TÜRKİYE CUMHURİYETİ'NİN YÜZÜNCÜ YIL

Otomotiv Mühendisliğinde Yenilikçi Teknolojiler, Performans Çözümleri ve Geleceğin Sistemleri

Editör
Hasan Köten

BİDGE

BİDGE Yayınları

Otomotiv Mühendisliğinde Yenilikçi Teknolojiler, Performans Çözümleri ve Geleceğin Sistemleri

Editör: Prof. Dr. Hasan Köten

ISBN: 978-625-372-587-7

1. Baskı
Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL
Yayınlama Tarihi: 25.12.2024
BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374
Yayın hakları © BİDGE Yayınları
www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com
Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.
Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya / Ankara

İçindekiler

Zorlu Su Geçişlerinde Askeri Araç Performans Testi ve Teknik Çözümleri 5

Yunus AYAZSEVEN 5

Askeri Araçlarda RunFlat Sistemi ve Performansı 18

Yunus AYAZSEVEN 18

Autonomous Vehicles: Systems, Technologies and Sensors 34

Gökhan ÖZTÜRK 34

Selahattin Barış ÇELEBİ 34

Ömer Ali KARAMAN 34

Araç Motoru Soğutma Performans Testlerinde Termostat Müdahalesinin Etkisi 82

Bekir Samed ŞAHİN 82

Askeri Bir Araç Üstyapısında Yüksek Sıcaklık Etkisinin Gözlemlenmesine Yönelik Prosedürsel Yaklaşımlar 97

Esra GÜL GÜRBÜZ 97

Structural Integrity and Fatigue Resistance of High-Pressure Closure Systems: A Study Based on ASME Sec VIII Div.2 120

İbrahim Kerem KOYUNCUOĞLU 120

Savunma Sanayii Prototip Araç İmalat Süreçlerinde Çevik Proje Yönetim ve Çevik Üretim Metodolojisi 178

İbrahim Kerem KOYUNCUOĞLU 178

Otonom Sürüş Sistemleri ve Askeri Lojistik Araçlarına Uygulanması 210

Mustafa Akay SARIOĞLAN 210

Korelasyon Katsayılarının İçten Yanmalı Motor Araştırmalarında Kullanımı, Önemi ve Güncel Çalışmalar 238

Mustafa Deniz ALTINKURT 238
Sac Metal Şekillendirme Prosesleri 251
Umut Fırat ŞAHİN 251
Hakkı ÖZER 251
Eslem ŞAHİN 251
Hidrojen Yakıt Pilli Elektrikli Araçların CO_2 Salınımı Açısından İncelenmesi 278
Mustafa ÇAVLI 278
Eylem YILMAZ ULU 278

BÖLÜM I

Zorlu Su Geçişlerinde Askeri Araç Performans Testi ve Teknik Çözümleri

Yunus AYAZSEVEN[1]

Giriş

Askeri araçlar, zorlu ve değişken çevresel koşullarda yüksek performans göstermek üzere tasarlanmıştır. Bu araçların dayanıklılığı ve güvenilirliği, savaş ve barış dönemlerinde stratejik başarı açısından büyük önem taşır. Sudan geçme testi, bu araçların doğal su engellerini geçebilme yeteneklerini değerlendiren temel bir dayanıklılık testidir. (Smith ve Brown, 2019). Su engelleri, askeri operasyonlarda sıklıkla karşılaşılan ve araçların görev başarısını doğrudan etkileyen unsurlardır.

Tasarım Kalite Uzmanı, Koluman Otomotiv Endüstri A.Ş., Mersin/TÜRKİYE, yunus.ayazseven@koluman.com, ORCID ID: 0009-0009-1908-3989[1]

Bu test sırasında araçlar, belirli bir derinlikteki suya girip çıkarak motor, elektronik sistemler, aks ve şasi gibi bileşenlerin performansı gözlemlenir. Sudan geçme, sadece basit bir fiziksel engel aşımı değil, aynı zamanda araçların tasarımının ve üretim süreçlerinin kapsamlı bir testidir. Örneğin, motorun su çekmesini engellemek için hava emiş noktalarının doğru şekilde yükseltilmesi gerekir. Elektronik sistemlerin suya dayanıklı yapılarak, IP67 ve IP68 koruma sınıflarına uygunluğu sağlanmalıdır (Brown ve arkadaşları, 2020).

Sudan geçme testleri, aracın havuza giriş ve çıkış açılarında ön ve arka kısımlarının su ile daha fazla temas etmesi nedeniyle ayrı bir zorluk oluşturur. Bu nedenle, giriş-çıkış sırasında oluşabilecek aşırı basınç ve su sızdırma risklerini azaltacak özel tasarım önlemleri alınmalıdır (Wilson ve Green, 2021). Aks sistemlerindeki havalandırmaların suyun ulaşamayacağı yükseklikte konumlandırılması, yağ ile su karışımını engellemek adına kritik bir gerekliliktir (Military Engineering Review, 2019).. Aks sistemlerindeki havalandırmaların suyun ulaşamayacağı yükseklikte konumlandırılması, yağ ile su karışımını engellemek adına kritik bir gerekliliktir.

NATO aktarma prizlerinin su altında işlevselliğini koruyup koruyamadığı ve test öncesi ve sonrası yağ analizlerinin yapılması, araç performansını doğrulayan diğer önemli adımlardır. Sudan geçme sırasında su sızdırmazlığı sağlanan elektronik sistemlerin, test öncesinde suyun temas edemeyeceği bir konuma alınması gerekliliği de dikkat çekmektedir.

Fotoğraf 1 Sudan Geçme Testi

Kaynak: https://www.landrover.com.tr/explore-land-rover/one-life-blog/teknolojiler/sudan-gecme

Bu makale, sudan geçme testinin teknik boyutlarını ele alarak, askeri araçlarda güvenlik ve dayanıklılık gerekliliklerinin nasıl karşılanabileceğini tartışmayı amaçlamaktadır. Aynı zamanda test sonrası elde edilen verilerle araçların tasarımının nasıl optimize edilebileceği üzerinde durulmuştur. Bu doğrultuda, askeri operasyonlarda kritik rol oynayan araçların, sudan geçme gibi zorlu koşullarda bile güvenilir bir şekilde çalışmasının sağlanması hedeflenmiştir.

Yöntem

Araştırma ve Bulgular

Sudan geçme testleri, askeri araçların zorlu su engellerine karşı dayanıklılığını ve işlevselliğini ölçmek için kapsamlı bir şekilde uygulanmaktadır. Bu testler, araç tasarımının her yönünü

değerlendiren ve mühendislik süreçlerine önemli bilgiler sağlayan bir platform sunar. Araştırmalar, sudan geçme sırasında karşılaşılan sorunları tespit ederek bu sorunlara yönelik çözümleri belirlemek için yürütülmüştür. Bulgular, sudan geçme testinin farklı aşamalarını ve bu süreçte karşılaşılan teknik zorlukları ele almaktadır. Aşağıda bulunan tabloda bazı araştırmalar yer almaktadır. (Defence Technology Journal, 2021).

Tablo 1: Araştırma ve Bulgular Tablosu

NATO Aktarma Prizlerinin Testi
Yağ Numunelerinin Analizi
Havuz Derinliği ve Hava Emiş Noktalarının Yükseltilmesi
Elektronik Alt Sistemlerin Su Yalıtımı ve Kontrolü
Aks Sistemlerindeki Havalandırmaların Konumlandırılması
NATO Aktarma Prizlerinin Testi
Yağ Numunelerinin Analizi
Elektronik Sistemlerin Konumlandırılması
Havuza Giriş-Çıkış Açılarının Etkisi
Su Altında Basınç ve Dinamik Etkilerin İncelenmesi

Havuz Derinliği ve Hava Emiş Noktalarının Yükseltilmesi

Sudan geçme testleri sırasında araçların motor performansını sürdürebilmesi, hava emiş sistemlerinin su girişine karşı korunmasıyla doğrudan ilişkilidir. Araçların, belirli bir derinlikteki suya girip çıkarken motorlarının çalışmasını devam ettirebilmesi için hava emiş noktalarının uygun bir şekilde konumlandırılması gereklidir. Geleneksel olarak kullanılan snorkel sistemleri, motorun

temiz hava almasını sağlayarak sudan geçiş sırasında suyun motora girmesini engeller. Ancak, testler göstermiştir ki, snorkel sistemlerinin yetersiz tasarımı veya yanlış konumlandırılması, motorun su çekmesine ve ciddi mekanik hasarlara yol açabilir. Bu nedenle, hava emiş sistemlerinin tasarımı sırasında suyun dinamik etkileri ve araç hareketi dikkate alınmalıdır.

Elektronik Alt Sistemlerin Su Yalıtımı ve Kontrolü

Modern askeri araçlar, kapsamlı elektronik sistemlerle donatılmıştır. Bu sistemler, aracın işlevselliği için kritik öneme sahiptir. Sudan geçme testleri, elektronik bileşenlerin suya karşı dayanıklılığını değerlendirmek için önemli bir fırsat sunar. Özellikle bağlantı noktalarındaki sızdırmazlık, elektronik sistemlerin güvenilirliğini doğrudan etkiler. Araştırmalar, su sızdırmazlıkta ortaya çıkan eksikliklerin uzun vadede sistem arızalarına ve güvenlik risklerine yol açabileceğini göstermiştir. Bu nedenle, testler sırasında olası sızıntıların tespit edilmesi ve giderilmesi büyük önem taşır.

Aks Sistemlerindeki Havalandırmaların Konumlandırılması

Araştırmalar, aks sistemlerindeki havalandırmaların su geçiş testleri sırasında kritik bir rol oynadığını ortaya koymuştur. Havalandırma noktalarının doğru şekilde konumlandırılması, suyun aks yağlarına karışmasını engeller. Düşük seviyede konumlandırılmış havalandırmalar, suyun aks içine girerek yağ ile karışmasına neden olabilir. Bu durum, mekanik bileşenlerin aşınmasını hızlandırarak bakım maliyetlerini artırır. Sudan geçme testlerinde, havalandırma noktalarının yüksek konumlandırılması ve su sızdırmazlık önlemlerinin alınması gerektiği belirlenmiştir.

NATO Aktarma Prizlerinin Testi

NATO aktarma prizleri, askeri araçlar arasında elektrik aktarımını sağlamak için kullanılan kritik bileşenlerdir. Sudan geçme testleri sırasında bu prizlerin işlevselliğinin korunması, araçlar arası iletişim ve güç aktarımında sürekliliği sağlamak açısından önemlidir. Araştırmalar, bu prizlerin suya dayanıklılığını değerlendirmiş ve test sonrası işlevsellik kontrollerinin hayati olduğunu göstermiştir. Su sızmalarına karşı dayanıklı tasarımlar, operasyonel güvenliği artırmakta ve arızalardan kaynaklanabilecek riskleri minimize etmektedir.

Yağ Numunelerinin Analizi

Test öncesi ve sonrası alınan yağ numunelerinin analizi, sudan geçme testlerinde sızdırmazlık performansını değerlendirmek için kullanılan önemli bir yöntemdir. Motor, şanzıman ve aks sistemlerinden alınan yağ numuneleri, su sızıntılarının tespiti için laboratuvar ortamında analiz edilmiştir. Araştırmalar, suyun yağ ile karışmasının mekanik bileşenlerde aşınmayı hızlandırdığı ve sistem ömrünü kısalttığını göstermektedir. Bu analizler, sızdırmazlık sistemlerinin yeterliliğini değerlendirmek ve tasarım iyileştirmeleri için veri sağlamak açısından kritik bir role sahiptir.

Elektronik Sistemlerin Konumlandırılması

Sızdırmazlık özelliklerine rağmen, elektronik bileşenlerin sudan etkilenmemesi için test öncesinde konumlarının dikkatli bir şekilde düzenlenmesi gereklidir. Özellikle düşük montaj pozisyonlarında bulunan elektronik sistemlerin, sudan geçiş sırasında yüksek basınca dayanıklılığı değerlendirilmiştir. Araştırmalar, bu bileşenlerin daha yüksek ve korunmuş bir konuma

yerleştirilmesinin, sızdırmazlık sorunlarını minimize ettiğini ve sistem arızalarını önlediğini göstermiştir.

Havuza Giriş-Çıkış Açılarının Etkisi

Sudan geçme testleri sırasında, aracın havuza giriş ve çıkış açılarında ön ve arka kısımlarının suya daha fazla maruz kaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum, sızdırmazlık performansını test eden kritik bir unsurdur. Araştırmalar, araç tasarımında bu bölgelerde ekstra koruma önlemlerinin alınmasının suyun dinamik etkilerine karşı dayanıklılığı artırdığını göstermektedir. Örneğin, giriş ve çıkış açılarında kullanılan malzemelerin suya dayanıklı olması ve ekstra sızdırmazlık tedbirleri, aracın performansını doğrudan etkilemektedir.

Su Altında Basınç ve Dinamik Etkilerin İncelenmesi

Sudan geçme testleri sırasında suyun dinamik etkileri ve basınç faktörü, aracın genel performansını etkileyen önemli unsurlardır. Araştırmalar, su altındaki basıncın mekanik bileşenlere ve sızdırmazlık sistemlerine yük bindirdiğini göstermiştir. Bu durum, özellikle uzun süreli su altı maruziyetinde bileşenlerin dayanıklılığını zorlamaktadır. Sudan geçme testleri, bu etkilerin doğru bir şekilde değerlendirilmesini sağlayarak, mühendislik tasarımlarına doğrudan geri bildirim sunmaktadır.

Araştırma ve Bulguların Önemi

Yapılan araştırmalar, sudan geçme testlerinin askeri araç tasarımı ve üretim süreçlerine katkısını açıkça ortaya koymuştur. Bu testler, araçların sahadaki performansını ve güvenilirliğini artırmak için hayati öneme sahiptir. Sudan geçme testlerinden elde edilen bulgular, araçların tasarımında iyileştirmeler yapılmasına olanak tanır ve bu iyileştirmeler, operasyonel güvenlik ve maliyet etkinliği

açısından önemli avantajlar sağlar. Bu kapsamlı bulgular, yalnızca mevcut sorunları çözmekle kalmaz; aynı zamanda gelecekteki tasarım süreçlerinde de yol gösterici olur.

Kabul Kriterleri

Sudan geçme testlerinde, araçların test sırasında ve sonrasında belirlenen kriterleri karşılaması, başarılı bir performans sergilediklerini doğrulamak açısından kritik önem taşır. Kabul kriterleri, test edilen aracın operasyonel yeterliliğini ve tasarım güvenilirliğini değerlendirmek için belirlenmiştir. Bu kriterler, testlerin sonunda aracın ve alt sistemlerinin herhangi bir arıza veya performans kaybı yaşamadığını doğrulamayı hedefler. Sudan geçme testini başarıyla tamamlamış bir araç, aşağıda bulunan tablodaki gereklilikleri yerine getirmelidir:

Tablo 2: Kabul Kriteri Tablosu

Araç Motor Performansının Korunması
Aydınlatma Donanımının Çalışması
Avadanlık Bölmesinin Su Sızdırmazlığı
Alt Sistemlerde Arıza ve Uyarı Olmaması
Yağ Numunelerinin Temizliği

Araç Motor Performansının Korunması

Araç, sudan geçme testinden sonra motor performansında herhangi bir kayıp veya arıza belirtisi göstermemelidir. Motorun düzgün çalışmaya devam etmesi, hava emiş sistemlerinin ve diğer kritik mekanik bileşenlerin suya karşı dayanıklılığını doğrular.

Aydınlatma Donanımının Çalışması

Araç, test sırasında ve sonrasında aydınlatma donanımlarını sorunsuz şekilde çalıştırabilmeli ve bu sistemlerde suya bağlı herhangi bir arıza görülmemelidir. Aydınlatma donanımlarının su sızdırmazlığı, aracın gece operasyonları veya düşük görüş koşullarında görev başarısını garanti altına alır.

Avadanlık Bölmesinin Su Sızdırmazlığı

Araçta bulunan avadanlık (donanım) bölmesinin suya karşı tamamen korunaklı olması gerekir. Sudan geçme sırasında bu bölmelere su girişinin olmaması, araç içinde saklanan ekipmanların güvenliğini sağlar ve aracın tasarımının zorlu koşullara uygun olduğunu kanıtlar.

Alt Sistemlerde Arıza ve Uyarı Olmaması

Test sonrası araç ve alt sistemlerde (elektronik, mekanik, hidrolik vb.) herhangi bir arıza veya uyarı sinyali gözlenmemelidir. Bu, testin yalnızca ana sistemlerin değil, tüm alt sistemlerin performansını değerlendirdiğini gösterir.

Yağ Numunelerinin Temizliği

Test sonunda, aracın motor, vites kutusu, transfer kutusu ve diferansiyellerinden alınan yağ numunelerinde su karışımı tespit edilmemelidir. Yağ numunelerinin analiz edilmesi, sızdırmazlık sistemlerinin etkinliğini ve bileşenlerin uzun vadeli dayanıklılığını doğrulamak açısından büyük önem taşır.

Kabul Kriterlerinin Önemi

Bu kabul kriterleri, sudan geçme testlerinin araç dayanıklılığını ve operasyonel güvenilirliğini ölçmek için nasıl bir

çerçeve sunduğunu göstermektedir. Testin sonucunda bu kriterlerin karşılanması, aracın zorlu saha koşullarında başarılı bir performans sergileyeceğinin garantisi olarak kabul edilir. Kriterlerin karşılanmaması durumunda, aracın tasarımında ve üretim sürecinde iyileştirmeler yapılması gerektiği anlaşılır. Bu durum, hem mühendislik sürecinde hem de operasyonel kullanımda daha güvenli ve etkili askeri araçların geliştirilmesine olanak tanır.

Sonuç ve Öneriler

Sudan geçme testi, askeri araçların en zorlu çevresel koşullara uyum sağlama kapasitelerini değerlendiren hayati bir süreçtir. Bu test, yalnızca araçların mevcut operasyonel dayanıklılığını ve güvenilirliğini ölçmekle kalmaz; aynı zamanda tasarım ve üretim süreçlerine yönelik önemli geri bildirimler sunar. Sudan geçme testleri sırasında tespit edilen zayıf noktalar, mühendislik tasarımlarını daha dayanıklı, sürdürülebilir ve maliyet etkin hale getirmek için kullanılabilir. Bu testlerden elde edilen sonuçlar, askeri operasyonların başarı oranını doğrudan etkileyen unsurlardan biridir.

Örneğin, motor hava emiş noktalarının doğru konumlandırılması ve snorkel sistemlerinin yeterliliği, sudan geçiş sırasında motorun performansını korumak için kritik öneme sahiptir. Bu tasarım iyileştirmesi, araçların sahada kesintisiz çalışmasını sağlarken, motor arızalarından kaynaklanabilecek operasyonel kayıpları en aza indirir. Benzer şekilde, aks sistemlerinde su sızmasını engellemek için havalandırma noktalarının uygun bir şekilde yükseltilmesi, sadece araç dayanıklılığını artırmakla kalmaz, aynı zamanda uzun vadede bakım maliyetlerini önemli ölçüde

azaltır. Bu tür teknik iyileştirmeler, araçların uzun ömürlü kullanımına katkı sağlar.

Sudan geçme testi, araçların elektronik sistemlerini de kapsamlı bir şekilde değerlendirir. Elektronik bileşenlerin su geçirmezlik performansı, genellikle IP67 veya IP68 standartlarına göre test edilir. Sudan geçme testlerinde belirlenen elektronik bileşenlerin zayıf noktaları, tasarım ve malzeme seçiminde yapılan değişikliklerle giderilebilir. Örneğin, bağlantı noktalarındaki sızdırmazlık eksiklikleri, daha dayanıklı elastomer malzemelerin veya yeni nesil yalıtım teknolojilerinin kullanımıyla çözülebilir. Bu iyileştirmeler, yalnızca operasyonel güvenliği artırmakla kalmaz; aynı zamanda araçların görev başarısını güvence altına alır.

Test sonuçları, mühendislik süreçlerine olduğu kadar maliyet yönetimine de katkıda bulunur. Prototip aşamasında yapılan sudan geçme testleri, üretim sırasında karşılaşılabilecek büyük sorunların önceden tespit edilmesine olanak tanır. Bu, üretim süreçlerini daha verimli hale getirirken, olası hataların neden olabileceği yüksek maliyetleri önler. Örneğin, NATO aktarma prizlerinin sudan geçme testleri sonrası işlevselliğini kaybettiği durumlarda, priz tasarımının iyileştirilmesiyle operasyonel güvenlik ve maliyet etkinliği sağlanabilir.

Sudan geçme testlerinden elde edilen bulgular, yalnızca mevcut araç tasarımlarını geliştirmekle sınırlı değildir. Aynı zamanda bu bulgular, gelecekteki askeri araçların tasarımında yol gösterici bir rol oynar. Hava emiş noktaları, aks havalandırma sistemleri ve elektronik bileşenler gibi kritik unsurlar, bu testlerden elde edilen verilere dayalı olarak optimize edilebilir. Test

sonuçlarının mühendislik süreçlerine entegrasyonu, daha dayanıklı, verimli ve güvenilir araçların üretilmesini sağlar.

Ek olarak, bu testlerin analitik değerlendirmesi, askeri araçlarda yeni teknolojilerin kullanılmasına zemin hazırlar. Örneğin, su geçirmezlik malzemelerindeki ilerlemeler veya elektronik bileşenlerin daha kompakt ve dayanıklı hale getirilmesi gibi yenilikler, sudan geçme testlerinin sonuçları doğrultusunda şekillenebilir. Bu da askeri araçların operasyonel etkinliğini artırırken, lojistik ve bakım süreçlerini kolaylaştırır.

Sonuç olarak, sudan geçme testi, askeri araç tasarımında yalnızca bir kalite kontrol mekanizması değil, aynı zamanda bir inovasyon aracı olarak değerlendirilebilir. Bu testin ortaya koyduğu teknik gereklilikler, savunma sanayisinde daha dayanıklı, güvenilir ve maliyet etkin araçların geliştirilmesine öncülük eder. Gelecekteki mühendislik çalışmalarında, sudan geçme testlerinden elde edilen verilerin sistematik olarak analiz edilmesi ve tasarıma geri bildirim olarak entegre edilmesi, askeri operasyonlarda daha güvenilir ve etkili araçların kullanımını sağlayacaktır. Bu, hem askeri strateji hem de lojistik planlama açısından hayati bir avantaj sunar.

Kaynaklar

Smith, J., & Brown, T. (2019). Military Vehicle Performance Testing: Water Fording Capabilities. Defence Technology Press.

Defence Procurement Journal. (2021). "Waterproofing Challenges in Military Vehicles."

Brown, A., & Johnson, C. (2020). Advanced Military Engineering. Cambridge Defense Press.

Wilson, D., & Green, P. (2021). "Electronic System Sealing in Military Applications." Journal of Advanced Engineering.

Defence Technology Journal. (2021). "Fording Tests and System Reliability."

Taylor, R., & Wilson, S. (2020). "Impact of Water Fording on Mechanical Components." Journal of Military Operations Research.

Military Engineering Review. (2019). "Protective Measures for Axle Systems During Fording."

https://www.landrover.com.tr/explore-land-rover/one-life-blog/teknolojiler/sudan-gecme

BÖLÜM II

Askeri Araçlarda RunFlat Sistemi ve Performansı

Yunus AYAZSEVEN[1]

Giriş

Günümüz otomotiv endüstrisi, hızla gelişen teknolojik yeniliklerle sürüş deneyimini her geçen gün daha güvenli ve konforlu hale getirmeyi hedeflemektedir. Lastikler, bu sürecin kritik bir parçası olup, aracın yolla temasını sağlayan temel unsurlardır. Bununla birlikte, lastik patlamaları, sürücüler için tehlikeli, stresli ve zaman kaybına yol açan durumlar arasında yer alır. Özellikle otoyolda veya zorlu çevresel koşullarda meydana gelen lastik patlamaları, sadece araç içindekiler için değil, çevredeki diğer sürücüler için de ciddi bir risk oluşturabilir (Güzide, & İbrahim, 2022)

Tasarım Kalite Uzmanı, Koluman Otomotiv Endüstri A.Ş., Mersin/TÜRKİYE, yunus.ayazseven@koluman.com, ORCID ID: 0009-0009-1908-3989[1]

Runflat lastik teknolojisi, bu tür sorunlara yenilikçi bir çözüm sunarak otomotiv sektöründe bir devrim niteliği taşımaktadır. Patlama durumunda bile aracın güvenli bir şekilde hareketine devam etmesini sağlayan bu lastikler, sürücülerin lastik değiştirme veya tamir için durmasına gerek kalmadan güvenli bir şekilde en yakın tamir servisine ulaşmalarına olanak tanır. Bu teknoloji, ilk olarak askeri alanda geliştirilen dayanıklı lastiklerin modernize edilmiş bir versiyonudur ve günümüzde spor otomobillerden lüks araçlara kadar geniş bir yelpazede kullanılmaktadır (Cihan, Ulvi, & Ali, 2020)

Runflat lastiklerin önemini anlamak için, lastik patlamalarının yol açabileceği durumları derinlemesine incelemek gereklidir. Sıradan bir lastiğin patlaması, direksiyon hakimiyetinin kaybedilmesi, yol kenarında lastik değiştirme sırasında sürücünün güvenliğini tehlikeye atma gibi çeşitli olumsuzluklara yol açabilir. Öte yandan, runflat lastikler bu riskleri en aza indirerek hem sürüş güvenliğini hem de yolculuk konforunu artırır. Bu nedenle, bu teknoloji yalnızca bireysel sürücüler için değil, aynı zamanda ticari ve acil durum araçları için de büyük bir avantaj sunmaktadır.

Runflat lastikler, artan güvenlik taleplerine yanıt vermekle kalmayıp, aynı zamanda otomobil tasarımında da yeniliklere olanak tanımaktadır. Yedek lastik taşınması gerekliliğini ortadan kaldıran bu sistem, otomobil üreticilerine daha fazla bagaj alanı veya ağırlık tasarrufu sağlayarak yeni tasarım imkanları sunar. Ancak, bu teknolojinin geniş çapta benimsenmesi, maliyet, tamir zorluğu ve uyumluluk gibi faktörlerle sınırlanabilir. Bu bağlamda runflat lastiklerin avantajları, dezavantajları ve gelecekteki gelişim potansiyelinin detaylı bir şekilde ele alınması önemlidir (Pamuk, C. 2018).

Bu kitap, runflat lastik teknolojisinin temel çalışma prensiplerinden, tarihçesine, avantajlarından kullanım kısıtlamalarına kadar kapsamlı bir inceleme sunarak, okuyucuların bu teknolojiyi daha iyi anlamalarını hedeflemektedir. Araştırmalar, günümüzde artan güvenlik ve sürdürülebilirlik gereksinimlerinin bu tür yenilikçi teknolojilere olan talebi artıracağını göstermektedir. Runflat lastikler, sadece bugünün sürüş koşulları için değil, aynı zamanda geleceğin mobilite çözümleri için de önemli bir adım olarak görülmektedir.

Runflat lastik teknolojisinin modern araçlarda kullanımının temelleri, askeri uygulamalara dayanır. Özellikle taktik tekerlekli araçlarda (zırhlı personel taşıyıcılar gibi), lastiklerin dayanıklılığı ve işlevselliği, bir aracın operasyonel başarısı ve personelin güvenliği açısından kritik öneme sahiptir. Zorlu arazi şartlarında ve düşman unsurların tehdit oluşturduğu durumlarda, standart lastiklerin patlaması aracın hareket kabiliyetini sınırlandırabilir, hatta aracı tamamen işlevsiz hale getirebilir. Bu gibi durumlar, hem operasyonel başarısızlığa hem de hayati risklere yol açabilir.

Runflat lastikler, askeri araçların bu tür senaryolarda görevine devam edebilmesi için tasarlanmıştır. Lastik patlamaları veya delinmelerine karşı dayanıklı olan bu teknoloji, taktiksel avantaj sağlar. Güçlendirilmiş yanaklar veya destek halkaları sayesinde, lastik içindeki hava tamamen kaybolsa dahi araç 50 ila 100 km gibi mesafelerde düşük hızda yol alabilir. Bu özellik, askeri araçların güvenli bir bölgeye geri çekilmesine, görevini tamamlamasına veya tamir hizmetine ulaşmasına olanak tanır.

Askeri araçlarda kullanılan runflat sistemleri, yalnızca hava basıncını koruyan yanaklarla sınırlı değildir. Bu araçlarda, genellikle destek halkalı (support ring) runflat sistemleri tercih edilir. Bu sistemde, lastik iç kısmında yer alan sert bir halka, lastiğin yapısal bütünlüğünü koruyarak aracın ağırlığını taşır. Böylece, lastiğin tamamen inmesi durumunda bile aracın sürüş kabiliyeti korunur. Bu teknoloji, özellikle patlayıcı cihazlarla karşılaşma riski olan bölgelerde görev yapan araçlar için hayati öneme sahiptir.

Runflat sistemlerinin askeri araçlarda kullanımındaki bir diğer avantaj, lojistik kolaylıktır. Arazi araçlarında, yedek lastik taşıma kapasitesi sınırlıdır. Runflat teknolojisi, lastik değiştirme gereksinimini ortadan kaldırarak araçta depolama alanını artırır ve lojistik operasyonları sadeleştirir. Bu durum, özellikle hareket kabiliyeti yüksek, hızlı manevralar gerektiren operasyonlarda büyük bir avantaj sağlar (Hutchinson, 2017).

Bu kitabımızda Merkezi Lastik şişirme sisteminin RunFlat sistemi ile ilişkisinden de bahsedilecektir. Central Tire Inflation System (CTIS), yani Merkezi Lastik Şişirme Sistemi, araç lastiklerinin hava basıncını sürüş sırasında otomatik veya manuel olarak ayarlayabilen bir teknolojidir. Bu sistem, farklı yol ve arazi koşullarında aracın performansını, güvenliğini ve yakıt verimliliğini optimize etmek için geliştirilmiştir. CTIS, genellikle ağır ticari araçlar, askeri araçlar, tarım makineleri ve arazi araçlarında yaygın olarak kullanılır.

Runflat Sistemi Çeşitleri

Kendinden Destekli Lastikler (Self-Supporting Tires):

Bu sistemde, lastiğin yan duvarları güçlendirilmiştir. Hava kaybı durumunda, lastiğin yanakları aracın ağırlığını taşımaya devam eder.

Destek Halkalı Sistemler (Support Ring Systems):

Lastik iç kısmında yer alan sert bir halka, hava basıncı tamamen kaybolsa dahi aracın ağırlığını taşır. Bu halkalar genellikle polimer veya metal malzemeden üretilmiştir.

Kullanım Alanları:

Daha çok askeri taktik tekerlekli araçlar, özel hizmet araçları (ambulanslar, itfaiye araçları) ve ağır ticari araçlarda kullanılır. Bu sistem, zorlu arazi koşulları veya düşman tehditleri gibi durumlara dayanıklılık sağlar.

Kendinden Sızdırmaz Lastikler (Self-Sealing Tires):

Lastik iç yüzeyinde bulunan özel bir kaplama, delinme durumunda havanın kaçmasını engeller. Kaplama, delinme bölgesini otomatik olarak kapatır.

Kullanım Alanları:

Hafif ticari araçlar, bazı binek otomobiller ve motosikletler için idealdir. Bu tür lastikler, küçük çiviler veya vidaların neden olduğu delinmelere karşı etkilidir.

Yüksek Basınçlı Yanak Destekli Sistemler (Auxiliary Supported Systems):

Lastiğin yan kısımlarında yer alan ek yapılar, hava kaybı durumunda ağırlığı destekler. Bu sistem, daha çok zorlu arazi koşullarına dayanıklılık sağlamak için tasarlanmıştır.

Kullanım Alanları:

Özellikle tarım makineleri, arazi araçları ve askeri araçlarda kullanılır.

Askeri Araçlarda Merkezi Lastik Şişirme Sistemi (CTIS)

Merkezi Lastik Şişirme Sistemi (CTIS), askeri operasyonlarda araçların performansını ve dayanıklılığını artıran kritik bir teknolojidir. Bu sistem, araç lastiklerinin hava basıncını otomatik olarak düzenleyerek, zorlu koşullarda hareket kabiliyeti sağlar ve askeri personelin güvenliğini artırır.

Askeri Araçlarda CTIS'in Önemi

Hareket Kabiliyeti:

Askeri araçlar genellikle değişken arazi koşullarında çalışır. CTIS, lastik basıncını optimize ederek aracın kum, çamur, kar, kaya ve asfalt gibi farklı zeminlerde hareket etmesine olanak tanır.

Düşük Basınç Modu: Kum veya çamurda lastik basıncı düşürülerek yüzey temas alanı artırılır ve aracın zemine saplanması önlenir.

Yüksek Basınç Modu: Asfalt gibi sert yüzeylerde basınç artırılarak yakıt tasarrufu sağlanır ve lastik aşınması azaltılır.

Manevra Kabiliyeti: Araç, delinmiş bir lastikle dahi güvenli bir bölgeye veya bakım alanına ulaşabilir.

Personel Güvenliği:

Lastik basıncını ayarlamak için aracın durmasına veya mürettebatın araçtan inmesine gerek kalmaz. Bu, düşman saldırısı riski olan bölgelerde personelin güvenliğini artırır.

Taktik Arazi Araçları:

Hafif zırhlı araçlardan ağır yük taşıyan lojistik araçlara kadar birçok taktik araçta CTIS bulunur. Bu sistem, araçların hızla değişen operasyonel gereksinimlere uyum sağlamasına yardımcı olur.

Lojistik Araçlar:

Yakıt ve mühimmat taşıyan kamyonlar gibi lojistik araçlar, yükün etkisine rağmen hareket kabiliyetini korumalıdır. CTIS, bu araçların zorlu arazi şartlarında bile stabil bir şekilde ilerlemesine olanak tanır.

Avantajları

Stratejik Avantaj:

CTIS, askeri operasyonlarda zaman kaybını önleyerek kritik görevlerin başarıyla tamamlanmasını destekler. Örneğin, araçların hızlı hareket etmesi gereken tahliye operasyonlarında büyük kolaylık sağlar. Araçlarda yedek lastik taşınmasını minimize ederek daha fazla yük kapasitesi sağlar. CTIS, lastik ömrünü uzatarak bakım maliyetlerini düşürür.

Dezavantajları

Maliyet:

CTIS, özellikle askeri araçlarda gelişmiş bir sistem olduğu için kurulum maliyetleri yüksektir. Sistem arızalandığında tamir

gereksinimi artabilir. Özellikle çatışma alanlarında sistemin bakımını yapmak zordur.

Araştırma ve Bulgular: Askeri Taktik Tekerlekli Araçlarda RunFlat Sistemi Önemi

Askeri taktik tekerlekli araçlar, güvenlik ve hareket kabiliyeti açısından zorlayıcı koşullarda görev yapmaktadır. Bu araçlar, düşman ateşi, patlayıcı tehditler ve zorlu arazi koşulları altında operasyonlarını sürdürebilmek için özel sistemlere ihtiyaç duyar. Runflat lastikler, bu ihtiyaçlara etkili bir çözüm sunarak, araçların patlama durumunda dahi görevlerine devam etmesine olanak tanır.

Düşman ateşi veya mayınlara maruz kalan araçların lastikleri, CTIS sayesinde basınç kaybına rağmen görevine devam edebilir. Bu, özellikle düşman hatlarının gerisinde kalan araçlar için kritik bir avantajdır. Lastik üzerinde bulunan hasarın büyük olması durumunda CTIS sistemi lastiğe hava dolduramayacaktır. İşte tam bu noktada runflat sisteminin önemi ortaya çıkmaktadır. CTIS sistemi lastiği şişirememesi durumunda, runflat sistemi ile araç kendini güvenli bölgeye kadar üretici firmanın hız belirtisi doğrultusunda gidebilmektedir. Runflat sistemlerinin hayati önemi tamda burda başlamakatadır.

Runflat lastikler, patlama sonrasında aracın belirli bir mesafe ve hız sınırında hareket etmesini sağlayan dayanıklı bir yapıya sahiptir. Askeri araçlarda genellikle destek halkalı runflat sistemleri tercih edilir. Bu sistemlerde, lastik içindeki sert bir halka, hava kaybı durumunda lastiğin yapısal bütünlüğünü korur ve yükün janta iletilmesini sağlar. Bu özellik, aracın tekerlek basıncı tamamen kaybolsa bile 80-100 km mesafeye kadar hareket edebilmesine

olanak tanır. Aşağıda bulunan Fotoğraf 1'de jant çevresine montajlı runflat sistemi yer almaktadır.(Karaman, 2014).

Fotoğraf 1 RunFlat Sistemi

Özellikle Mayına Dayanıklı Pusu Korumalı Araçlar ve Zırhlı Personel Taşıyıcılar gibi araçlarda bu teknoloji yaygın olarak kullanılır. Bu araçlar, patlama riski taşıyan bölgelerdeki operasyonlarda runflat sistemleri sayesinde askerlerin güvenliğini sağlar ve operasyonel başarıyı artırır (Polat Motorlu Araçlar).

RunFlat Sistemlerinin Operasyonel Avantajları

Hareket Kabiliyeti: Hava basıncını tamamen kaybetse bile, araç güvenli bir bölgeye ulaşana kadar hareketine devam edebilir (Euromaster).

Zaman ve Güvenlik: Tehlikeli alanlarda lastik değiştirme gerekliliğini ortadan kaldırarak hem zamanı optimize eder hem de personelin maruz kaldığı riski azaltır (TechWorm).

Lojistik Kolaylık: Yedek lastik taşıma gerekliliğini azaltarak araçlarda daha fazla yük alanı veya operasyonel ekipman için yer açar (Pirelli).

Runflat Testi Amacı ve Kapsamı

Runflat lastiklerin askeri araçlarda kullanılabilmesi için, aracın operasyonel gereksinimlerini karşılayacak dayanıklılık ve performans seviyesine ulaşması gerekir. Özellikle taktik tekerlekli araçlarda bu lastiklerin kritik bir rol oynadığı bilinmektedir. Testlerin temel hedefi, lastiklerin:

- Havasız durumda belirli mesafelerde hareket kabiliyetini sürdürüp sürdüremediğini,
- Patlama, delinme veya aşırı yük durumlarında yapısal bütünlüğünü koruyup koruyamadığını,
- Zorlu çevresel koşullarda (aşırı sıcaklık, zemin çeşitliliği vb.) performansını değerlendirmektir.
- Laboratuvar Testleri: Kontrollü Koşullar Altında Performans Analizi

Laboratuvar ortamında yapılan testler, standart koşullar altında lastiklerin mekanik dayanıklılığını ölçer. Bu testlerden bazıları şunlardır:

Hava Kaybı Simülasyonu

Bu testte, lastiğin tüm hava basıncını kaybettiği durum simüle edilir. Araç, havasız durumda belirli bir yükle laboratuvar pistinde hareket ettirilir. Bu, Runflat destek halkasının veya güçlendirilmiş yanak yapısının işlevselliğini değerlendirir.

Balistik Dayanıklılık Testi

Lastikler, farklı kalibrelerdeki mermilerle veya keskin nesnelerle hedef alınır. Lastiklerin delindikten sonra ne kadar

süreyle kullanılabilir durumda kaldığı ölçülür. Bu test, savaş bölgelerinde araç güvenliğini artırmak için önemlidir.

Isı ve Aşınma Testi

Lastikler, sürtünmeden kaynaklanan ısıya dayanıklılık açısından incelenir. Yüksek sıcaklık altında döndürülen lastiklerin deformasyona uğrayıp uğramadığı gözlemlenir. Ayrıca lastik malzemesinin aşınmaya ne kadar dayanıklı olduğu ölçülür.

Patlayıcı Simülasyonu

Mayın veya el yapımı patlayıcı (IED) etkisi altındaki performans test edilir. Patlama sonrası lastiğin hareket kabiliyeti değerlendirilir. Patlama sırasında oluşan şok dalgalarına dayanıklılık da analiz edilir.

Saha Testleri

Laboratuvar ortamındaki testler, saha testleri ile desteklenir. Bu süreç, gerçek dünyadaki operasyonları simüle eder ve daha kapsamlı bir performans analizi sağlar.

Arazi Testleri

Askeri araçlar genellikle çamur, kum, kar, kayalık ve asfalt gibi farklı zeminlerde çalışmak zorundadır. Saha testlerinde, Runflat lastiklerin bu zeminlerdeki performansı ve dayanıklılığı gözlemlenir. Havasız durumlarda sürüş kabiliyeti incelenerek, aracın kayma, sapma ya da çukurlardan etkilenip etkilenmediği değerlendirilir.

Hız ve Mesafe Testleri

Bu testler, aracın belirli hızlarda ve mesafelerde hareket kabiliyetini ölçer. Örneğin, lastiklerin havasız durumda 50 km hızla 50 km mesafeyi aşabilmesi beklenir. Araç, hem düz hem de engebeli yollarda test edilir.

Balistik ve Patlayıcı Testleri

Saha testlerinde lastiklerin gerçek mühimmat veya kontrollü patlayıcılar altındaki performansı gözlemlenir. Delici mermiler, şarapnel etkileri veya patlayıcıların oluşturduğu şok dalgalarına karşı lastiklerin yapısal bütünlüğü analiz edilir.

Lojistik Performans

Runflat sistemleri, yedek lastik taşıma gerekliliğini azalttığı için araçların yük kapasitelerini artırır. Saha testleri sırasında, bu avantajın operasyonel etkinliğe nasıl katkıda bulunduğu incelenir.

Uzun Süreli Performans Testleri

Lastiklerin zamanla dayanıklılığı ve kullanım ömrü de test edilir. Askeri araçlar, uzun mesafeli sürüşlerde, zorlu iklim koşullarında ve sürekli yük altındaki operasyonlarda test edilerek Runflat sisteminin aşınma ve yıpranma süreci değerlendirilir. Bu testler, lastiklerin toplam maliyet etkinliğini de analiz eder.(Pamuk, Şeker, & Kalyon, 2018)

Gerçek Uygulama Örnekleri

Tekerlekli Askeri Araçlar: Çatışma bölgelerinde, zırhlı araçların sürekli hareket edebilmesi için runflat lastiklerin dayanıklılığı kritik bir öneme sahiptir (Continental).

Runflat sistemleri, yüksek maliyet ve kurulum zorluğu gibi sınırlamalara sahiptir. Ayrıca, bazı sistemlerde sürüş konforunda azalma ve araç süspansiyonuna ek yük oluşturma gibi dezavantajlar görülebilir. Ancak, teknolojideki ilerlemeler sayesinde bu sorunlar giderek daha fazla çözülmektedir (TechWorm ve Arabam.com).

Runflat lastikler, askeri taktik araçların operasyonel kabiliyetlerini artıran ve personel güvenliğini sağlayan kritik bir teknolojidir. Patlama riski taşıyan bölgelerde hareket kabiliyetini

koruyarak operasyonel etkinliği artırır ve lojistik gereksinimleri optimize eder. Continental, Michelin ve Pirelli gibi lider lastik üreticilerinin sağladığı yenilikçi çözümlerle runflat sistemleri, hem askeri hem de sivil araçlarda giderek daha yaygın hale gelmektedir.

Sonuç

Runflat lastik teknolojisi, otomotiv dünyasında ve askeri kullanım alanlarında hem güvenlik hem de işlevsellik açısından devrim yaratan bir yenilik olarak öne çıkmaktadır. Bu teknolojinin temel amacı, lastik patlamalarının yaratabileceği tehlikeleri ve operasyonel aksaklıkları en aza indirirken, araçların hareket kabiliyetini korumaktır. Runflat sistemlerinin yaygınlaşması, sürüş güvenliğini artırmanın yanı sıra araç tasarımında da önemli yeniliklerin kapısını aralamıştır.

Runflat lastikler, hem sivil hem de askeri araçlar için temel güvenlik çözümlerinden biri haline gelmiştir. Standart lastiklerin patlaması, direksiyon hâkimiyetinin kaybı ve yolda kalma gibi risklerle sonuçlanabilir. Ancak runflat lastikler, bu tür riskleri minimize ederek sürücülere ve yolculara güvenli bir seyahat imkânı sunmaktadır. Özellikle askeri taktik tekerlekli araçlarda kullanılan destek halkalı sistemler, lastik tamamen havasız kalsa bile araçların düşük hızlarda belirli bir mesafeyi kat edebilmesine olanak tanır. Bu özellik, mayınlar, el yapımı patlayıcılar (EYP) veya düşman ateşi gibi tehditler altında kritik önem taşımaktadır.

Runflat lastikler, güvenlik dışında performans ve operasyonel süreklilik açısından da ciddi avantajlar sağlamaktadır. Askeri araçlarda, bu teknoloji sayesinde araçlar patlama sonrası hareketsiz kalmadan görevlerine devam edebilir. Zorlu koşullarda faaliyet gösteren bu araçlar için, lojistik destek veya yedek lastik ihtiyacının azalması, operasyonel başarının artırılmasına katkı sağlar.

Runflat lastiklerin sivil araçlarda kullanımı, otomotiv sektöründe güvenlik standartlarını önemli ölçüde yükseltmiştir. Özellikle otoyol gibi yüksek hız gerektiren sürüşlerde, lastik patlamasının yaratabileceği kazaların önlenmesi, bu teknolojinin tercih edilme nedenlerinden biridir. Aynı zamanda yedek lastik taşıma zorunluluğunu ortadan kaldırması, araç tasarımında daha geniş depolama alanları yaratılmasına olanak sağlamış ve ağırlık tasarrufu ile yakıt verimliliğine dolaylı bir katkı sunmuştur.

Runflat teknolojisinin yaygınlaşması, beraberinde bazı zorlukları da getirmiştir. Özellikle yüksek üretim maliyetleri ve tamir edilebilirlik sınırlamaları, teknolojinin herkes tarafından erişilebilir olmasını zorlaştırmaktadır. Ayrıca runflat lastiklerin kullanımı sırasında sürüş konforunun azalması gibi dezavantajlar, sürücülerin bu teknolojiye olan yaklaşımını etkileyebilir. Ancak, malzeme bilimindeki ilerlemeler ve üretim süreçlerindeki yenilikler, bu sınırlamaları gidermeye yönelik umut vadetmektedir.

Runflat lastiklerin askeri alandaki uygulamaları, bu teknolojinin stratejik önemini bir kez daha ortaya koymaktadır. Askeri taktik tekerlekli araçlar, güvenlik açısından hayati önem taşıyan görevlerde kullanılmaktadır ve bu araçların hareket kabiliyetini kaybetmesi, hem operasyonel başarısızlığa hem de personel kayıplarına yol açabilir. Runflat lastikler, bu tür durumlarda araçların hareket kabiliyetini sürdürmesini sağlayarak operasyonel esnekliği artırır. Özellikle zırhlı personel taşıyıcılar ve MRAP'ler gibi araçlarda kullanılan destek halkalı sistemler, mayın veya EYP saldırılarının etkisini en aza indirmekte ve güvenli tahliye imkânı sunmaktadır.

Runflat lastikler, modern otomobil ve askeri araç teknolojilerinde devrim yaratan bir gelişim olarak karşımıza çıkmaktadır. Teknolojideki ilerlemeler, bu sistemlerin daha geniş bir

kullanıcı kitlesine ulaşmasını ve mevcut sınırlamaların aşılmasını sağlayacaktır. Gelecekte, runflat lastiklerin maliyet etkinliği artırılarak ve sürüş konforu iyileştirilerek daha fazla araç segmentine entegre edilmesi beklenmektedir. Bu teknolojinin, yalnızca bugünün güvenlik gereksinimlerini değil, aynı zamanda geleceğin mobilite çözümlerini karşılamada önemli bir rol oynayacağı açıktır.

Askeri operasyonlarda CTIS, araçların taktiksel avantajını ve güvenliğini artıran vazgeçilmez bir teknolojidir. Hem operasyonel süreklilik sağlar hem de zorlu koşullarda araçların görevlerini başarıyla tamamlamasına yardımcı olur. Gelecekte daha gelişmiş ve maliyet etkin versiyonlarının, askeri araçlarda daha yaygın şekilde kullanılacağı öngörülmektedir.

Runflat lastiklerin askeri araçlardaki testleri, güvenliğin yanı sıra operasyonel süreklilik açısından da büyük önem taşır. Başarılı bir Runflat sistemi, patlama veya delik oluşumu gibi durumlarda dahi aracın güvenli bir şekilde hareketine devam etmesini sağlar. Bu testlerin sonuçları, sadece askeri standartların değil, aynı zamanda NATO ve uluslararası savunma sanayi standartlarının karşılanmasını da garanti eder. Testlerden elde edilen veriler, gelecekte daha dayanıklı ve verimli Runflat teknolojilerinin geliştirilmesine katkıda bulunur.

Sonuç olarak, runflat lastikler, lastik teknolojisindeki yeniliklerin bir sembolü olarak güvenliği, dayanıklılığı ve işlevselliği bir araya getirmektedir. Bu sistemler, sadece bireysel kullanıcılar için değil, aynı zamanda askeri ve ticari sektörler için de kritik avantajlar sunarak, teknolojinin ulaştığı noktayı ve gelecekte nereye gidebileceğini göstermektedir.

Kaynaklar

Pamuk, C., Şeker, U., & Kalyon, A. (2020). Runflat sisteminin dinamik analizi. *Sinop University Journal of Natural Sciences*, 5(1), 38-48.

Pamuk, C., Şeker, U., & Kalyon, A. (2018). Runflat sisteminin statik analizi. *1st International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology*, 911-916.

Karaman, F. (2014). 22,5" jantlar için (3) parça Run Flat (Patlak Gider) sökme takma makinesi tasarımı. *Mühendis ve Makina*, 55(654), 30-34.

Pamuk, C. (2018). *Runflat sistemlerinin analizi* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, Türkiye.

Hutchinson. (2017). Military tactical runflats. Erişim adresi: http://www.hutchinsoninc.com/CMS/index.php?page=Tactical_Runflats

Balıkesir Üniversitesi. (2016). Termoplastik ve termoset plastikler. Erişim adresi: http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/pm/plastikte.mek2.pdf

Güzide, & İbrahim. (2022). Askeri alanda Endüstri 4.0 uygulamaları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Özel Sayı 43, 104-109.

BÖLÜM III

Autonomous Vehicles: Systems, Technologies and Sensors

Gökhan ÖZTÜRK[1]
Selahattin Barış ÇELEBİ[2]
Ömer Ali KARAMAN[3]

INTRODUCTION

The increasing number of vehicles and environmental impacts (Öner et al., 2022) have reduced the quality of life and accelerated the search for innovation in the automotive sector. (Öztürk et al., 2021). Autonomous vehicles are seen as an effective solution to

[1] 1-Lecturer: Department of Mechanical and Metal Technologies, Vocational School of Technical Sciences, Batman University, TÜRKİYE. ORCID No: 0000-0002-2780-6966
[2] 1-Visiting Research Fellow: Department of Computer Science, University of Warwick, Coventry, UK. ORCID No: 0000-0002-6235-9348
[3] 1-Associate Professor Dr: Department of Electronics and Automation, Vocational School of Technical Sciences, Batman University, TÜRKİYE. ORCID No: 0000-0003-1640-861X

these problems. Autonomous vehicle technology, which has advanced rapidly in recent years, is an important area of innovation that determines the future of modern transport systems. This technology not only reduces the need for driver intervention but also brings many important advantages, such as safety, efficiency, and environmental sustainability. Reducing human error, preventing traffic accidents, and creating a smarter transport system are among the main promises offered by autonomous vehicles. In this context, autonomous vehicles are not only a technology but also a transformation tool that offers potential solutions to many transport-related problems of society (Hula et al., 2018). Figure 1 shows a visualisation of an autonomous transport vehicle.

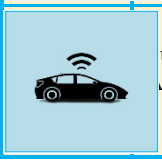
Figure 1 *Visualisation of the use of autonomous vehicles (Socacı, 2024)*

Autonomous vehicles represent one of the most important technological revolutions in the automotive industry. These vehicles are a set of systems that can navigate without human intervention or with minimal intervention, perceive the environment, and make decisions (Badue et al., 2021). Today, autonomous vehicles are evolving rapidly with advances in artificial intelligence, sensor technologies, and control systems(Yurtsever et al, 2020)

1.AUTONOMOUS DRİVİNG LEVELS

Autonomous driving technology is a development that enables vehicles to move on their own at various levels without driver intervention. This classification, which consists of five levels in total, aims to gradually reduce the need for human intervention while driving (Zanchin et al., 2017). According to the standards set by SAE (Society of Automotive Engineers), autonomous driving levels are classified as shown in Table 1.1.

Table 1.1. *Autonomous vehicle levels as defined by SAE (Varga & Tettamanti, 2016)*

Level	Image	SAE name	Description
0		lo automation	• All driving operations are carried out by a human • Simple warning systems may be available • Driver has full control
1		river Assist	• Cruise control system • Lane keeping assist • A single automation system operates
2		artial utomation	• Adaptive speed control and lane keeping work together • The driver must be ready to intervene at any time • Systems such as park assist are active
3		onditional utomation	• The vehicle can drive itself under certain conditions • The system prompts the driver to take control when necessary • Active in controlled environments such as motorway driving
4		igh utomation	• Full autonomous driving in certain areas • No driver intervention is required • Geographical limitations are available
5		ull utomation	• Full autonomous driving in all conditions • No human intervention is required • Operates in all road and weather conditions

2. SENSING SYSTEMS AND SENSORS

Autonomous vehicles utilize a variety of sensor systems to sense their environment and move safely. These systems include RADAR, LIDAR, camera systems, ultrasonic sensors, position

sensors (GPS/GNSS), IMU, and odometry sensors (Rosique et al., 2019). Figure 2.1 shows the sensors used in autonomous vehicles.

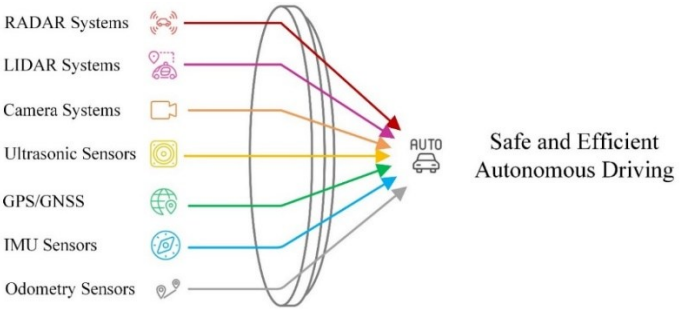


Figure 2.1. *Sensing systems and sensors in autonomous vehicles*

Each sensor has a critical role in improving the functionality and reliability of autonomous driving systems, and these technologies directly affect the performance of the vehicle by providing environmental awareness. Figure 2.2 shows the locations where sensors are placed in autonomous vehicles.

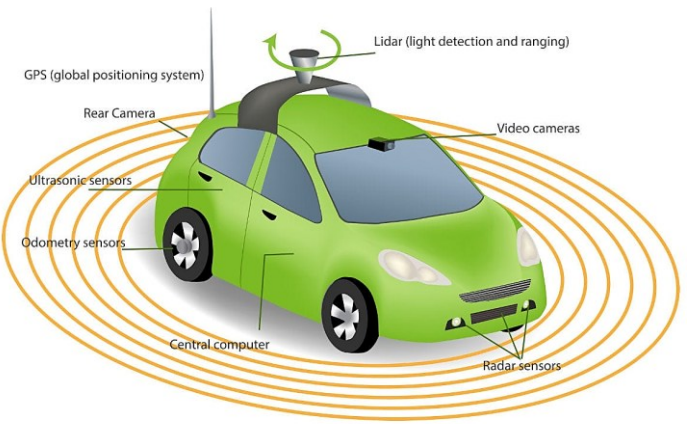


Figure 2.2. *Location of sensors in autonomous vehicles (Brainware University, 2019)*

2.1. Radio Detection and Ranging (RADAR) Systems

Radar sensors have become an important component of driver assistance systems in recent years. Recent advances in radar technology have enabled modern radar sensors to detect the environment in greater detail, thus contributing significantly to the environmental detection quality of sensor fusion systems. Thanks to their performance, reliability, and cost efficiency, modern radar sensors will be a critical component of future autonomous vehicles. RADAR systems have the advantages of operating in bad weather conditions, detecting objects over long distances, measuring and tracking speed, and tracking multiple targets (Liu et al., 2021).

Radar sensors determine the position and speed of objects by transmitting high-frequency electromagnetic waves and detecting their reflection. The distance to the object is calculated from the time difference between the transmitted signal and the received signal. The radial velocity of moving objects is determined by the Doppler effect, using the change in frequency of the returning wave. In a simple system, the transmission of a continuous wave only makes it possible to measure the speed of a moving object. However, frequency-modulated continuous waves offer the possibility to measure both the distance and the speed of the object (Steinbaeck et al., 2017).

2.2. Light Detection and Ranging (LIDAR) Systems

LIDAR is a remote sensing technology that works similarly to RADAR systems and uses a narrow laser beam (McCormick & Leavor, 2013). It was first used for cloud detection in the 1950s and developed with lasers after the 1960s. It is also known as laser

RADAR or LADAR. LIDAR technology is used in various fields such as atmospheric gas measurements, 3D land and building mapping, wind measurements, spectroscopic analysis of remote surfaces, military target detection, satellite and space debris tracking, and flue gas emission measurements (Crawford et al., 2014). As shown in Figure 2.3, the beam divergence depends on the ratio of the wavelength and the aperture diameter of the emitting antenna (radar) or lens (LiDAR). This ratio is larger in radar systems, leading to higher beam divergence and thus lower angular resolution. In the figure, RADAR (black) cannot distinguish between two vehicles, while LiDAR (red) can.

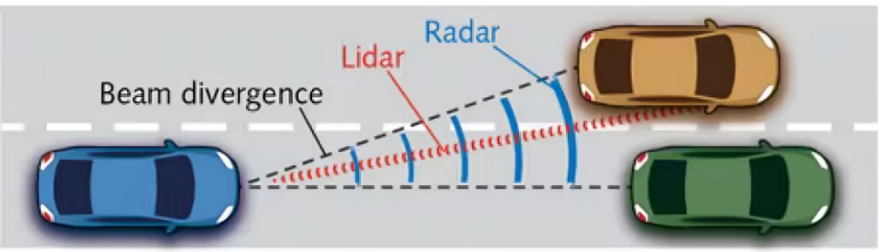


Figure 2.3. *Wave propagation in LIDAR and RADAR systems (Piatek & Li, 2017).*

LIDAR systems basically consist of a pulsed laser source, a receiving telescope system, a detector, and a signal processing unit. The system works by sending laser pulses to the target. The light reflected or scattered from the target is collected by the telescope, detected by the detector, and the signals are processed into information. Distance can be measured from the round-trip time of the light, spectroscopic analyses can be performed from the wavelength characteristics of the laser beam, and target speed can be

determined from the Doppler shift. Important features of LIDAR systems include the use of a narrow and directed laser beam, high-resolution scanning, and an expansion of approximately 1 cm per 1000 meters. Using pulses on the order of nano/microseconds, it can measure distance with an accuracy of 0.1 meters and provide resolution on the order of meters on scattered targets. It can perform precise measurements thanks to its adjustable wavelength, narrow spectral line width, and the ability to distinguish the absorption lines of gas molecules (Killinger, 2014).

2.3. Camera Systems

Autonomous vehicles need visual data and information to make decisions such as stopping or moving. These vehicles are often equipped with cameras placed at different angles to provide a 360-degree view. While cameras are effective in recognizing surrounding vehicles and pedestrians, they have several disadvantages. In particular, the cameras need a clear view to process accurate visual information, which can be problematic in bad weather conditions. Factors such as rain, fog, and snow can adversely affect the performance of the cameras. In addition, these cameras are light-dependent; failing to detect a pedestrian or vehicle in dark conditions can lead to serious accidents (Maddern et al., 2014). Figure 2.4 shows the environmental sensing process with camera sensor images recorded by the sensor system of an autonomous vehicle.

