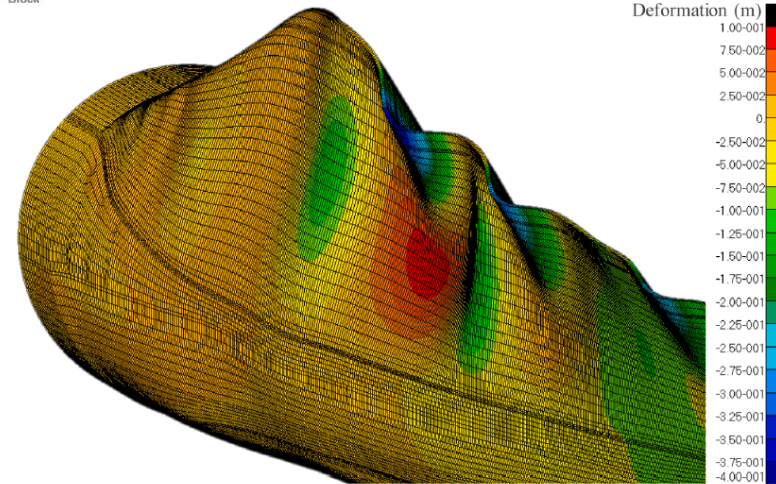
GİRİŞ

- Özellikle ulaşımı zor olan bölgelerde çalıştırılması planlanan rüzgar türbinlerinin bileşenlerinin yapısal güvenirliliği yüksek üretim, muayene ve onarım maliyetleri göz önüne alındığında önem arz etmektedir (Holmes, Sorenson, Brondstedt, 2007)

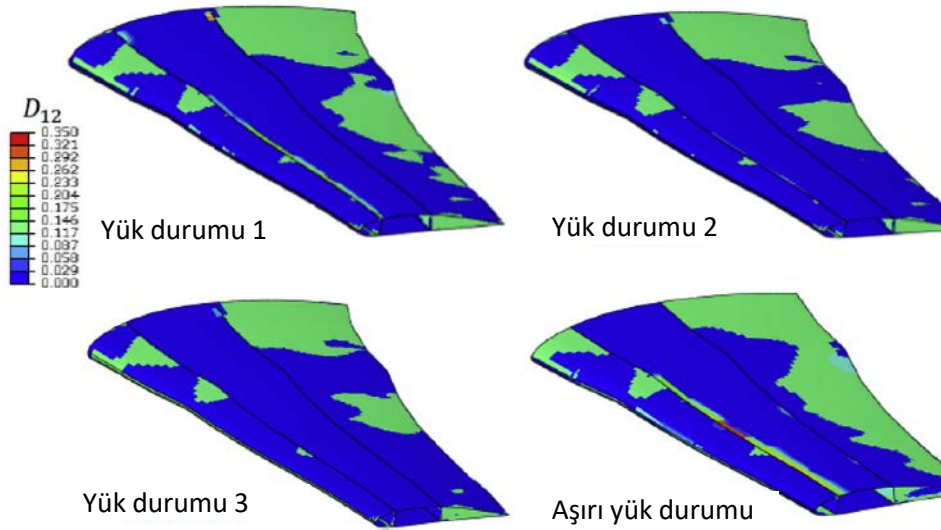


<https://www.mts.com>

*Kılıçlama (edge-wise)
yüklemesine maruz kenarda
oluşan burkulma
(Chen et ark., 2019)*

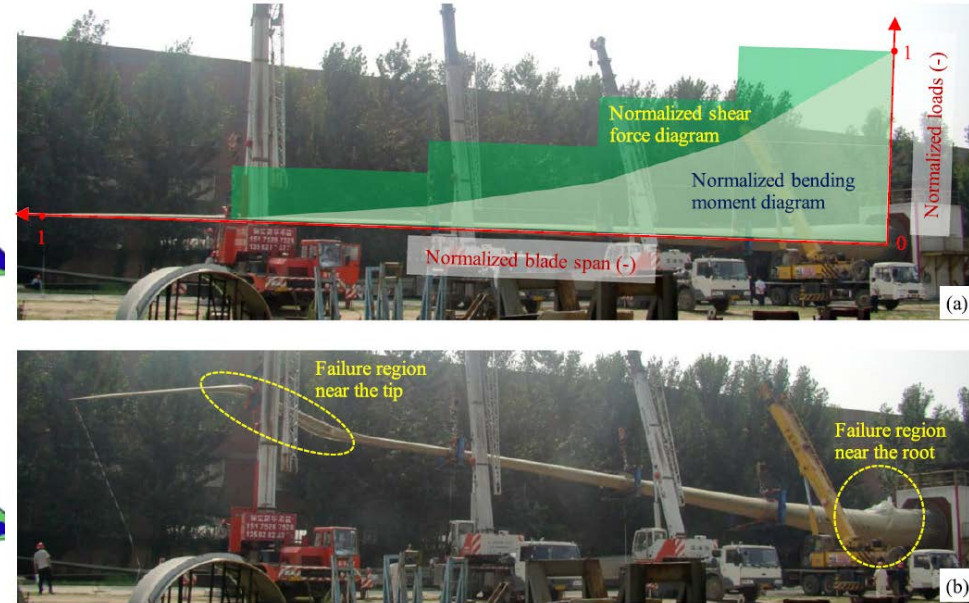


GİRİŞ – Literatür Araştırması



$$D_{12} = 1 - \frac{E_{12}}{E_{12_0}}$$

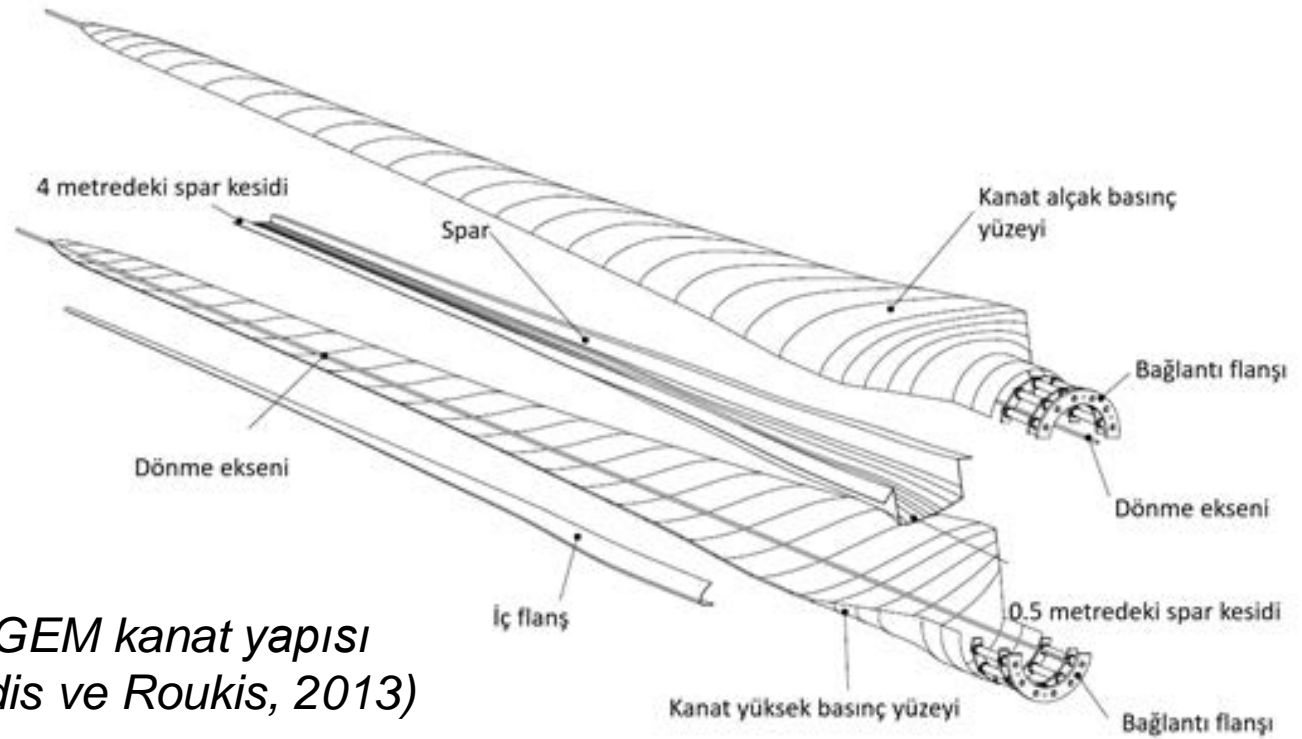
- 8m denizaltı gelgit turbin kanadının Puck hasar kriterlerine dayanan yapısal tasarım metodu (Fagan ve ark.,2016)



