

**MOTOR TAKOZLARI BAĞLANTI ELEMANLARININ
YAPISAL TASARIMI VE YAPAY SİNİR AĞLARI İLE
ANALİZ TAHMİNİ**

Mustafa Kerem ÖZDER



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MOTOR TAKOZLARI BAĞLANTI ELEMANLARININ YAPISAL TASARIMI
VE YAPAY SİNİR AĞLARI İLE ANALİZ TAHMİNİ**

Mustafa Kerem ÖZDER
0000-0002-3500-2343

Prof. Dr. Ferruh ÖZTÜRK
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2023
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Mustafa Kerem ÖZDER tarafından hazırlanan “MOTOR TAKOZLARI BAĞLANTI ELEMANLARININ YAPISAL TASARIMI VE YAPAY SİNİR AĞLARI İLE ANALİZ TAHMİNİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Ferruh ÖZTÜRK

- Başkan** : Prof. Dr. Ferruh ÖZTÜRK İmza
0000-0001-5767-8312
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı
- Üye** : Doç. Dr. Emre İsa ALBAK İmza
0000-0001-9215-0775
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı
- Üye** : Doç. Dr. İsmail ÖZTÜRK İmza
0000-0003-2641-5880
Bursa Teknik Üniversitesi,
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,
Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü

.././.....

B.U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

25/12/2022

Mustafa Kerem ÖZDER

TEZ YAYINLANMA FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezin/raporun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kâğıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma izni Bursa Uludağ Üniversitesi'ne aittir. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları ile tezin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları tarafımıza ait olacaktır. Tezde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederiz.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**” kapsamında, yönerge tarafından belirtilen kısıtlamalar olmadığı takdirde tezin YÖK Ulusal Tez Merkezi / B.U.Ü. Kütüphanesi Açık Erişim Sistemi ve üye olunan diğer veri tabanlarının (Proquest veri tabanı gibi) erişimine açılması uygundur.

Danışman Adı-Soyadı

Tarih

Öğrencinin Adı-Soyadı

Tarih

İmza

Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum
anladım yazmalı ve imzalanmalıdır.

İmza

Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum
anladım yazmalı ve imzalanmalıdır.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MOTOR TAKOZLARI BAĞLANTI ELEMANLARININ YAPISAL TASARIMI VE YAPAY SİNİR AĞLARI İLE ANALİZ TAHMİNİ

Mustafa Kerem ÖZDER

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ferruh ÖZTÜRK

Motor takozu braketleri araçlarda motor takozunun şasi ile bağlantısını sağlamak için kullanılan yapısal parçalardır. Mekanik yüklere maruz kalan braketin yükler altında çalışması sürüş güvenliği açısından önemlidir. Sert emisyon kuralları araç üreticilerini daha hafif araç üretimine zorlamaktadır. Bu durumda parça tasarımı yapılırken minimum ağırlıkta maksimum dayanımda ürünler tasarlanması gerekmektedir. Bu tez çalışmasında braket modeli üzerinde sonlu elemanlarla analiz yöntemi kullanılarak parçanın analizi yapılmış ve maksimum gerilme değeri bulunmuştur. Topoloji optimizasyonu yapılarak minimum ağırlık maksimum dayanıma sahip braket geometrisinin elde edilmesinde analiz hesapsal yükünden doğan maliyetlerin yapay sinir ağları kullanımı ile azaltılması amaçlanmıştır. En iyi geometrinin elde edilmesi amacıyla topoloji optimizasyonu şekil optimizasyonu uygulanmak üzere 3 adet tasarım değişkeni belirlenmiştir. Tasarım değişkenlerinin alt ve üst sınırı belirlenerek Latin Hiper Küp metodu yöntemiyle oluşturulan 25 farklı sonlu elemanlarla analiz senaryosu belirlenmiştir ve analizler yapılmıştır. Analiz sonuçları yapay sinir ağ yapısının oluşturulması için veri olarak kullanılmıştır. Girdi olarak tasarım değişkenleri çıktı olarak ise analiz sonuçları belirtilmiştir. 3 adet farklı eğitim algoritması sırasıyla Leverberg-Marquardt, Bayesian Regularization ve Scaled Conjugate Gradient kullanılmıştır. Bu eğitim algoritmasının sonuçları tahmin yetenekleri kıyaslanmıştır. Bu çalışma için Bayesian Regularization kullanılmasının daha uygun olduğu gözlemlenmiştir. Yapay sinir ağlar ile çözümlene zamanı ve hazırlama zamanı yüksek sonlu elemanlar analizlerinden tasarruf edilerek %1-3 hata payı ile tahminler modeli oluşturulmuştur. Böylece çok veya tek amaçlı yapısal tasarım optimizasyon çalışmalarında gerekli analizlerin yapılması nedeniyle karşılaşılan hesapsal maliyet yükünün yapay sinir ağları tahmin yaklaşımı ile önlenebileceği gösterilmiştir. Özellikle karmaşık yapısal tasarım ve şekil optimizasyon süreçlerinde sebep olduğu maliyetler giderilmiş olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yapısal tasarım, braket tasarımı, ağırlık azaltma, yapay sinir ağları, sonlu elemanlarla analiz

2023, viii + 48 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

STRUCTURAL DESIGN OF ENGINE MOUNT BRACKET PARTS AND ANALYSIS PREDICTION WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Mustafa Kerem ÖZDER

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Automotive Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ferruh ÖZTÜRK

Engine mount brackets are structural parts used in vehicles in order to connect the engine mount with the car chassis . It is important for driving safety that the bracket, which is exposed to mechanical loads and it must work without breaking under loads. Strict emission rules force vehicle manufacturers to produce lighter vehicles. In this case, while designing the part, it is necessary to design products with minimum weight and maximum strength. In this study, the analysis of the part has been executed by finite element analysis method and the maximum stress value has been defined on bracket 3D model . It is aimed to reduce the costs arising from the analysis computational load by using artificial neural networks in obtaining the bracket geometry with minimum weight and maximum strength by making topology optimization.. In order to obtain the best geometry, 3 design variables were determined to apply shape optimization. The lower and upper boundaries of the design variables have been defined and 25 different analysis scenario, which has been determined by Latin Hypercube method, have been run by finite element analysis. The analysis results have been used as data for the the artificial neural network structure. The design variables have been used as an input and the results of the finite element analysis have been used as an output. Three different training algorithms, Levenberg-Marquardt, Bayesian Regularization and Scaled Conjugate Gradient has been used, respectively. The predictive capabilities of these training algorithms have been compared. It has been observed that Bayesian Regularization is more suitable for this study. With artificial neural networks, the analysis time and preparation time are saved and the deviation is 1-3% from finite element analysis. Thus, it has been shown that the computational cost burden encountered due to the necessary analysis in multi- or single-purpose structural design optimization studies can be avoided with the artificial neural network estimation approach. Especially the cost which the main cause is complex design and shape optimization process, has been decreased.

Key words: Structural design, bracket design, weight reduction, artificial neural networks, finite element analysis

2023, viii+ 48 pages.

TEŐEKKÖR

Tez çalıőmam boyunca yardımını benden esirgemeyen ve yol gősterici olan danışman hocam sayın Prof. Dr. Ferruh ÖZTÖRK'e ve sayın Doç. Dr. Emre İsa ALBAK hocama teőekkőrlerimi sunarım.

Ayrıca tez sürecinde bana destek olan değerli meslektaőım Iőıl ACAR'a teőekkőrlerimi sunarım. Son olarak tőm eğitim őėretim hayatım boyunca maddi manevi her zaman yanımda olan ve desteklerini hiçbir zaman benden esirgemeyen değerli annem Őnzile ÖZDER ve babam Levent ÖZDER'e teőekkőrlerimi sunarım.

Mustafa Kerem ÖZDER
25/12/2022

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
2.1. Literatür Taraması	3
2.2. Motor Takozları	5
2.2.1. Kauçuk motor takozları.....	6
2.2.2. Hidrolik motor takozları.....	7
2.2.3. Yarı aktif motor takozları.....	8
2.2.4. Aktif motor takozları.....	8
2.3. Sonlu Elemanlar Yöntemi	10
2.4. Optimizasyon	12
2.4.1. Boyut optimizasyonu	13
2.4.2. Şekil optimizasyonu	14
2.4.3. Topoloji optimizasyonu	14
2.5. Yapay Zeka Teknikleri.....	15
2.5.1. Yapay zeka	15
2.5.2. Makina öğrenmesi.....	16
2.5.3. Yapay sinir ağları	18
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	22
3.1. CAD Modelin Oluşturulması	22
3.2. SEA Modelinin Oluşturulması.....	23
3.3. Topoloji Optimizasyonu Modelinin Oluşturulması	25
3.4. Şekil Optimizasyonu	29
3.5. Yapay Sinir Ağları Modelinin Oluşturulması	32
4. BULGULAR	39
4.1. Topoloji Optimizasyonu Sonuçlarının Değerlendirilmesi	39
4.2. YSA ile Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi.....	40
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	43
KAYNAKLAR	44
ÖZGEÇMİŞ	48

SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar	Açıklama
1D	1 Boyutlu
2D	2 Boyutlu
3D	3 Boyutlu
AI	Yapay Zeka
BR	Bayesian Regularization
CAD	Computer Aided Design
DYSA	Derin Yapay Sinir Ağları
LM	Leverberg-Marquardt
ML	Makine Öğrenmesi
SCG	Scaled Conjugate Gradient
SE	Sonlu Elemanlar
SEA	Sonlu Elemanlarla Analiz
TO	Topoloji Optimizasyonu
YSA	Yapay Sinir Ağları

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1. 1. İş akış şeması	2
Şekil 2. 1. Motor takozunun araç üstündeki konumu	5
Şekil 2. 2. Motor takozu	5
Şekil 2. 3. Kauçuk motor takozu	6
Şekil 2. 4. Kauçuk motor takozu	6
Şekil 2. 5. Hidrolik motor takozu	7
Şekil 2. 6. Hidrolik motor takozu kesit diyagramı	7
Şekil 2. 7. Hidrolik motor takozu	9
Şekil 2. 8. Aktif motor takozu çalışma prensibi	9
Şekil 2. 9. SEA örneği	10
Şekil 2. 10. Tasarımın düğüm noktalarına bölünmesi	11
Şekil 2. 11. SEA eleman tipleri	12
Şekil 2. 12. Yapısal optimizasyon yöntemleri	13
Şekil 2. 13. Boyut optimizasyonu uygulaması	13
Şekil 2. 14. Şekil optimizasyonu uygulaması	14
Şekil 2. 15. Kanat destek federlerinin topoloji ve şekil optimizasyonu	15
Şekil 2. 16. Yapay zeka kullanım alanları	16
Şekil 2. 17. Makine öğrenmesi çeşitleri	17
Şekil 2. 18. Gözetimli öğrenme	18
Şekil 2. 19. İnsan sinir ağı, yapay sinir ağı karşılaştırması	19
Şekil 2. 20. YSA öğrenme prosesi	20
Şekil 2. 21. Basit yapay sinir ağı derin öğrenme karşılaştırılması	21
Şekil 2. 22. Yapay zeka, makine öğrenmesi, YSA, derin öğrenme ilişkisi	21
Şekil 3. 1. CAD Model	23
Şekil 3. 2. HyperMesh modeli	23
Şekil 3. 3. HyperMesh Malzeme Tanımlaması	24
Şekil 3. 4. Property tanımlaması	24
Şekil 3. 5. Property tanımlaması	25
Şekil 3. 6. Rondela tanımlaması	25
Şekil 3. 7. Topoloji optimizasyonu modeli	26
Şekil 3. 8. Mesh özellikleri	26
Şekil 3. 9. Sınır şartları ve yüklerin belirlenmesi	27
Şekil 3. 10. Optimizasyon kısıtı	27
Şekil 3. 11. Topoloji optimizasyonu sonrası model	28
Şekil 3. 12. Topoloji optimizasyonu sonrası 3D CAD model	28
Şekil 3. 13. Topoloji optimizasyonu iş akış şeması	28
Şekil 3. 14. Şekil optimizasyonu parametreleri	29
Şekil 3. 15. YSA modeli iş akış şeması	32
Şekil 3. 16. YSA Modeli	33
Şekil 3. 17. Matlab YSA modeli	34
Şekil 3. 18. LM algoritması regresyon değerleri	35
Şekil 3. 19. BR algoritması regresyon değerleri	35
Şekil 3. 20. SCG algoritması regresyon değerleri	36
Şekil 4. 1. Topoloji optimizasyonu öncesi ve sonrası CAD model	39
Şekil 4. 2. Topoloji optimizasyonu öncesi ve sonrası ağırlık karşılaştırması ...	39
Şekil 4. 3. -Z yönü için sonuçların karşılaştırılması	40

Şekil 4. 4.	+Z yönü için sonuçların karşılaştırılması.....	41
Şekil 4. 5.	+X yönü için sonuçların karşılaştırılması	41
Şekil 4. 6.	-X yönü için sonuçların karşılaştırılması	42

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3. 1. Malzeme özellikleri	23
Çizelge 3. 2. Braket ağırlıkları	29
Çizelge 3. 3. Tasarım değişkeni minimum ve maksimum değerleri.....	29
Çizelge 3. 4. Latin hiperküp yöntemiyle oluşturulan tasarım uzayı	30
Çizelge 3. 5. Şekil optimizasyonu analiz sonuçları.....	31
Çizelge 3. 6. Tasarım değişkenleri	37
Çizelge 3. 7. SEA sonuçları	37
Çizelge 3. 8. LM SEA-YSA karşılaştırması	38
Çizelge 3. 9. BR SEA-YSA karşılaştırması	38
Çizelge 3. 10. SCG SEA-YSA karşılaştırması	38

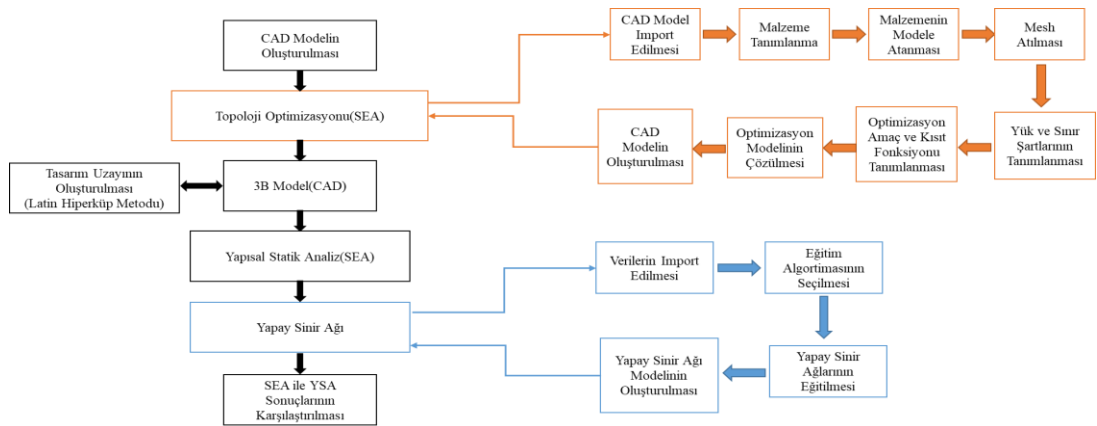
1. GİRİŞ

Otomotiv endüstrisinde emisyon kuralları gün geçtikçe daha katı bir hal almaktadır. Bunun temel sebeplerinden bir tanesi küresel ısınmanın neden olduğu iklim değişikliğidir. Ayrıca taşıtların egzozlarından çıkan karbon monoksit (CO), yanmamış hidrokarbonlar (HC), azot oksit (NO_x) gibi çevreye zararlı gazlar hava kirliliğine sebep olarak küresel ısınmayı tetiklemektedir. Taşıtların ağırlıkları arttıkça gereksinim duydukları içten yanmalı motor hacmi büyümekte ve emisyon gazlarını arttırmaktadır.

