



İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK VE ELEKTRONİK ANABİLİM DALI

Otonom Araçların Sertifikasyonunda Öne Çıkan
Metotların Değerlendirilmesi ve Kontrol Mekanizması
Önerisi

Yüksek Lisans Tezi
Mustafa Erdem Kırmızıgül

Ocak 2023



İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK VE ELEKTRONİK ANABİLİM DALI

Otonom Araçların Sertifikasyonunda Öne Çıkan
Metotların Değerlendirilmesi ve Kontrol Mekanizması
Önerisi

Yüksek Lisans Tezi
Mustafa Erdem Kırmızıgül

Danışman
Dr Öğr. Üyesi Haluk Bayram

Ocak 2023

TEZ JÜRİSİ ONAYI

Mustafa Erdem Kırmızıgül tarafından hazırlanan "Otonom Araçların Sertifikasyonunda Öne Çıkan Metotların Değerlendirilmesi ve Kontrol Mekanizması Önerisi" başlıklı bu Yüksek Lisans Tezi, Elektrik ve Elektronik Anabilim/bilim Dalı'nda hazırlanmış ve jürimiz tarafından kabul edilmiştir.

JÜRİ ÜYELERİ

İMZA

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Haluk Bayram
İstanbul Medeniyet Üniversitesi

Üyeler:

Prof. Dr. Emine Can
İstanbul Medeniyet Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin Şerif Savcı
İstanbul Medipol Üniversitesi

BEYANLAR

Yazım ve Kaynak Gösterme Kılavuzu Beyanı

Danışmanlığımda yazılan bu tezin tez yazım ve kaynak gösterme kılavuzunda belirtilen kurallara uygun olarak yapılandırıldığı ve bu kılavuzun APA kaynak gösterme standartlarının bu tezde tutarlı olarak uygulandığı tarafımdan incelenerek teyit edilmiştir.

İmza

Dr. Öğr. Üyesi Haluk Bayram

Etik İlkelere Sadakat Beyanı

Hazırladığım bu tezin tamamen kendi çalışmam olduğunu, akademik ve etik kuralları gözeterek çalıştığımı ve her alıntıya kaynak gösterdiğimi beyan ederim.

İmza

Mustafa Erdem Kırmızıgül

ÖNSÖZ/TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitimim süresince mühendislik alanında gelişimime katkı sunan, beni kontrol sistemlerinin günümüzde en ileri seviyesi olan robotik ve yapay zeka uygulamaları ile tanıştırmak meslek hayatıma yeni bir alan daha kazandıran, profesyonel hayatımda bilgi, deneyim ve görüşlerinden memnuniyetle istifade ettiğim hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Haluk Bayram'a, tezime yapmış olduğu katkılardan dolayı jüri üyeleri Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin Şerif Savcı'ya, Prof. Dr. Emine Can'a ve bu çalışmada bana eşlik etmeleri sayesinde genç Türk mühendislerinin derin ufkuna, yüksek anlayışına, kararlı ve tutarlı çalışma disiplinlerine şahit olarak ülkemizin geleceğine olan inancımı pekiştiren başta Sayın Hasan Feyzi Doğruyol'a ve Saha Robotiği Laboratuvarı üyesi diğer mühendis arkadaşlarıma akademik ve profesyonel hayatıma katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca lisansüstü eğitimim süresince evime ve aileme ayırmam gereken vakti derslerime, sınavlarıma ve tez çalışmalarına ayırmamı hoş gören, profesyonel ve kişisel hayatımda devamlı bana destek olarak mesleğimde ve kariyerimde elde ettiğim başarıların gerçek sahibi olan eşim Burcu Kırmızıgül'e, özellikle canlı derslerim ve tez toplantıları sırasında her talep edişimde oyun ve eğlencelerinden fedakarlık etmeyi kabul eden sevgili çocuklarım Ayşe Beyza'ya ve Ahmet Selim'e hayatıma kattıkları her güzel şey için ayrı ayrı teşekkür ederim.

Ankara, Ocak 2023

Mustafa Erdem Kırmızıgül

ÖZET

Otonom Araçların Sertifikasyonunda Öne Çıkan Metotların Değerlendirilmesi ve Kontrol Mekanizması Önerisi

Mustafa Erdem KIRMIZIGÜL

Yüksek Lisans Tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik-
Elektronik Mühendisliği Programı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Haluk BAYRAM

Ocak, 2023. 61 Sayfa

1997’de İsveç Parlamentosunun kabul etmiş olduğu “Vizyon Sıfır” politikası ile trafikte ölümlerin ve ciddi yaralanmaların sıfıra indirilmesi hedeflenmiştir. Bu hedefin elde edilebilmesi için trafikte otonom araçların kullanılması öngörülmüş ve otonom araçların yetkilendirilmesi için yol haritasının belirlenmesi amaçlanmıştır. “Vizyon Sıfır” politikası hızla diğer ülkeler tarafından da benimsenmiş ve dünyada gündem haline gelmiştir. Bununla birlikte otonom bir aracın yetkilendirilebilmesi için sahip olması gereken temel emniyet gereksinimlerinin neler olduğu, bu gereksinimlerin nasıl doğrulanarak sertifikalandırılacağı ve hangi metotların kullanılacağı konuları hala açıklığa kavuşmuş değildir. Bir taraftan bu belirsizliklerin ortadan kaldırılması için çalışmalar yapılırken diğer bir taraftan da yapılan çalışmalar doğrultusunda otonom araçların kullanıcıların hizmetine sunulması için araçları, altyapıyı ve trafik uygulamalarını kapsayacak ulusal ve uluslararası mevzuat çalışmaları devam etmektedir. Bu tez çalışmasında otonom aracın sahip olması gereken temel emniyet gereksinimlerinin neler olduğu, aracın sertifikasyonu için hangi metotların, sürecin hangi safhasında, hangi aktörler tarafından, hangi alanlarda kullanılması gerektiği ve resmi otoritelerin sertifikasyon sürecini nasıl kontrol edebileceği problemleri ele alınmıştır. Bu kapsamda otonom araçların sertifikasyonunda öne çıkan RSS, STPA ve PEGASUS metotları incelenmiş, aracın yetkilendirme süreci bir akış diyagramı haline getirilerek incelenen metotların bu süreçte hangi aşamalarda, hangi aktörler tarafından, hangi alanlarda kullanılabileceği belirlenmiştir. Ayrıca otonom araçlarla demiryolu araçlarının sertifikasyon ve yetkilendirme süreçlerinin benzerlikleri dikkate alınarak, bu süreçlerin kolayca kontrol edilebilmesi için kanıtlanmış bir kontrol mekanizması önerilmiştir. Böylece yürütülmekte olan mevzuat çalışmalarına katkıda bulunulması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Otonom Araç, Sertifikasyon, Vizyon Sıfır, RSS, STPA, PEGASUS, Uygunluk Değerlendirme.

ABSTRACT

Evaluation of the Prominent Methods in the Certification of Autonomous Vehicles and Development of a Control Mechanism

Mustafa Erdem KIRMIZIGÜL

Master Thesis, Department of Electrical and Electronics Engineering, Electrical and Electronics Engineering Program

Advisor: Asst. Prof. Haluk BAYRAM

January, 2023. 61 Pages

The "Vision Zero" policy introduced by the Swedish Parliament in 1997 aims to reduce fatalities and serious injuries in traffic to zero. In order to achieve this goal, the use of autonomous vehicles in traffic is envisaged and a road map for the authorization of autonomous vehicles is aimed to be determined. The "Vision Zero" policy was quickly adopted by other countries and became a global agenda. However, there are still unclear points such as basic safety requirements that an autonomous vehicle must meet in order to be authorized, how these requirements will be verified and certificate and which methods will be used. On the one hand, efforts are being made to eliminate these uncertainties; on the other hand, national and international legislation studies continue to cover vehicles, infrastructure and traffic practices in order to put autonomous vehicles into the service of users. In this thesis, we consider the problems of what the basic safety requirements that autonomous vehicles must meet are, which methods should be used for the certification of the vehicle, at which stage of the process, by which actors, in which areas, and how the official authorities can control and monitor the certification process. In this context, RSS, STPA and PEGASUS methods, which are prominent in the certification of autonomous vehicles, have been examined, the authorization process of autonomous vehicle has been turned into a flow diagram and it has been determined at which stages, by which actors and in which areas the methods examined can be used in this process. In addition, taking into account the similarities between the certification and authorization processes of autonomous vehicles and railway vehicles, a control mechanism has been proposed to easily control and monitor certification and authorization processes. Thus, it is aimed to contribute to the ongoing legislative works.

Keywords: Autonomous Vehicles, Certification, Vision Zero, RSS, STPA, PEGASUS, Conformity Assessment.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ/TEŞEKKÜR.....	5
ÖZET	6
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ.....	x
KISALTMALAR.....	xi
SEMBOLLER LİSTESİ.....	xii
BÖLÜM I: GİRİŞ	1
1.1 PROBLEMİN TANIMLANMASI	2
1.2 LİTERATÜR ÖZETİ.....	2
1.3 YAKLAŞIM VE TEZİN KATKISI.....	5
1.4 TEZ ORGANİZASYONU	7
BÖLÜM II: OTONOM ARAÇLARIN EMNİYETİ	8
2.1. OTONOM ARAÇ İÇİN EMNİYET ANLAYIŞI	8
2.2 TEMEL EMNİYET GEREKSİNİMLERİ	8
BÖLÜM III SERTİFİKASYONDA ÖNE ÇIKAN METOTLAR	12
3.1 RESPONSIBILITY SENSITIVE SAFETY (RSS) METODU.....	12
3.1.1 Otonom Aracın Emniyetinin Beş Kuralı.....	13
3.1.2 Responsibility Sensitive Safety (RSS) Metodunun Uygulaması	18
3.3 PEGASUS METODU	20
3.3.1 Veri İşleme	25
3.3.2 Gereksinimlerin Tanımı	25
3.3.3 Veritabanı	26
3.3.4 Yüksek Otonom Sürüş Fonksiyonunun Değerlendirilmesi	27
3.3.5 Argümantasyon	28
3.4 STPA METODU	28
3.4.1 STPA Metodunun Adımları	32
3.4.2 STPA Metodunun ISO 26262 ile Kullanılması	33
BÖLÜM IV: SERTİFİKASYON İÇİN ÖNERİLEN METOTLAR ARASINDA BİR KARŞILAŞTIRMA	36
4.1 UYGULAMA ALANLARI.....	39
4.2 OLASI KULLANICI PAYDAŞLARI.....	40
4.3 UYGULANABİLİRLİĞİ.....	40
4.4 METOTLARIN SERTİFİKASYON VE YETKİLENDİRME SÜRECİNDEKİ ROLLERİ	41

BÖLÜM V: SERTİFİKASYON SÜRECİNDE BİR KONTROL MEKANİZMASI	42
5.1 DEMİRYOLLARINDA UYGUNLUK DEĞERLENDİRME MEKANİZMASI	42
5.2 DEMİRYOLLARINDA UYGUNLUK DEĞERLENDİRME SÜREÇLERİNİN OTONOM ARAÇLARA UYARLANMASI	48
BÖLÜM VI: SONUÇ.....	56
KAYNAKÇA.....	59



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. 1. Otonom Aracın Tasarım, Üretim, Sertifikasyon ve Hizmete Sunulma Süreci	1
Şekil 1. 2. SAE Otonomi Seviyeleri	3
Şekil 2. 1. Hatalı Sollayan Aracın Sollamayı Zamanında Başaramaması Durumu ...	9
Şekil 2. 2. Hatalı Sollayan Aracın Sollamayı Zamanında Tamamlayamaması Durumu.....	10
Şekil 3. 1. Takip Eden İki Araç Arasında Tepki Süresi ve Fren Mesafesi.....	13
Şekil 3. 2. Boyuna Güvenli Mesafe	14
Şekil 3. 3. Güvenli Yanal Mesafe	15
Şekil 3. 4. Yol Hakkı.....	16
Şekil 3. 5. Sınırlı Görüşü Olan Alanlar.....	17
Şekil 3. 6. Başka Bir Çarpışmaya Neden Olmadan, Çarpışmadan Kaçın	18
Şekil 3. 7. Öndeki Aracın Hızlanması, Öndeki Aracın Daha Düşük Hızla Hareket Etmesi	199
Şekil 3. 8. Öndeki Aracın Yavaşlaması (Solda), Öndeki Aracın Durması	199
Şekil 3. 9. Şerit Değişirme, Yanlış Şeritten Dönüş, Drift Yapma	199
Şekil 3. 10. Emniyetli Olmayan Şerit Değişirme, Emniyetli Şerit Değişirme	19
Şekil 3. 11. Sürüş Becerileri	222
Şekil 3. 12. PEGASUS Sistematiğinin Akış Yönü	23
Şekil 3. 13. PEGASUS Sistematiği	244
Şekil 3. 14. 1703.03657 STPA ve ISO 26262 Kapsamlarının Karşılaştırılması.....	311
Şekil 3. 15. STPA Metodunun Uygulanma Süreci	33
Şekil 3. 16. STPA'nın ISO 26262'ye Entegrasyonu.....	355
Şekil 4. 1. Sertifikasyon ve Yetkilendirme Sürecinde RSS, STPA ve PEGASUS Metodlarının Rollerini.....	377
Şekil 4. 2. Gereksinimlerin Yakalanma Süreci.....	49
Şekil 4. 3. Gereksinimlerin Belirlenmesi	533
Şekil 4. 4. Gereksinimlerin Yakalanma Süreci.....	544

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1. STPA ve ISO 26262 Terminolojilerinin Karşılaştırılması	29
---	----



KISALTMALAR

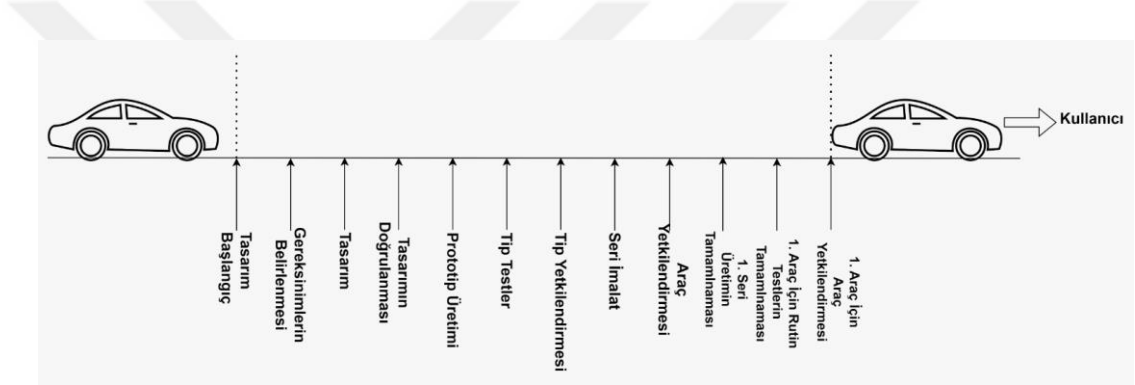
AB	Avrupa Birliği
AsBo	Değerlendirme Kuruluğu (Assesment Body)
COTIF	Uluslararası Demiryolu Taşımalarına İlişkin Sözleşme (The Convention Concerning International Carriage By Rail)
DeBo	Atanmış Kuruluş (Depointed Body)
NoBo	Onaylanmış Kuruluş (Notified Body)
NHTSA	Ulusal Karayolları Trafik Emniyeti İdaresi
OTIF	Uluslararası Demiryolu Taşımacılığı Hükümetler Arası Örgütü
SAE	Otomotiv Mühendisleri Topluluğu (Society of Automotive Engineers)
TSI	Karşılıklı İşletilebilirlik Spesifikasyonları (Technical Specification For Interoperability)
UTP	Tek Tip Teknik Yönergeler (Uniform Technical Prescriptions)
ÜRGE	Üretim Geliştirme

SEMBOLLER LİSTESİ

α_{maks}	tepki süresinde maksimum hızlanma (acceleration)
β_{maks}	öndeki araç için izin verilen maks. yavaşlama (deceleration)
β_{min}	öndeki araç için izin verilen minimum yavaşlama (deceleration)
$\beta_{1,yanal,min}$	sağa minimum yavaşlama (deceleration)
$\beta_{2,yanal,min}$	sola minimum yavaşlama (deceleration)
μ	emniyetli asgari yanıl mesafe
$d_{takip,min}$	minimum emniyetli takip mesafesi
$d_{yanal,min}$	minimum emniyetli yanıl mesafe
p_a	arkadaki aracın tepki süresi
p	öndeki aracın tepki süresi
v_a	arkadaki aracın hızı
$v_ö$	öndeki aracın hızı
v_1	sağa yanıl hız
v_2	sola yanıl hızları
$v_{1,t}$	tepki süresi içerisinde aracın sağa yanıl hızı
$v_{2,t}$	tepki süresi içerisinde aracın sola yanıl hızı

BÖLÜM I: GİRİŞ

Günümüzde şerit takip ve uyarı, çarpışma önleme, adaptif hız sabitleme, yorgunluk algılama gibi otonom sürüş fonksiyonları pek çok otomobil modelinde sunulmaktadır. İnsan kontrolünden bağımsız tam otonom sürüş fonksiyonlarına sahip araçlara trafikte rastlamak üzere olduğumuz bir safhada bulunduğumuz gayet açıktır. Teknik gelişmelerini yeterli düzeyde tamamladıkları öngörülen otonom araçların kullanıma sunulabilmesi için üstesinden gelinmesi gereken en önemli sorunlardan biri ise, teknik ve fonksiyonel temel gereksinimlerin belirlenmesi, test, sertifikalandırma ve resmi otoriteler tarafından hizmete sunma yetkilendirmesi süreçlerinin nasıl bir mekanizma dahilinde, hangi yöntemlerle yapılacağıının netleştirilmesi gerektiğidir.



Şekil 1.1. Otonom Aracın Tasarım, Üretim, Sertifikasyon ve Hizmete Sunulma Süreci.

Hali hazırda otonom araçların temel gereksinimlerinin belirlenmesi ve bu gereksinimlerin test edilerek belgelendirilmesi ile ilgili resmi olarak kabul edilmiş belli bir metodoloji veya mevzuat bulunmamaktadır. Bu sebeple hem ülkemiz hem de Avrupa Komisyonu tarafından, bu konularda yürütülmekte olan çalışmalar takip edilmekte ve uluslararası düzeyde ihtiyaçları karşılayacak bir test metodolojisinin geliştirilerek kabul edilmesi beklenmektedir. Bu süreçte örneğin İsveç "Vizyon Sıfır" politikası ile trafikte insan hatasından kaynaklanan kazaların sifira indirilmesi için yol haritasını belirlemiştir (Vision Zero). Fransa mevzuat hazırlama çalışmalarına başlamıştır (Fransa Cumhuriyeti, 2018). Almanya ise otomobil ve otomobil malzemeleri üreten firmalarla bilim insanlarını bir araya getirdikleri projeleri destekleyerek bu ihtiyacın karşılanmasını teşvik etmektedir (PEGASUS Research Project). Bunların yanında akademik olarak da bu konuda geçmişten beri gelen çalışmalar devam etmekte, geliştirilen yöntemlerin daha da olgunlaştırılması, önerilen

yöntemlerin eksikliklerinin giderilmesi ve uygulamada karşılaşılmaması öngörülen sorunların üstesinden gelinmesi için çalışmalar yürütülmektedir.

1.1 PROBLEMİN TANIMLANMASI

Otonom araçların sertifikasyonu için geliştirilen yöntemlerin tasarımdan yetkilendirmeye kadar ele alınan sertifikasyon sürecinde rol alan hangi aktörlerin kullanımına sunulacağı, ne amaçla kullanılacağı konularının incelendiği ve süreci bütüncül bir şekilde ele alan bir çalışma yapılmamıştır. Ayrıca sertifikasyon sürecinde ulusal ve uluslararası mevzuata veya standartlara aykırı bir tasarım veya test uygulanması durumunda, bu uygunsuzluğun tespit edilerek bir sonraki adıma geçilmeden önce tespit edilen eksikliklerin giderilmesine imkan sunan bir kontrol mekanizması da öne sürülmemiştir. Bu sebeple belki de sürecin en başında yapılan bir yanlışlık sürecin en sonunda tespit edilebileceğinden, hem zamanın, hem de yatırımların bir kısmının kaybedilmesine neden olabilecektir. Öte yandan resmi yetkilendirme makamının, yetkilendirme için başvurusu yapılan otonom aracın tasarımının doğrulanmasını, tasarıma uygun şekilde üretilecek prototip ürünlerin yetkili test merkezlerinde testlere tabi tutulması ve test sonuçlarının uygunluğunun kontrol ve teyit edilmesi sürecini ve seri üretime izin verilmesi halinde üretilen araçların üretim şartlarının uygunluğunu nasıl bir kontrol mekanizması ile yöneteceğine ilişkin bir projeksiyon da sunulmamıştır. Bu tez çalışması ile tüm bu sorulara cevap olarak açıklamalarda ve önerilerde bulunulmuştur.

1.2 LİTERATÜR ÖZETİ

Otomotiv Mühendisleri Birliği (Society of Automotive Engineers - SAE) sürücünün aracın kontrolüne ne derece dahil olduğunu ölçü kabul ederek, otonom araçları Şekil 1.2'deki gibi sınıflandırmıştır.



Şekil 1.2. SAE Otonomi Seviyeleri (Başargan, 2019).

Avrupa Birliği'nin 2019 yılında yayımlanmış olduğu, "Otonom Araçların AB Onayı İçin Muafiyet Prosedürü" adlı kılavuzunda, SAE 3 ve SAE 4 seviyesindeki araçların testlerinin tamamlanarak 2020 yılı itibari ile ticari ürüne dönüştürülebildiği ifade edilmektedir. (D.G. For Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs (EU, 2019) Bu sebeple tez çalışmamızda AB'nin ele almış olduğu SAE 3 ve SAE 4 seviyesindeki araçların sertifikasyonu ve yetkilendirilmesi için geliştirilmiş yöntemler ele alınmıştır.

