



Sonlu Elemanlar Yöntemi ve Taguchi Metodu Kullanılarak Bir Kara Aracının Parametrik Olarak Optimum Tasarımının Geliştirilmesi

Developing Parametrically Optimum Design of a Land Vehicle Using the Taguchi Method and Finite Element Method

Osman Bahadır Özden^{1*}, Barış Gökçe²

¹ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, bozden@mpg.com.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1231-2936>

² Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, bgokce@erbakan.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6141-7625>

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 12 Kasım 2022
Revizyon 30 Nisan 2023
Kabul 17 Mayıs 2023
Online 20 Haziran 2023

Anahtar Kelimeler:

Parametrik Tasarım,
Sonlu Elemanlar Analizi,
Visual Basic,
von-Misses Gerilmesi.

ÖZ

Kara araçları fonksiyonel ihtiyaçların karşılanabilmesi ve üretim sonrası kullanım durumunda yapısal olarak emniyetli çalışması için tasarlanan araçlardır. Arazi şartları için uygulanan tasarım aracın hareket sınırlarını değiştirebilmektedir. Yapının güvenli çalışması için yapısal emniyeti sağlamak amacıyla sonlu elemanlar analizi (SEA) sonuçlarına göre tasarımlar gerçekleştirilip iyileştirilebilmektedir. Sınır değerleri ve yapısal güvenliği sağlamayan araçlar veya makineler can kaybına sebep olabilmektedir. Seri üretim için makine tasarımlarında kullanıcı isteğine göre farklı ve hızlı tasarımlar elde edilmesi üretici firmalar tarafından istenilebilmektedir. Bilgisayar destekli tasarım programlarının, programlama dilleri ile haberleştirilip arayüzler hazırlanarak hızlı ve farklı tasarımlar elde edilebilmekte ayrıca tasarım için uygulanan mühendislik maliyetini azaltabilmektedir. Belirlenen parametrelere göre hazırlanan bu arayüzler ile parametrik olarak fonksiyonel amaçları karşılayan tasarımlar gerçekleştirilebilmektedir. Bu çalışmada insan veya yük taşımak için tasarlanan bir kara aracının, arazi açıları, birden çok kişilik kullanımı ve farklı fonksiyonel ihtiyaçları için şasinin uzunluğu, yüksekliği ve genişliği ana değişkenler olmak üzere 17 adet değişken parametrik tasarım arayüzünde tanımlanmıştır. Aracın önden çarpma, yanıl çarpma ve şasinin burulması konfigürasyonları için SEA gerçekleştirilmiştir. Bu konfigürasyonlara göre 9 adet farklı tasarım için Taguchi metodu ile optimum tasarım parametreleri belirlenmiştir. Optimum tasarıma göre önden çarpma konfigürasyonu için 44.7 MPa, yanıl çarpma durumu için 25.62 MPa ve burulma konfigürasyonu için 33.66 MPa Von-Misses eşdeğer gerilme değerleri elde edilmiştir. Hareket sınırları için tirmanabilme açısı 25°, yanıl devrilme açısı 34° ve ivme sınırı 14 m/s² olarak belirlenmiştir. Aracın genel yapı itibarıyla emniyetli olduğu belirlenmiş ve optimum tasarıma göre aracın üretimi gerçekleştirilmiştir.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 12 November 2022
Received in revised form 30 April 2023
Accepted 17 May 2023
Available online 20 June 2023

Keywords:

Parametric Design,
Finite Element Analysis,
Visual Basic,
von-Misses Stress.

Doi: 10.24012/dumf.1203178

* Sorumlu Yazar

ABSTRACT

Land vehicles are vehicles designed to meet functional needs and to operate structurally safely in post-production use. The design applied for the terrain conditions can change the movement limits of the vehicle. In order to provide structural safety for the safe operation of the structure, designs can be realized and improved according to the results of finite element analysis (FEM). Vehicles or machines that do not provide limit values and structural safety can cause loss of life. In machine designs for mass production, it may be desired by the manufacturer companies to obtain different and fast designs according to the user's request. By communicating computer-aided design programs with programming languages and preparing interfaces, fast and different designs can be obtained, and it can also reduce the engineering cost applied for the design. With these interfaces, which are prepared according to the determined parameters, designs that meet functional purposes parametrically can be realized. In this study, 17 variables, including the length, height and width of the chassis, are defined in the parametric design interface for the terrain angles, multi-person use and different functional needs of a land vehicle designed for disabled people. FEM analyzes were performed for the vehicle's frontal impact, lateral impact and chassis torsion configurations. According to these configurations, optimum design parameters were determined for 9 different designs with the Taguchi method. According to the optimum design, von-Misses equivalent stress values of 44.7 MPa for the frontal impact configuration, 25.62 MPa for the lateral impact and 33.66 MPa for the torsion configuration were obtained. For the movement limits, the climbing angle was determined as 25°, the lateral tipping angle was 34° and the acceleration limit was determined as 14 m/s². It was determined that the vehicle was safe in terms of its general structure and the vehicle was produced according to the optimum design.

Giriş

Kara araçları gibi fonksiyonel amaçları karşılayabilmek için üretilen makinelerde ihtiyaçlara göre tasarım değişikliği ve çeşitliliği artış gösterebilmektedir. Tasarım değişikliklerinin fazla olması zaman kaybına ve mühendislik maliyetinin artmasına sebep olmaktadır. Günümüzde bazı ürünlerin parametrik tasarım uygulamaları sayesinde tasarımlar hızlı elde edilebilmekte ve maliyet azaltılabilmektedir [1]. Ayrıca tasarımların parametrik şekilde uygulanması tasarımların stabil bir şekilde çıkmasından dolayı verimliliğinde artış göstermektedir [2]. Bu sebeple müşteri talepleri veya başka ihtiyaçlardan dolayı tasarım değişikliklerinin fazla olması parametrik tasarım uygulamalarının geliştirilmesinde önem kazanmaktadır.