- 52.3 m rüzgar türbini kanadının tam ölçekli eğilme testi sonrası kırılması:
 - Hasar mekanizmalarının sıralı açıklaması
 - Delaminasyon /yapışma yüzeyi ayrılması tespiti için yeni metot (Chen ve ark., 2017)

AMAÇ

- Kelebekleme (flap-wise) yönündeki aşırı yükleme altında gerçekleştirilecek tam ölçekli test sonucu nihai kırılma mekanizmasının belirlenmesi
- Yapısal olarak daha iyileştirilmiş kanat tasarımı önerisi

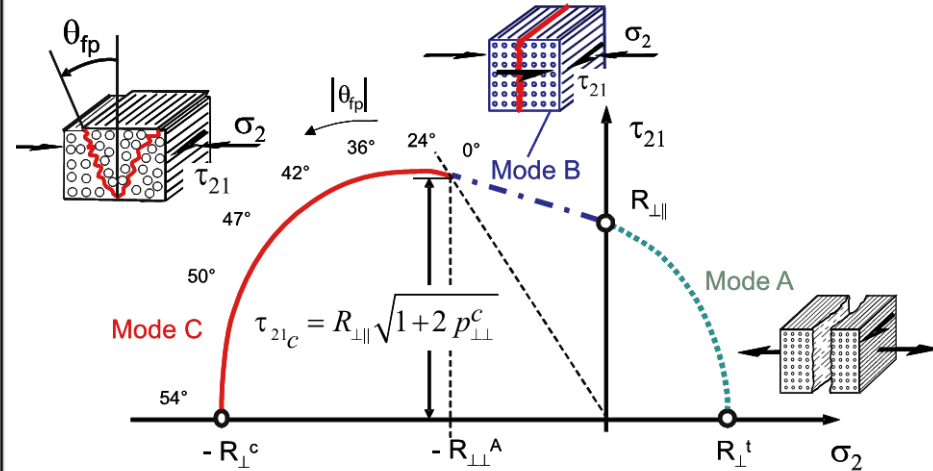
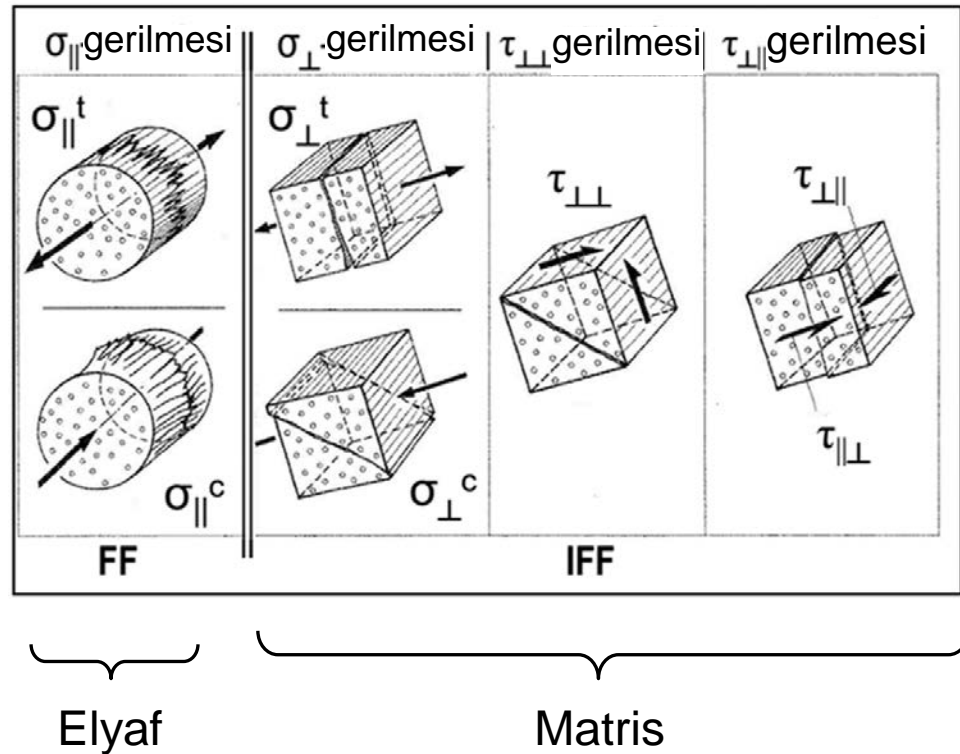