Otonom araçların emniyet gereksinimlerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi konusunda pek çok akademik çalışma yapılmış olmakla birlikte, Avrupa Komisyonu tarafından, gelecekte otonom araçların test edilmesi ve resmi otoriteler tarafından hizmete sunma için yetkilendirilmesi için kabul edilebilecek yöntemlerle ilgili raporunda RSS, STPA ve PEGASUS yöntemlerinin öne çıktığı açıklanmaktadır (Galassi, Lagrange ve Tsakalidis, 2020).

RSS yöntemi Mobileye firması tarafından ilk kez 2017 yılında, otonom araçların emniyetinin garanti altına alınabilmesi için temel iki probleme cevap bulmak üzere geliştirilmiştir (Shalev-Shwartz, Shammah, ve Shashua, 2017). Bunlardan ilki; otonom bir aracın sağlaması gereken temel emniyet gereksinimlerinin neler olduğudur. İkincisi ise; otonom aracın temel emniyet gereksinimlerini sağladığının nasıl doğrulanabileceğidir. RSS'in geliştiricilerinin dikkat çeken vaadi ise bu sorulara cevap verirken, net matematiksel modeller önerilecek olmasıdır. RSS sayesinde belirlenen matematiksel modeller Newton mekaniğine dayanmaktadır (Koopman, Osyk, Weast,

2019). Bu matematiksel modeller otonom aracın temel emniyet gereksinimlerinin doğrulanmasının yanısıra, bu gereksinimlerin sağlanabilme kabiliyetinin derecelendirilmesine de imkan sağlayacaktır. RSS yöntemi otonom araçlar üzerinde otonomi fonksiyonlarının yerine getirmesi gereken temel fonksiyonlar üzerinde yapılan ilk çalışmadır. RSS, yalnızca bir değerlendirme yöntemi olmakla kalmayıp, otonom araç tasarımcılarına da geliştirmekte oldukları araçların trafikteki davranış biçimlerini belirlemede de referans olmuştur.

STPA yöntemi ise ilk kez 2010 yılında MIT ile JAXA/JAMSS üniversitelerinden akademisyenlerin uzay araçlarının emniyet seviyelerinin tasarım aşamasında analiz edilerek uygun önlemlerin belirlenmesi ve tasarıma yansıtılması amacıyla, yazılım ve donanım bileşenlerinden oluşmakta olan sistemlerin teorik kaza analizi için geliştirilmiştir (Ishimatsu, Leveson, Thomas, Katahira, Miyamoto, Nakao, 2010). Bu analiz yöntemi 2013 yılında otonom araçların emniyet seviyelerinin belirlenebilmesi için otomotiv sektörüne uyarlanmıştır (Abdulkhaleq, Wagner, 2013). STPA yönteminin otomotiv sektöründe kullanımı, halihazırda otonom fonksiyonlara sahip olmayan konvansiyonel araçların emniyetinin değerlendirilmesi için temel gereksinimlerin belirlenmesinde ve doğrulanmasında referans alınan ISO 26262'nin otonom araçlara uyarlanabilmesi için STPA yönteminin kullanılması fikri üzerine inşa edilmektedir.

PEGASUS yöntemi üzerine ilk çalışmalara Ocak 2016 yılında başlanmış olup, Alman Federal Devleti'nin desteği ile ortaya çıkmıştır (PEGASUS Research Project). Bu proje ile Alman otomobil endüstrisinin önde gelen firmalarının ve akademi dünyasının katılımı ile, otonom araçların sağlanması gereken temel emniyet kriterlerinin, bu kriterlerin test edilebilmeleri için gereken araç gereçlerin ve test metodları ile senaryolarının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Proje kurgusunda temel emniyet gereksinimlerinin bölgesel olarak değişebileceği de dikkate alınarak aracın sertifikasyon sürecinin farklı bölgeler için farklı test senaryolarının geliştirilebilmesine imkan sağlayarak test ve resmi yetkilendirme süreçlerinin dinamik bir yapıyla birleştirildiği bir yöntem tanımlanmıştır.

Otonom araçların sertifikasyonunda öne çıkan bu yöntemlerin, tasarımdan yetkilendirmeye kadar dikkate alınan sertifikasyon sürecinde rol alan hangi aktörün kullanımına sunulacağı, ne amaçla kullanılacağı konularının incelendiği sürecin bütüncül bir şekilde ele alan bir çalışma yapılmamıştır. Ayrıca sertifikasyon sürecinde

rol alan aktörlerin, birbirleri ve resmi emniyet makamı ile koordinasyonu nasıl sağlayacağı sorusu hala cevaplanmış değildir. Diğer bir husus ise süreçte ulusal ve uluslararası mevzuata veya standartlara aykırı bir tasarım veya test uygulanması durumunda, bu uygunsuzluğun tespit edilerek bir sonraki adıma geçilmeden önce tespit edilen eksikliklerin giderilmesine imkan sunan bir kontrol mekanizması da öne sürülmemiştir. Bu sebeple belki de sürecin en başında yapılan bir yanlışlık sürecin en sonunda tespit edilebileceğinden, hem zamanın, hem de yatırımların bir kısmının kaybedilmesine neden olabilecektir.

1.3 YAKLAŞIM VE TEZİN KATKISI

Tezimizde öncelikle bu güne kadar otonom araçların temel gereksinimlerinin belirlenmesi, doğrulanması ve resmi olarak yetkilendirilmesi için geliştirilen RSS, STPA ve PEGASUS yöntemlerinin tüm gelişim safhaları ve günümüzde ulaşılan sonuçlar incelenmiştir. Ayrıca belirlenen kritere göre resmi uluslararası otoriteler tarafından kabul edilmek üzere herhangi bir emniyet açığına sebep olunmaksızın, sertifikasyon sürecinde cevabı aranan sorulara yanıt verebilmeleri ve uygulanabilirlikleri incelenmiştir. Otonom bir aracın tip tasarımının başlamasından, seri üretimi tamamlanarak resmi otoriteler tarafından ruhsatlandırılmak suretiyle kullanıcıya teslim edilmesi aşamasına kadar ele alınan metotların hangi aşamalarda, hangi aktörler tarafından kullanılacağı netleştirilerek şematik bir gösterimle açıklanmıştır. Daha sonra metotların birbiri ile ilişkileri ve bazı kriterlere göre karşılaştırmaları yapılmış ve bu yöntemler sayesinde tüm soruların yanıtlanmış olup olmadığı değerlendirilmiştir.

Bu tez sayesinde otonom aracın tasarımının başlangıcından, yetkilendirilmesi, yani ruhsatlandırılması aşamasına kadar sertifikasyon sürecinde izlenmesi gereken aşamalar ve kullanılması öngörülen yeni metotlar açıklanarak süreçte rol oynayan tüm aktörlere ışık tutulması amaçlanmıştır. Böylece otonom araç üreticilerinin aracın teknik yönlerinin geliştirilmesinin yanında hangi alanlarda çalışma yapılması gerektiği konusunda dikkatlerinin çekilmesi ve özellikle bu teknoloji üzerinde Ar-Ge ve Ür-Ge çalışmaları yapmakta olan yerli endüstrimize katkı sağlanması amaçlanmıştır. Aynı zamanda otonom araçların yetkilendirilmesinden sorumlu resmi otoritelere, yapılacak mevzuat çalışmaları için güncel literatürün özetlenmesi açısından bir katkı sunulması

amaçlanmış ve sürecin her aşamasının resmi otoritelerce detaylı ve şeffaf bir şekilde monitörize edilebilmesi için kanıtlanmış bir kontrol mekanizması önerilmiştir.

Otonom araçların sahip olması gereken temel gereksinimler ve bu gereksinimlerin doğrulama ve sertifikalandırma süreçleri incelenirken, öngörülen süreçlerin demiryolu araçlarının sertifikalandırma süreçleri ile benzerliği fark edilmiştir. Buradan yola çıkılarak bugüne kadar otonom araçların sertifikasyon ve yetkilendirilme süreçleri için önerilmiş olan yöntemlerde açıklanmayan bir eksiklik tespit edilmiştir. Demiryolu araçlarının temel gereksinimlerinin belirlenmesi, doğrulama, sertifikasyon ve yetkilendirme süreçlerinde olduğu gibi otonom araçların benzer süreçlerinde de tasarım, üretim, doğrulama ve sertifikasyon süreçlerinin resmi yetkilendirme süreçleri ile bütünleşik bir şekilde ilerlemesi gerektiği dikkate alındığında, üretilecek her bir otonom araç için bu süreçleri üreticiler, test merkezleri ve resmi otoriteler arasında yürütmek üzere uzman personeller görevlendirilmesi ve bu personellerin, araçların üretim yerlerine göre projeler boyunca uzun sürelerle farklı üretim bölgelerinde yürütülecek tasarım, analiz, simülasyon, test ve doğrulama çalışmalarına katılması ihtiyacı ortaya çıkacaktır.

Günümüzde otonom araçların gelişim düzeyleri ve trafikte kullanıma hazırlıkları göz önünde bulundurulduğunda, bu araçların resmi olarak yetkilendirilmesi ile görevlendirilecek kurumların bu yetişmiş insan kaynağının hazırlanması gerektiği öngörülmektedir. Bu yetişmiş insan kaynağının uzmanlıkları itibariyle tüm dünyada talep görecektir olması sebebiyle devamlılığının sağlanmasının hiç de kolay olmayacağı öngörülebilmektedir. Dolayısıyla resmi otoritelerin bu süreçte bir kontrol mekanizması ile desteklenmediği sürece üstesinden gelmesi oldukça güç bir problemle karşı karşıya olduğu değerlendirilmektedir. İşte bu noktada demiryolu araçlarının tasarım, doğrulama, sertifikasyon ve yetkilendirme süreçlerinde resmi otoritelerle koordineli bir şekilde faaliyet gösterecek uygunluk değerlendirme kuruluşlarının rol alabileceği değerlendirilmiştir. Demiryolu araçlarında resmi yetkilendirme süreçlerinde otoritelerle uygunluk değerlendirme kuruluşlarının birlikte nasıl çalıştıkları, hangi yöntemlerin kullanıldığı ve sürecin ulusal ve uluslararası boyutta nasıl yönetildiği açıklanarak otonom araçlarda benzer bir kurgunun yapılabileceği öngörülmüştür.

1.4 TEZ ORGANİZASYONU

Bu tezin 2. bölümünde öncelikle otonom aracın konvansiyonel bir araçtan farklı olarak otonomi fonksiyonları itibariyle emniyetinin nasıl yorumlandığı açıklanarak ve otonomi fonksiyonlarının yerine getirmesi beklenen temel emniyet gereksinimleri belirlenmiştir. 3. bölümde ise sertifikasyon için önerilen metotlardan RSS, STPA ve PEGASUS yöntemleri açıklanmış, 4. bölümde ise otonom aracın sertifikasyon ve yetkilendirme sürecinde bu yöntemlerin hangi alanlarda, ne amaçlarla kullanılabilceği, kullanım kitlesinin hangi aktörlerden meydana gelebileceği, yapılan güncel çalışmalar itibariyle sertifikasyon ve yetkilendirme sürecinde cevaplanması gereken sorulara yeterli cevapların verilebilirliği açısından kullanıma hazır seviyede gelişmelerinin tamamlandığı ve uygulanabilirlikleri değerlendirilerek süreç içerisindeki rolleri belirlenmiş, şematik bir gösterimde özetlenmiş ve ortak yönleri ile aralarındaki ilişkiler itibariyle bir kıyaslama yapılmıştır.

5. bölümde bugüne kadar öne sürülen yöntemlerde resmi otoritelerin rolünü üstlenmek üzere, demiryolu araçlarının sertifikalandırma ve yetkilendirme süreçlerinde görevlendirilen uygunluk değerlendirme kuruluşlarının tipleri, sorumluluk alanları, çalışma metodolojileri ve hukuki dayanakları açıklanarak bu kontrol mekanizmasının otonom araçların sertifikasyon ve yetkilendirme sürecinde de nasıl bir rol oynayabileceği değerlendirilmiştir.

BÖLÜM II: OTONOM ARAÇLARIN EMNİYETİ

Bu bölümde akademide genel olarak otonom araçların emniyeti ile ilgili öne çıkan anlayışlar ele alınarak otonom bir aracın sağlması gereken temel gereksinimlerle ilgili değerlendirmeler açıklanacaktır.

2.1. OTONOM ARAÇ İÇİN EMNİYET ANLAYIŞI

Otonom bir aracın emniyeti ele alındığında gerek kamu otoriteleri gerekse araç kullanıcıları açısından akla gelen ilk husus, sürüş kabiliyetlerinin ve davranışlarının test edilerek başarısı onaylanmış olan ehliyet sahibi bir kullanıcı olmamasıdır. Oysa trafikte yer alan bir araç kullanıcısı yalnızca yazılı trafik kurallarına uymakla kalmayıp, yazılı olmayan genel kabullere de riayet etmelidir. Örneğin trafik işaretlerine riayet etmek ve izin verilen hız sınırlarına uymak yazılı trafik kurallarının gerekleridir ve bu kurallar farklı koşullarda değişkenlik göstermezler. Bununla birlikte örneğin seyir halindeki araçlar arasında bırakılacak takip mesafesi trafiğin anlık seyir hızına, hava şartlarına hatta trafikteki diğer kullanıcıların davranışlarına göre değişiklik gösterebilir. Veya kalkış sırasında şehir içerisindeki bir sokakta aracın izin verilen üst hız limitine çıkması sırasındaki ivmelenmesi ile bir otobandaki ivmelenmesinin aynı olmayacağı gibi trafiğin akış seyrine, hava şartlarına ve trafikteki yaya yoğunluğuna göre değişiklik gösterebilecektir. Dolayısıyla otonom araç yalnızca yazılı trafik kurallarına uymakla kalmayıp, trafikteki araç kullanıcılarının genel kabul ve davranışlarına da uyum sağlayabilmelidir. Bu durum otonom aracın, tıpkı ehliyet almak için uygulamalı sınava giren bir sürücü adayı gibi test edilmesi gerektiği fikrini ortaya çıkartmaktadır.

2.2 TEMEL EMNİYET GEREKSİNİMLERİ

Otonom aracın otonomi fonksiyonlarına ilişkin temel emniyet gereksinimleri ele alınırken, bugüne kadar yapılan çalışmalar iki temel perspektif üzerinde toplanmıştır. Bunlardan ilki aracın trafik kurallarına uyduğunun garanti altına alınmasıdır. Bu durum aracın seyir esnasında trafik kurallarına uyması ve kural ihlalden kaçınması olarak özetlenebilir. İkincisi ise, aracın trafikteki tüm aktörlerin sürüş davranışlarını izlemesi, izlenen sürüş davranışlarından yola çıkarak bu aktörlerin gelecekte aracın emniyeti açısından risk teşkil edip etmeyeceğini tahmin etmesi ve olası riski bertaraf edecek şekilde sürüş davranışını değiştirerek tedbir almasıdır. Bu durumu özetlemek için,



Şekil 2.2. Hatalı Sollayan Aracın Sollamayı Zamanında Tamamlayamaması Durumu.

Bu duruma otonom aracı karşıdan başka bir araç geldiği halde hatalı sollamaya çalışan bir araç örnek verilebilir. Şekil 2.2'de beyaz aracın otonom mavi aracı sollamaya kalktığı fakat karşıdan yaklaşmakta olan aracın kalan mesafesi dikkate alındığında sollamayı başarmasının mümkün olmayacağı bir durum gösterilmektedir. Böyle bir durumda otonom aracın tehlikeyle doğrudan karşı karşıya olması beklenmese bile, bir tedbir olarak diğer iki aracın karşı karşıya kaldığı tehlikeyi bertaraf etmek için, hatalı sollayan aracın tekrar sağ şeride geçebilmesini sağlayabilmek için otonom aracın korna ile ikaz ederek hızını arttırması öngörülebilir. Veya Şekil 1.1'de görüldüğü gibi beyaz aracın mavi otonom aracı neredeyse tamamen sollamayı başardığı, fakat otonom aracın şeridine girmeyi zamanında tamamlayamayacağına anlaşılması halinde beyaz aracın sollamasını tamamlayarak sağ şeride girmesini sağlamak üzere otonom aracın hızını düşürmesi gerektiği öngörülebilir.

Öte yandan bu duruma başka bir açıyla bakarak otonom araçla aynı trafik ortamında bulunan ve böylesi tehlikeli bir durumda kendisine yönelen tehlikeyi bertaraf etmeye çalışacak herhangi bir aracın, otonom aracı da tehlikeye sokacak şekilde yanlış bir davranış içerisine girmesi de mümkündür. Dolayısıyla otonom aracın doğrudan karşı karşıya kalmadığı tehlikeler, reaksiyon gösterilmediği takdirde otonom aracın çözüm geliştiremeyeceği kısa sürelerde otonom aracı doğrudan tehlike altına sokacak durumlara sebebiyet verebilir. Bu sebeple her ne kadar otonom aracı tehdit etmiyorsa bile, trafikteki diğer aktörlerin karşı karşıya kaldığı tehlikelerin de otonom aracın emniyetini dolaylı olarak tehdit edebileceği dikkate alınmalıdır. Böyle olmasa bile otonom aracın, yalnızca kendi emniyetini garanti altına almak üzere değil trafikteki tüm aktörlerin emniyetini izlemek ve mümkünse çözüm sunmak üzere önceden

planlanacak kaçınma manevraları gibi tedbirleri uygulamasının genel trafik emniyetinin sağlanması adına önemli ve gerekli olduğu değerlendirilmiştir.

Yukarıda açıklandığı üzere bu zamana kadar esas alınan iki perspektif haricinde göz önünde bulundurulması gereken üçüncü konu ise, aracın temel tasarım parametrelerinin çevresel koşullar sebebiyle değişkenlik göstermesi ve bu değişkenliğin otonomi fonksiyonları tarafından tespit edilerek sürüş davranışlarının güncel parametreler doğrultusunda değiştirilmesi gerekliliğidir. Bu durumu en basit haliyle açıklayacak olursak otonom aracın hızlanma, yavaşlama, farklı hızlardaki dönüş açısı kabiliyeti gibi fonksiyonlarının, aracın temel tasarım parametreleri esas alınarak programlanması öngörülmektedir. Oysa aracın normal koşullardaki frenleme performansı ile örneğin yağışlı bir havada veya zemini bozuk bir yolda frenleme performans parametreleri kesinlikle aynı olmayacaktır. Otonom aracın otonomi fonksiyonunun, değişken çevre şartlarında aracın bu gibi emniyete esas performans parametrelerinin değişkenliğini de izlemesi ve gerekiyorsa sürüş davranışlarını öngörülen hızın azaltılması gibi tedbirlerle değiştirmesi ihtiyacı olduğu görülmektedir. Bu konu ile ilgili şimdiye kadar yapılmış bir çalışmaya rastlanmadığı halde otonom aracın emniyetli olduğunun doğrulanması için dikkate alınması gereken bir konu olduğu değerlendirilmiştir.

BÖLÜM III SERTİFİKASYONDA ÖNE ÇIKAN METOTLAR

Bu bölümde otonom araçların sağlaması gereken emniyet gereksinimlerinin belirlenmesi, doğrulanması ve sertifikasyonu için Avrupa Birliğinin 2020 yılında yayımlanmış olduğu “Otonom Araçların Sertifikasyonu için Yeni Yaklaşımlar” başlıklı raporunda açıklanan RSS, STPA ve PEGASUS metotları açıklanmıştır (Galassi vd, 2020).

3.1 RESPONSIBILITY SENSITIVE SAFETY (RSS) METODU

Trafikte her sürücünün uyulması gereken yazılı kurallar ve yazılı olmayan kurallar bulunmaktadır. Teknik olarak bu kurallar açık kurallar ve örtük kurallar olarak sınıflandırılabilir (Mobileye, 2017). Açık kurallar; kamu otoriteleri tarafından kanunlarla belirlenmiş olan kurallardır. Hız limitleri veya trafik işaretleri bunlara örnek olarak verilebilir. Örtülü kurallar ise herhangi bir yazılı kaynakla belirlenmemiş olan, kültürel olarak değişiklik gösterebilen, trafikteki araç kullanıcıların alışkanlıklarına ve sürüş davranışlarına göre şekillenerek genel kabullerle göre zamanla ortaya çıkmış olan kurallardır. Örneğin bir yol ayrımında yol verilecek araçla yol vermek üzere bekleyen araçlar arasında bırakılacak mesafe, manevra yapan araç kullanıcısına bırakılacak alanın genişliği veya ikaz edilmeden önce tolerans gösterilecek süre kültürel olarak değişiklik gösterebilmektedir. İşte bu gibi durumlarda araç kullanıcılarının sürüş davranışlarını belirleyen ve kullanıcıların geneli tarafından kabul edilmiş teamüller örtülü kurallar olarak tanımlanabilir. Örtülü kurallar her ne kadar kanun gibi kesin ve uyulması kati suretle şart koşulmuş olmamakla birlikte trafikteki araçların sürüş emniyetlerinin sağlanması açısından oldukça önemli bir rol oynamaktadır.

Özünde bir robot olan otonom aracın açık kurallara uyacak şekilde tasarlanması ve bu kurallara uyulduğunun test edilerek garanti altına alınması daha kolay olarak değerlendirilebilir. Fakat yazılı olmayan örtülü kurallara göre geliştirilmesi ve bu kurallara göre test edilmesi, üstesinden gelinmesi gereken çok daha fazla engeli beraberinde getirecektir. Bu engellerin üstesinden gelmek, öncelikle örtülü kuralların da genelleştirilmesi ve belirgin hale getirilmesini gerektirmektedir. Bu düşünceyle Mobileye firması 2017 yılında Responsibility Sensitive Safety (RSS) metodu ile örtülü kuralları genelleştirerek otonom aracın uyması gereken 5 kural öne sürmüştü ve otonom aracın bu kurallara uyabilme becerilerinin sınanacağı kıstasları açıklamıştır (Mobileye, 2017).

