



Front seat development for autonomous driving: A case of innovative product development

Koray Altun^{1*}, Reyhan Özcan Berber², Recep Kurt², Enes Bektaş², Sertan Turan², Varol Korkmaz²

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Bursa Technical University, 16330 Bursa, Turkey

²MARTUR Automotive Seating and Interiors, 16140 Bursa, Turkey

Highlights:

- Provides a real case of an innovative product development
- Addresses the evolving customer needs through autonomous driving
- Introduces an innovative front seat for autonomous driving

Keywords:

- Autonomous driving
- Automotive
- Front Seat
- Innovative product development

Graphical/Tabular Abstract



Figure A. An innovative front seat for autonomous driving: the prototype developed

Article Info:

Research Article
Received: 11.05.2021
Accepted: 06.10.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.936325

Acknowledgement:

This project is supported by the Scientific and Technological Research Council of TURKEY (TÜBİTAK) in TEYDEB-1501 program with the grant number 3171072

Correspondence:

Author: Koray Altun
e-mail:
koray.altun@btu.edu.tr
phone: +90 224 300 3595

Purpose: Automotive trends and the strategies of automotive OEMs (Original Equipment Manufacturers) indicate that advanced and fully autonomous vehicles will appear in the market soon. In parallel with these progresses, customers' needs and expectations for automotive parts will evolve accordingly. Particularly, since the seat is in physical contact with the user, it requires major improvements by employing novel functions to meet these evolved needs and expectations. This study addresses these novel front seat functions and provides a real case of development of an innovative front seat for autonomous driving.

Theory and Methods:

In this study, initially, new design ideas were generated regarding the front seats to meet changing customer needs. Generated ideas were evaluated through the QFD methodology. And, in line with these selected ideas, the style design, CAD design, and finite element analysis and testing activities were carried out.

Results:

As a result of this study, an innovative front seat for autonomous driving has been developed, by taking the evolved customer expectations into account, and by verifying the design through finite element analysis and tests.

Conclusion:

Evolving customer needs for front seat by autonomous driving are assessed and a real innovative product development case is presented in this study. Future work can address other relevant interior parts of the automotive as to be appropriate for autonomous driving.



Otonom sürüş için ön koltuk geliştirme: Yenilikçi ürün geliştirme vakası

Koray Altun^{1*}, Reyhan Özcan Berber², Recep Kurt², Enes Bektaş², Sertan Turan², Varol Korkmaz²

¹Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 16330 Yıldırım, Bursa, Türkiye

²MARTUR Automotive Seating and Interiors, 16140 Nilüfer, Bursa, Türkiye

Ö N E Ç I K A N L A R

- Gerçek bir yenilikçi ürün geliştirme vakası sunmaktadır
- Otonom sürüş ile değişen müşteri ihtiyaçlarını konu edinmektedir
- Otonom sürüş için yenilikçi bir ön koltuk tanıtmaktadır

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 11.05.2021

Kabul: 06.10.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.936325

Anahtar Kelimeler:

Otonom sürüş,
otomotiv,
ön koltuk,
yenilikçi ürün geliştirme

ÖZ

Otomotiv trendleri ve Orijinal Ürün Üreticileri (OEM-Original Equipment Manufacturer) stratejileri, ileri ve tam otonom araçların hızla piyasaya gireceğini göstermektedir. Bu gelişmelere paralel olarak, otomotiv parçaları için de müşterilerin ihtiyaç ve beklentileri değişecektir. Özellikle, koltukların kullanıcı ile fiziksel temas halinde olmasından dolayı, değişen müşteri ihtiyaçları ve beklentilerini karşılayabilmek için, yeni fonksiyonlar eklenilerek önemli derecede iyileştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışma ile otonom sürüşe uygun yenilikçi otomotiv ön koltuğu geliştirilmiştir. Bu çalışma, yeni ön koltuk fonksiyonlarını ele almakta ve otonom sürüşe uygun yenilikçi ön koltuk geliştirme vakası sunmaktadır. Bu çalışmada, ilk olarak, ön koltuklar üzerinde değişen müşteri ihtiyaçlarını karşılayabilecek yeni tasarım fikirleri ortaya koyulmuş, Kalite Fonksiyon Göçerimi (QFD-Quality Function Deployment) metodolojisi ile değerlendirilmiş, belirlenen fikirler doğrultusunda stil tasarım, bilgisayar destekli tasarım, sonlu elemanlar analizi ve test faaliyetleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, müşteri beklentilerini karşılayan, tasarımı sonlu elemanlar analizi ve testler ile doğrulanmış, otonom sürüş için yenilikçi bir ön koltuk geliştirilmiştir. Sonuç olarak, otonom sürüş ile birlikte değişen müşteri ihtiyaçları değerlendirilmiş ve gerçek bir yenilikçi ürün geliştirme vakası sunulmuştur. Gelecek çalışmalar, otonom sürüşe uygun olacak şekilde otomotivin diğer iç aksamlarını konu edinebilir.

Front seat development for autonomous driving: A case of innovative product development

H I G H L I G H T S

- Provides a real case of an innovative product development
- Addresses the evolving customer needs through autonomous driving
- Introduces an innovative front seat for autonomous driving

Article Info

Research Article

Received: 11.05.2021

Accepted: 06.10.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.936325

Keywords:

Autonomous driving,
automotive,
front seat,
innovative product
development

ABSTRACT

Automotive trends and the strategies of automotive OEMs (Original Equipment Manufacturers) indicate that advanced and fully autonomous vehicles will appear in the market soon. In parallel with these progresses, customers' needs and expectations for automotive parts will evolve accordingly. Particularly, since the seat is in physical contact with the user, it requires major improvements by employing novel functions to meet these evolved needs and expectations. This study addresses these novel front seat functions and provides a real case of development of an innovative front seat for autonomous driving. In this study, initially, new design ideas were generated regarding the front seats to meet changing customer needs. Generated ideas were evaluated through the QFD methodology. And, in line with these selected ideas, the style design, CAD design, and finite element analysis and testing activities were carried out. As a result of this study, an innovative front seat for autonomous driving has been developed, by taking the evolved customer expectations into account, and by verifying the design through finite element analysis and tests. Consequently, evolving customer needs for front seat by autonomous driving are assessed and a real innovative product development case is presented in this study. Future work can address other relevant interior parts of the automotive as to be appropriate for autonomous driving.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İleri otomatik kontrol sistemleri günümüzde otonom sürüşe olanak sağlar hale gelmiştir. Geliştirilen yeni nesil araçlar, bir sürücü müdahalesine ihtiyaç duymadan çevresini algılamaktadır ve bağımsız seyahat edecek şekilde tasarlanmıştır. Bu yeni nesil araçlar için “sürücüsüz araba”, “kendi kendine giden araba”, “otonom araba” veya “otonom araç” ifadeleri sıklıkla kullanılmaktadır.

