

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ŞERİT TAKİP DESTEĞİ SİSTEMİ İÇİN
FONKSİYONEL EMNİYET ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emir KUDUN

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Anabilim Dalı

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Programı

OCAK 2023

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ŞERİT TAKİP DESTEĞİ SİSTEMİ İÇİN
FONKSİYONEL EMNİYET ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Emir KUDUN
(504191108)**

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Anabilim Dalı

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. İlker ÜSTOĞLU

OCAK 2023

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**FUNCTIONAL SAFETY ANALYSIS FOR LANE KEEPING ASSISTANCE
SYSTEM**



M.Sc. THESIS

**Emir KUDUN
(504191108)**

Department of Control and Automation Engineering

Control and Automation Engineering Programme

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. İlker ÜSTOĞLU

JANUARY 2023

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 504191108 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Emir KUDUN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ŞERİT TAKİP DESTEĞİ SİSTEMİ İÇİN FONKSİYONEL EMNİYET ANALİZİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. İlker ÜSTOĞLU**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Volkan SEZER**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Tarık Veli MUMCU

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Teslim Tarihi : 29 Aralık 2022
Savunma Tarihi : 18 Ocak 2023





Aileme,



ÖNSÖZ

Öncelikle, tez sürecim boyunca bana yol gösteren değerli hocam Doç. Dr. İlker ÜSTOĞLU'na, her zaman destek veren aileme, mesleki açıdan gelişimimde yardımcı olan iş arkadaşlarıma, yüksek lisans öğrenimimde yanımda olan ve beni motive eden arkadaşım Ogün CANTÜRK'e teşekkürü borç bilirim.

Aralık 2022

Emir Kudun
Otomotiv Fonksiyonel Emniyet Mühendisi





İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Literatür Araştırması	2
2. OTOMOTİV FONKSİYONEL EMNİYET	5
2.1 Otonom Sürüş Sistemi.....	5
2.1.1 Otonom araç seviyeleri	6
2.1.2 Sensörler.....	7
2.1.2.1 Radar	8
2.1.2.2 Kamera	9
2.1.2.3 Lidar	9
2.1.3 ADAS elektronik kontrol ünitesi (ECU).....	10
2.2 Otomotivde Fonksiyonel Emniyet – ISO 26262:2018.....	12
2.2.1 Öge tanımı (Item definition)	14
2.2.1.1 Öge tanımı amacı	14
2.2.1.2 Öge tanımı için genel bilgiler.....	15
2.2.1.3 Öge tanımı için gereksinimler ve öneriler.....	15
2.2.2 Tehlike analizi ve risk değerlendirmesi (HARA)	15
2.2.2.1 Tehlike analizi ve risk değerlendirmesi amacı.....	15
2.2.2.2 Tehlike analizi ve risk değerlendirmesi için genel bilgiler	15
2.2.2.3 Tehlike analizi ve risk değerlendirmesi için ön şart.....	16
2.2.2.4 Tehlike analizi ve risk değerlendirmesi için gereksinimler ve öneriler	16
2.2.3 Fonksiyonel emniyet konsepti (FSC).....	20
2.2.3.1 Fonksiyonel emniyet konsepti amacı	20
2.2.3.2 Fonksiyonel emniyet konsepti için genel bilgiler	21
2.2.3.3 Fonksiyonel emniyet konsepti için ön şart.....	21
2.2.3.4 Fonksiyonel emniyet gereksinimlerinin türetilmesi.....	21
2.3 Amaçlanan Fonksiyonun Emniyeti (SOTIF)	23
3. ŞERİT TAKİP DESTEĞİ SİSTEMİ VE FONKSİYONEL EMNİYET ANALİZİ	25
3.1 Şerit Takip Desteği Sistemi Standartları ve Regülasyonları	25
3.2 Şerit Takip Desteği Sistemi için Öge Tanımı.....	26

3.2.1 Fonksiyonellik.....	26
3.2.2 Süreç unsurları ve sistem reaksiyonları.....	27
3.2.3 Sürücüyü bilgilendirme.....	27
3.2.4 Arıza reaksiyonları.....	28
3.2.5 LKAS fonksiyonları.....	29
3.2.6 Ögenin davranışının çevresine etkisi.....	29
3.2.7 Ögenin diğer öge veya unsurlarla etkileşimi.....	29
3.2.8 Çevre koşulları.....	29
3.3 Şerit Takip Desteği Sistemi için Tehlike Analizi ve Risk Değerlendirmesi	29
3.3.1 Fonksiyonel tehlike analizi.....	29
3.3.2 Tehlike-senaryo eşleştirme.....	33
3.4 Şerit Takip Desteği Sistemi için Fonksiyonel Emniyet Konsepti.....	35
3.4.1 Fonksiyonel emniyet gereksinimleri.....	35
3.4.2 Teyit ölçütleri.....	37
4. BENZETİM MODELİ VE BENZETİM SONUÇLARI.....	39
4.1 Benzetim Modeli.....	40
4.2 Benzetim Sonuçları.....	41
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	43
KAYNAKLAR.....	45
EKLER.....	49
ÖZGEÇMİŞ.....	77

KISALTMALAR

ABS	: Kilitlenme Karşıtı Frenleme Sistemi
ACC	: Uyarlamalı Hız Sabitleyici
ADAS	: İleri Sürücü Destek Sistemi
ADS	: Otomatik Sürüş Sistemi
AEBS	: İleri Acil Frenleme Sistemi
AIS	: Yaralanma Ciddiyet Skoru
ASIL	: Otomotiv Emniyet Bütünlük Seviyesi
AUTOSAR	: Otomotiv Açık Sistem Mimarisi
BSD	: Kör Nokta Algılaması
CPU	: Merkezi İşlem Ünitesi
DDT	: Dinamik Sürüş Görevi
ECU	: Elektronik Kontrol Ünitesi
EOTI	: Acil Operasyon Zaman Aralığı
EPS	: Elektrikli Direksiyon Sistemi
ESP	: Elektronik Stabilite Programı
E/E	: Elektrik-Elektronik
FSC	: Fonksiyonel Emniyet Konsepti
FDTI	: Hata Tespit Etme Zaman Aralığı
FHTI	: Hata İşleme Zaman Aralığı
FLC	: Bulanık Mantık Kontrol
FRTI	: Hata Tepki Zaman Aralığı
FTTI	: Hata Tolerans Zaman Aralığı
FSR	: Fonksiyonel Emniyet Gereksinimleri
GNSS	: Küresel Navigasyon Uydu Sistemi
HARA	: Tehlike Analizi ve Risk Değerlendirmesi
HMI	: İnsan Makine Arayüzü
HSR	: Donanım Emniyet Gereksinimi
IEC	: Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
IMU	: Atalet Ölçü Birimleri
ID	: Öge Tanımı

ISO	: Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu
I/O	: Giriş/Çıkış
LDW	: Şeritten Ayrılma Uyarısı
LIDAR	: Işık Tespiti ve Ölçümü
LKAS	: Şerit Takip Desteği Sistemi
MPC	: Model Öngörülü Kontrol
NCAP	: Avrupa Yeni Otomobil Değerlendirme Programı
NHTSA	: Ulusal Karayolu Trafik Güvenliği İdaresi
OTA	: Havadan güncelleme
PID	: Oransal-integral-türevsel
QM	: Kalite Yönetimi
RADAR	: Radyo Sinyalleri ile Tespit Etme ve Mesafe Ölçümü
SAE	: Otomotiv Mühendisleri Birliği
SG	: Emniyet Hedefi
SUV	: Sportif Çok Amaçlı Araç
SONAR	: Ses ile Yön Bulma ve Mesafe Ölçümü
SOTIF	: Amaçlanan Fonksiyonun Emniyeti
SSR	: Yazılım Emniyet Gereksinimi
TSR	: Teknik Emniyet Gereksinimi
UNECE	: Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu
VRU	: Motorsuz Yol Kullanıcıları
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü

SEMBOLLER

C	: Kontrol edilebilirlik (Controllability)
E	: Maruz kalma (Exposure)
S	: Ciddiyet (Severity)
Y	: Evet (Yes)
N	: Hayır (No)
T_s	: Örnekleme zamanı
V_{minimum}	: Minimum araç hızı
V_{maksimum}	: Maksimum araç hızı
V_x	: Aracın boylamsal hızı



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : AIS skoru ve yaralanma [26].....	17
Çizelge 2.2 : Ciddiyet sınıfları.....	17
Çizelge 2.3 : Maruz kalma olasılığı sınıfları.	18
Çizelge 2.4 : Kontrol edilebilirlik sınıfları.	18
Çizelge 2.5 : ASIL tablosu.....	19
Çizelge 3.1 : LKAS şeritte tuma eylemi sırasında arıza reaksiyonları.....	28
Çizelge 3.2 : FHA tablosu.	31
Çizelge 3.2 (devam) : FHA tablosu.	32
Çizelge 3.3 : Tehlike-senaryo eşleştirme.....	33
Çizelge 3.4 : Aracın yanal hareket kaybı tehlike senaryoları.	33
Çizelge 3.5 : Aracın kasıtsız yanal hareketi tehlike senaryoları.....	34
Çizelge 3.6 : Direksiyon nedeniyle aracın dengesizleşmesi tehlike senaryoları.	34
Çizelge 3.7 : Emniyet hedefleri.	35
Çizelge 3.8 : LKAS için örnek fonksiyonel emniyet gereksinimleri.....	36
Çizelge A.1 : Aracın yanal hareket kaybı.....	50
Çizelge A.2 : Aracın yanal hareket kaybı.....	51
Çizelge A.3 : Aracın yanal hareket kaybı.....	52
Çizelge A.4 : Aracın yanal hareket kaybı.....	53
Çizelge A.5 : Aracın yanal hareket kaybı.....	54
Çizelge A.6 : Aracın kasıtsız yanal hareketi.....	55
Çizelge A.7 : Aracın kasıtsız yanal hareketi.....	56
Çizelge A.8 : Aracın kasıtsız yanal hareketi.....	57
Çizelge A.9 : Aracın kasıtsız yanal hareketi.....	58
Çizelge A.10 : Aracın kasıtsız yanal hareketi.....	59
Çizelge A.11 : Aracın kasıtsız yanal hareketi.....	60
Çizelge A.12 : Aracın kasıtsız yanal hareketi.....	61
Çizelge A.13 : Aracın kasıtsız yanal hareketi.....	62
Çizelge A.14 : Aracın kasıtsız yanal hareketi.....	63
Çizelge A.15 : Aracın kasıtsız yanal hareketi.....	64
Çizelge A.16 : Aracın kasıtsız yanal hareketi.....	65
Çizelge A.17 : Aracın kasıtsız yanal hareketi.....	66
Çizelge A.18 : Aracın kasıtsız yanal hareketi.....	67
Çizelge A.19 : Aracın kasıtsız yanal hareketi.....	68
Çizelge A.20 : Aracın kasıtsız yanal hareketi.....	69
Çizelge A.21 : Direksiyon nedeni ile aracın dengesizleşmesi.....	70
Çizelge A.22 : Direksiyon nedeni ile aracın dengesizleşmesi.....	71
Çizelge A.23 : Direksiyon nedeni ile aracın dengesizleşmesi.....	72
Çizelge A.24 : Direksiyon nedeni ile aracın dengesizleşmesi.....	73
Çizelge A.25 : Direksiyon nedeni ile aracın dengesizleşmesi.....	74



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Şerit Takip Desteği Sistemi (LKAS) [5].	2
Şekil 2.1 : Otonom araç seviyeleri [10].	6
Şekil 2.2 : Sensörler ve uygulamaları [16].	8
Şekil 2.3 : ADAS-ECU ve örnek bir araç mimarisi [22].	10
Şekil 2.4 : Fonksiyonel emniyet standartları genel bakış [23].	11
Şekil 2.5 : ISO 26262 fonksiyonel emniyet standardı tarihçesi [24].	12
Şekil 2.6 : ISO 26262 fonksiyonel emniyet standardı alt maddeleri [25].	13
Şekil 2.7 : Kanun ve teknik çözüm.	14
Şekil 2.8 : ISO 26262 fonksiyonel emniyet gereksinimleri ve emniyet hedeflerinin hiyerarşisi.	21
Şekil 2.9 : ISO 26262 emniyet konseptleri akış diyagramı.	22
Şekil 2.10 : SOTIF [29].	23
Şekil 3.1 : LKAS durumları ve geçişleri.	27
Şekil 3.2 : LKAS fonksiyonel unsurlar [30].	28
Şekil 4.1 : Modeldeki temel kavramlar ve referans senaryo.	39
Şekil 4.2 : LKAS benzetim modeli.	40
Şekil 4.3 : Yanal mesafe, şerit içi ve merkez içi tespiti, asistan faktör, araç ve sürücü direksiyon açısı.	41
Şekil 4.4 : Araç, sürücü direksiyon açısı ve şerit içi-merkez içi durumları.	42



ŞERİT TAKİP DESTEĞİ SİSTEMİ İÇİN FONKSİYONEL EMNİYET ANALİZİ

ÖZET

Günümüzde araç sayısının artması ile birlikte trafik kazaları ve bu kazalardan kaynaklı ölüm ve yaralanmaların sayısı artış göstermektedir. Bunları azaltabilmek için otomotiv sektöründe birçok çalışma yapılmaktadır. Elektrik/elektronik sistemlerin sayısı arttıkça karmaşıklaşan sistemlerin sebep olabileceği problemleri engellemek için fonksiyonel emniyet konusu önem kazanmıştır. Sürüş konusunda destek sağlamak, sürücünün görev yükünü azaltmak için İleri Sürücü Destek Sistemleri (ADAS) geliştirilmektedir. Şerit Takip Desteği Sistemi, Kör Nokta Algılama Sistemi, İleri Acil Frenleme Sistemi, Uyarlamalı Hız Sabitleyici, Şeritten Ayrılma Uyarı Sistemi, Park Asistanı, Trafik Işığı Algılama bu sistemlere örnek olarak verilebilmektedir.

Sensörler, otonom araç uygulamalarının önemli parçalarından birisidir. İleri Sürücü Destek Sistemlerinde sensörler, trafik ortamı hakkında veri üretip gerekli birimlere ileten parçalardır. Nesnelere, engelleri, yol altyapısını algılamaya ek olarak, aracın konumu, hızı gibi birçok bilgiyi belirlemek için kullanılmaktadır. Kamera, lidar, radar en çok tercih edilen sensörlerdir. Otonom sürüş sırasında şerit işaretlerini veya yoldaki diğer çizgileri takip etmek için kameralar kullanılmaktadır.

Kamera ile şerit sınırlarını algılanıp, aracın şeritten ne kadar saptığı belirlendiğinde bu bilgi Elektronik Kontrol Ünitesi'ne aktarılmaktadır ve aktarılan bilgi burada işlenip, Şerit Takip Desteği Sistemi devreye sokulmaktadır. Aracın şeritten çıkması durumu, yapılan araştırmaların sonucuna göre genellikle sürücünün dikkatsizliğinden kaynaklanmaktadır. Sürücülerin bu tarz hatalarını engelleme konusunda İleri Sürücü Destek Sistemleri hayati rol oynamaktadır. Bu tezde ele alınan Şerit Takip Desteği Sistemi, SAE otonom seviyelerinin özelliklerine bakıldığında Seviye 1 olarak tanımlanabilmektedir.

Seviye 1 özelliği, devreye alındığında hızlanma/frenleme veya direksiyon ile sürücüye yardım sağlamaktadır. Sürüşten sürücü sorumludur. Tezde yapılan çalışma için, sürücüye ek bir direksiyon desteği sağlanıp, aracın şeridine sokulmasına yardımcı olunmaktadır. Bu sistem ile uyumlu olarak çalışan Şeritten Ayrılma Uyarı Sistemi de sürücüyü uyararak aracın kendi şeridinde tutulmasına yardımcı olmaktadır. Otomotiv Mühendisleri Birliğine göre 6 farklı otonomi seviyesi vardır ve bunlar seviye 0'dan seviye 5'e doğru şeklindedir. Seviye 0 otonomi yok, seviye 5 ise tam otonomi olarak tanımlanmaktadır. Seviye 0'da sürüşten sürücü sorumlu iken, seviye 5'te sürücünün müdahalesi olmadan araç tamamen kendi başına hareket edebilecek yetkinliğe sahiptir.

Bu tezin ilk amacı, İleri Sürücü Destek Sistemleri'nden birisi olan Şerit Takip Desteği Sistemi'nin fonksiyonel emniyet analizini gerçekleştirmektir. Şerit Takip Desteği Sistemi, birçok motor üreticisi tarafından kullanılan, üzerine çalışmalar yapılan endüstride yaygın olan bir özelliktir. Bu tezde, literatürdeki Şerit Takip Desteği Sistemlerine ve ISO 26262 yol araçları için fonksiyonel emniyet standardı

çerçevesinde uygulanması gereken adımlarına yer verilmiştir. Ayrıca otonom araç konusunda önemi gittikçe artan Amaçlanan Fonksiyonun Emniyeti (SOTIF) açıklanmıştır ve fonksiyonel emniyet ile farklarından bahsedilmiştir. ISO 26262 fonksiyonel emniyet, sistem arızalarının sonucunda oluşabilecek makul olmayan riskleri önlenmesini kapsamaktadır. Sistem arızası olmadan ortaya çıkan emniyet tehlikelerini içermemektedir. SOTIF ise, fonksiyonel yetersizlikler dolayısı ile amaçlanan sistemin çalışmaması ve güvensiz çalışması durumunda oluşabilecek makul olmayan risklerin önlenmesini içermektedir. SOTIF, bu nedenle otonom araç çalışmalarında değerlendirilmeye başlanacak bir konudur.