3.1.1 Otonom Aracın Emniyetinin Beş Kuralı

RSS metodunda otonom bir aracın emniyetinin garanti altına alınması için, senaryo bazlı beş kural geliştirilmiştir. Bu bölümde söz konusu kurallar açıklanacaktır.

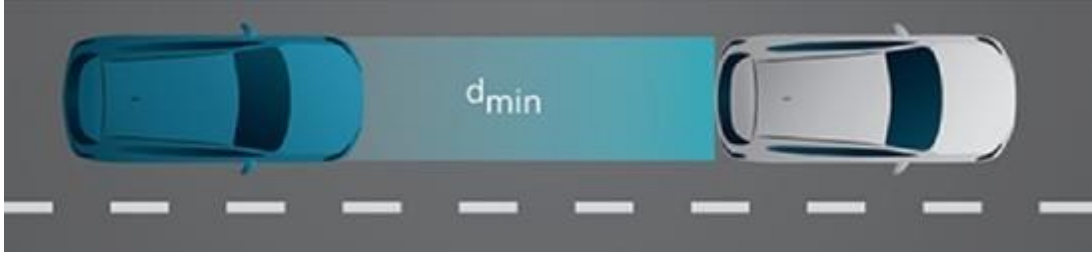
Kural 1: Öndeki araca çarpma

RSS metodunun ilk prensibi takip halindeki iki aracın birbirine çarpmadan seyrini garanti altına alabilmek için araçların arasındaki emniyetli takip mesafesini korumaktır. Bu noktada öncelikle emniyetli takip mesafesi kavramının tanımlanması gerekmektedir. RSS metodunun geliştiricileri emniyetli takip mesafesini öndeki aracın ani bir frenle durması durumunda bile takip eden aracın öndekine çarpmadan durabileceği minimum mesafe olarak tanımlamaktadır (Shashua, Shalev-Shwartz, Shammah, 2018). Bu mesafe, takip eden aracın durabileceği minimum mesafe ile, aracın durması gereken koşulun oluşmasından itibaren bu durumu tanımlama, komut haline getirme, ilgili elektromekanik alt sistemlere iletme ve tekerleklerin frenlemeye başlamasından oluşan tepki süresinin toplamına eşittir. Şekil 3.1'de tepki süresi ile fren mesafesinin toplamı ile belirlenen minimum takip mesafesi gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Takip Eden İki Araç Arasında Tepki Süresi ve Fren Mesafesi (URL2, 2019).

Araç kullanıcılarının genel kabulüyle iki araç arasındaki emniyetli takip mesafesi iki saniye kuralı ile belirlenmektedir. Buna göre takip eden aracın sürücüsü önündeki araçla arasındaki emniyetli takip mesafesini belirlerken, önündeki aracın geçtiği bir noktaya 2-3 sn sonra ulaşacağı şekilde aracının hızını ayarlar. Şekil 3.2'de emniyetli takip mesafesi tepki süresi ve fren mesafesini toplamından oluşan d_{min} ile gösterilmektedir. Bu pratik RSS metodunda Denklem 3.1'deki gibi formülize edilmiştir (Liu, Wang, Hassanin, Xu, Yang, Hurwitz, Wu, 2021, Shalev vd, 2017).



Şekil 3.2. Boyuna Güvenli Mesafe (Mobileye, 2019).

$$d_{takip,min} = [V_a P_a + \frac{1}{2} \alpha_{maks} P_a^2 + \frac{(V_a + P_a \alpha_{maks})^2}{2\beta_{min}} - \frac{V_0^2}{2\beta_{maks}}]_+ \quad [3.1]$$

- α_{maks} tepki süresi içerisinde arkadaki araç için izin verilen maksimum hızlanma
- β_{maks} öndeki araç için izin verilen maksimum yavaşlama
- β_{min} öndeki araç için izin verilen minimum yavaşlama
- $d_{takip,min}$ minimum emniyetli takip mesafesi
- P_a arkadaki aracın tepki süresi
- v_a arkadaki aracın hızı
- v_0 öndeki aracın hızı

Denklem 3.1'e göre otonom aracın önündeki araçla olan mesafesi $d_{min,fol}$ ile hesaplanan mesafeden düşük olduğu anda, araç gereken tepkiyi göstererek yavaşlayacak, aradaki mesafenin tekrar $d_{min,fol}$ mesafesinin üzerine çıkması sağlanacaktır.

Kural 2: Yanal mesafelerini koru

Araç gerek şeridinde seyrederken ve gerekse şerit değiştirirken tanımlanmış olan emniyetli yanal mesafelerini ihlal etmemelidir. Örneğin şerit içerisinde seyrederken şerit çizgilerine yaklaşmamalı, şeridi mümkün olduğunca ortalamalıdır. Veya sollama durumunda solladığı araca yaklaşırken veya solladığı sırada yanındayken emniyetli yanal mesafelerini korumalı, daha fazla yaklaşmamalıdır. Aynı şekilde şeridinde seyrederken öndeki aracı sollayan bir aracın sollanan araca solundan yaklaşması durumunda sollanan araç olası bir çarpışmayı önlemek için direksiyonunu hafifçe sağa doğru kırarak şeridi içerisinde sağa yaklaşmalı ve sollayan araçtan uzaklaşacak şekilde frenleme yaparak hızını düşürmeli ve sollayan araçtan emniyetli bir şekilde uzaklaşmalıdır.

O halde emniyetli yanal mesafelerin nasıl hesaplanacağıın belirlenmesi gerekmektedir. RSS metodunun geliştiricileri emniyetli yanal mesafelerin denklem 3.2'deki gibi hesaplanacağını açıklamaktadır (Liu vd. 2021, Shalev vd. 2017).



Şekil 3.3. Güvenli Yanal Mesafe (Mobileye, 2019).

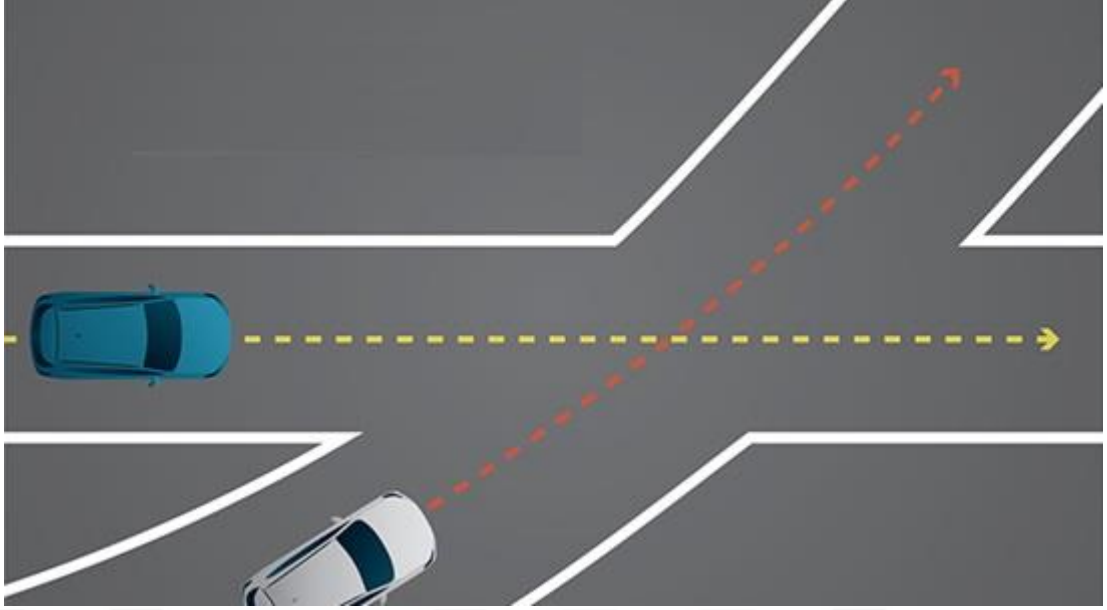
$$v_{1,p} = v_1 + P \alpha_{yanal,maks,hızlanma}, v_{2,p} = v_2 - P \alpha_{yanal,maks,hızlanma} \quad [3.2]$$

$$d_{yanal,min} = \mu + \left[\frac{(v_1 + v_{1,p})}{2} P + \frac{v_{1,p}^2}{2\beta_{1,yanal,min}} - \left(\frac{(v_2 + v_{2,p})}{2} P + \frac{v_{2,p}^2}{2\beta_{2,yanal,min}} \right) \right]_+ \quad [3.3]$$

- $\alpha_{yanal,maks,hızlanma}$ aracın yanal maksimum hızlanması
- $\beta_{1,yanal,min}$ ve $\beta_{2,yanal,min}$ aracın sağa ve sola minimum yavaşlama ivmeleri
- μ emniyetli asgari yanal mesafe
- $d_{yanal,min}$ minimum emniyetli yanal mesafe
- v_1 ve v_2 sağa ve sola yanal hızları
- $v_{1,p}$ ve $v_{2,p}$ tepki süresi içerisinde aracın yanal hızları
- P aracın tepki süresi

Kural 3: Yol hakkı verilir, alınmaz

Yol çizgileri belirgin ve trafik işaret, işaretçileri tam olan yollar için kavşaklarda ve bağlantı noktalarında geçiş öncelikleri net bir şekilde belirlenmiştir. Sürücüler bu işaret ve işaretçilerin yönlendirmeleri doğrultusunda yol hakkının hangi araçta olduğunu bilirler.



Şekil 3.4. Yol Hakkı (Mobileye, 2019).

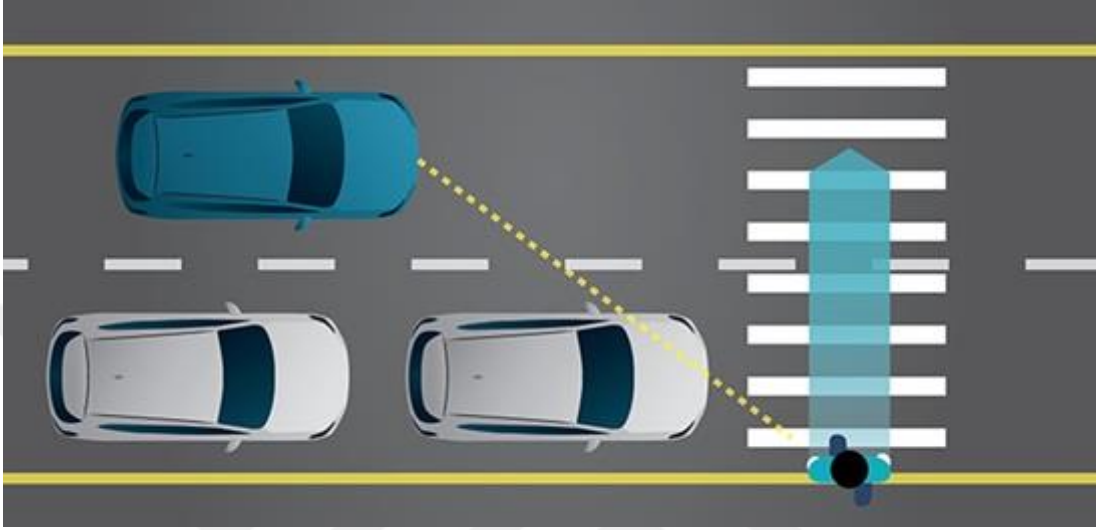
Fakat tüm yollar yol hakkının hangi araçta olacağını kesin bir şekilde belli olacak yol çizgilerine, trafik işaret ve işaretçilere sahip değildir. Örneğin yukarıdaki resimde tali yoldan ana yola çıkmakta olan sürücü için dur işareti olması gerektiği halde her iki araç sürücüsü için böyle bir işaret bulunmamaktadır. Her iki yolun eşit statüde olması durumunda yol hakkı sağdaki araca ait olacaktır fakat soldaki aracın kullandığı yol ana yol ise, bu defa yol hakkı soldaki araca ait olmalıdır. Şu halde yol hakkının hangi araca ait olduğu kesin bir şekilde anlaşılmamaktadır.

Bu gibi yollarda yol hakkı, kesişim yaklaşan iki aracın sürücüsü arasında anlaşma yolu ile belirlenmektedir. Oysa bir otonom araç bu durumda karşılaşılabilecek araç sürücüsü ile böyle bir anlaşma yapamayacaktır. Bu durumda yol hakkının hangi araçta olacağını bir yöntem ile belirlenmesi gerekmektedir.

Diğer bir taraftan yol hakkı otonom araca ait olsa bile, diğer araç trafik kurallarına aykırı hareket edip yola çıkabilir. Bu durumda her ne kadar yol hakkı otonom araçta olsa bile otonom aracın yola devam ederek bir kazaya sebebiyet vermesi kabul edilebilir değildir. RSS metoduna göre böyle durumlarda trafiğin emniyeti için “yol hakkı verilir, alınmaz” prensibinin geçerli olacağı kabul edilmektedir.

Kural 4: Kısıtlı görüş şartlarında tedbirli ol

Kısıtlı görüş şartları yolun topolojisinden yol kenarındaki binalara, olumsuz hava şartlarından trafikteki diğer araçlara kadar peki çok nedenden kaynaklanabilir. Bu gibi şartlarda, araç sürücüleri yolun ilerisinde riskli bir durum olduğunda bunu fark edemeyebilirler. Aynı durum otonom araçlar için de geçerlidir.



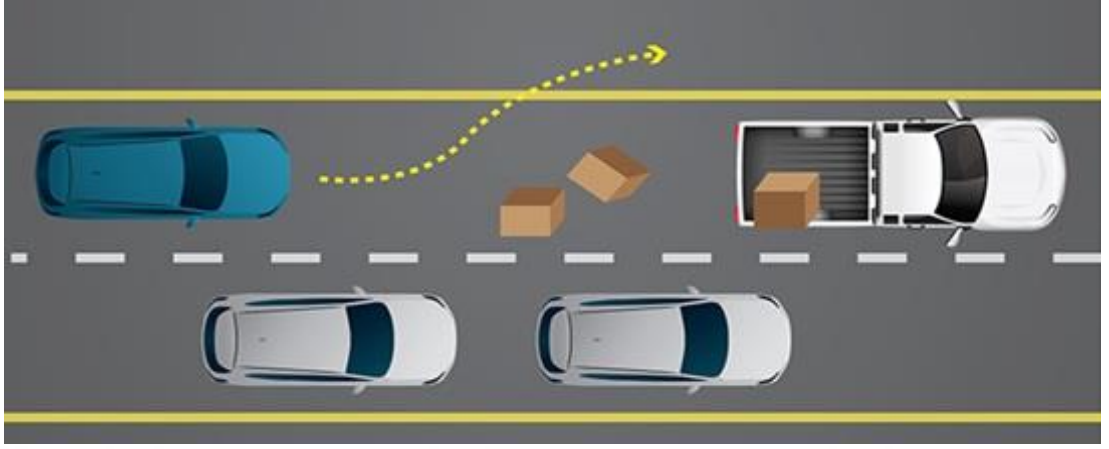
Şekil 3.5. Sınırlı Görüşü Olan Alanlar (Mobileye, 2019).

Her ne kadar trafik kurallarına aykırı da olsa, yayaların yaya şeridi olmaksızın karşıdan karşıya geçmeye kalkışması çok ciddi bir tehlikedir. Örneğin şehirlerarası ana yollarda böyle bir durum olası görülmeyebilir. Fakat meskun mahallerde bu ihtimal daima göz önünde bulundurulmalıdır. Veya Şekil 3.5'te gösterildiği gibi yaya şeridinin bir kısmının görülememesi de ihtimal dahilindedir. Özellikle yol kenarının görülemez şekilde araçların park etmesi veya diğer araçlar hareketli halde olsa bile bir yayanın görülmesini engellemesi mümkündür. Böyle durumlarda sürücüler karşıdan karşıya geçmeye çalışacak yayaları önceden göremeyeceği için özellikle yaya şeritlerine yaklaşırken oldukça tedbirli davranmalıdırlar. Otonom araçlar da aynı kabulle hareket etmelidir.

Kural 5: Başka bir kazaya sebep olmadan kazadan kaçınabiliyorsan, kaçın

İlk dört kural tehlikeli bir durumun ortaya çıkmasına sebep olabilecek senaryoları ve bu durumlar için nasıl tedbirler alınması gerektiğini açıklamıştır. Beşinci kural ise beklenmedik bir biçimde, aniden meydana gelen tehlikeli bir durum sebebiyle kazanın kaçınılmaz olması durumunu açıklamaktadır. Beşinci kurala göre kazanın kaçınılmaz

olması durumunda şayet otonom araç başka bir kazaya sebep olmadan bu kazadan kaçınıbiliyorsa, kaçınmalıdır.



Şekil 3.6. Başka Bir Çarpışmaya Neden Olmadan, Çarpışmadan Kaçın (Mobileye, 2019).

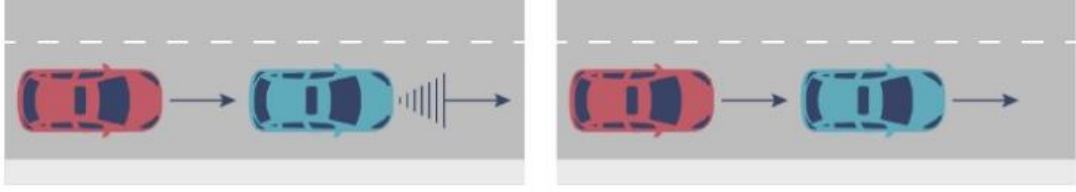
Şekil 3.6'da böyle bir durum gösterilmektedir. Mavi olan otonom araç öndeki araçtan düşen objelere çarpmaktan kaçınmak için sağ şeride geçmeye kalkarsa hemen sağında duran araçla başka bir kaza yapması söz konusu olacaktır. RSS metoduna göre bu durum kabul edilebilir olmayıp, araç mümkünse kazaya sebep olmadan emniyetli bir alana geçmeli, mümkün değilse tam fren yapmalıdır.

3.1.2 Responsibility Sensitive Safety (RSS) Metodunun Uygulaması

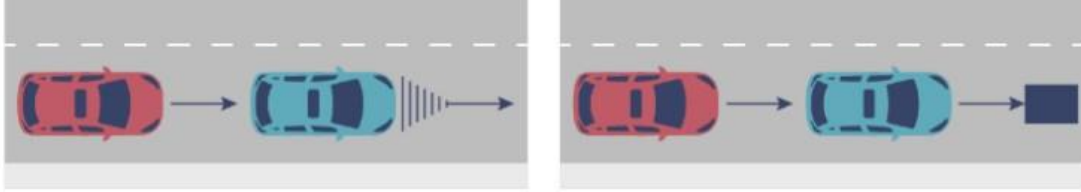
Ulusal Karayolları Trafik Emniyeti İdaresi (NHTSA) tarafından 2004 yılında yapılan araştırma ile, hafif araç kazalarının %99.4'üne konu olan 37 farklı kaza öncesi senaryosu belirlenmiştir (Shashua vd, 2018). Bu senaryoların bir kısmı sürücü davranışlarıyla ilgili olmakla birlikte bir kısmı ise araçların kendi arızaları veya lastik patlaması gibi sürücü kusurundan kaynaklanmayan senaryolardır. Sürücü kusurundan kaynaklanan kazaların ise bir kısmı yalnızca kazanın karıştığı aracın sürücüsünün kusuruyla vukubulan ve kazada farklı bir aracın rol oynamadığı kazalar olup, bir kısmı ise kazada birden fazla araç sürücüsünün rol oynadığı kazalardır. RSS bu senaryolardan yalnızca birden fazla sürücünün rol oynadığı kaza senaryolarını ele almaktadır. Bu nedenle NHTSA'nın belirlediği senaryolardan, birden fazla sürücünün rol oynadığı kaza öncesi senaryolarla RSS metodunun uygulaması açıklanmıştır. Bu senaryolar aşağıda açıklanmaktadır.

Tek yön trafik senaryoları

Tek yön senaryoları Şekil 3.7 ve 3.8'deki gibi açıklanmaktadır.



Şekil 3.7. Öndeki Aracın Hızlanması (Solda), Öndeki Aracın Daha Düşük Hızla Hareket Etmesi (Sağda) (URL6).

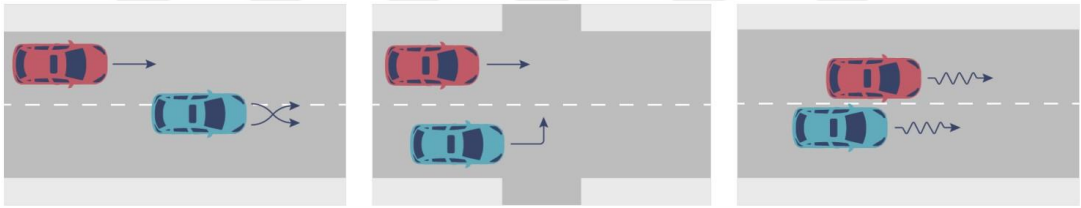


Şekil 3.8. Öndeki Aracın Yavaşlaması (Solda), Öndeki Aracın Durması (Sağda) (URL6).

RSS metodu ile ele alındığında yukarıdaki dört farklı tek yön senaryosu birbirine oldukça benzer olduğundan dört senaryo da tek bir senaryo olarak ele alınmaktadır.

* Şerit değiştirme ve drift senaryoları

Şerit değiştirme ve drift senaryoları Şekil 3.9 ve 3.10'daki gibi açıklanmaktadır.



Şekil 3.9. Şerit Değiştirme (Solda), Yanlış Şeritten Dönüş (Ortada), Drift Yapma (Sağda) (URL6).

Şekil 3.9'da birinci ve ikinci senaryolarda şerit değiştirmenin emniyetli bir şekilde yapılıp yapılmadığının aşağıdaki şekillere göre değerlendirilmesi gerekmektedir.



Şekil 3.10. Emniyetli Olmayan Şerit Değiştirme (Solda), Emniyetli Şerit Değiştirme (Sağda) (URL6).