ABD Otomotiv Mühendisleri Derneği (SAE: Society of Automotive Engineers) [1] aracın “sürücüye bağımlılığı” ölçütünü dikkate alarak “otonom sürüş” kavramını altı seviyede tanımlamaktadır. Seviye-3’e kadar halen sürücü sürüşe katkı sunmaktadır. Seviye-4 ve Seviye-5 ise “ileri otomasyon” ve “tam otomasyon” durumlarını ifade eden “otonom sürüş” seviyeleridir (Tablo 1).

Otonom araçlar seyahat esnasında çevre ile sürekli etkileşim içerisindedir. Bu iletişim ve takip olağanüstü bir durum olmadığı müddetçe kesinti yaşamamaktadır [2]. Singh [3] ve Maashoff [4]’e göre, kazaların %94’ü insan hatalarından kaynaklanmaktadır ve kazalardan dolayı dünyada her yıl 1.2 milyon insan hayatını kaybetmektedir. Klasik araçlar ile karşılaştırıldığında, otonom araçların trafik kazaları ile buna bağlı ölüm ve yaralanmaları azaltacağı tahmin edilmektedir [4, 5].

Bilinen büyük şirketler (örneğin; Google, Tesla, Daimler AG, GM, Toyota, Jaguar, Land Rover) yenilikçi tasarımlar, yeni malzemeler ve ileri üretim teknolojileri olanakları ile otonom araçlar geliştirmekte ve üretmektedir. Otonom araçların yaygın kullanımı ile birlikte, 2050 yılına kadar 800 milyar dolar seviyelerinde ekonomik ve sosyal fayda (trafiğin hafiflemesi, kazaların azalması, daha az enerji tüketimi ve daha verimli kullanılacak zaman vb.) yaratılacağı tahmin edilmektedir [6]. Araç kullanırken, zamanını yolda “harcamak” zorunda kalan kişiler, otonom araçlar ile birlikte seyir esnasında zamanlarını daha verimli kullanabilecekler; örneğin seyir esnasında kitap okuyabilecek, işlerini takip edebileceklerdir.

Otonom araçların birçok faydası tartışılmakla birlikte, “konfor” bu araçların kabulünde ve yaygınlaşmasında rol oynayan önemli bir faktördür [7, 8]. Klasik araçlardan çok daha fazla teknoloji içereceği bilinen ileri ve tam otonom

araçların kokpitlerinin de farklı özelliklerle donatılacağını tahmin etmek zor değildir. Bu nedenle, otonom sürüş ile değişen sürücü araç etkileşimi ve yeni araç içi sistemler ile kullanıcı ihtiyaçlarının eşleştirilmesi önem arz eden araştırma konularıdır (güncel bir çalışma için bkz. Sun vd. [9]). Aracı sürmeye gerek kalmadığı için sürücüye gelen serbestlik ile birlikte beklentilerde artacaktır. Bu beklentiler kültürel farklılıklar da içermektedir. Otonom araç içi aksam tasarımında farklı kültürlerin değerlendirildiği ve Çin, Almanya ve Amerika kültürlerinin tartışıldığı güncel bir çalışma ise Sauer vd. [10] tarafından sunulmuştur.

Standart araçlarda yüksek önemi olan direksiyonu taşıyan ön panelin, otonom araçlarda kokpit içerisindeki önemini yitireceği düşünülmektedir [4]. Araçta otururken insan vücudunun 1/4’ü koltukla temas etmektedir. Bu durum otonom araçların kokpitinde önemi daha da artacak parçalardan birinin koltuklar olacağını göstermektedir. Ayrıca artık sürücü bölgesi araç içerisindeki önemini yitirecek, tüm bölgeler en az sürücü bölgesi kadar önemli olacaktır. Seviye 4 ve 5 otonom araçlar için yeni koltuk yerleşimlerini kullanıcıların belirlemesi mümkün olabilecektir.

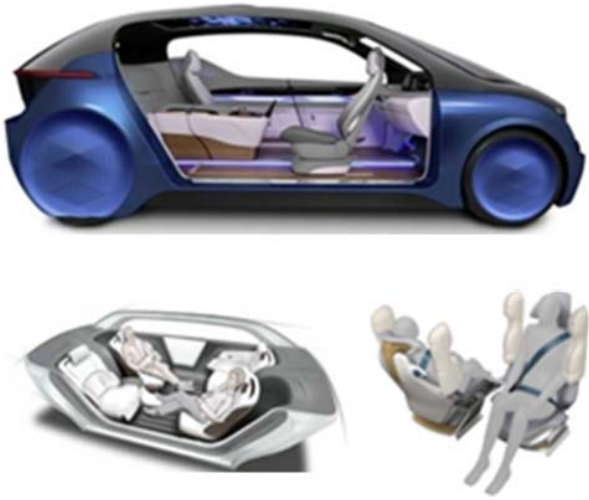
Otonom araçlar için “koltuk” oldukça önem arz etmesine rağmen bilimsel literatürde sınırlı sayıda araştırmaya konu olmuştur. Turgut [11], 2’şer kişilik 9 grup ile yemek yeme, uyuma, sosyalleşme ve özel zaman geçirme gibi araç içi aktiviteler için koltuk yerleşim tercihleri üzerine araştırma yapmıştır. Araç içi aktivitelere izin verecek şekilde koltukların hareket etmesini mümkün kılan belirli patikaların olması kullanıcılar tarafından tercih edilmiştir. Kullanıcılar, uyurken, özel zaman geçirmek istediğinde ya da yemek yerken koltuklar arası maksimum uzaklık olmasını, sosyalleşme anında ise minimum uzaklık olmasını tercih etmiştir. Jorlov [12], farklı bir çalışma ile ileri otonom araçlarda oturma pozisyonlarına ve aktivitelere yönelik kullanıcı istekleri ve tutumları hakkında bilgiler elde etmiştir. Bu araştırmaya göre, araçta birden fazla yolcu varken, uzun sürüşler sırasında, koltuğun oturma odası pozisyonu olarak adlandırılan 90-180 derece aralığında dönmesi tercih edilmektedir. Sadece daha kısa sürüşler sırasında, kullanıcılar öne dönük pozisyonunu korumayı, ancak koltuğun daha rahat bir konuma yatırılmasını tercih etmektedirler. Döndürülmüş ve yatık koltuklara sahip yeni oturma pozisyonları ilave güvenlik önlemleri gerektirecektir.