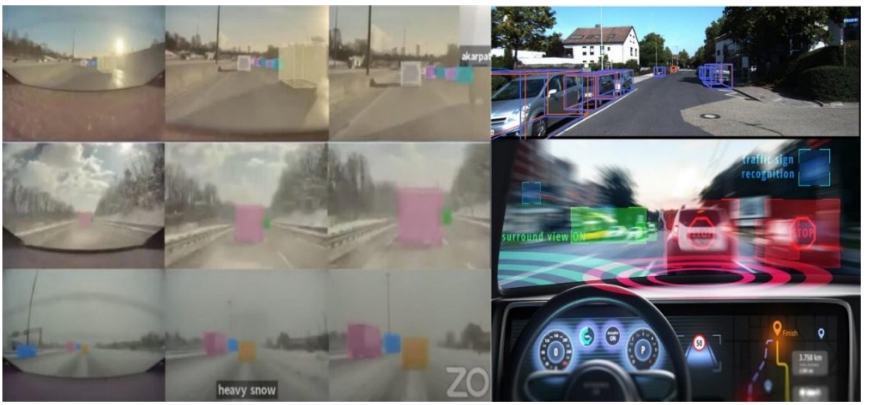


Figure 2.4. *Images recorded by the camera sensors of an autonomous vehicle (Dickson, 2022)*

Cameras are optical devices for detecting light and recording the image. The working principle of these devices is basically based on the control and detection of light. The basic components of cameras consist of a lens system, aperture, shutter, and sensor. The lens system provides the clarity of the image by collecting and focusing the light coming from outside. Various viewing angles can be obtained by using lenses with different focal lengths. Aperture is the mechanism that adjusts the amount of light passing through the lens system and is expressed in focal stop values. This mechanism also controls the depth of field. The shutter determines the exposure time by controlling the duration of light reaching the sensor. This component plays a particularly important role in imaging moving objects. The sensor part differs according to the camera type. While analogue cameras record images by chemical reactions using photosensitive film, digital cameras use Charge-Coupled Device (CCD) or Complementary Metal-Oxide-Semiconductor (CMOS)

sensors. These sensors convert light into electronic signals to produce image data consisting of pixels (Borda, 2018).

The image formation process starts with the collection of light by the lens system. The amount of light collected is adjusted by the aperture and falls on the sensor for the time set by the shutter. In digital cameras, the light falling on the sensor is converted into electrical signals. These signals are then transferred to the image processing unit. In the image processing unit, analogue-to-digital conversion takes place and color and contrast adjustments are made. Finally, the image is compressed and stored (Nakamura, 2017).

Camera systems can be used for object recognition and classification, lane following, traffic sign recognition, and depth perception with stereoscopic vision (Kemsaram et al., 2020).

2.4. Ultrasonic Sensors

Offering the ability to sense the environment and detect obstacles, ultrasonic sensors are one of the key components of autonomous vehicle technology today. These sensors work based on the principle of reflection of sound waves and perform critical functions such as distance measurement, object detection, and speed control (Xu et al., 2018). Figure 2.5 shows the positioning and cross-section of the ultrasonic sensors.

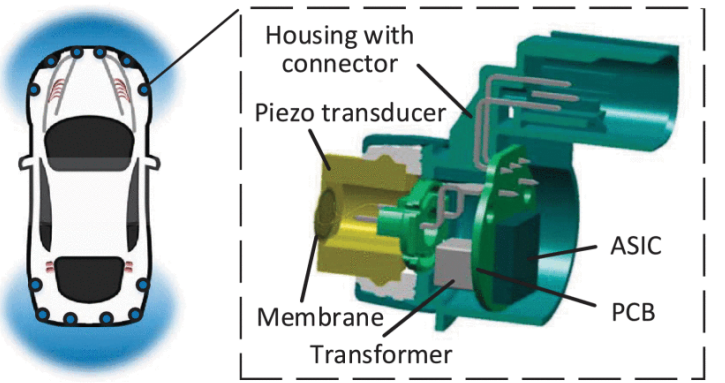


Figure 2.5. *Positioning and cross-section of ultrasonic sensors (Xu et al., 2018)*

Ultrasonic sensors are used for various purposes in autonomous vehicles. The first of these is front and rear parking assistants. These sensors provide the necessary feedback to the driver by detecting obstacles when the vehicle is reversing or trying to park in narrow spaces. Another area of use is collision avoidance systems. Ultrasonic sensors detect objects around the vehicle, assess the risk of collision, and, if necessary, activate the automatic braking mechanism. In addition, these sensors, which also play an important role in lane-following systems, detect lane boundaries and ensure that the vehicle stays in the lane. Within the scope of autonomous driving, ultrasonic sensors play a critical role in detecting obstacles on the road, adjusting the vehicle speed appropriately, and performing the necessary maneuvers (Bhuvaneswary, et al., 2022).

The operating principle of ultrasonic sensors is based on the reflection of high-frequency sound waves from objects and the measurement of the return time. The sensor emits sound waves and detects the reflected signals. The difference in the reflection time is

used to calculate the distance of the object to the sensor. Thus, the sensor can detect the position and movement of surrounding objects (Chaparro et al., 2013). Ultrasonic sensors used in autonomous vehicles generally operate at a frequency of 40 kHz and can measure distances in the range of 2-400 cm. The sensitivity, resolution, viewing angle, and detection distance of the sensors vary according to the autonomous driving application (Mohammed et al.,2021).

As a result, ultrasonic sensors are critical to providing a safe and efficient driving experience by enhancing the environmental awareness of autonomous vehicles. These sensors are used in a variety of applications such as parking assistance, collision avoidance, lane keeping, and autonomous driving and work based on the principle of reflection of sound waves.

2.5. Position Sensors (GPS/GNSS)

Position sensors are typically built on Global Positioning System (GPS) or Global Navigation Satellite System (GNSS) technologies and are widely used in autonomous vehicles. These systems utilize satellite signals to precisely determine the vehicle's position.

GPS/GNSS sensors determine the three-dimensional position of the vehicle by receiving signals from at least four satellites (Guan et al., 2022). Using the orbits and clock signals of the satellites, the position of the sensor is calculated by the trilateration method. In this method, the distance of the vehicle from the satellite is calculated by measuring the reception times of the satellite signals. By using signals from three or more satellites, the three-dimensional position of the vehicle can be determined very accurately (Groves, 2015).

The accuracy of GPS/GNSS signals can be affected by factors such as atmospheric conditions, satellite geometry, multipath effects, and device error. Therefore, autonomous vehicles often use GPS/GNSS data in combination with other sensors (IMU, radar, lidar, etc.) to obtain a more reliable position estimate (Aboutaleb et al., 2020).

2.6. Inertial Measurement Unit (IMU) Sensors

Another important sensor type used in autonomous vehicles is IMU. IMU sensors provide navigation information by measuring the position, speed, acceleration, and turning movements of the vehicle (Chen et al., 2022). This sensor is considered a backup system, which must work smoothly in case of accidents or faults that may affect the functionality of other sensors (Ayala & Mohd, 2021).

The basic operating principle of IMU sensors is based on Newton's laws of motion. These sensors consist of two main components: accelerometers for the detection of linear motions and gyroscopes for the determination of angular motions. Triaxial accelerometers measure linear accelerations in the x, y, and z axes, while triaxial gyroscopes detect rotational movements of the vehicle in the yaw, pitch, and roll axes. The data obtained from IMU sensors are processed by time integration methods to calculate the position, velocity, and orientation of the vehicle. Double integration of acceleration data provides position information, and single integration provides velocity information. Gyroscope measurements determine the rotational movements and orientation angles of the vehicle. By combining this data with information from GPS or GNSS systems, the precise position and motion of the vehicle can be calculated with high accuracy (Noureldin et al., 2012).

2.7. Odometry Sensors

Odometry sensors used for position and direction detection are a preferred sensor type in autonomous vehicles. Odometry sensors provide vehicle motion information by measuring the movements of the vehicle's wheels or engines. Odometry data is an important input for vehicle position estimation. Speed and distance information is integrated with time to calculate the displacement of the vehicle. However, when odometry sensors are used alone, the error rate of position estimation can be high due to slipping, wheel skidding, and other errors (Girbés-Juan et al., 2021).

Odometry sensors usually consist of encoders or torque sensors that measure wheel rotational speed and distance. These sensors measure the rotational movements of the wheels or the engine and provide information on the distance travelled and speed of the vehicle. Encoder-type odometry sensors measure changes in wheel rotations as electronic pulse signals. By counting these pulse signals, wheel rotation amount and speed are calculated. Torque sensors obtain movement information from torque changes applied to the wheels (Siegwart et al., 2011).

3. ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND CONTROL SYSTEMS

3.1. Deep Learning Applications

Deep learning is a sub-branch of machine learning that learns from large amounts of data using multi-layered artificial neural networks (Han et al., 2023). Deep Learning (DL) based methods image recognition (Çelebi & Emiroğlu, 2023) marketing (Aslan et al., 2022) and underwater studies (Demir & Yaman, 2024). provides high accuracy in complex tasks such as.

DL plays an important role in the process of autonomous vehicles sensing and analyzing their environment and making the right decisions (Yuan et al., 2022). For example, image segmentation in autonomous vehicles provides a better understanding of the environment by separating roads, lanes, pedestrians, and other objects on a pixel-by-pixel basis. In this way, the vehicle can perform tasks such as obstacle avoidance and lane following with high accuracy. Another task, road condition analysis, analyzes sensor data with the help of deep learning models to assess critical factors such as the slipperiness of the road surface or obstacles. This makes it possible to dynamically adjust vehicle speed and route preference for safe driving. In addition, deep learning-based behavior prediction systems in vehicles can predict the future movements of surrounding vehicles, pedestrians, and moving objects such as bicycles. The predictions enable proactive implementation of safety measures such as collision avoidance maneuvers and adaptive speed control.

3.1.1. Object Detection and Classification

Deep learning has become one of the most powerful tools for object detection and classification in control systems. In particular, deep neural networks (Deep Neural Networks) and convolutional neural networks (CNNs) have revolutionized the process of extracting and analyzing features from image data (Çelebi & Emiroğlu, 2023). This technology provides critical information for a control system by detecting the position and type of objects. For example, in autonomous vehicles, cameras identify environmental objects such as pedestrians, traffic signs, and other vehicles, and this information is used in decision-making processes (Fink et al., 2019).

3.1.2. Image Segmentation

Another important application area of deep learning is image segmentation. Image segmentation is the process of determining which object each pixel belongs to by dividing an image on the basis of pixels. In autonomous driving systems, segmentation is critical for accurate detection of roads, lanes, obstacles, and other objects. For example, segmentation algorithms categorize pedestrians, lanes, and traffic signs into different classes, providing information to the systems that guide the vehicle (Feng et al., 2023). Among modern methods, models such as U-Net, Mask R-CNN, and SegNet make it possible to understand complex scenes. Segmentation can also be used in the field of fault diagnosis in transport systems (Aydın et al., 2014). Deep learning-based segmentation techniques have the potential to provide superiority in terms of both speed and accuracy compared to manual analysis.

3.1.3. Road Condition Analysis

For autonomous vehicles and control systems, road condition analysis is an essential component of safe driving. Road condition analysis involves the evaluation of factors such as the surface condition of the road, its slope, the presence of lanes and environmental conditions. Deep learning models evaluate these factors in real time by analysing data from sensors such as cameras and LIDAR. In particular Recurrent Neural Networks (RNNs) (Çelebi & Fidan, 2024) and Long Short-Term Memory (LSTM) (Çelebi & Karaman, 2023) networks, have the potential to be used to predict changes in road conditions (Yu et al., 2019) Risks such as slippery road surfaces in wet weather, for example, can be identified in advance with these systems. Road condition analysis can also be

used to identify traffic congestion or to optimize travel times by suggesting alternative routes.

3.1.4. Behaviour Prediction Systems

Deep learning architecture also plays an important role in behavior prediction systems. These systems enable proactive decisions to be made by predicting the future behavior of vehicles, pedestrians, and other road users in the environment. For example, these systems can predict whether pedestrians will cross the road or whether a vehicle will change lanes. With the help of models, future movements can be predicted based on data such as current location, speed, and direction. Furthermore, adaptive speed control and collision avoidance systems of autonomous vehicles are based on these predictions. Behavior prediction systems not only improve traffic safety but also contribute to optimizing energy efficiency and journey time (Mozaffari et al., 2020).

3.2. Machine Learning Algorithms

3.2.1. Route Optimisation with Reinforcement Learning

Reinforcement learning (RL) is a learning technique frequently used in autonomous vehicle route optimization. This method enables a vehicle to learn the best movement strategy in a given environment through reward and punishment mechanisms. For example, an autonomous vehicle considers traffic density, road obstacles, and speed limits to reach its destination. Algorithms such as Q-learning or deep reinforcement learning determine the optimal route by continuously receiving feedback from the system. This approach provides adaptability, especially in complex and dynamic traffic environments. However, the training process of RL

algorithms is usually long and requires high computational power (Chu et al., 2019).

3.2.2. Risk Analysis with Decision Trees

Decision trees are a powerful machine learning method used for autonomous vehicles to analyze environmental risks and determine actions accordingly. These algorithms categorize data into branches to solve a problem, classify it, and make decisions (Karaman, 2023; Zhang & Song, 2023).

For example, an autonomous vehicle may decide to brake or reduce its speed when approaching a pedestrian. In this case, the vehicle builds a decision tree that evaluates traffic conditions, pedestrian distance, and vehicle speed with data from environmental sensors. The advantage of decision trees is that they provide interpretable results by transforming complex risk analyses into simple if-then-else structures. However, decision trees are prone to overfitting, so it is important to choose the right hyperparameters (Kilic & Yaman, 2024).

3.2.3. Lane Detection with Support Vector Machines

Support Vector Machines (SVM) are supervised learning algorithms used to solve visual perception problems such as lane detection in autonomous vehicles (Liu et al., 2019). For successful lane detection, ensuring that a vehicle stays in the correct lane relies on image processing techniques. SVM creates decision boundaries by separating lane lines from the background in high-dimensional feature spaces. In this process, images from vehicle cameras are preprocessed by edge detection and color separation and then fed to the SVM model. Kernel functions such as RBF are used for SVM to

cope with non-linearities. Although the SVM-based method offers high accuracy rates, it can be costly in terms of processing time for large data sets (Aydın et al., 2018; Saglam et al., 2023).

3.2.4. Sensor Fusion with Ensemble Learning

In autonomous vehicles, sensor fusion enables a more reliable perception of the environment by combining information from different sources. Ensemble learning algorithms play a critical role in processing this data. For example, LIDAR, radar, and camera data are combined with ensemble methods such as Random Forest or AdaBoost instead of being evaluated individually. This approach improves the overall accuracy of the system by reducing the impact of erroneous data from sensors. In particular, Random Forest provides a robust and balanced prediction by combining the outputs of multiple decision trees. The flexible nature of ensemble learning allows data from different sensors in autonomous vehicles to be combined by adapting to dynamic conditions (Yang et al., 2023).

3.3. Control Systems

Control systems in autonomous vehicles play a critical role in optimizing vehicle safety and performance. Model predictive control systems develop optimal control strategies by analyzing vehicle dynamics in real time (Koegel et al., 2022). Adaptive speed control systems are advanced control systems that can be dynamically adjusted according to environmental conditions and traffic conditions. Modern adaptive speed control systems provide optimized driving characteristics using artificial neural networks and fuzzy logic algorithms (Li et al., 2010).

Dynamic trajectory planning is a key control component that enables safe and efficient navigation of autonomous vehicles in complex traffic scenarios. Using advanced optimization algorithms, these systems perform real-time obstacle detection and route optimization (Li et al., 2016). Emergency maneuvering systems create safe escape routes by assuming vehicle control in critical situations. These systems can react within milliseconds using high-precision sensors and advanced control algorithms (Funke et al., 2017).

4. COMMUNICATION SYSTEMS

Autonomous vehicles have ushered in a new era in transportation thanks to their advanced sensing, decision-making, and mobility capabilities. The safe and efficient operation of these vehicles is highly dependent on the information sharing provided by communication systems. Communication systems not only improve the performance of individual vehicles but also make positive contributions to traffic management, energy efficiency, and environmental impacts (Elbery & Rakha, 2019).

4.1. Types of Communication Systems

Autonomous vehicles utilize various communication systems to provide a safe and efficient driving experience. These systems enable vehicles to exchange data with other vehicles and environmental infrastructures, improving traffic safety and optimizing driving performance. Vehicle-to-vehicle (V2V), vehicle-to-infrastructure (V2I), vehicle-to-cloud (V2C), and vehicle-to-everything (V2X) communication types play a key role in creating a

safe, efficient, and sustainable transport infrastructure for autonomous driving systems.

4.1.1. Vehicle-to-Vehicle (V2V)

Vehicle-to-vehicle communication enables autonomous vehicles to directly share critical information such as speed, position, and direction. This communication usually takes place over short distances and with low latency (Arena & Pau, 2019). For example, a vehicle braking suddenly can contribute to the prevention of chain accidents by communicating this situation to the surrounding vehicles.

4.1.2. Vehicle-to-Infrastructure (V2I)

V2I communication takes place between vehicles and traffic lights, sensors, smart road signs, and other infrastructure elements (Kaiwartya et al., 2016). By analyzing traffic density, this system can suggest alternative routes or provide driving instructions based on weather conditions.

4.1.3. Vehicle-to-Pedestrian (V2P)

V2P communication technology is a communication system that enables vehicles to interact directly with pedestrians (Kareem et al., 2021). This technology uses sensors and cameras to detect pedestrians in the vicinity of vehicles, while pedestrians send signals to vehicles via mobile devices or wearable technologies. V2P communication technology allows vehicles to send warnings to pedestrians when dangerous situations occur or pedestrians to communicate information about the danger to vehicles. In this way, traffic safety can be significantly improved (Kabil et al., 2022).

4.1.4. Vehicle-to-Network (V2N)

V2N communication is a communication technology that enables vehicles to communicate with cloud systems and other digital platforms over mobile networks (Elagin et al., 2020). V2N communication enables autonomous vehicles to access large data repositories and supports the integration of high processing power functions such as map updates, traffic situation analysis, and weather information through cloud-based systems (Whaiduzzaman et al., 2014).

4.1.5. Vehicle-to-Everything (V2X)

V2X communication can be defined as a technology that enables vehicles to communicate with environmental elements such as traffic infrastructure, other vehicles, pedestrians, and networks, covering all the communication types mentioned above. V2X contributes to a safer and more efficient transport network in modern cities by forming the basis of intelligent transport infrastructure Lee et al., 2017). For example, V2X systems make it possible for nearby vehicles to detect a pedestrian using signals emitted from a pedestrian's smartphone (Gelbal et al., 2017). In Figure 4.1, the different types of V2X communication systems are presented in detail.

Figure 4.1. *V2X communication technology.*

4.2. Communication Technologies

Communication systems used in autonomous vehicles aim to provide high-speed data transfer, low latency, and wide coverage areas (Ahangar etal., 2021). Figure 4.2 shows the different communication technologies used for autonomous vehicles.

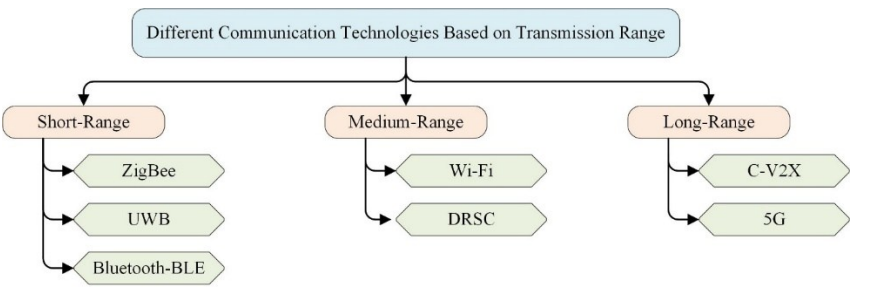


Figure 4.2. *Different communication technologies used for autonomous vehicles.*

4.2.1. ZigBee Technology

ZigBee technology has been developed for Internet of Things networks, providing low-cost and energy-efficient wireless connections (Si et al., 2018). It can achieve data transfer rates of up

to 250 kbps and can operate effectively over distances of up to 100 meters. ZigBee uses various frequency bands such as 868 MHz, 902-968 MHz, and 2.4 GHz for low-speed wireless personal area networks (Wheeler, 2007). As modulation methods, binary phase shift keying or orthogonal quadrature phase shift keying are preferred. Recently, Volvo has deployed a ZigBee-based wireless sensor network to monitor tire pressure in its trucks (Parthasarathy et al., 2016). ZigBee has been found to be sufficient in non-safety-critical applications requiring update rates of less than 10 Hz and low latency (Pawade et al., 2013).

4.2.2. Ultra Wide Band (UWB) Technology

UWB is defined as a wireless technology operating in the frequency range of 3.1-10.6 GHz using short-duration signals (Ahmed et al., 2014). UWB technology allows devices to operate at low power and can support multiple users with data rates of over 480 Mbps. It also allows data transmission at a gigabit per second and communicates using a special coding technique. Thanks to its low-power signals, it is more discreet and difficult to distort even in noisy environments. UWB offers high security in transmission by making its signals more difficult to detect and intercept. This is due to the low power and broadband propagation of the signals (Ahmed et al., 2011).

These technologies are used in various fields such as vehicle positioning, real-time driving support, vehicle authentication, and low-speed collision warnings. In particular, UWB stands out with its accurate positioning capability in a dense environment (Wang et al., 2021).

4.2.3. Bluetooth and BLE Technology

Bluetooth technology has a wide range of uses as it operates on a frequency band that can be used freely and does not require a license. Thanks to these features, it offers short-distance and economical communication with low power consumption, making it possible to establish a connection between many devices (Narzt & Furtmüller, 2015). It operates in the 2.4 GHz band and offers variable coverage areas with a data rate of 1-4 Mbps. Because Bluetooth uses the same frequency band as Wi-Fi, it uses a frequency-hopping spread spectrum method to avoid interference (Zhang et al., 2016). Different versions of Bluetooth are compatible with different standards. Bluetooth 4.0 (BLE), which transmits data with low energy consumption, is not compatible with older versions. Although BLE is not suitable for inter-vehicle communication due to its low range, it offers weight and cost advantages by reducing in-vehicle wiring (Lin et al., 2015). BLE can reach a maximum communication range of over 100 meters with robust links up to 50 meters, even in varying traffic and driving conditions. However, this range is often insufficient for effective in-vehicle communication (Bronzi et al., 2016).

4.2.4. Wireless Fidelity (Wi-Fi) Technology

WiFi technology used in autonomous vehicles plays an increasingly important role in modern transport systems. WiFi plays a critical role in vehicle localization, communication, and control processes. This technology, which generally operates in the 2.4 GHz and 5 GHz frequency bands, helps to determine the location of vehicles more accurately, especially in urban areas where GPS signals are weak. In addition, WiFi-based systems supported by

machine learning techniques can provide centimeter-level precision (Gómez et al., 2023).

In terms of communication infrastructure, specially developed communication standards and new protocols ensure more reliable communication by minimizing data loss (Nurkahfi et al., 2021). WiFi supports the transmission of various types of data, such as sensor data, GPS information, and video, in the context of vehicle-to-vehicle communication (V2V) and communication with infrastructure (V2I). It also enables remote monitoring and control of vehicles (Yu, 2019).

Challenges facing WiFi technology include bandwidth limitations and data reliability issues. However, ongoing research is making significant progress in integrating this technology with other systems and increasing data transmission capacity (Kong et al., 2017).

4.2.5. Dedicated Short Range Communications (DSRC) Technology

DSRC (Dedicated Short Range Communications) is defined as a wireless technology developed to provide secure and uninterrupted communication between vehicles and network infrastructure. The DSRC system consists of two main components: On-Board Units (OBU) and Roadside Units (RSU). OBUs are the devices inside the vehicles that communicate with DSRC. These devices exchange data between vehicles and interact with other vehicles and roadside infrastructure. RSUs are devices placed on the roadsides, receiving data from vehicles and transmitting information to vehicles when necessary. RSUs provide information to drivers by transmitting data,

such as traffic lights, road conditions, and speed limits, to vehicles and help drivers to drive safely (Fitah et al., 2018). DSRC differs from Wi-Fi in that DSRC operates in the 5.9 GHz frequency band, while Wi-Fi operates in the 2.4 GHz and 5 GHz frequency bands. DSRC is specifically designed for vehicle-to-vehicle communication (V2V), which is used to provide communication between vehicles. It also allows vehicles to establish communication with infrastructure (V2I) by receiving information such as traffic lights and accident warnings from the network infrastructure (Kenney, 2011).

4.2.6. Cellular Vehicle-to-Everything (C-V2X) Technology

C-V2X technology provides communication using the 5.9 GHz frequency band and the available cellular spectrum. This technology has advantages such as wide coverage and high data transmission rates. However, in some cases, disadvantages such as reliability issues and increased latency can be encountered (Zhang & Wang, 2024).

C-V2X technology offers many advantages. It is highly reliable and enables fast communication between vehicles. C-V2X also works effectively in heavy traffic, eliminating the congestion problems faced by DSRC. It supports both short-range and long-range communication, enabling efficient connectivity between vehicles and roadside units. C-V2X is also capable of detecting in situations without a 360-degree field of view. In addition, C-V2X can support such high-speed applications by offering higher data rates compared to short- and medium-range Technologies (Rammohan, 2023).

4.2.6. Fifth Generation (5G) Technology

5G is a wireless communication technology that operates mainly in the frequency bands between 6 and 100 GHz and works on the principle of high frequency and low latency (Lin et al., 2019; Zhang et al., 2017). 5G technology plays a critical role in improving the safety and performance of autonomous vehicles. The technology improves the real-time decision-making capabilities of vehicles thanks to ultra-low latency and high reliability (Cucor et al., 2023). V2X communication facilitates data sharing between vehicles and other vehicles, infrastructure, and pedestrians, reducing the risk of accidents and improving traffic flow (Storck & Duarte-Figueiredo, 2020).

It supports high data transfer rates, advanced driver support systems, and high-resolution video feeds (Szalay et al., 2020). However, there are some challenges in the integration of the technology. Issues such as standardization, security concerns, and network latency still require research (Hakak et al., 2023). In particular, vehicle matching and sensor security are critical (Tang et al., 2023).

5. SAFETY SYSTEMS

5.1. Cyber Security

The security systems of autonomous vehicles encompass not only physical elements but also mechanisms to protect against cyber threats. In-vehicle communication systems and cloud-connected data infrastructures are susceptible to external interference.

Encryption Protocols: Encryption protocols used in autonomous vehicles ensure the security of both the communication

between in-vehicle systems and the data exchange between the vehicle and external communication networks. These protocols support the safe operation of vehicles by guaranteeing the protection of data against unauthorized access, interference, or modification attempts. They also create a strong defense mechanism against cyberattacks that may occur during communication, increasing the reliability of the autonomous driving experience (Örs Yalçın & Soltekin, 2021).

Intrusion Detection Systems: Modern intrusion detection systems are able to identify potential threats in real time thanks to advanced algorithms supported by artificial intelligence. These systems detect unusual situations and suspicious behavior by continuously monitoring network traffic. By using pattern recognition and machine learning techniques, they can detect possible signs of attacks in advance and take quick action by analyzing these threats. It also contributes to the development of defense strategies for possible future threats by evaluating the data obtained from past attacks. In this way, cybersecurity breaches are minimized, while the integrity and reliability of systems are maintained (Park, & Choi, 2020).

Safe software updates: It is done by over-the-air (OTA) methods performed remotely. It enables software updates to be installed automatically without the need for physical intervention by the user. In order to ensure security in the update process, digital signatures verify the source of the update files and guarantee their integrity, while blockchain technology ensures the transparency of the process and the immutability of the data. This integrated system

both increases the effectiveness of software updates and provides strong protection against cyber threats (Yeasminn& Haque, 2023).

5.2. Physical Safety Systems

Collision Avoidance Algorithms: The latest generation of collision avoidance systems used in autonomous vehicles operates with high precision thanks to the integration of deep learning models and sensor fusion technologies. These systems combine multiple sensors, such as LIDAR, RADAR, ultrasonic sensors, and cameras, that continuously analyze objects, pedestrians, other vehicles, and road conditions around the vehicle. The collected data is processed in real time to identify potential collision scenarios within milliseconds and react accordingly. Furthermore, these algorithms work effectively in complex scenarios such as city traffic and motorway driving, significantly increasing driving safety and passenger comfort (Kotur et al., 2021).

Emergency Braking Systems: Emergency braking systems in autonomous vehicles are designed to ensure safety not only in sudden stops but also in dynamic driving conditions. The hybrid use of electro-mechanical and hydraulic systems makes it possible for these systems to react quickly and operate with high precision. Thanks to the data obtained from sensors and advanced algorithms, the system recognizes environmental risks and calculates and applies the necessary braking force in the event of a collision risk. Backup mechanisms ensure reliability by maintaining the functionality of the system even in the event of any technical failure (Milanés et al., 2010).

5.3. Data Safety

Protection of Personal Data: Autonomous vehicles offer an infrastructure that prioritizes security and privacy when processing users' personal information. Data collected by the vehicle, such as location, driving history, and passenger information, is protected using advanced encryption protocols. This information is stored in an encrypted format to eliminate the risks of unauthorized access or data leakage. Furthermore, anonymization techniques prevent personal data from being associated with individuals, thus protecting user identity during data processing (Xiong et al., 2020).

6. FUTURE PERSPECTIVES

Rapid progress in autonomous vehicle technologies has the potential to lead to radical changes in the transport sector, and these changes are expected to completely transform the sector in the future. This change will not only be limited to technological innovations but will also have an impact on economic, environmental, and social dimensions. Especially the developments in the environmental sensing systems of autonomous vehicles are one of the basic building blocks of this transformation. In this context, the emergence of solid-state LIDAR systems offers a low-cost and durable alternative to conventional mechanical LIDARs. These systems provide a more reliable and efficient driving experience by increasing the environmental sensitivity of autonomous vehicles. However, another important development that takes these innovations in sensing technologies even further is the use of quantum sensors. Quantum sensors allow vehicles to perceive their surroundings more precisely and in a wider scope, offering superior performance, especially in challenging weather conditions

and complex traffic scenarios. These technologies not only increase the safety level of vehicles but also strengthen the ability of autonomous systems to adapt to different environmental conditions. One of the most critical infrastructures supporting these detection systems is 6G communication systems. Next-generation communication technology accelerates V2V and V2I communication, enabling real-time data transfer with millisecond latency. This enables autonomous vehicles to make smarter and safer decisions by constantly exchanging information with each other and the surrounding infrastructure. Thus, it is aimed to regulate traffic flow, reduce accident risks, and increase overall transport efficiency. In the light of all these developments, the global vehicle fleet is expected to become fully autonomous by 2050. In parallel, it is predicted that half of the new vehicles sold by 2032 will be Level 4 autonomous vehicles (Bansal & Kockelman, 2017). With the widespread adoption of Level 4 autonomous vehicles, urban mobility services will be reshaped, and the transition from individual car ownership to shared and sustainable transport models will accelerate. This transformation will profoundly affect not only the transport sector but also urbanization dynamics and daily life habits.

7. CONCLUSION

Autonomous vehicle technology is constantly evolving with a multidisciplinary approach. Advances in sensor technologies, artificial intelligence algorithms, and communication systems increase the reliability and performance of these vehicles. As legal regulations and ethical frameworks develop, social acceptance is increasing. In the coming years, autonomous vehicles are expected to create major transformations, especially in the urban transport and

logistics sectors. These transformations will increase efficiency in transport systems, reduce traffic accidents, and optimize energy consumption. In addition to these advantages, autonomous vehicles can be used to manage transport networks more effectively, thus reducing problems such as traffic congestion and transport costs. There are a number of challenges for the wide-scale implementation of autonomous vehicles. Issues such as cybersecurity, data privacy, and ethical decision-making are areas that require continuous research and development. In addition, basing the decision-making processes of autonomous vehicles on an ethical basis is critical to gain public trust. In this context, ethical standards and security protocols are constantly being developed to ensure the acceptability of autonomous vehicles in society.

In conclusion, the successful implementation of autonomous vehicles requires close cooperation between industry, academia, and regulators. This collaboration will ensure that the technology is implemented safely and efficiently while maximizing societal benefits. In the future, autonomous vehicles are expected to make our transport systems safer, more efficient, and sustainable. This process will not only be limited to the transport sector but will also make significant contributions in terms of reducing environmental impacts, energy efficiency, and improving the overall quality of life.

REFERENCES

Aboutaleb, A., El-Wakeel, A. S., Elghamrawy, H., & Noureldin, A. (2020). Lidar/riss/gnss dynamic integration for land vehicle robust positioning in challenging gnss environments. Remote Sensing, 12(14), 2323.

Ahangar, M. N., Ahmed, Q. Z., Khan, F. A., & Hafeez, M. (2021). A survey of autonomous vehicles: Enabling communication technologies and challenges. Sensors, 21(3), 706.

Ahmed, Q. Z., Park, K. H., & Alouini, M. S. (2014). Ultrawide bandwidth receiver based on a multivariate generalized Gaussian distribution. IEEE Transactions on Wireless Communications, 14(4), 1800-1810.

Ahmed, Q. Z., Yang, L. L., & Chen, S. (2011). Reduced-rank adaptive least bit-error-rate detection in hybrid direct-sequence time-hopping ultrawide bandwidth systems. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 60(3), 849-857.

Arena, F., & Pau, G. (2019). An overview of vehicular communications. Future internet, 11(2), 27.

Aslan, A., & Çelebi, S. B. (2022). Real Time Deep Learning Based Age and Gender Detection For Advertising and Marketing. Uluslararası Bilişim Kongresi (IIC 2022): bildiriler kitabı, 10-16. https://hdl.handle.net/20.500.12402/4205

Ayala, R., & Mohd, T. K. (2021). Sensors in autonomous vehicles: A survey. Journal of Autonomous Vehicles and Systems, 1(3), 031003.

Aydın, İ., Yaman, O., Karaköse, M., & Çelebi, S. B. (2014, June). Particle swarm based arc detection on time series in pantograph-catenary system. In 2014 IEEE International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA) Proceedings (pp. 344-349). IEEE. doi: 10.1109/INISTA.2014.6873642.

Aydin, I., Celebi, S. B., Barmada, S., & Tucci, M. (2018). Fuzzy integral-based multi-sensor fusion for arc detection in the pantograph-catenary system. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, 232(1), 159-170. https://doi.org/10.1177/0954409716662

Badue, C., Guidolini, R., Carneiro, R. V., Azevedo, P., Cardoso, V. B., Forechi, A., ... & De Souza, A. F. (2021). Self-driving cars: A survey. Expert systems with applications, 165, 113816.

Bansal, P., & Kockelman, K. M. (2017). Forecasting Americans' long-term adoption of connected and autonomous vehicle technologies. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 95, 49-63.

Bhuvaneswary, N., Jayapriya, V., Mounika, V., & Pravallika, S. (2022). Collision Avoidance in Vehicles Using Ultrasonic Sensor. In Expert Clouds and Applications: Proceedings of ICOECA 2021 (pp. 169-181). Springer Singapore.

Borda, S. (2018). LOCATING THE CAMERA IN A DIGITAL TIME. photographies, 11, 177 - 192. https://doi.org/10.1080/17540763.2018.1445014.

Brainware University (2019 January). How Autonomous Cars Can Change The Future? https://www.brainwareuniversity.ac.in/blog/how-autonomous-cars-can-change-the-future/

Bronzi, W., Frank, R., Castignani, G., & Engel, T. (2016). Bluetooth low energy performance and robustness analysis for inter-vehicular communications. Ad Hoc Networks, 37, 76-86.

Chaparro, L. X., Contreras, C. R., & Meneses, J. E. (2013, November). Operating principle of a high resolution ultrasonic ranging system based in a phase processing. In 8th Iberoamerican Optics Meeting and 11th Latin American Meeting on Optics, Lasers, and Applications (Vol. 8785, pp. 415-422). SPIE.

Chen, H., Taha, T. M., & Chodavarapu, V. P. (2022). Towards improved inertial navigation by reducing errors using deep learning methodology. Applied Sciences, 12(7), 3645.

Chu, T., Wang, J., Codecà, L., & Li, Z. (2019). Multi-Agent Deep Reinforcement Learning for Large-Scale Traffic Signal Control. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 21, 1086-1095. https://doi.org/10.1109/TITS.2019.2901791.

Crawford, M., Lake, D., Co, K., & McShane, D. (2014). Lidar (light detection and ranging). , 292-312. https://doi.org/10.1533/9780857098733.2.292.

Cucor, B., Kamencay, P., Dado, M., & Petrov, T. (2023, April). Experimental Comparison of 4G and 5G Technologies for Connected and Automated Vehicles. In 2023 33rd International

Conference Radioelektronika (RADIOELEKTRONIKA) (pp. 1-5). IEEE.

Çelebi, S. B., & Emiroğlu, B. G. (2023). A novel deep dense block-based model for detecting Alzheimer's Disease. Applied Sciences, 13(15), 8686. https://doi.org/10.3390/app13158686.

Çelebi, S. B., & Emiroğlu, B. G. (2023). Leveraging Deep Learning for Enhanced Detection of Alzheimer's Disease Through Morphometric Analysis of Brain Images. Traitement du Signal, 40(4). https://doi.org/10.18280/ts.400405

Çelebi, S. B., & Fidan, Ş. (2024) RNN-Based Time Series Analysis for Wind Turbine Energy Forecasting. International Journal of Engineering and Innovative Research, 6(1), 15-28. https://doi.org/10.47933/ijeir.1387314

Çelebi, S. B., & Karaman, Ö. A. (2023). Multilayer LSTM Model for Wind Power Estimation in the Scada System. European Journal of Technique (EJT), 13(2), 116-122. https://doi.org/10.36222/ejt.1382837

Demir, K., & Yaman, O. (2024). Projector deep feature extraction-based garbage image classification model using underwater images. Multimedia Tools and Applications, 1-15. https://doi.org/10.1007/s11042-024-18731-w

Dickson B., (2022 May). Is camera-only the future of self-driving cars? https://www.autonomousvehicleinternational.com/features/is-camera-only-the-future-of-self-driving-cars.html

Elagin, V., Spirkina, A., Buinevich, M., & Vladyko, A. (2020). Technological aspects of blockchain application for vehicle-to-network. Information, 11(10), 465.

Elbery, A., & Rakha, H. (2019). City-wide eco-routing navigation considering vehicular communication impacts. Sensors, 19(2), 290.

Feng, Y., Lan, Y., Zhang, L., & Xiang, Y. (2023). Elastic Interaction Energy Loss for Traffic Image Segmentation. ArXiv, abs/2310.01449. https://doi.org/10.48550/arXiv.2310.01449.

Fink, M., Liu, Y., Engstle, A., & Schneider, S. (2019). Deep Learning-Based Multi-scale Multi-object Detection and Classification for Autonomous Driving. Proceedings. https://doi.org/10.1007/978-3-658-23751-6_20.

Fitah, A., Badri, A., Moughit, M., & Sahel, A. (2018). Performance of DSRC and WIFI for Intelligent Transport Systems in VANET. Procedia Computer Science, 127, 360-368.

Funke, J., Brown, M., Erlien, S., & Gerdes, J. (2017). Collision Avoidance and Stabilization for Autonomous Vehicles in Emergency Scenarios. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 25, 1204-1216. https://doi.org/10.1109/TCST.2016.2599783.

Gelbal, S. Y., Arslan, S., Wang, H., Aksun-Guvenc, B., & Guvenc, L. (2017, June). Elastic band based pedestrian collision avoidance using V2X communication. In 2017 IEEE intelligent vehicles symposium (IV) (pp. 270-276). IEEE.

Gómez, C. G., Sánchez, A. G., Parra, N. H., Alonso, I. P., & Kim, E. (2023, June). WiFi-based Localization for Fail-Aware Autonomous Driving in Urban Scenarios. In 2023 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV) (pp. 1-6). IEEE.

Groves, P. D. (2015). Principles of GNSS, inertial, and multisensor integrated navigation systems, [Book review]. IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, 30(2), 26-27.

Guan, M., Xu, T., Li, M., Gao, F., & Mu, D. (2022). Navigation in GEO, HEO, and Lunar Trajectory Using Multi-GNSS Sidelobe Signals. Remote. Sens., 14, 318. https://doi.org/10.3390/rs14020318.

Hakak, S., Gadekallu, T. R., Maddikunta, P. K. R., Ramu, S. P., Parimala, M., De Alwis, C., & Liyanage, M. (2023). Autonomous Vehicles in 5G and beyond: A Survey. Vehicular Communications, 39, 100551.

Han, K., Öztürk, G., & Aslan, A. (2023). Yapay Sinir Ağları Kullanarak Yüzey Pürüzlülüğü Tespiti. In 1st International Conference On Pioneer And Innovative Studies Icpis.

Hula, A., Snapp, L., Alson, J., & Simon, K. (2018). The environmental potential of autonomous vehicles. In Road Vehicle Automation 4 (pp. 89-95). Springer International Publishing.

Kabil, A., Rabieh, K., Kaleem, F., & Azer, M. A. (2022). Vehicle to pedestrian systems: Survey, challenges and recent trends. IEEE Access, 10, 123981-123994.

Kaiwartya, O., Abdullah, A. H., Cao, Y., Altameem, A., Prasad, M., Lin, C. T., & Liu, X. (2016). Internet of vehicles:

Motivation, layered architecture, network model, challenges, and future aspects. IEEE access, 4, 5356-5373.

Karaman, Ö. A. (2023). Performance evaluation of seasonal solar irradiation models—Case study: Karapınar town, Turkey. Case Studies in Thermal Engineering, 49, 103228.

Kareem, Z. H., bin Ramli, K. N., Jawad, A. M., Malik, R. Q., Ameen, H. A., & Zahra, M. M. A. (2021). Comprehensive review of data exchange in vehicle-to-pedestrian communications: State of the art. Periodicals of Engineering and Natural Sciences (PEN), 9(2), 946-964.

Kemsaram, N., Das, A., & Dubbelman, G. (2020, May). A stereo perception framework for autonomous vehicles. In 2020 IEEE 91st vehicular technology conference (VTC2020-Spring) (pp. 1-6). IEEE.

Kenney, J. B. (2011). Dedicated short-range communications (DSRC) standards in the United States. Proceedings of the IEEE, 99(7), 1162-1182.

Kilic, I., & Yaman, O. (2024, May). Classification of Spyware from Network Packets with Decision Trees Using Recursive Feature Elimination (RFE). In 2024 32nd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU) (pp. 1-4). IEEE. doi: 10.1109/SIU61531.2024.10600885.

Killinger, D. K. (2014). Lidar (light detection and ranging). In Laser spectroscopy for sensing (pp. 292-312). Woodhead Publishing.

Koegel, M., Ibrahim, M., Kallies, C., & Findeisen, R. (2022). Safe Hierarchical Model Predictive Control and Planning for Autonomous Systems. ArXiv, abs/2203.14269. https://doi.org/10.48550/arXiv.2203.14269.

Kong, L., Khan, M. K., Wu, F., Chen, G., & Zeng, P. (2017). Millimeter-wave wireless communications for IoT-cloud supported autonomous vehicles: Overview, design, and challenges. IEEE Communications Magazine, 55(1), 62-68.

Kotur, M., Lukić, N., Krunić, M., & Lukač, Ž. (2021, May). Camera and LiDAR sensor fusion for 3d object tracking in a collision avoidance system. In 2021 Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference (ZINC) (pp. 198-202). IEEE.

Lee, K., Kim, J., Park, Y., Wang, H., & Hong, D. (2017). Latency of cellular-based V2X: Perspectives on TTI-proportional latency and TTI-independent latency. Ieee Access, 5, 15800-15809.

Li, S., Li, K., Rajamani, R., & Wang, J. (2010). Model predictive multi-objective vehicular adaptive cruise control. IEEE Transactions on control systems technology, 19(3), 556-566.

Li, X., Sun, Z., Cao, D., He, Z., & Zhu, Q. (2016). Real-Time Trajectory Planning for Autonomous Urban Driving: Framework, Algorithms, and Verifications. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 21, 740-753. https://doi.org/10.1109/TMECH.2015.2493980.

Lin, J. R., Talty, T., & Tonguz, O. K. (2015). On the potential of bluetooth low energy technology for vehicular applications. IEEE Communications Magazine, 53(1), 267-275.

Lin, X., Li, J., Baldemair, R., Cheng, J. F. T., Parkvall, S., Larsson, D. C., ... & Werner, K. (2019). 5G new radio: Unveiling the essentials of the next generation wireless access technology. IEEE Communications Standards Magazine, 3(3), 30-37.

Liu, Y., Wang, X., Li, L., Cheng, S., & Chen, Z. (2019). A Novel Lane Change Decision-Making Model of Autonomous Vehicle Based on Support Vector Machine. IEEE Access, 7, 26543-26550. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2900416.

Liu, Z., Cai, Y., Wang, H., Chen, L., Gao, H., Jia, Y., & Li, Y. (2021). Robust target recognition and tracking of self-driving cars with radar and camera information fusion under severe weather conditions. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 23(7), 6640-6653.

Maddern, W., Stewart, A., McManus, C., Upcroft, B., Churchill, W., & Newman, P. (2014, May). Illumination invariant imaging: Applications in robust vision-based localisation, mapping and classification for autonomous vehicles. In Proceedings of the Visual Place Recognition in Changing Environments Workshop, IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Hong Kong, China (Vol. 2, No. 3, p. 5).

McCormick, M. P., & Leavor, K. R. (2013). Active lidar remote sensing. In Aerosol remote sensing (pp. 283-313). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Milanés, V., González, C., Naranjo, J. E., Onieva, E., & De Pedro, T. (2010). Electro-hydraulic braking system for autonomous vehicles. International Journal of Automotive Technology, 11, 89-95.

Mohammed, A. A., Abdullahi, A., & Ibrahim, A. (2021). Development of a prototype autonomous electric vehicle. Journal of Robotics and Control (JRC), 2(6), 559-564.

Mozaffari, S., Al-Jarrah, O. Y., Dianati, M., Jennings, P., & Mouzakitis, A. (2020). Deep learning-based vehicle behavior prediction for autonomous driving applications: A review. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 23(1), 33-47. doi: 10.1109/TITS.2020.3012034

Nakamura, J. (Ed.). (2017). Image sensors and signal processing for digital still cameras. CRC press.

Narzt, W., & Furtmüller, L. (2015). Imitating Near Field Communication with Bluetooth Low Energy. Proceedings of the 13th International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia. https://doi.org/10.1145/2837126.2837184.

Noureldin, A., Karamat, T. B., & Georgy, J. (2012). Fundamentals of inertial navigation, satellite-based positioning and their integration. Springer Science & Business Media.

Nurkahfi, G. N., Mardiana, V. A., Mitayani, A., Dinata, M. M. M., Krisnandi, D., Satyawan, A. S., ... & Rozie, A. F. (2021, November). WiFi-AC Based Telecommunication Infrastructure for Autonomous Vehicle in Limited Area. In 2021 International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics, and Telecommunications (ICRAMET) (pp. 43-48). IEEE.

Öner, C., Öztürk, G., & Tanyeri, B. (2022). Buji Ateşlemeli Bir Motorda Ultrasonik Yakıt Sistemi Kullanılmasının Egzoz Emisyonları Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi. Afyon Kocatepe

Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 22(5), 1214-1224. https://doi.org/10.35414/akufemubid.1024495

örs Yalçın, S. B., & Soltekin, M. M. E. (2021, June). Designing and implementing secure automotive network for autonomous cars. In 2021 29th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU) (pp. 1-4). IEEE.

ÖZTÜRK, G., TANSU, M. N., & Umut, U. Z. (2021). TÜRKİYE'DE HİBRİD VE ELEKTRİKLİ ARAÇLARA EĞİLİMİN ARAŞTIRILMASI. Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences (EJONS), 5(20), 814-823. https://doi.org/10.38063/ejons.517

Park, S., & Choi, J. Y. (2020). Malware Detection in Self-Driving Vehicles Using Machine Learning Algorithms. Journal of advanced transportation, 2020(1), 3035741.

Parthasarathy, D., Whiton, R., Hagerskans, J., & Gustafsson, T. (2016, September). An in-vehicle wireless sensor network for heavy vehicles. In 2016 IEEE 21st International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA) (pp. 1-8). IEEE.

Pawade, S., Shah, S., & Tijare, D. (2013). ZigBee based intelligent driver assistance system. International Journal of Engineering Research and Applications, 3, 1463-1468.

Piatek, S., & Li, J. (2017). A photonics guide to the autonomous vehicle market. Laser focus world, 53(11), 28-31.

Rammohan, A. (2023). Revolutionizing Intelligent Transportation Systems with Cellular Vehicle-to-Everything (C-

V2X) technology: Current trends, use cases, emerging technologies, standardization bodies, industry analytics and future directions. Vehicular Communications, 100638.

Rosique, F., Navarro, P. J., Fernández, C., & Padilla, A. (2019). A systematic review of perception system and simulators for autonomous vehicles research. Sensors, 19(3), 648.

Saglam, M., Spataru, C., & Karaman, O. A. (2023). Forecasting electricity demand in Turkey using optimization and machine learning algorithms. Energies, 16(11), 4499. https://doi.org/10.3390/en16114499

Si, W., Starobinski, D., & Laifenfeld, M. (2018). A robust load balancing and routing protocol for intra-car hybrid wired/wireless networks. IEEE Transactions on Mobile Computing, 18(2), 250-263.

Siegwart, R., Nourbakhsh, I. R., & Scaramuzza, D. (2011). Introduction to autonomous mobile robots. MIT press.

Socacı A. (2024). Mercedes-Benz unveils the Future Truck 2025. https://mercedesblog.com/mercedes-benz-unveils-the-future-truck-2025/

Steinbaeck, J., Steger, C., Holweg, G., & Druml, N. (2017, October). Next generation radar sensors in automotive sensor fusion systems. In 2017 Sensor Data Fusion: Trends, Solutions, Applications (SDF) (pp. 1-6). IEEE.

Storck, C. R., & Duarte-Figueiredo, F. (2020). A survey of 5G technology evolution, standards, and infrastructure associated with vehicle-to-everything communications by internet of vehicles. IEEE access, 8, 117593-117614.

Szalay, Z., Ficzere, D., Tihanyi, V., Magyar, F., Soós, G., & Varga, P. (2020). 5G-enabled autonomous driving demonstration with a V2X scenario-in-the-loop approach. Sensors, 20(24), 7344.

Tang, Z., He, J., Yang, K., & Chen, H. H. (2023). Matching 5G connected vehicles to sensed vehicles for safe cooperative autonomous driving. IEEE Network, 38(3), 227-235.

Varga, I., & Tettamanti, T. (2016). A jövő intelligens járművei és az infokommunikáció hatása. HIRADÁSTECHNIKA, 71, 59-63.

Wang, M., Chen, X., Jin, B., Lv, P., Wang, W., & Shen, Y. (2021). A novel V2V cooperative collision warning system using UWB/DR for intelligent vehicles. Sensors, 21(10), 3485.

Whaiduzzaman, M., Sookhak, M., Gani, A., & Buyya, R. (2014). A survey on vehicular cloud computing. Journal of Network and Computer applications, 40, 325-344.

Wheeler, A. (2007). Commercial applications of wireless sensor networks using ZigBee. IEEE communications magazine, 45(4), 70-77.

Xiong, J., Bi, R., Zhao, M., Guo, J., & Yang, Q. (2020). Edge-assisted privacy-preserving raw data sharing framework for connected autonomous vehicles. IEEE Wireless Communications, 27(3), 24-30.

Xu, W., Yan, C., Jia, W., Ji, X., & Liu, J. (2018). Analyzing and enhancing the security of ultrasonic sensors for autonomous vehicles. IEEE Internet of Things Journal, 5(6), 5015-5029.

Yang, Z., Sun, H., Huang, J., He, L., Jia, X., Zhao, J., & Qiao, S. (2022). Robust Traffic Speed Inference With Ensemble Learning.

IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 23, 17241-17257. https://doi.org/10.1109/TITS.2022.3160869.

Yeasmin, S., & Haque, A. (2023, July). Collaborative DDoS Attack Defense for OTA Updates in CAVs using Hyperledger Fabric Blockchain. In 2023 International Conference on Smart Applications, Communications and Networking (SmartNets) (pp. 1-6). IEEE.

Yu, H. S. (2019). Design and implementation of vehicle control network using WiFi network system. Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, 20(3), 632-637.

Yu, Y., Si, X., Hu, C., & Zhang, J. (2019). A Review of Recurrent Neural Networks: LSTM Cells and Network Architectures. Neural Computation, 31, 1235-1270. https://doi.org/10.1162/neco_a_01199.

Yuan, M., Shan, J., & Mi, K. (2022). Deep Reinforcement Learning Based Game-Theoretic Decision-Making for Autonomous Vehicles. IEEE Robotics and Automation Letters, 7, 818-825. https://doi.org/10.1109/lra.2021.3134249.

Yurtsever, E., Lambert, J., Carballo, A., & Takeda, K. (2020). A survey of autonomous driving: Common practices and emerging technologies. IEEE access, 8, 58443-58469.

Zanchin, B. C., Adamshuk, R., Santos, M. M., & Collazos, K. S. (2017, October). On the instrumentation and classification of autonomous cars. In 2017 IEEE international conference on systems, man, and cybernetics (SMC) (pp. 2631-2636). IEEE.

Zhang, F., & Wang, G. (2024). Context-aware resource allocation for vehicle-to-vehicle communications in cellular-V2X networks. Ad Hoc Networks, 103582.

Zhang, J., Tang, P., Tian, L., Hu, Z., Wang, T., & Wang, H. (2017). 6–100 GHz research progress and challenges from a channel perspective for fifth generation (5G) and future wireless communication. Science China Information Sciences, 60, 1-18.

Zhang, Q., Chen, G., Zhao, L., & Chang, C. Y. (2016). Piconet construction and restructuring mechanisms for interference avoiding in bluetooth PANs. Journal of Network and Computer Applications, 75, 89-100.

Zhang, T., Fu, M., & Song, W. (2023). Risk-Aware Decision-Making and Planning Using Prediction-Guided Strategy Tree for the Uncontrolled Intersections. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 24, 10791-10803. https://doi.org/10.1109/TITS.2023.3280225.

BÖLÜM IV

Araç Motoru Soğutma Performans Testlerinde Termostat Müdahalesinin Etkisi

Bekir Samed ŞAHİN

Giriş

Araç motorlarının performansını optimize etmek, yakıt verimliliğini sağlamak ve motor ömrünü uzatmak, otomotiv endüstrisinin üzerinde titizlikle çalıştığı temel konular arasında yer almaktadır.

Malzeme Dayanımı ve Genleşme Toleransları

Motor blokları, pistonlar ve silindir kapakları genellikle alüminyum veya dökme demir gibi malzemelerden üretilir. Bu malzemelerin genleşme özellikleri sıcaklık değişimlerine karşı incelenir.

Yakıt Verimliliği OptimizasyonuOptimum sıcaklıkta motorun çalışma koşulları daha verimlidir. Bu sıcaklıkta:

Yakıtın buharlaşma hızı artar ve yakıt-hava karışımı daha homojen olur.

Yanma verimliliği artar, dolayısıyla daha fazla enerji elde edilir.

Emisyon Düzenlemeleri

Çevre düzenlemelerine uygun şekilde karbon monoksit (CO), hidrokarbon (HC) ve azot oksit (NOx) emisyonlarını minimuma indirecek sıcaklık aralığı belirlenir.

Yanma Verimliliği

Optimum sıcaklık, yakıtın tamamen yanmasını sağlar. Bu da motorun güç üretimini artırırken aynı zamanda yakıt tüketimini azaltır.

Yakıt Tüketimi

Motorun ideal çalışma sıcaklığında olması, yakıtı optimum şekilde kullanmasını sağlar. Soğuk çalışma durumunda, motor daha fazla yakıt tüketir.

Soğutma Sisteminin Yükü

Optimum sıcaklıkta çalışmak, soğutma sistemine binen yükü azaltır ve radyatör, termostat ve fan gibi bileşenlerin ömrünü uzatır. Soğutma Paketlerinin Seçiminde Dikkat Edilen Hususlar

Soğutma paketleri, radyatör, fan, termostat, soğutma sıvısı, su pompası gibi bileşenlerden oluşur ve motorun sıcaklığını optimum aralıkta tutmak amacıyla çalışır. Bu sistemlerin tasarımı sırasında dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır:

Motorun Isı Yükü ve Güç Kapasitesi

Motorun güç çıkışı ve çalışma sırasında ürettiği ısı miktarı soğutma sistemi seçiminde en temel faktördür. Yüksek güçlü motorlar, daha fazla ısı üretir, bu nedenle daha büyük radyatör yüzey alanı, yüksek kapasiteli fanlar ve verimli su pompaları gerekir.

Radyatör Seçimi

Radyatörün ısı transfer kapasitesi motorun soğutma ihtiyacına uygun olmalıdır. İçten yanmalı motorların çalışma prensibi, motorun belirli bir sıcaklık aralığında en yüksek verimle çalışmasına dayanır. Ancak bu ideal sıcaklığı korumak, motorun performansını doğrudan etkileyen karmaşık bir süreçtir. Motor sıcaklığını yönetmek için kullanılan en kritik bileşenlerden biri termostattır. (Sinan KULA, 2022)

Termostat, motor soğutma sisteminin kalbi niteliğindedir. Temel çalışma prensibi, motor soğutma sıvısının (antifriz ya da su karışımı) akış yönünü kontrol etmektir. Soğutma sıvısı, motor sıcaklığına bağlı olarak kısa çevrim (motor içinde dolaşım) ya da

uzun çevrim (radyatör üzerinden dolaşım) olmak üzere iki farklı yol izler. Termostat, sıcaklığa bağlı olarak açılıp kapanan bir vana gibi çalışarak bu iki akış yolunu düzenler. Geleneksel termostatlarda, içinde bulunan mum ya da cıva gibi malzemeler sıcaklıkla genleşerek termostatı açar ve soğutma sıvısının radyatöre gitmesine olanak sağlar. Bu süreçte motorun çalışma sıcaklığı korunur ve aşırı ısınmanın önüne geçilir.

Motorun aşırı ısınması, silindir bloklarında deformasyonlara, contalarda hasara ve motorun genel yapısında ciddi arızalara yol açabilir. Bunun yanı sıra, motor sıcaklığının optimal değerlerin altında kalması durumunda ise yakıt tüketimi artar ve motor verimliliği düşer. Dolayısıyla termostatın doğru çalışması ve motor sıcaklığını istenen aralıkta tutması hayati bir rol oynar. Örneğin, otomotiv mühendisleri tarafından yapılan araştırmalarda, motor sıcaklığının 90-95°C civarında tutulmasının en ideal çalışma koşullarını sağladığı belirtilmektedir. Bu sıcaklık aralığında motor, hem daha verimli çalışmakta hem de emisyon değerleri optimize edilmektedir. (Hüsamettin BULUT, 2011)

Motor soğutma performansını test etmek amacıyla yapılan deneyler, termostatın kritik rolünü gözler önüne sermektedir. Bu testlerde, özellikle termostatın kontrolsüz bir şekilde müdahale edilmesi durumunda, motorun sıcaklık dengesi bozulmakta ve soğutma performansı önemli ölçüde düşmektedir. Bu tür müdahaleler, kısa çevrim ve uzun çevrim arasında dengesizlik yaratarak motorun aşırı ısınmasına veya soğutma sisteminin yetersiz çalışmasına sebep olabilir.

Bu çalışmada, motor soğutma performansını değerlendiren testlerin önemine ve termostat müdahalelerinin doğruluğunun nasıl kritik sonuçlara yol açtığına odaklanılmıştır. Motor soğutma sıvısının radyatöre doğru yönlendirilmesi, radyatörün soğutma kapasitesi ve fan sisteminin verimli çalışması gibi faktörler, motorun ideal sıcaklıkta çalışmasını sağlayan bir bütünü oluşturur. Ancak bu sistemde yapılacak en ufak bir hata, motor performansını ve güvenliğini ciddi anlamda tehlikeye atabilir.

Bu çalışma, motor soğutma performansını test etmek için alternatif bir yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Özellikle test benci olmayan ortamlarda uygulanan bu yöntem, araca sabit bir fren kuvveti uygulayarak motoru maksimum performansta zorlama prensibine dayanmaktadır. Test süresince termostata müdahale edilerek motor suyunun sürekli radyatörde soğutulması sağlanırken, fan sistemi de maksimum kapasitede çalıştırılmıştır.

Motorun çalışma sıcaklığı değeri, otomotiv firmaları tarafından motor tasarımı, malzeme bilimi, termodinamik analizler ve emisyon düzenlemeleri gibi birçok faktör göz önünde bulundurularak belirlenir. Bu sıcaklık aralığı, motorun en verimli çalışacağı termal denge koşullarını sağlamak amacıyla belirlenir. Genellikle içten yanmalı motorlar için optimum çalışma sıcaklığı 90-95°C aralığındadır. Bu değer, çeşitli testler ve analizlerle ortaya çıkarılır ve hem motor performansı hem de uzun ömür için kritik bir öneme sahiptir.

Test Öncesi Hazırlıklar

Testten önce aracın optimum performans koşullarında çalışabilmesi için aşağıdaki kontroller gerçekleştirilmiştir:

Hava Filtresi ve Motor Yağı: Araçta bulunan hava filtreleri ve motor yağı yeni olacak şekilde değiştirilmiştir.