Karayolu araçları fonksiyonel emniyet standardı ISO 26262'dir. Bu standart, IEC/EN 61508 fonksiyonel emniyet standardının bir adaptasyonudur. IEC/EN 61508 standardı, elektrik/elektronik ve programlanabilir sistemlerin uygulaması, tasarlanması hakkında oluşturulmuş uluslararası bir standarttır. ISO 26262 standardı, karayolu araçlarının emniyetli bir sürüş yapabilmesi için geliştirilmiştir. 2018 yılında çıkarılmış en son sürümde, 12 bölüm bulunmaktadır. Araç seviyesinde, sistem seviyesinde, yazılım ve donanım seviyelerinde çalışmalar içerirken, ürün çıktıktan sonraki aşamalar ile ilgili de bilgiler barındırmaktadır.

Bu tezde, Öge Tanımı, Tehlike Analizi ve Risk Değerlendirmesi ve Fonksiyonel Emniyet Konsepti'nden bahsedilecektir. Bu standart çerçevesinde yapılan analizlerde, öncelikle öge tanıtılmaktadır. Öge tanımı, ögenin, bağımlılıklarının, çevre ile olan etkileşiminin açıklandığı bir çalışmadır. Ögenin tanıtılmasından sonra, ögeye ait unsurların yaşayabileceği arızalar ve bu arızaların risk senaryolarında yaratacağı tehlikenin boyutu belirlenmektedir. Yaşanabilecek kaza durumunda sürücünün ve yolcuların yaralanma seviyeleri, kazaların meydana gelme olasılıkları ve bu senaryolar gerçekleştiğinde durumun kontrol edilebilme seviyesi, Otomotiv Emniyet Bütünlük Seviyesinin (ASIL) atanmasını sağlamaktadır. Bu seviyeler QM, ASIL A, ASIL B, ASIL C ve ASIL D olarak tanımlanmaktadır. QM en düşük risk seviyesini temsil ederken, ASIL D en yüksek risk seviyesini temsil etmektedir. QM seviyede sadece kalite yönetimi yeterlidir. ASIL ve emniyet hedeflerinin belirlenmesinden sonra, fonksiyonel emniyet konsepti aşamasına geçilmektedir. ISO 26262 standardına göre bu aşamanın amacı, emniyet hedeflerinden fonksiyonel emniyet gereksinimlerini türetmek ve bunları gerekli yerlere tahsis etmektir. Her bir emniyet hedefinden en az bir tane fonksiyonel emniyet gereksinimi türetilmesi gerekmektedir ve bu çalışmada Şerit Takip Desteği Sistemi için konu ile ilgili gereksinimler yazılmıştır. Bu adımda, arıza olduğu an ile tehlikeli olayın oluşmasına kadar geçen süre olarak tanımlanan Hata Toleranslı Zaman Aralığı (FTTI) değeri belirlenir. Tez çalışmasının EK B kısmında FTTI ve benzeri kavramlarından bahsedilmektedir.

Bu tez çalışmasının ikinci amacı, Şerit Takip Desteği Sistemi için seviye 1 yazılımı MATLAB/Simulink ortamında geliştirilmesidir. Seviye 1 yazılımı, fonksiyonel düzey olarak adlandırılmaktadır. Örneğin, bir arıza tespit edildiğinde sistem reaksiyonlarının kontrolü sayesinde kontrol edilmektedir. Geliştirilen bu yazılımda aracın ve sürücünün direksiyon açısı, yanıl mesafe hesabı şerit içi ve merkez içi tespiti alt bloklar tanımlanmıştır. Şerit Takip Desteği Sistemi kontrol mekanizmasının amacı aracı şeritte tutmak için sürücüye direksiyon desteği sağlamak üzere tasarlanmıştır. Buradaki önemli nokta, sürüşten her zaman sürücü sorumludur. Bu bilgi Şerit Takip Desteği Sistemi standartlarından biri olan ISO 11270:2014 standardında bulunmaktadır. Ayrıca bu özellik için birçok standart ve regülasyon yayınlanmıştır. Bu çalışmalar sayesinde sistem hakkında bilgiler, performans ve davranışları için test senaryoları oluşturulup değerlendirilmeleri yapılmaktadır.

Tez için oluşturulan modelde, sürücünün direksiyon açısının, yanal mesafenin, aracın belirlenen şerit ve merkez alanında olup olmadığının hesaplanması gibi çeşitli alt bloklar vardır. Aracın direksiyon açısı 90 dereceden az olduğu durumda araç sağa doğru hareket yaparken, 90 dereceden fazla direksiyon açısı aracın sola doğru gitmesi olarak tanımlanmıştır ve buna göre kontrol mekanizması geliştirilmiştir. Modelde, şerit içi ve merkez içi olarak belirlenen alanlar referans alınıp, araç şeritten çıkmaya başladığında, sürücü ve destek sistemi ile birlikte araç tekrar merkez alana döndürülmeye çalışılmıştır. Asistan, araç şeridin dışına çıktığında devreye girmektedir ve araç, merkez olarak tanımlanan konuma geri geldiğinde sürüşü sürücü devralmaktadır. Bu mantık çerçevesinde model oluşturulduktan sonra benzetim sonuçları incelenmiştir.

Bu tez ile birlikte Şerit Takip Desteği Sistemi için bir analiz ve modelleme çalışması literature kazandırılmıştır.





FUNCTIONAL SAFETY ANALYSIS FOR LANE KEEPING ASSISTANCE SYSTEM

SUMMARY

Today, since there are more vehicles on the road, there are more traffic accidents, which result in more deaths and injuries. Numerous research are conducted in the automotive industry in an effort to reduce these. Functional safety has become more crucial as the number of electrical and electronic systems increases in order to avoid potential issues caused on by increasingly complex systems. The development of Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) is intended to ease the task of driving and support drivers. Features such as Lane Keeping Assistance System, Blind Spot Detection System, Advanced Emergency Braking System, Adaptive Cruise Control, Lane Departure Warning System, Parking Assistant, Traffic Light Detection can be given as examples of these systems. Information on the tasks of some ADAS features is given in the below.

Adaptive Cruise Control (ACC) engages instantly the brakes and decrease the vehicle speed to keep the safe distance between the subject vehicle and vehicle in the front. Advanced Emergency Braking System (AEBS) avoids accidents or lessen their effects with decreasing the vehicle speed as much as possible. Blind Spot Detection (BSD) lowers the risk of accidents by detecting the vehicles and objects within determined zones and warns the driver. These examples can be increased depending on the sensors used and the purpose of the feature.

One of the crucial components of applications for autonomous vehicles is sensors. Sensors are the components of Advanced Driver Assistance Systems that produce data about the traffic environment and transmit it to the required units. It is used to determine a variety of information, including the vehicle's current location and its speed, in addition to detecting objects, obstructions, and road infrastructure. The most preferred sensors are those that use cameras, lidar, and radar. Moreover, there are two types of sensors: Active and passive. Camera is the passive sensor. No internal energy source is required for passive sensors. Lidar and radar is active sensors. Active sensors have their own energy source.

Cameras are used to visualize its surroundings. The data obtained from the cameras. Cameras, which used in autonomus vehicle, resolution is high. Lane Keeping Assistance System feature uses cameras to follow lane markings or other lines on the road.

Radars are used to determine information about the the object's velocity, distance and direction. Radars serve as a support for other high-resolution sensors when the weather is bad.

Lidars are used to calculate the duration it takes for a light pulse to travel to an object and return to the sensor in order to compute the distance to that object. Lidar technology uses laser beams to function and has a far higher resolution than radar.

In some cases, these sensors cannot provide sufficient accuracy and information when used alone. In order to prevent this situation, the limitation arising from the sensors is tried to be minimized by performing a fusion process called "sensor fusion".

The Electronic Control Unit processes the transmitted information and activates the Lane Keeping Assistance System once the camera detects the lane borders and determines how far the vehicle has deviated from the lane. Based on the conclusions of the surveys, the driver's negligence is frequently to cause when a vehicle departs its lane. When considering the attributes of SAE autonomous levels, Lane Keeping Assistance System mentioned in this thesis can be categorized as Level 1.

The Level 1 feature assists the driver by accelerating/braking or steering when it is activated. The vehicle should always be under the driver's control. Due to the research done for the thesis, the driver is given additional steering assistance and helped to keep the vehicle in its lane. The Lane Departure Warning System, which works in harmony with this system, warns the driver and helps to keep the vehicle in its own lane. There are six distinct levels of autonomy, ranging from level 0 to level 5, according to the Association of Automotive Engineers. Level 0 is known as no autonomy, whereas level 5 is known as fully autonomy. At level 0, the driver is in charge of operating the vehicle; but, at level 5, the vehicle is capable of operating entirely on its own. From level 0 to level 5, complexity of the system increases.

The first purpose of this thesis is to perform the functional safety analysis of Lane Keeping Assistance System, which is one of the Advanced Driver Assistance Systems. Lane Keeping Assistance System is a common feature in the studied industry, used by many engine manufacturers. In this thesis, Lane Keeping Assistance Systems in the literature and the steps that must be implemented within the framework of the functional safety standard for ISO 26262:2018 road vehicles are included. In addition, Safety of Intended Functionality (SOTIF), which is becoming increasingly important in autonomous vehicles, is explained and its differences with functional safety are mentioned. Functional safety is covered by ISO 26262:2018 and addresses unreasonable risks that could happen as a result of system failures. It eliminates safety risks that develop independently of system failure. On the other side, SOTIF includes the prevention of unreasonable risks that may occur in case the intended system does not work due to functional inadequacies and in case of unsafe operation. Therefore, SOTIF is a subject to be evaluated in autonomous vehicle studies.

There are various standards and regulations related to the Lane Keeping Assistance System in the literature. The safety of the driver and passengers is increased, and the environmental impact of vehicles is controlled by these standards and regulations. It also test the performance of the system and defines test conditions as road, weather. ISO 26262:2018 is the functional safety standard for automotive industry. This standard is an adaptation of the IEC/EN 61508 functional safety standard. An international standard for the design and use applications of electrical/electronic and programmable systems is IEC/EN 61508. ISO 26262:2018 standard has been developed to operate road vehicles to drive safely. There are 12 chapters in the most recent edition, which was released in 2018. While studies at the system, vehicle, hardware, and software levels are included, it also gives details regarding the phases following the release of product.

Item Definition (ID), Hazard Analysis and Risk Assessment (HARA) and Functional Safety Concept (FSC) will be covered in this thesis. The analysis carried out in accordance with this standard presents the item initially. Item definition is a document

that describes the item, its dependencies and its interaction with the environment. When the Item Definition is completed, Hazard Analysis and Risk Assessment phase is started. Risk scenarios are developed to assess the potential malfunctions the item may experience and the level of hazard of these malfunctions may cause. In the event of an accidents, the severity level of the driver, the probability of exposure and the level of controllability of the situation when risk scenarios occur, ensure that the Automotive Safety Integrity Level (ASIL) is assigned. These levels are defined as QM, ASIL A, ASIL B, ASIL C, and ASIL D. QM represents the lowest level of risk, while ASIL D represents the highest level of risk. Only Quality Management is sufficient at the QM level. Related analysis examined in the Appendix A of the thesis. When HARA is examined, ASILs and safety goals are determined. Top-level safety requirements which called as Safety Goals are established using HARA. After that, Functional Safety Concept phase is started. According to the ISO 26262:2018 standard, the purpose of this phase is to derive functional safety requirements from safety goals and allocate them where necessary. At least one functional safety requirement has to be derived from each safety goal, and in this study the relevant requirements for the Lane Keeping Assistance System have been written. In this step, the Fault Tolerant Time Interval (FTTI) value, which is defined as the minimum time-span between the moment of fault and the possible taking place of an event of hazard is determined. FTTI and similar concepts are mentioned in the Appendix B of the thesis.

The development of Level 1 Lane Keeping Assistance System software in a MATLAB/Simulink environment is the second goal of this thesis project. Software at level 1 is referred to as functional level. As an example, system reactions are controlled when a malfunction is detected. This developed software includes subsystems for in-lane and in-center detection as well as steering angles for both the driver and the vehicle. The control system for the The Lane Keeping Assistance System is designed to provide steering assistance to the driver to keep the vehicle in its lane. Here, it is crucial to remember that driving is always under responsibility of the driver. This information is available in the ISO 11270:2014 standard, which is one of the Lane Keeping Assistance System standards. For this functionality, various standards and regulations have also been published. Because of these investigations, test scenarios are developed and assessed to learn more about the system, its functionality, and its behavior.

The model built for the thesis has a variety of subsystems that calculate variables such as the driver's steering angle, the lateral distance, assistant factor, whether the vehicle is in the determined lane and center. The control mechanism has been designed in accordance with the model's assumptions that the vehicle drives to the right when the steering angle of the vehicle is less than 90 degrees and to the left when the steering angle is greater than 90 degrees. In the model, the areas defined as in-lane and in-center are taken as references, and when the vehicle started to deviate from the lane, it was attempted to be bring to the center area with the driver and assistance systems. When the vehicle departs a lane, an assistant is activated, and when the vehicle returns to the center-defined position, the driver takes control of the vehicle. Once model was built using this logic, the simulation results are examined accordingly.

With the help of this thesis, an analysis and modeling research for the Lane Keeping Assistance System has been provided to the literature.



1. GİRİŞ

Dünyada trafik ve araç sayısı gittikçe artmaktadır. Son yıllarda artan araç sayısı ile birlikte trafik kazası sayısı da artış göstermektedir. Sürüş emniyeti konusu, sosyal ulaşım ve otomotiv sektöründe önemli bir yer almaktadır. Emniyeti artırıp, daha güvenilir ve akıllı araçlar üretmek otomotiv dünyasında en önemli amaçlardan biri haline gelmiştir. Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) karayolu emniyeti 2018 küresel raporuna göre her yıl 1.35 milyon insan trafik kazalarında hayatını kaybetmektedir ve bu sayı son derecede yüksektir.

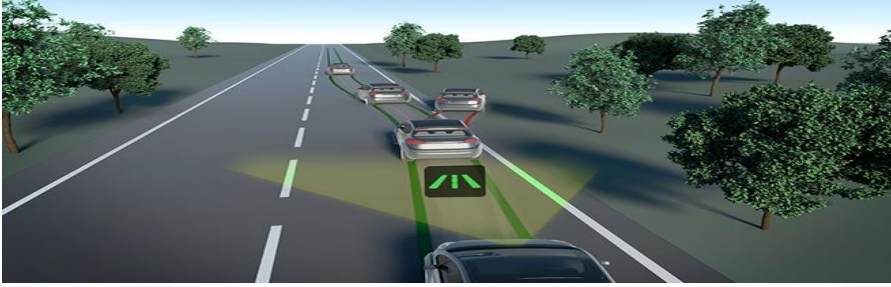
Trafik kazalarının büyük bir kısmının nedeni sürücünün dikkatsizliği veya yorgunluğudur. Kazalarının sebeplerinin analizi ve araştırılması sonucunda, büyük bir kısmının arkadan çarpışma, uzun süre araç kullanma ve takip edilen şeritten çıkma gibi uygunsuz sürücü davranışlarından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Karayolu Trafik Güvenliği İdaresi'nin araştırma sonuçlarına göre, trafik kazalarının yaklaşık %30'u arkadan çarpışmalardan ve yaklaşık %20'si şeritten çıkan araçlardan kaynaklanmaktadır [1].

Bu gibi durumlardan dolayı emniyet, otomotiv üreticileri için öncelikli bir konu haline gelmiştir. İleri deformasyon bölgeleri, modern araçlar için pasif emniyeti artırmıştır. Ayrıca kazaları bir bütün olarak önlemek için aktif emniyet geliştirmiştir. Kilitlenmeye Karşı Frenleme Sistemi (ABS), Elektronik Stabilite Programı (EPS) ve Şerit Takip Desteği (LKA) gibi özellikler, sürücüyü yardımcı olmayı amaçlayan sistemlere örnek olarak verilebilir. Bu sistemler İleri Sürücü Destek Sistemleri (ADAS) olarak adlandırılmaktadır ve otonom sürüşe geçişte bir basamak olarak değerlendirilmektedirler. İnsan davranışının doğası gereği yaşanan çok sayıda kaza, sürücünün yerini başka bir sistemin alması ile önlenbilir [2].

Birçok E/E (elektrik ve/veya elektronik) bileşenin otomobillerde kullanılmaya başlanmasından sonra bunları işletmek için gerekli olan yazılım miktarında artış olmuştur. Bu artış, yazılımın karmaşıklığını ve dolayısı ile hata olasılığını

artırmaktadır. Hataları tespit etmek için yazılımın doğruluğundan emin olmak giderek zorlaşmıştır ve kritikleşmiştir [3].

ADAS limitlerini aşılıp E/E açıdan sistemde tehlike oluşturabilecek durumlar, ISO 26262 fonksiyonel emniyet çalışmaları ile önlenmeye çalışılmaktadır. Şerit Takip Desteğı Sistemi'nin temsili görseli Şekil 1.1'de verilmiştir.



Şekil 1.1 : Şerit Takip Desteğı Sistemi (LKAS) [5].