*5M RÜZGEM kanat yapısı
(Philippidis ve Roukis, 2013)*

METOT / PUCK KIRILMA KRİTERLERİ

TEK EKSENLİ YÜKLEME ALTINDA KIRILMA

İKİ EKSENLİ YÜKLEME ALTINDA KIRILMA

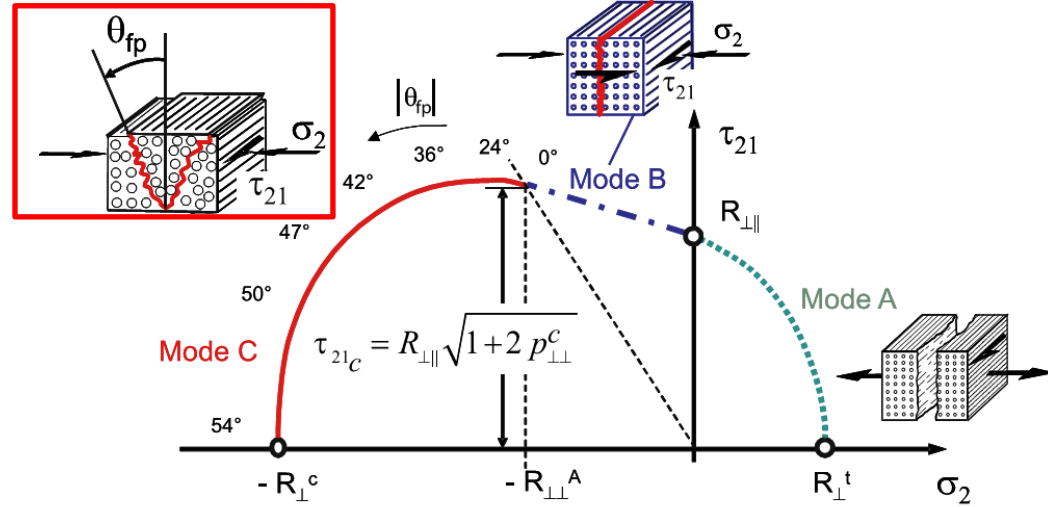


METOT / PUCK KIRILMA KRİTERLERİ

Elyaf kırılması (FF) hasar endeksi:

$$f_{E(FF)}^T = \frac{\sigma_1}{X_T} = 1 \text{ if } \sigma_1 > 0$$

$$f_{E(FF)}^C = \frac{\sigma_1}{X_C} = 1 \text{ if } \sigma_1 < 0$$



$(\sigma_2 - \tau_{12})$ Matris Hasar Eğrisi
(Puck ve Schürmann, 1998)

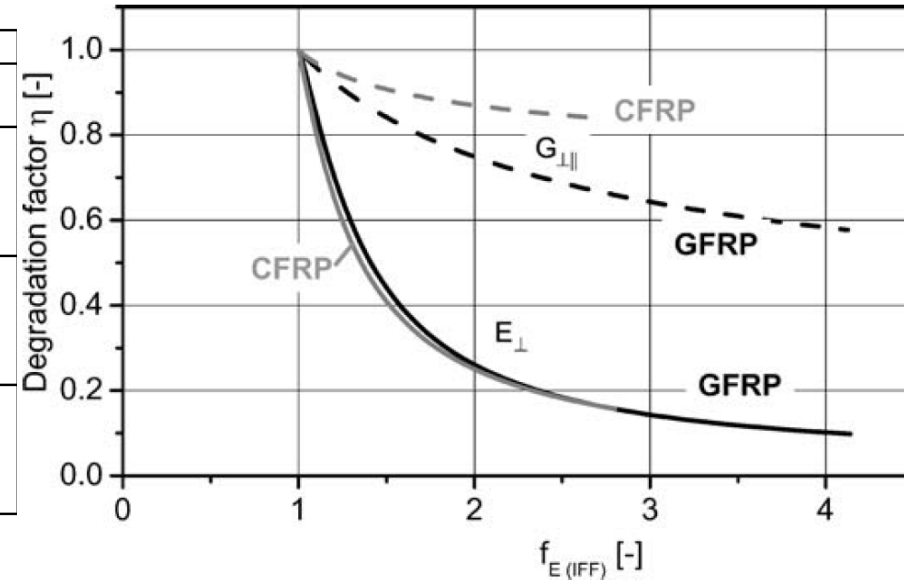
Matris kırılması (IFF) Mod C hasar indeksi:

$$f_{E(IFF)}^C = \left[\left(\frac{\sigma_6}{2(1+p_{\perp}^{(-)})S} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_2}{Y_C} \right)^2 \right] \frac{Y_C}{(-\sigma_2)} = 1 \text{ if } \begin{cases} \sigma_2 < 0 \\ \left| \frac{\sigma_2}{\sigma_6} \right| \geq \frac{R_{\perp}^A}{\tau_{21C}} \end{cases}$$

METOT / PUCK KIRILMA KRİTERLERİ

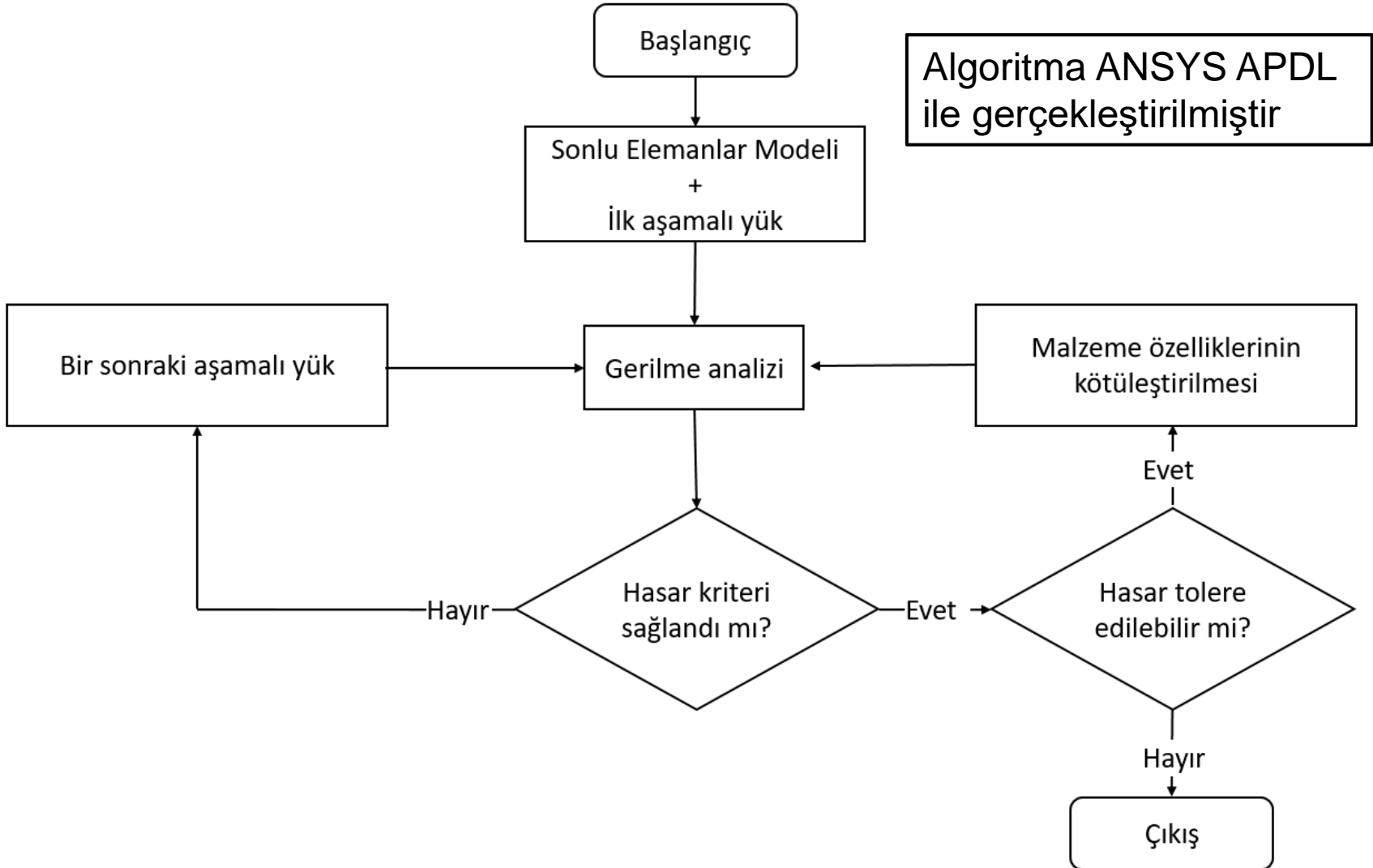
Matriste oluşan çatlakların laminanın elastik özelliklerini kötüleştirme etkisi

