T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YAPRAK YAY SİSTEMLERİNDE TEK EKSENDE TİTREŞİM ÖLÇÜMÜ VE YAPAY SİNİR AĞLARIYLA MODELLENMESİ

Hazırlayan
Naciye Nisanur KESKİNKILIÇ

Danışman
Doç. Dr. Mehmet Bahadır ÇETİNKAYA

Yüksek Lisans Tezi

Haziran 2024
KAYSERİ

T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YAPRAK YAY SİSTEMLERİNDE TEK EKSENDE TİTREŞİM ÖLÇÜMÜ VE YAPAY SİNİR AĞLARIYLA MODELLENMESİ

Hazırlayan
Naciye Nisanur KESKİNKILIÇ

Danışman
Doç. Dr. Mehmet Bahadır ÇETİNKAYA

Yüksek Lisans Tezi

Bu tez çalışması, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FYL-2021-11142 kodlu proje ile desteklenmiştir.

Haziran 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.

Naciye Nisanur KESKİNKILIÇ

İmza

“Yaprak Yay Sistemlerinde Tek Eksende Titreşim Ölçümü ve Yapay Sinir Ağlarıyla Modellenmesi” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan	**Danışman**
Naciye Nisanur KESKİNKILIÇ	Doç. Dr. Mehmet Bahadır ÇETİNKAYA
İmza	İmza

Mekatronik Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Şahin YILDIRIM

İmza

TEŞEKKÜR

Tezimin başarısını büyük ölçüde artıran paha biçilmez yardımları ve sarsılmaz destekleri için destek olan herkese derinden minnettarım.

Erciyes Üniversitesi'ndeki lisans ve yüksek lisans sürecimde sağladığı ilham, teşvik, destek ve rehberlik için, söylediği her bir söz hayatıma kılavuz olan değerli hocam, danışmanım Doç. Dr. Mehmet Bahadır ÇETİNKAYA'ya teşekkür ederim.

Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Bölümümüz laboratuvarlarından yararlanmama müsaade eden değerli hocam Prof. Dr. Şahin YILDIRIM'a teşekkür ederim.

Çalışma süresince bana vakit ayırıp güler yüzünü eksiltmeden benimle bilgi ve görüşlerini aktaran, yardımcı olan, desteğini esirgemeyen arkadaşım, değerli hocam Öğr. Gör. Muhammed İŞCİ'ye teşekkürü borç bilirim.

Beni bugünlere getiren, her zaman yanımda olan, desteklerini asla esirgemeyen canım annem ve canım babama teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım. Ayrıca her zaman bana destek olan ve yanımda olan sevgili ablam Tuba ve sevgili abim Fatih'e teşekkür ederim.

Değerli eşim Ebubekir KESKİNKILIÇ'a her zaman beni desteklediği, yanımda olduğu ve anlayışı için teşekkür ederim.

Naciye Nisanur KESKİNKILIÇ

06 2024, KAYSERİ

YAPRAK YAY SİSTEMLERİNDE TEK EKSENDE TİTREŞİM ÖLÇÜMÜ VE YAPAY SİNİR AĞLARIYLA MODELLENMESİ

Naciye Nisanur KESKİNKILIÇ

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Haziran 2024
Danışman: Doç. Dr. Mehmet Bahadır ÇETİNKAYA

ÖZET

Yaprak yay sistemleri, araçların hareketi sırasında aktarma organları ve şasilerinde oluşan titreşimleri depolayarak, gerilme, gerinim, deformasyon ve sapma gibi etkilerden kaynaklanan aşınma ve hasarı engeller. Bu titreşimlerin doğru şekilde tespit edilmesi ve sistemin en uygun çalışma şartlarının belirlenmesi önemlidir. Bu tezde, yaprak yay sistemlerindeki titreşim karakteristiklerini modellemek için yapay sinir ağlarına dayalı analizler yapılmıştır. Deneylerde, çelik yaprak yay sistemi üzerine düşük, orta ve yüksek basınç değerleri uygulanmış ve ivme sensörü ile titreşim verileri toplanmıştır. Toplanan verilerle sistemin titreşim karakteristikleri analiz edilmiştir. Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağı (Radial Basis Artificial Neural Network, RTYSA) kullanılarak titreşimlerin modellenmesi amaçlanmış ve sekiz farklı yayılma sabiti değeri ile performans analizleri yapılmıştır. Sonuçlar, 0.1 yayılma sabiti değerine sahip RTYSA ağ yapısının en yüksek doğruluk ve performansla titreşim karakteristiklerini modelleyebildiğini göstermiştir. Ortalama Karesel Hata (Mean Squared Error, MSE) ve R^2 analizleri, RTYSA'nın yüksek istatistiksel performansını doğrulamıştır. Sonuç olarak, önerilen RTYSA yapısı ile yaprak yay sistemlerindeki gerçek zamanlı titreşim karakteristiklerinin başarılı bir şekilde tahmin edilebildiği görülmüştür. Bu tez, yaprak yay sistemlerindeki titreşim etkilerini daha etkin bir şekilde analiz ve kontrol etmek için önemli bir model sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yapay Sinir Ağları, Yaprak Yay Sistemleri, Gerçek Zamanlı İvme Ölçümü

VIBRATION MEASUREMENT IN LEAF SPRING SYSTEMS ON A SINGLE AXIS AND MODELING WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Naciye Nisanur KESKİNKILIÇ

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
Master Thesis, June 2024
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet Bahadır ÇETİNKAYA

ABSTRACT

Leaf spring systems prevent wear and damage caused by effects such as stress, strain, deformation and deviation by storing the vibrations that occur in the drivetrain and chassis during the movement of vehicles. It is important to detect these vibrations correctly and determine the optimal operating conditions of the system. In this thesis, artificial neural network based analyzes were carried out to model the vibration characteristics of leaf spring systems. In the experiments, low, medium and high pressure values were applied to the steel leaf spring system and vibration data was collected with an acceleration sensor. Vibration characteristics of the system were analyzed with the collected data. It was aimed to model vibrations by using the Radial Basis Artificial Neural Network (RBANN) structures and performance analyzes were carried out with eight different propagation constant values. The results represent that RBANN network structure with a propagation constant value of 0.1 was able to model vibration characteristics with the highest accuracy and performance. Mean Squared Error (MSE) and R^2 analyzes confirmed the high statistical performance of RBANN. As a result, it has been seen that real-time vibration characteristics in leaf spring systems can successfully be predicted with the proposed RTYSA structure. This thesis provides an important model to analyze and control vibration effects in leaf spring systems more effectively.

Keywords: Artificial Neural Networks, Leaf Spring Systems, Real-Time Acceleration Measurement

İÇİNDEKİLER

YAPRAK YAY SİSTEMLERİNDE TEK EKSENDE TİTREŞİM ÖLÇÜMÜ VE YAPAY SİNİR AĞLARIYLA MODELLENMESİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK ii

YÖNERGEYE UYGUNLUK iii

KABUL VE ONAY iv

TEŞEKKÜR v

ÖZET vi

ABSTRACT vii

İÇİNDEKİLER viii

KISALTMALAR x

TABLOLAR LİSTESİ xi

ŞEKİLLER LİSTESİ xii

GİRİŞ 1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Deneysel Çalışmalar 6

2.1.1. Ekipmanlar ve Malzemeler 6

2.2. Yapay Sinir Ağları 10

2.2.1. Yapay Sinir Ağlarının Yapısı 11

2.2.2. Yapay Sinir Ağ Eğitimi 11

2.2.2.1. Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağları 12

2.2.3. Benzetim Çalışmalarında Kullanılan Parametreler 14

3. BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

KAYNAKÇA 38

ÖZGEÇMİŞ..... 41

KISALTMALAR

YYS:	Yaprak Yay Sistemi
YSA:	Yapay Sinir Ağı (Artificial Neural Network)
IDA:	Akıllı Veri Toplama (Intelligent Data Acquisition)
ISO:	Uluslararası Standartlar Teşkilâtı
RTYSA:	Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağı
SC:	Yayılma Sabiti
P:	Basınç

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan yaprak yay sisteminin geometrik özellikleri 7
Tablo 2.2. Deneysel sistemde kullanılan asenkron elektrik motoru teknik özellikleri 8
Tablo 2.3. Basınç değerlerine göre oluşan kuvvet verileri 9
Tablo 2.4. Deneysel sistemde kullanılan hidrolik sistemin teknik özellikleri 9
Tablo 2.5. Deneysel çalışmalarda ve benzetim çalışmalarında kullanılan çalışma koşulları 14
Tablo 2.6. RTYSA ağ yapısı için kullanılan parametre değerleri 15
Tablo 3.1. 25 bar basınç değeri altında tüm uygulama süreleri ve yayılma sabiti değerleri için elde edilen MSE ve R^2 sonuçları 33
Tablo 3.2. 37.5 bar basınç değeri altında tüm uygulama süreleri ve yayılma sabiti değerleri için elde edilen MSE ve R^2 sonuçları 34
Tablo 3.3. 50 bar basınç değeri altında tüm uygulama süreleri ve yayılma sabiti değerleri için elde edilen MSE ve R^2 sonuçları 35

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Yaprak yay sistem modeli 7
Şekil 2.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan yaprak yay sistemi 7
Şekil 2.3. Deneysel sistem ve bileşenleri 8
Şekil 2.4. Deneysel sistemde kullanılan sensörler ve sistem içindeki konumu 10
Şekil 2.5. Temel bir yapay sinir ağ mimarisi 11
Şekil 2.6. Benzetim çalışmalarında kullanılan RTYSA yapısı 13
Şekil 3.1. 7 saniye uygulama süresi ve 25 bar basınç değeri için deneysel ve RTYSA sonuçları, (a) 0.1 sc, (b) 0.2 sc, (c) 0.3 sc, (d) 0.4 sc, (e) 0.6 sc, (f) 0.7 sc, (g) 0.8 sc, (h) 0.9 sc 16
Şekil 3.2. 7 saniye uygulama süresi ve 37.5 bar basınç değeri için deneysel ve RTYSA sonuçları, (a) 0.1 sc, (b) 0.2 sc, (c) 0.3 sc, (d) 0.4 sc, (e) 0.6 sc, (f) 0.7 sc, (g) 0.8 sc, (h) 0.9 sc 18
Şekil 3.3. 7 saniye uygulama süresi ve 50 bar basınç değeri için deneysel ve RTYSA sonuçları, (a) 0.1 sc, (b) 0.2 sc, (c) 0.3 sc, (d) 0.4 sc, (e) 0.6 sc, (f) 0.7 sc, (g) 0.8 sc, (h) 0.9 sc 19
Şekil 3.4. 13 saniye uygulama süresi ve 25 bar basınç değeri için deneysel ve RTYSA sonuçları, (a) 0.1 sc, (b) 0.2 sc, (c) 0.3 sc, (d) 0.4 sc, (e) 0.6 sc, (f) 0.7 sc, (g) 0.8 sc, (h) 0.9 sc 20
Şekil 3.5. 13 saniye uygulama süresi ve 37.5 bar basınç değeri için deneysel ve RTYSA sonuçları, (a) 0.1 sc, (b) 0.2 sc, (c) 0.3 sc, (d) 0.4 sc, (e) 0.6 sc, (f) 0.7 sc, (g) 0.8 sc, (h) 0.9 sc 22
Şekil 3.6. 13 saniye uygulama süresi ve 50 bar basınç değeri için deneysel ve RTYSA sonuçları, (a) 0.1 sc, (b) 0.2 sc, (c) 0.3 sc, (d) 0.4 sc, (e) 0.6 sc, (f) 0.7 sc, (g) 0.8 sc, (h) 0.9 sc 23
Şekil 3.7. 19 saniye uygulama süresi ve 25 bar basınç değeri için deneysel ve RTYSA sonuçları, (a) 0.1 sc, (b) 0.2 sc, (c) 0.3 sc, (d) 0.4 sc, (e) 0.6 sc, (f) 0.7 sc, (g) 0.8 sc, (h) 0.9 sc 24
Şekil 3.8. 19 saniye uygulama süresi ve 37.5 bar basınç değeri için deneysel ve RTYSA sonuçları, (a) 0.1 sc, (b) 0.2 sc, (c) 0.3 sc, (d) 0.4 sc, (e) 0.6 sc, (f) 0.7 sc, (g) 0.8 sc, (h) 0.9 sc 26

Şekil 3.9. 19 saniye uygulama süresi ve 50 bar basınç değeri için deneysel ve RTYSA sonuçları, (a) 0.1 sc, (b) 0.2 sc, (c) 0.3 sc, (d) 0.4 sc, (e) 0.6 sc, (f) 0.7 sc, (g) 0.8 sc, (h) 0.9 sc.....27
Şekil 3.10. 25 saniye uygulama süresi ve 25 bar basınç değeri için deneysel ve RTYSA sonuçları, (a) 0.1 sc, (b) 0.2 sc, (c) 0.3 sc, (d) 0.4 sc, (e) 0.6 sc, (f) 0.7 sc, (g) 0.8 sc, (h) 0.9 sc.....28
Şekil 3.11. 25 saniye uygulama süresi ve 37.5 bar basınç değeri için deneysel ve RTYSA sonuçları, (a) 0.1 sc, (b) 0.2 sc, (c) 0.3 sc, (d) 0.4 sc, (e) 0.6 sc, (f) 0.7 sc, (g) 0.8 sc, (h) 0.9 sc.....30
Şekil 3.12. 25 saniye uygulama süresi ve 50 bar basınç değeri için deneysel ve RTYSA sonuçları, (a) 0.1 sc, (b) 0.2 sc, (c) 0.3 sc, (d) 0.4 sc, (e) 0.6 sc, (f) 0.7 sc, (g) 0.8 sc, (h) 0.9 sc.....31

GİRİŞ

Yapay sinir ağları (YSA), insan beynindeki sinirsel aktiviteleri ve insan beyninin öğrenme sürecini simüle eden etkin bir yapay zekâ yaklaşımıdır [1]. Yapay sinir ağları yeni bilgi oluşturma, keşfetme ve türetme becerileri sayesinde doğrusal olmayan sistemlerin kestiriminde ve modellenmesinde etkili şekilde kullanılabilirler.

Bu tez çalışmasında, öncelikle bir çelik yaprak yay sisteminde belirli uygulama süreleri ve basınç değerleri altında ortaya çıkan titreşim karaktaeristikleri tek eksenli bir ivme sensörü yardımıyla deneysel olarak ölçülmüştür. Daha sonra, elde edilen deneysel veriler yapay sinir ağlarıyla modellenerek yaprak yay sisteminin farklı çalışma koşulları altındaki davranışı modeli oluşturulmuştur.

Tezin ilk bölümünde, yaprak yay sistemleri hakkında genel bilgiler verilmiş ve yaprak yay sistemleri üzerine yapılan titreşim analizi ve yapay sinir ağları ile ilgili literatür taraması detaylı bir şekilde sunulmuştur.

İkinci bölümde, deneysel çalışmalar ve benzetim çalışmaları detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Kullanılan donanımlar ve toplam deneysel sistem detaylı bir şekilde açıklandıktan sonra temel yapay sinir ağ yapısı, öğrenme akış süreci ve bu tez çalışmasında önerilen Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağı (RTYSA) modeli detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde, deneysel çalışmalar ve benzetim sonuçlarından elde edilen bulgular detaylı bir analizle sunulmuştur.

Son olarak, dördüncü bölümde konu ile ilgili tartışmalara, sonuçlara ve önermelere yer verilmiştir.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Yaprak yay sistemleri mekanik sistemlerin üzerinde oluşan enerjiyi sistemin yük taşıma kapasitesini artırmak amacıyla zayıflatarak kontrollü bir şekilde serbest bırakan ve sistem performansını optimize eden süspansiyon elemanlarıdır. Özellikle otomotiv sektörü olmak üzere çok sayıda endüstriyel uygulamada aktif şekilde kullanılan yaprak yay sistemleri sistem üzerinde deformasyona yol açacak her türlü dâhili ve harici etkiyi kontrollü bir şekilde zayıflatırlar [2]. Yaprak yay sistemleri genellikle, yüksek sertlik ve yüksek mukavemete sahip korozyona karşı duyarlı olan çelik malzemeden üretilirler [3].

Kamyonet, kamyon, ağır yük taşıyan iş makineleri ve ağır endüstriyel uygulamalarda kullanılan yaprak yay sistemlernin yapısal olaraki uzun kullanım ömrüne ve yeterli yorulma dayanımına sahip olması gerekir [4]. Bu tez çalışmasında analiz edilen çelik yaprak yay sistemi de bu uygulama alanlara yönelik geliştirilmiştir ve yüksek genlikli bozucu etkiler altında uzun ömür çalışma performansı sunabilecek bir sistemdir.