Bilgisayar destekli tasarım (CAD) programlarında bir ürün tasarlanırken uygulanan komutlar arka planında kodlar vasıtasıyla çalışmaktadır. Solidworks, Catia gibi CAD programlarında parametrik tasarım uygulamaları geliştirilebilmektedir [3, 4]. Vb.NET, VBA, C++ programlama dilleri ile program uygulama arayüzü (API) kodları kullanılarak parametrik tasarım uygulamaları geliştirilebilmektedir. Geliştirilen uygulama ile montajı oluşturan tüm parçalar arasında bilgi tabanlı ilişkiler kurulabilmekte ayrıca tasarlanan ürünün üretim maliyeti, teknik resimleri, ağırlıkları gibi ihtiyaç olan özellikler tasarım çıktısı olarak değerlendirilebilmektedir [5, 6]. Biyomekanik, hava araçları, otomotiv sektörü, robotik, mobilya sektörleri gibi CAD tasarımının kullanıldığı her alanda bu tür uygulamalar geliştirilebilmektedir [7-11]. Ayrıca satış pazarlama elemanı gibi tasarım ve CAD programı bilgisi olmayan fakat hızlı tasarım sonuçları isteyen kişilerinde kullanabileceği arayüz hazırlanarak avantajlı hale getirilebilmektedir. Literatürde farklı alanlardaki parametrik tasarım uygulamalarının ihtiyaçların ve uygulamaların artmasıyla beraber bu alanda yapılan çalışmalar önem kazanmaktadır.

Ansys gibi sonlu elemanlar analizi (SEA) gerçekleştiren bilgisayar destekli mühendislik programları tasarlanan ürünün yapısal açıdan emniyetli olup olmadığını değerlendirme aracı olarak kullanılmaktadır [12-18]. Parametrik tasarım uygulamaları ile SEA tasarım girdileri için pratik süreçler sağlanabilmektedir. Tasarlanan ürünün her parçasına gelen gerilmeyi tespit ederek yapısal bütünlüğünü incelemek amacıyla yapılan analizlerin tasarım süreci için parametrik tasarım uygulamaları süreç açısından olumlu katkılar sağlamaktadır [19, 20].

Deneyel tasarım yöntemleri girdilere göre istenilen optimum çıktı sonucunun minimum maliyet ile gerçekleşmesini sağlayan yöntemlerdendir. Taguchi metodu ise deney sayılarının az olmasıyla verimli olarak kullanılan deney tasarım yöntemlerinden birisidir [21-23]. Girdi parametrelerine göre farklı ortogonal diziler ile Taguchi metodu ile analizler gerçekleştirilip optimum çıktılar elde edilebilmektedir [24, 25]. Taguchi ortogonal dizisi L9 ortogonal dizi (OA) en verimli yöntemlerden birisidir ve az sayıda deneylerle etkili olarak kullanılabilir [26]. L9 ortogonal dizisinde 9 adet satır bulunmaktadır ve bu satırların her biri deneyi temsil etmektedir. Taguchi metodunda sinyal

gürültüsü (S/N) olarak adlandırılan istatistiksel bir değerlendirme yaklaşımı kullanılır. S/N oranı ortalamanın (sinyal), standart sapmaya (gürültü) oranı olarak tanımlanmaktadır [27]. Yapılan deneylerin S/N oranına göre değerlendirmeleri yapılarak optimum sonuçlar elde edilmesi sağlanmaktadır [28].

Kara araçlarında yapısal emniyeti sağlamakla beraber arazi şartlarına göre farklı düzlemlere göre devrilme sınır açıları araç emniyeti için önemlidir [29]. Tasarım gerçekleştirilirken aracın uzunluk, genişlik ve yükseklikleri ön ve yan düzlemlere göre devrilme sınır açısı, aracın hareket edebilmesi için ivme sınırı gibi parametreler göz önün alınarak değerlendirmeler yapılması gerekmektedir.

Parametrik tasarım uygulamalarının birçok tasarım senaryosu oluşturması ile beraber SEA gerçekleştirilip sonuçlarına göre değerlendirmeler yapılabilmektedir [30]. Her tasarım senaryosunda yapılarda farklı eşdeğer gerilmeler oluşmaktadır. Bu eşdeğer gerilmelere göre optimum tasarım elde etmek amacıyla Taguchi metodu kullanılabilir. Taguchi metodunun kullanılması belirli parametrelere göre hazırlanan tasarımlar için SEA sonuçlarına göre en uygun parametre optimizasyonu gerçekleştirilmektedir.

Bu çalışmada insan veya yük taşımak için tasarlanan bir kara aracının birçok tasarım değişikliği ihtiyacından dolayı Solidworks ve Vb.NET programlama dilinin haberleştirilmesiyle parametrik tasarım uygulaması ve arayüzü geliştirilmiştir. Aracın her parçasının birbiriyle ilişkisini de içeren bu algoritma ile aracın tüm montaj ve parçalarının tasarımını yazılım arayüzündeki parametrelere göre otomatik oluşturmaktadır. Geliştirilen bu uygulamada aracın uzunluk, genişlik ve yüksekliği SEA ve arazi şartlarına göre sınır açıları değerlendirmeleri için ana parametre olarak tanımlanıp, tasarım değişikliği ihtiyacına binaen diğer parametrelerle beraber 17 adet parametre tanımlanmıştır. Taguchi L9 ortogonal dizisi için 3 ana parametreye göre 9 adet tasarım senaryosu parametrik tasarım uygulaması ile oluşturulmuştur. 9 adet tasarıma göre önden çarpma, yandan çarpma ve burulma analiz konfigürasyonlarına SEA gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre Taguchi deneyleri gerçekleştirilip 3 adet ana parametreye göre optimum tasarım elde edilmiştir. Optimum tasarıma göre arazi şartlarına göre devrilme sınır açıları ve ivme sınır değeri için geliştirilen yazılım arayüzü ile değerlendirmeler yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda önerilen bu değerlendirme yaklaşımı ile optimum tasarıma göre aracın üretimi gerçekleştirilmiştir [31].