Tablo 1. Otonom sürüş seviyeleri [1] (Levels of driving automation [1])

Otomasyon durumu	Sürüşü yapan	Sürücünün sürüşe katkısı
Seviye 0 Otomasyon yok	Sürüş sürücü tarafından gerçekleştirilir	Eller sürekli direksiyonda. Gözler açık.
Seviye 1 Sürücü asistanı	Sürüş görevinin çoğunluğunu sürücü gerçekleştirir	Eller sürekli direksiyonda. Gözler açık.
Seviye 2 Kısmen otomasyon	Araç, sürüşe yardımcı olur	Eller geçici direksiyonda. Gözler geçici kapalı.
Seviye 3 Koşullara bağlı otomasyon	Bazı koşullarda araç kendi gidebilir	Eller serbest. Gözler kapalı.
Seviye 4 İleri otomasyon	Araç tam otonom olarak sürüş yapabilir	Eller serbest. Bilinç kapalı.
Seviye 5 Tam otomasyon	Araç her koşulda kendi kendine gidebilir	Eller serbest. Sürücü yok.

Katılımcıların araç içerisindeki pozisyon değiştirme özgürlüğüne karşılık bu ekstra kısıtlamaları kabul edebilecekleri sonucuna varılmıştır [12].

Yanfeng (www.yfai.com) ve Adient (www.adiant.com) firmalarına ait, otonom araçlar için olası yeni koltuk konseptleri Şekil 1’de gösterilmektedir. Otonom araçlar için yeni konseptler, farklı koltuk pozisyonları dolayısıyla farklı güvenlik çözümleri, daha fazla elektronik kontrol ünitesi (ECU - Electronic Control Units) ve kişiselleştirilebilir talebi sebebiyle koltuk pozisyonlarının hafızaya alınması gibi yeni koltuk fonksiyonları içerecektir [9, 13]. Bu yeni fonksiyonlar incelenen müşteri ihtiyaçları ile çeşitlenmeye devam etmektedir.



Şekil 1. Yeni otonom araç konseptleri
(New autonomous car concepts)

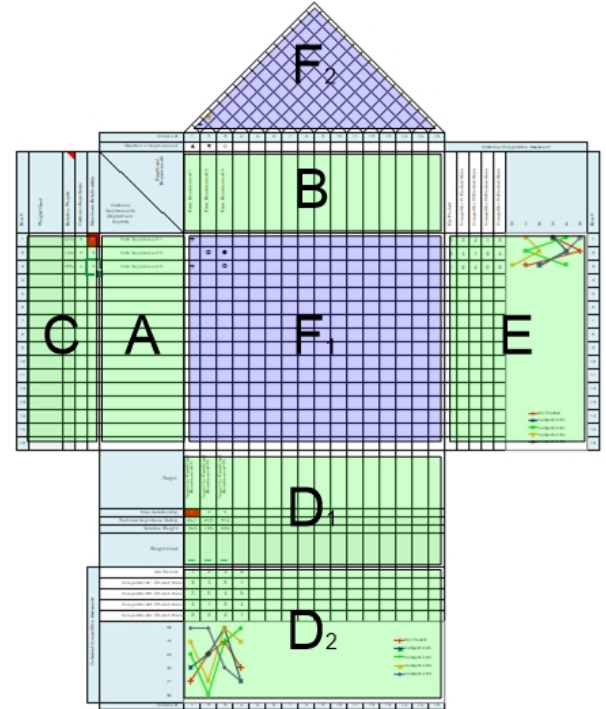
Ülkemizin en önemli ihracat sektörlerinden biri olan otomotiv sektörü için bu gelişmeleri takip etmek ve Ar-Ge ve Tasarım çalışmalarına bu doğrultuda yön vermek kaçınılmaz bir gerekliliktir. Bu çalışmada, otonom araçlar için ön koltuk tasarımını konu edinen gerçek bir vaka sunulmaktadır. Çalışma kapsamında, doğru ürün fonksiyonlarının adaptasyonu için literatürde yaygın bir şekilde kullanımı tercih edilen kalite fonksiyonu göçerimi (QFD – Quality Function Deployment) metodolojisi kullanılmıştır. Henüz olgunlaşmayan son kullanıcı deneyimini anlayabilmek için ise “öncü kullanıcılar” ve alanın uzmanlarından oluşan bir ekip ile bu süreç yürütülmüştür. Yazarların en iyi bilgisine göre, bu çalışma, otonom araç ön koltuk geliştirilmesini konu edinen literatürdeki ilk sistematik ürün geliştirme vakasıdır.

Çalışmanın ilerleyen bölümlerinin organizasyonu şu şekildedir; Bölüm-2’de otomotiv ön koltuğu tasarım kriterleri çalışılmış ve bir prototip imalatı süreci sunulmuştur. Bölüm-3’te otonom sürüşe uygun olacak şekilde geliştirilen ön koltuğun analiz ve test sonuçları paylaşılmıştır. Son bölümde ise sonuç ve değerlendirme sunulmuştur.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHODOLOGY)

Otonom araçlar için geliştirilecek koltukların birçok yeni fonksiyonu içerisinde bulundurması gerektiği yapılan araştırmalarda görülmüştür. Bu çalışmada, yeni tasarım fikirleri, kalite fonksiyon göçerimi (QFD - Quality Function Deployment) metodolojisi kullanılarak değerlendirilmiştir.

QFD dört aşamalı bir süreçtir. İlk aşama, “kalite evi” olarak isimlendirilmektedir. Bu aşamada, müşteri beklentileri analiz edilmekte, sunulan ürün fonksiyonları ile eşleştirilmekte ve sonrasında rakip ürünler ile müşteri kıyaslamaları yapılarak “müşteriye sunulan değer” açısından rekabet koşulları değerlendirilmektedir. Kalite evi, bu analizler ile yeni konseptlerin ortaya çıkarılabilmesi için kullanılan sistematik bir araçtır. QFD’nin bir sonraki aşaması, ürün fonksiyonlarının ürün bileşenlerine yayılımlarına olanak sağlayan, “parça yayılımı” sürecidir. Kompleks bileşenlerden oluşan ürünlerde hangi alt bileşenin hangi ürün fonksiyonuna katkı sağladığı “iyileştirme” çalışmalarında önem arz etmektedir ve hangi parçalara odaklanılması gerektiği hususu QFD’nin bu aşamasında çalışılmaktadır. QFD’nin ilerleyen aşamalarında ise ilgili parçaların üretim süreçlerine ve sonrasında üretim planlarına kadar ilerleyen bir yayılımı çalışmak mümkündür. QFD, bu kadar detaylı bir yayılıma olanak sağlamasına rağmen, en fazla katma değer oluşturulduğu “kalite evi” aşaması uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Diğer aşamaların kullanımı genellikle tercih edilmemektedir [14]. Yeni ürün konseptlerinin “müşteri bakışıyla” değerlendirilmesine olanak sağlaması nedeniyle sadece “kalite evi” çalışmalarının yapılması yeterli olmaktadır.