Kırılma Modu	Elastik özellikleri kötüleştirme kuralı
FF (çeki/bası) veya 3 ya da daha fazla lamina görülen IFF(C)	Laminat'ın kırılması
IFF (A)	$E_2 = \eta \cdot E_2$ $G_{21} = \eta \cdot G_{21}$ $\nu_{21} = \eta \cdot \nu_{21}$
IFF (B)	$E_2 = \eta \cdot E_2$ $G_{21} = \eta \cdot G_{21}$ $\nu_{21} = \eta \cdot \nu_{21}$
IFF (C)	$E_2 = 0.1 \cdot E_2$ $G_{21} = 0.1 \cdot G_{21}$ $\nu_{21} = 0.1 \cdot \nu_{21}$

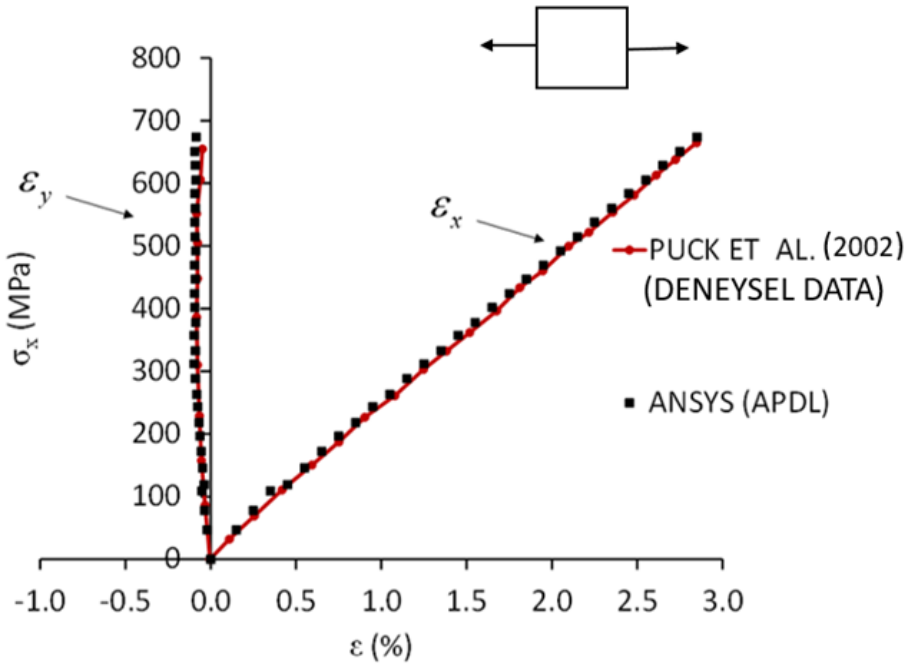


Analysis of Failure in Fiber Polymer Laminates: The Theory of Alfred Puck (Knops, 2008)

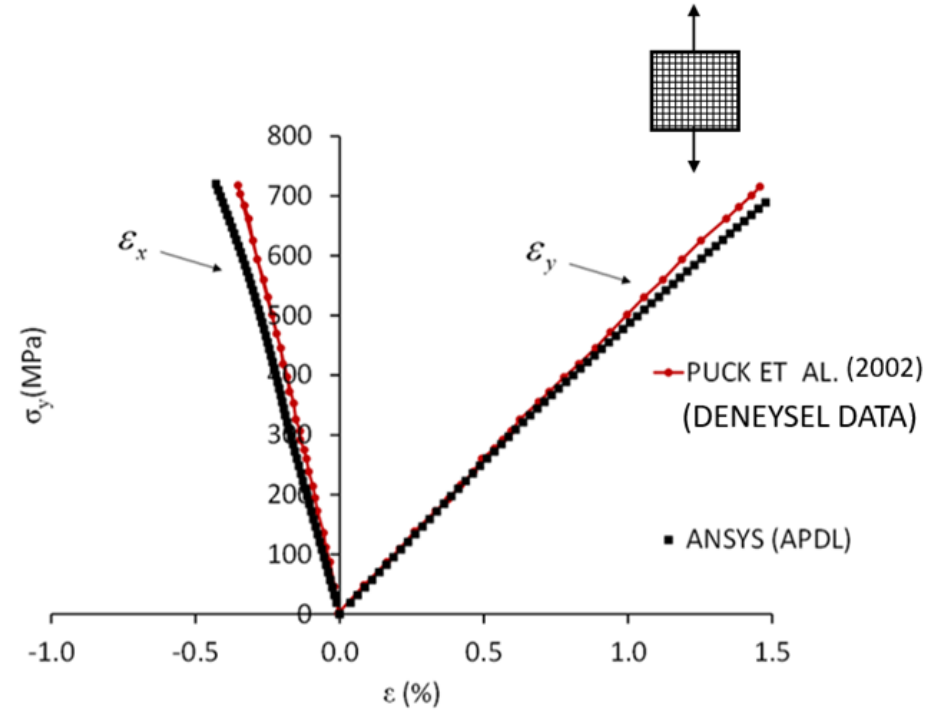
METOT / AKIŞ ŞEMASI



METOT / DOĞRULAMA ÇALIŞMASI



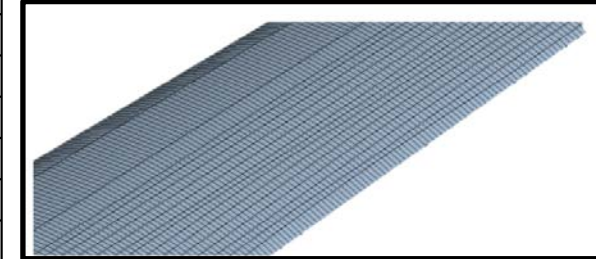
Tek eksenli σ_x yükü altında $[0/90]_s$
MY750 cam elyaf takviyeli laminat



Tek eksenli σ_y yükü altında $[0/\pm 45/90]_s$
AS4 3501-6 karbon elyaf takviyeli laminat