Antifriz Oranı: Soğutma suyu antifriz oranı %50 oranında ayarlanmıştır.

Muharebe Ağırlığı: Araç, gerçek çalışma koşullarını simüle etmek için muharebe ağırlığında tutulmuştur.

Çekilen Araç Ağırlığı: Test sırasında çekilen aracın ağırlığının öndeki aracın kaymasını önleyecek şekilde ayarlanacaktır.

Termostat Modifikasyonu: Motorun suyu devamlı soğutulacak şekilde, termostatın içi boşaltılmış bir termostat ile değiştirilmiştir.

Fan Sistemi: Motor soğutma fanının tam kapasite çalışması sağlanmıştır.

ECU Bağlantısı: Araç ECU''sundan motor gücü ve tork bilgilerinin alınabilmesi için diagnostik cihazı bağlanmıştır.

Sensör Verilerinin Kontrolü: Test başlamadan önce aşağıdaki sıcaklık ve performans verileri raporlanmıştır:

Testin Uygulanışı

Test süresi boyunca aracın termostatı modifiye edilerek motor suyunun sürekli radyatöre gitmesi sağlanmıştır. Aynı zamanda fan maksimum devirde çalışacak şekilde ayarlanmıştır. Test sırasında ECU verileri ve sensörlerden gelen bilgiler kaydedilmiş, sıcaklık farkları analiz edilmiştir.

Test Sonuçları ve Değerlendirme Test süresince gerçekleştirilen sıcaklık ölçümleri, farklı termostat müdahaleleri altında motorun soğutma performansı ve sıcaklık düzenleme kabiliyetini kapsamlı bir şekilde ortaya koymuştur. Testlerin amacı, motorun çalışma sıcaklığını belirlemek ve ideal termostat ayarlarının etkilerini analiz etmektir.

Yanlış Termostat Müdahalesi Yanlış termostat müdahalesi yapılan testlerde, termostat hem kısa çevrim hem de uzun çevrim yollarını aynı anda açık bırakmıştır. Bu durumda, motor soğutma sıvısı bir yandan radyatörde soğutulmaya çalışırken diğer yandan kısa çevrimde dolaşmaya devam etmiştir. Bu durum, radyatörün soğutma kapasitesinin tam anlamıyla kullanılmasını engellemiştir. (Ahmet Serhan CANBOLAT & Burak TÜRKAN, 2016)

Ölçümlerde radyatör giriş-çıkış su sıcaklık farkı 14-15°C seviyelerine kadar çıkmıştır. Bu, radyatördeki soğutmanın belirli bir seviyeye ulaştığını göstermektedir; ancak motor sıcaklığı bu duruma rağmen ideal çalışma aralığının üzerine çıkmıştır.

Motorun iç sıcaklık değerleri, maksimum çalışma sıcaklığını aşarak aşırı ısınma riskini doğurmuştur. Bu durum, termostatın yanlış konumlandırılmasının motorun soğutma sisteminde ciddi performans kayıplarına yol açtığını ortaya koymaktadır.

Doğru Termostat Müdahalesi Doğru termostat müdahalesi yapılan testlerde ise motor soğutma sıvısı tamamen radyatör üzerinden uzun çevrim yolunu izleyerek soğutulmuştur. Bu durumda:

Radyatör giriş-çıkış su sıcaklık farkı 7-8°C seviyelerinde kalmıştır. Bu, radyatörün yeterli düzeyde soğutma sağladığını ve motor sıcaklık kontrolünün optimum seviyede tutulduğunu göstermektedir.

Motor sıcaklığı ideal çalışma sıcaklığı aralığında sabit kalmış ve aşırı ısınma riski ortadan kaldırılmıştır.

Fanın maksimum kapasitede çalıştırılması, radyatördeki hava akışını artırarak soğutma performansını desteklemiştir.

Sonuç olarak, testlerden elde edilen veriler göstermektedir ki, yanlış termostat müdahalesi motor soğutma performansını ciddi şekilde olumsuz etkilemektedir. Kısa çevrim yolunun açık kalması, soğutma sıvısının radyatörde yeterince soğutulmasını engelleyerek motorun aşırı ısınmasına sebep olmaktadır. Doğru termostat müdahalesinde ise, soğutma sıvısı tamamen radyatörde dolaşarak motor sıcaklığının ideal aralıkta tutulmasını sağlamaktadır. Bu durum, termostat modifikasyonlarının ve fan kontrolünün testlerde kritik rol oynadığını kanıtlamaktadır. (Halit KARABULUT & Regaip MENKÜÇ & A. Onur ÖZDEMİR & Emre YILDIRIM. 2023)

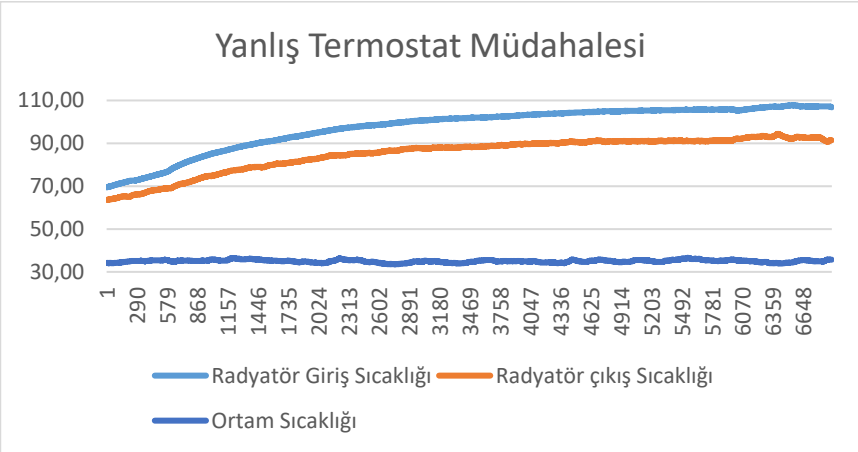
Sonuç

Otomotiv firmaları, motorun çalışma sıcaklığını belirlerken termodinamik analizlerden malzeme bilimine, yakıt verimliliğinden emisyon düzenlemelerine kadar birçok parametreyi dikkate alır. Bu değer, motorun performans, yakıt tüketimi, emisyon ve dayanıklılık gibi kritik faktörleri doğrudan etkilediği için büyük öneme sahiptir. Motor sıcaklığının doğru şekilde kontrol edilmesi, hem motor ömrünün uzatılması hem de kullanıcı için ekonomik ve çevresel avantajlar sağlanması açısından hayati bir gerekliliktir.

Motor soğutma performansı testlerinde termostat müdahalesinin doğruluğu, motorun ideal çalışma sıcaklığını koruması açısından kritik bir faktördür. Termostatın yanlış kullanımı, kısa çevrimde dolaşan suyun radyatörde yeterince soğutulmasını engelleyerek motorun aşırı ısınmasına neden olabilir. Bu nedenle, testler sırasında termostat müdahalesinin dikkatlice planlanması ve uygulanması, motor performansının optimize edilmesi için gereklidir.

Doğru termostat müdahalesi ile elde edilen sıcaklık kontrolü, motor ömrünü uzatmakta ve performansını optimize etmektedir. Bu bağlamda, test prosedürleri sırasında soğutma sıvısının uzun çevrimde dolaşması sağlanmalı, fan kontrolü doğru bir şekilde yapılmalı ve termostat modifikasyonlarının doğruluğu titizlikle kontrol edilmelidir.

İlgili tüm veriler grafik halinde paylaşılmıştır. Ölçümler saniyede bir olarak kayıt altına alınmıştır. Testin sonlandırılmadan son 30 saniyesi de tablo olarak eklenmiştir.



Grafik 1: Yanlış Termostat Müdahalesi Gerçekleştirilen Testin Verileri

Tablo 1: Yanlış Termostat Müdahalesi Gerçekleştirilen Testin Verileri

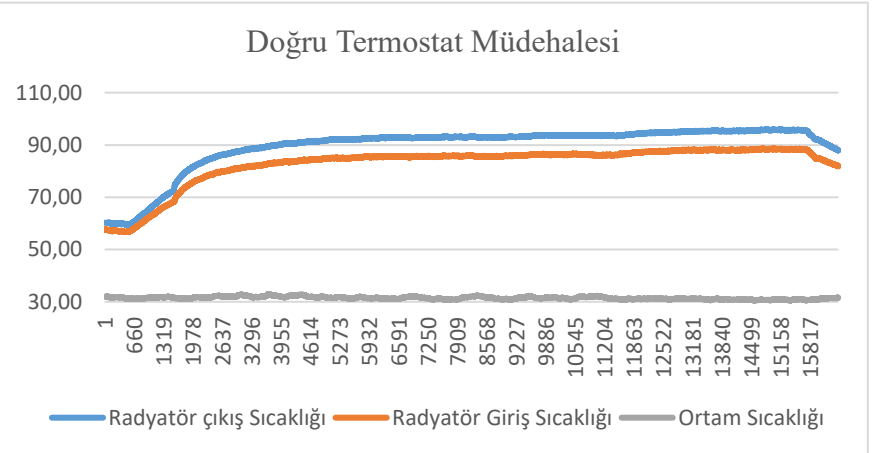
Radyatör Giriş Sıcaklığı (°C)	Radyatör Çıkış Sıcaklığı (°C)	Ortam Sıcaklığı (°C)
107,27	92,25	34,87
107,27	92,18	34,88
107,27	92,15	34,86
107,27	92,10	34,87
107,27	92,03	34,86
107,29	91,98	34,86
107,29	91,95	34,85
107,24	91,90	34,85
107,29	91,83	34,86
107,27	91,75	34,86
107,27	91,65	34,88
107,29	91,70	34,88
107,32	91,65	34,90
107,29	91,58	34,91
107,27	91,60	34,93

107,27	91,60	34,92
107,29	91,50	34,95
107,29	91,45	34,96
107,32	91,45	34,96
107,29	91,43	34,97
107,27	91,43	35,01
107,27	91,38	35,02
107,29	91,35	35,01
107,29	91,30	35,04
107,29	91,28	35,07
107,27	91,33	35,11
107,29	91,30	35,12
107,29	91,23	35,15
107,29	91,23	35,22
107,32	91,23	35,24

Testlerden elde edilen veriler göstermektedir ki, termostat müdahalesi ve fan kontrolü motor soğutma performansı üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Motorun ideal çalışma sıcaklığını koruması, yalnızca radyatör ve soğutma sıvısının etkin çalışması ile sağlanabilmektedir.

Yanlış termostat müdahalesi yapıldığında, soğutma sıvısının kısa çevrimde dolaşması nedeniyle radyatörde yeterince soğutulamadığı, bunun da motorun aşırı ısınmasına neden olduğu gözlemlenmiştir. Test motorun maksimum sıcaklık değerinin üstüne çıkacağı için yarıda bırakılmıştır. Bu durum, motor performansı üzerinde geri dönülemez zararlara yol açabilir ve motorun ömrünü ciddi şekilde kısaltabilir. Örneğin, aşırı ısınan bir motorun piston ve silindir duvarlarında aşınma, contalarda deformasyon ve yakıt tüketiminde artış gibi sorunlar ortaya çıkabilmektedir.

Buna karşın, doğru termostat müdahalesinde motor soğutma sıvısının tamamen radyatör üzerinden uzun çevrimle dolaşması sağlanarak soğutma performansı maksimize edilmiştir. Özellikle fanın sürekli olarak tam kapasitede çalıştırılması her iki testin farkını net bir şekilde gözler önüne sermiştir.



Grafik 2: Doğru Termostat Müdahalesi Gerçekleştirilen Testin Verileri

Tablo 2: Doğru Termostat Müdahalesi Gerçekleştirilen Testin Verileri

Radyatör Giriş Sıcaklığı (°C)	Radyatör Çıkış Sıcaklığı (°C)	Ortam Sıcaklığı (°C)
95,76	88,28	30,62
95,81	88,30	30,61
95,78	88,38	30,61
95,73	88,40	30,57
95,73	88,45	30,62
95,66	88,40	30,59
95,76	88,40	30,61
95,78	88,43	30,59
95,71	88,45	30,61

95,73	88,45	30,59
95,81	88,38	30,59
95,78	88,33	30,57
95,76	88,33	30,58
95,73	88,35	30,58
95,71	88,38	30,56
95,68	88,40	30,57
95,73	88,45	30,57
95,73	88,43	30,59
95,73	88,48	30,59
95,68	88,43	30,56
95,73	88,45	30,56
95,66	88,50	30,56
95,66	88,53	30,56
95,63	88,50	30,54
95,73	88,53	30,53
95,68	88,53	30,56
95,66	88,28	30,74
95,63	88,35	30,73
95,61	88,35	30,73
95,63	88,35	30,73

Bu sonuçlar doğrultusunda, motor soğutma performansının test edilmesinde dikkat edilmesi gereken temel faktörler şu şekilde özetlenebilir:

Termostatın doğru şekilde modifiye edilmesi, kısa çevrim yolunun kapatılarak uzun çevrimin aktif hale getirilmesi gereklidir.

Sensör verilerinin test süresince sürekli olarak izlenmesi ve kaydedilmesi, sıcaklık dengesizliklerinin erken tespit edilmesini sağlamıştır.

Test sırasında motor yükü ve araç performansı aynı olacak şekilde ayarlanmıştır.

Sonuç olarak, termostat müdahaleleri test süreçlerinde titizlikle uygulanması, motor sıcaklığının ideal aralıkta tutulmasını sağlamakta ve böylece motor performansını optimize ederek motor ömrünü uzatmaktadır. Bu tür test prosedürleri, özellikle yüksek performans gerektiren araçlar için kritik öneme sahiptir ve gelecekte yapılacak testlerde daha kapsamlı analizlere zemin hazırlayacaktır.

Kaynakça

1. Bulut, H. (2011). Şanlıurfa.
2. Karabulut, H., Menküç, R., Özdemir, A. O., & Yıldırım, E. (2023). Çten yanmalı motorlarda kullanılan radyatörlerin tasarımı için bir matematik model geliştirilmesi ve uygulaması.
3. Canbolat, A. S., & Türkan, B. (2016). Otomobil radyatörlerinin ısıl performansına etki eden parametrelerin nümerik incelenmesi.
4. Kula, S. (2022). Motor performansını iyileştirmek için gelişmiş motor soğutma sistemi tasarımı.

BÖLÜM V

Askeri Bir Araç Üstyapısında Yüksek Sıcaklık Etkisinin Gözlemlenmesine Yönelik Prosedürsel Yaklaşımlar

Esra GÜL GÜRBÜZ[1]

Giriş

Savunma sanayinde askeri ürünler için gerçekleştirilen test ve doğrulama sürecinin, tasarım geliştirme döngüsünde çok önemli bir yere sahip olduğu görülmektedir (Usta,2013). Özellikle teknik, taktik ve çevresel gereksinimlerin karşılanması ve tasarımın kontrol edilerek güçlü ve zayıf yönlerinin ortaya çıkarılması çok önemlidir. Bu aşamada, araçta çıkabilecek bütün hata ve arızaların tespit edilmesi ve tasarım birimlerine geri bildirimlerde bulunulması gerekmektedir. Araç doğru test edilmediği takdirde, müşteri kullanımı sırasında sorunlarla karşılaşılacaktır ve bu durum üretici

Tasarım Kalite Uzmanı, Koluman Otomotiv Endüstri A.Ş., Mersin/TÜRKİYE, esra.gulgurbuz@koluman.com, ORCID ID: 0009-0009-6145-5960[1]

firmanın prestijini olumsuz etkileyecektir (Göbülükoğlu,2014). Test ve doğrulama süreci müşteri memnuniyetinin ve firmanın yarattığı marka değerlerinin de önemli bir parçası olarak görülmektedir.

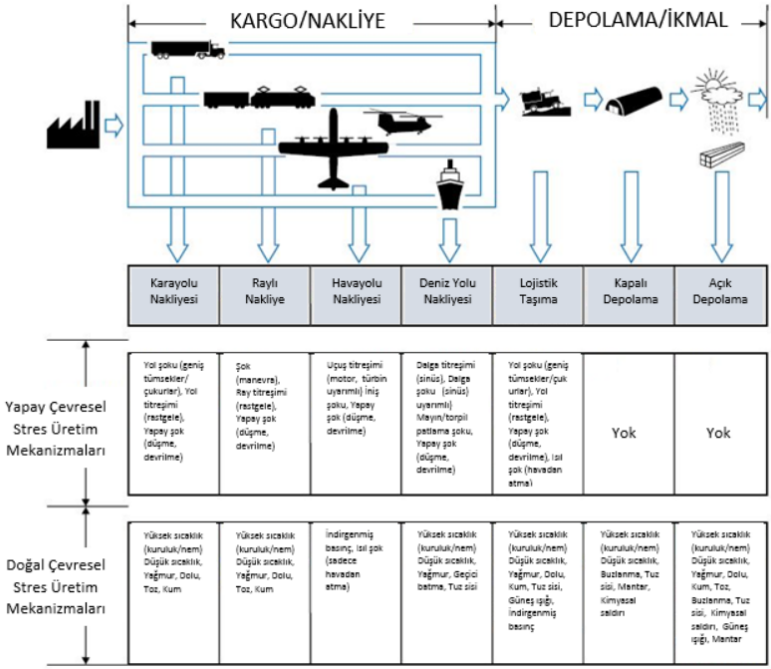
Savunma sistemlerinin çevresel şartlara dayanıklılığı, uluslararası standartlarla gerçekleştirilen çevresel testler ile doğrulanmaktadır (Savunma Sanayii Sektörel Strateji Dokümanı 2009-2016). Ürünlerin test edilmesinin iki temel amacı vardır. Bunlardan birincisi maruz kalınması beklenen çevresel yükler simüle edilmeye çalışılır, test başında ve sonunda yapılan muayeneler ile çevresel yüklerden kaynaklı bir hasar, bozulma, değişim olup olmadığı kontrol edilir, ikincisi maruz kalması beklenen çevresel yüklerin belirgin biçimde üzerinde yükler uygulanılarak ekipman ya da modülün arızalanması ya da performans kaybetmesini sağlamak amaçlanır, bunların sonucu olarak da zayıf noktalar, hata kök sebepleri ve tahmini ömür belirlenmeye çalışılmaktadır (Çal,2021). Bu yüzden özellikle askeri maksatlı araçların gereksinimlerini doğrulamada gerçekleştirilen testler askeri standartlar referans alınarak gerçekleştirilir. MIL-STD 810 test standartları çevresel test metotları ve mühendislik yönergelerini (prosedürlerini) sunmaktadır (Koca,2018b). Çevresel testler askeri ve sivil amaçlı kullanılan alt sistem ve sistemlerin ömür devirleri boyunca karşı karşıya kalabilecekleri doğal çevre şartlarına dirençlerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilmektedir. Çevresel testler, simülasyon testleri ve ömür testleri gibi sadece kaliteyi teyit etmekle kalmaz, aynı zamanda kalite güvencesinin vazgeçilmez ön koşulu olarak adlandırılabilir[3]. Bu testler askeri standart, MIL-STD 810 (ABD Savunma Bakanlığı, Askeri Ürünlerin Çevresel Uyumluluk Testleri) referans alınarak gerçekleştirilmektedir. MIL-

STD 810, ABD ordusu tarafından, ekipman sınırlarının kullanılmasında (ortam) veya taşınmasında (şoklarda) kullanılacağı çeşitli koşullarda test edilmesi için tasarlanan bir dizi testler bütünüdür (MIL-STD-810 F/G/H - Standart Test ve Kontrol Hizmetleri. (2023,). MIL-STD 810'un amacı, sistematik olarak çeşitli çevresel faktörlerin hizmet ömrü boyunca belirli bir materyal sistemi üzerindeki olası zararlı etkilerini göz önünde bulundurarak, olarak tanımlanmaktadır.

Ürünlerin yaşam döngüleri boyunca doğada karşılaşacakları ve performanslarını olumsuz yönde etkileyecek doğal koşullardan biriside MIL-STD 810'un yüksek sıcaklık test metodudur.

MIL-STD 810 yüksek sıcaklık test metodunun gerçekleştirilmesi için kontrollü bir test kabinine ihtiyaç duyulmaktadır. Testlerin gerçekleştirilmesinde kullanılan bu kabinlerin ve diğer kontrol cihazlarının kalibrasyonları düzenli olarak gerçekleştirilmesi test sonuçlarının güvenilirliği açısından önem arz etmektedir.

Test süresince, test kabinin sıcaklığı, bağıl neminin zamanla değişimi kaydedilmelidir. Bunlara ilaveten, test nesnesinin sıcaklığının zamanla değişimi ve ortamın hava dolaşım hızı da kaydedilmelidir. Test sonrasında, test ile ilgili bir rapor hazırlanmalıdır. Bu raporda; test edilen nesnenin, test öncesi ve sonrası görsel değişikler tespit edilmelidir. Test nesnesinin önceki ve sonraki görsel durumunu gösteren resimler test raporunda yer almalıdır [8].



Şekil 3: Çevresel Ortamlar ve Test Türleri [7]

Kaynak: Koca, Ö. (2018, February 14). Çevresel testler. Emtest Ar-Ge Ve Test Sistemleri. https://emtest.com.tr/cevresel-testler/

Açık sahada kullanılan kara araçları ve ekipmanlarının hepsi kaçınılmaz olarak yüksek sıcaklığa maruz kalmaktadır. Bunların yüksek sıcaklık altındaki performanslarının sahaya sürülmeden önce laboratuvar ortamlarında test edilmeleri, ürün güvenilirliği, kullanıcıların güvenliği ve oluşabilecek maddi kayıpların önlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Materyal

Bu çalışmada, askeri araçların üst yapılarının fiziksel prototiplemelerinin tamamlanmasının ardından çevresel gereksinimlerden birisi olan yüksek sıcaklık testleri ile doğrulaması işlenmiştir. Askeri bir üst yapının hava sızdırmazlığı sağlanarak gerçekleştirilen testlerde, iki farklı senaryo kurgulanmıştır. Askeri standart MIL-STD 810'un yüksek sıcaklık metoduna ait farklı prosedürler izlenerek iki bağımsız test gerçekleştirilmiştir. Test numunesi olarak seçilen askeri üst yapı aynı ebatlarda üretilmiş, iç ortamda ise son kullanıcının özel ihtiyaçlarına uygun olarak farklı konfigürasyonda tasarım yapılmış ve üst yapı iç ortamda son kullanıcı ihtiyacına yönelik farklı sistemler/elektronik birimler/ekipmanlar/dolaplar bulunmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, bir askeri araç üst yapısının yüksek sıcaklık koşullarındaki performansını değerlendirmektedir. İki farklı test senaryosunda gerçekleştirilen testlerde özellikle askeri araçların yüksek sıcaklık ortamlarında iç mekân sıcaklıklarını güvenli ve verimli bir şekilde kontrol edebilme yeteneklerinin doğrulanması hedeflenmiştir. Bu doğrulama, üst yapıya entegre edilmiş iklimlendirme sisteminin, +49°C'lik bir sıcaklık koşulunda iç ortam sıcaklığını istenilen seviyeye getirme ve sürdürme kapasitesi çalıştırma prosedürü ile test edilmesini içermektedir. Ek olarak gerçekleştirilen diğer test senaryosu ile ikinci üst yapının +63°C'lik bir sıcaklık koşulunda depolama senaryosu işlenmiştir. Depolama sonrası, +44°C'lik bir sıcaklık koşulunda sistemlerin çalışma performansları gözlemlenmiştir. Ayrıca aşırı sıcaklıklarda iç ortamın soğutma performansı test edilmiştir. Her iki senaryo için kullanılan test kabini ve zamanı birbirinden farklıdır. Test şartları farklı olan bu

iki senaryoda kullanılan test numunesi temel olarak birbirine benzeyen son kullanıcı gereksinimlerine göre iç donatımda ve kullanılan elektronik ekipmanlarda farklılıklar göstermektedir.

Askeri üstyapı, yüksek sıcaklık koşullarını simüle etmek amacıyla, bir test ortamında ısıtılmıştır. Test, aşağıdaki adımlarla gerçekleştirilmiştir.

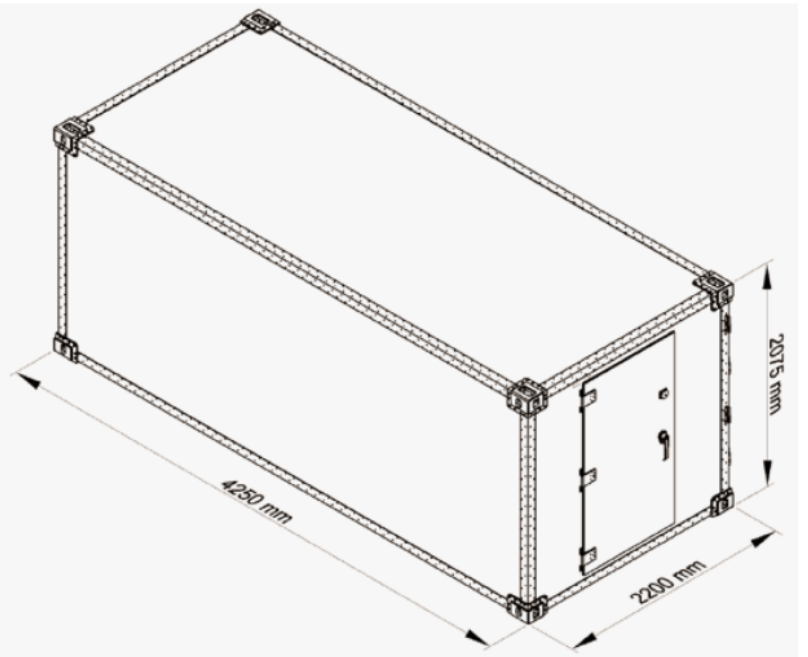
Test Ortamı: Üstyapı, sıcaklık ve hava sirkülasyonunu simüle eden bir test odası/kabinidir.

Sıcaklık Sensörleri: Üst yapı içerisinde farklı noktalara ortam sıcaklığındaki değişimleri izlemek için sensörler yerleştirilmiştir.

Test Numunesi: Askeri araç üstyapı olarak şelter kullanılmıştır.

Her iki uygulanacak test senaryosunda test kabinine askeri üst yapı, donatılmış bir şelter test numunesi olarak yerleştirilecektir. Şelter 6 adet sandviç panel'den (4 yan duvar, tavan ve taban) oluşan kelime olarak, korunaklı, güvenli bir alan yaratmayı ifade eden ve farklı bağlamlarda barınma ya da koruma sağlayan yapılardır. Şekil-1'de şelterin genel yapısı görülebilir. Şelterler elektronik ekipmanları ve operatörleri dış çevre etkilerinden koruyacak şekilde dizayn edilir. Şelterler elektronik ekipman barındırmakta olup genel testlerin ve bakımın yapılması için yeterli mekan sağlar. Dayanıklılık, hafiflik, mobilizasyon, çevresel etkilere karşı koruma, modüler yapı ve taktiksel kullanım için tercih edilebilirler. Hava savunma sistemleri, füze ve roket kontrol sistemleri, bakım ve onarım istasyonları, elektronik harp, İHA/SİHA komuta kontrol istasyonları, mobil komünikasyon sistemleri, radar ve gözetleme sistemleri, uydu haberleşme sistemleri, radyolink sistemleri, mobil

tıbbi ünite, hava trafik kontrol istasyonları, koordinasyon merkezi, GSM istasyonları, simülasyon sistemleri şelter kullanım alanlarına örnek oluşturmaktadır.



Şekil 4: ACE III Tip Şelteri

Şelterler ACE tip ve NATO tip şelterler olarak sınıflandırılabilmektedir. Her iki şelter tipi de askeri operasyonlar için kritik öneme sahip olup farklı işlevlere hizmet ederler ve dolayısıyla boyutları da bu işlevlere göre optimize edilmiştir. ACE (Automated Command and Control Equipment) şelterleri ile NATO şelterleri arasında boyutsal farklar, kullanım amaçlarına ve tasarımlarına bağlı olarak belirgin şekilde değişir. Tablo- 1 de şelter tiplerini ve ölçüsel olarak farklılıkları görülebilir.

NATO Şelteri, genellikle NATO (Kuzey Atlantik Antlaşması Örgütü) tarafından kullanılan, özellikle askeri operasyonlarda ve sahada hızlı bir şekilde kurulabilen, dayanıklı, taşınabilir barınaklardır. Bu tür şelterler, NATO ülkelerinin ortak operasyonları sırasında kullanılan standartlara uygun olarak tasarlanmış, çoğunlukla modüler yapılar olup, çeşitli askeri, lojistik ve sağlık hizmetleri amaçlarına hizmet eder. NATO şelterleri, genellikle çok sayıda askeri personel için geçici barınma, komuta merkezleri, hastaneler ve diğer destek alanları olarak kullanılır.

ACE Şelteri, NATO'nun askeri operasyonlar için geliştirdiği "Automated Command and Control Equipment" (Otomatik Komuta ve Kontrol Ekipmanı) sistemine dayalı olarak tasarlanmış bir komuta merkezi, entegre edilmiş elektronik ekipmanlar ve iletişim cihazlarına sahip modüler yapılar olup boyutları daha büyük ve kapsamlıdır. ACE, NATO'nun çok uluslu askeri operasyonlarında komuta ve kontrol süreçlerini kolaylaştırmak için kullanılan, taşınabilir, yüksek derecede entegre edilmiş bir yapıdır. Bu şelterler, komuta kontrol, izleme ve iletişim gibi kritik operasyonel işlevleri yerine getirecek şekilde tasarlanmıştır. ACE şelterleri, komuta merkezi, iletişim ekipmanları, bilgisayarlar, telsizler ve radar sistemleri gibi kritik cihazlarla donatılmıştır. Bu nedenle iç kısımlar, yoğun ekipman ve personel ihtiyaçlarına uygun olacak şekilde genişletilebilir.

Boyutsal farklar, temel olarak şelterlerin kullanım amacına ve içeriklerine göre şekillenmiştir. ACE şelteri, askeri operasyonlarda yönetim ve iletişim için kapsamlı bir sistem sunarken, NATO şelterleri daha çok personel barınma, lojistik destek veya sağlık

hizmetleri gibi daha basit, hızlı kurulum gerektiren ihtiyaçları karşılamak için kullanılır.

Test numunesi şelterler, genişletilmiş ACE-III tip şelter sınıfına girmektedir.

	NATO			ACE		
	I	II	III	I	II	III
İç Uzunluk (mm)	3650	3650	2000	2740	4090	5936
İç Genişlik (mm)	1920	1920	1840	1890	2040	2278
İç Yükseklik (mm)	1940	1940	1565	1665	1915	2278
İç Uzunluk (mm)	3810	3810	2160	2900	4250	5000
İç Genişlik (mm)	2080	2080	2000	2050	2200	2200
İç Yükseklik (mm)	2100	2100	1725	1825	2075	2075
Boş Ağırlık (kg)	800	900	500	700	900	1200
Yük Taşıma Kapasitesi (kg)	2400	3650	1000	1300	3600	4300
Toplam (kg)	3200	4550	1500	2000	4500	5500

Tablo 1: Şelter Tipleri

Prosedür Seçimi

Yüksek sıcaklık testleri, test edilen numunenin doğal çevre koşullarından yüksek sıcaklığa karşı dayanıklılığını belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Test kabinine yerleştirilen numune, gerçek kullanım ve/veya depolama koşullarında karşılaşılacak uygun yüksek sıcaklık koşullarında uygun süre ile bekletilir. Test sırasında veya sonunda numunenin performansı gözlemlenir, varsa ortaya çıkan hatalar kayıt edilir.

Bu test yöntemi, üç prosedürü içerir.

Prosedür I (Depolama)

Prosedür II (Çalıştırma) ve

Prosedür III (Operasyona Taktik Yedek).

Her üç prosedür de sıcaklık koşullandırma ve performans testini içerirken, performans testleri öncesi ve sırasındaki sıcaklık yüküne göre farklılık gösterir. Depolama prosedürü, yüksek sıcaklıkta depolamanın sonraki malzeme performansı üzerindeki etkilerini değerlendirir. Çalıştırma prosedürü ise performans sırasında yüksek sıcaklıkların etkilerini değerlendirir. Operasyonel prosedür için taktik bekleme, yüksek sıcaklıklı bir ortamda güneşe batırılmış malzemenin (genellikle şeffaf veya yarı saydam malzeme ile çevrelenir) nispeten kısa bir süre içinde operasyonel hale gelme yeteneğini değerlendirir.

Prosedür seçiminde malzemenin kullanım amacı, doğal maruz kalma koşulları, malzemenin operasyonel amacının karşılanıp karşılanmadığını belirlemek için gereken test verileri önemli yere sahiptir. Hem depolama hem de çalıştırma prosedürleri

uygulanacaksa, Prosedür II'den önce Prosedür I gerçekleştirilir. Operasyonel konfigürasyonundaki malzemenin çalışmadığı (kullanım bekleyen) ve güneş enerjisine maruz kaldığı, örneğin uçak kokpitleri, kara aracı yolcu bölmeleri vb. gibi benzersiz durumlar için Prosedür II yerine Prosedür III kullanılabilir. Prosedürleri birleştirmeye çalışırken, sabit sıcaklıkta Prosedür II'nin ardından Prosedür I'in uygulanması ve ardından Prosedür II'nin tekrar edilmesi tercih edilir. Test, test tamamlanana kadar ortam koşullarına geri dönülmeden seri olarak yapılmalıdır. Bu yöntemi ve ilgili prosedürleri (test öğesinin gereksinim belgelerine ve uyarlama sürecine dayalı olarak) seçtikten sonra, bu prosedürler için uygun parametre seviyelerini ve uygulanabilir test koşullarını ve tekniklerini belirleyerek uyarlama süreci tamamlanır. Bu seçimleri gereksinim belgelerine ve yaşam döngüsü çevre profiline ve bu prosedürle sağlanan bilgilere dayandırılır. Test seviyelerini seçerken klimatik koşullar göz önünde bulundurulur. Malzemenin açılıp depolanacağı coğrafi alanlar için uygun iklim koşullarını belirlenir. Yüksek sıcaklıkların tipik olarak karşılaşılan iki iklim kategorisi vardır; kuru sıcak ve temel sıcak. Bu alanlara ilişkin veriler Tablo 2'de gösterilmektedir.

Dizayn Türü	**Konum**	**Ortam Havası °C (°F)**	**İndüklenmiş Çevre (Depolama & Taşıma) °C (°F)**
Temel Sıcak (A2)	Dünyanın birçok bölgesi, güneybatı Amerika Birleşik Devletleri, kuzeybatı	30 - 43 (86 - 110)	30 - 63 (86 - 145)

	Meksika, orta ve batı Avustralya, Sahra Afrika, Güney Amerika, güney İspanya ve güneybatı ve güney orta Asya'nın dışa uzanan kısımları sıcak kuru kategorisindedir .		
Kuru Sıcak (A1)	Güneybatı ve güney orta Asya' merkezi, güneybatı Amerika Birleşik Devletleri, Sahra Afrika, merkez ve batı Avustralya ve kuzeybatı Meksika	32 - 49 (90 - 120)	33 – 71 (91 - 160)

Tablo 2: Yüksek Sıcaklık Günlük Döngü Aralıklarının Özeti

Test sırasında aksi belirtilmedikçe, termal şoku önlemek için dakikada 3 C'yi (5 F) aşmayan bir sıcaklık değişim hızı kullanılır.

Metot

Test numunesi olarak belirlenmiş genişletilmiş ACE-III şelterleri, son kullanıcı gereksinimlerine uygun olarak iç donatımları ile birbirlerinden ayrılmaktadırlar. Her iki şelterde de soğutma performansının işlevselliğini sürdürübildiğinin değerlendirileceği iklimlendirme sistemi yatay tipte tercih edilmiştir. Klimanın şelter içine havayı homojen bir şekilde dağıtabilmesi amacıyla tasarlanan hava kanalı yapısı, şelterin uzun kenarlarına, tavan boyunca entegre

edilmiştir. Her iki test için kullanılan genişletilmiş ACE-III şelteri boyut olarak birbirleriyle aynıdır.

İlk gerçekleştirilen teste ait şeltere entegrasyonu gerçekleştirilmiş iklimlendirme sistemi ve şelter içinde elektronik kabinette bulunan birimlerin yüksek sıcaklık ortamında ne kadar efektif çalıştığını incelemek için Prosedür II (çalıştırma) methodu, gereksinim dokümanlarına göre seçilmiş ve uygulanmıştır.

Testler sırasında şelter içine 7 adet sıcaklık sensörü yerleştirilmiştir. Sensörler, 2 adet sensör operatör çalışma alanına, 1 adet sensör güç dağıtım birimine, 2 sensör hava kanalları arasında havada asılı duracak şekilde, şelter içerisinde personelin bulunacağı ortamın sıcaklığını ölçmek için yerleştirilip test başarı kriteri için sensör verileri referans alınmıştır. Test öncesi şelterin görsel ve fiziksel kontrolleri gerçekleştirilmiştir. Şelterin test kabinine uygun konfigürasyonda yerleştirilmesinin ardından test kabinine sıcaklık takibi amacıyla termokupl bağlantıları yapılmıştır. Termokupllar, sıcaklık ölçümü yapmak için kullanılan sensörlerdir, ısıya duyarlı özellikleri sayesinde sıcaklık değişimlerini elektriksel sinyallere dönüştürerek ölçmektedirler. Termokupl yerleri, termal tepki ve sıcaklık stabilizasyonu amacıyla kullanılmıştır. Test sırasında kabin içine yerleştirilen termokupl bilgileri aşağıdaki gibidir:

1 numaralı termokupl: Klima hava üfleme kanalı menfezi (sol taraf)

2 numaralı termokupl: Klima hava emiş kanalı menfezi (sağ taraf)

3 numaralı termokupl: Operatör 1

4 numaralı termokupl: Elektronik kabinet üzeri

5 numaralı termokupl: Operatör 2

6 numaralı termokupl: Güç Dağıtım Ünitesi

7 numaralı termokupl: Klima hava üfleme kanalı (sağ taraf)

Şekil 5: Monitör Bölgesi Operatör 1 – Sensör 3

Şekil 6: Klima Hava Üfleme Kanalı – Sensör 1

3 ve 5 numaralı sensör, hava kanalları arasında havada asılı duracak şekilde, şelter içerisinde personelin bulunacağı ortamın sıcaklığını ölçmek için yerleştirilip test başarı kriteri için referans alınmıştır. Kabul kriteri, bu sensörlerin ortalamasının 26°C'ye gelmesi olarak belirlenmiştir. Şelter içerisine yerleştirilen diğer sıcaklık sensörleri içerisindeki genel durumun takibi için kullanılmıştır.

Test kabini sıcaklığı 3 °C / dk (5 F / dk) aşmayacak düşüş oranı ile) aşmayan düşüş oranı ile test planında belirtilen yüksek sıcaklık değerine getirilir. Yüksek sıcaklık testinde, sistem birimleri

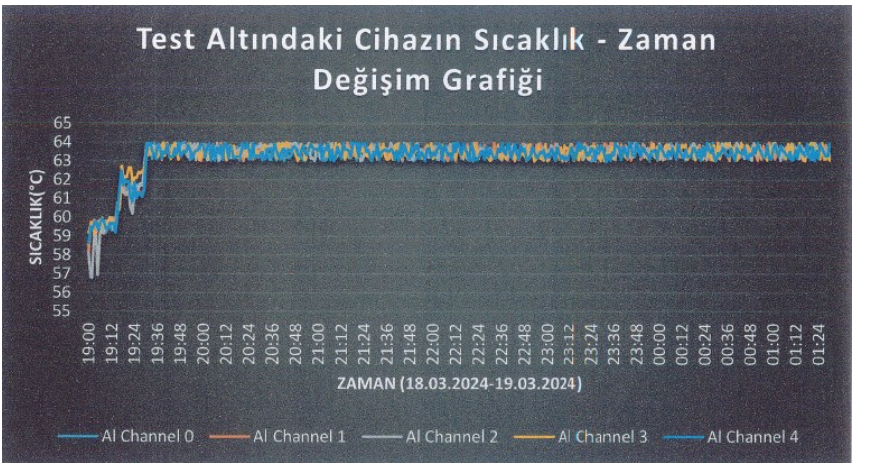
enerjilendirilmemiş durumdayken şelter kapıları açık bırakılarak kabin sıcaklığı 49°C'ye ayarlanmıştır. Şartlanma sonrası şelter içerisine yerleştirilen sensör verilerinin 49°C'ye ulaştığı görüldükten sonra en az 4 saat daha sisteme müdahale edilmeden şartlanmaya bırakılmıştır. 4 saatlik sürenin sonunda şebeke üzerinden sistem enerjilendirilip klima soğutma modunda çalıştırılmıştır. Ardından şelter kapıları kapatılmış ve sensör verileri gözlemlenmiştir.

16:00'da Test kabini 49°C'ye şartlandırılmıştır. 9 saat sonra şelter içi sensörlerden okunan ortalama değer 49°C'ye ulaşmıştır. Saat 08:30'da kabine girilerek jeneratör üzerinden şebeke beslemesi yapıldı. Şelter içerisine girilerek Güç birimi, aydınlatmalar, klima ve elektronik kabinette bulunan birimler aktif hale getirilmiştir. Klima hava kanalları kontrol edilerek ''manuel'' modda, fan seviyesi en yüksek seviyede 18°C'ye ayarlanır. Şelter kapısı kapatılarak kabinden çıkılır. Test kabininden ayrılmadan şelter kapısının tam kapandığından, herhangi bir sızdırmazlık yaşanması durumunun önüne geçilmek hedeflenir.

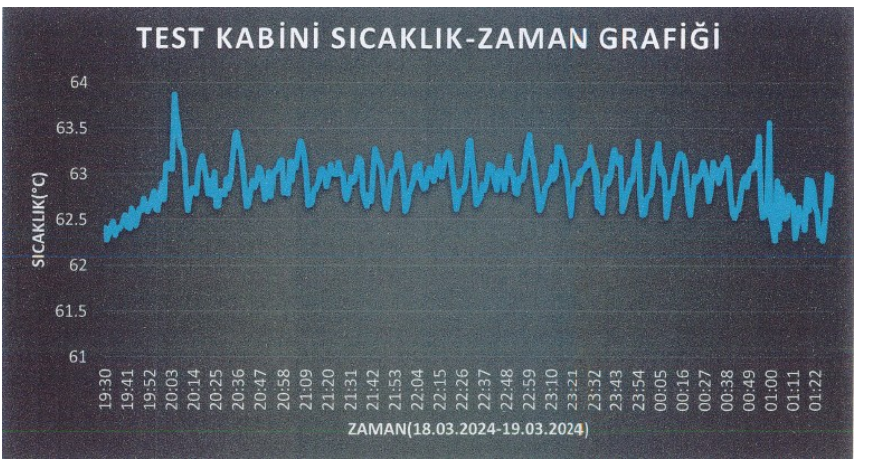
İkinci gerçekleştirilen teste ait şeltere entegrasyonu gerçekleştirilmiş iklimlendirme sistemi ve şelter hava sızdırmazlığı yüksek sıcaklık ortamında test edilmiştir. Şelterin operasyonel amacının karşılanıp karşılanmadığını belirlemek için test verileri gözlemlenmiştir. Şelter içerisinde bulunan sıcaklık sensörleri yardımıyla sabitlenmiş dış ortam sıcaklığı altında, klima soğutma performansının değerlendirilmesi için gerekli veriler elde edilmiş ve sınıflandırılmıştır. İkinci şeltere MIL-STD 810 yüksek sıcaklık testine ait iki metot, Prosedür I (depolama) ve Prosedür II (çalıştırma) metodu, gereksinim dokümanlarına göre belirlenerek uygulanmıştır. Bu iki prosedür birbirinin peşi sıra uygulanmıştır.

Testler sırasında şelter içine 5 adet sıcaklık sensörü yerleştirilmiştir. Sensörlerden biri şelterin tam orta tavan noktasından aşağıya, ikisi şelter sağ uzun kenarda konumlanacak şekilde sağ uzun kenarın başına ve sonuna, kalan ikisi sol uzun kenarda, kenarın başına ve sonuna denk gelecek şekilde her konumlandırılmıştır. Her sensör kenarlardan 50 cm uzaklıkta olacak şekilde konumlandırılmıştır. Test kabul kriteri, sensörlerden alınan değerlerin en fazla 26°C olması beklenecektir.

Test numunesinin kabine uygun konfigürasyonda yerleştirilmesinin ardından sıcaklık takibi amacıyla termokupl bağlantıları yapılmıştır. Test kabini sıcaklığı 3 °C / dk (5 F / dk) aşmayacak şekilde test planında belirtilen yüksek sıcaklık değerine getirilir. Yüksek sıcaklık testinde, sistem birimleri enerjilendirilmemiş durumdayken şelter kapıları açık bırakılarak kabin sıcaklığı ilk olarak depolama testi için 63°C'ye şartlanmıştır. Kabin sıcaklığının 63°C'ye ulaşmasının ardından cihazın 2 saatlik stabilizasyon süresi beklenmiştir. Stabilizasyon sonrası cihaz 4 saatlik depolama testine maruz bırakılmıştır.



Şekil 7: Test Altındaki Cihazların Sıcaklık Zaman Grafiği

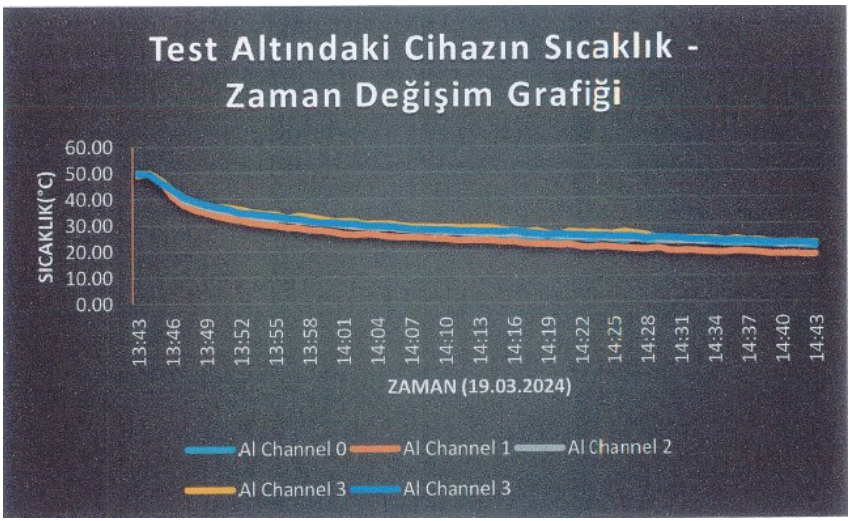


Şekil 8: Test Kabini Sıcaklık Zaman Grafiği

Şekil 9: Şelter içi Sensör Yerleşimi

4 saat sonrasında kabin sıcaklığı 3°C ‘yi aşmayacak şekilde 49°C’ye şartlandırılarak yüksek sıcaklık çalıştırma testine geçilmiştir. İki metot bu test sırasında birbirine bağlanmıştır. Kabin sıcaklığının 49°C ulaşmasının ardından test numunesi şelterin 2 saatlik stabilizasyon süresi beklenmiştir. Stabilizasyon sonrası test kabinine girilerek şebeke beslemesi yapılmıştır. Şelter içerisinde klima, aydınlatmalar, KBRN birimleri aktif hale getirilmiştir. Klima hava kanalları kontrol edilerek ‘’manuel’’ modda, fan seviyesi en yüksek seviyeye ayarlanır. Klima hava kanalları kontrol edilerek havanın şelter içine dağıtımına engel bir durum olmadığı teyit edilmiştir. Hava kanalları açık konuma alınarak klima 18°C’ye, fan seviyesi ise en yüksek seviyeye alınmıştır. Test kabininden

ayrılmadan şelter kapısının tam kapandığından, herhangi bir sızdırmazlık yaşanması durumunun önüne geçilmek hedeflenir.



Şekil 10: Test Altındaki Cihazın Sıcaklık-Zaman Değişim Grafiği

Şekil 11: Test Kabini Sıcaklık Zaman Grafiği

Sonuç

Gerçekleştirilen testlerde, yüksek sıcaklık testinin prosedür II(çalıştırma) metodu uygulanarak kabin 49°C'ye şartlanmıştır. Gerçekleştirilen ikinci testte prosedür I (depolama) ve prosedür II (çalıştırma) metotları birbirine bağlanarak gerçekleştirilmiş ve kabin önce depolama sıcaklığı olan 63°C'ye yeterli süre bekletildikten sonra 49°C'lik çalıştırma sıcaklığına şartlanmıştır.

İlk gerçekleştirilen testte, Prosedür II, çalıştırma metotu uyguladığında şelter içi iklimlendirme sisteminin şelter içi sıcaklığı 1 saat 24 dakika sonra, 26°C olduğu gözlemlenmiştir. 3 ve 5 numaralı operatör sensörlerinden okunan sıcaklık değerlerinin ortalaması test başarı kriteri olarak belirlenmiştir. Şelter içine girilerek cihaz kontrolleri sağlanmıştır.

Diğer test için her iki Prosedür birbirine bağlanmış şekilde gerçekleştirilmiştir. +63°C'ye şartlanan şelter depolama prosedürü uygulanmış olup 49°C'de çalıştırma prosedürü uygulanmıştır. Kabin sıcaklığı 49°C'ye ulaşmasının ardından 2 saatlik stabilizasyon süresi beklenmiştir. Stabilizasyon süresi sonrası klima 1 saatlik çalıştırma testi için başlatılmıştır. Testin 35.dakikasında klima soğutma performansının istenen sıcaklık değerine şelter içini başarı ile getirdiği sensörlerden alınan verilerden gözlemlenmiştir. Teste ait sıcaklık-zaman grafikleri şekil-5, şekil-6, şekil-8 ve şekil 9 da görülmektedir.

Bu çalışmada, askeri araçların üst yapılarının fiziksel prototiplemelerinin tamamlanmasının ardından çevresel gereksinimlerden birisi olan yüksek sıcaklık testleri ile doğrulaması işlenmiştir. Askeri bir üst yapının hava sızdırmazlığı sağlanarak

gerçekleştirilen testlerde, iki farklı senaryo kurgulanmıştır. Askeri standart MIL-STD 810'un yüksek sıcaklık metoduna ait farklı prosedürler izlenerek iki bağımsız test gerçekleştirilmiştir. Test numunesi olarak seçilen askeri üst yapı aynı ebatlarda üretilmiş, iç ortamda ise son kullanıcının özel ihtiyaçlarına uygun olarak farklı konfigürasyonda tasarım yapılmış ve üst yapı iç ortamı son kullanıcı ihtiyacına göre farklı sistemler bulunmaktadır.

Düşük sıcaklık testinin gerçekleştirilmesi için MIL-STD 810 standartları çerçevesinde prosedürel yaklaşımlar değerlendirilmiştir. Testler sırasında kabin şartlanması proje gereksinimlerinde belirlenen sıcaklık değerlerine ayarlanmıştır.

Klima performansının istenen sıcaklık gereksinimlerini sağlaması üzerine, testler sonucunda askeri şelterler için belirlenen klima, tasarlanan hava kanalı yapısı ve şelter hava sızdırmazlığı doğrulanmıştır. Testler sırasında üst yapıya yerleştirilen sıcaklık sensörleri ve elde edilen veriler sınıflandırılarak değerlendirilmiştir. Askeri üstyapının maruz bırakıldığı farklı ortam koşulları ile karşılaştığında performansında bir kayıp ya da arıza gözlemlenmemiştir.

Referanslar

Usta E. (2013) Otokar Otomotiv ve Savunma Sanayii A.S. Savunma Sanayii'ne Yönelik Ölçümbilim Uygulamaları, *VIII. Ulusal Ölçümbilim Kongresi*

Göbülükoğlu H. (2014) Test Pistleri Tasarımı, Sınıflandırması ve Bakımı, *7. Otomotiv Teknolojileri Kongresi*

TRtest - Test ve Degerlendirme A.S. - TRTEST Test ve Değerlendirme. (2020). Tr-Test.com.tr. (19/12/2024 tarihinde https://tr-test.com.tr/trtest/views/portalHeader/Cevresel%20Testler-45 adresinden ulaşılmıştır.)

MIL-STD-810 F/G/H - Standart Test ve Kontrol Hizmetleri. (2023, December 18). Standart Test ve Kontrol Hizmetleri. (19/12/2024 tarihinde https://stest.com.tr/mil-std-810-f-g-h/ adresinden ulaşılmıştır.)

Çal B. (2021)Uzay Elektroniğinde Uygulanan Güvenilirlik Muayene ve Testleri, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*

Savunma Sanayii Sektörel Strateji Dokümanı 2009-2016

Koca Ö. (2018b, February 14). Çevresel testler. Emtest Ar-Ge Ve Test Sistemleri. https://emtest.com.tr/cevresel-testler/

Technology Training Inc., Climatic Test Techniques-Course Number:230, 2010

BÖLÜM VI

Structural Integrity and Fatigue Resistance of High-Pressure Closure Systems: A Study Based on ASME Sec VIII Div.2

İbrahim Kerem KOYUNCUOĞLU[1]

1.Introduction

High-pressure closure systems are critically important for ensuring reliability and durability in the oil, gas, and energy industries. These systems are designed to maintain long-term performance under high operating pressures and are used in various applications. Some of the key application areas include:

Pig Launchers and Receivers: These systems are used in pipeline maintenance operations, where pigs (pipeline inspection gauges) are launched or received to clean, inspect, or maintain the pipeline. The closure systems must be capable of withstanding high

[1] İbrahim Kerem KOYUNCUOĞLU, Koluman Automotive Industry INC., R&D Specialist, Mersin/Türkiye, ORCID: 0009-0008-5160-8506, kerem.koyuncuoglu@koluman.com

pressures and frequent operations, ensuring the integrity of the pipeline during these maintenance procedures.

Cartridge Gas Filters: These filters are employed in gas processing plants to remove particulate matter and contaminants from the gas streams. The closure systems in these filters must offer reliability and ease of access for maintenance while maintaining safety under high-pressure conditions.

Filter Separators: Used in the oil and gas industry, filter separators remove solid particles and free water from oil and gas streams. The closure systems are crucial for ensuring proper sealing and preventing leaks while maintaining the high pressures necessary for efficient separation (Pressure vessel | Quick opening closures).

This study focuses on the structural integrity and fatigue resistance of a 20" diameter, 600# pressure class "High-Pressure Closure" system, analyzed in compliance with ASME Sec VIII Div.2 standards. The methodologies employed, the findings obtained, and their implications for engineering applications are discussed in detail.

Design methodology of the high-pressure closure system:

The high-pressure closure system utilises pressure loaded components for which complete details of construction are not given and complete design rules do not exist in ASME Sec. VIII Div.1 2019 Edition. (ASME, Div.1, 2019)

Hydrostatic test pressure is calculated using ASME Sec. VIII Div.1 UG-99.

The closure functional design is fully in accordance with ASME Sec. VIII Div.1 UG-35.2.

ANSYS Version 18.1 is used during Finite Element Analysis.

Table.1 Design Information for High-Pressure Closure

Design Code	:	ASME Sec. VIII Div.1 2019 Edition
Operating Pressure	:	8 MPa
Operating Temperature	:	70 °C
Design Temperature	:	-20 / +70 °C
MAWP @ Design Temperature	:	8 MPa @ 70 °C
Design Pressure (at hihgest point)	:	8 MPa
Static Head	:	0,005 MPa
Number of Design Cycles	:	7000 (0-8 MPa)
Test Pressure	:	10,4 MPa
MDMT @ MAWP	:	-20 °C @ 8 MPa
IMPact Test Requirement	:	No, Exempted as per UCS-66
PWHT Requirement	:	Not required as per Table UCS-56
Heat Treatment Requirement	:	Not required as per Table UCS-79
Service	:	Non-Sour
Corrosion Allowance	:	3 mm
Lethal Service	:	No

2.Loads and Load Cases

Loads and load conditions are referred from ASME Sec.VIII Div.2, Table 5.1 & 5.3 (ASME, Div.2, 2019)

Table.2 Design Load Combinations

1.	$P + P_S + D$	8,005	MPa
2.	$P + P_S + D + L$	8,005	MPa
3.	$P + P_S + D + L + T$	8,005	MPa
4.	$P + P_S + D + S_S$	8,005	MPa
5.	0.6D + (0.6W or 0.7E)	0	MPa
6.	$\Omega PP + P_S + D$ + (0.6W or 0.7E)	8,005	MPa
7.	$\Omega PP + P_S + D + 0{,}75(L + T) + 0{,}75S_S$	8,005	MPa
8.	$\Omega PP + P_S + D + 0{,}75$(0.6W or 0.7E) $+ 0{,}75L + 0{,}75S_S$	0,005	MPa
9.	Other operating load combinations as per User Design Requirement	None	-

Table.3 Operation Load Combinations

1.	Po + Pso + Do	8,005	MPa
2.	Po + Pso + Do + Lo	8,005	MPa
3.	Po + Pso + Do + Lo + To	8,005	MPa
4.	Po + Pso + Do + Ss	8,005	MPa
5.	Po + Pso + Do + (0.6W or 0.7E)	8,005	MPa
6.	Po + Pso + Do + 0.75(Lo + To) + 0.75Ss	8,005	MPa
7.	Po + Pso + Do + 0.75(0.6W or 0.7E) + 0.75 $_{LO}$ + 0.75Ss	8,005	MPa
8.	Other operating load combinations as per User Design Requirement	None	-

Table.4 Pressure Testing Load Combinations

1.	PT + Ps + D + 0.6Wpt	10,41	MPa

Table.5 Fail Condition Load Combinations

1.	$P + P_S + D$	8,005	MPa
2.	$P + P_S + D + L$	8,005	MPa
3.	$P + P_S + D + L + T$	8,005	MPa
4.	$P + P_S + D + S_S$	8,005	MPa
5.	0.6D + (0.6W or 0.7E)	8,005	MPa
6.	$\Omega PP + P_S + D$ + (0.6W or 0.7E)	8,005	MPa
7.	$\Omega PP + P_S + D + 0{,}75(L + T) + 0{,}75S_S$	0	MPa
8.	$\Omega PP + P_S + D + 0{,}75$(0.6W or 0.7E) $+ 0{,}75L + 0{,}75S_S$	0,005	MPa
9.	Other operating load combinations as per User Design Requirement	None	-

Table.6 Load Parameters

1.	P, Internal or external specified design pressure	8	MPa
2.	Po, Internal or external specified operating pressure	8	MPa
3.	Ps, Static head from liquid or bulk materials	0,01	MPa
4.	PT, Hydrotest pressure according to UG-99(b)	10,4	MPa
5.	P_{SO}, Static head from liquid or bulk materials specified operating pressure	0,01	MPa
6.	D, Deadweight of the vessel	0	MPa
7.	DO, Operation pressure deadweight of the vessel	0	MPa
8.	L, Appurtenance live loading	0	MPa
9.	LO, Operation pressure appurtenance live loading	0	MPa
10.	E, Earthquake loads	0	MPa
11.	W, Wind loads	0	MPa

12.	Wpt, Pressure test wind loads	0	MPa
13.	Ss, Snow loads	0	MPa
14.	F, Loads due to deflagration	0	MPa
15.	T, Operation pressure self-restraining loads (i.e. thermal loads, applied displacements)	0	MPa
16.	TO, Self-restraining loads (i.e. thermal loads, applied displacements)	0	MPa
17.	ΩPP, Maximum anticipated operating pressure	8	MPa

Note : In evaluating above load conditions (cases) involving pressure, P, additional cases with P equal to zero are considered. Effects of one or more loads not acting are also considered if applicable. Whichever produces the most unforable effect in the component is analysed.

Static head calculation ;

$Ps = \rho \times g \times h$

ρ = density of the medium

g = gravitational acceleration

h = heigth of the fluid

$Ps = 1000\ (kg/m^3) \times 9{,}81\ (m/sec^2) \times 0{,}47782\ (m)$

$Ps = 0{,}004687$ MPa

$Ps \approx 0{,}005$ MPa

3.Material and Assumptions

The Door & Hub have been assigned “ASME SA-350 LF2 CL1” material. The material properties have been taken from ASME BPVC.II.D.M-2019. Material properties are shown in below table;

Table.7 ASME SA-350 LF2 CL1 Material Properties

Property	**Unit**	**Value**
Density	kg/m³	7850
Young's Modulus (ET) @70 °C	MPa	199,6 x 10³
Possion Ratio	-	0,3
Min. Tensile Stress (S_U)	MPa	485
Min. Yield Stress (S_Y)	MPa	250
Max. Allowable Stress Value (S) @40 °C	MPa	138
Max. Allowable Stress Value (S) @70 °C	MPa	138

- Metric units system have been used as “ mm, kg, N, s “
- To avoid mesh distortion the model has been clean-up in Ansys Design Modeller
- To achieve the same, various geometric operations have been performed and the final CAD for the FE analysis is shown in the Figure.