Materyal ve Metot

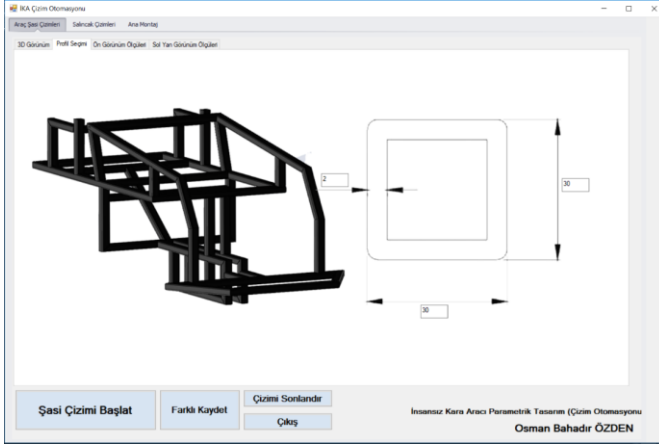
Aracın SEA analizleri Ansys yazılımında gerçekleştirilmiş olup araç üzerinde belirlenen parametrelere göre 9 adet tasarım ile analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre optimum tasarım L9 ortogonal dizi ile Taguchi metodu ile belirlenmiştir.

Parametrik Tasarım Uygulaması

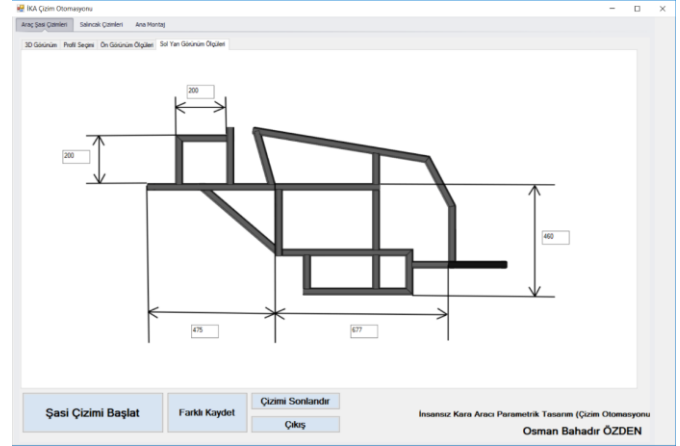
İnsan veya yük taşıma aracı olarak tasarlanan araçta parametrik tasarım uygulaması için Vb.NET programlama dili ile Solidworks CAD programı haberleştirilerek algoritmalar geliştirilmiştir. Şekil 1'de gösterildiği gibi

arayüzde aracın uzunluğu, genişliği ve yüksekliği ana değişken parametre olmak üzere toplamda 17 adet değişken tanımlanmıştır. Ana parametreler dışında tanımlanan parametreler müşterilerin talebi veya farklı ihtiyaçlara göre tasarım değişiklikleri için tanımlanmıştır. Algoritmaların komutları Solidworks programı içinde kullanılmakta olup

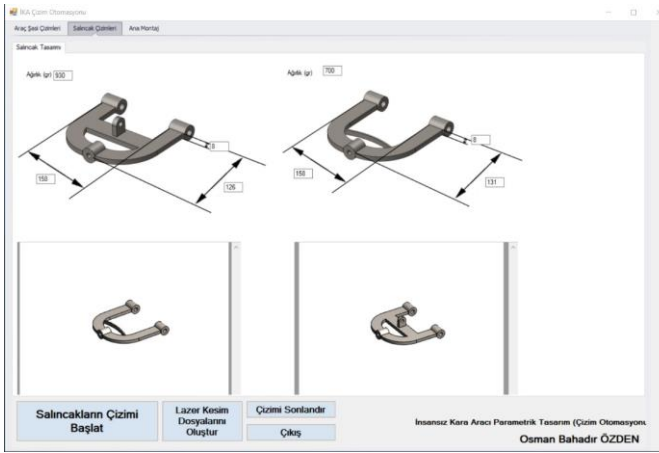
arka planda çalıştırılıp sadece hazırlanan bu program üzerinden çalıştırılabilmektedir. Bu değişkenler arayüz sekmelerinden geçişler ile ulaşılarak CAD veya tasarım bilgisi olmayan kişiler tarafından otomatik tasarlanıp üretime hazır hale getirilebilmektedir.



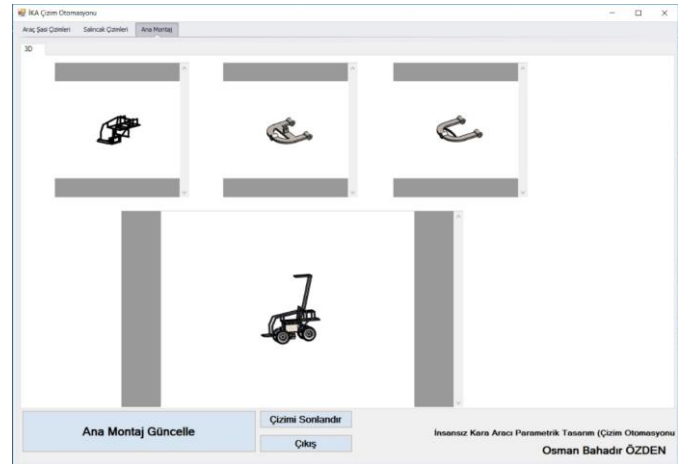
(a)



(b)



(c)