[4]'de yaprak yayın gerinim enerjisi, malzeme yoğunluğu ile ters orantılı olduğu için düşük yoğunluklu ve elastiteli yaprak yay malzemesinin kullanılmasını önermiştir. [5] numaralı çalışmada yaprak yayda çelik yerine fiberglas ve epoksi reçine üzerine analizler gerçekleştirilmiş ve oluşan bu kompozit yaprak yay sistemi ile yay ağırlığı yaklaşık %80 oranında azaltılmıştır. Bir diğer çalışmada, bir yaprak yay sistemi için gerinim enerjisinin depolanma becerisini artırmaya yönelik araştırmalar sunulmuştur [6]. [7] numaralı çalışmada, stres, sertlik ve doğal frekans açısından malzeme tabanlı bir çalışma sunulmuş ve çelik malzemenin kompozit malzemeye göre daha fazla strese, daha az sertliğe ve daha düşük değerli doğal frekansa sahip olduğu ifade edilmiştir.

Yaprak yay sistemleri süspansiyon sistemlerinin en kritik ve önemli kısmını oluşturmaktadır. Araçların tekerlek sisteminde aracın ağırlığını taşımakla birlikte sürüş

konforunu artırırlar [8]. Yaprak yay sistemleri birden fazla yay katmanlarının üst üste yerleştirilmesi ile oluşturulur. En uzun yay katmanının ön kısımları kıvrılarak göz adı verilen bölgeler oluşturulur. Yaprak yay sistemi göz bölgelerinden üzerinde çalıştıkları sisteme monte edilirler. Göz bölgelerinin iç kısmlarına metalin metal ile olan temasını engellemek amacıyla kauçuk bir malzeme olan ve burç adı verilen parçalar takılır. Bu malzemenin kullanım amacı ise kuvvet ve tireşim değerlerini üzerine almak ve kendi içinde zayıflatarak titreşimlerin şasiye olan etkilerini en düşük seviyelere indirgemektir [9]. Yaprak yay sistemleri sürekli olarak değişken ve tekrar eden basınç ve kuvvetlere maruz kalırlar. Bu bozucu etkilerin oluşturduğu gerilme değerleri sistemin toplam dayanımından genellikle daha az olmakla birlikte bir süre sonra sistem bu yükler altında deformasyon veya kırılma etkilerine maruz kalabilmektedir. Bu durum yorulma olarak adlandırılmaktadır ve bir yaprak yay sisteminin yorulma dayanımı en önemli performans metriklerinden birisidir [10]. Yaprak yay sistemleri ayrıca araçlar üzerindeki yük dağılımını veya yük etkilerini optimize edecekleri için yakıt tasarrufu ve emisyon oranının azaltılması gibi olumlu etkilerede yol açarlar [11].

Titreşim, bir nesnenin periyodik olarak salınım yapması veya bir denge noktası etrafında gidip gelmesi şeklinde tanımlanabilir. Bu salınımlar, genellikle zaman içinde değişen kuvvetler veya enerjilerin etkisiyle ortaya çıkar ve bir nesnenin denge durumundan saparak belirli bir frekansta tekrar eden hareketler gerçekleştirmesine yol açar. Mühendislik alanında, titreşim bir sistemin dinamik tepkisini ve davranışını anlamak, kontrol etmek veya optimize etmek için incelenir. Bu amaçla titreşim analizi, bir süreç olarak kullanılır ve genellikle aşağıdaki unsurları içerir:

Ölçüm ve İzleme: Bir sistemin titreşim özelliklerini belirlemek için ölçümler yapılır ve sensörler aracılığıyla sistemin hareketi izlenir ve bu veriler analiz edilir.

Modelleme: Titreşim analizi sırasında sistem matematiksel olarak modellenir ve bu model, sistemin içindeki kuvvetlerin, kütlelerin, yayların ve damperlerin etkileşimini temsil eder.

Frekans Analizi: Titreşim frekansları genellikle önemlidir ve frekans analizi, sistemin hangi frekansta titreştiğini ve bu frekanstaki tepkisini belirlemek için kullanılır.

Dinamik Yapısal Analiz: Büyük yapıların titreşim özelliklerini değerlendirmek için yapısal analizler gerçekleştirilir.

Titreşim Kontrolü ve Tasarım: Titreşimleri azaltmak veya kontrol etmek için çeşitli mühendislik önlemleri alınır.

Titreşim analizi, bir sistemin dayanıklılığını, performansını ve güvenliğini değerlendirmek ve tasarımını optimize etmek için kritik bir araçtır. Yaprak yay sistemlerindeki titreşim, toplam sisteme etki eden dâhili ve harici bozucu kuvvetlerden dolayı sistem üzerinde ortaya çıkan salınımları temsil eder. Yaprak yay sistemi üzerine etki eden kuvvetler, yayların elastik özelliklerinden kaynaklanan deformasyona ve ardından serbest bırakılmaya neden olabilir. Kuvvetin serbest kalması, yayların titreşim yapmasına ve bu titreşimlerin sistemin bütününde her bir noktaya dağılmasına yol açabilir. İyi tasarlanmış yaprak yay sistemleri, titreşim etkilerini ve diğer bütün bozucu kuvvetleri mümkün olduğunca zayıflatarak sistemin daha uzun ömürlü olmasını ve daha yüksek performanslarda çalışmasını sağlayacaktır.

Literatürde titreşim analizi için kullanılan üç farklı yöntem bulunmaktadır. Bunlar; *i.)* yer değiştirmeye dayalı titreşim analizi, *ii.)* hız ölçümüne dayalı titreşim analizi, ve *iii.)* ivme ölçümüne dayalı titreşim analizi yöntemleridir. Bu tez çalışmasında, ivme ölçümüne dayalı titreşim analizi yaklaşımı kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Bu tez çalışmasında, ivme ölçümüne dayalı titreşim ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında deneysel verilerin modellenmesi için kullanılan yapay sinir ağları doğrusal olmayan ve paralel çalışabilme yeteneğine sahip yapay zekâ yaklaşımlarıdır [12]. Yapay sinir ağları, giriş ve çıkış değişkenleri arasında, doğrusal ve doğrusal olmayan modellemeleri herhangi bir ön bilgiye ihtiyaç duymadan gerçekleştirebilirler [13-15]. Hossain ve arkadaşları, [16] numaralı çalışmada, titreşim analizine yönelik farklı YSA algoritmalarının çalışma performanslarını incelenmişlerdir. [17] numaralı çalışmada, Eski tarafından matkap tezgâhları üzerinde oluşan titreşimlerin tahminlemesine yönelik YSA tabanlı analizler gerçekleştirilmiştir. Bir diğer çalışmada [18], Yıldırım ve arkadaşları tarafından YSA ile sütun matkap tezgâhında delme performans analizi gerçekleştirilmiştir. Garg ve arkadaşları tarafından yapılmış olan [19] numaralı çalışmada, yüksek hızlı çelik matkap uçlarıyla yapılan çelik ve bakır iş parçalarındaki delik açma işlemlerinde matkap uçlarının yıpranma öngörüsü için geri

yayılma sinir ağı (BPNN) ve radyal tabanlı fonksiyon ağı (RBFN) yapılarının performansları araştırılmıştır. Rao ve Murthy, çelik malzemenin delinmesi esnasında yüzey aşınması tahminlerinde yapay sinir ağlarını başarılı bir şekilde uygulamışlardır [20]. Titreşim analizine yönelik gerçekleştirilmiş bir diğer çalışma olan [21]'de, torna tezgahında optimum kesim bölgesini tahmin etmek için yapay sinir ağlarına dayalı sonuçlar elde edilmiştir. Cetinkaya ve arkadaşları tarafından yapılan [22] numaralı çalışmada bir CNC torna tezgahı üzerinde farklı malzemeler için detaylı titreşim analizleri gerçekleştirilmiştir. [23] numaralı çalışmada, Çetinkaya ve İşci bu tez çalışmasında kullanılan yaprak yay sistemi üzerinde 3-eksenli ivme ölçümleri ve bunların YSA tabanlı modellenmesi çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir.

2. BÖLÜM

BENZETİM ÇALIŞMALARI VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

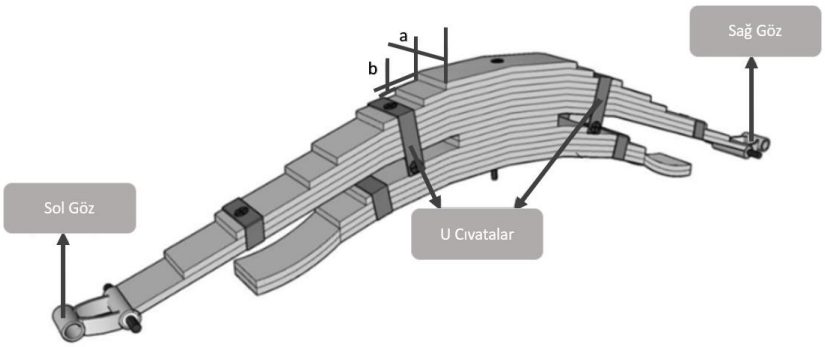
Bu çalışma, yaprak yay sistemlerinde belirli uygulama süreleri ve basınç değerleri altında ortaya çıkan titreşim karakteristiklerinin yapay sinir ağlarıyla modellemesini kapsamaktadır. Yaprak yay sistemleri, özellikle otomotiv sektöründe olmak üzere birçok endüstriyel uygulamada kullanılan önemli mekanik yapılar arasındadır. Yaprak yay sistemlerinin farklı çalışma koşulları altındaki davranışlarının analizi ve modellenmesi ilgili sistem performansının optimize edilmesi açısından son derece önemlidir.

2.1. Deneysel Çalışmalar

Bu tez çalışmasında, yaprak yay sistemine bir hidrolik piston vasıtasıyla üretilen farklı basınç değerleri farklı sürelerde uygulanmış ve oluşan titreşim karakteristikleri tek eksenli ivmeölçerler kullanılarak ölçülmüştür. Elde edilen deneysel titreşim verileri bir Intelligent Data Acquisition (IDA) aracılığıyla bilgisayara aktarılarak anlamlı hale getirilmiştir. Bu titreşim verileri daha sonra bu tez çalışması kapsamında geliştirilen bir RTYSA ağ yapısı kullanılarak modellenmiştir. Böylece, yaprak yay sistemlerinin farklı çalışma koşulları altında titreşim karakteristiklerinin modellenmesine ve optimize edilmesine yönelik kapsamlı bir yaklaşım literatüre sunulmuştur.

2.1.1. Ekipmanlar ve Malzemeler

Deneysel çalışmalar, Cetinkaya ve Topaç tarafından tasarlanan [24] ve bilgisayar çizimi Şekil 2.1'de gösterilen esnek yapılı bir yaprak yay sistemi üzerinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.1. Yaprak yay sistem modeli

Bu yapının çelik malzeme kullanılarak tasarlanmış gerçek sistemi ise Şekil 2.2'de sunulmuştur. Görüldüğü gibi, ana gövde 10 adet çelik yaprak yay içermektedir ve ek olarak deney sisteminin güçlendirilmesi amacıyla alt kısma 7 adet ek yaprak yay eklenmiştir. Ana yaprağın uç kısımlarında bağlantı oluşturmak amacıyla yay bağlantı gözleri yer almaktadır. Ayrıca, şasi ve çerçeveyi sabitlemek için orta kısımda U cıvatalar bulunmaktadır.



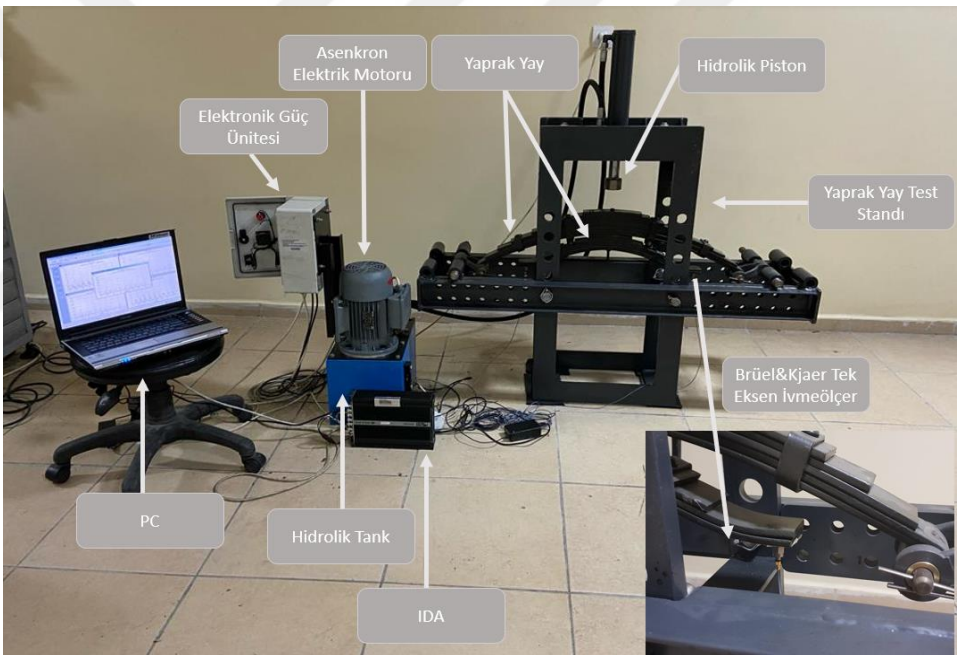
Şekil 2.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan yaprak yay sistemi

Yaprak yay sisteminin geometrik özellikleri ise Tablo 2.1 ile verilmiştir.

Tablo 2.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan yaprak yay sisteminin geometrik özellikleri

Her bir yaprak yayın genişliği	0.8 cm
Her bir yaprak yayın genişliği	5.786 cm
U cıvatalar arası uzaklık	9.8 cm
Göz iç çapı	0.37 cm
Göz dış çapı	0.53

Cetinkaya ve Topaç tarafından tasarlanan [24] ve bu tez çalışması kapsamında kullanılmış olan deney düzeneği Şekil 2.3'te ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Deney düzeneğinde; yaprak yay sistemi, hidrolik sistem, Brüel&Kjaer tek eksen ivmeölçer, IDA, asenkron elektrik motoru ve elektronik güç ünitesi bileşenleri bulunmaktadır. Hidrolik sistem, hidrolik piston ve hidrolik tanktan oluşan bir yapıya sahiptir ve farklı basınç değerleri oluşturmak ve uygulamak üzere tasarlanmıştır. Bu tez çalışmasında kullanılan hidrolik sistem (0-50) bar aralığında basınç değerleri üretebilmektedir. Elektronik güç ünitesi, sistemin tüm elektronik bileşenlerini kontrol etmekte ve zamanlama ayarlarını gerçekleştirmektedir. Tek eksenli ivmeölçer ile sistemden alınan ivme verileri IDA aracılığıyla anlamlı hale getirilmiş ve bilgisayara aktarılmıştır.



Şekil 2.3. Deneysel sistem ve bileşenleri

Hidrolik pistonun çalışmasını sağlayan asenkron elektrik motorunun teknik özellikleri ise Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.2. Deneysel sistemde kullanılan asenkron elektrik motoru teknik özellikleri

Maksimum akım	10.8 (A)
Frekans	50 (Hz)
Motor Gücü	1.5 (kW)
Gerilim	220 (V)
Ağırlık	14.5 (kg)

Piston tarafından yaprak yaya uygulanan basınç verileri, (2.1) numaralı denklemde verilen formül üzerinden hesaplanmış ve elde edilen değerler Tablo 2.3'te gösterilmiştir.

$$P = \frac{F}{A} \tag{2.1}$$

burada; P değeri basınç, F değeri kuvvet ve A ise yüzey alanı olarak tanımlanmaktadır.

Tablo 2.3. Basınç değerlerine göre oluşan kuvvet verileri

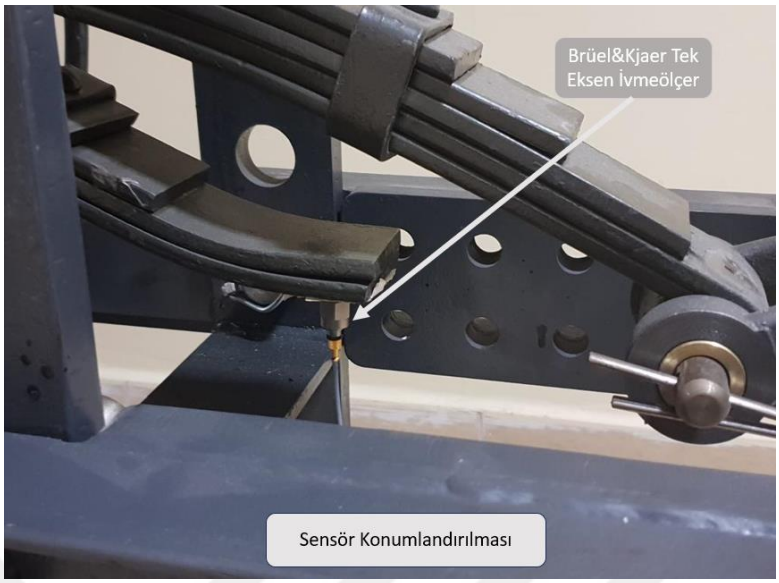
Basınç (bar)	**Kuvvet (kg)**
25	720
37.5	1080
50	1440

Yaprak yay sistemi içindeki pistonun hareketini sağlayan hidrolik sistemin teknik özellikleri ise Tablo 2.4 ile verilmiştir.