METOT / 5M RÜZGEM KANADI SONLU ELEMANLAR MODELİ

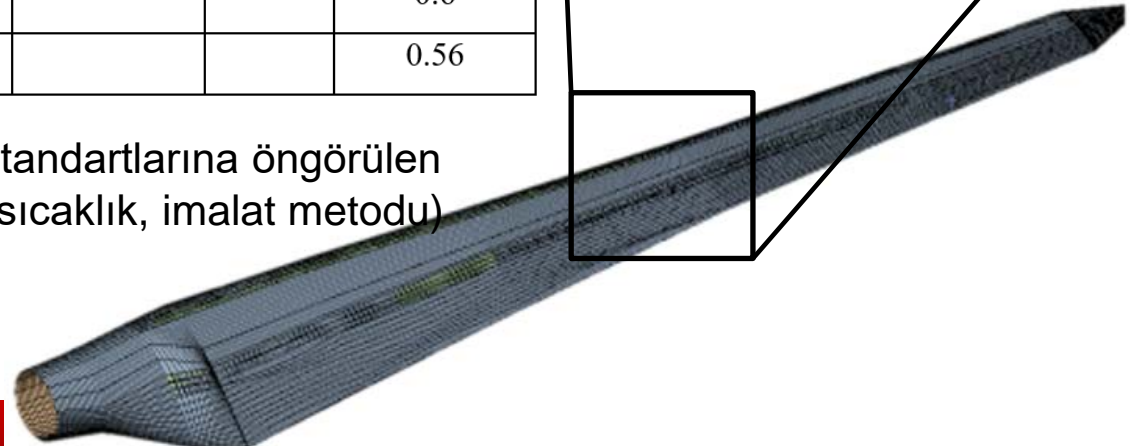
Malzeme Özellikleri		Tek yönlü lamina	Çelik	Jel kaplama	CSM 300	Divinycell H45
Yoğunluk, ρ	[kg/mm ³]	1896	7850	1200	1896	200
Kalınlık, h	[mm]	0.716	5.3	0.9	0.358	5 veya 10
E_1	[GPa]	24.84	210	3.98	9.14	55×10^{-3}
E_2	[GPa]	9.14				55×10^{-3}
ν_{12}		0.29	0.3	0.34	0.29	0.4
G_{12}	[GPa]	2.38				15×10^{-3}
$R_{ }^t$	[MPa]	191.73	581.8	35.29	16.86	1.4
$R_{ }^c$	[MPa]	101.16				0.6
R_{\perp}^t	[MPa]	16.86				1.4
R_{\perp}^c	[MPa]	50.41				0.6
$R_{ }$	[MPa]	11.29				0.56



Sonlu elemanlar modeli ağı

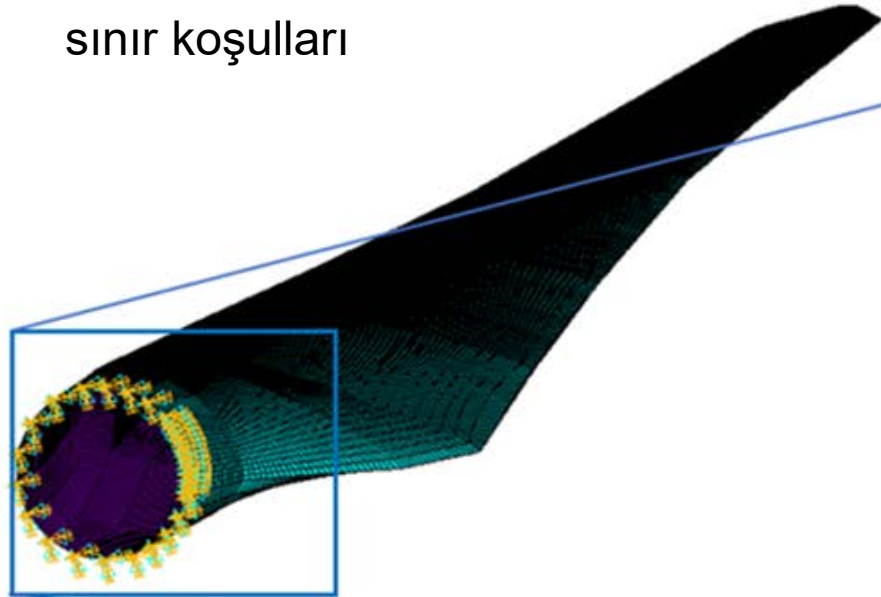
Malzeme mukavemet değerleri GL 2005 standartlarına öngörülen emniyet katsayıları (malzeme, yaşlanma, sıcaklık, imalat metodu) kullanılarak hesaplanmıştır

