

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**PARABOLİK YAPRAK YAY SİSTEMLERİNDE GERÇEK
ZAMANLI TİTREŞİM ÖLÇÜMLERİNİN YAPAY SİNİR
AĞLARI İLE MODELLENMESİ VE FARKLI
GEOMETRİK YAPILARIN ANSYS TABANLI ANALİZİ**

**Hazırlayan
Muhammed İŞÇİ**

**Danışman
Doç. Dr. Mehmet Bahadır ÇETİNKAYA**

Doktora Tezi

**Temmuz 2024
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**PARABOLİK YAPRAK YAY SİSTEMLERİNDE GERÇEK
ZAMANLI TİTREŞİM ÖLÇÜMLERİNİN YAPAY SİNİR
AĞLARI İLE MODELLENMESİ VE FARKLI
GEOMETRİK YAPILARIN ANSYS TABANLI ANALİZİ
(Doktora Tezi)**

**Hazırlayan
Muhammed İŞCİ**

**Danışman
Doç. Dr. Mehmet Bahadır ÇETİNKAYA**

**Temmuz 2024
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Muhammed İŞÇİ

İmza

“Parabolik Yaprak Yay Sistemlerinde Gerçek Zamanlı Titreşim Ölçümlerinin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi ve Farklı Geometrik Yapıların ANSYS Tabanlı Analizi” adlı Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Muhammed İŞÇİ

İmza

Danışman

Doç. Dr. Mehmet Bahadır ÇETİNKAYA

İmza

Mekatronik Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Şahin YILDIRIM

İmza

TEŞEKKÜR

Yıllar boyunca ciddi emek ve özveri ile hazırladığım doktora tezimi tamamlamış olmanın heyecanı ve gururunu yaşamaktayım. Bu vesileyle, bendenize destek ve teşviklerini esirgemeyen değerli kişilere teşekkürlerimi sunmak isterim: Tez çalışmam süresince, ilgi, alaka ve samimiyetiyle her türlü destek ve fedakârlığı sağlayan, bilim insanı kişiliği ve insaniyetinden çok şey öğrendiğim değerli danışmanım Doç. Dr. Mehmet Bahadır ÇETİNKAYA'ya sonsuz teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Bu sürecin oldukça stresli ve yoğun geçtiğine şahitlik eden ve her koşulda mental açıdan desteklerini esirgemeyen, koşulsuz yanımda olan, sevgili çocukluk arkadaşım, değerli kadim dostum Yüksek Mimar Mustafa ŞARKIŞLA'ya teşekkürlerimi en kalbi duygularıyla sunarım. Engin bilgi, düşünce ve tecrübeleriyle hayata bakış perspektifimi genişleten, zor çalışma koşullarımı minimize edip desteklerini her daim hissettiren, sevgili dostum Dr. Öğr. Üyesi Harun EROL'a bu süreçte yanımda olduğu için en kalbi duygularıyla teşekkür ederim.

Şimdilik öğrencim ama daimî hocam sevgili annem İlksen İŞCİ'ye ve gerek duruşu gerek karakteriyle bana çok şey katan kılavuzum sevgili babam Turgut İŞCİ'ye, bu günlere gelmeme vesile oldukları için, düştüğümde ellerimden tutup kaldırdıkları için, mutluluğumu her daim paylaştıkları ve daha niceleri için saygılarımı, minnetlerimi ve teşekkürlerimi en kalbi duygularıyla sunarım. Hayatımdaki yerleri tartışmasız paha biçilemez olan, yanlarında hep çocuk kalabildiğim, zaman geçtikçe büyüseler de her daim hayatıma girdikleri ilk andaki kokularını duyabildiğim, bu süreçte de büyük destekçilerim olan canım kardeşlerim sevgili Elif ve Metin'e hayatta mutluluklarının daim olmasını temenni ederek en kalbi duygularıyla teşekkürlerimi ve sevgilerimi sunarım.

Ve son olarak hayatımın belki de en stresli dönemlerinden birinde beni yalnız bırakmayan, belki de en çekilmez olduğum bu süreçte kafamdaki tüm sesleri durduran, dünüm, bugünüm ve yarınım olan sevgili hayat arkadaşım Fatma Nur'a en kalbi duygularıyla teşekkürlerimi ve sevgilerimi sunarım. (Soy isim güncellemesi kendisinin doktora tezinde gelecek. Henüz yetişmedi.)

Muhammed İŞCİ

Temmuz 2024, KAYSERİ

PARABOLİK YAPRAK YAY SİSTEMLERİNDE GERÇEK ZAMANLI TİTREŞİM ÖLÇÜMLERİNİN YAPAY SINIR AĞLARI İLE MODELLENMESİ VE FARKLI GEOMETRİK YAPILARIN ANSYS TABANLI ANALİZİ

Muhammed İŞÇİ

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Doktora Tezi, Temmuz 2024
Danışman: Doç. Dr. Mehmet Bahadır ÇETİNKAYA

ÖZET

Yaprak yay sistemleri, titreşim etkilerine bağlı olarak ortaya çıkan gerilme, deformasyon ve eğilme etkilerini zayıflatmak veya tamamen yok etmek için kullanılan mekanik yapılardır. Bu harici etkilerin yüksek doğrulukla belirlenmesi yaprak yay sistemlerinin daha etkin çalışması açısından son derece önemlidir. Bu tez çalışmasında gerçek zamanlı titreşim ölçümleri ve analizler yapılmış, elde edilen deneysel veriler yapay sinir ağları ile modellenmiş ve ayrıca farklı geometrik yapılar için deformasyon analizleri ve modal analizler gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda, çelik yaprak yay sistemine bir hidrolik piston tarafından farklı basınç değerleri uygulanmış ve ortaya çıkan titreşim etkileri 3-eksenli bir ivmeölçer ile ölçülmüştür. Daha sonra, gerçek zamanlı titreşim verilerinin modellenmesine yönelik olarak Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağ (RTYSA) ve İleri Kademeli Geri Yayılımlı Yapay Sinir Ağ (İKGYYSA) yapıları geliştirilmiştir. Son olarak, 10-7, 10-5 ve 8-7 çok katmanlı parabolik çelik yaprak yay sistemleri için ANSYS Workbench 18.1 yazılımı kullanılarak yapısal dayanımlar ve rezonans frekans analizleri gerçekleştirilmiştir. Benzetim çalışmaları sonucunda, RTYSA yapısının titreşimleri daha yüksek doğrulukta tahmin edebildiği ve daha düşük MSE değerlerine yakınsadığı görülmüştür. İstatistiksel R^2 analiz sonuçları incelendiğinde de RTYSA yapısının istatistiksel açıdan daha iyi performans sergilediği gözlemlenmiştir. ANSYS tabanlı analizler sonucunda ise 8-7 yaprak yay yapısının en yüksek deformasyonlara ve rezonans frekanslarına sahip olduğu ortaya çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yaprak yay sistemi, Yapay sinir ağları, Titreşim analizi, ANSYS, Deformasyon analizi, Modal analiz.

**MODELING OF REAL-TIME VIBRATION MEASUREMENTS IN
PARABOLIC LEAF SPRING SYSTEMS USING ARTIFICIAL NEURAL
NETWORKS AND ANSYS-BASED ANALYSIS OF DIFFERENT GEOMETRIC
STRUCTURES**

Muhammed İŞÇİ

**Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
PhD Thesis, July 2024**

Supervisor: Associate Professor Mehmet Bahadır ÇETİNKAYA

ABSTRACT

Leaf spring systems are mechanical structures used to mitigate or completely eliminate the stress, deformation, and bending effects that arise due to vibrations. Accurately determining these external effects is extremely important for the efficient operation of leaf spring systems. In this thesis, real-time vibration measurements and analyses were conducted, experimental data were modeled using artificial neural networks, and deformation and modal analyses for different geometric structures were performed. In the experimental studies, various pressure values were applied to a steel leaf spring system by a hydraulic piston, and the resulting vibration effects were measured using a 3-axis accelerometer. Subsequently, Radial Basis Function Neural Network (RBFNN) and Cascade - Forward Backpropagation (CFBANN) structures were developed for modeling real-time vibration data. Finally, structural strength and resonance frequency analyses for 10-7, 10-5, and 8-7 multi-layer parabolic steel leaf spring systems were performed using ANSYS Workbench 18.1 software. The simulation studies revealed that the RBFNN structure could predict vibrations with higher accuracy and converged to lower MSE values. Statistical R² analysis results also indicated that the RBFNN structure exhibited better performance statistically. The ANSYS-based analyses showed that the 8-7 leaf spring structure had the highest deformations and resonance frequencies.

Keywords: Leaf spring system, Artificial neural networks, Vibration analysis, ANSYS, Deformation analysis, Modal analysis.

İÇİNDEKİLER

PARABOLİK YAPRAK YAY SİSTEMLERİNDE GERÇEK ZAMANLI TİTREŞİM ÖLÇÜMLERİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE MODELLENMESİ VE FARKLI GEOMETRİK YAPILARIN ANSYS TABANLI ANALİZİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK.....	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
KABUL VE ONAY	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET	vi
ABSTRACT.....	vii
KISALTMALAR.....	x
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Çok Katmanlı Parabolik Yaprak Yay Sistemleri	3
1.2. Yaprak Yay Sistemlerinde Titreşim Analizine Yönelik Literatür Çalışması.....	4
1.3. Yaprak Yay Sistemlerinde Yapay Sinir Ağları ve ANSYS Tabanlı Analizlere Yönelik Literatür Çalışması.....	6

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Deneysel Çalışmalar.....	9
2.2. Yapay Sinir Ağları	11
2.2.1 Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağı.....	12
2.2.2 İleri Kademeli Geri Yayılımlı Yapay Sinir Ağı.....	14
2.3. ANSYS Tabanlı Çalışmalar	15

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1 Yapay Sinir Ağları Modelleme Grafik Sonuçları	21
3.2 ANSYS Tabanlı Modal Analiz ve Toplam Deformasyon Sonuçları.....	69

4. BÖLÜM**TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER**

4.1.Tartışma	82
4.2.Sonuç ve Öneriler	83
KAYNAKÇA	85
ÖZGEÇMİŞ.....	90



KISALTMALAR

ANN	: Artificial Neural Network
B	: Basınç (Bar)
BP	: Geri Yayılım (Back Propagation)
BUP	: Basınç Uygulama Periyodu
BUS	: Basınç Uygulama Süreleri
CFBANN	: Cascade-Forward Backpropagation Artificial Neural Network
FEM	: Sonlu Elemanlar Yöntemi
Hz	: Hertz
IDA	: Intelligent Data Acquisition
İKGYYSA	: İleri Kademeli Geri Yayılımlı Yapay Sinir Ağı
MSE	: Ortalama Kare Hatası (Mean Squared Error)
N	: Kuvvet
Pa	: Pascal
RBFANN	: Radial Basis Artificial Neural Network
RTYSA	: Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağı
s	: Saniye
YSA	: Yapay Sinir Ağları

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1.	Tasarlanan yaprak yay sisteminin geometrik özellikleri.	10
Tablo 2.2.	Teknik Resmi verilen yaprak yay sistemlerinin özellikleri.....	18
Tablo 2.3.	Bu çalışmada incelenen yaprak yay sistemlerinin tasarımında kullanılan çelik malzemenin özellikleri	20
Tablo 3.1.	BUP: 5 s şartında gerçekleştirilen tüm benzetim çalışmalarının MSE sonuçları.....	64
Tablo 3.2.	BUP: 5 s şartında gerçekleştirilen tüm benzetim çalışmalarının R^2 sonuçları.....	65
Tablo 3.3.	BUP: 10 s şartında gerçekleştirilen tüm benzetim çalışmalarının MSE sonuçları.....	66
Tablo 3.4.	BUP: 10 s şartında gerçekleştirilen tüm benzetim çalışmalarının R^2 sonuçları.....	67
Tablo 3.5.	Uygulanan basınç değerleri altında meydana gelen maksimum yer değiştirme değerleri	77
Tablo 3.6.	Üst veya alt yaprak yay sayısındaki değişikliklerden kaynaklanan basınç değeri ile toplam deformasyon arasındaki oransal ilişki	78
Tablo 3.7.	Üst veya alt yaprak yay sayısındaki değişikliklerden kaynaklanan Modlar ile rezonans frekansları arasındaki oransal ilişki	79
Tablo 3.8.	İlk 20 mod için elde edilen rezonans frekansı değerleri (Hertz cinsinden)	79
Tablo 3.9.	Analiz edilen yaprak yay sistemlerinde ortaya çıkan maksimum Von Mises gerilme değerleri	80

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Tasarlanan deneysel sistemde kullanılan yaprak yay sisteminin ana bileşenleri.....	4
Şekil 2.1.	Çok katmanlı parabolik yaprak yay sisteminin genel yapısı ve temel bileşenleri.....	9
Şekil 2.2.	Titreşim analizi için tasarlanmış yaprak yay test standı	11
Şekil 2.3.	Temel bir yapay sinir ağ yapısı.....	11
Şekil 2.4.	Benzetim çalışmalarında kullanılan RTYSA yapısı	13
Şekil 2.5.	Benzetim çalışmalarında kullanılan İKGYYSA yapısı	15
Şekil 2.6.	Bu çalışmada analiz edilen yay sisteminin teknik çizimleri a) 10-7 tip b) 10-5 tip c) 8-7 tip	17
Şekil 2.7.	Farklı geometrik yapılar için meshleme işlemi a) 10-7, b) 10-5 c) 8-7	19
Şekil 2.8.	Yaprak yay sistemlerinin sabit mesnet ve basınç uygulanan bölgeleri	20
Şekil 3.1.	a) BUP: 5 s, BUS: 2 s, B: 6.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 2 s, B: 6.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSA sonuçları.....	22
Şekil 3.2.	a) BUP: 5 s, BUS: 2 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 2 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSA sonuçları.....	22
Şekil 3.3.	a) BUP: 5 s, BUS: 2 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 2 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSA sonuçları.....	23
Şekil 3.4.	a) BUP: 5 s, BUS: 2 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 2 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSA sonuçları.....	23
Şekil 3.5.	a) BUP: 5 s, BUS: 2 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 2 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSA sonuçları.....	24

Şekil 3.6.	a) BUP: 5 s, BUS: 2 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 2 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	24
Şekil 3.7.	a) BUP: 5 s, BUS: 5 s, B: 6.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 5 s, B: 6.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	25
Şekil 3.8.	a) BUP: 5 s, BUS: 5 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 5 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	25
Şekil 3.9.	a) BUP: 5 s, BUS: 5 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 5 s, B: 18,75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	26
Şekil 3.10.	a) BUP: 5 s, BUS: 5 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 5 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	26
Şekil 3.11.	a) BUP: 5 s, BUS: 5 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 5 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	27
Şekil 3.12.	a) BUP: 5 s, BUS: 5 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 5 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	27
Şekil 3.13.	a) BUP: 5 s, BUS: 8 s, B: 6.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 8 s, B: 6.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	28

Şekil 3.14.	a) BUP: 5 s, BUS: 8 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 8 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	28
Şekil 3.15.	a) BUP: 5 s, BUS: 8 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 8 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	29
Şekil 3.16.	a) BUP: 5 s, BUS: 8 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 8 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	29
Şekil 3.17.	a) BUP: 5 s, BUS: 8 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 8 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	30
Şekil 3.18.	a) BUP: 5 s, BUS: 8 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 8 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	30
Şekil 3.19.	a) BUP: 5 s, BUS: 11 s, B: 6.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 11 s, B: 6.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	31
Şekil 3.20.	a) BUP: 5 s, BUS: 11 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 11 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	31
Şekil 3.21.	a) BUP: 5 s, BUS: 11 s, B: 18,75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 11 s, B: 18,75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	32

Şekil 3.22.	a) BUP: 5 s, BUS: 11 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 11 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	32
Şekil 3.23.	a) BUP: 5 s, BUS: 11 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 11 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	33
Şekil 3.24.	a) BUP: 5 s, BUS: 11 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 11 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	33
Şekil 3.25.	a) BUP: 5 s, BUS: 14 s, B: 6.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 14 s, B: 6.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	34
Şekil 3.26.	a) BUP: 5 s, BUS: 14 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 14 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	34
Şekil 3.27.	a) BUP: 5 s, BUS: 14 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 14 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	35
Şekil 3.28.	a) BUP: 5 s, BUS: 14 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 14 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	35
Şekil 3.29.	a) BUP: 5 s, BUS: 14 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 14 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	36

Şekil 3.30.	a) BUP: 5 s, BUS: 14 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 14 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	36
Şekil 3.31.	a) BUP: 5 s, BUS: 17 s, B: 6.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 17 s, B: 6.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	37
Şekil 3.32.	a) BUP: 5 s, BUS: 17 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 17 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	37
Şekil 3.33.	a) BUP: 5 s, BUS: 17 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 17 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	38
Şekil 3.34.	a) BUP: 5 s, BUS: 17 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 17 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	38
Şekil 3.35.	a) BUP: 5 s, BUS: 17 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 17 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	39
Şekil 3.36.	a) BUP: 5 s, BUS: 17 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 17 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	39
Şekil 3.37.	a) BUP: 5 s, BUS: 20 s, B: 6.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 20 s, B: 6.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	40

Şekil 3.38.	a) BUP: 5 s, BUS: 20 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 20 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	40
Şekil 3.39.	a) BUP: 5 s, BUS: 20 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 20 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	41
Şekil 3.40.	a) BUP: 5 s, BUS: 20 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 20 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	41
Şekil 3.41.	a) BUP: 5 s, BUS: 20 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 20 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	42
Şekil 3.42.	a) BUP: 5 s, BUS: 20 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 20 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	42
Şekil 3.43.	a) BUP: 10 s, BUS: 2 s, B: 6.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 2 s, B: 6.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	43
Şekil 3.44.	a) BUP: 10 s, BUS: 2 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 2 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	43
Şekil 3.45.	a) BUP: 10 s, BUS: 2 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 2 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	44

Şekil 3.46.	a) BUP: 10 s, BUS: 2 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 2 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	44
Şekil 3.47.	a) BUP: 10 s, BUS: 2 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 2 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	45
Şekil 3.48.	a) BUP: 10 s, BUS: 2 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 2 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	45
Şekil 3.49.	a) BUP: 10 s, BUS: 5 s, B: 6.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 5 s, B: 6.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	46
Şekil 3.50.	a) BUP: 10 s, BUS: 5 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 5 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	46
Şekil 3.51.	a) BUP: 10 s, BUS: 5 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 5 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	47
Şekil 3.52.	a) BUP: 10 s, BUS: 5 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 5 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	47
Şekil 3.53.	a) BUP: 10 s, BUS: 5 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 5 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları.....	48

Şekil 3.54.	a) BUP: 10 s, BUS: 5 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 5 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSА sonuçları.....	48
Şekil 3.55.	a) BUP: 10 s, BUS: 8 s, B: 6.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 8 s, B: 6.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSА sonuçları.....	49
Şekil 3.56.	a) BUP: 10 s, BUS: 8 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 8 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSА sonuçları.....	49
Şekil 3.57.	a) BUP: 10 s, BUS: 8 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 8 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSА sonuçları.....	50
Şekil 3.58.	a) BUP: 10 s, BUS: 8 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 8 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSА sonuçları.....	50
Şekil 3.59.	a) BUP: 10 s, BUS: 8 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 8 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSА sonuçları.....	51
Şekil 3.60.	a) BUP: 10 s, BUS: 8 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 8 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSА sonuçları.....	51
Şekil 3.61.	a) BUP: 10 s, BUS: 11 s, B: 6.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 11 s, B: 6.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSА sonuçları.....	52

Şekil 3.62.	a) BUP: 10 s, BUS: 11 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 11 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSА sonuçları.....	52
Şekil 3.63.	a) BUP: 10 s, BUS: 11 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 11 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSА sonuçları.....	53
Şekil 3.64.	a) BUP: 10 s, BUS: 11 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 11 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSА sonuçları.....	53
Şekil 3.65.	a) BUP: 10 s, BUS: 11 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 11 s, B:31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSА sonuçları.....	54
Şekil 3.66.	a) BUP: 10 s, BUS: 11 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 11 s, B:37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSА sonuçları.....	54
Şekil 3.67.	a) BUP: 10 s, BUS: 14 s, B: 6.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 14 s, B: 6.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSА sonuçları.....	55
Şekil 3.68.	a) BUP: 10 s, BUS: 14 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 14 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSА sonuçları.....	55
Şekil 3.69.	a) BUP: 10 s, BUS: 14 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 14 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSА sonuçları.....	56

Şekil 3.70.	a) BUP: 10 s, BUS: 14 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 14 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSА sonuçları.....	56
Şekil 3.71.	a) BUP: 10 s, BUS: 14 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 14 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSА sonuçları.....	57
Şekil 3.72.	a) BUP: 10 s, BUS: 14 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 14 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSА sonuçları.....	57
Şekil 3.73.	a) BUP: 10 s, BUS: 17 s, B: 6.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 17 s, B: 6.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSА sonuçları.....	58
Şekil 3.74.	a) BUP: 10 s, BUS: 17 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 17 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSА sonuçları.....	58
Şekil 3.75.	a) BUP: 10 s, BUS: 17 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 17 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSА sonuçları.....	59
Şekil 3.76.	a) BUP: 10 s, BUS: 17 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 17 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSА sonuçları.....	59
Şekil 3.77.	a) BUP: 10 s, BUS: 17 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 17 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSА sonuçları.....	60

Şekil 3.78.	a) BUP: 10 s, BUS: 17 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 17 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSА sonuçları.....	60
Şekil 3.79.	a) BUP: 10 s, BUS: 20 s, B: 6.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 20 s, B: 6.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSА sonuçları.....	61
Şekil 3.80.	a) BUP: 10 s, BUS: 20 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 20 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSА sonuçları.....	61
Şekil 3.81.	a) BUP: 10 s, BUS: 20 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 20 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSА sonuçları.....	62
Şekil 3.82.	a) BUP: 10 s, BUS: 20 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 20 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSА sonuçları.....	62
Şekil 3.83.	a) BUP: 10 s, BUS: 20 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 20 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSА sonuçları.....	63
Şekil 3.84.	a) BUP: 10 s, BUS: 20 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 20 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSА sonuçları.....	63
Şekil 3.85.	10-7 yaprak yay sisteminin basınç bölgeleri ve toplam deformasyon sonuçları. a) Basınç uygulanan bölge ve sabit destek bölgeleri, b) 12.5 Pa için elde edilen deformasyon sonuçları, c) 25 Pa için elde edilen deformasyon sonuçları, d) 37.5 Pa için elde edilen deformasyon sonuçları.....	70

Şekil 3.86.	10-7 yaprak yay sisteminin modal analiz sonuçları. a) Mod 1, b) Mod 2, c) Mod 3, d) Mod 4, e) Mod 5, f) Mod 6	71
Şekil 3.87.	10-5 yaprak yay sisteminin basınç bölgeleri ve toplam deformasyon sonuçları. a) Basınç uygulanan bölge ve sabit destek bölgeleri, b) 12.5 Pa için elde edilen deformasyon sonuçları, c) 25 Pa için elde edilen deformasyon sonuçları, d) 37.5 Pa için elde edilen deformasyon sonuçları.....	72
Şekil 3.88.	10-5 yaprak yay sisteminin modal analiz sonuçları. a) Mod 1, b) Mod 2, c) Mod 3, d) Mod 4, e) Mod 5, f) Mod	73
Şekil 3.89.	8-7 yaprak yay sisteminin basınç bölgeleri ve toplam deformasyon sonuçları. a) Basınç uygulanan bölge ve sabit destek bölgeleri, b) 12.5 Pa için elde edilen deformasyon sonuçları, c) 25 Pa için elde edilen deformasyon sonuçları, d) 37.5 Pa için elde edilen deformasyon sonuçları.....	75
Şekil 3.90.	8-7 yaprak yay sisteminin modal analiz sonuçları. a) Mod 1, b) Mod 2, c) Mod 3, d) Mod 4, e) Mod 5, f) Mod 6	76

GİRİŞ

Yaprak yay sistemleri, mekanik sistemlerin yük taşıma kapasitesini artırmak amacıyla yüksek mukavemetli ve esnek malzemelerden üretilen yapılardır. Otomotiv sektörünün temel bileşenlerinden biri olan yaprak yay sistemleri, harici kuvvetlerin etkilerini azaltmak veya tamamen yok etmek amacıyla çeşitli endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Dinamik sistemlerin hareketi sırasında meydana gelen frenleme, viraj alma ve çarpma gibi dış kuvvetler sistem üzerinde basınç etkilerine yol açmakta ve bu etkilere bağlı olarak ortaya çıkan deformasyonlar sistem ömrünü kısaltabilmektedir. Ayrıca, bu basınç etkileri, sistem üzerinde gerilmelere, gerinimlere, sehimlere ve yüzey deformasyonlarına olmaktadır.

Bu tez çalışmasında, ilk olarak çok katmanlı parabolik çelik yaprak yay sistemi üzerinde farklı periyot ve sürelerle uygulanan basınç değerleri altında ortaya çıkan titreşimler bir ivme sensörü yardımıyla deneysel olarak ölçülmüştür. Basınç periyodu, basınç süresi ve basınç değeri parametreleri üzerinden detaylı bir titreşim analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen titreşim verileri için hem parametre analizi hem de ANN yardımıyla üç eksenle titreşim tahminleri gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmasının ilk bölümünde, çok katmanlı parabolik yaprak yay sistemleri hakkında genel bilgiler verilmiştir. Daha sonra bu sistemlerin titreşim analizine yönelik, yapay sinir ağları ve tahmin yetenekleriyle ilgili ve ANSYS tabanlı deformasyon ve modal analizleriyle ilgili detaylı bir literatür taraması ve özeti sunulmuştur.

İkinci bölümde deneysel çalışmalar, benzetim çalışmaları ve ANSYS tabanlı çalışmalar üzerinde durulmuştur. Deneysel çalışmalarda kullanılan donanımlar hakkında bilgiler sunulduktan sonra, elde edilen yerel titreşim verilerinin analizine ilişkin süreç detaylandırılmıştır. Ardından, yapay sinir ağlarının temel yapısı, eğitim aşamaları ve bu tez çalışmasında uygulanan iki farklı yapay sinir ağı öğrenme algoritması ayrıntılı olarak

ele alınmıştır. Son olarak, ANSYS tabanlı analiz süreçlerinde kullanılan uygulama yöntemleri detaylı bir şekilde sunulmuştur.

Üçüncü bölümde, deneysel çalışmaların sonuçları, benzetim çalışmaları verileri ve ANSYS tabanlı analizler bulguları sunulmuş ve bu sonuçlar kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. İleri kademeli geri yayılım yapay sinir ağ (İKGYSA, Cascade-Forward Backpropagation Artificial Neural Network) ve radyal tabanlı yapay sinir ağ (RTYSA, Radial Basis Artificial Neural Network) modellerinin performansları karşılaştırılmıştır. Daha detaylı performans karşılaştırması sunabilmek amacıyla tüm tahmin sonuçlarına yönelik MSE ve istatistiksel R^2 değerleri hesaplanmış ve karşılaştırmalar sunulmuştur. Farklı basınç değerleri altında farklılaştırılmış geometrik yapılar da dikkate alınarak detaylı bir şekilde deformasyon analizleri ve modal analizler gerçekleştirilmiştir.

Son olarak, dördüncü bölümde sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Bu tez çalışmasında, farklı basınç uygulama periyotları, basınç uygulama süreleri ve basınç değerleri için bir çelik yaprak yay sisteminde meydana gelen gerçek zamanlı yerel titreşim etkileri deneysel olarak ölçülmüş ve sonuçlar literatürde sunulmuştur. Uygulama süresi, hidrolik pistonun sisteme ilk kez basınç uyguladığı an ile basınç uyguladıktan sonra sistemle temasını ilk kesme anı arasında geçen süre olarak tanımlanmıştır. Uygulama periyodu ise basınçların uygulama süreleri arasındaki süreyi temsil etmektedir. 10-7, 10-5 ve 8-7 çok katmanlı parabolik çelik yaprak yay sistemlerine uygulanan 12.5, 25 ve 37.5 Pascal basınç değerleri sonucu oluşan deformasyon etkileri için ANSYS tabanlı analizler gerçekleştirilmiştir. Çok katmanlı yaprak yay sisteminin hem üst hem de alt yaprak yay sistemleri için statik ve dinamik analizler eş zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Alt ve/veya üst tabaka yaprak sayısındaki artış veya azalışların gerilme, toplam deformasyon ve rezonans frekansları üzerindeki etkileri eş zamanlı ve birbiriyle bağlantılı olarak analiz edilmiştir. Analizi yapılan yaprak yay sistemleri için elde edilen simülasyon sonuçları, özellikle otomotiv sektöründeki yaprak yay sistemi üreticilerine ve araştırmacılara detaylı bir veri tabanı sağlayacaktır.

1.1. Çok Katmanlı Parabolik Yaprak Yay Sistemleri

Çok katmanlı parabolik yaprak yay sistemlerinin diğer yay türlerine göre daha yüksek yapısal sönümleme özelliklerine sahip olmaları bu sistemlerin en dikkat çekici özelliklerinden birisidir [1]. Yaprak yay sistemleri, araçların hareketi sırasında basınç, kuvvet, frenleme, viraj alma ve darbe gibi farklı tür ve şiddette dış kuvvetlere maruz kalmaktadır. Bu dış etkiler sonucunda meydana gelen titreşimler, yaprak yay sisteminde gerilmeler, deformasyonlar, sapmalar ve yüzey deformasyonlarına neden olacaktır. Dolayısıyla, her bir etkinin yüksek doğrulukla analiz edilmesi ve yaprak yay sisteminin buna göre geliştirilmesi, güvenlik ve maliyet açısından son derece önemlidir. Bu tez

çalışmasında, Çetinkaya ve Topaç tarafından Daimler Mercedes Aksaray/Türkiye iş birliği ile geliştirilen çelik yaprak yay sistemi üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir [2]. Şekil 1.1 ile gösterilmiş olan bu sistem, genellikle ağır araçlar ve inşaat makinelerinde kullanılmaktadır ve birbirine bağlı ancak iki ayrı yaprak yay katmanını içeren bir blok yapıya sahiptir.



Şekil 1.1. Tasarlanan deneysel sistemde kullanılan yaprak yay sisteminin ana bileşenleri

Tasarlanan yaprak yay sisteminin ana gövdesi 10 adet çelik yaprak yay içermektedir. Ana gövdeyi oluşturan bu 10 yaprak yayın yanı sıra, sistemi güçlendirmek ve daha kararlı hale getirmek için ek olarak 7 yaprak yay daha eklenmiştir.

1.2. Yaprak Yay Sistemlerinde Titreşim Analizine Yönelik Literatür Çalışması

Titreşim analizleri statik analiz, dinamik analiz, malzeme özellikleri ve yorulma tahmini açısından gerçekleştirilebilmektedir. [3]'te, yazarlar beklenen hizmet ömründen çok daha erken deforme olan bir yaprak yay sistemi üzerinde detaylı yüzey analizleri ve mekanik testler gerçekleştirmiştir. Zhou ve arkadaşları [4]'te, yaprak yay sistemlerinde çalışma yükünü azaltmak, doğrusallığı sağlamak ve genlik değişimlerini düzenlemek amacıyla yeni bir elastik bileşen tasarlamıştır. [5]'te, cam elyafı ile güçlendirilmiş polimerlerin kullanıldığı bir kompozit yaprak yay sistemi önerilmiş ve ayrıca gerilmeler, gerinimler ve sapma modelleme kısıtları altında ANSYS analizleri gerçekleştirilmiştir. Odabaşı ve arkadaşları [6], stres ve deformasyon açısından MacPherson, çift salıncak ve yaprak yay sistemleri arasında ön bir karşılaştırma yapmış ve elde edilen sonuçları sunmuştur. Abdullah ve arkadaşları tarafından sunulan bir başka çalışmada [7], rastgele gerinim yüklemesi altında bir yaprak yayın öngörülen yorulma ömrüne dayalı güvenilirlik değerlendirmesi araştırılmıştır. [8]'de gerçekleştirilen kompozit malzeme tabanlı tasarım analizinde, geleneksel çelik yaprak yaydaki ağırlığın kompozit malzemeler kullanılarak

azaltılması ele alınmıştır. [9]'da, mevcut tek yapraklı metal yaprak yay yapılarını değiştirmek amacıyla kompozit bazlı bir tek yaprak yay sistemi tasarlanmış ve üretilmiştir. [10]'da, kompozit tek yaprak yay sistemlerinde hasar tespiti, hasar yeri ve hasar miktarı açısından hasar seviyeleri analiz edilmiştir. [11]'de, yazarlar çift çelik yaprak yay yerine fiber takviyeli polimerik kompozit yaprak yayları araştırmıştır. Mevcut çelik yaprak yayların kompozit yaprak yaylarla değiştirilmesini araştıran bir başka çalışmada, önerilen kompozit yaprak yay sistemleri düşük hızlı darbe test düzeninde test edilmiş ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır [12]. Benzer bir çalışmada, Pozhilarasu ve Pillai [13], kompozit ve geleneksel yaprak yay sistemleri arasında detaylı bir performans karşılaştırması sunmuştur. [14]'te gerçekleştirilen bir diğer malzeme analizi tabanlı çalışmada, cam elyaf takviyeli polimerden yapılmış kompozit yaprak yay sistemlerinin tasarım ve deneysel analizi, yük taşıma kapasitesi, sertlik ve ağırlık tasarrufu açısından gerçekleştirilmiştir. [15] numaralı çalışmalarında, Gowd ve Goud , konforlu ve güvenli bir sürüş için bir yaprak yay sisteminin güvenli yükünü belirlemek amacıyla detaylı bir ANSYS tabanlı analiz sunmuştur. [16]'da, çok gövdeli araç sistemlerinin bilgisayar benzetimlerinde kullanılmak üzere doğrusal olmayan elastik bir yaprak yay sistemi modeli geliştirilmiştir. [17,18]'de, yazarlar, stres ve sapma kısıtlamalarını dikkate alarak, yük taşıma kapasitesi, sertlik ve ağırlık tasarrufu açısından kompozit ve çelik yaprak yay sistemlerinin performanslarını karşılaştırmıştır. [19]'da yazarlar, yük taşıma kapasitesi ve sertlikte herhangi bir azalma olmadan yaprak yay sisteminin ağırlığını azaltan kompozit bir tek yaprak yay yapısı önermiş ve performansını mevcut yapılarla karşılaştırmıştır. Kong ve arkadaşları [20]'de, sürüş sırasında meydana gelen frenleme, viraj alma ve çukur çarpma gibi başarısızlığa yol açacak faktörleri azaltmak için çeşitli yaprak yay gözü tasarımlarını geliştirmiştir. Çok yapraklı çelik bir yay sisteminin önerildiği [21] numaralı çalışmada, yük taşıma kapasitesi ve yaşam döngü araştırmaları için statik ve yorulma analizleri gerçekleştirmiştir. [22]'de, Shokrieh ve Rezaei, statik dış kuvvetleri taşıma yeteneğine sahip hafif bir yapı elde etmek amacıyla geliştirilmiş bir yaprak yay sistemi geometrisi önermiştir. Son olarak, Ke ve arkadaşları [23], kompozit yaprak yay sistemlerinin malzeme seçimi, tasarım yöntemi ve performans araştırması üzerine detaylı bir inceleme çalışması sunmuştur.

1.3. Yaprak Yay Sistemlerinde Yapay Sinir Ağları ve ANSYS Tabanlı Analizlere Yönelik Literatür Çalışması

Literatürde yaprak yay sistemine etki eden dış kuvvetlerin yüksek doğrulukla tespiti ile ilgili sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. [24]'te Çetinkaya ve İşçi, yaprak yay sistemleri üzerindeki titreşim etkilerini analiz etmek için yapay sinir ağı tabanlı tahmin ediciler geliştirmişlerdir. [25] numaralı çalışmalarında, Jung ve arkadaşları, farklı geometrilere sahip yaprak yay yapılarının yorulma mukavemetini belirlemek için detaylı yorulma analizleri gerçekleştirmiştir. Literatürde ayrıca, yaprak yay sistemlerinin yük taşıma kapasitesini arttırmak amacıyla malzeme seçimi ve tasarım geometrisinin önemini incelemek amacıyla ANSYS tabanlı analizler de gerçekleştirilmiştir. Shaikh ve arkadaşlarının sunduğu [26]'da, farklı geometrik yapılara sahip yaprak yay sistemlerinin yorulma yaşam döngü oranları, yaprak kalınlığı ve yaprak sayısı dikkate alınarak ANSYS yazılımı aracılığıyla analiz edilmiştir. Amsalu ve Damtie tarafından sunulan çalışmada [27], hem tek hem de çok seviyeli çelik yaprak yaylar ve lamine karbon/epoksi kompozit malzemeler için statik yük altında sayısal analizler, Solidworks ve ANSYS Workbench 18.1 yazılımları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. [28]'de, Arora ve arkadaşları, farklı deney ve öngerilme koşulları altında geleneksel bir yaprak yay sisteminin bilgisayar destekli tasarımını ve analizini gerçekleştirmiştir. Satasiya ve arkadaşları tarafından sunulan başka bir çalışmada [29], yaprak yay sistemlerinin tasarımında kullanılan kompozit malzemelerin performansları ANSYS yazılımı kullanılarak karşılaştırılmıştır. Ekbote ve arkadaşları tarafından sunulan benzer bir ANSYS tabanlı çalışmada [30], dokuz yapraktan oluşan çelik yaprak yay sistemi için elde edilen gerilme ve sapma sonuçları Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) kullanılarak analiz edilmiştir. Bhanage ve Padmanabhan tarafından sunulan malzeme analizine dayalı başka bir çalışmada [31], çelik yaprak yay sistemi ile cam/epoksi malzemeden yapılmış kompozit yaprak yay sisteminin yorulma özellikleri ANSYS Workbench 14.0 kullanılarak karşılaştırılmıştır. Shamim ve Anwer, AISI 6150 Çelik, Ti-6Al-4V Kompozit ve S-Cam Elyaf Kompozit malzemelerden yapılmış çok yapraklı bir yay sisteminin tasarımı ve karşılaştırmalı analizlerinden oluşan ANSYS FEM tabanlı bir çalışma sunmuşlardır [32]. [33]'te, Chauhan ve arkadaşları, hafif ticari araçlar için üretilen yaprak yay sistemlerinin eğilme mukavemeti ve aşınma davranışlarını araştırmak amacıyla polimer bazlı kompozitler geliştirmişlerdir. Shokrieh ve Rezaei, hafif araçların arka süspansiyon sisteminde

kullanılan dört yapraklı çelik yaprak yay sisteminin ANSYS V5.4 tabanlı analizlerini gerçekleştirmiş ve elde edilen sonuçlara göre fiberglas ile epoksi reçineden oluşan bir kompozit tasarlamışlardır [34]. İlgili başka bir çalışmada, Elsheltat ve diğerleri tarafından hem statik hem de dinamik öngerilme koşulları altında yaprak yay sisteminde meydana gelen deformasyonlar ve gerilmeler incelenmiştir. Elsheltat ve diğerleri tarafından hem statik hem de dinamik öngerilme koşulları altında yaprak yay sisteminde meydana gelen deformasyonlar ve gerilmeler incelenmiştir [35]. Kumar ve Subhash, farklı yük koşullarında meydana gelen gerilmeleri en aza indirmek için CATIA V5 yazılımında bir yaprak yay braketi tasarlamış ve ANSYS yazılımını kullanarak performansını analiz etmiştir [36]. Literatürde yaprak yay sistemlerinin distorsiyon modlarının belirlenmesi ve rezonans frekansının tahmin edilmesi amacıyla modal analize dayalı çalışmalar da bulunmaktadır. Rao ve Venkatesh, dört farklı kompozit malzeme (e-glass/epoksi, grafit/epoksi, karbon/epoksi ve kevlar/epoksi) ile tasarlanan yaprak yay sistemlerinin ANSYS tabanlı modal analizlerini gerçekleştirmiş ve her yapının rezonans frekanslarını belirlemiştir [37]. Tadesse ve Fatoba, kaplamalı kompozit yaprak yay yapılarının teorik ve FEM analizini geliştirmek amacıyla CATIAVR9 ve ANSYS yazılımları kullanarak malzeme bazlı analizler gerçekleştirmiştir [38]. Balakrishna ve Mishra yaptıkları çalışmada [39], gerilme, deformasyon ve ağırlık azaltma parametrelerini belirlemek için sonlu elemanlar yöntemini kullanarak ANSYS tabanlı statik analizler ve modal analizler gerçekleştirmiştir. Shrivastava ve arkadaşları [40] numaralı çalışmalarında, e-glass yaprak yay sisteminin tasarım süreci için CAD ve ANSYS yazılımını kullanarak detaylı analizler sunmuştur. [41]'de Borhade ve Pattiwar, tek yaprak yayın rezonans frekansını hem hızlı Fourier dönüşümü (FFT) analizörüyle deneysel olarak hem de ANSYS yazılımıyla FEM kullanarak teorik olarak belirlemiştir. Saianuraag ve Sivaram, kompozit yaprak yayın davranışını tahmin etmek ve performansını çelik yaprak yay ile karşılaştırmak için Unigraphics NX7.5 ve ANSYS 11.0 kullanarak ayrıntılı analizler gerçekleştirmiştir [42]. Juliyana ve arkadaşlarının sunduğu çalışmada [43], değişen kalınlık ve genişlikteki mono kompozit bir yaprak yay sistemi, statik doğrusal ve modal analiz sonuçları açısından analiz edilmiştir. [44]'te, karbon/epoksi kompozit tek yaprak yayın tasarımı ve ANSYS tabanlı analizi Ravindra ve diğerleri tarafından sunulmuştur. Gowd ve Goud tarafından yapılan çalışmada [45], yaprak yay sisteminin emniyetli gerilimlerini ve taşıma yüklerini belirlemek için FEM analizi uygulanmıştır. Son olarak, Çetinkaya ve İşçi tarafından sunulan [46] numaralı çalışmada çok seviyeli parabolik

yaprak yay sistemlerinin farklı basınç değerleri altındaki dayanım özellikleri ve farklı mod şekilleri için rezonans frekansları analiz edilmiştir.



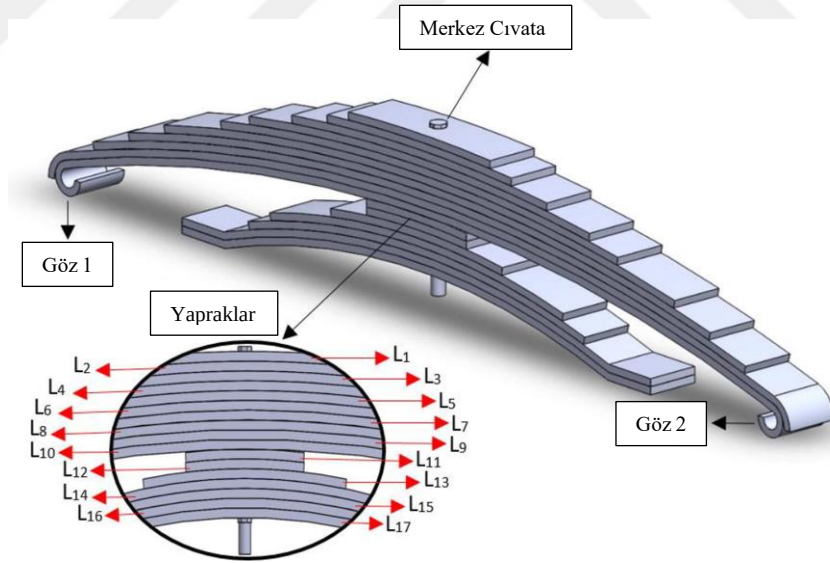
2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

Bu bölümde, deneysel çalışmalarda kullanılan donanımlar, deneysel sistem, yapay sinir ağları ve benzetim çalışmalarında kullanılan yöntemler detaylı bir şekilde incelenecektir.