Şekil 2. Kalite evi genel görünümü
(An overview of the House of Quality)

karakteristiklerinden oluşmamaktadır. Otonom sürüş için ön koltuk kapsamında sunulabilecek yeni (ilave) fonksiyonlar kullanılmıştır. Müşterinin beklentisi olan, fakat standart araçlarda hali hazırda sunulan fonksiyonlar (örnek olarak; koltuk havalandırma ya da ısıtma fonksiyonu), nihai ilave fonksiyon fikirleri listesinin dışında bırakılmıştır. Bu sayede, gündemi oluşturan yeni ön koltuk fonksiyonlarının “otonom sürüş” müşteri beklentileriyle ilişkileri ve uyumu ortaya çıkmıştır. Beklenmeye cevap veremeyen fonksiyonlar, ilerleyen aşamalarda göz ardı edilmiş ve hangi fonksiyonlar üzerine yoğunlaşılması gerektiği netleşmiştir. Tasarımı yapıp ve prototipi gerçekleştirilecek ilave fonksiyon fikirlerinin nihai listesine karar verilirken, müşteri ihtiyaçlarını karşılama düzeyinin yanı sıra, çalışmanın gerçekleştirilmiş olduğu otomotiv koltuk üreticisi firmanın fikri gerçekleştirebilme kabiliyeti (D), rakiplerin bu konudaki çözümleri (E) ve ilave fonksiyonların tamamı bir ürün üzerinde olacağı düşünüldüğünde, yaşanabilecek teknik zorluklar da (F) göz önünde bulundurulmuştur. Bunu yaparken, müşteri gözüyle değerlendirme yapabilme yeteneğine sahip karar vericilerin/ uzmanların bilgi ve deneyimlerinden etkin olarak yararlanılmıştır. Şekil 3’de otonom araç ön koltuğu için bu çalışma kapsamında oluşturulan “kalite evi” verilmiştir. Otonom araçlarda kullanılacak ön koltuklar için kalite evi çalışmasında listelenen 23 adet ilave koltuk fonksiyonlarından öne çıkan 7 adet fonksiyonun/fikrin nihai listesi ise Şekil 4’de verilmiştir.

Konfor	<ul style="list-style-type: none"> • Ön koltukların arkaya dönmesi • Bacak destek sistemi
Fonksiyonellik	<ul style="list-style-type: none"> • Koltuk üzerinden kablosuz şarj • Koltuk fonksiyonlarının koltuğa entegre dokunmatik bir ekrandan kontrolü
Kişiselleştirme	<ul style="list-style-type: none"> • Koltuğun hafıza fonksiyonuna sahip olması
Güvenlik	<ul style="list-style-type: none"> • 3 nokta emniyet kemeri • Çift hava yastığı

Şekil 4. QFD değerlendirmesi neticesinde öne çıkan fikirler (Prominent ideas after QFD assessment)

Kalite fonksiyon göçerimi metodu ile seçilen fikirlere uygun olarak endüstriyel tasarımcılar tarafından kişiye özel ayarlar yapılabilen, konfor ve güvenlik odaklı yeni stil tasarımları Şekil 5’de gösterilmektedir. Koltuğa adapte edilen ilave fonksiyonlara ilişkin detaylara aşağıda yer verilmiştir.

2.1. Dönme mekanizması (Rotating mechanism)

Araç kullanıcılarının konforunu, iletişimini ve serbestliğini arttırabilmek amacıyla ön koltukların arkaya dönmesi kullanıcılar tarafından tercih edilmektedir [4]. Dolayısıyla, bu işlevi gerçekleştirmek üzere, dönme (swivel) mekanizmasının gerekliliği ortaya çıkmıştır. Dönme mekanizması, koltuğun ileri ve geri hareketini sağlayan kızak mekanizması üzerine konumlandırılmıştır. Tasarımı yapılan dönme mekanizması, 2 metal plaka, dönmeyi sağlayan bilyalar, hareketi veren motor ile bağlantı elemanlarından oluşmaktadır. Çarpışma sırasında koltuğa gelen yüklere karşı dayanım ve mekanizmanın kilitlenmesini sağlamak amacıyla dönme mekanizması plakaları üzerine kancalar ilave edilmiştir. Şekil 6’da dönme mekanizmasına ait tasarımın ve koltuk içerisindeki yerleşiminin izometrik görünümü, mekanizma elemanları ve prototipi gösterilmektedir.



Şekil 6. Dönme mekanizması tasarımı (Swivel mechanism design)



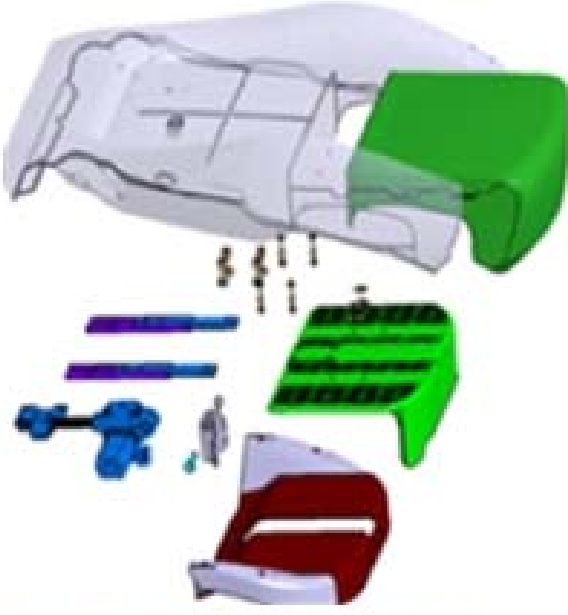
Şekil 5. Ön koltuk stil tasarım çalışmaları (Front seat styling)

2.2. Bacak destek sistemi (Leg support system)

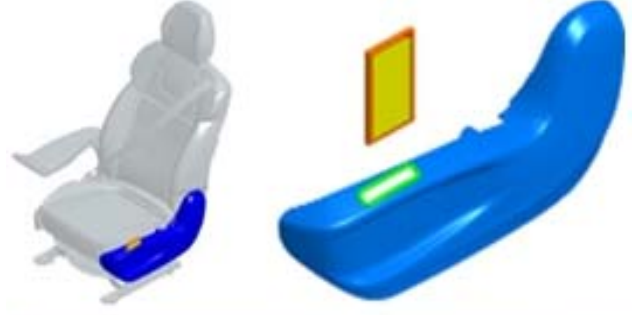
Koltuğun oturak bölgesinin uzatılmasını temel alan, kullanıcılara dinlenme sırasında ekstra konfor sağlamak üzere tasarlanan bacak destek sistemine ait tasarım ve prototip Şekil 7'de görülmektedir. Koltuğun oturak bölgesinin 6 cm kadar uzamasını sağlamaktadır. Tasarım yapılan mekanizma, plastik destek parçası, bağlantı elemanları ve hareketi veren bir motordan oluşmaktadır. Koltuğun oturak parçasına monte edilmektedir.