1.1 Tezin Amacı

Bu tezde, İleri Sürüş Destek Sistemleri'nden biri olan Şerit Takip Desteğı Sistemi fonksiyonunun ISO 26262 yol araçları fonksiyonel emniyet standardı referans alınarak fonksiyonel emniyet analizi yapılmıştır ve MATLAB/Simulink ortamında Seviye 1 yazılımı geliştirilmiştir. Bu çalışma ile birlikte otomotiv literatürüne sektörüne otonom araçların fonksiyonel emniyet analizi konusunda Türkçe kaynak kazandırılması amaçlanmıştır.

1.2 Literatür Araştırması

Literatür araştırması Şerit Takip Desteğı Sistemi kontrolü ve fonksiyonel emniyet analizi konularında yapılmıştır.

2001 yılında, Nissan Motors LKA sistemini tanıtmıştır. 2002 yılında, Toyota LKA sistemini çeşitli modellerinde uygulamıştır. Daha sonra 2003 yılında, Honda kendi LKA sistemini duyurmuştur. Bu sistem otobanda giderken aracı şeritte tutmak için %80 oranına kadar direksiyon torku sağlamaktadır. 2005 yılında, Citroën Avrupa'da Şeritten Ayrılma Uyarısı'nı (LDW) tanıtan ilk şirket olmuştur. Bu system, araç şerit çizgilerinden sapmaya başladığı anda küçük titreşimler ile uyarı vermektedir. LKA ve LDW sistemi, Mercedes, Audi, Kia, Fiat ve Tesla gibi araç üreticileri tarafından çeşitli varyasyonlar ile kullanılmıştır. Ayrıca Mobileye firmasının LDW özelliğini sağlayan ürünü bulunmaktadır [4].

LKA sistemindeki kontrol mekanizmaları için literatür araştırması yapıldığında daha çok PID kontrol, Bulanık Mantık Kontrol (FLC) ve Model Öngörülü Kontrol (MPC) çalışmaları ile karşılaşmıştır. Bunların dışında, Stanley Kontrol adı verilen ve daha çok “yörünge izleme” konusunda aracın yanal yöndeki kontrolü için çalışmalarda kullanılan kontrol mekanizması da Şerit Takip Desteği Sistemi için adapte edilebilecek bir yapıdır. Bu kontrolörlerin avantajları ve dezavantajları olup, amaca yönelik kontrolörler tercih edilmektedir. Birkaç tanesinin avantajlarından bahsetmek gerekir ise, MPC'nin avantajı çok girişli kullanılabilmesi ve anlık ölçüm yapıp rahat takip sağlayabilmesidir. PID'nin avantajı ise daha hızlı ve kolay bir kontrol mekanizmasına sahip olup, endüstride çokça tercih edilmesidir. [6], [7] ve [8] numaralı kaynaklarda belirtilen çalışmalarda bu tezde ele alınacak konuya benzer çalışmalar mevcuttur.



2. OTOMOTİV FONKSİYONEL EMNİYET

2.1 Otonom Sürüş Sistemi

Otonom sürüş teknolojisi, trafik kazalarını, enerji tüketimini ve emisyonu düşürmek için sosyal ve çevresel sorunlara çözüm getiren önemli adımlardan biri olarak kabul edilmektedir. İleri teknolojilerle donatılmış otonom bir araç (otomatikleştirilmiş veya sürücüsüz araç), insan müdahalesinin gerekmebileceği durumlarda bir sürücüye veya aracın bağımsız şekilde kontrol edilmesine yardımcı olmaktadır [9].

Operasyonel Tasarım Etkili Alanları (ODDler) tarafından tanımlanan içerik ile karmaşık durumlar ve ortamlar ile başa çıkabilmek için geliştirilmiş sensörler, fonksiyonlar ve işlem kaynakları otomatik sürüşte gerekmektedir. ODD, “sürüş modları dâhil fakat bunlar ile sınırlı olmamak üzere, belirli bir sürüş otomasyon sisteminin veya özelliğinin çalışması amacı ile tasarlandığı koşulları” belirtmektedir.

Bir ODD her bir Otonom Sürüş Sistemi'nin (ADS) kapasite sınırlarını tanımlamak için asgari olarak aşağıdaki bilgileri içerebilmektedir:

1. ADS'nin emniyetli bir şekilde çalışması amaçlanan yol türleri: otoban, şehir içi vb.),
2. Hız sınırı,
3. Çevresel koşullar (hava durumu, gündüz/gece, vb.),
4. Diğer etki alanı kısıtlamaları [10].

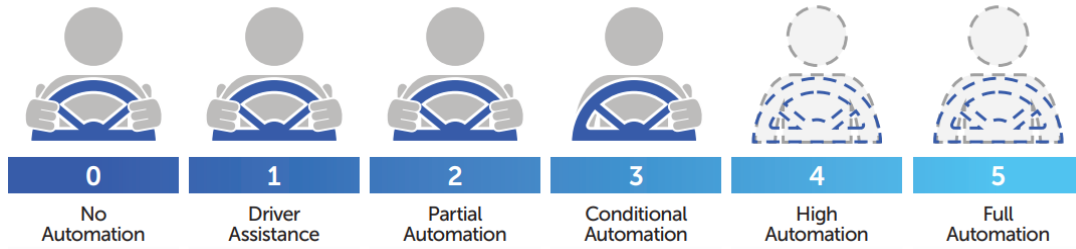
Sürüş otomasyonu, ana aracın konumunu ve operasyonel durumunu anlamayı ve ek olarak, dinamik sürüş görevinin (DDT) bir parçası olan operasyonel fonksiyonlar olarak adlandırılan, sürüşün kısa ve orta zaman dilimleri için plan yapmayı ve harekete geçmeyi gerektirmektedir. Dinamik sürüş görevini, diğer yol kullanıcılarının hataları/dikkatsiz davranışları ve otomatikleştirilmiş bir araçta arızalanabilecek birçok bileşen dâhil olmak üzere belirsiz ve değişken koşullar altında gerçekleştirmek, otomatik sürüşün yüksek seviyelerini zorlaştırmaktadır [11].

Hızlanma, yavaşlama, şerit değişimi ve park etme gibi kontrol kararları, aracın otomatikleştirilmiş seviyelerine ve çevrenin (örneğin yayalar, bisikletler, diğer araçlar, trafik sinyalleri ve okul bölgesi) algılama sonuçlarına bağlı olarak bir sürücü veya otonom bir sistem tarafından verilebilir.

Ulaşım sistemlerinde kullanılan otonom teknolojisi, taşımacılık ile ilgili ekonomik ve çevresel sorunları azaltmak ve hatta çözmek için yarar sağlamaktadır. Bu neden ile otonom araçlar son dönemde aktif olarak üzerine çalışılan bir alandır. Otonom araç için geliştirilen teknikler, yol emniyetini artırmaktadır [12].

2.1.1 Otonom araç seviyeleri

Otomotiv Mühendisleri Birliği (SAE), özellikle otomotiv alanında standartlar yayınlamaktadır. SAE J3016 bu standartlardan bir tanesidir ve motorlu araçların ve onların araç yolundaki işletimi için altı farklı otonom sürüş seviyesi; araç ve sürücü arasındaki görev dağılımını Şekil 2.1'deki gibi tanımlamaktadır [13].



Şekil 2.1 : Otonom araç seviyeleri [10].

Şekilde görüldüğü gibi Seviye 0'da sürüşten sürücü sorumlu iken, Seviye 5'de sürücü tamamen kaldırılmıştır ve tam otonomi özelliği tanımlanmıştır.

- **Seviye 0: Otomasyon Yok**

Seviye 0 özelliği, sürücü tamamen meşgul ve dikkatini yola vermişken, uyarı ve uyarı gibi anlık sürüş yardımı veya acil emniyet müdahaleleri sağlamaktadır. Sürücü, bütün sürüş görevlerini yerine getirir. Bütün araç özellikleri birer destek niteliğindedir ve aracı işletmez. Sürücü direksiyon ve frenleme/hızlanma hareketini yapmalıdır.

- **Seviye 1: Sürücü Desteği**

Aracın kontrolü sürücüdür fakat bazı sürüş asistanı özellikleri aracın tasarımının içine eklenebilmektedir. Devreye alındığında, sistem yönlendirme veya hızlanma/frenleme yapabilmektedir.

- **Seviye 2: Kısmi Otomasyon**

Araç hızlanma/frenleme ve direksiyon gibi otomatik işlevleri bir araya getirmiştir, ancak sürücü dinamik sürüş görevini gerçekleştirmeli ve dikkati daima yolda olmalıdır.

- **Seviye 3: Koşullu Otomasyon**

Sürücünün araç içerisinde bulunması zorunludur, fakat çevreyi gözlemlemesi gerekli değildir. Sistem çalışacak durumdan çıkmış ise ve sürücü uyarılmış ise, sürücünün sürüş görevinin tamamen devam edebilmesi için hazır bulunmalıdır.

- **Seviye 4: Yüksek Otomasyon**

Bu özellikler aracı sınırlı koşullarda kullanabilmektedir ve gerekli koşullar sağlanmadıkça çalışmayacaktır. Sürücü aracı kontrol etme seçeneğine sahip olabilmektedir.

- **Seviye 5: Tam Otomasyon**

Bu özellikler aracı bütün koşullarda kullanabilmektedir. Aracı çalıştırmak için sürücüye ihtiyaç yoktur [10, [14].

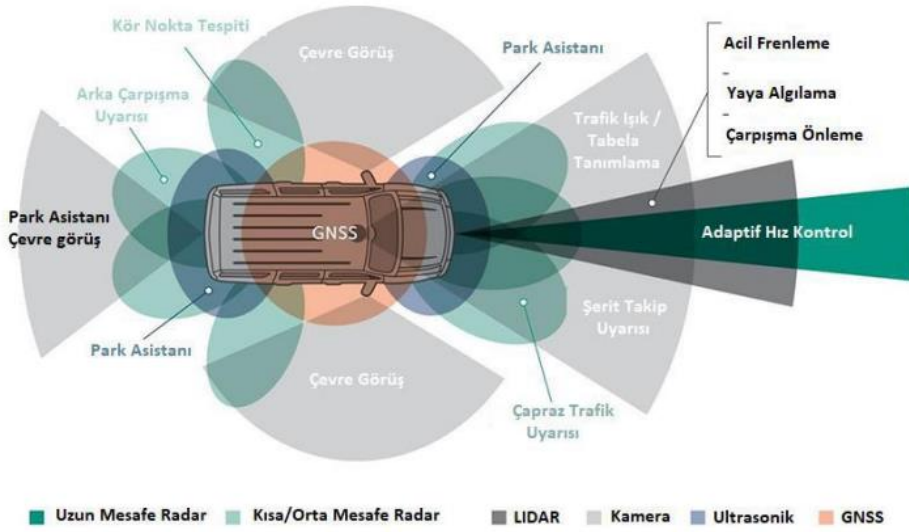
2.1.2 Sensörler

Sensörler, İleri Sürücü Destek Sistemlerinin ve otonom sürüş sistemlerinin önemli bir yeri olan komponenttir. Araçlardaki bu komponent, algılanan olayları veya çevredeki değişiklikleri ileriki süreçler için nicel bir ölçümle eşleştiren cihazlardır. Çalışma prensiplerine göre ikiye ayrılırlar:

Proprioseptif sensör veya dâhili durum sensörleri, dinamik durumu algılar ve sistemin dâhili değerlerini, örneğin açısal hız, kuvvet, voltaj vs. ölçerler. Bu sensörlere örnekler olarak; Atalet Ölçüm Birimleri (IMU), kodlayıcılar, jiroskop ve Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS) verilebilir.

Bu sensörlerin aksine, dışa duyarlı sensörler veya harici durum sensörleri, sistemin çevresinden mesafe ölçümleri veya ışık yoğunluğu gibi çeşitli bilgileri algılamaktadır. Kameralar, radar, lidar ve ultrasonik sensörler bu sensörlere örnek olarak verilebilir.

Otonom araçlarda sensörler, çevrenin algılanması ve yol planlaması ve karar verme mekanizması konusunda araçların yerini saptamak için önemlidir ve aracın hareketini kontrol etmek için ana öncülerdir. Şekil 2.2’de görüldüğü gibi otonom araçlarda genellikle çoklu görüş kameraları, sonar, radar, lidar ve ultrasonik sensör kullanılmaktadır [15].



Şekil 2.2 : Sensörler ve uygulamaları [16].

2.1.2.1 Radar

Radar (Radyo Sinyalleri ile Tespit Etme ve Mesafe Ölçümü), ACC ve BSD özellikleri gibi farklı amaçlar için araçlara bütünleşmiş sensörlerdir. Böylece otonom araçlardaki sürüş emniyetinin artmasına yardımcı olmaktadır. Diğer sensörler iki okuma arasındaki farkı hesaplayarak hız ölçümü yaparken, radar hızı direkt ölçmek için Doppler etkisini kullanır. Doppler etkisi, sensör bütünleşmesi için önemlidir. Bu etki, bağımsız olarak bir hız bilgisi verir [17].

Orta-menzilli radarlar (MRR), uzun-menzilli radarlar (LRR) ve kısa-menzilli radarlar (SRR), otomotiv radar sistemlerinin ana kategorileridir. Otonom araç üreticileri, park desteği ve çarpışma yakınlık uyarısı için SRR, yan/arka çarpışma önleme sistemi ve kör nokta algılama sistemi için MRR ve uyarlanabilir hız sabitleyici ve erken algılama uygulamaları için LRR kullanır [15]. Radarlar, araçtaki tüm sensörler arasında yağmur veya sisten en az etkilenen sensörlerdir.

2.1.2.2 Kamera

Kameralar Őu anda otonom sűrűŐ sistemlerinde en çok kullanılan sensűrlerden bir tanesidir. Otonom bir aracın etrafını tam anlamıyla gűrselleŐtirmesini saėlamaktadır. Bir otonom araçtaki kamera sistemi, monokűler kamera veya binokűler kamera veya her ikisinin birleŐtirilmesi olarak kullanılabilir. Monokűler kamera sistemi, bir dizi gűrűntű oluŐturmak için tek kamera kullanılmaktadır [15]. Kameralar ayrıca HMI için aracın içerisinde de kullanılabilir.

Bu tarz bir sensűr,

- Şerit sınırı algılama,
- Araç, insan ve diğer nesneleri algılama,
- Ana araçtan engele olan mesafe tahmini gibi birçok gűrevi yerine getirebilmektedir [18].
- Monokűler kamera sensűrű tarafından geri beslenen veriler, Őeritten ayrılma uyarıları, çarpıŐma uyarıları vermek veya bir Őerit takip desteėi sistemi tasarlamak için kullanılabilir [19].

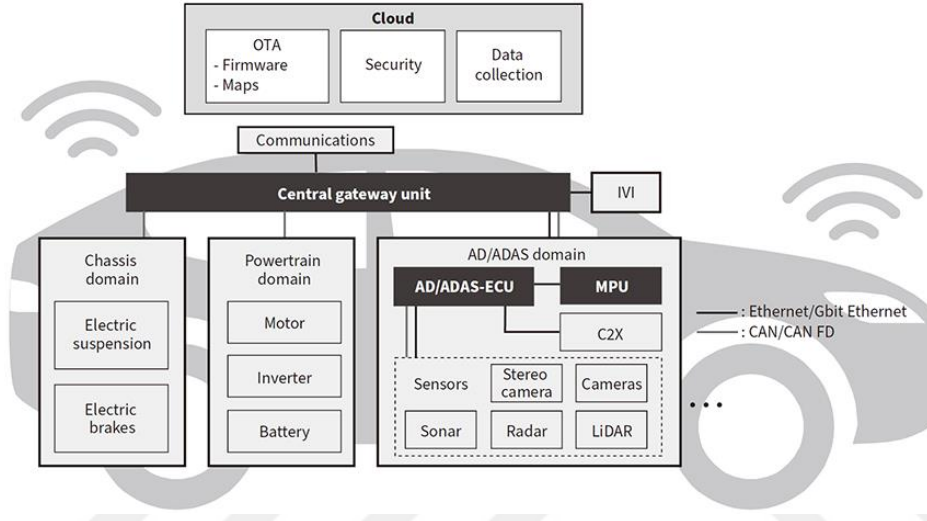
2.1.2.3 Lidar

IŐık Tespiti ve Őlűmű (Lidar) sensűrleri ile yakındaki bir nesne arasındaki uzaklıėı belirlemek için bir kızılűtesi lazer ıŐını kullanılmaktadır ve evre hakkında ű boyutlu yapısal bilgi saėlamaktadır. Lidar sistemleri, operasyonlarını bir lazer diyottan yayılan bir ıŐıėın bir emitűr tarafından alınana kadar uçuŐ sűresinin Őlűműne dayanmaktadır.

Lidar teknolojisinin geliŐimi, son birkaç yılda űnemli bir hızla artıŐ gűstermiŐtir ve gűnűműzde ADAS ve otonom araçlar için temel algılama teknolojilerinden biri olmuŐtur. Uyarlamalı Hız Sabitleyici (ACC), Kűr Nokta Algılaması (BSD), LKAS gibi űzelliklerde kullanıma uygundur. Lidar, kűtű hava koŐullarından oldukça etkilenir. űnkű yaėmur, kar, sis ve tozlu ortamlarda, ıŐık kırınımına uėradıėı için hassas Őlűmler yapılamayabilir [20]. Lidar sensűrleri kullanılarak otomobiller, kamyonlar ve diėer nesnelere tespit edebilmektedir. Lidar sensűrű nesnelere hareket ederken algılamak ve izlemek için yansıyan lazer darbelerini veya lazer dűnűŐlerini bir nokta koleksiyonu ile toplar ve nokta bulutları denilen yapılar ile anlamsal olarak parçalara ayırarak inceleyebilir [21].