2.1. Deneysel Çalışmalar

Yaprak yay sistemleri araç tipine ve uygulama alanına göre farklı geometrilerde tasarlanabilmektedir. Yaprak yay sisteminin SOLIDWORKS 2016 programı kullanılarak çizilmiş olan ana bileşenleri Şekil 2.1'de gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Çok katmanlı parabolik yaprak yay sisteminin genel yapısı ve temel bileşenleri

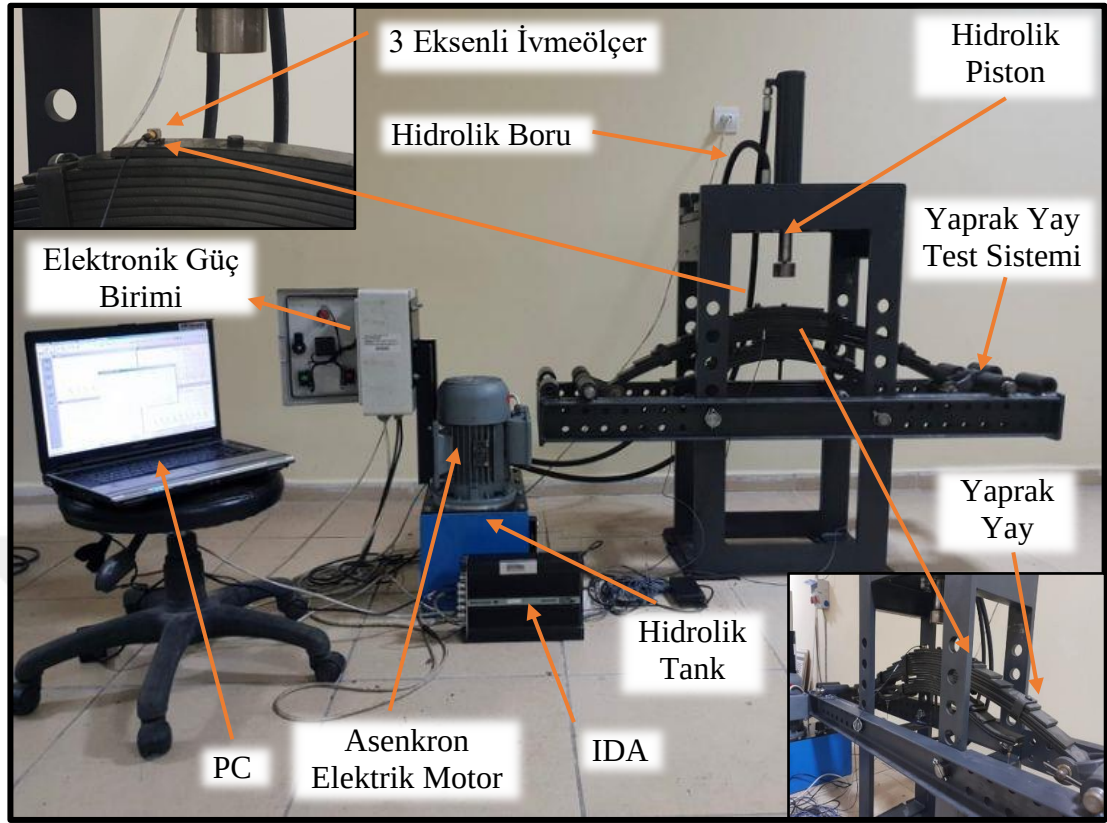
Şekilde görüldüğü gibi tasarlanan yaprak yay sisteminin ana gövdesi 10 adet çelik yaprak yaydan oluşmaktadır. Ana gövdeyi oluşturan bu 10 adet yaprak yayın yanı sıra sistemi daha güçlü ve karalı hale getirmek amacıyla alt katman olarak 7 adet yaprak yay daha eklenmiştir.

2 adet yaylı halka, 1 adet merkez cıvata, 6 adet kelepçe ve 2 adet lastik burçtan oluşan sistem, yaklaşık 3 tonluk kuvvete dayanacak şekilde tasarlanmıştır. Tasarlanan yaprak yay sisteminin detaylı geometrik özellikleri Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Tasarlanan yaprak yay sisteminin geometrik özellikleri.

Geometrik Özellikler		
	Üst Yapraklar	Alt Yapraklar
Yaprakların uzunluğu, L	$L_1 = 200 \text{ mm}$	$L_9 = 150 \text{ mm}$
	$L_2 = 260 \text{ mm}$	$L_{10} = 150 \text{ mm}$
	$L_3 = 365 \text{ mm}$	$L_{11} = 235 \text{ mm}$
	$L_4 = 485 \text{ mm}$	$L_{12} = 405 \text{ mm}$
	$L_5 = 555 \text{ mm}$	$L_{13} = 475 \text{ mm}$
	$L_6 = 725 \text{ mm}$	$L_{14} = 675 \text{ mm}$
	$L_7 = 830 \text{ mm}$	$L_{15} = 675 \text{ mm}$
	$L_8 = 937 \text{ mm}$	
Her gözün dış çapı	53 mm	
Her gözün iç çapı	37 mm	

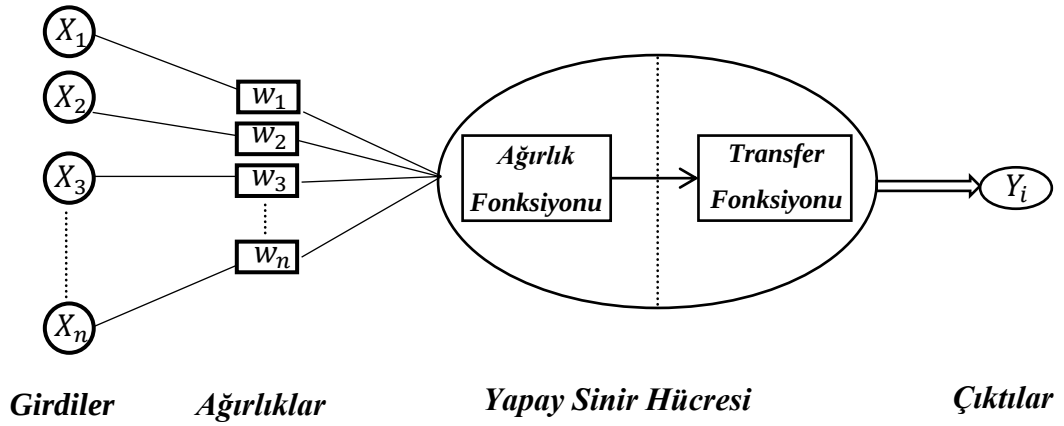
Yaprak yaylar, hidrolik sistem bileşenleri, elektronik ünite, test standı ve 3 eksenli ivmeölçer dahil olmak üzere tüm deney sisteminin ayrıntılı gösterimi Şekil 2.2’de verilmiştir. Gerçek zamanlı titreşim analizleri, Brüel ve Kjaer 4524 B 001 tip 3 eksenli ivmeölçer kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, sensörlerden elde edilen veriler Brüel ve Kjaer 3560 B tip akıllı veri toplama (IDA) aracı kullanılarak anlamlı hale getirilmiştir. 3 eksenli ivmeölçer, Şekil 2.2’de gösterildiği gibi, basıncın uygulandığı noktayla aynı yönde olacak şekilde en üstteki yaprak yayın üzerine yerleştirilmiştir.



Şekil 2.2. Titreşim analizi için tasarlanmış yaprak yay test standı

2.2. Yapay Sinir Ağları

Beynin ve sinir sisteminin elektriksel aktivitelerinden ilham alınarak geliştirilen Yapay Sinir Ağları (YSA), yüksek doğrulukla tahmin edebilme yeteneklerinden dolayı literatürde en çok tercih edilen paralel hesaplamalı sistemlerden birisidir [47]. Temel bir YSA yapısı Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Temel bir yapay sinir ağ yapısı

Ağırlık değerleri, Eşitlik 1 ile verilmiş olan ve istenen ve gerçek çıktılar arasındaki farkı temsil eden ortalama karesel hatayı (MSE) en aza indirecek şekilde her ileri beslemeden sonra optimize edilir [48].

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{MI} (Y_{gerçek} - Y_{tahmin})^2 \quad (1)$$

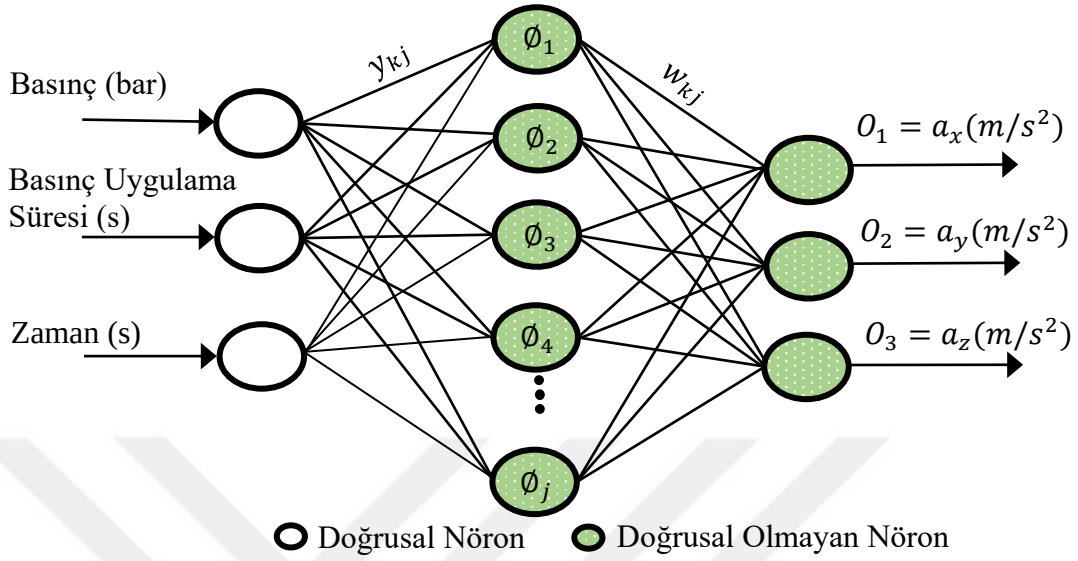
burada; MI iterasyon sayısını, N veri sayısını, $Y_{gerçek}$ deneysel sonuçlara karşılık gelen istenen yanıtı ve son olarak Y_{tahmin} ise ilgili yinelemede YSA tarafından üretilen tahmin sonucunu temsil eder.

Bu tez çalışması kapsamında geliştirilmiş YSA yapıları, giriş parametreleri için üç nöron ve çıkış parametreleri için üç nöron içerir. Giriş nöronlarını temsil eden giriş parametreleri zaman, basınç uygulama süresi ve basınç değerine karşılık gelirken, çıkış nöronlarını temsil eden çıkış parametreleri ise 3 eksenli (x, y ve z) ivmeölçerden elde edilen titreşim değerlerine karşılık gelmektedir. Tüm veriler saniyenin %6 hassasiyetinde alınmış olup gerçek zamanlı titreşim sonuçları olarak elde edilmiştir.

Literatür ile uyumlu olarak, veri setinin %70'i ağ eğitimi için kullanılırken kalan %30'luk kısım eğitilen ağın test edilmesi için kullanılmıştır. Benzetim çalışmaları, 5 s ve 10 s basınç uygulama periyot değerleri için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. 5 s basınç uygulama periyodu çalışma şartında 37290 adet veriden rasgele seçilen 26103 adet veri ağın eğitimi için sisteme uygulanırken geriye kalan 11187 adet veri ağın testi için kullanılmıştır. 10 s basınç uygulama periyodu çalışma şartında ise deneysel sonuçlarda elde edilen 46980 veriden rastgele seçilen 32886 adet veri ağın eğitimi için sisteme uygulanmıştır. Kalan 14094 veri ise ağın testi için kullanılmıştır.

2.2.1 Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağı

Broomhead ve Lowe [49] tarafından önerilen RTYSA, Gauss aktivasyon fonksiyonuna dayanan etkili bir ileri beslemeli ağ yapısına sahiptir. RTYSA modeli, temel YSA'da olduğu gibi giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanından oluşur. Önerilen RTYSA'nın şematik yapısı aşağıda Şekil 2.4 ile gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Benzetim çalışmalarında kullanılan RTYSA yapısı

RTYSA yapısında, Eşitlik 2 ile verilmiş olan Gauss aktivasyon fonksiyonu kullanılarak giriş katmanından gizli katmana doğrusal olmayan bir dönüşüm uygulanır. Diğer taraftan, gizli katman ile çıkış katmanı arasında doğrusal bir dönüşüm gerçekleştirilir.

$$\phi_j = \exp \left[- \left(\frac{\|x - c_j\|}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (2)$$

burada; x giriş vektörüdür, c_j j 'inci Gauss fonksiyonunun merkezini temsil eder, $\sigma > 0$ yayılma sabitini belirler ve son olarak $\|x - c_j\|$ gösterimi x ve c_j vektörleri arasındaki Öklid mesafesini belirtmektedir. Bu yapıdaki ϕ_j aynı zamanda j 'inci gizli nöronun aktivasyon seviyesi olarak da tanımlanabilir. Böylece Eşitlik 3'te verildiği gibi nöronun çıkışı (k) elde edilecektir:

$$O_k = \sum_{j=1}^J w_{kj} \times \phi_j \quad (3)$$

burada; J gizli katmanların sayısını temsil eder ve w_{kj} ise k 'inci çıktı nöronu ile j 'inci gizli nöron arasındaki ağırlık değeridir. Son olarak, yayılma sabiti parametresinin YSA yapısının genel performansı üzerinde doğrudan bir etkisi vardır. Eğer σ değeri uygun

şekilde seçilmezse, YSA hızlı değişen fonksiyonları verimli bir şekilde yaklaşık olarak belirlemekte zorlanacaktır. Yayılma sabiti parametresinin en uygun değerini bulmak amacıyla, problem yapısı ve literatür [50] doğrultusunda 0.1 adım aralıklarıyla (0,1] aralığında test verilerine dayalı benzetimler yapılmıştır. Her olası σ değeri için elde edilen MSE değerlerinden, σ 'nın en uygun değerinin 0.5 olduğu görülmüştür. [51] numaralı çalışmada ise Çetinkaya ve arkadaşları tarafından farklı yayılma sabitleri kullanılarak yaprak yay sistemlerinin titreşim modellemesi gerçekleştirilmiştir.

2.2.2 İleri Kademeli Geri Yayılımlı Yapay Sinir Ağı

Geri yayılım (BP) öğrenme algoritması, temel olarak, bir ileri beslemeli ağ yapısında toplam hatanın, eğitimin başarısını artırmak amacıyla gizli katmandaki nöronlara geri bildirilmesi felsefesine dayanmaktadır [52]. Bir nöronun ilgili çıktı üzerindeki etkisi, doğrudan o nöronun ağırlık değeriyle ilişkilidir. Girdi ve gizli katmanlar arasındaki ağırlık değerlerini güncellemek için BP algoritması Eşitlik 4'te bulunan aşağıdaki denklemi kullanır.

$$\Delta w_{ij}(t) = -\eta \frac{\partial E_2(t)}{\partial w_{ij}} + \alpha \Delta w_{ij}(t-1) \quad (4)$$

Benzer şekilde gizli katman ile çıktı katmanı arasındaki ağırlık değerleri de Eşitlik 5'te verilen aşağıdaki denklem kullanılarak güncellenir.

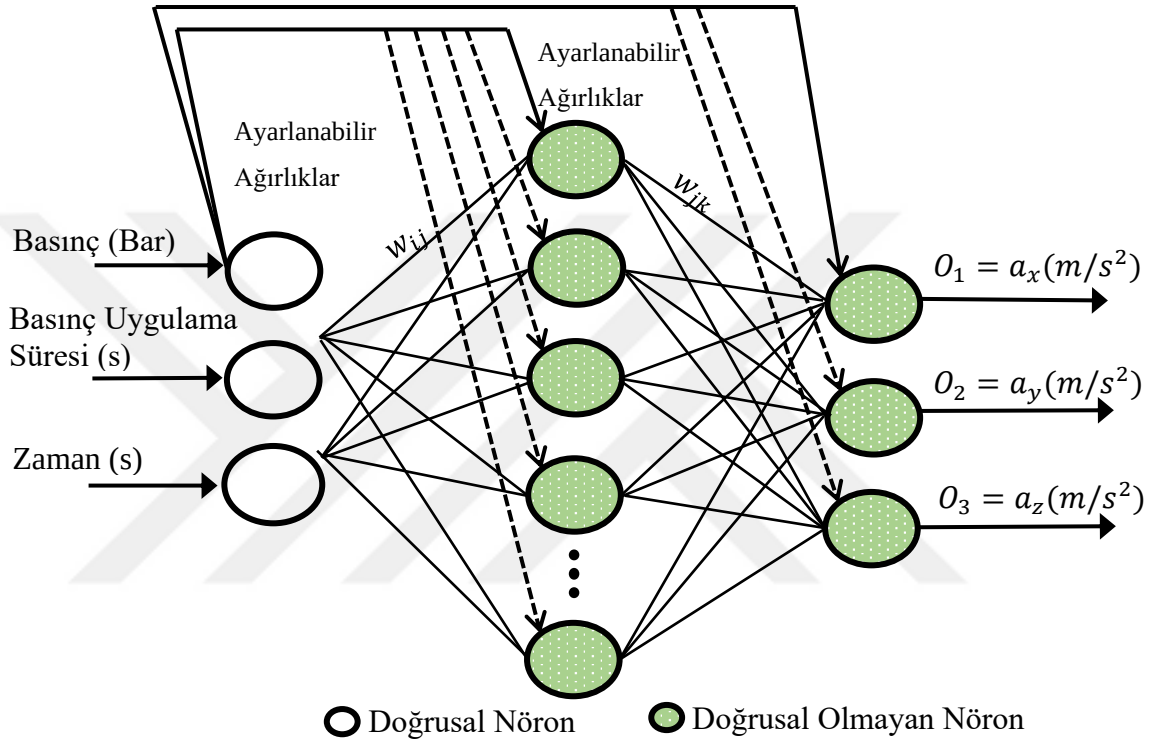
$$\Delta w_{in}(t) = -\eta \frac{\partial E_1(t)}{\partial w_{in}} + \alpha \Delta w_{in}(t-1) \quad (5)$$

burada; η ve α sırasıyla öğrenme oranı ve momentum faktörünü temsil etmektedir. E_1 deneysel ve gerçek çıktılar arasındaki hata olup, E_2 ise girdi katmanı ile gizli katman arasındaki yayılma hatası olarak tanımlanabilir.

Bu tez çalışması kapsamında geliştirilmiş olan İleri Kademeli Geri Yayılımlı Yapay Sinir Ağı (İKGYYS) yapısının şematik gösterimi Şekil 2.5'te verilmiştir. İKGYYS ağ yapısında, girdi ve çıktı katmanları arasındaki ilişki, iki veya daha fazla katman kullanılarak ve yeterli sayıda nöron seçilerek uygun bir şekilde kurulabilir. YSA tabanlı tahminlerde en yaygın olarak tercih edilen transfer fonksiyonları, logaritmik sigmoid

(logsig), tanjant sigmoid (tansig) ve lineer (pureline) transfer fonksiyonlarıdır. Bu çalışmada İKGYYSa ağırlarında transfer fonksiyonu olarak Eşitlik 6'da verilen tanjant sigmoid (tansig) fonksiyonu tercih edilmiştir.

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (6)$$



Şekil 2.5. Benzetim çalışmalarında kullanılan İKGYYSa yapısı

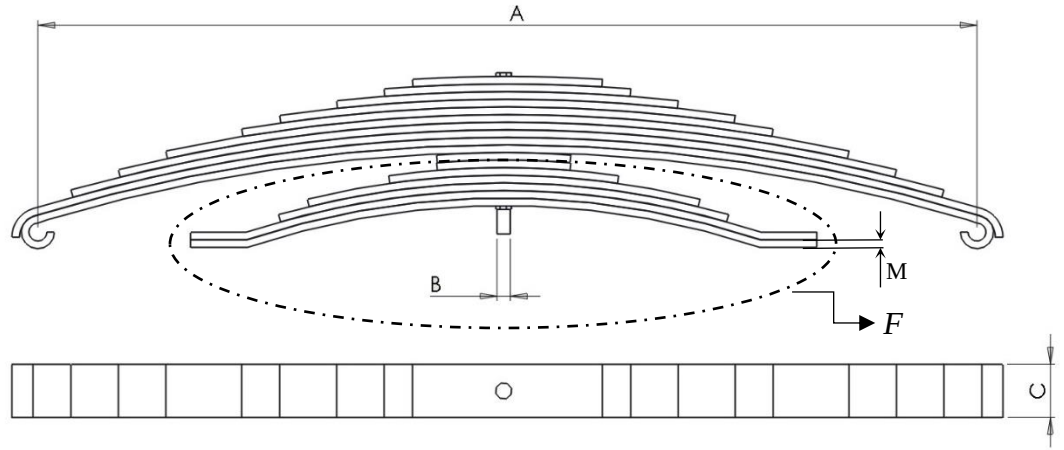
İKGYYSa tabanlı eğitim sonuçları, optimum gizli nöron sayısının 100 olarak bulunduğunu göstermektedir. Eğitim fonksiyonu olarak *TrainBR* seçilmiştir. *min_grad* ve *mu* değerleri ise sırasıyla 1×10^{-7} ve 1×10^{-9} olarak belirlenmiştir.

2.3. ANSYS Tabanlı Çalışmalar

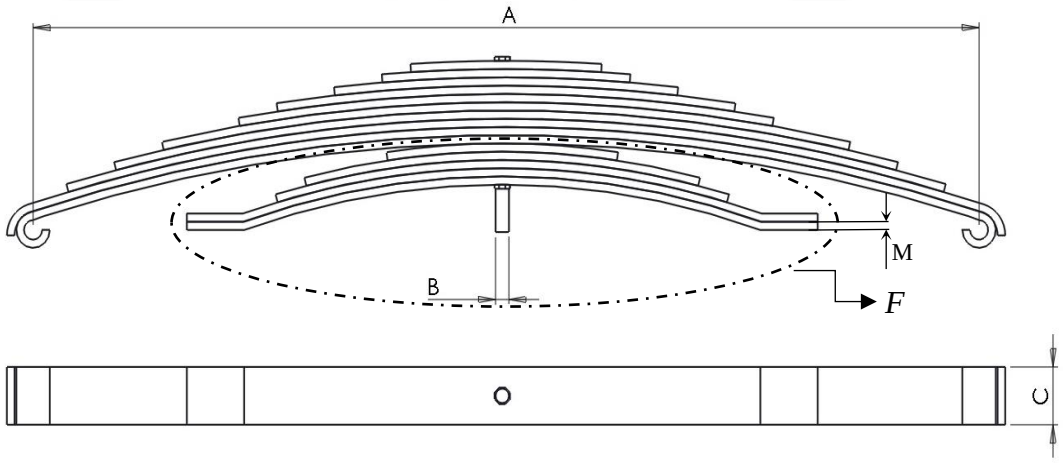
Yaprak yay sistemlerinde seri üretim öncesinde yüksek hassasiyetle basınç ve deformasyon analizlerinin yapılması gerekmektedir. Basınç analizi, önceden belirlenen koşullar altında sistemde oluşabilecek fiziksel deformasyonları tahmin etmek amacıyla yapılır. Modal analiz ise dinamik sistemlerin yapısal özelliklerini ortaya çıkaran önemli bir yaklaşımdır.

10-7 yaprak yay sistemi olarak adlandırılan çift burçlu bu çok katlı parabolik yaprak yay sistemi, üst yaprak yay sisteminde 10, alt yaprak yay sisteminde 7 kanattan oluşmaktadır. Adil ve gerçekçi sonuçlar sunabilmek adına 10-7 yaprak yay yapısının yanı sıra 10-5 ve 8-7 yaprak yay yapıları da analiz edilmiştir. 10-7 yapısının alt kısmından iki yaprağın azaltılmasıyla 10-5 yaprak yay yapısı elde edilmiştir. Benzer şekilde 8-7 yaprak yay yapısını elde etmek için 10-7 yapının üst kısmından iki yaprak azaltılmıştır. ANSYS tabanlı basınç ve modal analizlerde 10-7, 10-5 ve 8-7 yaprak yay yapılarının rezonans frekansları ve farklı basınç değerleri altında meydana gelen maksimum yer değiştirmeleri elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır.

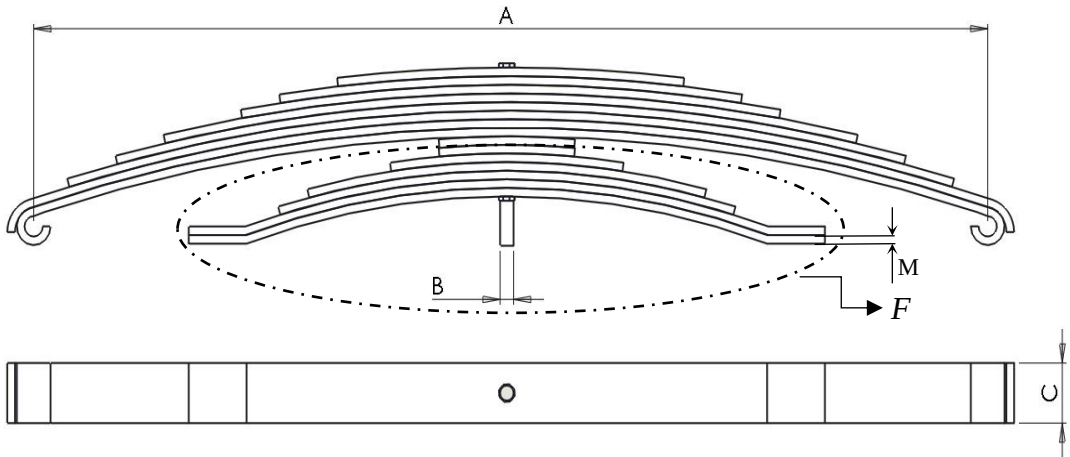
Çift burçlu çok seviyeli parabolik yaprak yay sisteminin genel yapısı ve temel bileşenleri Şekil 2.1'de gösterilmektedir. Şekil 2.6'da ise bu çalışma kapsamında incelenen 10-7, 10-5 ve 8-7 çelik yaprak yay sistemlerinin SOLIDWORKS programı ile gerçekleştirilen teknik resimlerinin önden ve üstten görünümü verilmektedir. Teknik resimlerde F ile gösterilen bölgeler çok katlı yaprak yay sisteminin alt kısmını, F bölgesinin üstünde yer alan kısım ise sistemin üst kısmını oluşturmaktadır. Tüm tasarımlarda A, B, C ve M değerleri standart değer olarak alınmıştır. A, üst yaprak yay sisteminin iki burcu arasındaki mesafeyi, B, basıncın uygulandığı merkez civatanın çapını, C, her bir düz yaprağın genişliğini ve son olarak M, her bir düz yaprağın kalınlığı olarak belirlenebilir. Analizi yapılan yaprak yay sistemlerinin geometrik özellikleri Tablo 2.1'de verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 2.6. Bu çalışmada analiz edilen yay sisteminin teknik çizimleri a) 10-7 tip b) 10-5 tip c) 8-7 tip

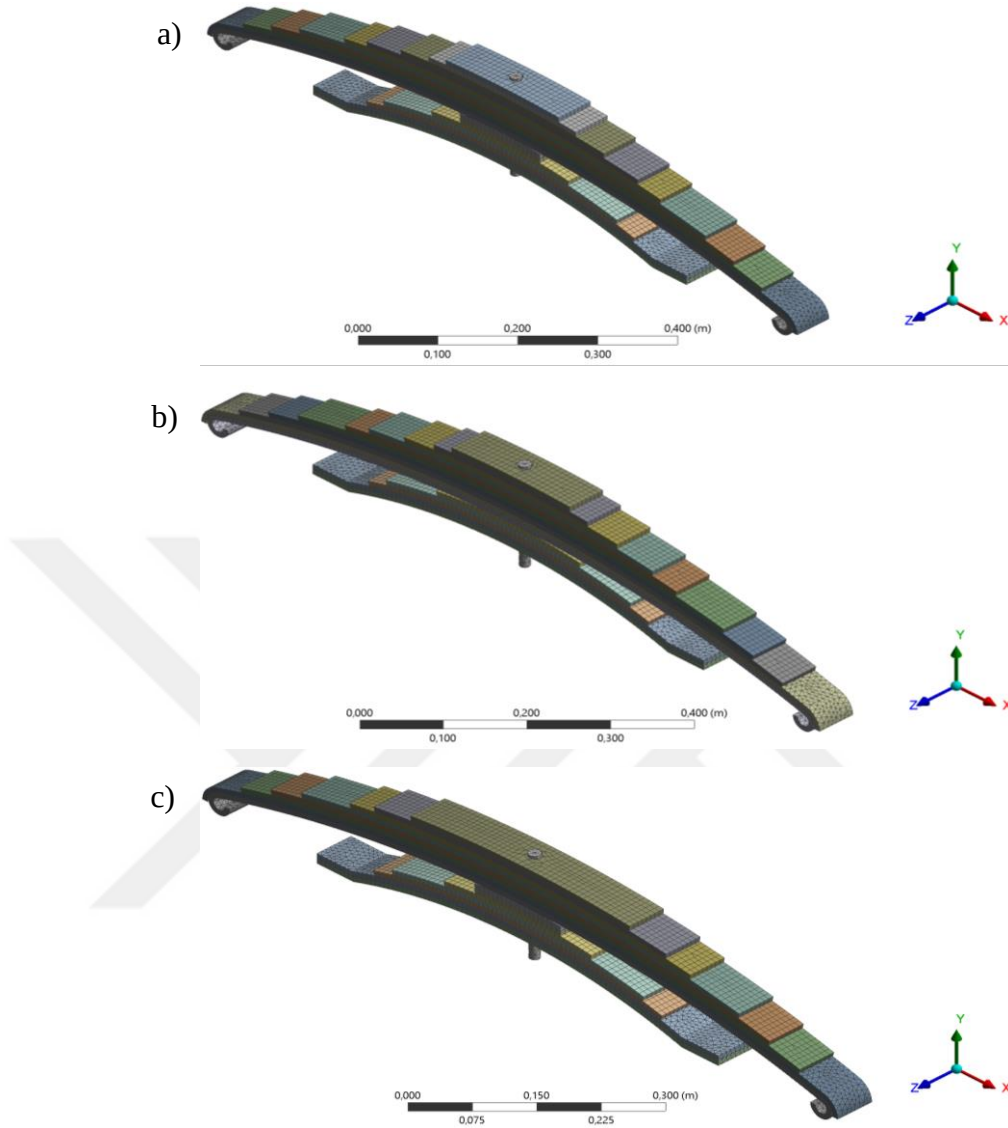
Tablo 2.2. Teknik Resmi verilen yaprak yay sistemlerinin özellikleri

Geometrik Özellikler	
Her bir yayın kalınlığı (M)	8 mm
U-Cıvatalar arası mesafe (A)	980 mm
Merkez cıvatanın çapı, (B)	14 mm
Her bir yayın genişliği (C)	57 mm

Modal analiz aynı zamanda dinamik bir sistemin ürettiği tepkilerin sınırlarını analiz etmek için kullanılan etkili bir yaklaşımdır. Modal analizin en yaygın kullanım alanlarından biri rezonans frekansının tespitidir. Dinamik bir sistemin rezonans frekansı, sistem çıkışında genlik bozulmalarının oluşmaya başladığı frekans değerini tanımlar. Mod kavramı ise dinamik bir sistemin rezonans frekansında titreşirken aldığı şekil olarak tanımlanabilir. Mod şekillerinin ve rezonans frekansı analizinin temel amacı, tasarım yapısını güncelleyerek dinamik bir sistemin rezonans frekansı ve ona yakın frekanslarda zorlanmasını önlemektir. Bu çalışmada, öncelikle ANSYS Workbench 18.1 kullanılarak 10-7, 10-5 ve 8-7 yaprak yaylı yapıların her biri için basınç analizleri gerçekleştirilmiş, daha sonra rezonans frekans değerlerinin belirlenmesi için modal analizler gerçekleştirilmiştir. 10-7, 10-5 ve 8-7 yaprak yay yapılarının her biri Mod 1, Mod 2, Mod 3, Mod 4, Mod 5 ve Mod 6 yapılarına göre analiz edilmiştir.

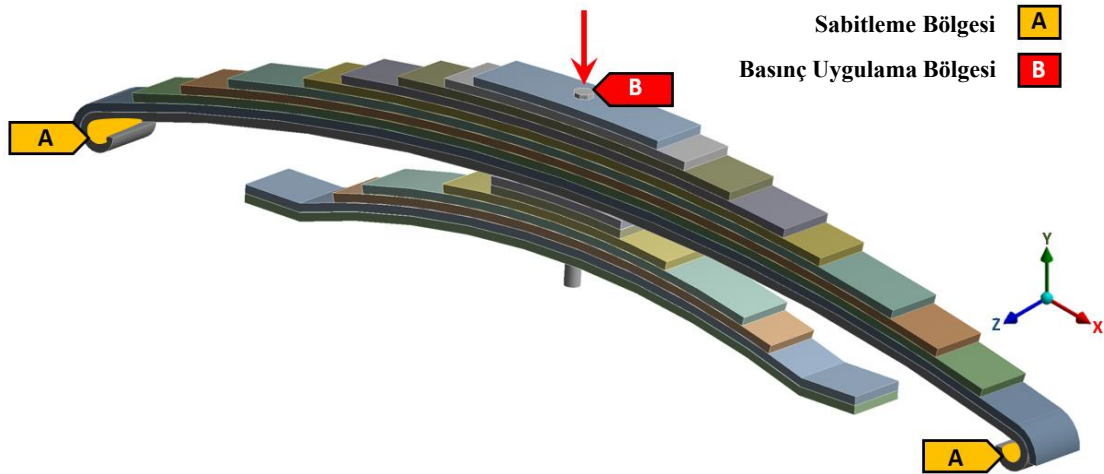
Yaprak yay sisteminin fiziksel karmaşıklığını azaltmak amacıyla hem basınç analizi hem de modal analiz öncesinde sistemin düğüm adı verilen noktalarda daha küçük elemanlara bölünmesi amacıyla Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) uygulanmıştır. 10-7 yaprak yay sisteminin FEM modeli 44.485 eleman ve 135.125 düğümden oluşmaktadır, 10-5 yaprak yay sisteminin FEM modeli 43.882 eleman ve 131.381 düğümden oluşmaktadır ve son olarak 8-7 yaprak yayların FEM modeli sistem 43.542 eleman ve 129.359 düğümden oluşmaktadır.

Yaprak yay sistemlerinin ANSYS tabanlı analizinde Meshleme (Meshing) işlemi tasarım sürecinin en önemli unsurlarından birini oluşturmaktadır. 10-7, 10-5 ve 8-5 geometrik yapıların her biri için gerçekleştirilen mesh işlemlerinde Eleman Boyutu parametresinin değeri 7.7×10^{-3} olarak alınmıştır. Öte yandan 10-7, 10-5 ve 8-7 geometrik yapıların her biri için Gövde Numarası parametre değerleri sırasıyla 18, 16 ve 16 olarak alınmıştır. 3 yaprak yay yapısının her biri için elde edilen mesh görüntüleri Şekil 2.7'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Farklı geometrik yapılar için meshleme işlemi a) 10-7, b) 10-5 c) 8-7

Benzetimlerde her bir yaprak yay sistemi Şekil 2.8'de A bayrağı ile gösterilen bölgelerden sabitlenmiş ve daha sonra B bayrağı ile temsil edilen merkez cıvata bölgesine basınç uygulanarak basınç analizleri yapılmıştır. Şekil 2.8 uygulanan basıncın yönünü göstermektedir.



Şekil 2.8. Yaprak yay sistemlerinin sabit mesnet ve basınç uygulanan bölgeleri

Hem basınç analizinde hem de modal analizde malzeme özelliği çok önemli bir faktördür. Bu çalışmada, ANSYS malzeme kütüphanesinde bulunan yapısal çelik malzeme ile tasarlanan yaprak yay sistemleri için ANSYS bazlı basınç ve modal analizler gerçekleştirilmiştir. Yapısal çeliğin detaylı malzeme özellikleri Tablo 2.3'te verilmiştir.

Tablo 2.3. Yaprak yay sistemlerinin tasarımında kullanılan çelik malzemenin özellikleri

Malzeme Türü	Özellik	Değer
Yapısal Çelik	Yoğunluk	7850 kg/m ³
	Poisson Oranı	0.3
	Young Modülü	2e+11 Pa
	Bulk Modülü	1.6667e+11 Pa
	Shear Modülü	7.6923e+10 Pa
	Gerilme Dayanım Gücü	2.5e+8 Pa
	Çekme Nihai Mukavemeti	4.6e+8 Pa

3. BÖLÜM

BULGULAR

Bu tez çalışması kapsamında elde edilmiş olan gerçek zamanlı titreşim verileri, bunların YSA tabanlı modelleme sonuçları ve son olarak ANSYS tabanlı analiz sonuçları aşağıda detaylı bir şekilde sunulmuştur.

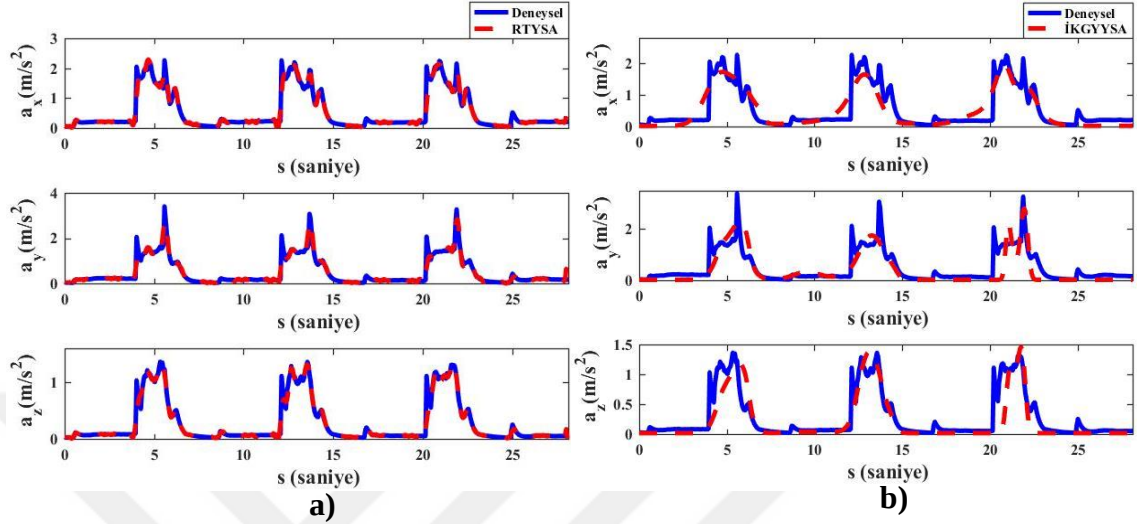
3.1 Yapay Sinir Ağları Modelleme Grafik Sonuçları

Basınç uygulama periyodu (BUP) 5 saniye, basınç uygulama süreleri (BUS) sırasıyla 2, 5, 8, 11, 14, 17, 20 saniye ve basınç (B) değerleri sırasıyla 6.25, 12.5, 18.75, 25, 31.25, 37.5 Bar olarak belirlenen deneysel sonuçlar ve yapay sinir ağı modelleme sonuçları Şekil 3.1 ve Şekil 3.42 arasında, ayrıca basınç uygulama periyodu 10 saniye, basınç uygulama süreleri sırasıyla 2, 5, 8, 11, 14, 17, 20 saniye ve basınç değerleri sırasıyla 6.25, 12.5, 18.75, 25, 31.25, 37.5 Bar olarak belirlenen deneysel sonuçlar ve yapay sinir ağı modelleme sonuçları ise Şekil 3.43 ve 3.84 arasında iki farklı öğrenme algoritması için mukayeseli olarak verilmiştir.

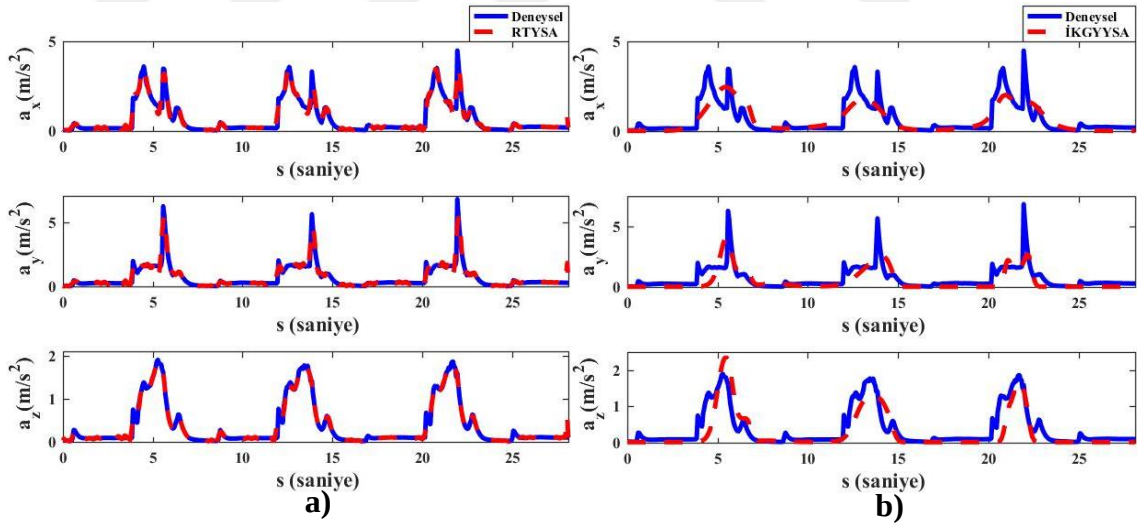
Yapay sinir ağı ile gerçekleştirilen modellemeler; i.) İleri Kademeli Geri Yayılımlı Yapay Sinir Ağ (İKGYYSA) ve ii.) Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağ (RTYSA) yapıları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan 10-7 tip çok katmanlı parabolik yaprak yay sisteminin merkez civata bölgesinden x, y ve z eksenleri için alınan 3 eksenli ivme ölçüm sonuçları a_x , a_y ve a_z olarak gösterilmiştir.

Basınç uygulama periyodu 5 s, basınç uygulama süresi 2 s ve basınç değeri 6.25 bar deney şartı için elde edilen titreşim sonuçları Şekil 3.1'de, sadece basınç değerinin iki katına çıkarılmasıyla gerçekleştirilen deney şartı için elde edilen sonuçlar ise Şekil 3.2'de verilmiştir. Şekil 3.1 (a) ve Şekil 3.2 (a)'da verilen RTYSA yapısının, Şekil 3.1 (b) ve

Şekil 3.2 (b)'de verilen İKGYYSYA yapısına göre tüm eksenlerde, titreşim verilerini tahmin etmede daha iyi performans gösterdiği görülmektedir.