2.3. Entegre kablosuz şarj ünitesi (Integrated wireless charging unit)

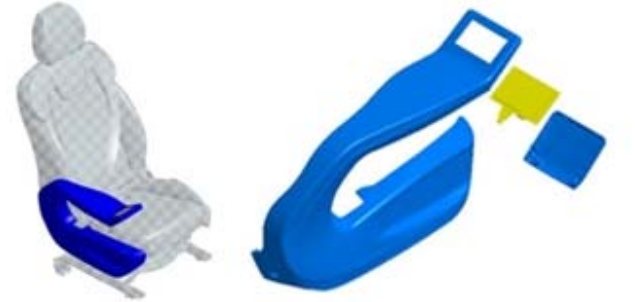
Kullanıcılar, standart araçlardan farklı olarak arkaya dönebileceklerinden dolayı, ön panelde yer alan fonksiyonların koltuk üzerinde olması gerekmektedir. Hali hazırda, lüks sınıf araçlarda, ön veya orta konsol üzerinde bulunan kablosuz şarj ünitesinin, koltuk yan plastiği üzerine entegre edilmesinin mümkün olabileceği düşünülmüştür. Bu amaçla gerçekleştirilen stil tasarım sonrasında ortaya çıkan kablosuz şarj ünitesi içeren koltuk yan plastiği modeli ve prototipi Şekil 8'de gösterilmektedir.



Şekil 7. Bacak destek sistemi tasarımı (Design of leg support system)



Şekil 8. Kablosuz şarj ünitesi tasarımı (Design of wireless charging unit)



Şekil 9. Dokunmatik ekranlı kolçak tasarımı (Design of touchscreen armrest)

2.4. Entegre dokunmatik panel (Integrated touch panel)

Otonom araçlar için geliştirilen koltuğun dönme özelliği ile birlikte, ön panelden, direksiyondan ya da kapı panelinden yapılan koltuk ayarları, hafızaya alma, medya merkezi ve ses sistemi kontrolünün koltuk üzerinden yapılması gerekecektir. Bu amaçla, tüm kontrollerin yapılabileceği dokunmatik bir panel geliştirilerek bu ihtiyaçların karşılanabileceği düşünülmüştür. Kullanıcıya, kendine özel ayar yapabilmeye imkânı verilmesi (kişiselleştirme) son yılların en önemli trendlerindedir. Koltuğun ilgili ayarları

hafızasına alarak kaydetmesi de bu açıdan önem teşkil etmektedir. Kullanım kolaylığı ve ergonomi göz önünde bulundurulduğunda, koltuk üzerinde en uygun kısmın koltuk kolçağı olduğu tespit edilmiştir. Otonom araçlar için dokunmatik ekran entegre edilmiş kolçak CAD tasarımı ile prototip parçaları Şekil 9'da gösterilmiştir.

Dokunmatik panel olarak, Şekil 10a'da gösterilen, üzerinde 4,3 inç büyüklüğünde kapasitif dokunmatik ekran bulunan STM32F746 Discovery Geliştirme Kartı kullanılmıştır. Ekran ara yüzleri ise TouchGFX Designer programı kullanılarak hazırlanmıştır. Dokunmatik ekrandan gelen komutları ve motorlardan gelen pozisyon bilgisini değerlendirip motorlara gereken çıkışı vermesini sağlayan Şekil 10b'de gösterilen koltuk kontrol ünitesi, STM32F407 discovery geliştirme kiti, VNH3SP30 motor sürücülere ve MP1584 DC-DC step-down voltaj regülatörleri kullanılarak oluşturulmuştur. Kontrol ünitesinin yazılımı Keil derleyicisinde C++ dili kullanılarak hazırlanmıştır.



Şekil 10. Dokunmatik panel (a) ve koltuk kontrol ünitesi (b) (Touch panel (a) and seat control unit (b))



Şekil 11. Dokunmatik ekran kullanıcı ara yüz tasarımı (Design of touch screen user interface)

Şekil 11'de gösterilen dokunmatik ekran ara yüz yazılımı ile koltuk üzerinde bulunan 6 adet motor ileri-geri hareket ettirilmekte ve hareketi esnasında motorlarda bulunan hall-effect sensörlerden gelen veriler işlenerek pozisyon bilgisi elde edilmektedir. Bu sayede, kullanıcılar, uygun olan koltuk pozisyonunu 3 farklı hafıza seçeneğine kaydedebilmektedir. Gerekliğinde, 3 farklı hafıza seçeneğinden biri seçilerek, koltuk konumu otomatik olarak istenilen pozisyona gitmektedir.

1448

2.5. Güvenlik (Safety)

Standart araçlarda bulunan üç nokta emniyet kemerinin, iki noktası araç üzerinde, bir noktası ise koltukta bulunmaktadır. Bu çalışmada, otonom araçlar için tasarlanan ön koltuğun dönme işlevini gerçekleştirebilmesi için üç noktanın da koltuk üzerinde bulunması gerekmektedir (Şekil 12). Bu zorunluluk koltuğun, standart olarak yapılan çarpışma testinde karşılaması gereken yükleri doğrudan etkilemektedir. Otonom araç için geliştirilen koltukta, çarpışma sırasında emniyet kemerinden gelen yükleri doğrudan koltuğun karşılaması gerekmektedir. Bu nedenle, malzeme ve tasarımın, standart araç koltuklarına göre önemli derecede iyileştirilmesi gerekmektedir. Buna ek olarak, koltuğun 180° arkaya döndüğü yeni pozisyonu için artırılmış güvenlik gereklilikleri ortaya çıkmaktadır. Koltuğun yeni pozisyonu göz önünde bulundurulduğunda, güvenlik gerekliliklerini karşılamak üzere çift yan hava yastığı zorunlu hale gelecektir. Standart araçlarda, koltuk ön pozisyondayken, kullanıcıyı yandan çarpmalarda korumak üzere, koltuğun kapıya yakın tarafında yan hava yastığı bulunmaktadır. Opsiyonel olarak, çift yan hava yastığı bulunabilmektedir. Otonom araçlar için geliştirdiğimiz yeni koltuklar arkaya döndüğünde çift yan hava yastığı kullanımı gerekecektir.