Tablo 2.4. Deneysel sistemde kullanılan hidrolik sistemin teknik özellikleri

Hidrolik silindir güç kapasitesi	10 Ton
Hidrolik silindir strok uzunluğu	400 mm
Hidrolik tank kapasitesi	25 lt
Hidrolik dönüş filtresi	15 lt/dk

İvme ölçümleri üzerinden titreşim analizleri gerçekleştirebilmek için Brüel&Kjaer 4524 B 001 model tek eksenli bir ivmeölçer Şekil 2.4'te gösterildiği gibi sisteme yerleştirilmiş ve alınan sonuçların anlamlandırılabilmesi için Brüel&Kjaer 3560 B model IDA kullanılmıştır.



Şekil 2.4. Deneysel sistemde kullanılan sensörler ve sistem içindeki konumu

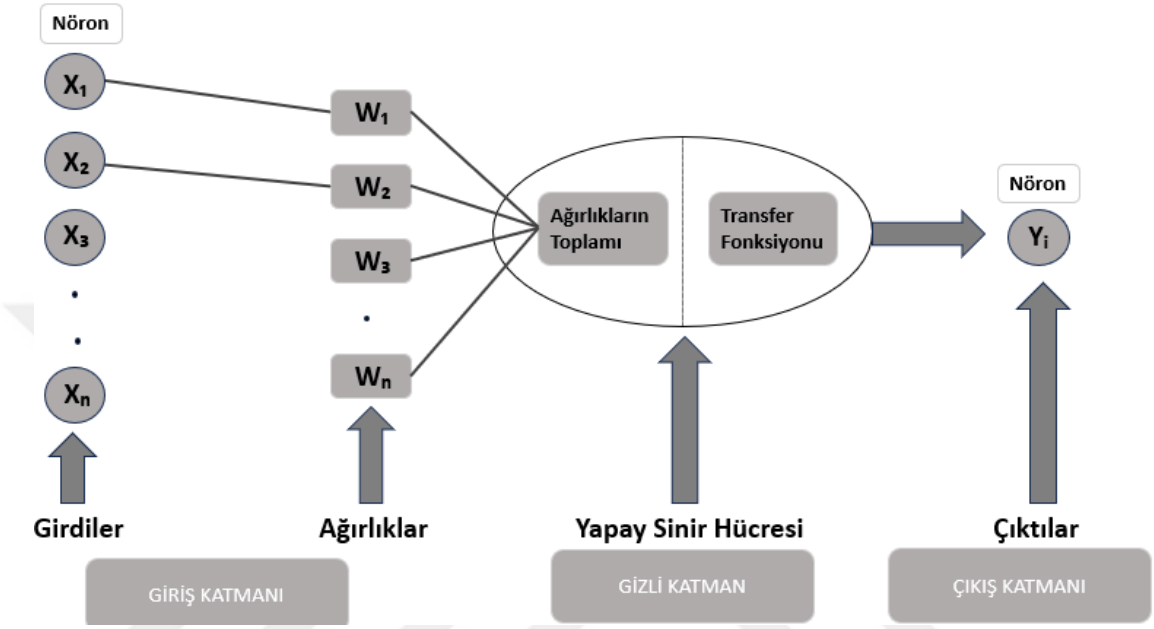
Deneysel çalışmarda, yaprak yay sistemi üzerine 7, 13, 19 ve 25 saniye uygulama sürelerinde hidrolik piston tarafından üretilen 25, 37.5 ve 50 bar basınç değerleri ile uygulanmıştır.

2.2. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları, insan beyninin sinirsel aktivitelerini simüle eden etkin yapay zekâ yaklaşımlarıdır. İnsan beyninde düşünme, öğrenme ve hatırlama gibi tüm davranışlar sinir hücrelerinin karmaşık etkileşimleri sonucunda gerçekleşir. İnsan beyninde yaklaşık 100 milyar sinir hücresi olduğu tahmin edilmektedir ve bu hücreler arasında sayısız bağlantı, yani sinapslar, bulunmaktadır. Geleneksel algoritmalar, girişlerin belirli kurallar çerçevesinde işlenmesi sonucunda çıkışları üretirken, yapay sinir ağları öğrenme sürecinde giriş ve çıkış bilgilerini kullanarak modellemeler gerçekleştirirler. Geleneksel algoritmalarda bilgiler genellikle kesin ve belirliyken, yapay sinir ağlarında deneyimlerden yararlanılır. Ayrıca, geleneksel hesaplama işlemleri genellikle eş zamanlı ve sürekliyken, YSA'da hesaplama işlemleri eşzamanlı olmayabilir ve paralel olarak gerçekleşebilir. Geleneksel hesaplama işlemlerinde bilgiler genellikle hazır bilgi olarak depolanırken, yapay sinir ağlarında bellek dağınık bir yapıya sahiptir. Bu farklılıklar, geleneksel algoritmaların sınırlarını aşan ve karmaşık problemleri çözmek için yeni bir yaklaşım sunan yapay sinir ağlarının önemini vurgulamaktadır.

2.2.1. Yapay Sinir Ağlarının Yapısı

Giriş katmanı, gizli (ara) katman ve çıkış katmanı olmak üzere üç katmandan meydana gelen bir yapay sinir ağ yapısı temel olarak Şekil 2.5'te gösterilen mimariye sahiptir.



Şekil 2.5. Temel bir yapay sinir ağ mimarisi

Giriş katmanı, dışarıdan veri girişinin uygulandığı katman olup her bir hücre bir giriş parametresine karşılık gelir. Girişler genellikle herhangi bir ön işleme tabi tutulmadan doğrudan bir sonraki katmana veya katmanlara iletilirler. Gizli katman, giriş katmanından gelen bilgilerin işlendiği ve temel veri işleme süreçlerinin gerçekleştirildiği katmandır. Yapay sinir ağları, farklı sayılarda gizli katman içerebilir; bazıları tek bir gizli katmana sahipken, diğerleri birden fazla gizli katman içerebilir. Gizli katmanlardaki nöron sayısı, girdi ile çıktı sayılarına bağlı değildir ve nöron sayılarının arttırılması hesap karmaşasını ve süresini artırabilmektedir. Çıkış katmanı ise gizli katmanlardan gelen bilgileri işleyerek ağın nihai çıktılarını üreten katmandır. Elde edilen çıktılar genellikle doğrudan kullanılabilecek niteliktedir. Geri beslemeli ağlarda, çıkış katmanının ürettiği çıktılar kullanılarak ağın tekrardan ağırlık değerleri hesaplanabilir.

2.2.2. Yapay Sinir Ağ Eğitimi

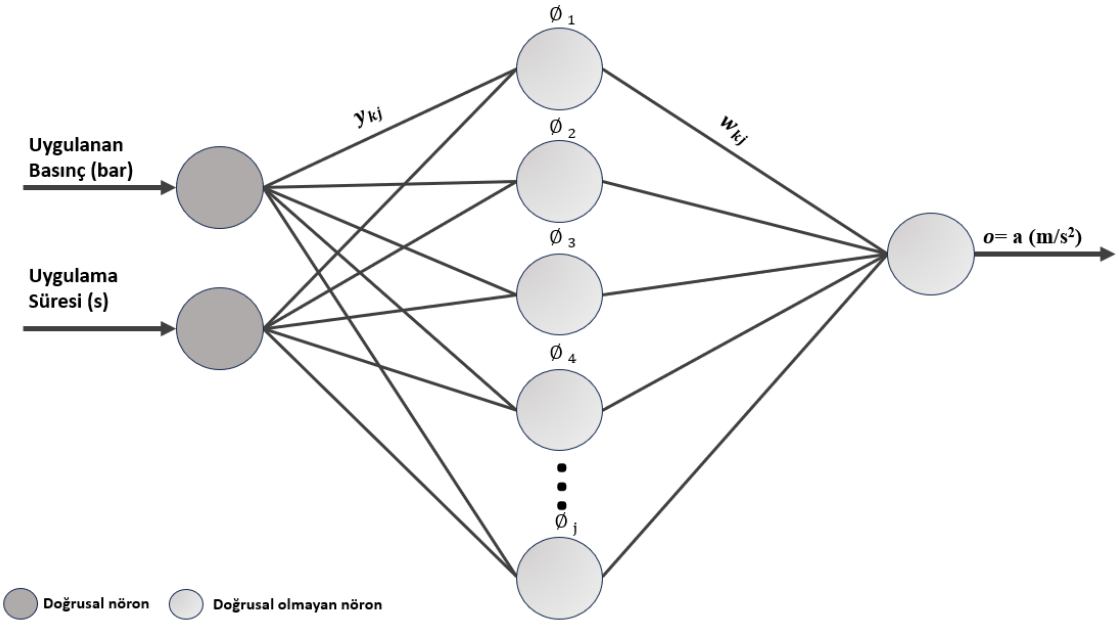
Yapay sinir ağlarında, ağırlık değerleri hata değerini minimize etmek amacıyla her bir iterasyonda güncellenir. Arzu edilen sonlandırma kriterine ulaşıldığında, ağırlıkların

optimum değerlere yaklaştığı söylenebilir ve bu noktada öğrenme süreci tamamlanmış olur. Ağırlıkların güncellendiği her adımda geçen süreye ise "öğrenme" adı verilir. YSA öğrenme sürecini tamamladıktan sonra, ağa daha önce sunulmamış giriş verileri uygulanır ve ağın çıktısıyla gerçek çıktı arasındaki fark, yani hata değeri incelenir. Eğer YSA, yeni örnekler için de düşük hata değerleri üretiyorsa, öğrenme süreci başarılı olarak kabul edilir. Yapay sinir ağlarında eğitme işlemi, genellikle mevcut verilerin yaklaşık %70'i kullanılarak gerçekleştirilir. Eğitme işlemi tamamlandıktan sonra ağın performansı geriye kalan %30'luk veri kullanılarak test edilir ve ağ başarımı değerlendirilir. Literatürde, eğitme sürecinin toplam verinin %80'i ile gerçekleştirildiği ve test sürecinin ise toplam verinin %20'si ile gerçekleştirildiği çalışmalarda mevcuttur. Bu tez çalışmasında, ağın eğitimi için kullanılan deneysel sonuçlar, devam eden bölümlerde detaylandırılıp verilere sistematik bir şekilde uygulanmıştır.

2.2.2.1. Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağları

Radyal tabanlı yapay sinir ağları, canlılarda sinir hücrelerinin etki tepki prensibinden ilham alınarak, 1988 tarihinde önerilen bir yapay sinir ağ yapısıdır. Bu ağlar, biyolojik sinir sistemlerine benzer bir şekilde bilgi işleme ve öğrenme yetenekleri üzerine odaklanan bir sistematiğe sahiptir [14].

RTYSA, genel YSA tasarımına benzer biçimde giriş, gizli ve çıktı katmanları olmak üzere üç katmandan oluşur. Şekil 2.6, benzetim çalışmalarında kullanılan ve bu çalışma kapsamında önerilen RTYSA yapısını sembolize etmektedir.



Şekil 2.6. Benzetim çalışmalarında kullanılan RTYSA yapısı

Giriş katmanından ara katmana doğru doğrusal olmayan bir dönüşüm radyal tabanlı aktivasyon fonksiyonları ile gerçekleştirilir. Ara katmandan çıkış katmanına doğru uygulanan dönüşüm ise doğrusal bir dönüşümdür. $\emptyset_j$ değerleri matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilirler,

$$\emptyset_j = exp\left(-\frac{\|x - c_j\|^2}{\sigma_j^2}\right) \tag{2.2}$$

burada; x : giriş vektörü, c_j : j. gaussian merkezi ve σ_j standart sapma değeri olarak ifade edilmektedir. x ve c_j vektörleri arasındaki Öklid mesafesi $\|x - c_j\|$ olarak tanımlamaktadır. Ayrıca, j. ara düğümün sisteme aktivasyon seviyesi de $\emptyset_j$'ye eşit olarak tanımlanmaktadır. Ara katman çıkışları,

$$y_{kj} = \prod \emptyset_j(x, c, \sigma) \tag{2.3}$$

olarak tanımlanmıştır. k. düğüm denklemi ise aşağıdaki eşitlikte gösterildiği gibidir,

$$o_k = \sum_{j=1}^{J} w_{kj} y_{kj} \tag{2.4}$$

burada; w_{kj}, k. çıkış düğümü ile j. ara katman düğümü arasındaki ağırlığı belirtmektedir.

2.2.3. Benzetim Çalışmalarında Kullanılan Parametreler

Giriş parametreleri, uygulama süresi ve basınç değeri olarak tanımlanmıştır. Yaprak yay sistemine 7, 13, 19 ve 25 saniye uygulama sürelerinde 25, 37.5 ve 50 bar basınç değerleri uygulanmış ve elde edilen deneysel titreşim karakteristiği RTYSA ile modellenirken (0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.7, 0.8 ve 0.9 yayılma sabiti değerleri için analizler gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda ve benzetim çalışmalarında kullanılan çalışma koşulları aşağıda Tablo 2.5 ile gösterilmiştir.

Tablo 2.5. Deneysel çalışmalarda ve benzetim çalışmalarında kullanılan çalışma koşulları

Basınç (bar)	**Süre (saniye)**	**Yayılma Sabiti**	**Basınç (bar)**	**Süre (saniye)**	**Yayılma Sabiti**	**Basınç (bar)**	**Süre (saniye)**	**Yayılma Sabiti**
25	7-13-19-25	0.1	37.5	7-13-19-25	0.1	50	7-13-19-25	0.1
		0.2			0.2			0.2
		0.3			0.3			0.3
		0.4			0.4			0.4
		0.6			0.6			0.6
		0.7			0.7			0.7
		0.8			0.8			0.8
		0.9			0.9			0.9

Benzetim çalışmaları MATLAB 2016 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. En yüksek RTYSA performansına ulaşabilmek amacıyla ağ parametrelerinin en uygun değerlerinin seçilmesi gerekmektedir. Literatür incelenerek ve farklı parametre değerleri için gerçekleştirilen deneme benzetimlerinin sonuçları değerlendirilerek en uygun ağ parametre değerleri Tablo 2.6 verildiği gibi elde edilmiştir. Tez çalışması kapsamında, yayılma sabiti parametresine ($\propto$) yönelik analizler gerçekleştirildiği için bu parameter değeri tablo içerisinde ayrıca gösterilmemiştir.