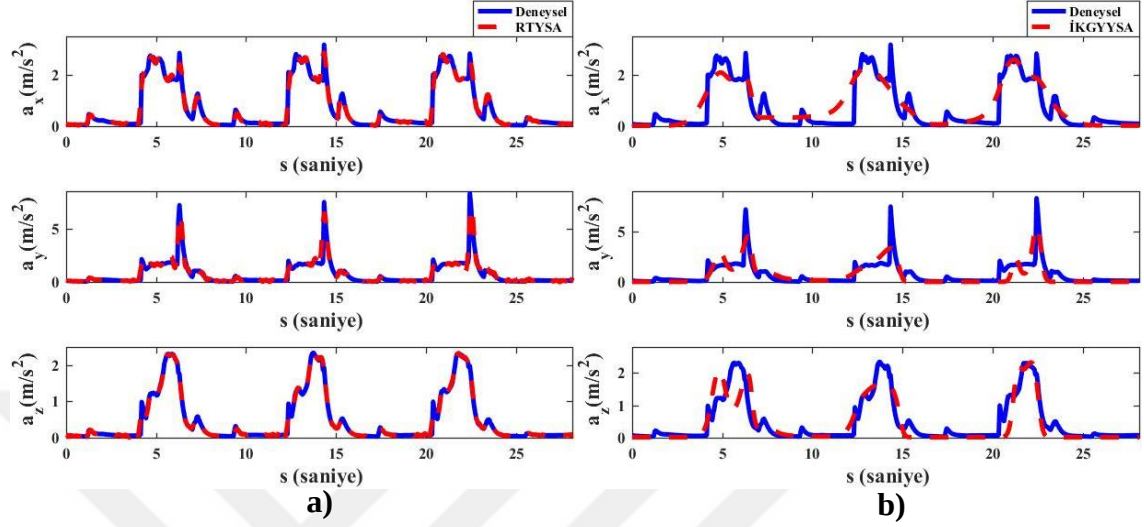
Şekil 3.1. a) BUP: 5 s, BUS: 2 s, B: 6.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 2 s, B: 6.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları



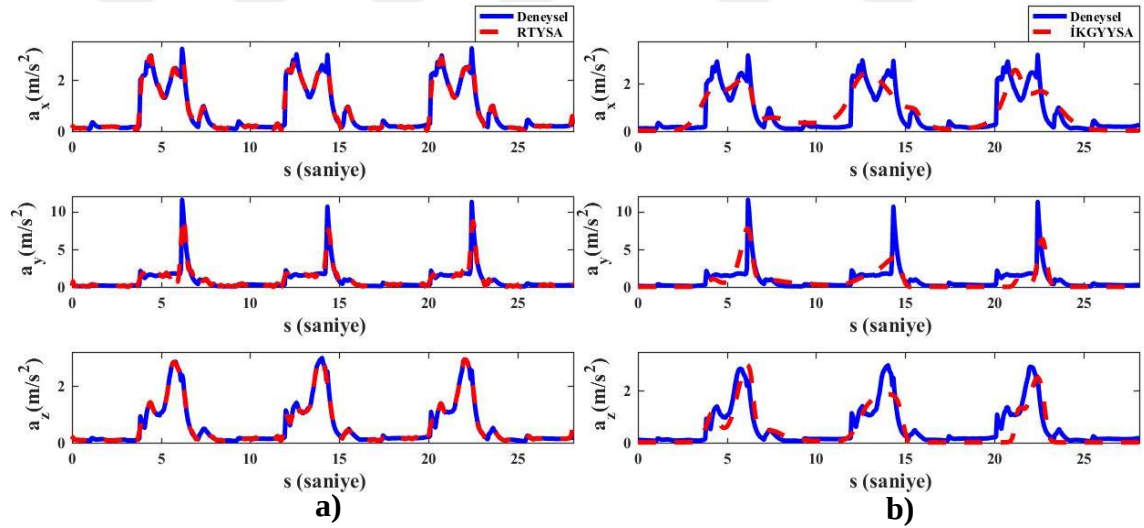
Şekil 3.2. a) BUP: 5 s, BUS: 2 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 2 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları

Basınç uygulama periyodu 5 s, basınç uygulama süresi 2 s ve basınç değeri 18.75 bar deney şartı için elde edilen deneysel sonuçlar Şekil 3.3'te, basınç değeri 25 bar olduğunda elde edilen deneysel sonuçlar ise Şekil 3.4'te verilmiştir. Artan basınç değeriyle birlikte titreşim genliklerinin tüm eksenlerde arttığı gözlemlenmiştir. Yaprak yay sisteminin

titreşim karakteristiklerini tahmin etmede ise RTYSA yapısının, İKGYSA yapısına göre tüm eksenlerde daha iyi bir performans sergilediği gözlemlenmiştir.



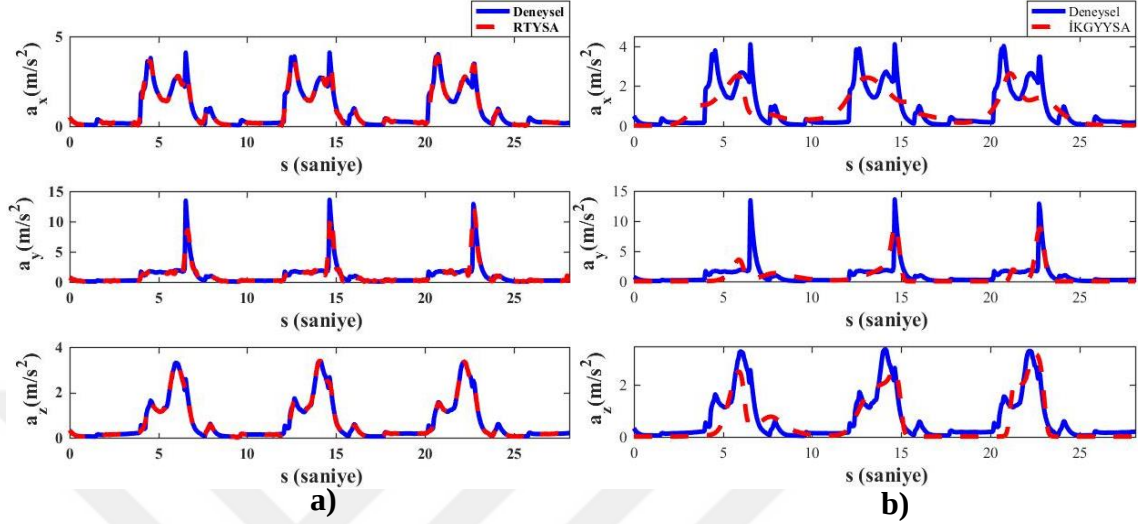
Şekil 3.3. a) BUP: 5 s, BUS: 2 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 2 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları



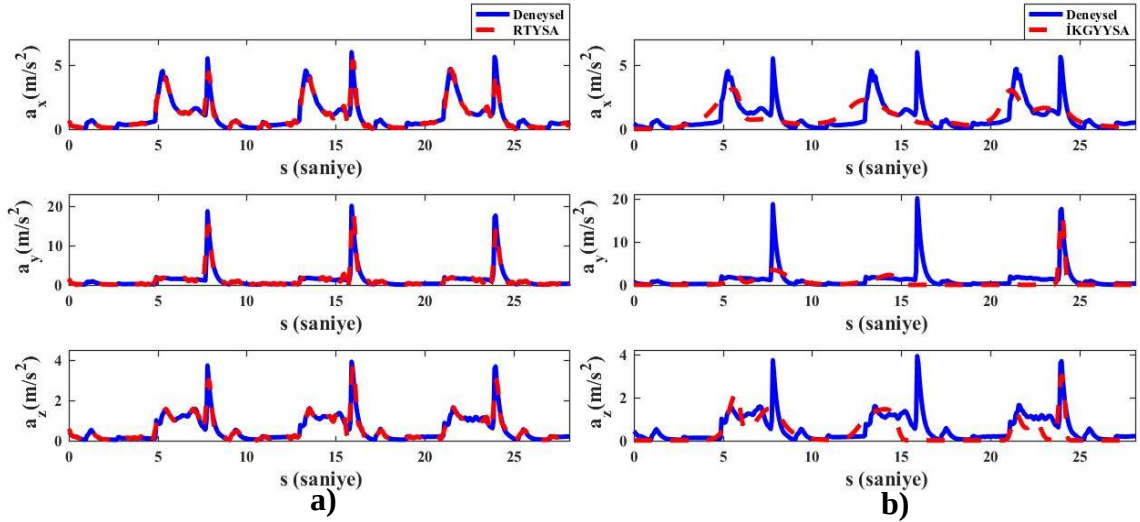
Şekil 3.4. a) BUP: 5 s, BUS: 2 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 2 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları

BUP değeri 5 s, BUS değeri 2 s ve B değeri 31.25 bar olduğunda elde edilen titreşim sonuçları Şekil 3.5'te, basınç değerinin 37.5 bar basınç değerine çıkmasıyla elde edilen deneysel sonuçlar ve benzetim sonuçları ise Şekil 3.6'da verilmiştir. Her iki çalışma şartında da özellikle y ekseninde meydana gelen titreşim değerlerinde artış

gözlemlenmiştir. Benzetim çalışmaları kıyaslandığında ise RTYSA yapısının, İKGYSA yapısına göre tüm eksenlerde daha iyi performans gösterdiği görülmektedir.



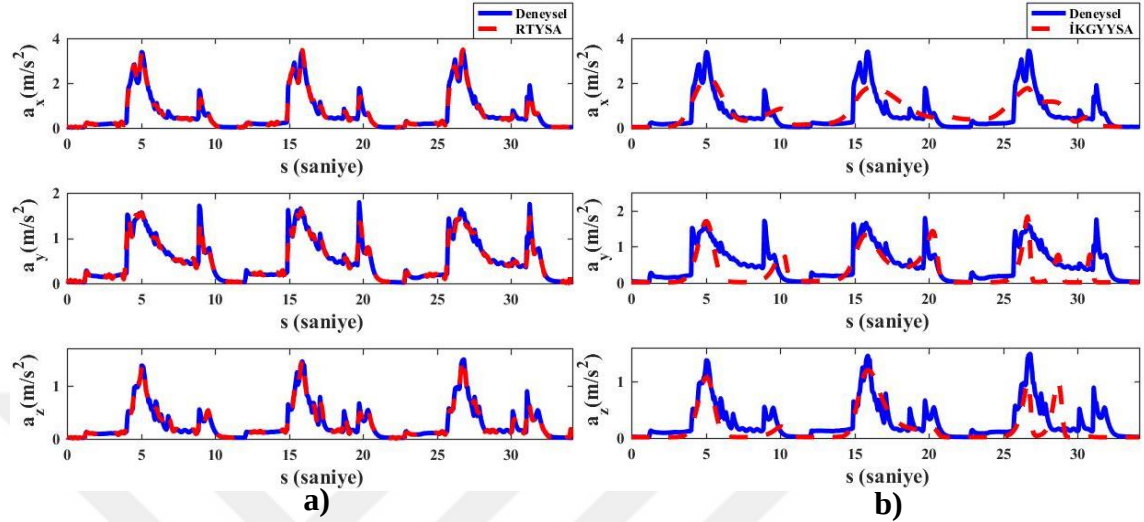
Şekil 3.5. a) BUP: 5 s, BUS: 2 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 2 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları



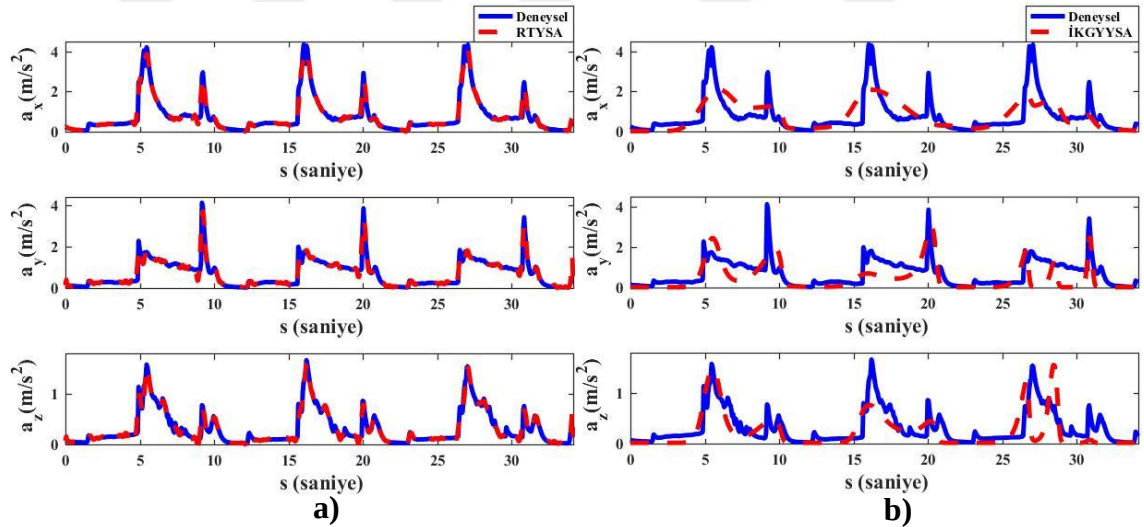
Şekil 3.6. a) BUP: 5 s, BUS: 2 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 2 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları

BUP değeri 5 s, BUS değeri 5 s ve B değeri 6.25 bar deney şartı ile elde edilen titreşim sonuçları Şekil 3.7'de, ve B değeri 12.5 bar yapıldığında elde edilen sonuçları ise Şekil 3.8'de verilmiştir. Şekil 3.1 - 3.2 ile karşılaştırıldığında işlem süresinin artmasıyla birlikte titreşimin frekansında karakteristik değişiklikler gözlemlenmiştir. Benzetim sonuçları

mukayese edildiğinde ise RTYSA yapısının, İKGYSA yapısına göre tüm eksenlerde, titreşim verilerini tahmin etmede daha iyi performans gösterdiği görülmektedir.



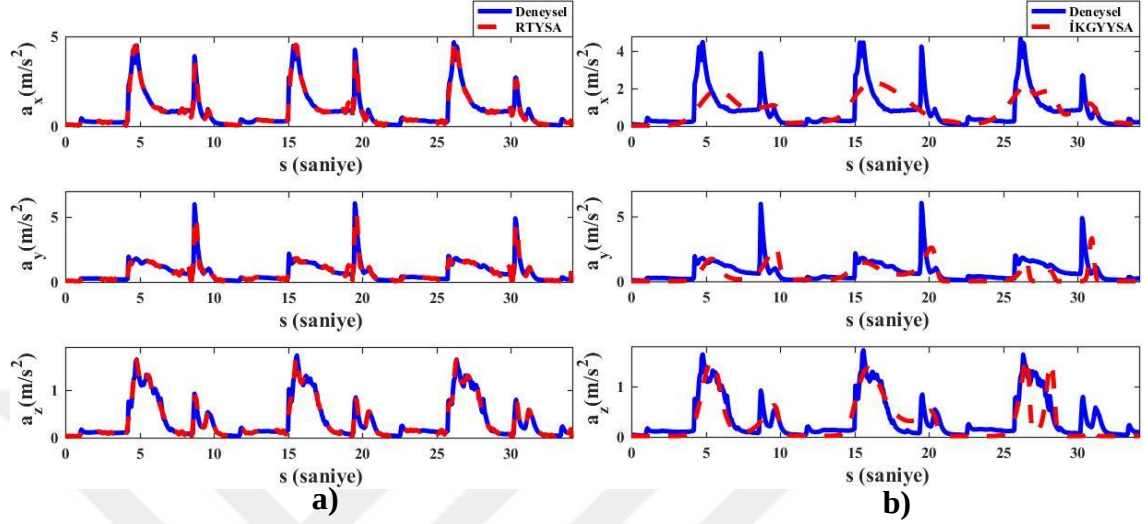
Şekil 3.7. a) BUP: 5 s, BUS: 5 s, B: 6.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 5 s, B: 6.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları



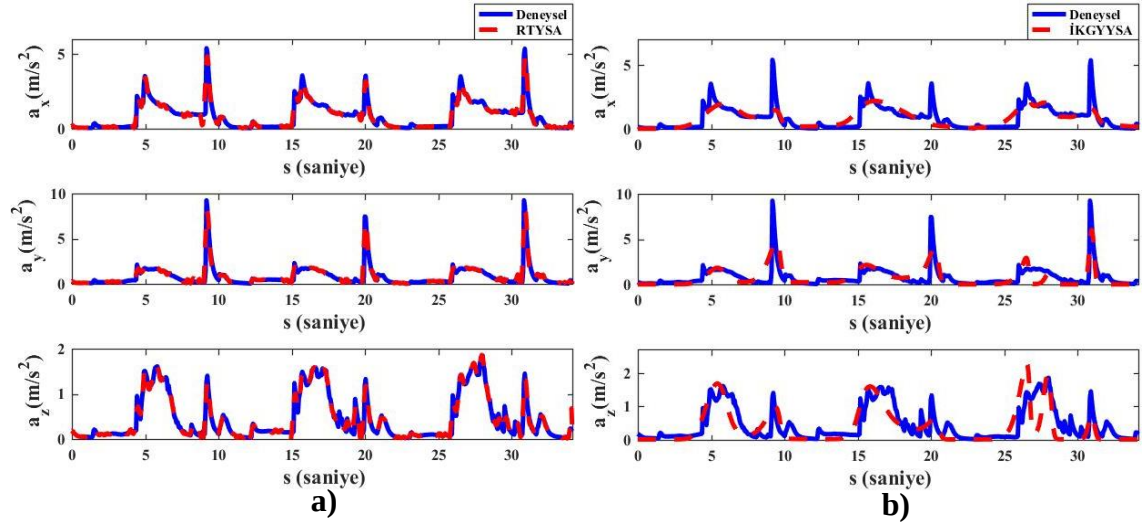
Şekil 3.8. a) BUP: 5 s, BUS: 5 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 5 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları

BUP, BUS ve B değerleri, sırasıyla, 5 s, 5 s ve 18.75 bar deney şartı ile elde edilen titreşim sonuçları Şekil 3.9'da, sadece basınç değerinin artmasıyla elde edilen benzetim sonuçları Şekil 3.10'da verilmiştir. Basınç değerinin artmasıyla birlikte her bir ekseninde meydana gelen titreşim genliğinde artışların meydana geldiği görülmüştür. Benzer şekilde, RTYSA

yapısının, İKGYSA yapısına göre tüm eksenlerde, oldukça iyi bir performans sergilediği görülmektedir.



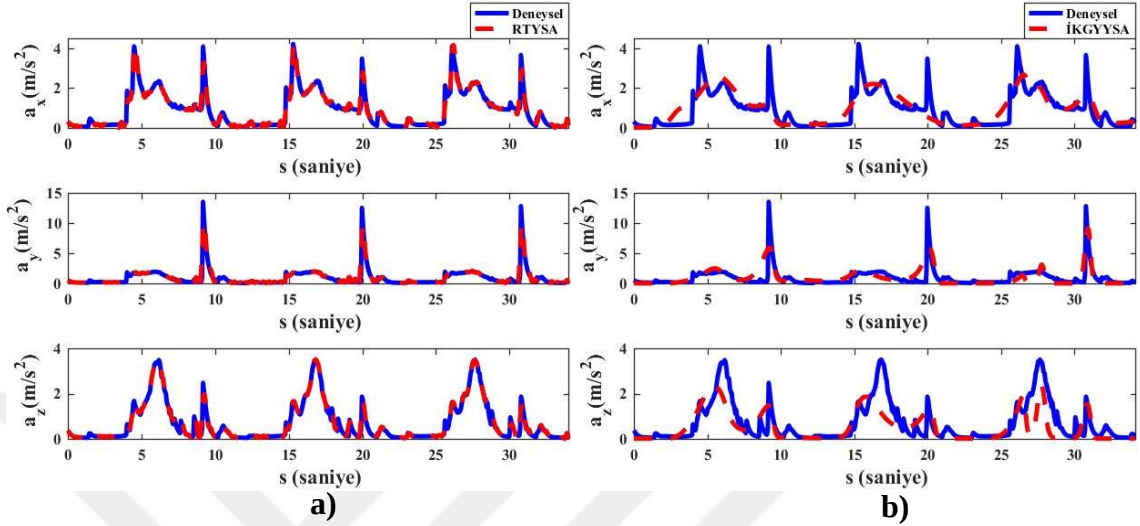
Şekil 3.9. a) BUP: 5 s, BUS: 5 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 5 s, B: 18,75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları



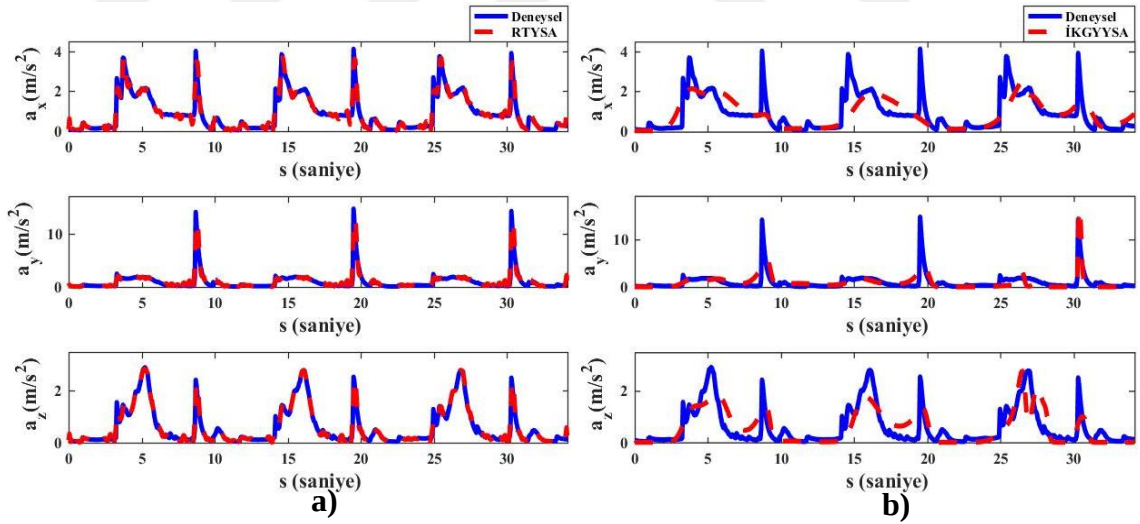
Şekil 3.10. a) BUP: 5 s, BUS: 5 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 5 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları

BUP, BUS ve B değerleri, sırasıyla, 5 s, 5 s ve 31.25 bar deney şartı ile elde edilen titreşim sonuçları Şekil 3.11'de, sadece B değerinin 37.5 bar olmasıyla birlikte gerçekleştirilen deney ve benzetim sonucu ise Şekil 3.12'de verilmiştir. Şekil 3.5 - 3.6 kıyası için işlem süresinin artmasıyla birlikte titreşimin frekansında artış gözlemlenmiş olup, genliğinde

ise değişim görülmemiştir. RTYSA yapısının, İKGYSA yapısına göre tüm eksenlerde, titreşim verilerini tahmin etmede ise daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir.



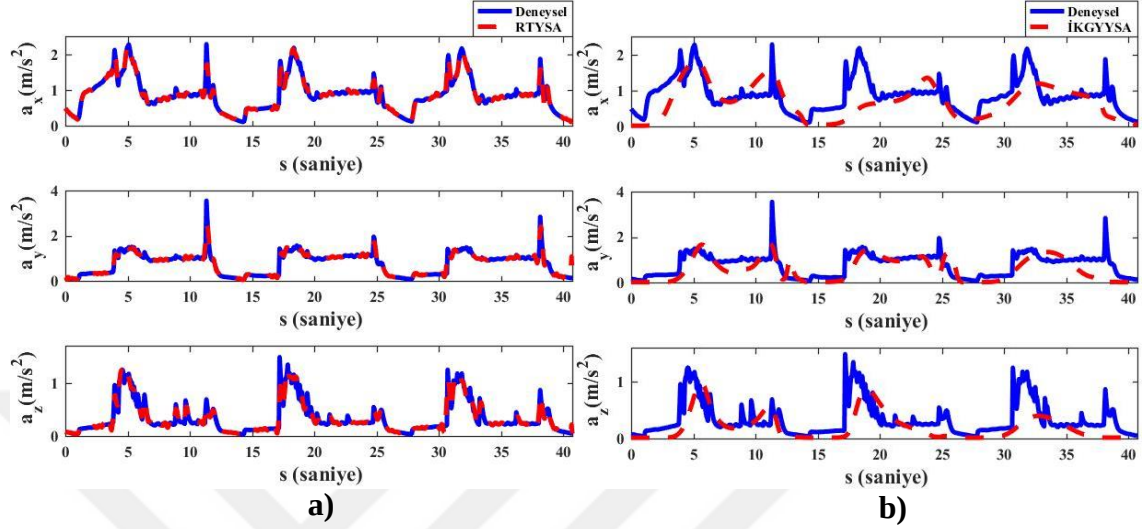
şekil 3.11. a) BUP: 5 s, BUS: 5 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 5 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları



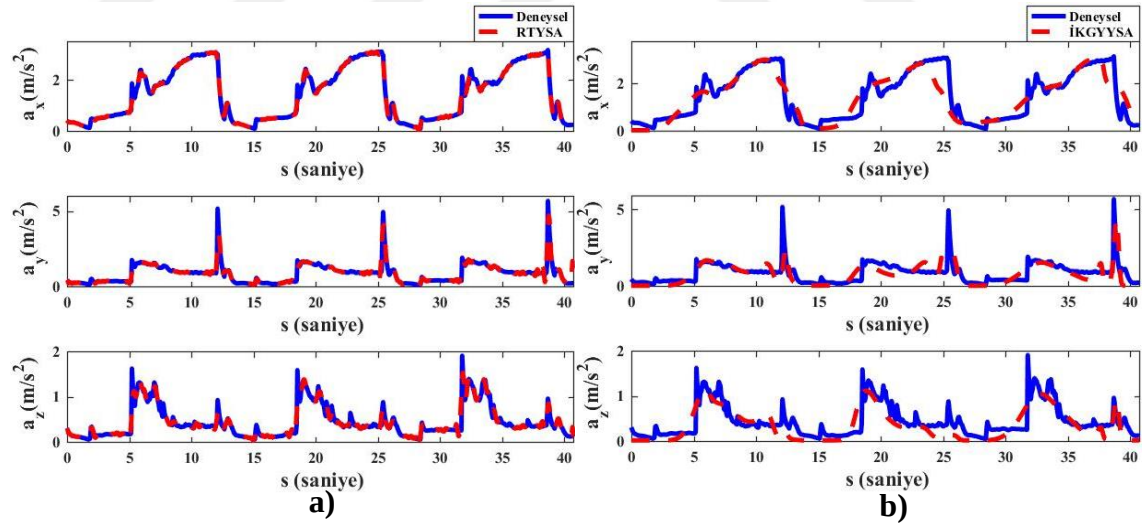
şekil 3.12. a) BUP: 5 s, BUS: 5 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 5 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları

BUP değeri 5 s, BUS değeri 8 s ve B değeri 6.25 bar deney şartı ile elde edilen titreşim sonuçları şekil 3.13'te, sadece B değerinin iki katına çıkarılmasıyla gerçekleştirilen deney şartı şekil 3.14'te verilmiştir. Yaprak yay sisteminin titreşim karakteristiklerini tahmin etmede, şekil 3.13 (a) ve şekil 3.14 (a)'da verilen RTYSA yapısının, şekil 3.13 (b) ve

Şekil 3.14 (b)'de verilen İKGYYSYA yapısına göre tüm eksenlerde, titreşim verilerini tahmin etmede diğer şartlardan daha iyi performans gösterdiği görülmektedir.



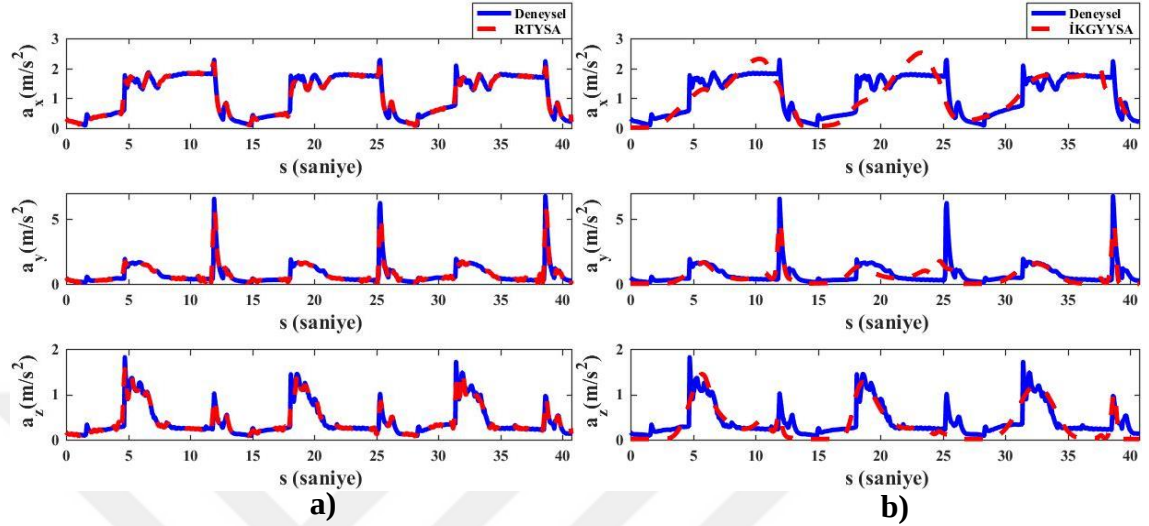
Şekil 3.13. a) BUP: 5 s, BUS: 8 s, B: 6.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 8 s, B: 6.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları



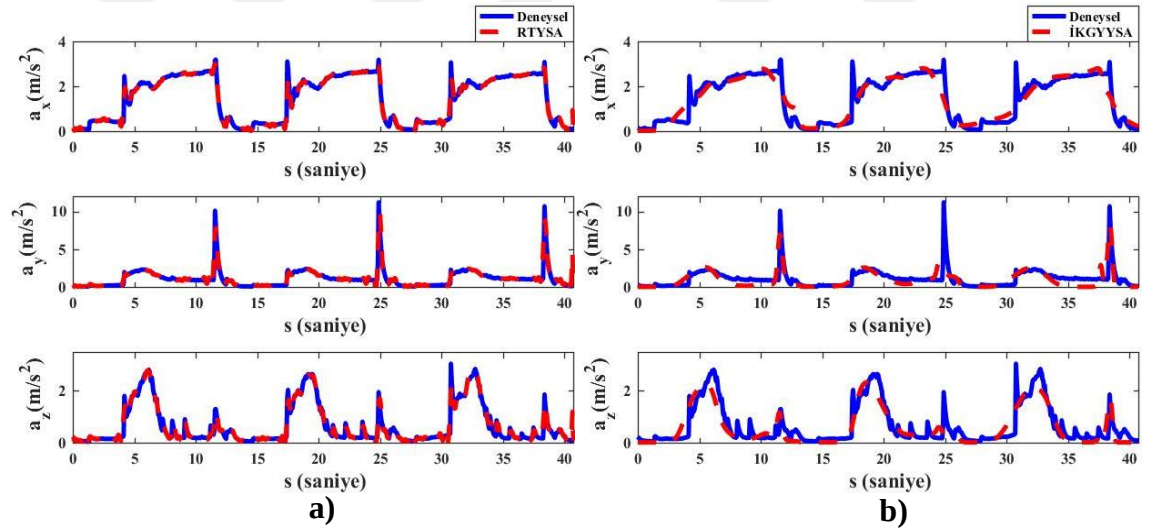
Şekil 3.14. a) BUP: 5 s, BUS: 8 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 8 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları

BUP değeri 5 s, BUS değeri 8 s ve B değeri 18.75 bar deney şartı ile elde edilen titreşim sonuçları Şekil 3.15'te, B değeri 25 bara yükseltilecek deney şartı Şekil 3.16'da verilmiştir. Arttırılan basınç değeri dikkate alındığında titreşim genliklerinde de artma tespit edilmiştir. Benzetim sonuçlarında verilen RTYSA yapısı, İKGYYSYA yapısına göre tüm

eksenlerde daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir. Gerçekleşen tepe değerlerinde özellikle y ekseninde bariz bir artış gözlemlenmiştir.



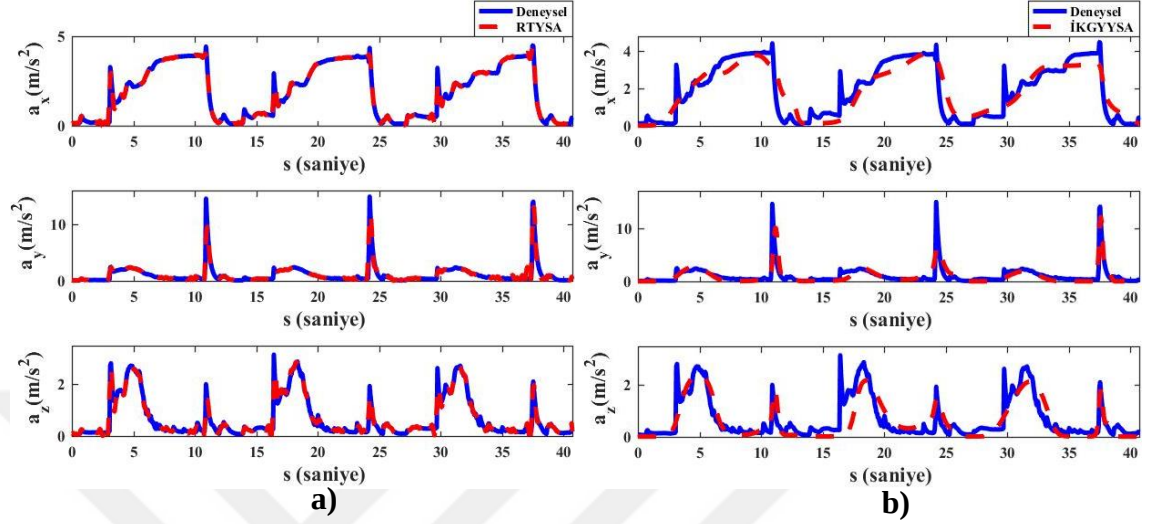
Şekil 3.15. a) BUP: 5 s, BUS: 8 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 8 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları



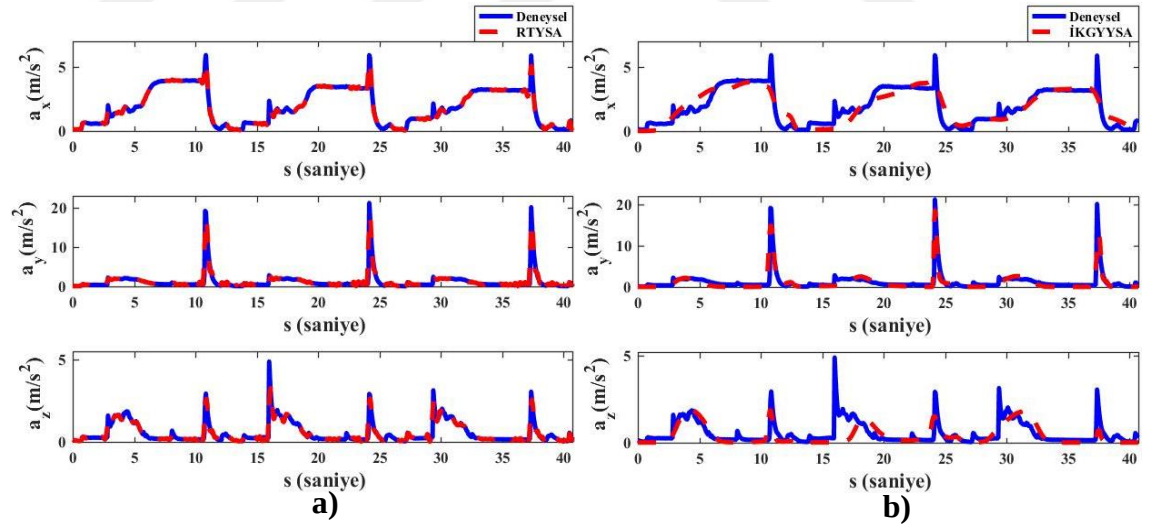
Şekil 3.16. a) BUP: 5 s, BUS: 8 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 8 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları

BUP değeri 5 s, BUS değeri 8 s ve B değeri 31.25 bar deney şartı ile elde edilen titreşim sonuçları Şekil 3.17'de ve B değerinin 37.5 bar basınca yükseltilmesi ile gerçekleştirilen deney şartı Şekil 3.18'de verilmiştir. Basınç değerlerinin artmasıyla birlikte özellikle y ekseninde ciddi oranlarda titreşim genliğinin arttığı tespit edilmiştir. Benzetim

çalışmalarında ise RTYSA yapısının, İKGYSA yapısına göre gerçek zamanlı titreşim verilerini doğru tahmin etmede daha iyi performans gösterdiği görülmektedir.



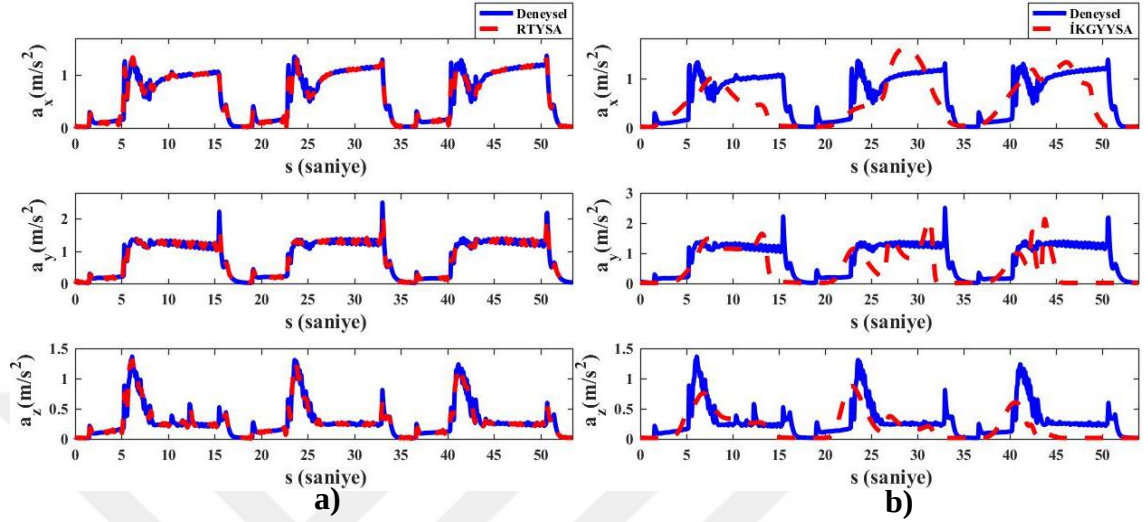
Şekil 3.17. a) BUP: 5 s, BUS: 8 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 8 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları



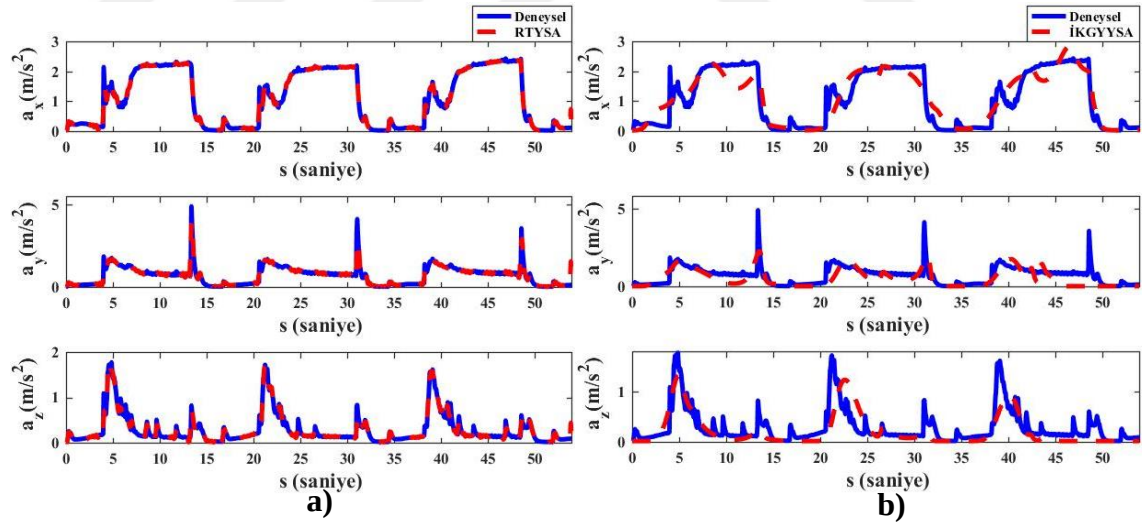
Şekil 3.18. a) BUP: 5 s, BUS: 8 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 8 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları

BUP değeri 5 s, BUS değeri 11 s ve B değeri 6.25 bar deney şartı ile elde edilen titreşim sonuçları Şekil 3.19'da, B değeri 12.5 bar olarak arttırılan deney şartı ise Şekil 3.20'de verilmiştir. Arttırılan süre ile birlikte titreşimin frekansında artış gözlemlenmiştir. En fazla titreşim genliği x ekseninde oluşmuştur. z ekseninde ise en düşük titreşim değerleri

meydana gelmiştir. Benzetim çalışması sonuçları mukayese edildiğinde RTYSA yapısı, İKGYSA yapısına göre oldukça iyi performans göstermiştir.



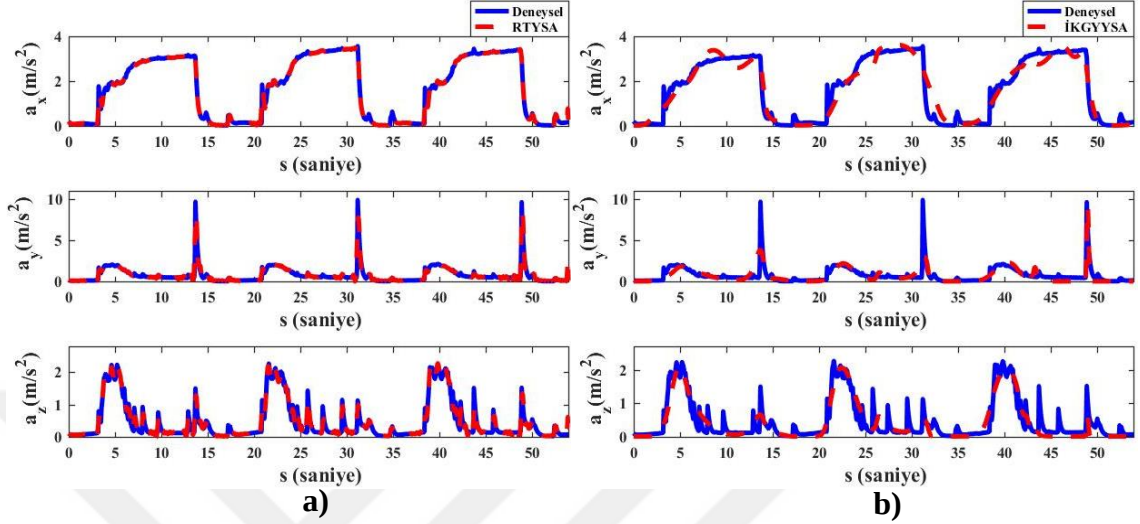
Şekil 3.19. a) BUP: 5 s, BUS: 11 s, B: 6.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 11 s, B: 6.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları



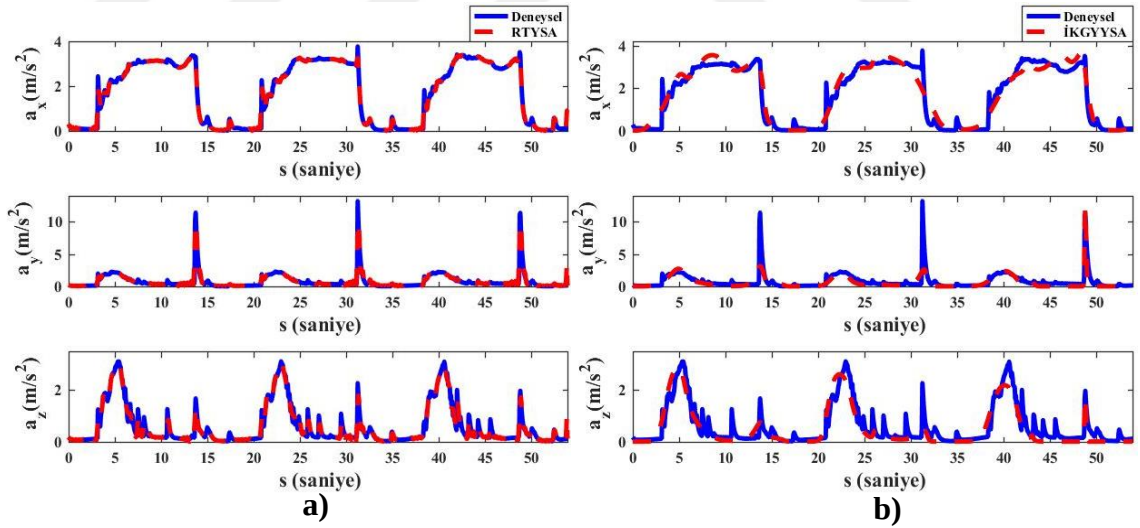
Şekil 3.20. a) BUP: 5 s, BUS: 11 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 11 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları

BUS değeri 5 s, BUP değeri 11 s ve B değeri 18.75 bar deney şartı ile elde edilen titreşim sonuçları Şekil 3.21'de verilmiştir. Şekil 3.22'de ise B değeri 25 bara çıkarılmıştır. En yüksek tepe değerleri y ekseninde meydana gelmektedir. Genel olarak eksenlerdeki

titreşim birbirlerine yakın genlikte gerçekleşmiştir. RTYSA yapısının ise İKGYSA yapısına göre tüm eksenlerde daha iyi performans gösterdiği görülmektedir.