2.1.3 ADAS elektronik kontrol ünitesi (ECU)

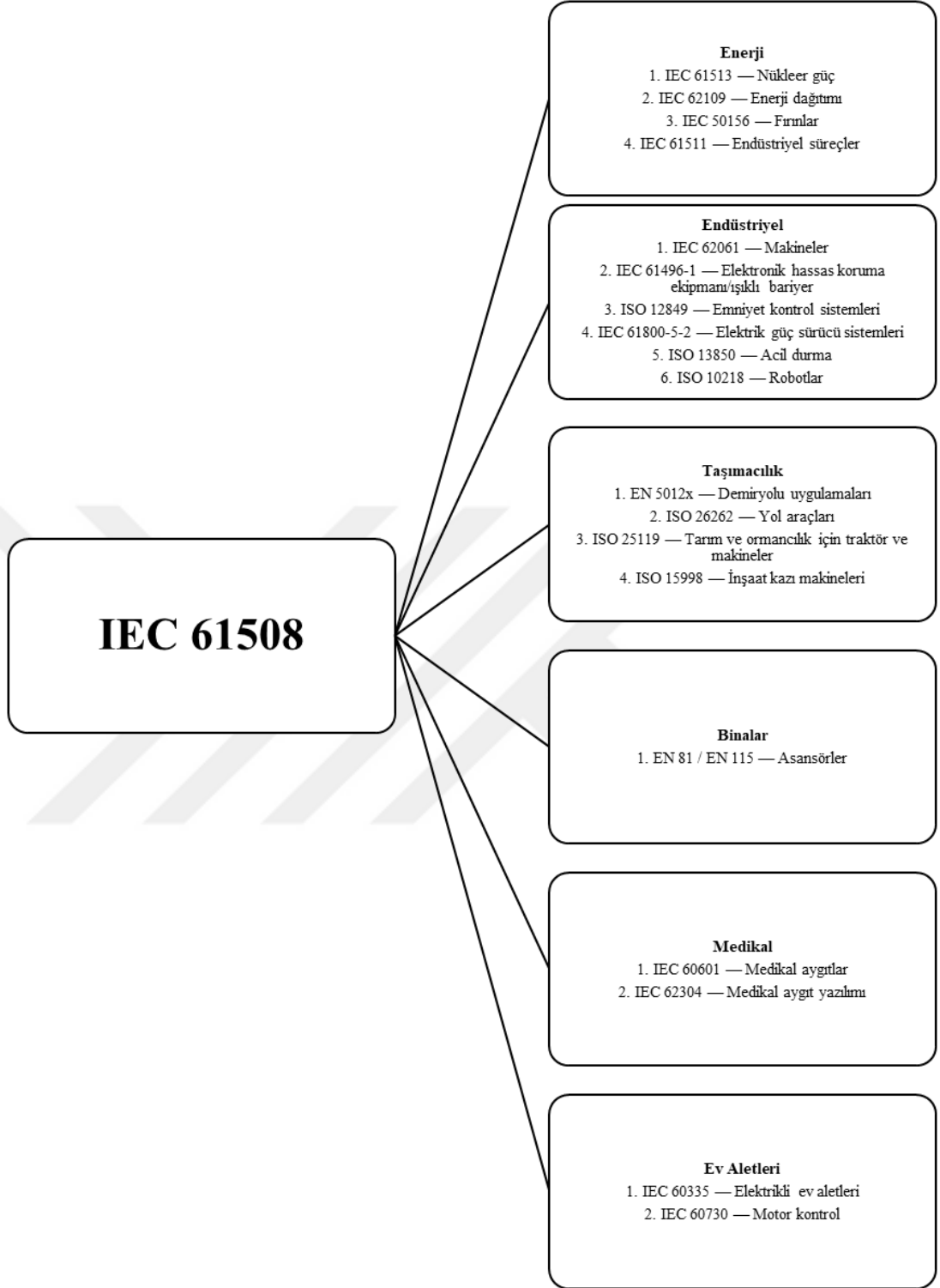
ECU, ADAS fonksiyonelliğinden sorumlu ana kontrolörlerden bir tanesidir. Stereo kameralar, radar ve diğer sensörler tarafından toplanan çok sayıda çevresel veriyi kullanarak aracın denetleyici kontrolünü gerçekleştirmektedir. Bu ünite, tanıma ve araç kontrolü için Merkezi İşlem Ünitesi (CPU) ile hem yüksek hızlı hem de emniyetli uygulama sunmaktadır. Şekil 2.3’de bir araç mimarisi ve bu mimarinin içindeki ADAS-ECU ve ECU’nun diğer komponentler ile bağlantıları gösterilmiştir.



Şekil 2.3 : ADAS-ECU ve örnek bir araç mimarisi [22].

Bu bölümde, otonom araçlar, sensörlerin özellikleri ve kullanımları hakkında bilgiler verilmiştir.

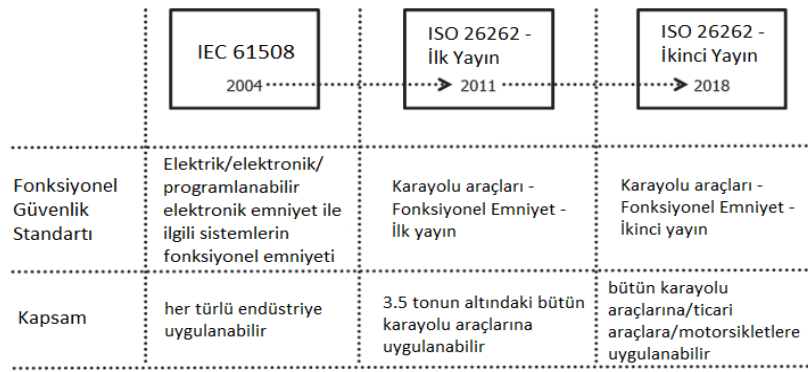
Teknolojinin gelişmesi ve sistemlerin karmaşıklaşması ile birlikte fonksiyonel emniyet konusuna ihtiyaç artmıştır. Fonksiyonel emniyet, birçok farklı konuyu inceleyen bir alandır. Şekil 2.4’te genel fonksiyonel emniyet standartına bağlı olan standartlar ve ele aldıkları konulara dair bilgilerden bahsedilmiştir.



Şekil 2.4 : Fonksiyonel emniyet standartları genel bakış [23].

2.2 Otomotivde Fonksiyonel Emniyet – ISO 26262:2018

Araçlarda E/E sistemlerin artışı ile emniyet daha önemli bir hâl almıştır. Gelişmekte olan sürücüsüz araç teknolojisi ve güç aktarma sistemlerinin artan fonksiyonelliği, sistem, donanım, yazılım ve emniyet mimarisinin tasarımının karmaşıklaşmasına yol açmaktadır. Bu sorunu çözmek ve daha emniyetli sistemler oluşturmak için fonksiyonel emniyet standartları geliştirilmektedir. Şekil 2.5'te otomotiv fonksiyonel emniyet standartına dair bilgi ve tarihçe verilmiştir.



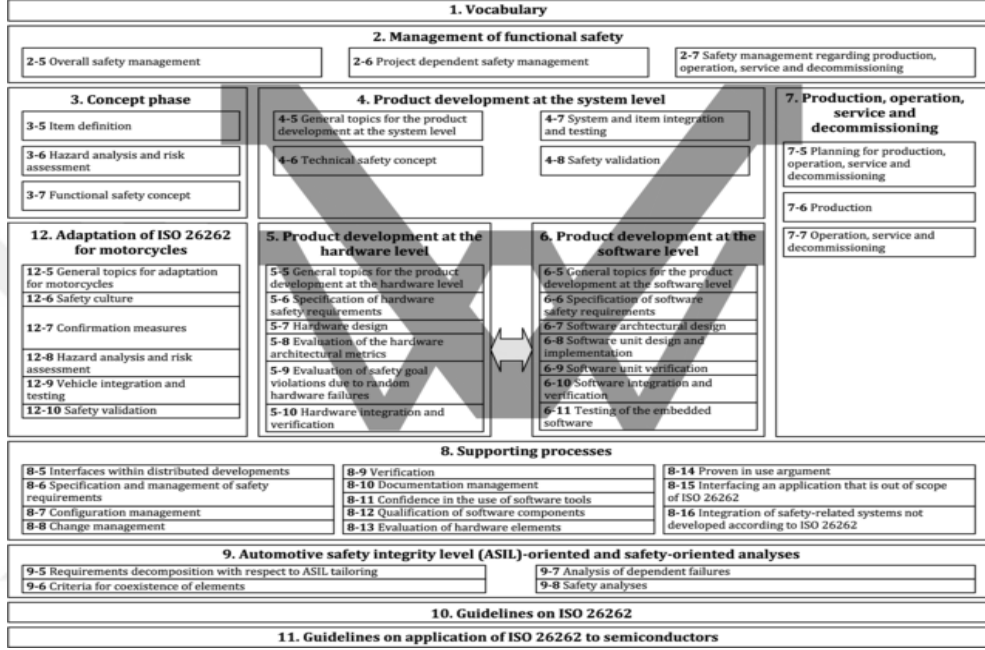
Şekil 2.5 : ISO 26262 fonksiyonel emniyet standardı tarihçesi [24].

ISO 26262 serisi standart, karayolu araçlarının elektrik-elektronik sistemlerin özellikli ihtiyaçlarını karşılamak için IEC 61508 serisi standartlardan özelleşmiş bir standarttır. IEC 61508 standardı, donanım-yazılım-özel geliştirme süreci ve özel tasarım ve doğrulama gereksinimleri dâhil olmak üzere bir “genel emniyet yaşam döngüsünü” tanımlar. Emniyet konusu, karayolu araçlarının geliştirilmesinde önemli konulardan biridir. Otomotivdeki fonksiyonların geliştirilmesi ve bütünleşmesi, fonksiyonel emniyet ihtiyacının ve hedeflerinin karşılanması konusunda kanıt sağlama ihtiyacını güçlendirir. Fonksiyonel emniyetin başarılabilmesi için, ISO 26262 standardının aşağıdaki noktaları sağlaması gerekmektedir:

- Otomotiv emniyeti yaşam döngüsü için bir kaynak olmalıdır ve döngünün aşamaları, örneğin geliştirme, üretim, işletme, servis ve devreden çıkarma gibi konuların adaptasyonunu desteklemelidir.
- ASIL belirlenmesi için otomotive özgü risk tabanlı bir yaklaşım sağlamalıdır.
- Makul olmayan artık risklerden kaçınmak için ISO 26262 gereksinimlerinden hangilerinin geçerli olduğunu belirtmek için ASIL değerlendirmesi yapılmalıdır.

- Fonksiyonel emniyet yönetimi, tasarım, bütünleşme, doğrulama ve teyit için gereksinimleri sağlamalıdır.
- Müşteri ve tedarik sağlayıcısı arasındaki ilişkinin gereksinimlerini sağlamalıdır.

Şekil 2.6’da ISO 26262 fonksiyonel emniyet standardına genel bakış ve standardın bölümleri mevcuttur.



Şekil 2.6 : ISO 26262 fonksiyonel emniyet standardı alt maddeleri [25].

ISO 26262:2018 yol araçları fonksiyonel emniyet standardı fonksiyonel emniyeti “E/E sistemlerin işlevsel bozuk davranışlarından kaynaklanan tehlikeler nedeniyle kabul edilemez riskin olmaması” şeklinde tanımlamaktadır. ISO 26262 standardının hedefi sistemlerin beklenmedik veya hatalı işlemlerinden dolayı insanların fiziksel olarak zarar görebilme risklerinin azaltmaktır. ISO 26262, elektrik çarpması, yangın, duman, ısı, radyasyon, toksisite, yangınlık, tepkime, korozyon, enerji salınımı ve benzeri tehlikeleri ele almaz. (emniyet ile ilgili E/E sistemlerinin işlevsel bozukluk içeren davranışlarından doğrudan kaynaklanmadığı sürece) Bu standart ile bir veya daha fazla E/E sistemi içeren (mopedler, bisikletler veya scooterlear hariç), seri üretim karayolu araçlarına monte edilen emniyetle ilgili sistemlere uygulanması amaçlanmıştır. Bu belge, engelli sürücüler için tasarlanmış E/E sistemleri gibi özel araçlardaki E/E sistemlerini ele almamaktadır. Otomobiller, kamyonlar, otobüsler, römorklar, yarı-römorklar ve motosikletler ISO 26262’nin kapsamındadır [25].

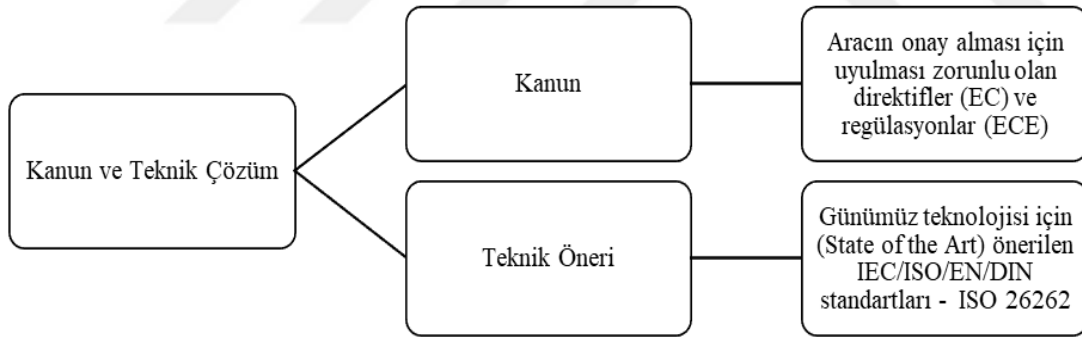
Motorlu taşıtlarda kabul edilemez riskler, E/E sistemlerin arızalı davranışlarından kaynaklanabilecek bazı risklere örnekler aşağıdaki gibidir:

- Kasıtsız hızlanma, yavaşlama
- Kasıtsız araç hareketi
- Araç hareket kaybı

Bu standart, aşağıdakiler dâhil olmak üzere otomotiv uygulamaları adına Kısım 3: Konsept fazı için gereksinimleri belirtir:

- Öge tanımı (Item definition)
- Tehlike analizi ve risk değerlendirmesi (Hazard analysis and risk assessment)
- Fonksiyonel emniyet konsepti (Functional safety concept)

ISO 26262 standardının ilk sürümünün piyasaya sunulması 2011 yılında, ISO 26262'nin ikinci sürümünün piyasaya sunulması 2018 yılında olmuştur. ISO 26262, bu konuda tanımlanmış en son ve en kapsamlı standart olduğu için “state of the art” olarak adlandırılmaktadır. Şekil 2.7’de kanun ve teknik çözümlere dair bir özet oluşturulmuştur.



Şekil 2.7 : Kanun ve teknik çözüm.

2.2.1 Öge tanımı (Item definition)

2.2.1.1 Öge tanımı amacı

Bu başlığın iki önemli amacı vardır. Bunlardan birincisi, ögeyi ve ögenin işlevini ve bunlara dayanarak sürücü, çevre ve araç seviyesindeki diğer ögelerle etkileşimini tanımlamaktır. İkincisi, ögeyi yeterince anlaşılır olarak açıklamak amacını taşımaktadır.

2.2.1.2 Öge tanımı için genel bilgiler

Bu madde, fonksiyonellik, arayüzler, çevresel koşullar, yasal gereksinimler ve tehlikeler dâhil olmak üzere ögenin tanımını oluşturmaya yönelik gereksinimleri ve önerileri listelemektedir.

2.2.1.3 Öge tanımı için gereksinimler ve öneriler

Ögenin gereksinimleri aşağıdakileri içermelidir:

- Gereksinimler, emniyet hedefleri ve ona bağlı Otomotiv Emniyet Bütünlüğü Seviyesi (ASIL) tanımlandıktan sonra emniyet ile ilgili olarak sınıflandırılabilir.
- Yasal gereksinimler, ulusal ve uluslararası standartlar,
- Aracın işletim türlerini ve durumlarını içeren araç seviyesinde fonksiyonel davranış,
- Uygulanabilir ise, fonksiyonelliğin gerekli kalitesi, performansı ve kullanılabilirliği,
- İşlevsel ve diğer ögelere bağılıklar ve işletim ortamı gibi ögeyle ilgili kısıtlamalar,
- Var ise, bilinen arıza tipleri ve tehlikeler dâhil olmak üzere davranışsal eksikliklerin olası sonuçları,
- Eyleyicilerin yetenekleri veya varsayılan yetenekleri.

2.2.2 Tehlike analizi ve risk değerlendirmesi (HARA)

2.2.2.1 Tehlike analizi ve risk değerlendirmesi amacı

Bu bölümün iki temel amacı vardır. Bunlardan birincisi, ögenin işlevsel bozukluk içeren davranışlarından kaynaklanan tehlikeli olayları belirlemek ve sınıflandırmaktır. İkincisi, makul olmayan risklerden kaçınmak için, tehlikeli olayların önlenmesi veya azaltılması ile ilgili emniyet hedeflerine karşılık gelen ASILleri formüle etmektir.