$$\gamma_{Ma} \times C_{1a} \times C_{2a} \times C_{3a} \times C_{4a} = 2.4$$

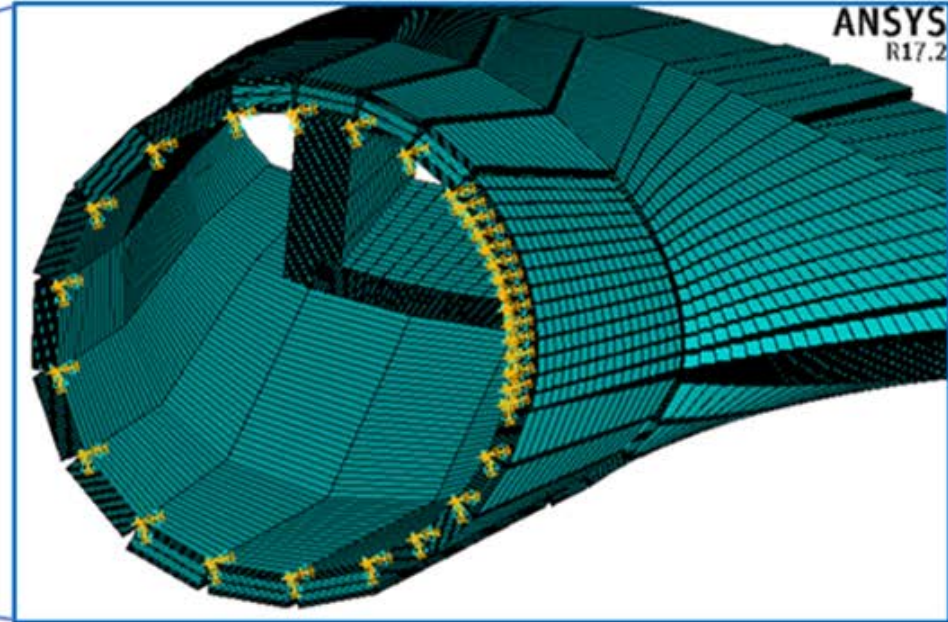


METOT / 5M RÜZGEM KANADI SONLU ELEMANLAR MODELİ

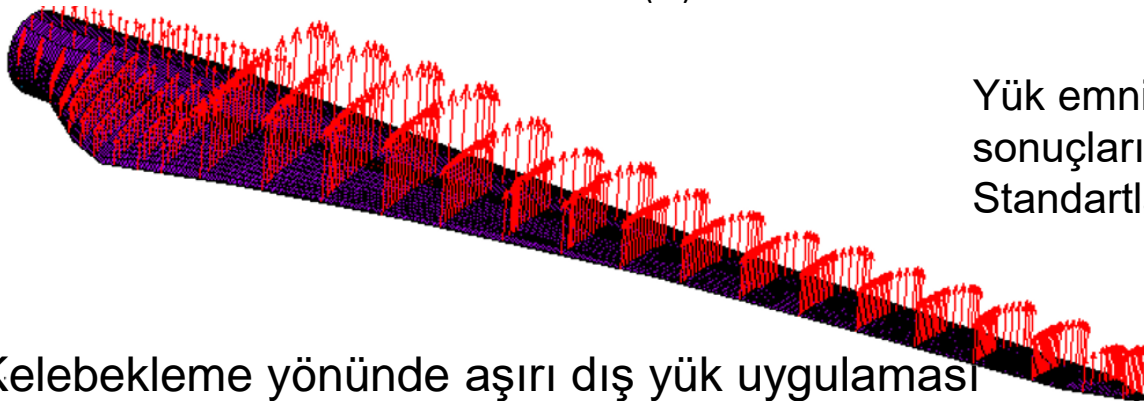
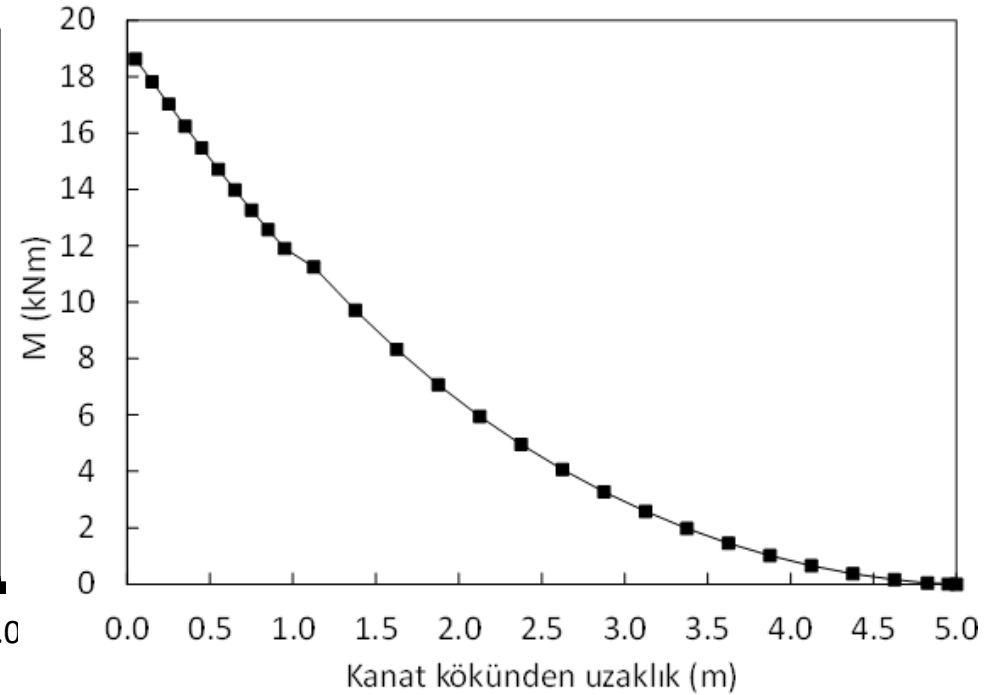
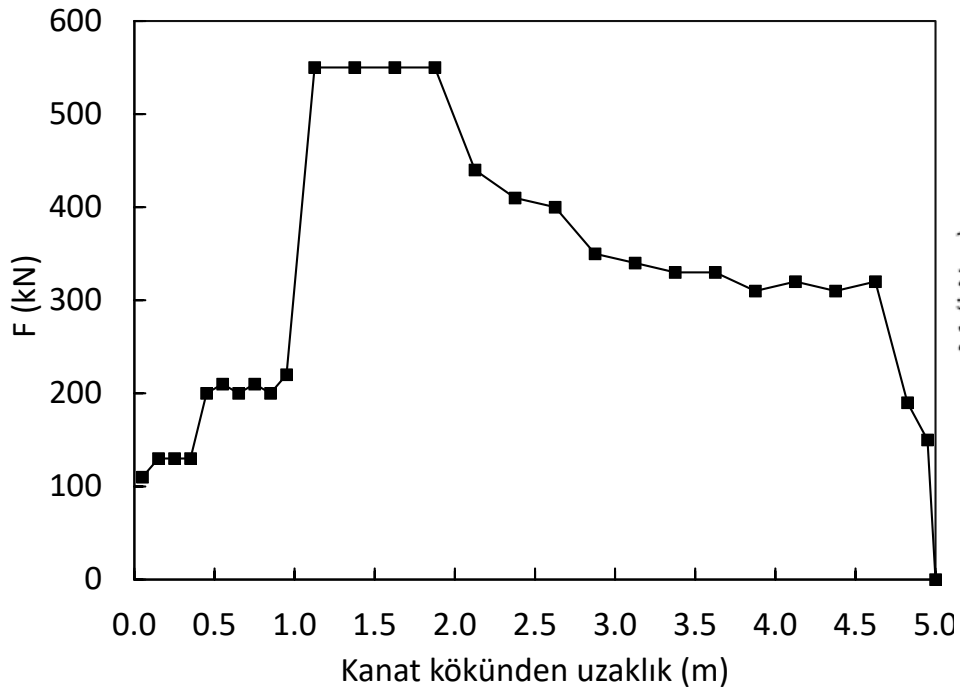
Sonlu elemanlar modeli
sınır koşulları



Kanat kök bölgesi detayı



METOT / 5M RÜZGEM KANADI SONLU ELEMANLAR MODELİ

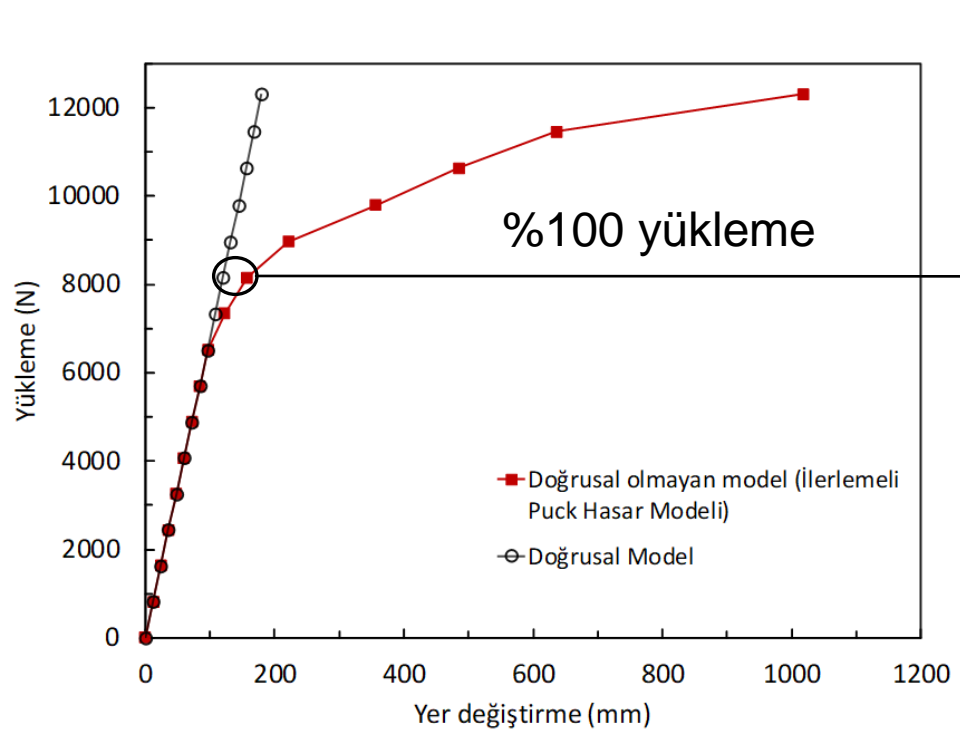


Yük emniyet katsayıları (belirsizlik ve hasarın sonuçlarının doğuracağı sorun) IEC 61400-23 Standartları'ndan hesaplanmıştır