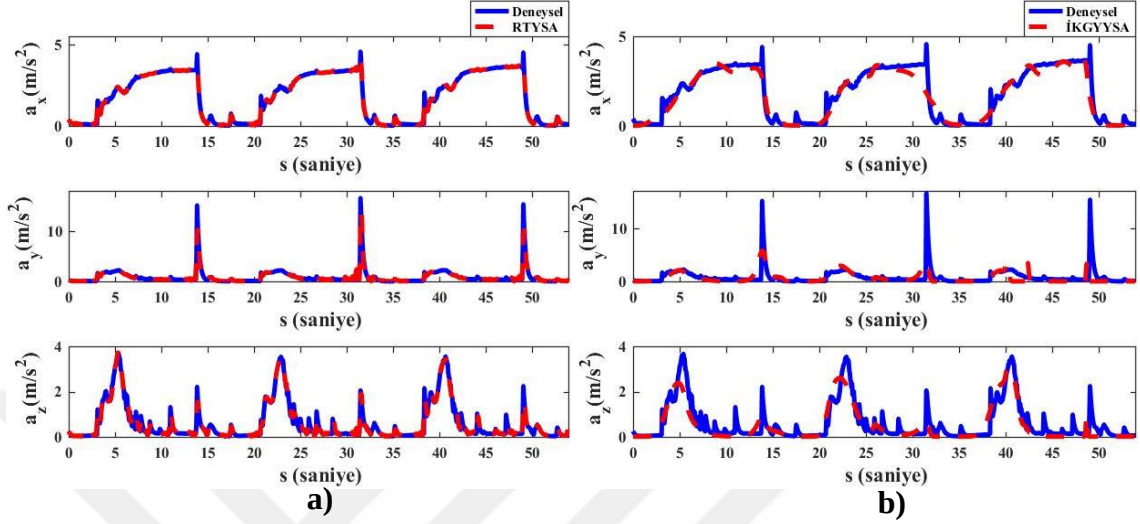
Şekil 3.21. a) BUP: 5 s, BUS: 11 s, B: 18,75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 11 s, B: 18,75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları



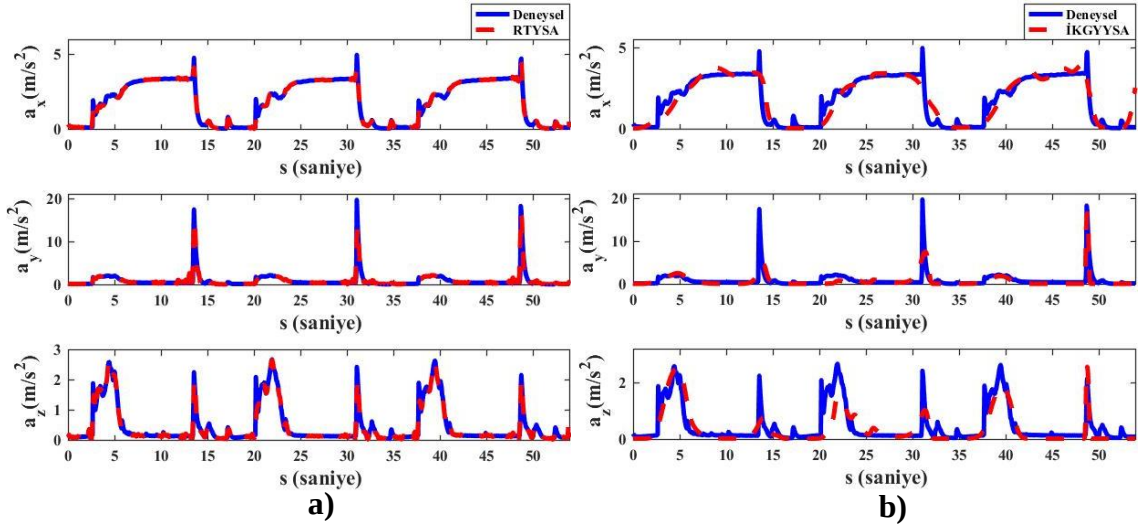
Şekil 3.22. a) BUP: 5 s, BUS: 11 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 11 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları

BUP değeri 5 s, BUS değeri 11 s ve B değeri 31.25 bar deney şartı ile elde edilen titreşim sonuçları Şekil 3.23'te, sadece B değerinin 37.5 bar olarak güncellenmesiyle gerçekleştirilen deney şartı Şekil 3.24'te verilmiştir. UBP 5 s ve UBS 11 s değerleri dikkate alındığında en yüksek titreşim genliklerinin bu basınç değerleri altında

gerçekleştiği gözlemlenmiştir. RTYSA yapısının, İKGYSA yapısına göre tüm eksenlerde ise daha iyi performans gösterdiği görülmektedir.



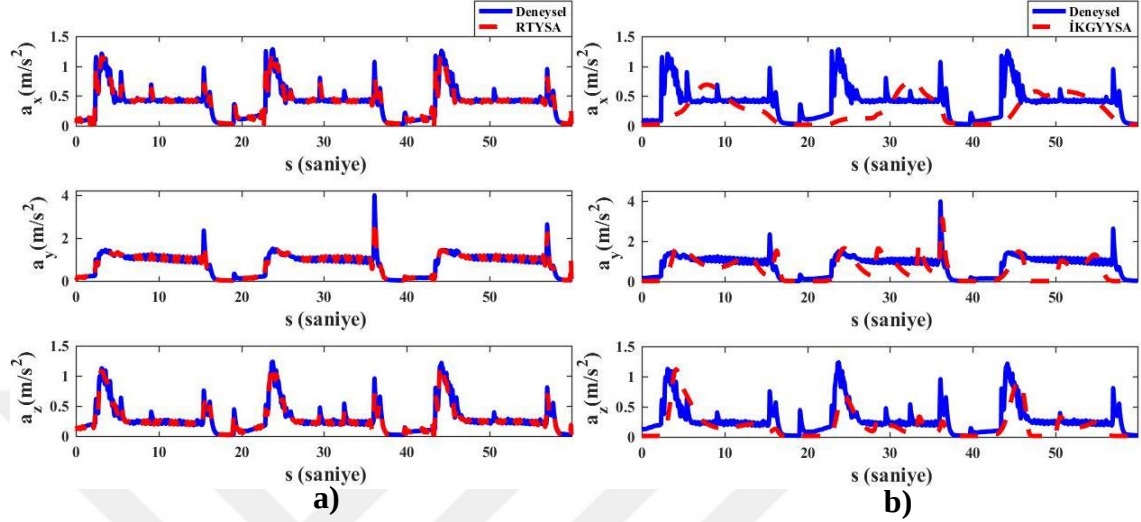
Şekil 3.23. a) BUP: 5 s, BUS: 11 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 11 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları



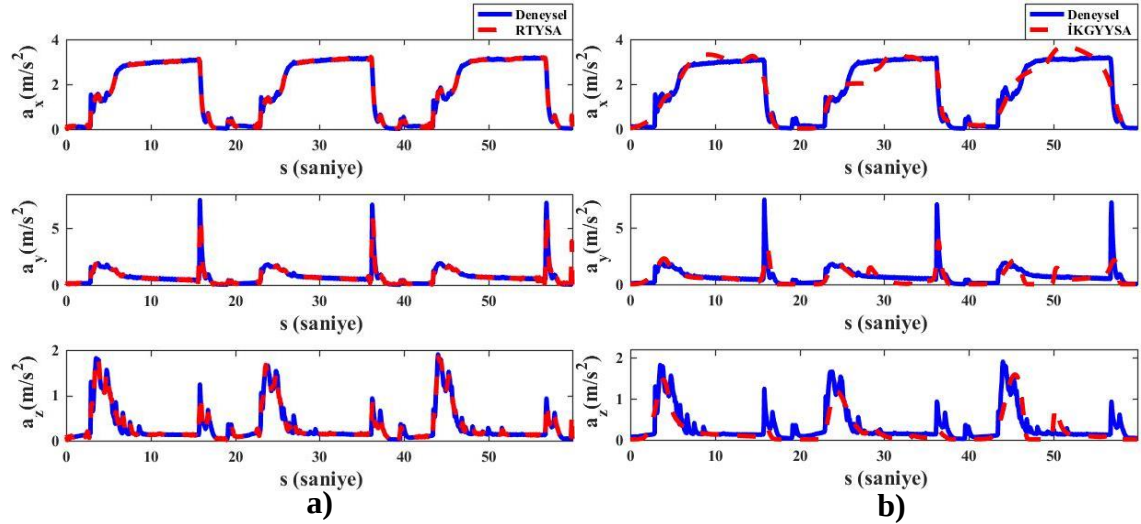
Şekil 3.24. a) BUP: 5 s, BUS: 11 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 11 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları

BUP değeri 5 s, BUP değeri 14 s ve B değeri 6.25 bar deney şartı ile elde edilen titreşim sonuçları Şekil 3.25'te, sadece B değerinin iki katına çıkarılmasıyla gerçekleştirilen deney sonuçları ise Şekil 3.26'da verilmiştir. BUP değerinin arttırılmasıyla birlikte titreşim frekansında ciddi oranda artışlar dikkat çekmektedir. Benzetim çalışmalarının sonuçları

mukayese edildiğinde ise RTYSA yapısının, İKGYSA yapısına göre tüm eksenlerde, titreşim verilerini tahmin etmede daha iyi performans gösterdiği görülmektedir.



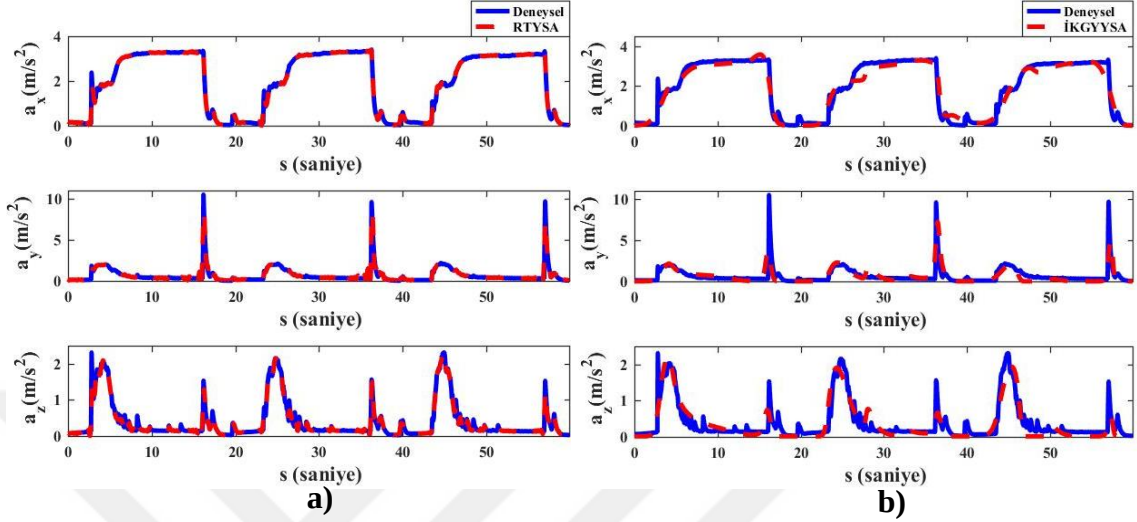
Şekil 3.25. a) BUP: 5 s, BUS: 14 s, B: 6.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 14 s, B: 6.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları



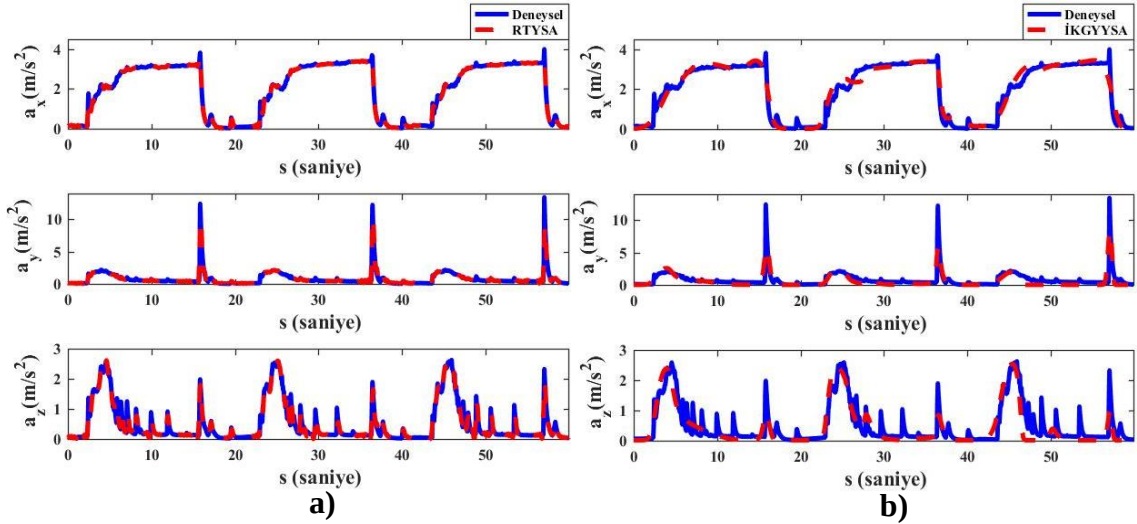
Şekil 3.26. a) BUP: 5 s, BUS: 14 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 14 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları

BUP, BUS ve B değerleri, sırasıyla, 5 s, 14 s ve 18.75 bar deney şartı ile elde edilen titreşim sonuçları Şekil 3.27'de, B değerinin 25 bar değerine çıkarılmasıyla gerçekleştirilen deney şartı Şekil 3.28'de verilmiştir. Titreşim değerlerinde meydana gelen tepe değerlerinin y ekseninde daha efektif bir etkiye sahip olduğu

gözlemlenmektedir. Benzetim çalışmalarında kullanılan RTYSA yapısının, İKGYSA yapısına göre tüm eksenlerde, oldukça iyi bir performans gösterdiği görülmektedir.



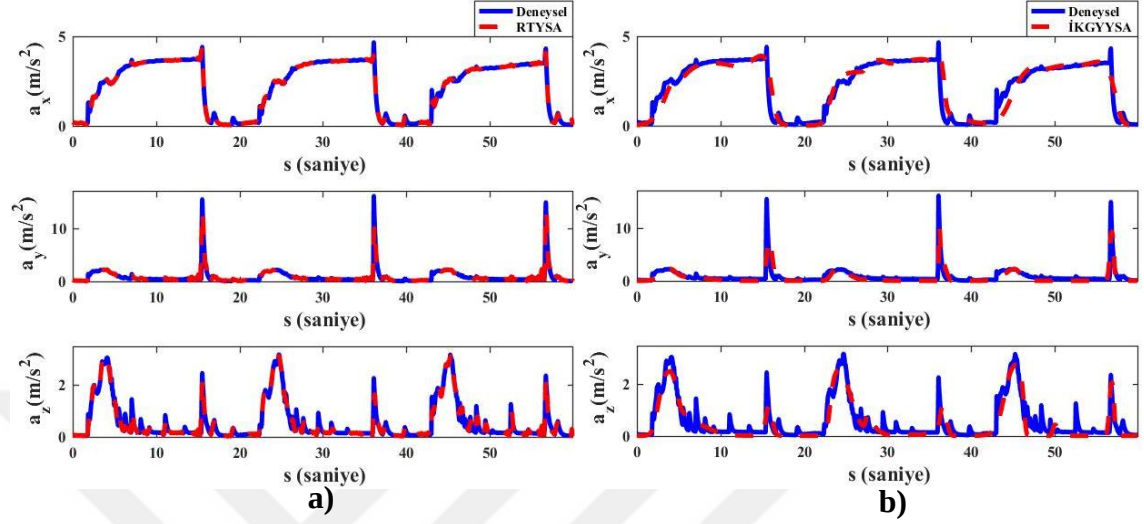
Şekil 3.27. a) BUP: 5 s, BUS: 14 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 14 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları



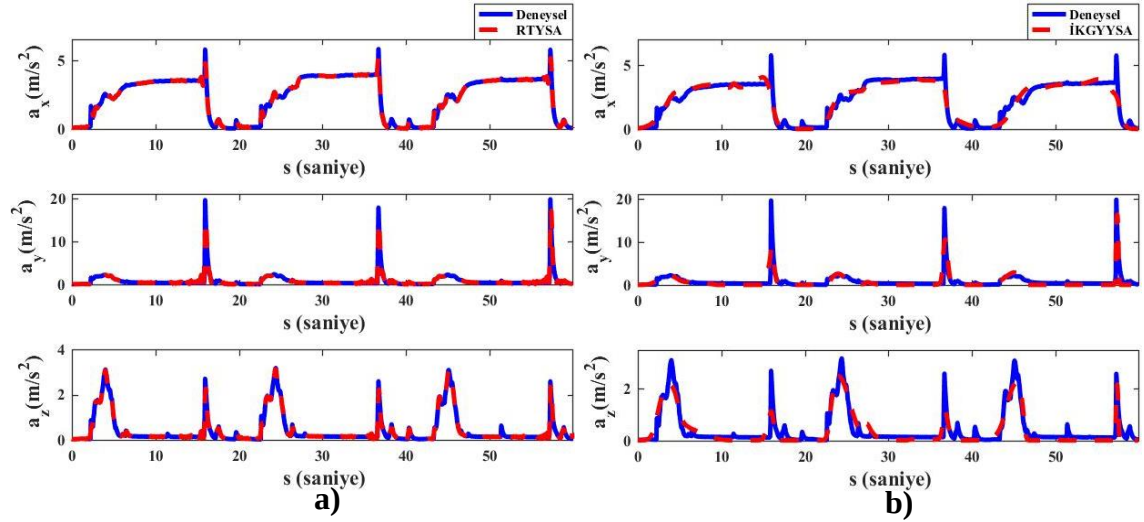
Şekil 3.28. a) BUP: 5 s, BUS: 14 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 14 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları

BUP değeri 5 s, BUS değeri 14 s ve B değeri 31.25 bar deney şartı ile elde edilen titreşim sonuçları Şekil 3.29'da, B değerinin 37.5 bara çıkarılmasıyla gerçekleştirilen deney şartı ise Şekil 3.30'da verilmiştir. Her iki deney şartında açık bir şekilde x ekseninde meydana gelen sürekli titreşim genliğinin daha fazla olduğu gözlemlenmektedir. Aynı zamanda

diğer deney şartlarında olduğu gibi RTYSA yapısının, İKGYSA yapısına göre tüm eksenlerde daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir.



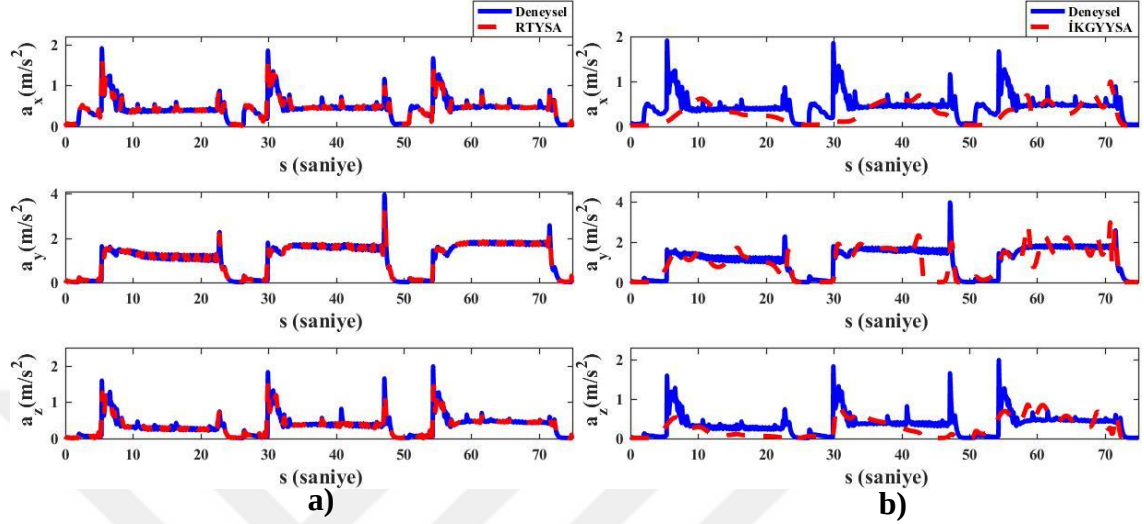
Şekil 3.29. a) BUP: 5 s, BUS: 14 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 14 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları



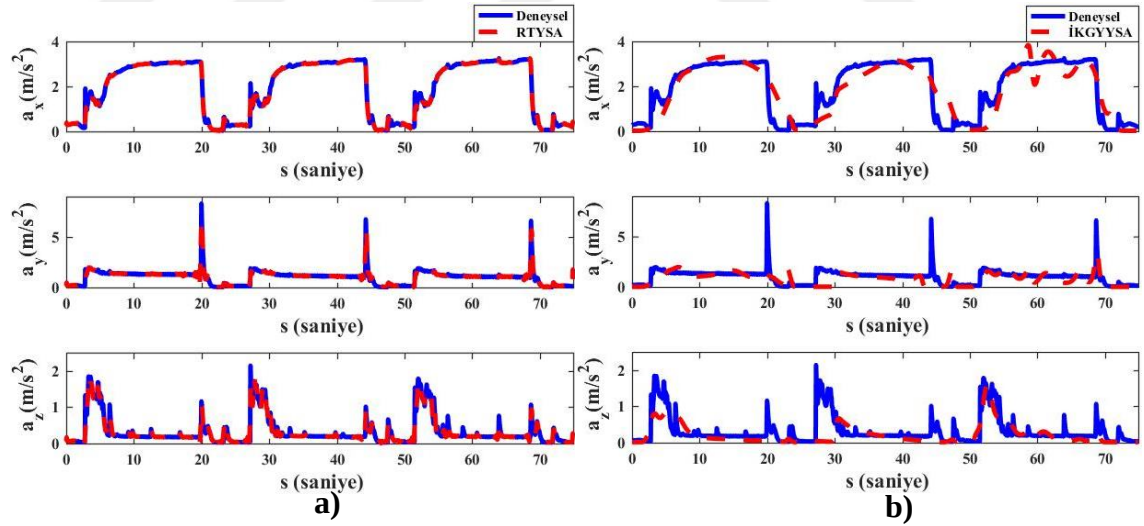
Şekil 3.30. a) BUP: 5 s, BUS: 14 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 14 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları

BUP, BUS ve B değerleri, sırasıyla, 5 s, 17 s ve 6.25 bar deney şartı ile elde edilen titreşim sonuçları Şekil 3.31'de, B değerinin iki katına çıkarılmasıyla gerçekleştirilen deney şartı Şekil 3.32'de verilmiştir. Basınç değeri düşük olan deney şartının y eksenindeki titreşim genliğinin daha yüksek olduğu tespit edilirken, basınç değerinin artmasıyla birlikte x

eksenindeki titreşim genliğinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. RTYSA yapısının, İKGYSA yapısına göre tüm eksenlerde, daha iyi performans gösterdiği görülmektedir.



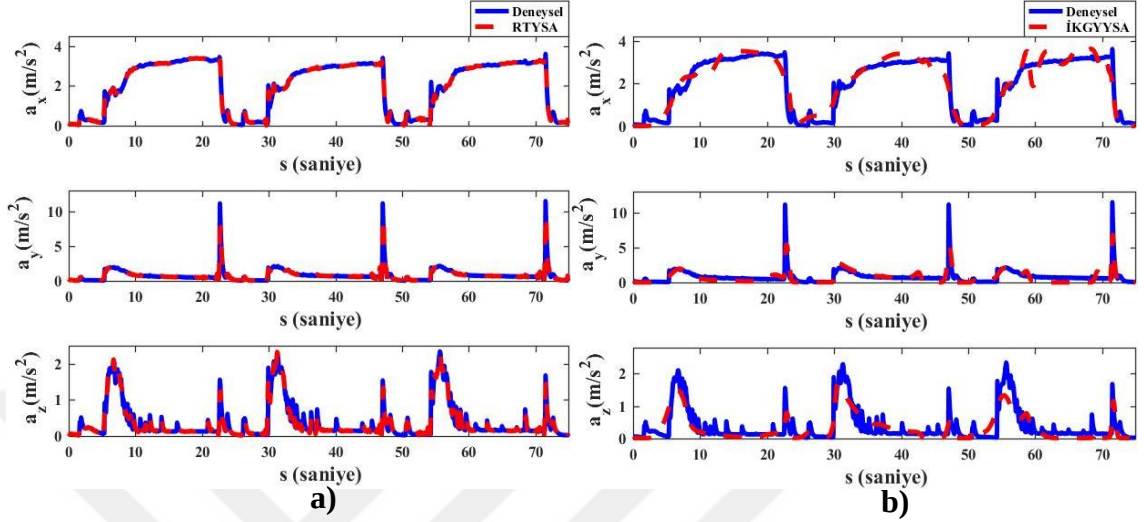
Şekil 3.31. a) BUP: 5 s, BUS: 17 s, B: 6.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 17 s, B: 6.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları



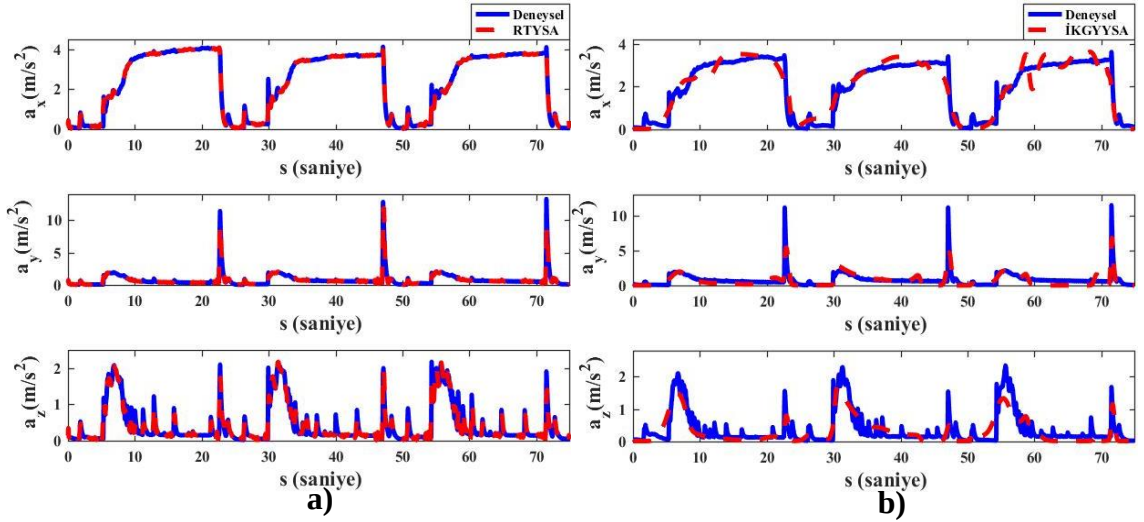
Şekil 3.32. a) BUP: 5 s, BUS: 17 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 17 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları

BUP, BUS ve B değerleri, sırasıyla, 5 s, 17 s ve 18.75 bar deney şartı ile elde edilen titreşim sonuçları Şekil 3.33'te, B değerinin 25 bara çıkarılmasıyla gerçekleştirilen deney şartı Şekil 3.34'te verilmiştir. Her iki deney şartında da z ekseninde meydana gelen titreşim değerlerinin dalgalı formda olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 3.33 (a) ve Şekil 3.34

(a)'da verilen RTYSA yapısının, Şekil 3.33 (b) ve Şekil 3.34 (b)'de verilen İKGYSA yapısına göre tüm eksenlerde oldukça iyi performans gösterdiği görülmektedir.



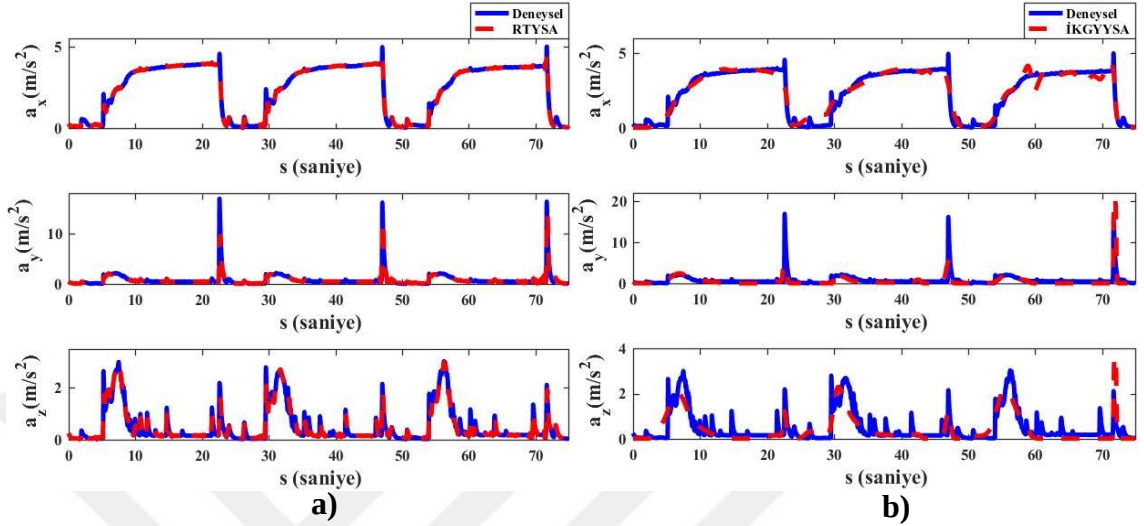
Şekil 3.33. a) BUP: 5 s, BUS: 17 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 17 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları



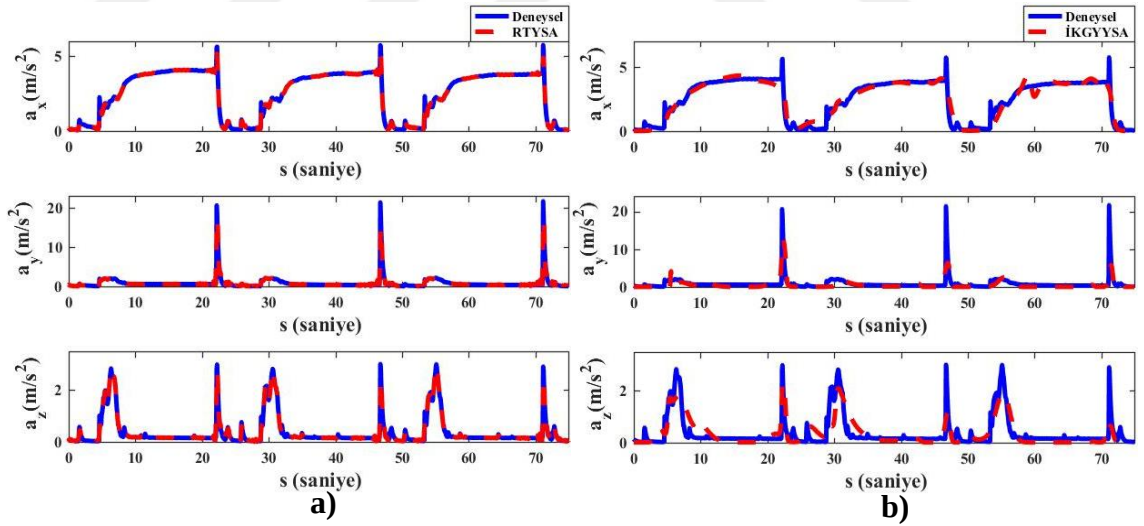
Şekil 3.34. a) BUP: 5 s, BUS: 17 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 17 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları

BUP değeri 5 s, BUS değeri 17 s ve B değeri 31.25 bar deney şartı ile elde edilen titreşim sonuçları Şekil 3.35'te, B değerinin 37.5 bara çıkarılmasıyla gerçekleştirilen deney şartı Şekil 3.36'da verilmiştir. Yaprak yay sisteminin titreşim karakteristiklerini tahmin etmede, Şekil 3.35 (a) ve Şekil 3.36 (a)'da verilen RTYSA yapısının, Şekil 3.35 (b) ve

Şekil 3.36 (b)'de verilen İKGYSA yapısına göre tüm eksenlerde, titreşim sonuçlarını tahmin etmede daha iyi performans gösterdiği görülmektedir.



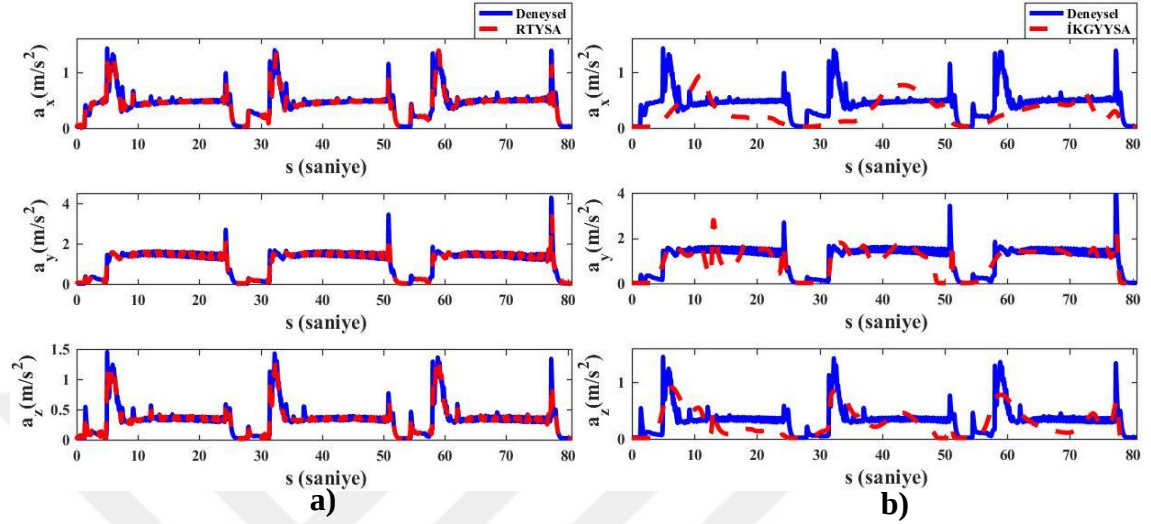
Şekil 3.35. a) BUP: 5 s, BUS: 17 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 17 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları



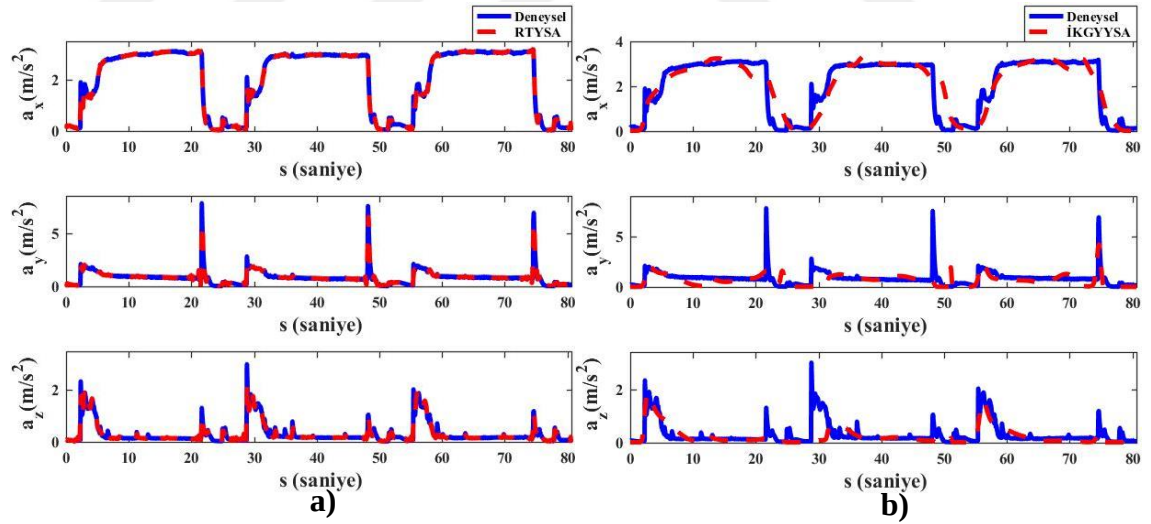
Şekil 3.36. a) BUP: 5 s, BUS: 17 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 17 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları

BUP, BUS ve B değerleri, sırasıyla, 5 s, 20 s ve 6.25 bar deney şartı ile elde edilen titreşim sonuçları Şekil 3.37'de, B değerinin iki katına çıkarılmasıyla gerçekleştirilen deney şartı Şekil 3.38'de verilmiştir. Bu basınç uygulama periyodunun en BUS değeri için gerçekleştirilen deneylerde en fazla titreşim frekansı elde edilmiştir. 6.25 bar basınç

değerinde y ekseninde 12.5 bar basınç değerinde ise x ekseninde titreşim genliğinin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. RTYSA yapısı ise İKGYSA yapısına göre daha iyidir.



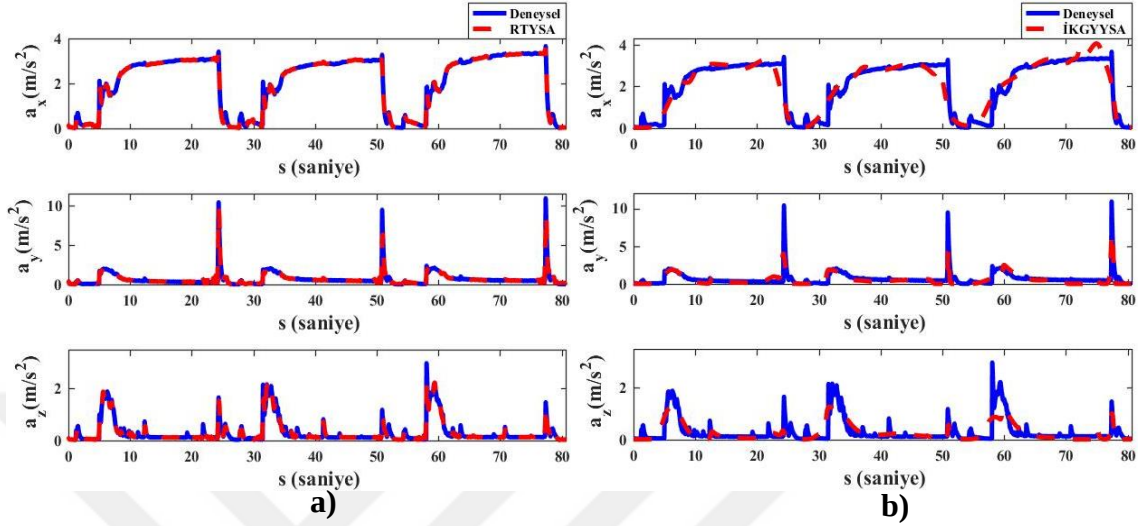
Şekil 3.37. a) BUP: 5 s, BUS: 20 s, B: 6.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 20 s, B: 6.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları



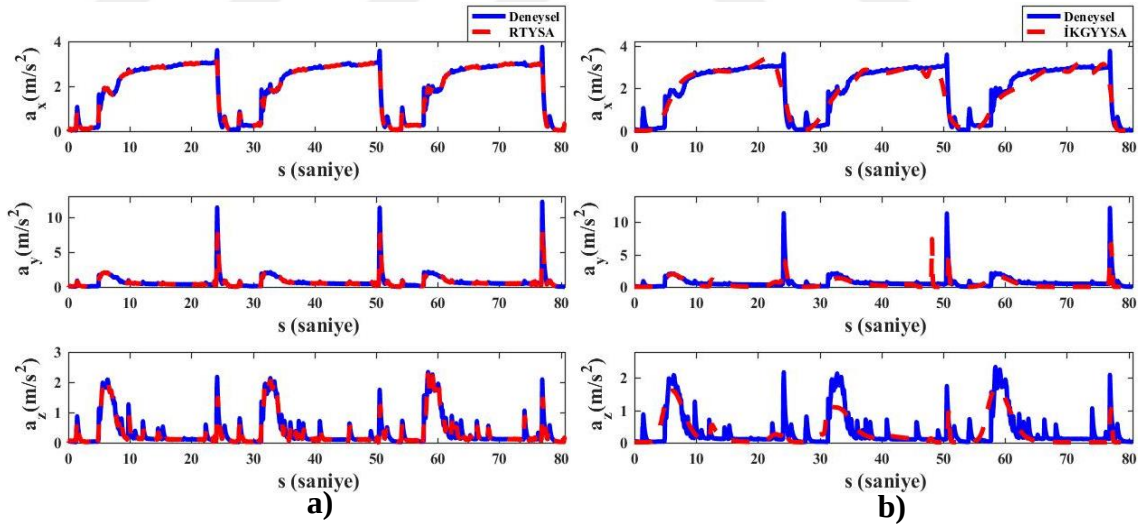
Şekil 3.38. a) BUP: 5 s, BUS: 20 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 20 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları

BUP, BUS ve B değerleri, sırasıyla, 5 s, 20 s ve 18.75 bar deney şartı ile elde edilen titreşim sonuçları Şekil 3.39'da, B değerinin 25 bar basınca çıkarılmasıyla gerçekleştirilen deney şartı Şekil 3.40'da verilmiştir. Titreşim genlikleri her iki deney şartında x ekseninde artarken tepe değerlerinin ise y ekseninde önemli oranda arttığı

gözlemlenmiştir. z ekseninde ise daha stabil olmayan bir titreşim genliği gözlemlenmektedir. RTYSA yapısının daha iyi performans gösterdiği görülmektedir.



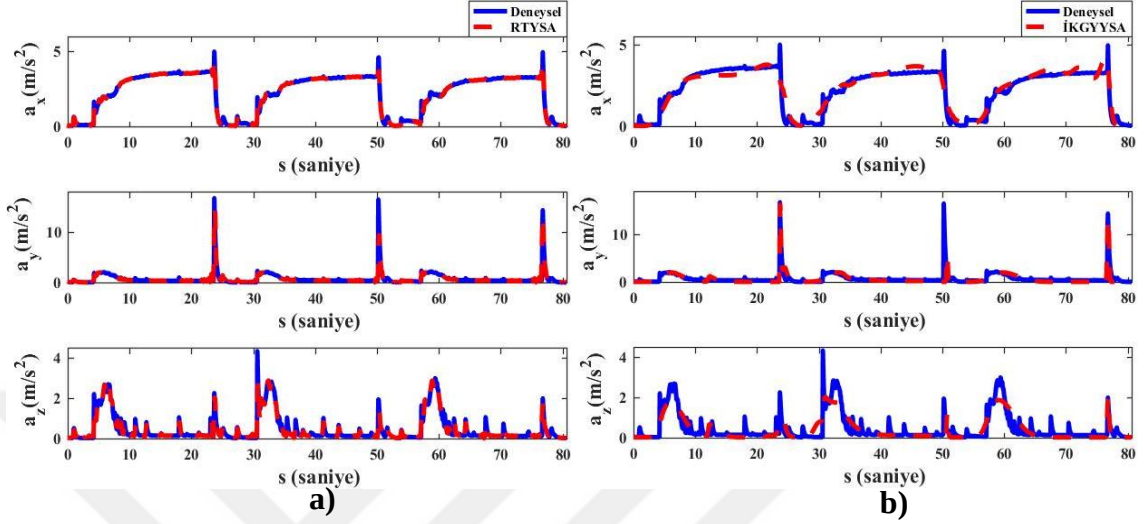
Şekil 3.39. a) BUP: 5 s, BUS: 20 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 20 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları



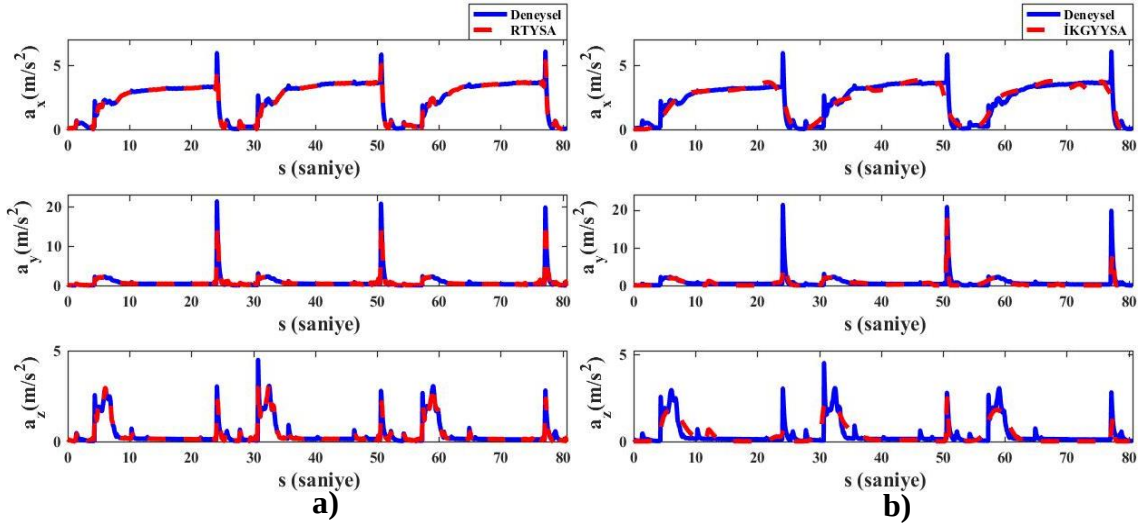
Şekil 3.40. a) BUP: 5 s, BUS: 20 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 20 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları

BUP değeri 5 s, BUS değeri 20 s ve B değeri 31.25 bar deney şartı altında elde edilen titreşim sonuçları Şekil 3.41'de, B değerinin 37.5 bar basınç değerine çıkarılmasıyla gerçekleştirilen deney şartı Şekil 3.42'de verilmiştir. En yüksek sürekli titreşim genliği her iki deney şartında da yine x ekseninde meydana gelmiştir. Benzetim çalışmalarında

kullanılan RTYSA yapısının, İKGYSA yapısına göre tüm eksenlerde, titreşim verilerini tahmin etmede oldukça iyi performans gösterdiği görülmektedir.