Tablo 2.6. RTYSA ağ yapısı için kullanılan parametre değerleri

Ağ Yapısı	Öğrenme Oranı ($\boldsymbol{\eta}$)	Gizli Katman / Nöron Sayısı	Tekrarlanma Sayıları (N)
RTYSA	0.25	1/100	1.10^5

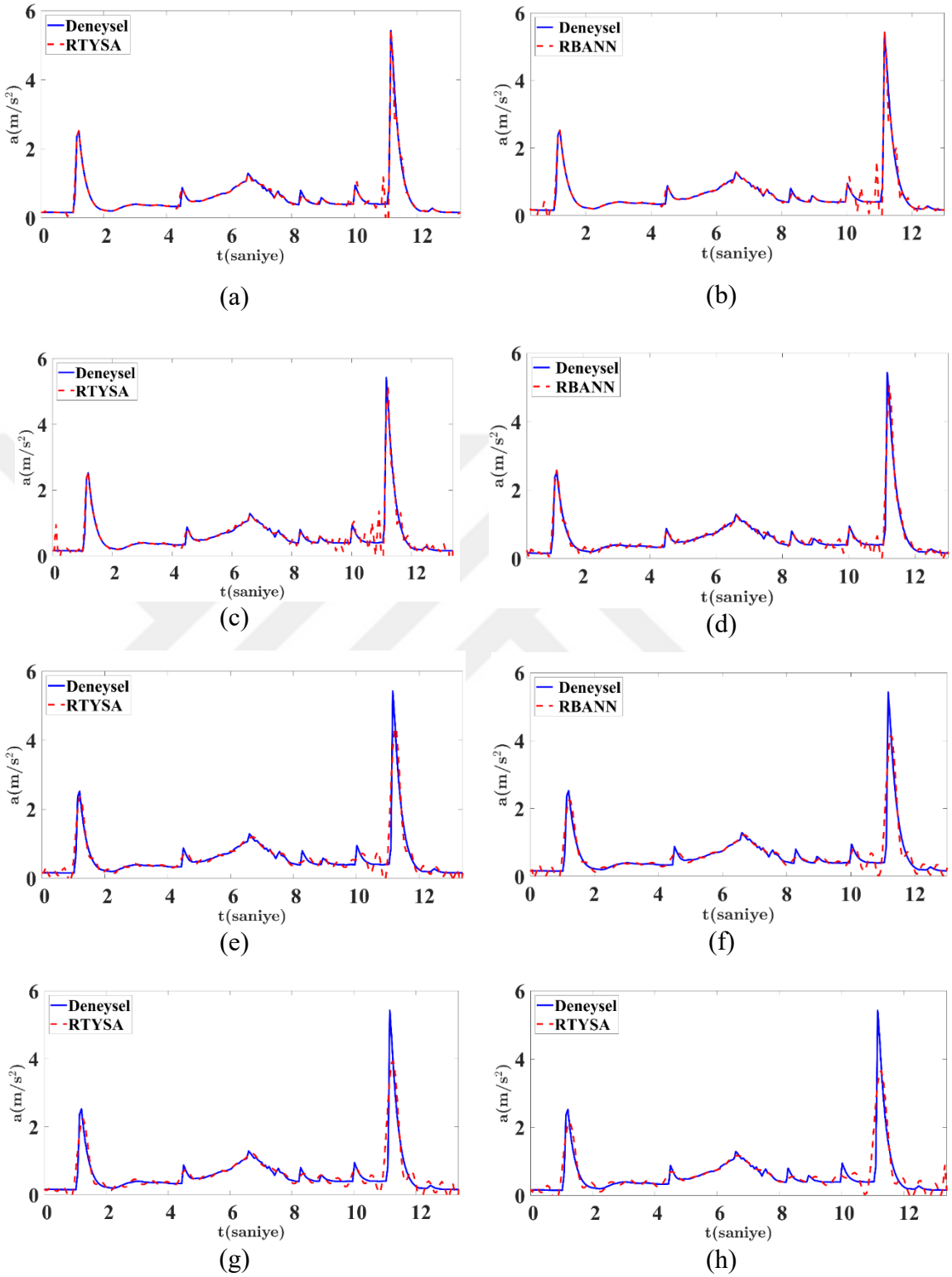
3. BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

Literatürde titreşim analizi için kullanılan üç farklı yöntem bulunmaktadır. Bunlar; *i.)* yer değiştirmeye dayalı titreşim analizi, *ii.)* hız ölçümüne dayalı titreşim analizi ve *iii.)* ivme ölçümüne dayalı titreşim analizi yöntemleridir. Bu tez çalışmasında, ivme ölçümüne dayalı titreşim analizi yaklaşımı kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışmasında, bir yaprak yay sistemi üzerinde farklı uygulama süreleri ve basınç değerleri için deneysel ivme ölçümleri [a (m/s^2)] olarak tek eksenli bir ivme sensörü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 7, 13, 19 ve 25 saniye uygulama süreleri ve 25, 37.5 ve 50 bar basınç değerleri altında gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda elde edilen titreşim karakteristiklerinin modellenmesi amacıyla RTYSA ağ yapısı geliştirilmiştir. Geliştirilmiş olan ağ yapısının 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.7, 0.8 ve 0.9 yayılma sabiti (spread constant, sc) değerleri için modelleme performansları analiz edilmiş ve sonuçlar mukayese edilmiştir.

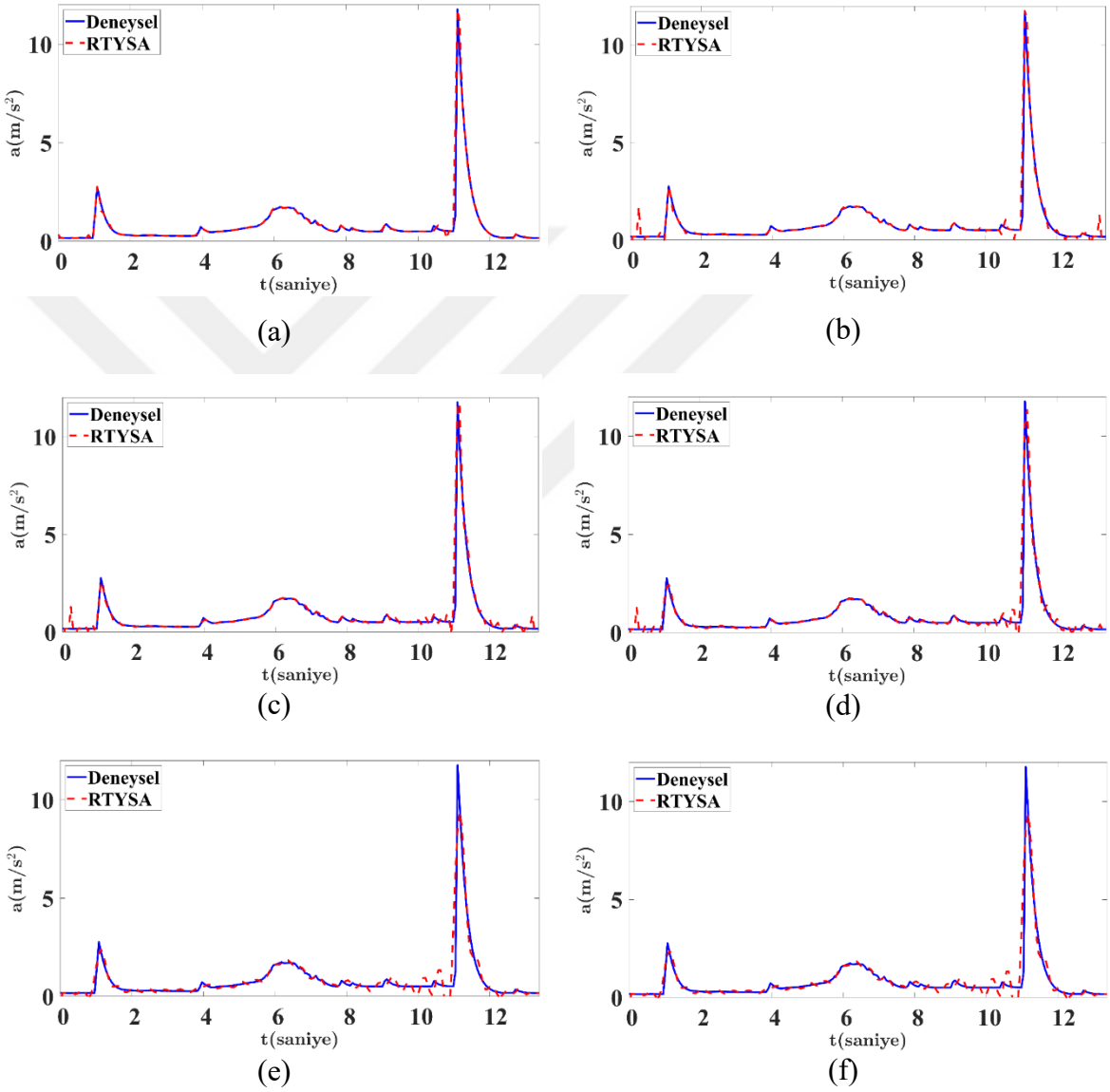
7 saniye süresince 25 bar basınç uygulandığında elde edilen deneysel sonuçlar ve farklı yayılma sabiti değerleri için RTYSA tabanlı modelleme sonuçları Şekil 3.1 ile gösterilmiştir. (0.1, 0.2, 0.3 ve 0.4) yayılma sabiti değerleri için tepe dalgalarının daha yüksek doğrulukta modellendiği, (0.6, 0.7, 0.8 ve 0.9) yayılma sabiti değerleri için ise tepe dalgalarındaki modelleme performansının düştüğü gözlemlenmektedir. Tepe dalgaları haricinde genel titreşim karakteristiğinin modellenmesi açısından bütün yayılma sabiti değerlerinde benzer performansların elde edildiği görülmektedir. En yüksek modelleme performansı 0.6 yayılma sabiti değerinde, en düşük modelleme performansı ise 0.3 yayılma sabiti değerinde elde edilmiştir.

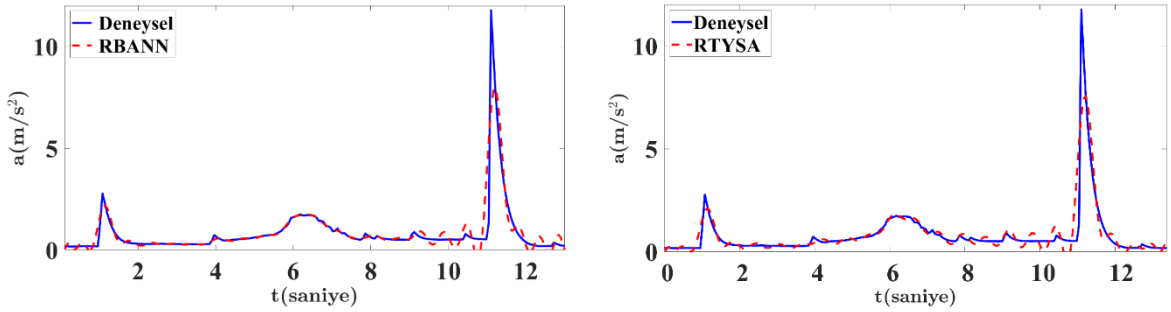


Şekil 3.1. 7 saniye uygulama süresi ve 25 bar basınç değeri için deneysel ve RTYSA sonuçları, (a) 0.1 sc, (b) 0.2 sc, (c) 0.3 sc, (d) 0.4 sc, (e) 0.6 sc, (f) 0.7 sc, (g) 0.8 sc, (h) 0.9 sc

7 saniye uygulama süresi ve 37.5 bar basınç değeri altında ortaya çıkan deneysel sonuçlar ve farklı yayılma sabitleri için elde edilen RTYSA tabanlı modelleme sonuçları Şekil

3.2'de gösterilmiştir. (0.1, 0.2, 0.3 ve 0.4) yayılma sabiti değerlerinde tepe dalgalarını da içerecek şekilde tüm titreşim karakteristiğin yüksek doğrulukta modellenebildiği görülmektedir. (0.6, 0.7, 0.8 ve 0.9) yayılma sabiti değerlerinde ise tepe dalgalar açısından modelleme performansının düştüğü görülmektedir. En yüksek modelleme performansı 0.1, en düşük modelleme performansı ise 0.9 yayılma sabiti değerleri için elde edilmiştir.

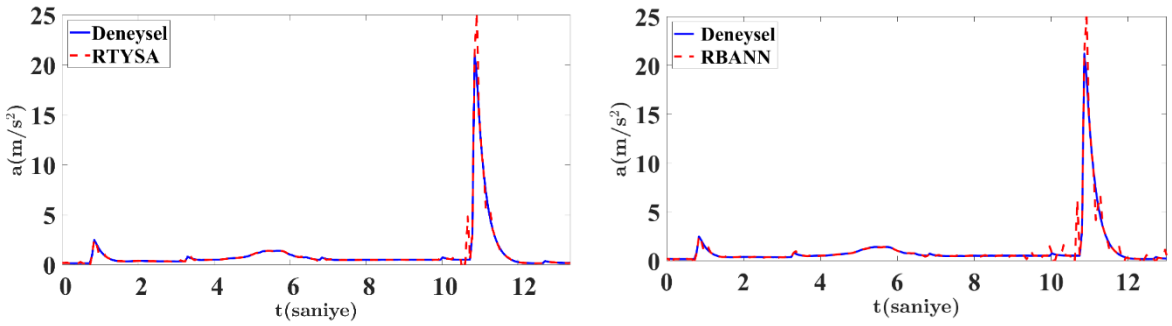




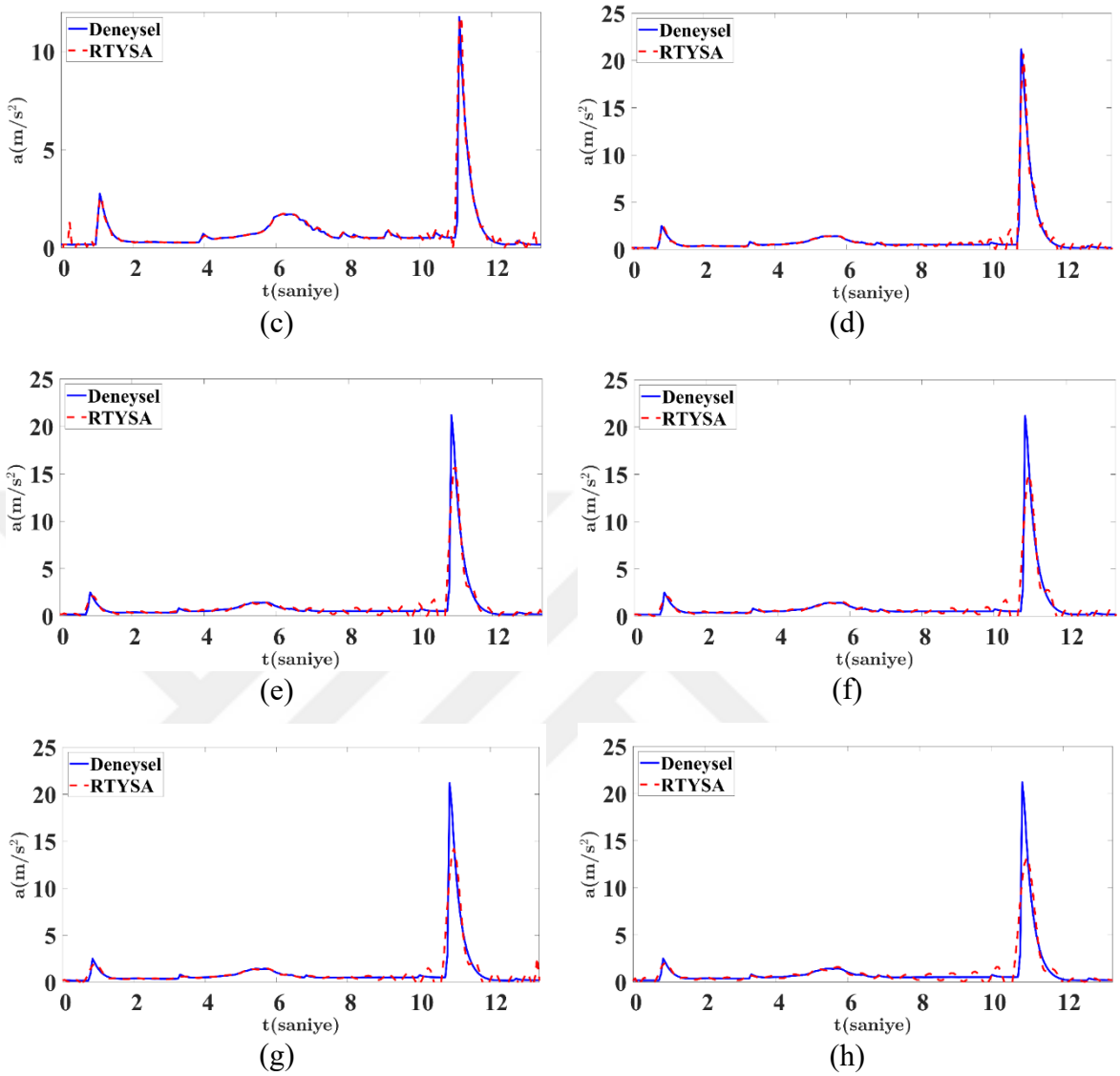
(g) (h)

Şekil 3.2. 7 saniye uygulama süresi ve 37.5 bar basınç değeri için deneysel ve RTYSA sonuçları, (a) 0.1 sc, (b) 0.2 sc, (c) 0.3 sc, (d) 0.4 sc, (e) 0.6 sc, (f) 0.7 sc, (g) 0.8 sc, (h) 0.9 sc

7 saniye ve 50 bar basınç çalışma şartları altında ortaya çıkan deneysel sonuçlar ve sekiz farklı yayılma sabiti için elde edilen RTYSA modelleme sonuçları Şekil 3.3'te mukayese edilmiştir. (0.1, 0.2, 0.3, 0.6, 0.7, 0.8 ve 0.9) yayılma sabiti değerinde tepe dalgalar için modelleme performansının düşük olduğu, en iyi tepe dalga modelleme performansının ise 0.4 yayılma sabiti değeri için elde edildiği ifade edilebilir. Tepe dalgalar haricindeki titreşim karakteristiklerinde ise benzer modelleme sonuçlarının ortaya çıktığı gözlemlenmektedir. Genel olarak, en yüksek modelleme performansının 0.4 yayılma sabiti değerinde, en düşük modelleme performansının ise 0.9 yayılma sabiti değerinde elde edildiği görülmektedir.