4.Geometry

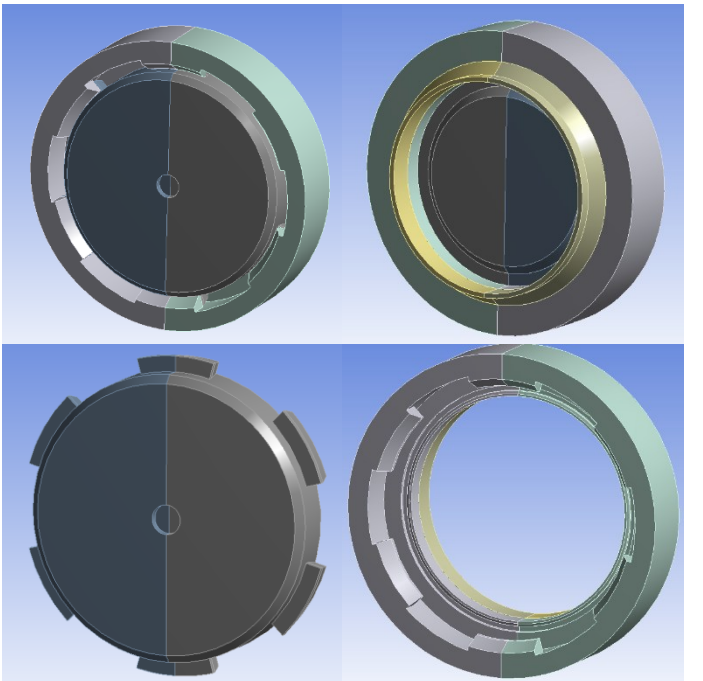


Figure.1 CAD Model Geometry

5.Finite Element Model

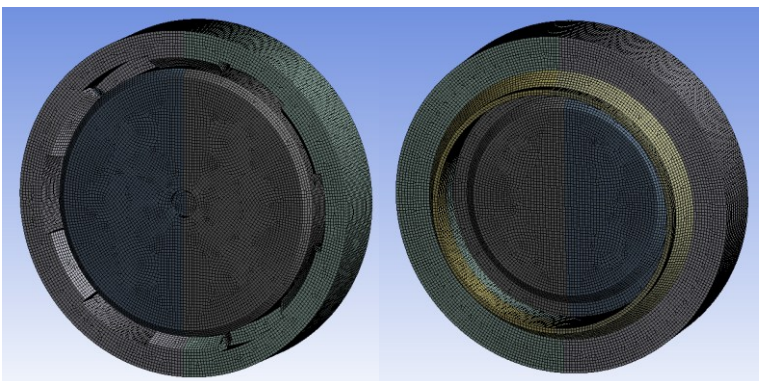


Figure.1 Meshed CAD Model

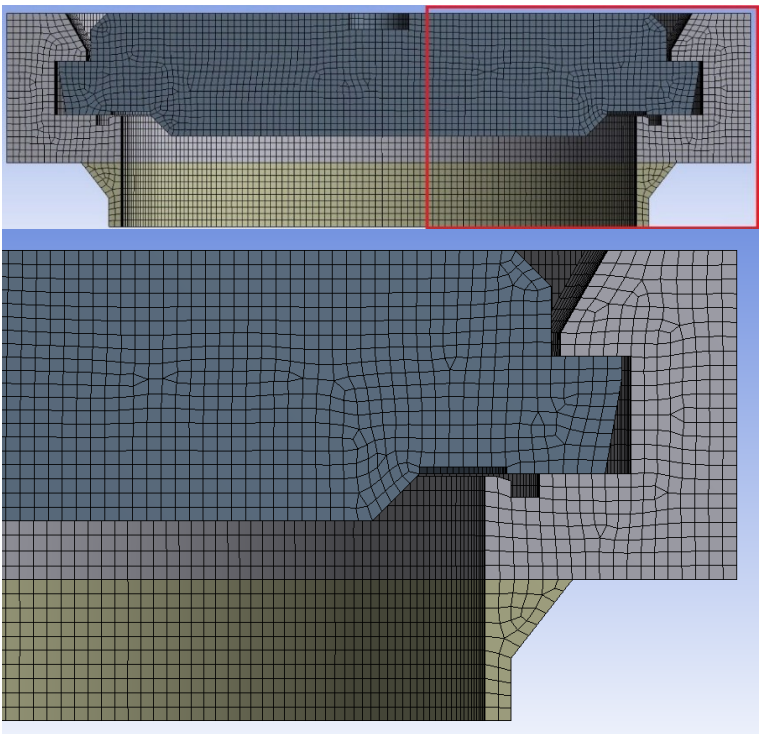


Figure.4 Meshed CAD Model & Mesh Detail

As shown in the figure above, the model meshed with 3D solid hexahedral elements.

Statistics	
Nodes	1060716
Elements	279341

Figure.5 Mesh Statics

6.Protection Against Plastic Collapse

For protection against plastic collapse, Elastic Stress Analysis Method as per ASME Sec.VIII Div.2, 5.2.2 is selected.

6.1.Design Load Combinations (LC-01)

Design load combinations as described in ASME Sec.VIII Div.2, Table 5.2 and as shown before. For this analysis, scenarios “1, 2, 3, 4, 6 and 7” are have the same value and scenarios “5 and 9 “ are have “0 & None”. And also scenario “8” is too small to observe stress values. Therefore we considered and proceed with scenario 1 for this case.

6.1.1.Load and Boundary Condition

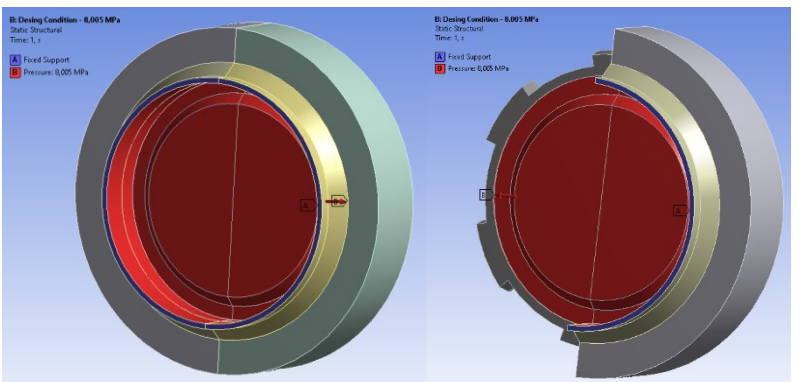


Figure.2 Load and Boundary Condition on CAD Model

6.1.2. Results for Protection Against Plastic Collapse for LC-01

6.1.2.1.Total Elastic Deformation

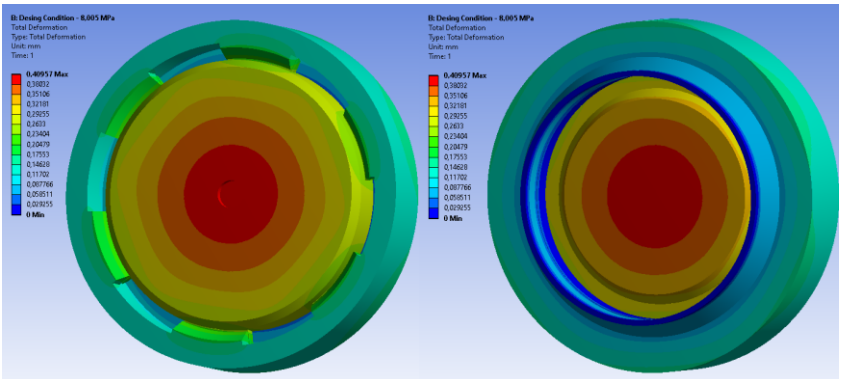


Figure.6 Total Elastic Deformation

6.1.2.2.Equivalent Von Mises Stress

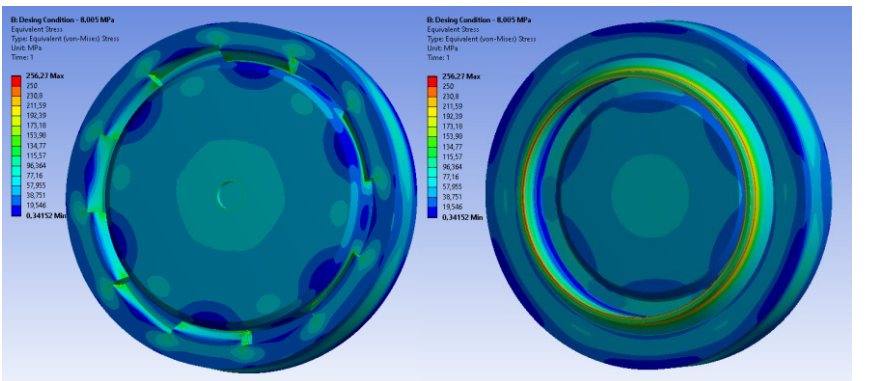


Figure.7 Equivalent Von Mises Stress

6.1.2.3.Stress Categorization Line Across at Location-1 (SCL-1)

Structural Stress Method based on Stress Integration as per ASME Sec. VIII Div.2 5-A.6 is selected. During selection of stress categorization lines (SCL) in ASME Sec. VIII Div.2 5-A.3 (c) is followed.

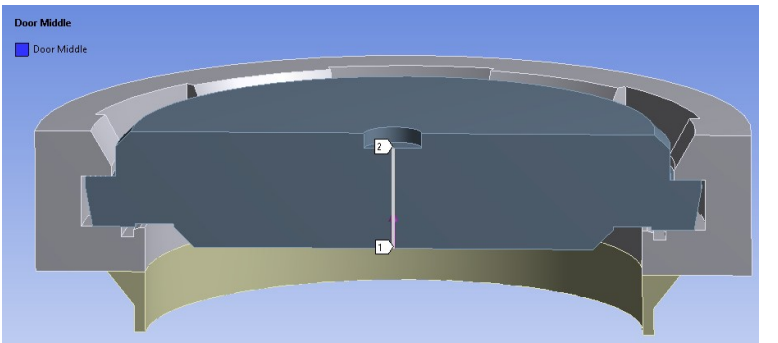


Figure.8 Path at SCL-1 Location

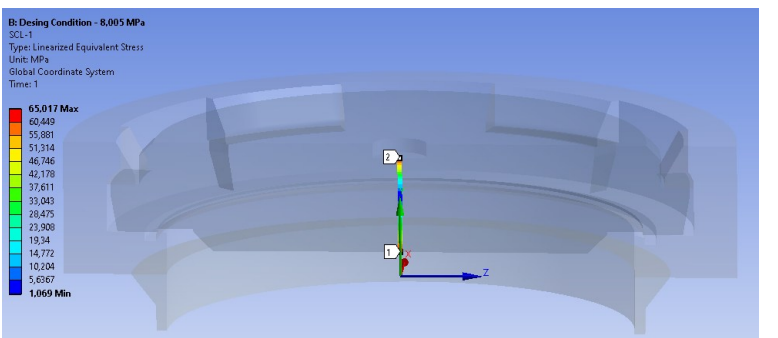


Figure.9 Linearized Equivalent Stress at SCL-1 Location

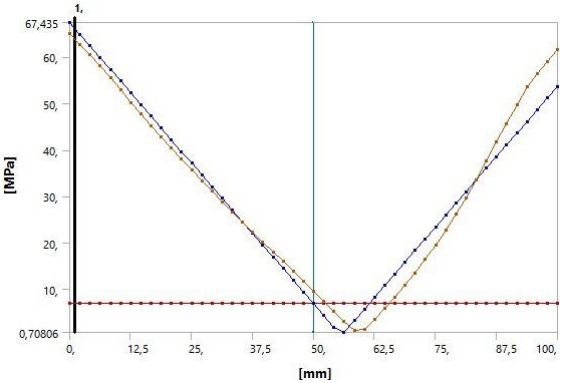


Figure.10 Linearized Equivalent Stress at SCL-1 Location Graphic

Results	
Membrane	6,8674 MPa
Bending (Inside)	60,568 MPa
Bending (Outside)	60,568 MPa
Membrane+Bending (Inside)	67,435 MPa
Membrane+Bending (Center)	6,8674 MPa
Membrane+Bending (Outside)	53,701 MPa
Peak (Inside)	2,4287 MPa
Peak (Center)	2,7043 MPa
Peak (Outside)	7,9738 MPa
Total (Inside)	65,017 MPa
Total (Center)	9,5693 MPa
Total (Outside)	61,674 MPa

Figure.11 Linearized Equivalent Stress at SCL-1 Location Results

6.1.2.4.Stress Categorization Line Across at Location-2 (SCL-2)

Structural Stress Method based on Stress Integration as per ASME Sec. VIII Div.2 5-A.6 is selected. During selection of stress categorization lines (SCL) in ASME Sec. VIII Div.2 5-A.3 (c) is followed.

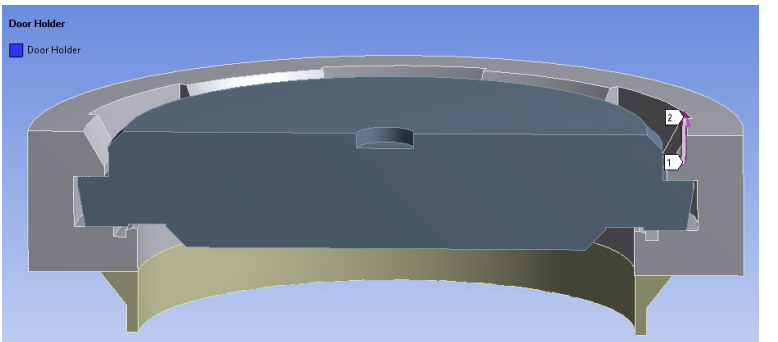


Figure.12 Path at SCL-2 Location

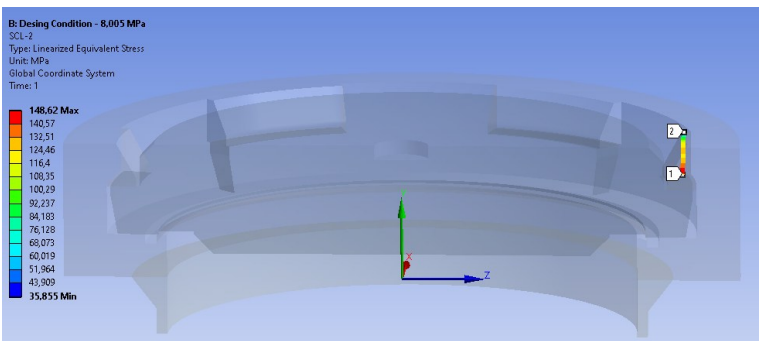


Figure.13 Linearized Equivalent Stress at SCL-2 Location

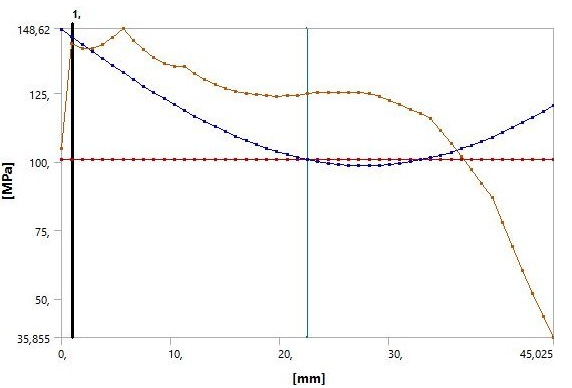


Figure.14 Linearized Equivalent Stress at SCL-2 Location Graphic

Results	
Membrane	100,8 MPa
Bending (Inside)	89,977 MPa
Bending (Outside)	89,977 MPa
Membrane+Bending (Inside)	148,41 MPa
Membrane+Bending (Center)	100,8 MPa
Membrane+Bending (Outside)	120,35 MPa
Peak (Inside)	118,32 MPa
Peak (Center)	39,736 MPa
Peak (Outside)	85,673 MPa
Total (Inside)	104,77 MPa
Total (Center)	124,94 MPa
Total (Outside)	35,855 MPa

Figure.15 Linearized Equivalent Stress at SCL-2 Location Results

6.1.2.5.Stress Categorization Line Across at Location-3 (SCL-3)

Structural Stress Method based on Stress Integration as per ASME Sec. VIII Div.2 5-A.6 is selected. During selection of stress categorization lines (SCL) in ASME Sec. VIII Div.2 5-A.3 (c) is followed.

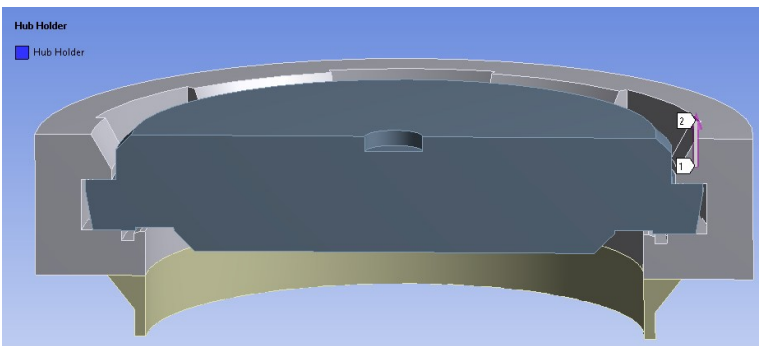


Figure.16 Path at SCL-3 Location

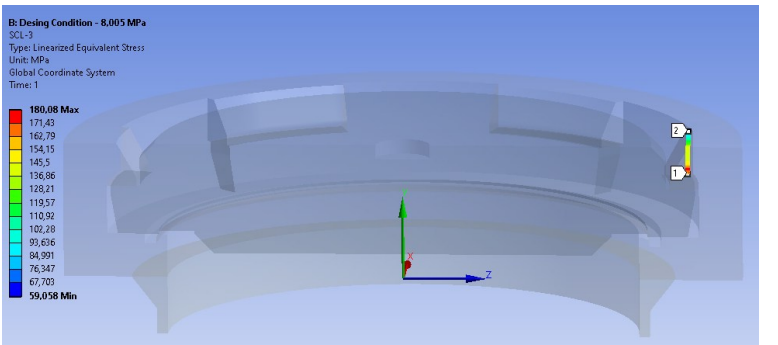


Figure.17 Linearized Equivalent Stress at SCL-3 Location

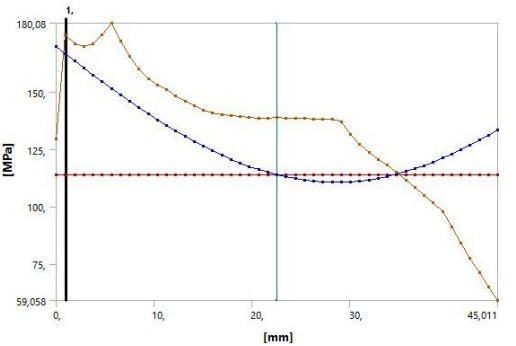


Figure.18 Linearized Equivalent Stress at SCL-3 Location Graphic

Results	
Membrane	113,88 MPa
Bending (Inside)	102,04 MPa
Bending (Outside)	102,04 MPa
Membrane+Bending (Inside)	170,04 MPa
Membrane+Bending (Center)	113,88 MPa
Membrane+Bending (Outside)	133,61 MPa
Peak (Inside)	159,98 MPa
Peak (Center)	43,876 MPa
Peak (Outside)	78,022 MPa
Total (Inside)	129,38 MPa
Total (Center)	138,84 MPa
Total (Outside)	59,058 MPa

Figure.19 Linearized Equivalent Stress at SCL-3 Location Results

6.1.2.6.Stress Categorization Line Across at Location-4 (SCL-4)

Structural Stress Method based on Stress Integration as per ASME Sec. VIII Div.2 5-A.6 is selected. During selection of stress categorization lines (SCL) in ASME Sec. VIII Div.2 5-A.3 (c) is followed.

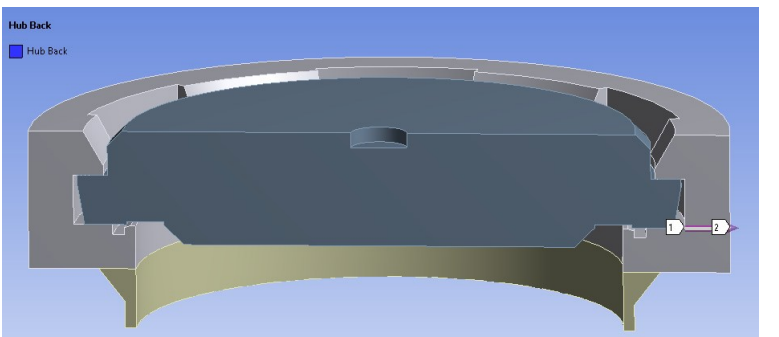


Figure.20 Path at SCL-4 Location

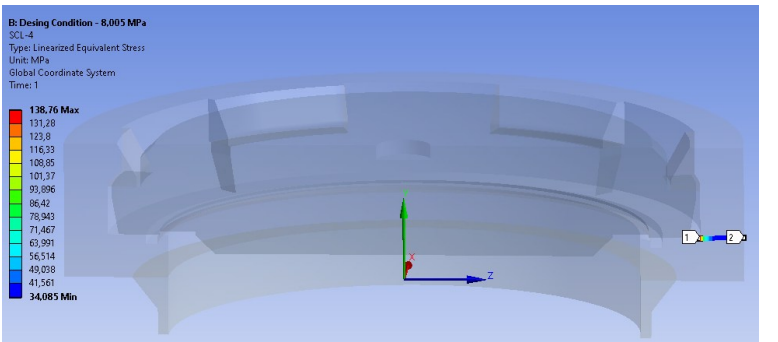


Figure.21 Linearized Equivalent Stress at SCL-4 Location

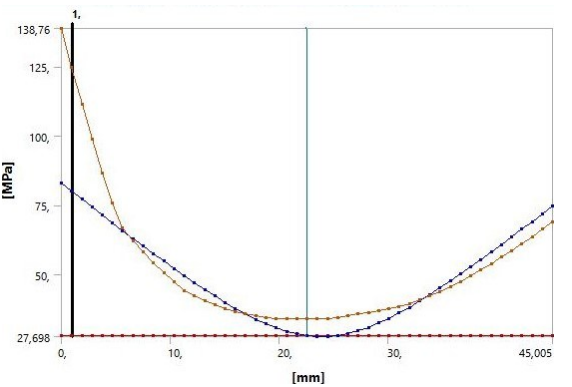


Figure.22 Linearized Equivalent Stress at SCL-4 Location Graphic

Results	
Membrane	28,005 MPa
Bending (Inside)	73,914 MPa
Bending (Outside)	73,914 MPa
Membrane+Bending (Inside)	82,984 MPa
Membrane+Bending (Center)	28,005 MPa
Membrane+Bending (Outside)	74,891 MPa
Peak (Inside)	78,969 MPa
Peak (Center)	20,784 MPa
Peak (Outside)	35,233 MPa
Total (Inside)	138,76 MPa
Total (Center)	34,143 MPa
Total (Outside)	69,13 MPa

Figure.23 Linearized Equivalent Stress at SCL-4 Location Results

6.1.2.7.Stress Categorization Line Across at Location-5 (SCL-5)

Structural Stress Method based on Stress Integration as per ASME Sec. VIII Div.2 5-A.6 is selected. During selection of stress categorization lines (SCL) in ASME Sec. VIII Div.2 5-A.3 (c) is followed.

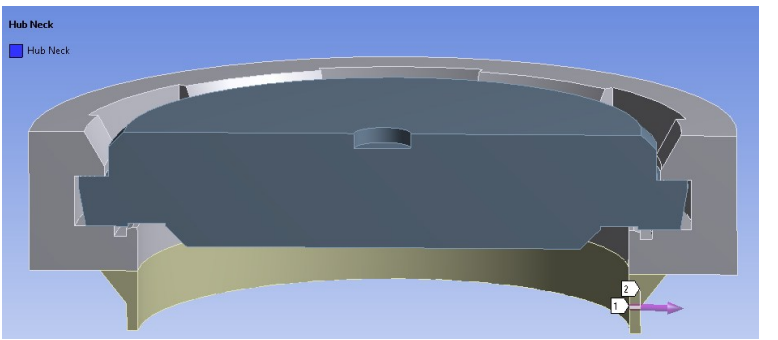


Figure.24 Path at SCL-5 Location

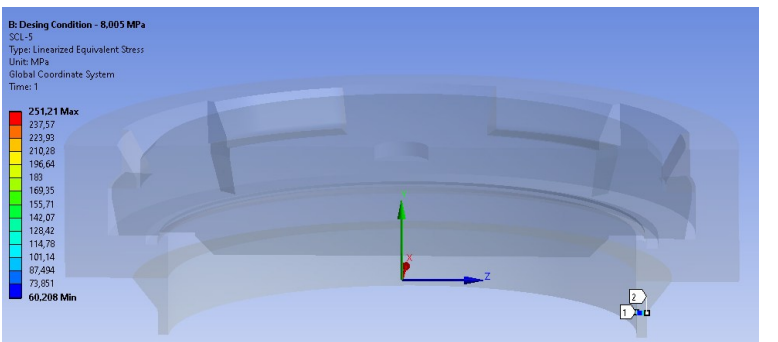


Figure.25 Linearized Equivalent Stress at SCL-5 Location

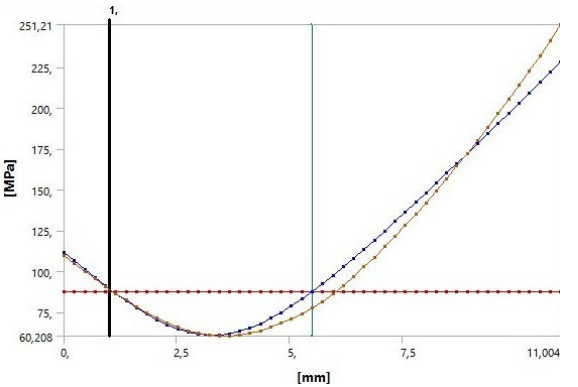


Figure.26 Linearized Equivalent Stress at SCL-5 Location Graphic

Results	
Membrane	87,598 MPa
Bending (Inside)	156,95 MPa
Bending (Outside)	156,95 MPa
Membrane+Bending (Inside)	111,75 MPa
Membrane+Bending (Center)	87,598 MPa
Membrane+Bending (Outside)	228,31 MPa
Peak (Inside)	13,063 MPa
Peak (Center)	12,479 MPa
Peak (Outside)	31,329 MPa
Total (Inside)	109,81 MPa
Total (Center)	77,532 MPa
Total (Outside)	251,21 MPa

Figure.27 Linearized Equivalent Stress at SCL-5 Location Results

6.1.3. Mesh, Deformation and Stress Check for LC-01

Statistics		Statistics	
Nodes	1060716	Nodes	1202528
Elements	279341	Elements	319653

Figure.28 Mesh Comparison

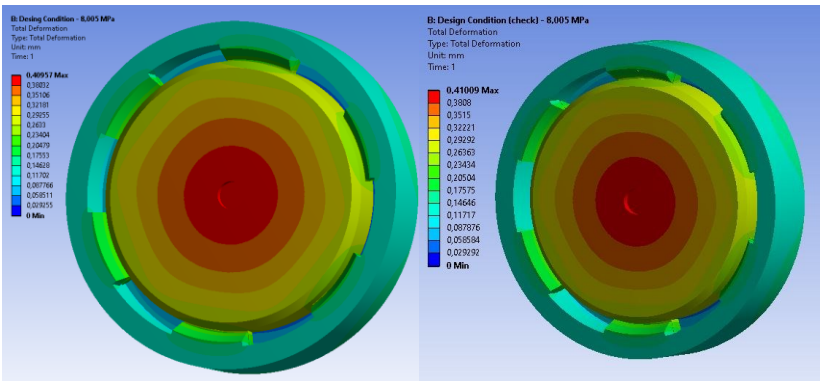


Figure.29 Total Deformation Comparison

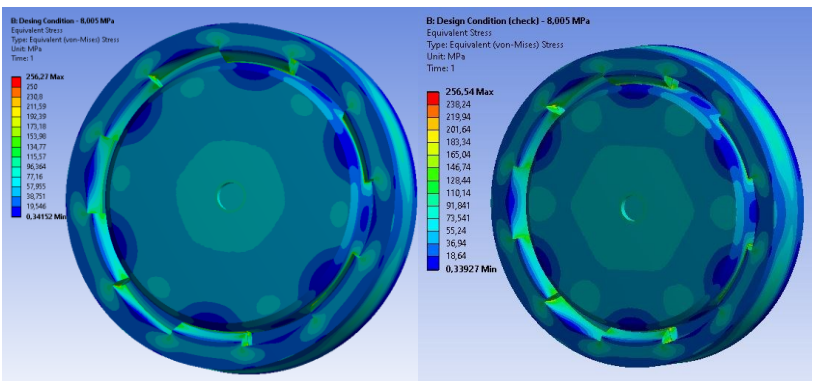


Figure.30 Equivalent Stress Comparison

According to above results comparison, we observed there is no significant differences between first and second mesh sizes. Changing the mesh size to better size is not highly affected the analysis.

Acording to mesh validation the results are satisfactory.

6.1.4.Result Investigation for LC-01

Table.8 Design Load Combinations (LC-01) Result Investigation

Stress Category →	General Primary Membrane			Local Primary Membrane			Local Primary Membrane Plus Bending		
Criteria→	**Pm < S**			**PL ≤ S*y***			**PL + Pb ≤ S*y***		
Stress Categorization Lines (SCLs) /Stress Linearization Paths ↓	Stress value from FEA (MPa)	Limiting Stress Value (MPa) **S**	Result Check	Stress value from FEA (MPa)	Limiting Stress Value (MPa) **S*y***	Result Check	Stress value from FEA (MPa)	Limiting Stress Value (MPa) **S*y***	Result Check
LES - Door Middle	6,86740	138	Pass	6,86740	250	Pass	67,43500	250	Pass
LES - Door Holder	100,80000	138	Pass	100,80000	250	Pass	148,41000	250	Pass
LES - Hub Holder	113,88000	138	Pass	113,88000	250	Pass	170,04000	250	Pass
LES - Hub Back	28,00500	138	Pass	28,00500	250	Pass	82,98400	250	Pass
LES - Hub Neck	87,59800	138	Pass	87,59800	250	Pass	228,31000	250	Pass

According to the preceding contex, we obtain the following conclusion;

- The deformation in the assembly is very minimal and it is elastic deformation.
- The stress induced on the component for the design load combinations are below of the material limits.
- The ASME code limits verification for analyzed load conditions are shows that the design id SAFE for given load conditions.
- Overall the component is SAFE for given load conditions.

6.2.Pressure Testing Load Combinations (LC-02)

Pressure testing load combinations as described in ASME Sec.VIII Div.2, Table 5.2 and as shown before. For this analysis, scenarios “1, 2, 3, 4, 6 and 7” are have the same value and scenarios “5 and 9 “ are have “0 & None”. And also scenario “8” is too small to observe stress values. Therefore we considered and proceed with scenario 1 for this case.

6.2.1.Load and Boundary Condition

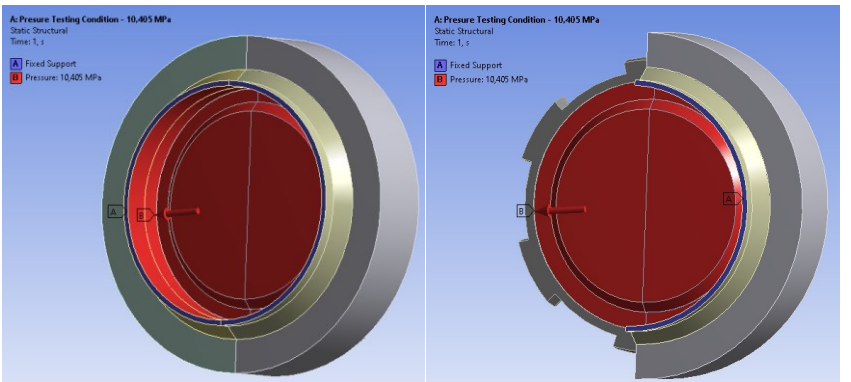


Figure.31 Load and Boundary Condition on CAD Model

6.2.2.Results for Protection Against Plastic Collapse for LC-02

6.2.2.1.Total Elastic Deformation for LC-02

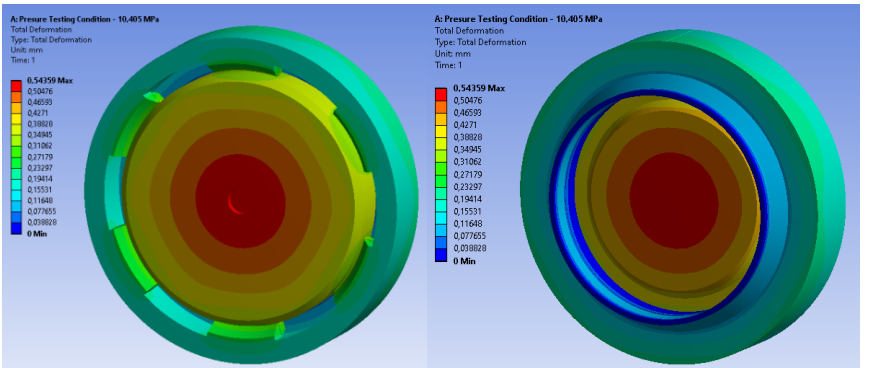


Figure.32 Total Elastic Deformation

6.2.2.2.Equivalent Von Mises Stress for LC-02

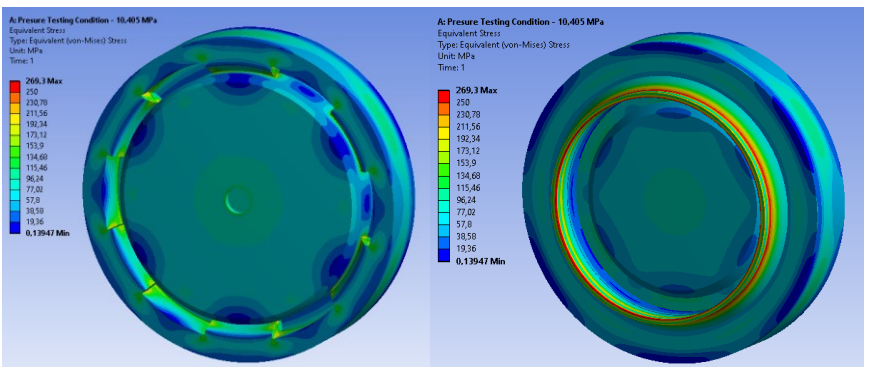


Figure.33 Equivalent Von Mises Stress

6.2.2.3.Stress Categorization Line Across at Location-1 (SCL-1)

Structural Stress Method based on Stress Integration as per ASME Sec. VIII Div.2 5-A.6 is selected. During selection of stress categorization lines (SCL) in ASME Sec. VIII Div.2 5-A.3 (c) is followed.

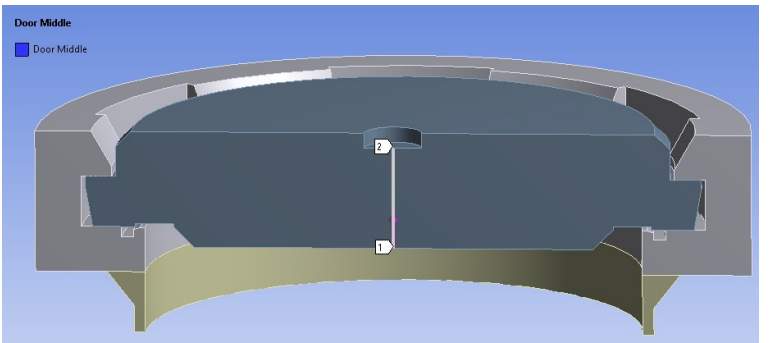


Figure.34 Path at SCL-1 Location

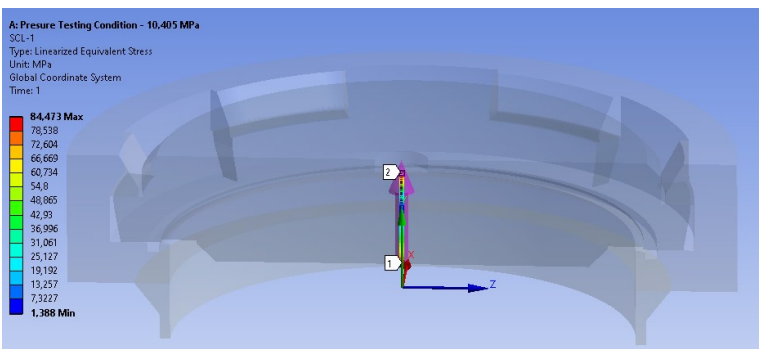


Figure.35 Linearized Equivalent Stress at SCL-1 Location

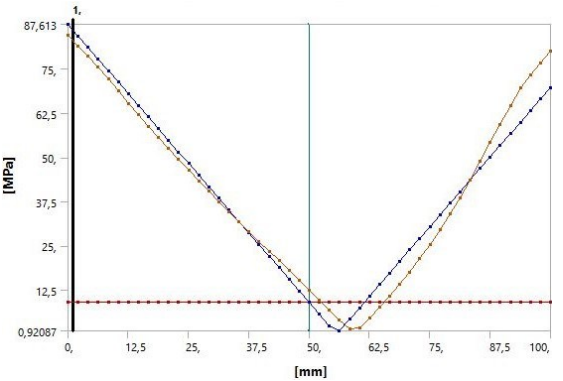


Figure.36 Linearized Equivalent Stress at SCL-1 Location Graphic

Results	
Membrane	8,9215 MPa
Bending (Inside)	78,692 MPa
Bending (Outside)	78,692 MPa
Membrane+Bending (Inside)	87,613 MPa
Membrane+Bending (Center)	8,9215 MPa
Membrane+Bending (Outside)	69,771 MPa
Peak (Inside)	3,1547 MPa
Peak (Center)	3,5135 MPa
Peak (Outside)	10,361 MPa
Total (Inside)	84,473 MPa
Total (Center)	12,432 MPa
Total (Outside)	80,132 MPa

Figure.37 Linearized Equivalent Stress at SCL-1 Location Results

6.2.2.4.Stress Categorization Line Across at Location-2 (SCL-2)

Structural Stress Method based on Stress Integration as per ASME Sec. VIII Div.2 5-A.6 is selected. During selection of stress categorization lines (SCL) in ASME Sec. VIII Div.2 5-A.3 (c) is followed.

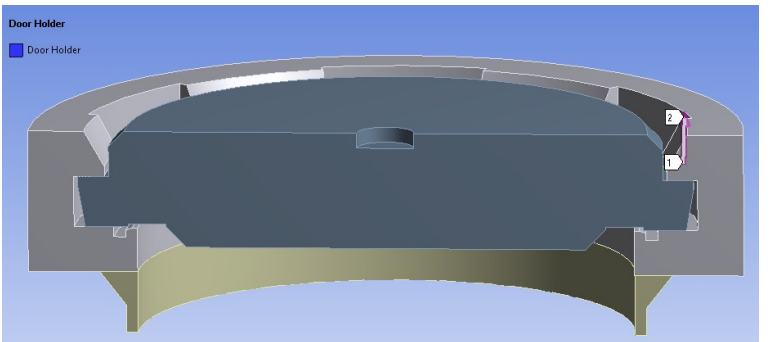


Figure.38 Path at SCL-2 Location

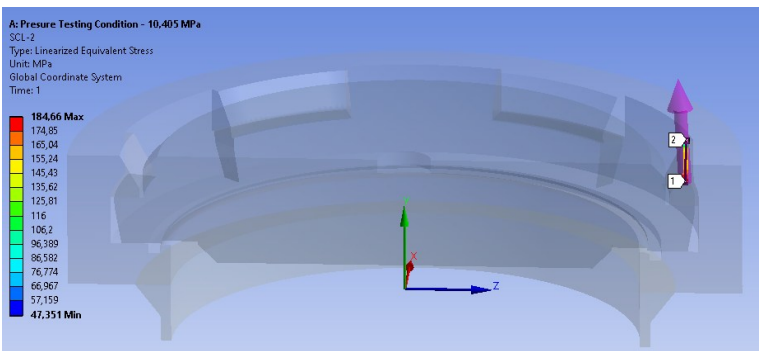


Figure.39 Linearized Equivalent Stress at SCL-2 Location

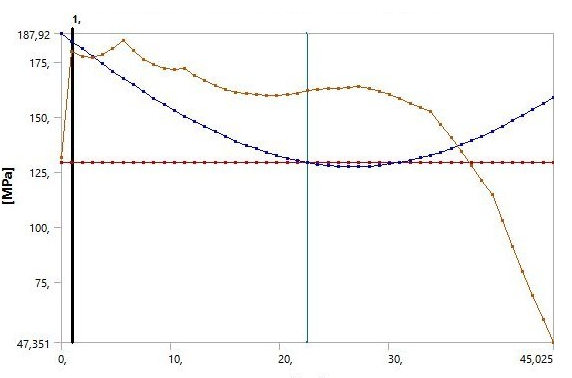


Figure.40 Linearized Equivalent Stress at SCL-2 Location Graphic

Results	
Membrane	129,2 MPa
Bending (Inside)	116,59 MPa
Bending (Outside)	116,59 MPa
Membrane+Bending (Inside)	187,92 MPa
Membrane+Bending (Center)	129,2 MPa
Membrane+Bending (Outside)	158,93 MPa
Peak (Inside)	146,4 MPa
Peak (Center)	51,389 MPa
Peak (Outside)	113,36 MPa
Total (Inside)	131,37 MPa
Total (Center)	161,78 MPa
Total (Outside)	47,351 MPa

Figure.41 Linearized Equivalent Stress at SCL-2 Location Results

6.2.2.5.Stress Categorization Line Across at Location-3 (SCL-3)

Structural Stress Method based on Stress Integration as per ASME Sec. VIII Div.2 5-A.6 is selected. During selection of stress categorization lines (SCL) in ASME Sec. VIII Div.2 5-A.3 (c) is followed.

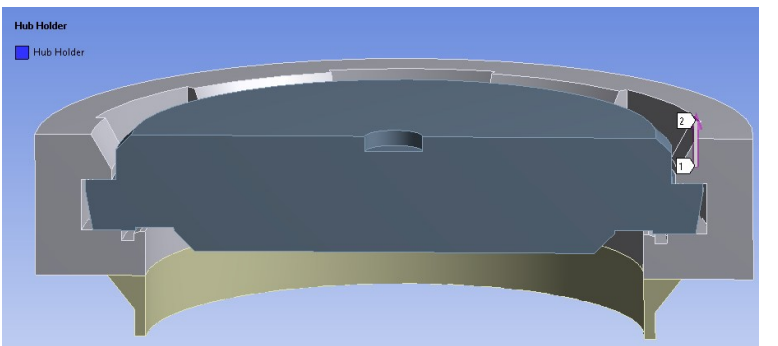


Figure.42 Path at SCL-3 Location

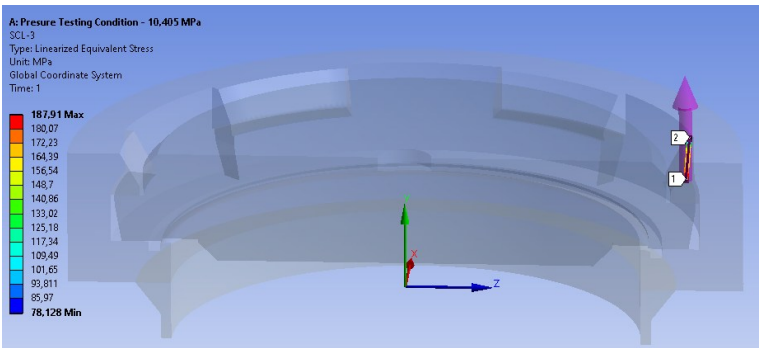


Figure.43 Linearized Equivalent Stress at SCL-3 Location

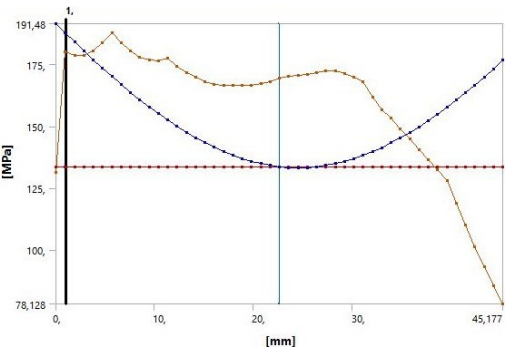


Figure.44 Linearized Equivalent Stress at SCL-3 Location Graphic

Results	
Membrane	133,65 MPa
Bending (Inside)	126,82 MPa
Bending (Outside)	126,82 MPa
Membrane+Bending (Inside)	191,48 MPa
Membrane+Bending (Center)	133,65 MPa
Membrane+Bending (Outside)	176,7 MPa
Peak (Inside)	151,63 MPa
Peak (Center)	53,165 MPa
Peak (Outside)	104,96 MPa
Total (Inside)	131,37 MPa
Total (Center)	169,31 MPa
Total (Outside)	78,128 MPa

Figure.45 Linearized Equivalent Stress at SCL-3 Location Results (Hub Holder)

6.2.2.6.Stress Categorization Line Across at Location-4 (SCL-4)

Structural Stress Method based on Stress Integration as per ASME Sec. VIII Div.2 5-A.6 is selected. During selection of stress categorization lines (SCL) in ASME Sec. VIII Div.2 5-A.3 (c) is followed.

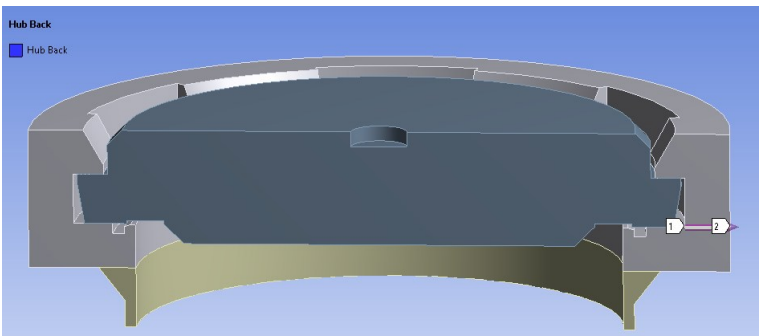


Figure.46 Path at SCL-4 Location

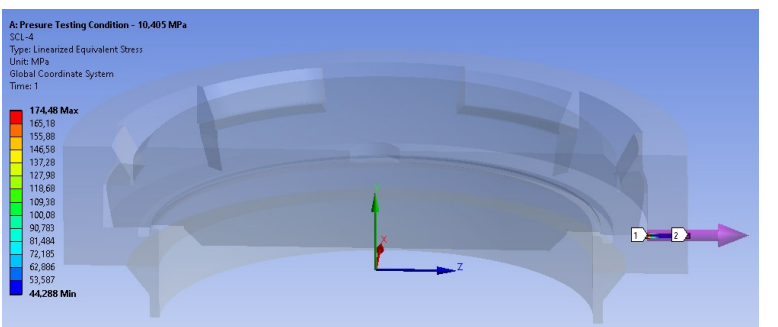


Figure.47 Linearized Equivalent Stress at SCL-4 Location

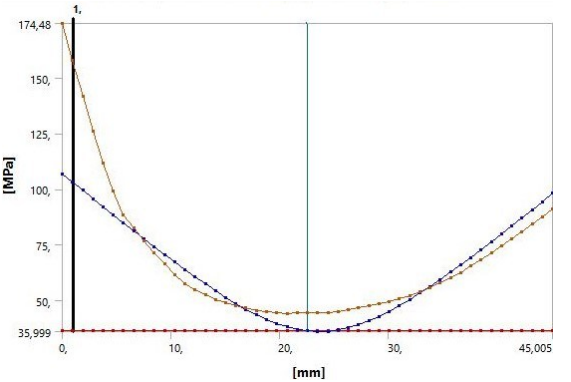


Figure.48 Linearized Equivalent Stress at SCL-4 Location Graphic

Results	
Membrane	36,299 MPa
Bending (Inside)	96,03 MPa
Bending (Outside)	96,03 MPa
Membrane+Bending (Inside)	106,97 MPa
Membrane+Bending (Center)	36,299 MPa
Membrane+Bending (Outside)	98,161 MPa
Peak (Inside)	100,11 MPa
Peak (Center)	27,26 MPa
Peak (Outside)	46,13 MPa
Total (Inside)	174,48 MPa
Total (Center)	44,405 MPa
Total (Outside)	91,335 MPa

Figure.49 Linearized Equivalent Stress at SCL-4 Location Results

6.2.2.7.Stress Categorization Line Across at Location-5 (SCL-5)

Structural Stress Method based on Stress Integration as per ASME Sec. VIII Div.2 5-A.6 is selected. During selection of stress categorization lines (SCL) in ASME Sec. VIII Div.2 5-A.3 (c) is followed.

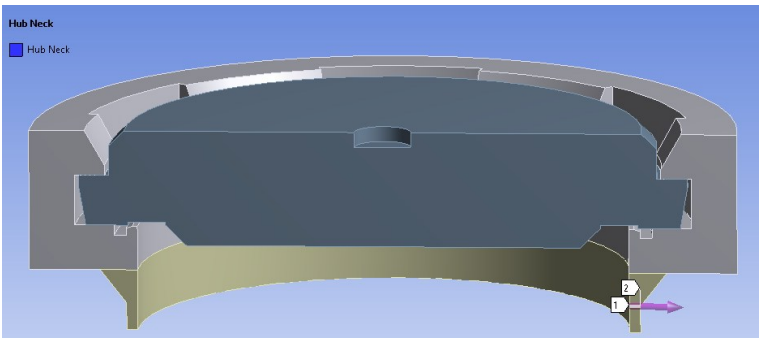


Figure.50 Path at SCL-5 Location

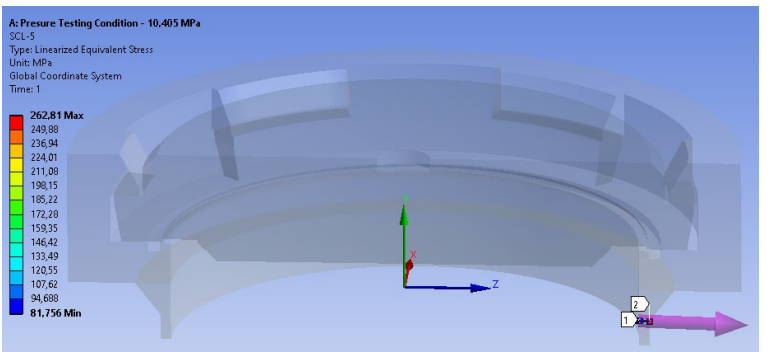


Figure.51 Linearized Equivalent Stress at SCL-5 Location

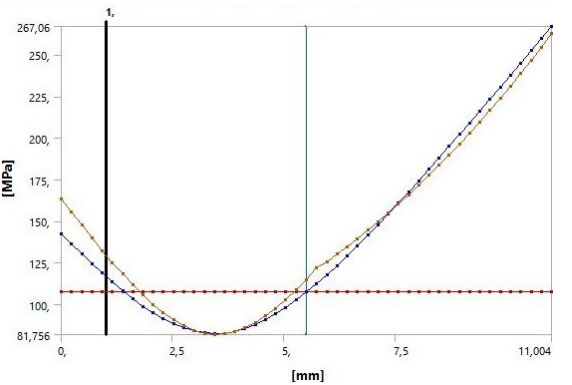


Figure.52 Linearized Equivalent Stress at SCL-5 Location Graphic

Results	
Membrane	107,28 MPa
Bending (Inside)	185,25 MPa
Bending (Outside)	185,25 MPa
Membrane+Bending (Inside)	142,6 MPa
Membrane+Bending (Center)	107,28 MPa
Membrane+Bending (Outside)	267,06 MPa
Peak (Inside)	24,846 MPa
Peak (Center)	22,818 MPa
Peak (Outside)	37,715 MPa
Total (Inside)	163,52 MPa
Total (Center)	114,94 MPa
Total (Outside)	262,81 MPa

Figure.53 Linearized Equivalent Stress at SCL-5 Location Results

6.2.3.Mesh, Deformation and Stress Check for LC-02

Statistics		Statistics	
Nodes	1060716	Nodes	1202528
Elements	279341	Elements	319653

Figure.54 Mesh Comparison

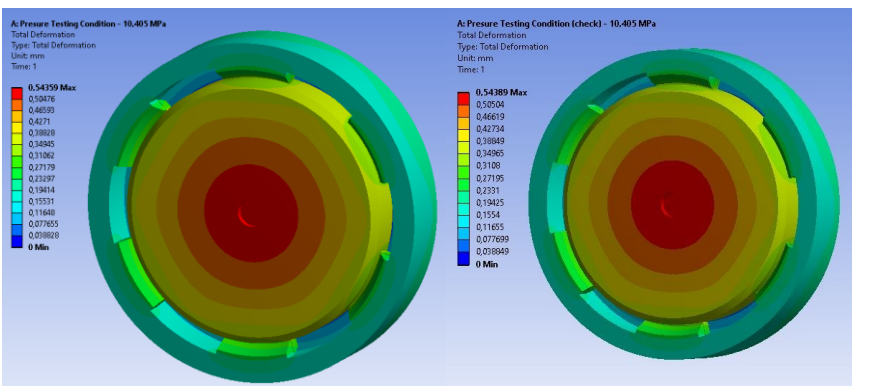


Figure.55 Total Deformation Comparison

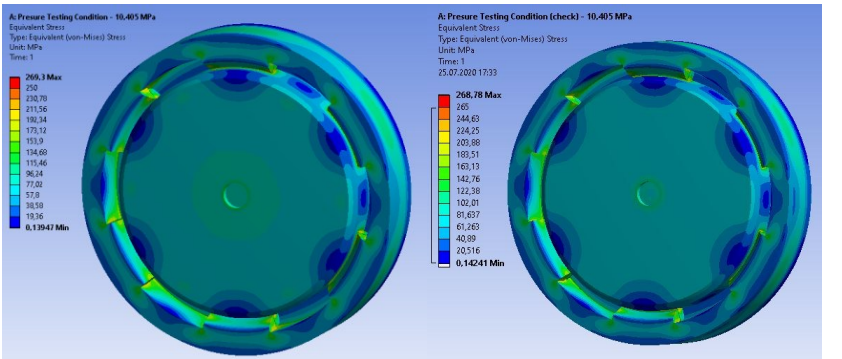


Figure.56 Equivalent Stress Comparison

According to above results comparison, we observed there is no significant differences between first and second mesh sizes. Changing the mesh size to better size is not highly affected the analysis.

Acording to mesh validation the results are satisfactory.

6.2.4.Result Investigation for LC-02

Table.9 Pressure Testing Load Combinations (LC-02) Result Investigation

Stress Category →	General Primary Membrane			Local Primary Membrane Plus Bending		
Criteria→	**Pm < βT * S*y***			**PL + Pb < Y*min* * S*y***		
Stress Categorization Lines (SCLs) /Stress Linearization Paths ↓	Stress value from FEA (MPa)	Limiting Stress Value (MPa) **Ymin * Sy**	Result Check	Stress value from FEA (MPa)	Limiting Stress Value (MPa) **Ymin * Sy**	Result Check

LES - Door Middle	8,92150	237,5	Pass	87,61300	356,25	Pass
LES - Door Holder	129,20000	237,5	Pass	187,92000	356,25	Pass
LES - Hub Holder	133,65000	237,5	Pass	191,48000	356,25	Pass
LES - Hub Back	36,29900	237,5	Pass	106,97000	356,25	Pass
LES - Hub Neck	107,28000	237,5	Pass	267,06000	356,25	Pass

According to the preceding contex, we obtain the following conclusion;

- The deformation in the assembly is very minimal and it is elastic deformation.
- The stress induced on the component for the design load combinations are below of the material limits.
- The ASME code limits verification for analyzed load conditions are shows that the design id SAFE for given load conditions.
- Overall the component is SAFE for given load conditions.

6.3.Failure Condition Load Combinations (LC-03)

6.3.1.Load and Boundary Condition for LC-03

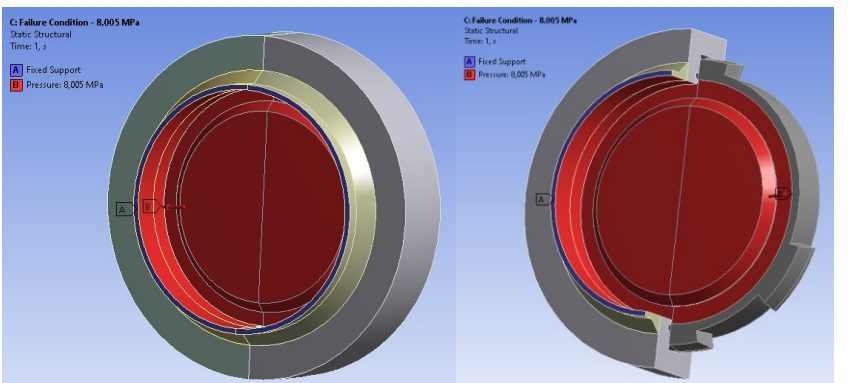


Figure.57 Load and Boundary Condition on CAD Model

6.3.2.Results for Protection Against Plastic Collapse for LC-03

6.3.2.1.Total Elastic Deformation for LC-03

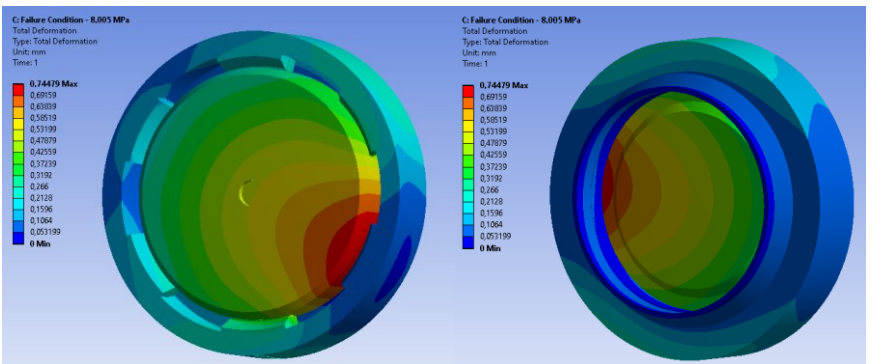


Figure.58 Total Elastic Deformation

6.3.2.2.Equivalent Von Mises Stress for LC-03

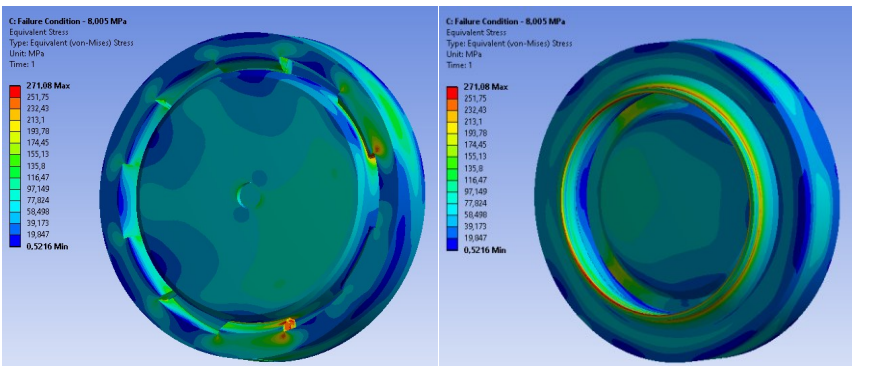


Figure.59 Equivalent Von Mises Stress

6.3.2.3.Stress Categorization Line Across at Location-1 (SCL-1)

Structural Stress Method based on Stress Integration as per ASME Sec. VIII Div.2 5-A.6 is selected. During selection of stress categorization lines (SCL) in ASME Sec. VIII Div.2 5-A.3 (c) is followed.