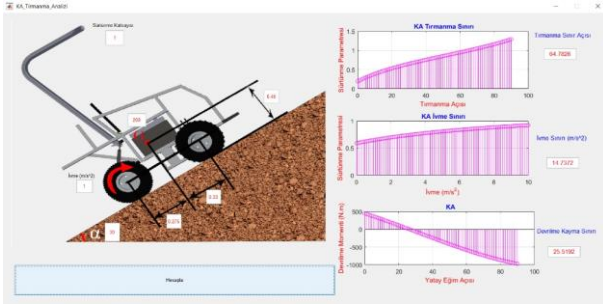
(d)

Şekil 1. Bir (a) ve (b) Aracın Şasi Parametreleri (c) Salıncak Sisteminin Parametreleri (d) Oluşturulan Tasarımın 3D Çıktısı

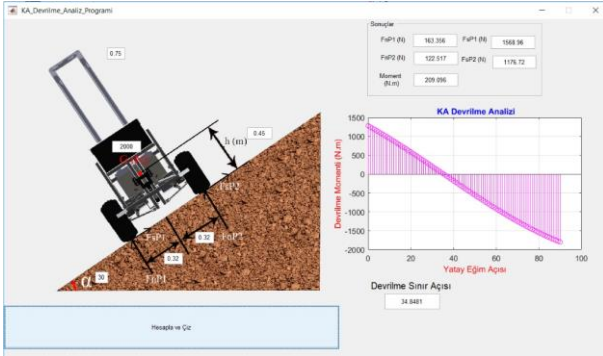
Parametrik uygulaması oluşturulurken aracın tüm parçalarının ve montajlarının bir sistem oluşturularak düzenli tasarım çıktıları sağlanmıştır. Uygulamada tüm parçalar açılıp unsur ve bağlı olduğu tüm ölçüler arayüzde girilen parametreye göre güncellenmektedir. Parçaların tasarımı tamamlandıktan sonra ana montajı oluşturan alt montajlar güncellenmektedir. Tüm parçaları ve alt montajları oluşturan unsur ve ölçüler güncellendikten sonra aracın ana montajı güncellenmektedir. Tasarım tamamlandıktan sonra genel yapıyı incelemek amacıyla 3D görünümünü oluşturulan program arayüzüne aktarılmaktadır. Böylelikle CAD programının açılmadan arka planda çalışması sağlanmıştır. Satış pazarlama görevlisi gibi CAD veya tasarım bilgisi olmayan kişilerinde kullanabileceği bu uygulama arayüzü ile müşteri veya farklı ihtiyaçlardan dolayı tasarım değişikliği istenilmesi durumunda hızlı çözümler alınabilmektedir. Parametrik tasarım yapılırken oluşturulan genel sistematik

düzen ve oluşturulan algoritmalar ile hatasız tasarım çıktıları elde edilmiştir.

Oluşturulan bu algoritmalar ile gerçekleştirilen tasarımlar aynı zamanda üretim hatasını azaltmaktadır. Parametrik tasarım yazılımları için farklı algoritmalar veya sistemler oluşturulabilmektedir. Tasarım ihtiyacındaki parametreler belirlenerek sistematik bir akış düzeni oluşturulmaktadır. Bu araç için her parçanın unsur, geometrik ölçüler ve montaj tasarımları yazılım kontrol ederek nihai tasarım oluşturmaktadır. Bu çalışma da diğer literatür çalışmalarından bağımsız olarak Şekil 2'de gösterilen sistematik akış düzeni oluşturulmuştur.



(a)

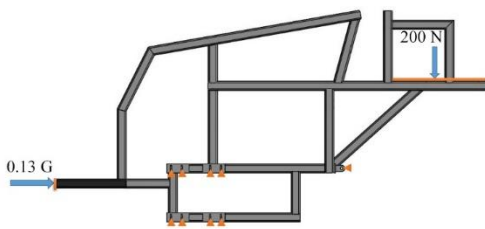


(b)

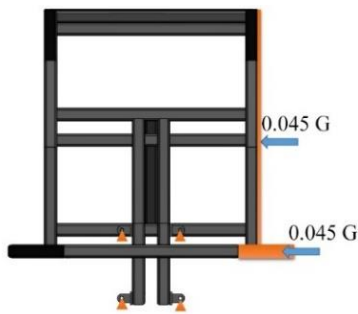
Şekil 5. Hareket sınırları hesaplamaları için oluşturulan arayüzler (a) sol yan görünümü göre (b) ön görünümü göre

SEA Modellemeleri

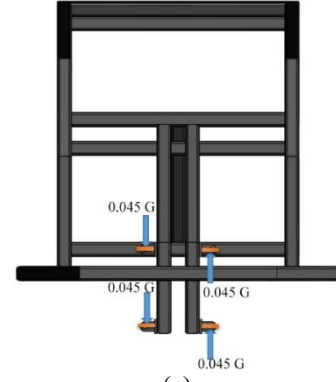
Aracın SEA modelleri için 3 farklı konfigürasyon kullanılmıştır. Bu konfigürasyonlara göre analizler gerçekleştirilmiş ve yapıda oluşan eşdeğer gerilmeler von-Mises gerilmesine göre incelenmiştir. Aracın zorlanma durumuna göre oluşturulan bu konfigürasyonların yükleme ve sınır şartları Şekil 6'da (a) önden darbe durumu için, (b) yandan darbe durumu için, (c) burulma durumu için belirtilmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 6. SEA yükleme ve sınır şartları (a) önden darbe durumu (b) yandan darbe durumu (c) burulma durumu

Araçta AISI 1020 malzemesi tercihi yapılmış olup bu malzemeye göre çalışmalar gerçekleştirilmiştir. SEA çalışmalarında kullanılan AISI 1020 malzemesinin mekanik özellikleri Tablo 1'de belirtilmekte olup analizde doğrusal (linear) malzeme tanımlaması yapılarak elastik bölgedeki davranışlar incelenmiştir.