Şekil 3.10'da ilk durumda şerit değiştiren kırmızı araç arkada kalan mavi aracın emniyetli durma mesafesi ile çakışacak şekilde mavi aracın şeridine geçmiştir. Böyle

bir senaryoda kırmızı araç mavi aracın emniyetli durma mesafesi içerisinde ani bir duruş yaparsa kazaya sebebiyet verebilir. Bu nedenle bu şerit değiştirme emniyetli olmayan bir şerit değiştirmedir. İkinci durumda ise kırmızı araç mavi aracın emniyetli durma mesafesini geçtikten sonra mavi aracın şeridine girdiğinden ani bir duruş halinde kaza riski bulunmamaktadır. Bu şerit değiştirme ise emniyetli bir şerit değiştirmedir.

3.3 PEGASUS METODU

PEGASUS metodu Alman Federal Ekonomi ve Enerji Bakanlığı (BMWi) yönetiminde 2016 yılında başlatılan, otomotiv sektörünün öncü firmalarının ve otonom araç teknolojisine yönelik alanlarda çalışma yapan aktörlerin katılımlarıyla yürütölen bir projedir. Bu proje SAE L3 ve L4 otonom sürüş seviyelerindeki araçların emniyeti için dizayn, gerçekleştirme ve doğrulama metotlarını açıklamaktadır. (URL3, 2019)

Bu proje ile hedeflenen temel çıktı, otonom kullanım modunda emniyetin garanti altına alınabilmesi için gerekli standartları ve doğrulama yöntemlerini belirlemektir. Projenin amacı projenin ismini de veren PEGASUS kelimesini meydana getiren harflerin anlamlarıyla temsil edilmektedir; “*project for the establishment of generally accepted quality criteria, tools and methods as well as scenarios and situations for the release of highly-automated driving functions*”. Projenin temel hedefleri maddeler halinde aşağıdaki gibi açıklanabilir (PEGASUS Research Project):

- Otonom araç sistemlerinin simölasyon, test standı ve gerçek trafik şartlarında test edilebilmesi için standartlaştırılmış bir prosedür tanımlanması,
- Otonom sürüşü korumak için sürekli ve değişken araçların geliştirilmesi,
- İlk geliştirme sürecinde testlerin entegrasyonu,
- Yüksek otonom sürüş fonksiyonlarının emniyetli sürekliliğinin korunması için üreticiler arasında bir metodoloji geliştirilmesi.

Günümüzde otonom araç teknolojisi konusunda yapılan çalışmalar sonucunda otonom fonksiyonların yerine getirilebilmesi için ihtiyaç duyulan teknik gereksinimler karşılanmış ve dünyanın pek çok bölgesinde gerek özel kullanıma hizmet verecek otonom otomobiller, gerek toplu taşıma amacıyla kullanılacak otonom minibüsler ve hatta iş makinaları hizmete sunulabilmiştir. Bununla birlikte otonom araçların trafikte kullanılabilmesi için hala cevaplanması gereken birçok soru vardır. PEGASUS projesi

kapsamında otonom aracın emniyeti ile ilgili cevaplanması gereken konular, Şu iki temel soru ile ele alınmaktadır;

- 1) Otonom araçlarda aranması gereken emniyet gereksinimleri nelerdir?
- 2) Bu gereksinimlerin sağlandığı nasıl kanıtlanabilir?

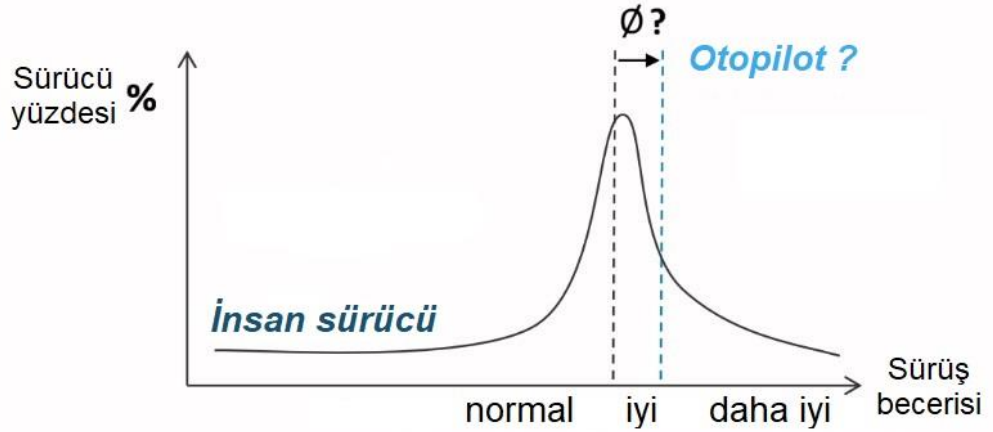
Bilindiği üzere otonomi fonksiyonu sürücünün herhangi bir süpervizyon, denetim veya müdahale etkisi olmaksızın otonom aracın kendi kendisini yönetebilmesini gerektirmektedir. Fakat artık tekerleğin arkasında herhangi bir insan yönetimi bulunmaması ve tüm sorumluluğun araca devredilmesi bu sorumluluğun hayati niteliği sebebiyle karşılanması gereken ağır isterleri de beraberinde getirmektedir. Peki gelecekte otonom sürüş sırasında insanın rolü ne olacaktır? Araç ve insanın görev dağılımları nasıl optimize edilebilir? Otonom araç teknolojisinin hazır olması ve olabildiğince hızlı kullanıma sunulması yönünde beklenti olduğu dikkate alındığında bu gibi konularda günümüzde hala çok yoğun araştırma geliştirme çalıŐmalarını gerektiren bu gibi konuların hızlı bir Şekilde tamamlanması gerekmektedir.

Otonom araçların kullanıma sunulabilmesinden önce otonomi fonksiyonlarının emniyetli olduklarının onaylanabilmesi için araştırma ve endüstri sektörlerinin bir araya gelerek yakın iŐbirlięi ile yeni standartlar ve metotlar geliştirilmesi gerekmektedir. PEGASUS ortak projesi tam bu noktada tam otonom sürüş fonksiyonlarına ilişkin genel kalite kriterleri ile kullanılacak araçların ve metotların ve ayrıca emniyete konu senaryo ve durumların belirlenmesini sağlayacaktır. Senaryoların belirlenmesi konusunda pek çok çalışma yapılmış olmakla birlikte, yapılan çalışmaların sınıflandırılması ve adımlar haline getirilmiŐ olması sebebiyle özellikle Neurohr, Westhofen, Henning, Graaff, Möhlmann, Böde tarafından 2020 yılında yayınlanan çalışmalarında açıklanan, PEGASUS gibi senaryo bazlı test metodolojileri için ele alınması öngörülen temel test konuları dikkate alınmalıdır. Öte yandan bu test konularının doğrulanması için resmi otoritelerin, üreticilerin ve toplumun kabul edeceği bir metoda ihtiyaç vardır.

PEGASUS metodu tüm bu sorunlara cevap vermek için geliştirilen, otonom aracın otonom fonksiyonlarını değerlendirmek üzere geliştirilmiş, senaryo bazlı testlerin benimsendiği bir metottur. PEGASUS metodunun en kritik iki özelliğinden biri ise aracın üretiminden hizmete sunulmasına kadar tüm tasarım, üretim ve son kontrol süreçlerini içerisine alan bir metot olmasıdır. Bu süreç üretici tarafından analiz ve simülasyonlarla tasarımın doğrulanmasından, prototip üretimine, daha sonra senaryo

bazlı testlerle tasarlanan ve üretilen aracın emniyetli olduğunun doğrulanması suretiyle seri üretime geçilebilmesini öngören aşamalardan oluşmaktadır. Bu yönüyle PEGASUS metodu hem üreticinin hem de emniyet değerlendirme kuruluşlarının rollerini ve tüm aşamaların gereksinimlerinin net bir şekilde belirlenmiş olmasını sağlamaktadır. Tam da bu yüzden PEGASUS Alman makamları tarafından araç üretiminde rol oynayan sektörden ve akademiden paydaşların katılımı ile üretilen ortak bir metottur.

PEGASUS metodunun ikinci kritik özelliği ise değerlendirmenin yapılacağı kriterlerin trafikteki sürücülerin kullanım kabiliyetlerinin ve tercihlerinin dikkate alınarak belirlenmesidir. PEGASUS metodunda değerlendirme sürecinin başında aşılması gereken eşik sürüş becerisi gereksinimleri belirlenmemiş, bunun yerine Şekil 3.11'de gösterildiği gibi trafikteki sürücülerin performansları ve davranışları bir veri havuzunda toplanarak istatistiklerle başarılı ve başarısız olarak değerlendirilecek eşik sürüş becerisi gereksinimlerinin istatistiksel verilere dayalı olarak belirlenmesi öngörülmüştür (Form, 2018).



Şekil 3.11. Sürüş Becerileri (Form, 2018).

Bu durum, sürücü performans ve davranışlarının bölgesel olarak değişmesi sebebiyle söz konusu kriterlerin aracın kullanılacağı ülkelere göre değişiklik gösterebileceği ve otonom aracın daha gerçekçi bir değerlendirmeye tabi tutulabilmesi için kullanım sahasının pratiklerine uygun olarak her ülke için ayrı ayrı test edilebileceğini aklı getirmektedir. Bu metodun teorik gelişimi tamamlanmış olmakla birlikte, sürücü performans ve davranışlarının verilere yansıtılması ve veri havuzlarında toplanması konusunda çalışmalar halihazırda devam etmektedir.

PEGASUS metodunu yalnızca otonom aracın emniyet seviyesinin ölçülmesi için geliştirilen bir yöntem olarak değerlendirmek doğru değildir. Çünkü bu yöntem aslında otonom aracın tasarımından başlamak üzere prototip üretimine, test ve analizlere ve üretim aşamasına; başlı başına otonom aracın tasarımından kullanıcıya kadar uzanan bir süreçtir. Bu süreç içerisinde aracın tasarımcısının, alt sistem sağlayıcılarının, ana entegratör ve üretici firmanın, test merkezlerinin, tüm bu süreci kontrol edecek uygunluk değerlendirme kuruluşlarının, resmi otoritelerin ve nihayet kullanıcıların rollerini içerebilecek kapsama sahip bir yöntemdir. Bu yönüyle PEGASUS yöntemi yalnızca emniyet kriterlerini ve ölçme parametrelerini belirlemekle kalmaz, bunların kullanım şeklini ve aşamalarını da açıklayarak konuya dahil olan tüm paydaşların rol ve sorumluluklarını belirlemekte ve yol göstermektedir. Alman Federal Ekonomi ve Enerji Bakanlığı (BMWi) PEGASUS yönteminin tam da bu amaçla geliştirilmesi için araç üretiminde rol oynayan pek çok firmayı bu sürecin içerisine dahil ederek bu yöntemi geliştirmektedir. (PEGASUS Method)

PEGASUS yöntemini açıklamak için süreç Şekil 3.12'deki gibi bir akış sistematığıne dönüştürülmüştür.



Şekil 3.12. Pegasus Sistematığının Akış Yönü (Form, 2018).

Burada sürecin izleyeceği yol dataların toplanması ve gereksinimlerin tanımlanması, veritabanının hazırlanması, otonom fonksiyonların değerlendirilmesi ve sonuç kısımları olarak açıklanmaktadır. Söz konusu aşamaların daha detaylı bileşenleri ise Şekil 3.13'de detaylı olarak açıklanmaktadır;

Form'un 2018'de yayımlanan, PEGASUS sistematığının açıklandığı çalışmasında Şekil 3.13'te gösterilmekte olan adımlar aşağıdaki gibi açıklanmaktadır (PEGASUS Method).

3.3.1 Veri İşleme (Adım 1, 2, 4, 5)

Adım 1, bilgi bölümünde süreç bir otonom aracın, kullanılacak ülke ve tipine göre uluslararası veya yerel tüm ilgili yasal mevzuatların belirlenmesi ile başlar. Böylelikle değerlendirme sürecinde ele alınacak yasal gereksinimler belirlenmiş olur.

Adım 2, veri bölümünde sunulan aracın teknik özelliklerine ve fonksiyonlarına göre değerlendirmeye esas olacak ölçüm verileri belirlenir.

Adım 4, senaryoların sistematik tanımlanması bölümünde aracın otonomi fonksiyonlarının senaryo bazlı testlere tabi tutulabilmesi için gene aracın tipine göre hangi senaryoların kullanılacağı ve bu senaryoların parametreleri belirlenir. Bu aşamada senaryoların tanımlanmasında ilgili mevzuatlar, standartlar ve yönergeler dikkate alınır. Bunlara; siber güvenlik test ve doğrulaması konusunda SAE J3061 örnek verilebilir (Cui, Zhang, 2020). Aracın otonomi fonksiyonları dışında kalan fonksiyonları için emniyet gereksinimleri konusunda ise ISO 26262 referans alınmaktadır (Palin, Ward, Habli, Rivett, 2011). Öte yandan trafik davranışları bölgesel olarak değişkenlik gösterdiği için aracın kullanılacağı bölgenin özel şartları dikkate alınarak senaryo parametrelerinin minimum ve maksimum değerlerine de bu aşamada karar verilir. Özellikle aracın farklı ülkelerde piyasaya sürülmesi durumunda bu aşama kritiktir.

Adım 5, ön işleme / yeniden oluşturma bölümünde önceden kaydedilmiş veriler veritabanı için bir giriş verisine dönüştürülmek üzere istenilen giriş formatına uyarlanır. Bu bölümde kullanılacak ortak giriş formatı senaryoların yapılandırılması için gerekli tüm verileri içerecek şekilde tanımlanmalıdır. Bu bölümden sonra kayıtlı verilerle mevcut her veri kaynağından gelen veriler ortak bir giriş formatına dönüştürülmüş olur.

3.3.2 Gereksinimlerin Tanımı (Adım 1, 3, 5)

Adım 1, bilgi adımında veri işleme bölümünde de açıklandığı gibi kullanılacak ülke ve tipine göre uluslararası veya yerel tüm ilgili yasal mevzuatların ve standartlar

belirlenir. Gereksinimlerin tanımı kısmında farklı olan ise yasal ve standartlara göre belirlenmiş olan gereksinimlerin hangi test yöntemleri ve kriterleri ile ispatlanacağıın tespit edilmesidir.

Adım 3, gereksinim analizi bölümünde aracın ilgili mevzuatlarına göre belirlenen gereksinimler dikkate alınarak tasarımının ve ürünün doğruluğunu ispatlamak üzere hangi analizlerin yapılacağı, test sonuçlarının nasıl analiz edileceği belirlenir. Bu adımda 1. bölümde belirlenen gereksinimler, değerlendirme sürecinde kullanılabilir teknik bilgiler haline getirilir.

Adım 6, süreç talimatlar haline getirilir ve analiz sonuçlarının kıyaslanacağı metrik değerler açıklanır.

3.3.3 Veritabanı (Adım 7, 8, 9, 10, 11)

Adım 7, verilerin PEGASUS formatına çevrilmesi bölümünde 5. ön işleme ve yeniden yapılandırma bölümünde girdi verisi haline getirilen veriler PEGASUS formatına dönüştürülerek senaryo bazlı test ve değerlendirmelerde kullanılmak üzere hazırlanır. Format; 5. bölümden alınan verilerle birlikte aracın durumunu ve içerisinde bulunduğu şartlarla ilgili bilgileri (çevreleyen nesnelere, eğim, şerit genişliği vb.) de içerir.

Adım 8, metrik değerlerin uygulaması ve lojik senaryoların eşleştirilmesi bölümünde değerlendirmede kullanılacak metrik değerler belli bir sıra ile uygulanacak senaryo bazlı testlerle eşleştirilir. Aynı zamanda senaryoların uygulanacağı koordinat bilgileri de tanımlanır. Haritalama metrikleri ölçüm verilerini senaryonun uygulanması planlanan zaman aralıklarına bölerek ve mantıksal senaryolara göre sıralar.

Adım 9, 8. işlem adımında elde edilen sonuçlar mantıksal senaryolarda uygulanmak üzere ortak bir veri havuzunda toplanır. Öte yandan 4. bölümde elde edilen tanımlanmış senaryolar da bu veri havuzuna aktarılır. Böylece söz konusu senaryolar alt katmanlı bir model temelinde yol, altyapı, geçici etkiler, hareketli nesnelere, çevre koşulları ve dijital verilerle detaylandırılır. Senaryolar OpenDRIVE ve OpenSCENARIO biçimlerine dönüştürülerek sürüş ve senaryoların farklılaştırılması sağlanır.

Adım 10, geçiş kriterlerinin entegrasyonu yapılarak derlenir.

Adım 11, tüm test senaryoları ve metrik değerler derlenerek test konseptlerine dönüştürülür.

Adım 12, test konseptleri geçiş kriterleri ile birleştirilerek Mantıksal Test Vakasına dönüştürülür.

3.3.4 Yüksek Otonom Sürüş Fonksiyonunun Değerlendirilmesi (Adım 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19)

Adım 13, test konseptinin uygulama metodu çeşitli varyasyonlarla belirlenir. Bu işlem adımının girdileri 11. adımdan gelen mantıksal test vakaları ve 6. adımdan gelen işlem talimatlarıdır.

Adım 14, test senaryoları bu adımda trafiğe kapalı ve yapay zeminde yürütülür.

Adım 15, somut test senaryoları simülasyonda ve gerçek dünya testleri ile desteklenen kanıtlama zemininde yürütülür.

Adım 16, 15. İşlem adımında elde edilen test verileri veri havuzunda toplanır.

Adım 17, elde edilen test verileri farklı metriklerle değerlendirilir. Test sonuçlarına dayalı olarak süreç adımı iki amaçlı yinelemeli bir değerlendirme başlatır. Test sonuçları daha kritik senaryoların belirlenmesi amacıyla kullanılarak test senaryolarının farklı uygulama varyasyonları kullanılarak test ve değerlendirme süreci yinelenir. Sonuçlar belli kriterleri karşılayacak metrik değerleri geçtiğinde bu döngü kırılır ve test nesnesinin sınıflandırması yapılmış olur.

Adım 18, test sonuçları çıktı olarak düzenlenir.

Adım 19, tüm bu test ve değerlendirme sistemine ilave olarak son adımda bir risk değerlendirmesi yapılır. Bu risk değerlendirmesinin odak noktası ise test nesnesinin yani otonom aracın PEGASUS projesinde tanımlanmış olan; uygun güvenlik mesafesini korumak, çarpışmalara neden olmamak, mümkünse başka bir kazaya sebep olmadan kazadan kaçınmak gibi prensiplere uygun davranıp davranmadığının analiz edilmesidir. Bu risk değerlendirmesinin sonuçlarının da gene proje kapsamında belirlenen metodlarla değerlendirilerek başarılı bulunmuş olması gerekmektedir.

Adım 20, risk değerlendirmesinin sonuçları da emniyet beyanı ile birlikte veri konteynerinde saklanır.

3.3.5 Argümantasyon (Adım 21)

Adım 21, PEGASUS metodunun son işlem adımında 20. adımda elde edilen emniyet beyanı ve risk değerlendirme sonuçları ile birlikte emniyet argümantasyonunun uygulanarak 20. adımda derlenen çıktılarıyla birleştirilmesidir. PEGASUS emniyet argümantasyonu; yapı, resmileştirme, tutarlılık, bütünlük ve uygunluk yoluyla beş katman olarak yapılandırılan, daha yüksek otomasyon seviyelerinin güvenliğini ve onaylanmasını destekleyen kavramsal bir çerçeve olarak anlaşılmalıdır. PEGASUS emniyet argümantasyonunun temel varsayımı; argümantasyonun önerilen çerçevesi dikkate alınarak oluşturulan bir tasarım, üretim ve test nesnesi daha yüksek otomasyon seviyelerinin emniyetini ve emniyet sınıfının onaylanmasını desteklemesidir.

Özetle PEGASUS metodu otomatik sürüş fonksiyonlarının test, sınıflandırma ve sertifikalanması için; senaryoların her test nesnesinin spesifik özellikleri dikkate alınarak metodun uygulanışı esnasında üretilen senaryoları ile bu senaryoların değerlendirileceği metrik parametrelerin tespitine dayanan kapsamlı bir değerlendirme, sınıflandırma ve sertifikasyon metodudur. Ancak metot hala geliştirilme aşamasında olması sebebiyle günümüzde metotta açıklanan işlem adımlarının uygulamasına dair detaylar, kullanılacak onaylanmış araçlar henüz açıklanmamıştır.

3.4 STPA METODU

Günümüz kara yolu araçlarının emniyetli olup olmadıkları ISO 26262 standardında açıklanan yöntemlerle doğrulanmaktadır. Bu standartla aracın fonksiyonel emniyeti açısından tehlikelere yol açabilecek hataların tespitinde FTA (Failure Tree Analysis), FMA (Failure Mode Analysis) HAZOP (Hazard and Operability) gibi farklı yöntemler kullanılmaktadır. Ancak bu yöntemler yazılım hatalarında kaynaklı tehlikelerin, insan hatasının neden olduğu çeşitli tehlikelerin veya bileşen arızasından dolayı ortaya çıkan tehlikelerin tespiti için yeterli değildir.

STPA metodu uzay araçlarından, deniz ve hava araçlarına kadar yazılım ve donanım bileşenlerinden oluşan sistemlerin analizi için halihazırda kullanılan bir metottur.

STPA (Systems-Theoretic Process Analysis - Sistem-Teorik Süreç Analizi) adı verilen bütünsel bir yaklaşım geliştirilmiştir. STPA geleneksel tehlike analiz yöntemlerinin sınırlarını aşmayı vadetmektedir. STPA'nın ISO 26262'nin otonom araç değerlendirmesinde eksik kalan yönlerini tamamlamak üzere de kullanılabilceğinden yola çıkılarak bütünlük bir metot önerilmiştir (Abdulkhaleq, Wagner, Lammering, Boehmert, Blueher, 2017).