Şekil 12. Üç nokta emniyet kemerli koltuk tasarımı (Seat design with the three-point seat belt)

Otonom araç ön koltuğunun geliştirilmesi sürecinde, tasarımı iyileştirmek ve çarpışma güvenliği standartlarına uygunluğunu doğrulamak üzere sonlu elemanlar analizi yöntemi kullanılmıştır. Otonom araçlar için regülasyonlar ve NCAP şartnameleri henüz çalışma aşamasında olması nedeniyle, güvenlik açısından koltuk değerlendirilirken, konvansiyonel araç koltukları için kullanılan şartnameler (FMVSS 208 - FMVSS 301) göz önünde bulundurulmuştur. Koltuğun dönme özelliği sebebiyle, önden çarpma testi simülasyonu, koltuğun öne ve arkaya baktığı (0° ve 180°) konumları için ayrı ayrı yapılmıştır. Emniyet kemeri bağlantı bölgeleri dayanımının yeterliliğini değerlendirmek için UNECE R14 regülasyonu kullanılmıştır. Otonom araçlar

için geliştirilen ön koltuk prototipi Şekil 13'de gösterilmektedir.

Otonom araç için geliştirilen ön koltuğun ilave yeni fonksiyonlarının kullanım ömrü boyunca dayanımını test etmek üzere FIAT 7.N5320 standardına göre araca giriş-çıkış testi yapılmıştır. Bu test, araca binip inmeyi simüle edecek şekilde programlanmış robot yardımıyla, 18000 çevrim olacak şekilde yapılmaktadır. Test sonucunda koltukta oluşabilecek deformasyonlar gözlenmektedir.

İlaveten, sürüş sırasında yoldan gelen titreşimlerin koltuk kaynaklı ses oluşumuna etkisi ve bu seslerin kullanıcıya verdiği rahatsızlığı tespit etmek üzere FIAT 7.N5181 ve FCA 7.N5182 standartlarına göre akustik testleri de yapılmıştır.

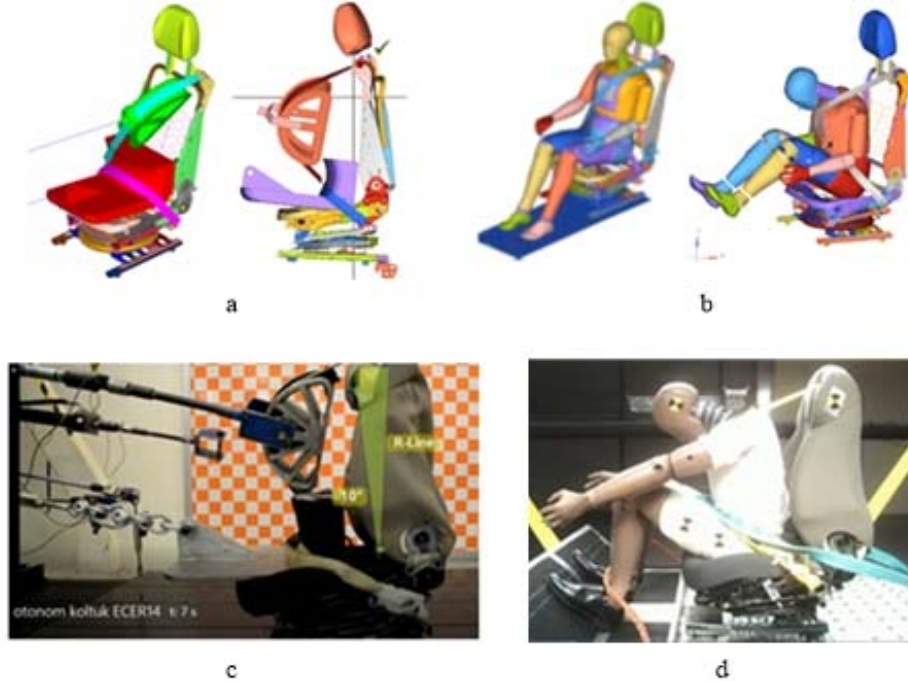
3. ANALİZ VE TEST SONUÇLARI (ANALYSIS AND TEST RESULTS)

3.1. Emniyet Kemer Çekme ve Çarpışma Testleri (Seat Belt Tensile and Crash Tests)

Bu aşamada, M1 araç sınıfı olarak adlandırılan sürücü dahil en fazla dokuz oturma yeri olan araçlar için kullanılan şartnameler kullanılmıştır. Emniyet kemer bağlantılarının dayanımı için ilgili regülasyon olan UNECE R14 regülasyonunda uygulanan emniyet kemer yükleri 13,500N'dur. Gerçekleştirilen test sonrası, video analiz yöntemi ile koltuğun 0. ve 7. saniyesindeki emniyet kemer efektif noktasının yer değişimi takip edilmiştir. Regülasyonun gerektirdiği "R-line"dan 10° eğimli bir düzlemi geçmediği ve gerekli şartı sağladığı gözlemlenmiştir. Önden çarpma (FMVSS 208)



Şekil 13. Otonom sürüş için geliştirilen ön koltuk prototipi (The front seat prototype developed for autonomous driving)



Şekil 14. Emniyet kemer analizleri: Çekme analizi (a), çarpışma analizi (b), çekme testi video analizi (c), önden çarpışma testi (d) (Seat belt analysis: Tensile analysis (a), crash analysis (b), crash test video analysis (c), forward facing crash analysis (d))

şartnamesinde, NCAP çarpışma testlerini simüle etmek için 56 km/s hızla bariyer çarpma testi simülasyonu ve testi koltuğun öne ve arkaya (0° ve 180°) baktığı pozisyonlar için %50'lik test mankeni ile ayrı ayrı yapılmıştır. Tasarım süresince yapılan sonlu elemanlar analizi çalışmaları ile tasarımda iyileştirilmesi gereken bölgeler incelenmiş ve gerekli önlemler alınarak ilgili şartnamelerin gereklerine uyan nihai ürün tasarımı elde edilmiştir (Şekil 14). Standart araçlarda arkadan çarpma (FMVSS 301) sonrasında koltuğa gelen ivmeler önden çarpma ivmesine göre daha düşüktür. Bu sebeple daha ağır koşullarda yapılan önden çarpma analizleri yeterli olmuştur.