$$\gamma_{fu} \times \gamma_{mu} = 1.25$$

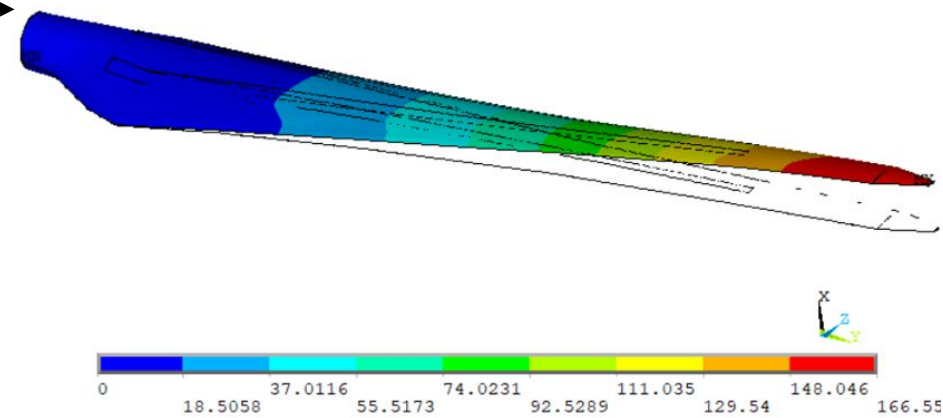
Kelebekleme yönünde aşırı dış yük uygulaması

SONUÇLAR



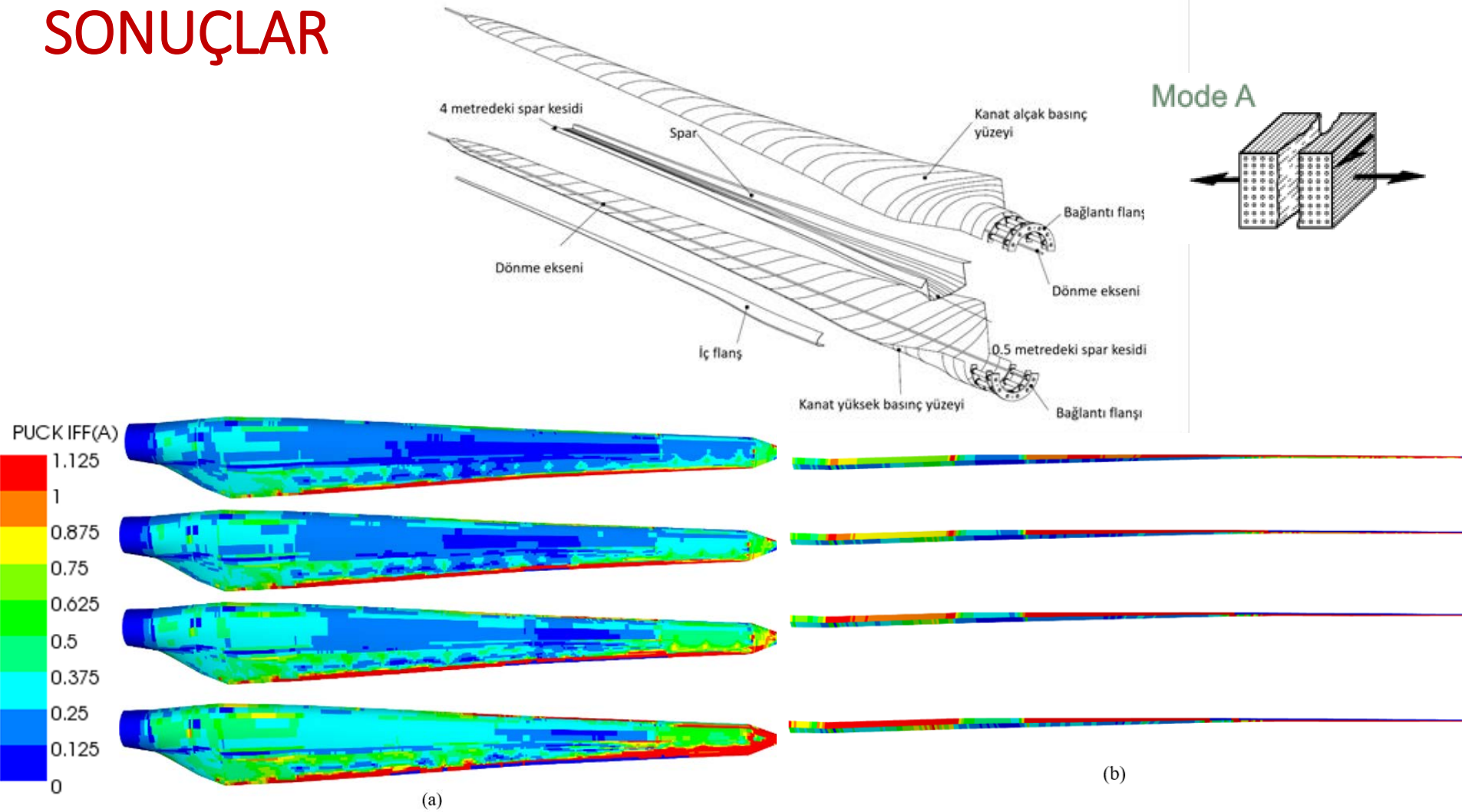
1
NODAL SOLUTION
STEP=11
SUB =1
TIME=11
USUM (AVG)
RSYS=SOLU
DMX =166.552
SMX =166.552