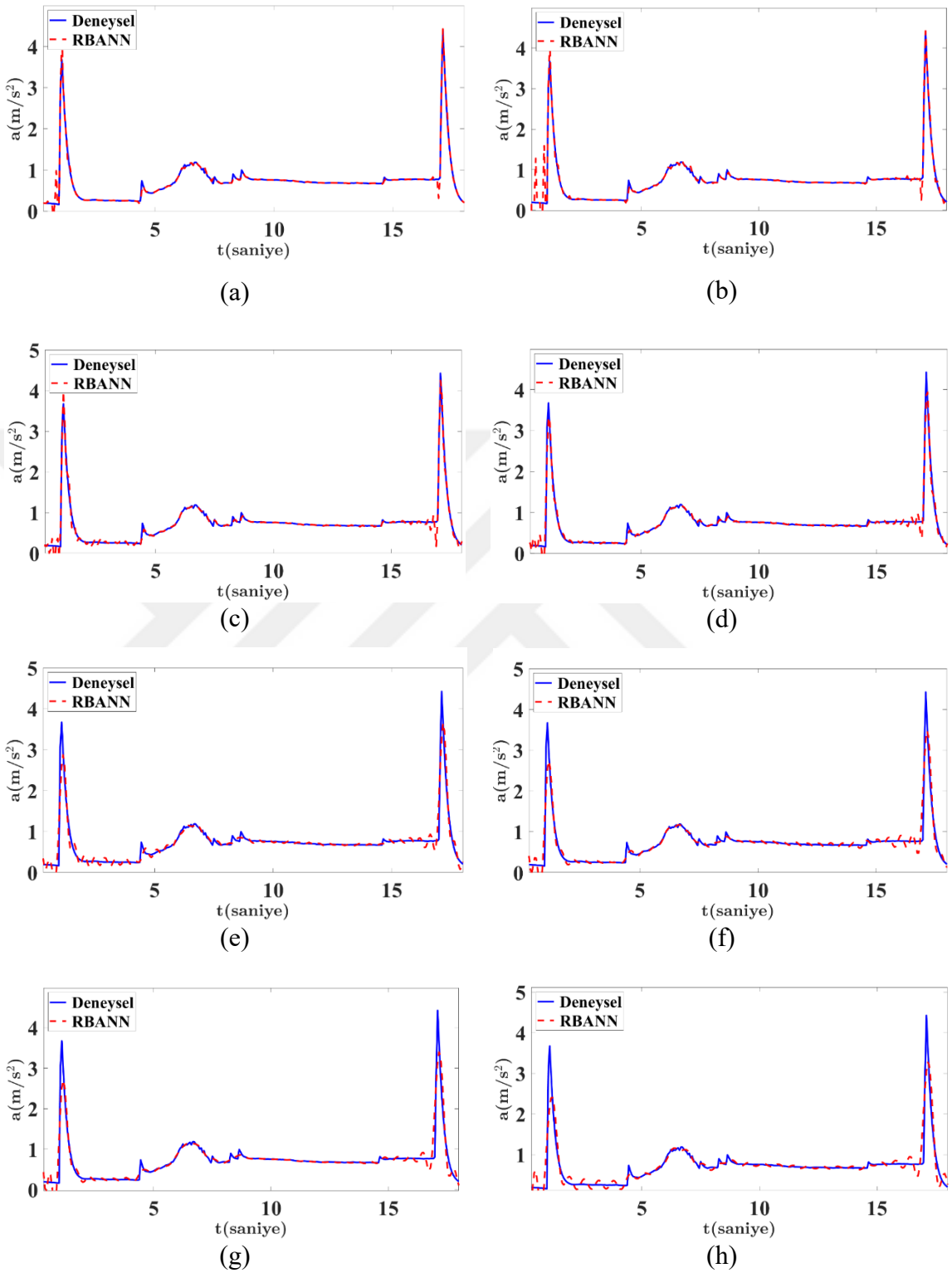


(a) (b)



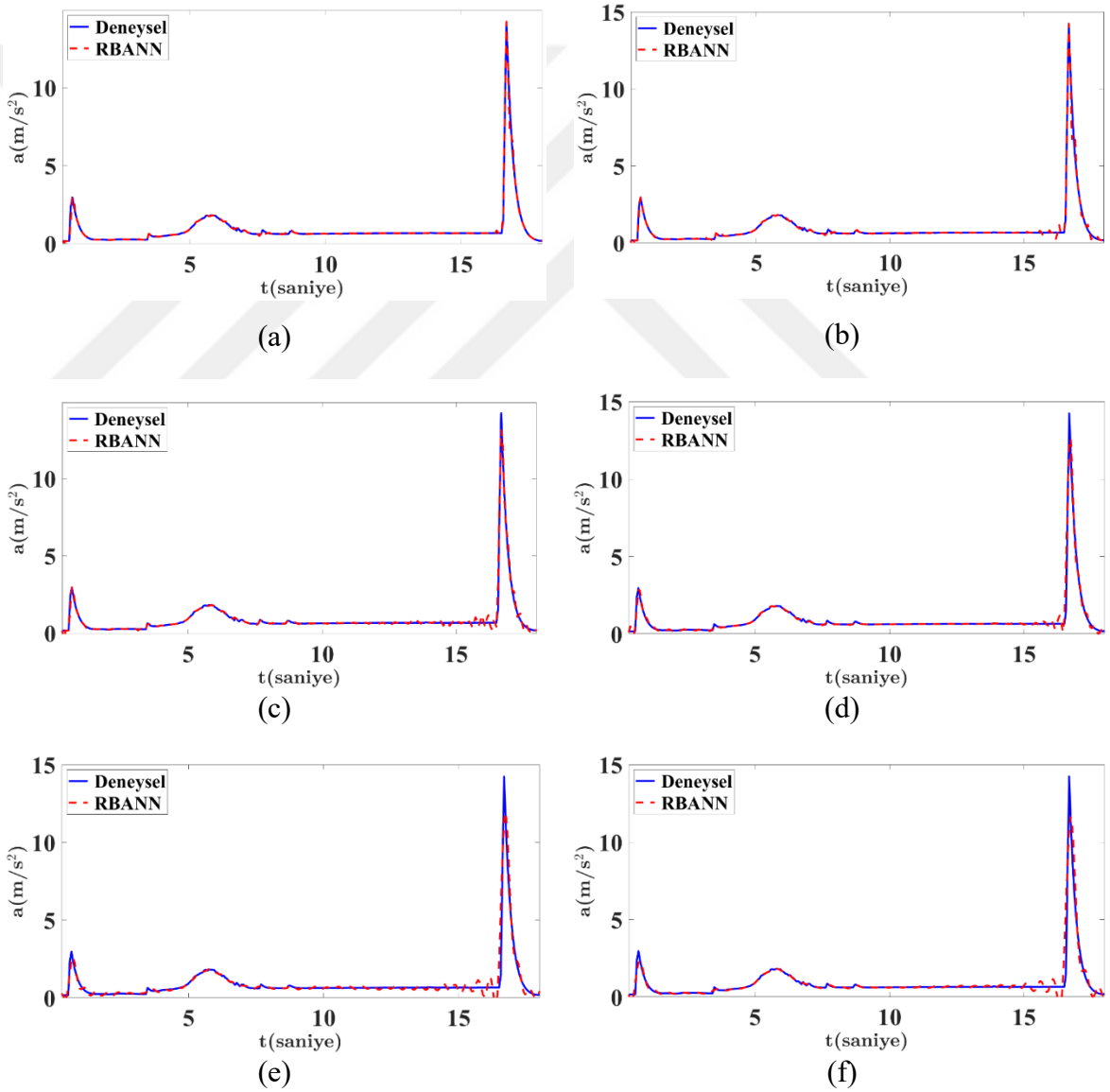
Şekil 3.3. 7 saniye uygulama süresi ve 50 bar basınç değeri için deneysel ve RTYSA sonuçları, (a) 0.1 sc, (b) 0.2 sc, (c) 0.3 sc, (d) 0.4 sc, (e) 0.6 sc, (f) 0.7 sc, (g) 0.8 sc, (h) 0.9 sc

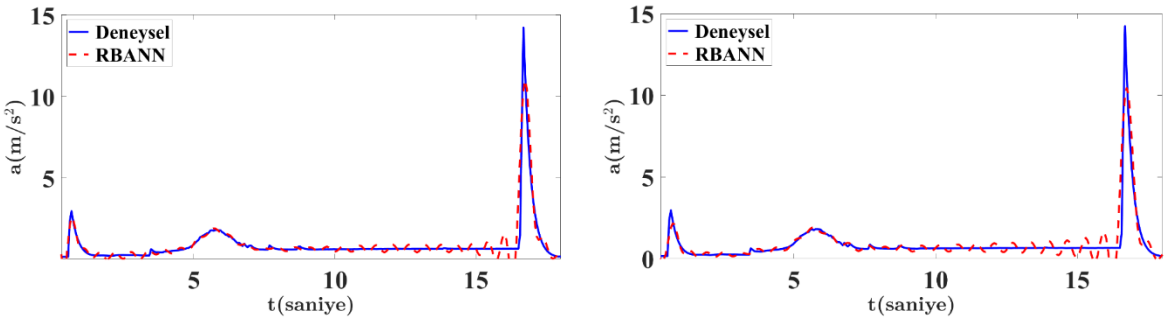
13 saniye çalışma süresi ve 25 bar basınç değeri altında elde edilen deneysel sonuçlar sekiz farklı yayılma sabiti için RTYSA ağ yapısı ile modellendiğinde ortaya çıkan titreşim karakteristikleri aşağıda Şekil 3.4 ile gösterilmiştir. Tepe dalgaları açısından (0.1, 0.2, 0.3 ve 0.4) yayılma sabiti değerlerinde ortaya çıkan modelleme performansının, (0.6, 0.7, 0.8 ve 0.9) yayılma sabiti değerlerine göre daha yüksek olduğu ifade edilebilir. Genel titreşim karakteristikleri analiz edildiğinde ise en iyi modellemenin 0.1 yayılma sabitinde, en kötü modellemenin ise 0.9 yayılma sabitinde ortaya çıktığı gözlemlenmiştir.



Şekil 3.4. 13 saniye uygulama süresi ve 25 bar basınç değeri için deneysel ve RTYSA sonuçları, (a) 0.1 sc, (b) 0.2 sc, (c) 0.3 sc, (d) 0.4 sc, (e) 0.6 sc, (f) 0.7 sc, (g) 0.8 sc, (h) 0.9 sc

13 saniye süresince 37.5 bar basınç uygulandığında ortaya çıkan titreşim karakteristikleri farklı yayılma sabitleri altında RTYSA ağ yapısı ile modellenmiş ve Şekil 3.5 ile verilen modelleme sonuçları elde edilmiştir. İlk dört yayılma sabiti değeri için tepe dalgaların optimum şekilde modellenebildiği, sonraki dört yayılma sabiti değerlerinde ise tepe dalgalar açısından modelleme performansının düştüğü görülmüştür. Çalışma süreleri boyunca ortaya çıkan titreşim karakteristikleri incelendiğinde ise optimum modelleme performansının 0.1 yayılma sabiti değerinde, en düşük modelleme performansının ise 0.9 yayılma sabiti değerinde ortaya çıktığı görülmektedir.

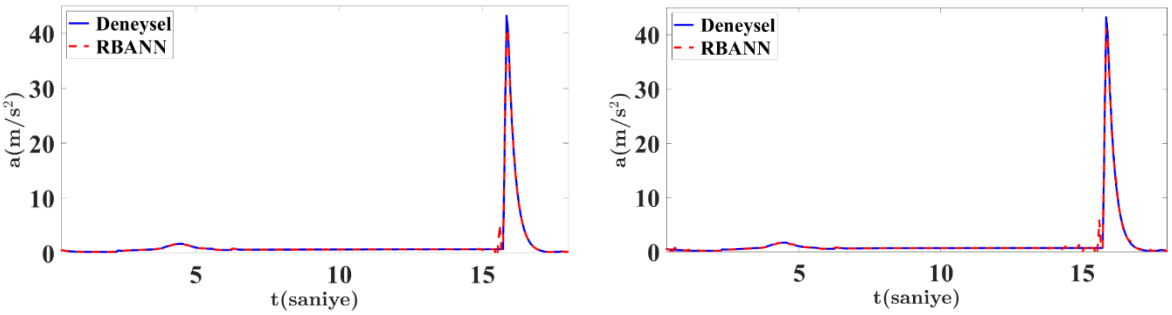




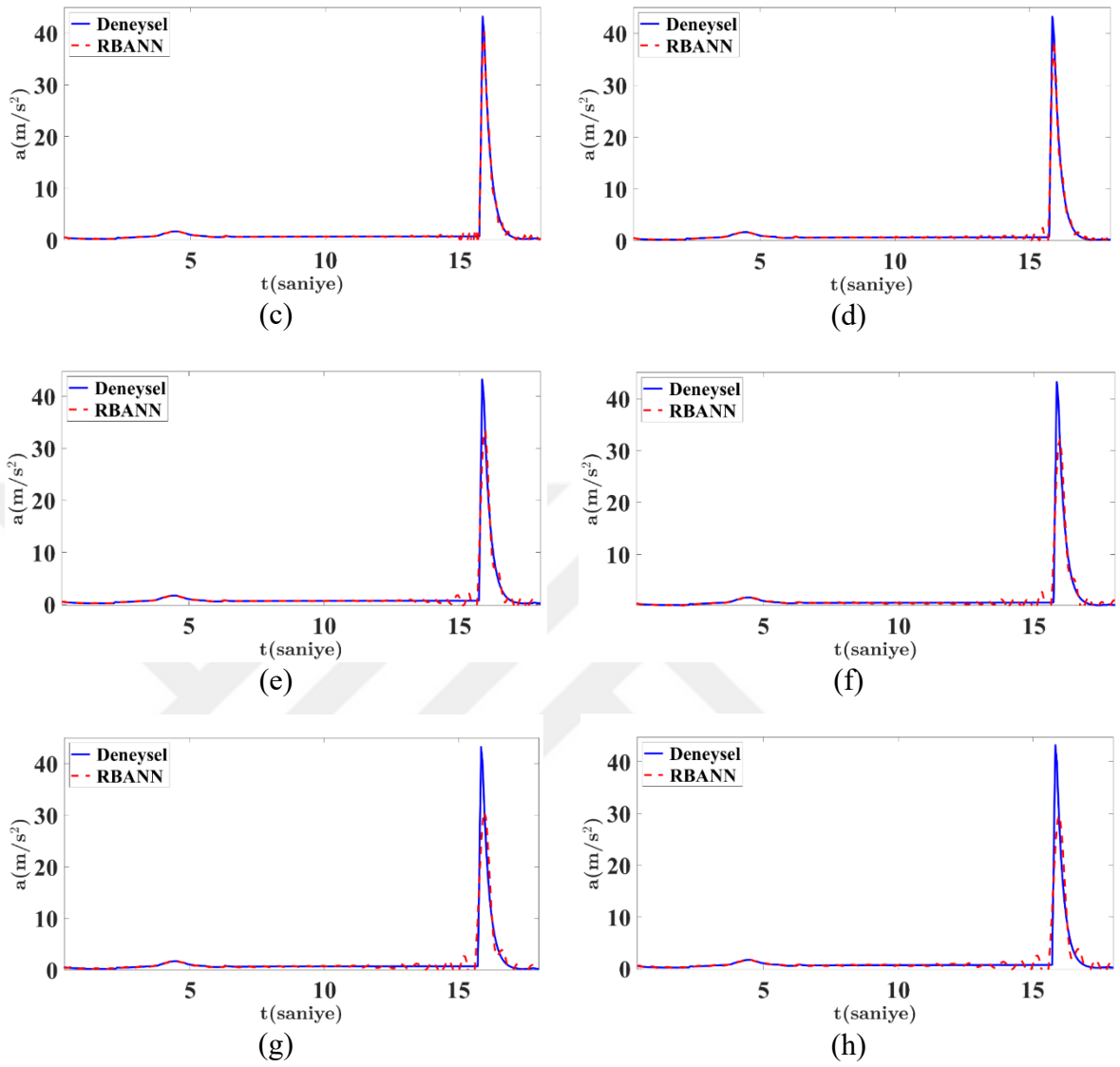
(g) (h)

Şekil 3.5. 13 saniye uygulama süresi ve 37.5 bar basınç değeri için deneysel ve RTYSA sonuçları, (a) 0.1 sc, (b) 0.2 sc, (c) 0.3 sc, (d) 0.4 sc, (e) 0.6 sc, (f) 0.7 sc, (g) 0.8 sc, (h) 0.9 sc

Uygulama süresi 13 saniye ve basınç değeri 50 bar olarak belirlendiğinde ortaya çıkan deneysel titreşim karakteristiği, farklı yayılma sabitleri için RTYSA ağ yapısı ile modellendiğinde Şekil 3.6 ile verilen sonuçlar elde edilmiştir. (0.1, 0.2, 0.3 ve 0.4) yayılma sabiti değerlerinde tepe dalgalarının yüksek doğrulukta modellenebildiği, (0.6, 0.7, 0.8 ve 0.9) yayılma sabiti değerlerinde ise modelleme performansının düştüğü gözlemlenmektedir. Tepe dalgalar haricindeki titreşim karakteristikleri açısından ise bütün RTYSA ağ yapılarının yüksek modelleme performansı üretebildiği ifade edilebilir. 0.1 yayılma sabiti değeri için en iyi sonuçların, 0.9 yayılma sabiti değeri için ise en kötü sonuçların ortaya çıktığı görülmüştür.