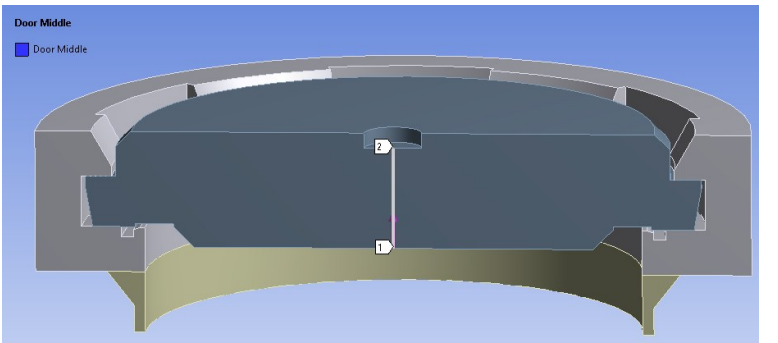


Figure.60 Path at SCL-1 Location

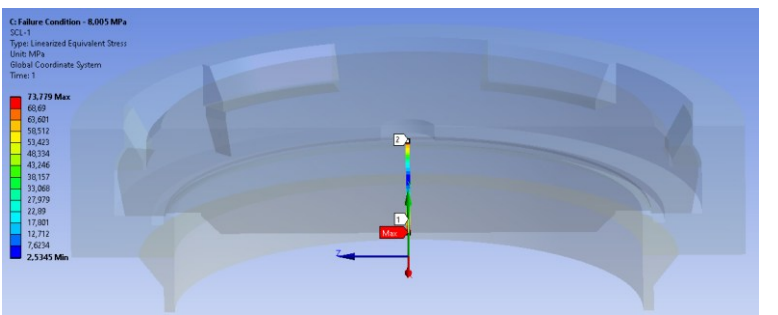


Figure.61 Linearized Equivalent Stress at SCL-1 Location

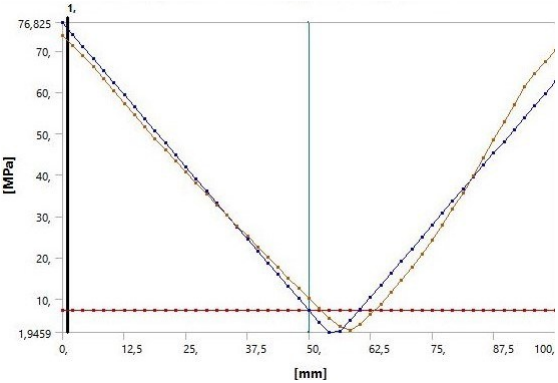


Figure.62 Linearized Equivalent Stress at SCL-1 Location Graphic

Results	
Membrane	7,2491 MPa
Bending (Inside)	69,71 MPa
Bending (Outside)	69,71 MPa
Membrane+Bending (Inside)	76,825 MPa
Membrane+Bending (Center)	7,2491 MPa
Membrane+Bending (Outside)	62,625 MPa
Peak (Inside)	3,1082 MPa
Peak (Center)	2,8736 MPa
Peak (Outside)	8,0545 MPa
Total (Inside)	73,779 MPa
Total (Center)	10,119 MPa
Total (Outside)	70,105 MPa

Figure.63 Linearized Equivalent Stress at SCL-1 Location Results

6.3.2.4.Stress Categorization Line Across at Location-2 (SCL-2)

Structural Stress Method based on Stress Integration as per ASME Sec. VIII Div.2 5-A.6 is selected. During selection of stress categorization lines (SCL) in ASME Sec. VIII Div.2 5-A.3 (c) is followed.

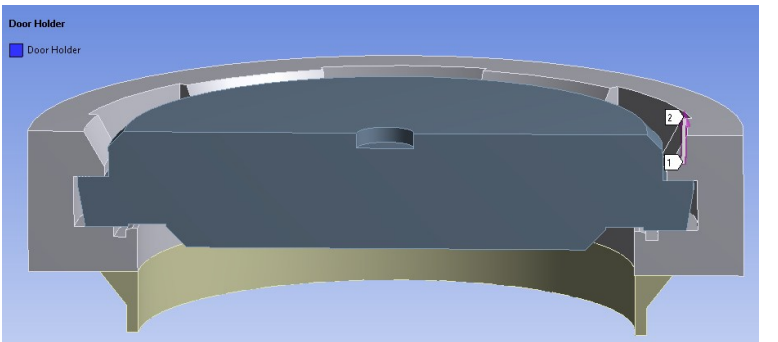


Figure.64 Path at SCL-2 Location

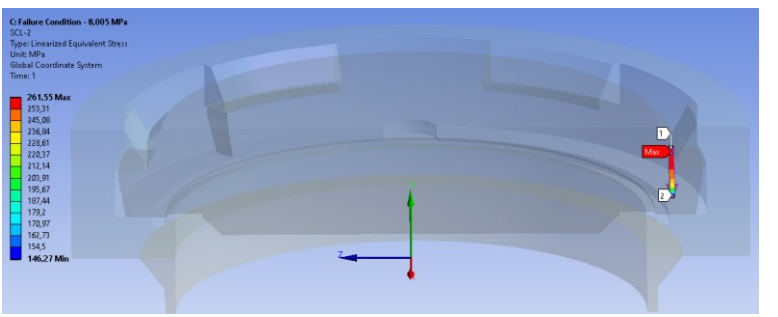


Figure.65 Linearized Equivalent Stress at SCL-2 Location

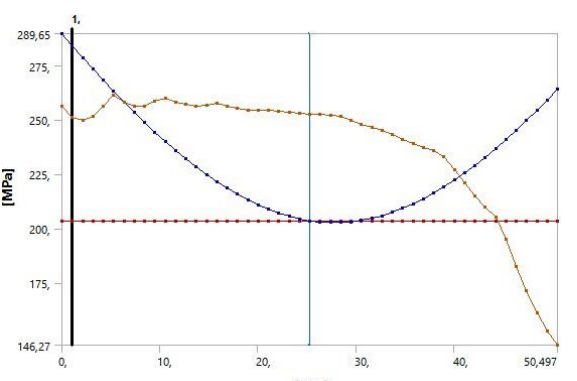


Figure.66 Linearized Equivalent Stress at SCL-2 Location Graphic

Results	
Membrane	203,55 MPa
Bending (Inside)	188,15 MPa
Bending (Outside)	188,15 MPa
Membrane+Bending (Inside)	289,65 MPa
Membrane+Bending (Center)	203,55 MPa
Membrane+Bending (Outside)	264,14 MPa
Peak (Inside)	186,92 MPa
Peak (Center)	60,205 MPa
Peak (Outside)	144,43 MPa
Total (Inside)	256,07 MPa
Total (Center)	252,54 MPa
Total (Outside)	146,27 MPa

Figure.67 Linearized Equivalent Stress at SCL-2 Location Results

6.3.2.5.Stress Categorization Line Across at Location-1 (SCL-3)

Structural Stress Method based on Stress Integration as per ASME Sec. VIII Div.2 5-A.6 is selected. During selection of stress categorization lines (SCL) in ASME Sec. VIII Div.2 5-A.3 (c) is followed.

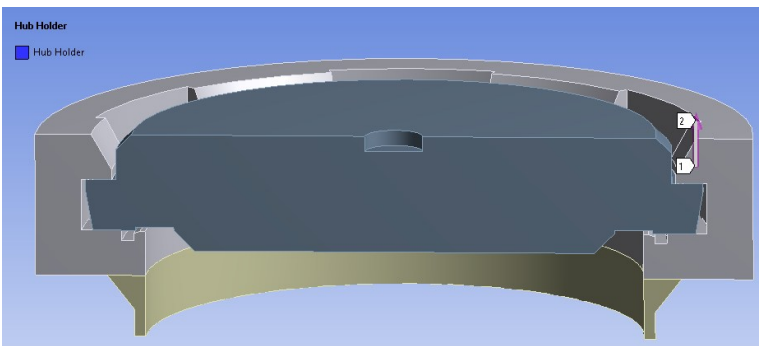


Figure.68 Path at SCL-3 Location

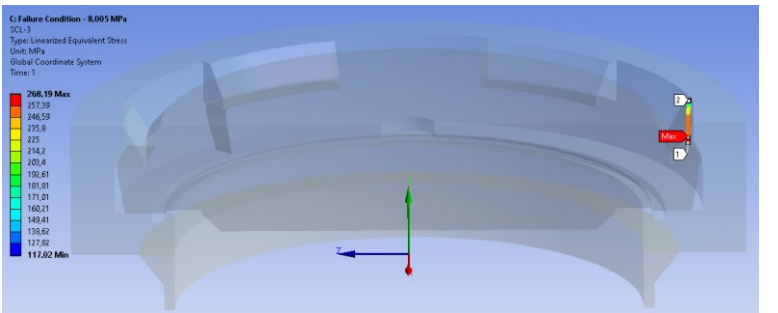


Figure.69 Linearized Equivalent Stress at SCL-3 Location

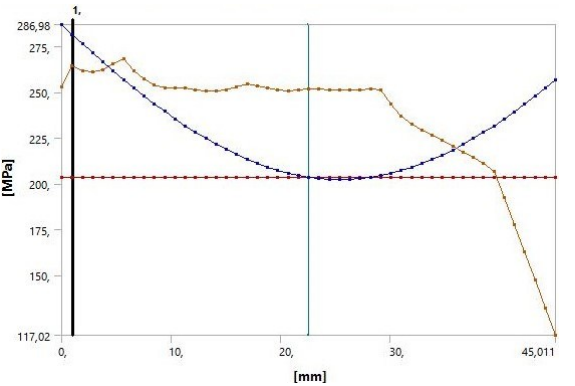


Figure.70 Linearized Equivalent Stress at SCL-3 Location Graphic

Results	
Membrane	203,39 MPa
Bending (Inside)	181,01 MPa
Bending (Outside)	181,01 MPa
Membrane+Bending (Inside)	286,98 MPa
Membrane+Bending (Center)	203,39 MPa
Membrane+Bending (Outside)	256,72 MPa
Peak (Inside)	237,25 MPa
Peak (Center)	68,406 MPa
Peak (Outside)	151,67 MPa
Total (Inside)	252,63 MPa
Total (Center)	251,81 MPa
Total (Outside)	117,02 MPa

Figure.71 Linearized Equivalent Stress at SCL-3 Location Results

6.3.2.6.Stress Categorization Line Across at Location-1 (SCL-4)

Structural Stress Method based on Stress Integration as per ASME Sec. VIII Div.2 5-A.6 is selected. During selection of stress categorization lines (SCL) in ASME Sec. VIII Div.2 5-A.3 (c) is followed.

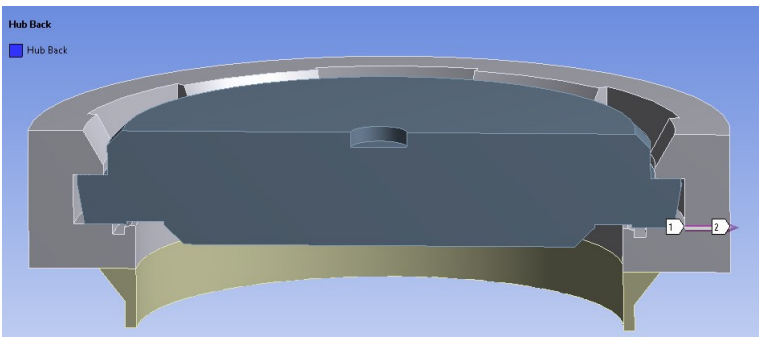


Figure.72 Path at SCL-4 Location

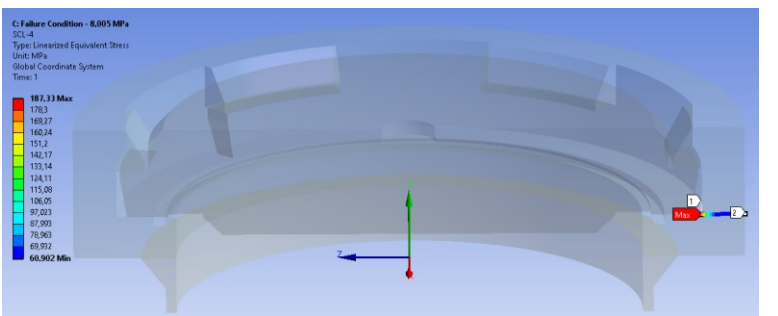


Figure.73 Linearized Equivalent Stress at SCL-4 Location

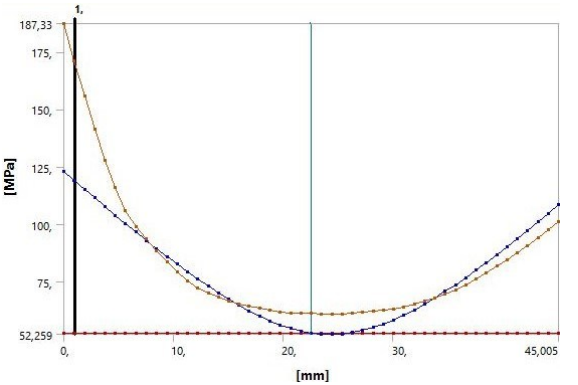


Figure.74 Linearized Equivalent Stress at SCL-4 Location Graphic

Results	
Membrane	52,882 MPa
Bending (Inside)	103,3 MPa
Bending (Outside)	103,3 MPa
Membrane+Bending (Inside)	123,05 MPa
Membrane+Bending (Center)	52,882 MPa
Membrane+Bending (Outside)	108,6 MPa
Peak (Inside)	107,07 MPa
Peak (Center)	31,166 MPa
Peak (Outside)	52,253 MPa
Total (Inside)	187,33 MPa
Total (Center)	61,46 MPa
Total (Outside)	101,42 MPa

Figure.75 Linearized Equivalent Stress at SCL-4 Location Results

6.3.2.7.Stress Categorization Line Across at Location-1 (SCL-5)

Structural Stress Method based on Stress Integration as per ASME Sec. VIII Div.2 5-A.6 is selected. During selection of stress categorization lines (SCL) in ASME Sec. VIII Div.2 5-A.3 (c) is followed.

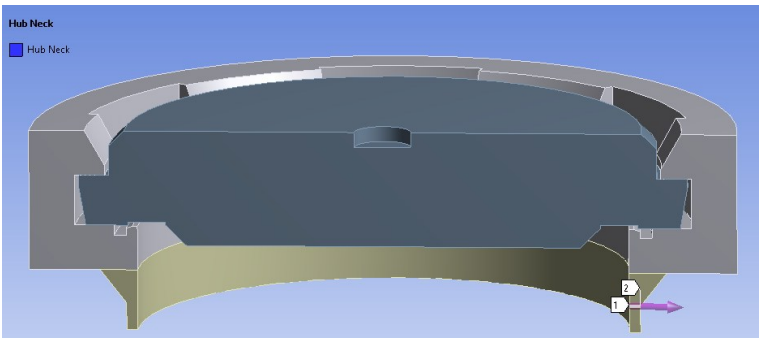


Figure.76 Path at SCL-5 Location

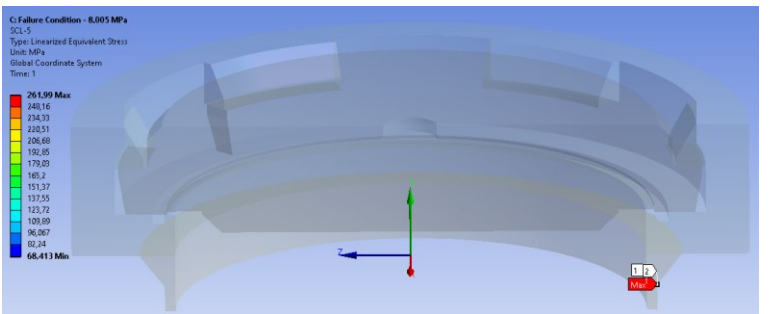


Figure.77 Linearized Equivalent Stress at SCL-5

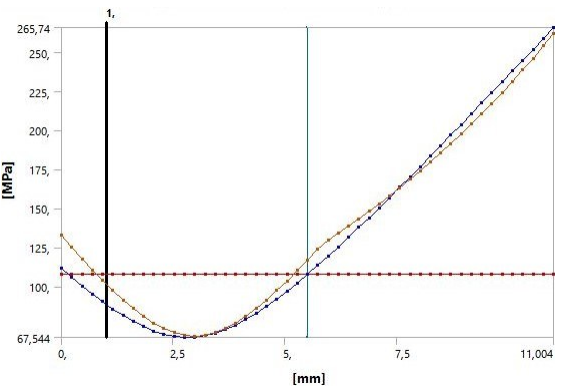


Figure.78 Linearized Equivalent Stress at SCL-5 Location

Results	
Membrane	107,83 MPa
Bending (Inside)	172,93 MPa
Bending (Outside)	172,93 MPa
Membrane+Bending (Inside)	111,58 MPa
Membrane+Bending (Center)	107,83 MPa
Membrane+Bending (Outside)	265,74 MPa
Peak (Inside)	24,253 MPa
Peak (Center)	21,475 MPa
Peak (Outside)	38,719 MPa
Total (Inside)	132,69 MPa
Total (Center)	117,04 MPa
Total (Outside)	261,99 MPa

Figure.79 Linearized Equivalent Stress at SCL-5 Location Results

6.3.3.Mesh, Deformation and Stress Check for LC-03

Statistics	
Nodes	1056765
Elements	278445

Statistics	
Nodes	1193827
Elements	317138

Figure.80 Mesh Comparison

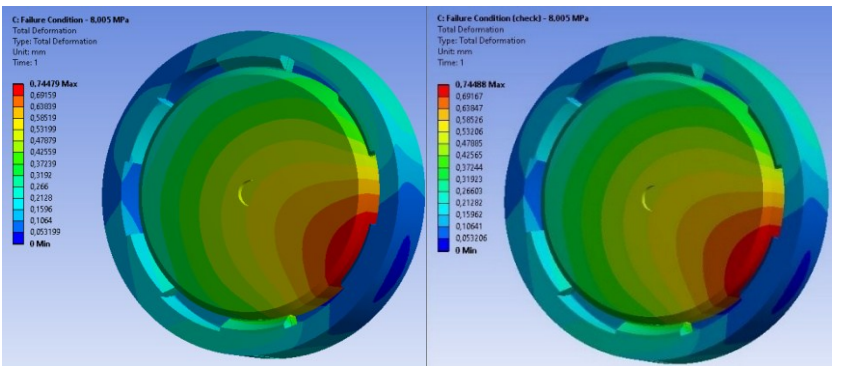


Figure.81 Total Deformation Comparison

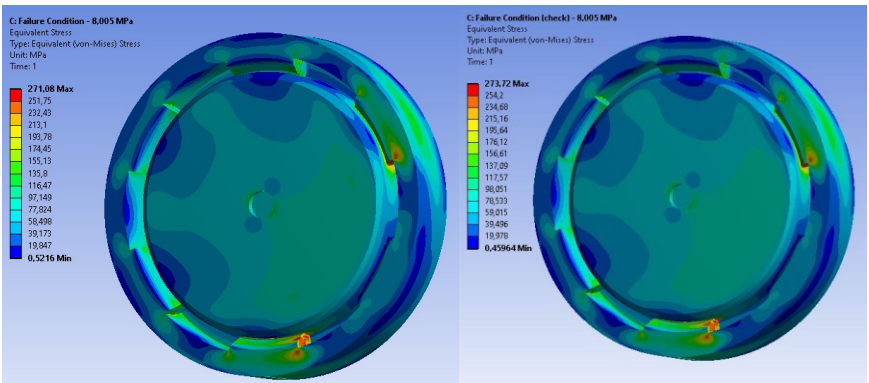


Figure.82 Equivalent Stress Comparison

According to above results comparison, we observed there is no significant differences between first and second mesh sizes. Changing the mesh size to better size is not highly affected the analysis.

Acording to mesh validation the results are satisfactory.

6.3.4.Result Investigation for LC-03

Table.10 Failure Load Combinations (LC-03) Result Investigation

Stress Category →	General Primary Membrane			Local Primary Membrane			Local Primary Membrane Plus Bending		
Criteria→	**Pm < 1,5 * S**			**PL ≤ 1,5 * S*y***			**PL + Pb ≤ 1,5 * S*y***		
Stress Categorization Lines (SCLs) /Stress Linearization Paths ↓	Stress value from FEA (MPa)	Limiting Stress Value (MPa) 1,5 * **S**	Result Check	Stress value from FEA (MPa)	Limiting Stress Value (MPa) 1,5 * **S*y***	Result Check	Stress value from FEA (MPa)	Limiting Stress Value (MPa) 1,5 * **S*y***	Result Check

LES - Door Middle	7,24910	207	Pass	7,24910	375	Pass	62,6250 0	375	Pass
LES - Door Holder	203,550 00	207	Pass	203,550 00	375	Pass	276,740 00	375	Pass
LES - Hub Holder	203,390 00	207	Pass	203,390 00	375	Pass	286,980 00	375	Pass
LES - Hub Back	52,8820 0	207	Pass	52,8820 0	375	Pass	123,050 00	375	Pass
LES - Hub Neck	107,830 00	207	Pass	107,830 00	375	Pass	272,530 00	375	Pass

According to the preceding contex, we obtain the following conclusion;

- The deformation in the assembly is very minimal and it is elastic deformation.
- The stress induced on the component for the design load combinations are below of the material limits.
- The ASME code limits verification for analyzed load conditions are shows that the design id SAFE for given load conditions.
- Overall the component is SAFE for given load conditions.

7.Protection Against Local Failure

In addition to demonstrating protection against plastic collapse, the applicable local failure criteria as described in ASME Sec. VIII Div.2, 5.3 shall be satisfied. Elastic Analysis – Triaxial Stress Limit Method as per ASME Sec. VIII Div.2, 5.3.2 is selected.

7.1.Design Load Combinations (LC-01)

7.1.1.Stress location

As per load histogram and Design Load Combinations, 8,005 MPa and at the highest stress was observed as SCL-5 location. As shown below figure ;

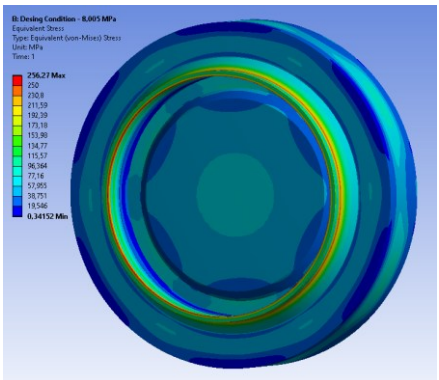


Figure.83 Stress Location Investigation (LC-01)

The stress range for SCL-5 results for Design Load Combinations (LC-01) case is below;

Table.11 Stress Range Results for SCL-5 at LC-01

SCL-5 (Load 0 to 8,005 MPa)	S_1 MPa	S_2 MPa	S_3 MPa
The Stress Range	281,88	141,26	22,327

The algebraic sum of the three linearized primary principal stresses from Design Load Combination (1) shall be used for checking this criterion according to ASME Sec.VIII Div.2, 5.3.2.

$S_1 + S_2 + S_3 \leq 4S$

281,88 + 141,26 + 22,327 = 445,467 MPa

4S = 4 x 138 = 552 MPa

445,467 ≤ 552 , TRUE

According to – Triaxial Stress Limit Method investigated stress location is under safe side.

7.2.Pressure Test Load Combinations (LC-02)

The Protection Against Local Failure is not applicable for pressure test load combinations case as per ASME Sec. VIII Div.2, 5.3.2.

7.3.Failure Load Combinations (LC-03)

7.3.1.Stress location

As per load histogram and Design Load Combinations, 8,005 MPa and at the highest stress was observed as SCL-3 location. As shown below figure ;

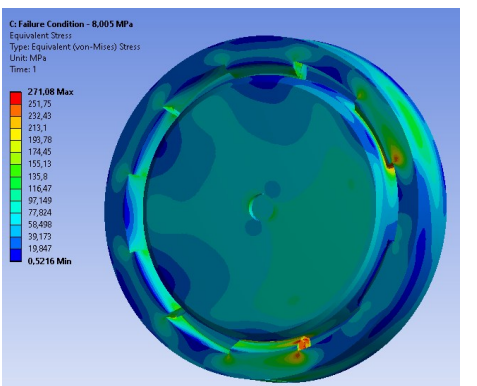


Figure.84 Stress Location Investigation (LC-03)

The stress range for SCL-3 results for Failure Load Combinations (LC-03) case is below;

Table.12 Stress Range Results for SCL-3 at LC-03

SCL-3 (Load 0 to 8,005 MPa)	S_1 MPa	S_2 MPa	S_3 MPa
The Stress Range	159,94	3,7902	-116,11

The algebraic sum of the three linearized primary principal stresses from Design Load Combination (1) shall be used for checking this criterion according to ASME Sec.VIII Div.2, 5.3.2.

$S_1 + S_2 + S_3 \leq 4S$

159,94 + 3,7902 + -116,11 = 47,6202 MPa

4S = 4 x 138 = 552 MPa

47,6202 $\leq$ 552 , TRUE

According to – Triaxial Stress Limit Method investigated stress location is under safe side.

8.Protection Against Collapse From Buckling

In addition to demonstrating protection against plastic collapse, a design factor for protection against collapse from buckling shall be satisfied to avoid buckling of components with a compressive stress field under applied design loads as described in ASME Sec. VIII Div.2, 5.4.

No compressive stress field is applicable for the high-pressure closure for Design Load Combinations as shown before. Therefore, no additional analysis is required.

9.Protection Against Failure From Cyclic Loading

A fatigue evaluating as described in ASME Sec. VIII Div.2, 5.5 shall be performed as the component high-pressure closure is subject to cyclic operation.

9.1.Screening Criteria for Fatigue Analysis

According to ASME Sec. VIII Div.2 , 5.5.2.4 Fatigue Analysis Screening Method B has been used for this construction.

Step.1 : Definition of load histogram;

Table.13 Load Histogram

Operating Pressure	:	0 - 8	MPa
Cyclic Requirement (including Number of Shutdown/Start up)	:	7000	cycle

Step.2 : C1 = 3 and C2 = 2 factors from ASME Sec.VIII Div.2 Table 5.10;

Step.3 : Determine the number of full range pressure cycles $N_{\Delta FP}$ and check initial screening criteria.

$N_{\Delta FP}$ = Number of Full Range Pressure Cycles + Number of Shutdowns

$N_{\Delta FP}$ = 7000 + 0 = 7000 Cycles.

To check the initial screening criteria;

$N_{\Delta FP} \leq N\ (C_1 S)$

The number of allowable cycles for a pressure range of $C_1 S$ must be obtained from Annex 3.F, where S is the allowable stress at the design temperature and C_1 is from Step 2.

The allowable number of cycles for each component is calculated using Equation (3.F.1 and Table 3-F.1):

$$N = 10^X$$

$$Y = Log[28{,}3\ E3\left(\frac{S_a}{E_T}\right)]$$

For $S_{uts} \leq$ 552 MPa and for 48 MPa $\leq S_a \leq$ 3999 MPa

$$X = -4706{,}5245 + 1813{,}6228\ Y + \frac{6785{,}5644}{Y} - 368{,}12404\ Y^2 - \frac{5133{,}7345}{Y^2} + 30{,}708204\ Y^3 + \frac{1596{,}1916}{Y^3} \quad \text{for } 10^Y \geq 20$$

$$X = \frac{38{,}1309 - 60{,}1705\ Y^2 + 25{,}0352\ Y^4}{1 + 1{,}80225\ Y^2 - 4{,}68904\ Y^4 + 2{,}26536\ Y^6} \quad \text{for } 10^Y < 20$$

Note: $S_a = (C_1 S)$ for the screening criteria.

According to above equations the resuls are below;

$S_a = (3x138) = 414\ MPa$, Y= 1,76906 X= 3,42813

$N\ (C_1 S)$ = 1417,34

7000 <= 1417,34 FALSE.

The criterion is not satisfied, and therefore, a detailed fatigue analysis of the vessel is required. The subsequent screening steps for ASME Sec.VIII Div.2, 5.5.2.4 need not to be evaluated.

9.2.Fatigue Life (Cycles) Calculation

According to fatigue screening results, fatigue life calculation is mandatory requirement. The fatigue life calculation to be apply as per ASME Sec.VIII Div.2, Part.5, 5.5.3.

As per load histogram and operation load combinations, 8,005 MPa and at the highest stress was observed as SCL-1 location. So, for the SCL-1 stress results we will estimate the available life in terms of cycles.

The stress range for SCL-1 results for operation load combinations (LC-01) case is below;

Table.14 Stress Range for SCL-1 at LC-01

SCL-3 (Load 0 to 8,005 MPa)	S_{11} MPa	S_{22} MPa	S_{33} MPa	S_{12} MPa	S_{13} MPa	S_{23} MPa
The Stress Range	1,24210	1,56040	85,76400	-1,44600	-3,24390	14,41600

The equivalent stress range is;

$$\sigma_{ij,k} = m\,\sigma_{ij,k} - n\,\sigma_{ij,k} \quad (5.28)$$

$$\Delta S_{P,k} = \frac{1}{\sqrt{2}}[(\Delta S_{11,k} - \Delta S_{22,k})^2 + (\Delta S_{11,k} - \Delta S_{33,k})^2 + (\Delta S_{22,k} - \Delta S_{33,k})^2 + 6(\Delta S_{12,k}{}^2 + \Delta S_{13,k}{}^2 + \Delta S_{23,k}{}^2)]^{0,5} \quad (5.29)$$

$\Delta S_{P,k}$ = 88,195545 MPa

Determining the effective alternating equivalent stress amplitude for the *k*th cycle using the results from above results;

$$S_{alt,k} = \frac{K_f * K_{e,k} * \Delta S_{P,k}}{2} \quad (5.36)$$

For this component, thermal loads are not applicable and for this

$\Delta S_{LT,k} = 0$

The primary plus secondary equivalent stress range is

$\Delta S_{n,k} = P_L + P_b + Q$

$\Delta S_{n,k} = 432{,}06\ MPa$

The maximum range of this equivalent stress is limited to

$S_{PS} = \max(3S, 2S_y)$ (highest one shall be choosen)

$S_{PS} = 500\ MPa$

According to equation 5.31 from ASME Sec.VIII Div.2

$\Delta S_{n,k} \leq S_{PS}$, $K_{e,k} = 1$

The local notch or effect of the weld is not accounted for in the numerical model, then a fatigue strength reduction factor, K_f is selected from ASME Sec.VIII Div.2 Tables 5.11 and 5.12.

Filled Weld, Toe as-welded, Quality Level 3 (as-welded surface that receives MT/PT examination and a VT examination (visual), but the weld receives no volumetric examination) ;

$K_f = 1{,}7$

According to above result, the effective alternating equivalent stress amplitude equation turn in to ;

$S_{alt,k} = 74{,}966213\ MPa$

The allowable number of cycles for each component is calculated using Equation (3.F.1):

$N = 10^X$

$Y = Log[28{,}3\ E3\left(\frac{S_a}{E_T}\right)]$

For *Suts* ≤ 552 MPa (80 ksi) and for 48 MPa (7 ksi) ≤ *Sa* ≤ 3999 MPa (580 ksi)

$X = -4706{,}5245 + 1813{,}6228\ Y + \frac{6785{,}5644}{Y} - 368{,}12404\ Y^2 - \frac{5133{,}7345}{Y^2} + 30{,}708204\ Y^3 + \frac{1596{,}1916}{Y^3}$ for $10^Y \geq 20$

$X = \frac{38{,}1309 - 60{,}1705\ Y^2 + 25{,}0352\ Y^4}{1 + 1{,}80225\ Y^2 - 4{,}68904\ Y^4 + 2{,}26536\ Y^6}$ for $10^Y < 20$

Y = 1,026927 X = 7,35115 N = 2,24 x 10^5

Fatigue damage and accumulated fatigue damage are computed as follows:

$D_{f,k} = \frac{n_k}{N_k}$ (5.37)

$D_{f,k} = \sum_{k=1}^{M} D_{f,k} \leq 1.0$ (5.38)

$$\frac{7000}{2{,}24\ x\ 10^5} = 0{,}03125$$

$0{,}03125 + 0 + 0 \leq 1$

As the equation is satisfied, the location in the component is acceptable for continued operation.

10.Conclusion

With reference to ASME Sec. VIII Div.1 U-2(g)(1)(-a) and Mandatory Appendix 46, Design-by-Analysis was performed as specified in ASME Sec. VIII Div.1 46-4 and ASME Sec. VIII Div.2 Part 5 to evaluate the following failure modes: (a) Protection Against Plastic Collapse, (b) Protection Against Local Failure, (c) Protection Against Buckling, and (d) Protection Against Failure From Cyclic Loading. The allowable material design stress values used in these calculations were obtained from ASME Sec. VIII Div.1 UG-23 and 46-2(b). The adoption of these techniques provides solutions as safe as those ensured by the rules of ASME Sec. VIII Div.1, as required by U-2(g).

During the finite element analysis, the regions with the highest stress concentrations on the high-pressure closure system were identified, and Stress Categorization Line (SCL) assessments were performed in these critical areas. The analysis results indicated that the stresses observed in these regions do not adversely affect the operational safety of the closure system. All evaluation criteria were

thoroughly examined and assessed in accordance with the relevant sections of ASME standards. Stress and fatigue assessment results were calculated separately under each category and presented in the corresponding sections.

The mechanical specifications of the high-pressure closure system used in the analysis were hypothetically generated based on publicly available images and various technical articles found on the internet. The closure system in question is entirely a conceptual model created for analysis purposes.

References

American Society of Mechanical Engineers (ASME). (2019). ASME Boiler and Pressure Vessel Code: Section VIII, Division 1: Rules for construction of pressure vessels. New York, NY: ASME.

American Society of Mechanical Engineers (ASME). (2019). ASME Boiler and Pressure Vessel Code: Section VIII, Division 2: Alternative rules for construction of pressure vessels. New York, NY: ASME.

Pressure vessel | Quick opening closures. (t.y.). Horizon Industrial. Access date: December 17, 2024, https://www.horizonindustrial.com.au/pressure-vessel-closures

BÖLÜM VII

Savunma Sanayii Prototip Araç İmalat Süreçlerinde Çevik Proje Yönetim ve Çevik Üretim Metodolojisi

İbrahim Kerem KOYUNCUOĞLU[1]

1.Giriş

Savunma sanayii, bir ülkenin ulusal güvenliğini sağlamak, askeri ve güvenlik ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla silah, mühimmat, askeri araç-gereç ve teknolojilerin üretimini, geliştirilmesini ve tedarikini kapsayan stratejik bir sanayi dalıdır. Aynı zamanda, ülkelerin bağımsızlığının korunması ve devamlılığı açısından kritik bir öneme sahiptir. Coğrafi konumları, çevrelerindeki tehditler ve risklere bağlı olarak, ülkelerin alacakları tedbirler ve savunma harcamaları farklılık gösterebilir. Kaos ve kargaşanın yoğun olduğu bölgelerde savunma harcamaları artarken, daha istikrarlı bölgelerde bu harcamalar genellikle daha düşük seviyelerde kalmaktadır. (Gümüş, N. 2024).

[1] İbrahim Kerem KOYUNCUOĞLU, Koluman Otomotiv Endüstri A.Ş., ARGE Uzmanı, Mersin/Türkiye, ORCID: 0009-0008-5160-8506, kerem.koyuncuoglu@koluman.com

Türkiye Cumhuriyeti Devleti, bulunduğu coğrafi konum sebebiyle tüm dünya genelinde en fazla savaşın ve karmaşanın yaşandığı bir bölgededir. Bu sebeple Türkiye, savunma sanayiini diğer ülkelere oranla daha fazla güçlendirmek ve geliştirmek durumundadır. Savunma sanayiinin güçlenmesi için Türkiye'nin daha fazla kaynak aktarması ve bu kaynakları doğru kullanması gerekmektedir. Geçtiğimiz zamanlarda Türkiye'nin savunmasının bel kemiği olan Türk Silahlı Kuvvetleri'nin (TSK) ihtiyaçlarının neredeyse tamamı ithalat yolu ile müttefik ülkelerden karşılanmaktaydı. Ancak yaşanan bazı aksaklıklar ve anlaşmazlıklar sonucunda Türkiye'ye uygulanan yaptırımlar ve ambargolar sebebiyle TSK'nın ihtiyaçlarının yerli imkanlar ile karşılanması gerektiğini anlatmıştır. Özellikle 1974 Kıbrıs Barış Harekatı sonrasında Amerika Birleşik Devletlerinin (ABD) uygulamış olduğu ambargolar, Türkiye'nin savunma sanayiine önem vermesini hızlandırmış ve Türk Savunma Sanayii'nin kurulmasına vesile olmuştur.

Prototip imalat, yeni bir ürün veya sistemin tasarım aşamasından seri üretime geçişine kadar olan süreçte kritik bir rol oynar. Prototip, ürün tasarımın işlevselliğini, güvenilirliğini ve performansını test etmek amacıyla üretilen ilk örnektir. Bu süreç, potansiyel ürün tasarım hatalarının erken aşamada tespit edilmesine ve iyileştirilmesine olanak tanır.

Savunma sanayii projelerinde, yüksek hassasiyet ve güvenlik gereksinimleri nedeniyle, prototip ürünlerin detaylı şekilde test edilmesi büyük önem taşır. Örneğin, bir zırhlı araç veya insansız hava aracının prototipi, gerçek operasyonel koşulları simüle eden testlerden geçirilerek değerlendirilir. Bu testler, kullanıcı

ihtiyaçlarına uygun geliştirmeler yapılmasını sağlar ve ürünün sahada etkinliğini artırır. Ayrıca prototip üretimi, yeni teknolojilerin entegrasyonu ve mühendislik ekipleri arasında iş birliği için imkan sunar. Başarılı bir prototip süreci, hem ürünün kalitesini artırır hem de maliyetli hataların önüne geçerek uzun vadede projelerin etkinliğini yükseltir.

Prototip imalat, savunma sanayiinde sadece bir üretim aşaması değil, aynı zamanda projenin yönetiminde kritik bir dönüm noktasıdır. Prototipler, tasarımın gerçek dünyadaki performansını değerlendirerek, mühendislik ekibine olası hataları tespit etme ve gerekli iyileştirmeleri yapma fırsatı sunar. Bu süreç, maliyetli tasarım hatalarının önlenmesini sağlarken, projenin zaman ve bütçe hedeflerini karşılamasına da katkı sağlar.

Proje yönetimi açısından, prototip imalat; risklerin azaltılması, kaynakların etkin kullanımı ve müşteri memnuniyeti gibi önemli hedeflere ulaşmada vazgeçilmez bir araçtır. Prototipler, ürün geliştirme sürecinde net bir yol haritası oluşturulmasına olanak tanır ve daha gerçekçi bir proje takvimi hazırlanmasına yardımcı olur. Ayrıca, müşterilere sunulan prototipler sayesinde alınan geri bildirimler, nihai ürün üzerinde müşteri beklentilerini karşılayacak düzenlemeler yapılmasına olanak tanır. Bu süreç, yalnızca projenin başarıyla tamamlanmasını değil, aynı zamanda savunma sanayiindeki rekabet gücünün artırılmasını da destekler.

Günümüzde pek çok endüstri sürekli değişim ve belirsizlikle karşı karşıyadır. Değişim artık işletmeler için bir istisna değil, kaçınılmaz bir gereklilik haline gelmiştir. Müşteri beklentileri hızla değişmekte ve tüketiciler, hem yüksek kaliteli hem de uygun fiyatlı,

kişiselleştirilmiş ürünlere yönelmektedir (Çetin, O., & Altuğ, N. ,2005). Çevik imalat, günümüzün dinamik ve rekabetçi iş dünyasında müşteri taleplerine hızlı ve esnek bir şekilde cevap verebilmek için tasarlanmış modern bir üretim yaklaşımıdır. Prototip üretimi, çevik imalatın önemli bir bileşenidir. Prototip, bir ürünün nihai haline en yakın ilk örneği olup, tasarımın doğrulanması, test edilmesi ve müşteri geri bildirimlerinin alınması için kullanılır.

Bu çalışmanın amacı, savunma sanayisinde prototip araç imalat süreçlerinde çevik proje yönetimi ve çevik üretim metodolojisinin önemini vurgulamak, bu metodolojilere olan talebi artırmak ve bu alandaki en iyi uygulamaları özetlemektir. Aynı zamanda, bu çalışma savunma sanayisindeki hızlı değişim ve gelişim sürecinde, çevik proje yönetimi ve üretim metodolojisini kullanarak zaman, maliyet ve kaynak tasarrufu yapabilme fırsatını sağlamaktadır. Bu nedenle, savunma sanayisi yöneticileri, uzmanları ve araştırmacılar için bu çalışmanın büyük önemi vardır. Bu çalışma, savunma sanayisinde çevik proje yönetimi ve üretim metodolojisinin benimsenmesi ve uygulanması için bir rehber görevi görmektedir. İlgili literatür taraması ve analizler yapılarak, çevik metotların savunma sanayisinde nasıl etkin bir şekilde kullanılabileceği ve hangi adımların atılması gerektiği detaylı bir şekilde ele alınacaktır. Bu çalışma ayrıca savunma sanayisi için çevik bir yaklaşımın benimsenmesi ve uygulanmasının önündeki engelleri ve bu engellerin nasıl aşılacağını da inceleyecektir. Sonuç olarak, savunma sanayisi profesyonelleri ve araştırmacıları için bu çalışmanın önemli bir kaynak olacağı düşünülmektedir. Bu çalışma, savunma sanayisindeki çevik proje yönetimi ve üretim metodolojisi üzerine

daha fazla araştırma yapma teşvik edecektir. Araştırmacılar ve profesyoneller, bu çalışmanın sunacağı bilgileri kullanarak daha verimli ve etkili projeler gerçekleştirebileceklerdir. Savunma sanayisi, çevik yaklaşımı benimseyerek rekabet avantajı elde etmek, düşük maliyetli ve zamanında teslimat yapmak ve kaynakları daha etkin bir şekilde kullanmak için bu metodolojiye yönelmelidir. (Binici & Can, 2023) (Macit, 2020) (Değerli, 2023)

2. Türk Savunma Sanayii Gelişiminin Tarihçesi

Türk savunma sanayii, köklü bir geçmişe sahiptir (Seren, M. ,2018). Eski Türkler, at, ok, yay ve kılıç teknolojilerinde önemli gelişmelere imza atarak savaş alanlarında üstünlük sağlamışlardır (Durmuş, İ., 2019). Osmanlı döneminde ise gelişmiş yay yapımı, top ve humbara kullanımı gibi teknolojilerle ordularını güçlendirmiştir (Demlikoğlu, U., 2016). Ancak, 19. yüzyıldan itibaren Batı'nın teknolojik üstünlüğü karşısında gerileme yaşayan Osmanlı, Cumhuriyetin ilk yıllarında ise savunma sanayii modernleşme sürecine girmiştir. Bu dönemde Ankara'daki Kırıkkale Silah Fabrikası gibi tesisler kurularak yerli silah üretimine öncelik verilmiştir (Türk, F., 2015). Ancak bu çabalar, ekonomik kısıtlar nedeniyle sınırlı kalmıştır. 1974 Kıbrıs Barış Harekatı, Türkiye'nin savunma sanayii ihtiyacını daha da açık hale getirmiş ve bu alandaki çalışmalar hızlanmıştır. Truman Doktrinleri ve Marshall yardımları gibi dış etkenlere rağmen, Türkiye kendi imkanlarıyla çıkartma gemileri üretmiştir (Sertel, S., 2022). 1985 yılında Savunma Sanayii Başkanlığı'nın (SSB) kurulmasıyla birlikte Türk savunma sanayii, sistematik bir yapıya kavuşmuş ve milli savunma sanayii hedefleri

doğrultusunda önemli adımlar atılmıştır (Ermiş, U., 2023). Bugün gelinen noktada, Türkiye, birçok alanda kendi silah ve mühimmatını üreten önemli bir savunma sanayi gücüne dönüşmüştür.

2.1. Erken Dönem Türk Devletlerinde Savunma Sanayii

Erken dönem Türk devletlerinin askeri yapıları, bozkır alanlarında ortaya çıkmış ve burada gelişmiştir. Bozkır, sıcak ve ılıman iklimlerde geniş alanlara yayılan, ağaçsız, kurakçıl otsu bitkilerle kaplı doğal bir bölge olarak tanımlanmaktadır (Eren, H. vd., 1988). Bozkır kültürü, temelinde diğer göçebe kültürlerinden farklı bir yapıya sahiptir. Bunun nedeni, çöl göçebeleri ile bozkırlıların yaşam biçimlerinin birbirinden oldukça farklı olmasıdır. Çöl göçebelerinin hayatını şekillendiren başlıca unsurlar deve iken, bozkırda konar-göçer yaşamın temel aracı at olmuştur. At, bozkır kültürüne hareketlilik ve dinamizm katmış, bu kültür "güç, hareket ve hız" temaları etrafında gelişmiştir (Koca, S., 2010). Türkler, atın hızından ve demirin etkili gücünden faydalanarak geniş topraklara yayılmış ve buralarda egemenlik kurmuşlardır.

Atın yanı sıra, demir bozkır kültürüne güç ve dinamizm kazandırmıştır. Demir, tarih boyunca önemli bir yer tutmuş ve bozkır kültüründe sosyal, siyasi, iktisadi, askeri ve dini hayatla sanat anlayışında merkezi bir rol oynamıştır. Yüksek sıcaklık gerektiren eritme süreci, demirin kullanımının diğer metallerden sonra başlamasına neden olmuştur. Erken dönem Türk devletlerinin diğer toplumlar üzerinde kolayca siyasi egemenlik kurmalarını sağlayan en önemli faktör, demir madeniydi ve bu süreç, özellikle silah yapımında kullanılmasıyla başlamıştır. Bu kaynak, büyük ölçüde

Altaylar ve Yenisey Nehri'nin kaynak bölgelerinde bulunuyordu. Altaylılar, tarih boyunca mahir demirciler olarak tanınmış ve bu bölge, yüksek kaliteli demir cevheriyle ünlü olmuştur. Tarihi devirlerde, Kuzey Altaylarda demir eritme ocakları ve Baykal Gölü'nün doğusunda demir ocakları ve döküm alanları keşfedilmiştir (Kafesoğlu, İ., 1989).

2.2. Osmanlı Devleti Dönemi Savunma Sanayii

Osmanlı Devleti, üç kıtaya yayılan geniş toprakları sayesinde sadece zengin doğal kaynaklara sahip olmakla kalmamış, aynı zamanda sürekli olarak farklı kültürler ve devletlerle etkileşimde bulunmuştur. Bu geniş coğrafya, Osmanlı'yı birden fazla cephede savaşmaya zorlamış ve dolayısıyla güçlü bir savunma sanayii geliştirme ihtiyacı doğurmuştur. Özellikle Karadeniz, Akdeniz ve Orta Doğu gibi stratejik bölgelerdeki konumu, Osmanlı'yı hem denizcilik gücünü artırmaya hem de karada üstünlük sağlamak için sürekli olarak yeni silah ve savunma sistemleri geliştirmeye yöneltmiştir. Bu ihtiyaç, Osmanlı'nın tarih boyunca geliştirdiği ateşli silahlar, topçu sistemleri, zırhlı araçlar ve donanma teknolojileriyle kendini göstermiştir.

Bu çerçevede, ilk önemli dönüm noktası olarak, Fatih Sultan Mehmet’in 1453 yılında Bizans İmparatorluğu’nun bin yıllık başkenti İstanbul’u fethetmesini gösterebiliriz. Bu zaferle birlikte Osmanlı Devleti, Yükselme Dönemi'ne adım atmıştır. Çağ açan tek Türk padişahı olan Fatih Sultan Mehmet, bilim ve teknolojiye verdiği değerle Türk savunma sanayiinin gelişimine öncülük etmiştir (Seren, M., 2018).

Şekil: 1 Fatih'in Şahi Topu

Kaynak : Wikimedia Commons. (n.d.). Great Turkish Bombard at Fort Nelson. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Great_Turkish_Bombard_at_Fort_Nelson.JPG (Erişim tarihi: 11 Aralık 2024).

Bu dönemde savunma sanayiinin gelişimi, sadece Fatih Sultan Mehmet'in silah üretme zekâ ve yeteneğine değil, aynı zamanda "kurumsallaşma", "seri üretim" ve "yerli üretim" alanlarında atılan önemli adımlara da dayanmıştır. Top döküm teknolojisindeki kritik ilerlemelerin zirveye ulaştığı bu süreçte, Tophane-i Amire'nin kurulmasıyla Osmanlı topçuluğunun kurumsallaşmasında büyük bir adım atılmıştır. Bir defada 1060 top dökme kapasitesine sahip ve ayda 360 kg barut üretebilen Tophane, Osmanlı İmparatorluğu'nda

silah sanayiinin temelini atmıştır. Tarihi belgeler, Osmanlıların döküm ve kalıp teknolojilerini ve soğutma tekniklerini oldukça iyi bildiklerini, bu bilgi ve becerilerini ise savunma ve kuşatma toplarının üretiminde etkin bir şekilde kullandıklarını ortaya koymaktadır. Fatih Sultan Mehmet'in topları üzerinde yapılan analizler, Osmanlıların, ideal bronz (tunç) karışımını Avrupa'dan tam bir asır önce kullandıklarını kanıtlamıştır. Ayrıca, o dönemde, ısınan top ve diğer ateşli silahların yağ ile soğutulması uygulamasının ilk kez başarıyla gerçekleştirildiği de vurgulanmalıdır (Tunç, Ş., 2004).

Osmanlı'nın Yükselme Dönemi'nde, Fatih Sultan Mehmet ve sonraki padişahlar döneminde, savaş gemileri gibi önemli harp araçları yerli imkânlarla üretilmiştir. Osmanlı'nın tersaneleri 1300'lü yıllara kadar uzanır; ilk tersane Orhan Bey döneminde 1331'de İznik ve Gemlik'te kurulmuştur. Yıldırım Beyazıt döneminde, 1390'da Gelibolu Tersanesi'nin temelleri atılmış, Fatih Sultan Mehmet döneminde ise Haliç Tersanesi inşa edilmiştir. II. Beyazıt döneminde Haliç Tersanesi genişletilmiş ve Akdeniz'in en büyük iki gemisi inşa edilmiştir. Yavuz Sultan Selim dönemiyle İstanbul Kadırga Tersanesi kurulmuş, ardından Kanuni Sultan Süleyman döneminde İstanbul Taşkızak Tersanesi'nin kapasitesi artırılmıştır (İnalcık, H. & Arı, B., 2004). 1571 İnebahtı Deniz Muharebesi'nde kaybedilen donanma, Osmanlı tersanelerinin kapasitesi sayesinde beş ay içinde 200 gemiye ulaşmıştır. Süveyş Tersanesi ise Kızıldeniz ve Basra Körfezi'ni korumak için yapılmıştır. 17. yüzyılda Osmanlı, savaş gemisi üretiminde Avrupa'yı geride bırakmış ve İstanbul Tersanesi, bir seferde 137 gemi üretebilecek kapasiteye ulaşmıştır (Köseoğlu, A.M., 2010).

Şekil: 2 Tersane-i Amire (Haliç Tersanesi) (Seren, M., 2018)

2.3. Cumhuriyet Dönemi Savunma Sanayii

Osmanlı Devleti'nin çöküşü, askeri yetersizlikler ve dışa bağımlılıkla yakından ilişkilidir. Batılı devletlerin teknolojik üstünlüğü karşısında Osmanlı, savunma sanayisini güçlendirme çabalarına girişse de, mali ve teknik yetersizlikler bu girişimlerin başarısını sınırlamıştır. Özellikle Tophane-i Amire ve Gelibolu Tersanesi gibi kurumlar modernize edilerek savunma kapasitesi artırılmaya çalışılmış, ancak devletin genel çöküş süreci nedeniyle bu çabalar istenilen sonuçları verememiştir.

Cumhuriyetin ilanıyla birlikte savunma sanayii yeniden şekillendirilmiş ve yerli üretim kapasitesini artırmaya yönelik önemli adımlar atılmıştır. Erken Cumhuriyet Dönemi'nde kalkınma hedefleri, beş yıllık planlar çerçevesinde düzenlenmiştir. Bu döneme denk gelen ilk iki kalkınma planı, ulusal bir karakter taşıyarak savaşlar ve ekonomik buhranların ardından kapsamlı bir iyileştirme

ihtiyacını karşılamayı amaçlamıştır (Akdeve, E., & Karagöl, E. T., 2012).

2.3.1. Erken Cumhuriyet Dönemi Savunma Sanayii

Birinci Beş Yıllık Kalkınma Planı (1934 – 1939), devletçilik anlayışıyla yakın bir bağ içinde hazırlanmış ve kalkınmanın yerli ve milli temellerde bağımsız bir şekilde gerçekleştirilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Daha kapsamlı olan İkinci Beş Yıllık Kalkınma Planı (1938 – 1943) ise, birinci plandaki kazanımları çeşitlendirerek devam ettirmeyi hedeflemiştir. Ancak, İkinci Dünya Savaşı'nın etkileri nedeniyle bu plan hayata geçirilememiştir (Yılmazer, D., 2018)

Erken Cumhuriyet Döneminde savunma sanayii, genel sanayinin ayrılmaz bir parçası olarak değerlendirilmektedir. Ülke savunması için gerekli olan silahlar, savaşta kullanılacak yedek parçalar, cephane, araçlar ve teçhizatın üretimini ve bakımını üstlenen bu sektör, üretim sanayinin hemen her alanıyla doğrudan ilişkilidir. Savunma sanayii, ihtiyaç duyulan askeri malzemeleri sağlayarak ulusal güvenliği destekleyen stratejik bir sanayi dalıdır.

Birinci ve İkinci Kalkınma Planları kapsamında savunma sanayisini desteklemek ve geliştirmek amacıyla kurulan başlıca müdürlükler, devlet fabrikaları ve teşvik edilen özel sektör girişimleri şunlardır:

1921/23 - Askeri Fabrikalar Umum Müdürlüğü: Cumhuriyet'in ilanından sonra, harp sanayisinin gelişimi, tamamen askeri fabrikaların yeniden yapılandırılmasıyla paralel bir şekilde ilerlemiş ve Askerî Fabrikalar Umum Müdürlüğü, dönemin silah sanayisinde

önemli bir rol oynamıştır. Müdafaa-i Millîye Vekâletine bağlı olarak 10 Ocak 1921'de kurulan Askerî Fabrikalar Müdüriyeti, mevcut tamirhaneleri bir araya getirerek tek bir çatı altında toplamıştır. Topçu Albay Asım Bey, Genel Müdür olarak atanmış ve yeni askerî fabrikaların kurulması için Kırıkkale ve çevresi uygun bölge olarak seçilmiştir (Özlü, H., 2024).

1925 - Kırıkkale Mühimmat ve Silah Fabrikası: 1925 yılında yapımına başlanan Topçu Mühimmat Fabrikası, 1929 yılında 15 cm çapına kadar mühimmatın deneme üretimi dâhilinde faaliyete geçmiştir (Akalın, T. Z., & Bıyıkoğlu, N., 2009). Fabrikanın başlıca üretimi mermi imalatıdır. Bununla beraber Mermi, Tapa ve İmla İşletmeleri'nden meydana gelmektedir (Özlü, H., 2006).

1925 - Kayseri Tayyare ve Motor Fabrikası: 1925 yılında Alman Junkers firmasıyla yapılan ortaklık anlaşması sonucunda 1926'da Kayseri'de kurulmuş ve faaliyet göstermeye başlamıştır. Ortaklık kapsamında kurulan şirketin adı "Tayyare ve Motor Türk Anonim Şirketi" (TOMTAŞ) olarak belirlenmiştir (Kurt, E., & Şehitoğlu, Y., 2023). Bu işbirliği ile, otuz adet Junkers A-20 L ve üç adet F-13 uçak üretimi gerçekleştirilmiş, ayrıca Junkers A-20, F-13 ve G-23 uçaklarının montaj, bakım ve onarımları yapılmıştır (Sarısır, S., 1998).

1926 - Eskişehir Uçak Bakım Fabrikası: Uçak bakım, onarım ve yenileme işlemleri Eskişehirde TOMTAŞ girişimi olarak kurulmuştur (Akalın, T. Z., & Bıyıkoğlu, N., 2009).

1927 - Nuri Killigil Silah ve Mühimmat Fabrikası (İstanbul): Aslen asker olan Nuri Killigil, savaşın ardından çeşitli ticari girişimlerde bulunmuş, ancak en önemli katkısı Cumhuriyet

döneminde Türkiye'nin ilk endüstriyel silah tasarımcısı olarak Zeytinburnu Silah ve Cephane Fabrikası'nı (1930) ve Sütlüce Silah ve Cephane Fabrikası'nı (1938) kurmasıdır (Oral, A., 2016).

1936 - Şakir Zümre Silah ve Mühimmat Fabrikası: İstiklal Savaşı sırasında orduya çeşitli askeri teçhizat temin eden Şakir Zümre, ülkesine döndükten sonra 1925 yılında İstanbul'un Haliç semtinde, Karaağaç Tapa Fabrikası'nın kalıntıları üzerine bir fabrika kurmuştur. Bulgaristan ve Makedonya'da silah ve mühimmat üretimi konusunda deneyimli birçok usta ile ilişkisi olan Şakir Zümre, Erkan-ı Harbiye-i Umumi'ye başvurarak ordunun ihtiyaçları doğrultusunda bir fabrika kurmak istediğini bildirmiştir. Bu talep kabul edilmiş ve fabrika, "Türk Mevad-ı Harbiye ve Tenviriye Fabrikası" adıyla inşa edilmiştir (Oral, A., 2012).

1939 - Nuri Demirağ Uçak Fabrikası (İstanbul): Cumhuriyet döneminin getirdiği yeni atmosfer ile havacılık sanayii beklenenden daha fazla ilgi görmüş ve hem devlet hem de işadamları tarafından çeşitli girişimlerde bulunulmuştur. Bu süreçte birçok iş adamından bağış talep edilmiştir. Nuri Demirağ bu talebi sadece maddi açıdan değil, aynı zamanda bizzat işin içinde yer alarak karşılamak isteyerek somut bir adım atmak istemiştir. Bu tutumun ve durumun bir sonucu olarak, 1936 yılında havacılık sanayisinin temelleri Beşiktaş'ta atılmıştır. Bu adımın ardından, Sivas'ta "Gök Okulu" kurulmuş ve 1941 yılında ise Yeşilköy'de, günümüzdeki Atatürk Havalimanı'nın bulunduğu alanda bir havaalanı, hangar ve atölyelerden oluşan büyük bir kompleks inşa edilmiştir. Beşiktaş Uçak Fabrikası'nda Türkiye'nin ilk uçak mühendislerinden olan Selahattin Reşit Alan'ın hazırladığı proje sayesinde 1936'da Nu. D-

36 adlı tek motorlu, 1938'de ise Nu. D. 38 adlı çift motorlu 6 kişilik yolcu uçakları imal edilmiştir (Yücel, T. F., 2015).

2.3.2. Kıbrıs Barış Harekatı ve Sonrası Savunma Sanayii

Kıbrıs Barış Harekâtı, 20 Temmuz 1974'te Türkiye'nin, Kıbrıs Adası'nda Türklere yönelik artan baskılar ve katliamları sona erdirmek, Kıbrıs Türk halkının güvenliğini sağlamak ve adada anayasal düzeni yeniden tesis etmek amacıyla gerçekleştirdiği askeri harekâttır. Harekâtı'nın ardından, 1975 yılında ABD'nin Türkiye'ye uyguladığı ambargo, milli savunma sanayiinin önemini gözler önüne sermiş ve bu alanda adımlar atılmasını teşvik etmiştir (Wicaksono, T. Perwita, A. A. B., 2020). 5 Şubat 1975'te başlayan ambargo, Türkiye'nin 25 Temmuz 1975'te ABD'ye nota vermesiyle yeni bir boyut kazanmıştır. Bu süreçte, 1969'da imzalanan Savunma İşbirliği Anlaşması'nın feshedildiği ve Türkiye'deki ABD üslerinin Türk Silahlı Kuvvetleri'nin kontrolüne geçtiği açıklanmıştır. Bu kararlı adımlar sonucunda, ABD 1978 yılında ambargoyu kaldırmak zorunda kalmıştır (STM (Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş., 2021).

ABD'nin ambargosuyla çalışmaları başlayan ve savunma sanayisini desteklemek ve geliştirmek amacıyla kurulan başlıca kurumlar şunlardır:

1973 - TUSAŞ'ın Kuruluşu: Türk Hava Kuvvetleri için uçak üretimi ve modernizasyonu gerçekleştirmek amacıyla 28 Haziran 1973 yılında kurulmuştur (TUSAŞ. (n.d.). (Erişim Tarihi : 12.12.2024). https://www.tusas.com/kurumsal/hakkimizda).

1975 - ASELSAN'ın Kuruluşu: Türk Silahlı Kuvvetleri'nin haberleşme ihtiyaçlarının milli ve özgün olarak karşılanması amacıyla 1975 yılında bugün ki adıyla Türk Silahlı Kuvvetlerini Güçlendirme Vakfı öncülüğünde kuruldu (ASELSAN. (n.d.). (Erişim Tarihi : 12.12.2024). https://www.aselsan.com/tr/hakkimizda/tarihce).