ANSYS Release 17.2
Build 17.2
JUN 9 2019
14:31:42



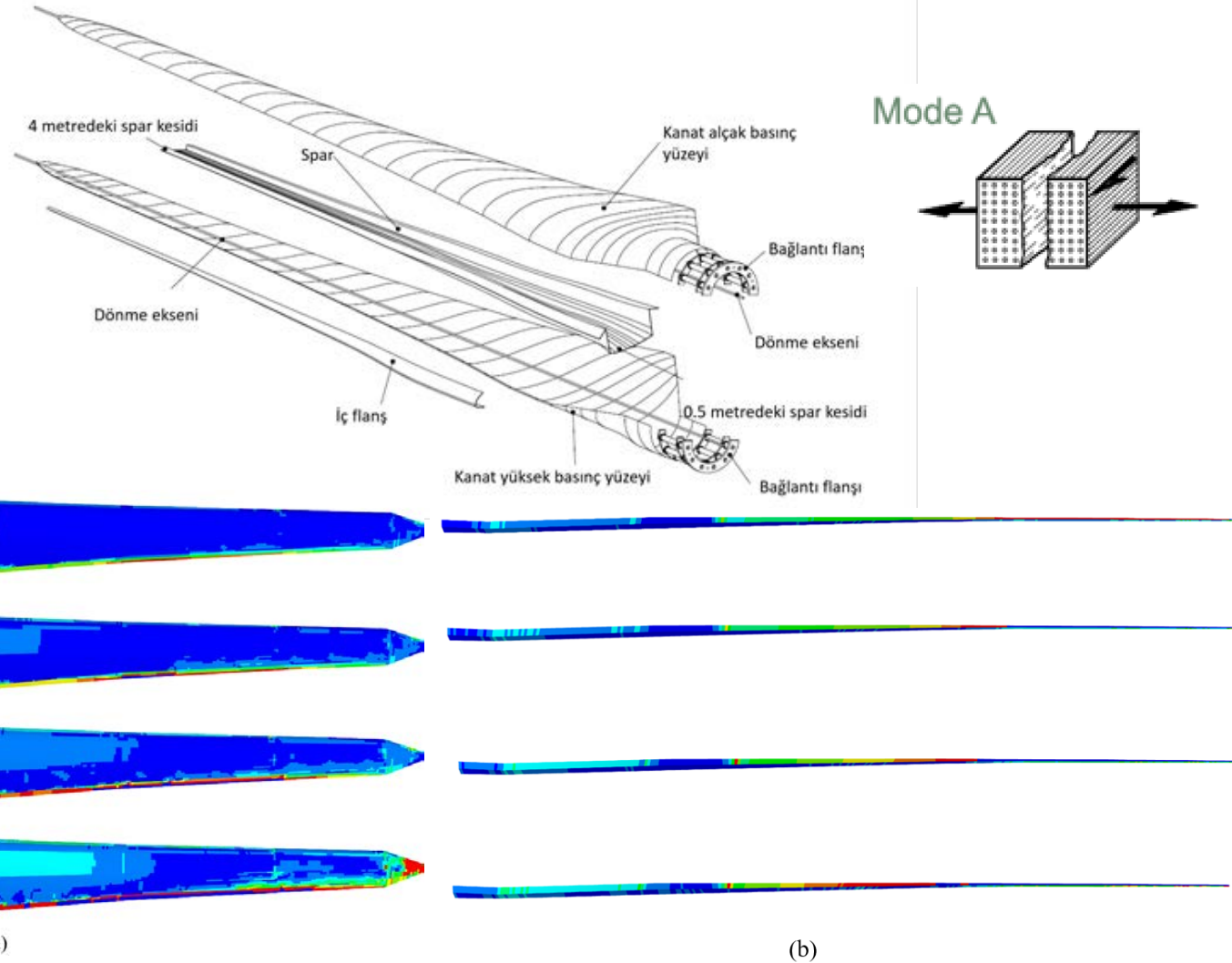
RÜZGEM kanadının deforme olmamış ve deforme olmuş şekli
(deformasyon için ölçek x1.5)

SONUÇLAR



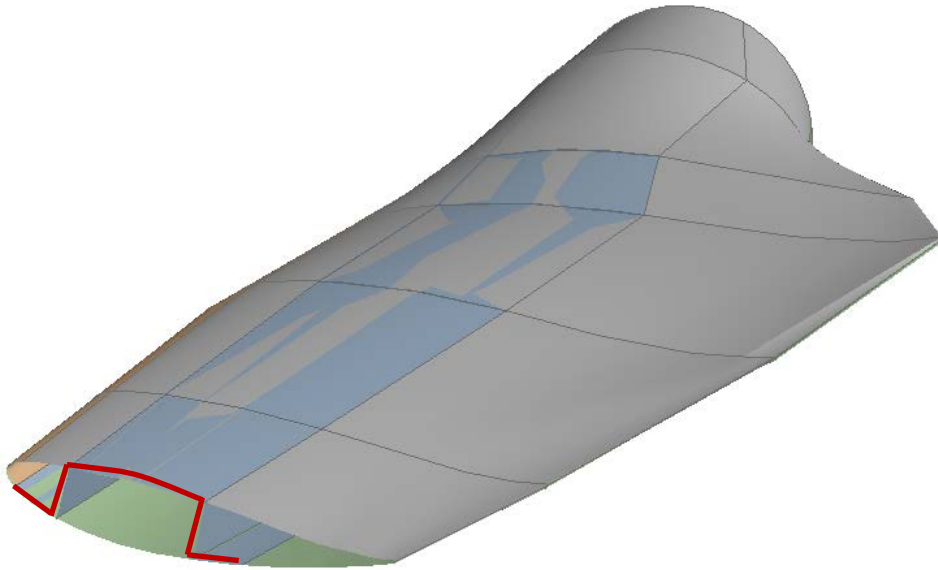
80%, 90%, 100% and 110% kebekleme yönündeki aşırı yükleme altında
(a) Kanat alçak basınç yüzey, (b) iç flanş

SONUÇLAR

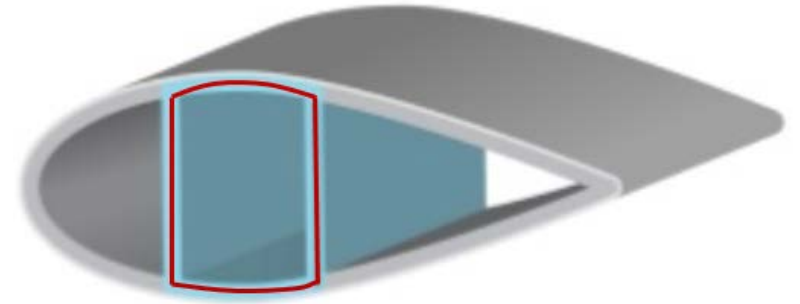


80%, 90%, 100% and 110% kebekleme yönündeki aşırı yükleme altında
(a) Kanat alçak basınç yüzey, (b) iç flanş

KANAT YAPISAL TASARIMININ İYİLEŞTİRİLMESİ



Güncel tasarım
«Şapka kesitli spar»



İyileştirilmiş tasarım
«kapalı kutu kesitli spar»

SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

- Kanat aşırı yüklemenin %80'ine maruz kaldığında doğrusal olmayan davranış göstermektedir ve ileri derecede deformasyon göstermeye başlamaktadır.
- Ana hasar mekanizması: kanat firar ve hücum kenarlarında oluşması beklenen delaminasyon
 - Delaminasyon simüle edilebilmesi için iki boyutlu elemanlar yerine üç boyutlu elemanların kullanılması gerekmektedir
- Kanat tasarımında sparın açık şapka şeklindeki kesit geometrisinin kutu kiriş şeklinde modifiye edilmesi önerilmektedir.

GELECEKTEKİ ÇALIŞMA



RÜZGEM kanadı tam ölçekli yapısal statik testi
IEC (International Electrotechnical Commission) 61400-23 göre yapılacaktır.

TEŞEKKÜRLER

ODTÜ-Rüzgem (ODTÜ Rüzgar Enerjisi Araştırma Merkezi)