Tablo 3.1. STPA ve ISO 26262 Terminolojilerinin Karşılaştırılması (Mallya, Pantelic, Adedjouma, Lawford, Wassyyng, 2016)

Terminoloji	STPA	ISO 26262
Tehlike	Belirli bir en kötü durum ve çevresel koşullarla birlikte bir kazaya veya kayba yol açacak bir sistem durumu veya koşullar dizisi	Ögenin hatalı çalışma davranışından kaynaklanan potansiyel zarar kaynağı
Arızalı Davranış	Açık bir tanım yok	Tasarım amacı ile ilgili olarak bir ögenin başarısızlığı veya istenmeyen davranışı
Arıza	Açık bir tanım yok Not: Mühendislik literatüründe arıza; bir komponentin veya sistemin tasarım amacı olan fonksiyonu yerine getirememesi veya yerine getirme performansının eksikliği olarak tanımlanmaktadır.	Bir elemanın, bir işlevi gerektiği gibi yerine getirme yeteneğinin sona ermesi Not: Hatalı belirtim bir hata kaynağıdır
Kaza	İnsan yaşamının kaybı veya zarar görmesi, mal hasarı, çevre kirliliği, görevkayıbdahil olmak üzere kayıpla sonuçlanan istenmeyen veya planlanmamış bir olay	Açık bir tanım yok
Zarar	Açık bir tanım yok	Fiziksel yaralanma veya kişinin sağlığına zarar verme
Tehlikeli Olay	Açık bir tanım yok	Tehlike ve operasyonel durumun kombinasyonu

ISO 26262 aracın tehlike analizlerinin alt sistemler veya riskler özelinde ayrı ayrı incelendiği metotları açıklamaktadır. Öte yandan sürücü aracın seyrinde kritik bir rol oynamakla beraber fonksiyonel bütünlük anlamında aracın bir bileşeni olarak değerlendirilip değerlendirilmeyeceği hususunda net bir anlayış yoktur (Abdulkhaleq vd, 2017). STPA'da ise sürücünün üstlendiği tüm görevler araca atfedildiği için STPA yönteminin değerlendirme alanına net bir şekilde dahil edilmiştir.

STPA yöntemi ile sürücü özelinde anlayış değişiklikleri getirildiğinden, ISO 26262'de kabul edilen terminolojilere de değişiklik getirilmesi gerekmektedir. Tablo 3.1'de farklılık gösteren terimler karşılaştırılmıştır.

Tablo 3.1'de yer alan terimlerin neden STPA ve ISO 26262 arasında değişiklik gösterdiği konusu açıklandığında STPA'nın ISO 26262'nin hangi yönlerini nasıl tamamladığı daha net anlaşılır olacaktır. Öncelikle tehlike terimi ISO 26262'de aracın alt sistemleri özelinde değerlendirilirken STPA'da yalnızca aracın alt sistemleri ile sınırlı kalmadan, aracın sürüş şartlarında içerisinde bulunduğu çevresel şartlar, trafikte yer alan diğer aktörler ve tüm bu çevresel şartların anlık değişimlerinden veya trafikteki aktörlerin davranışları itibariyle çok daha geniş bir perspektifle ele alınmaktadır.

Arızalı davranış terimi ile ISO 26262'de aracın herhangi bir bileşenin kazaya yol açabilecek nitelikte fonksiyonel kaybı veya yanlış çalışması kast edilirken STPA'da bu terimle ilgili net bir tanım yoktur. Aynı şekilde arıza tanımı için de aynı şeyi söylemek mümkündür. ISO 26262'de arıza; bir bileşenin yerine getirmesi gereken bir fonksiyonun yerine getirebilme kabiliyetinin sonlanması olarak tanımlanırken STPA'da bu terimin de net bir karşılığı olmamaktadır. (Mallya vd, 2016) Bu iki terimin STPA'da net olarak tanımlanmaması, tehlike teriminde olduğu gibi ele alınan değerlendirme alanının araca ait bileşenlerin dışına çıkılarak aracın rol oynadığı tüm çevresel öğeleri kapsayacak şekilde genişletilmesinden kaynaklanmaktadır. ISO 26262'de bir kazanın nedeni aracı oluşturan ekipmanlardan birinin arızalanması olarak ele alınırken STPA'da kazanın nedeni olarak aracın emniyetli seyrini etkileyebilecek, çevresel etkiler dahil her şey olarak ele alındığından olası bir kazanın sebebi olarak görülen arıza kavramı da anlamını kaybetmektedir.

Kaza tanımını incelerken ISO 26262'nin odak noktasının aracı oluşturan bileşenlerin arızalanması ihtimaline dayalı tehlikeler olduğunu göz önünde bulundurduğumuzda kaza olayının gerçekleşmesi ISO26262'nin dışında kalmaktadır. STPA'nın odak noktası ise aracın dışına çıkarak tehlikenin gerçekleşmesini de kapsadığından kaza da ele alınmaktadır. Öte yandan STPA'daki kaza tanımı, ISO 26262'deki zarar kavramına benzemekte, fakat çok daha geniş bir kapsama dayanmaktadır. ISO 26262 kişilerin zarar görmesini ele alırken STPA ise kişilerle sınırlı kalmayıp, kişilerin veya malların zarar görmesi, çevresel kirlilik, taşımacılık ile amaçlanan görevin yerine getirilememesi dahil olmak üzere herhangi bir kayıp olarak ortaya çıkmaktadır (Mallya vd, 2016).

Tehlikeli olay kavramı ise ISO 26262'de zararlı sonuçlanacak durumlar olarak açıklanırken, STPA'daki kaza tanımı ile sonuçlanacak olaylar kastedilmektedir. STPA'da ise tehlikeli olay kavramının net bir tanımı yoktur (Mallya vd, 2016).

STPA ile ISO 26262'nin bir karşılaştırması da emniyet kapsamı boyutunda yapılmaktadır (Abdulkhaleg vd, 2017). ISO 26262'nin emniyet kapsamı HARA metoduna dayalıdır. Bu iki metodun kapsamlarının karşılaştırıldığı bir gösterim Şekil 3.14'te verilmiştir.



Şekil 3.14. 1703.03657 STPA ve ISO 26262 Kapsamlarının Karşılaştırılması (Abdulkhaleg vd, 2017).

HARA ve STPA arasındaki emniyet kapsamı karşılaştırıldığında, HARA'da tehlike kaynağı olarak bir ekipman arızasından kaynaklanan arızalı durum ele alınırken

STPA'da buna ek olarak insan hatası, trafikte rol oynayan unsurlar arasında etkileşim hatası, öngörülemeyen çevresel şartlar veya yazılım hatası gibi kontrolün yitirilmesine sebep olabilecek her türlü durum olarak ele alınmaktadır.

3.4.1 STPA Metodunun Adımları

Tüm bu açıklamalar doğrultusunda STPA'nın, ISO 26262'nin kapsamını genişleterek otonom aracın otonomi fonksiyonlarının getirdiği ilave konuların ele alınmasını sağlayan tamamlayıcı bir metot olarak değerlendirilmektedir. Böylece STPA'nın ISO 26262 kapsamında kullanılması öngörülerek, bu kullanım için izlenecek adımlar aşağıdaki gibi açıklanmaktadır (Abdulkhaleg vd, 2017).

1. STPA Adım 0 (Temel Analizler)
 - 1.1. Kazaların ve sistem-seviyesi tehlikelerin tanımlanması.
 - 1.2. Yüksek-seviye sistem emniyet kısıtlarının tanımlanması.
 - 1.3. Sistemin kontrol yapısı diyagramının çizimi.
2. STPA Adım 0'ın sonuçlarını kullanarak öge (item) ve ögenin amacı, içeriği veya fonksiyonel gereklilikleri gibi bilgiler tanımlanır. STPA Adım 0'daki kontrol yapısı diyagramı analiz edilen sistemin ana komponentlerini gösterir. Bu diyagram, bir ögenin ve sınırlarının tanımlanması için fonksiyonel emniyet mühendisine yardımcı olacak bilgileri içermektedir.
3. HARA yaklaşımı için bir girdi olarak STPA Adım 0'da tanımlanan tehlike, kaza ve yüksek seviye sistem emniyet kısıtlama listeleri kullanılır.
4. HARA yaklaşımı uygulanır:
 - 4.1. Bir ögenin arızalı davranışının sebep olabileceği potansiyel tehlikeler için operasyonel durumları ve operasyon modlar belirlenir.
 - 4.2. Üç faktörün (Önem/vehamet (Severity (S)), Gerçekleşme Olasılığı (Probability of Exposure (E)) ve Kontrol Edilebilirlik (Controllability (C))) tahminine dayalı olarak Adım 0'da tanımlanan tehlikeleri sınıflandırılır.
 - 4.2.1. Farklı durumlardaki tehlikeler göz önünde bulundurularak tehlikeli olaylar tanımlanır.
 - 4.3. Dört ASIL (Automotive Safety Integrity Level) seviyesini (en düşük emniyet bütünlük seviyesi A'dan en yüksek emniyet bütünlük seviyesi D'ye) kullanarak her tehlikeli olay için ASIL seviyesi tanımlanır. Eğer tehlikeli olay makul değilse, bunu QM (Quality Management) olarak nitelendirilir.
 - 4.4. Her tehlikeli olay için emniyet hedefi formüle edilir.

5. STPA Adım 1 için girdi olarak tehlikeli olay, emniyet hedefleri, operasyonel durumlar ve modları kullanılır.
6. Öğenin emniyetli olmayan kontrol aksiyonlarını tanımlamak için STPA Adım 1 uygulanır.
7. STPA Adım 1'de tanımlanmış her emniyetsiz kontrol aksiyonunun nedensel faktörlerini ve emniyetsiz senaryolarını tanımlamak için STPA Adım 2 uygulanır.
8. Bu seviyede sistemin fonksiyonel emniyet konseptini ve emniyet gereklerini oluşturmak için STPA Adım 1 ve 2'nin sonuçları kullanılır.

Hu 2020 yılında STPA metodunun uygulama sürecini Şekil 3.17'deki gibi açıklamıştır.



Şekil 3.15. STPA Metodunun Uygulama Akış Diyagramı (Hu, 2020).

Hu'ya göre STPA analizi spesifik kazalardan, analiz edilen tehlikeli durumlardan ve sistemin emniyete konu davranışlarında tehlikelere sebep olacak olumsuzlukların elemine edilmesi için gerekli emniyet kısıtlamalarından başlar. Daha sonra sistemin kontrol yapısında emniyetli olmayan davranışlar tespit edilmeli ve bu davranışların sebep analizleri yapılarak aracın kontrolünde gerekli güvenlik kısıtlaması elde edilir.

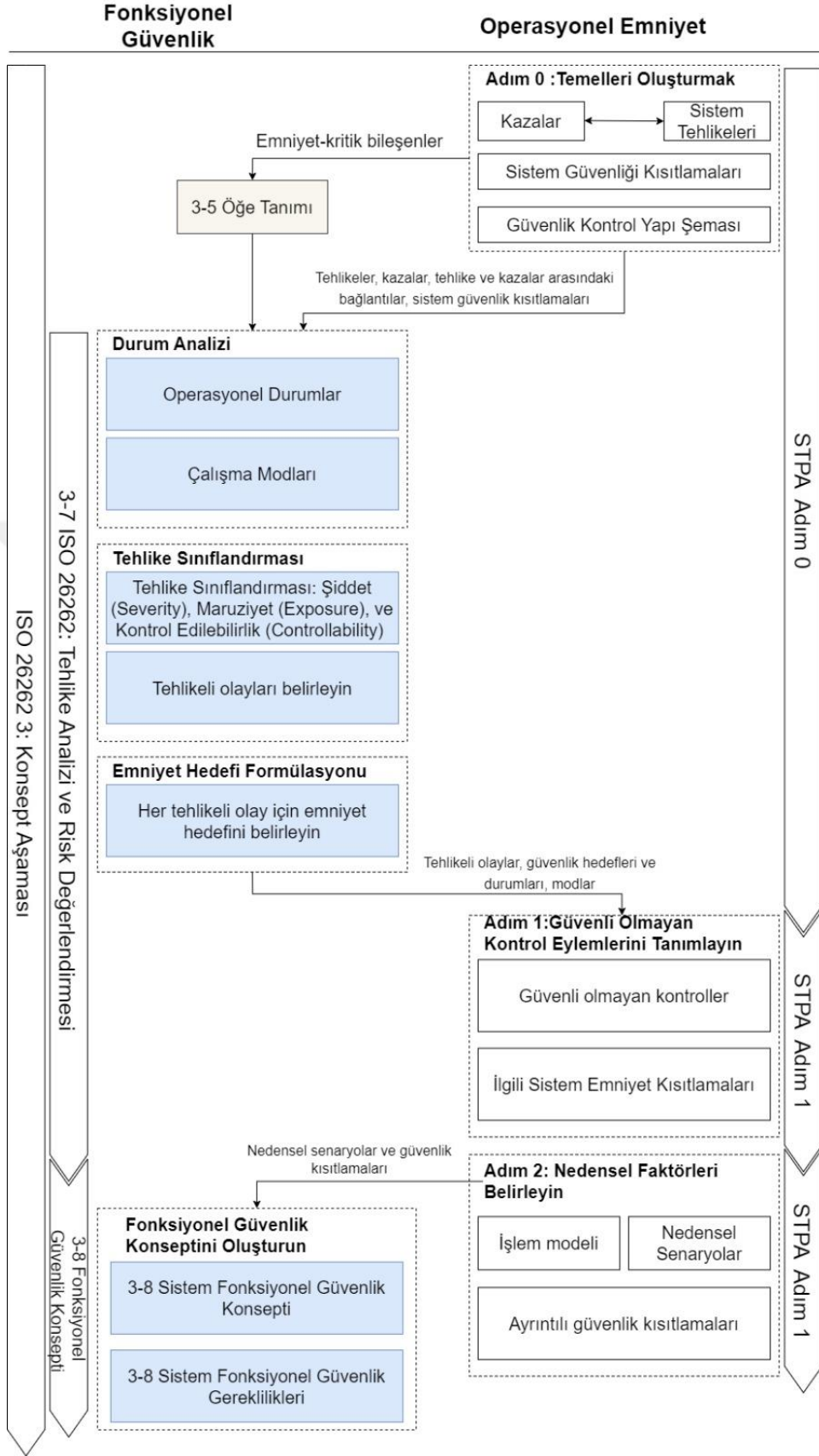
3.4.2 STPA Metodunun ISO 26262 ile Kullanılması

STPA metodunun halihazırda araçların emniyetleri konusunda geçerli olan ISO 26262 standardı ile birlikte kullanılmak üzere geliştirildiğini açıklamıştık. STPA'nın adımlarının ISO ve STPA arasındaki dağılımı ise Şekil 3.16'da açıklamaktadır (Abdulkhaleq vd, 2017).

ISO 26262'nin ilk bölümünde açıklanan HARA (Hazard Analysis and Risk Assessment) süreci dört adımdan oluşmaktadır. Bu adımlarla tehlikelerin analizleri yapılarak tehlikeler tanımlanır, sınıflandırılır ve emniyet hedefleri belirlenir. Fakat bu adımlarda analizi yapılan riskler, aracın alt sistemlerinden kaynaklanabilecek

tehlikeleri ele almaktadır. Oysa otonom bir araçta, aracın alt sistemlerinin yanı sıra sürüş yöntem ve tercihleri ile sürüşe etki edebilecek aracın otonomi fonksiyonuna ait sürüş davranışlarının, iklim ve çevre şartlarının ayrıca sürüş ortamında rol oynayan diğer araçların davranışları gibi risk kaynaklarından doğabilecek tehlikelerin de ele alınması gerekmektedir. Tam da bu noktada STPA bu ihtiyacı karşılamakta ve HARA'ya ilave olarak Adım 1 ve 2 ile bu risklerin ele alınmasını sağlamaktadır. ISO 26262, Bölüm 2'de ise ele alınan tüm riskler doğrultusunda fonksiyonel emniyet konseptinin oluşturulması açıklanmıştır.





Şekil 3.16. STPA'nın ISO 26262'ye Entegrasyonu (Abdulkhaleq vd, 2017).

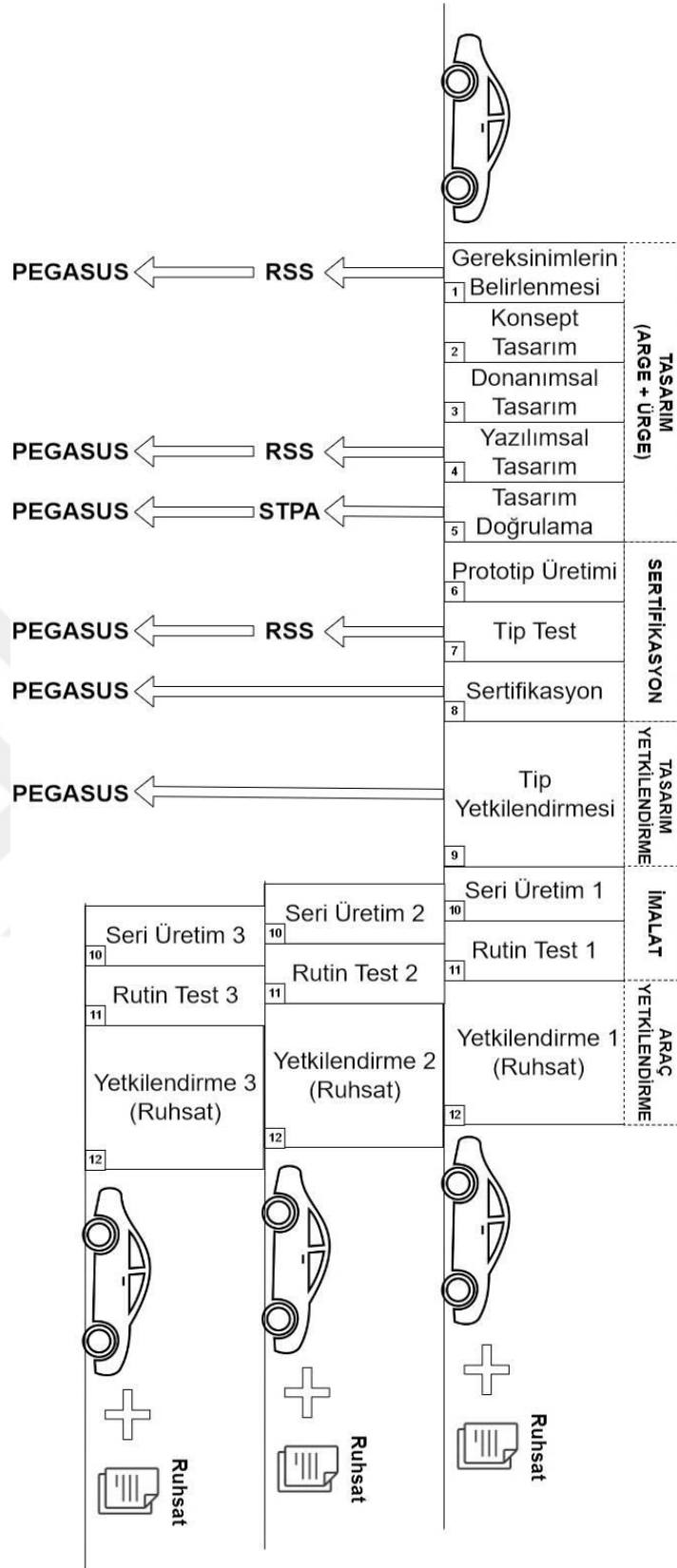
BÖLÜM IV: SERTİFİKASYON İÇİN ÖNERİLEN METOTLAR ARASINDA BİR KARŞILAŞTIRMA

Bu bölümde RSS, STPA ve PEGASUS metotlarının sertifikasyon ve yetkilendirme sürecinde hangi aşamalarda ve alanlarda kullanılabileceği açıklanmış, metotlar arasında uygulama alanları, olası kullanıcı paydaşları, uygulanabilirlikleri açılarından bir karşılaştırma yapılmış ve metotlar arasındaki ilişki açıklanmıştır.

Şekil 4.1'de otonom araçların sertifikasyon ve yetkilendirme aşamaları şematik olarak açıklanmaktadır. Şekildeki gösterimde bu tezin yazarının uzmanlık alanı olan demiryolu araçlarının tasarım, üretim, test, sertifikalandırma ve yetkilendirme aşamaları otonom aracın aynı aşamalarına uyarlanmıştır.

Şekil 4.1'in 1. aşaması olan gereksinimlerin belirlenmesi aşaması, iki kaynaktan doğan ihtiyaçların bir araya getirilmesinden oluşmaktadır. Bunların ilki araç üreticisinin piyasanın beklentileri ve bu beklentilerin gerçekleştirilmesi durumunda tüketiciler tarafından ekonomik olarak kabul edilebilirliği dikkate alınarak belirlenen gereksinimlerdir. Bu gereksinimler boyut veya maksimum hız gibi aracın temel tasarım özelliklerinden meydana gelebileceği gibi iklimlendirme, direksiyon kontrol mekanizmasının türü, koltuk ısıtma, iç aydınlatma gibi konfora yönelik fonksiyonlardan veya kullanılacak malzemelerin kalitesi gibi unsurlardan da meydana gelebilmektedir. İkinci kaynak ise, ulusal ve uluslararası mevzuatlardır. İlk aşamada belirlenen gereksinimlerin ardından, belirlenen tüm bu gereksinimlerin ve aracın tipi itibarıyla gündeme gelecek ulusal ve uluslararası kuralların getireceği gereksinimler toplanarak aracın karşılaması gereken tüm gereksinimler belirlenmelidir.

Bu tez kapsamında yapılan araştırmalar ile RSS yönteminin, aracın üstesinden gelmesi beklenen senaryolar vasıtasıyla yerine getirmesi gereken otonomi fonksiyonların neler olması gerektiği konusundaki soruların bir kısmına cevap verebilmektedir. PEGASUS yönteminde ise sertifikasyon ve yetkilendirme süreci sistematik bir süreç ile netleştirilmiş ve sürecin gereksinimlerin belirlenmesi aşamasıyla başlatıldığı dikkate alındığında bu yöntemin de gereksinimlerin belirlenmesi aşamasına cevap sunduğu görülmektedir.