Otomotiv üreticilerinin emisyon normlarını sağlayabilmeleri için başvurdukları en önemli yöntemlerden bir tanesi daha hafif ağırlıkta araç üretmektir. Hafiflik ile birlikte taşıtlarda kullanılan parçaların gerekli mukavemet ve dayanım şartlarını sağlayabilmeleri yolcuların emniyetli bir şekilde seyahat etmeleri açısından oldukça önemli ve hayatidir. Hafif parça üretmek için kullanılan malzemelerin daha az özgül ağırlığa sahip olması ve akma-çekme dayanımlarının gerekli mukavemet hedeflerini karşılayacak şekilde yüksek olması istenmektedir. Bu özelliklere sahip malzemelere örnek olarak titanyum, 6XXX, 7XXX serisi alüminyum alaşımları, kompozit malzemeler, magnezyum vb. verilebilir. Ancak yüksek üretim maliyetleri sebebiyle bu malzemeler çoğunlukla alt ve orta segment araçlarda tercih edilmemektedir. Bu durumda parçaların tasarımı optimum seviyede yapılmalı ve gereksiz malzeme kullanılmaması gerekmektedir. Bu durum çoğu zaman parça tasarımı yapan kişinin sektördeki tecrübesine bağlı olarak değişmektedir. Bu durumu kişiden bağımsız hale getirebilmek için mühendislik tasarım problemlerinde optimizasyon yöntemlerine başvurulmaktadır. Optimizasyon metodu parçanın tasarımı için en iyi geometriyi elde etmeyi hedefler. Sonlu elemanlarla analiz yöntemi kullanılarak parça üzerinde oluşacak gerilme kuvvetlerinin dağılımı, deplasman (yer değiştirme) miktarı sanal model üzerinden fiziksel parçaya gerek duyulmadan yapılmaktadır. Bu durum maliyetlerin azaltılmasını sağlamaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi sonsuz elemana sahip bir geometriyi düğüm noktaları yardımıyla sonlu elemanlara ayırmaktadır. SEA sonuçları, optimizasyon işleminde yapılacak olan gereksiz malzemenin boşaltılması ve tasarımı en iyileme çalışmasına yol göstermektedir. Bu çalışmada optimizasyon yöntemi ve SEA için HyperWorks programı kullanılmıştır. SEA programında kullanılacak olan datanın 3D modeli CATIA V5 programı kullanılarak tasarlanmıştır.

SEA yöntemi her ne kadar maliyetleri azaltsa bile yeterli değildir. Çünkü modelin analize hazırlanması ve çözülmesi sürecinde zaman ve işçilik gerekmektedir. Analiz sürecini hızlandırmak ve maliyetleri en aza indirmek için yapay zeka yöntemlerinden faydalanılmaktadır. Yapay zeka yöntemleri kullanılarak insana özgü olan algılama, öğrenme, karar verme gibi bilişsel fonksiyonlar kullanılarak hem insan gücünü minimuma indirmek hem de zamandan tasarruf etmek mümkündür. Makina öğrenmesi yapay zekanın alt dallarından birisidir. Makine öğrenmesi, insanların öğrenme şekillerini taklit etmek için veri ve algoritmaların kullanımına odaklanıp doğruluğunu kademeli olarak artıran bir yapay zeka (AI) ve bilgisayar bilimi dalıdır (IBM, 2022).

Yapay sinir ağları (YSA) makina öğrenmesinin alt dallarından bir tanesidir. Bu yöntem aynen insan beyninin öğrenme ve öğrenme sonucunda muhakeme etme yeteneğini taklit ederek girdilere karşılık gerekli sayıdaki çıktıyı en iyi doğrulukta tahmin etmeye yarayan bir modeldir (Erdemir F., 2019). Bu çalışmada YSA kullanılarak analiz sonuçlarının minimum fark ile tahmin edilmesi hedeflenmektedir. Bu sayede yüksek hesaplama ve hazırlama maliyeti olan motor takozu sonlu elemanlar analizi yerine YSA kullanılarak maliyetlerin düşürülmesi amaçlanmaktadır. Böylece, çok veya tek amaçlı yapısal tasarım optimizasyon çalışmalarında gerekli analizlerin yapılması nedeniyle karşılaşılan hesapsal maliyet yükünün yapay sinir ağları tahmin yaklaşımı ile önlenebileceği gösterilmiştir. Özellikle karmaşık yapısal tasarım ve şekil optimizasyon analizlerinde oluşan hesapsal yükün optimizasyon süreçlerinde sebep olduğu maliyetler giderilmiş olmaktadır. Tezde kullanılan iş akış şeması Şekil 1. 1.'de verilmiştir.



Şekil 1. 1. İş akış şeması

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bu bölümde literatür taraması ve tezde kullanılan yöntemler hakkında bilgilendirme yapılmıştır.

2.1. Literatür Taraması

Tushar M., Patel N. ve Bhatt M. (2015) çalışmalarında yapay sinir ağlarını kullanarak otomobillerde kullanılan şasi üzerindeki meydana gelen gerilmeleri tahmin etmeye çalışmışlardır. Bu çalışmalarını yaparken CAD modeli CREO 3.0 programını kullanarak tasarlanmıştır, gerilme analizi ANSYS programında sonlu elemanlar yöntemi kullanarak yapılmıştır, SEA sonuçları kullanarak yapay sinir ağ modelini MATLAB programında oluşturulmuştur. Analiz sonuçları ve yapay sinir ağları gerilme tahmini sonuçları birbirine yakın çıkmıştır. SEA ve YSA hibrit modeli kullanılarak malzeme kullanımı, üretim maliyeti ve zamanı gibi konularda tasarruf sağlamışlardır.

Diwakar K. ve Kumar B. E. (2015) yaptıkları çalışmalarında genellikle dökme demir malzemeden üretilen ve motor kaynaklı titreşimleri azaltmak için kullanılan motor takozu braketinin ağırlığını azaltmayı hedeflemişlerdir. Oluşturdukları yeni tasarımlarını sonlu elemanlar yöntemi ile analiz yapmışlardır. Dökme demir yerine alüminyum 5052 malzemesini kullanarak %62 oranında ağırlık hafifletmesi yapmışlardır.

Kirthana S. ve Nizamuddin M. K. (2018) yaptıkları çalışmalarında “Chevrolet Beat” aracında kullanılan motor takozu braketini malzeme ve tasarım yönünden ele alarak ağırlığını minimize etmeyi hedeflemişlerdir. Bu çalışmayı yaparken topoloji optimizasyonu yöntemini kullanmışlardır. Çalışma sonucunda ortaya çıkan sonuç sonlu elemanlarla analiz sonucunda ortaya çıkan maksimum gerilme değeri kullanılan malzemelerin çekme gerilme mukavemeti aşılmadan ağırlık minimizasyonu gerçekleşmiştir. En fazla ağırlık azaltılması Tasarım 3 modelinde meydana gelmiştir

Erdemir F. (2019) yaptığı çalışmasında kolay montaj ve demontaj edilebilme özelliğine sahip esneyerek kilitlenen bağlantı elemanlarının davranışını kuvvet karşısındaki gerilme, gerinim ve deformasyonlarını incelemiştir. Üç farklı malzeme kullanarak tasarıma etki

eden tasarım parametrelerini bulmuştur. ANSYS yazılımında analizler yaparak yapay sinir ağlarının kullanacağı verileri oluşturmuştur. Oluşturulan model ile çeşitli boyutların ve malzeme türlerinin aralığını tahmin etme yeteneği olan bir algoritma oluşturmuştur.

Serban F.M., Grozav S., Ceclan V. ve Turcu A. (2020) yaptıkları çalışmalarının amacı saclardaki geri yaylanma miktarını yapay sinir ağları modelini geliştirerek tahmin etmektir. Girdi parametreleri sac kalınlığı, zımba radyusu ve sürtünme katsayısıdır. 126 adet sonlu elemanlar analizi yapılarak MATLAB'ta oluşturulan YSA modelinde kullanılmıştır. Eğitim algoritması olarak Levenberg-Marquardt algoritması seçilmiştir. Çalışma sonucunda SEA ve YSA tahminleri arasında yakın bir korelasyon elde edilmiştir. Bu sayede YSA kullanılarak zaman ve maliyet açısından tasarruf sağlanmıştır.

Nalbant M. H. (2021) yaptığı çalışmada alüminyum dövme yöntemi ile üretilen salıncak kolunun topoloji optimizasyonu ile kütesinin hafifletilmesi üzerine çalışmıştır. Salıncak kolunun statik yükler altındaki durumunu ve ömür açısından dayanımını sonlu elemanlar yöntemiyle analiz etmiştir. SEA sonuçlarına göre optimum iki parça üretilerek fiziksel doğrulaması yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda ağırlığı %10 daha hafif iki adet salıncak kolu tasarımı yapılmıştır.

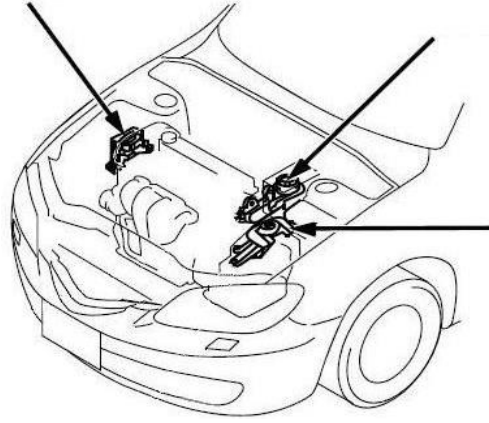
Şen E. (2021) yüksek lisans tezinde macpherson tipi ön süspansiyona sahip orta ticari bir aracın yaylanmayan kütle parçalarından olan akson optimizasyon ile dizayn edilmiş, belirlenen statik ve dinamik yük koşullarında ilgili tasarım kriterlerini sağlayarak doğrulanmış, dökme demir ve alüminyum malzemelerle tasarımları yapılmış ve ağırlık karşılaştırması incelenmiştir. Tasarımı yapılan dökme demir malzemeli aksonun statik ve dinamik fiziksel rig testleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre aynı tasarım alanı üzerinden topoloji optimizasyonunun yönlendirmesiyle tasarlanan aynı yük koşulları, kabul kriterleri, sınır şartlarına sahip dökme demir ve alüminyum malzemeli aksonlar arasında %61,6'lık ağırlık farkı bulunmuştur. Topoloji optimizasyonu kullanılarak ağırlık maliyet ve zaman konusunda kazanç elde edilebileceği yapılan çalışmada anlatılmıştır.

2.2. Motor Takozları

Araçlarda motorların çalışması sırasında oluşan titreşimlerin izolasyonunu sağlamak için veya mümkün olduğu kadar azalmak için kullanılan sönümleyiciler motor takozu olarak adlandırılır. Sırasıyla motor takozunun araç üzerindeki konumu ve motor takozu Şekil 2. 1. Şekil 2. 2.'de verilmiştir.

Motor takozlarının üç adet temel görevi vardır;

- 1) Motorun kaynak olduğu titreşim ve gürültüyü izole etmek
- 2) Motor ve güç aktarma organlarının statik ve dinamik yükünü desteklemek
- 3) Motor sarsıntısını ve yoldan gelen kuvvetlerin oluşturduğu mikro sarsıntıları sönümlemek



Şekil 2. 1. Motor takozunun araç üstündeki konumu (Anonim 2021'den değiştirilerek alınmıştır.)



Şekil 2. 2. Motor takozu(Anonim 2022)

Gün geçtikçe artan müşteri konfor istekleri motor takozu teknolojisinde ki iyileştirmeleri de beraberinde getirmiştir. Bu sebeple motor takozları dört çeşite ayrılır. Bunlar kauçuk(konvansiyonel) motor takozları, hidrolik motor takozları, yarı aktif motor takozları ve aktif motor takozlarıdır.

2.2.1. Kauçuk motor takozları

Bir diğer adıyla elastomerik takozlar, araçlarda ilk kullanılmaya başlanan takozlardan birisidir. 1930 yılı itibariyle motor titreşimlerini izole etmesi için kullanılmaya ve geliştirilmeye başlanan kauçuk motor takozları çok kompleks bir yapıya sahip değildir. Basit bir yapısı ve çalışma prensibi vardır bu yüzden üretimi kolaydır, herhangi bir bakım ihtiyacı yoktur ve uygun maliyetlidir (Alkhatib F., 2013). Kauçuk motor takozları Şekil 2. 3. ve Şekil 2. 4. 'te verilmiştir.



Şekil 2. 3. Kauçuk motor takozu(Anonim 2022-1)



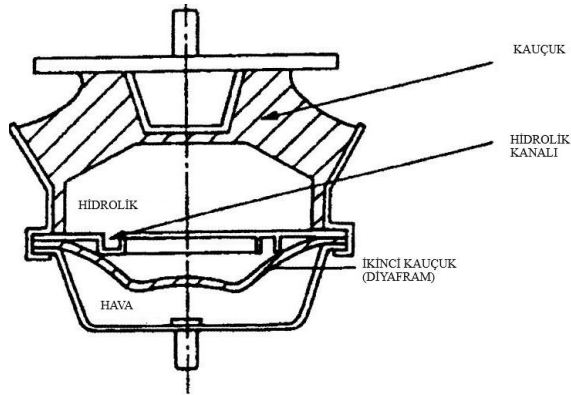
Şekil 2. 4. Kauçuk motor takozu(Anonim 2022-2)

2.2.2. Hidrolik motor takozları

İlk hidrolik motor takozunun patenti 1962 yılında Richard Rasmussen tarafından alınmıştır (Alkhatib F., 2013). Hidrolik motor takozlarında kauçuğun yanında hidrolik sıvıda titreşim sönülemeye katkı sağlar. Hidrolik motor takozlarının titreşim sönüleme miktarının ayarlanabilir olması ve dinamik yüklerde çalışma esnasında daha yüksek performans sergilemesi konvansiyonel motor takozlarına göre en büyük avantajıdır. Hidrolik motor takozu örneği Şekil 2. 5’de verilmiştir. Hidrolik motor takozlarının yapısı konvansiyonel motor takozlarına göre daha karmaşıktır. Kauçuk parçanın içinde Şekil 2. 6.’da verildiği gibi iki adet odacık bulunur. Hidrolik sıvının motordan ve yoldan gelen kuvvetler sebebiyle bu iki odacık arasında transfer edilmesiyle sönümle yapılmış olur.



Şekil 2. 5. Hidrolik motor takozu(Anonim 2022)



Şekil 2. 6. Hidrolik motor takozu kesit diyagramı(Velmurugan V. 2016’ dan değiştirilerek alınmıştır.)

2.2.3. Yarı aktif motor takozları

Yarı aktif motor takozları motorun rölantide çalışması esnasında oluşan titreşimi önemli derecede sönümler (Shangguan W.B., 2009, Choi S.B. ve diğerleri 2003).

Genellikle literatürde yarı aktif motor takozları, AÇIK – KAPALI (ON-OFF) kontrol edilebilir sönümlenmeye sahip hidrolik takozlar olarak isimlendirilir (Shangguan W.B., 2009, Yu Y. ve diğerleri 2001).

Düşük frekans aralığında dinamik direngenliği arttırmak için ekstra sönümlenme motor takozu AÇIK(ON) moduna gelir. Yüksek frekans aralığında dinamik direngenliği azaltmak için motor takozu KAPALI(OFF) moduna gelir. Motor takozunun güç gereksinimi sadece KAPALI(OFF) moddan AÇIK(ON) moduna geçerken vardır. Bu yüzden sistemin sürekli güç gereksinimi ihtiyacı yoktur (Lorenz M., 2006). Kauçuk motor takozlarına göre maliyeti yüksektir.

Yarı aktif motor takozları elektro reolojik hidrolik (Choi S.B. ve diğerleri 2003), manyetoreolojik akışkan (Arzanpour ve Golnaraghi, 2008) ile ve motor emme manifoldu vakumu (Kim ve Singh, 1995) gibi yöntemler kullanılarak geliştirilmiştir. Bu sıvılar özellik olarak, elektrik alana maruz kaldıklarında viskoziteleri çok hızlı bir şekilde değişir, sıvı içindeki metaller kendilerini elektrik alana göre hizalar ve zincirler oluşturur bu da karışımın viskozitesini önemli miktarda artırır. Bu özellikleri ile titreşimlere karşı sönümlenme sağlamaktadır (Pell D., 1996).