2.2.2.2 Tehlike analizi ve risk değerlendirmesi için genel bilgiler

Tehlike analizi, risk değerlendirmesi ve ASIL belirlenmesi, ögenin emniyet hedeflerini belirlemek için kullanılmaktadır. ASIL, ciddiyet, meydana gelme olasılığı ve kontrol edilebilirlik göz önünde bulundurularak belirlenir. Bu işlem, ögenin fonksiyonel davranışına dayanmaktadır.

2.2.2.3 Tehlike analizi ve risk değerlendirmesi için ön şart

Öge tanımındaki bilgiler HARA aşamasında kullanılmaktadır.

2.2.2.4 Tehlike analizi ve risk değerlendirmesi için gereksinimler ve öneriler

Tehlike analizi ve risk değerlendirmesinin başlatılması

- Tehlike analizi ve risk değerlendirmesi yapılırken öge tanımı temel alınarak yapılmalıdır.
- HARA sırasında uygulanması amaçlanan veya öncül maddelerde daha önce uygulanmış olan emniyet mekanizmaları dikkate alınmayacaktır.
- Uygulanması amaçlanan veya ögeye ait çoktan uygulanmış olan emniyet mekanizmaları, fonksiyonel emniyet konseptinin bir parçası olarak dâhil edilebilmektedir.

Durum analizi ve tehlike tanımlaması

- Bir ögenin işlevsel bozukluk içeren davranışının tehlikeli bir olaya yol açacağı çalışma durumları ve çalışma tipleri, hem araç doğru kullanıldığında hem de makul bir yol ile öngörülebilir şekilde yanlış kullanıldığında tanımlanmalıdır.
- Tehlikeler, ögenin olası işlevsel bozukluk içeren davranışları temel alınarak sistematik bir şekilde tanımlanmalıdır.
- Ögenin işlevsel bozukluk içeren davranışlarından kaynaklanan tehlikeler araç seviyesinde tanımlanmalıdır.
- ISO 26262 standardının kapsamı dışında bu maddede tanımlanan tehlikeler var ise, bu tehlikeler organizasyonun belirlenen yöntemlerine göre ele alınmalıdır.
- İlgili tehlikeli olaylar tanımlanmalıdır.
- Tehlikeli olayların sonuçları tanımlanmalıdır.
- Operasyonel durumlar listesinin ayrıntı düzeyi, ASIL'in uygunsuz bir şekilde düşürülmesine yol açmadığından emin olunmalıdır.

Tehlikeli olayların sınıflandırılması

ISO 26262'nin kapsamı dışında kalanlar hariç, yukarıda listelenen tüm tehlikeleri olaylar sınıflandırılmalıdır. Ele alınan tehlikeleri severity (ciddiyet), exposure (maruz kalma) ve controllability (kontrol edilebilirlik) değerleri açısından sınıflandırmak duruma göre zor olabilmektedir. Buna çözüm olarak tutucu bir sınıflandırma tercih

edilebilir. Örneğin, duyulan şüphe kabul edilebilir ise, daha yüksek S, E ve C değerleri seçilebilir.

Olası zararın ciddiyeti, tehlikeli olayın her biri için bir mantığa dayandırılarak hesaplanmalıdır. Ciddiyet, aşağıdaki çizelgeye uygun olarak S0, S1, S2 veya S3 olarak sınıflandırılabilir. Ciddiyeti karakterize etmek için, Yaralanma Ciddiyeti Skoru (AIS) tanımı kullanılabilir. Çizelge 2.1’de görüleceği üzere AIS 6 sınıfta incelenebilir:

Çizelge 2.1 : AIS skoru ve yaralanma [26].

AIS Skoru	Yaralanma
1	Hafif
2	Orta
3	Ciddi
4	Şiddetli
5	Kritik
6	Maksimum (tedavi edilemez)

ISO 26262 standardında ciddiyet için dört seviye vardır: S0, S1, S2 ve S3. Bu değerlerin açıklaması aşağıdaki tabloda verilecektir. Yaralanmaların farklı seviyelerde açıklanması, ciddiyetin sınıflandırılmasında temel olarak kullanılabilir. Bunun sayesinde, ciddiyet sınıfı yaralanmaların bir kombinasyonuna dayandırılabilir ve böylece tek başına bir yaralanmaya bakmaktan kaynaklanacak olandan daha yüksek bir ciddiyet sınıflandırması gerekli olmaktadır. Çizelge 2.2’de ciddiyet sınıflandırması açıklanmıştır.

Çizelge 2.2 : Ciddiyet sınıfları.

	S0	S1	S2	S3
Tanım	Yaralanma yok	Hafif ve orta yaralanmalar	Şiddetli ve hayati tehlikesi bulunan yaralanmalar (hayatta kalma ihtimali var)	Hayati tehlikesi bulunan yaralanmalar (hayatta kalma ihtimali belirsiz), ölümcül yaralanma

Hasarla sonuçlanan bazı operasyonel durumlar mevcuttur. Böyle bir durumda ögenin daha sonra işlevsel olarak bozuk çalışması, ortaya çıkan zararı artırabilir veya azaltmada başarısız olabilir. Bu durumda, ciddiyetin sınıflandırılması, ilk operasyonel durumun (örneğin kaza) neden olduğu ciddiyet ile ögenin işlevsel bozukluk içeren davranışı arasındaki fark ile sınırlı olabilmektedir. Eğer bir tehlikeli olay için S0 sınıfı atanmış ise, ASIL belirlenmesine gerek yoktur.

Her bir operasyonel durumun maruz kalması, her bir tehlikeli olay için tanımlanmış bir gerekçeye dayalı olarak hesaplanmalıdır. Maruz kalma olasılıkları E0, E1, E2, E3 ve E4 olarak sınıflandırılabilir. Maruz kalma olasılıklarının belirlenmesi, hedef pazarlar için operasyonel durumların temsili örneklerine dayanmaktadır. Maruz kalma olasılığı tahmini yapılırken, öge ile donatılmış araç sayısı göz önünde bulundurulmamalıdır.

Makul ölçüde öngörülebilir yanlış kullanım dikkate alınabilir. Örneğin, “yaygın bir davranış olarak öndeki araç ile yeteri mesafenin bırakılmaması” buna bir örnektir. Çizelge 2.3’te maruz kalma olasılığı sınıflandırması açıklanmıştır.

Çizelge 2.3 : Maruz kalma olasılığı sınıfları.

	E0	E1	E2	E3	E4
Tanım	Olağanüstü	Çok düşük olasılık	Düşük olasılık	Orta olasılık	Yüksek olasılık

Sürücü veya operasyonel duruma dâhil olan diğer kişiler tarafından her bir tehlikeli olayın kontrol edilebilirliği, bu tehlikeli olay için tanımlanmış bir temele dayandırılarak tahmin edilecektir. Kontrol edilebilirlik, C0, C1, C2 ve C3 olarak sınıflandırılabilir. Çizelge 2.4’te kontrol edilebilirlik sınıflandırması açıklanmıştır.

Çizelge 2.4 : Kontrol edilebilirlik sınıfları.

	C0	C1	C2	C3
Tanım	Genel olarak kontrol edilebilir	Basitçe kontrol edilebilir	Normal bir şekilde kontrol edilebilir	Kontrol çok zor veya kontrol edilemez

Kontrol edilebilirliği değerlendirirken, risk altındaki kişinin ögenin çalışma prensibine hâkim olamayabileceği veya potansiyel olarak tehlikeli bir durumun ortaya çıktığının fark edemeyebileceği unutulmamalıdır. Kontrol edilebilirlik, birden fazla trafik katılımcısının faaliyetlerini içerdiği için, kontrol edilebilirlik değerlendirilmesi, aracın arızalı öge ile kontrol edilebilirliğine ve diğer katılımcıların varsayılan faaliyetlerine dayandırılabilir. Ögenin olmaması, aracın emniyetli çalışma durumunu tehlikeye atmıyor ise (bazı sürücü destek sistemlerindeki gibi) veya olağan sürücü davranışı ile bir kaza önleniyor ise, C0 sınıfı riskler kullanabilmektedir. Tehlikeli bir olaya C0 sınıfı atanmış ise, ASIL değerlendirmesi gerekli değildir.

ASIL A, ASIL B, ASIL C ve ASIL D olmak üzere dört ASIL derecesi mevcuttur. ASIL A en düşük seviyedeki emniyet derecesi iken, ASIL D en yüksek seviyedeki emniyet derecesidir. Bu dört ASIL derecesine ek olarak, kalite yönetimi (QM) sınıfı mevcuttur ve ISO 26262 standardı ile uyumlu olma gerekliliğini ifade etmemektedir. QM sınıflandırması, kalite süreçlerinin tanımlanan riski yönetmek için yeterli olduğunu gösterir. Çizelge 2.5’te S, C, E ve ASIL ilişkisi açıklanmıştır.

Çizelge 2.5 : ASIL tablosu.

Ciddiyet sınıfı	Maruz kalma	Kontrol edilebilirlik sınıfı		
		C1	C2	C3
S1	E1	QM	QM	QM
	E2	QM	QM	QM
	E3	QM	QM	A
	E4	QM	A	B
S2	E1	QM	QM	QM
	E2	QM	QM	A
	E3	QM	A	B
	E4	A	B	C
S3	E1	QM	QM	A ^a
	E2	QM	A	B
	E3	A	B	C
	E4	B	C	D

A^a: E1’den daha düşük bir maruz kalma olasılığı ile sonuçlanan birkaç olası durum birleştirilirse, QM bu birleşime dayalı olarak S3, C3 sınıfları için tartışmaya açıktır.

Tehlikeli olayların sınıflandırılması

Tehlike analizi ve risk değerlendirmesinde hesaplanan ASIL ile her tehlikeli olay için bir emniyet hedefi belirlenecektir. Benzer olarak belirlenen emniyet hedefleri, tek bir emniyet hedefi altında birleştirilebilir. Emniyet hedefleri, öge için üst seviye emniyet gereksinimleridir.

Tehlikeli olay için belirlenen ASIL, karşılık gelen emniyet hedefine atanmalıdır. Eğer benzer emniyet hedefleri tek bir emniyet hedefi olarak birleştirilmiş ise, buna karşılık en yüksek ASIL atanır. Emniyet hedefleri, ISO 26262-8:2018, Bölüm 6’da bahsedilen ASIL tanımlamalarına göre oluşturulmalıdır.

Doğrulama

Tehlike analizi ve risk değerlendirmesinde hesaplanan ASIL ile her tehlikeli olay için bir emniyet hedefi belirlenecektir. Benzer olarak belirlenen emniyet hedefleri, tek bir

emniyet hedefi altında birleştirilebilir. Emniyet hedefleri, öge için üst seviye emniyet gereksinimleridir.

Emniyet hedeflerini içeren tehlike analizi ve risk değerlendirmesi, aşağıda sıralananları kanıtlamak için ISO 26262-8:2018, madde 9'a göre doğrulanmalıdır:

- Operasyonel durumlar ve tehlike belirleme (ve Kamyon&Otobüs araç yapılandırması) ile ilgili uygun seçim,
- Öge tanımı ile uyum,
- Diğer ögeler içi yapılan tehlike analizi ve risk değerlendirmesi ile tutarlı olması,
- Tehlikeli olayın kapsamının tam olması,
- Atanan ASILler ve bağlantılı tehlikeli olaylar ile ilgili emniyet hedeflerinin tutarlılığı.

2.2.3 Fonksiyonel emniyet konsepti (FSC)

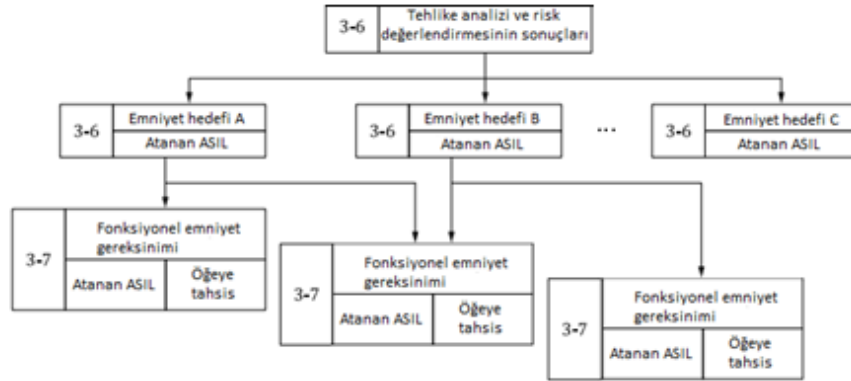
2.2.3.1 Fonksiyonel emniyet konsepti amacı

Bu bölümün beş temel amacı vardır.

- Emniyet hedeflerine uygun olarak ögenin fonksiyonel veya kısıtlanmış fonksiyonel davranışını belirlemek,
- Emniyet hedeflerine göre arızaları zamanında tespit ve kontrol edebilmek için kısıtlamaları belirlemek,
- Gerekli hata toleranslarını elde etmek veya ilgili hataların etkilerini öge tarafından, sürücü veya harici önlemler ile yeterince azaltmak için öge seviyesinde stratejiler veya önlemler belirlemek,
- Fonksiyonel emniyet gereksinimlerini sistem mimari tasarımına veya harici önlemlere tahsis etmek,
- Fonksiyonel emniyet konseptinin doğrulanması ve geçerli kılma ölçütlerinin belirlemek.

Emniyet hedeflerine uymak için, fonksiyonel emniyet konsepti, ögenin mimari unsurlarında uygulanacak ve fonksiyonel emniyet gereksinimlerinde belirtilecek

emniyet mekanizmaları da dâhil olmak üzere emniyet önlemlerini içerir. Şekil 2.8’de fonksiyonel emniyet gereksinimlerinin hiyerarşisi gösterilmiştir.



Şekil 2.8 : ISO 26262 fonksiyonel emniyet gereksinimleri ve emniyet hedeflerinin hiyerarşisi.

Fonksiyonel emniyet konseptinin üç tane girdisi vardır. Bunlar;

- Ögenin tanımı,
- HARA raporu,
- Sistem mimari tasarımı.

2.2.3.2 Fonksiyonel emniyet konsepti için genel bilgiler

Fonksiyonel emniyet konsepti, emniyet hedeflerine uymak için ögenin mimari bileşenlerine dahil edilecek ve fonksiyonel emniyet standartlarında belirtilen emniyet mekanizmaları gibi emniyet önlemlerini içerir.

2.2.3.3 Fonksiyonel emniyet konsepti için ön şart

Öge tanımı, HARA ve harici kaynaklardan sistem mimari tasarımı ön şarttır.

2.2.3.4 Fonksiyonel emniyet gereksinimlerinin türetilmesi

Fonksiyonel emniyet gereksinimleri, sistem mimari tasarımı göz önünde bulundurularak emniyet hedeflerinden türetilmelidir. Her bir emniyet hedefinden en az bir fonksiyonel emniyet gereksinimi türetilmelidir. Aşağıda bahsedilen özelliklere göre fonksiyonel emniyet gereksinimleri belirlenmelidir:

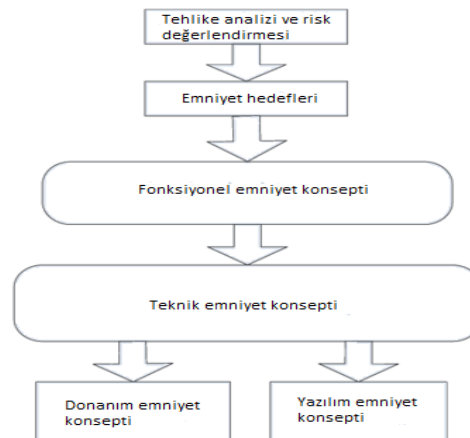
- Hatadan kaçınma,
- Hata tespiti ve hatanın kontrolü veya sonuç olarak ortaya çıkan işlevsel bozukluk içeren davranış,

- Emniyetli bir duruma ve mümkün ise emniyetli bir durumdan geçiş,
- Hata toleransı,
- Bir hatanın var olması durumunda kısıtlayıcı fonksiyonellik olması sonraki bir üstteki ilk iki madde ile etkileşimi,
- Sürücü tarafından kontrol edilebilirliği artırmak için gereken sürücü uyarıları (örneğin motor işlev bozukluğu gösterge lambası, ABS hata uyarı lambası),

Her bir fonksiyonel emniyet gereksinimleri aşağıdaki maddeler dikkate alınarak belirtilmelidir:

- Operasyon tipleri,
- Hata toleransı zaman aralığı,
- Emniyetli durumlar,
- Acil operasyon zaman aralığı ve
- Hata toleransı gibi fonksiyonel fazlalıklar [25].

Bir veya daha fazla emniyet durumuna geçirilerek veya devam ettirilerek bir emniyet hedefi ihlali önlenemiyor ise, ilgili emniyet durumları belirtilmelidir. Kabul edilebilir bir zaman aralığında bir geçiş ile emniyetli bir duruma ulaşılamıyor ise, bir acil durum operasyonu belirtilmelidir. FSRLardan sonra teknik emniyet konsepti aşamasında TSR (teknik emniyet gereksinimleri), donanım emniyet konsepti aşamasında HSR (donanım emniyet gereksinimleri) ve yazılım emniyet konsepti aşamasında SSR (yazılım emniyet gereksinimleri) ile devam edilir. Şekil 2.9'da emniyet konseptleri akışı mevcuttur.