Şekil 4.1. Sertifikasyon ve Yetkilendirme Sürecinde RSS, STPA ve PEGASUS Metotlarının Rollerini.

2. aşamada belirlenen gereksinimlere istinaden konsept tasarımlar yapılmalıdır. Bu tasarımlar aracın yapısal tasarımından, her bir alt sisteme ilişkin sistem mimarilerine ve alt sistemlerin arayüzlerinin belirlenmesine ve sistem bütünlük tasarımlarının meydana gelmesine kadar aracın tüm detay tasarımlarında referans kabul edilecek tasarımları oluşturmaktadır.

3. aşamada konsept tasarımlarla belirlenen donanımsal gereksinimlere uygun donanım ve malzemeler belirlenerek konsept tasarımlarda ortaya koyulan yapısal tasarımlar ve sistem mimarileri belirlenen donanımlarla detaylandırılarak yeniden-güncellenir. Bu aşamada sistem mimarilerinde kullanımı belirlenmiş donanımların özelliklerine, kullanım alanı ve donanımların mesafeleri dikkate alınarak haberleşme mimarileri de güncellenir.

Donanım altyapısı hazırlanırken RSS ve PEGASUS yöntemlerinde ele alınan senaryolarda yerine getirilmesi gereken otonomi fonksiyonlarının gerçekleştirilmesi için gereken uygun donanımlar belirlenmelidir.

4. aşamada ise donanım ve haberleşme detayları belirlenmiş sistem mimarilerinde her bir alt sistemin yerine getirmesi gereken fonksiyonlarını ve bu alt sistemlerin birbiri ile uyumlu ve senkron bir şekilde entegrasyonlarını sağlayacak şekilde kullanılacak yazılımlar, programlama dilleri, algoritmalar belirlenerek yazılım altyapısı hazırlanır.

Yazılım altyapısı hazırlanırken RSS ve PEGASUS yöntemlerinde ele alınan senaryolarda yerine getirilmesi gereken otonomi fonksiyonlarının gerçekleştirilmesi için gereken algoritmalar hazırlanır.

5. aşamada yapısal, donanımsal, haberleşme ve yazılım detayları ile tamamlanan tasarımların, her bir alt sistemin birbiri ile sorunsuz bir entegrasyonla, hedeflenen performans kriterlerine uygun şekilde belirlenen fonksiyonları yerine getirebildiği doğrulanır. Bu doğrulama, simülasyonlar ve her bir fonksiyon için uluslararası standartlarda belirlenen analiz yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilir. Simülasyon ve analiz sonuçlarının beklenen sonuçları sağladığının teyit edilmesinin ardından prototip üretimine geçilir.

Tehlike analizlerinde ISO 26262'de ele alınmayan otonomi fonksiyonlarına ilişkin tehlike analizleri için STPA yöntemi, doğrulamanın sertifikasyon süreci içerisinde

resmi yetkili makamlar dahil tüm taraflarca izlenebilirliğinin sağlanması ise PEGASUS yöntemi ile sağlanmış olur.

6. aşamada konsept, donanımsal, haberleşme ve yazılımsal tasarımlar doğrultusunda kullanılacak donanımların, alt sistemlerin ve bütünleşik sistemin bir prototipi üretilir.

7. aşamada üretilen donanımların, alt sistemlerin ve bütünleşik sistemin saha ve laboratuvar testleri ve incelemeler gerçekleştirilir. Gerçekleştirilen testlerin akredite laboratuvarlarda yapılması, saha testlerinin ve incelemelerinin ise mahiyetine göre yetkilendirilmiş uygunluk değerlendirme kuruluşları nezaretinde yapılarak test sonuçlarının analizlerinin uygunluk değerlendirme kuruluşlarınca teyit edilmesi gerektiği göz önünde bulundurulmalıdır.

8. aşamada ise tip test sonuçları her testin veya incelemenin mahiyetine göre uygunluk değerlendirme kuruluşları tarafından değerlendirilerek, ulusal ve uluslararası mevzuatta belirlenmiş gereksinimlerin karşılandığı sertifikalandırılır.

9. aşamada ulusal ve uluslararası mevzuatta belirtilen sertifikalar resmi yetkilendirme makamlarına sunulur. Yetkilendirme makamlarının sunulan sertifikalar ve raporlar üzerinde yapacağı incelemelerle uygun bulunması halinde, aracın tasarımına ilişkin tip yetkilendirmesi yapılarak seri üretime geçilmesine izin verilir.

Bu aşamadan sonra 10. ve 11. aşamada seri üretilen her bir araç için tekrar edilir. 10. aşamada, ulusal ve uluslararası mevzuatta belirlenmiş teknik ve idari şartlara uygunluğu sertifikalandırılmış üretim tesislerinde, tip yetkilendirmesine uygun şekilde araç üretilir. 11. aşamada ise üretilen araç ulusal ve uluslararası mevzuatta belirlenen rutin testler yapılarak üretilen aracın tip yetkilendirilmesine uygunluğu kontrol edildikten sonra gene ilgili yetkilendirme makamına başvurularak aracın kullanıma uygunluğuna ilişkin araç yetkilendirmesi alınır. Araç yetkilendirmesi ülkemizde ruhsat belgesi olarak değerlendirilebilir.

4.1 UYGULAMA ALANLARI

Yapılan araştırmalar ışığında RSS metodunun aracın otonomi fonksiyonları ile ilgili temel prensiplerin belirlenmesi için geliştirildiği görülmüştür. Bu yönüyle ürün geliştirme (Ür-Ge) çalışmalarında esas alınması gerekmektedir. Öte yandan üretilen

aracın RSS metodu ile belirlenen prensipleri karşılayıp karşılamadığı, bu prensipler doğrultusunda üretilecek senaryolarla sınınanarak test edilmelidir. Bu test mekanizması ise PEGASUS yönteminde detaylı açıklanmaktadır. PEGASUS yöntemi teker teker tüm işlem basamaklarını açıklamakta, konsept tasarım aşamasından test ve sertifikasyon sürecine kadar tüm süreci bir test mekanizması halinde toplamaktadır. STPA metodunda ise otonom aracın otonomi fonksiyonları sebebiyle araçtan veya dış ortam şartlarından veya trafikteki aktörlerden kaynaklanabilecek risklerin ve bu risklerin kabul edilebilir seviyeye indirgenmesi için alınacak tedbirlerin belirlenmesi için gerekli adımlar açıklanmıştır. Böylece halihazırda konvansiyonel otomobiller için kullanılmakta olan ISO 26262 standardında gereken tamamlamalar yapılabilmektedir.

4.2 OLASI KULLANICI PAYDAŞLARI

RSS yöntemi aracın otonomi fonksiyonları ile ilgili prensipleri belirlediğinden araç üreticilerinin Ür-Ge departmanları tarafından kullanılacaktır. Öte yandan söz konusu prensipler aracın test senaryolarının belirlenmesinde de kullanılacağından resmi sertifikasyon otoriteleri ve test merkezleri de RSS yönteminin muhtemel kullanıcıları arasında olacaktır.

PEGASUS yönteminde ise otonom aracın tasarım, üretim, test ve sertifikasyon süreçlerini bir bütün olarak ele alındığından, alt sistem sağlayıcıları, araç üreticileri, test merkezleri ve resmi sertifikasyon otoriteleri bu yöntemi kullanacak olan muhtemel paydaşlardır.

STPA yöntemi, konvansiyonel aracın sınıandığı ISO 26262 standardında eksik olan otonomi fonksiyonlarının getirdiği risklerin tespiti, risklerin kabul edilebilir seviyeye indirgenebilmesi için gerekli tedbirlerin belirlenmesi konularını tamamladığından tehlike analizi otoritelerinin ve uygunluk değerlendirme kuruluşlarının muhtemel kullanıcılar olduğu değerlendirilmektedir.

4.3 UYGULANABİLİRLİĞİ

Bu tezin yazıldığı tarihlerde her üç yöntemin otonom aracın sertifikasyon sürecinde kullanmak için yeterli gelişimin tamamlanmış olup olmadığı konusunda bir değerlendirme yapıldığında; RSS yönteminin otonom araç konusunda bugüne kadar

yapılan bilimsel ve sektörel çalışmaların çoğuna referans teşkil etmiş olduğu göz önünde bulundurularak uygulanması bakımından yeterli ölçüde tamamlanmış olduğu değerlendirilmektedir. Bu sebeple RSS metodunun halihazırda uygulanabilir olduğu değerlendirilmektedir.

PEGASUS yöntemi ise otomobil ve alt sistem üreticileri ile bilim dünyasından araştırmacıların üzerinde çalıştığı bir projedir. Projenin amaçları, hedefleri ve konsepti açıklanmakla beraber uygulaması ile ilgili şu ana kadar bir akademik veya sektörel çalışma bulunmamaktadır. Öte yandan PEGASUS projesinin tamamlanması için hukuki düzenlemelerin de tamamlanarak yürürlüğe konulması gerekmektedir. Fransa ve Almanya'nın bu konuda çalışmalar olduğu bilinmektedir. Tüm bu sebeplerle yöntemin uygulanabilirliği için çalışmaların devam ettiği görülmektedir.

STPA yöntemi ISO 26262'nin otonom araçlar için kullanımına hazırlanması için geliştirilmiş bir yöntem olup, özellikle alt sistemlerin değerlendirilmesi konusunda akademik çalışmalar olduğu görülmektedir. Yöntemin açık olması ve uygulamalarının bulunması sebebiyle uygulanabilir olduğu değerlendirilmektedir.

4.4 METOTLARIN SERTİFİKASYON VE YETKİLENDİRME SÜRECİNDEKİ ROLLERİ

RSS, PEGASUS ve STPA otonom araçların sertifikalandırılması konusunda Avrupa Konseyi tarafından geliştirilmekte olan yöntemler olarak yayınlanmış olmakla birlikte, aslında bu üç yöntemin birbirine alternatif yöntemler olmaktan ziyade üç farklı alandaki ihtiyaca cevap veren yöntemler olduğu görülmüştür. RSS tasarım ve test kriterlerinin belirlenmesi; PEGASUS tasarımdan piyasaya arza kadar süreci ve süreçteki aktörlerin rollerinin açıklanması; STPA ise otonom fonksiyonların getirmiş olduğu tehlikelerin analizi konularına açıklık getirmekte olup birbirini tamamlayıcı yöntemlerdir.

BÖLÜM V: SERTİFİKASYON SÜRECİNDE BİR KONTROL MEKANİZMASI

Buraya kadar olan bölümlerde otonom araçların sertifikasyonu için önerilen RSS, PEGASUS ve STPA yöntemleri incelenmiştir. Bunların amaçları, kullanım alanları ve gerek metotların eksik ve tamamlanmış yönleri, gerekse otonom araç kullanmayı planlayan ülkelerin metotların uygulanmasında ihtiyaç duyulacak altyapı ve test merkezleri gibi gerekler açısından bu yöntemlerin kullanıma hazır olmaları açısından kullanılabilirlikleri değerlendirilmiştir.

Tüm bunların yanı sıra her ne kadar bu üç yöntem birbirini tamamlayıcı mahiyette gereksinimlere cevap veriyor olsa da sertifikasyon sürecinin, tasarımdan piyasaya arza kadar bir kontrol mekanizmasına ihtiyacı olduğu görülmüştür. Bu kontrol mekanizması üretim sürecinin tüm aşamalarında; ürünün tasarım aşamasından, simülasyon ve analiz doğrulamalarına, prototip testlerinden seri üretim sürecine, rutin test ve kullanıma sunulmasına kadar tüm aşamaları sertifikasyon süreci ile eşleştirerek kontrol etmelidir. Böylece her adımın ulusal ve uluslararası düzenlemelere uygunluğunu teyit etmeli ve süreçteki her bir adımın tamamlanarak ilerlendiğinden emin olunması sağlamalıdır.

Tam da benzer mahiyette bir kontrol mekanizması halihazırda demiryolu alanında kullanılmaktadır. Üstelik otonom araçların ülkelere özgü şartlara göre geliştirilmesi ve test edilmesi gerektiği yaklaşımı dikkate alındığında, benzer durumun ülkelere özgü yerel ve idari teknik kurallara göre farklı özelliklerde üretilen demiryolu araçları için de geçerli olduğu görülmektedir. Bu her iki benzerlik, demiryolu alanında sertifikasyon sürecinde kullanılan kontrol mekanizmasının otonom araçların sertifikasyonunda da kullanılabilir olabileceğini düşündürmektedir.

5.1 DEMİRYOLLARINDA UYGUNLUK DEĞERLENDİRME MEKANİZMASI

Uluslararası mevzuatta bu kontrol mekanizması uygunluk değerlendirme alanına veya yetkilendirilmelerine göre farklılık gösteren NoBo (Notified Body), UTP (Uniform Technical Prescriptions) değerlendirme kuruluşu, DeBo (Designated Body) ve AsBo (Assessment Body) olarak dört farklı başlıkta toplanan uygunluk değerlendirme kuruluşları ile yerine getirilmektedir.

Avrupa Topluluğu 13.08.2008 tarihinde kabul ettiği 768/2008 sayılı kararlarında uygunluk değerlendirme mekanizmasının “Avrupa Topluluğu uyumluluk mevzuatı doğrultusunda uygunluk değerlendirmesi gerektiği durumda, kamu otoriteleri, üreticiler veya onaylanmış kuruluşlar değerlendirme faaliyetlerini yürütebilirler.” ifadeleri ile kamu kurumları, üreticiler veya onaylanmış kuruluşlar yani uluslararası arenada NoBo olarak bilinen uygunluk değerlendirme kuruluşları eliyle yürütülmesine karar vermiştir. 4.12.2010 tarihli ve 2010/713 sayılı kararlarla demiryollarında ortak işletilebilirliğin sağlanması doğrultusunda, ortak işletilebilirlik kapsamına dahil olan ülkelerde uygulamaları standartlaştırmak üzere bu değerlendirmenin hangi değerlendirme modülü kapsamında yapılacağına ilişkin kriterler ve değerlendirme yöntemleri açıklanmıştır.

NoBo'ların temel görevlerinin demiryolu altyapısında ve araçlarında kullanılacak tüm alt sistemlerin teknik uygunluklarını TSI'lara göre değerlendirerek raporlamak olarak açıklanabilir. NoBo'lar bu görevlerini Avrupa Demiryolu Ajansı (European Union Agency for Railways - ERA) tarafından onaylanarak, Karşılıklı İşletilebilirlik İçin Spesifikasyonları (Technical Specifications for Interoperability - TSI) esas alarak yerine getirirler. TSI karşılıklı işletilebilirlik için altyapıların, araçların ve trafik yönetiminin tek tipleştirilmesi ve uyumlu hale getirilmesi için belirlenmiş olan teknik kurallar bütünüdür.

UTP değerlendirme kuruluşları ise COTIF (Convention Concerning International Carriage by Rail) sözleşmesine taraf olan ülkelerde uluslararası taşımacılıkta kullanılmak üzere deklare edilmiş demiryolu hatlarında kullanılacak altyapıların ve araçların UTP şartlarına uygunluklarını değerlendirirler. (COTIF, 1999)

Karşılıklı işletilebilirlik için belirlenmiş teknik kurallar olduğu gibi, ülkelerin kendilerine özgü kuralları da vardır. Genel olarak “Ulusal Kurallar” olarak adlandırılan bu teknik ve idari kurallar ülkelerin kamu otoritelerinin yapısı veya çalışma mekanizmaları, yerel coğrafi şartlardan kaynaklanan kısıtlamalar veya mevcut altyapıların teknik şartlarından kaynaklanan kısıtlamalar gibi özel durumların getirmiş olduğu kurallar olabileceği gibi TSI'larda veya UTP'lerde de ülkelerin belirlemelerine bırakılmış alanlarda da düzenlenmiş olabilirler. Ulusal Kurallar demiryolu altyapısı, araçları veya emniyeti konularında düzenleme yapabilir. Ulusal Kurallar her ülkenin kendi demiryolu emniyet otoritesi eliyle, Bakanlık tarafından belirlenerek yayınlanır. DeBo'lar ise, yine

Ulusal Kurallar'ın uygulanmasından sorumlu olan ulusal emniyet otoritesi tarafından yetkilendirilir. Demiryolu altyapılarının veya araçlarının yetkilendirilmesi için Ulusal Kurallar'da belirlenmiş şartlara da uygun olmaları gerekmektedir. Bu alanda yapılacak uygunluk değerlendirmesi, DeBo'ların görevidir. DeBo'lar uygunluk değerlendirmesi yaparken Ulusal Kurallar'ı esas alırlar.

Demiryolu alanında pek çok kurum ve kuruluş birlikte faaliyet göstermektedir. Aynı ray üzerinde farklı kurum ve kuruluşlara ait demiryolu trenleri, yine farklı emniyet kritik personeller ile işletilmekte olduğu dikkate alınır, demiryolu altyapı işletmecisi ve tren işletmecilerinin her birinin üstesinden gelmek durumunda olduğu tehlikelerin, aslında tüm bu kurum ve kuruluşların ortak tehlikeleri olduğu görülmektedir. Örneğin bir demiryolu tren işletmecisinin demiryolu aracında ortaya çıkabilecek bir arıza, ya demiryoluna zarar vererek aynı yolu kullanan diğer araçları tehlikeye atacak veya arızalı aracın önündeki araçlara çarpma riski ile tehdit oluşturacaktır. Bu durumda her bir kurum ve kuruluşun karşı karşıya kaldığı ve o kuruma özel teknik, operasyonel veya organizasyonel tehlikeleri doğru şekilde analiz ederek yeterli tedbirlerin alındığından demiryolunda faaliyet gösteren tüm kurum ve kuruluşların emin olması gerekmektedir. Bu bağlamda, birbirleri ile uyumlu şekilde faaliyetlerine devam etmeleri, tehlikelere karşı alınan tedbirlerin çakışmaması ve yeterli önlemlerin alınmasının sağlanması için öncelikle herhangi bir demiryolu altyapı veya tren işletmecisinin tehlike analizlerini tek yöntemle yapması gerekir. Bunun için "ortak emniyet yöntemi" olarak adlandırılan bir metodun kullanılması karara bağlanmıştır. Öte yandan demiryolunda faaliyet gösteren tüm kurum ve kuruluşların ve ulusal emniyet otoritelerinin birlikte faaliyet gösteren her bir kurum tarafından ortak emniyet yönteminin doğru bir şekilde uygulandığından, yeterli ve uygun tedbirlerin alındığından emin olması gerekmektedir. Bir uygunluk değerlendirmesi tarafından kontrol edilmesi gerekmektedir. İşte bu noktada ortak emniyet yönteminin doğru şekilde uygulandığını ve yeterli tedbirlerin alındığını kontrol etmek amacıyla AsBo'lar yetkilendirilmiştir. AsBo'lar bu değerlendirmeyi akreditasyon kurumlarından aldıkları akreditasyon belgesine istinaden OTIF ve ERA'nın yetkilendirmesine istinaden yaparlar.

Özetle bir demiryolu altyapısının veya aracının yetkilendirilebilmesi için altyapı veya araç TSI kurallarına göre üretilip inşa ediliyorsa, NoBo'lar ise UTP kurallarına göre UTP değerlendirme kuruluşları tarafından değerlendirilerek raporlanmalıdır. Aynı zamanda ulusal kurallara uygunlukları DeBo'lar tarafından ve tehlike analizlerinin

doğru Şekilde yapıldığı AsBo'lar tarafından değerlendirilerek raporlanır. Ulusal emniyet otoritesine yetkilendirme başvurusu yapılırken bu raporlar ve uygunluk beyanları sunulur. Ulusal emniyet otoritesinin de incelemesinin akabinde herhangi bir uygunsuzlukla karşılaşılmaması durumunda altyapı veya aracın kullanıma sunulması için yetkilendirilmesi yapılır.

Tüm bu açıklamalarımız göz önüne alındığında demiryolu araçlarının sertifikasyon sürecinin otonom aracın sertifikasyon süreci ile örtüşen pek çok yönü olduğu anlaşılmaktadır. Demiryolunda olduğu gibi otonom araçların sertifikasyon sürecinde de bir kontrol mekanizmasının, ürünün tasarımdan piyasaya arza kadar tüm süreci kontrol ve teyit etmesi gerektiği görülmektedir. Bu kontrol görevinin demiryolunda olduğu gibi uygunluk değerlendirme kuruluşları tarafından yürütülmesi gerektiği değerlendirilmektedir.

Demiryolu araçları ile otonom araçların sertifikasyon süreçlerinin hangi yönleri ile örtüştüğu aşağıdaki gibi açıklanabilir:

1. Her iki araç türü uluslararası teknik ve idari kurallara tabi olduğu gibi, ülkelere özgü teknik ve idari kurallara da tabidir. Örnek vermek gerekirse otonom aracın otonomi fonksiyonlarının ülkelerin trafik kurallarına veya sürücülerin ve yayaların davranışlarına göre farklı senaryolarda işletilmek üzere programlanarak test edileceği dikkate alınabilir.
2. Her iki araç türü ile ilgili tehlike analizleri yapılmalı, teknik ve işletme riskleri tespit edilmeli, önlemler alınmalıdır. Fakat hem tehlike analizleri yapılırken belirlenmiş analiz yöntemlerinin doğru bir Şekilde uygulandığının hem de doğru ve yeterli önlemlerin alındığının teyit edilmesi gerekmektedir. Konvansiyonel bir araç için ISO 26262'de belirlenmiş olan tehlike analizinin bir kez yapılması yeterli olacakken, otonom aracın işletilmesinde dayanak alınacak otonom sürüş kriterleri bölgelere özgü olacağından, aynı otonom aracım pek çok versiyonunun üretilmesi ve tehlike analizlerinin de her otonom araç versiyonu için tekrarlanması gerekeceği göz önünde bulundurulmalıdır. Bu durumda dünyanın her yerinde çalışmak üzere tehlike analizinin kontrolü için bu alanda yetkin uygunluk değerlendirme kuruluşlarının sürece dahil edilmesi uygun olacaktır.