Tablo 1. AISI 1020 mekanik özellikleri [32].

Özellik	Değeri
Yoğunluk [g/cm ³]	7.9
Çekme Dayanımı [MPa]	420.507
Akma Dayanımı [MPa]	351.571
Elastikiyet Modülü [GPa]	200
Kesme Modülü [GPa]	77
Poisson Oranı	0,29
Termal İletkenlik [K]	1.5 e-005

Araştırma Sonuçları ve Tartışma

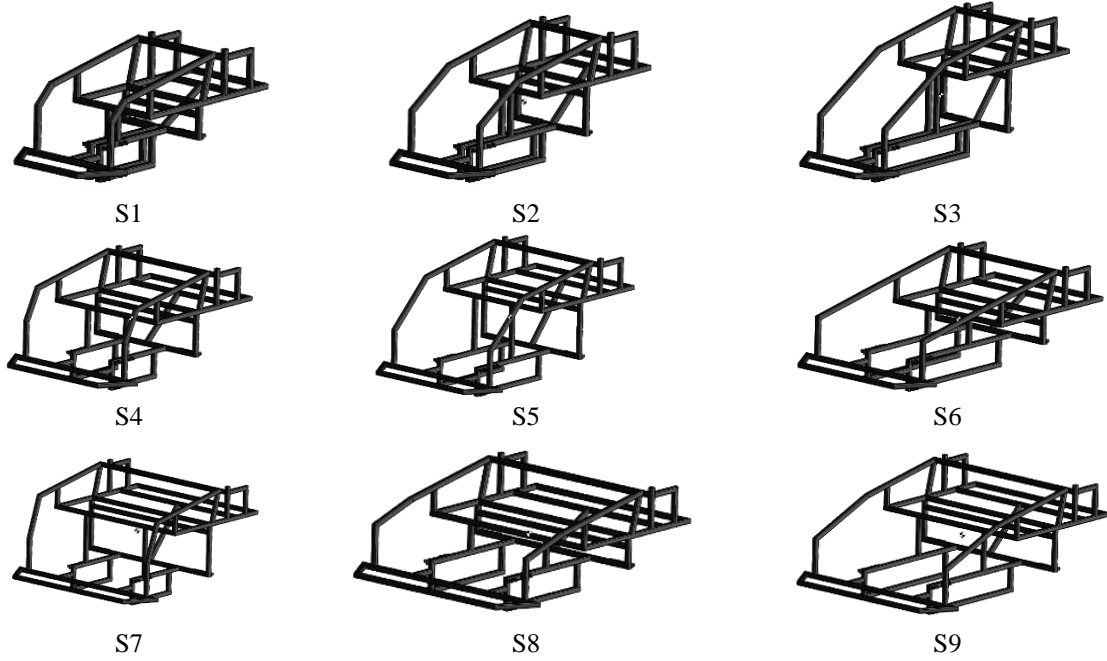
Aracın yapısal olarak değerlendirilebilmesi için SEA gerçekleştirilmiştir. Araç için genişlik, uzunluk ve yükseklik parametrelerine göre parametrik tasarım uygulaması kullanılarak 9 adet otomatik tasarım oluşturulmuştur. Aracın 2 kişilik kullanımı, farklı arazi şartları için ihtiyaçlara göre parametreler belirlenmiş ve bu ihtiyaçlara göre tasarımlar oluşturulmuştur. 9 adet tasarımın SEA gerçekleştirilerek eşdeğer gerilme değerleri bulunmuştur. Tablo 2'de parametrik tasarım uygulaması ile oluşturulan tasarımların numerik değerleri belirtilmektedir.

Tablo 2. Parametrik tasarım uygulaması ile oluşturulan tasarım.

Seri No.	Genişlik [mm]	Uzunluk [mm]	Yükseklik [mm]	Kütle [kg]
1	450	680	360	25.4162
2	450	880	460	28.2121
3	450	1080	560	31.039
4	770	680	460	31.7028
5	770	880	560	34.4609
6	770	1080	360	34.5369
7	1070	680	560	37.7461
8	1070	880	360	37.5199
9	1070	1080	460	40.3218

Tablo 2’de belirtilen parametreler parametrik tasarım uygulamasında girilerek tasarım otomasyonu gerçekleştirilmiştir. Pratik tasarımlar elde edilmesi için vb.NET programlama dili ile hazırlanan uygulama, Solidworks CAD programını arka planda çalışacak şekilde kodları hazırlanmış olup 9 adet tasarımı yaklaşık 120 saniye kısa bir süre içerisinde hazırlamıştır. Uygulama da aracı

diğer yapıları için standart ölçüler girilmiş olup şasinin optimum tasarımı için çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Diğer yapıların parametreleri müşteri talebi veya farklı ihtiyaçlar olması durumu için hazırlanmıştır. Şekil 7’de parametrik tasarım uygulaması ile elde edilen 9 adet tasarım gösterilmektedir.



Şekil 7. Parametrik tasarımlar

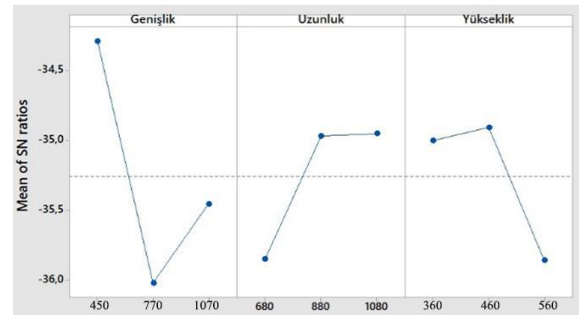
Oluşturulan 9 adet tasarım ile Şekil 6’da belirtilen aracın burulma, yandan çarpma ve önden çarpma konfigürasyonları için SEA gerçekleştirilerek yapılar üzerinde maksimum von-Mises eşdeğer gerilmesi bulunmuştur. Bu sonuçlara göre Taguchi metodu ile sinyal gürültü oranları bulunmuştur. Optimum tasarım parametrelerini belirlemek için gerçekleştirilen SEA ve Taguchi metodu ile SN oranları Tablo 3’te belirtilmektedir.