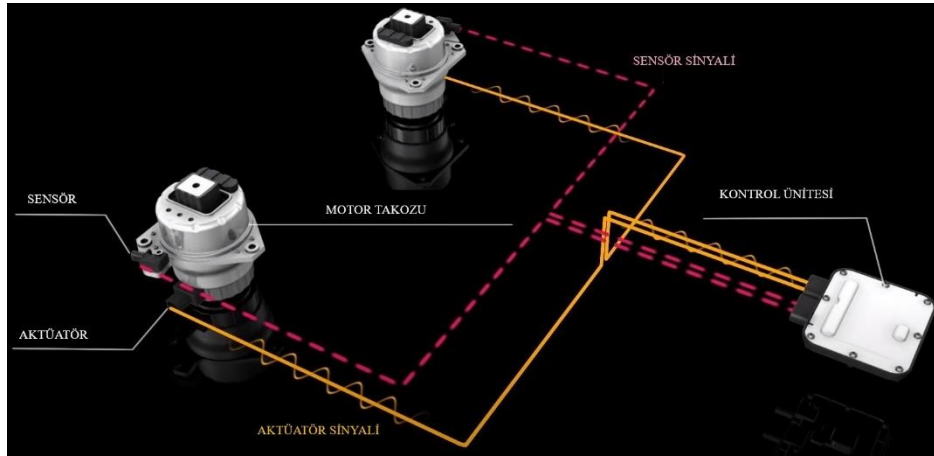
2.2.4. Aktif motor takozları

Aktif motor takozları; pasif motor takozu, kuvvet aktüatörü, sensörler ve kontrol ünitesinden meydana gelmektedirler. Kontrol ünitesi sensörlerden gelen bilgiye göre uygun kuvveti motor takozuna iletir. Bu geri beslemeye göre aktif motor takozu uygun sönümlenme etkisini oluşturacak şekilde kendi sönümlenme performansı belirler. Bu sayede değişen statik ve dinamik yük koşullarına göre en iyi titreşim ve gürültü sönümlenmeyi gerçekleştirerek daha konforlu bir sürüş imkanı sunar (Aoki K., ve diğerleri 1999, Matsuoka H., ve diğerleri 2004, Klarbring A. ve diğerleri 2009). Sırasıyla aktif motor

takozu ve çalışma prensibi Şekil 2. 7. ve Şekil 2. 8’de verilmiştir. Ancak motor takozu yapısı karmaşık ve daha fazla alt komponentten oluştuğu için maliyetleri yüksektir. Ayrıca kontrol ünitesi çalışması için ekstradan güce ihtiyaç vardır. Bu sebeple motordan elde edilen enerjinin bir kısmını kullanmak zorundadır. Yüksek maliyetleri sebebiyle çoğunlukla üst segment araçlarda kullanılır.



Şekil 2. 7. Hidrolik motor takozu (Vibracoustic, 2022)

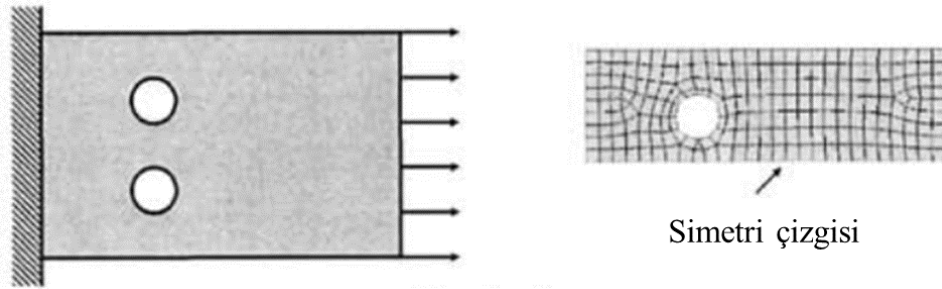


Şekil 2. 8. Aktif motor takozu çalışma prensibi (BOGE 2022’den değiştirilerek alınmıştır.)

2.3. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar analizi, bir dizi kuvvet uygulandığında farklı malzemelerin nasıl tepki vereceğini tahmin etmek için hesaplamalı bir tekniktir. Bilim ve mühendislik alanlarındaki birçok fiziksel fenomen, kısmi diferansiyel denklemler kullanılarak açıklanabilir. Sonlu elemanlar(SE) yöntemi, bu diferansiyel denklemleri çözmek için kullanılabilir. Sonlu elemanlar(SE) yöntemi, bu diferansiyel denklemleri çözmek için kullanılabilir. Mühendislikte geniş bir alana hitap eden, SE yöntemi, hesaplamalı modellerle stres analizi, sıvı akışı, elektromanyetik ve ısı transferi gibi sorunları çözmek için kullanılır (Welch-Phillips A. ve diğerleri 2020).

SEA'nın temeli, parçanın, varyasyonel veya ağırlıklı kalıntı yöntemleri uygulanarak sistematik yaklaşık çözümün oluşturulduğu sınırlı sayıda alt alana (elemen) ayrıştırılmasına dayanır. Gerçekte, SEA, parçayı elemana bölerek ve bilinmeyen alan değişkenini her bir eleman içinde varsayılan yaklaşık fonksiyonlar cinsinden ifade ederek sorunu sonlu sayıda bilinmeyene indirir. Bu fonksiyonlar (interpolasyon fonksiyonu olarak da adlandırılır), düğümler olarak adlandırılan belirli noktadaki alan değişkenlerinin değerleri cinsinden tanımlanır. Bir geometrinin sonlu elemanlara indirgenmesinin örneği Şekil 2. 9.'da verilmiştir (Madenci E. ve Guven İ. 2006).



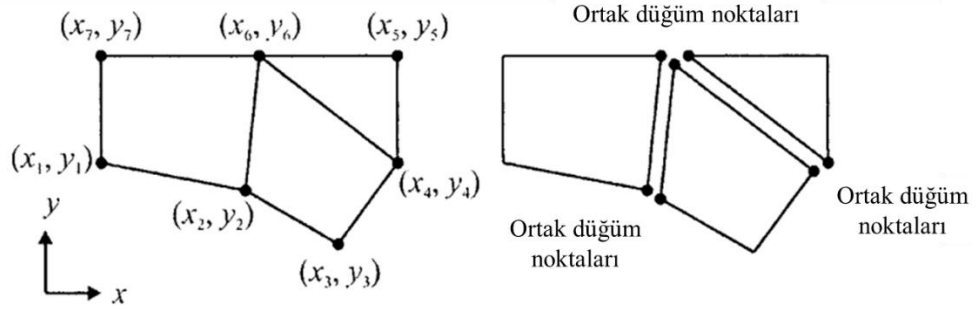
Şekil 2. 9. SEA örneği (Madenci E., vd. 2006' dan değiştirilerek alınmıştır.)

Mühendislik probleminin matematiksel bir probleme dönüştürülmesi, ilgili parçanın elemanlara (alt bölgelere) bölünmesiyle Şekil 2. 10.'te verildiği gibi sağlanır. Matris gösteriminde, global denklem sistemi şu şekilde ifade edilebilir:

$$F = K \times u \quad (2.1)$$

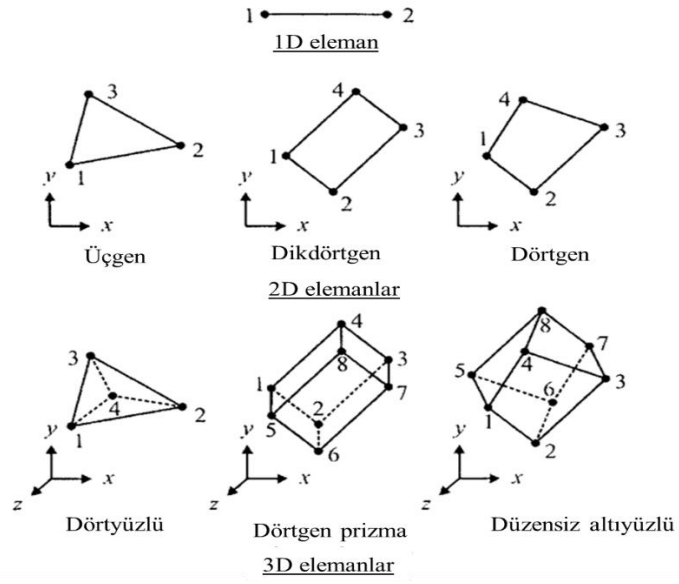
K sistemin dirençlik(stiffness) matrisini, u denklemde ki bilinmeyenleri, F ise kuvvet vektörünü ifade eder. Çözülme istenen denklemin tipine göre K değeri u değerine bağımlı olabilir. Sonlu elemanlar analizinin sonuçları matrislerin çözülmesiyle elde edilir. Sonuçlar analiz çıktısı olarak deplasman, gerilme vb. ifadeler cinsinden son kullanıcı ile paylaşılır.

Bu elemanlar birbirlerine "ortak" düğümleri ile bağlanır. Bir düğüm noktası(node), fiziksel problemin serbestlik derecelerinin ve eylemlerinin bulunduğu uzaydaki koordinat konumunu belirtir. Matris denklem sistemindeki düğüm bilinmeyenleri, birincil alan değişkenlerinden birini (veya daha fazlasını) temsil eder. Bir elemana atanan düğüm değişkenlerine elemanın serbestlik derecesi denir. Bir düğümün serbestlik derecesi problemin fiziksel doğası ve eleman tipi tarafından belirlenir.



Şekil 2. 10. Tasarımın düğüm noktalarına bölünmesi(Madenci E., vd. 2006' dan değiştirilerek alınmıştır.)

Problemin geometrisine ve fiziksel yapısına bağlı olarak, ilgili alan çizgi(1D), alan(2D) veya hacim(3D) elemanları kullanılarak sonlu elemanlara ayrılabilir. SEA'da kullanılan bazı ortak eleman tipleri Şekil 2. 11.'de gösterilmektedir. Her bir eleman, belirli bir küresel düğüm numarası dizisi ile tanımlanır (Madenci E. ve Guven İ. 2006).



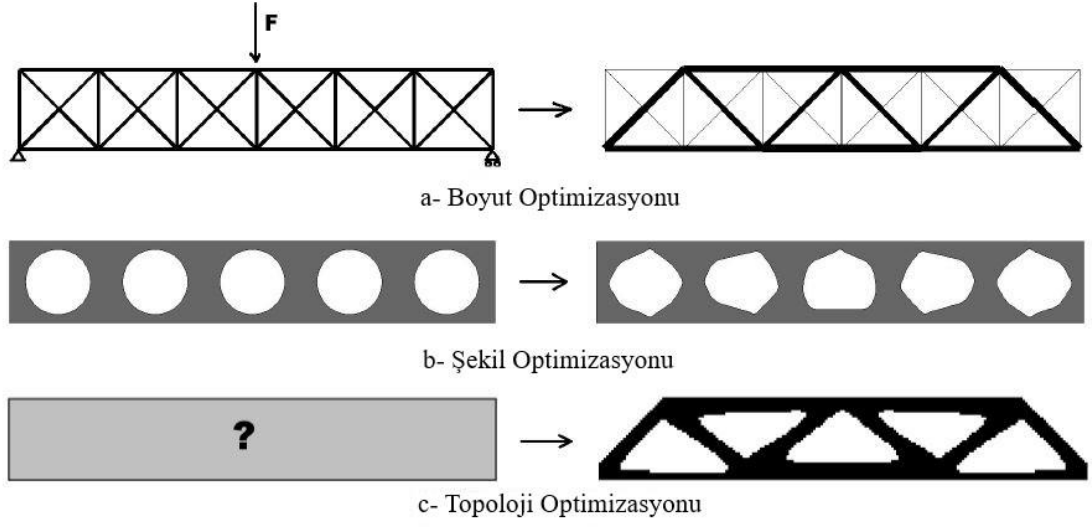
Şekil 2. 11. SEA eleman tipleri (Madenci E., vd. 2006' dan değiştirilerek alınmıştır.)

2.4. Optimizasyon

Optimizasyon en temel tanım olarak verilen koşullar altında en iyi sonucu, çözüm yolunu bulmak olarak ifade edilir. Optimizasyon amacı minimum efor ile maksimum faydayı elde etmektir. (Rao S., 2009)

Yapısal optimizasyon en uygun malzeme dağılımını, parça tasarımını beklentilere göre meydana getirmektir. Genellikle bu uygulamalardaki temel fonksiyon kütleyi, deplasmanı ve gerinme enerjisini minimize etmektir. Yapısal optimizasyon yönteminde birbirleriyle ters orantılı olan parametreler optimizasyon probleminin çözümünü karmaşıktırmakta ve çözüm süresini arttırmaktadır. Örneğin toplam malzeme miktarını azaltmak istenirken tasarım üzerindeki gerilme kuvvetlerinin artıp mukavemetin azalması durumu gibi.

Yapısal optimizasyon üç çeşite ayrılır. Bunlar; Boyut Optimizasyonu, Şekil Optimizasyonu, Topoloji Optimizasyonu.



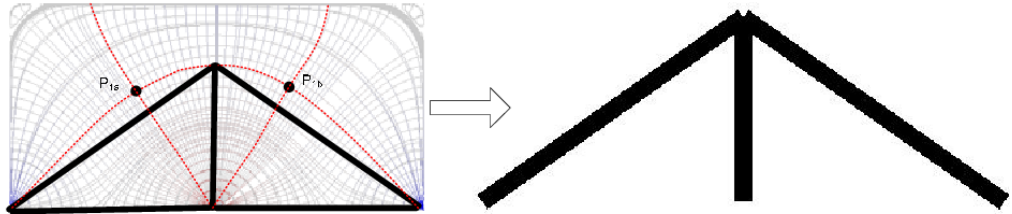
Şekil 2. 12. Yapısal optimizasyon yöntemleri

2.4.1. Boyut optimizasyonu

Yapısal optimizasyonlar arasındaki en basit optimizasyon yöntemidir. Formu bilinen bir tasarımın boyutlarının değiştirilerek optimum nihai tasarımı elde etmeyi amaçlar. Tasarım değişkenleri yapının boyutlarıdır.

Şekil 2. 12- a resminde kirişlerin çapı ve adedi değiştirilerek boyut optimizasyonu yapılmıştır. Boyut optimizasyonu, yapı tabanlı davranış olarak uygun değerler sergileyen tasarımın boyutlarını ifade eden kalınlık, genişlik, yükseklik, atalet momenti gibi tasarım kriterlerinin belirlenmesi için kullanılmaktadır (Lee S. ve diğerleri 2007).

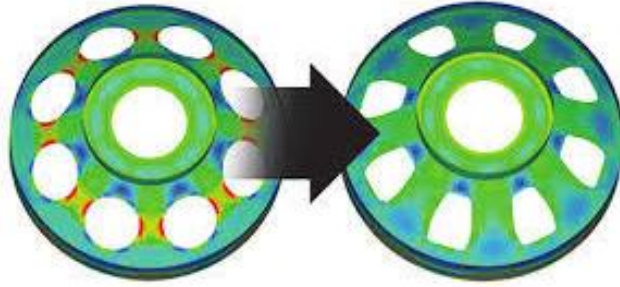
Şekil 2. 13.'da örnek bir boyut optimizasyonu çalışması verilmektedir.



Şekil 2. 13. Boyut optimizasyonu uygulaması(Yongqiang L. 2010)

2.4.2. Şekil optimizasyonu

Şekil optimizasyonu, boyut optimizasyonundan daha karmaşıktır. Tasarım sürecinde şekiller sürekli değiştiğinden, değişen sınır şeklini tanımlamak, yeterli bir sonlu eleman ağı sağlamak, analizinin doğruluğunu artırmak, uygun kısıtlamalar uygulamak ve mevcut optimizasyonu kullanmak için dikkatli bir değerlendirme yapılmalıdır (Botkin M. E. 1982) . Örnek şekil optimizasyonu uygulaması Şekil 2. 14.'da verilmiştir.