Demiryolu alanında demiryolu aracının veya demiryolu altyapısının uluslararası teknik Şartlara uygunluğu NoBo'lar ulusal kurallara uygunluğunun DeBo'lar, tehlike

analizlerinin uygunluğunun ise AsBo'lar tarafından kontrol ve teyit edilerek raporlandığını açıklamıştık. Otonom araçların da gerek ulusal gerek uluslararası şartlara uygun olması gerektiği dikkate alındığında, demiryolları ile aynı kontrol mekanizmalarının kullanımının bu açığı tamamlayacak doğru bir çözüm olabileceği değerlendirilmektedir. Dolayısıyla otonom aracın uluslararası teknik şartlara uygunluğunun NoBo'lar, ulusal kurallara uygunluğunun DeBo'lar, tehlike analizlerinin ise AsBo'lar tarafından kontrol ve teyit edilmesi sertifikasyon sürecinde tasarım, üretim, ürünün gerçekleştirme ve doğrulama aşamalarında üretici ve resmi otoriteler arasında koordinasyona ve doğru ilerlemeye katkıda bulunacaktır.

Bu öneriye göre uluslararası geçerlilikte olan karayolu kuralları ve uygulamaları ile ülke ya da bölge kısıtı olmaksızın tüm insanlar tarafından kabul görmüş olan sürücü davranışlarının tek bir teknik/idari şartlar bütünü haline getirilmesi ve bu şartlara uygunluk için uygulanması gereken test araç gereçleri, yöntemleri ile prosedürlerinin oluşturulması gerektiği öngörülmüştür. Böylece uluslararası teknik ve idari şartların sağlandığının doğrulanması görevinin bu alanda yetkilendirilecek NoBo'lara verilmesi gerektiği önerilmektedir. Böylece NoBo tarafından uygunluk değerlendirilmesi tamamlanan ve sertifikalandırılan bir otonom aracın, uluslararası trafikte kullanılabilmesi için gereken şartları haiz olduğu açıklığa kavuşmuş olacaktır.

Tam da bu noktada açıklanması gereken iki husus bulunmaktadır. Bir ülkede üretilen otonom aracın uluslararası trafikte kullanılabilmesi için üretim yapılan ülkenin ve otonom araçların uluslararası kullanımına izin verecek ülkelerin sağlanması gereken şartlar bulunmaktadır. Birincisi aracın uluslararası gerekliliklerin sağlandığını teyit edebilecekleri akredite test merkezlerinin temini, ikincisi ise otonom araçların kullanımı için ihtiyaç duyulan yol boyu ve merkezi altyapı gerekliliklerinin sağlanmasıdır. Dolayısıyla, NoBo'lar tarafından teyit edilecek teknik ve idari şartların neler olacağını belirlemenin ardından açıklığa kavuşturulması gereken ikinci husus test merkezleri ve altyapı için karşılanması gereken teknik ve idari şartların tespit edilmesidir.

Tüm bu teknik ve idari şartların belirlenmesinin ardından, otonom araçların uluslararası trafikte kullanılabilmesi için ülkelerin hangi altyapılarında bu teknik ve idari gereksinimlerin karşılandığını uluslararası yasal bir mekanizma dahilinde ilan etmeleri ve otonom araçların uluslararası trafiğe açık olduğu ilan edilen belirli karayollarında kullanımına izin verilmesi sağlanmalıdır. Tüm bu düzenlemelerin uluslararası geçerliliklerinin kullanılacak yöntemlerin bir uluslararası sözleşme

dahilinde yapılması gerekmektedir. Örneğin demiryollarında bahsedilen uluslararası mekanizma OTIF (Uluslararası Demiryolu Taşımacılığı Hükümetler Arası Örgütü)'dür. OTIF'e üye olunması içinse, demiryollarında uluslararası teknik ve idari şartların, demiryolu aracı üretiminde sertifikasyon sürecinin, işletme ve bakım şartlarının, üye ülkelerin uymakla yükümlü olduğu sorumlulukların ve zaman içerisinde gerekecek güncellemelerin nasıl yapılacağına dair yöntemlerin açıklandığı COTIF sözleşmesinin imzalanması gerekmektedir. Benzer bir yasal altyapının otonom araçların uluslararası kullanımı için de öngörülmesi gerektiği değerlendirilmektedir.

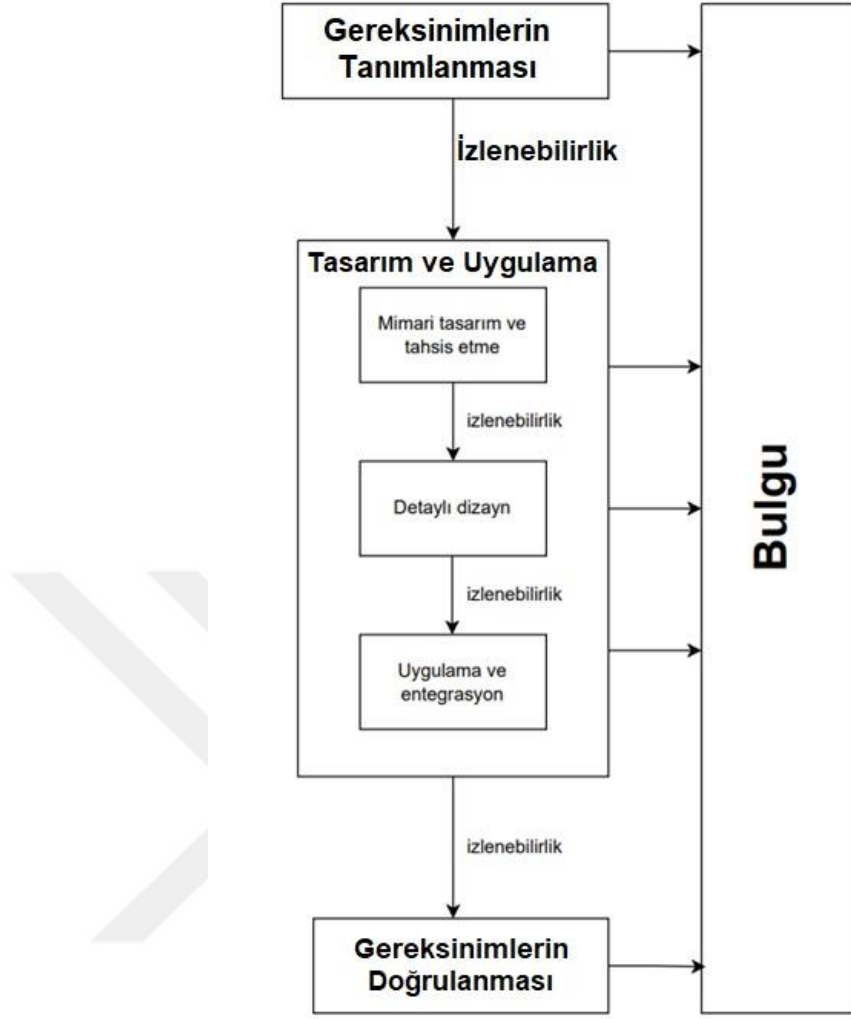
Bir otonom aracın uluslararası kullanıma sunulabilmesi için karşılanması gereken teknik ve idari şartlar olduğu gibi, ülkelerin örneğin coğrafi yapısından kaynaklanan, karayolu altyapısına veya trafik uygulamalarına dair, idari veya teknik birtakım şartları sebebiyle karşılanması gereken özel şartlar da olabileceği dikkate alınmalıdır. Bu gibi şartlar demiryollarında ulusal kurallar olarak isimlendirilmektedir. Ulusal kurallarda açıklanan şartlar yalnızca yayınlanmakta olduğu ülkeye özgü olduğundan, uluslararası geçerlilikte belirlenmiş ve NoBo'ların görev alanına giren şartlar arasında bulunmayacaktır. Bu durumda ulusal kuralların karşılandığının teyidi için farklı bir uygunluk değerlendirme kuruluşu olarak DeBo'ların görevlendirilmesi gerekecektir. Ulusal kuralların içeriğinde otonom araçların karşılaması gereken teknik ve idari şartların yanında, bu şartların nasıl doğrulanacağına da açıklanması, test prosedürlerinin ve testlerin icrası için yetkilendirilmiş kurumların belirlenmesi gerekecektir. Böylece DeBo'lar, otonom araçların ulusal kurallara uygunluğunu belirlenmiş test merkezlerinden alınacak test sonuçları ile değerlendirerek sertifikalama işlemini yapabileceklerdir.

Otonom araçların tehlike değerlendirmesinde, geleneksel araçlar için kullanılan yöntemlere yapılması için öne sürülen yöntemler tezimizin üçüncü bölümünde açıklanmıştır. Bu yöntemler, halihazırda ISO 26262'nin uygulanmasından ve sertifikasyonundan sorumlu kurumlar tarafından uygulanabilir olsalar da söz konusu tehlike analizlerinin ülkelerin ulusal kurallarında açıklanan şartlar sebebiyle değişken olması, bu konunun şimdiye kadar tehlike analizlerinin uygulanması için yetkilendirilmiş kurumların dışında, otonom araçların tehlike analizi konusunda uzmanlaşmış değerlendirme kuruluşlarına ihtiyaç olduğunu düşündürmektedir. Bu mekanizma demiryollarında, yine demiryolu araçları, altyapıları ve uygulamaları için geliştirilmiş olan CSM (Common Safety Method - Ortak Emniyet Yöntemi) ile tehlike

analizlerinin yapılması için görevlendirilmiş AsBo'lar ile yerine getirilmektedir. Dolayısıyla otonom araçlarında geleneksel araçlardan farklı olarak uluslararası ve ulusal gereksinimler sebebiyle çok farklı tehlikelerin gündeme geleceği göz önünde bulundurulduğunda, otonom araçlara özel olarak geliştirilmiş olan STPA yöntemi ile açıklanan tehlike analizi yönteminin uygulanmasını doğrulamak üzere AsBo gibi bir değerlendirme kuruluşunun görevlendirilmesinin daha kesin sonuçların elde edilmesine katkı sunacağı değerlendirilmektedir.

5.2 DEMİRYOLLARINDA UYGUNLUK DEĞERLENDİRME SÜREÇLERİNİN OTONOM ARAÇLARA UYARLANMASI

AB'nin 2018/545 sayılı direktifinde bir demiryolu aracının uluslararası ve ulusal mevzuata uygun tasarlanması, üretilmesi ve değerlendirilmesi süreci gereksinimleri yakalama süreci olarak tabir edilmektedir. Buna göre gereksinimleri yakalama süreci Şekil 4.2'de gösterildiği gibi tanımlama, tasarım, uygulama ve değerlendirme alt süreçlerinden oluşmaktadır ((AB) 2018/545).



Şekil 4.2. Gereksinimleri Yakalama Süreci (ERA 1209/146, 2022).

Tanımlama süreci: Gereksinimlerin tanımlanması aşamasında uygunluğu değerlendirilecek olan demiryolu aracının tipine, kullanım alanına ve kullanılacağı bölgeye göre hangi uluslararası ve yerel mevzuata tabi olarak değerlendirileceği belirlenmektedir. Aracın değerlendirileceği mevzuatların belirlenmesi, sertifikasyon sürecinde hangi değerlendirme kuruluşlarının rol oynayacağını belirlemektedir.

Örnek vermek gerekirse bir yük vagonunun sertifikasyon sürecinde, TSI şartlarına göre üretilecek olan vagonun, öncelikle alt sistemlerinin birbirleriyle uyumluluğunun, ardından alt sistemlerin emniyetli entegrasyonunun ve son olarak vagonun kullanılacağı bölgedeki demiryolu altyapısı ile uyumluluğunun değerlendirilmesi gerekmektedir. Tüm bu gereksinimler (AB) 2016/797 direktifinde açıklanmakta

olduğundan, bu konuların söz konusu direktife uygunluğun değerlendirilmesi için görevlendirilmiş olan NoBo'lar tarafından yapılması gerekmektedir ((AB) 2016/797).

Öte yandan vagonun kullanılacağı bölgeye özgü teknik şartlar, o ülkenin Ulusal Demiryolu Araç Kuralları'nda açıklanmaktadır. Bölgeye özgü kurallara örnek vermek gerekirse; altyapının yük taşıma kapasitesi sebebiyle dingil basıncındaki kısıtlamalar olabilir. Böyle bir durumda bölgedeki demiryolu altyapısında izin verilen dingil basıncı TSI'da izin verilen dingil basıncından daha düşük olabilir. O halde TSI'a uygun olan bir vagon, bu gibi bölgeye özgü teknik şartların açıklandığı Ulusal Kurallar'a aykırı kalabilir. Bu sebeple vagonun Ulusal Kurallara uygunluğunun ayrı bir değerlendirme kuruluşu olan DeBo'lar tarafından değerlendirilmesi gerekecektir. Tüm bunların ardından vagonun kullanımına dair tehlike analizlerinin, demiryolunda tehlike analizi yöntemlerinin açıklandığı Ortak Emniyet Yöntemi'ne göre yapılması gerekecektir. Bu iş için de CSM'de AsBo'ların görev alacağı hesaba katılır.

Tasarım ve Uygulama süreci: Tasarım ve uygulama ise mimari tasarım ve tahsis, detay tasarım ile imalat ve entegrasyon alt süreçlerinden oluşmaktadır. Tanımlama sürecinde aracın tipi, kullanım alanı ve kullanılacağı bölgeye özgü olarak esas kabul edilecek ulusal ve uluslararası mevzuat belirlenmiştir. Uygulama sürecinde ise belirlenen mevzuatta yer alan teknik şartlar dikkate alınarak öncelikle aracın mimari tasarımı ve bu mimari tasarımdan yola çıkılarak her bir alt sistem için detay tasarımlar yapılır. Yapılan bu tasarımlara uygun olarak prototip ürünler imal edilir.

Tüm bu değerlendirme sürecinin temel amaçları şu şekilde sıralanabilir:

- Gereksinimlerin tanımlanması,
- Gereksinimlerin karşılıklarının aracın fonksiyonlarına, alt sistemlerine veya komponentlerine atfedilerek paylaşılması,
- Gereksinimlerin aracın tasarımında dayanak teşkil eden özelliklerinde esas alınması,
- İmalat,
- Doğrulama,
- Değerlendirme,
- İzleme ve doküman oluşturma.

Demiryolu araçlarının sertifikasyon ve yetkilendirme sürecinin amacı (AB) 2016/797'de açıklanan uluslararası temel gereksinimlerin sağlandığının garanti altına alınmasıdır. Temel olarak bu gereksinimler şunlardır ((AB) 2016/797):

- Emniyet
- Güvenilirlik / emre amadelik
- Çevreyi koruma
- Teknik uyumluluk
- Erişilebilirlik

Değerlendirme süreci: Gereksinimlerin değerlendirilmesinde ise uygulama sürecinde üretilen prototiplerin, tasarımlara ve dolayısıyla esas alınmakta olan mevzuatta belirlenmiş olan teknik şartlara uygunlukları değerlendirilmektedir. Bu değerlendirmeler somut çıktılar üzerinden, testler vasıtasıyla yapılmaktadır.

Gereksinimleri yakalama süreci aracın tasarım ve geliştirme (ÜR-GE) fazının erken aşamasından itibaren başlatılmalıdır. Özellikle AsBo bu sürecin olabilen en erken aşamasında görevlendirilmelidir. Çünkü AsBo'nun sürece geç dahil edilmesi, herhangi bir uygunsuzluğun geç tespit edilmesine, bu da tasarım ve prototip üretimi ilerlemiş olan projede geri dönülmesi gereken veya çözülmesi zor durumlarla karşı karşıya kalınmasına sebebiyet verebilir. Öte yandan böyle bir durumun çözümü bulunsa bile, sertifikasyon sürecinin sonunda, yetkili otorite tarafından yürütülen yetkilendirme işlemleri sırasında fazladan inceleme yapılmasını gerektirecektir ki bu da yetkilendirme sürecinin daha uzun sürmesine yol açacaktır (ERA, 2022).

Sürece ilk dahil olması gereken AsBo, üretilecek aracın tipini, kullanım alanını ve kullanılacağı bölgedeki altyapı özelliklerini dikkate alarak gereksinimleri yakalama sürecine dahil olacak olan diğer uygunluk değerlendirme kuruluşlarını ve hangi aşamada dahil olacaklarını belirler. Bunlar araç TSI şartlarına göre üretilmesi planlanıyorsa NoBo, UTP şartlarına göre üretilmesi planlanıyorsa UTP Değerlendirme Kuruluşu ve uygulanabilir ulusal kural varsa DeBo'dur. Tüm bu uygunluk değerlendirme kuruluşlarının değerlendirme raporlarının haricinde, üretimden sorumlu olan kurum da aracın ulusal ve uluslararası mevzuatlarda belirlenmiş olan tüm gereksinimleri karşılamakta olduğunu beyan etmelidir. Diğer uygunluk değerlendirme kuruluşlarının gereksinimleri yakalama sürecindeki rollerini tamamlamalarının ardından sertifikalarını düzenleme ve sertifikalarına eşlik edecek

dosyaları tamamlamalarının ardından AsBo'nun rolü de sona erebilecektir. Böylece gereksinimleri yakalama süreci son bulmuş olur (ERA 1209/146, 2022).

Gereksinimleri yakalama sürecinde dikkate alınacak gereksinimlerin neler olacağı konusunda uluslararası mevzuat ele alındığında, TSI veya UTP şartlarının, ulusal mevzuat esas alındığında Ulusal Araç Kurallarının dikkate alınacağına değinmiştik. Bu gereksinimler temel gereksinimler olarak değerlendirilmekle birlikte gereksinimlerin yakalama sürecinde esas alınan gereksinimler temel gereksinimlerle sınırlı değildir. Bunların haricinde, aracı satın alan ve üreten arasında imzalanan sözleşmede belirlenmiş olan özellikler veya üretici firmanın geliştirmiş olduğu konsept tasarımın getirmiş olduğu özellikler de dikkate alınacak diğer gereksinimlerdir. Ayrıca demiryolu aracını doğrudan konu etmeyen ulusal veya uluslararası mevzuatlar, aracın fonksiyonel veya teknik tasarımlarında dikkate alınması gereken ilave gereksinimleri gündeme getirebilmektedir. Tüm bu gereksinimlerin toplamı, gereksinimleri yakalama sürecinde dikkate alınacak gereksinimleri oluşturmaktadır.

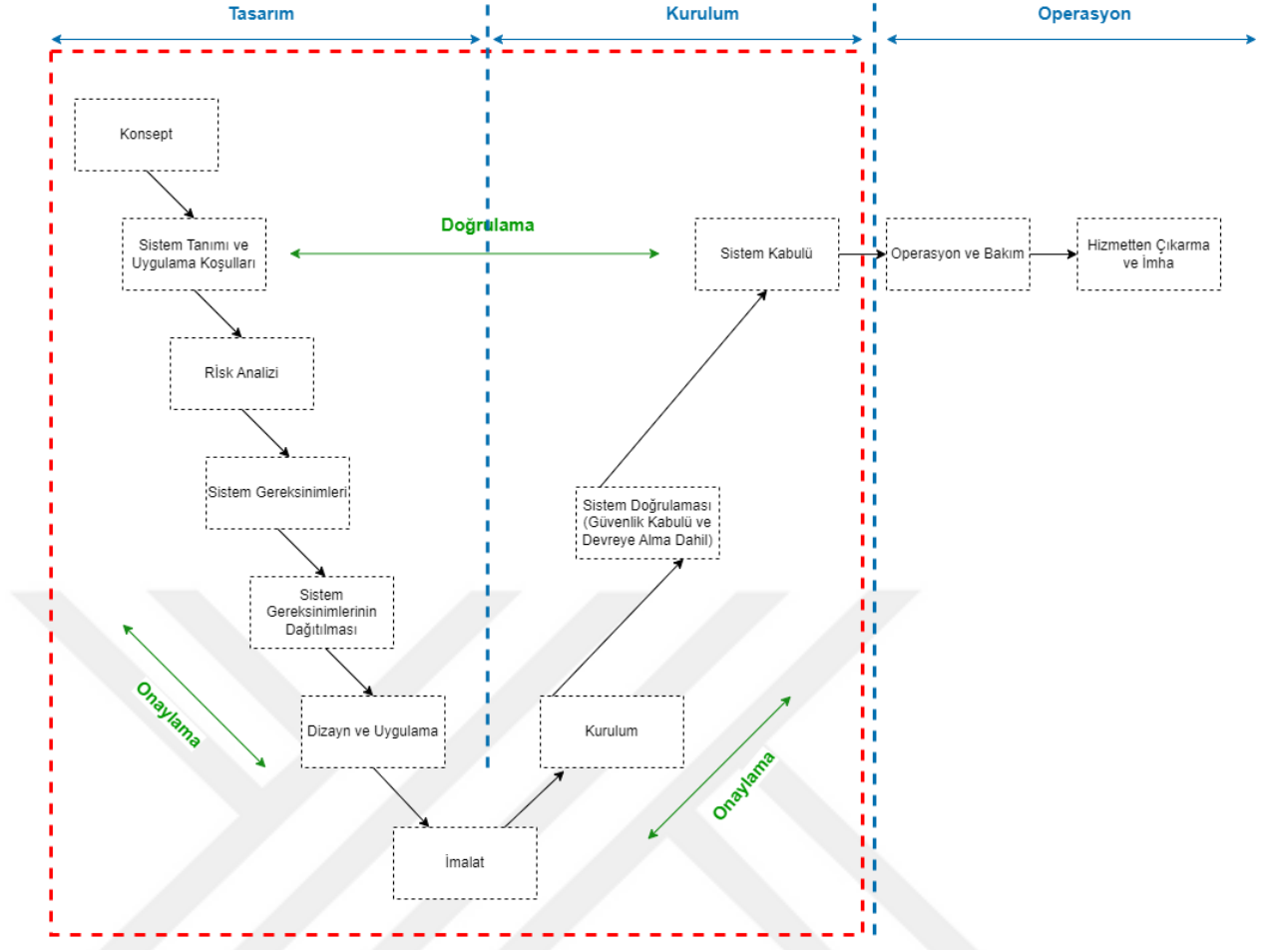
Öte yandan gereksinimlerin belirlenmesi sırasında dikkate alınması gereken bir husus mevzuatların öngörmekte olduğu gereksinimlerin birbiri ile çelişmesi veya birbirini kısıtlayıcı nitelikte olmasıdır. Bu durumlarda göz önünde bulundurulması gereken yaklaşım şu olmalıdır: Uluslararası mevzuatlar tüm mevzuatları kapsayıcı nitelikte genel gereksinimleri tanımlamakta, ulusal mevzuatlar ise uluslararası geçerli mevzuatın, aracın kullanılacağı bölgedeki gereksinimleri tanımlamaktadır. Yani ulusal ve uluslararası mevzuat arasında bir kısıtlama veya çelişki gündeme geldiğinde esas alınacak olan gereksinimler, aracın kullanılması planlanan bölgeye özgü kuralların açıklandığı ulusal mevzuatlar olmalıdır. Araç birden fazla ülkede kullanılması planlanıyorsa, kullanılması planlanan tüm ülkelerin ulusal mevzuatlarında belirlenmiş olan gereksinimlerin karşılanması gerekeceği dikkate alınmalıdır. Şekil 4.3'te gereksinimlerin belirlenmesinde dikkate alınacak mevzuat ve kaynaklar şematik olarak açıklanmaktadır.