Tablo 3. Analiz ve Taguchi metodu ile S/N sonuçları

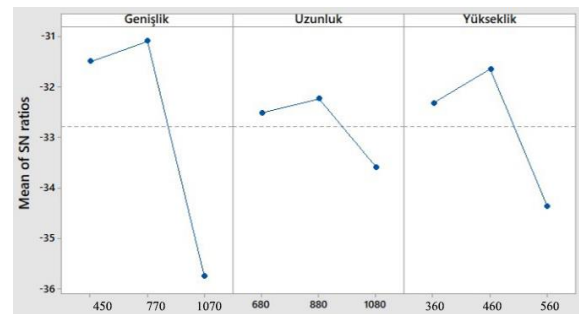
Seri No.	Ön Çarpma		Yanal Çarpma		Burulma	
	Von-Mises [MPa]	SN Oranı	Von-Mises [MPa]	SN Oranı	Von-Mises [MPa]	SN Oranı
S1	54.49	-34.72	30.3	-29.61	44.52	-32.97
S2	47.3	-33.49	32.6	-30.25	35.21	-30.93
S3	54.04	-34.65	53.9	-34.62	37.35	-31.44
S4	65.52	-36.32	33.3	-30.44	30.89	-29.79
S5	66.29	-36.42	35.4	-30.97	53.73	-34.60
S6	58.2	-35.29	39.3	-31.87	174.7	-44.84
S7	66.69	-36.48	75	-37.49	62.61	-35.93
S8	56.1	-34.97	59.5	-35.48	79.66	-38.02
S9	55.59	-34.90	51.8	-34.28	99.95	-39.99

İstatiksel hesaplamaların ve analizlerinin uygulanmasında istatistiksel analiz programı kullanılmıştır. Optimum

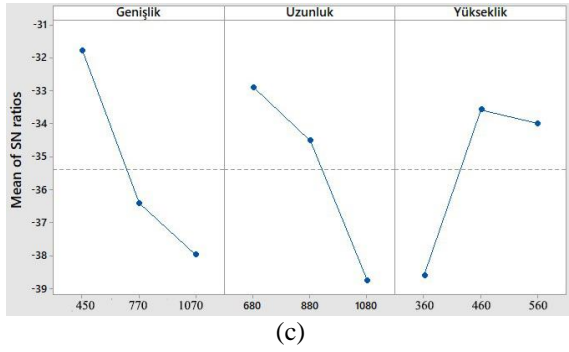
ölçülerin belirlenebilmesi için program yardımı ile sinyal gürültü oranları için grafikler çıkarılmıştır. Şekil 8’de SEA sonuçları neticesinde oluşturulan parametre seviyeleri için S/N grafikleri gösterilmektedir.



(a)

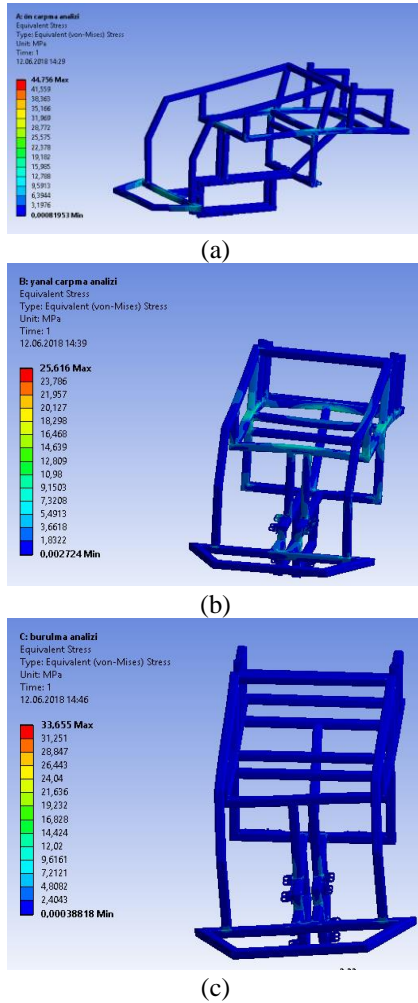


(b)



Şekil 8. SEA sonuçlarına göre parametre seviyeleri (a) Önden çarpma, (b) yanal çarpma, (c) burulma

SEA sonuçlarının Taguchi metodu ile optimum tasarım parametrelerinin belirlenmesi için yapılan çalışmaların sonucunda genişlik 450 mm, uzunluk 680 mm ve yükseklik 460 mm bulunmuştur. Optimum tasarım parametreleri ile yapılan SEA sonuçlarına göre önden çarpma durumu için 44.76 MPa, yanal çarpma durumu için 25.62 MPa, burulma durumu için ise 33.66 MPa von-Mises gerilmeleri bulunmuştur. Şekil 9'da SEA sonuçlarına ait sonuçlar gösterilmektedir.



Şekil 9. SEA sonuçları (a) Önden çarpma, (b) yanal çarpma, (c) burulma

Optimum tasarım parametreleri bulunmuş olup aracın hareket sınırları değerlerinin bulunması için hazırlanmış olan program arayüzüne girilmiştir. Aracın tırmanabilme açısı 25.52° , yanal devrilme açısı 34.85° , ivme sınırı 14.74 m/s^2 bulunmuştur. Bu değerler kabul edilebilir olarak değerlendirilip aracın üretimi gerçekleştirilmiştir. Şekil 10'da optimum parametrelerle tasarlanmış insan veya yük taşıma aracının üretimi sağlanan görünümü ve tasarımı gösterilmektedir.