1984 - ROKETSAN'ın Kuruluşu: Türk Silahlı Kuvvetleri'nin roket ve füze ihtiyaçlarının karşılanması, ülkemizde roket ve füze tasarımı, geliştirilmesi ve üretimi amacı ile 14 Haziran 1988 tarihinde kurulmuştur (ROKETSAN. (n.d.). (Erişim Tarihi : 12.12.2024). https://www.roketsan.com.tr/tr/biz-kimiz/hakkimizda).

3. Proje Yönetimi

Proje yönetimi, belirli bir hedefe ulaşmak için kaynakların etkin bir şekilde kullanıldığı disiplinler arası bir yaklaşımdır. Bu disiplin, bir projenin başlangıcından sonuna kadar süren planlama, organizasyon, yönetim ve kontrol süreçlerini içerir. Proje yönetimi, karmaşık projelerin başarıyla tamamlanmasını sağlayarak, kaynak israfını önler ve proje süresince belirlenen hedeflere ulaşılmasını garanti altına alır (Ertek, 2023).

ISO 21500 standardı, proje yönetiminin temel unsurlarını ortaya koymak ve proje yönetimi süreçlerinin standartlarını belirlemek için oluşturulmuş uluslararası bir standarttır. Bu standart, proje yönetiminde kullanılan belgelendirme ve değerlendirme prosedürlerini standartlaştırarak, projelerin etkin bir şekilde yönetilmesinde rehberlik sağlar. ISO 21500 standardı, proje

yönetimindeki en iyi uygulamaları teşvik ederek, projelerin başarıyla tamamlanmasına katkıda bulunur. Bu standart aynı zamanda, proje yönetimi süreçlerinin temellerinin atılmasında büyük öneme sahiptir. Proje yönetimi, bir projenin her aşamasının detaylarına dikkatlice dâhil edilmesi gereken bir süreçtir. Projelerin başarılı bir şekilde tamamlanması için, proje yöneticileri ve ekibin, doğru stratejileri belirlemek, kaynakları etkili bir şekilde kullanmak ve süreci düzenli bir şekilde yönetmek için birlikte çalışmaları gerekir. Ayrıca, iletişim ve işbirliği gibi temel unsurları da göz önünde bulundurarak, proje ekibi arasında etkili bir iletişim ağı kurulmalıdır. Bu çerçevede, proje yönetimi sürecinde, risk yönetimi, maliyet yönetimi, zaman yönetimi ve kalite yönetimi gibi önemli faktörler göz önünde bulundurulmalıdır (Öztürk, 2020).

3.1. Proje Yönetim Metotları

Proje yönetim metotları, projeleri daha etkili ve verimli bir şekilde planlamak, uygulamak ve tamamlamak için kullanılan sistematik yaklaşımlardır. Bu metotlar, proje hedeflerini, süresini, bütçesini ve kaynaklarını optimize ederek başarı oranını artırmayı amaçlar. İşte öne çıkan bazı proje yönetim metotları:

Klasik (Şelale) Yöntemi: Projenin bir dizi ardışık aşamada ilerlediği, sıralı bir yaklaşımdır. Bu yöntemde proje, belirlenen adımlar doğrultusunda ilerleyerek tamamlanır. İlk aşamada gereksinimler belirlenir ve analiz edilir. Ardından tasarım aşamasına geçilir ve sonrasında kodlama işlemi gerçekleştirilir. Kodlama tamamlandıktan sonra test aşamasına geçilir ve proje üzerinde çeşitli testler yapılır. Son olarak da dağıtım ve bakım aşamaları

tamamlanarak proje tamamlanır. Bu yöntem, projenin kontrollü bir şekilde ilerlemesini sağlar ve hataların erken tespit edilmesine olanak tanır. Proje ekibi, her aşamanın sonunda geri bildirimler alır ve proje üzerinde gerekli düzeltmeleri yapar. Klasik (Şelale) Yöntemi, uzun vadeli projeler için uygun olabilir ve projenin detaylı bir şekilde planlanması gerektirir (Uyar, 2021).

Kritik Yol Yöntemi (CPM): Projedeki kritik görevleri belirleyip bu görevler üzerinden ilerleyen, zaman yönetimi ve kaynak dağılımını optimize etme amacı güden bir metot olarak tanımlanabilir. Bu metot, projenin tamamlanması için en kritik ve zaman açısından hassas olan görevleri tespit etmeyi sağlar. Bu sayede, projedeki tüm süreçlerin takip edilmesi ve planlanması kolaylaşır. CPM, projenin başarıyla tamamlanabilmesi için gereken minimum süreyi belirler ve aynı zamanda kaynak kullanımını optimize eder. Bu yöntemin kullanılması, projenin hedeflenen sürede ve maliyetle tamamlanabilmesini sağlar. Tüm bu nedenlerle, Kritik Yol Yöntemi, proje yönetiminde etkili bir araç olarak kullanılmaktadır (Uçar, A., & Turanoğlu Şirin, B., 2024).

GANTT Yöntemi: Proje aktivitelerinin zaman çizelgesi üzerinde gösterildiği ve çubuklar şeklinde sunulan bir diyagram olan GANTT Şeması olarak da bilinir. Bu yöntem, projelerin zamanlama ve ilerleme durumunu görsel olarak ön plana çıkarır ve Henry Gantt tarafından geliştirilmiştir. GANTT Yöntemi, proje yöneticilerine ve ekiplere projenin ilerlemesini takip etme ve planlamayı optimize etme imkanı sağlar. Ayrıca, proje süresi, bağımlılıklar ve kaynakların dağılımı gibi önemli faktörlerin net bir şekilde görüntülenmesine yardımcı olur. Bu sayede, proje yöneticileri ve ekipler, projenin belirlenen hedeflere ulaşması için gereken adımları

daha iyi analiz edebilir ve gerektiğinde düzeltici önlemler alarak projenin başarılı bir şekilde tamamlanmasını sağlayabilir. GANTT Yöntemi, projelerin başarısını artırmak ve projelerin daha verimli bir şekilde yönetilmesini sağlamak için sıkça kullanılan bir araçtır. Ayrıca, GANTT Şemasının kurumsal kaynak planlaması, iş süreci yönetimi ve projelerin izlenmesi gibi alanlarda da geniş kullanım alanı bulunmaktadır. Bu nedenle, GANTT Yöntemi, proje yönetimi alanında önemli bir yer tutmaktadır ve projelerin zamanlama ve ilerleme durumunu etkili bir şekilde yönetmek isteyen herkes için vazgeçilmez bir araçtır (Tümtürk & Tümtürk, 2020).

PERT Yöntemi (Program Evaluation and Review Technique): PERT Diyagramı olarak da bilinir. Projelerde belirsiz süreler için iş akışlarını analiz eden bir yöntemdir. ABD Donanması tarafından geliştirilmiştir ve genellikle karmaşık projelerde kullanılır. Bu yöntem, projenin zamanlamasını ve kaynak ihtiyaçlarını belirlemek için detaylı bir planlama süreci içerir. Aynı zamanda projedeki riskleri değerlendirmek ve yönetmek için de kullanılır. PERT Diyagramı, projedeki farklı faaliyetleri ve bu faaliyetler arasındaki bağımlılıkları gösteren bir ağ yapısı olarak oluşturulur. Bu yapı sayesinde projenin tamamlanmasının ne kadar süreceği ve hangi faaliyetlerin birbirini takip ettiği net olarak görülebilir. PERT Yöntemi, projelerin başarılı bir şekilde tamamlanmasını sağlamak için proje yöneticilerine stratejik bir yol haritası sunar. Projelerin zamanında ve bütçeye uygun bir şekilde tamamlanabilmesi için PERT Yöntemi, projenin her aşamasında analizler yapmayı ve sürekli olarak geliştirmeler yapmayı gerektirir. Bu sayede projenin riskleri minimize edilir ve projenin başarı şansı artırılır. PERT Yöntemi, projelerin planlanması ve izlenmesinde kullanılan etkili bir

yöntemdir ve karmaşık projelerin başarılı bir şekilde yönetilmesini sağlar (Tütüncüler, 2020).

Çevik (Agile) Yöntemi: Daha çok yazılım geliştirme sürecinde esneklik ve hızlı tepkiler sağlayan bir yöntem olan Çevik (Agile) Yöntemi, projelerin daha verimli ve başarılı bir şekilde yönetilmesini sağlar. Çevik yöntemin temel prensipleri arasında müşteri memnuniyeti, işbirliği, çalışan motivasyonu ve sürekli iyileştirme yer alır. Projenin başından sonuna kadar düzenli geri bildirimler alarak hızlı adaptasyon sağlanır ve değişen taleplere esneklikle yanıt verilir. Ekipler arasında sıkı iletişim ve işbirliği sağlanırken, gereksiz belgelendirmeler ve aşırı planlamaların önüne geçilir. Proje paydaşları sürekli bir şekilde projenin ilerleme durumunu takip eder ve gerektiğinde müdahale eder. Tüm bu özellikleriyle Çevik (Agile) Yöntemi, modern yazılım geliştirme süreçlerinde tercih edilen ve başarılı sonuçlar elde etmeyi sağlayan bir yaklaşımdır (Göker, 2022).

3.2. Çeviklik Kavramı ve Temel İlkeleri

Çeviklik kavramının temel ilkeleri, esneklik ve işbirliğini vurgularken aynı zamanda değişen koşullara hızlı bir şekilde adapte olabilmeyi de içerir. Bu prensipler çerçevesinde, çevik proje yönetimi süreçleri, müşteri memnuniyetini ön plana çıkaran bir yaklaşımı benimser. Ayrıca, direnç yerine adaptasyonun teşvik edilmesi, sıkı işbirliği ve etkili iletişim, işin basitleştirilmesi ve sürekli gelişim gibi unsurlar da bu yönetim yaklaşımının temel unsurlarıdır. Tüm bu ilkelerin birleşimi, proje süreçlerinin daha etkili ve verimli bir şekilde yönetilmesini sağlayan çevik proje yönetimi pratiğini oluşturur. Çevik proje yönetimi, değişime ayak

uydurabilme yeteneği sayesinde, projede karşılaşılan her türlü engeli aşmak ve hedeflere ulaşmak için bir çerçeve sağlar (Erciyes & Özgür, 2021)(Topçu & Korkmaz, 2021).

4. Çevik Üretim Metodolojisi

Savunma sanayisinde çevik üretim metodolojisi, üretim süreçlerini hızlandırmak, verimliliği artırmak ve müşteri taleplerine daha hızlı yanıt verebilmek için kullanılan bir yaklaşımdır. Bu metodoloji, üretim süreçlerini kesintisiz hale getirerek stok maliyetlerini düşürmeyi ve kaliteyi artırmayı hedefler. Ayrıca, sürekli olarak gelişmeyi ve iyileştirmeyi destekler. Savunma sanayisinde bu metodolojinin kullanılması, ürün geliştirme süreçlerini hızlandırarak rekabet avantajı sağlar.

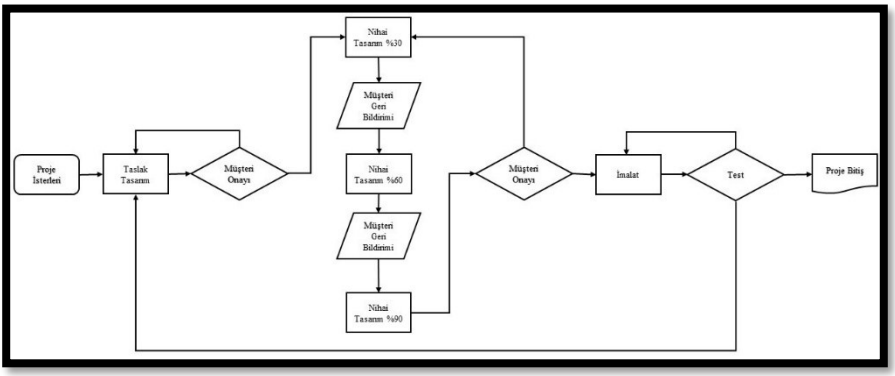
4.1. Çevik Üretim Süreçleri ve Teknikleri

Çevik üretim süreçleri, zamanın etkili kullanılmasını, iş akışının optimize edilmesini ve kaynakların verimli bir şekilde kullanılmasını içerir. Bu süreçler genellikle kısa süreli iterasyonlarla çalışmayı ve sürekli geri bildirim almayı içerir. Bununla birlikte, çevik üretimde sıklıkla kullanılan teknikler arasında kanvas modelleri, görev panoları, verimlilik araçları ve sürekli iyileştirme teknikleri bulunmaktadır. Savunma sanayisinde bu tekniklerin kullanılması, üretim süreçlerinin optimize edilmesi ve yenilikçiliğin artırılmasına yardımcı olur.

5. Prototip Araç İmalat Süreçlerinde Çevik Proje Yönetimi ve Çevik Üretim Entegrasyon Uygulaması

Bu çalışmada, askeri bir kamyon üstyapısının prototip imalat sürecinde çevik proje yönetimi ve çevik üretim ilkelerinin ISO 21500 standardı çerçevesinde nasıl entegre edilebileceğine dair bir uygulama örneğini sunmaktadır. Proje, kabin, şasi ve üstyapı olmak üzere üç ana sistemde incelenecek ve her bir sistem için detaylı bir yol haritası çizilecektir. Bu çalışmada, proje yürütme ve izleme & kontrol süreçlerinde görev atamaları için Kanban panoları, Kanvas iş modelleri ve sürekli iyileştirme tekniklerinin kullanılması, nihai tasarım süreçlerinin araç imalat sürecine olan etkisi, paralel üretim süreçleri, kilometre taşları için değerlendirme toplantıları ve paydaşlarla düzenli iletişim gibi konulara da değinilecektir.

ISO 21500 standardı, proje yönetimi süreçlerini başlatma, planlama, yürütme, izleme ve kontrol ile kapatma olmak üzere beş temel aşamada tanımlar. Çevik yaklaşım ise bu süreçleri daha esnek, adaptif ve müşteri odaklı hale getirmeyi hedefler. Özellikle yürütme ve izleme & kontrol aşamalarında çevik yöntemlerin etkinliği daha belirgindir. Bu aşamalarda Kanban panoları ve Kanvas iş modelleri kullanılarak görevler görselleştirilir, iş akışları optimize edilir ve sürekli iyileştirme için fırsatlar belirlenir. Ayrıca, proje boyunca düzenli olarak yapılan değerlendirme toplantıları ile ilerleme takip edilir ve riskler minimize edilir.



Şekil: 3 Prototip Araç Projesi Çevik Mantık Uygulama Şeması

5.1. Proje Kapsamı ve Alt Sistemler

Proje kapsamında, askeri bir kamyon ve üstyapısı için kabin, şasi ve üstyapı olmak üzere üç ana sistem ele alınacaktır. Bu ana sistemler, daha detaylı alt sistemlere ayrılmıştır:

- Kabin: BIW (Body In White), dış trim, iç trim
- Şasi: Yürür aksam, şasi üzeri ekipmanlar
- Üstyapı: Platform, platform üzeri ekipmanlar

5.1.1. Taslak Tasarım

Proje için müşteri tarafından daha önceden belirlenmiş proje genel çerçevesi ve gereksinimleri her bir ana ve alt sistem bazında değerlendirilir. Her bir alt ve ana sistemler için bir prototip tasarım oluşturulur ve her bir alt sistem için prototip tasarım çalışması için müşteri geri bildirimleri alınır.

5.1.2. Nihai Tasarım

Taslak tasarım sonrası nihai tasarım süreçleri tasarım olgunluk fazlarına bölünerek (%30, %60 ve %90), araç imalat sürecine en doğru etki edecek şekilde belirlenir. Askeri araç projesi için üç ana sistem paralel olabilmek üzere her bir sistem için öncelik sırası ana sistem kırılımlarında belirtildiği gibidir. Örneğin: Kabin ana sistemi önem sırası; BIW (Body In White), dış trim, iç trim şeklindedir.

5.1.3. Müşteri Geri Dönüşleri ve Onay

Tasarım sürecinde, her bir alt sistem için nihai tasarım fazları tamamlandıktan sonra, tüm proje paydaşları ile bir araya gelinerek 15 dk'lık kısa toplantılar ile durum değerlendirilmesi yapılır. Değerlendirme sonucunda oluşan çıktılar ise müşteri tarafı ile paylaşılarak müşteri geri bildirimleri alınır.

5.1.4. İmalat Süreci

Nihai tasarım olgunluğu %90 fazına ulaşan ve hemen ardından müşteri tarafından onayları alınan her bir alt sistem, proje planlama aşamasında proje ve planlama ekipleri ile belirlenmiş olan öncelik sırasına göre imalat sürecine alınır. Kanban panoları kullanılarak üretim süreçleri görselleştirilir ve darboğazlar belirlenir. Çevik üretim yöntemleriyle üretim planlaması esnek bir hale getirilir ve üretim süreçleri sürekli olarak iyileştirilir. Proje yürütme süreçlerinde her bir kilometre taşları için değerlendirme toplantıları yapılır.

Nihai tasarım sonrası üç ana sistem için paralel olarak üretim ve montaj süreçlerine girebilir. Paralel imalat çalışmaları imalat

kapasitesi veya proje yönetim risk değerlendirilmeleri sonrasında iş paylaşımının ve dağılımının yapılması ardından yapılması gereken hassas bir süreçtir. Paralel imalat süreçlerinde ayrı ayrı imalatı yapılan üç ana sistem daha sonra sistem bir araya getirilerek nihai ürün elde edilir.

5.1.5. Test Süreci

İmalat işlemleri tamamlanan her bir parça, montaj ve alt sistem için sırası ile test faaliyetlerine geçilir. Test faaliyetleri nihai tasarım fazlarında bahsedilmemiş olan %10'luk kısma karşılık gelmektedir. Test faaliyetleri kapsamında her bir parça ve montaj için kalite kontrol faaliyetleri uygulanırken, alt sistemler ve sistemler için performans testleri ve nihai kalite kontrol prosedürleri uygulanır. Kalite kontrol sürecinde uygunsuzluk alan parçalar ve montaj grupları yeniden imalat değerlendirmesine veya yeniden tasarım değerlendirilmesine tabi tutularak ilgili süreç akışları uygulanır. Performans testlerinden başarısız olan alt ve ana sistemler içinde bu süreç değerlendirme toplantıları ile karar verilerek yapılır. Parça, montaj, alt ve ana sistemler için bu süreçler tamamlandıktan sonra, ana sistemler bir araya getirilerek nihai ürün ortaya konulur ve ilgili test prosedürleri uygulanarak değerlendirilmesi yapılır.

5.1.6. Kapanış

Tüm ana ve alt sistemler başarılı bir şekilde tamamlandığında proje kapatılır. Sürekli iyileştirme teknikleri kullanılarak proje sonuçları değerlendirilir ve gelecek projeler için dersler çıkarılır.

6. Sonuç ve Öneriler

Çeviklikle ilgili savunma sanayisinde karşılaşılan zorluklardan biri, geleneksel proje yönetimine alışmış ekiplerin çevik projelerde adapte olma sürecidir. Bu durumu aşmak için ekiplerin çeviklik prensiplerine uygun eğitimler alması ve gelişim süreçlerinin desteklenmesi önemlidir. Ayrıca, savunma sanayisindeki karmaşık yapı ve sıkı regülasyonlar, çeviklikle uyumlu olmayabilir. Bu durumu aşmak için proje ekiplerinin sürekli iletişim halinde olması, esneklik ve uyum yeteneklerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Diğer bir zorluk ise çevik üretim metodolojisinin uygulanmasındaki altyapı ve teknoloji gereksinimleridir. Bu durumu aşmak için savunma sanayisinde faaliyet gösteren firmaların teknolojik altyapılarını güncellemeleri, mevcut ekipman ve sistemlerini esnek üretim süreçlerine uygun hale getirmeleri ve yenilikçi çözümleri benimsemeleri gerekmektedir. Buna ek olarak, her bir proje için özelleştirilmiş çeviklik yöntemleri geliştirilmeli ve uygulanmalıdır. Bu yöntemler, savunma sanayisindeki özel ihtiyaçların ve regülasyonların dikkate alınmasını sağlayarak daha etkin ve verimli bir çevik üretim süreci ortaya çıkarmanın yolunu açacaktır. Sonuç olarak, savunma sanayisinde çeviklikle ilgili zorlukları aşmak için hem ekiplerin yeteneklerinin geliştirilmesi hem de teknolojik altyapının güncellenmesi önemli birer adımdır. Bu sayede, çevik projelerde başarıya ulaşmak ve rekabetçi bir konum elde etmek mümkün olacaktır.

Bu çalışma, savunma sanayisinde prototip araç imalat süreçlerinde çevik proje yönetimi ve çevik üretim metodolojisinin entegrasyonuna dair kapsamlı bir inceleme sunmaktadır. Özellikle askeri kamyon üstyapılarının tasarım ve imalat süreçlerinde, ISO

21500 standardına uygun olarak çevik yaklaşımın uygulanabilirliği ele alınmıştır. Çalışmada, çevik proje yönetimi prensiplerinin tasarım, üretim ve test aşamalarında nasıl daha esnek, adaptif ve müşteri odaklı süreçler oluşturduğu detaylı şekilde incelenmiştir. Prototip araç imalatı gibi karmaşık projelerde, geleneksel yöntemlerle yönetim, hızlı değişimlere ve yeni taleplere uyum sağlamada yetersiz kalabilir. Bu kapsamda çevik proje yönetimi, projenin farklı aşamalarında sürekli iyileştirme ve adaptasyon imkanı sunar. Kanban panoları, iş modeli kanvasları ve sürekli iyileştirme teknikleri kullanılarak proje yönetimi daha verimli hale getirilebilir. Düzenli değerlendirme toplantıları ve paydaşlarla sağlanan etkin iletişim, proje başarısının önemli unsurlarından biridir.

Referanslar

Gümüş, N. (2024). TÜRK SAVUNMA SANAYİİNDEKİ GELİŞMELERİN ÜLKE KALKINMASI, SANAYİLEŞME VE İSTİHDAMA ETKİLERİ. Avrasya Sosyal Ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, 11(4), 182-201.

Seren, M. (2018). Osmanlı'dan Günümüze Savunma Sanayii, M5 Ulusal Güvenlik Savunma ve Strateji Dergisi, http://m5dergi.com/2018/05/osmanlidan-gunumuze-savunma-sanayii/, (Erişim tarihi: 27.11.2024).

Durmuş, İ. (2019). ESKİ TÜRK SAVAŞ ARAÇ- GEREÇ VE TAKTİĞİ. Selçuklu Medeniyeti Araştırmaları Dergisi(4), 49-70.

Demlikoğlu, U. (2016). OSMANLI DEVLETİ'NİN 18. YÜZYILDA BAZI ŞARK KALELERİNDE BULUNDURDUĞU HARP MALZEMELERİ. Firat University Journal of Social Sciences, 24(2), 277-294. https://doi.org/10.18069/fusbed.29066

Türk, F. (2015). Cumhuriyet Döneminde Türkiye ile Almanya Arasındaki Silah Ticareti 1923-1945. BELLETEN, 79(285), 761-782. https://doi.org/10.37879/belleten.2015.761

Sertel, S. (2022). "KIBRIS BARIŞ HAREKÂTI ÖNCESİNDE TÜRK DONANMA FİLOSUNUN MODERNLEŞTİRİLMESİ (1968-1974)". Belgi Dergisi, sy. 23 (Ocak 2022): 253-79. https://doi.org/10.33431/belgi.955111.

Ermiş, U. (2023). 1919-1947 VE 1985-2004 DÖNEMLERİNDE TÜRK SAVUNMA SANAYİİ KURMA GİRİŞİMLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ. Kafkas

Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 14(27), 438-460. https://doi.org/10.36543/kauiibfd.2023.017

Çetin, O., & Altuğ, N. (2005). ÇEVİK ÜRETİM. V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu, İstanbul Ticaret Üniversitesi, 25-27 Kasım.

Eren, H. vd., (1988). Türkçe Sözlük, I- II, Türk Dil Kurumu Yayınları, Ankara.

Koca, S. (2010). Türk Kültürünün Temelleri, II, ODES Ltd Şti, Kültür Yayınları, Ankara.

Kafesoğlu, İ. (1989). Türk Milli Kültürü, Boğaziçi Yayınları, İstanbul.

Tunç, Ş. (2004). Tophane-i Amire ve Osmanlı Devletinde Top Döküm Faaliyetleri. Kişisel Yayınlar.

Wikimedia Commons. (n.d.). Great Turkish Bombard at Fort Nelson. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Great_Turkish_Bombard_at_Fort_Nelson.JPG (Erişim tarihi: 11 Aralık 2024).

Akdeve, E., & Karagöl, E. T. (2012). Geçmişten günümüze Türkiye Cumhuriyeti'nde teşvikler ve ülke uygulamaları. Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 37, 329–350.

Yılmazer, D. (2018). Cumhuriyet dönemi milli savunma sanayiinin kurulması ve ordunun yenileştirilmesi politikaları (Yüksek lisans tezi). YÖK Tez Merkezi.

Özlü, H. (2024). Atatürk döneminde Türk savunma sanayii. Atatürk Ansiklopedisi.

https://ataturkansiklopedisi.gov.tr/bilgi/ataturk-doneminde-turk-savunma-sanayii/?pdf=3817 (erişim: 28 Kasım 2024)

Akalın, T. Z., & Bıyıkoğlu, N. (2009). Türk savunma sanayi tarihi- Başarıya giden yolu kendi pusulasıyla bulmuş bir endüstrinin gelişimi. İmge Tanıtım Danışmanlık.

Özlü, H. (2006). İkinci dünya savaşı'ndan günümüze Türkiye'de savunma sanayinin gelişimi (1939-1990) [Unpublished doctoral thesis]. Dokuz Eylül Üniversitesi Atatürk İlkeleri ve İnkılap Tarihi Enstitüsü

Kurt, E., & Şehitoğlu, Y. (2023). Erken Cumhuriyet Dönemi Türk Savunma Sanayi Fabrikaları (1923 – 1950). Yıldız Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 7(1), 39-48.

Sarısır, S. (1998). Atatürk dönemi milli hava harp sanayii içinde Kayseri Tayyare Fabrikasının yeri (Publication No. 72559) [Master's thesis, Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü].

Akalın, T. Z., & Bıyıkoğlu, N. (2009). Türk savunma sanayi tarihi- Başarıya giden yolu kendi pusulasıyla bulmuş bir endüstrinin gelişimi. İmge Tanıtım Danışmanlık.

Oral, A. (2016). Enver Paşa'nın kardeşi Nuri Killigil. Demkar Yayınevi. [23] Oral, A. (2012). İlk silah fabrikatörü Şakir Zümre. Demkar Yayınevi.

Oral, A. (2012). İlk silah fabrikatörü Şakir Zümre. Demkar Yayınevi.

Yücel, T. F. (2015). Cumhuriyet Türkiyesi'nin sanayileşme öyküsü. TTGV.

STM (Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş. (2021). Türk Savunma Sanayiinin Yükselişi ve Ambargolar, İstanbul: Thinktech STM teknolojik Düşünce Merkezi Yayınları.

Wicaksono, T. Perwita, A. A. B. (2020). The Military Industrial Complex In a Developing Country: Lessons from the Republic of Turkey, Jurnal Hubungan Internasional, 9(1), ss. 53-67.

İnalcık, H. & Arı, B. (2004). Bir Deniz Gücü Olarak Osmanlı İmparatorluğu, Uluslararası Piri Reis Sempozyumu, İstanbul, 27-29 Eylül 2004, Tebliğler Kitabı, ss. 2/20-2/30.

Köseoğlu, A.M. (2010). Milli Savunma Sanayiinde Yeniden Yapılanma Sosyal Politikalar, İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi, Yayımlanmamış Doktora Tezi, 2010, s. 55

ASELSAN. (n.d.). (Erişim Tarihi : 12.12.2024). https://www.aselsan.com/tr/hakkimizda/tarihce

TUSAŞ. (n.d.). (Erişim Tarihi : 12.12.2024). https://www.tusas.com/kurumsal/hakkimizda

ROKETSAN. (n.d.). (Erişim Tarihi : 12.12.2024). https://www.roketsan.com.tr/tr/biz-kimiz/hakkimizda

Ertek, M. Y. (2023). İnsan kaynakları yönetimi alanında yayımlanan kitapların kapaklarına yönelik göstergebilimsel bir analiz. Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 25(44), 103-140. dergipark.org.tr

Öztürk, A. (2020). Taşınmaz geliştirme projelerinde karar destek sistemleri ve risk yönetimi: Ankara ilinde taşınmaz geliştirme projelerinde bir uygulama. ankara.edu.tr

Uyar, A. (2021). Mimari Tasarımda Konseptin Çağdaş Sanat Müzeleri Üzerinden Değerlendirilmesi. erbakan.edu.tr

Uçar, A., & Turanoğlu Şirin, B. (2024). İç Lojistik Faaliyetlerinde Yalın Tekniklerin Kullanılması ve Bir Uygulama. Black Sea Journal of Engineering and Science, 7(3), 423-435. https://doi.org/10.34248/bsengineering.1436910

Tümtürk, A., & Tümtürk, E. (2020). Kritik yol metodu ile kentsel dönüşüm bina projelerinin programlanması: İzmir Karşıyaka örneği. Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, (63), 175-190. dergipark.org.tr

Tütüncüler, T. (2020). Kamu yapılarında yapı bilgi modellemesi ile tesis yönetimi. hku.edu.tr

Goker, N. (2022). … -19 Pandemisi Döneminde Çevik Dış Kaynak Sağlayıcısı Seçimi Problemi İçin Sezgisel Bulanık Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemi: Türk Beyaz Eşya Sektöründe Bir …. Journal of the Institute of Science and Technology. dergipark.org.tr

Binici, C. M. & Can, E. (2023). Türk KOBİ'lerinin Endüstri 4.0'a Verdiği Tepkinin Literatürde İş Modelindeki Yenilikler Perspektifinden İncelenmesi. Yıldız Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi. dergipark.org.tr

Macit, N. (2020). BİST şirketlerinin kurumsal sosyal sorumluluk faaliyetleri: BİST 30, BİST 50, BİST 100 endeksleri üzerine karşılaştırmalı bir içerik analizi. kmu.edu.tr

Değerli, M. (2023). Havacılık, uzay ve savunma sanayisinde proje yönetimi uygulamaları üzerine nitel bir araştırma: Deneyimli

proje liderlerinin görüşleri. Business & Management Studies: An International Journal, 11(3), 919-944. bmij.org

Erciyes, E. & Özgür, E. (2021). Proje Yönetimine Kurumsal Bir Yaklaşım: Jandarma Genel Komutanlığına Özgü Yeni Bir Proje Yönetim Modeli. Güvenlik Stratejileri Dergisi. dergipark.org.tr

Topcu, M. K., & Korkmaz, G. (2021). Savunma Tedarik Projelerinde Risk Yönetimi. SAVSAD Savunma ve Savaş Araştırmaları Dergisi, 31(2), 319-356. dergipark.org.tr

BÖLÜM VIII

Otonom Sürüş Sistemleri ve Askeri Lojistik Araçlarına Uygulanması

Mustafa Akay SARIOĞLAN[1]

1.Giriş

Ulaştırma sistemleri, yer değiştirme işleviyle ülkelerin sosyal, kültürel ve ekonomik gelişimini destekleyen hayati bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Ulaştırma sektörünün üretim, inşaat ve turizm gibi diğer sektörlerle olan yakın ilişkisi, ülkelerin kalkınmasında kritik bir rol oynamaktadır. Etkili ve iyi planlanmış bir ulaştırma sistemi, doğal kaynakların verimli kullanılmasını sağlarken, ürün ve hizmetlerin hızlı dağıtımı ile ticaretin gelişimini de desteklemektedir (Akgüngör & Demirel, 2004).

Ulaştırma sektörü, taşınan ya da ulaşımı sağlanan varlıkların niteliğine göre iki ana bölüme ayrılmaktadır: yolcu ulaşımı ve yük taşıma. Yük taşıma, ürünlerin istenilen yere, istenilen zamanda ve talep edilen koşullarda iletilmesini hedefler. Ulaşım talebi türetilmiş

[1] Mustafa Akay SARIOĞLAN, Koluman Otomotiv Endüstri A.Ş., ARGE Uzmanı, Mersin/Türkiye, ORCID: 0009-0002-7591-5582, akay.sarioglan@koluman.com

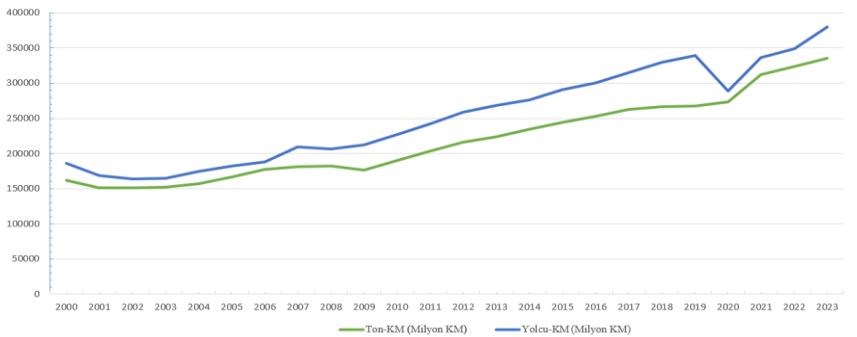
bir taleptir. Yani ulaşım ihtiyacı diğer ihtiyaçların sağlanabilmesi için ortaya çıkmış bir ihtiyaçtır. Bu bağlamda, ulaşım arzının zamanında sunulması zorunlu olup, üretilip depolanması mümkün olmayan bir hizmet olarak ürün ve diğer hizmet sektörlerinden farklılık göstermektedir. (Günay & Dündar, 2021)

Ulaştırma sistemleri, hareketin gerçekleştiği ortamlar göz önüne alındığında, karayolu, demiryolu, havayolu, denizyolu ve boru hattı sistemleri olarak sınıflandırılmaktadır. Her bir sistem, kendine özgü alt sistemleri içermekle birlikte, temel işlevleri güvenli ve verimli ulaşım hizmetleri sunmaktır. Ulaştırma sistemlerinin verimliliği, birim yolcu veya yükü birim uzaklığa taşıma maliyetiyle değerlendirilirken, güvenlik ise kaza olasılığı ve kaza sonuçlarının etkilenme derecesi ile aktif ve pasif güvenlik önlemleri bağlamında değerlendirilmektedir. (Günay & Dündar, 2021)

Günümüz dünyasında ulaşım sistemlerinin etkinliği ve güvenliği, küresel ticaret ve ekonomik kalkınma açısından büyük önem taşımaktadır. İleriye dönük olarak, teknolojik gelişmelerin bu alanda yaratacağı yenilikler ve iyileştirmeler, ulaşım sektörünün daha da verimli ve güvenli hale gelmesine katkı sağlayacaktır. Bu gelişmelerin ışığında, ulaştırma sistemlerinin optimizasyonu, küresel rekabet gücünü artırarak ekonomik ve sosyal refaha önemli katkılar sunacaktır.

Türkiye'de hem yolcu ulaşımı hem de yük taşımada %90'lar oranında karayolu sistemleri ile yapılmaktadır. Karayolu trafiğinde mevcut olan bu yüksek oran ve giderek artan talep nedeni ile trafik kazalarında da artış görülmesine neden olmaktadır. Bununla birlikte Şekil 1'de de görüldüğü üzere karayolu ile yapılan yolcu-km ve yük-

km miktarları da yıldan yıla artış göstermektedir. Bu da mevcut ulaşım sisteminin sürdürülebilirlik açısından sorgulanmasına neden olmaktadır. (Günay & Dündar, 2021)



Şekil 12: Ulaşım Sistemlerinin Yıllık Km Miktarları

Kaynak: kgm.gov.tr (n.d.)

Dünya genelinde ulaşım sistemlerinin dağılımının daha dengeli olduğu ülkeler olsa da, dünyanın birçok yerinde karayolunun baskın ulaşım türü olduğu da bir gerçektir. Bu nedenle ulaşım ve taşıma ihtiyaçlarının daha güvenli ve daha verimli olabilmesi için çeşitli çalışmalar yürütülmektedir. Bu çalışmaların başında da sürücüsüz yani otonom araçlar gelmektedir. (İz, 2021)

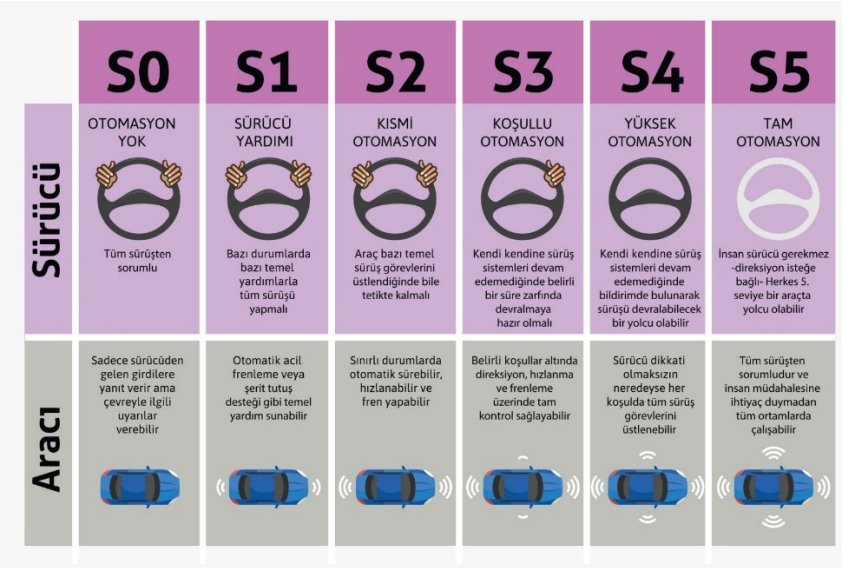
Son dönemde yapılan otonom sürüş yatırımları ile birlikte çok önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Ülkemizde de 01.12.2024 tarihli 32739 sayılı Resmi Gazete'de M tipi (insan taşımacılığı) ve N tipi (yük taşımacılığı) sınıf araçlar için "Tam Otonom Sürüş Sistemine Yönelik Motorlu Araçların Tip Onayı Hakkında Yönetmelik" yayınlanmıştır. Bu yönetmelikle birlikte tam otonom araçların yasal çerçevesi oluşturularak, tip onayı süreçleri ile birlikte gerekli kontrollerin yapılması sağlanarak, sorumluluk ve sigorta

düzenlemeleri yapılarak teknoloji ile hukuk arasındaki boşlukları doldurmak ve yasal güvenlik sağlamak hedeflenmiştir.

2.Otonom Sürüş Sistemlerinin Temel Prensipleri ve Bileşenleri

İleri otomatik kontrol sistemlerindeki gelişmeler otonom sürüşe olanak sağlar hale gelmiştir. Geliştirilen yeni nesil araçlar bir sürücü müdahalesine ihtiyaç duymadan, entegre sistemleri sayesinde, çevresini algılamaktadır ve müdahale olmaksızın seyahat edebilecek şekilde tasarlanmaktadır. ABD Otomotiv Mühendisleri Derneği (SAE: Society of Automative Engineers) aracın "sürücüye bağımlılığı" ölçütünü dikkate alarak otonom sürüş kavramını altı seviyede tanımlamaktadır. Şekil 1'de de görüldüğü üzere Seviye-3'e kadar sürücü sürüşe katkı sunmaktadır. Seviye-4 ve Seviye-5 ise "İleri Otomasyon" ya da "Tam Otomasyon" durumlarını ifade eden "Otonom Sürüş" seviyeleridir. (SAE International, 2018)

Seviye-1 ve Seviye-2 araçları dünya genelinde neredeyse her yerde mevcut iken, Seviye-3 araçları ise endüstrileşmiş bazı ülkelerde mevcuttur. Otomatik acil fren sistemleri ve önden çarpma uyarı sistemlerinin 2022 yılı içerisinde tüm araçlarda bulunacağı tahmin edilmekteydi, nitekim ülkemizde Temmuz 2024'ten itibaren satışı yapılan 0 km araçlarda bu güvenlik sistemleri zorunlu hale getirildi. Seviye-5 araçlarının ise 2030 yılına kadar Avrupa ülkelerinde ticarileştirilmesi beklenmektedir. (Bakioğlu & Atahan, 2021)



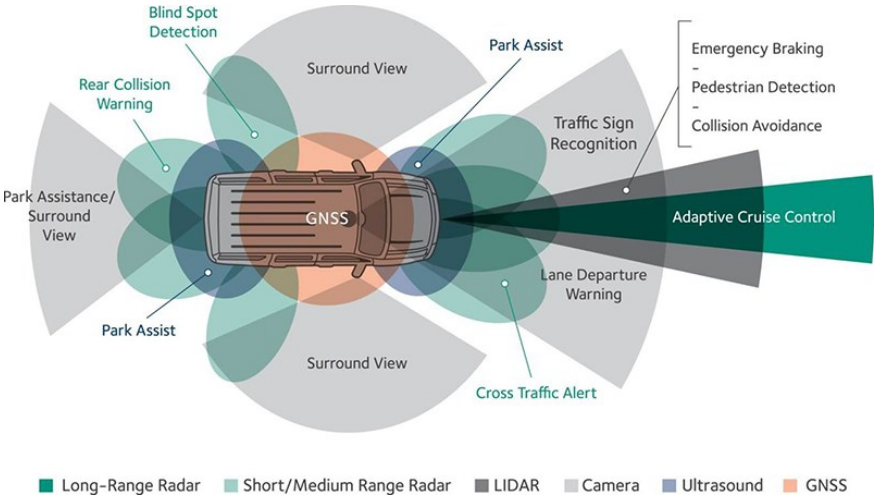
Şekil 13: Otonom Sürüş Seviyeleri

Kaynak: Korkmaz, 2023

Otonom araç ya da otonom araç bileşeni çalışmaları yapan birçok şirket, gelişmiş sensör işleme teknolojileri, uyarlanabilir algoritmalar ve yüksek tanımlı haritalama sayesinde yüksek otomasyonlu araç prototiplerini hızla geliştirmekte ve bu araçların araçların yol testleri de dahil olmak üzere çoğu denemelerini yaptı. Bu denemelerde otonom araçlar ABD'yi neredeyse tam otonom sürüş modunda geçti ve ek olarak Avrupa ve Japonya'da uzun mesafeli otoyollarda sürüşlerini gerçekleştirdi. (Vanderblit, 2012)

Teknik olarak, yüksek otomasyonlu sürüş teknolojisi günümüzde oldukça gelişmiştir. Bu araçlar Şekil 3'te de görüleceği üzere çevre radarı, kısa ve uzun menzilli sistemleri, lidar tarayıcılar, GPS, odometri ve kameralar gibi son teknoloji sensörler ile engelleri, tabelaları ve hatta olabilecek kazaları algılar. Ancak birkaç

çalışma hariç tüm denemelerde araç kontrolünü ele almaya hazır bir sürücü bulundurulmaktadır.



Şekil 14: Otonom Sürüş Teknolojileri

Kaynak: Kartal, 2017

3.Askeri Lojistik, Önemi ve Zorlukları

Askeri lojistik silahlı kuvvetlerin operasyonel etkinliğini devam ettirebilmek amacıyla ihtiyaç duyduğu malzeme, ekipman, personel, yakıt, mühimmat, yiyecek, sağlık hizmetleri ve diğer temel unsurların temin edilmesi, depolanması, taşınması ve dağıtılması görevlerini kapsayan bir süreçtir. Bu süreç savaş ya da barış dönemlerinde ordunun sürdürülebilirliğini sağlamak amacıyla stratejik, operasyonel ve taktik seviyelerinde yürütülmektedir. (Dursun, 2023)

Otonom askeri lojistik araçlarının kullanım alanları olarak askeri operasyonlar için ikmal ve taşıma kapsamında yakıt, mühimmat ve gıda taşımacılığında kullanılarak özellikle operasyon

bölgelerinde bu süreçlerdeki insan faktörünü devre dışı bırakır. Bir diğer kullanım alanı olan sağlık hizmetleri ve tahliye kapsamında yaralı askerlerin tahliyesinde kullanılarak hem yaralıların hızlı sevk edilmesi hem de operasyona devam eden diğer personellerin görev devamlılığı sağlanmış olur. Bu süreçlerde kullanılan araçlara örnek olarak Şekil 4'teki Zırhlı Konteyner Taşıyıcı, Şekil 5'teki Askeri Akaryakıt Tankeri ve Şekil 6'da Tank Taşıyıcı verilebilir.

Modern askeri lojistik, yalnızca malzeme yönetimini değil, aynı zamanda iletişim altyapısı, ulaşım sistemleri, bakım-onarım süreçleri ve tedarik zinciri yönetimini de içerir. Askeri operasyonların karmaşıklığı lojistiğin önemini artırmaktadır. Bu vesileyle de askeri lojistik süreçlerinde kullanılan teknolojiler de sürekli olarak gelişmektedir. Özellikle büyük ölçekli operasyonlarda, lojistik desteğin doğru ve zamanında sağlanması, operasyonların başarı oranı üzerinde kritik bir etkiye sahiptir.

Şekil 15: Zırhlı Konteyner Taşıyıcı

Kaynak: Koluman Motorlu Araçlar A.Ş., 2024

Şekil 16: Askeri Akaryakıt Tankeri

Kaynak: Yapay Zeka ile oluşturuldu.

Şekil 17: Tank Taşıyıcı

Kaynak: Yapay Zeka ile oluşturuldu.

Askeri lojistik, operasyonel başarıyı doğrudan etkileyen bir süreçtir. Tarihte de birçok savaşın sonucunu tarafların lojistik kabiliyetleri belirlemiştir. Örneğin bir ordunun mühimmatın veya gıda stoklarının zamanında teslim edilememesi, askerlerin moralini düşürür ve savaş gücünü önemli oranda zayıflatabilir. Bunun aksine güçlü bir lojistik altyapı operasyonların daha esnek, hızlı ve etkin bir şekilde yürütülmesini sağlar.

Günümüzün modern askeri operasyonlarındaki lojistik, aynı zamanda maliyet etkinliği ve sürdürülebilirlik açısından da önemlidir. Lojistik planlamasının doğru yapılmaması hem kaynak israfına zemin hazırlayabilir hem de ordunun stratejik hedeflere ulaşmasını geciktirebilir ve hatta engelleyebilir. Sonuç olarak askeri lojistik sadece savaş başarısı için değil aynı zamanda ulusal güvenliğin uzun vadeli korunması için de hayati bir öneme sahiptir.

3.Otonom Sürüş Sistemlerinin Askeri Lojistik Araçlarında Kullanımı

Otonom sürüş sistemlerinin askeri lojistik araçlarında kullanımı, son yıllarda savunma sanayi ve lojistik operasyonları için önemli bir konu olmuştur. Bu teknolojilerin askeri uygulamalardaki etkileri, operasyonel verimliliği arttırma, insan kayıplarını azaltma ve karmaşık lojistik görevlerde hata oranını düşürme gibi birçok avantaj sağlamaktadır.

Otonom araçların askeri lojistikte birçok avantajı bulunmaktadır. Bunlar arasında insan müdahalesine gerek kalmadan operasyon yapabilme, hızlı ve etkin görev yerine ulaşabilme, düşük personel riski, düşük lojistik maliyetleri ve lojistik süreçlerdeki verimliliği artırma gibi önemli avantajlar yer almaktadır. Ayrıca, otonom araçlar, zorlu arazi koşullarında ve tehlikeli ortamlarda riski azaltarak askerlerin yaşamını korur. Bu özellikler, askeri operasyonların başarısını artırmakla kalmaz, aynı zamanda askeri personelin güvenliğini sağlar ve kaynakların daha etkin bir şekilde kullanılmasını sağlar. Örneğin, otonom araçlar sayesinde, askerler daha fazla görevde bulunabilir ve stratejik planlama, keşif ve gözetleme gibi faaliyetlere daha fazla odaklanabilirler.

Otonom araçların lojistik alanında kullanımı, tedarik zinciri yönetiminde de eşsiz fırsatlar sunar. Otomatikleştirilmiş nakliye ve lojistik süreçler, malzeme ve ekipman dağıtımında daha hızlı ve düşük maliyetli bir yöntem sağlar. Ayrıca, otonom araçlar, takip sistemi ve gerçek zamanlı verilerle donatılarak, teslimatların izlenmesi, envanter yönetimi ve malzeme hareketi gibi lojistik faaliyetlerin daha iyi kontrol edilmesini sağlar.

Tüm bunların yanı sıra, otonom araçların askeri lojistikte kullanımı, çevresel etkiyi azaltarak sürdürülebilir bir lojistik sistem oluşturmanın bir yoludur. Geleneksel taşıma yöntemleri genellikle fazla yakıt tüketimi ve karbondioksit emisyonu ile sonuçlanırken, otonom araçlar enerji verimliliği ve düşük emisyon özellikleri sayesinde çevreye daha az zarar verir. Bu da hem doğal kaynakları korumak hem de çevreye duyarlı bir askeri lojistik operasyon yürütmek için önemli bir unsurdur.

Sonuç olarak, otonom araçlar askeri lojistikte yarattıkları birçok avantajla önemli bir rol oynamaktadır. Daha hızlı, daha güvenli ve daha verimli bir lojistik süreç sağlarlar. Aynı zamanda askerlerin güvenliğini sağlayarak operasyonların başarı şansını artırır ve çevresel etkileri minimize ederler. Otonom araçların askeri lojistikteki kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte, potansiyel faydalarının daha da artması ve askeri operasyonların daha etkin şekilde gerçekleştirilmesi beklenmektedir. Bu nedenle, otonom araç teknolojisinin sürekli olarak geliştirilmesi ve uygulanması, askeri lojistik alanında önemli bir öncelik olmalıdır. (Tanrıverdi, 2022) (Gelmez, 2022) (Talih & Dönmez, 2024) (Turğut, 2022)

ABD Savunma Bakanlığı'nın Leader-Follower programı, otonom sürüş teknolojilerini askeri lojistik operasyonlarında uygulamaya koymayı hedefleyen ve bu çalışmayı askeri lojistik konvoylarında test eden bir girişimdir. Programın asıl amacı, otonom sürüş sistemlerinin askeri araçlarda kullanılması başlığında da belirtildiği üzere, lojistik askeri konvoylarının güvenliğini artırmak, insan gücü ihtiyacını azaltmak ve operasyonel verimliliği yükseltmektir. Bu tür testlerde özellikle yarı otonom ve tam otonom sistemlerin askeri ortamlardaki performansı ölçülür. Bu çalışmaya ait temsili bir konvoy Şekil 7'de gösterilmektedir.

Leader yani lider araç, bir insan tarafından yönlendirilir ve konvoyun rotasını belirler. Lider araç üzerindeki sistemler, rota ve hız gibi verileri takip eden araçlara iletir.

Follower yani takipçi araçlar, lider aracın hareketlerini otonom olarak izler. Bu araçlar lider aracı takip ederken engellerden kaçma, hız ayarlama ve dur-kalk hareketlerini bağımsız şekilde gerçekleştirebilirler. Yapılan testlerde bu araçlar lider aracın arkasından takip ederek gidebilecek şekilde de hareket edebilirken, lider araç tarafından kaydedilmiş rotayı "gecikmeli" olarak yani daha sonra lider araç olmadan da gidebilirler.

Şekil 18: Leader Follower Programı Testleri

Kaynak: Yapay Zeka ile oluşturuldu.

Otonom sürüş sistemlerinin askeri lojistik araçlarında uygulanabilirliğini değerlendirmek için yapılan testler farklı aşamalarda gerçekleştirilir ve bu süreçler oldukça kapsamlıdır.

İlk olarak, araçların performansı sanal simülasyonlarla test edilir. Bu simülasyonlarda gece/gündüz, zorlu hava koşulları veya düşman tehditleri gibi çeşitli çevresel faktörler yapay olarak oluşturulur. Buradaki amaç, araçların karmaşık algoritmalarının

rotayı algılama, engelleri tanıma ve lider aracı takip etme gibi yeteneklerini güvenli bir ortamda sınamaktadır.

Gerçek saha testlerine geçildiğinde ise, araçlar önce kontrollü olarak askeri üslerde denemelere tabi tutulur. Burada lider aracın hareketleri ve takipçi araçların tepki süreleri analiz edilirken, araçlar arasındaki iletişim sistemlerinin güvenilirliği de gözlemlenir.

Daha ileri seviye testlerde, gerçek trafik senaryoları ve savaş senaryoları simüle edilir. Araçların mayınlı yollar, dar geçitler veya ani düşman saldırıları gibi zorlu koşullarda ne kadar etkili olduğu değerlendirilir. Örneğin, takipçi araçların lider araçtan bağımsız olarak engellerden kaçma ve yeni bir rota belirleyebilme kabiliyetleri bu süreçte büyük önem taşır. Aynı zamanda, sensör kalibrasyonu ve entegrasyonu testlerin diğer kritik bir yönünü oluşturur. Lidar, radar, termal kameralar ve ultrasonik sensörler gibi algılama teknolojilerinin askeri ortamlara uygunluğu incelenir ve bu sensörlerin bir arada çalışarak çevreyi doğru algılayıp algılayamadığına bakılır.

İletişim sistemlerinin dayanıklılığı da bu süreçte önemli bir yer tutar. Araçların kendi aralarındaki (Vehicle to Vehicle [V2V]) ve altyapı ile (Vehicle to Insfrastructure [V2I]) iletişim protokolleri test edilirken, GPS kesintisi veya radyo sinyal bozulması gibi durumlar simüle edilerek sistemlerin bu tür sorunlarla nasıl başa çıktığı analiz edilir. Son olarak, araçların hata tespiti ve siber güvenlik açısından dayanıklılığı sınanır. Araçların beklenmeyen arızalara karşı ne kadar hızlı tepki verebildiği, alternatif çözümler üretebilme kapasiteleri ve düşman tarafından ele geçirilmesi ya da sinyal bozucu cihazlara karşı savunma mekanizmaları detaylı bir şekilde değerlendirilir. Bu

testler, otonom sürüş teknolojilerinin askeri lojistikte güvenli ve etkili bir şekilde kullanılmasını sağlamak için kritik rol oynar.

4.Karşılaşılan Zorluklar ve Çözümler

Otonom araçların askeri çevreye uyum sağlaması, özellikle askeri lojistik araçlarında otonom sürüş sistemlerinin etkin bir şekilde kullanımı ile yakından ilişkilidir. Askeri lojistik araçlarının otonom sürüş sistemlerine uyum sağlaması, bu araçların kendi kendine sevk ve idare edebilme yeteneğine sahip olmalarını ve aynı zamanda çeşitli askeri operasyonlarda aktif görev alabilmelerini kapsamaktadır. Askeri lojistik araçlarında otonom sürüş sistemi kullanımının birçok avantajı bulunmasına rağmen, askeri çevrenin özgün özellikleri ve gereksinimleri de dikkate alınarak değerlendirilmelidir. Bu nedenle, otonom sürüş sistemlerinin askeri lojistik araçlarına uygulanmasında uyum sağlanabilmesi için, askeri çevrenin özel koşulları ve ihtiyaçları göz önünde bulundurulmalı ve sürekli olarak güncellenmelidir. Bu durum, otonom araçların etkinliğini artırırken askeri operasyonların güvenliğini de pekiştirecektir. (Özçakmak, 2024) (Çiçekli, 2020)

Askeri lojistik araçlarında otonom sürüş sistemlerinin kullanımı, bu araçların kendi başına seyahat edebilme yeteneklerini kapsamlı bir şekilde içerir. Bu gelişmiş sistemler, araçların rotasını belirleme, çevresindeki engelleri algılama ve etkili bir şekilde manevra yapma gibi birçok önemli işlevi yerine getirebilme kabiliyetine sahiptir. Böylece, askeri lojistik operasyonlarında önemli bir stratejik avantaj sağlayabilir ve operasyonların verimliliğini artırabilir. Ancak, askeri lojistik araçlarının otonom

sürüş sistemlerini kullanımı sırasında dikkat edilmesi gereken bazı zorluklar da bulunmaktadır. Bu zorluklar, askeri çevrenin özel özellikleri ve gereksinimleri ile çok yakından ilişkilidir ve bu nedenle dikkatli bir değerlendirme gerektirmektedir. Özellikle güvenlik, hassasiyet ve çevresel koşullar gibi faktörler, bu sistemlerin etkin bir şekilde çalışmasını etkileyebilir. (Özçakmak, 2024) (Turğut, 2022) (Dinç, n.d.)

Askeri çevrenin özellikleri ve gereksinimleri, otonom sürüş sistemlerinin askeri lojistik araçlarına uygulanmasında dikkate alınması gereken son derece önemli faktörlerin başında gelmektedir. Askeri çevrenin dinamik, karmaşık ve zorlu doğası, otonom araçların bu karmaşık ortama uyum sağlamasını ve etkin bir şekilde çalışmasını önemli ölçüde zorlaştırabilir. Örneğin, askeri çevrede karşılaşılabilecek belirsizlikler ile değişkenlik içeren doğa koşulları, otonom araçların güvenli ve etkili bir şekilde hareket etmelerini ciddi anlamda engelleyebilir. Bu tür zorluklar, özellikle askeri operasyonların başarıyla yürütülmesi adına büyük bir risk oluşturmaktadır. Bu nedenle, otonom sürüş sistemlerinin askeri lojistik araçlarına uygulanmasında askeri çevrenin özelliklerine ve gereksinimlerine mutlaka göz önünde bulundurularak uyumluluk sağlanmalıdır. Böylece, otonom sistemlerin etkinliği ve güvenliği artırılabilir, bunun yanı sıra askeri operasyonların başarı şansı da önemli ölçüde yükseltilebilir, bu durum askeri birliklerin ihtiyaç duyduğu hareket kabiliyetini ve etkinliği desteklemektedir. (Kompas, 2024) (Şen, 2023)

Askeri lojistik araçlarının otonom sürüş sistemleriyle donatılması, veri güvenliği ve gizliliği konusunda bir dizi ciddi sorun ve risk ortaya çıkarabilir. Özellikle askeri operasyonlarda, askeri

araçların konum bilgileri ve diğer hassas verilerin korunması büyük bir önem taşımaktadır. Bu nedenle, veri şifreleme yöntemlerinin geliştirilmesi ve sürekli olarak güncellenmesi gerektiği daha da su götürmez bir hale gelmektedir. Ayrıca, personel verilerinin izinsiz erişime karşı etkin bir şekilde korunması ve gizliliğinin sağlanması için katı ve etkili kurallar ile protokoller belirlenmeli ve uygulanmalıdır. Bu kuralların oluşturulması ve sürdürülmesi, askeri lojistik süreçlerinin güvenliğini artıracak ve yürütülen operasyonların başarısını cesaretlendirecektir. (Kurtuluş, 2023) (Karakuş, 2020)

Otonom sürüş sistemlerinin askeri lojistik araçlarına uygulanmasında, veri güvenliği ve gizliliği, en temel önceliklerden biri olarak kabul edilmektedir. Bu sistemlerin doğru çalışabilmesi için, araçların hareketlilik ve konum bilgileri, içerisinde bulundurdukları ekipmanlar ve ayrıca taşıdıkları yükler gibi kritik bilgilerin korunması büyük bir önem taşımaktadır. Eğer bu hassas bilgilerin yetkisiz kişilerin eline geçmesi durumu yaşanırsa, ciddi güvenlik riskleri ve tehditler oluşabilir. Bu sebeple, veri depolama ve iletimi sırasında güçlü şifreleme algoritmalarının kullanılması, veri erişimine çok sıkı kontrollerin getirilmesi ve güvenlik duvarlarıyla bu bilgilerin korunmasının sağlanması gereklidir. Her aşamada güvenlik önlemlerinin artırılması, hem sistemin bütünlüğünü sağlamakta hem de muhtemel siber saldırılara karşı bir kalkan görevi görmektedir. (Erdoğdu, 2021)

Askeri lojistik araçlarında otonom sürüş sistemlerinin kullanılması, beraberinde siber güvenlik tehditlerini de getirmektedir. Bu yeni teknolojilerin hacklenerek uzaktan kontrol edilmeleri, sahte verilerin gönderilmesi veya sistemlerin tamamen

çökertilmesi gibi büyük tehlikelerle karşılaşma olasılığı oldukça yüksektir. Bu nedenle, siber güvenlik uzmanları tarafından geliştirilmiş olan güçlü firewall sistemleri ve saldırı tespit sistemleriyle bu tür tehlikelere karşı etkili önlemler alınması son derece önemlidir. Ayrıca, sürekli olarak güncellenen yazılımlar ve sürücü sistemleri ile güvenlik açıklarının en aza indirilmesi sağlanmalıdır. Böylece askeri lojistik süreçlerindeki güvenlik tehditlerine karşı dayanıklılık artırılmalı, olası riskler minimize edilmelidir. Otonom sistemlerin sağlam ve güvenli bir şekilde çalışabilmesi için bu tür önlemlerin alınması, hem askeri birliklerin operasyonel verimliliğini arttırır hem de ulusal güvenliğe katkıda bulunur. (Avcı, 2023) (Erhan & Süzen, 2023)

Otonom sürüş sistemlerinin askeri lojistik araçlarına uygulanması sırasında karşılaşılan zorluklardan biri, operasyonel güvenilirlik konusudur. Otonom sistemlerin sürekli ve güvenilir bir biçimde çalışması, özellikle askeri operasyonların başarısı için hayati önem taşımaktadır. Bu, askeri birliklerin etkin bir şekilde hareket edebilmesi ve kaynakların düzgün bir şekilde dağıtılabilmesi açısından kritik bir gerekliliktir. Ayrıca, dayanıklılık ve çevresel koşullara uyum da göz önünde bulundurulması gereken diğer bir faktördür. Askeri lojistik araçları düşman tehditleri, sert arazi koşulları ve değişken hava şartları gibi zorlu çevresel koşullara maruz kalabilir ve bu durum, otonom sistemlerin performansını doğrudan etkileyebilir. Bu gibi durumlarla başa çıkabilmek için otonom sürüş sistemlerinin bu koşullara uygun bir şekilde tasarlanması ve test edilmesi şarttır. Böylece, askeri operasyonlar sırasında bu araçların güvenilir ve etkili bir şekilde çalışmaları sağlanmalıdır. (Çelik, 2020) (Tunalı, 2024) (Özçakmak, 2024)

Otonom sistemlerin operasyonel güvenilirliği, askeri lojistik araçları için büyük önem taşımaktadır. Bu sistemlerin beklenmedik durumlarda nasıl tepki vereceği ve askeri operasyonların gerektirdiği performansı nasıl sergileyeceği kritik bir konudur. Otonom sürüş sistemlerinin operasyonel güvenilirliğini artırmak için sürekli testler ve simülasyonlar gerekmektedir. Bu sayede, olası hata durumlarında sistemlerin nasıl tepki vereceği önceden belirlenebilir ve gerekli önlemler alınabilir.