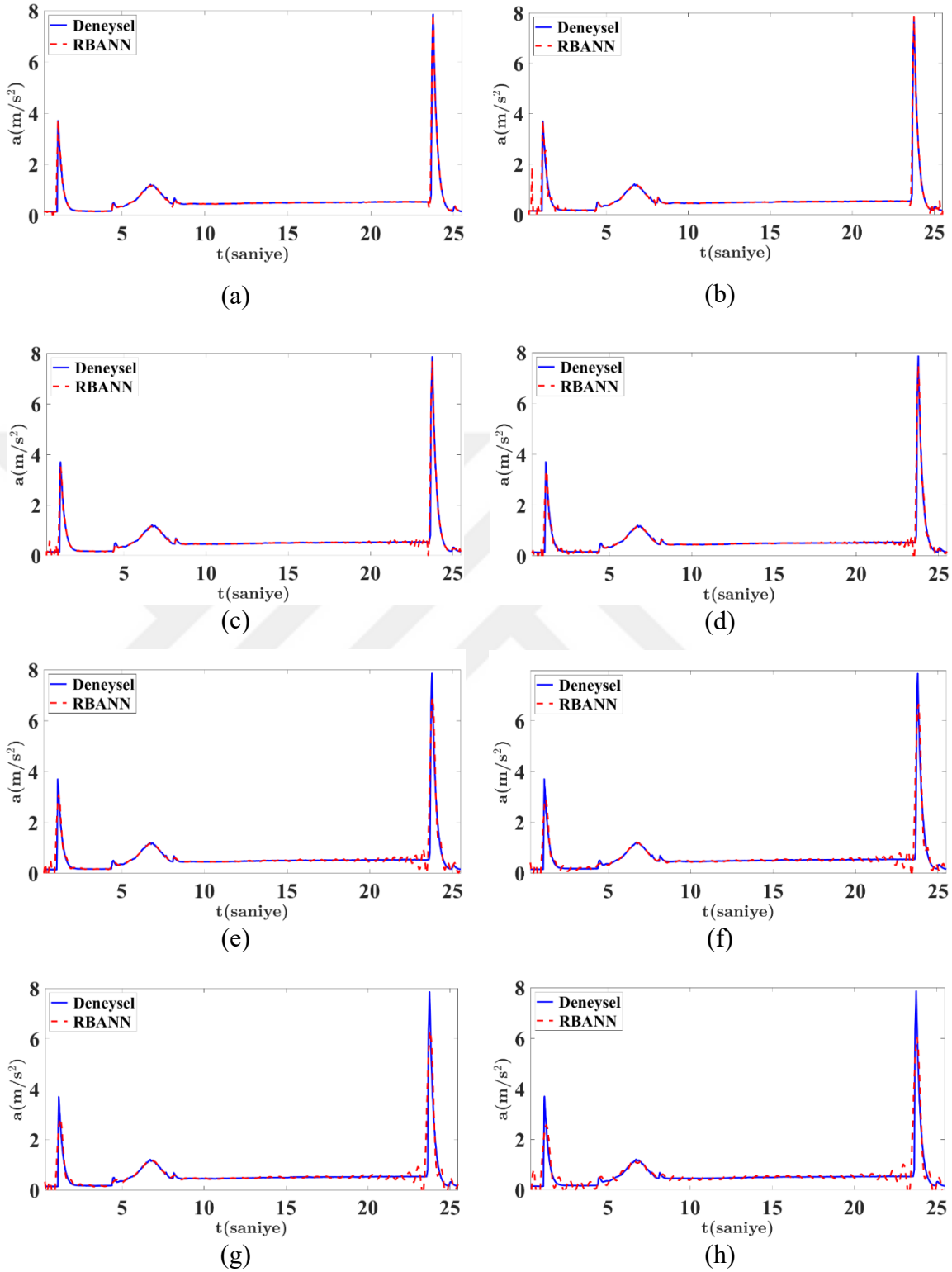


(a) (b)



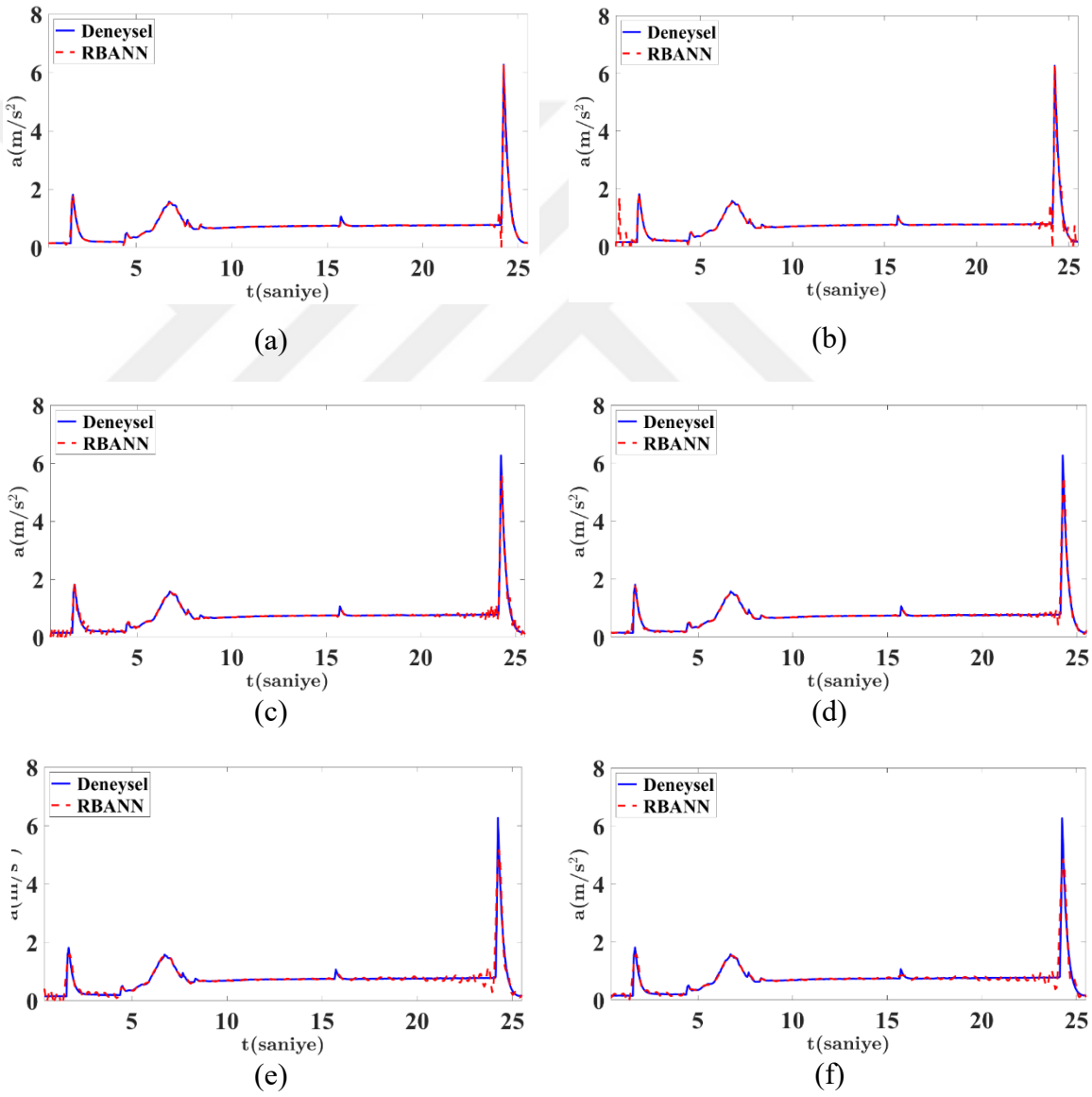
Şekil 3.6. 13 saniye uygulama süresi ve 50 bar basınç değeri için deneysel ve RTYSA sonuçları, (a) 0.1 sc, (b) 0.2 sc, (c) 0.3 sc, (d) 0.4 sc, (e) 0.6 sc, (f) 0.7 sc, (g) 0.8 sc, (h) 0.9 sc

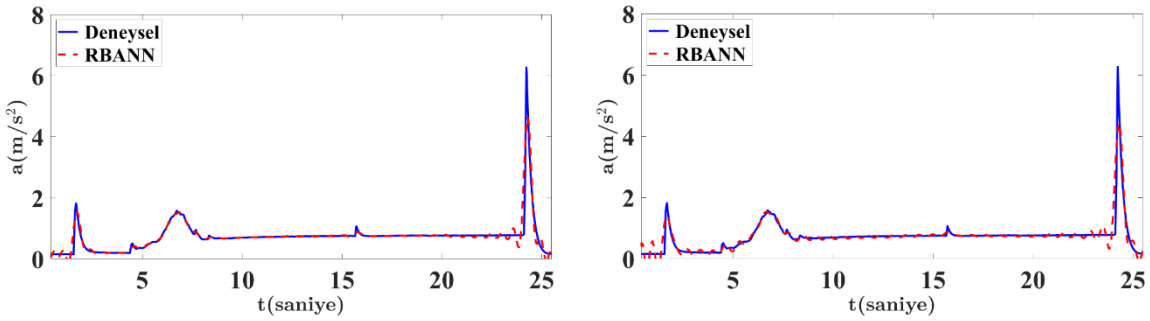
19 saniye ve 25 bar çalışma şartları altında ortaya çıkan deneysel sonuçlar ve sekiz farklı yayılma sabiti için elde edilen modelleme sonuçları Şekil 3.7'de mukayese edilmiştir. Daha önceki çalışma şartlarına benzer şekilde, yayılma sabitinin değeri arttıkça tepe dalgalar açısından modelleme performansı düşmektedir. Tepe dalgalar haricindeki titreşim karakteristiklerinin modellenmesinde tüm RTYSA ağ yapıları için benzer performanslar elde edilmesine karşın en iyi sonucun 0.1 en kötü sonucun ise 0.9 yayılma sabiti değerleri için oluştuğu ifade edilebilir.



Şekil 3.7. 19 saniye uygulama süresi ve 25 bar basınç değeri için deneysel ve RTYSA sonuçları, (a) 0.1 sc, (b) 0.2 sc, (c) 0.3 sc, (d) 0.4 sc, (e) 0.6 sc, (f) 0.7 sc, (g) 0.8 sc, (h) 0.9 sc

Şekil 3.8, 19 saniye ve 37.5 bar basınç çalışma koşullarında elde edilmiş olan deneysel titreşim karakteristiklerinin sekiz farklı yayılma sabiti değeri için RTYSA tabanlı modelleme sonuçlarını göstermektedir. Düşük yayılma sabiti değerlerinde tepe dalgaların daha yüksek doğrulukta modellenebildiği, yayılma sabitinin değeri arttıkça tepe dalgalar için modelleme performansının düştüğü gözükmektedir. Genel olarak, en yüksek modelleme performansının 0.1 yayılma sabiti değerinde en düşük modelleme performansının ise 0.9 yayılma sabiti değerinde elde edildiği ifade edilebilir.

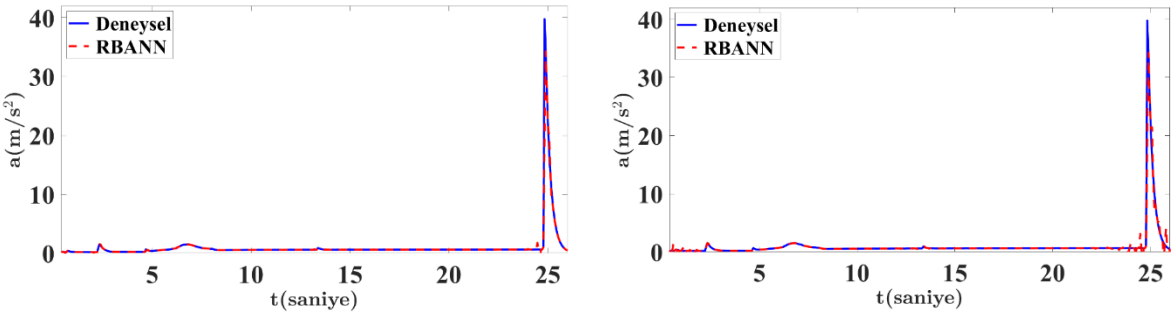




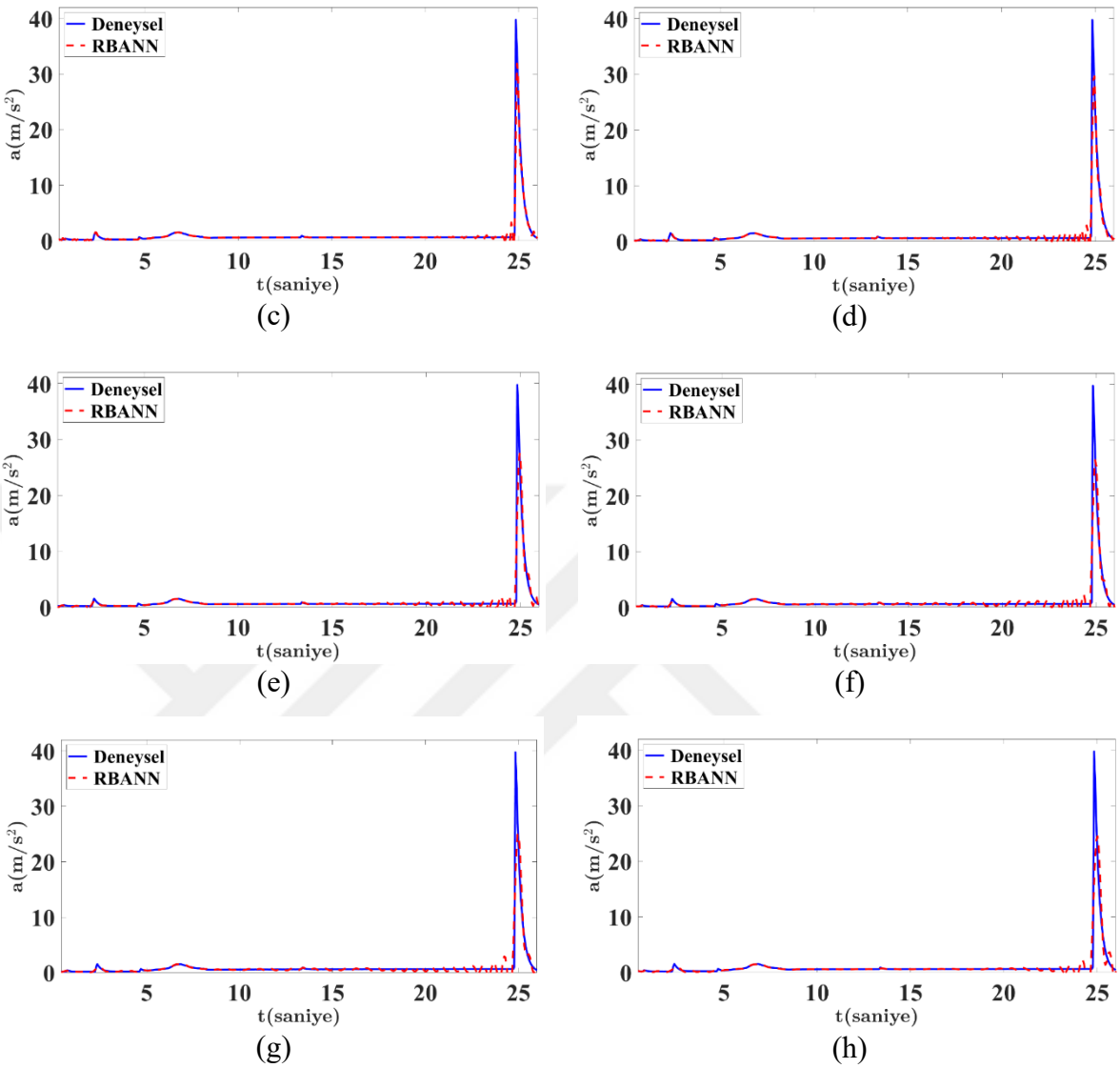
(g) (h)

Şekil 3.8. 19 saniye uygulama süresi ve 37.5 bar basınç değeri için deneysel ve RTYSA sonuçları, (a) 0.1 sc, (b) 0.2 sc, (c) 0.3 sc, (d) 0.4 sc, (e) 0.6 sc, (f) 0.7 sc, (g) 0.8 sc, (h) 0.9 sc

19 saniye uygulama süresi ve 50 bar basınç değeri altında ortaya çıkan deneysel sonuçlar ve sekiz farklı yayılma sabiti değeri için elde edilen RTYSA tabanlı modelleme sonuçları Şekil 3.9 ile verilmiştir. Yüksek basınç değerinin daha uzun süre uygulanmasının bir sonucu olarak ortaya çıkan titreşim genliklerinin de oransal olarak arttığı görülmektedir. Diğer çalışma koşullarına benzer şekilde yayılma sabitinin değeri arttıkça tepe dalga modelleme performansının düştüğü gözlemlenmiştir. RTYSA ağ yapısının genel başarımı incelendiğinde ise deneysel sonuçları etkin bir şekilde modelleyebildiği ifade edilebilir. En iyi modelleme sonucunun ise 0.1 yayılma sabiti değeri için elde edildiği görülmektedir.