Literatürde bulunan bazı çalışmalarda [6] unsur, geometrik ve montaj tabanlı parametrik tasarım yazılımları gerçekleştirilmektedir. Fakat literatürdeki bazı çalışmalarda sadece tasarım gerçekleştirilmiş olup bu çalışma da yazılım vasıtası ile tasarım gerçekleştirildikten sonra değerlendirme kriterleri eklenmiştir. Ayrıca Vb.NET programlama dili ile arayüz oluşturulmuştur. Hareket sınırlarının tespiti, eşdeğer gerilme, toplam ağırlık, optimum tasarım gibi kriterlerin uygunluğu da değerlendirilmiştir. Ayrıca bazı çalışmalarda geometri, unsur ve montaj tabanlı olarak geliştirilen algoritmalar ve sonrasında farklı kriterlere göre ihtiyaç duyulan tasarımlar elde edilebilmektedir [33, 34]. Bazı çalışmalarda [35] ise topoloji optimizasyonu gibi tasarım sadeleştirme için çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Bu çalışma da ise parametrik tasarım sonrası Taguchi metodu ile optimum tasarım için parametrelerin değerleri tespit edilmiştir.

Sonuç

Müşterilerin veya farklı ihtiyaçlar sebebiyle makine tasarımlarında hızlı değişiklikler istenilebilmektedir. Sürenin uzaması üretim öncesi sürenin artmasına ve mühendislik maliyetinin de artışına sebep olabilmektedir. Parametrik tasarım uygulamaları ile ürüne özgü parametreler tanımlanarak bu süreç verimli hale gelmektedir. Bu çalışmada insan veya yük taşıma amacıyla tasarlanan aracın katı modeli için Vb. NET ile Solidworks CAD programı haberleştirilip 17 değişken tanımlanacak arayüz hazırlanmıştır. Bu parametrelerin optimum değerleri SEA ve Taguchi metodu kullanılarak belirlenmiş olup uzunluk, genişlik ve yükseklik ana parametrelerine göre 9 adet tasarım 120 saniye içinde oluşturulmuştur. Oluşturulan tasarımlar için aracın önden çarpma, yanal çarpma ve burulma durumları için SEA gerçekleştirilmiştir. SEA sonuçları neticesinde Taguchi metodu ile optimum ana değişken parametreleri belirlenmiştir. Optimum tasarıma göre SEA sonuçları önden çarpma için 44.76 MPa, yanal çarpma durumu için 26.62 MPa, burulma durumu için 33.66 MPa bulunmuştur. Aracın yapısal olarak emniyetli olduğu belirlenmiş ve hareket sınırları için hazırlanan program arayüzü ile tırmanma açısı 25.52° , yanal devrilme açısı 34.85° ve ivme sınırı 14.74 m/s^2 bulunmuştur. Aracın yapılan optimizasyon çalışması neticesinde genel yapı itibarıyla emniyetli olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışma neticesinde, makinelerin üretim öncesi tasarım ve analiz süreçleri için bu yaklaşım ve uygulamalar ile gerçekleştirilen değerlendirmeler, mühendislik maliyetini azaltmak, can kaybını önlemek ve

yapısal emniyeti sağlamak için önerilmektedir. Ayrıca literatürde bulunan bazı çalışmalardan farklı olarak parametrik tasarım yazılım arayüzü ile daha pratik ve kullanışlı uygulama hazırlanmış olup geometri, unsur, parça, montaj ve birbirleri ile ilişkileri tanımlanarak oluşturulan algoritma ve uygulamalar önerilmektedir.

Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur. Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma, Osman Bahadır Özden'in yüksek lisans çalışmasından türetilmiştir. Ayrıca desteklerinden dolayı "MPG Makina Prodüksiyon Grubu Makine İmalat San. ve Tic. A.Ş." firmasına teşekkür ve şükranlarımızı sunarız.