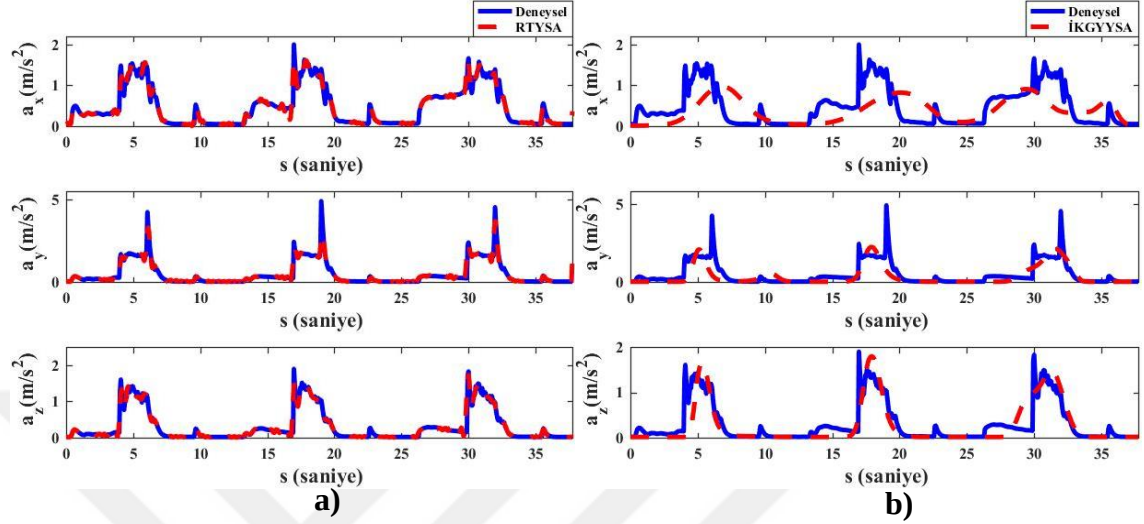
Şekil 3.41. a) BUP: 5 s, BUS: 20 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 20 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları



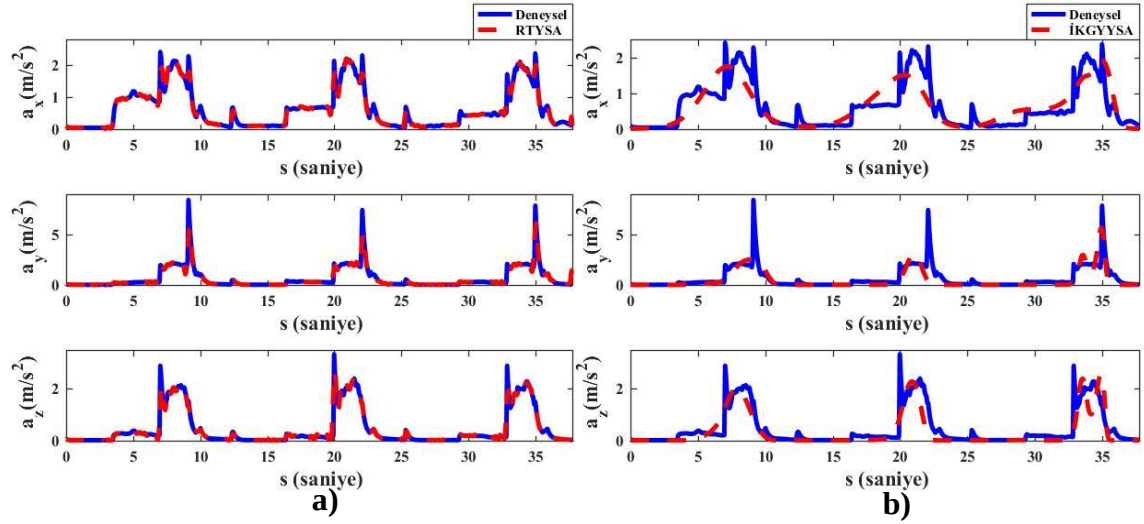
Şekil 3.42. a) BUP: 5 s, BUS: 20 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 5 s, BUS: 20 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları

BUP değeri 10 s, BUS değeri 2 s ve B değeri 6.25 bar deney şartı ile elde edilen titreşim sonuçları Şekil 3.43'te, sadece B değerinin iki katına çıkarılmasıyla gerçekleştirilen deney şartı Şekil 3.44'te verilmiştir. Basınç uygulama periyodunun artmasıyla birlikte elde edilen titreşim dalgalarının karakterlerinde önemli değişikliklere sebebiyet vermediği

gözlemlenmiştir. RTYSA yapısının, İKGYSA yapısına göre tüm eksenlerde oldukça iyi bir performans gösterdiği görülmektedir.



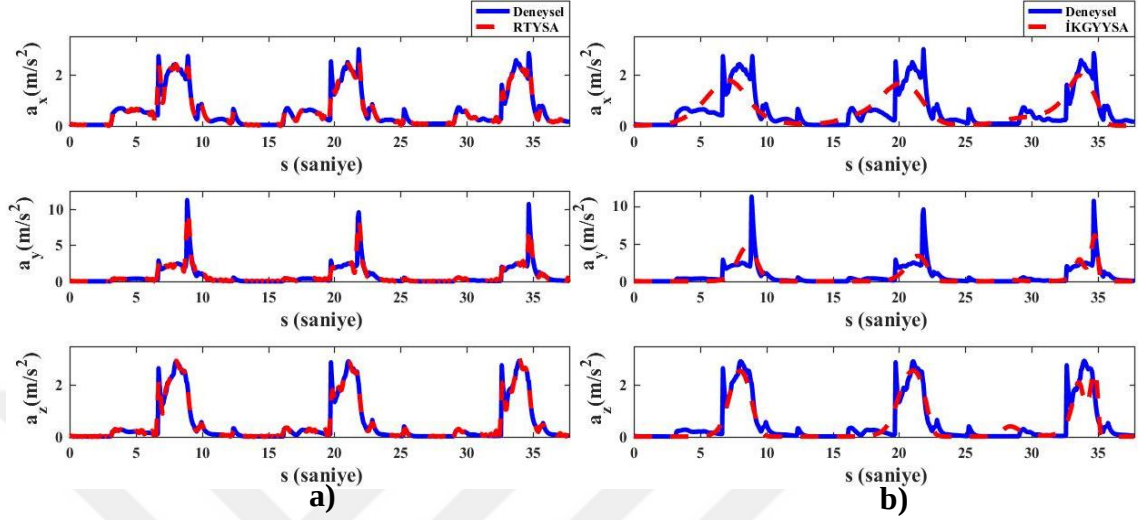
Şekil 3.43. a) BUP: 10 s, BUS: 2 s, B: 6.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 2 s, B: 6.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları



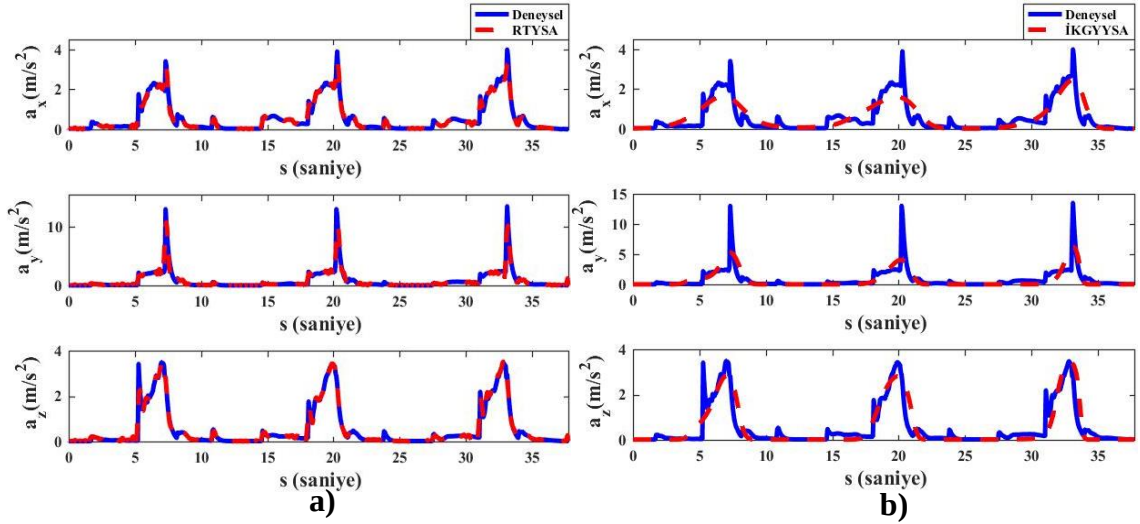
Şekil 3.44. a) BUP: 10 s, BUS: 2 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 2 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları

BUP, BUS ve B değerleri, sırasıyla, 10 s, 2 s ve 18.75 bar deney şartı ile elde edilen titreşim sonuçları Şekil 3.45'te, B değerinin 25 bara çıkarılmasıyla gerçekleştirilen deney şartı Şekil 3.46'da verilmiştir. Her iki deney sonucunda titreşim genliklerinin z ekseninde başınç süresi itibariyle sürekli arttığı gözlemlenmiştir. Benzetim çalışmalarında

kullanılan RTYSA yapısının, İKGYSA yapısına göre tüm eksenlerde, oldukça iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir.



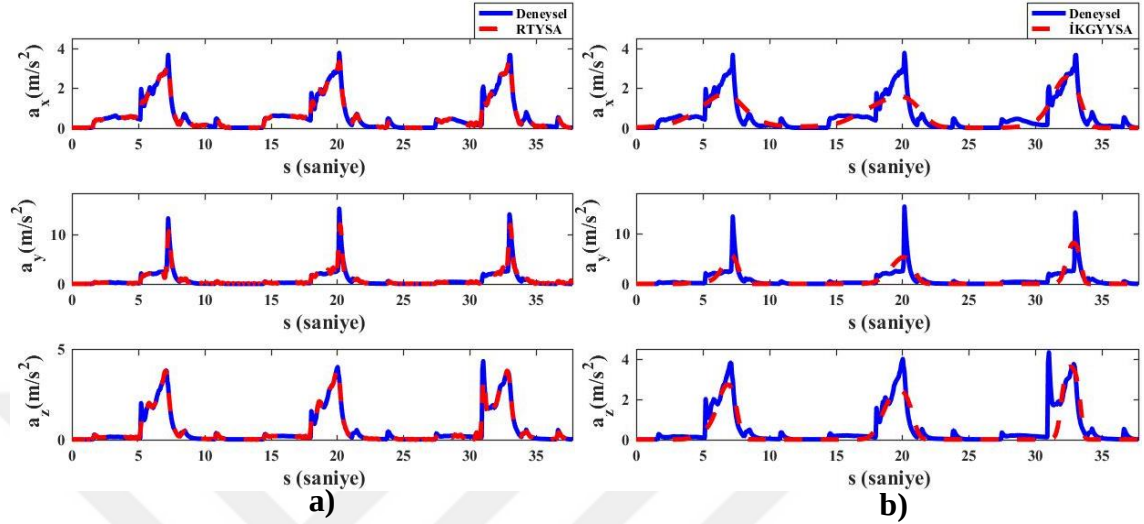
Şekil 3.45. a) BUP: 10 s, BUS: 2 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 2 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları



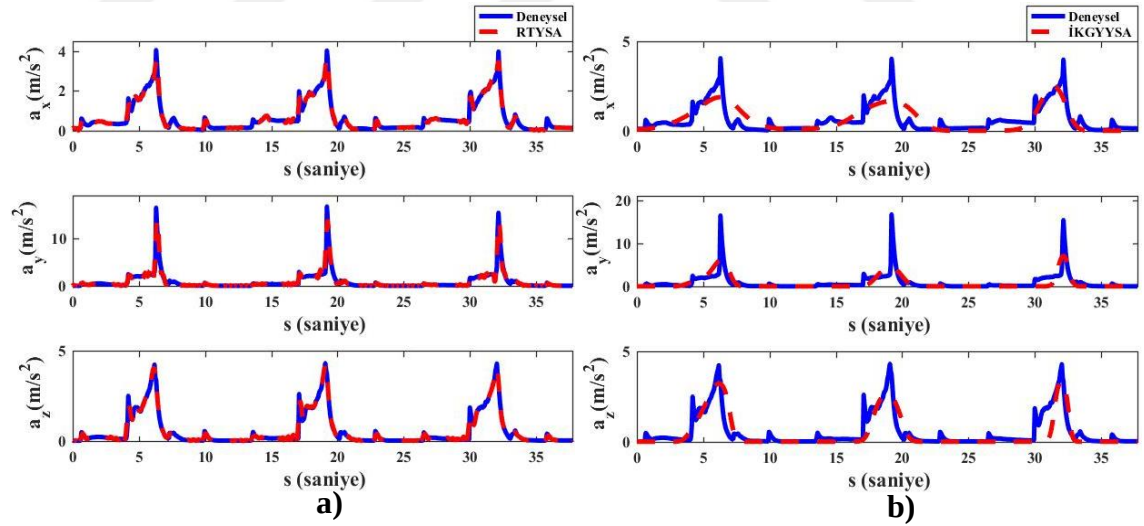
Şekil 3.46. a) BUP: 10 s, BUS: 2 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 2 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları

BUP değeri 10 s, BUS değeri 2 s ve B değeri 31.25 bar deney şartı ile elde edilen titreşim sonuçları Şekil 3.47'de, sadece B değerinin 37.5 bara çıkarılmasıyla gerçekleştirilen deney şartı ise Şekil 3.48'de verilmiştir. Periyodun artmasıyla birlikte titreşim dalgalarındaki karakteristik özelliklerin, özellikle z ekseninde değiştiği tespit edilmiştir.

RTYSA yapısının, İKGYSA yapısına göre ise tüm eksenlerde, titreşim verilerini tahmin etmede daha iyi performans gösterdiği görülmektedir.



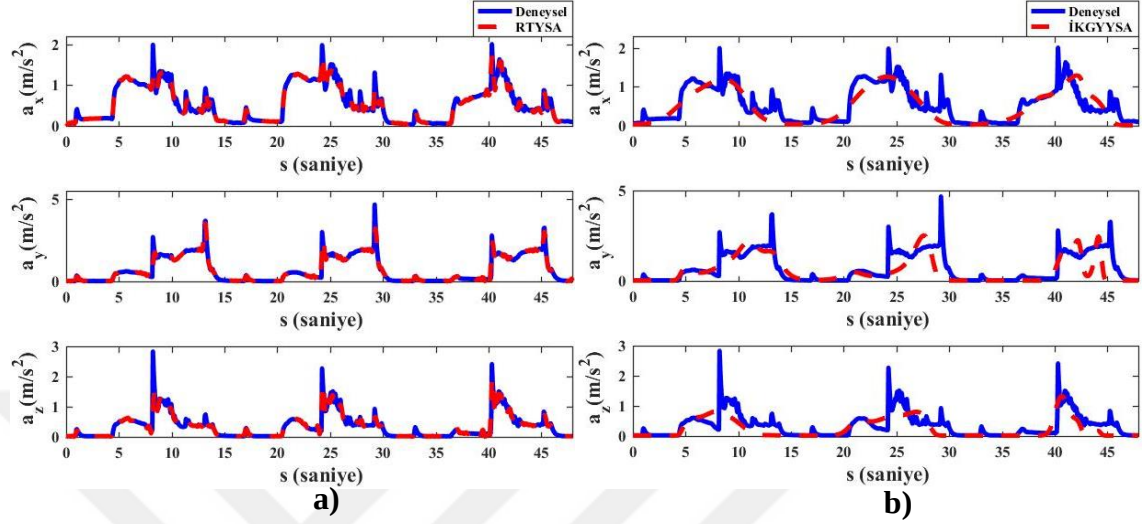
Şekil 3.47. a) BUP: 10 s, BUS: 2 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 2 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları



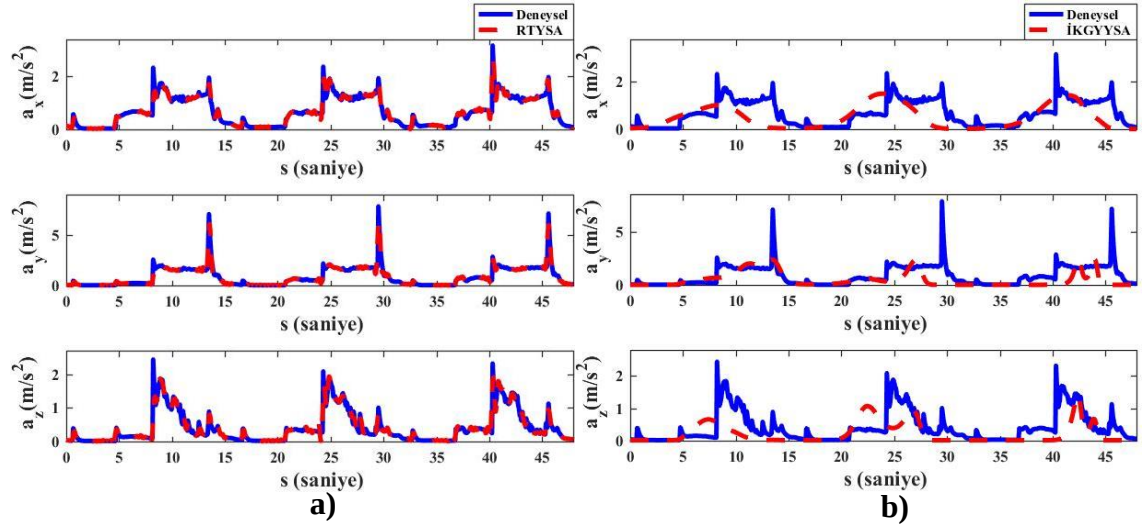
Şekil 3.48. a) BUP: 10 s, BUS: 2 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 2 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları

BUP, BUS ve B değerleri, sırasıyla, 10 s, 5 s ve 6.25 bar deney şartı ile elde edilen titreşim sonuçları Şekil 3.49'da, sadece B değerinin 12.5 bar basınç değerine çıkarılmasıyla gerçekleştirilen deney şartı Şekil 3.50'de verilmiştir. Artan basınç süresi özellikle x ve z eksenlerinde basınç anında azalan bir titreşim genliğine sebebiyet verdiği tespit

edilmiştir. Benzetim çalışmaları mukayese edildiğinde ise RTYSA yapısının, İKGYSA yapısına göre tüm eksenlerde daha iyi performans gösterdiği görülmektedir.



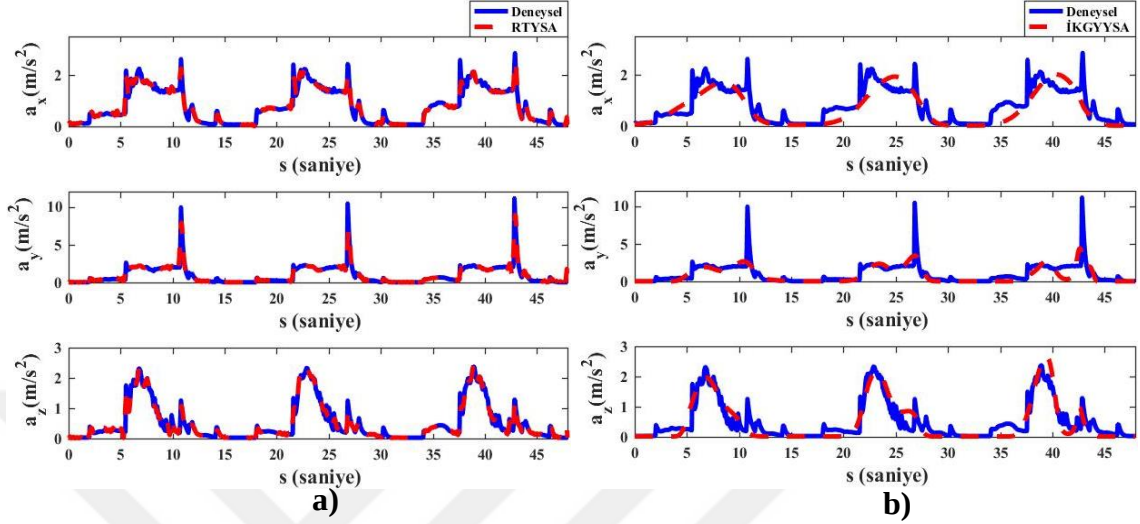
Şekil 3.49. a) BUP: 10 s, BUS: 5 s, B: 6.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 5 s, B: 6.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları



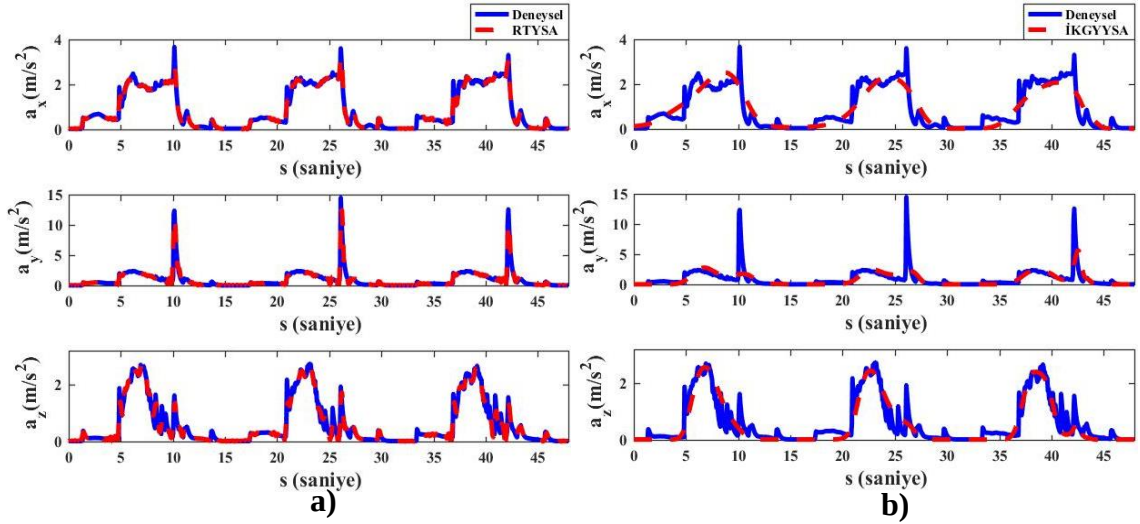
Şekil 3.50. a) BUP: 10 s, BUS: 5 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 5 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları

BUP, BUS ve B değerleri, sırasıyla, 10 s, 5 s ve 18.75 bar deney şartı ile elde edilen titreşim sonuçları Şekil 3.51'de, sadece B değerinin 25 bara çıkarılmasıyla gerçekleştirilen deney şartının sonuçları Şekil 3.52'de verilmiştir. Her iki deney sonucunda da z ekseninde basınç süresi dahilinde titreşim genliğinde sürekli bir azalma meydana geldiği

gözlemlenmiştir. Benzetim çalışmaları sonuçlarına göre RTYSA yapısının, İKGYSA yapısına göre tüm eksenlerde daha iyi performans gösterdiği görülmektedir.



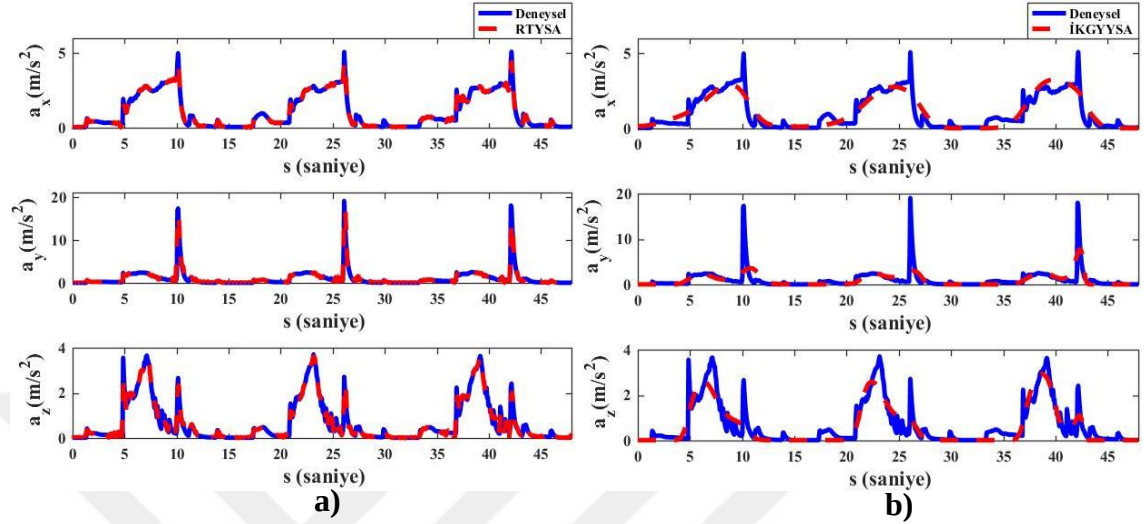
Şekil 3.51. a) BUP: 10 s, BUS: 5 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 5 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları



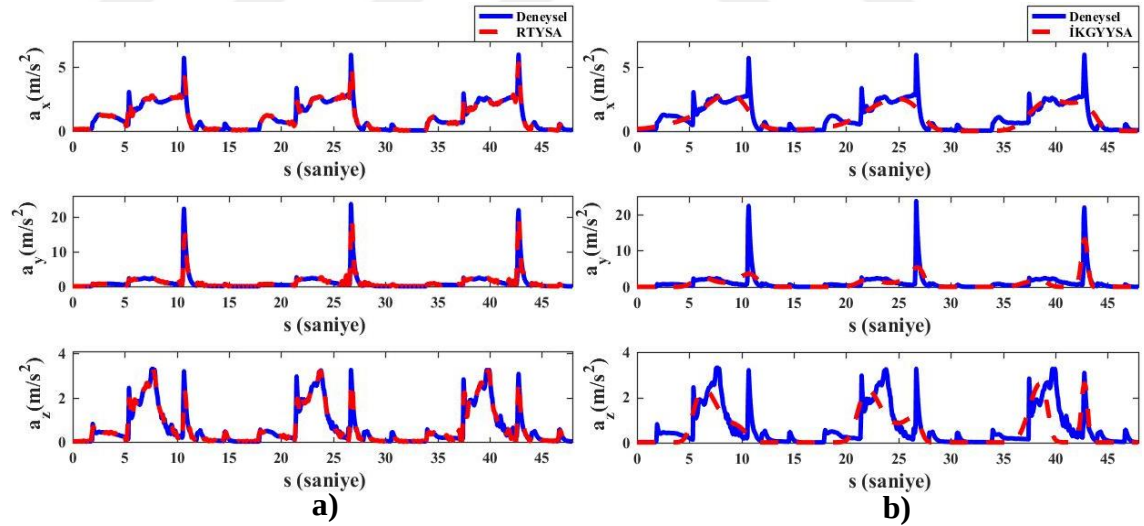
Şekil 3.52. a) BUP: 10 s, BUS: 5 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 5 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları

BUP, BUS ve B değerleri, sırasıyla, 10 s, 5 s ve 31.25 bar deney şartı ile elde edilen titreşim sonuçları Şekil 3.53'te, B değerinin bu deney şartları içerisinde en yüksek değeri olan 37.5 bara çıkarılmasıyla gerçekleştirilen deney sonucu Şekil 3.54'te verilmiştir. Yaprak yay sisteminin titreşim karakteristiklerini tahmin etmede ise, Şekil 3.53 (a) ve

Şekil 3.54 (a)'da verilen RTYSA yapısının, Şekil 3.53 (b) ve Şekil 3.54 (b)'de verilen İKGYSA yapısına göre oldukça iyi performans gösterdiği görülmektedir.



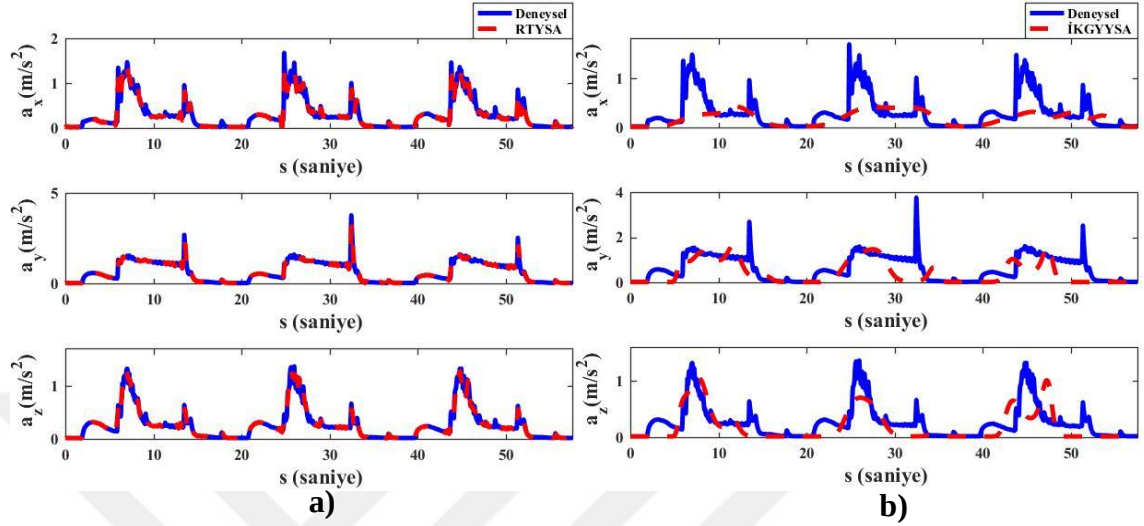
Şekil 3.53. a) BUP: 10 s, BUS: 5 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 5 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları



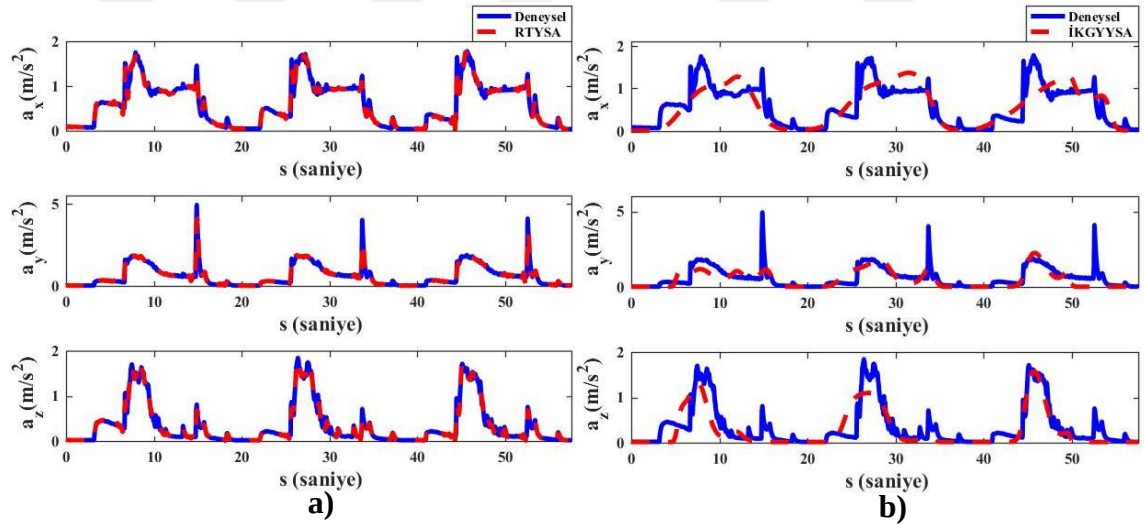
Şekil 3.54. a) BUP: 10 s, BUS: 5 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 5 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları

BUP, BUS ve B değerleri, sırasıyla, 10 s, 8 s ve 6.25 bar deney şartı ile elde edilen titreşim sonuçları Şekil 3.55'te, sadece B değerinin iki katına çıkarılmasıyla gerçekleştirilen deney şartı Şekil 3.56'da verilmiştir. Titreşim karakteristikleri dikkate alındığında hidrolik pistonun ilk basınç anında tüm eksenlerde titreşim genliklerinde önemli oranda artış

gözlemlenmiştir. BUS içerisinde de titreşim genliklerinde durağanlaşma tespit edilmiştir. RTYSA yapısının, İKGYSA yapısından daha iyi performans gösterdiği görülmektedir.



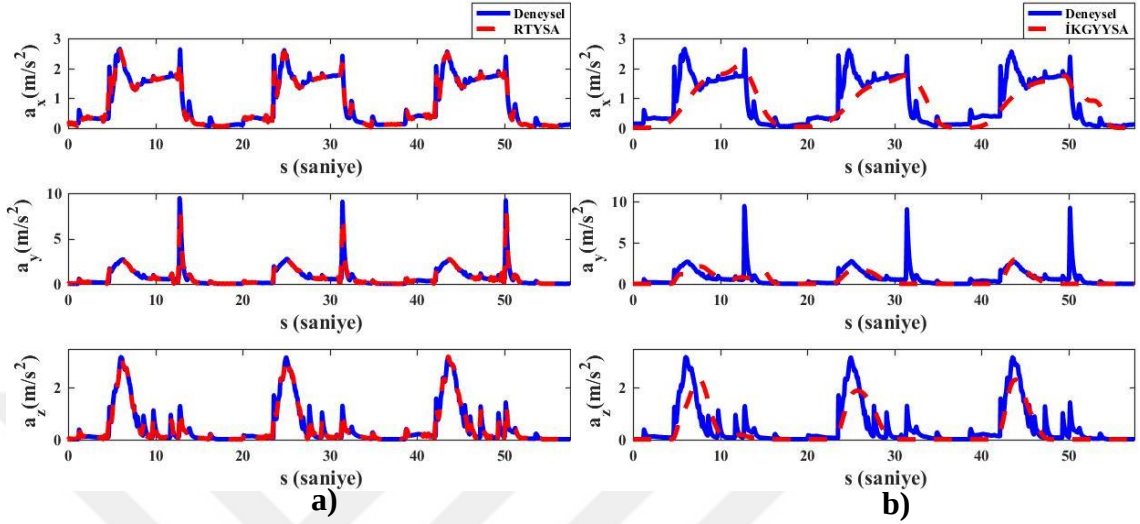
Şekil 3.55. a) BUP: 10 s, BUS: 8 s, B: 6.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 8 s, B: 6.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları



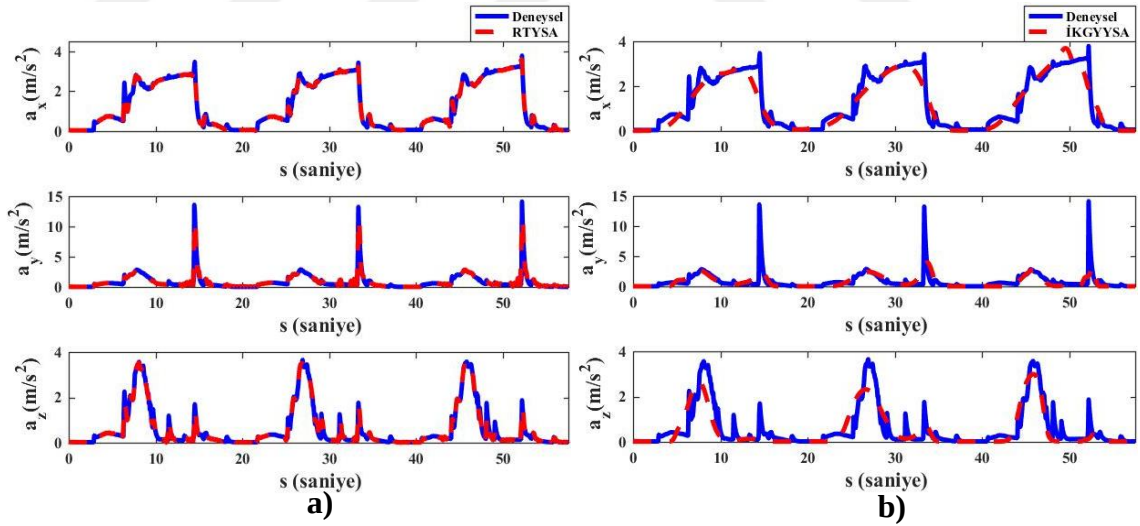
Şekil 3.56. a) BUP: 10 s, BUS: 8 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 8 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları

BUP değeri 10 s, BUS değeri 8 s ve B değeri 18.75 bar deney şartı ile elde edilen titreşim sonuçları Şekil 3.57'de, B değerinin 25 bara çıkarılmasıyla gerçekleştirilen deney şartı Şekil 3.58'de verilmiştir. Her iki deney sonucunda da x ekseninde diğer eksenlere göre daha yüksek sürekli titreşim genliği elde edilmiştir. Benzetim çalışmaları mukayese

edildiğinde ise RTYSA yapısının, İKGYSA yapısına göre tüm eksenlerde, titreşim verilerini tahmin etmede daha iyi performans gösterdiği görülmektedir.



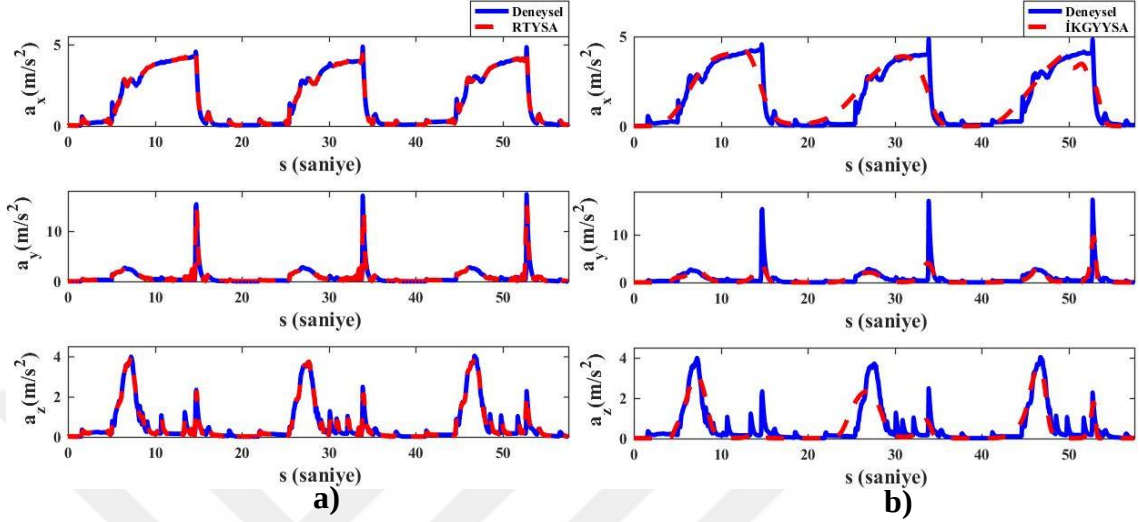
Şekil 3.57. a) BUP: 10 s, BUS: 8 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 8 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları



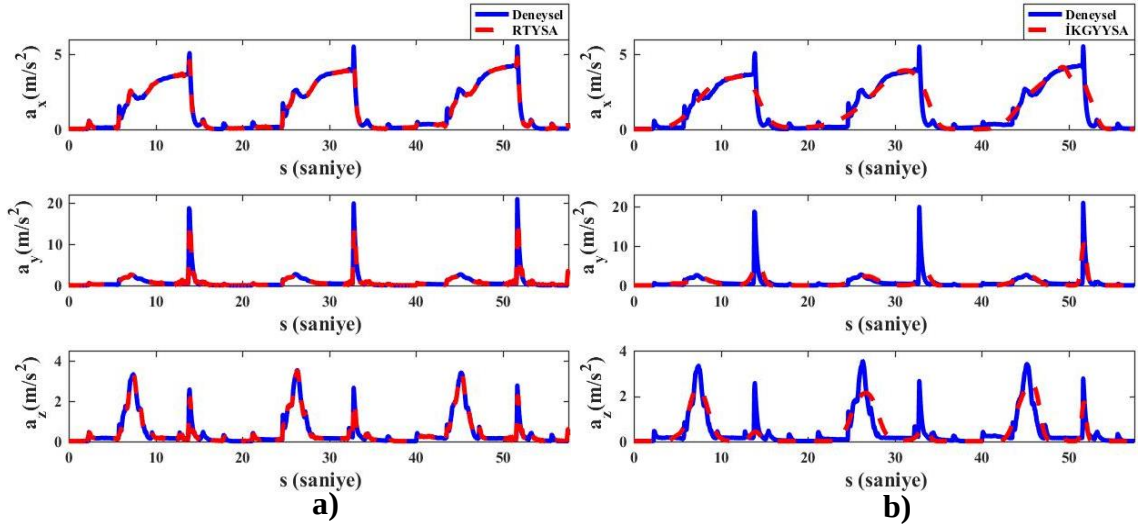
Şekil 3.58. a) BUP: 10 s, BUS: 8 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 8 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları

BUP değeri 10 s, BUS değeri 8 s ve B değeri 31.25 bar deney şartı ile elde edilen titreşim sonuçları Şekil 3.59'da, B değerinin 37.5 bar basınç değerine çıkarılmasıyla gerçekleştirilen deney şartı Şekil 3.60'da verilmiştir. Her iki deney sonucunda da x ekseninde basınç süresi boyunca titreşim genliğinde artışlar gözlemlenmiştir. Benzetim

sonuçları mukayese edildiğinde RTYSA'nın, İKGYSA yapısına göre tüm eksenlerde, titreşim verilerini tahmin etmede daha iyi performans gösterdiği görülmektedir.