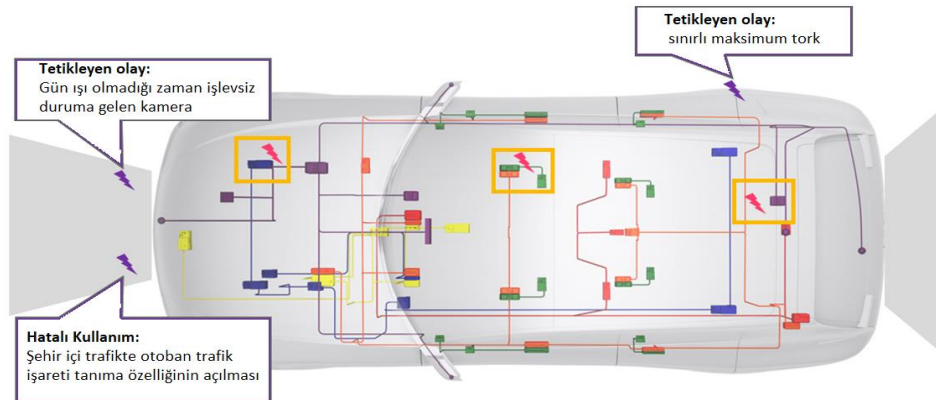
Şekil 2.9 : ISO 26262 emniyet konseptleri akış diyagramı.

2.3 Amaçlanan Fonksiyonun Emniyeti (SOTIF)

ISO 21448:2022 yol araçları – SOTIF, amaçlanan fonksiyonun fonksiyonel yetersizliklerinden veya insanlar tarafından makul öngörülebilir yanlış kullanımdan kaynaklanan makul olmayan risklerin olmaması olarak tanımlanmaktadır. Bu standart, ISO 26262:2018 yol araçları fonksiyonel emniyet standardı kapsamındaki arızalar veya sistem teknolojisinin direkt sebep olduğu tehlikeleri kapsamamaktadır (örneğin, bir lazer sensöründen kaynaklanan göz hasarı). Bu iki standart, emniyetin farklı ve tamamlayıcı yönleridir. İki standardın temel ortak amacı, insanların yaralanmalardan korunmasıdır. ISO 26262'nin amacı bir sistemin işlevsel bozukluğunun sebep olduğu tehlikelerden kaynaklanan makul olmayan risklerden kaçınmak iken, ISO 21448'in amacı fonksiyonel yetersizlikler veya eksiklikler ile ilgili potansiyel olarak tehlikeli davranışlardan kaynaklanan makul olmayan risklerden kaçınmaktır [27]. Örneğin, şerit takip gibi işlevler için bir otoban şeridi sınır algılama algoritması, yoldaki enkaz sebebiyle şeridi yanlış olarak saptayabilir. Bir çarpışma ile sonuçlanan şerit saptmaları, aşağıda verilen örnekler gibi diğer otonom sürüş işlevleri ile hafifletilebilir:

- Şeridi doğrulamak için yüksek çözünürlüklü bir harita ve yerini belirleme işlemi uygulamak,
- Aracın takip edeceği rotayı daha uygun hala getirmek ve algılanan şeritten ayrılmak anlamına gelse bile, çarpışmadan kaçınma algoritmaları ile diğer araçlar ile ayırmayı sağlayan çarpışmadan kaçınma algoritmaları bunlara örnektir [28].

Şekil 2.10'da SOTIF altında incelenen tetiklenen olaylara dair örnekler verilmiştir.



Şekil 2.10 : SOTIF [29].

Bu tez kapsamında, SOTIF ile ilgili çalışma yapılmayacaktır.



3. ŞERİT TAKİP DESTEĞİ SİSTEMİ VE FONKSİYONEL EMNİYET ANALİZİ

3.1 Şerit Takip Desteği Sistemi Standartları ve Regülasyonları

Şerit Takip Desteği Sistemi (LKAS) veya Şeritten Ayrılma Uyarı Sistemi (LDWS) yanal sürüş yardım sistemlerinden bazılarıdır. Genellikle kasıtsız olan şerit ayrılmaları, ciddi trafik kazalarının ana nedenlerinden biridir. LKAS, sürücünün yorgunluğu, dikkat dağınıklığı, bayılması, çok yüksek hızda araç kullanması (özellikle virajlarda), ayrıca şerit işaretlerinin ve yol geometrisinin belirginliğinin az olması gibi çeşitli nedenlerden dolayı şeritten ayrılma durumunu engellemek için tasarlanmıştır [30] ve aracı belirlenen şeritte tutmak için sürücüye direksiyon desteği sağlamaktadır. SAE otonom araç seviyeleri açıklamasına göre LKAS Seviye 1 otonomi kategorisine uygundur.

LKAS için birden çok standart, yönetmelik ve test protokolleri bulunmaktadır. Şerit Takip Desteği Sistemi için kullanılan diğer standart ve regülasyonlar aşağıdaki gibidir:

- ISO 11270:2014 – Intelligent transport systems – Lane keeping assistance system (LKAS) – Performance requirements and test procedures [31].
- UNECE Regulation No: 157:2021 – Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to Automated Lane Keeping Systems [32].
- ISO 22735:2021 – Road Vehicles – Test method to evaluate the performance of lane-keeping assistance systems [33].
- European New Car Assessment Programme (Euro NCAP) – Test Protocol – Lane Support Systems [34].
- EU Regulation No: 2021/646 – Emergency Lane Keeping System (ELKS) [35].
- ISO 17361:2017 – Intelligent transport systems – Lane departure warning system – Performance requirements and test procedures [36].

- ISO 19638:2018 – Intelligent transport systems – Road boundary departure prevention systems (RBDPS) – Performance requirements and test procedures [37].
- UNECE Regulation No: 130 – Uniform provisions concerning the approval of motor vehicles with regard to the Lane Departure Warning System (LDWS) [38].
- ANCAP Assesment Protocol – Safety Assist v9.1 [39].
- NHTSA – Lane Departure Warning System Confirmation Test and Lane Keeping Support Performance Documentation [40].

3.2 Şerit Takip Desteği Sistemi için Öge Tanımı

Şerit Takip Desteği Sistemi (LKAS), sürücülerin aracı şerit içerisinde tutması için destek sağlamaktadır. Otomatik sürüş gerçekleştirmemektedir veya olası şerit ayrılmalarını engellemektedir. Aracın emniyetli bir şekilde kullanılmasının sorumluluğu her zaman sürücüye aittir. Bu standart ile birlikte LKAS'in otobanlarda ve otobana eşdeğer yollarda kullanılması amaçlanmıştır. LKAS, görünür şerit işaretleriyle ilgili olarak sürücünün destek olarak beklentisine uygun bir şekilde tepki vermelidir. Geçici veya düzensiz şerit işaretleri olan yollar, LKAS'in Uluslararası Standardı'nın kapsamında değildir. Bu standart, binek otomobiller, ticari araçlar ve otobüsler için geçerlidir.

ISO 26262 standardına göre ilk olarak öge tanımı yapılmalıdır. Öge tanımını yapmak için, sistemin sınırlarını içeren giriş ve çıkış bilgileri gösterilmelidir.

3.2.1 Fonksiyonellik

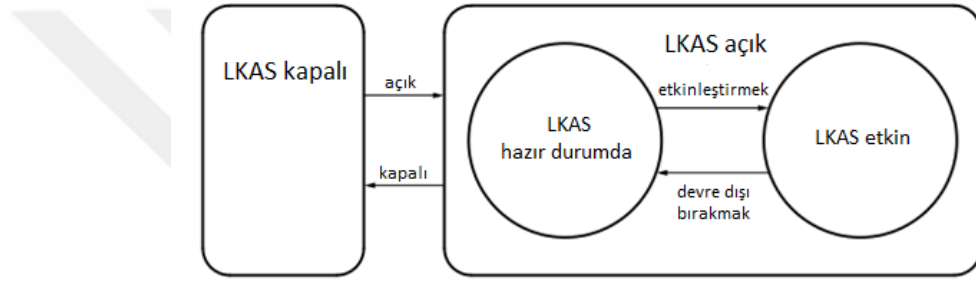
Şerit Takip Desteği Sistemi (LKAS), asgari olarak aşağıdaki işlemleri ve durum geçişlerini sağlamalıdır:

- LKAS kapalı konumundan LKAS açık konumuna geçiş, sürücü tarafından veya örneğin kontak açıldıktan ve herhangi bir sistem arızası oluşmadıktan sonra otomatik olarak gerçekleştirilebilmektedir.
- LKAS, minimum hız $V_{minimum} = 20 \text{ m/s}$ (72 km/h) ve maksimum hız $V_{maksimum} = 30 \text{ m/s}$ (108 km/h) arasındaki hızlar için ya da maksimum

araç hızı hangisi için daha az ise o durumda çalışacaktır. Sistemin yapısına göre, daha geniş bir hız aralığında çalışması mümkündür.

- “LKAS hazır bekleme” modu durumunda, sistem aktivasyon ölçütlerini değerlendirecektir. LKAS bu modda iken aracı şerit tutmak için bir aksiyon almayacaktır.
- “LKAS aktif” durumda, sistem aktivasyon ölçütlerini değerlendirecektir. Seçilen aktivasyon ölçütlerinden herhangi biri sağlanmaz ise, sistem “LKAS aktif” durumdan “LKAS hazır bekleme” durumuna geçecektir.

Şekil 3.1’de LKAS durum ve geçişleri gösterilmiştir.



Şekil 3.1 : LKAS durumları ve geçişleri.

3.2.2 Süreç unsurları ve sistem reaksiyonları

- Belirli sürücü aksiyonları, durdurma (subpresyon) talebi olarak nitelendirilebilir.
- Sürücü “LKAS kapalı” durumdan “LKAS açık” duruma geçiş yapma yetkisine sahip olmalıdır.
- Sürücüler, LKAS özelliğinin etkinleştirilmesi ve devre dışı bırakılmasına neden olan koşullar hakkında araç kullanım kılavuzu tarafından bilgilendirilmelidir.

3.2.3 Sürücüyü bilgilendirme

Araç, sürücünün aracı şerit içinde tutmasına yardımcı olan sistemlerle donatılmıştır. Ayrıca, açılır bir menü ile birlikte LKAS özelliğinin aktif durumda olup olmadığı bilgisi görüntülenecektir.

Eğer LKAS özelliği bir arıza yüzünden hazır durumda değil ise, sürücü bu konuda bilgilendirilmelidir.

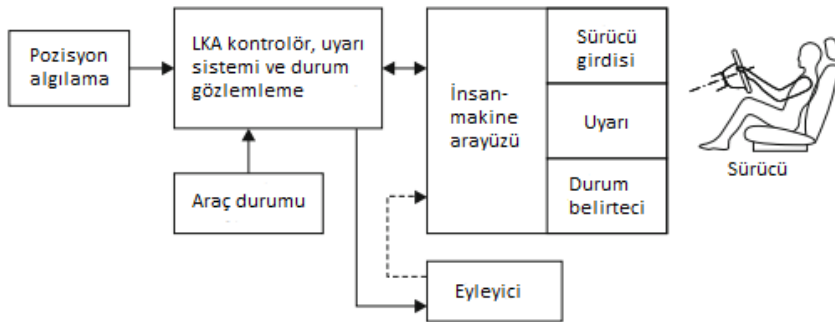
3.2.4 Arıza reaksiyonları

LKAS özelliği bileşenlerindeki arızalar sürücüye anında sürücüye bildirilmelidir. Bunun sonucunda LKAS özelliği kapalı konuma geçiş yapacaktır. Uyarı, sistem kapatılana kadar etkin kalmalıdır. Çizelge 3.1’de arıza reaksiyonlarından bahsedilmiştir.

Çizelge 3.1 : LKAS şeritte tuma eylemi sırasında arıza reaksiyonları.

Altsistemler		
1	Eyleyici	Eyleyici şeritte tutma görevini tamamlayabiliyor ise veya sürücü rahatsız etmeyecek bir biçimde söndürülebilir ise, LKAS kontrolü tamamen durdurulmadan önce bu duruma izin verilmelidir.
2	Şerit tanıma sistemi	Şeritte tutma aksiyonları sürücüyü rahatsız edecek direksiyon hareketleri şeklinde olmamalıdır.
3	LKAS kontrolör	LKAS kontrolör, sistemi durdurulmalıdır.

Eyleyici, sürücüye destek sağlamak için kontrolör çıkışını düzeltici bir yönlendirmeye dönüştürür. Sistemin çalışması hakkında dokunsal bir geri bildirim sağlayan yardımcı direksiyon torqu sürücü tarafından hissedilebilmektedir. Denge ve rahatlık taleplerini karşılayabilmek için LKAS kontrolör, aracın direksiyonunun ve eyleyicisinin dinamiklerine göre ayarlanmalıdır. Daha öncesinde mevcut olan tüm LKA sistemleri, şeritleri tanımlamak için görüntü işleme özelliğine sahip bir kamera kullanmaktadır. Bu gereksinimlerin karşılanması için şeridin her iki tarafında da yol şeritleri görünür olmalıdır [31]. Şekil 3.2’de LKAS özelliğine dair unsurlar mevcuttur.



Şekil 3.2 : LKAS fonksiyonel unsurlar [30].

3.2.5 LKAS fonksiyonları

LKAS ana fonksiyonları aşağıdaki gibidir:

- LKAS-F1: LKAS’i etkinleştir
- LKAS-F2: LKAS’i devre dışı bırak
- LKAS-F3: Şeritte kalmak için direksiyonu kontrol et
- LKAS-F4: Sürücüye durum bilgisi sağla
- LKAS-F5: Şerit çizgisi ve şeritten sapma algılama

3.2.6 Ögenin davranışının çevresine etkisi

LKAS, sistemin işlevinin bozulduğu durumda, sürücü veya öndeki ve yanlardaki araçlardan gelen girdilere dayalı olarak doğru açıyı hesaplamak için direksiyon fonksiyonu ile yönetildiğinden, çevre için risk oluşturabilmektedir.

3.2.7 Ögenin diğer öge veya unsurlarla etkileşimi

LKAS, fonksiyonu değerlendirmek için düğmeler ile ilgili araç ve HMI bilgisine dayalı olarak diğer ögelerden çeşitli girdilere sahiptir. LKAS, doğru direksiyon hareketini sağlamak için diğer ögelere çıkış sağlamaktadır.

3.2.8 Çevre koşulları

- Yatay görüş mesafesi kullanım ve sürüş için uygun olmalıdır.
- Şerit işaretleri, ulusal olarak tanımlanan görünür şerit işaretlerine uygun durumda olmalıdır [31].

3.3 Şerit Takip Desteği Sistemi için Tehlike Analizi ve Risk Değerlendirmesi

HARA aşamasında öge tanımında belirlenen bilgiler göz önünde bulundurularak araç fonksiyonlarının işlevsel bozukluklarının tehlikeli durumları değerlendirilmektedir.

3.3.1 Fonksiyonel tehlike analizi

Fonksiyonel Tehlike Analizi (FHA), her bir fonksiyona tüm anahtar kelimelerin uygulanarak ve (sürücü tarafından algılanan) tehlikelerin araç seviyesinde değerlendirilerek yapılan bir analiz yürütme olarak açıklanabilmektedir.

Anahtar kelimeler:

- Aktive değil: Fonksiyon çalışmıyor veya aktif edilemiyor.
- Kasıtsız aktivasyon: Fonksiyon, bir talep olmamasına rağmen aktif oldu.
- Fonksiyonun çalışması durdu: Fonksiyon, talep edilmemesine rağmen çalışmasını durdurdu.
- Fonksiyon takılı kaldı: Fonksiyon yanlışlıkla o anki operasyon modunda kaldı.
- Beklenen süreden erken aktivasyon: Fonksiyon beklenenden erken aktif duruma geçti.
- Beklenen süreden geç aktivasyon: Fonksiyon beklenenden geç aktif duruma geçti.
- Talep edilenden fazla: Fonksiyonun değeri talep edilenden fazla.
- Talep edilenden az: Fonksiyonun değeri talep edilenden az.
- Ters aktivasyon: Fonksiyon talep edilenin tersi bir işlemde bulundu. (örneğin frenleme yerine ivmelenme durumu)
- Kesikli aktivasyon: Fonksiyon kesikli yada dengesiz şekilde çalışıyor.

Bu anahtar kelimelerin hepsi analiz sırasında karşılık bulmak zorunda değildir. Ele alınan fonksiyon için uygun olabilecek durumlar değerlendirilmelidir. Çizelge 3.2’de bu anahtar kelimeler kullanıp araç seviyesinde oluşabilecek tehlikeler belirlenmiştir.

Çizelge 3.2 : FHA tablosu.

Fonksiyon tanımı	Fonksiyon No	Aktive değil	Kasıtsız aktivasyon	Fonksiyonun çalışması durdu	Fonksiyon takılı kaldı	Beklenen süreden erken aktivasyon	Beklenen süreden geç aktivasyon
LKAS'ı etkinleştir	F1.1	Tehlike yok	Aracın kasıtsız yanal hareketi	Aracın yanal hareket kaybı	Aracın kasıtsız yanal hareketi	Tehlike yok	Tehlike yok
LKAS'ı devre dışı bırak	F1.2	Aracın kasıtsız yanal hareketi	Aracın yanal hareket kaybı	Aracın kasıtsız yanal hareketi	Tehlike yok	Aracın yanal hareket kaybı	Aracın kasıtsız yanal hareketi
Şeritte kalmak için direksiyonu kontrol et	F1.3	Yanal araç hareket kaybı	Aracın kasıtsız yanal hareketi	Aracın yanal hareket kaybı	Aracın kasıtsız yanal hareketi	Aracın kasıtsız yanal hareketi	Aracın kasıtsız yanal hareketi
Sürücüye durum bilgisi sağla	F1.4	Tehlike yok	Tehlike yok	Tehlike yok	Tehlike yok	Tehlike yok	Tehlike yok
Şerit çizgisi ve şeritten sapma algılama	F1.5	Aracın kasıtsız yanal hareketi	Tehlike yok	Aracın yanal hareket kaybı	Aracın kasıtsız yanal hareketi	Tehlike yok	Aracın yanal hareket kaybı

Çizelge 3.2 (devam) : FHA tablosu.