3.2. Giriş-Çıkış Testleri (Entry-Exit Tests)

Araca giriş çıkış sırasında koltukta oluşan deformasyon ve fonksiyon kayıplarını tespit etmek üzere FIAT 7.N5320 şartnamesine göre yapılmış robotlu testtir. Robot, kişinin araca girişi çıkışını, robot üzerindeki aşındırıcı bez ise kişinin kıyafetlerini simüle eder. Test 18000 çevrimdir. Test öncesi, sırası ve sonrası görüntüleri Şekil 15'te verilmiştir. Test sonrasında fonksiyonel kayıp olmamıştır. Test sonucu başarılıdır.

3.3. Akustik Testleri (Acoustic Tests)

İki farklı akustik testi gerçekleştirilmiştir. Birincisi, koltuğun kullanımı sırasında koltuk sünger ya da iskeletinden gelen ses seviyesinin tespit edilmesi amacıyla, ikincisi ise koltuk ayarı yaparken, yani koltuk mekanizmalarının kullanımı

sırasında çıkan ses seviyesinin tespit edilmesi amacıyla yapılmıştır.

3.3.1. FIAT 7.N5181 akustik testi (FIAT 7.N5181 acoustic test)

Bu test, koltuğun farklı bölgelerine dinamometre yardımıyla belirli yük uygulandığında çıkan gürültü seviyesinin belirlenmesi amacıyla akustik odada yapılır. Bu testin gerçekleştirilmesi sırasında koltuğun farklı yerlerine yük uygulanır. Test sırasında çekilmiş fotoğraflardan örnekler Şekil 16'da verilmiştir.

Test sonucunda, sırt ve oturak için yapılan ölçümlerden maksimum olanı raporlanmaktadır. Otonom araç için ön koltuk projesinde, sırt ve oturak için maksimum değer 27 dB olarak ölçülmüştür. Ölçüm Grafiği Şekil 17'de verilmiştir. Test sonucu subjektif olarak, SAE değerlendirme skalası ile değerlendirilmektedir. Test sonucunun subjektif değerlendirmesi, 10 üzerinden 8 puan alarak, "kabul edilebilir" bulunmuş ve "iyi" olarak değerlendirilmiştir.

3.3.2. FIAT 7.N5182 akustik testi (FIAT 7.N5182 acoustic test)

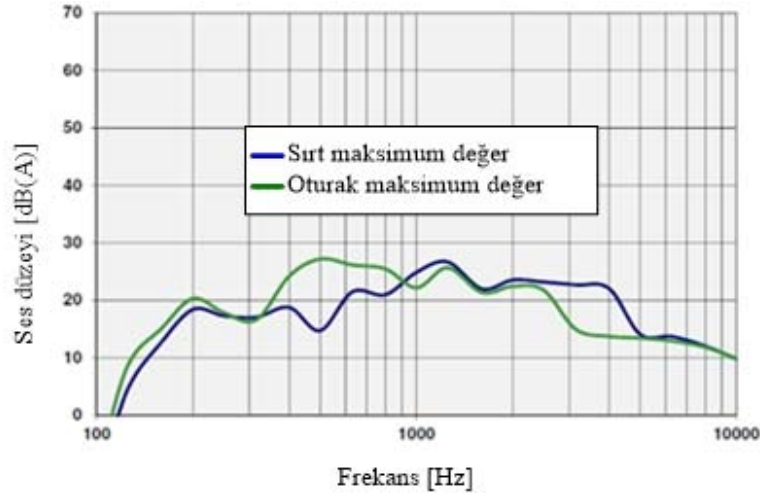
Koltuk üzerinde bulunan mekanizmaların çalışması sırasında çıkan gürültü seviyesinin ölçülmesi amacıyla akustik odada gerçekleştirilen testtir. Koltuk üzerinde kızak, yükseklik ayar, sırt yatırma, swivel, lumbar ve baldır destek olmak üzere 6 farklı mekanizma bulunmaktadır. Bu test, tüm mekanizmalar için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçlarına ilişkin Şekil 18'de verilen grafikten de görüleceği üzere değerler limit değer olan 40 dB(A)'in altındadır. Tüm mekanizmalar için test sonucu başarılıdır.



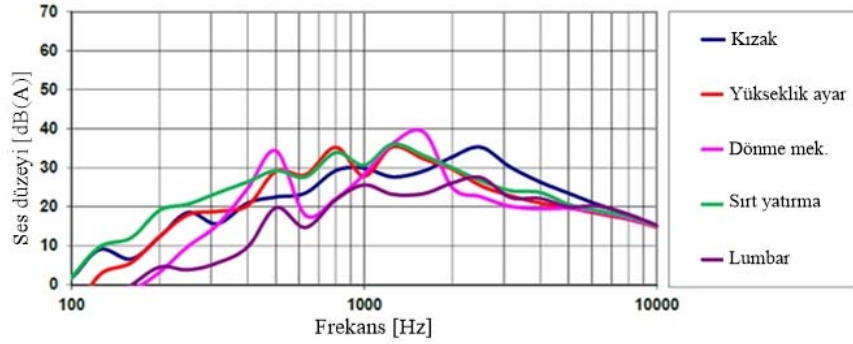
Şekil 15. FIAT 7.N5320 giriş-çıkış testi öncesi (a), sırası (b: 10800 tur) ve sonrası (c: 18000 tur) görüntüleri (Views from the FIAT 7.N5320 entry-exit tests; (a: before tests), during (b: 10800-cycle), and after (c: 18000-cycle))



Şekil 16. FIAT 7.N5181 Akustik testi görüntüleri (Views from the FIAT 7.N5320 acoustic tests)



Şekil 17. FIAT 7.N5181 Akustik testi (FIAT 7.N5181 Acoustic test)



Şekil 18. FCA 7.N5182 Akustik testi (FIAT 7.N5182 Acoustic test)

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

İncelenen trendler ve OEM stratejileri, ileri ve tam otonom araçlar konusunda çalışmaların yoğun bir şekilde devam ettiğini göstermektedir. Aracın sürücüye verdiği serbestlik ile birlikte müşteri ihtiyaçlarının standart araçlardan farklı olacağı ve beklentilerinin artacağı öngörülmektedir. Otonom araçlarda kullanılacak ön koltuklara doğru fonksiyonların adaptasyonu için doğru kararların alınması, yeni ürün geliştirme sürecinde müşteri ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla etkili bir yöntem olan kalite fonksiyon göçerimi (QFD - Quality Function Deployment) ile sağlanmıştır. Literatürde ön koltuk geliştirilmesi için QFD kullanımı ile ilgili çalışmalar bulunmakla birlikte ([17]) henüz otonom araçlar için gerçekleştirilmiş bir sistematik ürün geliştirme vakası yazarların en iyi bilgisine göre bulunmamaktadır. Bu yönüyle, gerçekleştirilen çalışma yenilik içermekte ve gerçek bir vakayı konu edinmektedir. Özellikle, üzerinde çalışılan konu itibarıyla, son kullanıcı deneyimi henüz olgunlaşmadığı için “öncü kullanıcılar” ve alanın uzmanlarından oluşan bir ekip ile birlikte beklentiler belirlenmiş ve değerlendirilmiştir.