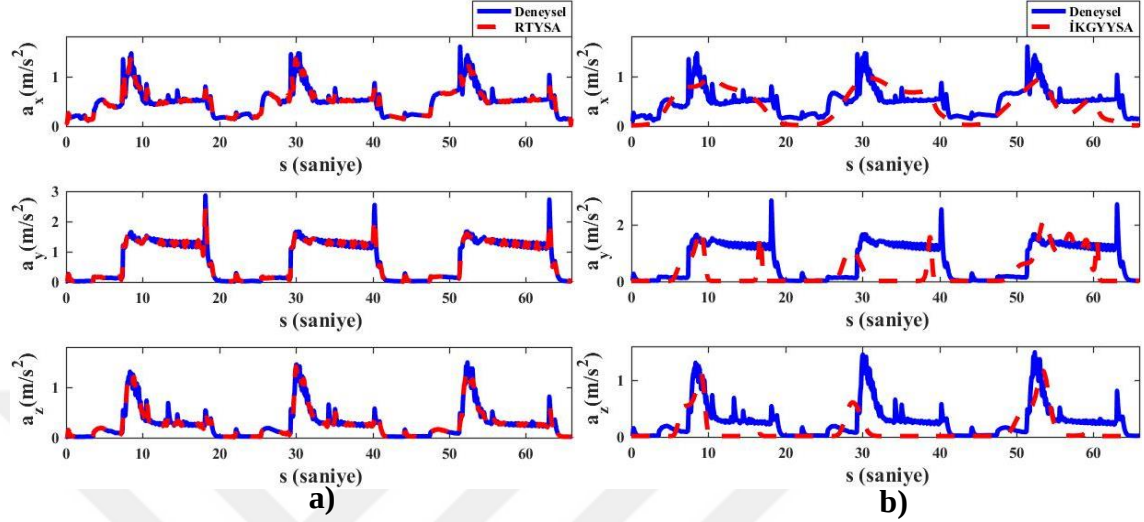
Şekil 3.59. a) BUP: 10 s, BUS: 8 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 8 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları



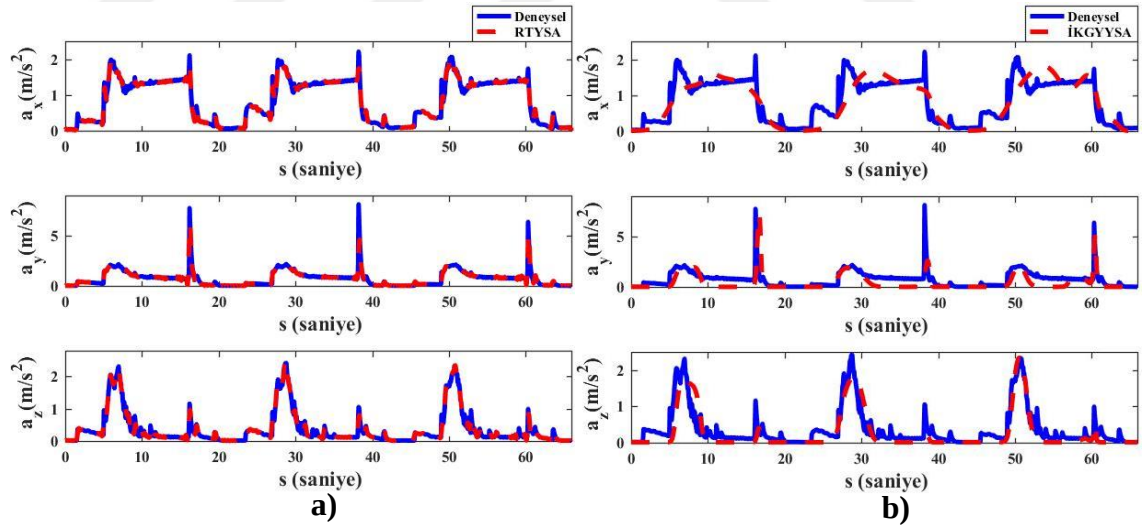
Şekil 3.60. a) BUP: 10 s, BUS: 8 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 8 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları

BUP, BUS ve B değerleri, sırasıyla, 10 s, 11 s ve 6.25 bar deney şartı ile elde edilen titreşim sonuçları Şekil 3.61'de, sadece B değerinin iki katına çıkarılmasıyla gerçekleştirilen deney şartı Şekil 3.62'de verilmiştir. Şekil 3.61 dikkate alındığında en yüksek titreşim genliği x ekseninde meydana gelirken Şekil 3.62 incelendiğinde en

yüksek titreşim genliği z ekseninde meydana gelmiştir. RTYSA yapısının, İKGYSA yapısına göre tüm eksenlerde daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir.



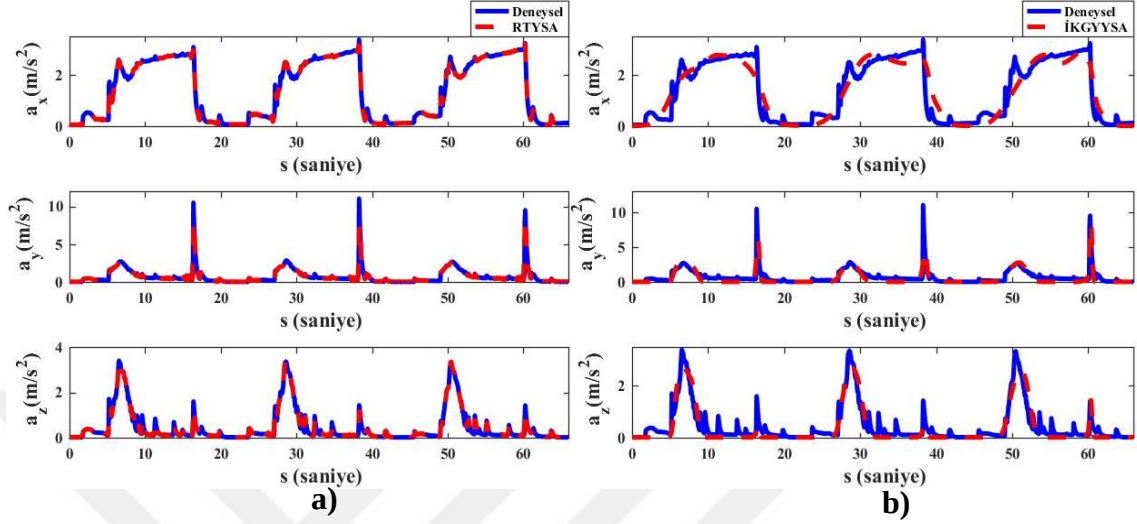
Şekil 3.61. a) BUP: 10 s, BUS: 11 s, B: 6.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 11 s, B: 6.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları



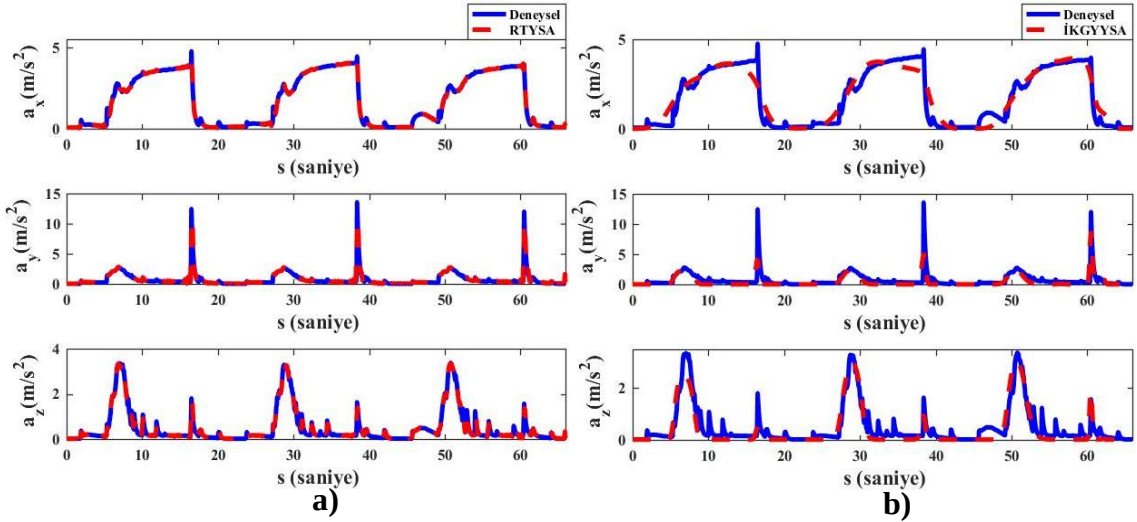
Şekil 3.62. a) BUP: 10 s, BUS: 11 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 11 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları

BUP değeri 10 s, BUS değeri 11 s ve B değeri 18.75 bar deney şartı ile elde edilen titreşim sonuçları Şekil 3.63'te, B değerinin 25 bara çıkarılmasıyla gerçekleştirilen deney şartı Şekil 3.64'te verilmiştir. İşlem süresinin artmasıyla birlikte her iki deneysel sonuçlarda da titreşim frekanslarında artışlar meydana gelmiştir. Benzetim çalışmaları dikkate

alındığında RTYSA yapısının, İKGYSA yapısına göre tüm eksenlerde, titreşim verilerini tahmin etmede oldukça iyi performans gösterdiği görülmektedir.



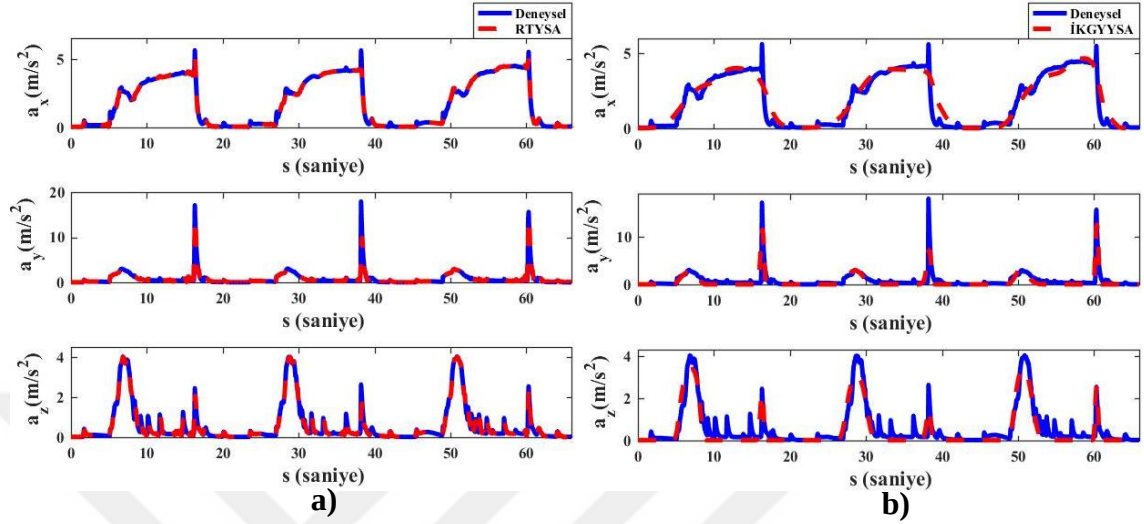
Şekil 3.63. a) BUP: 10 s, BUS: 11 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 11 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları



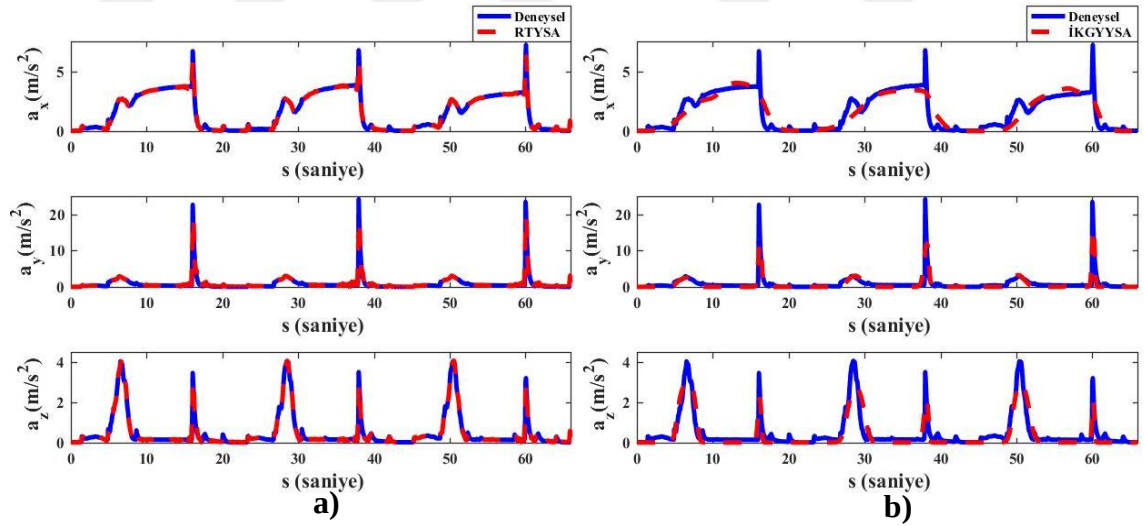
Şekil 3.64. a) BUP: 10 s, BUS: 11 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 11 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları

BUP, BUS ve B değerleri, sırasıyla, 10 s, 11 s ve 31.25 bar deney şartı ile elde edilen titreşim sonuçları Şekil 3.65'te, B değerinin 37.5 bar basınç değerine çıkarılmasıyla gerçekleştirilen deney şartı Şekil 3.66'da verilmiştir. Her iki deneyde de z ekseninde titreşim genliklerinde önemli oranda artışlar tespit edilmiştir. Benzetim çalışmaları

mukayese edildiğinde ise RTYSA yapısının, İKGYSA yapısına göre tüm eksenlerde, titreşim verilerini tahmin etmede daha iyi performans gösterdiği görülmektedir.



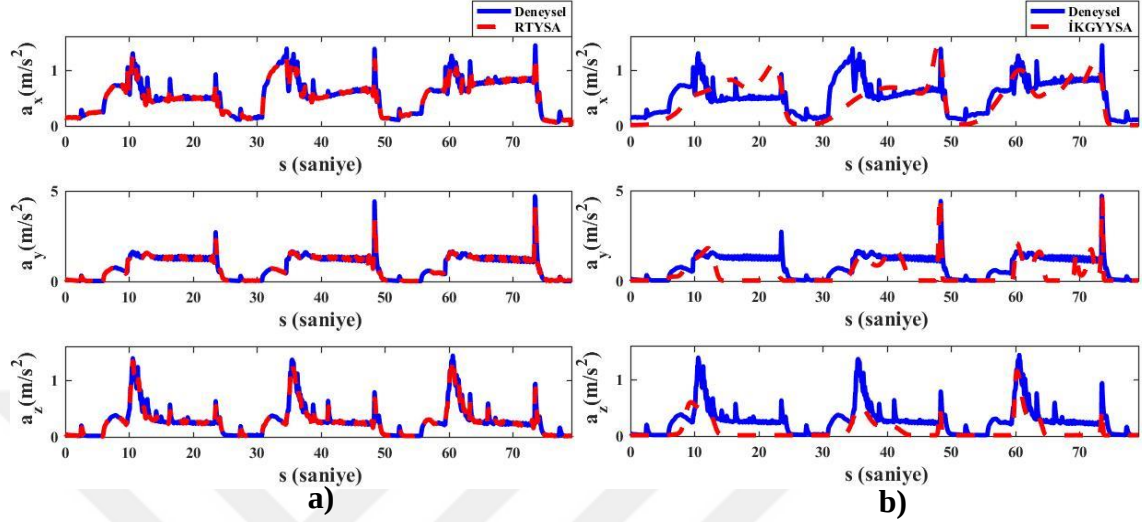
Şekil 3.65. a) BUP: 10 s, BUS: 11 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 11 s, B:31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları



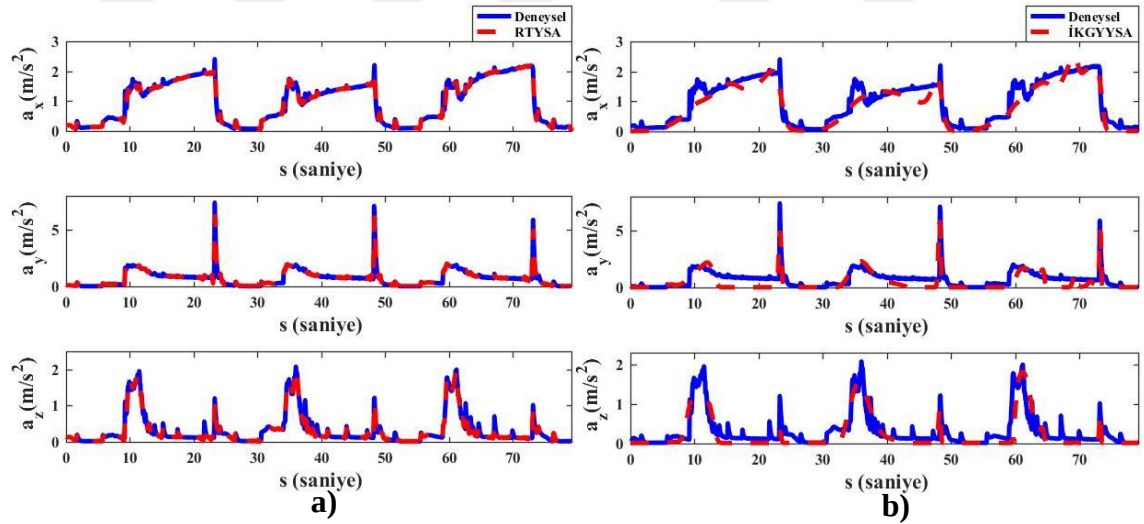
Şekil 3.66. a) BUP: 10 s, BUS: 11 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 11 s, B:37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları

BUP değeri 10 s, BUS değeri 14 s ve B 6.25 bar deney şartı ile elde edilen titreşim sonuçları Şekil 3.67'de, sadece B değerinin 12.5 bar basınç değerine çıkarılmasıyla gerçekleştirilen deney şartı Şekil 3.68'de verilmiştir. Her iki deney şartında da x eksenindeki titreşim genliklerinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Yaprak yay

sisteminin titreşim karakteristiklerini tahmin etmede, RTYSA yapısının, İKGYSA yapısına göre tüm eksenlerde daha iyi performans gösterdiği görülmektedir.



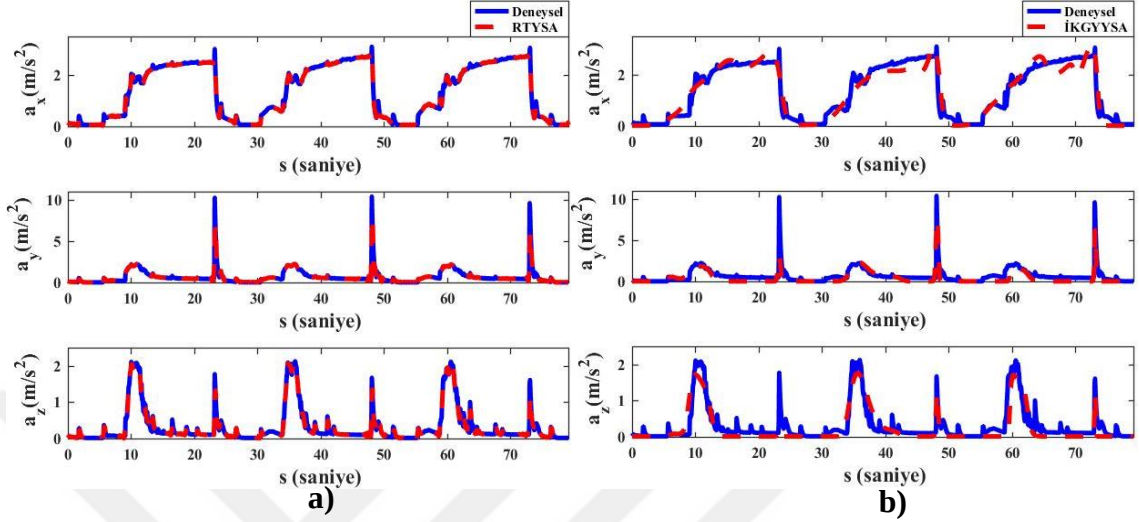
Şekil 3.67. a) BUP: 10 s, BUS: 14 s, B: 6.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 14 s, B: 6.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları



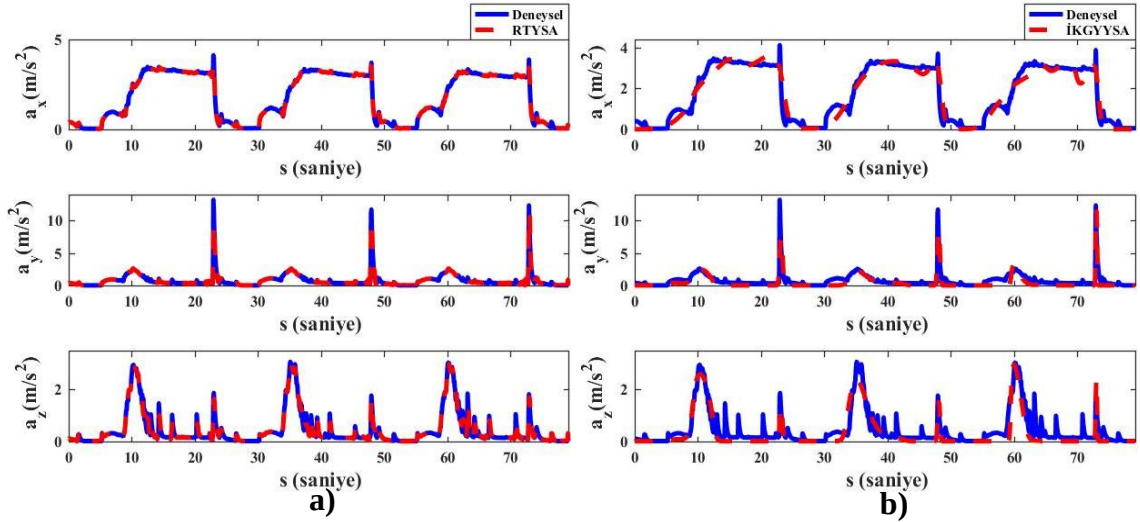
Şekil 3.68. a) BUP: 10 s, BUS: 14 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 14 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları

BUP, BUS ve B değerleri, sırasıyla, 10 s, 14 s ve 18.75 bar deney şartı ile elde edilen titreşim sonuçları Şekil 3.69'da, B değerinin 25 bar basınç değerine çıkarılmasıyla gerçekleştirilen deney şartı Şekil 3.70'te verilmiştir. Meydana gelen titreşim genlikleri dikkate alındığında her iki deney sonucuna göre z ekseninde kararlı olmayan bir titreşim

genliği meydana geldiği tespit edilmiştir. RTYSA yapısının, İKGYSA yapısına göre ise tüm eksenlerde daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir.



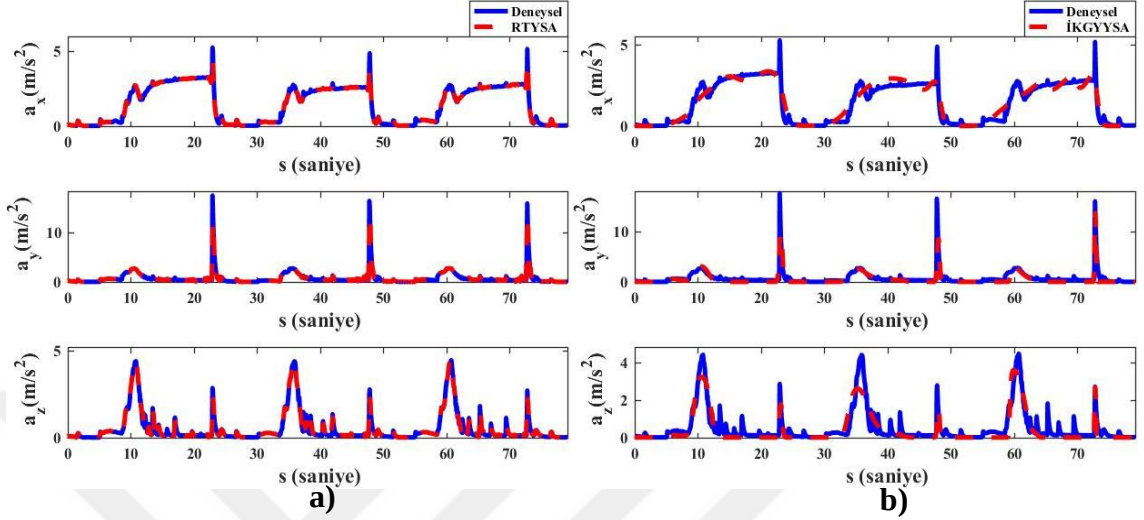
Şekil 3.69. a) BUP: 10 s, BUS: 14 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 14 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları



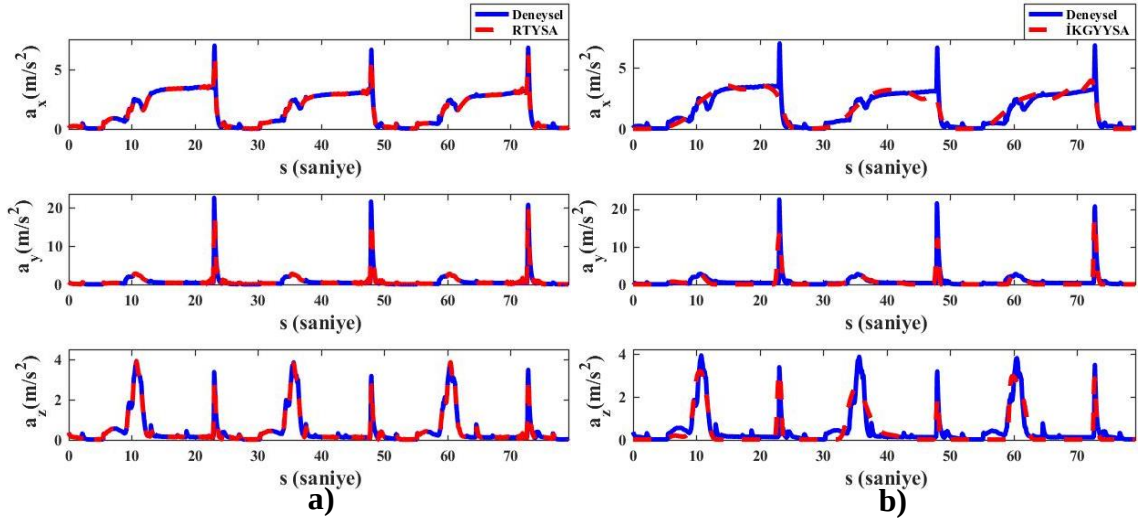
Şekil 3.70. a) BUP: 10 s, BUS: 14 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 14 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları

BUP değeri 10 s, BUS değeri 14 s ve B değeri 31.25 bar deney şartı ile elde edilen titreşim sonuçları Şekil 3.71'de, sadece B değerinin 37.5 bar basınç değerine çıkarılmasıyla gerçekleştirilen deney şartı Şekil 3.72'de verilmiştir. Yaprak yay sisteminin titreşim karakteristiklerini tahmin etmede, Şekil 3.71 (a) ve Şekil 3.72 (a)'da verilen RTYSA

yapısının, Şekil 3.71 (b) ve Şekil 3.72 (b)'de verilen İKGYSA yapısına göre tüm eksenlerde daha iyi performans gösterdiği görülmektedir.



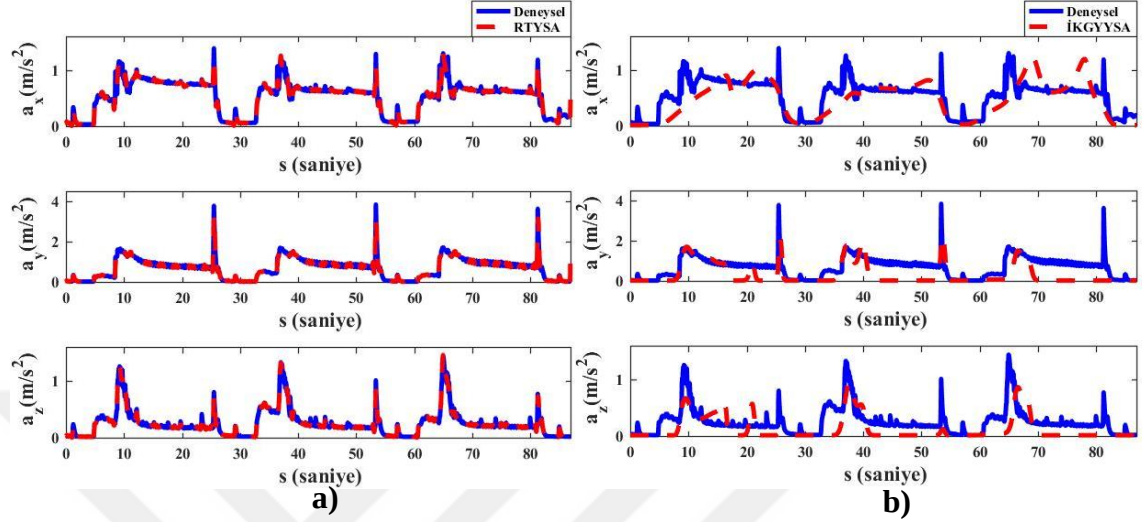
Şekil 3.71. a) BUP: 10 s, BUS: 14 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 14 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları



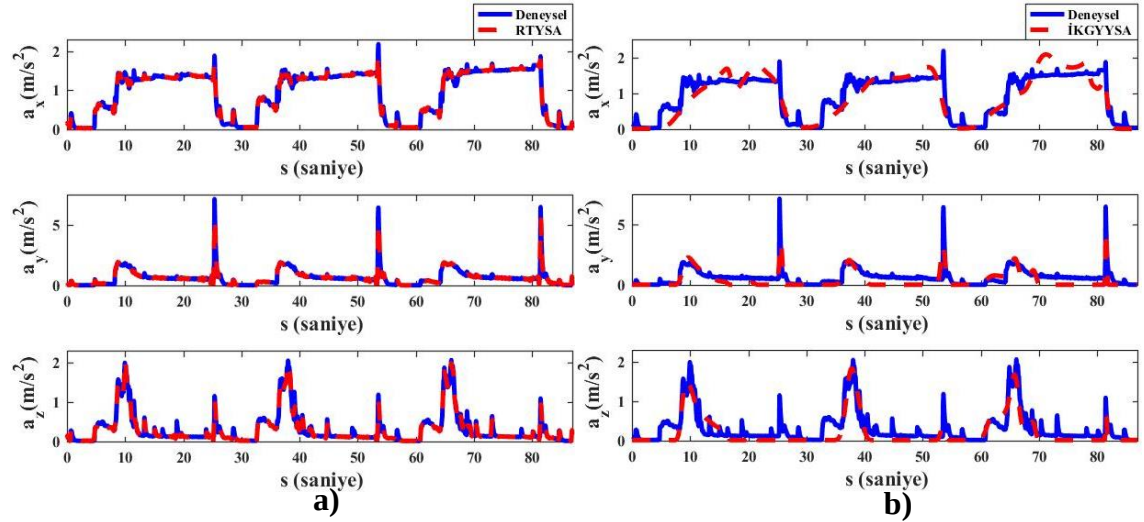
Şekil 3.72. a) BUP: 10 s, BUS: 14 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 14 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları

BUP değeri 10 s, BUS değeri 17 s ve B değeri 6.25 bar deney şartı ile elde edilen titreşim sonuçları Şekil 3.73'te, sadece B değerinin 12.5 bara çıkarılmasıyla gerçekleştirilen deney şartı Şekil 3.74'te verilmiştir. Her iki deney sonucunda da titreşim frekansında önemli artışlar meydana gelmiştir. Benzetim çalışmaları mukayese edildiğinde RTYSA

yapısının, İKGYSA yapısına göre tüm eksenlerde, titreşim verilerini tahmin etmede oldukça iyi performans gösterdiği görülmektedir.



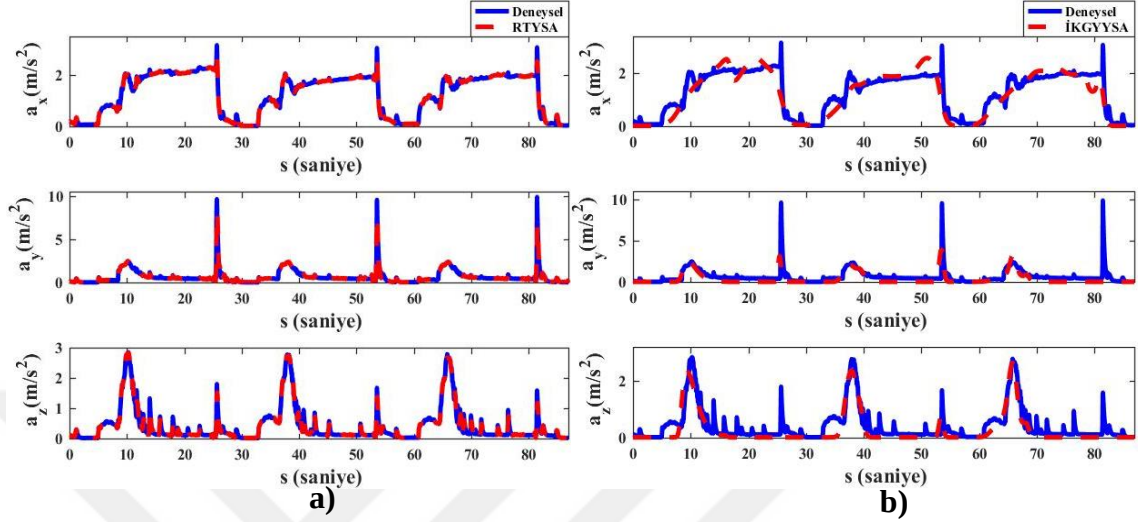
Şekil 3.73. a) BUP: 10 s, BUS: 17 s, B: 6.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 17 s, B: 6.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları



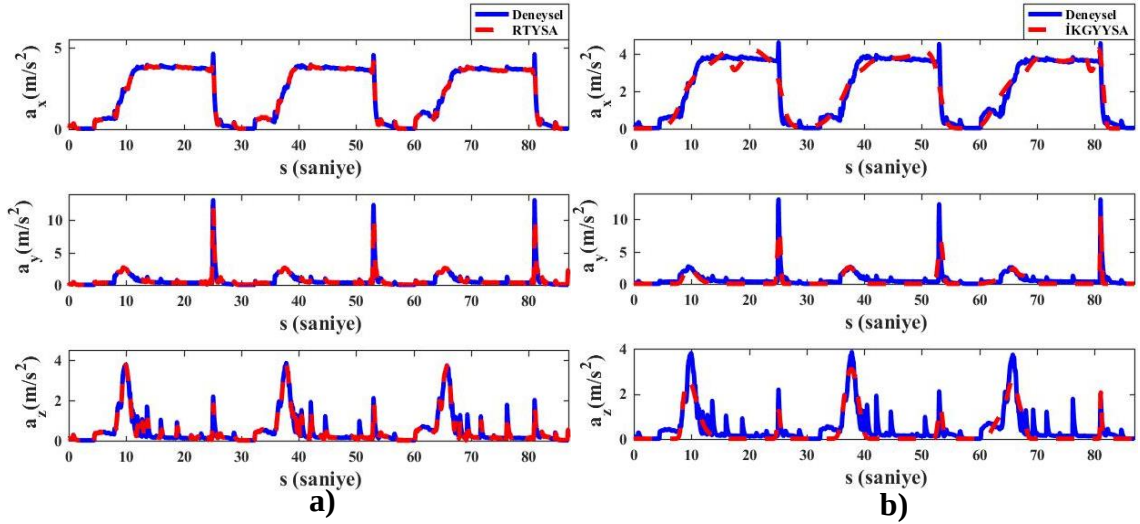
Şekil 3.74. a) BUP: 10 s, BUS: 17 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 17 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları

BUP, BUS ve B değerleri, sırasıyla, 10 s, 17 s ve 18.75 bar deney şartı ile elde edilen titreşim sonuçları Şekil 3.75'te, sadece B değerinin 25 bara çıkarılmasıyla gerçekleştirilen deney şartı Şekil 3.76'da verilmiştir. Her iki deneyde de y eksenlerinde meydana gelen tepe değerlerinin oldukça fazla olduğu gözlemlenmiştir. Benzetim çalışmaları dikkate

alındığında RTYSA yapısının, İKGYSA yapısına göre tüm eksenlerde, titreşim verilerini tahmin etmede daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir.



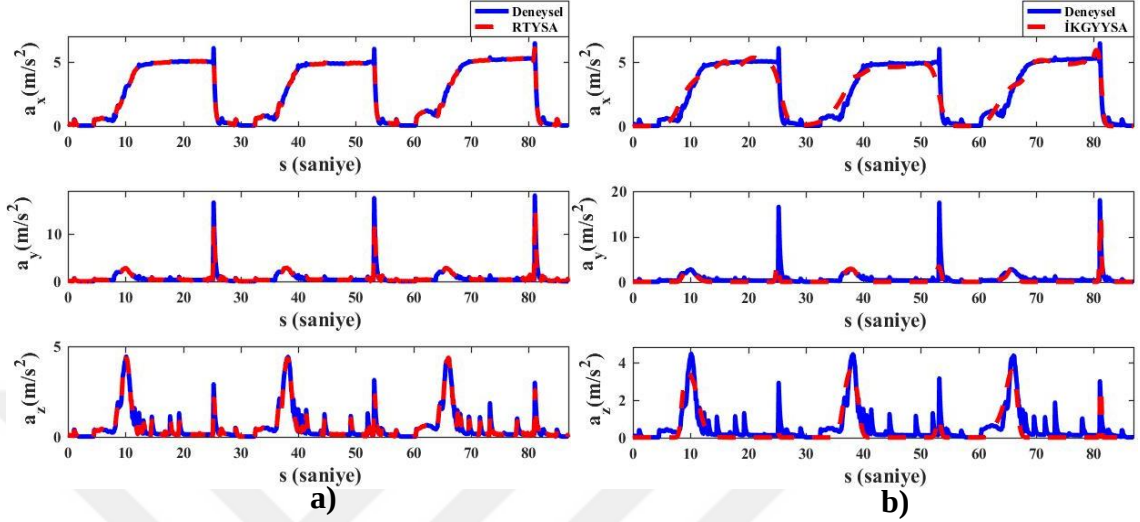
Şekil 3.75. a) BUP: 10 s, BUS: 17 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 17 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları



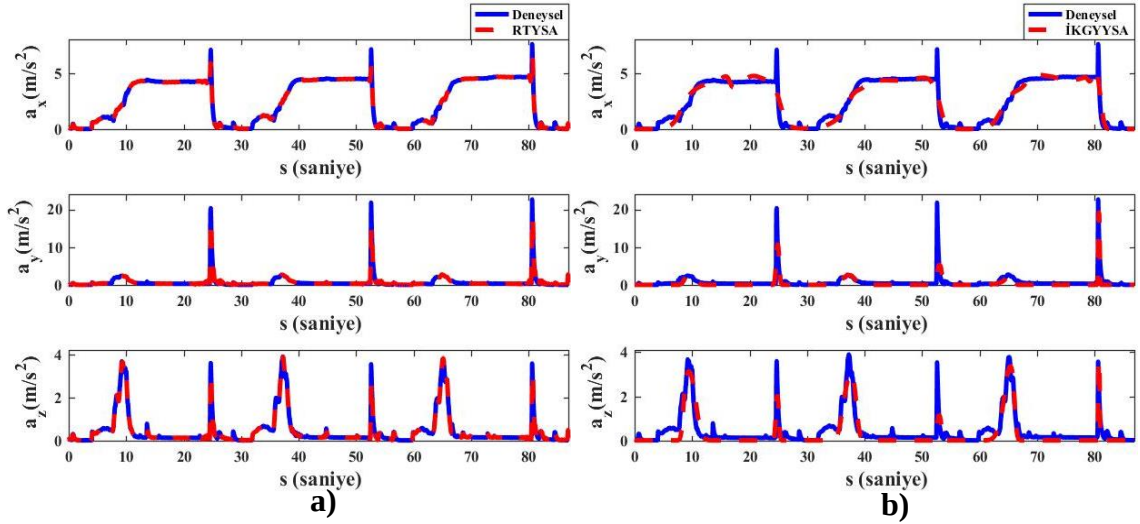
Şekil 3.76. a) BUP: 10 s, BUS: 17 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 17 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları

BUP değeri 10 s, BUS değeri 17 s ve B değeri 31.25 bar deney şartı ile elde edilen titreşim sonuçları Şekil 3.77'de, sadece B değerinin 37.5 bara çıkarılmasıyla gerçekleştirilen deney şartı Şekil 3.78'de verilmiştir. Her iki deneyde de titreşim genlikleri dikkate alındığında x ekseninde artan-sabit bir genlik, z ekseninde ise artan-azalan bir genlik

karakteristiği meydana geldiği gözlemlenmiştir. Benzetim sonuçlarına göre RTYSA yapısının, İKGYSA yapısına göre daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir.



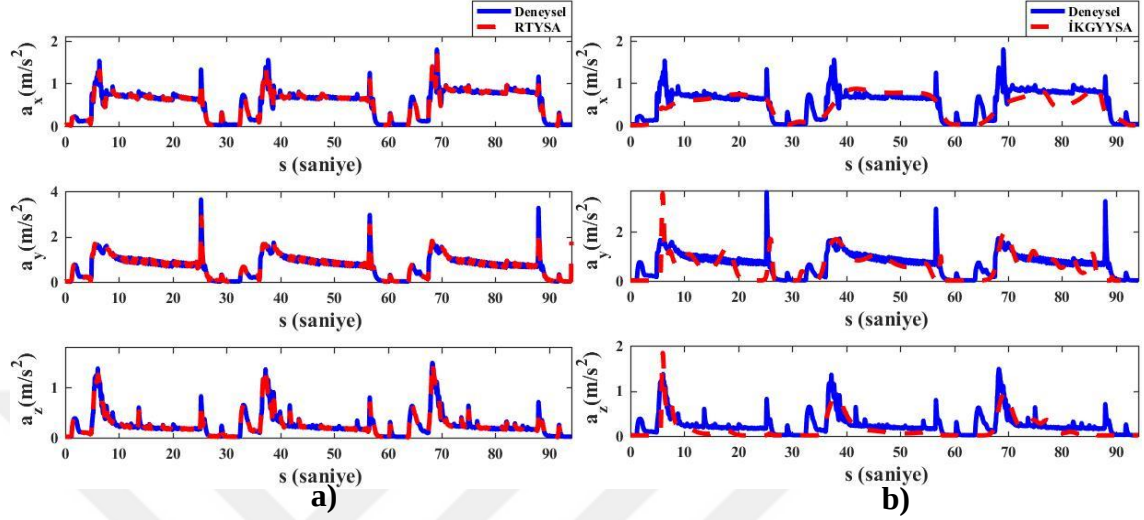
Şekil 3.77. a) BUP: 10 s, BUS: 17 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 17 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları



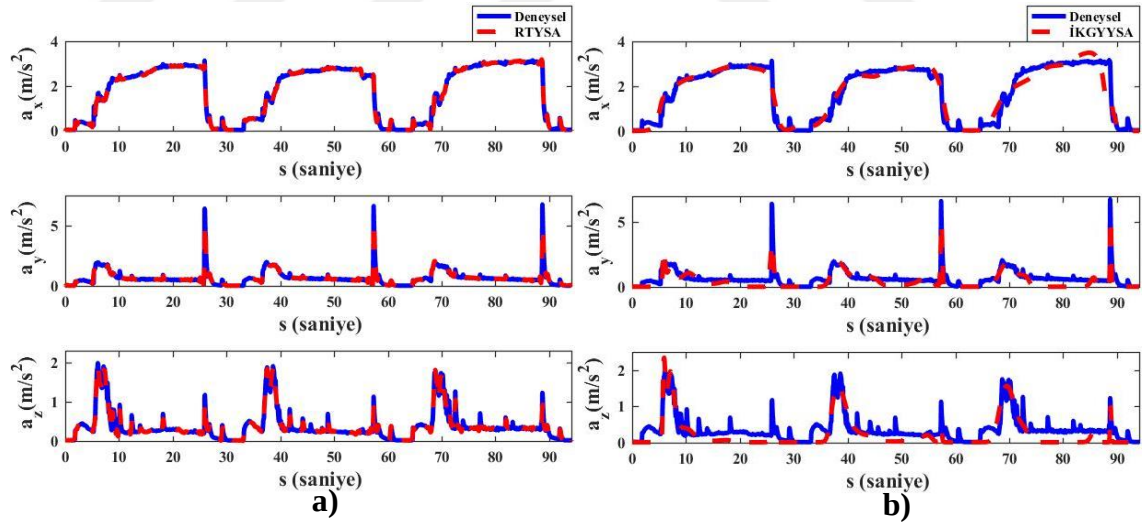
Şekil 3.78. a) BUP: 10 s, BUS: 17 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 17 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları

BUP, BUS ve B değerleri, sırasıyla, 10 s, 20 s ve 6.25 bar deney şartı ile elde edilen titreşim sonuçları Şekil 3.79'da, sadece B değerinin iki katına çıkarılmasıyla gerçekleştirilen deney şartı Şekil 3.80'de verilmiştir. Bu deney şartlarında en yüksek titreşim frekansı sonuçlarının elde edildiği gözlemlenmiştir. Benzetim çalışmaları dikkate

alındığında ise RTYSA yapısının, İKGYSA yapısına göre tüm eksenlerde, titreşim verilerini tahmin etmede daha iyi performans gösterdiği görülmektedir.