Fonksiyon tanımı	Fonksiyon No	Talep edilenden fazla	Talep edilenden az	Ters aktivasyon	Kesikli aktivasyon
LKAS'i etkinleştir	F1.1	Uygulanabilir değil	Uygulanabilir değil	Uygulanabilir değil	Direksiyon nedeniyle aracın dengesizleşmesi
LKAS'i devre dışı bırak	F1.2	Uygulanabilir değil	Uygulanabilir değil	Aracın kasıtsız yanal hareketi	Aracın kasıtsız yanal hareketi
Şeritte kalmak için direksiyonu kontrol et	F1.3	Aracın kasıtsız yanal hareketi	Aracın kasıtsız yanal hareketi	Aracın kasıtsız yanal hareketi	Aracın kasıtsız yanal hareketi / Aracın yanal hareket kaybı / Direksiyon nedeniyle aracın dengesizleşmesi
Sürücüye durum bilgisi sağla	F1.4	Uygulanabilir değil	Uygulanabilir değil	Tehlike yok	Tehlike yok
Şerit çizgisi ve şeritten sapma algılama	F1.5	Uygulanabilir değil	Uygulanabilir değil	Uygulanabilir değil	Tehlike yok

F1.1 için: Eğer ardışık dizilimli bir hata yok ise, herhangi bir tehlike oluşmayacaktır.

F1.2 için: Kasıtsız LKAS fonksiyonu için, geçersiz kılma fonksiyonu analiz edilmiştir.

3.3.2 Tehlike-senaryo eşleştirme

ISO 26262-3:2018, VDA 702: Situationskatalog E-Parameter nach ISO 26262-3 [41] ve SAE J2980 [42] dokümanındaki örnek operasyonel durumlara göre arızalara, LKAS fonksiyonuna uygun olabilecek senaryolar atanmıştır ve araç seviyesinde oluşabilecek tehlikeler değerlendirilmiştir. Çizelge 3.3’de tehlike ve ele alınacak senaryolar eşleştirilmiştir. Çizelge 3.4, Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6’da tehlikeler için incelenecek senaryolar listelenmiştir.

Çizelge 3.3 : Tehlike-senaryo eşleştirme.

Fonksiyon	Tehlike /senaryo eşleştirme	No	Düşük hız	Orta /Yüksek hız	Sabit hızda	Frenleme
LKAS	Aracın yanal hareket kaybı	H1.1	N	N	Y	N
	Aracın kasıtsız yanal hareketi	H1.2	Y	Y	Y	Y
	Direksiyon nedeniyle aracın dengesizleşmesi	H1.3	N	N	Y	Y

Çizelge 3.4 : Aracın yanal hareket kaybı tehlike senaryoları.

H1.1 - Aracın yanal hareket kaybı
Sabit hızda sürüş – iki yönlü, otoyandan farklı yol (60 km/h-100 km/h)
Sabit hızda sürüş - otoyol (100 + km/h)
Sabit hızda sürüş - otoyol (100 + km/h), Eğri (yanal hızlanma), yüksek sürtünme
Sabit hızda sürüş - otoyol (100 + km/h), Eğri (yanal hızlanma), orta sürtünme (ıslak koşullar, kötü yol kalitesi)
Sabit hızda sürüş – Tünel

Çizelge 3.5 : Aracın kasıtsız yanal hareketi tehlike senaryoları.

H1.2 - Aracın kasıtsız yanal hareketi
Düşük Hızda Manevra - Yoğun trafikte veya düşük hızda durkalk sürüşü ($0 < v < \sim 12$ km/h)
Orta/Yüksek Hızlı Manevra - Dönüş (şehir, iki yönlü, otobandan farklı yol)
Orta/Yüksek Hızlı Manevra - Şerit Değişirme
Orta/Yüksek Hızlı Manevra - Sollama (hızlanma aşamasını içerir)
Orta/Yüksek Hızlı Manevra - Bisikletten/yayadan/hayvandan kaçma (şehir içi, iki yönlü, otobandan farklı yol)
Sabit hızda sürüş - otoban (100 + km/h)
Sabit hızda sürüş - otoban (100 + km/h), Eğri (yanal hızlanma), yüksek sürtünme
Sabit hızda sürüş - otoban (100 + km/h), Eğri (yanal hızlanma), orta sürtünme (ıslak koşullar, kötü yol kalitesi)
Sabit hızda sürüş - Yapısal ayrımlı şantiye alanında (otoban) sürüş
Sabit hızda sürüş - Tünel
Frenleme ve Acil Frenleme - Ani Engel (Trafik Sıkışıklığı, yaya/bisikletlerin yola girmesi)

Çizelge 3.6 : Direksiyon nedeniyle aracın dengesizleşmesi tehlike senaryoları.

H1.3 – Direksiyon nedeniyle aracın dengesizleşmesi
Sabit hızda sürüş - otoban (100 + km/h), Eğri (yanal hızlanma), yüksek sürtünme
Sabit hızda sürüş - otoban (100 + km/h), Eğri (yanal hızlanma), orta sürtünme (ıslak koşullar, kötü yol kalitesi)
Sabit hızda sürüş - Yapısal ayrımlı şantiye alanında (otoban) sürüş
Frenleme ve Acil Frenleme - Ani Engel (Trafik Sıkışıklığı, yaya/bisikletlerin yola girmesi)

HARA aktivitelerinde, fonksiyonlar, fonksiyonların işlevsel bozuklukları ve tehlikelerden bahsedildikten sonra S, C ve E değerleri ile ASIL belirlemesi yapılmaktadır. Ele alınan tehlikeye göre bu değerler değişkenlik gösterebilmektedir. Bu analizde yapılan değerlendirmede kontrol edilebilirlik değerleri uygun varsayımlar ve mantık çerçevesinde, senaryo özelinde değerlendirilmiştir. EK A kısmında, ele alınan tehlikeler ve etkileri açıklanacaktır.

3.4 Şerit Takip Desteği Sistemi için Fonksiyonel Emniyet Konsepti

HARA aşamasında belirlenen emniyet hedefleri, bu aşamada kullanılacaktır. Ayrıca bu emniyet hedeflerinin ihlalini önleyebilmek için fonksiyonel emniyet gereksinimleri yazılacaktır. Çizelge 3.7, fonksiyonel emniyet konsepti için gerekli bilgileri göstermektedir.

Çizelge 3.7 : Emniyet hedefleri.

Emniyet hedefi No	Tehlike	Emniyet hedefi	Emniyetli durum	Atanan ASIL
SG1	Aracın yanal hareket kaybı	Aracı şeridinde tutmak için aracın yanal hareket kaybının engellenmesi	Sürücüyü uyar & Fonksiyonu devre dışı bırak	A
SG2	Aracın kasıtsız yanal hareketi	Aracı şeridinde tutmak için aracın kasıtsız yanal hareketinin engellenmesi	Sürücüyü uyar & Fonksiyonu devre dışı bırak	D
SG3	Direksiyon nedeniyle aracın dengesizleşmesi	Direksiyon nedeniyle aracın dengesizleşmesinin önlenmesi	Sürücüyü uyar & Fonksiyonu devre dışı bırak	D

3.4.1 Fonksiyonel emniyet gereksinimleri

Fonksiyonel emniyet gereksinimleri, sistem mimarı tasarımını dikkate alarak emniyet hedeflerinden türetilmektedir. Ele alınan LKAS özelliğine dair bazı FSRLar Çizelge 3.8’de örnek olarak verilmiştir. FSRLarın uygulanmasında FTTI’ın dikkate alınması gerekir fakat bunlar doğrudan FTTI tarafından yönlendirilmemektedir. Bu tez çalışmasında LKAS üzerine bir analiz yapılmıştır. Bu değerlerin hesaplanması ve kalibre edildikten sonra netleştirilmesi en doğru olan yaklaşımdır. ISO 26262’de açıklanan FTTI tanımından EK B kısmında bahsedilecektir.

FSRLar, sistem mimari tasarımının öğelerine göre tahsis edilmelidir. Eğer FSRLarın tahsisi sırasında ASIL bölüştürmesi uygulanır ise, bu işlem ISO 26262-9: 2018, madde 5’e göre uygulanmalıdır. Çizelge 3.8’de, bu özellik için türetilen fonksiyonel emniyet gereksinimleri listelenmiştir.

Çizelge 3.8 : LKAS için örnek fonksiyonel emniyet gereksinimleri.

FSR No	Ele alınan durum	FSR tanım	ASIL	Emniyet hedefi
FSR1	LKAS- aracın yanal hareket kaybı	LKAS, yetersiz direksiyon/kontrol kaybı nedeni ile aracın şeridinden ayrılmasını önlemek için aracın yanal kontrolünü sağlamalıdır.	A	SG1
FSR2	LKAS- aracın yanal hareket kaybı	Elektronik Direksiyon Sistemi (EPS), aracı şeritte tutmak için direksiyon açısı, açı oranı ve tork ayarlamaları yapmalıdır.	A	SG1
FSR3	LKAS - aracın kasıtsız yanal hareketi	LKAS özelliği, sürücünün şeritten ayrılmadan önce tepki vermesi ve yeterli zamana sahip olması için direksiyon açısı miktarını kısıtlamalıdır.	D	SG2
FSR4	LKAS – direksiyon nedeni ile aracın dengesizleşmesi	LKAS özelliği aracın direksiyon açısını ve direksiyon açısı oranını sınırlamalıdır. Aracın kasıtsız yanal hareketi durumunda araç dengesizliği olmaz.	D	SG3
FSR5	LKAS - genel	LKAS üzerinde önemli olumsuz etkiye sahip olabilecek tüm elektronik arızalar tespit edilmelidir. Herhangi bir emniyet hedefini ihlal etmeden tespit edilen hatalar duyurulmalıdır ve azaltılmalıdır [7].	D	SG1, SG2, SG3
FSR6	LKAS - genel	LKAS kontrol ünitesinde elektronik hatalar tespit edilmelidir [7].	D	SG1, SG2, SG3
FSR7	LKAS – genel	Her emniyet hedefi için ISO 26262'ye göre donanım mimarisi tek nokta hatası ve gizli hata ölçümleri emniyet hedeflerinin karşılandığını gösterilmelidir [7].	D	SG1, SG2, SG3
FSR8	LKAS – sürücüye bildirim verme	Hata durumunda, HMI'a sürücünün kontrolü ele alması için bir devralma bildirimi sağlanmalıdır.	D	SG1, SG2, SG3
FSR9	LKAS – uyarı için yazılım yapısı doğrulama	Sürücüye uyarı verilmeden önce yazılımın yapısı doğrulanmalıdır.	D	SG1, SG2, SG3
FSR10	LKAS- E2E iletişim	LKAS ve diğer araç sistemlerine/sistemlerinden gelen iletişimler, seçilen LKAS mimarisine dayalı olarak herhangi bir hatalı çalışma veya hataya karşı emniyet gereksinimleri desteklemelidir [7].	D	SG1, SG2, SG3

Bu çizelgedeki gereksinimler, tam listeyi kapsamamaktadır. Gereksinimlerin nasıl olması gerektiğine dair örnek olarak verilmiş bir listedir.

Sistem tasarımı, tüm emniyet risklerini azaltmayı ve geçerli FTTI içerisinde emniyetli bir duruma geçirmeyi sağlamayı amaçlamaktadır. Uyarılar ve kısıtlama konseptleri, FTTI içinde kısıtlanamayan herhangi bir hatanın meydana gelmesi sonucu uygulanabilmektedir.

3.4.2 Teyit ölçütleri

Fonksiyonel emniyet konseptini teyit etmek için kapalı bir yolda araçta arızalar üretilerek ve/veya benzetimi yapılabilir. Arızalar, araç ve sürücü, son kullanıcının yapacağı işlemi doğru bir şekilde işaret etmelidir. Emniyet hedefleri için teyit ölçütleri, aşağıda sıralanan maddeler değerlendirilerek belirlenebilmektedir:

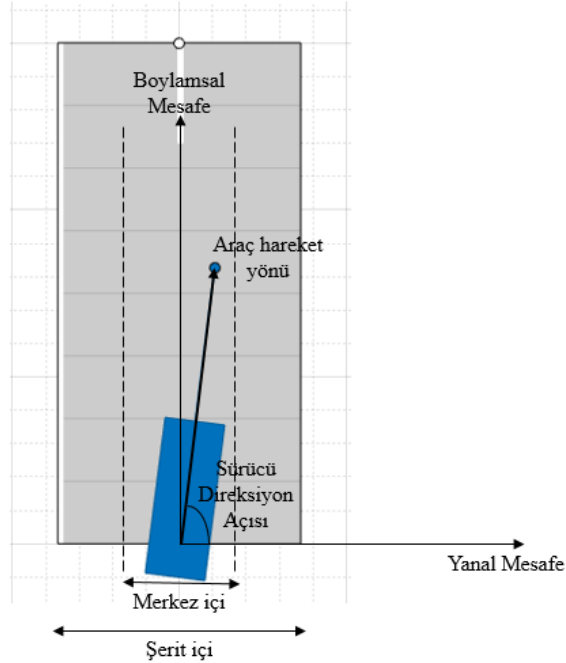
- Kontrol edilebilirlik (Kontrol edilebilirlik, amaçlanan kullanım ve öngörülebilir yanlış kullanım dâhil olmak üzere çalışma senaryoları kullanılarak teyit edilebilmesi mümkündür.)
- Rastgele ve sistematik arızaları kontrol etmek için emniyet önlemlerinin yeterliliği,
- Harici önlemlerin yeterliliği ve
- Diğer teknoloji unsurlarının yeterliliği.



4. BENZETİM MODELİ VE BENZETİM SONUÇLARI

Bu bölümde MATLAB/Simulink ortamında oluşturulan ve fonksiyonel emniyet analizi yapılan LKAS modelinden bahsedilmektedir ve bu modelin çalışma prensibi anlatılmaktadır.

ISO 11270:2014 standardına göre LKAS aracı şeritte tutma noktasında sürücüye destek sağlamaktadır ve otomatik sürüş gerçekleştirmemektedir. Emniyetli operasyondan sorumlu her zaman sürücüdür. Ele alınan bu örnekte araç düz yolda ilerlemektedir. Şeritten ayrılma algılandığında LKAS kontrolör devreye girer ve aracın tekrar şeridine yerleşmesi için sürücüye ek olarak direksiyon açısı uygulamaktadır. Ana araç şeridine döndükten sonra kontrol tekrar sürücüye geçer. LKAS kontrolünün nasıl yapıldığını göstermek için bu örnek incelenmiştir [43]. Şekil 4.1’de referans senaryo bilgisi ve ilgili kavramlardan bahsedilmiştir.

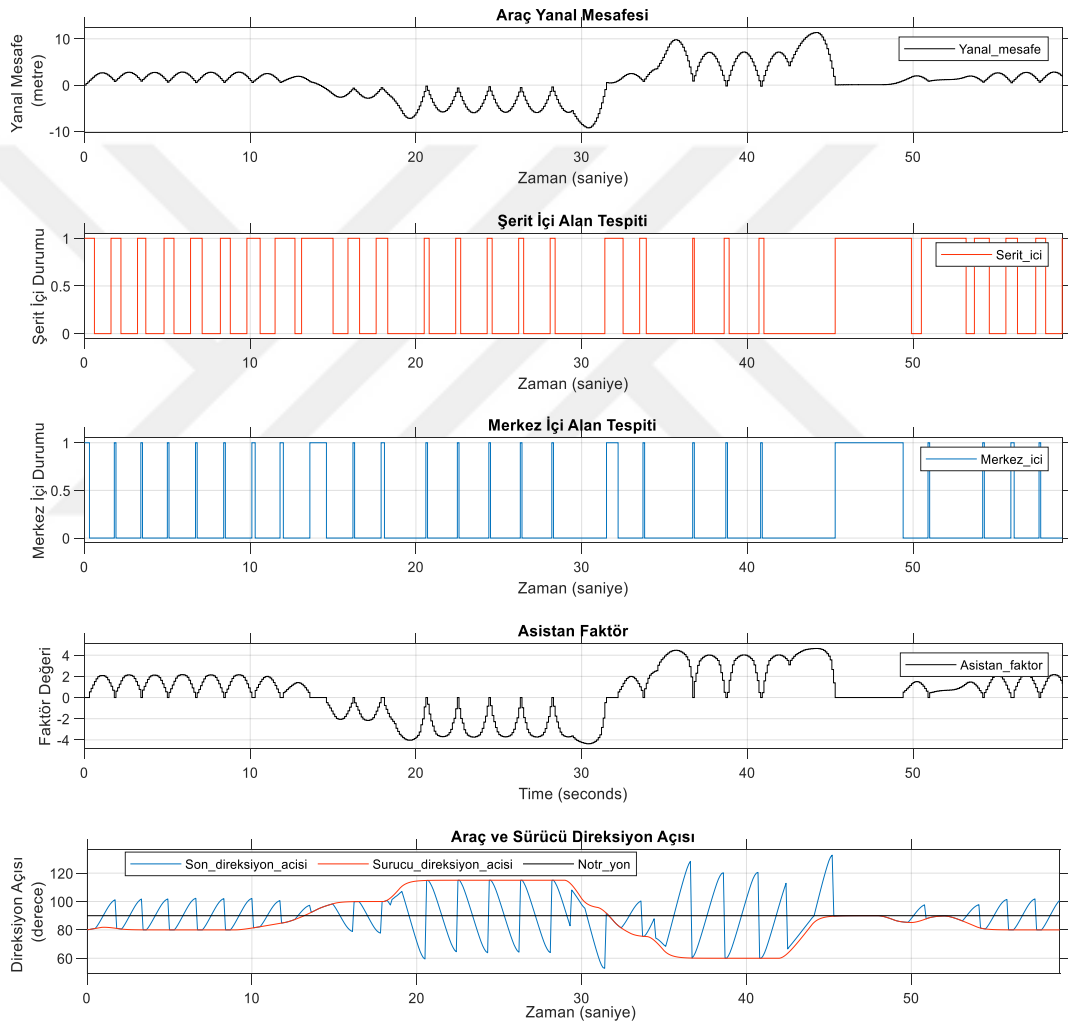


Şekil 4.1 : Modeldeki temel kavramlar ve referans senaryo.