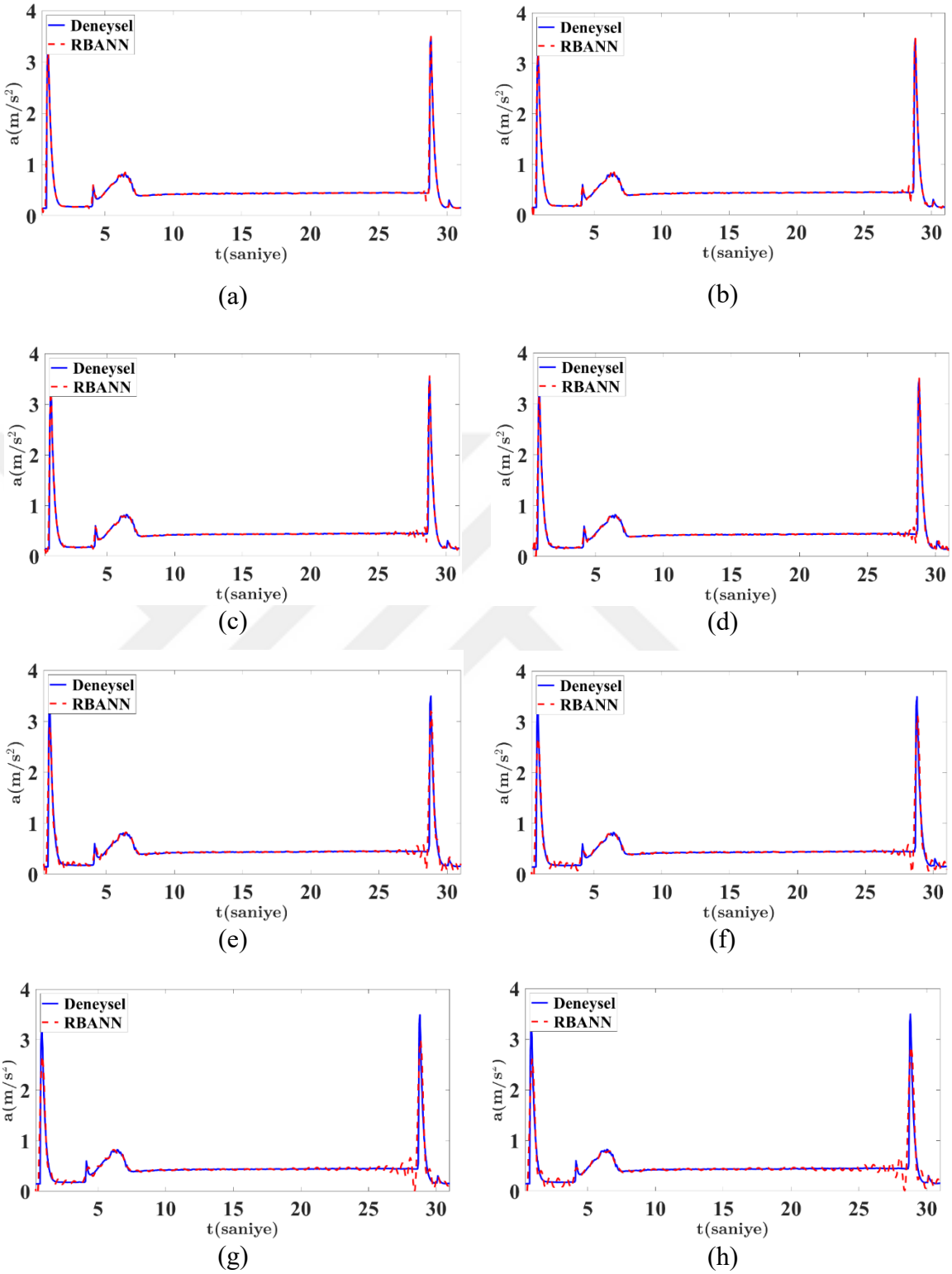


(a) (b)



Şekil 3.9. 19 saniye uygulama süresi ve 50 bar basınç değeri için deneysel ve RTYSA sonuçları, (a) 0.1 sc, (b) 0.2 sc, (c) 0.3 sc, (d) 0.4 sc, (e) 0.6 sc, (f) 0.7 sc, (g) 0.8 sc, (h) 0.9 sc

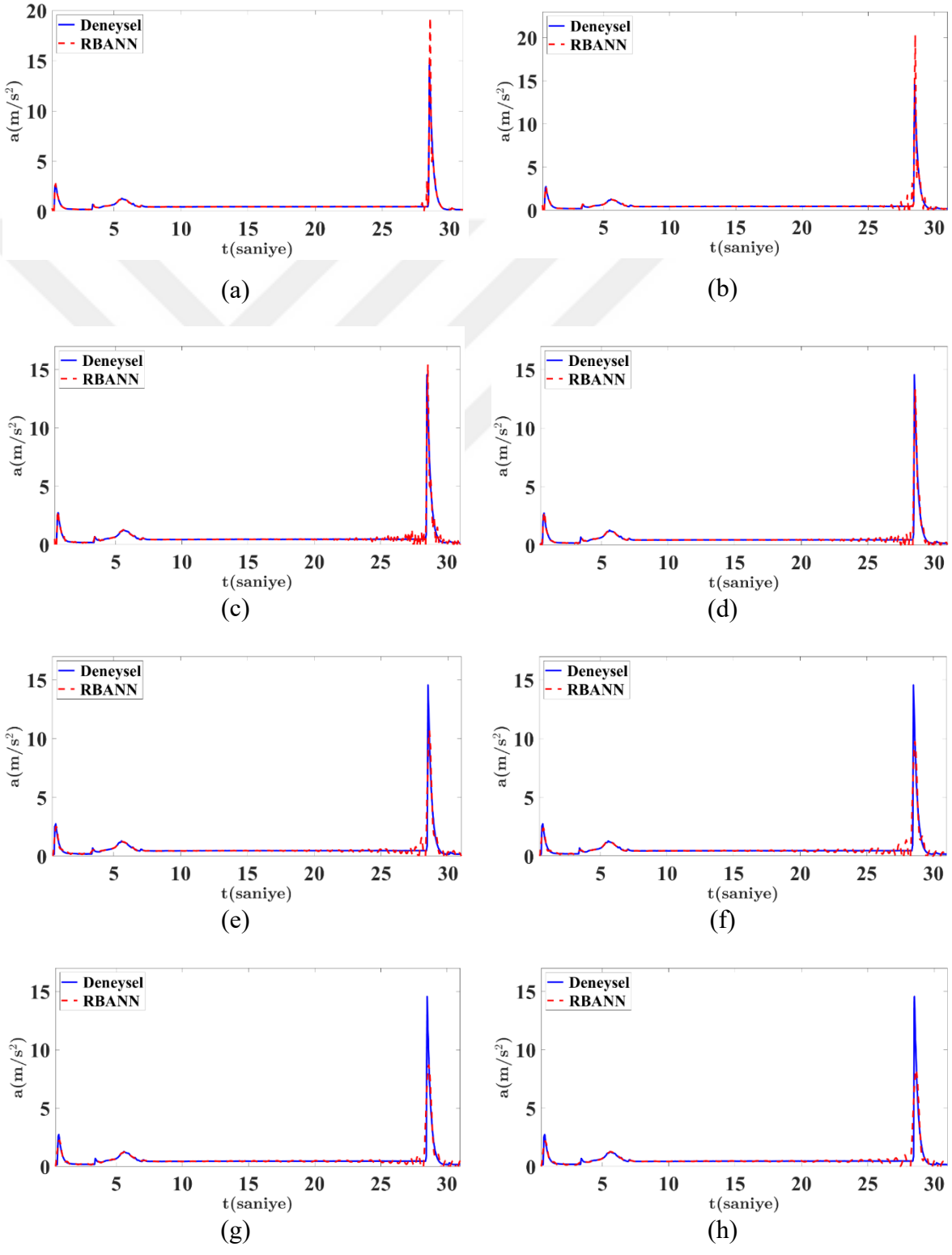
Uygulama süresi 25 saniye ve basınç değeri 25 bar olarak belirlendiğinde oluşan deneysel titreşim karakteristiği, farklı yayılma sabitleri için RTYSA ağ yapısı ile modellendiğinde Şekil 3.10'da verilen sonuçlar elde edilmiştir. (0.1, 0.2, 0.3 ve 0.4) yayılma sabiti değerlerinde tepe dalgalarını da içerecek şekilde tüm titreşim karakteristiğin yüksek doğrulukta modellenebildiği görülmektedir. (0.6, 0.7, 0.8 ve 0.9) yayılma sabiti değerlerinde ise tepe dalgalar açısından modelleme performansının düştüğü görülmektedir. En yüksek ve en düşük modelleme performansları, sırasıyla, 0.1 ve 0.9 yayılma sabiti değerlerinde elde edilmiştir.



Şekil 3.10. 25 saniye uygulama süresi ve 25 bar basınç değeri için deneysel ve RTYSA sonuçları, (a) 0.1 sc, (b) 0.2 sc, (c) 0.3 sc, (d) 0.4 sc, (e) 0.6 sc, (f) 0.7 sc, (g) 0.8 sc, (h) 0.9 sc

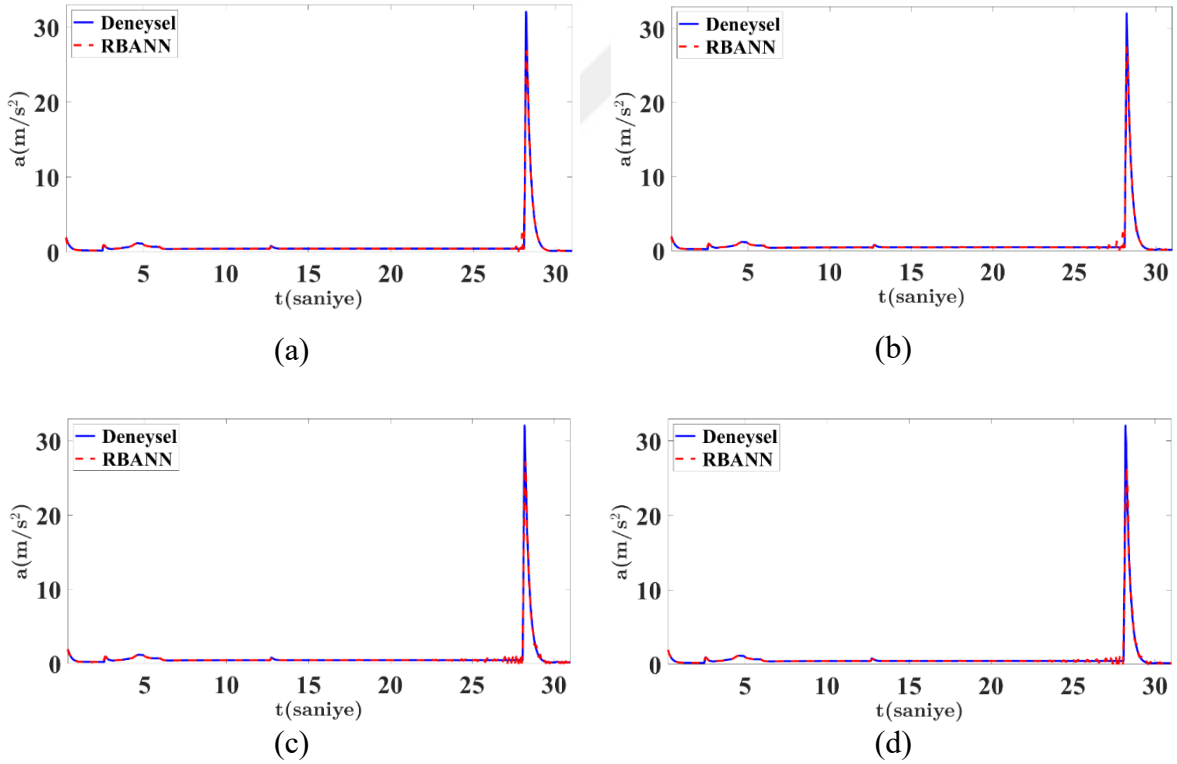
Şekil 3.11, 25 saniye uygulama süresi ve 37.5 bar basınç çalışma koşulu altında oluşan deneysel titreşim karakteristiğini ve bu titreşim karakteristiğinin farklı yayılma sabiti

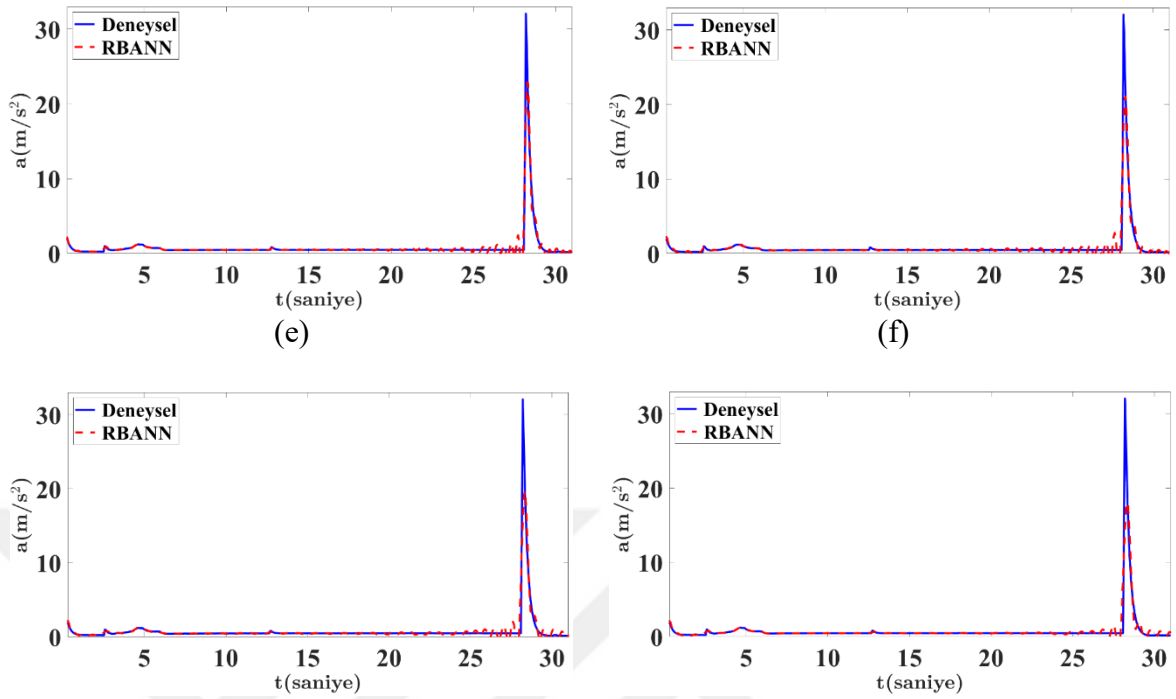
değerlerinde RTYSA yapısı ile modelleme sonuçlarını göstermektedir. Tüm yayılma sabiti değerleri için elde edilen modelleme sonuçları ayrı ayrı incelendiğinde hem tepe dalgalar hem de toplam spektrum açısından bütünsel olarak en iyi modelleme sonucunun 0.5 yayılma sabitinde ortaya çıktığı gözlemlenmiştir.



Şekil 3.11. 25 saniye uygulama süresi ve 37.5 bar basınç değeri için deneysel ve RTYSA sonuçları, (a) 0.1 sc, (b) 0.2 sc, (c) 0.3 sc, (d) 0.4 sc, (e) 0.6 sc, (f) 0.7 sc, (g) 0.8 sc, (h) 0.9 sc

Son olarak, en uzun uygulama süresi ile en yüksek basınç değerinin uygulandığı 25 saniye 50 bar çalışma koşulu için sekiz farklı yayılma sabitinde elde edilmiş olan modelleme sonuçları Şekil 3.12 ile gösterilmiştir. Titreşim genliklerinin en yüksek seviyelerine ulaştığı bu çalışma koşulunda (0.1, 0.2, 0.3 ve 0.4) yayılma sabiti değerlerinde tepe dalgalarının yüksek doğrulukta modellenebildiği, (0.6, 0.7, 0.8 ve 0.9) yayılma sabiti değerlerinde ise tepe dalgaları açısından modelleme performansının düştüğü görülmüştür. Deneysel sonuçları modelleme açısından ise yayılma sabiti değeri 0.1 olan RTYSA yapısının en yüksek performansı sergilediği ifade edilebilir.