Askeri lojistik araçları, genellikle değişken ve zorlu çevresel koşullara maruz kaldığından, otonom sürüş sistemlerinin dayanıklılığı büyük bir önem taşımaktadır. Bu sistemlerin aşırı sıcaklıklara, toza, çamura ve yüksek titreşimlere dayanıklı olması gerekmektedir. Bu zorlu koşullara uyum sağlayabilen otonom sistemler, askeri lojistik operasyonlarında sorunsuz bir şekilde kullanılabilir ve güvenilirliklerini kanıtlayabilirler. (Pilikoğlu, 2021) (Gürtaş, 2020)

Otonom sürüş sistemlerinin askeri lojistik araçlarına uygulanması sırasında karşılaşılan önemli bir etik ve yasal sorun, özerklik ve sorumluluk konusudur. Özerk bir araç sistemi, kendi kararlarını verme yeteneğine sahiptir ancak bu durum sorumluluk konusunda belirsizlik yaratabilir. Örneğin, aracın bir hataya yol açması durumunda şirket mi yoksa askeri personel mi sorumlu tutulmalıdır? Bu tür sorunların net bir etik çerçevesi içinde ele alınması ve bu konuda uluslararası standartların belirlenmesi gerekmektedir.

Otonom sürüş sistemlerinin askeri lojistik araçlarına uygulanmasında özerklik ve sorumluluk sorunu, aracın kendi başına

karar alabilme yeteneği ile beraber gelen bir konudur. Bu durumda ortaya çıkan sorumluluk konusunda net kurallar ve standartlar belirlenmesi gerekmektedir. Özellikle hangi durumlarda aracın özerkliği sınırlandırılmalı, hangi durumlarda insan müdahalesi gerekmektedir gibi konuların tartışılması ve uluslararası bir standart belirlenmesi kritik öneme sahiptir.

Otonom sürüş sistemlerinin askeri lojistik araçlarına uygulanmasında uluslararası hukuk ve normlar önemli bir yer tutmaktadır. Bu sistemlerin kullanımı sırasında uluslararası hukuk ve normlara tam uyum sağlanması gerekmektedir. Özellikle savaş durumlarında kullanımıyla ilgili belirli kuralların olması ve bu kuralların uluslararası normlarla uyumlu olması hayati önem taşımaktadır. Bu konuda uluslararası iş birliği ve standartların belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

5.Otonom Araçların Askeri Lojistikte Geleceği

Otonom araçların askeri lojistikteki geleceği, hızla gelişen teknolojik yeniliklerin yanı sıra savunma endüstrisinin sürekli değişen ve büyüyen ihtiyaçları doğrultusunda büyük bir hızla şekillenmektedir. Günümüzde otonom sistemlerin askeri lojistik operasyonlarında çok daha yaygın hale gelmesi beklenmektedir ve bu, yalnızca mevcut kaynakların daha etkin kullanılmasını sağlamakla kalmayacak, aynı zamanda lojistik güçlerin daha hızlı, esnek ve verimli bir şekilde hareket etmelerini de mümkün kılacaktır. Otonom araçların bu alandaki kullanımı, hedeflere ulaşmayı kolaylaştırırken, aynı zamanda insan hatası riskini önemli ölçüde azaltarak operasyonel güvenliği büyük ölçüde artırabilir. Bu gelişmeler, askeri operasyonların etkinliğini ve başarısını doğrudan

etkileyebildiğinden, askeri lojistik ve operasyon yönetimi için kritik bir öneme sahiptir. Gelecek dönemlerde, bu araçların askeri alanlarda entegrasyonu ile birlikte, yeni stratejilerin ve uygulamaların gelişmesi de muhtemeldir. (Turğut, 2022) (Tunalı, 2024) (Öz, 2023)

Otonom araçların askeri lojistikte kullanımı için yapay zeka ve makine öğrenimi uygulamaları, günümüz teknolojilerinin en önemli unsurlarından biri olarak çok büyük bir önem taşımaktadır. Yapay zeka, otonom araçların çeşitli durumlara hızla adapte olmasını sağlarken, aynı zamanda etkili ve zamanında kararlar alabilme yeteneklerini de geliştirebilir. Bu gelişmeler sayesinde, otonom araçlar beklenmedik durumlarla karşılaştıklarında daha esnek ve çözüm odaklı bir biçimde davranabilme yeteneği kazanmaktadırlar. Ayrıca, makine öğrenimi uygulamaları da otonom araçların güvenlik, verimlilik ve genel operasyonel performansı üzerinde önemli ve olumlu etkilere sahip olabilmektedir. Bu tür teknolojilerin askeri lojistikteki kullanımı, daha fazla operasyonel mükemmelliği artırarak savunma güçlerinin stratejik kapasitesini de artırabilir ve bu alandaki verimliliği önemli ölçüde yükseltebilir. Böylece, askerî faaliyetler daha hızlı, etkili ve organize bir biçimde yürütülme imkanı bulabilir, bu da genel askeri operasyonların başarısını olumlu yönde etkileyebilir.

Yeni nesil otonom araçların gelişimi, son yıllarda hem teknoloji firmaları hem de savunma endüstrisi tarafından yoğun bir şekilde üzerinde çalışılan ve araştırılan bir konudur. Bu gelişim süreci, bu araçların sensör teknolojileri, iletişim sistemleri ve otomasyon yetenekleri gibi çeşitli alanlarda sürekli olarak iyileştirilmesi gerektiğini göstermektedir. Ayrıca, otonom araçların

savunma amaçlarına ve ihtiyaçlarına uygun olarak en iyi şekilde tasarlanması ve üretilmesi için çok önemli ve titiz çalışmalar yürütülmektedir. Bu sayede, gelecekte otonom askeri lojistik araçlarının, daha etkili, daha güvenli ve daha verimli bir şekilde kullanılabilmesi hedeflenmektedir. Bu çabalar, askeri operasyonların daha sürdürülebilir ve etkili olmasına katkı sağlayacaktır. (Gelmez, 2022) (Kiliç, 2024)

6.Sonuç

Otonom askeri lojistik araçların kullanımı, askeri lojistik operasyonlarında, oldukça önemli avantajlar sunarak dikkatleri üzerine çekmektedir. Bu tür otonom araçların kullanılması sayesinde, askeri operasyonların genelinde, operasyonel hız ve etkinlik önemli ölçüde artmakta, güvenlik riskleri de belirgin bir şekilde azalmakta ve lojistik zincirine dair maliyet verimliliği sağlanmaktadır. Bunun yanı sıra, otonom askeri lojistik araçlarının daha fazla kullanımı için birçok önemli öneri ve strateji öne sürülmektedir. Öncelikle, bu gelişmiş teknolojilerin daha fazla operasyonel alanda geniş bir şekilde test edilmesi ve pratikte uygulamaya konulması gerekmektedir. Bununla birlikte, askeri stratejilerle uyumlu projelerin oluşturulması da son derece kritik bir önem taşımaktadır. Ayrıca, yapay zeka ve otomasyon teknolojilerindeki sürekli gelişmelere yakın bir ilgi gösterilmesi ve bu alandaki yatırımların artırılması, beklenen faydaların elde edilmesi açısından büyük bir rol oynamaktadır.

Sonuç olarak, otonom askeri lojistik araçlarının etkin bir biçimde kullanılmasının artırılması için detaylı ve kapsamlı stratejik

planlamaların yapılması ve aynı zamanda bu ileri düzey teknolojilere daha çok yatırım yapılması gerektiği asla göz ardı edilmemelidir. Bu süreç, modern askeri operasyonların geleceği ve başarıyla tamamlanabilmesi için son derece büyük bir önem arz etmektedir. Bu bağlamda, araştırma ve geliştirme faaliyetlerine yönelik kaynakların artırılması, sürdürülebilir ve yenilikçi çözümler bulma adına son derece elzemdir. Bu ihtiyaçların karşılanması, askeri operasyonların daha etkin bir şekilde gerçekleştirilmesi açısından hayati bir öneme sahiptir. Bunun yanı sıra, otonom sistemlerin programlanması, bakım süreçlerinin etkin bir şekilde yürütülmesi ve gerekli eğitim programlarının oluşturulması, bu araçların potansiyelinden tam olarak yararlanmak için üzerinde durulması gereken diğer önemli unsurlardandır. Askeri lojistikte elde edilecek gelişmeler, yalnızca savaş alanında değil, aynı zamanda barış zamanında da büyük bir avantaj sağlayacaktır.

Referanslar

SAE International. (2018). 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.

Korkmaz, C. (2023). Otonom araçlar: Artılar, eksiler ve yasal düzenlemeler. ZirveTürk. Available at: https://zirveturk.com/2022/10/15/otonom-araclar-artilar-eksiler-ve-yasal-duzenlemeler/ (Accessed: 28 November 2024).

Bakioğlu, G., & Atahan, A. (2021). Otonom araçların benimsenmesi ve güvenlik algılarının incelenmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (32), 633-639.

Akgüngör, A. P., & Demirel, A. (2004). Türkiye'deki ulaştırma sistemlerinin analizi ve ulaştırma politikaları. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 10(3), 423-430.

Günay, Ö. Ü. G., & Dündar, Ö. Ü. S. (n.d.). Sürücüsüz yük ulaşımının geleceği. Sustainability-I, 107.

KGM. (n.d.). Karayolu ulaşım istatistikleri 2023. General Directorate of Highways. Available at: https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Yayinlar/YayinPdf/KarayoluUlasimIstatistikleri2023.pdf (Accessed: 29 November 2024).

İz, H. G. (2021). Sürücüsüz karayolu taşıtlarının İstanbul trafiğinde beklenen davranışlarının modellenmesi (Yüksek lisans tezi). İstanbul Okan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Vanderblit, T. (2012). Autonomous cars through the ages.

Kartal, B. (2017). Otonom araçlar neden çok fazla sensöre ihtiyaç duyarlar? Webtekno. Available at: https://www.webtekno.com/otonom-araclar-neden-cok-fazla-sensore-ihtiyac-duyarlar-h31657.html

Koluman Motorlu Araçlar A.Ş. Mercedes-Benz Yetkili Servisi. (2024a). Retrieved from https://koluman.com.tr/duyurular/derman-yollarda

Dursun, S. (2023). Endüstri 4.0 ve çalışma hayatında yeni eğilimler. Efe Akademi Yayınları.

Tanrıverdi, Ö. Ü. İ. (2022). Lojistikte dijital dönüşüm: Bilimsel haritalama yöntemi ile bir analiz. In Uluslararası Ticaret ve Lojistikte Güncel Yaklaşımlar ve Değerlendirmeler-4 (p. 109).

Gelmez, D. O. D. R. E. (2022). Lojistikte güncel yaklaşımlar. Retrieved from ResearchGate.

Talih, Ö., & Dönmez, E. (2024). Tedarik zincirine genel bakış: Akıllı tedarik zincirinde risk ve güvenlik. İstanbul Gelişim Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 11(2), 836-854. Retrieved from https://dergipark.org.tr/

Turğut, M. (2022). Lojistikte yeni yönler ve trend uygulamalar. In Uluslararası Ticaret ve Lojistik. Retrieved from ResearchGate.

Özçakmak, F. (2024). Askeri taktik ağlarda derin makine öğreniminin etkisi. Savunma Bilimleri Dergisi. Retrieved from https://dergipark.org.tr/

Çiçekli, S. (2020). Lojistik 4.0: Ankara lojistik üssünün farkındalık ve uygulama düzeyinin değerlendirilmesi. Retrieved from https://yok.gov.tr/

Dinç, M. (n.d.). Sürdürülebilir ulaşım ve elektrikli araç teknolojisi. Retrieved from ResearchGate.

Kompas, M. (2024). Derin pekiştirmeli öğrenmeye dayalı otonom sürüş için açıklanabilir yapay zeka. Retrieved from https://pau.edu.tr/

Şen, F. (2023). Veri artırma tekniği kullanımının araç sürüş kararlılığına etkisinin incelenmesi. Retrieved from https://uludag.edu.tr/

Kurtuluş, Ö. (2023). Yapay zeka ve sivil toplum: İyi amaçlar için yapay zeka. Retrieved from [HTML].

Karakuş, F. (2020). Endüstri 4.0 sürecinde lojistiğin yiyecek ve içecek endüstrisine etkisi. Retrieved from https://balikesir.edu.tr/

Erdoğdu, M. (2021). Dünya'da lojistik 4.0, dijital lojistiğin gelişiminin dünya ticaretine etkisi. Retrieved from https://selcuk.edu.tr/

Avcı, İ. (2023). Akıllı ulaşım sistemlerinde siber saldırılar ve önlemler. Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi. Retrieved from https://dergipark.org.tr/

Erhan, B. A., & Süzen, A. A. (2023). Web uygulama zafiyetlerinin keşfinde açıklanabilir yapay zekânın yeri. Retrieved from ResearchGate.

Çelik, R. (2020). Lojistik sektöründe kullanılan yeni bilişim sistemleri: Lojistik 4.0 örneği. Balkan & Near Eastern Journal of Social Sciences (BNEJSS), 6(4). Retrieved from https://ibaness.org/

Tunalı, İ. (2024). Lojistik 4.0 ve akıllı depo sistemlerine yönelik çalışanların bakış açısı: Enerji sektöründe bir firma uygulaması. Retrieved from https://bartin.edu.tr/

Pilikoğlu, A. (2021). COVID-19 pandemi sürecinde ve endüstri 4.0 çerçevesinde tedarik zinciri uygulamalarının değerlendirilmesi: Lojistik sektöründe bir uygulama. Retrieved from https://ticaret.edu.tr/

Gürtaş, S. (2020). Otonom araç sürüş destek sistemleri ve yapay zeka uygulamaları. Retrieved from https://uludag.edu.tr/

Öz, O. (2023). Soğuk Savaş'tan akıllı savaşa geçiş sürecinde yapay zekâ teknolojilerinin rolü: Çin ve ABD örnekleri. Retrieved from https://kapadokya.edu.tr/

Kiliç, M. (2024). Komuta kontrol fonksiyon alanı ve Türk Silahlı Kuvvetleri için öneriler. Savunma ve Güvenlik Araştırmaları Dergisi. Retrieved from https://dergipark.org.tr/

BÖLÜM IX

Korelasyon Katsayılarının İçten Yanmalı Motor Araştırmalarında Kullanımı, Önemi ve Güncel Çalışmalar

Mustafa Deniz ALTINKURT[1]

Giriş

İçten yanmalı motorlarda farklı motor kontrol ve çıkış parametrelerinin birbirine etkilerini belirlemek, motor performansı ve emisyon karakteristiklerinin optimizasyonunda, motor kalibrasyon ve kontrolü gibi konularda mühendisler açısından önem arz etmektedir. İstatistikte kullanılan temel bir ölçüm yöntemi olan korelasyon katsayısı, farklı iki farklı değişken arasındaki doğrusal bağlantının yönünü ve bu ilişkinin ne kadar güçlü olduğunu bizlere gösterir ve mühendislik de dahil farklı disiplinlerde oldukça faydalı bir araçtır.

[1] Arş. Gör. Dr., Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Kocaeli/TÜRKİYE, Orcid: 0000-0002-7164-4415, deniz.altinkurt@kocaeli.edu.tr

İçten yanmalı motorlar söz konusu olduğunda korelasyon katsayıları yanma, performans karakteristikleri ve emisyonlar arasındaki ilişkilerin ne derecede olduğunu göstermede oldukça faydalı bir araçtır. Örnek olarak motorlarda yanma kararlılığının bir ölçütü olan çevrimden çevrime farklılıklar ile yanmamış hidrokarbon (HC) emisyonları arasındaki bağıntı, yanma verimi-NO_x emisyonları arasındaki ilişki, biyodizel ve alkoller vb. alternatif yakıtların motor performansına etkileri, gerçek sürüş koşullarında emisyonların tahmini ve benzeri çalışmalarda faydalı bir araçtır. Bunun gibi analizlerin kullanılması, içten yanmalı motor tasarım ve geliştirme sürecinde mühendislere yol gösterici birer araç olmakta, bu sayede verimliliği yüksek, daha sürdürülebilir ve çevre üzerindeki etkisi daha düşük motorların geliştirilmesine katkı sağlanmaktadır.

1. Korelasyon Katsayısı: Tanımı

Korelasyon katsayısı en genel tanımıyla iki değişken arasındaki doğrusal korelasyonun sayısal bir ölçüsünü gösteren ve aralarındaki istatistiksel ilişkiyi belirten bir niceliktir. Farklı kullanım alanlarına ve ölçüm yöntemlerine sahip farklı türlerde korelasyon katsayıları vardır. Bunlar sırasıyla Pearson, sınıf içi (intra class), rank, tetrakorik ve polikorik olarak sınıflandırılmaktadır (Asuero, Sayago & Gonzalez, 2006), (Rigdon, 2022). Tüm korelasyon katsayısı türleri, aradaki ilişkinin yönü ve şiddetine göre -1 ve +1 arasında değerler almaktadır. Bu bölümde en yaygın kullanılan biçimi Pearson korelasyon katsayısı ele alınacaktır.

Pearson'ın R'si olarak bilinen korelasyon katsayısı; iki farklı değişken arasındaki doğrusal ilişkinin yönünü ve büyüklüğünü

gösteren istatistiksel bir ölçüm tekniği olarak tanımlanmaktadır. R harfi ile sembolize edilir ve değeri -1 ile +1 arasında değişir. Genel olarak R değeri 0-0.3 arasındaysa zayıf pozitif korelasyon, 0.3-0.7 arasında ise orta derecede, 0.7-1 arasında ise güçlü pozitif korelasyon olduğu anlamına gelir. Aynı şekilde bu değerler negatif olduğunda negatif (yada ters) bir korelasyon vardır (Schober, Boer & Schwarte, 2018). Korelasyon türlerini, örnekleriyle birlikte aşağıdaki gibi açıklayabiliriz:

a) Pozitif korelasyon (R>0 durumunda):

- Değişkenlerden biri arttığında diğeri de artmaktadır, yani doğrusal bir ilişki vardır. Örneğin; bir motorda sıkıştırma oranı arttıkça teorik ısıl verimin artması.

b) Ters korelasyon (R<0 durumunda):

- Değişkenlerden biri arttığında diğeri azalıyor ise, negatif yani ters orantılı bir korelasyon vardır ve R değeri 0'dan küçüktür. Örnek olarak; rakım arttıkça hava basıncının ve yoğunluğunun azalması, hareketli pistonlu bir kapta hacim arttıkça basıncın düşmesi vb.

c) Korelasyon (R=0 durumunda):

- İlgili iki değişken arasında lineer pozitif veya negatif herhangi bir korelasyon yoktur. Örneğin insanların boyu ve zekasının bir korelasyonu olmaması vb.

Korelasyon katsayısı formülü:

İki bağımsız değişken olan "x" ve "y" arasındaki korelasyon katsayısı formülünün elde edilmesi kısaca aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$R_{x,y} = \frac{\frac{1}{N}\sum_{i}^{N}[X_i - \bar{X}].(Y_i - \bar{Y})}{S_D(X).S_D(Y)}$$

Bu formülde $\overline{X}$ ve $\overline{Y}$ bağımsız değişkenlerin ortalamasını ifade eder. Yukarıdaki formül iki değişkenin kovaryansın, standart sapmalarının çarpımına oranını göstermektedir. Bu şekilde standart sapmalara bölünmesi ile sonuç normalize edilmiş olur ve karşılaştırılabilir bir değer olan korelasyon katsayısını (R) verir.

1.1. Korelasyon katsayısının önemi ve kullanım alanları:

Korelasyon katsayısı birçok bilimdalında faydalı olup özellikle veri analizi işleme, tahmine dayalı modelleme gibi uygulamalarda kullanılmakta olup özellikle mühendislikte makine öğrenmesi uygulamalarında faydalı bir araçtır. Kullanım alanlarına kısaca bakacak olursak:

Tahmine dayalı (öngörüsel) modellemede: korelasyon katsayısı değişkenler arasındaki ilişkinin önceden tahmini için kullanıldığı regresyon modelleri oluşturmada önemli yere sahiptir.

Data analizinde: Özellikle istatistiksel modelleme ve makine öğrenmesinde değişkenler arası korelasyon katsayılarının elde edilmesi yüksek öneme sahip olan veya önemsiz olan değişkenlerin belirlenmesinde faydalıdır. Bunların yanında; veriler arasındaki ilişkinin gücünü belirlemede, iş ve ekonomi alanında gözlemlenen korelasyona bağlı olarak karar alma sürecinde ve bir bilimsel araştırmada hipotezin doğruluğuna karar vermede korelasyon katsayıları işe yarar.

Kullanım alanlarına örnek olarak mühendislik alanında akışkan malzeme sıcaklığı ile viskozitesinin değişimi, ekonomi alanında yatırım seviyeleri-faiz oranları, eğitimde çalışma süresi-sınav başarısı vb. örnekler verilebilir.

Korelasyon katsayılarının kullanımında ve yorumlanmasında en çok dikkat edilmesi gereken noktalardan birincisi korelasyonun nedensellik anlamına gelmediğidir. Yani değişkenler arası yüksek korelasyon varsa dahi biri diğerinin nedeni her zaman olmayabilir. Basit bir örnek verecek olursak; yazın soğuk içecek satışları ile yüzücü gözlüğü satışları artmakta ve pozitif korelasyon göstermektedir, fakat bunlar birbirinin doğrudan sebebi olmayıp her ikisi de havaların ısınmasına bağlı olarak artış göstermektedir. Bu ve benzeri durumlar korelasyonun her zaman neden-sonuç ilişkisi hakkında bilgi vermediğini göstermektedir.

Bu yüzden bir araştırma yaparken nedensellikle ilgili önceden bilinen bilimsel gerçekler ve doğrulanmış teorilerden yola çıkılmalı, gerekirse başka somut verilerle sonuçlar desteklenmelidir. İkincisi ise sadece lineer olan ilişkileri belirtir. Bir başka dikkat edilmesi gereken nokta ise farkı ortalamadan büyük oranda sapan sınır (uç) değerler korelasyon katsayısını büyük ölçüde etkileyebilir.

1.2. Korelasyon katsayısının içten yanmalı motor araştırmalarındaki yeri ve önemi

İçten yanmalı motor araştırma ve geliştirme sürecinde korelasyon katsayıları diğer alanlarda olduğu gibi önemli yere sahiptir. Motorlarda yanma, performans ve emisyon karakteristiklerinin birbiriyle ilişkilerinin daha net görülmesini sağlar. Örnek olarak yanma verimiyle hidrokarbon (HC) ve CO emisyonları ters korelasyona, NO_x emisyonları ve yanma sıcaklığı pozitif (doğru orantılı) korelasyona sahiptir. Diğer önemli süreçler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

Optimizasyon: Korelasyon analizleri, hem performans hem de emisyon hedeflerine ulaşmak için motor geliştirme sürecinde önemli bir rol oynamaktadır. Örneğin, korelasyon katsayısı, performansı iyileştirmek ve NO_x emisyonlarını aynı anda azaltmak için stratejiler geliştirmede kullanışlıdır. Ayrıca daha hassas makine öğrenimi modelleri ve termodinamik simülasyonlar geliştirmek için de çok önemlidir.

Tasarım ve geliştirme: Korelasyon katsayıları, hangi motor tasarım parametrelerinin (motorlar için supap sayısı, sıkıştırma oranı, silindir çapı/kurs boyu oranı, turboşarj boyutu ve basınç oranı vb) veya yakıt türlerinin daha büyük öneme sahip olduğunun belirlenmesinde kullanılır.

1.3. Korelasyon Analizi Kullanılarak Yürütülen Motor Araştırmaları Üzerine Yapılan Çalışmalar

Motor performans çıktısını ve egzoz emisyonlarını etkileyen temel süreç aslında yanma sürecinin kendisidir. Korelasyon katsayıları ile analizler yapmak, hesaplanan veya ölçülen farklı parametrelerdeki ilişkileri anlamak için çok önemlidir. Yanma dinamikleri (basınç-sıcaklık ve yakıt-hava eşdeğerlik oranı ilişkisi), motor performans karakteristikleri (motor gücü-yakıt ekonomisi-motor dayanımı optimizasyonu) ve emisyon kontrolü (yakıt ve egzoz emisyonu azaltıcı sistemlerin seçimi için; yakıt özellikleri-emisyon türleri korelasyonu) hakkında kritik bilgiler verir. Akademik makalelerde literatürde çoğunlukla aşağıdaki ilişkilerin incelendiği görülmüştür:

Yanma fazı ve motor performansı:

Yanma fazı (yanmanın başlangıcı, bitişi ve süresi) enjeksiyon ve ateşleme zamanlaması ile kontrol edilir ve motor ısıl verimini, güç ve tork çıkışını doğrudan etkiler.

Emisyonlar, yanma ve performans parametreleri:

Yanma sıcaklığı ve basıncı emisyon oluşum sürecini doğrudan etkilediğinden, yanmamış HC'lar, CO, NO_x ve partikül madde (PM) emisyonları ile direkt ilişkilidir. Yanma sıcaklığı ile NO_x emisyonları arasında da iyi bilindiği üzere güçlü bir korelasyon vardır. Aynı zamanda, artan motor gücü ve torku da genellikle yanma sıcaklığını artırdığından daha yüksek NO_x emisyonlarına neden olur. Artan emisyonlar egzoz gazı devridaimi, seçici katalitik indirgeme vb. gibi farklı teknikler kullanılarak azaltılmaya çalışılmaktadır.

Yukarıdaki korelasyonlar genel olarak birçok farklı çalışmada gözlemlenebilir. Buna ek olarak, çeşitli yanma ölçümleri ile alternatif yakıtlar arasındaki korelasyonları içeren daha ayrıntılı çalışmalar son dönemde literatür çalışmalarında bulunabilir. Korelasyon katsayıları kullanılarak yapılan motor araştırmalarına ilişkin kısa bir literatür taraması kronolojik sırayla aşağıda verilmiştir:

2013’te yapılmış bir çalışmada (Zhang ve ark., 2013) sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) motorunda silindir içi basınçla ilgili parametreler arasındaki korelasyon katsayıları üzerinde farklı motor çalışma parametrelerini araştırmıştır. Çevrimsel farklılıkları ve korelasyon katsayılarını ölçmek için fakir yanmalı bir CNG motorunda motor testleri gerçekleştirmişlerdir. Seçilen parametreler maksimum silindir gaz basıncı (P_{maks}) ve P_{maks}'ın gerçekleştiği krank

açısı (AP_{maks}) ve maksimum basınç artış oranı (MBAO:$dP/d\Theta_{maks}$) (Irdmousa ve ark., 2023) olarak belirlemişlerdir. P_{maks} - AP_{maks} ve P_{maks}-MBAO çiftleri için güçlü ve istikrarlı bir korelasyon bulmuşlardır. Ayrıca, diğer P_{maks}-IMEP ve MPRR-P_{maks} korelasyonu eşdeğerlik oranı, gaz kelebeği açıklığı ve motor hızından açıkça etkilenmiştir.

Türkcan (Türkcan, 2020), ağır hizmet tipi bir dizel kamyon motorunda farklı motor yükleri altında motor deneyleri gerçekleştirmiş ve biyoetanol-biyodizel-dizel karışımlarında farklı hammaddelerden üretilen biyodizellerin (et yağı ve tavuk yağı biyodizelleri) kullanımını araştırmıştır. Korelasyon katsayılarını R(IMEP, P_{maks}), R(MPRR, P_{maks}) ve R(IMEP-MPRR) olarak seçmiştir. IMEP ve P_{maks} arasındaki korelasyon diğer ikisinden daha yüksek olduğunu bulmuştur. Önemli bulgulardan biri olarak da motor torkuna kıyasla, yakıt özelliklerinin korelasyon katsayısı üzerinde daha güçlü bir etkiye sahip olduğunu gözlemlemiştir.

Başka bir çalışmada (Subramani, Govindasamy & Rao, 2020), biyodizel-dizel-alkol karışımları ile beslenen tek silindirli bir motorda minimum fren özgül yakıt tüketimi (bsfc) değerleri ile NO_x ve duman emisyon seviyelerini optimize etmek için Taguchi tasarım ve Tepki Yüzey Metodolojisi (response surface methodology-RSM) yöntemlerinin kullanımı araştırılmıştır. Karışım oranları, piston geometrisi ve çeşitli enjeksiyon parametreleri dahil olmak üzere seçilen sekiz farklı parametreyi faktör olarak kullanmışlardır. Değişkenleri bsfc, is ve NO_x emisyonları olarak belirlemişlerdir. Belirleyici faktörleri göstermek için Taguchi yöntemi ve bu faktörlerin seviyesini optimize etmek için de RSM kullanılmıştır. Buna benzer bir başka çalışmada ise (Jafari ve ark., 2019), biyodizel

ve oksijenli katkı maddeleri ile çalışan bir dizel motor üzerinde motor performansı ve emisyon özelliklerinin ayrıntılı bir analizi gerçekleştirilmiştir.

Bu yıl yapılan daha yeni bir çalışmada (Sordyl, Chlopek & Merkisz, 2024) yazarlar, en güncel araç test prosedürü olan WLTP'yi (Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Procedure) tamamlayıcı nitelikte olan Gerçek Sürüş Emisyonları (RDE) testi sırasında bir aracın motorunda meydana gelen süreçleri incelemişlerdir. Araştırmacılar yakıt tüketimi emisyonları, motor çalışma koşulları ve araç hızı değişkenlerine odaklanmıştır. İstatistiksel bir analiz yaptıktan sonra, korelasyon katsayılarını kullanarak değişkenler arasında ortak ilişkiler saptamışlardır. Motor çalışma koşulları ile araç hızı arasında güçlü bir korelasyon hesaplanırken, çalışma koşulları-kirletici emisyonlar arasında zayıf bir korelasyon bulunmuştur. CO ve PM, emisyon kirletici şiddetiyle en küçük korelasyona sahip olan emisyonlar olarak bulunmuştur.

2. Sonuçlar

Korelasyon katsayılarının kullanım alanlarını ve tanımını yukarda açıkladıktan sonra korelasyon katsayılarının gelecekte farklı bilim dalları ve içten yanmalı motorlarda kullanım alanları ele alınarak varılan sonuçlar açıklanacaktır.

Korelasyon katsayılarının gelecekte aşağıdaki alanlarda daha çok kullanılabileceği öngörülmektedir:

Çok değişkenli istatistik tekniklerinin kullanımıyla ikiden fazla değişkeni içeren “çok değişkenli korelasyon” analizi yapılabilir. Ayrıca ekonomi piyasası gibi durağan olmayan

sistemlerde korelasyonların değişimi “dinamik korelasyon analizi” ile incelenebilmektedir.

Yukarıda açıklandığı üzere Pearson korelasyon katsayısı doğrusal ilişkileri incelemektedir. Bunun yanında Spearman sıra korelasyonu (Zar, 2005),, Kendall’ın tau gibi (Essam ve Ali, 2022) alternatif yöntemler doğrusal olmayan yada parametrik olmayan ilişkileri belirlemede kullanılabilir. Bir başka faydalı olacağı kısım ise iklim bilimi, yapay zeka ve genomik gibi büyük miktarda veri içeren alanlarda korelasyon analizini kullanarak görülmesi zor ilişkiler açığa çıkarılabilir.

İçten yanmalı motorlar alanında ise potansiyele sahip araştırma alanları; makine öğrenmesi ve büyük veri analizi, alternatif ve yenilenebilir yakıtlar, çoklu değişkenlerin etkileşiminde çoklu korelasyon, dinamik motor kontrol parametreleri ve sürdürülebilirlik hedefleri olarak sayılabilir. Bu başlıklar aşağıda maddeler halinde tek tek açıklayabiliriz:

2.1. Makine öğrenmesi ve büyük veri analizi:

Oldukça fazla sayıda olan içten yanmalı motor çıkış parametrelerinin kompleks korelasyonlarını açıklamada kullanılabilir.

2.2. Alternatif ve yenilenebilir yakıt araştırmaları:

Yenilenebilir yöntemlerle üretilebilen metanol, hidrojen, biyo etanol, eterler vb. (menno tez) alternatif yakıtların motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkilerini incelemede korelasyon analizleri faydalı birer araçtır.

2.3. Çoklu değişkenlerin etkileşimi için çoklu korelasyon analizi

İçten yanmalı motor araştırmalarında sıklıkla birlikte incelenen parametrenin olması halinde (örn. emme havası basıncı, EGR, supap zamanlaması ve piston geometrisi) çoklu korelasyon katsayıları veya regresyon analizlerinin kullanılması ilişkileri anlamada kullanışlı olacaktır.

2.4. Dinamik motor kontrolü-sistem analizi

Korelasyon katsayılarının zamana bağlı değişken dinamik alt sistemlerin (değişken geometrili turbo, değişken supap zamanlaması, enjeksiyon stratejisi vb.) arasındaki ilişkilerin açığa çıkarılmasında potansiyel kullanım alanına sahip olduğu söylenebilir.

2.5. Sürdürülebilirlik hedefleri

Daha sürdürülebilir ve çevreci motorların hayata geçirilmesinde yakıtların enerji kapasitesi, karbon emisyonları arasındaki bağlantıları açığa çıkarmak için korelasyon katsayıları ile yapılacak modellemeler ve hayat döngüsü analizleri kritik bir yere sahiptir.

Kaynaklar

Asuero, A. G., Sayago, A., & González, A. G. (2006). The correlation coefficient: An overview. Critical reviews in analytical chemistry, 36(1), 41-59.

Essam, F., El, H., & Ali, S. R. H. (2022). A comparison of the pearson, spearman rank and kendall tau correlation coefficients using quantitative variables. *Asian J. Probab. Stat*, 36-48.

Irdmousa, B. K., Basina, L. N., Naber, J., Mohammadpour Velni, J., Borhan, H., & Shahbakhti, M. (2023). Control-Oriented Data-Driven and Physics-Based Modeling of Maximum Pressure Rise Rate in Reactivity Controlled Compression Ignition Engines. *SAE International Journal of Engines*, *16*(6).

Jafari, M., Verma, P., Bodisco, T. A., Zare, A., Surawski, N. C., Borghesani, P., ... & Brown, R. J. (2019). Multivariate analysis of performance and emission parameters in a diesel engine using biodiesel and oxygenated additive. *Energy Conversion and Management*, *201*, 112183.

Rigdon, E. E. (2022). Polychoric correlation coefficient. In The SAGE Encyclopedia of Research Design (pp. 1202-1204). SAGE Publications, Inc.

Schober, P., Boer, C., & Schwarte, L. A. (2018). Correlation coefficients: appropriate use and interpretation. Anesthesia & analgesia, 126(5), 1763-1768.

Sordyl, A., Chlopek, Z., & Merkisz, J. (2024). Correlation relationships of processes in the combustion engine in the RDE test. *Combustion Engines*, *199* (4), 112-125.

Subramani, S., Govindasamy, R., & Rao, G. L. N. (2020). Predictive correlations for NOx and smoke emission of DI CI engine fuelled with diesel-biodiesel-higher alcohol blends-response surface methodology approach. *Fuel*, *269*, 117304.

Turkcan, A. (2020). The effects of different types of biodiesels and biodiesel-bioethanol-diesel blends on the cyclic variations and correlation coefficient. *Fuel*, *261*, 116453.

Uebersax, J. S. (2006). Introduction to the tetrachoric and polychoric correlation coefficients. Obtenido de http://www. john-uebersax. com/stat/tetra. htm.

Zar, J. H. (2005). Spearman rank correlation. *Encyclopedia of biostatistics*, *7,* Wiley Online Library.

Zhang, H. G., Han, X. J., Yao, B. F., & Li, G. X. (2013). Study on the effect of engine operation parameters on cyclic combustion variations and correlation coefficient between the pressure-related parameters of a CNG engine. *Applied Energy*, *104*, 992-1002.

BÖLÜM X

Sac Metal Şekillendirme Prosesleri

Umut Fırat ŞAHİN[1]
Hakkı ÖZER
Eslem ŞAHİN

1. Giriş

Sac metal şekillendirme, otomotivden havacılığa, beyaz eşyadan inşaat sektörüne kadar geniş bir yelpazede modern endüstrinin temel taşlarını oluşturmaktadır. Sac metal şekillendirme, sac levhalara (Şekil 1) farklı yöntemlerle istenilen geometrik

[1] Yüksek Lisans, Bursa Uludağ Üniversitesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü & Coşkunöz Kalıp Makine, Sac Proses Uzmanı, Bursa/Türkiye, Orcid: 0009-0004-5368-4597, umutfiratsahin@gmail.com
[2] Dr. Öğr. Üyesi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Bursa/Türkiye, Orcid: 0000-0003-0951-8490, hakkiozer@uludag.edu.tr
[3] Öğr. Gör., Mudanya Üniversitesi, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü/Otomotiv Teknolojisi Programı, Bursa/Türkiye, Orcid: 0000-0002-0067-0931, eslem.sahin@mudanya.edu.tr

formların verilmesi işlemidir. Malzeme, mekanik, tasarım ve üretim mühendisliğinin ortak noktasını oluşturmaktadır. Bu teknoloji, yüksek hacimli üretimlerde hassas, dayanıklı, düşük maliyetli ve yüksek performanslı parçaların üretilmesini sağlayarak endüstriyel üretimin verimliliğine ve rekabetçiliğine önemli katkılar sunar.

Şekil 1: Şekillendirmeye hazırlanan sac metal levha.

Sac metal şekillendirmenin önemi, nihai ürünlerin kalitesiyle birlikte üretim süreçlerinin optimizasyonu, malzeme kullanımının etkinliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından da kritik bir faktördür. Hafif ve dayanıklı parçaların üretimi, özellikle otomotiv ve havacılık sektörlerinde yakıt verimliliğinin artırılması ve emisyonların azaltılması hedeflerine ulaşmada önemli bir rol oynar (Cooper, Rossie & Gutowski, 2017a; Doege, Kulp&Sunderkötter, 2002a).

Üretim sürecinin başarısı, birden fazla faktörün dikkatli bir şekilde ilerlemesine bağlıdır. Bunlar arasında malzeme seçimi, parça

geometrisinin tasarımı, uygulanan şekillendirme yöntemleri, kalıp tasarımı ve simülasyon teknolojilerinin kullanımı sayılabilir. Sac malzemenin mekanik özellikleri, özellikle plastik deformasyon davranışı, şekillendirme sürecindeki başarıyı doğrudan etkiler. Malzemenin akma dayanımı, çekme dayanımı, uzama ve şekillendirilebilirlik gibi özellikleri, uygun şekillendirme yönteminin seçimi ve kalıp tasarımında dikkate alınması gereken temel parametrelerdir (Doege, Kulp&Sunderkötter, 2002b; Kim ve ark., 2011).

Sac metal şekillendirme süreçlerinde karşılaşılan yaygın sorunlar arasında kenar çatlakları (Teng & Chen, 2014; Wang, Luo & Wierzbicki, 2014; Samei ve ark., 2019, yaylanma (geri esneme) (Fırat, Kaftanoğlu & Eser, 2008; Çınar ve ark., 2021), burkulma (Li & Siegmund, 2001) ve yüzey kusurları (Le Port, Thuillier & Manacah, 2011; Pimenidis & Jayne, 2018) yer almaktadır. Bu tür hataların önlenmesi veya azaltılması için malzeme özellikleri, kalıp geometrisi ve proses parametreleri optimizasyonu gerekmektedir. İleri mühendislik analizleri ve simülasyon yazılımları, bu optimizasyon sürecinde önemli bir rol oynar. Sac metal şekillendirme simülasyonları, üretim öncesinde istenilen parametrelerin düzelti olanak tanır. Bu sayede, deneme-yanılma yöntemleriyle harcanacak zaman ve maliyetten tasarruf sağlanır (Hattalli & Srivatsa, 2018; Kim ve ark., 2011; Ramezani & Ripin, 2012; Anket, Koruvatan & Ay, 2011).

Bu incelemede, sac metal şekillendirme teknolojisinin temel prensipleri, kullanılan başlıca yöntemler, karşılaşılan tipik sorunlar ve bu sorunların çözümlerine yönelik mühendislik yaklaşımları ele alınacaktır. Ayrıca, sac metal şekillendirme simülasyonlarının rolü,

endüstriyel uygulamalardaki yenilikçi yaklaşımlar, malzeme teknolojilerindeki son gelişmeler ve gelecekte bu alanda karşılaşılabilecek fırsatlar ve zorluklar da incelenecektir. Bu çalışma, mühendislik öğrencileri, araştırmacılar ve sektörde çalışan profesyoneller için sac metal şekillendirme konusunda kapsamlı ve güncel bir bilgi kaynağı olmayı hedeflemektedir.

2. Yöntem

2.1. Sac Şekillendirme Proses Adımları

Sac şekillendirme işlemlerindeki proses adımları (Şekil 2), üretilecek parçanın karmaşıklığına, kullanılan malzemeye ve seçilen şekillendirme yöntemine göre değişiklik gösterebilir.

İlk olarak istenilen nihai ürünün geometrisi ve fonksiyonel gereksinimleri belirlenir. Catia, NX gibi bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımları kullanılarak üç boyutlu modeller oluşturulur. Parçanın kullanım amacına, mekanik özelliklerine, direncine ve maliyetine uygun çelik, alüminyum gibi sac malzeme seçilir. Parçanın geometrisi ve üretim hacmine göre en uygun şekillendirme yöntemi belirlenir (bükme, derin çekme, sıvama, haddeleme vb.) (Ingarao, Di Lorenzo & Micari, 2011).

Sac şekillendirme simülasyon yazılımları kullanılarak proses simüle edilir. Bu sayede potansiyel sorunlar (çatlaklar, burkulmalar, yaylanma vb.) önceden tespit edilerek kalıp tasarımında ve proses parametrelerinde gerekli optimizasyonlar yapılır (Pérez Caro ve ark., 2020).

Seçilen şekillendirme yöntemine uygun olarak kalıpların tasarımı yapılır. Kalıp tasarımı, parçanın doğru şekilde oluşturulması

ve üretim hatalarının minimize edilmesi için kritik öneme sahiptir. Kalıp malzemesi seçimi ve kalıp geometrisi, şekillendirme prosesini önemli ölçüde etkiler.

Şekil 2: Sac şekillendirme proses adımları.

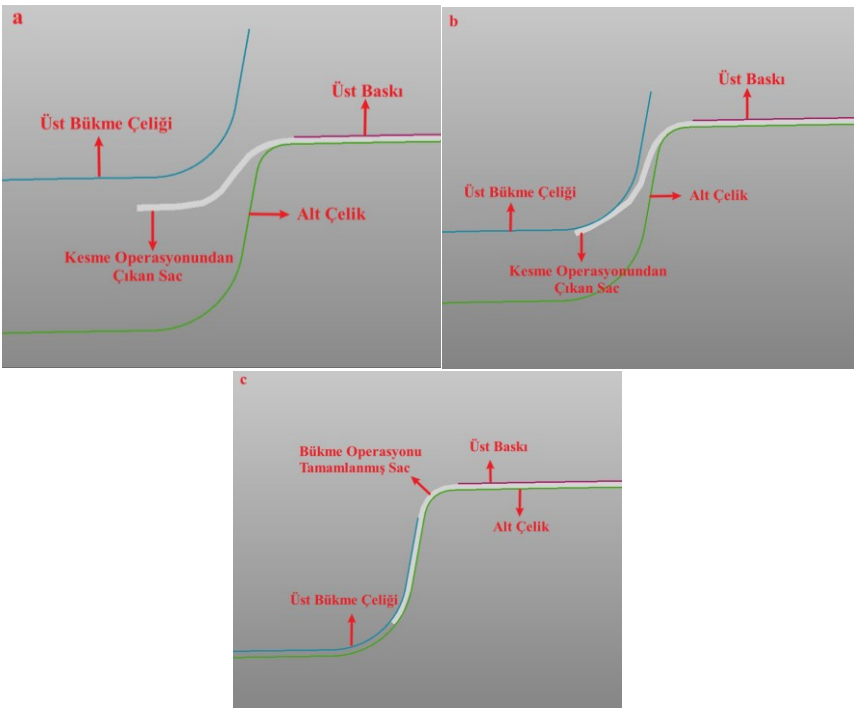
Hazırlık aşamalarında yapılan ilk işlem sac levhaların istenilen boyutlarda kesilmesidir. Kesme işlemleri arasında lazer kesim, plazma kesim, giyotin makasla kesme ve CNC kesim sayılabilir. Kesim kalitesi, sonraki şekillendirme adımlarını etkiler. Sac yüzeyinde yağ, pas veya diğer kirleticiler varsa temizlenir. Bu, şekillendirme sırasında daha iyi sonuçlar elde etmek ve kalıp aşınmasını azaltmak için önemlidir. Bazı şekillendirme işlemlerinde, sürtünmeyi azaltmak ve malzeme akışını kolaylaştırmak için sac yüzeyine yağlayıcılar uygulanır.

Seçilen yönteme göre sac, presler, kalıplar veya diğer ekipmanlar kullanılarak istenen şekle getirilmesiyle şekillendirme işlemi başlamış olur. Bu adım, seçilen şekillendirme yöntemine göre farklılık gösterir.

2.1.1. Şekillendirme İşlemi

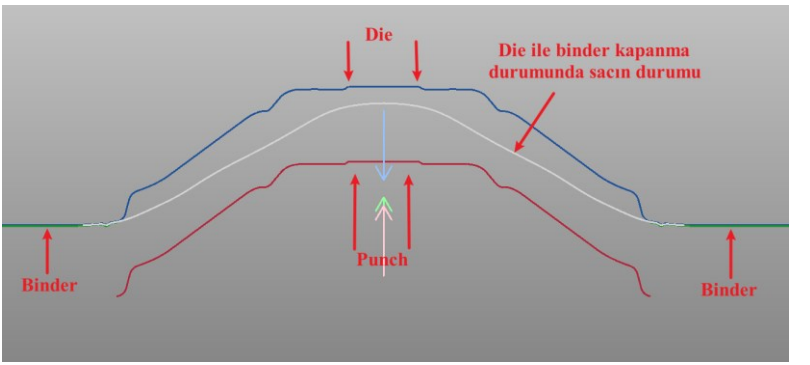
Seçilen yönteme göre sac, presler, kalıplar veya diğer ekipmanlar kullanılarak istenen şekle getirilir. Bu adım, bükme, derin çekme gibi şekillendirme yöntemlerinin seçilmesine göre farklılık gösterir.

- **Bükme işlemi,** sacın belirli bir açı ile bükülmesi işlemidir. Abkant presler ve özel kalıplar kullanılır. Şekil 3'te kalıp ile bükme işleminin adımları gösterilmiştir.

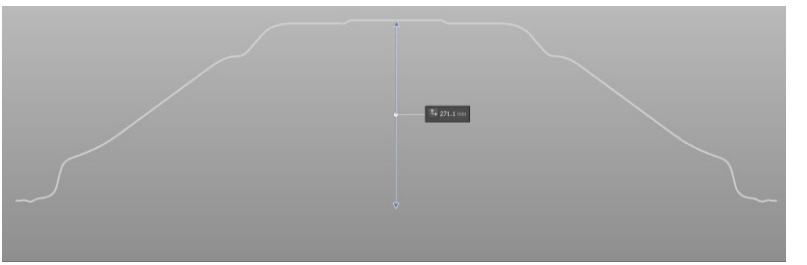


Şekil 3: a. Kesme operasyonundan ele alınan sac metal formu. **b.** Üst bükme çeliğinin devreye girmesiye bükme işleminin başlaması. **c.** Bükme işleminin sona ermesiyle üst bükme çeliğinin kursunu tamamlaması.

- **Derin Çekme:** Sacın bir kalıp boşluğuna doğru çekilerek çanak veya kutu şeklinde parçalar oluşturulması işlemidir. Derin çekme işleminde malzeme yüksek sünekliğe sahip olmalıdır. Şekil 4 ve Şekil 5'te derin çekilen saclarda oluşan zamanlar yer almaktadır.



Şekil 4: Sac metal levhanın kapanma (closing) anında sacın durumu.



Şekil 5: Sac metal levhanın binder kursunun tamamlandıktan sonra (sacın komple çekilmesi) biten çekme işlemi (Çekme derinliği 271 mm).

2.1.2. Son İşlemler:

Şekillendirme işlemi tamamlandıktan sonra parçanın nihai halini alması için birtakım işlemler gerekir. Şekillendirme sonrası fazla malzeme (çapak) kırpma işlemiyle temizlenir. Parçaya delik açılması veya ek kesimler yapılması gerekiyorsa delme/kesme işlemi gerçekleştirilir. Parçanın pürüzsüz bir yüzeye sahip olması veya yüzeyde oluşabilecek kimyasal kusurların önüne geçmek için boyama, kaplama, polisaj gibi yüzey işlemleri uygulanabilir. Üretilen parçanın boyutları, şekli ve diğer özellikleri kontrol edilerek nihai parçaya ulaşılır. Kalite kontrol adımında, standartlara

uygunluğun sağlanması ve hatalı parçaların ayıklanması için önemlidir.

Özetle, sac şekillendirme prosesi, tasarım ve mühendislik aşamasıyla başlar, malzeme hazırlığı, şekillendirme, son işlemler ve kalite kontrol adımlarını içerir. Her adım, nihai ürünün kalitesi ve doğruluğu için kritik öneme sahiptir. Bu adımlar genel bir çerçeve sunmaktadır. Gerçek uygulamalarda, parça özelliklerine ve kullanılan teknolojiye bağlı olarak daha fazla veya daha az adım uygulanabilir. Örneğin, bazı durumlarda ısıl işlem veya kaynak gibi ek işlemler de gerekebilir.

3. Sac Şekillendirme Sırasında Oluşabilecek Hatalar

Sac şekillendirme prosesleri, metal levhaların istenilen forma getirilmesini sağlayan karmaşık işlemlerdir. Bu süreçlerde, malzeme özellikleri, işlem parametreleri ve kalıp tasarımı gibi birçok faktörün etkisiyle çeşitli hatalar meydana gelebilir. Kırılma, çatlama, incelme ve yüzey bozuklukları gibi bu hatalar, hem üretim verimliliğini düşürür hem de ürünün kalitesini olumsuz etkiler. Bu nedenle, sac şekillendirme süreçlerindeki hataları önlemek ve gidermek için detaylı bir analiz yapmak büyük önem taşır.

Bu hataların tespiti ve analizi için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar arasında görsel inceleme, boyut ölçümleri, yüzey pürüzlülüğü ölçümleri, tahribatsız muayene yöntemleri (örneğin; ultrasonik test, eddy current test) ve metalografik incelemeler sayılabilir. Gelişen teknoloji ile birlikte, bilgisayar destekli simülasyon yazılımları da hataların öngörülmesi ve önlenmesi konusunda önemli bir rol oynamaktadır.

Bu bilgiler ışığında, sac şekillendirme süreçlerinde karşılaşılabilecek hataları en aza indirmek için dikkatli bir tasarım, uygun malzeme seçimi, doğru proses parametreleri ve etkin kalite kontrol önlemleri gereklidir.

3.1. Kenar Çatlakları (Yırtılma, Kopma):

Sac metal şekillendirme işlemleri sırasında malzemenin aşırı gerilmesiyle kenar bölgelerinde oluşan çatlak veya kopma türleridir (Şekil 6). Özellikle kesme işlemleri sonrasında kenar bükme işlemleri sırasında oluşan bu çatlaklar, yüksek gerilme konsantrasyonları, düşük kenar kalitesi veya önceden var olan kusurlar nedeniyle ortaya çıkar.

Kenar çatlakları, malzeme kaybına, üretim maliyetlerinin artmasına ve nihai ürün kalitesinin düşmesine yol açabileceği için, bu tür hataların önlenmesi üretim süreçlerinin optimizasyonunda kritik bir adımdır.

Şekil 6: Kenar çatlağı oluşumu.

Kenar çatlağı oluşma nedenleri (Hosford & Caddell, 2011):

- Düşük malzeme sünekliği (düşük uzama).
- Keskin köşe veya küçük radyuslu kalıp tasarımları.
- Yanlış yağlama veya yetersiz yağlama.
- Hadde yönüne göre yanlış kesilmiş sac.
- Aşırı basma kuvveti.
- Kalitesiz kesme işlemleri.

3.2. Yaylanma (Geri Esneme):

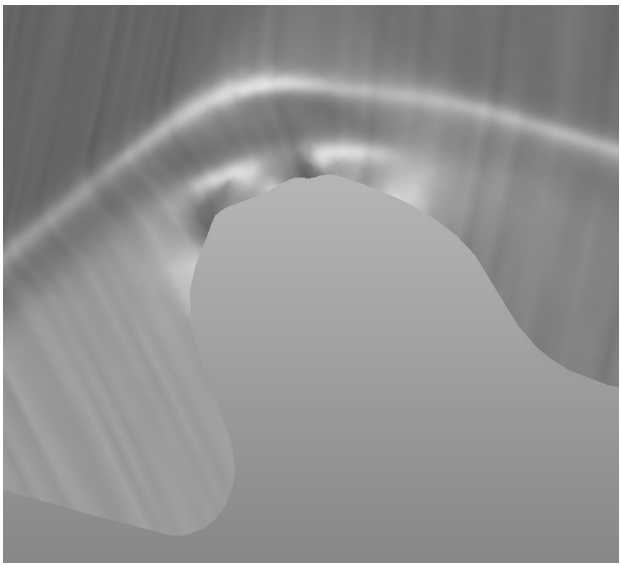
Şekillendirme işlemi tamamlandıktan sonra, uygulanan kuvvet (pres) kaldırıldığında malzemenin elastik geri dönüşü nedeniyle oluşan şekil değişikliğidir (Şekil 7). Özellikle bükme işlemlerinde belirgin olarak görülür. Malzemenin yüksek elastisite modülüne sahip olması, bükme açısı, malzeme kalınlığı gibi nedenlerle oluşur.

Simülasyon üzerinde geri yaylanma değerlerine operasyonlar üzerinde telafi vererek kalıp parça nominal yüzeyini bozma, fikstür üzerinde ek sabitleme noktaları ekleme, bükme sonrası ilgili alana kalibre operasyonları uygulama adımlarıyla yaylanma hasarı önlenebilir.

Şekil 7: Yaylanma (Geri esneme).

3.3. Burkulma (Kırışma, Büzülme):

Özellikle derin çekme gibi işlemlerde, malzemenin basınç altında kalması ve dengesiz gerilmeler nedeniyle oluşan istenmeyen şekil bozukluklarıdır. Şekil 8'de üretim adımına geçmeden önce simülasyon üzerinde çözülmeye çalışılan bu soruna ait bir parça gösterilmektedir.



Şekil 8: Kırışma durumuna ait bir simülasyon örneği.

Yetersiz baskı kuvveti veya yanlış baskı dağılımı, kalıp tasarımında hata, malzeme kalınlığının her noktada homojen olmaması gibi nedenler sacın şekil alma sırasında kırışmasına neden olmaktadır.

3.4. Yüzey Kusurları:

- **Çizikler, Ezikler:** Kalıp yüzeyindeki pürüzler, kirleticiler veya hatalı malzeme taşıma nedeniyle oluşabilir.
- **Portakal Kabuğu Görünümü:** İnce taneli malzemelerde, plastik deformasyon sırasında tanelerin farklı yönlerde hareket etmesi sonucu oluşan yüzey pürüzlülüğüdür.
- **Yağlama İzleri:** Yanlış yağlama veya yetersiz temizleme nedeniyle oluşabilir.

Şekil 9: Yüzeyde çizik oluşumu.

3.5. Kalınlık Değişimi:

Şekillendirme sırasında malzemenin bazı bölgelerinde incelme veya kalınlaşma meydana gelmesi, özellikle derin çekme gibi işlemlerde sıkça karşılaşılan bir durumdur. Bu durumun başlıca nedenleri arasında düzensiz malzeme akışı, kalıp geometrisinin uygun olmaması ve yanlış baskı kuvveti uygulamaları yer almaktadır.

4. Sac Şekillendirme Simülasyonlarında Malzeme Modellemesi

Sac metal parça üzerindeki kuvvet etkisine bağlı olarak şekillendirme işlemlerinin tasarlanmasında veya simüle edilmesinde dikkat edilmesi gerekenler arasında malzeme modellemesi,

simülasyonun doğruluğu ve simülasyon sırasında verilen kısıtlamalar yer almaktadır. Malzeme modeli, sac metalin şekillendirme işlemi sırasında nasıl davranacağını, yani yük altında nasıl deforme olacağını ve ne zaman kırılacağını tahmin etmek için kullanılır.

Doğru bir malzeme modeli, simülasyonun üretimdeki şekillendirme prosesini doğru bir şekilde yansıtmasını sağlar. Bu, mühendislerin potansiyel sorunları (örneğin, yırtılma, kırılma, incelme) daha erken aşamalarda tespit etmelerine ve proses parametrelerini optimize etmelerine olanak tanır. Malzeme modeli, takım geometrisi ve sınır koşulları (sürtünme, pürüzlülük gibi) ile birlikte çalışarak simülasyonun karmaşık etkileşimleri doğru bir şekilde modellemesini sağlar. Bu değerler üretimdeki değerlere yakın olmalıdır.

Sac metal şekillendirme simülasyonlarının başarısı, önemli ölçüde kullanılan malzeme modelinin doğruluğuna bağlıdır. Doğru bir malzeme modeli, simülasyon sonuçlarının üretim aşamasındaki sonuçlarla örtüşmesini sağlayarak tasarım sürecinde daha isabetli kararlar alınmasına ve üretim süreçlerinin verimli bir şekilde optimize edilmesini sağlar. Yetersiz veya yanlış bir malzeme modeli kullanıldığında, simülasyonlar yanıltıcı sonuçlar üretebilir. Bu durum üretim aşamasında maliyetli hatalara yol açabilir. Bu nedenle, sac metal şekillendirme simülasyonlarında doğru malzeme modellemesi hem tasarımın kalitesini artırmak hem de üretim maliyetlerini düşürmek için kritik bir öneme sahiptir.