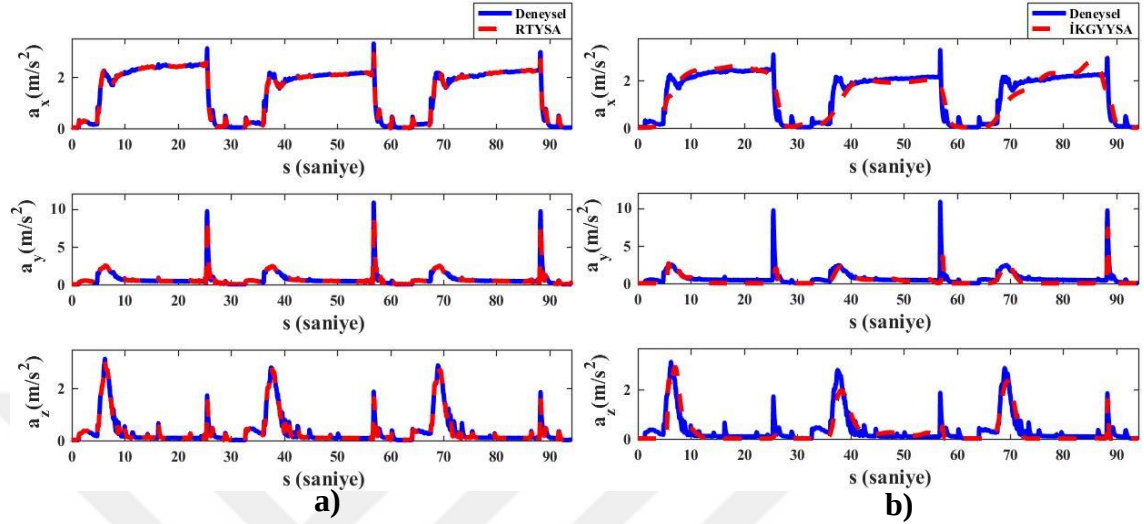
Şekil 3.79. a) BUP: 10 s, BUS: 20 s, B: 6.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 20 s, B: 6.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları



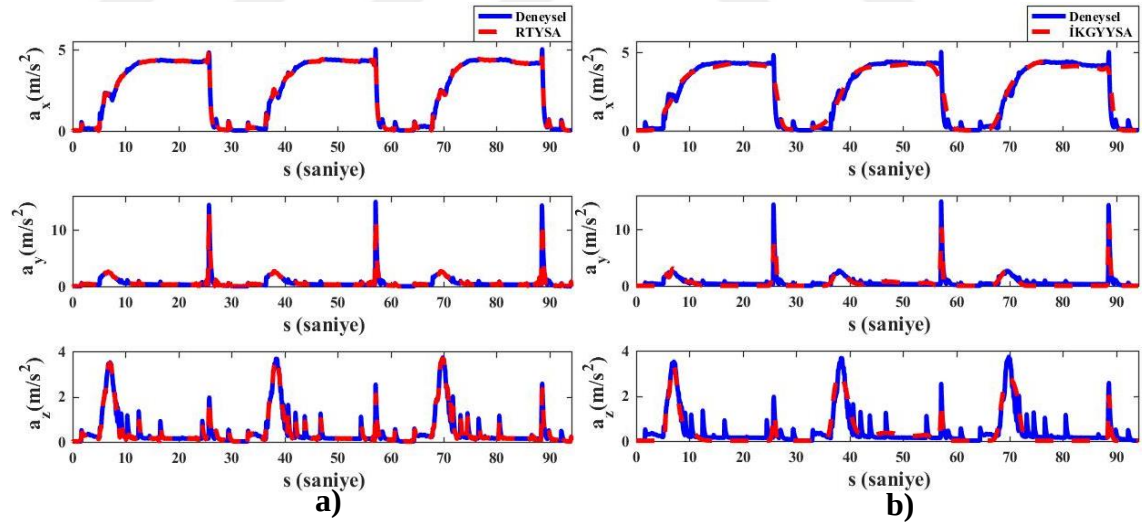
Şekil 3.80. a) BUP: 10 s, BUS: 20 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 20 s, B: 12.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları

BUP değeri 10 s, BUS değeri 20 s ve B değeri 18.75 bar deney şartı ile elde edilen titreşim sonuçları Şekil 3.81'de, sadece B değerinin 25 bara çıkarılmasıyla gerçekleştirilen deney şartı Şekil 3.82'de verilmiştir. Yaprak yay sisteminin titreşim karakteristiklerini tahmin etmede, Şekil 3.81 (a) ve Şekil 3.82 (a)'da verilen RTYSA yapısının, Şekil 3.81 (b) ve

Şekil 3.82 (b)'de verilen İKGYYSYA yapısına göre tüm eksenlerde daha iyi performans gösterdiği görülmektedir.



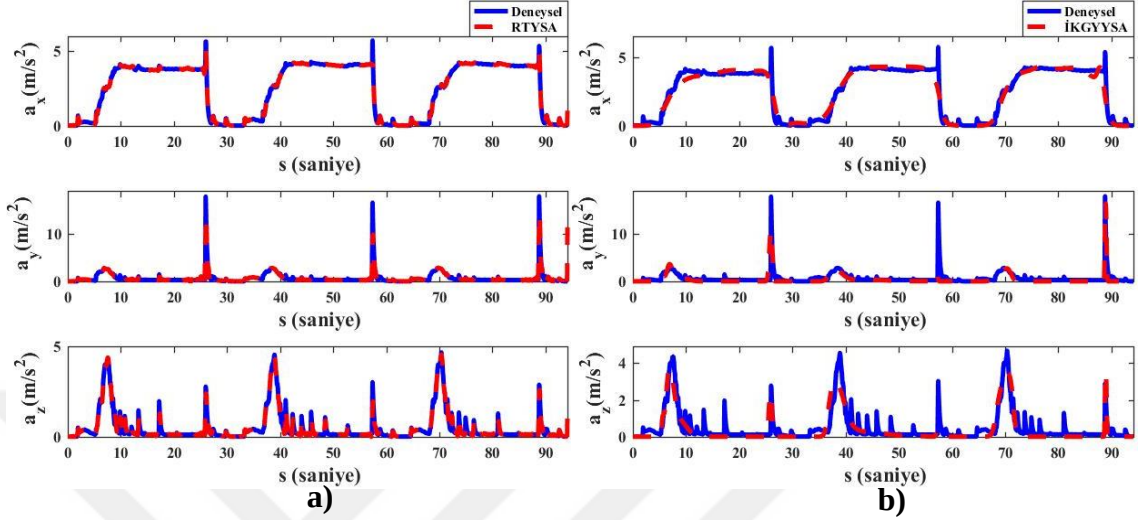
Şekil 3.81. a) BUP: 10 s, BUS: 20 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 20 s, B: 18.75 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları



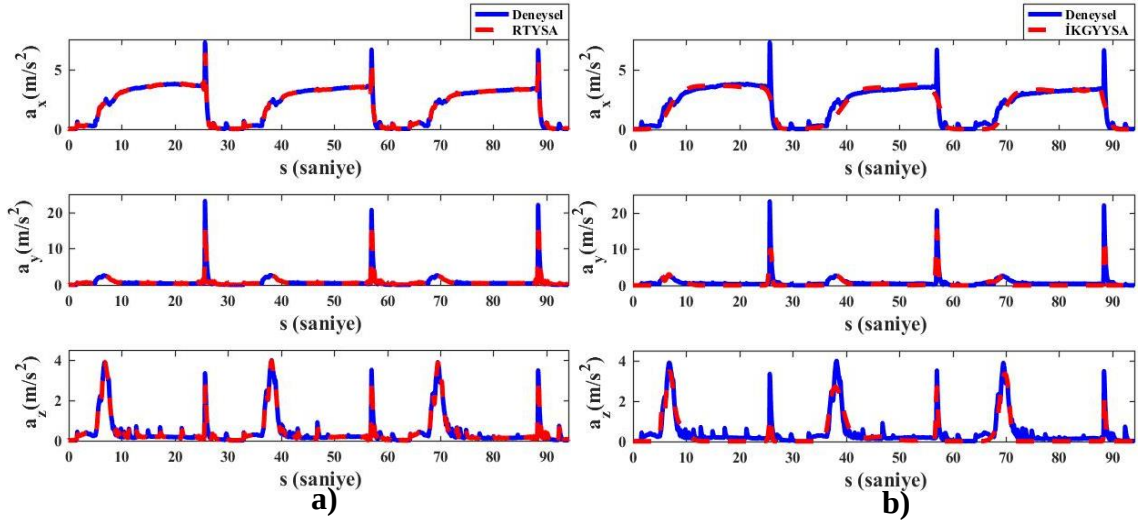
Şekil 3.82. a) BUP: 10 s, BUS: 20 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 20 s, B: 25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYYSYA sonuçları

BUP, BUS ve B değerleri, sırasıyla, 10 s, 20 s ve 31.25 bar deney şartı için elde edilen titreşim sonuçları Şekil 3.83'te, B değerinin 37.5 bara çıkarılmasıyla oluşan deney şartı Şekil 3.84'te verilmiştir. En yüksek şartlarda gerçekleştirilen deneyler sonucunda en yüksek titreşim frekansı gözlemlenirken tüm eksenler diğer çalışma şartlarında meydana

gelen titreşim genliği karakteristiklerini desteklemektedir. RTYSA yapısının, İKGYSA yapısına göre diğer sonuçlarda olduğu gibi daha iyi performans gösterdiği görülmektedir.



Şekil 3.83. a) BUP: 10 s, BUS: 20 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 20 s, B: 31.25 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları



Şekil 3.84. a) BUP: 10 s, BUS: 20 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RTYSA sonuçları, b) BUP: 10 s, BUS: 20 s, B: 37.5 bar çalışma koşullarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve İKGYSA sonuçları

Tablo 3.1. BUP: 5 s şartında gerçekleştirilen tüm benzetim çalışmalarının MSE sonuçları

Çalışma Koşulları			MSE Değerleri					
BUP (s)	BUS (s)	B (Bar)	RTYSA			İKGYSA		
			a_x	a_y	a_z	a_x	a_y	a_z
5	2	6.25	0.0309	0.1233	0.0112	0.0873	0.1428	0.0465
		12.5	0.0273	0.0659	0.0028	0.2940	0.4114	0.0893
		18.75	0.0157	0.1135	0.0040	0.1717	0.4016	0.1141
		25	0.0141	0.2011	0.0042	0.2310	1.1116	0.1441
		31.25	0.0379	0.6634	0.0090	0.4853	1.8873	0.2280
		37.5	0.0600	0.6789	0.0253	0.8349	4.3518	0.2787
	5	6.25	0.0125	0.0412	0.0107	0.2586	0.1606	0.0548
		12.5	0.0221	0.0278	0.0039	0.4343	0.3596	0.0839
		18.75	0.0365	0.1417	0.0063	0.5784	0.6679	0.0662
		25	0.0476	0.1526	0.0070	0.3404	0.6831	0.1285
		31.25	0.0579	0.4496	0.0289	0.3014	1.2845	0.4076
		37.5	0.0414	0.4253	0.0144	0.4122	1.3860	0.2301
	8	6.25	0.0033	0.0094	0.0044	0.2142	0.1992	0.0780
		12.5	0.0050	0.0382	0.0065	0.2047	0.2461	0.0532
		18.75	0.0051	0.0683	0.0060	0.1109	0.3253	0.0406
		25	0.0156	0.1743	0.0171	0.1177	0.7818	0.1219
		31.25	0.0177	0.2823	0.0199	0.3438	1.0002	0.1940
		37.5	0.0213	0.5951	0.0353	0.3481	1.2972	0.2869
	11	6.25	0.0030	0.0054	0.0021	0.1627	0.3854	0.0575
		12.5	0.0050	0.0240	0.0030	0.1324	0.2255	0.0600
		18.75	0.0055	0.1022	0.0096	0.1303	0.4312	0.0641
		25	0.0083	0.1627	0.0134	0.1183	0.6916	0.1087
		31.25	0.0081	0.2411	0.0141	0.1631	1.8315	0.1643
		37.5	0.0118	0.3629	0.0113	0.2172	1.5633	0.1404
	14	6.25	0.0032	0.0066	0.0019	0.1016	0.2518	0.0473
		12.5	0.0035	0.0626	0.0031	0.1172	0.2933	0.0531
		18.75	0.0048	0.0874	0.0058	0.0867	0.4828	0.0530
		25	0.0037	0.1323	0.0122	0.0745	0.5204	0.0969
		31.25	0.0051	0.2125	0.0108	0.1821	0.8758	0.1014
		37.5	0.0103	0.3383	0.0066	0.1358	0.8461	0.0709
	17	6.25	0.0068	0.0244	0.0072	0.1054	0.2261	0.0552
		12.5	0.0052	0.0437	0.0062	0.3328	0.4692	0.1143
		18.75	0.0107	0.1769	0.0097	0.1361	0.3946	0.0701
		25	0.0063	0.1153	0.0118	0.1444	0.6387	0.0791
		31.25	0.0071	0.2727	0.0161	0.1237	1.4735	0.1609
		37.5	0.0091	0.3649	0.0075	0.1566	1.6301	0.1289
	20	6.25	0.0022	0.0072	0.0026	0.1063	0.1848	0.0410
		12.5	0.0089	0.0505	0.0105	0.2429	0.4175	0.1111
		18.75	0.0043	0.0665	0.0067	0.1421	0.3510	0.0801
		25	0.0040	0.0997	0.0085	0.1060	0.5937	0.0938
		31.25	0.0066	0.2702	0.0173	0.1188	0.8349	0.1290
		37.5	0.0174	0.4461	0.0206	0.1782	1.0793	0.1174

Tablo 3.2. BUP: 5 s şartında gerçekleştirilen tüm benzetim çalışmalarının R^2 sonuçları

Çalışma Koşulları			R^2 Değerleri					
BUP (s)	BUS (s)	B (Bar)	RTYSA			İKGYSA		
			a_x	a_y	a_z	a_x	a_y	a_z
5	2	6.25	0.9236	0.6773	0.9281	0.7848	0.6265	0.7017
		12.5	0.9658	0.9199	0.9895	0.6311	0.4998	0.6655
		18.75	0.9802	0.9081	0.9913	0.7838	0.6750	0.7517
		25	0.9822	0.9061	0.9928	0.7097	0.4809	0.7493
		31.25	0.9650	0.7805	0.9882	0.5522	0.3756	0.7004
		37.5	0.9545	0.8894	0.9368	0.3672	0.2908	0.3051
	5	6.25	0.9802	0.8041	0.8939	0.5894	0.2353	0.4550
		12.5	0.9716	0.9324	0.9663	0.4427	0.1248	0.2772
		18.75	0.9626	0.7737	0.9624	0.4070	0.1990	0.6045
		25	0.9418	0.8827	0.9717	0.5835	0.4747	0.4765
		31.25	0.9292	0.8050	0.9628	0.6316	0.4429	0.4758
		37.5	0.9459	0.8475	0.9729	0.4617	0.5029	0.5676
	8	6.25	0.9843	0.9600	0.9478	0.3230	0.1551	0.0807
		12.5	0.9954	0.9099	0.9454	0.8090	0.4199	0.5564
		18.75	0.9881	0.8891	0.9473	0.7419	0.4717	0.6425
		25	0.9848	0.8802	0.9707	0.8857	0.4626	0.7912
		31.25	0.9918	0.8961	0.9669	0.8413	0.6318	0.6771
		37.5	0.9889	0.8811	0.9084	0.8194	0.7408	0.2553
	11	6.25	0.9859	0.9822	0.9696	0.4260	0.2740	0.3530
		12.5	0.9941	0.9244	0.9736	0.8448	0.2895	0.4789
		18.75	0.9971	0.8972	0.9741	0.9305	0.5663	0.8264
		25	0.9955	0.9010	0.9779	0.9361	0.5794	0.8207
		31.25	0.9960	0.8966	0.9799	0.9203	0.2144	0.7661
		37.5	0.9940	0.8897	0.9727	0.8895	0.5249	0.6605
	14	6.25	0.9506	0.9726	0.9649	0.0674	0.4040	0.3970
		12.5	0.9979	0.8874	0.9802	0.9304	0.4724	0.6575
		18.75	0.9974	0.9100	0.9794	0.9522	0.5026	0.8108
		25	0.9979	0.9074	0.9727	0.9582	0.6360	0.7825
		31.25	0.9976	0.9000	0.9815	0.9130	0.5882	0.8257
		37.5	0.9954	0.8861	0.9854	0.9394	0.7151	0.8443
	17	6.25	0.88418	0.9474	0.8981	0.0496	0.6220	0.3920
		12.5	0.9966	0.9105	0.9589	0.7817	0.0388	0.2396
		18.75	0.9932	0.8062	0.9613	0.9143	0.5677	0.7193
		25	0.9974	0.9006	0.9579	0.9401	0.4493	0.7174
		31.25	0.9970	0.8487	0.9652	0.9482	0.1822	0.6529
		37.5	0.9962	0.8826	0.9796	0.9353	0.4755	0.6486
	20	6.25	0.9592	0.9799	0.9515	0.0572	0.6130	0.4410
		12.5	0.9941	0.8883	0.9369	0.8401	0.0756	0.3323
		18.75	0.9971	0.9125	0.9671	0.9047	0.5385	0.6064
		25	0.9970	0.8956	0.9670	0.9203	0.3782	0.6375
		31.25	0.9962	0.8423	0.9622	0.9314	0.5126	0.7181
		37.5	0.9903	0.8368	0.9508	0.9006	0.6051	0.7198

Tablo 3.3. BUP: 10 s şartında gerçekleştirilen tüm benzetim çalışmalarının MSE sonuçları

Çalışma Koşulları			MSE Değerleri					
BUP (s)	BUS (s)	B (Bar)	RTYSA			İKGYSA		
			a_x	a_y	a_z	a_x	a_y	a_z
10	2	6.25	0.0065	0.0336	0.0076	0.1863	0.2601	0.0618
		12.5	0.0082	0.0808	0.0193	0.1279	0.5657	0.1356
		18.75	0.0175	0.1806	0.0265	0.2104	0.7081	0.1132
		25	0.0110	0.2171	0.0141	0.1725	1.0656	0.1622
		31.25	0.0119	0.2953	0.0185	0.1774	1.3991	0.2126
		37.5	0.0097	0.2909	0.0116	0.2282	1.5858	0.2524
	5	6.25	0.0047	0.0218	0.0125	0.0611	0.3782	0.0846
		12.5	0.0111	0.0523	0.0124	0.2924	0.9482	0.2249
		18.75	0.0102	0.1214	0.0074	0.1448	0.6720	0.0725
		25	0.0080	0.1993	0.0146	0.1459	1.3372	0.0863
		31.25	0.0135	0.3962	0.0209	0.2303	2.4111	0.1594
		37.5	0.0261	0.6523	0.0227	0.2864	3.3286	0.4107
	8	6.25	0.0036	0.0060	0.0016	0.0889	0.2639	0.0557
		12.5	0.0024	0.0168	0.0023	0.0850	0.2186	0.0670
		18.75	0.0073	0.0720	0.0099	0.3021	0.9548	0.2270
		25	0.0045	0.1941	0.0098	0.1438	1.1160	0.2069
		31.25	0.0050	0.3711	0.0122	0.3135	1.4260	0.2014
		37.5	0.0080	0.4184	0.0085	0.2400	2.1333	0.1364
	11	6.25	0.0025	0.0044	0.0019	0.0581	0.6094	0.0847
		12.5	0.0033	0.0602	0.0036	0.1022	0.6169	0.0704
		18.75	0.0032	0.0966	0.0069	0.1397	0.3685	0.0747
		25	0.0033	0.1359	0.0063	0.2001	0.6264	0.0904
		31.25	0.0076	0.3078	0.0118	0.2277	0.7517	0.1246
		37.5	0.0141	0.4614	0.0090	0.3372	1.2044	0.1283
	14	6.25	0.0013	0.0089	0.0013	0.0800	0.5315	0.0511
		12.5	0.0017	0.0307	0.0027	0.0626	0.3663	0.0606
		18.75	0.0017	0.0928	0.0038	0.0853	0.3690	0.0608
		25	0.0023	0.1044	0.0080	0.1239	0.4609	0.0904
		31.25	0.0063	0.1994	0.0127	0.1259	0.6335	0.1603
		37.5	0.0106	0.3370	0.0072	0.2017	1.2059	0.1400
	17	6.25	0.0012	0.0080	0.0008	0.0611	0.3520	0.0612
		12.5	0.0012	0.0275	0.0027	0.0770	0.2615	0.0492
		18.75	0.0019	0.0548	0.0051	0.1078	0.5886	0.0869
		25	0.0026	0.0982	0.0110	0.1434	0.4274	0.1214
		31.25	0.0053	0.2120	0.0155	0.2629	1.0770	0.1757
		37.5	0.0097	0.2648	0.0070	0.1998	1.1883	0.1042
	20	6.25	0.0016	0.0067	0.0010	0.0528	0.1886	0.0402
		12.5	0.0017	0.0253	0.0026	0.0913	0.1801	0.0583
		18.75	0.0020	0.0576	0.0037	0.1036	0.5278	0.0890
		25	0.0033	0.1668	0.0112	0.1111	0.3495	0.0814
		31.25	0.0064	0.2768	0.0148	0.1198	1.0324	0.1752
		37.5	0.0096	0.2683	0.0079	0.1948	0.7609	0.0817

Tablo 3.4. BUP: 10 s şartında gerçekleştirilen tüm benzetim çalışmalarının R^2 sonuçları

Çalışma Koşulları			R^2 Değerleri					
BUP (s)	BUS (s)	B (Bar)	RTYSA			İKGYSA		
			a_x	a_y	a_z	a_x	a_y	a_z
10	2	6.25	0.9690	0.9364	0.9594	0.1106	0.5074	0.6696
		12.5	0.9787	0.9280	0.9607	0.6694	0.4951	0.7240
		18.75	0.9658	0.9034	0.9617	0.5901	0.6214	0.8363
		25	0.9818	0.9181	0.9830	0.7146	0.5979	0.8042
		31.25	0.9823	0.9028	0.9795	0.7364	0.5395	0.7644
		37.5	0.9832	0.9218	0.9865	0.6039	0.5736	0.7045
	5	6.25	0.9762	0.9657	0.9190	0.6900	0.4051	0.4496
		12.5	0.9616	0.9428	0.9431	0.2560	0.2010	0.1890
		18.75	0.9768	0.9202	0.9808	0.6693	0.5581	0.8106
		25	0.9903	0.9091	0.9764	0.8230	0.3899	0.8601
		31.25	0.9898	0.9002	0.9759	0.8265	0.3929	0.8158
		37.5	0.9770	0.8867	0.9695	0.7479	0.4219	0.4495
	8	6.25	0.9656	0.9804	0.9813	0.1398	0.1379	0.3322
		12.5	0.9890	0.9596	0.9890	0.6129	0.4744	0.6773
		18.75	0.9877	0.9355	0.9836	0.4924	0.1442	0.6216
		25	0.9968	0.8964	0.9881	0.8972	0.4043	0.7471
		31.25	0.9982	0.8616	0.9867	0.8847	0.4680	0.7800
		37.5	0.9966	0.8852	0.9848	0.8977	0.4147	0.7539
	11	6.25	0.9628	0.9887	0.9772	0.5060	0.1210	0.3120
		12.5	0.9907	0.9056	0.9869	0.7121	0.0326	0.7446
		18.75	0.9976	0.9124	0.9872	0.8959	0.6658	0.8613
		25	0.9987	0.9045	0.9894	0.9190	0.5598	0.8476
		31.25	0.9975	0.8762	0.9872	0.9240	0.6976	0.8644
		37.5	0.9937	0.8915	0.9877	0.8493	0.7168	0.8244
	14	6.25	0.9847	0.9766	0.9799	0.4090	0.3300	0.6160
		12.5	0.9967	0.9399	0.9853	0.8769	0.2828	0.6702
		18.75	0.9984	0.8881	0.9851	0.9210	0.5552	0.7602
		25	0.9987	0.9162	0.9822	0.9287	0.6298	0.7988
		31.25	0.9959	0.9056	0.9843	0.9179	0.7000	0.8014
		37.5	0.9942	0.9004	0.9884	0.8894	0.6437	0.7729
	17	6.25	0.9858	0.9685	0.9855	0.5080	0.3670	0.3250
		12.5	0.9965	0.9347	0.9832	0.7697	0.3798	0.6899
		18.75	0.9971	0.9265	0.9857	0.8286	0.2112	0.7544
		25	0.9990	0.9215	0.9805	0.9451	0.6582	0.7835
		31.25	0.9990	0.8886	0.9797	0.9453	0.4342	0.7701
		37.5	0.9974	0.9097	0.9874	0.9468	0.5949	0.8131
	20	6.25	0.9854	0.9689	0.9810	0.5045	0.1230	0.2689
		12.5	0.9988	0.9319	0.9808	0.9352	0.5147	0.5650
		18.75	0.9977	0.9242	0.9893	0.8848	0.3054	0.7424
		25	0.9990	0.8764	0.9801	0.9677	0.7410	0.8548
		31.25	0.9979	0.8456	0.9807	0.9613	0.4242	0.7712
		37.5	0.9956	0.8987	0.9862	0.9101	0.7127	0.8579

Şu ana kadar verilen simülasyon sonuçlarından İKGYYSYA algoritmasının hidrolik pistonun hareket ettiği y eksenı boyunca elde edilen bazı deneysel sonuçları tahmin etmedeki performansının belirli çalışma koşulları için yetersiz olduğu görülmüştür. Ayrıca, CFBANN algoritmasının, her biri anlık bir titreşim değeri temsil eden yaprak yay sistemi üzerinde oluşan tepe değerlerinin tahmin edilmesindeki performansının genel olarak yetersiz olduğu görülmektedir. RTYSA modelinin İKGYYSYA modeline göre tüm çalışma koşullarında daha kararlı bir davranış sergilediği ve deneysel sonuçları daha yüksek doğrulukla tahmin ettiği ifade edilebilir. Diğer taraftan, deneysel sonuçlar incelendiğinde yaprak yay sistemine uygulanan basınç miktarının x, y ve z eksenlerinde meydana gelen titreşim genlikleri üzerinde doğrudan etkisinin olduğu ifade edilebilir.

RTYSA ve İKGYYSYA yapılarının farklı çalışma koşullarındaki ortalama karesel hata (MSE) performansları (a_x , a_y ve a_z) açısından analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 3.1 ve Tablo 3.3'te ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Görüldüğü gibi RTYSA yapısı, İKGYYSYA yapısına göre tüm çalışma koşulları için daha iyi sonuçlar üretmektedir.

Geliştirilen YSA ağ yapılarının istatistiksel performanslarını istatistiksel olarak elde etmek amacıyla belirleme katsayısı (R^2) analizleri de gerçekleştirilmiştir. R^2 , regresyon çizgisinin gerçek verilere ne kadar yakın olduğunun istatistiksel bir ölçüsüdür. Bu nedenle, R^2 analizi, gelecekteki sonuçları tahmin etmek için istatistiksel bir model kullanıldığında önemlidir. R^2 'nin matematiksel ifadesi Eşitlik 1 ile verilmiştir.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2} \quad (1)$$

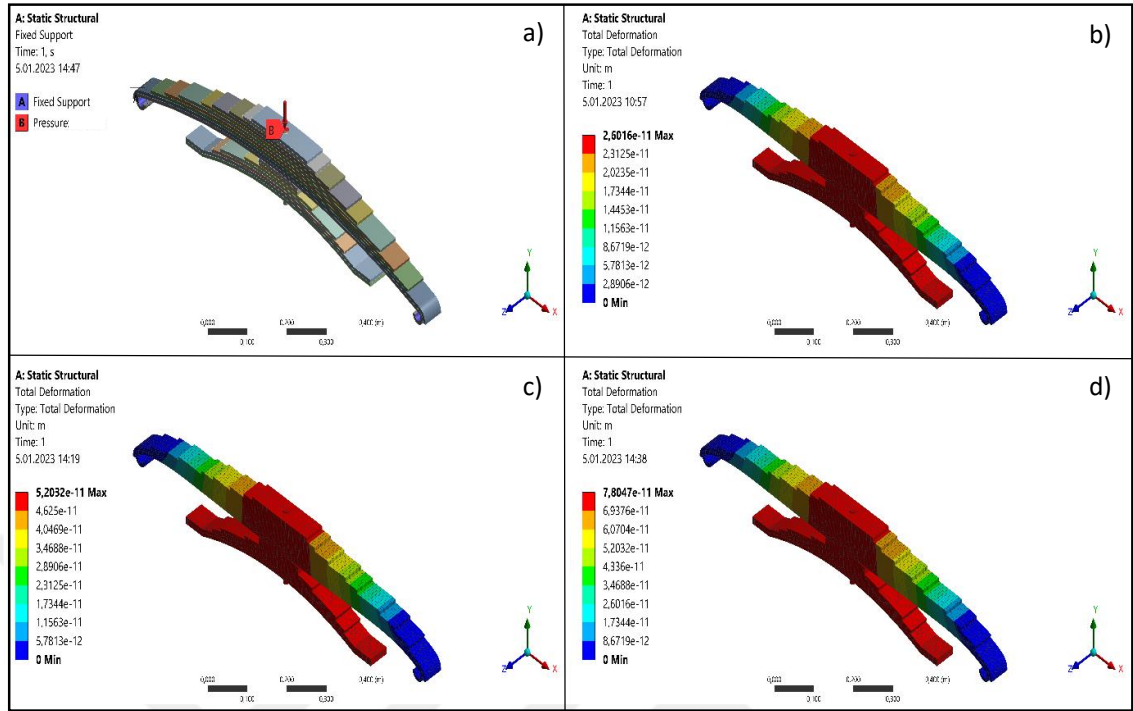
burada; y_i deneysel olarak elde edilen değerleri, $\hat{y}_i$ regresyon denkleminde hesaplanan değerleri ve son olarak $\bar{y}$ deneysel verilerin ortalama değeri olarak tanımlanabilir. R^2 parametresi [0,1] aralığında değerler almakta olup, R^2 değerinin yüksek olması modelin başarısını kanıtlamaktadır. Tablo 3.2 ve Tablo 3.4'te görüldüğü gibi RTYSA, İKGYYSYA'ya göre R^2 açısından daha yüksek istatistiksel performans üretmektedir. Sonuç olarak, RTYSA'nın kararlılığının ve sağlamlığının, deneysel verileri modellemek için oldukça yeterli olduğu vurgulanabilir.

3.2 ANSYS Tabanlı Modal Analiz ve Toplam Deformasyon Sonuçları

Dinamik sistemlerin tasarım sürecinde maksimum verimliliğe ulaşmak için, gerçek tasarımdan önce modal analizlerin gerçekleştirilmesi son derece önemlidir. Tez çalışmasının bu bölümünde, öncelikle 10-7, 10-5 ve 8-7 yaprak yay yapılarının belirlenen bölgelerine 12.5, 25 ve 37.5 pascal basınç değerleri uygulanmış ve oluşan toplam deformasyonlar ANSYS yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Ayrıca, her bir yaprak yay yapısının basınca bağlı olarak meydana gelen ön gerilmeler karşısındaki tepkisi ayrı ayrı analiz edilmiştir. Daha sonra, bir yaprak yay sisteminde ANSYS tabanlı modal analizler gerçekleştirilerek, sistem çıkışında genlik bozulmalarının meydana gelmeye başladığı anlık frekans değerleri belirlenmiştir.

Bu analizler sırasında, basınç değerlerinin artışı ile ortaya çıkan deformasyonların yaprak yay sistemlerinin mekanik dayanıklılığı üzerindeki etkileri detaylı olarak incelenmiştir. Basınç değerleri arttıkça, yaprak yayların malzeme yorulma sınırlarına yaklaştığı ve bu durumun, uzun vadeli kullanımda yapısal bütünlüğün korunması açısından kritik bir rol oynadığı gözlemlenmiştir.

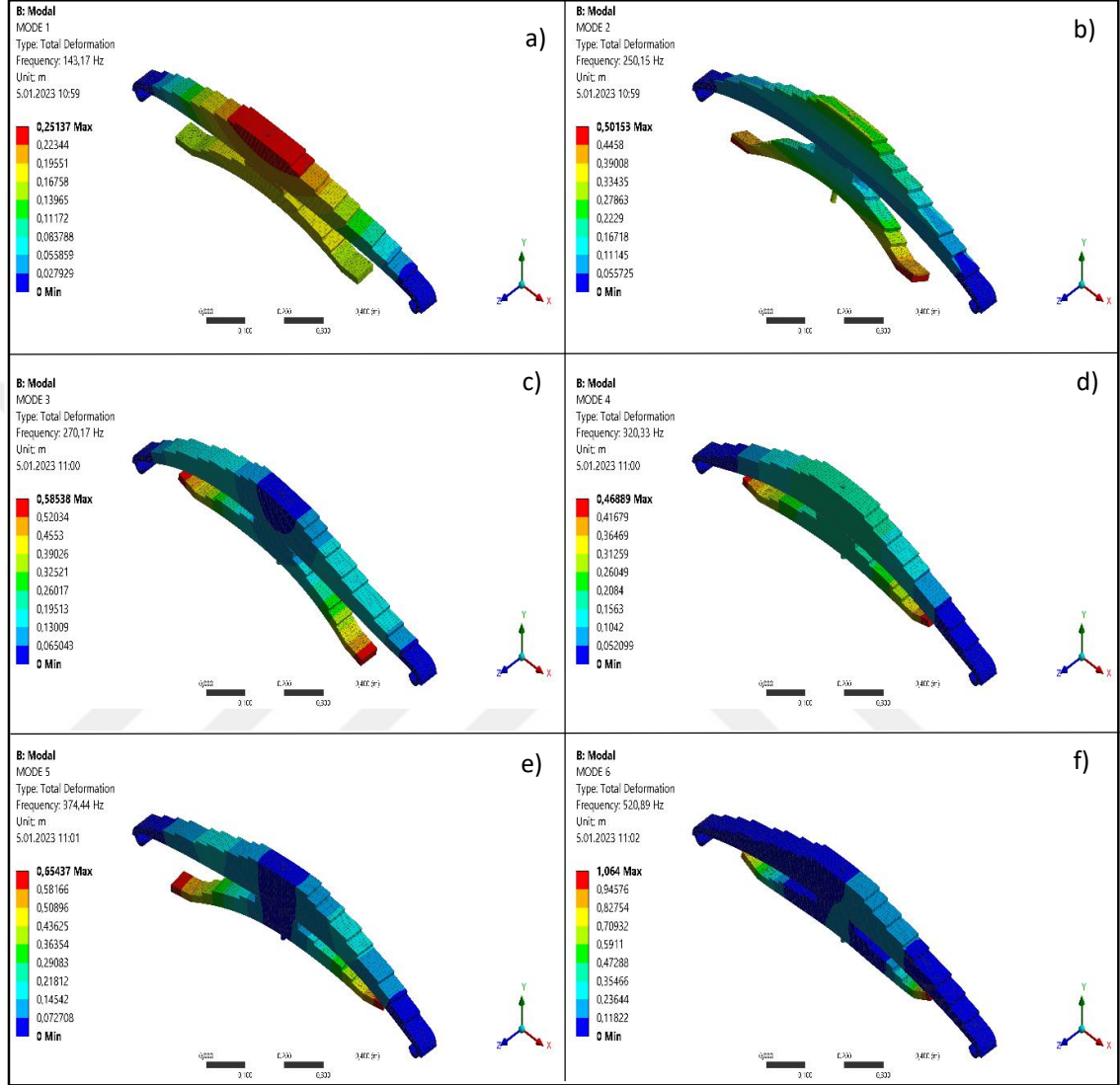
Şekil 3.85 (a), tasarlanan 10-7 yaprak yay yapısının basınç uygulanan bölgesi ile sabit destek bölgelerini göstermektedir. 12.5 pascal basınç değeri için yaprak yay sisteminin toplam deformasyon karakteristiği Şekil 3.85 (b)'de verilmiştir. 12.5 pascal basınç değeri sonucunda ortaya çıkan ön gerilmelerin, özellikle basınç uygulanan bölgede ve alt yaprak yay sisteminde, maksimum yer değiştirmeye neden olduğu görülmektedir. Şekil 3.85 (c), 25 pascal basınç değeri için elde edilen sonuçları göstermektedir. Sonuçlar, basınç değeri başlangıç basıncının iki katına çıkarıldığında, yaprak yay sistemini etkileyen maksimum yer değiştirme değerinin de orantılı olarak arttığını göstermektedir. Son olarak, 37.5 pascal basınç değeri için elde edilen ANSYS sonucu Şekil 3.85 (d)'de verilmiştir. Sonuçlardan, basınç değeri en yüksek değer olan 37.5 pascala çıkarıldığında, maksimum yer değiştirme değerinin yaklaşık olarak başlangıç deformasyon değerinin üç katı kadar arttığı ifade edilebilir.



Şekil 3.85. 10-7 yaprak yay sisteminin basınç bölgeleri ve toplam deformasyon sonuçları. a) Basınç uygulanan bölge ve sabit destek bölgeleri, b) 12.5 Pa için elde edilen deformasyon sonuçları, c) 25 Pa için elde edilen deformasyon sonuçları, d) 37.5 Pa için elde edilen deformasyon sonuçları

10-7 yaprak yay sistemi için elde edilmiş olan ANSYS tabanlı modal analiz sonuçları Şekil 3.86'da gösterilmiştir. Simülasyonlar altı farklı mod için gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.86 (a)'da verilen Mod 1 modal analiz sonucunda, ilgili yaprak yay yapısının rezonans frekansının 143.17 Hz olduğu görülmektedir. Ayrıca, deformasyonların özellikle yaprak yay sisteminin üst kısmında yoğunlaştığı da gözlemlenmektedir. Rezonans frekansının 250.15 Hz olarak elde edildiği Mod 2 analiz sonucunda, olası deformasyonların özellikle alt yaprak yay sisteminin kenar bölgelerinde yoğunlaşacağı belirlenmiştir. Şekil 3.86 (c)'de verilen ve rezonans frekansı 270.17 Hz olan Mod 3 analiz sonucuna bakıldığında, ilgili mod yapısında deformasyonların özellikle alt yaprak yay sisteminde meydana geleceği söylenebilir. Şekil 3.86 (d)'de gösterilen Mod 4 analizinde rezonans frekansı 320.33 Hz olarak elde edilmiştir. Ayrıca, orta yoğunlukta deformasyonların üst ve alt yaprak yay sistemlerinde, daha yüksek yoğunlukta deformasyonların ise alt yaprak yay sisteminin kenar bölgelerinde ortaya çıkacağı gözlemlenmiştir. Son olarak, Şekil 3.86 (e) ve Şekil 3.86 (f) sırasıyla Mod 5 ve Mod 6 analiz sonuçlarını göstermekte olup, rezonans frekans değerleri sırasıyla 374.44 Hz ve 520.89 Hz olarak elde edilmiştir. Mod 5 ve Mod

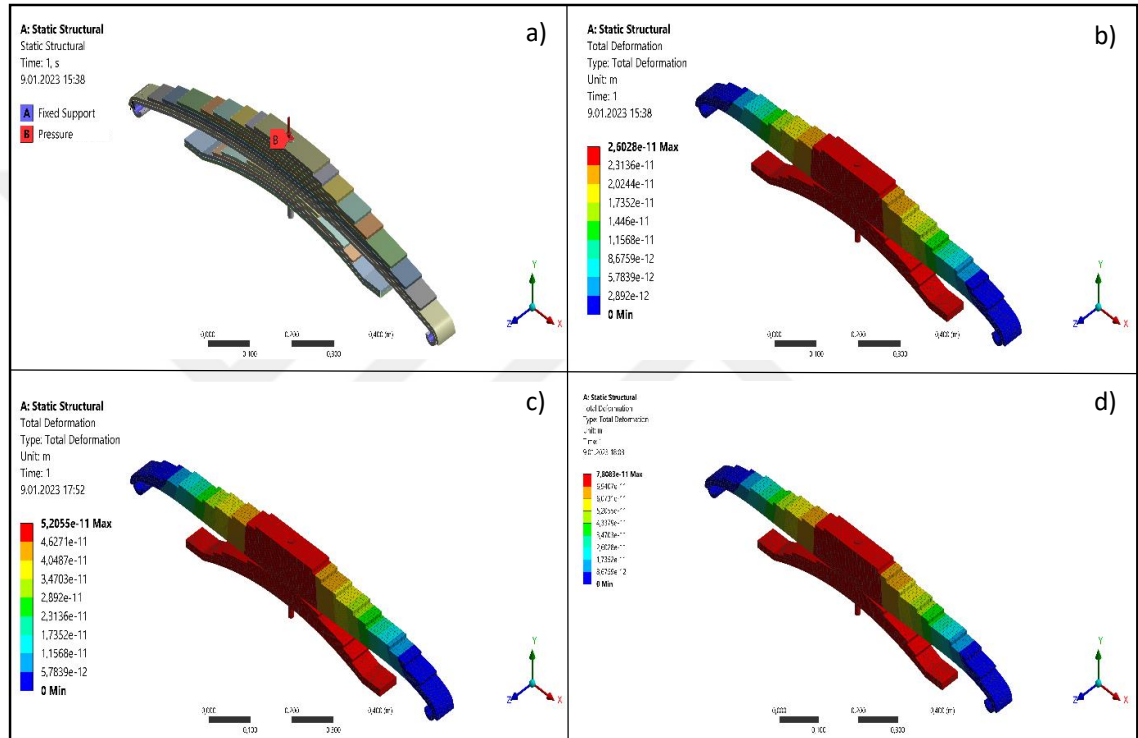
6'ya karşılık gelen yaprak yay sistem yapılarında, deformasyonların sıkça alt yaprak yay sistemlerinde meydana geleceği görülmüştür.



Şekil 3.86. 10-7 yaprak yay sisteminin modal analiz sonuçları. a) Mod 1, b) Mod 2, c) Mod 3, d) Mod 4, e) Mod 5, f) Mod 6

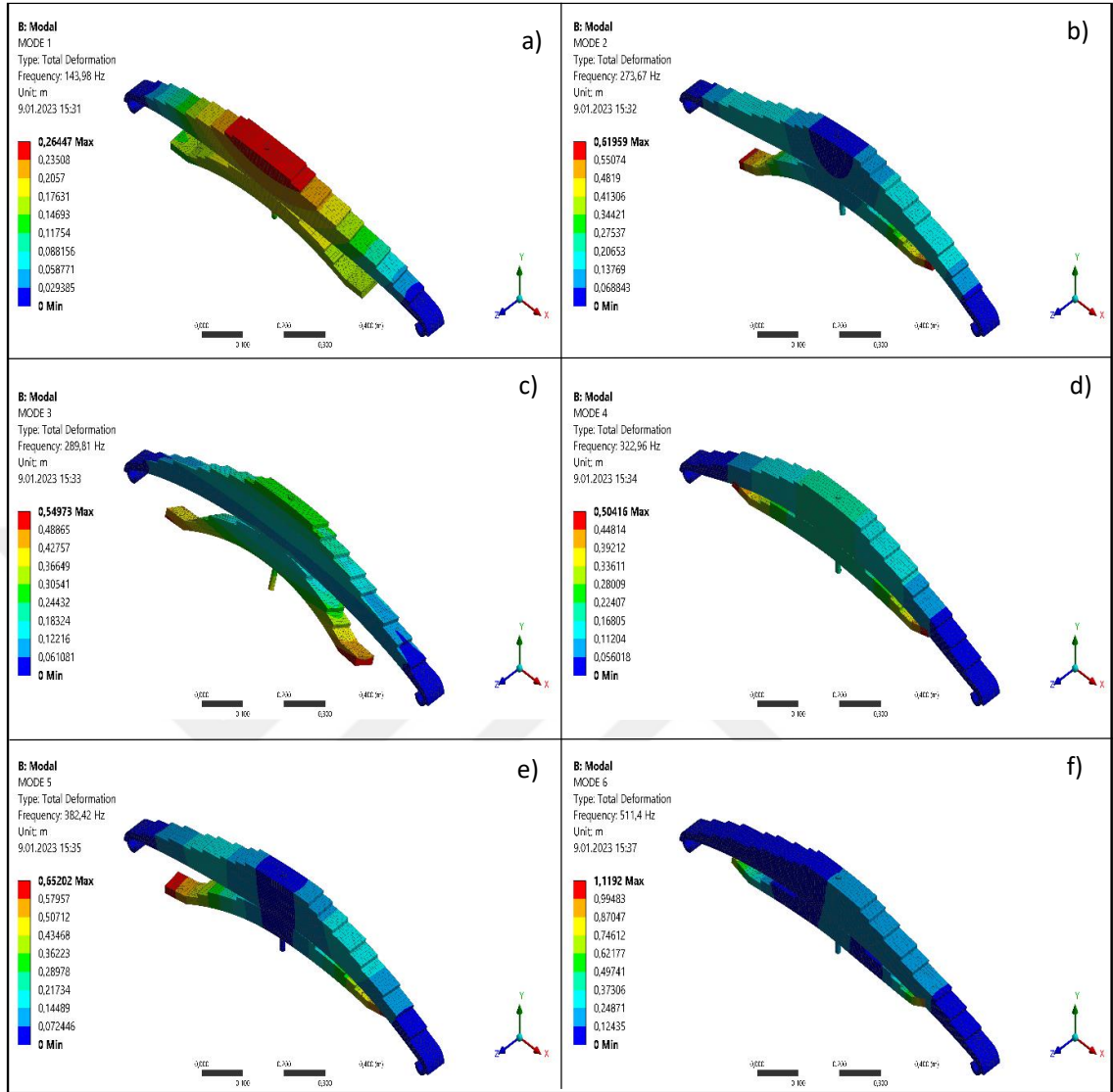
Bu tez çalışmasında analiz edilen ikinci yaprak yay sistemi, alt yaprak yay sistemindeki yaprak yay sayısının 5'e düşürülmesiyle elde edilmiştir. 10-5 yaprak yay yapısının basınç uygulanan bölgesi ve sabit destek bölgeleri Şekil 3.87 (a)'da gösterilmiştir. Şekil 3.87 (b)'de 12.5 pascal için elde edilen simülasyon sonuçları gösterilmektedir. Deformasyon bölgelerinin 10-7 yapısı ile aynı olduğu, ancak yaprak yay sistemini etkileyen maksimum yer değiştirmenin arttığı görülmektedir. Şekil 3.87 (c), uygulanan basınç değeri 25 pascal'a çıkarıldığında elde edilen analiz sonuçlarını göstermektedir. Sisteme uygulanan

basınç değeri arttırıldığında, sistem üzerinde meydana gelen bölgesel deformasyon yoğunluklarının da orantılı olarak artacağı söylenebilir. Son olarak, 10-5 yapısı ve 37.5 pascal basınç değeri için elde edilen simülasyon sonuçları Şekil 3.87 (d)'de gösterilmektedir. Alt yaprak yay sayısının beşe düşürülmesine rağmen, ölçülen maksimum yer değiştirme değerinin 10-7 yapısına kıyasla benzer, ancak biraz daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 3.87. 10-5 yaprak yay sisteminin basınç bölgeleri ve toplam deformasyon sonuçları. a) Basınç uygulanan bölge ve sabit destek bölgeleri, b) 12.5 Pa için elde edilen deformasyon sonuçları, c) 25 Pa için elde edilen deformasyon sonuçları, d) 37.5 Pa için elde edilen deformasyon sonuçları

Genel olarak, her basınç değeri için meydana gelen maksimum yer değiştirmenin, basınç uygulanan bölge ve alt yaprak yay sistemi üzerinde yoğunlaştığı sonucuna varılabilir. 10-5 yaprak yay sistemi için elde edilen modal analiz sonuçları aşağıda Şekil 3.88'de gösterilmektedir.