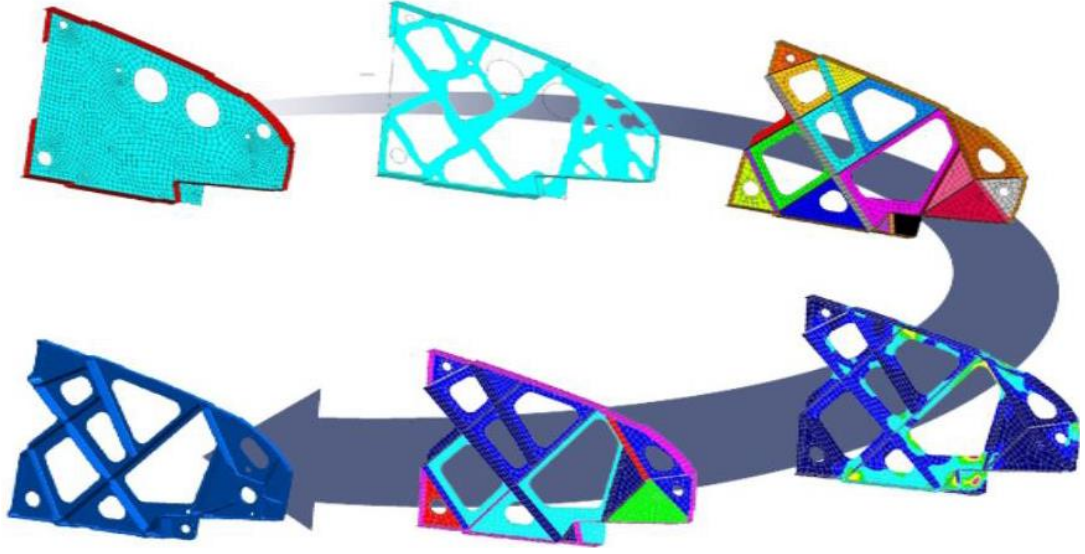
Şekil 2. 14. Şekil optimizasyonu uygulaması (Anonim 2022-3)

Boyut optimizasyonunda olduğu gibi tasarımın formu bilinmektedir. Şekil optimizasyonu yapılırken tasarıma yeni geometrik detaylar(delik, feder, radyus vs.) eklenmez. Mevcut tasarımın geometrik detaylarında revizyonlar yapılır.

Şekil 2. 12- b resmi incelendiği zaman tasarımın üzerinde mevcut olan delikler büyütülmüştür. Şekil optimizasyonun diğer yapısal optimizasyon yöntemlerinden en temel farkı her bir eleman için ayrı ayrı bir ya da daha fazla dizayn değişikliği yerine bir dizayn değişikliği birden çok elemanı değiştirir.

2.4.3. Topoloji optimizasyonu

Topoloji optimizasyonunun amacı, optimal bir yapı oluşturmak için belirli bir tasarım alanı içinde malzemeyi dağıtmaktır. Yapının optimalliği, bir dizi kısıtlamaya tabi olan belirli bir amaç fonksiyonu tarafından tanımlanır (Cian C.-S ve Kai A. J. 2019). Örnek bir topoloji ve şekil optimizasyonu çalışması Şekil 2. 15.'te verilmiştir.



Şekil 2. 15. Kanat destek federlerinin topoloji ve şekil optimizasyonu (Işık E., 2009)

Topoloji optimizasyon problemini denkleme dönüştürebilmek için hedef fonksiyona ihtiyaç vardır. Kısıtlamaların ve değişkenlerin ise tanımlanması gerekir. Hedef fonksiyonunda maksimum veya minimum olması istenilen fonksiyonu ifade eder. Hedef fonksiyonu yapının ağırlığının azaltılması, dayanıklılık veya hacmi olabilir. Tasarım değişkenleri (x) yapının tasarımını tanımlar, örneğin geometriyi temsil edebilir. Durum değişkeni (y) gerilme yer değiştirme gibi yapısal tepkileri temsil eder (Larsson R., 2016). Boyut optimizasyonu ve şekil optimizasyonunda olduğu gibi hedef optimum malzeme dağılımını elde etmektir. Topoloji optimizasyonu yapılmadan önce tasarımdaki delikler, federler, radyus vb. gibi yapılar boyut ve şekil optimizasyonun aksine belirli değildir.

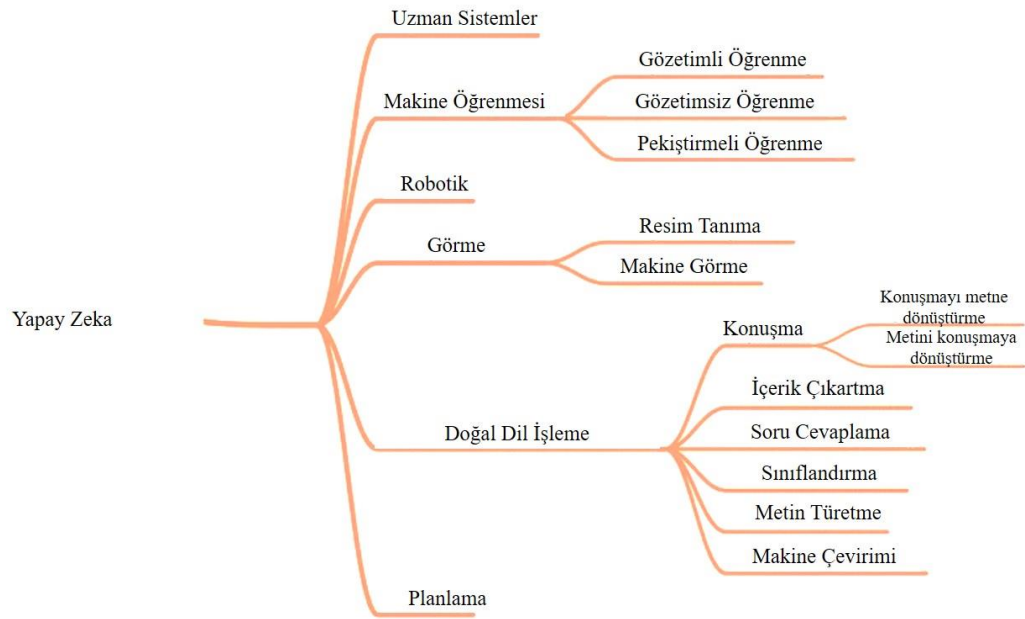
2.5. Yapay Zeka Teknikleri

Bu bölümde yapay zeka, makine öğrenmesi ve yapay sinir ağları kavramları ile ilgili bilgiler verilecektir.

2.5.1. Yapay zeka

Yapay zeka, bir bilgisayarın ya da bilgisayar denetimli bir makinenin, genellikle insana özgü nitelikler olduğu varsayılan akıl yürütme, anlam çıkartma, genelleme ve geçmiş deneyimlerden öğrenme gibi yüksek zihinsel süreçlere ilişkin görevleri yerine getirme

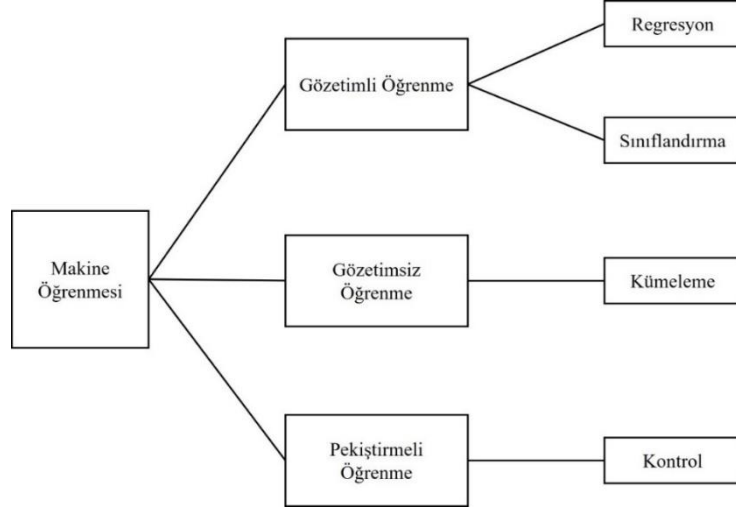
yeteneği olarak tanımlanmaktadır (Nabiyev V., 2005). Alan Turing 1950’lerde yazdığı düşünebilen makinaların yapılması ilgili fikirlerini yazdığı makalesi yapay zeka için bir dönüm noktası ve başlangıç olmuştur. Yapay zekanın gelişmesi için bilgisayarların gücü, eğitim-öğrenme algoritmaları, veri ve insan faktörleri önemli rol oynamaktadır. Günümüzde kullandığımız yapay zeka örnekleri şu şekildedir; yüz tanıma programları, içerik öneri sistemleri, telefon ve araçlardaki sesli asistanlar, taşıtlardaki şerit takip sistemleri vb. Yapay zekanın kullanım alanları Şekil 2. 16.’da verilmiştir.



Şekil 2. 16. Yapay zeka kullanım alanları (Rathod, 2020’ dan değiştirilerek alınmıştır <https://pub.towardsai.net/branches-in-artificial-intelligence-to-transform-your-business-f08103a91ab2>)

2.5.2. Makina öğrenmesi

Makine öğrenmesi, insanların öğrenme şekillerini taklit etmek için veri ve algoritmaların kullanımına odaklanıp doğruluğunu kademeli olarak artıran bir yapay zeka (AI) ve bilgisayar bilimi dalıdır (IBM, 2022). Makine öğrenmesi çeşitleri Şekil 2. 17. ’de verilmiştir

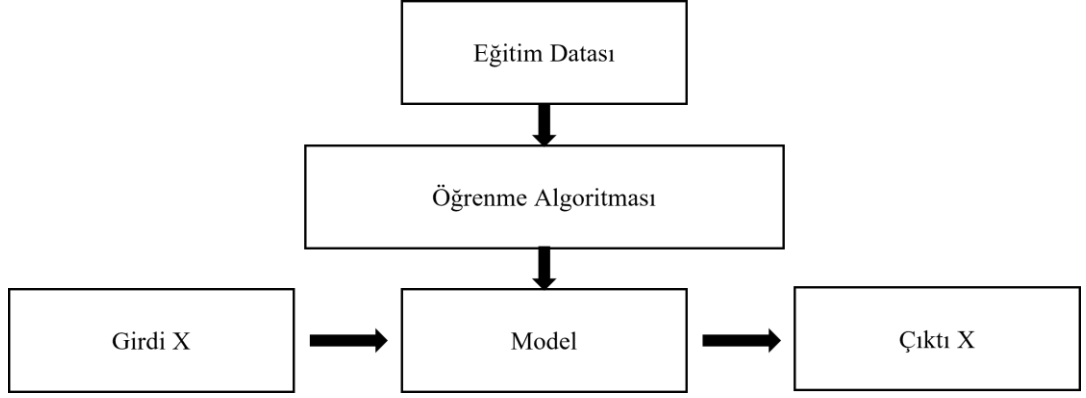


Şekil 2. 17. Makine öğrenmesi çeşitleri

Gözetimli Öğrenme: Girdi ve çıktı değerleri arasındaki ilişkinin matematiksel olarak ifade edilmesi için her girdi datasıyla alakalı çıktı data örneklerinin gözlemlenmesi yardımıyla algoritma fonksiyon oluşturur. Bu oluşturulan matematiksel formül kullanılarak yeni girdi dataları için çıktı datalarının tahmini yapılır. Gözetimli öğrenme çalışma prensibi Şekil 2. 18. 'de verilmiştir.

Regresyon, bir bağımsız değişken ile bir ya da birden çok bağımlı değişken arasındaki ilişkiyi belirlemeye çalışan istatistiksel bir tekniktir. Regresyon denklemleri yardımıyla elde edilen matematiksel fonksiyonlar sayesinde ilgili veri grubuyla ilgili tahminler yapılabilir.

Eğer çıktı belirli bir aralıkta ve gerçek değerler ise bu bir regresyon problemidir. Eğer çıktı değerleri kategorilendirilebilir ise örneğin üye olanlar/ üye olmayanlar gibi bu bir sınıflandırma problemidir. (Ciaburro G., 2017)



Şekil 2. 18. Gözetimli öğrenme

Gözetimsiz Öğrenme: Denetimsiz makine öğrenmesi olarak da bilinen, makine öğrenmesi algoritmalarını çözümlmek ve etiketsiz veri kümelerini kümelemek için kullanır. Bu algoritmalar, insan müdahalesine gerek olmadan saklı kalıpları veya veri gruplamalarını keşfederler. Bilgi içindeki benzerlikleri ve farklılıkları keşfetme yeteneği; bu algoritmayı, keşif amaçlı veri analizi, çapraz satış stratejileri, müşteri segmentasyonu, görüntü ve kalıp tanıma için ideal bir çözüm haline getirir. (IBM, 2022).

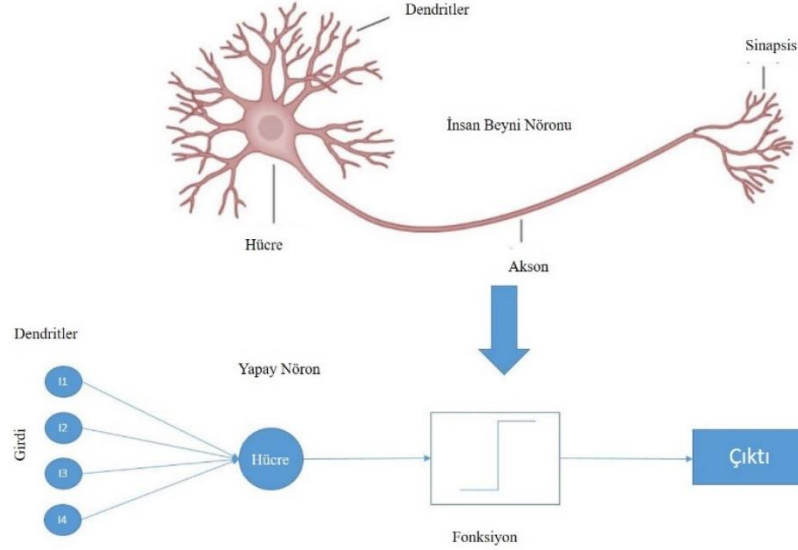
Gözetimli öğrenmeden farklı olarak, verileri sebep-sonuç ya da giriş-çıkış şeklinde etiketlemeden, veri içerisinde var olan ilişkilerin ve yapıların öğrenilmesidir. Veri örneklerinin birbirine olan uzaklıklarını, komşuluk ilişkilerini ve yoğunluklarını kullanarak veriyle ilgili çıkarımlar yapılmasını sağlar.

Pekiştirmeli Makine Öğrenmesi: Gözetimli öğrenmeyle benzerlik gösteren, ancak algoritmanın basit veri kullanılarak eğitilmediği bir davranışsal makine öğrenmesi modelidir. Bu model, deneme yanılma yöntemiyle öğrenir. Belirli bir sorun için en iyi öneriyi ya da ilkeyi geliştirmek üzere başarılı sonuçlar dizisi pekiştirilir.

2.5.3. Yapay sinir ağları

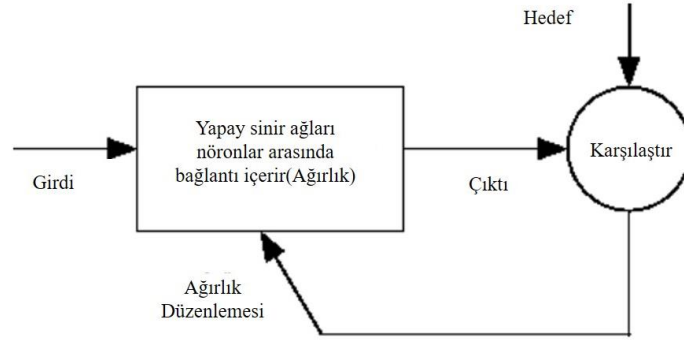
Yapay sinir ağları (YSA), kullanımına son zamanlarda sıkça rastlanılan ve birçok bilim dalında karışık problemlerin çözümünde kullanılan bir modelleme aracıdır. Yapay sinir ağları, bilgi sunumu ve veri işleme için paralel hesaplar

yapabilen, birbirine bağı karmaşık olmayan işlem elemanlarından oluşan yapılar olarak bilinirler (Hecht-Nielsen R., 1990, Schalkoff R. J., 1997). Yapay sinir ağı insan beynindeki sinir ağılarından esinlenilerek ve benzetilerek ortaya konulmuş bir yapay zeka uygulamasıdır. Şekil 2. 19'deki gibi bir benzetim söz konusudur.