4.1. Sac Şekillendirme Proseslerinde Kullanılan Malzemeler

Sac şekillendirme proseslerinde kullanılan malzemeler, genellikle belirli özelliklere sahip metallerden seçilir. İşte yaygın olarak kullanılan bazı malzemeler:

- **Alüminyum ve Magnezyum Alaşımlarının Artan Kullanımı:** Özellikle hafiflik ve korozyon direnci gibi önemli avantajları nedeniyle günümüzde giderek daha fazla tercih edilmektedir. Bu malzemelerin otomotiv, havacılık, elektronik ve ambalaj gibi çeşitli sektörlerdeki uygulamaları hızla yaygınlaşmaktadır. Ancak, bu metallerin kendine özgü özellikleri, geleneksel şekillendirme yöntemleriyle işlenmelerini zorlaştırabilmektedir. Bu nedenle, alüminyum ve magnezyum alaşımlarının etkili bir şekilde şekillendirilmesi için sürekli olarak yeni teknikler ve kalıp tasarımları geliştirilmektedir (Hosford & Duncan, 1999; Zhang ve ark., 2015; Ismail & Mohamed, 2016; Welo, Ringen&Ma, 2020).
- **Kompozit Malzemelerin ve Hibrit Yapıların Şekillendirilmesi:** Kompozit malzemelerin ve özellikle metal ve kompozitlerin bir araya getirilmesiyle oluşturulan hibrit yapıların şekillendirilmesi, mühendislik alanında önemli bir araştırma ve geliştirme konusudur. Bu tür yapılar, her iki malzemenin de avantajlarını birleştirerek üstün özellikler sunabilirler. Örneğin, bir metalin yüksek mukavemeti ve tokluğu ile bir kompozitin hafifliği ve korozyon direnci bir araya getirilerek hem hafif hem de dayanıklı yapılar elde edilebilir. Ancak, farklı malzemelerin birleştirilmesi ve şekillendirilmesi, uyumluluk sorunları ve farklı davranışlar nedeniyle karmaşık bir süreçtir (Bruschi ve ark., 2021; Ikonnikov & Semenov, 2020; Liu ve ark., 2022) .
- **Yüksek Dayanımlı Çeliklerin (YDS) ve İleri Yüksek Dayanımlı Çeliklerin (İYDS) Geliştirilmesi:** Otomotiv

endüstrisinde hafifletme çabalarının önemli bir parçası haline gelmiştir. Yakıt verimliliğini artırma ve emisyonları azaltma hedefi, araç ağırlığını düşürmeyi zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle, daha ince kesitli sacların kullanımı önem kazanmıştır. Ancak, daha ince sacların yeterli dayanımı sağlayamaması riski ortaya çıkmaktadır. İşte bu noktada YDS ve İYDS devreye girer (Demeri, 2013; Tisza, 2013).

İleri çelikler (AHSS - Advanced High-Strength Steels), geleneksel çeliklere göre üstün mekanik özelliklere sahip bir çelik grubudur (Tablo 1). Özellikle otomotiv endüstrisinde hafifletme ve güvenlik gereksinimlerinin artmasıyla birlikte, ileri çeliklerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır.

Tablo 1: *İleri çelikler ile geleneksel çelikler arasındaki temel farklar* (Baluch ve ark., 2014; Demeri, 2013; Doege,Kulp & Sunderkötter, 2002c; Hilditch, Souza & Hodgson, 2015; Teng & Chen, 2014).

Özellik	**Geleneksel Çelikler**	**İleri Çelikler (AHSS)**
Mukavemet (Dayanım)	Düşük ve orta seviyede (genellikle < 500 MPa)	Yüksek ve çok yüksek seviyede (500 MPa'dan 1500 MPa'a kadar)
Süneklik (Şekillendirilebilirlik)	İyi	Farklı AHSS türlerinde değişir; bazıları iyi, bazıları daha düşüktür.
Mikroyapı	Tek fazlı (genellikle ferrit veya perlit)	Çok fazlı (ferrit, martenzit, beynit, ostenit vb. karışımı)
Ağırlık	Daha ağır	Daha hafif (aynı mukavemette)
Maliyet	Daha düşük	Genellikle daha yüksek

Uygulama Alanları	Genel yapısal uygulamalar, basit otomotiv parçaları	Otomotiv gövde parçaları, darbe emme bölgeleri, yüksek mukavemet gerektiren parçalar
Kaynaklanabilirlik	Genellikle iyi	Bazı AHSS türlerinde zorluklar olabilir; özel kaynak teknikleri gerekebilir.
Örnekler	Düşük karbonlu çelikler, yapı çelikleri, yumuşak çelikler	Çift fazlı (DP) çelikler, Dönüşümle sertleşen (TRIP) çelikler, Martenzitik (MS) çelikler, Kompleks fazlı (CP) çelikler, Sıcak şekillendirilmiş (HF) çelikler

İleri Çeliklerin Avantajları:

- **Hafiflik:** İleri yüksek dayanımlı çelikler (İYDS) ve diğer ileri çelik türleri, aynı mukavemeti daha az malzeme ile sağlayabilirler. Bu, özellikle otomotiv sektöründe araç ağırlığının azaltılması ve dolayısıyla yakıt verimliliğinin artırılması için kritik bir faktördür. Daha hafif araçlar daha az yakıt tüketir ve daha az emisyon üretir (Pereira ve ark., 2024).
- **Geliştirilmiş Güvenlik:** Yüksek mukavemetleri sayesinde, ileri çelikler darbelere karşı daha yüksek direnç gösterirler. Bu, kaza anında araç yapısının daha iyi korunmasını ve yolcu güvenliğinin artmasını sağlar. Özellikle araçların çarpışma bölgelerinde kullanılan ileri çelikler, darbe enerjisini emerek yolculara iletilen kuvveti azaltır (Baluch ve ark., 2014).
- **Daha İyi Performans:** Yüksek mukavemet ve rijitlik, araçların yol tutuşunu, direksiyon hassasiyetini ve genel

performansını iyileştirir. Daha rijit bir yapı, süspansiyon sisteminin daha etkili çalışmasını sağlar ve daha iyi bir sürüş deneyimi sunar. Ayrıca, daha hafif ve daha rijit yapılar, araçların hızlanma ve frenleme performansını da olumlu yönde etkiler (Baluch ve ark., 2014).

- **Daha Uzun Ömür:** Korozyon direnci yüksek olan ileri çelikler, yapıların ve araçların ömrünü uzatır. Bu da uzun vadede maliyet tasarrufu sağlar (Cooper, Rossie & Gutowski, 2017b).
- **Daha Az Malzeme Kullanımı:** Aynı mukavemeti daha az malzeme ile sağladıkları için, doğal kaynakların daha verimli kullanılmasını ve çevresel etkinin azaltılmasını sağlarlar (Cooper, Rossie & Gutowski, 2017c; Ingarao, Lorenzo & Micari, 2011).

İleri Çeliklerin Dezavantajları:

- **Daha Yüksek Maliyet:** İleri çeliklerin üretiminde kullanılan özel alaşım elementleri ve üretim süreçleri, geleneksel çeliklere göre daha yüksek maliyetlere neden olur. Bu, özellikle başlangıç aşamasında daha yüksek yatırım maliyetleri anlamına gelebilir. Ancak, yakıt tasarrufu ve daha uzun ömür gibi faktörler göz önüne alındığında, uzun vadede maliyet avantajı sağlayabilirler (Doege, Kulp & Sunderkötter, 2002d; López De Lacalle ve ark., 2006).
- **Şekillendirme Zorlukları:** Bazı İYDS türlerinin (örneğin, martenzitik çelikler) şekillendirilebilirliği geleneksel çeliklere göre daha düşüktür. Bu, daha karmaşık şekillerin üretilmesini zorlaştırabilir ve özel şekillendirme teknikleri (örneğin, sıcak şekillendirme) gerektirebilir. Ayrıca, geri yaylanma gibi sorunlar da ortaya çıkabilir (Shaw ve ark., 2001) .
- **Kaynaklanabilirlik Sorunları:** Bazı İYDS türlerinin kaynaklanması, malzeme özelliklerinin değişmesi ve

kaynak bölgesinde çatlaklar oluşması riskini artırabilir. Bu nedenle, özel kaynak yöntemleri (örneğin, lazer kaynağı, direnç kaynağı) ve dikkatli proses kontrolü gerektirebilir. Ayrıca, kaynak sonrası ısıl işlem de gerekebilir (Perka ve a., 2022).

- **Geri Dönüştürme Zorlukları:** Farklı alaşım elementleri içeren bazı ileri çelik türlerinin geri dönüştürülmesi, geleneksel çeliklere göre daha karmaşık olabilir. Bu, geri dönüşüm süreçlerinin optimize edilmesini ve yeni geri dönüşüm teknolojilerinin geliştirilmesini gerektirebilir (Hegab vd., 2023; Jayawardane vd., 2023; Lodha vd., 2023).

Sonuç olarak ileri çelikler, birçok avantaj sunmalarına rağmen, bazı dezavantajları da beraberinde getirir. Bu nedenle, bir uygulama için doğru çelik türünün seçimi, maliyet, performans, şekillendirme ve kaynaklanabilirlik gibi faktörlerin dikkatlice değerlendirilmesini gerektirir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte, ileri çeliklerin maliyetlerinin düşmesi ve üretim zorluklarının aşılması beklenmektedir. Bu da bu malzemelerin daha da yaygınlaşmasına yol açacaktır.

5. SONUÇ

Sac şekillendirme proseslerinde başarıyı yakalamak ve hem kaliteyi artırmak hem de maliyetleri düşürmek için bir dizi en iyi uygulamanın hayata geçirilmesi kritik önem taşımaktadır. Bu uygulamaların başında, şekillendirme sürecinin temelini oluşturan doğru malzeme seçimi gelmektedir. Malzemenin mukavemeti, esnekliği ve korozyon direnci gibi özelliklerinin dikkate alınması, sürecin başarısını doğrudan etkilemektedir. Bunun yanı sıra, yüksek

kaliteli ve doğru kalibre edilmiş alet ve ekipman kullanımı da hassasiyet ve verimliliği artırırken, düzenli bakım ve kalibrasyon da bu etkinin sürekliliğini sağlamaktadır. Süreç boyunca sıcaklık, basınç, sürtünme, yağlama ve hız gibi parametrelerin sürekli izlenmesi ve kontrol edilmesi, tutarlı sonuçlar elde etmeyi sağlar. Günümüzde bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve mühendislik (CAE) yazılımları sayesinde şekillendirme işlemlerini simüle etmek ve optimize etmek mümkün hale gelmiştir. Bu sayede, potansiyel hataları en aza indirerek maliyetler düşürülmektedir.

REFERANSLAR

Baluch, N., Mohamed Udin, Z. & Sobry Abdullah, C. (2014). Advanced High Strength Steel in Auto Industry: an Overview. *Engineering, Technology & Applied Science Research*. 4(4).

Bruschi, S., Cao, J., Merklein, M. & Yanagimoto, J. (2021). Forming of metal-based composite parts. *CIRP Annals*, *70*(2), 567-588. https://doi.org/10.1016/j.cirp.2021.05.009.

Cinar, Z., Asmael, M., Zeeshan, Q. & Safaei, B. (2021). Effect of Springback on A6061 Sheet Metal Bending: A Review. *Jurnal Kejuruteraan*, *33*(1), 13-26. https://doi.org/10.17576/jkukm-2020-33(1)-02.

Cooper, D. R., Rossie, K. E. & Gutowski, T. G. (2017). The energy requirements and environmental impacts of sheet metal forming: An analysis of five forming processes. *Journal of Materials Processing Technology*, *244*, 116-135. https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2017.01.010.

Demeri, M. Y. (2013). *Advanced High-Strength Steels: Science, Technology, and Applications*. ASM International.

Doege, E., Kulp, S. & Sunderkötter, C. (2002). Properties and application of TRIP-steel in sheet metal forming. *Steel Research*, *73*(6-7), 303-308. https://doi.org/10.1002/srin.200200213.

Firat, M., Kaftanoglu, B. & Eser, O. (2008). Sheet metal forming analyses with an emphasis on the springback deformation. *Journal of Materials Processing Technology*, *196*(1-3), 135-148. https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.05.029.

Hattalli, V. L. & Srivatsa, S. R. (2018). Sheet Metal Forming Processes-Recent Technological Advances. *Materials Today: Proceedings.* 5:2564-2574.

Hegab, H., Khanna, N., Monib, N. & Salem, A. (2023). Design for sustainable additive manufacturing: A review. *Sustainable Materials and Technologies* (35). https://doi.org/10.1016/j.susmat.2023.e00576.

Hilditch, T. B., de Souza, T. & Hodgson, P. D. (2015). Properties and automotive applications of advanced high-strength steels (AHSS). *Welding and Joining of Advanced High Strength Steels (AHSS)* (ss. 9-28). Elsevier Inc. https://doi.org/10.1016/B978-0-85709-436-0.00002-3.

Hosford, W. F. & Caddell, R. M. (2011). *Metal Forming: Mechanics and Metallurgy* (4. bs). Cambridge University Press.

Ikonnikov, D. A. & Semenov, I. E. (2020). Thin sheet metal forming with composite material. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *734*(1). https://doi.org/10.1088/1757-899X/734/1/012070.

Ingarao, G., Di Lorenzo, R. & Micari, F. (2011). Sustainability issues in sheet metal forming processes: An overview. *Journal of Cleaner Production*, *19*(4), 337-347. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.10.005.

Ismail, A., & Mohamed, M. S. (2016). *Review On Sheet Metal Forming Process Of Aluminum Alloys*. Proceedings of the 17th Int. AMME Conference, 19-21 April.

Jayawardane, H., Davies, I. J., Gamage, J. R., John, M. & Biswas, W. K. (2023). Sustainability perspectives – a review of additive and subtractive manufacturing. *Sustainable Manufacturing and Service Economics*, *2*, 100015. https://doi.org/10.1016/j.smse.2023.100015.

Kim, S. B., Huh, H., Bok, H. H. & Moon, M. B. (2011). Forming limit diagram of auto-body steel sheets for high-speed sheet metal forming. *Journal of Materials Processing Technology*, *211*(5), 851-862. https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2010.01.006.

Le Port, A., Thuillier, S. & Manach, P. Y. (2011). Characterization of surface defects after flanging of metallic sheets. *Journal of Materials Processing Technology*, *211*(12), 2062-2071. https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2011.07.004

Li, W. & Siegmund, T. (2002). An analysis of crack growth in thin-sheet metal via a cohesive zone model. *Engineering Fracture Mechanics.* 69: 2073–2093.

Liu, Z., Cheng, K. & Peng, K. (2022). Exploring the deformation potential of composite materials processed by incremental sheet forming: a review. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 7-8 (118): 2099-2137. https://doi.org/10.1007/s00170-021-08081-4.

Lodha, S., Song, B., Park, S. I., Choi, H. J., Lee, S. W., Park, H. W. & Choi, S. K. (2023). Sustainable 3D printing with recycled materials: a review. Içinde *Journal of Mechanical Science and Technology*.11(35):5481-5507). Korean Society of Mechanical Engineers. https://doi.org/10.1007/s12206-023-1001-9.

López De Lacalle, L. N., Lamikiz, A., Muñoa, J., Salgado, M. A. & Sánchez, J. A. (2006). Improving the high-speed finishing of forming tools for advanced high-strength steels (AHSS). *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *29*(1-2), 49-63. https://doi.org/10.1007/s00170-004-2482-z.

Pereira, R., Peixinho, N. & Costa, S. L. (2024). A Review of Sheet Metal Forming Evaluation of Advanced High-Strength Steels (AHSS). *Metals* 4(14). https://doi.org/10.3390/met14040394.

Pérez Caro, L., Schill, M., Haller, K., Odenberger, E. L. & Oldenburg, M. (2020). Damage and fracture during sheet-metal forming of alloy 718. *International Journal of Material Forming*. *13*(1), 15-28. https://doi.org/10.1007/s12289-018-01461-4.

Perka, A. K., John, M., Kuruveri, U. B. & Menezes, P. L. (2022). Advanced High-Strength Steels for Automotive Applications: Arc and Laser Welding Process, Properties, and Challenges. *Metals*. 6(12). https://doi.org/10.3390/met12061051.

Pimenidis, E. & Jayne, C. (Ed.). (2018). *Engineering Applications of Neural Networks* (C. 893). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-98204-5

Ramezani, M. & Ripin, Z. M. (2012). Analysis of deep drawing of sheet metal using the Marform process. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *59*(5-8), 491-505. https://doi.org/10.1007/s00170-011-3513-1.

Anket, O., Koruvatan, T., Ay, İ. (2011). Sac Malzemelerin Şekillendirilmesinde Şekillendirme. *Journal of Polytechnic*. 1(14):39-47. https://doi.org/10.2339/2011.14.1, 39-47.

Samei, J., Salib, Y., Amirmaleki, M. & Wilkinson, D. S. (2019). The role of microstructure on edge cracks in dual phase and quench and partitioning steels subject to severe cold rolling. *Scripta Materialia*, *173*, 86-90. https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2019.08.012

Shaw, J., Chen, M., & Watanabe, K. (2001). Metal Forming Characterization and Simulation of Advanced High Strength Steels. *Journal Of Materials And Manufacturing*. 110: 926-935.

Teng, Z. K., & Chen, X. M. (2014). Edge cracking mechanism in two dual-phase advanced high strength steels. *Materials Science and Engineering: A*, *618*, 645-653. https://doi.org/10.1016/j.msea.2014.06.101.

Tisza, M. (2013). Advanced Materials in Sheet Metal Forming. *Key Engineering Materials*, *581*, 137-142. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.581.137.

Hosford, W. F. & Duncan, J. L. (1999). Tutorial Aluminum Fabrication. *Aluminum Fabrication.* www.tms.org/pubs/journals/JOM/9911/.

Wang, K., Luo, M. & Wierzbicki, T. (2014). Experiments and modeling of edge fracture for an AHSS sheet. *International Journal of Fracture*, *187*(2), 245-268. https://doi.org/10.1007/s10704-014-9937-5.

Welo, T., Ringen, G. & Ma, J. (2020). An overview and evaluation of alternative forming processes for complex aluminium products. *48th SME North American Manufacturing Research*

Conference. *48*, 82-89. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.05.022

Zhang, S. H., Chen, S. F., Ma, Y., Song, H. W., & Cheng, M. (2015). Developments of New Sheet Metal Forming Technology and Theory in China. *Acta Metallurgica Sinica (English Letters)*, *28*(12), 1452-1470. https://doi.org/10.1007/S40195-015-0345-2

BÖLÜM XVI

Hidrojen Yakıt Pilli Elektrikli Araçların CO_2 Salınımı Açısından İncelenmesi

Mustafa ÇAVLI[1]
Eylem YILMAZ ULU[2]

Giriş

Ulaşım ve lojistik sektörü günümüzde CO_2 salınımlarının büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Bu yüzden sürdürülebilirlik açısından en hızlı çözüme ulaştırılması gereken alanlardan biridir.

Yakıt Türlerine Göre Motorlu Araçlar

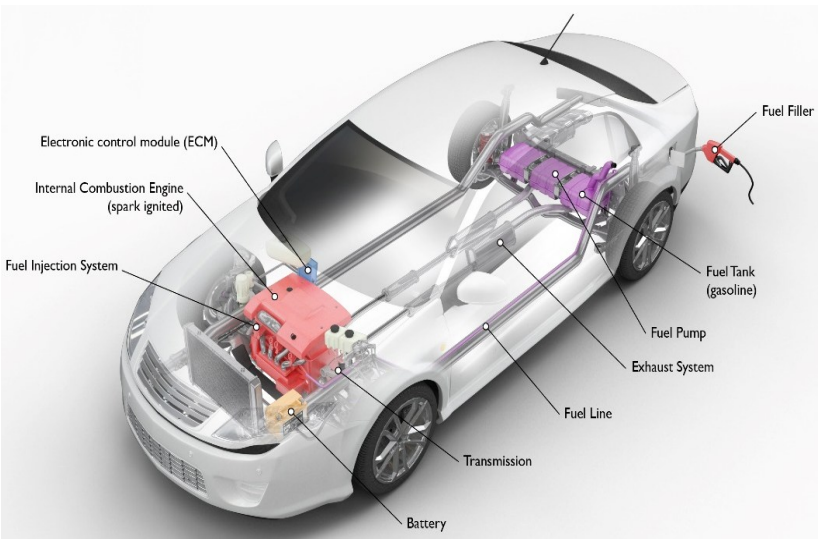
Taşıtlarda birçok farklı yakıt türü bulunmaktadır. Sürdürülebilirlik ve karbon salınımı yakıt türlerini karşılaştırmada dikkate alınması gereken konulardır. Bu konular göz önünde bulundurulduğunda yakıt türlerini temel olarak içten

[1] Mustafa ÇAVLI, Pamukkale Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi,Otomotiv Müh. Böl., Denizli/TÜRKİYE, Orcid: 0009-0006-8356-8575, mcavli22@posta.pau.edu.tr
[2] **Eylem YILMAZ ULU**, Pamukkale Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi,Otomotiv Müh. Böl., Denizli/TÜRKİYE, Orcid: 0000-0001-6257-9845, eyilmaz@pau.edu.tr

yanmalı motorlar, hibrit araçlar, elektrikli araçlar ve hidrojen yakıt pilli elektrikli araçlar olmak üzere 4 alt başlığa ayırabiliriz.

1. İçten Yanmalı Motorlu Araçlar

İçten yanmalı motorlar otomobillerin icadından günümüze kadar yaygın bir şekilde kullanılmıştır ancak içten yanmalı motorların termal verimleri %25 ile %30 arasında değişmektedir bu değer elektrikli araçların verimlerine nazaran düşük bir değerdir. Bunun haricinde günümüzde CO_2 salınımları göz önünde bulundurulduğunda, kara taşıtları arasında CO_2 salınımı en yüksek yakıt türüdür bu yüzden içten yanmalı motora sahip araçların günümüzde sürdürülebilirlik açısından bir geleceği olması söz konusu değildir [1, 30].



Şekil 19 İçten Yanmalı Motora Sahip Bir Araç [3]

İçten yanmalı motorlar yakıt olarak benzin, dizel, doğalgaz ve biyolojik yakıtlar gibi birçok yakıt kullanmaktadır. Ancak bizim inceleyeceğimiz yakıt türleri benzin ve dizeldir.

1.1 Benzinli Araçlar

Benzinli araçlar geçmişten günümüze kadar otomobillerde en çok kullanılan motor türüdür ancak son zamanlarda CO_2 salınımını düşürmek için, elektrikli ve hibrit araçların popülerleşmesiyle satış rakamları artarken benzinli araçların üretim sayısı neredeyse yarı yarıya düşmüştür [1, 2].

1.2 Dizel Araçlar

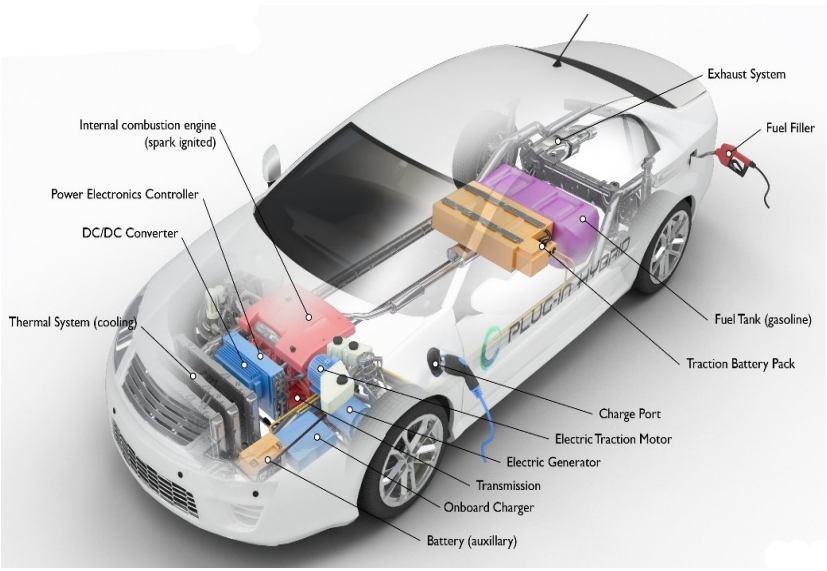
Dizel araçlar otomotiv sektöründe büyük rol sahibidir. Bunun sebebi dizel araçların benzinli araçlara göre daha verimli olmasıdır. Dizel araçlar bu avantajı sayesinde iş makinelerinde, ağır vasıta araçlarda ve bunlar gibi ağır yüke maruz bırakılan birçok alanda kullanılmaktadır. Dizel araçlar en çok CO_2 salınımı yapan araç türüdür. Bundan dolayı birçok Avrupa Birliği ülkesi ve otomotiv üreticisi önümüzdeki 20 yıl içerisinde dizel araç üretimini sonlandıracağını açıklamıştır [1, 4, 5].

2. Hibrit Araçlar

Hibrit araçlar içten yanmalı motordan elde edilen gücün haricinde araçtaki ikincil bir güç kaynağı olarak elektrik motoruna ve elektrik motorunu besleyecek bataryaya sahip araçlardır. Hibrit araçlar otomotiv sektöründe daha öncesinde spor otomobillere güç desteği için kullanılmasına rağmen 21. Yüzyıl itibariyle daha verimli ve CO_2 salınımı daha düşük araçlar için kullanılması yaygınlaşmıştır. Bu alanda otomotiv üreticileri uzun yıllardır çalışmalar yürütmektedir. Hibrit Araçları genel olarak plug-in hibrit ve hafif hibrit olmak üzere sınıflandırılabilir [2, 6].

2.1 Plug-in Hibrit Araçlar

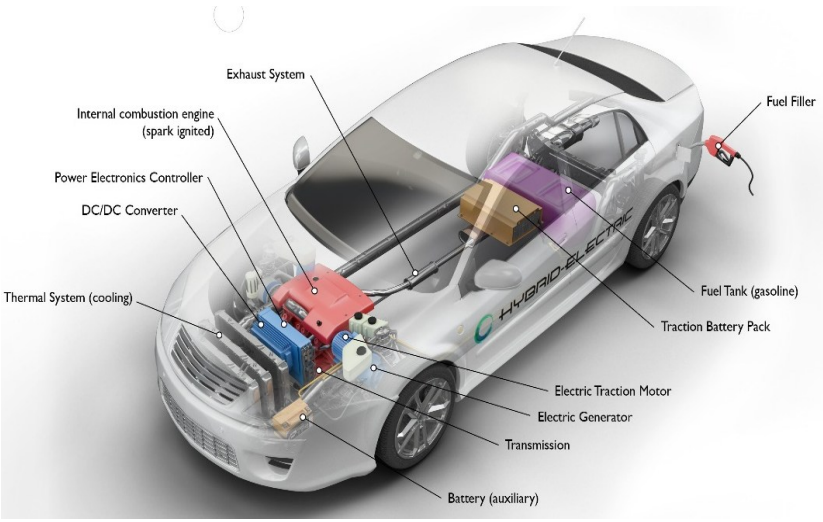
Plug-in hibrit araçlar içten yanmalı motorun dışında bataryası şarj edilen ve düşük hızlardaki hareketi elektrik motoruyla sağlayan bir sisteme sahiptir. Dışardan şarj edilmesinin haricinde çoğu plug-in hibrit araçta rejeneratif frenleme sistemiyle enerji kazanımı vardır. Bu sistem aracın verimliliğine etki etmektedir. Plug-in hibrit araçlar içten yanmalı motora sahip olmasına rağmen düşük hızlarda elektrikli araç deneyimi sunmaktadır ancak en büyük sorunu bataryasının gücü bittiğinde yakıt tüketiminin ve CO_2 salınımının artmasıdır, bunun sebebi elektrik motorunun ve bataryanın ekstra ağırlığıdır. Bu yüzden çoğu kullanıcının birincil tercihi değildir [8].



Şekil 2 Plug-in Hibrit Bir Araç [7]

2.2 Hafif Hibrit Araçlar

Hafif hibrit araçlar içten yanmalı motorun dışında bataryaya sahip araçlardır. Plug-in hibrit araçlardan farkı bataryalarının daha küçük olması ve dışardan bir şarj işleminin gerçekleşmemesidir. Hafif hibrit araçlar bataryalarını rejeneratif frenleme sistemini kullanarak elde ettiği elektrik enerjisiyle doldurur. Bu sayede araç ilk kalkışta ve düşük hızlardayken elektrik motorunu kullanılır. Hafif hibrit araçlar kullanıcı kolaylığı ve yakıt tüketimi açısından ön plana çıkmaktadır [9].

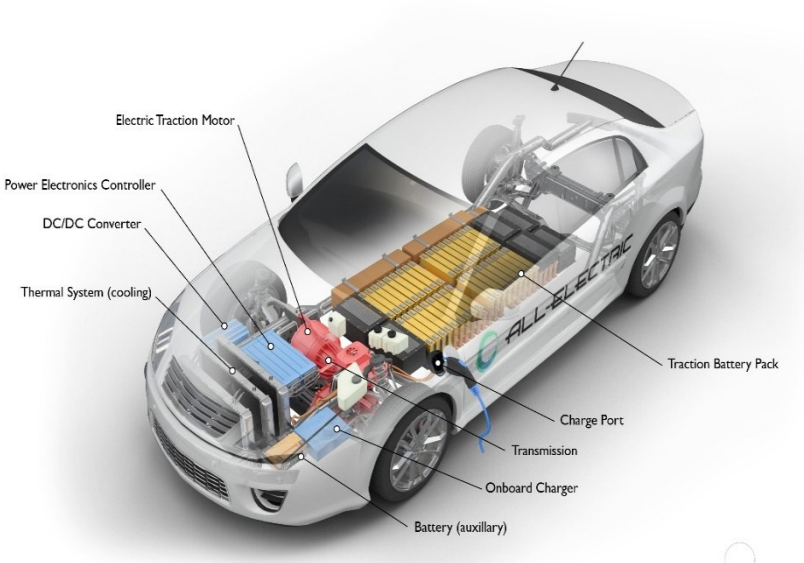


Şekil 3 Hafif Hibrit Bir Araç [29]

3. Elektrikli Araçlar

Elektrikli araçların güç kaynağı sadece bataryadır, bunun haricinde çoğu elektrikli araç rejeneratif frenleme sistemiyle enerji kazanımı sağlamaktadır. Elektrikli araçlar son yıllarda oldukça popülerleşmiş ve her geçen gün dünyanın dört bir yanında satış rakamları artmaktadır. Elektrikli araçların içten

yanmalı motorlu araçlara göre ivmelenmesinin daha iyi olması, bataryanın aracın tasarımındaki konumu sayesinde ağırlık merkezini aşağıya çekmesinden dolayı daha iyi bir yol tutuşu sağlamaktadır. Günümüzde kullanıcıların araçlarında istedikleri teknolojik özellikler araç satışlarında etkili olmaktadır, çoğu elektrikli araç içten yanmalı bir araca göre kullanıcıya daha fazla teknolojik deneyim sunmaktadır. Elektrikli araçların en büyük dezavantajları uzun şarj süreleri ve her hava koşulunda verimli olarak çalışmamasıdır. Ancak çevreci olarak lanse edilen elektrikli araçların ekosisteme içten yanmalı araçlardan daha fazla zarar verdiği göz ardı edilemez bir gerçektir bunun birçok farklı sebebi bulunmaktadır [10].



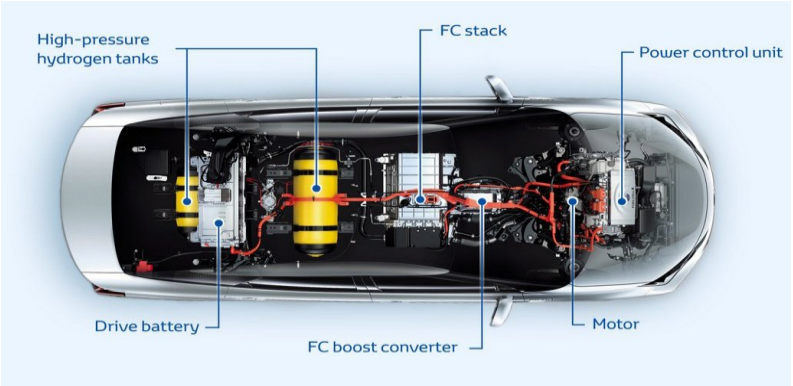
Şekil 4 Elektrikli Araç [11]

Günümüzde çoğu elektrikli aracın bataryası lityum temellidir. Lityum temelli bataryalar çevreci olarak bilinmekte fakat arka planda doğaya çok büyük zararlar vermektedir. 2021 yılında 540 bin metrik ton lityum üretilmiştir ve 2030 yılına kadar tahmini olarak 3 milyon metrik ton lityum üretileceği öngörülmektedir. Lityumun ana üretici ülkeleri Şili, Arjantin, Çin ve Avusturalya'dır. Lityum geniş bir coğrafyada üretildiği ve dünyanın dört bir yanına taşındığı için lojistiği sırasında çevreye büyük zararlar vermektedir. Lityum üretiminde yüksek miktarda su kullanılmaktadır ve çevreye zehirli atıklar salmaktadır. Bu yüzden lityum madenleri, yakınında bulunan yaşam alanlarına büyük zarar vermektedir [12].

Elektrikli araçların bir diğer problemi lityum temelli bataryaların geri dönüşümünün sağlanamamasıdır. 2030 yılına kadar elektrikli araç satışının 30 milyonu geçeceği öngörülmektedir. Bu durumda kullanım ömrü bitmiş bataryalar için birbirinden kötü iki senaryo bulunmaktadır. Bunlardan biri ömrü bitmiş bataryaların toprağa gömülmesi bir diğeri ise bataryaların uzay çöpçülüğü ile atılmasıdır. Ortalama 15 ila 20 yıllık ömrü olan elektrikli araç bataryalarının çok yakın gelecekte büyük bir çevresel felakete sebep olacağı beklenmektedir [13].

4. Hidrojen Yakıt Pilli Elektrikli Araçlar

Hidrojen Yakıt Pilli Elektrikli Araçlar prensip olarak hibrit bir araçtır. Yakıt pilleri, yakıt tankındaki hidrojeni kullanarak elektrik enerjisi üretir ve bu enerjiyi elektrik motoruna iletir. Bu aşamada bir egzoz emisyonu oluşmaz ve egzozdan sadece su atılır. Araçta hibrit araçlarda bulunduğu üzere bir batarya bulunur fakat bu batarya elektrikli araçların bataryasına göre daha küçüktür [14].

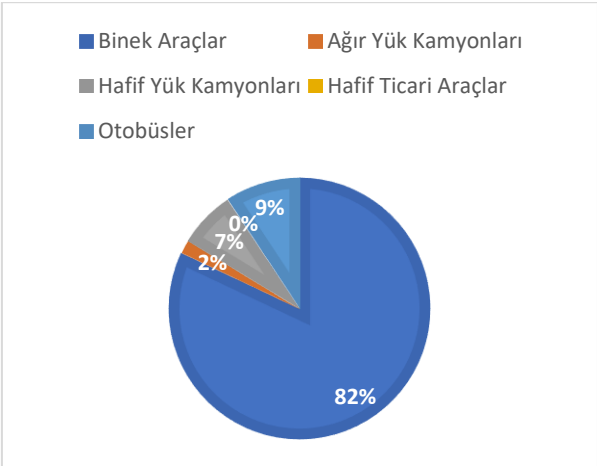


Şekil 5 Hidrojen Yakıt Pilli Elektrikli Araç [15]

Hidrojen yakıt pilleri ilk olarak NASA tarafından uzay araçlarında güç kaynağı olarak kullanılmıştır. İlk hidrojen yakıt pilli elektrikli araç tasarımı 1966 yılında GM tarafından yapılmıştır. Ancak seri üretim ilk hidrojen yakıt pilli elektrikli araç 2008 yılında Honda tarafından üretilmiştir. Aynı yıllarda birçok farklı otomotiv üreticisi bu alan üzerine konsept tasarımlar yapmıştır ancak günümüze kadar seri üretim halinde gelen model sayısı sınırlıdır. Bunun en büyük sebeplerinden biri yetersiz altyapı, çoğu otomotiv markasının elektrikli ve hibrit araçlara yatırım yapmasının yanı sıra hidrojen ve yakıt pillerinin üretimindeki maliyetlerdir [16, 17, 18].

Binek otomobillerin yanı sıra hidrojen yakıt pilleri otobüslerde, kamyonlarda, ağır vasıta araçlarda ve iş makineleri gibi çeşitli taşıtlarda kullanımına uygundur. Bunun sebebi

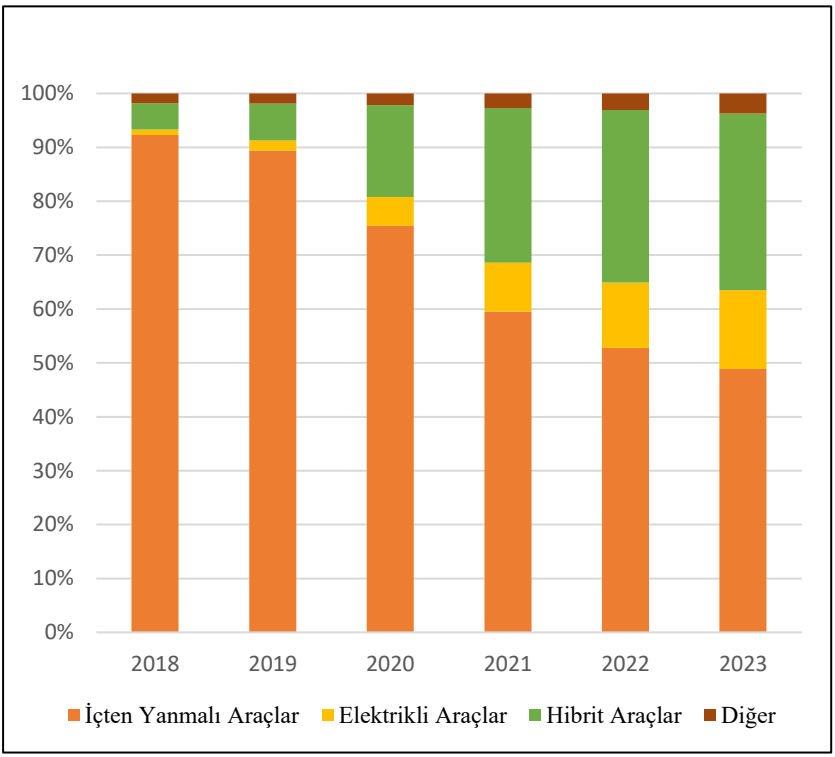
elektrik motorunun yüksek tork değerine sahip olmasıdır. Elektrikli araçların bu alanda kullanıma uygun olmamasının sebebi uzun şarj süreleridir. Hidrojen Yakıt Pilli Elektrikli Araçlarda ise bu sorun hızlı yakıt ikmali sayesinde ortadan kalkmaktadır [19].



Grafik 1 - Türlerine Göre Hidrojen Yakıt Pilli Elektrikli Araç Satış Grafiği [20]

Grafik 1 incelendiğinde binek araçların, Hidrojen Yakıt Pilli Elektrikli Araç pazarında büyük pay sahibi olduğu görülmektedir. Ancak günümüzde gelişen teknolojiyle birlikte hidrojen yakıt pilli elektrikli araçların, otobüs ve kamyon gibi ağır vasıtalarda da ivme kazandığı görülmektedir [20].

Yakıt türlerinin karşılaştırması birçok farklı kriteri göz önünde bulundurarak yapılması gerekmektedir. Bunlardan en önemlisi çağımızın en büyük problemlerinden biri olan çevre kirliliğidir.



Grafik 2 - 2018-2023 Yılları Arasında Avrupa Birliğindeki Otomobil Satışlarının Yakıt Türlerine Göre Dağılımı [2]

Grafik 2 incelendiğinde benzinli ve dizel araçların satışında büyük bir düşüş gözlenmektedir. Bunun sebebi içten yanmalı motorlara sahip araçların emisyon değerlerinin yüksek olmasının yanı sıra hükümet teşvikleridir. Benzinli ve dizel araçların aksine hibrit ve elektrikli araç satışının arttığı gözlenmektedir. Bu artış, gelişen batarya teknolojileriyle maliyetlerin düşmesi ve elektrikli araç altyapısının gelişmesiyle ilişkilendirilmektedir [2].

CO_2 salınımının yaklaşık %25 i ulaşım sektöründen kaynaklanmakta ve bunun büyük bir kısmını fosil yakıtlar

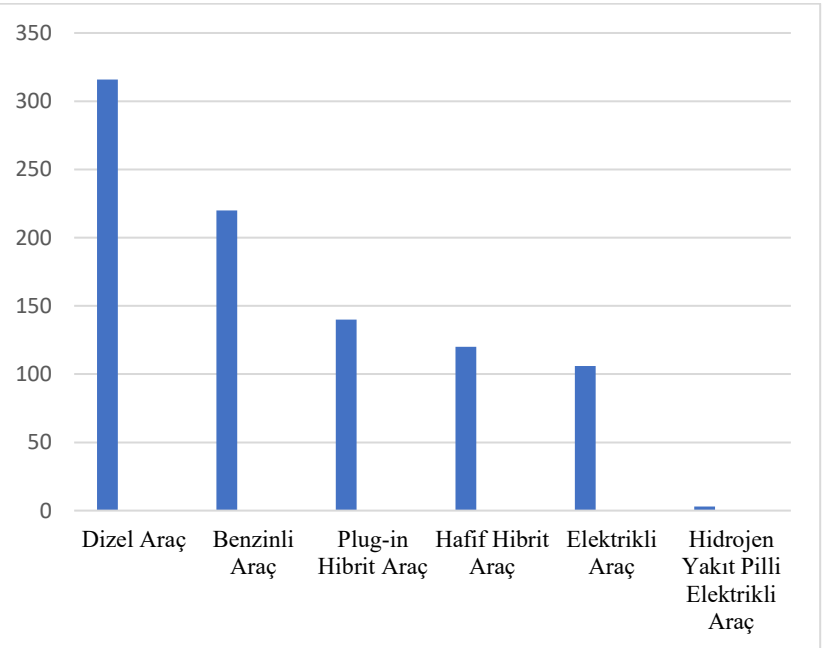
oluşturmaktadır. Bu veri, yakıt türlerinin sebep olduğu CO_2 salınımının önemini vurgulamaktadır. Kyoto Protokolü ile tüm dünya ortak bir şekilde çevre sorunlarını çözüme kavuşturmak istemektedir [21, 22].

Günümüzde en çok karbon salınımını içten yanmalı motorlara sahip araçlar yapmaktadır. En yüksek salınım kilometre başına yaklaşık 316,28 gram CO_2 salınımla dizel araçlara aittir. Benzinli araçlar ise kilometre başına yaklaşık 220,89 gram CO_2 salınımı yapmaktadır. Benzinli araçlar dizel araçlara göre daha düşük bir karbon salınım değerine sahip olmalarına rağmen diğer yakıt türleriyle kıyaslandığında bu değerler yüksek kalmaktadır [1].

Hibrit araçlar, içten yanmalı bir motora sahip olmalarına rağmen düşük bir CO_2 salınımı değerine sahiptir. Plug-in hibrit bir araç şarj edildiği taktirde km başına ortalama 100 gram CO_2 salınımı yapmaktadır. Fakat dışardan bir şarj olmadığı sürece km başına ortalama 185 gram CO_2 salınımı yapmaktadır. Bunun en büyük sebebi aracın elektrik motoruna güç sağlayan bataryanın şarjı bittiğinde araca, bataryanın ve elektrik motorunun ekstra ağırlık katmasıdır. Hafif hibrit bir araç km başına ortalama 120 gram CO_2 salınımı yapmaktadır. Bu değer dışardan herhangi bir şarj işlemi olmadan hem yakıt tüketiminin düşürüldüğünü hem de CO_2 salınımının azaltıldığını göstermektedir. Bu veriler doğrultusunda hibrit araçların yakıt tüketimi ve CO_2 salınımı açısından avantajlı olduğu görülmektedir [23, 24].

Elektrikli araçlar prensip olarak sıfır CO_2 salınımıyla çalışmaktadır. Ancak günümüzde elektrik ihtiyacının büyük bir kısmı fosil yakıtlardan elde edildiği için pratikte bu değeri yakalamak imkansızdır. Avrupa'da bir elektrikli araç kilometre başına ortalama 106 gram CO_2 salınımı yapmaktadır buda içten yanmalı ve hibrit araçlara göre düşük bir değerdir [25].

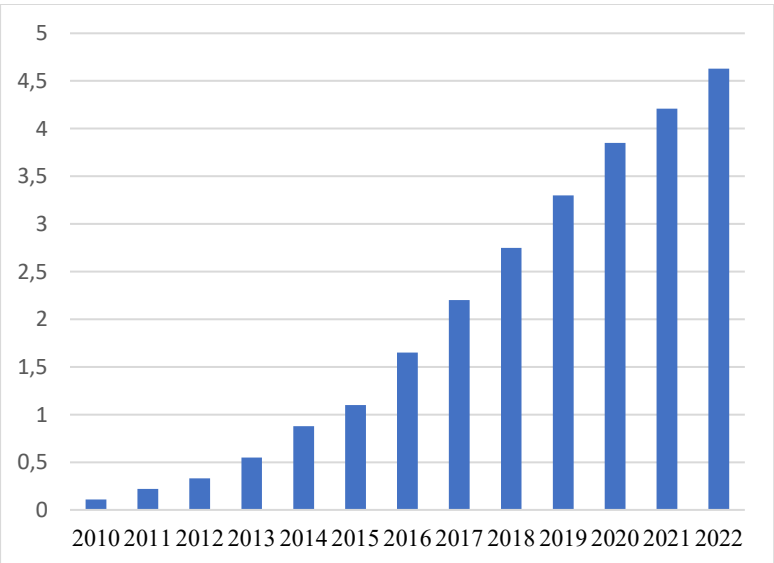
Hidrojen Yakıt Pilli Elektrikli Araçların CO_2 salınımı, üretilen hidrojenin üretim türüne göre değişiklik göstermektedir. Fakat tamamen yenilenebilir enerjiden üretilen hidrojeni yakıt olarak kullanan bir aracın CO_2 salınımı sıfırdır. Bu da Hidrojen Yakıt Pilli Elektrikli Araçları sürdürülebilirlik için en uygun çözüm olarak ön plana çıkarmaktadır. Günümüzde çoğu enerji firması yeşil hidrojen üretimi konusunda yatırımlar yapmaktadır [26].



Graik 3 - Yakıt Türlerine Göre Araçların Ortalama CO_2 Salınımı [1, 23, 24, 25, 26]

Grafik 3 incelendiğinde Hidrojen Yakıt Pilli Elektrikli Araçlar ve elektrikli araçların daha az CO_2 salınımına sahip olduğu görülmektedir. Aralarındaki en büyük faktör bataryadır. Elektrikli araçlarda bulunan büyük bataryalar bir çevre sorunu oluşturmaktadır. Bunun sebebi lityum temelli bataryaların geri

dönüştürülememesidir. Hidrojen Yakıt Pilli Elektrikli Araçların böyle bir sorunu yoktur, bunun yanı sıra elektrikli araçların bir diğer problemi şarj süresidir. Binek otomobillerde bu sorun göz ardı edilse bile otobüs, kamyon gibi ticari araçlarda bu sorun göz ardı edilemez ama Hidrojen Yakıt Pilli Elektrikli Araçlarda bu sorun ortadan kalkmıştır. Sebebi; içten yanmalı motorlu bir araca nasıl yakıt ikmali yapılıyorsa Hidrojen Yakıt Pilli Elektrikli araçlara da aynı şekilde hidrojen ikmali yapılabilmesidir. Bu çözüm elektrikli aracın şarj süre sorununu ve içten yanmalı motora sahip bir aracın CO_2 salınımı sorununu ortadan kaldırarak olabildiğince çevreci bir çözüm sunmaktadır.



Grafik 4 - Dünya Genelinde Satılan Hidrojen Yakıt Pilli Elektrikli Araçların Oranı [27]

Graik 4 incelendiğinde Hidrojen Yakıt Pilli Elektrikli Araç satışlarının arttığı görülmektedir. Bu artışın sebebi gelişen yakıt

pili teknolojileri, hükümet destekleri ve otomotiv üreticilerinin hidrojen yakıtlı araç satışlarındaki büyük kampanyalarıdır. Ayrıca Uluslararası Enerji Ajansı 2050 yılına kadar Hidrojen Yakıt Pilli Elektrikli Araç satışlarının pazarda yaklaşık %17'lik bir paya sahip olacağını öngörmektedir [27, 28].

Yakıt Pilleri

Yakıt pilleri, bir yakıtın kimyasal enerjisini, genellikle oksijen olmak üzere oksitleyici bir madde ile kimyasal bir reaksiyon yoluyla doğrudan elektriğe dönüştüren elektrokimyasal cihazlardır. Mekanik güç üretmek için yakıt kullanan geleneksel içten yanmalı motorların aksine, yakıt hücreleri temiz, verimli ve sessiz bir şekilde elektrik üretir. Yakıt hücrelerinin temel faydaları arasında yüksek verimlilik, düşük çevresel etki ve hidrojen, metan ve metanol gibi farklı yakıtların kullanımında esneklik bulunmaktadır. Bu cihazlar, taşınabilir elektronik cihazlardan sabit güç üretimi ve ulaşım sistemlerine kadar değişen uygulamalarla sürdürülebilir enerji sistemleri için giderek önem kazanmaktadır.

Yakıt pilleri, kullandıkları elektrolit türüne göre Proton Değişim Membranlı Yakıt Hücreleri (PEMFC'ler), Katı Oksit Yakıt Hücreleri (SOFC'ler) ve Alkali Yakıt Hücreleri (AFC'ler) gibi kategorilere ayrılır. Bunlar arasında PEMFC'ler, hızlı başlatma süreleri, kompakt tasarımları ve nispeten düşük sıcaklıklarda çalışabilmeleri nedeniyle ulaşımda en yaygın kullanılanlardır [31].

Hidrojen Yakıt Pillerinin Çalışma Prensibi

Hidrojen yakıt hücreleri, özellikle de PEMFC'ler, elektrik, su ve ısı üretmek için hidrojen ve oksijen arasında kimyasal bir reaksiyonu gerçekleştirerek çalışır. Temel prensip, elektron ve

protonların hidrojen moleküllerinden ayrılmasını içerir. Bu süreç üç ana bileşen aracılığıyla gerçekleşir: anot, katot ve elektrolit membran.

Anot; Yakıt pilinde anota hidrojen gazı (H_2) girişi sağlanır. Genellikle platin olan bir katalizör, hidrojen moleküllerini protonlara (H^+) ve elektronlara (e-) ayırır. Protonlar elektrolit membrandan geçerken, elektronlar harici bir devre üzerinden geçerek bir elektrik akımı oluşturur.

Elektrolit Membran; Bu katman sadece protonların katoda geçmesine izin vererek elektronların elektrik üretmek için harici olarak geçişini sağlar. Elektrolit membran tipik olarak iyonları iletirken gazlara karşı geçirimsiz olan bir polimer malzemedir.

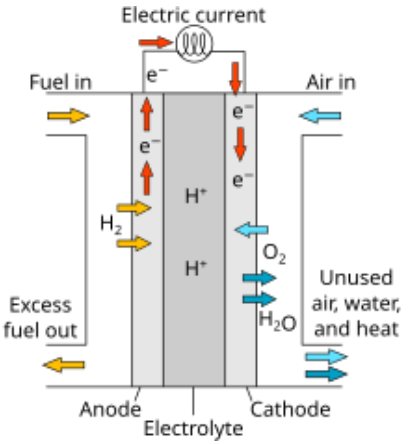
Katot; Yakıt pilinde katoda oksijen gazı (O_2) girişi sağlanır ve burada membrandan gelen protonlar ve dış devreden gelen elektronlarla reaksiyona girerek çıkış ürünü olarak su (H_2O) oluşturur.

Bir hidrojen yakıt pilindeki reaksiyonlar şu şekildedir:

Anot reaksiyonu $\Rightarrow H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$

Katot Reaksiyonu $\Rightarrow \frac{1}{2} O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$

Genel Reaksiyon $\Rightarrow H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O + \text{Elektrik} + \text{Isı}$



Şekil 6 Proton Değişim Membranın Çalışma Prensibi [36]

Şekil 6'da çalışma prensibi görülen reaksiyon ekzotermiktir ve üretilen elektrik cihazlara veya araçlara güç sağlamak için kullanılırken, ısı da yardımcı amaçlar için kullanılabilmektedir [32, 33].

Yakıt Pillerinin Otomobillere Entegrasyonu

Tipik bir Yakıt Pilli Elektrikli Araç (FCEV) bir hidrojen depolama tankı, bir yakıt hücresi yığını ve bir elektrik motorundan oluşur. Yakıt hücresi yığını motora güç sağlayan elektriği üretirken, fazla elektrik yardımcı güç ihtiyaçları için bir bataryada depolanır.

Hidrojen Yakıt Pilli Bir Araçtaki Temel Bileşenler

Hidrojen Yakıt Tankı: Sıkıştırılmış hidrojen, güvenlik ve verimlilik için tasarlanmış yüksek basınçlı tanklarda genellikle 700 bar'da depolanır.

Yakıt Pili Yığını; Aracın merkezinde yer alan yığın, hidrojeni elektriğe dönüştürür.

Batarya ve Güç Elektroniği; Bu bileşenler enerji akışını yöneterek hızlanma sırasında elektrik motorunun yeterli gücü almasını ve yavaşlama sırasında fazla enerjinin depolanmasını sağlar.

Termal Yönetim; Verimli çalışmayı sağlamak için yakıt hücresi yığınının ve diğer bileşenlerin sıcaklığını düzenleyen sistemler uygulanmaktadır.

FCEV'ler, bataryalı elektrikli araçlara (BEV'ler) kıyasla uzun sürüş menzilleri ve hızlı yakıt ikmali süreleri sunarak onları özellikle ağır hizmet ve uzun mesafe uygulamaları için uygun hale getirmektedir. Ancak hidrojen altyapısının geliştirilmesi, üretim maliyetleri ve hidrojen üretiminin çevresel etkileri açısından zorluklar devam etmektedir [34, 35].

Sonuç

Hidrojen yakıt pilleri, içten yanmalı motorlara ve diğer yakıt türlerine sürdürülebilir bir alternatif olarak araçlarda giderek daha fazla kullanılmaya başlanmıştır. Bataryalı elektrikli araçlardan üstün tarafları ise sürüş menzillerinin daha uzun olması ve yakıt ikmali için daha kısa süreye ihtiyaç duyulmasıdır. Tüm bu avantajlar göz önüne alındığında Hidrojen Yakıt Pilli Elektrikli Araçların CO_2 salınımı açısından çevreci, uzun menzil sürüş imkanı sunması açısından tercih edilebilir araçlar olarak karşımıza çıkmaktadır.

KAYNAKÇA

U.S. Environmental Protection Agency. (t.y.). **Greenhouse gas emissions from a typical passenger vehicle**. https://www.epa.gov/greenvehicles/greenhouse-gas-emissions-typical-passenger-vehicle

European Automobile Manufacturers' Association (ACEA). (t.y.). **New EU car sales by power source**. ACEA. https://www.acea.auto/figure/fuel-types-of-new-passenger-cars-in-eu/

U.S. Department of Energy. (n.d.). How do gasoline cars work? Alternative Fuels Data Center. Retrieved December 25, 2024, from https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-gasoline-cars-work

Ricochet Fuel. (n.d.). Diesel vs. Gasoline: Which Engine Type is Best for Your Needs? https://www.ricochetfuel.com/blog/diesel-vs-gasoline-which-engine-types-is-best-for-your-needs/

European Parliament. (2022, October 20). EU ban on sale of new petrol and diesel cars from 2035 explained. https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20221019STO44572/eu-ban-on-sale-of-new-petrol-and-diesel-cars-from-2035-explained

Chauhan, R., & Patel, P. (2022). Carbon emission reductions in hybrid cars. International Journal of Research Publication and Reviews, 4(11), 1234–1240

U.S. Department of Energy. (n.d.). How do plug-in hybrid electric cars work? Alternative Fuels Data Center. Retrieved

December 25, 2024, from https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-plug-in-hybrid-electric-cars-work

Mock, P., & Tietge, U. (2020). Real-world usage of plug-in hybrid electric vehicles: Fuel consumption, electric driving, and CO_2 emissions. International Council on Clean Transportation.

Posada, F., Bandivadekar, A., & Yang, Z. (2022). Real-world emissions of mild hybrid vehicles in Europe. The International Council on Clean Transportation.

McKinsey & Company. (2022). The race to decarbonize electric-vehicle batteries. https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/the-race-to-decarbonize-electric-vehicle-batteries

U.S. Department of Energy. (n.d.). How do all-electric cars work? Alternative Fuels Data Center. Retrieved December 25, 2024, from https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-all-electric-cars-work

OBN. (t.y.). **Lityum ve doğa**. Başlangıç Noktası. https://baslangicnoktasi.org/lityum-ve-doga/

Ekonomist. (t.y.). Dünyada bir süre sonra lityum sıkıntısı olabilir mi? **Ekonomist**. https://tls.tc/g2R5i

De Wolf, D., & Smeers, Y. (2023). Comparison of battery electric vehicles and fuel cell vehicles. World Electric Vehicle Journal, 14(9), 262.

Boron Extrication. (2015, October 21). Toyota Mirai fuel cell vehicle. Boron Extrication. Retrieved from https://www.boronextrication.com/2015/10/21/toyota-mirai-fuel-cell-vehicle/

Qasem, N. A. A. (2024). A recent comprehensive review of fuel cells: History, types, and applications. International Journal of Energy Research, 48(1), 123-145. doi:10.1155/2024/7271748

Hydrogen Cars Now. (n.d.). 1966 GM Electrovan - First hydrogen fuel cell vehicle. https://www.hydrogencarsnow.com

Mac's Motor City Garage. (2018, December 27). Inside the 1966 GM Electrovan, fuel cell pioneer. https://www.macsmotorcitygarage.com/video-inside-the-1966-gm-electrovan-fuel-cell-pioneer

Oak Ridge National Laboratory. (2023). Heavy-duty vehicles an ideal entry into hydrogen fuel cell use. https://www.ornl.gov

Soleimani, A., Hosseini Dolatabadi, S. H., Heidari, M., Pinnarelli, A., Mehdizadeh Khorrami, B., Luo, Y., Vizza, P., & Brusco, G. (2024). Progress in hydrogen fuel cell vehicles and up-and-coming technologies for eco-friendly transportation: An international assessment. Multiscale and Multidisciplinary Modeling, Experiments and Design, 7, 3153–3172. https://doi.org/10.1007/s41939-024-00482-8

Our World in Data. (t.y.). **Cars, planes, trains: Where do CO_2 emissions from transport come from?** https://ourworldindata.org/co2-emissions-from-transport

Xu, Y., Geelen, D., & Zhao, Y. (2018). Transport and distribution of auxin at the plasma membrane and through the cytoplasm. Unpublished manuscript.

International Council on Clean Transportation. (2022). **Real-world plug-in hybrid electric vehicle use and emissions**. https://theicct.or/pu/rea-world-phev-use-jun22/

Le Monde. (2024, 15 Ekim). Les petites voitures hybrides: Un succès inattendu. **Le Monde**. https://www.lem.f/e/article/2024/10/15/les-petites-vo-hybrides-un-succes-in.html

European Environment Agency. (2023, 27 Ekim). **New data: CO_2 emissions of new cars and vans**. European Environment Agency. https://www.eea.europa.eu/en/newsroom/news/new-data-co2-emissions-of-new-cars-and-vans

Wang, M., Elgowainy, A., Han, J., & Lee, D. (2021). Comparative analysis on carbon footprint of hydrogen fuel cell and battery electric vehicles based on the GREET model. IEEE Xplore.

Zhang, Y., et al. (2023). **Hydrogen fuel cell vehicles: Opportunities and challenges**. Sustainability, 15(15), Article 11501.

Yang, T., Qiu, X., & Jiang, Y. (2019). Research on the performance of cooling modules for supercomputer servers. Applied Sciences, 9(11), 2296.

U.S. Department of Energy. (n.d.). How do plug-in hybrid electric cars work? Alternative Fuels Data Center. Retrieved

December 25, 2024, from https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-plug-in-hybrid-electric-cars-work

Dergipark. (n.d.). Egzoz emisyonlarının çevresel etkileri.

Barbir, F. (2013). PEM Fuel Cells: Theory and Practice. Academic Press.

O'Hayre, R., Cha, S.-W., Colella, W., & Prinz, F. B. (2016). Fuel Cell Fundamentals. Wiley.

Larminie, J., & Dicks, A. (2003). Fuel Cell Systems Explained. Wiley.

Eberle, U., Felderhoff, M., & Schüth, F. (2009). Chemical and physical solutions for hydrogen storage. Angewandte Chemie International Edition, 48(36), 6608-6630.

Andò, E., et al. (2020). Advances in hydrogen production, storage, and utilization. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 130, 109933.

Wikipedia contributors. (n.d.). Proton exchange fuel cell diagram [SVG illustration]. In Wikipedia. Retrieved December 25, 2024, from https://en.wikipedia.org/wiki/File:Proton_Exchange_Fuel_Cell_Diagram.svg