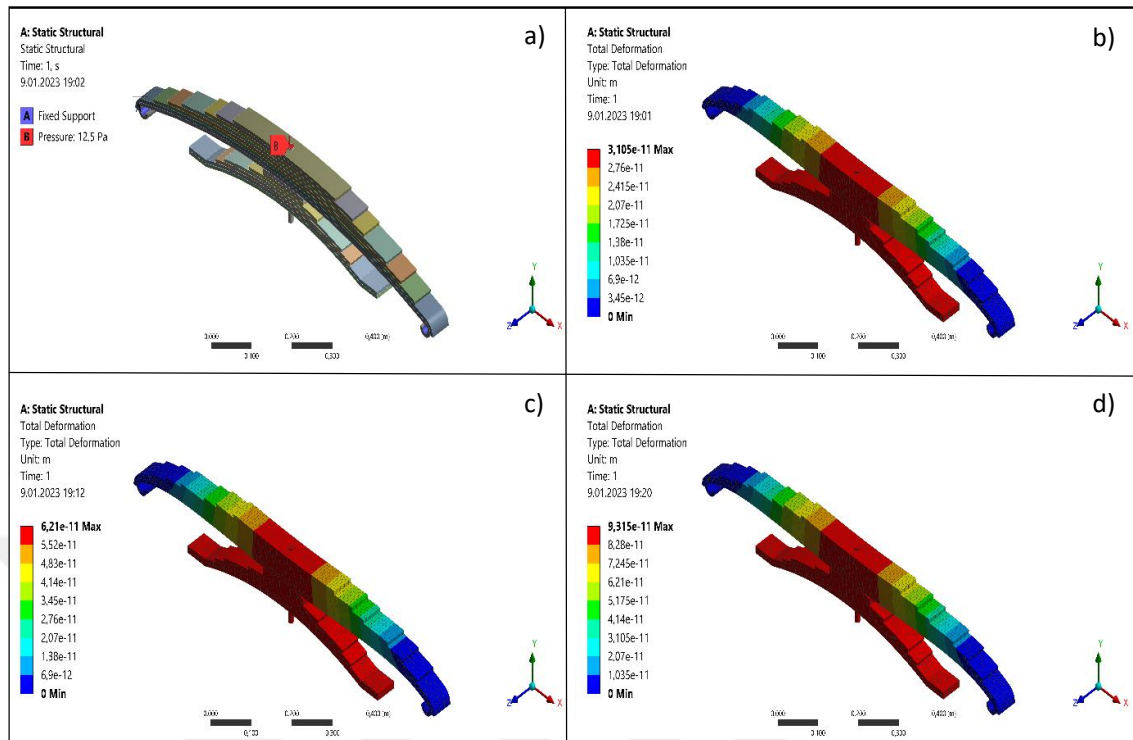


Şekil 3.88. 10-5 yaprak yay sisteminin modal analiz sonuçları. a) Mod 1, b) Mod 2, c) Mod 3, d) Mod 4, e) Mod 5, f) Mod

Şekil 3.88 (a)'da verilen Mod 1 analiz sonucu incelendiğinde, sistemin ürettiği rezonans frekansının 143.98 Hz olduğu gözlemlenmektedir. Mod 1 analizinde, 10-7 ve 10-5 yapılarının maksimum yer değiştirme açısından benzer sonuçlar ürettiği de görülmektedir. Şekil 3.88 (b), rezonans frekansının 273.67 Hz olarak elde edildiği Mod 2 analiz sonucunu temsil etmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere, 10-5 yaprak yay yapısının alt yaprak yay sistemi, 10-7 yaprak yay yapısına kıyasla daha fazla yapısal deformasyona maruz kalmaktadır. Şekil 3.88 (c)'de verilen 10-5 yaprak yay sisteminin Mod 3 deformasyon karakteristikleri, sistemin 289.81 Hz'de rezonansa ulaştığını göstermektedir. Öte yandan, 10-7 yaprak yay yapısına kıyasla maksimum yer değiştirme değerinde bir azalma da gözlemlenmiştir. Rezonans frekansının 322.96 Hz olarak elde

edildiği Mod 4 analizinde, deformasyonların özellikle alt yaprak yay sisteminde yoğunlaştığı ve bu bölgenin yapısal olarak zorlandığı görülmektedir. Mod 5 ve Mod 6 için elde edilen analiz sonuçları sırasıyla Şekil 3.8 (e) ve Şekil 3.88 (f)'de gösterilmektedir. Şekillerden de görüldüğü üzere, rezonans frekansları sırasıyla 382.42 Hz ve 511.40 Hz olarak elde edilmiştir. Mod 5 analizi için, rezonans frekansının 10-7 yapısına kıyasla arttığı, ancak maksimum yer değiştirme değerinin hemen hemen aynı kaldığı ifade edilebilir. Son olarak, hem Mod 5 hem de Mod 6 analizlerinde, rezonans frekanslarında 10-7 yapısına kıyasla alt yaprak yay sisteminin daha fazla deformasyona maruz kaldığı görülmektedir.

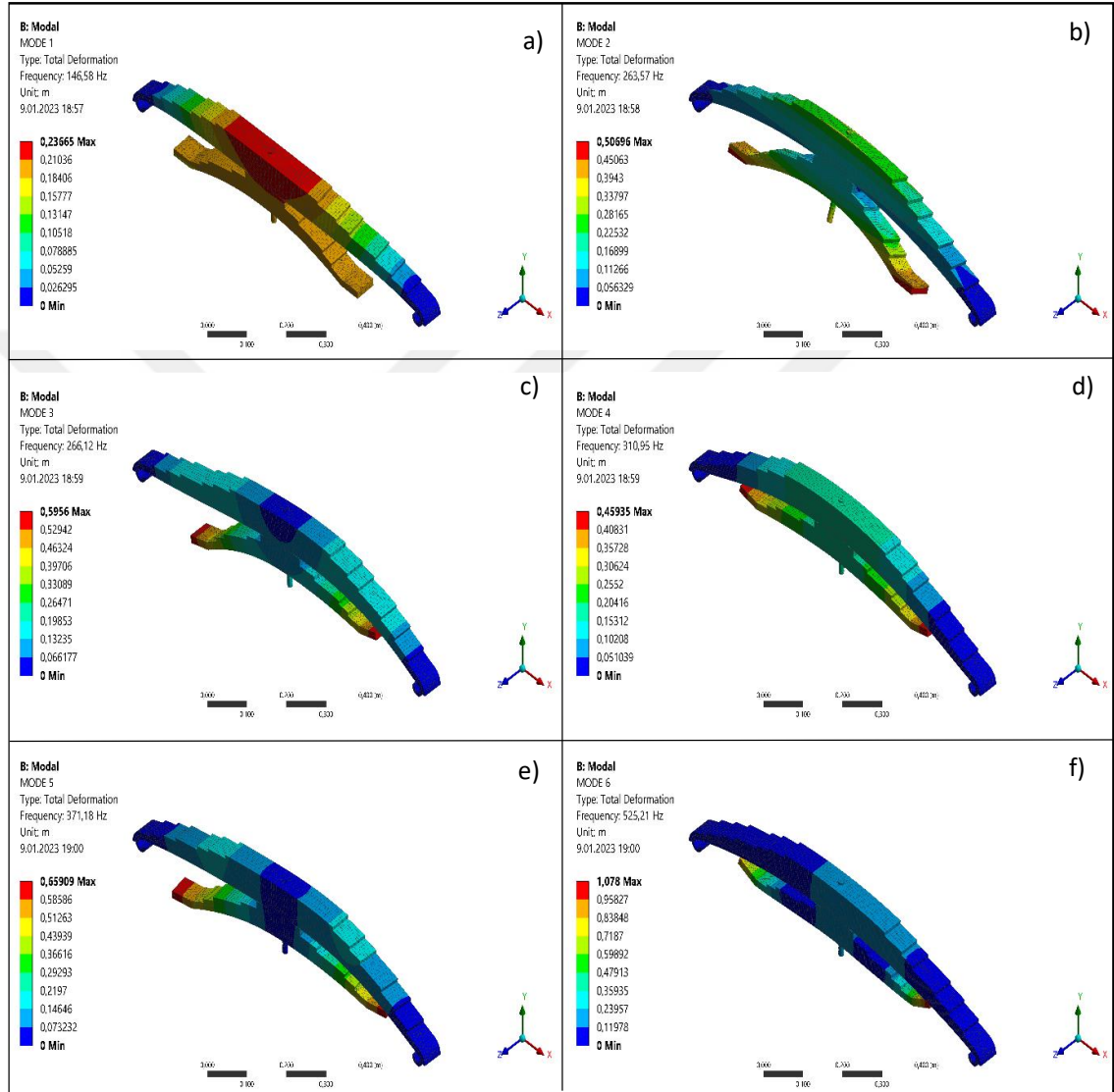
Bu tez çalışmasında analiz edilen üçüncü yaprak yay sistemi, üst yaprak yay sistemindeki yaprak yay sayısının 8'e düşürülmesiyle elde edilmiştir. Şekil 3.89 (a)'da, 8-7 yaprak yay sisteminin basınç uygulanan bölgesi ve sabit destek bölgeleri temsil edilmektedir. Sisteme 12.5 pascal basınç uygulandığında elde edilen sonuçlar, 10-7 ve 10-5 yaprak yay yapıları ile karşılaştırıldığında, deformasyon bölgelerinin aynı kaldığı ancak maksimum yer değiştirme değerinin diğer iki yapıya göre arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, üst yaprak yay sistemindeki iki yaprak yayın azaltılmasının deformasyon üzerindeki etkisinin, alt yaprak yay sistemindeki iki yaprak yayın azaltılmasının etkisinden daha büyük olduğu görülmüştür. Şekil 3.89 (c)'de, 8-7 yaprak yay sistemi ve 25 pascal basınç koşullarında elde edilen analiz sonuçları, diğer iki yaprak yay sistemi yapısına kıyasla 8-7 yaprak yay sisteminin daha fazla deformasyona maruz kaldığını göstermektedir. Ayrıca, basınç değeri arttıkça deformasyonun yoğunluğunun basınç uygulanan bölge ve alt yaprak yay sistemi üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Sonuç olarak, üç yaprak yay sistemi yapısının da 25 pascal basınç altında benzer deformasyon davranışları ürettiği sonucuna varılabilir. 37.5 pascal basınç altında elde edilen analiz sonuçları Şekil 3.89 (d)'de verilmiştir. Üst yaprak yay sisteminde azaltılan iki yaprak yayın etkisi nedeniyle 8-7 sisteminde daha yüksek yoğunlukta deformasyonlar meydana geldiği gözlemlenmiştir. Genel olarak, 10-7 ve 10-5 yapıları ile karşılaştırıldığında, 8-7 yaprak yay sisteminde tüm basınç değerlerinde daha yüksek maksimum yer değiştirmeler meydana geldiği söylenebilir. Son olarak, deformasyonların yoğunlaştığı bölgelerin, basınç uygulanan bölge ve alt yaprak yay sistemi olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3.89. 8-7 yaprak yay sisteminin basınç bölgeleri ve toplam deformasyon sonuçları. a) Basınç uygulanan bölge ve sabit destek bölgeleri, b) 12.5 Pa için elde edilen deformasyon sonuçları, c) 25 Pa için elde edilen deformasyon sonuçları, d) 37.5 Pa için elde edilen deformasyon sonuçları

8-7 yaprak yay sistemi için elde edilen modal analiz sonuçları aşağıda Şekil 3.90'da gösterilmiştir. Şekil 3.90 (a)'de verilen Mod 1 analiz sonucuna göre, üst yaprak yayların sayısının azaltılması nedeniyle 10-7 yapısına kıyasla alt yaprak yay sisteminde daha yüksek deformasyonların meydana geleceği ifade edilebilir. Ancak, 10-5 yapısına kıyasla 8-7 yapısının tüm sisteme daha düşük deformasyon ürettiği sonucuna da varılabilir. Son olarak, Mod 1 analiz için rezonans frekansı değeri 146.58 Hz olarak elde edilmiştir. Rezonans frekansı değerleri sırasıyla 263.57 Hz ve 266.12 Hz olarak elde edilen Mod 2 ve Mod 3 analizlerinde, üç yaprak yay sistemi için benzer bölgelerde deformasyonların meydana geldiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, 8-7 yapısının Mod 3 analizi için elde edilen maksimum yer değiştirme değerinin diğer iki yapıda meydana gelen ilgili deformasyonlardan daha yüksek olduğu bulunmuştur. Şekil 3.90 (d), Mod 4 durumu için simülasyon sonucunu göstermektedir. 8-7 yapısının Mod 4 analizinde, rezonans frekansı 310.95 Hz olarak elde edilmiş olup, deformasyonların diğer iki yapıda olduğu gibi alt yaprak yay sisteminde yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. Şekil 3.90 (e) ve 90 (f)'de verilen Mod 5 ve Mod 6 analizlerinde, rezonans frekans değerleri sırasıyla 371.18 Hz ve 525.21

Hz olarak elde edilmiştir. Hem Mod 5 hem de Mod 6 için, 8-7 sisteminde meydana gelen maksimum yer değiştirme özelliklerinin 10-7 ve 10-5 yapılarında elde edilen özelliklere benzer olduğu görülmektedir.



Şekil 3.90. 8-7 yaprak yay sisteminin modal analiz sonuçları. a) Mod 1, b) Mod 2, c) Mod 3, d) Mod 4, e) Mod 5, f) Mod 6

Uygulanan basınç değerleri altında meydana gelen maksimum yer değiştirme değerlerini daha net bir şekilde sunmak için, Tablo 3.5' de birleştirildi. Her yaprak yay yapısı için, sistemi etkileyen maksimum yer değiştirme değerinin uygulanan basınç değeri ile orantılı olarak değiştiği görülmektedir.

Tablo 3.5. Uygulanan basınç değerleri altında meydana gelen maksimum yer değiştirme değerleri

Yapı (Yaprak Yay Sistemi)	Basınç (Pascal)	Maksimum Yer Değiştirme (Metre)
10-7	12.5	2.6016e-11
	25.0	5.2032e-11
	37.5	7.8047e-11
10-5	12.5	2.6028e-11
	25.0	5.2055e-11
	37.5	7.8083e-11
8-7	12.5	3.105e-11
	25.0	6.21e-11
	37.5	9.315e-11

Daha detaylı bir karşılaştırma sunmak amacıyla, Tablo 3.6, üst veya alt yaprak yay sayısındaki değişikliklerden kaynaklanan basınç değeri ile toplam deformasyon arasındaki oransal ilişkiyi temsil etmektedir. 10-7 yaprak yay yapısının üst yaprak yaylarının sayısının azaltılmasıyla elde edilen 8-7 yaprak yay sisteminde, tüm basınç değerlerinde meydana gelen toplam deformasyonlarda yaklaşık %19.350 artış gözlemlenmiştir. Diğer taraftan, 10-7 yaprak yay sisteminin alt yaprak yaylarının sayısının azaltılmasıyla elde edilen 10-5 yaprak yay yapısında, tüm basınç değerlerinde meydana gelen toplam deformasyonlarda ortalama %0.045 artış gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, üst yaprak yay sayısının iki yaprak yay azaltılmasıyla sistem dayanıklılığında yaklaşık 433 kat azalma görüldüğü gözlemlenmiştir. Ancak, alt yaprak yay sisteminde yaprak yay sayısının azaltılmasının sistem dayanıklılığı üzerinde çok daha az etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 3.6. Üst veya alt yaprak yay sayısındaki değişikliklerden kaynaklanan basınç değeri ile toplam deformasyon arasındaki oransal ilişki

Yapısal Değişiklik	Basınç Değeri (Pascal)	Etki oranı (%)
Üst Yaprak Yay Sistemi (2 Yaprak azaltıldı)	12.5	19.349
	25.0	19.349
	37.5	19.351
Alt Yaprak Yay Sistemi (2 Yaprak azaltıldı)	12.5	0.0461
	25.0	0.0442
	37.5	0.0461

Son olarak, Tablo 3.7, üst veya alt yaprak yay sayısındaki değişikliklerden kaynaklanan Modlar ve rezonans frekansları arasındaki oransal ilişkiyi göstermektedir. 8-7 yaprak yay sistemi için verilen sonuçlardan görüldüğü üzere, Mod 1, Mod 2 ve Mod 6 için rezonans frekansları artmıştır. Yani, bu üç modu temsil eden geometrik yapılar için sistem daha güçlü hale gelmiştir. Ancak, Mod 3, Mod 4 ve Mod 5 için görülen azalmalar, ilgili mod yapılarında sistem gücünün azaldığını göstermektedir. Tablo 3.7'de verilen sonuçlar incelendiğinde, 10-5 yapısı için her mod için benzer davranışlar sergilediği görülmüştür, ancak Mod 6 hariç. Alt yaprak yay sisteminde yaprak yay sayısının azaltılmasının, Mod 1-Mod 5 arasındaki modlar için rezonans frekanslarında artışa neden olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, Mod 6 tarafından temsil edilen geometrik yapıda bir azalma gözlemlenmiştir. Aynı zamanda, rezonans frekansı değerindeki en yüksek artışın da Mod 2 geometrik yapısında görüldüğü sonucuna varılabilir.

Bu çalışmada öncelikle, ANSYS tabanlı modal analizler detaylı bir şekilde ilk 6 Mod için gerçekleştirilmiş ve elde edilen rezonans frekansı değerleri sunulmuştur. Literatüre daha detaylı sonuçlar sunabilmek amacıyla, modal analizler ayrıca diğer 14 mod için de gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, 10-7, 10-5 ve 8-7 yapılarının ilk 20 modu için elde edilen rezonans frekansı değerleri Tablo 3.8'de birleştirilmiştir.

Tablo 3.7. Üst veya alt yaprak yay sayısındaki değişikliklerden kaynaklanan Modlar ile rezonans frekansları arasındaki oransal ilişki

Yapısal Değişiklik	Mod	Etki Oranı (%)
Üst Yaprak Yay Sistemi (2 Yaprak azaltıldı)	Mod 1	2.381 ↑
	Mod 2	5.364 ↑
	Mod 3	1.499 ↓
	Mod 4	2.928 ↓
	Mod 5	0.870 ↓
	Mod 6	0.829 ↑
Alt Yaprak Yay Sistemi (2 Yaprak azaltıldı)	Mod 1	0.565 ↑
	Mod 2	9.402 ↑
	Mod 3	7.269 ↑
	Mod 4	0.821 ↑
	Mod 5	2.131 ↑
	Mod 6	1.821 ↓

Tablo 3.8. İlk 20 mod için elde edilen rezonans frekansı değerleri (Hertz cinsinden)

	10-7	10-5	8-7		10-7	10-5	8-7
Mod 1	143.17	143.98	146.58	Mod 11	1183.3	1184.4	1203.7
Mod 2	250.15	273.67	263.57	Mod 12	1270.3	1274.8	1232.7
Mod 3	270.17	289.81	266.12	Mod 13	1353.1	1366.2	1399.2
Mod 4	320.33	322.96	310.95	Mod 14	1585.0	1546.4	1590.3
Mod 5	374.44	382.42	371.18	Mod 15	1740.5	1734.3	1749.3
Mod 6	520.89	511.40	525.21	Mod 16	1908.1	1914.1	1908.0
Mod 7	540.93	536.08	537.85	Mod 17	2342.1	2356.7	2226.4
Mod 8	811.07	832.20	812.23	Mod 18	2410.7	2449.1	2386.7
Mod 9	953.61	962.05	953.73	Mod 19	2628.5	2623.5	2608.3
Mod 10	1004.6	1008.90	961.23	Mod 20	2685.3	2691.5	2656.3

Tablodan, 10-5 yaprak yay sisteminin genellikle diğer iki yapıya göre daha yüksek rezonans frekansları ürettiği söylenebilir. Genel olarak, daha yüksek rezonans frekansı

değerleri üreten yaprak yay yapılarının, deformasyon açısından diğer yapılara kıyasla daha güçlü bir geometrik yapı sağlayabildiği ifade edilebilir.

Malzeme mukavemeti açısından detaylı sonuçlar sunmak amacıyla Von Mises Gerilme analizi de gerçekleştirilmiştir. Bu maksimum distorsiyon kriteri, bir malzemenin tasarım sınırlarını ve uzun ömür test standartlarını karşılayıp karşılamadığını belirler. Daha önce belirtildiği gibi, tüm basınçlar doğrudan merkez cıvata bölgesine uygulanmıştır. merkez cıvata bölgesinin yüzey alanının 212.08 mm^2 olduğu dikkate alındığında 12.5 pascal, 25 pascal ve 37.5 pascal basınç değerlerinin Newton cinsinden kuvvet karşılıkları sırasıyla $26.51 \times 10^{-4} \text{ N}$, $53.02 \times 10^{-4} \text{ N}$ ve $79.53 \times 10^{-4} \text{ N}$ olarak elde edilmiştir. İlgili kuvvetlere karşılık gelen maksimum Von Mises gerilme değerleri, her bir üç geometrik yapı için ayrı ayrı Tablo 3.9'da verilmiştir.

Tablo 3.9. Analiz edilen yaprak yay sistemlerinde ortaya çıkan maksimum Von Mises gerilme değerleri

<i>Geometrik Yapı</i>	<i>Kuvvet (N)</i>	<i>Maximum Von Mises Gerilme (Pa)</i>
10-7	26.51×10^{-4}	22.09
	53.02×10^{-4}	44.18
	79.53×10^{-4}	66.269
10-5	26.51×10^{-4}	23.387
	53.02×10^{-4}	46.774
	79.53×10^{-4}	70.161
8-7	26.51×10^{-4}	22.314
	53.02×10^{-4}	44.629
	79.53×10^{-4}	66.944

Tablo 3.9'da verilen Von Mises gerilme değerleri incelendiğinde, en yüksek gerilme değerlerinin 10-5 geometrik yapısında ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Diğer taraftan, 10-7 yaprak yay sistemi için elde edilen daha düşük genlikli gerilme etkileri, ilgili yapının dış kuvvetlere karşı daha dayanıklı olduğunu göstermektedir. Son olarak, sisteme uygulanan kuvvet ile ilgili kuvvet nedeniyle ortaya çıkan gerilme değeri arasında doğrusal bir ilişki olduğu da gözlemlenmiştir.



4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1.Tartışma

Mekanik sistemlerde titreşimlerden kaynaklanan gerilme, gerinim, sapma ve deformasyon gibi bozucu faktörlerin bilgisayar destekli tespiti ve modellenmesi son yıllarda önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Bu dış etkilerin yüksek doğrulukla tespit edilmesi ve modellenmesi, yüksek performanslı sistemlerin tasarımı açısından son derece önemlidir. Bilgisayar destekli yaklaşımların en önemlilerinden birisi olan yapay sinir ağları, gerçek zamanlı analizlerde bozucu faktörlerin doğru tahmin edilmesi açısından yüksek performans sunabilmektedir. Bu tez çalışmasında, gerçek zamanlı olarak ölçülen titreşim verileri geliştirilen YSA tabanlı yaklaşımlar ile modellenmiş ve ayrıca çok katmanlı üç farklı yaprak yay sistem yapısı için ANSYS tabanlı deformasyon analizleri ve modal analizler gerçekleştirilmiştir.

RTYSA ve İKGYYSA tabanlı YSA yapıları kullanılarak farklı çalışma şartlarına yönelik benzetimler gerçekleştirilmiştir. Tüm çalışma koşulları için elde edilen sonuçlardan, önerilen RTYSA yapısının yaprak yay sisteminin titreşim karakteristiklerini analiz etme ve modelleme açısından etkili bir performansa sahip olduğu görülmüştür. Diğer taraftan, İKGYYSA'nın düşük basınçlarda RTYSA'ya benzer fakat biraz daha kötü sonuçlar ürettiği ve özellikle anlık titreşimleri temsil eden yüksek genlikli tepe değerlerinin tahmininde yetersiz bir performans gösterdiği görülmüştür. Deneysel ölçüm sonuçlarının YSA tabanlı modellenmesine yönelik elde edilen benzetim sonuçlarından, tüm çalışma koşullarında RTYSA'nın İKGYYSA'ya göre daha etkili sonuçlar ürettiği görülmektedir. Ayrıca, ulaşılan MSE hata değerleri, RTYSA yapısının gerçek zamanlı sistem tepkilerini modelleme açısından daha etkin ve kararlı çözümler sağladığını kanıtlamaktadır. Ayrıca,

basınç uygulama periyotları, basınç uygulama süreleri ve basınç değerlerinin her üç eksen için de titreşim özelliklerini doğrudan etkilediği ifade edilebilir.

ANSYS tabanlı deformasyon ve modal analiz sonuçlarından, 8-7 yaprak yay yapısı için ortaya çıkan toplam deformasyon değerlerinin tüm çalışma koşullarında diğer iki yapıya göre biraz daha yüksek olduğu ifade edilebilir. Tüm çalışma koşulları için elde edilen modal analiz sonuçları incelendiğinde ise 10-5 yaprak yay yapısı için daha yüksek rezonans frekans değerleri elde edildiği görülmüştür. En düşük rezonans frekans değerleri genel olarak 8-7 yapısı için elde edilse de tüm benzetimler arasında elde edilen en yüksek rezonans frekans değerinin 8-7 yapısının Mod 6 analizinde ortaya çıktığı görülmüştür. Rezonans frekans değerlerinin yüksek olması ilgili dinamik sistemin dış kuvvetlere karşı daha dayanıklı olduğunu gösterir. Sonuç olarak, basınç analizi ve modal analiz sonuçları, üst yaprak yay sisteminde yaprak yay sayısının azaltılmasının sistemin daha fazla deformasyona maruz kalmasına yol açtığını göstermektedir. Benzer şekilde alt yaprak yay sisteminde yaprak yay sayısının azaltılmasının ise sistemde daha yüksek deformasyon etkisine neden olacağı da gözlemlenmiştir.

4.2.Sonuç ve Öneriler

Bu tez çalışmasında, bir yaprak yay sisteminden deneysel olarak elde edilen gerçek zamanlı 3 eksenli titreşim verilerinin tahmininde literatürdeki en etkili YSA yapıları arasında yer alan RTYSA ve İKGYSA yapıları kullanılmıştır. Benzetim sonuçları incelendiğinde algoritmaların modelleme, MSE ve R^2 açısından performanslarının birbirine yakın olduğu görülmüştür. Ayrıca, RTYSA yapısının tüm çalışma koşullarında özellikle her biri anlık bir titreşim değerini temsil eden tepe değerlerinde daha etkili sonuçlar ürettiği gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, RTYSA ve İKGYSA algoritmalarının modelleme açısından performanslarının birbirine çok yakın olduğu ve gerçek zamanlı yanıtların tahmininde etkin bir şekilde kullanılabileceği açıkça görülmektedir.

Gelecekte yapılacak deneysel çalışmalarda öncelikle bir yaprak yay sisteminin farklı bölgelerinde oluşan kuvvetlerin gerçek zamanlı ölçülmesine odaklanılabilir. 3 eksenli kuvvet sensörü kullanılarak farklı geometrik yapıdaki yaprak yay sistemleri üzerinden elde edilen deneysel sonuçların YSA veya derin öğrenme tabanlı modellemesi de gerçekleştirilebilir. Ayrıca yaprak yay sisteminin maruz kaldığı dış kuvvetler nedeniyle

oluşan gerilme, gerinim, sehim ve deformasyon gibi bozucu faktörler de detaylı olarak analiz edilebilir.

Ek olarak, gelecekte yapılacak araştırmaların daha kapsamlı veri setleri ve çeşitli yapay zeka algoritmaları kullanılarak gerçekleştirilmesi tavsiye edilmektedir. Bu tür genişletilmiş araştırmalar, elde edilen bulguların genellenebilirliğini artırabilir ve daha karmaşık sistemlerin modellenmesinde kullanılabilir. Ayrıca, farklı çalışma koşulları ve çevresel faktörlerin sistem performansı üzerindeki etkilerinin incelenmesi, yaprak yay sistemlerinin tasarımı ve optimizasyonuna önemli katkılar sunabilir. Yeni malzemeler ve üretim tekniklerinin kullanılması da sistemin performansını ve dayanıklılığını artırabilir.

Sonuç olarak, yapay zeka tabanlı modelleme yöntemlerinin geleneksel mühendislik teknikleriyle birleştirilmesi, daha entegre ve kapsamlı analizlerin yapılmasına olanak tanıyabilir. Bu şekilde, mühendislik problemlerinin çözümünde daha etkili ve yenilikçi yaklaşımlar geliştirilerek, endüstriyel uygulamalarda verimlilik ve performans artışı sağlanabilir. Gelecekteki araştırmaların bu yönde ilerlemesi, mekanik sistemlerin tasarımı ve analizi alanında önemli gelişmelere katkıda bulunacaktır.

KAYNAKÇA

1. Younesian, D.; Fallahzadeh, M.S. 2014. Numerical and experimental analysis of nonlinear parabolic springs employed in suspension system of freight cars. **Int. J. Automot. Eng.** **4**, 812–826.
2. Topaç, C. Araçlarda Makas Sistemlerinin Uzun Ömür Testine Yönelik Stant Tasarımı ve Prototip Uygulaması. Master's Thesis, Erciyes University, Kayseri, Turkey, 2019.
3. Cheng, G.; Chen, K.; Zhang, Y.; Chen, Y. 2022. The fracture of two-layer leaf spring: Experiments and simulation. **Eng. Fail. Anal.** **133**, 105971.
4. Zhou, J.; Hu, C.; Wang, Z.; Ren, Z.; Wang, X.; Mao, K. 2021. Study on dynamic characteristics of leaf spring system in vibration screen. **J. Low Freq. Noise Vib. Act. Cont.**, **40**, 1818–1832.
5. Ali, K.S.A.; Manuel, D.J.; Balamurugan, M.; Murugan, M.S. 2021. Analysis of composite leaf spring using ANSYS software. **Mater. Today**, **37**, 2346–2351.
6. Odabaşı, V.; Maglio, S.; Martini, A.; Sorrentino, S. 2019. Static stress analysis of suspension systems for a solar-powered car. **FME Trans.** **47**, 70–75.
7. Abdullah, L.; Singh, S.S.K.; Azman, A.H.; Abdullah, S.; Ihsan, A.K.A.M.; Kong, Y.S. 2019. Fatigue life-based reliability assessment of a heavy vehicle leaf spring. **Int. J. Struct. Integr.**, **10**, 726–736.
8. Balamurali, D.; Kumar, K.S.; Kaliappan, S.; Prabhukumar, S.; Saikumar, L.; Vijaimhadhava, S.A.; Ashokkumar, S. 2018. Design and analysis of composite leaf spring. **Int. Res. J. Automot. Technol.** **1**, 16–20.
9. Oztoprak, N.; Gunes, M.D.; Tanoglu, M.; Aktas, E.; Egilmez, O.O.; Senocak, C.; Kulac, G. 2018. Developing polymer composite-based leaf spring systems for automotive industry. **Sci. Eng. Compos. Mater.** **25**, 1167–1176.
10. Jamadar, N.I.; Kivade, S.B.; Pedada, S.R. 2018. Detection and quantification of crack in composite mono leaf spring by vibration parameters. **J. Taiwan Inst. Chem. Eng.** **99**, 589–598.
11. Koçhan, C.; Belevi, M. 2017. Experimental investigation of fiber reinforced composite leaf springs. **Mater. Test.** 2017, 59, 853–858.

12. Rajesh, S.; Bhaskar, G.B. 2014. Response of composite leaf springs to low velocity impact loading. **Appl. Mech. Mater.** **591**, 47–50.
13. Pozhilarasu, V.; Pillai, T.P. 2013. Performance analysis of steel leaf spring with composite leaf spring and fabrication of composite leaf spring. **Int. J. Eng. Res. Sci. Tech.** **2**, 102–109.
14. Venkatesan, M.; Devaraj, D.H. Design and analysis of composite leaf spring in light vehicle. *Int. J. Mod. Eng.* 2012, **2**, 213–218.
15. Gowd, G.H.; Goud, E.V. 2012. Static analysis of leaf spring. **Int. J. Eng. Sci. Technol.** **4**, 3794–3803.
16. Sugiyama, H.; Shabana, A.A.; Omar, M.A.; Loh, W.Y. 2006. Development of nonlinear elastic leaf spring model for multibody vehicle systems. **Comput. Methods Appl. Mech. Eng.** **195**, 6925–6941.
17. Lakshmi, B.V.; Satyanarayana, I. 2012. Static and dynamic analysis on composite leaf spring in heavy vehicle. **Int. J. Adv. Eng.** **2**, 80–84.
18. Shivakumar, M.R.; Rao, M.B.; Shahinsha, T. 2016. Static and dynamic analysis on composite leaf spring in heavy vehicle. **J. Emerg. Technol. Innov. Res.** **3**, 260–270.
19. Javir, A.V.; Belekar, R.D.; Manchekar, N.N.; Yadav, A.P. 2016. Design and static analysis composite leaf spring. **Int. J. Innov. Research Sci. Eng.** **2**, 76–85.
20. Kong, Y.S.; Abdullah, S.; Omar, M.Z.; Haris, S.M. 2016. Failure assessment of a leaf spring eye design under various load cases. **Eng. Fail. Anal.** **63**, 146–159.
21. Aher, V.K.; Sonawane, P.M. 2012. Static and fatigue analysis of multi leaf spring used in the suspension system of LCV. **Int. J. Eng. Res. Appl.** **2**, 1786–1791.
22. Shokrieh, M.M.; Rezaei, D. 2003. Analysis and optimization of a composite leaf spring. **Compos. Struct.** **60**, 317–325.
23. Ke, J.; Wu, Z.; Chen, X.; Ying, Z. 2019. A review on material selection, design method and performance investigation of composite leaf springs. **Compos. Struct.** **226**, 111277.

24. M.B. Cetinkaya, M. Isci, 2022. Analysis of the vibration characteristics of a leaf spring system using artificial neural networks, **Sensors** **22** (12) 4507.
25. W.S. Jung, D.H. Bae, G.W. Song, J.S. Hyun, B.S. Kim, 2006. Fatigue design of leaf spring using artificial neural network, **Key Eng. Mater.** **326** 1083–1086.
26. S. Shaikh, D. Hujare, S. Yadav, P. Swarnkar, 2023. Modelling and analysis of heavy commercial vehicle suspension system for fatigue life enhancement, **Mater. Today: Proc.** **80** 1413–1421.
27. C. Amsalu, E.G. Damtie, 2022. Mechanical characterization, and comparison of stress-induced on mono and multi-leaf spring from laminated composite material, **Results Mater.** **16**.
28. V. Arora, M.L. Aggarwal, G. Bhushan, 2011. A comparative study of CAE and experimental results of leaf springs in automotive vehicles, **Int. J. Eng. Sci. Tech.** **3** (1) 6856–6866.
29. P.B. Satasiya, M. Parikh, D. Dodiya, S. Tirole, 2019. Optimization of a leaf spring by ANSYS software, **Int. J. Tech. Res. Eng.** **6** (9) 5452–5454.
30. T. Ekbote, K. S. Sadashivappa, D. Abdul budan, 2012. Optimal design and analysis of mono leaf composite spring by finite element analysis, **IEEE Int. Conf. Adv. Eng., Sci. Manag.** 41–46.
31. A. Bhanage, K. Padmanabhan, 2014. Design for fatigue and simulation of glass fibre/epoxy composite automobile leaf spring, **ARPJ. Eng. Appl. Sci.** **9** (3) 196–203.
32. S. Shamim, J. Anwer, 2014. Design and optimization of automotive multi-leaf spring by finite element method, **Int. J. Res. Aeronaut. Mech. Eng.** **2** 46–54.
33. A. Chauhan, M. Kumar, S. Kumar, 2022. Fabrication of polymer hybrid composites for automobile leaf spring application, **Mater. Today: Proc.** **48** 1371–1377.
34. M.M. Shokrieh, D. Rezaei, 2003. Analysis and optimization of a composite leaf spring, **Compos. Struct.** **60** (3) 317–325,
35. S. Elsheltat, A. Alshara, W. Elshara, 2018. Modeling and finite element analysis of leaf spring using pro-engineer and ANSYS Softwares, **Conf. Eng. Sci. Tech.**

36. K.V. Kumar, M.V. Subhash, 2021. Design and analysis of leaf spring bracket using ANSYS, **Int. J. Modern Trends Sci. Tech.** 7 113–119.
37. P.S. Rao, R. Venkatesh, 2015. Modal and harmonic analysis of leaf spring using composite materials, **Int. J. Novel Res. Electr. Mech. Eng.** 2 (3) 67–75.
38. B.A. Tadesse, O. Fatoba, 2022. Theoretical and finite element analysis (FEA) of coated composite leaf spring for heavy-duty truck application, **Mater. Today: Proc.** 62 4283–4290.
39. A. Balakrishna, P.K. Mishra, 2021. Modelling and analysis of static and modal responses of leaf spring used in automobiles, **Int. J. Hydromechatronics** 4 (4) 350–367.
40. A.K. Shrivastava, R. Pandey, H.B. Ramani, S.N. 2021. Chourasia, Modal analysis of polymer composite based leaf spring by additive layer manufacturing using FEA method, **Mater. Today: Proc.** 47. 7091–7094.
41. A.P. Borhade, J.T. Pattiwar, 2014. Dynamic analysis of steel leaf spring, **Int. J. Eng. Res. Tech.** 3. 306–310.
42. K.A. Saianuraag, B.V. Sivaram, 2012. Comparison of static, dynamic & shock analysis for two and five layered composite leaf spring, **Int. J. Eng. Res. Appl.** 2 (5) 692-697.
43. S.J. Juliyana, J.U. Prakash, P. Pallavi, A.D. Sadhana, 2017. Finite element analysis of mono composite leaf spring of varying thickness and varying width used in automotives, **Int. J. Mech. Prod. Eng. Res. Dev.** 7 (6) 247–254.
44. P. Ravindra, M. Raman, B. Sanjay, 2014. Modeling and analysis of carbon fiber epoxy based leaf spring under the static load condition by using FEA, **Int. J. Emerg. Sci. Eng.** 2 (4) 39– 42.
45. G.H. Gowd, E.V. 2012. Goud, Static analysis of leaf spring, **Int. J. Eng. Sci. Tech.** 4 (8) 3794–3803.
46. Çetinkaya, M. B., & İşci, M. 2023. Ansys based analysis of multi-level parabolic leaf spring systems. **Alexandria Engineering Journal**, 73, 109-121.
47. Haykin, S. 2009. Neural Networks and Learning Machines, 3rd ed.; Prentice Hall: Hoboken, NJ, USA.

48. Hagan, M.T.; Demuth, H.B.; Beale, M.H.; Jesus, O.D. Neural Network Design, 2nd ed.; Martin Hagan: Stillwater, OK, USA, 2014.
49. Broomhead, D.S.; Lowe, D. 1988. Radial basis functions, multi-variable functional interpolation and adaptive networks. **Complex Sys. 2**, 327–355.
50. Martin, S.; Choi, C.T.M. 2016. On the influence of spread constant in radial basis networks for electrical impedance tomography. **Physiol. Measur. 37**, 801–819.
51. Çetinkaya, M. B., İşci, M., & Urat, N. N. 2024. Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Yaprak Yay Sistemi Titreşim Karakteristiğinin Modellenmesi. **Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 26(76)**, 59-68.
52. Çetinkaya, M.B.; Esim, E.; İşci, M. 2021. Analysis of the vibration characteristic of an experimental turning lathe using artificial neural networks. **Arab. J. Sci. Eng. 46**, 2597–2611.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Muhammed İŞÇİ

Uyruğu: Türkiye (T.C)

Doğum Tarihi ve Yeri:

Medeni Durum:

e-mail:

Yazışma Adresi:

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Doktora	Erciyes Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği ABD	-
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği ABD	2020
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Matematik	2019
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği	2018
Lise	Kayseri Lisesi, Kayseri	2013

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2021-Halen	Kayseri Üniversitesi / Öğretim Görevlisi	3 yıl
2018-2020	Dener Makine / Mekatronik Mühendisi	2 yıl

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR

1. ANSYS based analysis of multi-level parabolic leaf spring systems
Çetinkaya M.B., İşçi M. AEJ -ALEXANDRIA ENGINEERING JOURNAL,
cilt.73, ss.109-121,2023 (SCI-Expanded)

2. Analysis of the Vibration Characteristics of a Leaf Spring System Using Artificial Neural Networks Çetinkaya M.B., İşci M. SENSORS, cilt.22, sa.12, ss.1-22,2022 (SCI-Expanded)
3. Analysis of the Vibration Characteristic of an Experimental Turning Lathe Using Artificial Neural Networks ÇETİNKAYA M.B., ESİM E., İsci M. ARABIAN JOURNAL FOR SCIENCE AND ENGINEERING, cilt.46, sa.3, ss.2597-2611,2021 (SCI-Expanded)
4. Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağları Kul anılarak Yaprak Yay Sistemi Titreşim Karakteristiğinin Modellenmesi Çetinkaya M.B., İşci M., Urat N.N. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, cilt.26, sa.76, ss.59-68,2024 (Hakemli Dergi)
5. Performance analysis of multi rotor drone systems with changeable rotors Yıldırım Ş., İşci M. International Review of Applied Sciences and Engineering, cilt.14, sa.1, ss.45-57,2023 (Scopus)
6. ANSYS based Analysis of Leaf Spring Systems with Hybrid Material Arrangement Çetinkaya M.B., İşci M. ASYU2023 -Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Konferansı, Sivas, Türkiye, 11 -13 Ekim 2023, ss.1-5
7. Analysis of Multi-Level Parabolic Leaf Spring Systems Designed by using Different Materials Çetinkaya M.B., İşci M. 9th International Conference on Engineering and Natural Sciences (ICENS2023), Sarajevo, Bosna-Hersek, 17 -21 Mayıs 2023, ss.1-5