Şekil 2. 19. İnsan sinir ağı, yapay sinir ağı karşılaştırması (Anonim, 2017' den değiştirilerek alınmıştır <http://www.mplsvpn.info/2017/11/what-is-neuron-and-artificial-neuron-in.html>)

Yapay sinir ağı paralel çalışan basit elemanlardan oluşur. Bu elementler biyolojik sinir sistemlerinden esinlenmiştir. Doğada olduğu gibi, elemanlar arasındaki bağlantılar büyük ölçüde ağ işlevini belirler. Öğeler arasındaki bağlantıların (ağırlıkların) değerlerini ayarlayarak bir sinir ağını belirli bir işlevi gerçekleştirme için eğitebilirsiniz. Tipik olarak sinir ağı, belirli bir girdinin belirli bir hedef çıktıya yol açacağı şekilde ayarlanır veya eğitilir. Bir sonraki şekil böyle bir durumu göstermektedir. Burada, ağ çıktısı hedefle eşleşene kadar, çıktı ve hedefin karşılaştırılmasına dayalı olarak ağ ayarlanır. Tipik olarak, bir ağı eğitmek için bu tür birçok girdi/hedef çiftine ihtiyaç duyulur. YSA öğrenme prosesi Şekil 2. 20. gibidir. (Mathworks, 2016)



Şekil 2. 20. YSA öğrenme prosesi

Sinir ağları, örüntü tanıma, tanımlama, sınıflandırma, konuşma, görme ve kontrol sistemleri dahil olmak üzere çeşitli alanlarda karmaşık işlevleri yerine getirmek üzere eğitilebilirler.

Yapay sinir ağları üç ana bölümden oluşur:

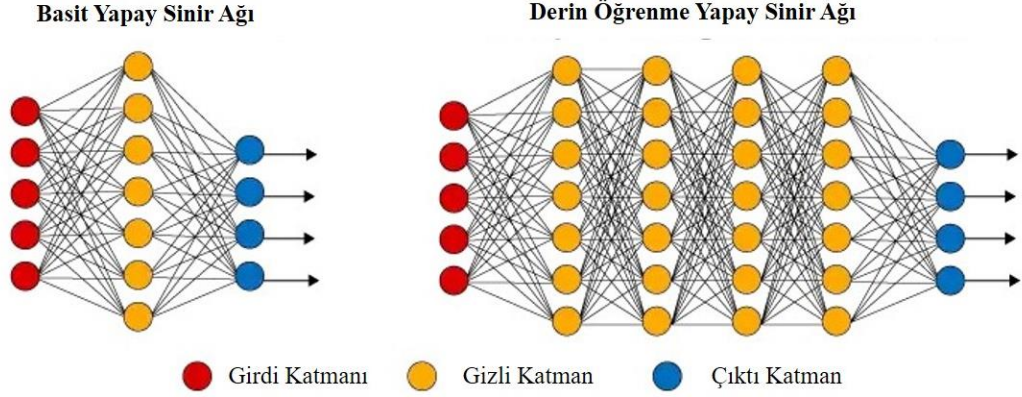
Girdi Katmanı: Yapay sinir ağına dış dünyadan girdilerin geldiği katmandır. Bu katmanda, girdi sayısı kadar hücre bulunmaktadır ve girdiler herhangi bir işleme uğramadan gizli katmana iletilirler.

Gizli Katmanlar: Girdi katmanından aldığı bilgiyi işleyerek bir sonraki katmana iletir. Gizli katman sayısı ve gizli katmandaki hücre sayısı ağdan ağa değişebilir. Gizli katmanlardaki hücre sayıları, girdi ve çıktı sayılarından bağımsızdır.

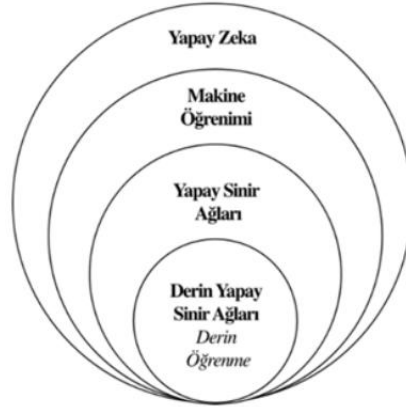
Çıktı Katmanı: Gizli katmandan gelen bilgiyi işler ve girdi katmanına gelen girdiye uygun olarak üretilen çıktıyı dış dünyaya gönderir. Çıktı katmanındaki hücre sayısı birden büyük olabilir. Her bir çıktı hücresinin bir adet çıktısı vardır. Her bir hücre bir önceki katmandaki bütün hücrelere bağlıdır (Ünal T., 2019).

Derin öğrenme makine öğrenmesinin daha spesifik bir çeşididir. Gizli katman bölümünde basit YSA'ya göre birden fazla katman bulunur. Bu sistem problem çözümünü daha karmaşık hale getirmekte ve çözüm süresini uzatmaktadır ancak verilerin daha detaylı analiz edilmesini ve sonuçların doğruluğunu arttırmaktadır. Basit YSA ile derin öğrenme

YSA çalışma prensipleri Şekil 2. 21. 'de verilmiştir. AI, ML, YSA ve DYSA kavramları arasındaki ilişki Şekil 2. 22. 'da verilmiştir.



Şekil 2. 21. Basit yapay sinir ağı derin öğrenme karşılaştırılması (Vazquez F., 2018'dan değiştirilerek alınmıştır <https://towardsdatascience.com/a-conversation-about-deep-learning-9a915983107>)



Şekil 2. 22. Yapay zeka, makine öğrenmesi, YSA, derin öğrenme ilişkisi (Er Akan A., Bingöl K., Örmecioğlu H.T. ve Er A. 2020)

3. MATERYAL ve YÖNTEM

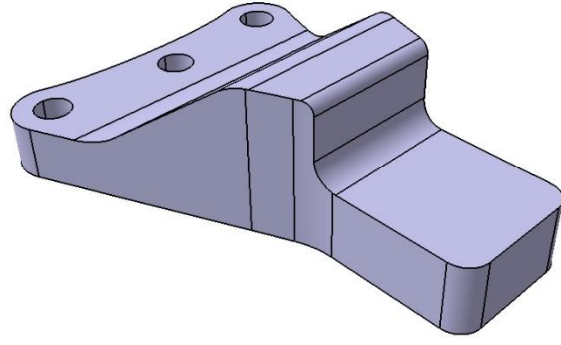
Bu kısımda parça tasarımı, sonlu elemanlar analiz modelinin hazırlanması ve çözümü, topoloji optimizasyonu yapay sinir ağlarının oluşturulması ve analiz tahminlerinin nasıl yapıldığı açıklanmıştır.

Bu bölümde anlatılacak olan takip edilecek işlem adımları aşağıdaki gibidir;

- Adım 1: Braket parçasının CAD modelinin oluşturulması
- Adım 2: SEA ve topoloji optimizasyonu(T.O.) için modelin hazırlanması
- Adım 3: T. O. sonrası üretilebilirlik göz önüne alınarak CAD modelin yeniden tasarlanması
- Adım 4: Şekil optimizasyonu yapılmak için tasarım uzayının belirlenmesi ve farklı tasarım değişkenlerine göre CAD modellerin oluşturulması
- Adım 5: SEA yapılarak parça üzerinde oluşan maksimum gerilmelerin elde edilmesi
- Adım 6: Yapay Sinir Ağlarının oluşturulması ve analiz tahminlerinin yapılması
- Adım 7: SEA ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması

3.1. CAD Modelin Oluşturulması

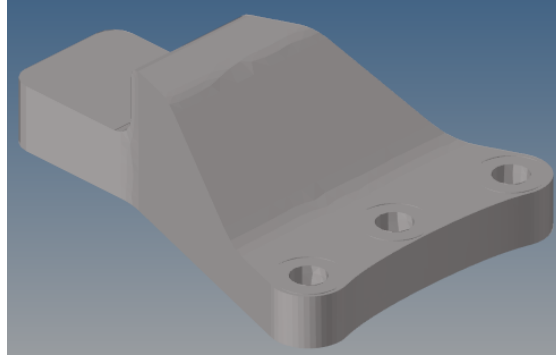
Motor takozlarında kullanılan braket parçasının sanal 3D modelinin oluşturulması CATIAV5 programı kullanılarak yapılmıştır. Braketin motor takozlarındaki kullanım amacı araç şasisi ile titreşimleri sönmleyen kauçuk kısım arasındaki bağlantıyı sağlamaktır. Braketin çalışma ve montaj koşulları düşünülerek araca üç adet delik ile bir düzlem oluşturularak sabitlenmesi ön görülmüştür. Tasarım yapılırken braketin alüminyum enjeksiyon ile üretim yöntemine uygun kalıplanabilir bir tasarım ortaya konulmuştur. Tasarımın CAD modelinin görseli Şekil 3. 1. 'de verilmiştir



Şekil 3. 1. CAD Model

3.2. SEA Modelinin Oluşturulması

Braketin sonlu elemanlar analizi yapılmak için CAD model HyperMesh programına aktarılmıştır. Model Şekil 3. 2’de verilmiştir




Şekil 3. 2. HyperMesh modeli

SEA modeline malzeme tanımlaması Şekil 3. 3. ’te verilmiştir Tanımlanan malzemenin özellikleri Çizelge 3. 1. ’de verilmiştir.


Çizelge 3. 1. Malzeme özellikleri

Malzeme	Yoğunluk(g/cm^3)	Poisson Oranı	Elastisite Modülü (GPa)
EN AC 46000	2.8	0.33	73


Name	Value
Solver Keyword	MAT1
Name	AC46000
ID	1
Color	
Include	[Master Model]
Defined	<input checked="" type="checkbox"/>
Card Image	MAT1
User Comments	Do Not Export
E	73000.0
G	
NU	0.33

Şekil 3. 3. HyperMesh Malzeme Tanımlaması

Model için özellik(property) tanımlaması Şekil 3. 4 ve Şekil 3. 5’teki gibi yapılmıştır. Modelde topoloji optimizasyonuna dahil olacak bölümler design girmeyecek olan bölümler nondesign olarak ikiye ayrılmıştır. Bu iki bölüm için ayrı property tanımlaması yapılmıştır. Seçilen malzemenin modelle ilişkilendirilmesi yapılmıştır. Propety PSOLID olarak seçilerek braketin katı bir parça olduğu analiz programına tanıtılmıştır.

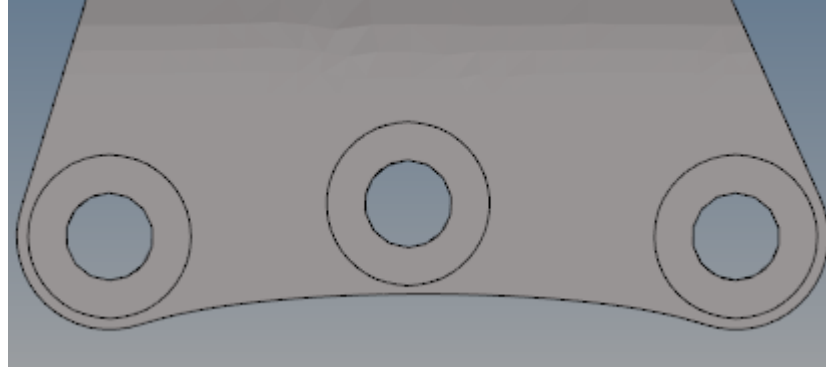
Name	Value
Solver Keyword	PSOLID
Name	design
ID	1
Color	
Include	[Master Model]
Defined	<input checked="" type="checkbox"/>
Card Image	PSOLID
Material	(1) AC46000

Şekil 3. 4. Property tanımlaması

Name	Value
Solver Keyword	PSOLID
Name	nondesign
ID	2
Color	
Include	[Master Model]
Defined	<input checked="" type="checkbox"/>
Card Image	PSOLID
Material	(1) AC46000
User Comments	Do Not Export
CORDM options	BLANK

Şekil 3. 5. Property tanımlaması

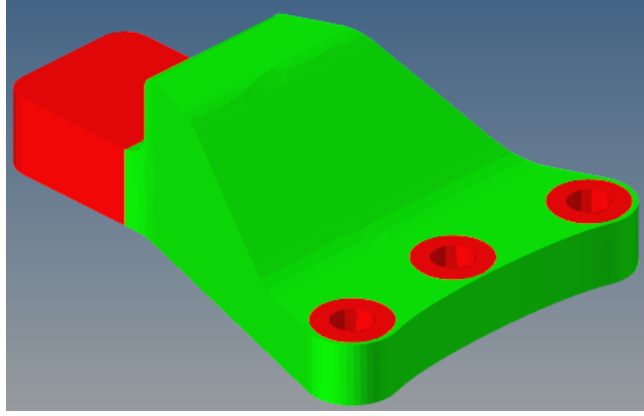
SEA modelinde bağlantı deliklerine gerçeği temsil etmesi ve daha doğru sonuç vermesi için rondela tanımlaması Şekil 3. 6.'daki gibi yapılmıştır. Braketin araç şasisi ile bağlantısı M16 cıvata kullanılarak yapılacaktır. DIN 125-A standardına göre rondela dış çapı 30 mm olacak şekilde modele eklenmiştir.



Şekil 3. 6. Rondela tanımlaması

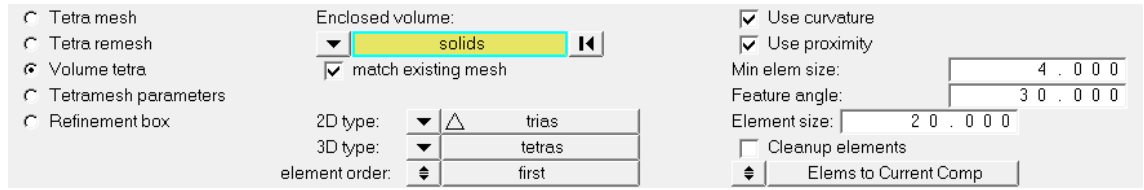
3.3. Topoloji Optimizasyonu Modelinin Oluşturulması

Şekil 3. 7.'te verilen topoloji optimizasyonuna dahil edilecek olan bölgeler yeşil renk tasarım(design) bölgesi olarak, topoloji optimizasyonuna dahil edilmeyen bölgeler kırmızı renk olarak tanımlanmıştır.



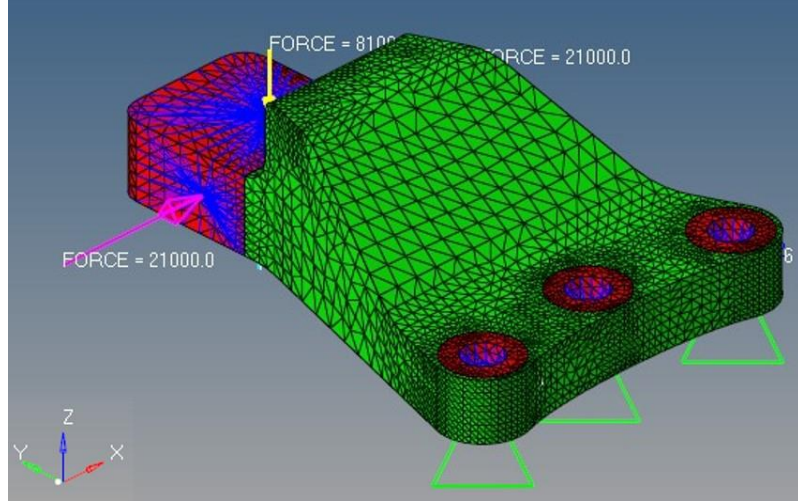
Şekil 3. 7. Topoloji optimizasyonu modeli

Parçaya volume tetra mesh atılmıştır. 2D tip olarak trias mesh elemanı kullanılmıştır. Mesh özellikleri Şekil 3. 8. 'de verilmiştir



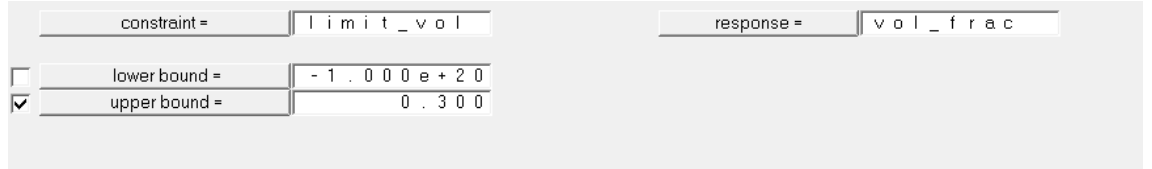
Şekil 3. 8. Mesh özellikleri

Mesh işleminden sonra modele rijit elemanlar tanımlanarak bağlantı ve yük uygulanacak yüzeyler belirtilmiştir. Parça delik merkezlerinden serbestlik derecesi 0 olarak X, Y, Z eksenlerinde öteleme ve dönme hareketine izin verilmeyecek şekilde sabitlenmiştir. Yük tanımlaması +X ve -X yönlerinde 21 000 N, +Z ve -Z yönlerinde 8 100 N olacak şekilde kauçuk ile temas yüzeylerin merkezlerinden yapılmıştır. Rijit bağlantıların tanımlanması için RB2 eleman kullanılmıştır. Sınır şartları ve uygulanan yüklerin tanımlandığı HyperMesh modeli Şekil 3. 9. 'da verilmiştir.