Şekil 3.12. 25 saniye uygulama süresi ve 50 bar basınç değeri için deneysel ve RTYSA sonuçları, (a) 0.1 sc, (b) 0.2 sc, (c) 0.3 sc, (d) 0.4 sc, (e) 0.6 sc, (f) 0.7 sc, (g) 0.8 sc, (h) 0.9 sc

YSA ağ yapıları için bir diğer önemli performans metriği ağ yapısının hata performansıdır. Literatürde hata analizlerinde en yaygın olarak kullanılan hata yaklaşımlarından birisi Eşitlik 3.1 ile gösterilmiş olan Ortalama Karesel Hata (Mean Squared Error, MSE) fonksiyonudur.

$$MSE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{JN}\left(Y_{\text{İ}deal} - Y_{Gerçek}\right)^2 \tag{3.1}$$

bu eşitlikte; N iterasyon sayısını, $Y_{İdeal}$ gerçek zamanlı titreşim ölçümlerini gösteren ideal cevabı ve $Y_{Gerçek}$ ise RTYSA ağ yapısının modelleme sonuçlarını temsil etmektedir. Son olarak, ağ yapısının istatistiksel performansı elde edilen sonuçların güvenilirliği ve ağın kararlılığı açısından önem arz etmektedir. Bu tez çalışmasında, önerilen RTYSA ağ yapısının istatistiksel performansı Eşitlik 3.2'de gösterilmiş olan R^2 analizi ile gerçekleştirilmiştir.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum(y_i - \hat{y})^2} \tag{3.2}$$

burada; y_i y_i deneysel olarak elde edilen verileri, $\hat{y}_i$ regresyon denkleminden elde edilen sonuçları, ve son olarak $\hat{y}$ deneysel olarak elde edilen verilerin ortalamasını temsil etmektedir. R^2, değer aralığı [0,1] aralığında değişen bir istatistiksel performans metriği olup yüksek R^2 değerleri modelin başarımını kanıtlamaktadır.

25 bar basınç değeri altında tüm çalışma şartları için RTYSA ağ yapısının MSE ve R^2 analiz sonuçları Tablo 3.1 ile verilmiştir. Bu sonuçlara göre 7, 13, 19 ve 25 saniyelik çalışma süreleri ile 25 bar basınç değerlerinde, 0.1 yayılma sabitine sahip RTYSA ağ modellerinin daha düşük MSE değerlerine yakınsadığı gözlemlenmektedir. 25 bar basınç değerleri altında elde edilen tüm MSE sonuçları mukayese edildiğinde ise en iyi sonuçların 13 saniye uygulama süresinde ve yayılma sabiti değeri 0.1 olan RTYSA ağ yapısında elde edildiği gözlemlenmiştir. İstatistiksel performans analizine yönelik elde edilen R^2 değerleri incelendiğinde ise tüm çalışma şartları arasında 0.1 yayılma sabiti değerine sahip ağ yapısının diğer ağ yapılarına göre daha iyi performans sergilediği ifade edilebilir. Elde edilen R^2 değerleri genel olarak incelendiğinde ise RTYSA ağ yapılarının çok büyük bir kısmında yüksek R^2 değerlerine ulaşıldığı ve dolayısıyla modelleme sonuçlarının istatistiksel olarak yüksek doğrulukta olduğu görülmektedir.

Tablo 3.1. 25 bar basınç değeri altında tüm uygulama süreleri ve yayılma sabiti değerleri için elde edilen MSE ve R^2 sonuçları

Basınç (bar)	Süre (sn)	Yayılma Sabiti	MSE	R^2
25	7	0.1	0.0289	0.9270
		0.2	0.2560	0.3840
		0.3	0.0806	0.7940
		0.4	0.1648	0.5800
		0.6	0.0510	0.8690
		0.7	0.0620	0.8410
		0.8	0.0696	0.8220
		0.9	0.0829	0.7870
	13	0.1	0.0044	0.9830
		0.2	0.2631	0.1080
		0.3	0.2332	0.1220
		0.4	0.0256	0.9040
		0.6	0.0327	0.8770
		0.7	0.0327	0.8770
		0.8	0.0396	0.8510
		0.9	0.0506	0.8090
	19	0.1	0.0182	0.9610
		0.2	0.4664	0.2400
		0.3	0.4475	0.2459
		0.4	0.0338	0.9280
		0.6	0.0686	0.8530
		0.7	0.0650	0.8600
		0.8	0.0778	0.8340
		0.9	0.1030	0.7800
	25	0.1	0.0047	0.9620
		0.2	0.1142	0.2927
		0.3	0.1239	0.2177
		0.4	0.1149	0.2866
		0.6	0.0190	0.8500
		0.7	0.0345	0.7260
		0.8	0.0231	0.8180
		0.9	0.0237	0.8120

Tablo 3.2, yaprak yay sistemine 37.5 bar basınç değeri uygulandığında her bir çalışma şartı için RTYSA ağ yapısının modelleme performansına ait MSE ve R^2 değerlerini göstermektedir. Bütün çalışma süreleri ve yayılma sabiti değerleri dikkate alındığında hem MSE hem de R^2 değerleri açısından en optimum sonuçların yayılma sabiti değeri 0.1 olan RTYSA ağ yapısı tarafından üretildiği görülmektedir. Buna göre, düşük hata değerine ulaşılarak istatistiksel açıdan daha kararlı sonuçların elde edilebilmesi için

gerçek zamanlı titreşim karakteristiğinin yayılma sabiti değeri yaklaşık olarak 0.1 olan RTYSA ağ yapısı ile modellenmesi önerilmektedir.

Tablo 3.2. 37.5 bar basınç değeri altında tüm uygulama süreleri ve yayılma sabiti değerleri için elde edilen MSE ve R^2 sonuçları

Basınç (bar)	Süre (sn)	Yayılma Sabiti	MSE	R^2
37.5	7	0.1	0.0823	0.9480
		0.2	1.4884	0.1562
		0.3	1.4884	0.1623
		0.4	1.4884	0.1630
		0.6	0.2560	0.8390
		0.7	0.2819	0.8230
		0.8	0.3528	0.7780
		0.9	0.3352	0.7890
	13	0.1	0.0166	0.9910
		0.2	1.7161	0.1200
		0.3	1.6384	0.1673
		0.4	0.8190	0.5310
		0.6	0.3733	0.7860
		0.7	0.4395	0.7480
		0.8	0.2926	0.8320
		0.9	0.3492	0.8000
	19	0.1	0.0044	0.9830
		0.2	0.2590	0.2380
		0.3	0.2580	0.1982
		0.4	0.0515	0.8020
		0.6	0.0316	0.8790
		0.7	0.0302	0.8840
		0.8	0.0338	0.8700
		0.9	0.0876	0.6630
	25	0.1	0.0829	0.9210
		0.2	0.7022	0.3290
		0.3	1.0201	0.0205
		0.4	0.1451	0.8620
		0.6	0.2284	0.7820
		0.7	0.5030	0.7590
		0.8	0.2840	0.7290
		0.9	0.2926	0.7200

Bütün çalışma şartları için 50 bar basınç değeri altında elde edilen deneysel sonuçlar RTYSA ağ yapısı ile modellenmiş ve modellemeye yönelik MSE ve R^2 performansları Tablo 3.3 ile verilmiştir. MSE açısından performanslar mukayese edildiğinde, diğer çalışma koşullarına benzer şekilde en düşük hata değerlerine düşük yayılma sabiti

değerlerinde ulaşılabildiği görülmektedir. Benzer şekilde, R^2 performansları incelendiğinde, en düşük yayılma sabiti değerinde RTYSA ağ yapılarının istatistiksel olarak daha kararlı davranış sergilediği görülmektedir.

Tablo 3.3. 50 bar basınç değeri altında tüm uygulama süreleri ve yayılma sabiti değerleri için elde edilen MSE ve R^2 sonuçları

Basınç (bar)	Süre (sn)	Yayılma Sabiti	MSE	R^2
50	7	0.1	0.2106	0.9630
		0.2	1.1449	0.7960
		0.3	0.4342	0.9230
		0.4	0.4664	0.9170
		0.6	0.6789	0.8790
		0.7	0.8335	0.8520
		0.8	0.9564	0.8300
		0.9	1.1025	0.8030
	13	0.1	0.0894	0.9950
		0.2	1.1647	0.1349
		0.3	1.1852	0.1386
		0.4	1.0236	0.2180
		0.6	1.0169	0.5260
		0.7	1.0085	0.7250
		0.8	1.0001	0.8560
		0.9	0.9566	0.8230
	19	0.1	0.9006	0.9100
		0.2	2.9856	0.0024
		0.3	2.8596	0.0145
		0.4	1.1824	0.2840
		0.6	1.7889	0.7210
		0.7	2.7524	0.5250
		0.8	2.6569	0.7350
		0.9	1.4225	0.6570
	25	0.1	0.0561	0.9900
		0.2	1.6864	0.3320
		0.3	2.2441	0.0461
		0.4	1.7089	0.1460
		0.6	1.1316	0.6150
		0.7	1.2996	0.7650
		0.8	2.2201	0.5990
		0.9	1.6900	0.6950

4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, yaprak yay sisteminin titreşim karakteristiklerini analiz etmek için ivme ölçümüne dayalı titreşim analizi yöntemi kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda farklı uygulama süreleri ve basınç değerleri altında yapılan ivme ölçümleri, tek eksenli bir ivme sensörü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen titreşim verilerinin modellenmesi amacıyla bir RTYSA ağ yapısı önerilmiştir.

Farklı yayılma sabiti değerleri için elde edilen sonuçlar ayrıntılı olarak incelendiğinde, bütün uygulama süreleri ve basınç değerleri altında düşük yayılma sabiti değerleri için tepe dalgalarının daha yüksek doğrulukta modellendiği gözlemlenmiştir. Ancak, yayılma sabiti değeri yükseldikçe tepe dalgalarının modelleme performansının düştüğü tespit edilmiştir. Tepe dalgaları haricinde uygulama süresinin genelindeki titreşim karakteristiğinin modellenme başarımının ise bütün RTYSA ağ yapıları için benzer ve yüksek doğrulukta olduğu görülmüştür. Genel olarak, en etkin modelleme sonuçlarının 0.1 yayılma sabiti değerinde, en düşük modelleme performanslarının ise 0.9 yayılma sabiti değerinde ortaya çıktığı gözlemlenmiştir.

Her bir basınç seviyesi, uygulama süresi ve yayılma sabiti değerinde ortaya çıkan MSE sonuçları incelendiğinde, önerilen RTYSA ağ yapısının bütün çalışma koşullarında düşük hata değerlerine yakınsayabildiği görülmüştür. Bununla birlikte, uygulama süresi ve yayılma sabiti parametrelerindeki artış veya azalışlar ile doğru orantılı olarak değişen MSE karakteristiklerinin oluşmadığı gözlemlenmiştir.

Önerilen RTYSA ağ yapısının istatistiksel performansını analiz etmek amacıyla elde edilen R^2 değerleri her bir çalışma şartı için ayrı ayrı incelendiğinde, önerilen ağ yapısının genel olarak kararlı bir davranış sergilediği yani farklı çalışma koşullarında benzer

sonuçlara yakınsama yeteneğine sahip olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, önerilen RTYSA ağ yapısının istatistiksel açıdan kararlı davranış sergileyemediği, yani düşük R^2 değerlerinin ortaya çıktığı, bazı çalışma koşullarının olduğu da gözlemlenmiştir.

Elde edilen bulgular, yaprak yay sisteminin titreşim karakteristiğinin modellenmesinde ivme ölçümüne dayalı titreşim analizi yönteminin etkinliğini göstermektedir. Aynı zamanda, modelleme performansının yayılma sabiti değerlerine duyarlı olduğu ve en uygun sonuçların belirli bir yayılma sabiti değeri için elde edildiği görülmüştür. Elde edilen benzetim sonuçlarından, yaprak yay sisteminin titreşim karakteristiğini en iyi şekilde modellemek için yayılma sabiti değerinin 0.1 olarak tercih edilmesi önerilmektedir.

KAYNAKÇA

1. Arı, A., Berberler, M.E.,2017. Yapay sinir ağları ile tahmin ve sınıflandırma problemlerinin çözümü için arayüz tasarımı. **Acta Infologıca**, **1**(2): 1-3.

2. Ali, K.S.A., Manuel, D.J., Balamurugan, M., Murugan, M.S., 2021. Analysis of composite leaf spring using ANSYS software. **Materials Today Proceedings**, **37**(10): 2346–2351.

3. Öztoprak, N., Güneş, M.D., Tanoğlu, M., Aktaş, E., Eğilmez, O.O., Şenocak, C., Kulac, G., 2018, Developing polymer composite-based leaf spring systems for automotive industry. **Science and Engineering of Composite Materials**, **25**(6): 1167–1176.

4. Jung W.S., Bae D.H., Song G.W., Hyun J.S., Kim B.S., 2006. Fatigue design of leaf spring using artificial neural network. **Key Engineering Materials**,: 326-328.

5. Shokrieh M.M., Rezaei D., 2003. Analysis and optimization of a composite leaf spring. **Composite Structures, 60**(3): 317-325.

6. Amsalu C., Damtie E.G., 2022. Mechanical characterization, and comparison of stress-induced on mono and multi-leaf spring from laminated composite material. **Results Materials**, **16.**

7. Venkatesan M., Devaraj D.H., 2012. Design and analysis of composite leaf spring in light vehicle. **International Journal of Modern Engineering Research**, **2**(1): 213-218.

8. Tokgönül, G., Kulaç, G., Şenocak, Ç., Ş, Başalan E., 2018. Ağır ticari kamyondaki tek katlı parabolik yaprak yayın bilgisayar destekli tasarımı, analizi ve fiziksel doğrulaması. **M.C.B.Ü. Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi**, **11**(26): 1-5.

9. Kelebek, O., Kuralay, N.S., Karaoğlan, M.U., ağır taşıtlar için çok katlı konvansiyonel yaprak yay yerine tek katlı parabolik yaprak yay tasarımı ve analizi. **Dokuz Eylül Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi**, **20**(59): 1-5.

10. Sunar, Ö., Çevik, M., 2015. tek katlı yaprak yaylarda sonlu elemanlar yöntemi ile yorulma analizi. **C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi**, **11**(1): 1-3.

11. Kumar Y.S., Teja M.V., 2012. Kompozit yaprak yayın tasarımı ve analizi. **International Journal of Precision Engineering**, **2**(1): 97 – 100

12. Öztürk, K., Şahin, M.E., 2018, Yapay sinir ağları ve yapay zekaya genel bir bakış. **Takvim-i Vekayi**, **6**(2): 25-36.

13. Ataseven, B., 2013, Yapay sinir ağları ile öngörü modellemesi. **Öneri Dergisi**, **10**(39): 101-105.

14. Arı, A., 2019. Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Kalp Hastalığının Öngörülmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 89 s.

15. Hardalaç, F., Poyraz, M., 2002. Yapay sinir ağları kullanılarak EMG sinyallerinin sınıflandırılması ve neuropathy kas hastalığının teşhisi. **Politeknik Dergisi**, **5**(1): 75– 81.

16. Hossain, M. S., Chao, O.Z., Ismail, Z., Noroozi, S., Khoo, S. Y., 2017. Artificial neural networks for vibration based inverse parametric identifications:A review. **Applied Soft Computing**, **52**(2017): 203-219.

17. Eski, İ., 2012. Vibration analysis of drilling machine using proposed artificial neural network predictors. **Journal of Mechanical Science and Technology**, **26**(10): 3036-3045.

18. Esim, E., Yıldırım, Ş., 2017. Drilling performance analysis of drill column machine using proposed neural networks. **Neural Computing and Applications**, **28**(1): 78-89.

19. Garg, S., Pal, S. K., Chakraborty, D., 2007. Evaluation of the performance of backpropagation and radial basis function neural networks in predicting the drill flank wear. **Neural Computing and Applications**, **16**(4-5): 408.

20. Rao, K. V., Murthy, P. B. G. S. N., 2018. Modeling and optimization of tool vibration and surface roughness in boring of steel using RSM, YSA and SVM. **Journal of Intelligent Manufacturing**, **29**(7): 1532-1542.

21. Shrivastava, Y., Singh, B., 2018. Possible way to diminish the effect of chatter in CNC turning based on EMD and ANN approaches. **Arabian Journal for Science and Engineering**, **43**(9): 4572-4590.

22. Çetinkaya M.B., Esim E., İşci M., 2021. Analysis of the Vibration Characteristic of an Experimental Turning Lathe Using Artificial Neural Networks. **Arabian Journal for Science and Engineering**, **46**(3): 2597-2611

23. Çetinkaya, M.B., İşci, M., 2022. Analysis of the vibration characteristics of a leaf spring system using artificial neural networks. **Sensors**, **22**(12):1-22.

24. Topaç, C., 2019. Araçlarda Makas Sistemlerinin Uzun Ömür Testine Yönelik Stant Tasarımı Ve Prototip Uygulaması. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 61 s.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Naciye Nisanur KESKİNKILIÇ
Uyruğu: Türkiye (T.C)
Doğum Tarihi ve Yeri:
Medeni Durum:
E-mail:
Yazışma Adresi:

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği	2024
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği	2019
Lise	Fatma Kemal Timuçin Anadolu Lisesi	2014

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2021-2022	TRT	Mühendis
2022-2023	Erciyes Anadolu Holding A.Ş.	Mühendis
2023-Halen	İstikbal Mobilya A.Ş.	Mühendis

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR

1. 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), ss 59-68