Kaynaklar

- [1] N. Geren, O. O. Akçalı, and M. Bayramoğlu, "Parametric design of automotive ball joint based on variable design methodology using knowledge and feature-based computer assisted 3D modelling," *Engineering applications of artificial intelligence*, vol. 66, pp. 87-103, 2017.
- [2] Y. Bodein, B. Rose, and E. Caillaud, "A roadmap for parametric CAD efficiency in the automotive industry," *Computer-Aided Design*, vol. 45, no. 10, pp. 1198-1214, 2013.
- [3] Y. Cheng, F. He, X. Lv, and W. Cai, "On the role of generating textual description for design intent communication in feature-based 3D collaborative design," *Advanced Engineering Informatics*, vol. 39, pp. 331-346, 2019.
- [4] C. H. Chu, M. C. Song, and V. C. Luo, "Computer aided parametric design for 3D tire mold production," *Computers in Industry*, vol. 57, no. 1, pp. 11-25, 2006.
- [5] T. Türkücü and H. R. Börklü, "Tersine mühendislik yaklaşımına dayalı yeni bir imalat için tasarım işlem modeli," *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, vol. 6, no. 1, pp. 91-104, 2018.
- [6] F. Demoly and S. Roth, "Knowledge-based parametric CAD models of configurable biomechanical structures using geometric skeletons," *Computers in Industry*, vol. 92, pp. 104-117, 2017.
- [7] K. Amadori, M. Tarkian, J. Ölvander, and P. Krus, "Flexible and robust CAD models for design automation," *Advanced Engineering Informatics*, vol. 26, no. 2, pp. 180-195, 2012.
- [8] S. Bhooshan, "Parametric design thinking: A case-study of practice-embedded architectural research," *Design Studies*, vol. 52, pp. 115-143, 2017.
- [9] J. Byrne, P. Cardiff, and A. Brabazon, "Evolving parametric aircraft models for design exploration and optimisation," *Neurocomputing*, vol. 142, pp. 39-47, 2014.
- [10] E. J. Reddy and V. P. Rangadu, "Development of knowledge based parametric CAD modeling system for spur gear: An approach," *Alexandria engineering journal*, vol. 57, no. 4, pp. 3139-3149, 2018.
- [11] Z. Xie, L. Yao, J. Ding, K. Ren, B. Jia, and J. Liu, "Development of parametric design system of double circular arc spiral bevel gear nutation drive based on Solidworks," *Advances in Mechanical Design: Proceedings of the 2021 International Conference on Mechanical Design (2021 ICMD)*, 2022: Springer, pp. 1471-1487.
- [12] A. Akpolat, "Analysis of contact stresses in spur gears by finite element method," *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, no. 17, pp. 539-545, 2019.
- [13] E. Emir and E. Benzer, "Structural analysis of industrial foam crusher machine by using finite element method," *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, no. 29, pp. 343-350, 2021.
- [14] A. Gök, "Design and numerical analysis of face mask polymer shield against infectious diseases," *Journal of Mechanics in Medicine and Biology*, vol. 22, no. 06, p. 2250039, 2022.
- [15] A. Gök, H. Demirci, and K. Gök, "Determination of experimental, analytical, and numerical values of tool deflection at ball end milling of inclined surfaces," *Proceedings of the institution of mechanical engineers, part e: journal of process mechanical engineering*, vol. 230, no. 2, pp. 111-119, 2016.
- [16] O. B. Özden, B. Gökçe, and A. Erdemir, "Investigation of welded joints in finite element analysis," *2nd International Congress on Scientific Advances (ICONSAD'22)*, pp. 516-522, 2022.
- [17] G. Sarı, A. F. Ak, A. A. Akış and E. Aydınoglu, "Experimental and numerical modal analysis of a bladed rotor", *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, vol. 13, no.1, pp. 57-63, 2022.
- [18] E. Esener, "Plastisite modellerinde pekleşme etkisinin sonlu elemanlar analizi ile tespiti", *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, vol. 11, no. 1, pp. 171-181, 2020.
- [19] K. Gök, A. Gök, and Y. Kisioglu, "Computer aided finite element simulation of the developed driller system for bone drilling process in orthopedic surgery," *Journal of Advanced Manufacturing Systems*, vol. 18, no. 04, pp. 583-594, 2019.
- [20] K. Gök, A. B. Selçuk, and A. Gök, "Computer-aided simulation using finite element analysis of protect against to coronavirus (COVID-19) of

- custom-made new mask design," *Transactions of the Indian Institute of Metals*, vol. 74, no. 5, pp. 1029-1033, 2021.
- [21] G. Taguchi, *System of Experimental Design: Engineering Methods to Optimize Quality and Minimize Costs* (no. 1. c.). UNIPUB/Kraus International Publications, 1987.
- [22] Y. Kayalı, B. Gökçe, E. Mertgenç, F. Çolak, and R. Kara, "Analysis with taguchi method of wear behaviors of borided AISI 52100 steels," *Journal of the Balkan Tribological Association*, 2013.
- [23] Y. Kayali, B. Gokce, E. Mertgenc, F. Colak, and R. Kara, "Analysis of wear behavior of borided AISI 52100 steel with the Taguchi method," *J Balkan Tribol Assoc*, vol. 19, no. 3, p. 365, 2013.
- [24] Ö. Şeyma, "Taguchi metodu kullanılarak plastik enjeksiyon kalıplama tekniğiyle üretilen parçadaki çekme probleminde etkili parametrelerin optimizasyonu," *Researcher*, vol. 1, no. 01, pp. 48-56, 2021.
- [25] K. Gök, A. Gök, and Y. Kisioglu, "Optimization of processing parameters of a developed new driller system for orthopedic surgery applications using Taguchi method," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 76, pp. 1437-1448, 2015.
- [26] B. Maazinejad *et al.*, "Taguchi L9 (34) orthogonal array study based on methylene blue removal by single-walled carbon nanotubes-amine: Adsorption optimization using the experimental design method, kinetics, equilibrium and thermodynamics," *Journal of Molecular Liquids*, vol. 298, p. 112001, 2020.
- [27] G. Shanmugasundar, B. Karthikeyan, P. S. Ponvell, and V. Vignesh, "Optimization of process parameters in TIG welded joints of AISI 304L-austenitic stainless steel using Taguchi's experimental design method," *Materials Today: Proceedings*, vol. 16, pp. 1188-1195, 2019.
- [28] A. Gök, C. Gologlu, and H. I. Demirci, "Determination of form defects depending on tool deflection in ball end milling of convex and concave surfaces," 2014.
- [29] H. Eric Tseng, L. Xu, and D. Hrovat, "Estimation of land vehicle roll and pitch angles," *Vehicle System Dynamics*, vol. 45, no. 5, pp. 433-443, 2007.
- [30] M. Shaqura and J. S. Shamma, "An Automated Quadcopter CAD based Design and Modeling Platform using Solidworks API and Smart Dynamic Assembly," in *ICINCO (2)*, pp. 122-131, 2017.
- [31] Özden, O. B., (2018). "Özel amaçlı elektrikli bir kara aracının tasarımı ve prototipinin geliştirilmesi," Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği A.B.D., 2018.
- [32] O. Ikechukwu, "Finite element analysis of tungsten inert gas welding temperatures on the stress profiles of ais1 1020 low carbon steel plate," *International Journal of Engineering Technologies IJET*, vol. 5, no. 2, pp. 50-58, 2019.
- [33] S. Cheresnia and S. Berman, "Automatic identification of the assembly base component for robotic manufacturing," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 55, no. 2, pp. 90-95, 2022.
- [34] J. D. Camba, M. Contero, and P. Company, "Parametric CAD modeling: An analysis of strategies for design reusability," *Computer-Aided Design*, vol. 74, pp. 18-31, 2016.
- [35] C. Dragne, C. Radu, and M. Iliescu, "Mechanical engineering of robotic systems by solidworks."