Şekil 3. 9. Sınır şartları ve yüklerin belirlenmesi

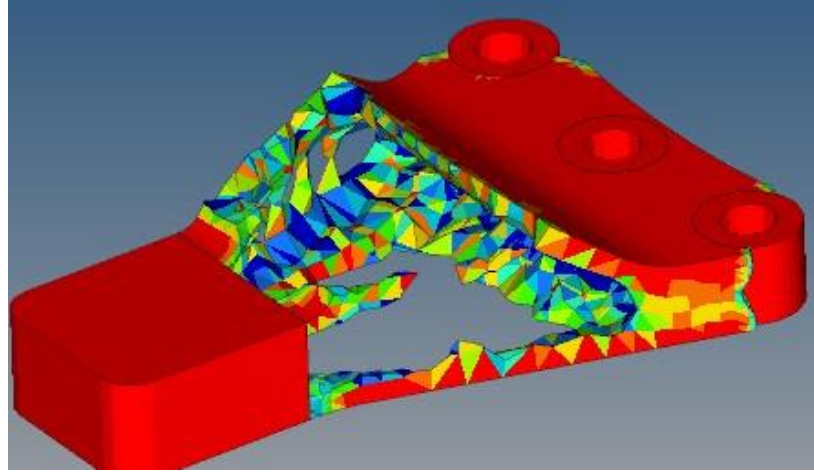
HyperMesh OptiStruct kullanılarak topoloji optimizasyonu yapılmıştır. Topoloji optimizasyonu amaç fonksiyonu ağırlığı minimize etmek olarak tanımlanmıştır. Kısıt fonksiyonu hacmin maksimum 0,3 oranında boşaltılması olarak programa Şekil 3. 10. 'da verilmiştir



Şekil 3. 10. Optimizasyon kısıtı

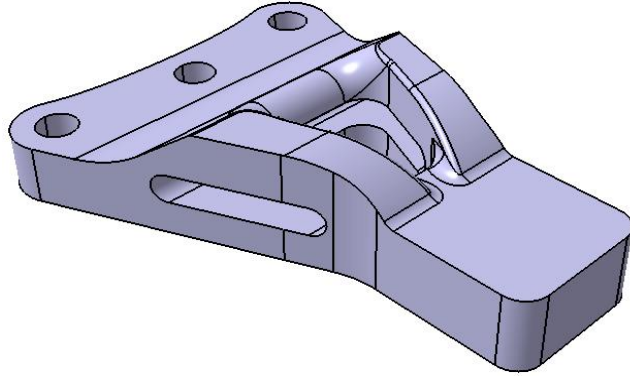
Optimizasyon cevabı ise ağırlık ve hacim olarak belirlenmiştir. Hazırlanan model OptiStruct kullanılarak analizi ve topoloji optimizasyonu tamamlanmıştır.

Topoloji optimizasyonu sonrasında boşaltmalar ve ortaya çıkan model Şekil 3. 11. 'de verilmiştir



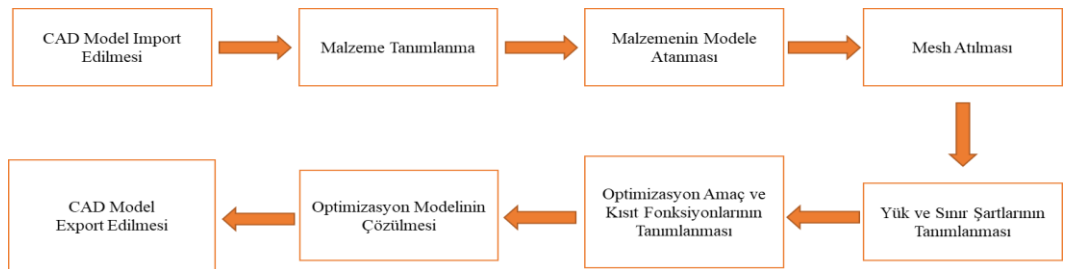
Şekil 3. 11. Topoloji optimizasyonu sonrası model

Şekil 3. 12.'da verilen topoloji optimizasyonu sonrası elde edilen model üretilebilirlik açısından değerlendirerek CATIA programında 3D modeli yeniden tasarlandı.



Şekil 3. 12. Topoloji optimizasyonu sonrası 3D CAD model

Topoloji optimizasyonu için iş akış şeması Şekil 3. 13'te verilmiştir.



Şekil 3. 13. Topoloji optimizasyonu iş akış şeması

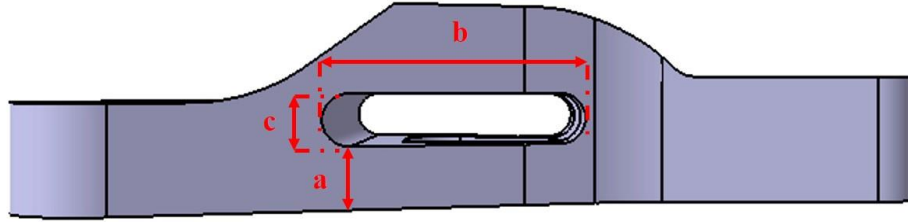
Topoloji optimizasyonu öncesi ve sonrası braket ağırlıkları Çizelge 3. 2. 'de verilmiştir.

Çizelge 3. 2. Braket ağırlıkları

	T.O. Öncesi	T.O. Sonrası	% Fark
Ağırlık(gram)	1824	1269	30

3.4. Şekil Optimizasyonu

Topoloji optimizasyonu sonrasında elde edilen modelde şekil optimizasyonu yapılmak için üç adet tasarım değişkeni belirlendi. Bu tasarım değişkenleri Şekil 3. 14.'te verilmiştir.



Şekil 3. 14. Şekil optimizasyonu parametreleri

Braket üretilebilirlik açısından değerlendirildiğinde tasarım değişkenlerinin minimum ve maksimum değerleri Çizelge 3. 3.'te verilmiştir.

Çizelge 3. 3. Tasarım değişkeni minimum ve maksimum değerleri

Tasarım Değişkeni	Minimum(mm)	Maksimum(mm)
a	10	15
b	45	60
c	6	16

MATLAB programı kullanılarak 25 adet birbirlerinden farklı a, b, c parametrelerinin kombinasyonundan oluşan tasarım uzayı şekil optimizasyonu yapılmak üzere Latin hiperküp örneklem yöntemi ile Çizelge 3. 4.'te verildiği gibi oluşturulmuştur.

Çizelge 3. 4. Latin hiperküp yöntemiyle oluşturulan tasarım uzayı

Model Adı	Tasarım Değişkenleri		
	a	b	c
Analiz 1	10,01	59,18	14,15
Analiz 2	13	58,66	10,12
Analiz 3	14,59	57,68	6,82
Analiz 4	13,93	48,53	8,43
Analiz 5	10,76	53,9	7,16
Analiz 6	11,87	45,15	8,67
Analiz 7	12,61	51,88	10,59
Analiz 8	14,7	49,44	11,63
Analiz 9	10,59	47,7	10,96
Analiz 10	13,8	51,27	11,2
Analiz 11	12,78	56,17	7,79
Analiz 12	10,4	56,79	13,41
Analiz 13	13,47	55,08	9,02
Analiz 14	11,04	45,58	12,68
Analiz 15	12,29	46,37	13,94
Analiz 16	13,01	49,69	6,62
Analiz 17	11,29	52,71	8,1
Analiz 18	11,54	55,73	7,64
Analiz 19	13,64	50,57	12,49
Analiz 20	11,45	58,37	14,82
Analiz 21	14,32	57,34	9,38
Analiz 22	14,05	53,03	13,2
Analiz 23	11,74	50,18	6,11
Analiz 24	13,26	47,26	11,75
Analiz 25	10,23	54,68	9,83

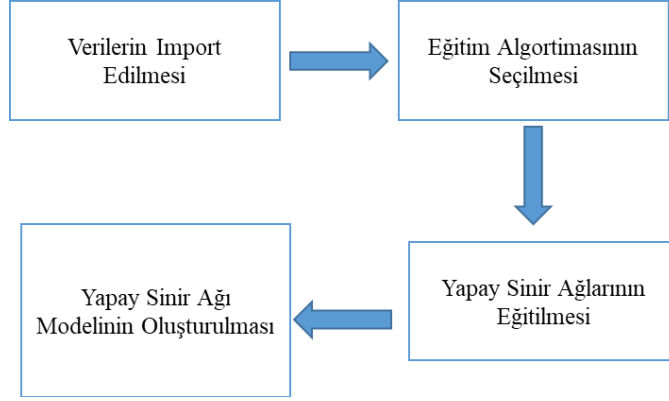
Çizelge 3. 4.'te verilen tasarım değişkenleri kullanılarak 25 adet braket modeli CATIA programında oluşturuldu. HyperWorks programı kullanılarak lineer statik analiz yapılmıştır. Analiz sonuçları Çizelge 3. 5'te verilmiştir. Şekil optimizasyonu sonuçlarına göre parça üzerinde en az maksimum gerilme değerlerine sahip olanlar optimum modeller olarak kabul edilebilir.

Çizelge 3. 5. Şekil optimizasyonu analiz sonuçları

Model Adı	-Z [MPa]	+Z [MPa]	+X [MPa]	-X [Mpa]
Analiz1	204	200	160	160
Analiz2	207	213	123	125
Analiz3	206	212	103	103
Analiz4	203	206	113	116
Analiz5	200	206	120	121
Analiz6	183	188	117	117
Analiz7	207	211	133	134
Analiz8	204	211	117	117
Analiz9	203	204	135	135
Analiz10	203	207	125	127
Analiz11	185	189	114	114
Analiz12	199	203	145	148
Analiz13	200	205	117	118
Analiz14	198	209	130	132
Analiz15	200	204	142	139
Analiz16	200	203	105	106
Analiz17	201	206	120	121
Analiz18	193	197	118	120
Analiz19	203	202	131	131
Analiz20	203	208	154	152
Analiz21	197	200	117	117
Analiz22	202	207	125	125
Analiz23	208	208	106	109
Analiz24	199	209	126	124
Analiz25	202	208	142	144

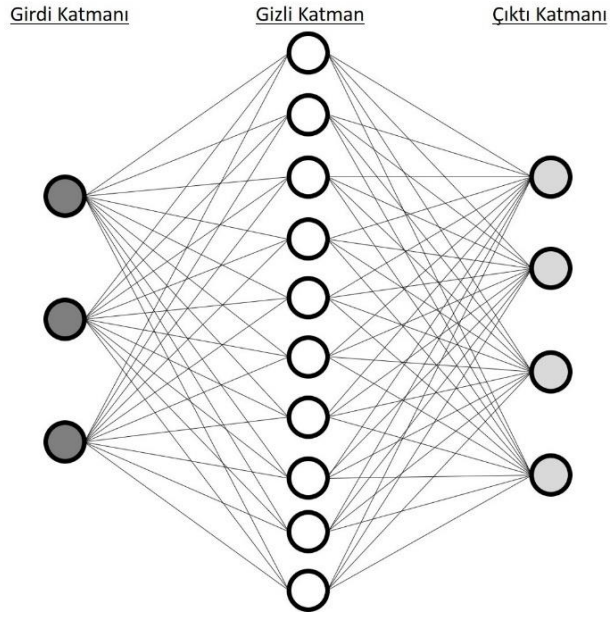
3.5. Yapay Sinir Ağları Modelinin Oluşturulması

Bu çalışmada YSA modeli oluşturulurken Şekil 3. 15.te verilen iş akış şeması kullanılmıştır.



Şekil 3. 15. YSA modeli iş akış şeması

Yapay sinir ağlarının oluşturulması için Matlab programı Neural Network Fitting modülü kullanılmıştır. İlk adım olarak şekil optimizasyonunda kullanılan tasarım değişkenleri girdi olarak [25x3] matris formunda ve analiz sonuçlarında elde edilen gerilme değerleri çıktı olarak [25x4] matris formunda YSA oluşturulmasında kullanılmıştır. YSA girdi katmanında 3 adet, gizli katmanda 10 adet, çıktı katmanında 4 adet nöron kullanılmıştır. Girdi katmanındaki 3 adet nöron a, b, c tasarım değişkenlerini, çıktı katmanındaki 4 adet nöron SEA'ya göre $\pm X$ ve $\pm Z$ yönlerindeki gerilme değerlerini ifade etmektedir. Oluşturulan YSA modeli Şekil 3. 16.'te verilmiştir.



Şekil 3. 16. YSA Modeli

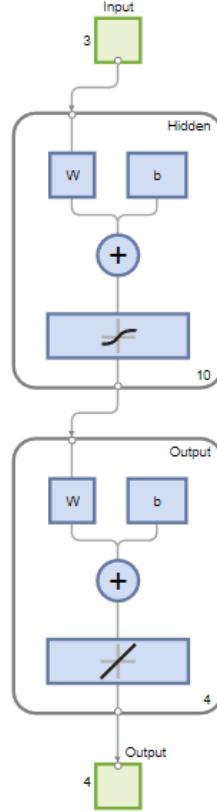
Matlab programında YSA ağlarını eğitmek için üç adet farklı eğitim algoritması vardır. Bunlar Leverberg-Marquardt(LM), Bayesian Regularization (BR Bayesian düzenleme) ve Scaled Conjugate Gradient (SCG, Ölçeklendirilmiş konjuge gradyen) olarak tanımlanmıştır.

Leverberg-Marquardt: Weight-Bias değerlerini ilgili algoritmaya göre düzenler. Daha fazla hafıza alanına ihtiyaç duysa bile genellikle en hızlı eğitim algoritmasıdır.

Bayesian Regularization: Weight-Bias değerlerini ilgili algoritmaya göre düzenler. Bu iyi genelleyen bir YSA oluşturma için algoritma kare hata ve weight kombinasyonunu minimize eder ve doğru kombinasyona karar verir. Bu eğitim algoritmasının hesaplaması uzun zaman olsa bile küçük data yığınlarında iyi sonuç verir.

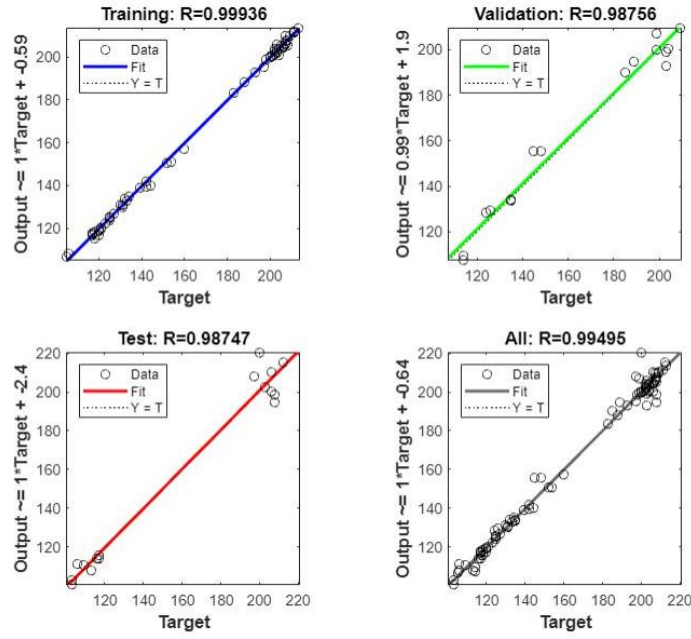
Scaled Conjugate Gradient: Weight-Bias değerlerini ölçeklendirilmiş konjuge gradyen metoduna göre günceller. Geniş problemler için kullanımı önerilir. Gradyen hesaplama kullandığı için Jacobian hesaplamasını kullanan LM ve BR'ye göre daha verimli hafıza kullanımını vardır. (MATLAB® Online™ user guide.)