Belirlenen fikirlere uygun olarak endüstriyel tasarımcılar tarafından kişiye özel ayarlar yapılabilen, güvenliği ihmal

etmeyen, konfor odaklı, yeni stil tasarımları yapılmıştır. Sonrasında, CAD tasarımları yapılmış, sonlu elemanlar analizi yöntemi kullanılarak güvenlik şartları doğrulanmış ve prototip imalatı gerçekleştirildikten sonra yorulma ve akustik performansları test edilmiştir. Nihai olarak, otonom araçlarda kullanılacak, özgün tasarımları simülasyon ve testler ile doğrulanmış ön koltuklar geliştirilmiştir. Çalışmanın bulgularının bu nedenle önem arz ettiği düşünülmektedir. Gerçek kullanıcı tecrübesi henüz yeterli düzeyde değildir. Bu nedenle ilerleyen zamanlarda, otonom araçların yaygınlaşması ile kullanıcı tecrübesi ile doğrulanmış müşteri beklentileri üzerine çalışma olanağı da oluşacaktır.

Rekabetin görece daha yoğun yaşandığı otomotiv sektörü için, değişen beklentiler, kişiselleştirme talepleri [18] ve ihtiyaç duyulan yeni fonksiyonların sistematik inovasyon metotları ve süreçleri ile ele alınması oldukça önem arz etmektedir. Tipik bir QFD sürecinin odağını müşteri beklentileri oluşturur. Fonksiyonel müşteri ihtiyaçlarının düşük maliyet ile karşılanma çabası ise Değer Mühendisliği (VE - Value Engineering) literatürünün konusudur. Ürünün maliyetini de gözeterek müşteri beklentilerini en iyi şekilde karşılama çabası, bu iki farklı yaklaşımın birbirini tamamlaması ve bu nedenle de bütünlük yaklaşımının geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Rekabetin yoğun olarak

ürün maliyeti üzerinden şekillendiği otomotiv sektörü için bu bütünlük yaklaşım (QFD-VE yaklaşımları [19]) gelecek çalışmaların konusu olabilir. Gelecek çalışmalar, otomotivin diğer kritik iç aksamlarını da otonom sürüşe uygun hale getirebilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma TÜBİTAK TEYDEB 1501 programı kapsamında 3171072 proje kodu ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. SAE, Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles (Surface Vehicle Recommended Practice: superseding J3016 Jun 2018), SAE International, 2018.
2. Yetim S., Sürücüsüz araçlar ve getirdiği / getireceği hukuki sorunlar, Ankara Barosu Dergisi, 1, 125-184, 2016.
3. Singh S., Critical reasons for crashes investigated in the national motor vehicle crash causation survey, Washington, Dc, USA, Tech. Rep. DOT HS 812 115, 2015.
4. Maashoff A., Improving the experience of a world in motion, Innovative Seating Congress, Dusseldorf, 2017.
5. Crayton T. J., Meier B. M., Autonomous vehicles: Developing a public health research agenda to frame the future of transportation policy, J. Transp. Health 6, 245–252, 2017.
6. Montgomery W. D., Mudge R., Groshen E. L., Helper S., MacDuffie J. P., Carson C., America's workforce and the self-driving future: Realizing productivity gains and spurring economic growth, Securing America's Future Energy, Washington DC, USA, Technical Report, 2018.
7. Bellem H., Thiel B., Schrauf M., Krems J.F., Comfort in automated driving: an analysis of preferences for different automated driving styles and their dependence on personality traits, Transport. Res. F Traffic Psychol. Behav. 55, 90–100, 2018.
8. Beggiato M., Hartwich F., Krems J., Physiological correlates of discomfort in automated driving, Transport. Res. F Traffic Psychol. Behav. 66, 445–458, 2019.
9. Sun X., Cao S., Tang P., Shaping driver-vehicle interaction in autonomous vehicles: How the new in-vehicle systems match the human needs, Applied Ergonomics 90, 103238, 2021.
10. Sauer V., Mertens A., Groß S., Heitland J., Nitsch V., Designing automated vehicle interiors for different cultures: Evidence from China, Germany, and the United States, Ergonomics in Design, 1-7, 2020.
11. Turgut O., An interior proposal for a future shared autonomous car within urban cities, Delft University of Technology, Industrial Design Engineering, Master Thesis, 2018.
12. Jorlov S., Defining and evaluating new load cases in autonomous cars, Chalmers University of Technology, Applied Mechanics Department, Master Thesis, 2016.
13. Klapper S., Automotive seating component market trends - A global overview, 13. International Conference on Innovative Seating, Dusseldorf, 2018.
14. Yu C. H., Chen C. K., Chen W. H., Chang H. C., Developing a revised QFD technique to meet the needs of multiple-customer groups: a case of public policy analysis, Total Quality Management & Business Excellence 23 (11-12), 1413-1431, 2012.
15. Rajesh G., Malliga P., Supplier selection based on AHP QFD methodology, Procedia Engineering 64, 1283-1292, 2013.
16. Oliveira L.M.V., Santos H.F., Almeida M.R., Costa J.A.F., Quality Function Deployment and Analytic Hierarchy Process: A literature review of their joint application, Concurrent Engineering: Research and Applications, 1-14, 2020.
17. Fahma F., Iftadi I., Putri N.A., Customer requirement analysis of driver's seat design using quality function deployment (QFD) case study: City Car, ICEVT & ICIMECE 2015 – Joint International Conference on Electric Vehicular Technology and Industrial, Mechanical, Electrical and Chemical Engineering, 2015, 173-177, 2015.
18. Doğruyol Z., Güner S., Examining the impact of product variety on design, supply, and production processes using system dynamics approach, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 36 (3), 1185-1198, 2021.
19. Ginting R., Satrio M.R., Integration of quality function deployment (QFD) and value engineering in improving the quality of product: A literature review. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1003 012002, 2020.