Gereksinim Yakalama



Şekil 4.3. Gereksinimlerin Belirlenmesi (ERA 1209/146, 2022).

Gereksinimleri yakalama sürecini aşağıdaki şematik gösterimle modellemek mümkündür.



Şekil 4.4. V Döngüsü (BS EN 50126-1:2017).

Gereksinimleri yakalama süreci uygulama ve değerlendirme süreçlerinin her ikisinin birlikte yürütülmesini gerektirmektedir. Şekil 4.4'teki şematik gösterimde gereksinimleri yakalama sürecinde izlenen adımların tanımlandığı, EN 50126-1'de açıklanmış olan V döngüsü şematize edilmiştir. Bu döngüde imalat ve değerlendirme süreçleri eş zamanlı olarak ilerlediği gibi, aynı zamanda değerlendirme sürecinin girdisi olan kanıtların dokümantasyonu da ele alınmaktadır (BS EN 50126-1:2017).

Tüm bu süreçler demiryollarında kullanılacak materyallerin uluslararası ve ulusal gerekliliklere uygunluğun garanti altına alınması için yürütülmekte olan sertifikasyon süreçlerinde kullanılmakta olan süreçlerdir. Bu süreçler, daha önce de belirtildiği üzere yetkilendirilmiş oldukları sorumluluk sınırlarına göre NoBo'lar, UTP değerlendirme kuruluşları, DeBo'lar ve AsBo'lar tarafından yürütülmektedir.

Otonom araçların sertifikasyon süreçlerinde de demiryolu araçlarının sertifikasyon süreçlerinde olduğu gibi istekli kurum ve kuruluşların kabiliyet ve taleplerine uygun şekilde yetkilendirilmesi ile sertifikasyonun tüm dünyada tanınır hale gelmesi, hem uluslararası hem de ulusal gereksinimlerin sağlandığının ayrı ayrı teyit edilmesi ve en önemlisi de otonom aracın birden fazla ülkede kullanılabilmesi durumunda, kullanılacağı farklı ülkelerdeki ulusal kuralların tümünü karşılayabilecek durumda olduğunun resmi otoriteler tarafından anlaşılabilmesine ve aracın uluslararası trafikte emniyetli bir şekilde kullanılmasına imkan sağlayacaktır.



BÖLÜM VI: SONUÇ

Günümüzde otonom araçlar ticarileşmiş ve bazı ülkelerde yerel mevzuata dayalı olarak kullanıcıların hizmetine sunulmuş olsalar da otonom bir aracın ulusal ve uluslararası mevzuat gereksinimlerinin neler olacağı, üreticilerin araçları hangi fonksiyonel şartlara uygun tasarlayacakları, bu şartların hangi yöntemlerle test edileceği ve yetkili devlet otoritelerinin araçların sertifikasyon sürecini nasıl kontrol edeceği konularında çalışmalar henüz sonuçlandırılabilmiş değildir.

Bu tez çalışmasında AK'nın 2020 yılında yayınlamış olduğu "Otonom Araçların Sertifikasyonu İçin Yeni Yaklaşımlar" raporunda açıklanan RSS, STPA ve PEGASUS yöntemleri incelenmiş, otonom aracın sertifikasyon sürecinde bu yöntemlerin hangi aşamalarda, hangi alanlarda ve hangi aktörler tarafından kullanılması gerektiği açıklanarak, otonom araçlar için bir sertifikasyon modeli geliştirilmiştir. Aynı zamanda sertifikasyon sürecinde bir kontrol mekanizması olarak uygunluk değerlendirme kuruluşlarının görevlendirilmesine yönelik bir öneride bulunulmuş ve demiryolu araçlarının sertifikasyon süreci ile otonom araçların sertifikasyon sürecinin hem uluslararası hem de ulusal mevzuat gerekliliklerinin sağlanması ve araçların teknik gereksinimlerinin ülkelerin teknik şartlarına ve sürücülerin genel sürüş davranışlarına göre belirlenmesi gerektiği gibi benzerliklerden yola çıkılarak, hangi alanlarda faaliyet gösteren uygunluk değerlendirme kuruluşlarının görevlendirilebileceği ve bu uygunluk değerlendirme kuruluşlarının hangi görevlerle sertifikasyon sürecine dahil olabileceği demiryolu uygulamaları örnek verilerek açıklanmıştır.

Bu aşamadan sonra, otonom araçların bu çalışmada açıklanan sertifikasyon sistematğine tabi tutularak sonuçların değerlendirilmesi ve sertifikasyon sistematğinde tespit edilecek eksikliklerin tamamlanmasına yönelik önerilerde bulunulmalıdır. Ayrıca bu çalışmada SAE 3 ve SAE 4 otonomi seviyesindeki araçların otonomi fonksiyonları esas alındığından, SAE 5 seviyesindeki araçların otonomi fonksiyonlarından beklenecek değişikliklerin tespit edilmesi ve öne sürülen sertifikasyon sistematğinde gereken geliştirmelerin yapılması gerekecektir. Bu bağlamda SAE 5 seviyesindeki araçlarda sürücünün kullanımına sunulan herhangi bir sürüş ekipmanı bulunmayacağı dikkate alınarak, sürücünün otonom aracın günümüzün teknolojisi ile yerine getiremeyebileceği değerlendirilecek görevlerin de hesaba katılması gerekmektedir.

Otonom araçların gerek tasarım gerekse sertifikasyon sürecinde gözlemlenen en önemli eksiklik, bu tez kapsamında incelenen yöntemlerde ele alınan senaryo bazlı testlerde iklim koşulları, heyelan, bakım onarım çalışmaları veya kaza sonucu yolun zemin şartlarında meydana gelebilecek değişimlerin hesaba katılmadığı görülmektedir. Dolayısıyla aracın otonomi fonksiyonlarını beklenmeyen sebeplerle yerine getiremeyebileceği durumlarla karşı karşıya kalabileceği unutulmamalıdır. Böyle bir durumda otonom aracın otonomi fonksiyonlarını nasıl yerine getirebileceği bilinemeyeceğinde, otonomi fonksiyonlarının nasıl davranış sergilemesi gerektiğinin tasarlanması için şimdiye kadar geliştirilen trafik senaryolarının haricinde, acil durum senaryoları geliştirilmesi gerektiği değerlendirilmektedir.

Benzer şekilde aracın lastiklerinin veya fren sisteminin sarf malzemelerinin zamana bağlı olarak yıpranması sonucu aracın fonksiyonlarının tasarımında kullanılan formüllerde esas alınan fabrika performans verilerinin zaman geçtikçe değişebileceği dikkate alınarak, araç prototipinin tip test aşamasını başarıyla tamamlamasından sonra seri üretilen araçların kullanım ömrü boyunca karşı karşıya kalacağı öngörülen senaryolarda, tip test aşamasında elde edilen performansı sağlayamayacağı göz önünde bulundurulmalıdır. Benzer bir anlayış demiryolu araçlarında da söz konusudur. Demiryolu araçlarının kontrolünü üstlenen sinyalizasyon sistemlerinin programlanmasında, aracın kullanımı sırasında yükünün değişebileceği, tekerlek aşınması sebebiyle tekerleğin bir tur dönmesi halinde kat edilecek mesafenin gittikçe azalacağı ve tekerlekle ray arasındaki tutunma katsayısının çevresel şartlarla değişiklik gösterebileceği göz önünde bulundurulmaktadır. Bu sebeple araç üstü sinyalizasyon sisteminin demiryolu aracını kontrol etmek için aracın alt sistemlerine verdiği hızlanma veya yavaşlama komutlarının sahadaki yansımalarını sinyal sisteminin kendi sensörleri vasıtasıyla devamlı kontrol ve teyit edilmekte, sahadaki gerçekleştirmelere bağlı olarak önceden planlanan komutların güncellenmesi sağlanmaktadır. Sinyalizasyon sisteminin demiryolu aracını yavaşlatması için frenleme ivmesi komutu gönderdiği sırada, aracın beklenmeyen bir sebeple öngörülen fren performansını gösteremediği tespit edildiğinde, aracın hedeflenen noktada durdurulabilmesi için frenleme ivme komutu revize edilerek ivme değeri arttırılmaktadır. Demiryolu aracının sinyalizasyon sistemi tasarımında dikkate alınan bu yaklaşımın otonom aracın otonomi fonksiyonlarının tasarımında da kullanılması, aracın tasarımı ve testleri sırasında aracın fonksiyonlarını yerine getirirken alt sistemlerine verdiği komutların sahadaki gerçekleştirmelerini sürekli kontrol etmesi ve verdiği komutları sahadaki gerçekleştirmelerden aldığı geri bildirimler doğrultusunda

güncellemesi gerektiği değerlendirilmektedir. Böylece RSS'in birinci ve ikinci kurallarında açıklanan formüllerde adezyonun da matematiksel modellemeye dahil edilmesi ve aracı yöneten yapay zeka tabanlı bilgisayarın, frenleme alt sistemine vereceği fren komutunun fiilen geręekleşmesini ölçerek maksimum frenleme mesafesini sahadaki adezyon katsayısına göre yeniden hesaplaması ve güncellemesi gerektiği değerlendirilmektedir.

Otonom araçların otonomi fonksiyonlarının tasarımı, sertifikasyonu ve yetkilendirilmesi konusunda gelecekte yapılacak çalışmalarda, yukarıda açıklandığı üzere bu tez çalışmasında incelenen metotların ve önerilen kontrol mekanizmasının eksikliklerinin tamamlanması, sertifikasyon sürecinin resmi bir model haline getirilerek ulusal ve uluslararası mevzuat geliştirilmesi yönünde araştırmalar yapılması gerekmektedir.

KAYNAKÇA

Abdulkhaleq, A., Wagner, S., Lammering, D., Boehmert, H., & Blueher, P. (2017). "Using STPA In Compliance With ISO 26262 For Developing A Safe Architecture For Fully Automated Vehicles". arXiv preprint arXiv:1703.03657.

Abdulkhaleq, A., Wagner, S. (2013). "Experiences with applying STPA to software-intensive systems in the automotive domain", STAMP Workshop, MIT, pp. 1-3.

AB. (2018). 2018/545, Commission Implementing Regulation (EU) 2018/545 of 4 April 2018 establishing practical arrangements for the railway vehicle authorisation and railway vehicle type authorisation process pursuant to Directive (EU) 2016/797 of the European Parliament and of the Council. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32018R0545&qid=1670695556857> [Son Erişim 08.01.2023]

AB. (2020) Consolidated text: Directive (EU) 2016/797 of the European Parliament and of the Council of 11 May 2016 on the interoperability of the rail system within the European Union (recast) (Text with EEA relevance)Text with EEA relevance. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02016L0797-20200528&qid=1673367162623> [Son Erişim 08.01.2023]

AK. (2008). Decision No 768/2008/EC Of The European Parliament And Of The Council Of 9 July 2008 On A Common Framework For The Marketing Of Products, And Repealing Council Decision 93/465/EEC. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008D0768&qid=1672175431688&from=EN> [Son Erişim 08.01.2023]

AK. (2010). 2010/713/EU, Commission Decision of 9 November 2010 on modules for the procedures for assessment of conformity, suitability for use and EC verification to be used in the technical specifications for interoperability adopted under Directive 2008/57/EC of the European Parliament and of the Council (notified under document C(2010) 7582). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32010D0713&qid=1670691071236> [Son Erişim 08.01.2023]

A. Shashua, S. Shalev-Shwartz, and S. Shammah. (2018). "Implementing the RSS model on NHTSA pre-crash scenarios." Mobileye. Tech. Rep.

Başargan, H. (2019). "Driver and pedestrian trust analysis on integration of autonomous vehicles to infrastructure of Türkiye." *Alphanumeric Journal*, 7, 25-36.

BS EN 50126-1:2017 - Railway Applications. The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS). Generic RAMS Process <https://www.en-standard.eu/bs-en-50126-1-2017-railway-applications-the-specification-and-demonstration-of-reliability-availability-maintainability-and-safety-rams-generic-rams-process/> [Son Erişim 20.01.2023]

Cui, J., & Zhang, B. (2020). Vera: a simplified security risk analysis method for autonomous vehicles. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. 69(10). 10494-10505.

D.G. For Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs (EU). (2019). "Guidelines on the exemption procedure for the EU approval of automated vehicles" <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/34802> [Son Erişim 27.12.2022]

ERA. (2022). ERA 1209/146, Clarification Note; Requirements Capture. <https://Www.Era.Europa.Eu/System/Files/2022-10/ERA1209-146%20Clarification%20about%20requirements%20capture.Pdf> [Son Erişim 27.12.2022]

Form, T. (2018). "PEGASUS Method for Assessment of Highly Automated Driving Function". SIP-adus Workshop. pp. 13-15.

French Republic, (2018) "Development of Autonomous Vehicles - Strategic Orientations for Public Action." https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/18029_D%C3%A9veloppement-VA_8p_EN_Pour%20BAT-3.pdf [Son Erişim 08.01.2022]

Galassi, M. C., Lagrange, A., & Tsakalidis, A. (2020). "New approaches for automated vehicles certification: Part I - Current and upcoming methods for safety assessment." https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC119345/new_approaches_for_automated_vehicles_certification.pdf, JRC, Tech. Rep.

Hu, Z. (2020). Analysis Of Autonomous Vehicle Safety Constraints Based On Systems-Theoretic Process Analysis. *Journal Of Physics: Conference Series (Vol. 1650, No. 3, P. 032137)*. IOP Publishing.

Ishimatsu, T., Leveson, N. G., Thomas, J., Katahira, M., Miyamoto, Y., & Nakao, H. (2010). "Modeling And Hazard Analysis Using STPA." *Proceedings of the 4th IAASS Conference, Making Safety Matter*.

Koopman, P., Osyk, B., & Weast, J. (2019). "Autonomous vehicles meet the physical world: RSS, variability, uncertainty, and proving safety." *International Conference on Computer Safety, Reliability, and Security* (pp. 245-253). Springer, Cham.

Liu, S., Wang, X., Hassanin, O., Xu, X., Yang, M., Hurwitz, D., & Wu, X. (2021). Calibration And Evaluation Of Responsibility-Sensitive Safety (RSS) In Automated Vehicle Performance During Cut-In Scenarios. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 103037. pp. 125.

Mallya, A., Pantelic, V., Adedjouma, M., Lawford, M., & Wassying, A. (2016). Using STPA in an ISO 26262 compliant process. *In International Conference on Computer Safety, Reliability, and Security* (pp. 117-129). Springer, Cham.

Mobileye. (2019). "RSS Explained: the Five Rules for Autonomous Vehicle Safety." *Mobileye Investor Summit* <https://newsroom.intel.com/articles/rss-explained-five-rules-autonomous-vehicle-safety/#gs.97vjm7> [Son Erişim 08.01.2023]

Neurohr, C., Westhofen, L., Henning, T., De Graaff, T., Möhlmann, E., & Böde, E. (2020). Fundamental Considerations Around Scenario-Based Testing For Automated Driving. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)* pp. 121-127.

OTIF. (1999) COTIF: Convention Concerning International Carriage by Rail. [http://otif.org/fileadmin/new/3-Reference-Text/3A-COTIF99/COTIF 1999 01 03 2019 corrected 31.07.2019 en.pdf](http://otif.org/fileadmin/new/3-Reference-Text/3A-COTIF99/COTIF_1999_01_03_2019_corrected_31.07.2019_en.pdf) [Son Erişim 20.01.2023]

Palin, R., Ward, D., Habli, I., Rivett, R. (2011) "ISO 26262 safety cases: Compliance and assurance." *6th IET Int. Conf. on. System Safety*. pp. 1–6

PEGASUS Method; An Overview. <https://www.pegasusprojekt.de/files/tmp/Pegasus-Abschlussveranstaltung/PEGASUS-Gesamtmethode.pdf> [Son Erişim 08.01.2023]

PEGASUS Research Project. <https://www.PEGASUSprojekt.de/en/about-PEGASUS> [Son Erişim 27.12.2022]

SAE. (2016) SAE J3061: SURFACE VEHICLE RECOMMENDED PRACTICE - Cybersecurity Guidebook for Cyber-Physical Vehicle Systems. *SAE International Tech. Rep.*

Shalev-Shwartz, S., Shammah, S., Shashua, A. (2017). "On A Formal Model Of Safe And Scalable Self-Driving Cars." Arxiv Preprint Arxiv:1708.06374.

Shalev-Shwartz, S., Shammah, S., Shashua, A. (2018) "Vision zero: can roadway accidents be eliminated without compromising traffic throughput." arXiv preprint.

Wood, M., Robbel, P., Maass, M., Tebbens, R. D., Meijs, M., Harb, M., ... & Bouzouraa, M. E. (2019). Safety first for automated driving. Aptiv, Audi, BMW, Baidu, Continental Teves, Daimler, FCA, HERE, Infineon Technologies, Intel, Volkswagen.

MUSTAFA ERDEM KIRMIZIGÜL

Contact Information

E-Mail

Linkedin

Education Information

2019 – 2023

Medeniyet University - Institute of Graduate Studies

Electrical and Electronic Engineering, MSc

Thesss: “Eveluation of Prominent Methods in the Certification of Autonomous Vehicles and an Inspection Mechanism Proposal”

2012 – 2014

Bahçeşehir University - Institute of Science

Urban Systems And Transportation Management Department, MSc

Thesis: “A Model Proposal for Integration of SCADA Systems of Metro Lines in Istanbul”

2002-2007

Fırat University - Engineering Faculty

Electrical Electronics Engineering Department, BSc

Legislation and Inspection Experience

Nov 2021 – Still

**Transportation and Infrastructure Ministry
DG for Transportation Services Regulation**

Head of Department

Railway Certification Department



- Railway Safety Management System Legislation
- Railway Vehicles Type Admission and Authorization Legislation
- Railway Vehicle Driver Legislation
- Railway Safety Critical Tasks Legislation
- Railway Training and Exam Center Legislation
- Railway Level Crossing Legislation
- Railway Infrastructure Admission Legislation
- National Railway Safety Rules
- National Railway Vehicle Rules
- National Railway Infrastructure Rules

Implementation Experience

Jan 2020 – Nov 2021

Istanbul Metropolitan Municipality

Project Manager

Integrated City Management System (ICMS)
Project



May 2017 – Jan 2020 **Istanbul** **Metropolitan
Municipality**

Chief of Electromechanical Works

Üsküdar – Çekmeköy (M5) UTO Metro Line
(First GoA 4 Metro of Türkiye)



Sept 2013 – May 2017 **Istanbul** **Metropolitan
Municipality**

Signaling and TCMS Engineer / Interface
Manager

Üsküdar – Çekmeköy (M5) UTO Metro Line



May 2012 – Sept. 2013 **Istanbul** **Metropolitan
Municipality**

Electric Electronic Engineer

BMS System Project



April 2011 - May 2012 **Istanbul** **Metropolitan
Municipality**

Inspector Officer



Sept. 2009 – Feb. 2011 Gursan Technical Services

Chief of European Side Constructions



Dec. 2008 – Sept. 2009 **GVD Enclosure Cabinets,
Withdrawable MCC Panel**

Project Design Engineer

Design Works Experience

Dudullu Bostancı UTO Metro Line

- interoperability between ÜÜÇ and DB Metro Lines
- Preparation of Signalling and SCADA Systems tech. Requirement doc.
- Coordination of last control and perfection of design works and tender documents at all electromechanical disciplines.

Ümraniye Ataşehir Göztepe UTO Metro Line

- Last control and perfection of Signalling and SCADA Systems related

tech. and related documents of ÜAG Line.

Kartal Kaynarca Extension Metro Line

- Last control and perfection works of Signalling, SCADA and all T&C Systems related technical and payment documents.
- To renovation of the SDH System of whole line a new system configuration and cable planning had been made.

200 Rolling Stock Procurement

- Coordination of last control and perfection works for all trains provided for all Lines.
- Perfection of on board Signalling, TCMS, Event Rec. T&C Systems specifications as well as interface planning descriptions of tech. contract.

850 Rolling Stock Procurement

- Last control and perfection works of on board Signalling, TCMS, Event Recorder, and T&C Systems specific. as well as interface planning descriptions of the 5 lines in Anatolian Side of İstanbul.

Update Date of This Resume 22.01.2023