Bu tezde üç farklı eğitim algoritması da kullanılmıştır. Analiz tahminleri yapılırken tüm algoritmaların SEA ile arasındaki fark-hata gözlemlenmiştir. Bu sayede yapılan çalışma için en uygun eğitim algoritması seçilmiştir. Matlab'ın arayüzünde oluşturulan YSA Şekil 3. 17.'te verilmiştir. Input kutucuğu girdi katmanını 3 sayısını 3 adet nöron olduğunu Hidden kutucuğu gizli katmanı 10 sayısını 10 adet nöron olduğunu, Output kutucuğu çıktı katmanını 4 sayısını 4 adet nöron olduğunu ifade etmektedir.



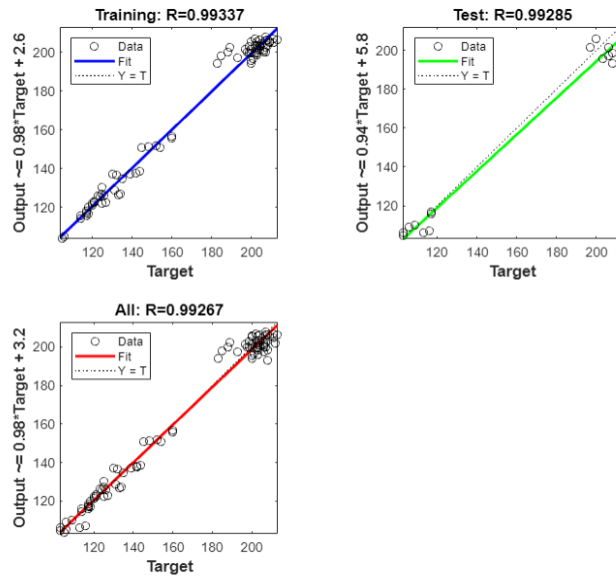
Şekil 3. 17. Matlab YSA modeli

LM eğitim algoritması seçilerek programa girilen veriler eğitilmiştir. Bu algoritmanın özelliği verilerin %70'ni, rastgele seçilmiş 18 adet veriyi eğitim için, %15'ini, rastgele seçilmiş 4 adet veriyi doğrulama için son olarak %15'ini, rastgele seçilmiş 4 adet veriyi test için kullanarak toplamda 25 adet veriyle YSA ağını oluşturmuştur. Eğitim sonucunda oluşan regresyon değerleri Şekil 3. 18'da verilmiştir. Regresyon değeri 0 ile 1 arasında değişen bir sayısal ifadedir. Regresyon değeri 1'e ne kadar yakınsa öğrenme o kadar iyi olmuştur demektir.



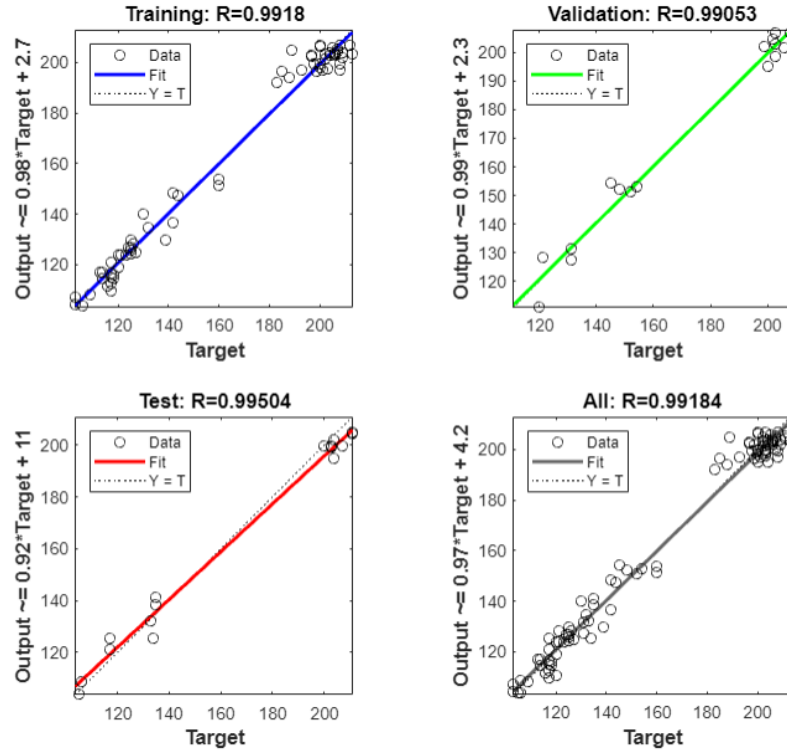
Şekil 3. 18. LM algoritması regresyon değerleri

BR eğitim algoritması seçilerek programa girilen veriler eğitilmiştir. Bu algoritmanın özelliği verilerin %85'ni, rastgele seçilmiş 21 adet veriyi eğitim için, %15'ini, rastgele seçilmiş 4 adet veriyi test için kullanarak toplamda 25 adet veriyle YSA ağını oluşturmuştur. Eğitim sonucunda oluşan regresyon değerleri Şekil 3. 19. 'de verilmiştir.



Şekil 3. 19. BR algoritması regresyon değerleri

SCG eğitim algoritması seçilerek programa girilen veriler eğitilmiştir. Bu algoritmanın özelliği verilerin %85'ni, rastgele seçilmiş 21 adet veriyi eğitim için, %15'ini, rastgele seçilmiş 4 adet veriyi test için kullanarak toplamda 25 adet veriyle YSA ağını oluşturmuştur. Eğitim sonucunda oluşan regresyon değerleri Şekil 3. 20.'de verilmiştir. Regresyon değerleri incelenirken dikkat edilmesi gereken husus regresyon değerlerinin 1'e yakın olmasıdır. R değeri 1'e ne kadar yakın ise YSA'nın analizleri doğru tahmin etme gücü artacaktır.



Şekil 3. 20. SCG algoritması regresyon değerleri

Regresyon değerleri incelenirken dikkat edilmesi gereken husus regresyon değerlerinin 1'e yakın olmasıdır. R değeri 1'e ne kadar yakın ise YSA'nın analizleri doğru tahmin etme gücü artacaktır.

YSA ile analiz tahmini yapılması, çıkan sonuçların doğrulanması ve eğitim algoritmalarının kendi arasında kıyaslanması için daha önce oluşturulan tasarım uzayında

bulunmayan 5 adet birbirinden farklı a, b, c tasarım değişkenleri kombinasyonu Latin hiper küp yöntemi ile Çizelge 3. 6.'da verildiği gibi oluşturulmuştur.

Çizelge 3. 6. Tasarım değişkenleri

Model Adı	Tasarım Değişkenleri		
	a	b	c
Deneme 1	12.01	49.77	6.36
Deneme 2	13.86	56.40	11.65
Deneme 3	12.40	55.52	6.06
Deneme 4	12.0	52.0	11.0
Deneme 5	11.0	55.0	8.0

Çizelge 3. 6.'daki tasarım değişkenleri kullanılarak önce 3D modelleme sonrasında SEA yapılarak gerilme değerleri Çizelge 3. 7. 'de verilmiştir.

Çizelge 3. 7. SEA sonuçları

Model Adı	-Z (MPa)	+Z (MPa)	+X (MPa)	-X (MPa)
Deneme 1	199	201	108	110
Deneme 2	199	206	128	130
Deneme 3	195	198	107	106
Deneme 4	207	207	130	131
Deneme 5	200	195	127	128

YSA yöntemi kullanılarak Çizelge 3. 6.'da verilen tasarım değişkenleri kullanılarak üç farklı eğitim algoritması (LM, BR, SCG) için gerilme değerleri elde edilmiştir. YSA ile SEA arasındaki farklar sırasıyla Çizelge 3. 8, Çizelge 3. 9, Çizelge 3. 10'da verilmiştir. Eğitim algoritmaları karşılaştırıldığında tezde ki çalışma için SEA ile daha az farka sahip olan BR eğitim algoritmasının daha uygun olduğuna karar verilmiştir.

$$\% Fark = \left| \frac{YSA-SEA}{SEA} \right| \times 100 \quad (3.5)$$

Çizelge 3. 8. LM SEA-YSA karşılaştırması

SEA - YSA Karşılaştırması (Levenberg-Marquardt)												
Model Adı	-Z (MPa)			+Z (MPa)			+X (MPa)			-X (MPa)		
	SEA	YSA	Fark	SEA	YSA	Fark	SEA	YSA	Fark	SEA	YSA	Fark
Deneme 1	199	206	4%	201	208	3%	108	106	2%	110	109	1%
Deneme 2	199	207	4%	206	212	3%	128	109	15%	130	113	13%
Deneme 3	195	198	2%	198	199	1%	107	118	10%	106	118	11%
Deneme 4	207	203	2%	207	205	1%	130	125	4%	131	126	4%
Deneme 5	200	206	3%	195	207	6%	127	132	4%	128	134	5%

Çizelge 3. 9. BR SEA-YSA karşılaştırması

SEA - YSA Karşılaştırması (Bayesian Regularization)												
Model Adı	-Z (MPa)			+Z (MPa)			+X (MPa)			-X (MPa)		
	SEA	YSA	Fark	SEA	YSA	Fark	SEA	YSA	Fark	SEA	YSA	Fark
Deneme 1	199	194	3%	201	198	1%	108	108	0%	110	109	1%
Deneme 2	199	203	2%	206	207	0%	128	126	2%	130	127	2%
Deneme 3	195	195	0%	198	200	1%	107	108	1%	106	109	3%
Deneme 4	207	200	3%	207	205	1%	130	132	2%	131	132	1%
Deneme 5	200	197	2%	195	201	3%	127	124	2%	128	125	2%

Çizelge 3. 10. SCG SEA-YSA karşılaştırması

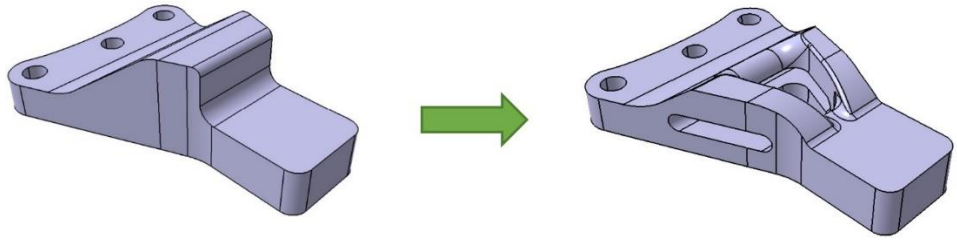
SEA - YSA Karşılaştırması (Scaled Conjugate Gradient)												
Model Adı	-Z (MPa)			+Z (MPa)			+X (MPa)			-X (MPa)		
	SEA	YSA	Fark	SEA	YSA	Fark	SEA	YSA	Fark	SEA	YSA	Fark
Deneme 1	199	199	0%	201	197	2%	108	104	4%	110	109	1%
Deneme 2	199	206	4%	206	205	0%	128	123	4%	130	120	8%
Deneme 3	195	197	1%	198	202	2%	107	105	2%	106	113	7%
Deneme 4	207	201	3%	207	204	1%	130	134	3%	131	131	0%
Deneme 5	200	198	1%	195	203	4%	127	123	3%	128	131	2%

4. BULGULAR

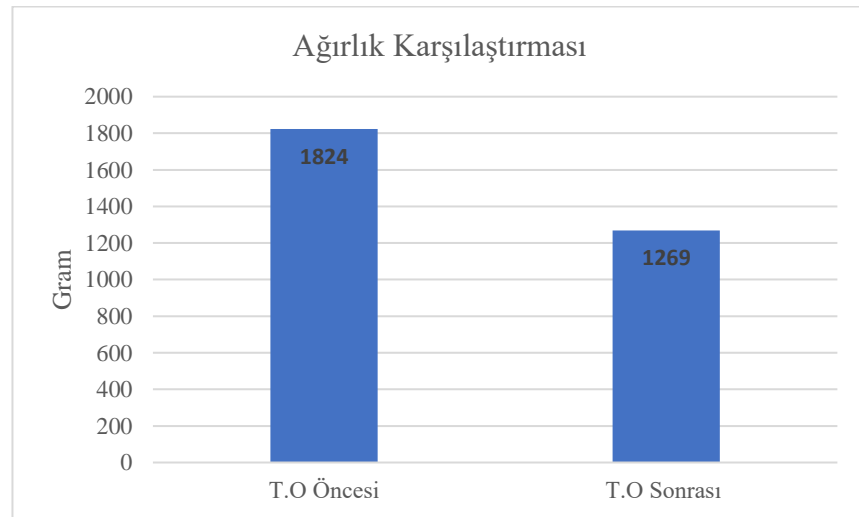
Bu bölüm tez çalışmasında elde edilen sonuçların değerlendirilmesini içermektedir.

4.1. Topoloji Optimizasyonu Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Topoloji optimizasyonu yöntemi kullanılarak braket üzerinde daha az gerilme oluşan veya gerilme oluşmayan bölgeler boşaltılarak braket dayanımından ödün verilmeden yaklaşık olarak Şekil 4. 2.'deki grafikte verildiği üzere %30 daha hafif braket tasarımı elde edilmiştir. Bu durum araç seri üretim koşulları göz önüne alındığı zaman parça maliyetinin düşürülmesine faydası olacaktır. Şekil 4. 1.'de tasarımın ilk ve son hali verilmiştir.



Şekil 4. 1. Topoloji optimizasyonu öncesi ve sonrası CAD model

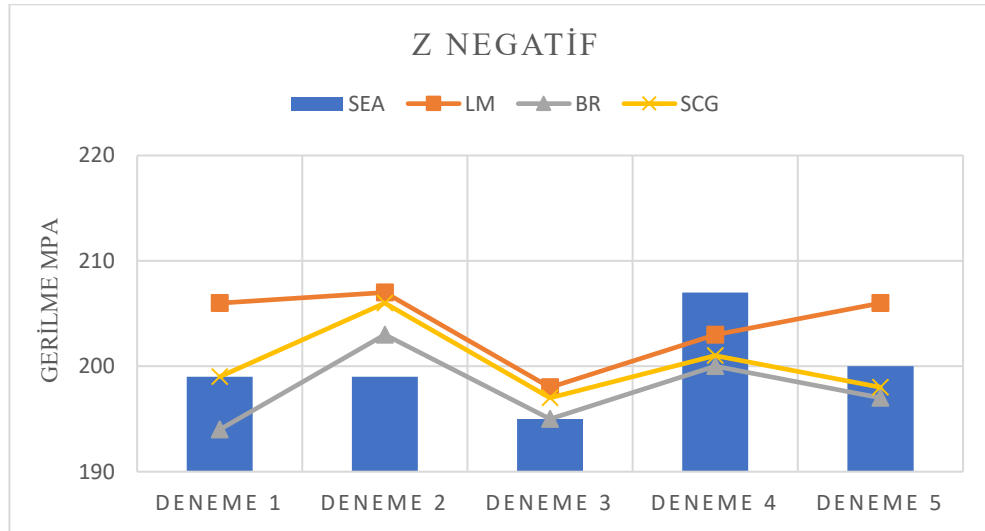


Şekil 4. 2. Topoloji optimizasyonu öncesi ve sonrası ağırlık karşılaştırması

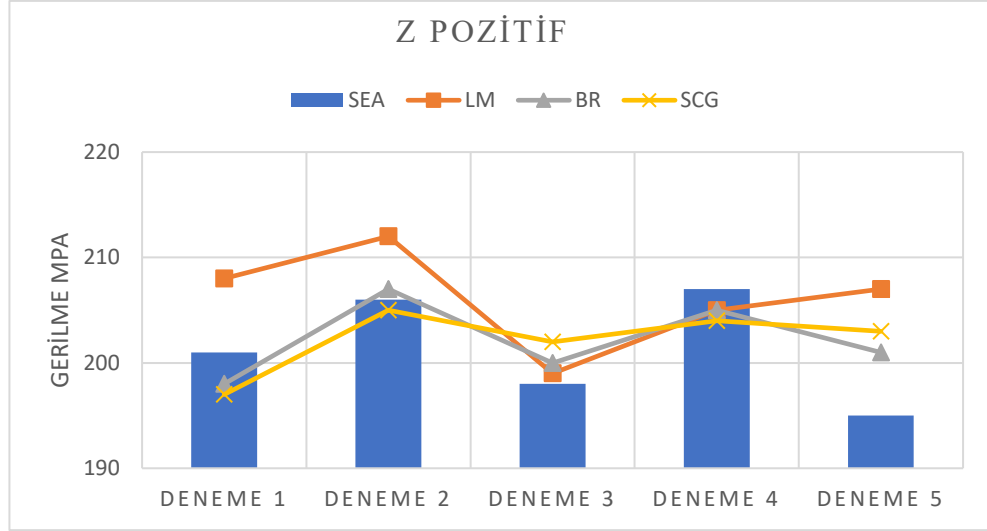
4.2. YSA ile Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi

Analiz sonuçları SEA yöntemi yerine YSA yöntemi kullanılarak tahmin edilmiştir. Bunun sebebi zaman ve işçilik maliyetlerinin azalmasını sağlamaktır.

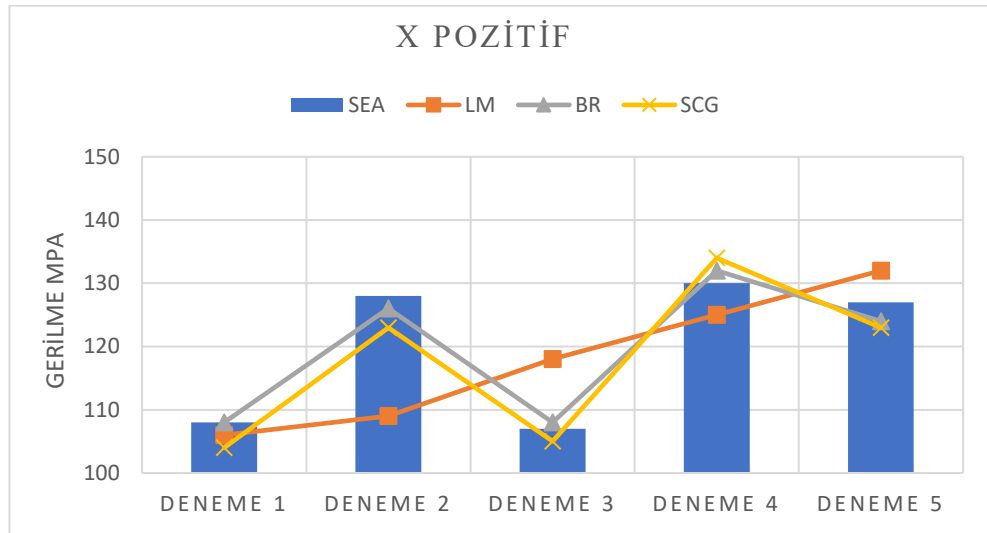
YSA'nın eğitilmesi için farklı eğitim algoritmaları mevcuttur. Her eğitim algoritmasının birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları vardır. Bu tezin de kullanımı en uygun eğitim algoritmasını bulmak için LM, BR ve SCG algoritmaları ile YSA'lar oluşturulmuştur. $\pm Z$ ve $\pm X$ yönlerindeki gerilme tahminlerinin farklı eğitim algoritmaları ve SEA ile farklı Şekil 4. 3, Şekil 4. 4, Şekil 4. 5, Şekil 4. 6'teki grafiklerde verilmiştir. Bu çalışma için en uygun eğitim algoritmasının BR olduğu YSA ile SEA yönteminden elde edilen gerilme değerleri arasındaki farklar incelenerek saptanmıştır.



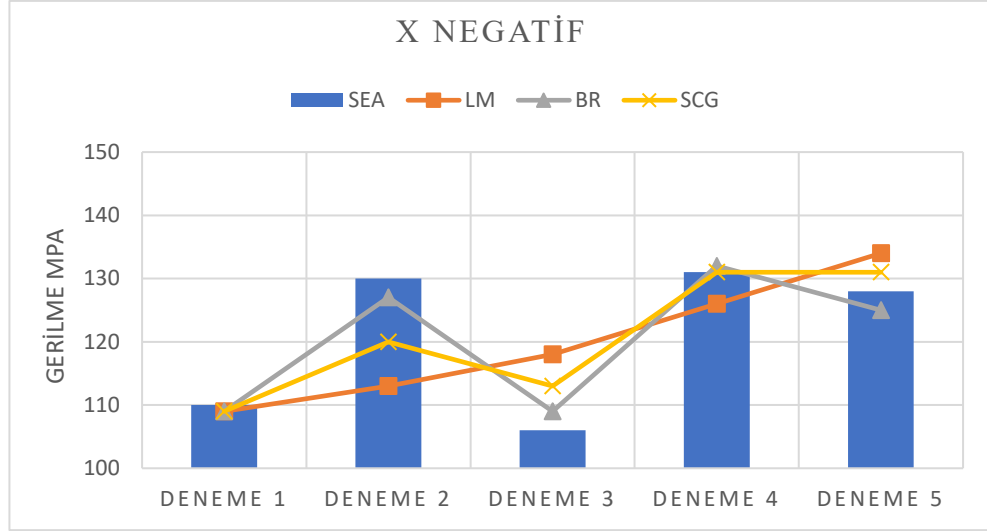
Şekil 4. 3. -Z yönü için sonuçların karşılaştırılması



Şekil 4. 4. +Z yönü için sonuçların karşılaştırılması



Şekil 4. 5. +X yönü için sonuçların karşılaştırılması



Şekil 4. 6. -X yönü için sonuçların karşılaştırılması

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Son yıllarda otomotiv endüstrisinde bilgisayar kullanımının yaygınlaşması ile birlikte müşteri isteklerine çok hızlı cevap verilmesi beklenmektedir. Hızlı ve uygun bir tasarım elde etmek firmaların büyümesine katkı sağlarken müşteri memnuniyeti açısından da oldukça önemlidir. Özellikle ürün tasarımı süreçlerinde beklenti limitli sürede olabildiğince az iterasyon yapılarak optimum tasarıma en hızlı sürede ulaşmaktır.

Günümüzde bilgisayarlar yardımı ile bu taleplere cevap verilmesi mümkündür. Yapısal optimizasyon yöntemleri kullanılarak insana ve tecrübeye bağlı tasarım süreci insandan bağımsız hale getirilebilir. Bu çalışmada topoloji ve şekil optimizasyonu yöntemleri kullanılarak optimum tasarım elde edilmiştir. Sonlu elemanlarla analiz yöntemi ile fiziksel ürün üretilmeden, sanal olarak tasarımın doğrulaması yapılabilmektedir. Bu sayede harcanan süreler ve maliyetler azalmaktadır. Her ne kadar tasarruf sağlansa bile yeterli değildir

Öğrenme, algılama çözüm üretme, karar verme gibi insana özgü yetenekler bilgisayar biliminin alt dalı olan yapay zeka çalışmaları ile bilgisayarlar tarafından taklit edilerek tasarım çalışmalarında kullanılmaktadır. Yapay zekanın alt birimi olan yapay sinir ağları insana özgü öğrenme yeteneğini taklit ederek bağımsız bir değişkene karşılık gelen çıktının tahminini belirli bir hata payı ile tahmin edebilmektedir. Farklı eğitim algoritmaları denenerek veri grubu için en uygun öğrenme algoritması seçilebilir. Bu tezde yapay sinir ağları Bayesian Regularization eğitim algoritması kullanılarak sonlu elemanlarla analiz için harcanan süre ve maliyeti azaltarak % 1-3 arasında sapma ile analiz sonuçları tahmin edilmiştir.

Gelecek çalışmalarda yapay sinir ağları, sonlu elemanlarla analiz yöntemi ve fiziksel ürün ile yapılan test sonuçları arasında bir öğrenme modeli oluşturulup yapay sinir ağları ile fiziksel test sonuçları arasında bağlantı kurularak tasarımın doğrulaması yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Altair Hyperworks (2019) <https://www.altair.com/radioss/>, Erişim Tarihi: 25.09.2022.
- Alkhatib, F. (2013). “Techniques for engine mount modelling and optimizasyon”, Doktora Tezi, *The University of Wisconsin Makine Mühendisliği*, Milwaukee, 2-12.
- Anonim (2017). <http://www.mplsvpn.info/2017/11/what-is-neuron-and-artificial-neuron-in.html>. Erişim Tarihi: 11.10.2022.
- Anonim. (2021). <https://www.askcarmechnic.com/can-you-drive-with-bad-motor-mounts/>.
- Anonim. (2022) .<https://www.showotoyedekparca.com.tr/motor-takozu-egea-1-4-15-52017606-fiat-binek-motor-takozu-meha12166>.
- Anonim (2022-1). <https://www.motor-doctor.co.uk/products/11081071-engine-mount>.
- Anonim (2022-2). <https://www.desertcart.com.cy/products/18673212-eagle-bhp-3838-h-front-right-engine-motor-mount-mazda-3-mazda-5-2-3-1>.
- Anonim (2022-3). <https://www.indiamart.com/proddetail/shape-optimization-7071846633.html>.
- Aoki K., Shikata T., Hyoudou Y., Hirade T., & Aihara T. (1999). Application of an Active Control Mount (ACM) for improved diesel engine vehicle quietness, SAE Paper 1999-01-0832 .
- Arzanpour & Golnaraghi (2008). A Novel Semi-active Magnetorheological Bushing Design for Variable Displacement Engines.
- Bathe, J.K. (2016). Finite Element Procedures, Second Edition, Fourth Printing, Watertown, MA.
- BOGE (2022). <https://www.youtube.com/watch?v=2q1rJZrOoWg&t=95s> Erişim Tarihi: 10.07.2022.
- Bois, P.D., Chou, C.C., Fileta, B.B., Khalil, T.B., King, A.I., Mahmood, H.F., Mertz, H.J., & Wismans, J. (2004). Vehicle Crashworthiness and Occupant Protection, American Iron and Steel Institute 2000 Town Center Southfield, Michigan 48075.
- Botkin M. E. (1982). Shape optimization of plate and shell structures. AIAA 20, 268-273.
- Ciaburro G. (2017). Matlab for Machine Learning s.13.
- Cian C.-S., & Kai A. J. (2019) A stress-based topology optimization method for heterogeneous structures.

Choi S.B., Song H. J., H.H. Lee, Lim S.C., & Kim J.K. (2003). Vibration control of a passenger vehicle featuring magnetorheological engine mounts, *Int. J. Veh. Design* 33(1–3) pp. 2–16.

Çalışkan E. <https://www.web.archive.org/> Erişim Tarihi: 11.10.2022.

Dassault Systèmes CATIA V5R20 https://www.3ds.com/products-services/catia/products/v5/portfolio/domain/Mechanical_Design/ Erişim Tarihi: 20.09.2022.

Diwakar K., & Kumar B. E. (2015). Design and Weight Optimization of Engine Mounting Bracket.

Erdemir F. (2019). Esneyerek Kilitlenen Bağlantı Elemanlarının Tasarımı ve Yapay Sinir Ağları (YSA) İle Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi .

Er Akan A., Bingöl K., Örmecioğlu H.T., & Er A. (2020). Depreme dayanıklı mimari tasarımda yapay zeka uygulamaları: Derin öğrenme ve görüntü işleme yöntemi ile düzensiz taşıyıcı sistem tespiti.

Hecht-Nielsen, R. (1990). *Neurocomputing*, Addison-Wesley, Boston, 433p.

IBM (2022). <https://www.ibm.com/tr-tr/cloud/learn/machine-learning> Erişim Tarihi: 10.10.2022.

Işık, E.(2009), Topoloji Optimizasyonu Çatallı Flanş Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi.

Kim and Singh (1995). A study of passive and adaptive hydraulic engine mount systems with emphasis on non-linear characteristics.

Kirthanaa S., & Nizamuddinb M. K. (2018). Finite Element Analysis and Topology Optimization of Engine Mounting Bracket.

Klarbring A. & Christensen P. W. (2009). *An Introduction to Structural Optimization. Solid Mechanics and its Applications*. Springer Science + Business Media B.V.

Larsson R. (2016). *Methodology for Topology and Shape Optimization: Application to a Rear Lower Control Arm*, Master's thesis in Applied Mechanics, Sweden.

Lee, S., Lee, D., Lee, J., Han, C., & Hedrick, K. (2007). Integrated process for structural topological configuration design of weight-reduced vehicle components. *Finite Elements in Analysis and Design* 43, 620-629.

Lorenz M., Heimann B., & Härtel V. (2006). A novel engine mount with semi-active dry friction damping, *J. Shock Vib.* 13(4–5), pp. 559–571.

Madenci E., & Guven İ. (2006). The Finite Element Method and Applications In Engineering Using ANSYS, 1-5.

Mathworks (2016). Matlab Neural Network Toolbox Documentation s.3.

MATLAB® Online™ (2022) <https://www.mathworks.com/products/matlab-online.html> Erişim Tarihi: 01.10.2022 .

Matsuoka H., Mikasa T., & Nemoto H. (2004). NV countermeasure technology for a cylinder-on-demand engine – development of active control engine mount, SAE Paper 2004-01-0413.

Nabiyev V. (2005). Yapay Zeka Problemler – Yöntemler – Algoritma, Seçkin Yay.

Nalbant M.H. (2021). Dövme Yöntemi ile Üretilmiş Rotilli Salıncak Kolunun Topoloji Optimizasyonu ile Tasarımının İyileştirilmesi Yüksek Lisans Tezi.

Olason A., & Tidman D. (2010). Methodology for Topology and Shape Optimization in the Design Process, Master Thesis, ISSN 1652-8557.

Pell, D., Stanway, R., & Bullough, W.A. (1996). “Dynamic modelling of an ER vibration damper for vehicle suspension applications”, *Journal of Smart Materials and Structures*, 5: 597-606.

Rao S. (2009). Engineering Optimization: Theory and Practice, Fourth Edition Singiresu pp 1-2.

Rathod (2020). <https://www.pub.towardsai.net/branches-in-artificial-intelligence-to-transform-your-business-f08103a91ab2> Erişim tarihi: 20.11.2022.

Serban F.M., Grozav S., Ceclan V., & Turcu A. (2020). Artificial Neural Networks Model for Springback Prediction in the Bending Operations.

Schalkoff, R.J. (1997). Artificial Neural Networks. McGraw-Hill, New York

Shangguan W.B. (2009). Engine mounts and powertrain mounting systems: a review, Int. J. Veh. Design 49(4), pp 237-258

Şen E. (2021). Direksiyonlama Aksonun Topoloji Optimizasyonu ile Tasarlanması ve Doğrulanması, Yüksek Lisans Tezi.

Tushar M. Patel N., & Bhatt M. (2015). Development of FEA-ANN Hybrid Model for Equivalent Stress Prediction of Automobile Structural Member.

Ünal T. (2019). Bir ve iki katmanlı yapay sinir ağlarının matematiği. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.

Vazquez F. (2018). <https://www.towardsdatascience.com/a-conversation-about-deep-learning-9a915983107> Erişim Tarihi: 11.10.2022.

Velmurugan V., Suryakumari T. S. A., Pandiyan A. & Jayakumar V. (2016). Modeling and analysis of semi-active hydraulic engine mount using finite element analysis.

Vibracoustic (2022). <https://www.vibracoustic.com/en/product/active-hydro-motor-mounts/> Erişim Tarihi: 10.07.2022.

Welch-Phillips A., Gibbons D., Ahern D. P., & Butler J. S. (2020). What Is Finite Element Analysis?

Yongqiang L. (2010). Beam Structure Optimization for Additive Manufacturing based on Principal Stress Lines.

Yu Y., Peelamedu S.M., Naganathan N.G., & Dukkipati R.V. (2001). Automotive vehicle engine mounting systems: a survey, *Trans. ASME J. Dyn. Syst. Meas. Control* 123(2), pp. 186–194.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mustafa Kerem Özder
Doğum Yeri ve Tarihi : Balıkesir / 08.09.1996
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Fatma-Emin Kutvar Anadolu Lisesi
Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi/Otomotiv Mühendisliği
Yüksek Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi/Otomotiv Mühendisliği

Çalıştığı Kurum(lar)

: Bayrak Lastik/Ürün Geliştirme Mühendisi/2.5 Yıl
Marelli-Automotive Lighting / Mekanik
Tasarım Mühendisi / Devam ediyor

İletişim (e-posta)

: mkerem996@gmail.com

Akademik çalışmalar*

: Özder, M.K., Albak, E.İ., Öztürk, F. (2022). Yapısal Tasarımda Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı ile Analiz Tahminleri. *2nd International Cumhuriyet Artificial Intelligence Applications Conference (CAIAC) 8-9 December 2022*