Bu modelin sahip olduğu alt fonksiyonlarda arıza olduğu durumda sistemde nasıl bir etkisi olacağı konusu 3. bölümde anlatılmıştır. Şekil 4.2’de benzetim modeli açıklanmıştır.

Ana araç terimi, çevresindeki durumları algılayan sensörleri içeren araç anlamına gelmektedir [44]. Modelde “yanal mesafe-yanal hız”, “şerit içi-merkez içi tespiti”, “asistan faktör hesaplaması”, “sürücü direksiyon açısı”, “sürücü direksiyon değişimi” ve “son direksiyon açısı” olmak üzere altı adet alt sistem mevcuttur. Bu örnekte de aracın boylamsal hızı $V_x = 20 \text{ m/s}$ (72 km/h), sistemin örnekleme zamanı ($T_s = 0.1 \text{ s}$) olarak alınmıştır. Şekil 4.3’te modelin benzetim sonuçları gösterilmiştir.

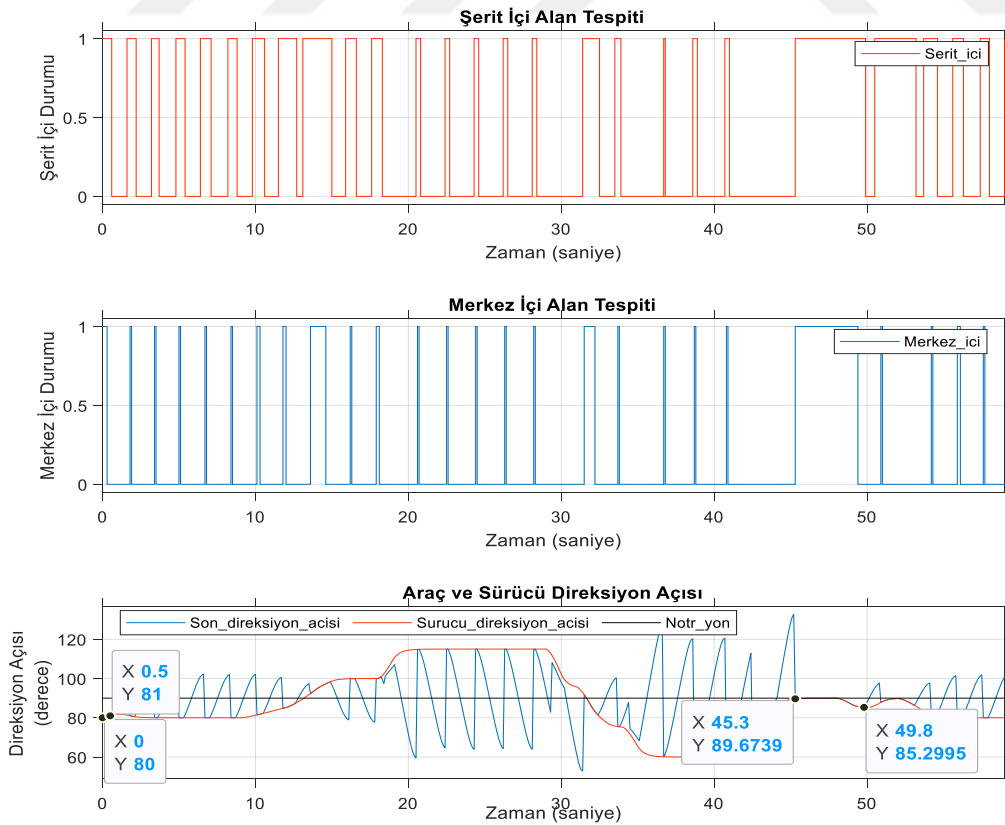
4.2 Benzetim Sonuçları



Şekil 4.3 : Yanal mesafe, şerit içi ve merkez içi tespiti, asistan faktör, araç ve sürücü direksiyon açısı.

Son direksiyon açısı alt sistemi, sürücünün ve asistanın direksiyon açılarını gözlemlemektedir. Şeritten ayrılma durumu algılanmıyorken, aracın sürüşü sürücü tarafından gerçekleştirilmektedir. Şeritten sapma bilgisi algılandığı anda devreye asistanın direksiyon desteği de girmektedir. Asistanın ürettiği sinyal her örnekleme

zamanında artırılarak araç merkeze sokulmaya çalışılmaktadır. Asistan, ECU'nün her örnekleme zamanında sürücülerden ve yoldan geri bildirim olarak bir açı hesabı yapmaktadır ve sürücüye destek olmaktadır. ISO 11270 standardında belirtildiği üzere ana sorumlu sürücüdür. Bu modelde, direksiyon açısı derece üzerinden bir mantık ile değerlendirilmiştir ve aracın nötr pozisyonu 90 derece kabul edilmiştir. Açının 90 dereceden azalması aracın sağa doğru bir direksiyon hareketi, 90 dereceden artması ise aracın sola doğru bir direksiyon hareketi yaptığı anlamına gelmektedir. Şekil 4.3'te birinci grafik aracın yanal ekseninde ne kadar sapma yaşadığını göstermektedir. Aynı şekilde ikinci ve dördüncü grafiklere bakıldığında, araç 80 derecelik bir açı ile hareket edip şeritten uzaklaşmaya başlamıştır. Araç şeritten çıkmaya başladığında asistan faktör devreye girmektedir ve araç merkez belirlenen alana girene kadar çalışmasına devam etmektedir. Asistan faktör, araç yoldan ne kadar fazla sapsa o kadar hızlı müdahale etmektedir. Araç merkeze girip hareketine devam ederken aracın direksiyon açısı sadece sürücü ile sağlanmaktadır. Şekil 4.4'te mavi sinyalde oluşan ani tepeler merkeze girildiği anda araç kontrolünün tekrar sürücüye bırakılma mantığını göstermektedir. Şekil 4.4'ten birkaç örnek vermek gerekirse 0-0.5 ile 45.3-49.8 saniye aralıklarında araç sadece sürücü tarafından yönlendirilmektedir.



Şekil 4.4 : Araç, sürücü direksiyon açısı ve şerit içi-merkez içi durumları.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, temel olarak iki amaç gerçekleştirilmiştir. Bunlardan ilki, İleri Sürücü Destek Sistemlerinden biri olan Şerit Takip Desteği Sistemi özelliği için ISO 26262 fonksiyonel emniyet analizi yapılmıştır. Otomotiv sektöründe fonksiyonel emniyet konusu son yıllarda çok önem kazanmıştır. ISO 26262:2018 standardı, bu konudaki güncel dokümandır ve endüstride bu dokümana göre çalışmalar yapılmaktadır. Şerit Takip Desteği Sistemi, aracı şeridinde tutmaya yardımcı olan bir sistemdir. Sürüşten asıl sorumlu sürücüdür. Bu özellik, sensörlerden gelen şerit bilgisini kullanıp, aracın şeritten çıktığı durumda sürücüye direksiyon desteği veren bir destek sistemidir. Birden farklı otonom araç seviyeleri bulunmaktadır. Bunlar seviye 0'dan seviye 5'e doğrudur ve her bir seviyeye göre sürücünün ve aracın görevleri değişkenlik göstermektedir. Aracın konumu, şerit çizgilerinin algılanması gibi farklı bilgiler sensörler ile toplanmaktadır.

ISO 26262 standardının 3. kısmı olan konsept fazı çalışmaları bu tezde uygulanmıştır. Bunlar, öge tanımı, tehlike analizi ve risk değerlendirmesi ve fonksiyonel emniyet konsepti olarak sıralanmaktadır. Öge tanımı ve HARA yapıldıktan sonra araç seviyesindeki analizler sonucu ASIL ataması yapılmıştır ve risklerin seviyesi incelenip oluşabilecek tehlikelerin önlenmesine dair emniyet hedefleri yazılmıştır. Daha sonrasında fonksiyonel emniyet gereksinimleri belirtilmiştir. Tezin ilgili kısımlarında da bahsedildiği gibi otonom seviyesine göre kontrol edilebilirlik ve karmaşıklık artmaktadır ve buna uygun analizler gerçekleştirilmelidir. Bu işlemler ile Şerit Takip Desteği Sistemi gibi kompleks yapıdaki sistemlerin araçlarda fonksiyonel emniyet analizi açısından nasıl uygulandığı anlatılmak ve önemi vurgulanmak istenmiştir.

Şerit Takip Desteği Sistemi için fonksiyonel emniyet analizi yapıldıktan sonra MATLAB/Simulink ortamında ISO 11270:2014 standardındaki bilgilere dayandırılarak Seviye 1 yazılımı geliştirilmiştir. Geliştirilen Seviye 1 yazılım ile Şerit Takip Desteği Sisteminin kontrol mekanizması, şerit içi ve merkez içi olarak belirlenen bölgelerden sapma algılandığında sistemin sürücüye direksiyon desteği vermesi ile

aracın şeritte tutulmaya çalışılması, aracın düz yolda ilerken yanal sapma mesafesine göre karar mekanizmaları oluşturulmuştur.

Seviye 2 yazılımı, fonksiyon izleme seviyesi olarak adlandırılmaktadır. Seviye 1 yazılımın hatalı sürecini tespit etmektedir. Gelecek çalışmalarda bu fonksiyonun Seviye 2 yazılımı geliştirilip arıza oluştuğu durumlar incelenebilir. Bu sayede Seviye 2 yazılımın şerit Takip Desteği Sistemini koruması sağlanacaktır. Geliştirilecek Seviye 2 yazılıma ek olarak, kullanılacak senaryo virajlı yol olarak ayarlanıp bu koşullara göre analiz ve kontrol mekanizmaları oluşturulacaktır. Ayrıca asistanın devreden çıkıp kontrolün sürücüye dönmesi, sürücüden tepki gelmesi sonrasında kontrolün tamamen sürücüye bırakılması gibi ara bir mekanizma modele eklenecektir. Bunların dışında, her bir emniyet hedefi için belirlenmesi gereken FTTI değeri bu tez çalışmasında hesaplanmamıştır. Gelecek çalışmalarda bu hesaplama işlemi de gerçekleştirilebilir. Fonksiyonel emniyet ve kontrol konularının bir arada bulunduğu bu çalışma sayesinde, otomotiv sektörüne bir Türkçe kaynak sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] **Bian, Y., Ding, J., Hu, M., Xu, Q., Wang, J., & Li, K.** (2020). An advanced Lane-keeping assistance system with switchable assistance modes. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems: A Publication of the IEEE Intelligent Transportation Systems Council*, 21(1), 385–396.
- [2] **Böhlander, M.** (2018). *Design and Safety Analysis of Emergency Brake System for Autonomous Formula Car : In Reference to Functional Safety ISO 26262*. KTH Royal Institute of Technology School of Engineering Sciences, (Yüksek Lisans Tezi). Retrieved from <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1285512&dsid=-7092>
- [3] **Gosavi, M. A.** (2018). *Functional Safety Model for E/E component of an autonomous vehicle*. *Unc Charlotte Electronic Theses And Dissertations*.
- [4] **Tunçer, Ö.** (2010). *Gerçek Zamanlı Şerit Takip Desteği Sisteminin Geliştirilmesi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, (Yüksek Lisans Tezi). Retrieved from <https://polen.itu.edu.tr:8443/server/api/core/bitstreams/b5ed1b11-8563-4d0e-b190-079a894cbb15/content>
- [5] **Url-1** <<https://www.euroncap.com/en/vehicle-safety/the-ratings-explained/safety-assist/lane-support>>, date retrieved 10.11.2022.
- [6] **Mancuso, A.** (2018). *Study and implementation of lane detection and lane keeping for autonomous driving vehicles*, Politecnico Di Torino, (Yüksek Lisans Tezi). Retrieved from <https://webthesis.biblio.polito.it/9514/>
- [7] **Becker, C., Yount, L., Rosen-Levy, S., & Brewer, J.** (2018). Functional safety assessment of an automated lane centering system. National Highway Traffic Safety Administration.
- [8] **Kone, K.** (2019). *Lateral and longitudinal control of an autonomous racing vehicle.*, Politecnico Di Torino, (Yüksek Lisans Tezi). Retrieved from <https://webthesis.biblio.polito.it/11982/>
- [9] **Wang, J., Zhang, L., Huang, Y., Zhao, J., & Bella, F.** (2020). Safety of Autonomous Vehicles. Hindawi Limited.
- [10] **Url-2** <https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.gov/files/documents/13069a-ads2.0_090617_v9a_tag.pdf>, date retrieved 10.09.2022.
- [11] **Torngren, M., Zhang, X., Mohan, N., Becker, M., Svensson, L., Tao, X., Chen, D.-J., & Westman, J.** (2018). Architecting safety supervisors for high levels of automated driving. *2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*.
- [12] **Lee, J., Choi, J., Yi, K., Shin, M., & Ko, B.** (2014). Lane-keeping assistance control algorithm using differential braking to prevent unintended lane departures. *Control Engineering Practice*, 23, 1–13.

- [13] **Url-3** <<https://www.sae.org/blog/sae-j3016-update>>, date retrieved 11.09.2022.
- [14] **Url-4** <<https://www.nhtsa.gov/technology-innovation/automated-vehicles-safety#topic-road-self-driving>>, date retrieved 12.09.2022.
- [15] **Yeong, D. J., Velasco-Hernandez, G., Barry, J., & Walsh, J.** (2021). Sensor and sensor fusion technology in autonomous vehicles: A Review. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 21(6), 2140.
- [16] **Akar, F., & Orman, K.**, (2020). Otonom Kara Araçlarındaki Görüş Sistemlerinin İncelenmesi. *Mühendislik Ve Mimarlık Bilimleri Teori, Güncel Araştırmalar ve Yeni Eğilimler* (s. 22-29), Cetinje: IVPE.
- [17] **Kocic, J., Jovicic, N., & Drndarevic, V.** (2018). Sensors and sensor fusion in autonomous vehicles. *2018 26th Telecommunications Forum (TELFOR)*.
- [18] **Url-5** <https://www.mathworks.com/content/dam/mathworks/tag-team/Objects/v/80866v00_Visual_Perception_Using_Monocular_Camera.pdf>, date retrieved 14.09.2022.
- [19] **Url-6** <<https://www.mathworks.com/help/driving/ug/visual-perception-using-monocular-camera.html>>, date retrieved 14.09.2022.
- [20] **Rosique, F., Navarro, P. J., Fernández, C., & Padilla, A.** (2019). A systematic review of perception system and simulators for autonomous vehicles research. *Sensors*, 19(3), 648.
- [21] **Url-7** <<https://www.mathworks.com/help/lidar/ug/lidar-processing-overview.html>>, date retrieved 15.09.2022.
- [22] **Narisawa, F., Asada, Y., Sobue, T., Yano, M., Sakanoue, O., Maeda, K., Saito, M.** (2022). Vehicle Electronic Control Units for Autonomous Driving in Safety and Comfort. Retrieved Ekim 6, 2022, from https://www.hitachi.com/rev/archive/2022/r2022_01/pdf/01c01.pdf
- [23] **Url-8** <<https://www.tuvsud.com/en-us/resource-centre/infographics/functional-safety-regulation-landscape>>, date retrieved 04.10.2022.
- [24] **Sari, B.** (2020). Fail-operational safety architecture for ADAS/AD systems and a model-driven approach for dependent failure analysis. In *Wissenschaftliche Reihe Fahrzeugtechnik Universität Stuttgart*. Springer Vieweg, Wiesbaden.
- [25] **International Organization for Standardization.** (2018). ISO 26262-3:2018. Road vehicles – Functional safety – Part 3: Concept Phase.
- [26] **Url-9** <https://aci.health.nsw.gov.au/networks/institute-of-trauma-and-injury-management/data/injury-scoring/abbreviated_injury_scale>, date retrieved 10.11.2022
- [27] **Url-10** <<https://www.exida-eu.com/company/leading-competences/functional-safety-and-sotif>>, date retrieved 02.10.2022
- [28] **International Organization for Standardization.** (2022). ISO 21448:2022. Road Vehicles – Safety of the intended functionality.

- [29] **Url-11** <https://cdn.vector.com/cms/content/events/2020/Webinars20/Vector_Webinar_Safety.pdf>, date retrieved 02.10.2022.
- [30] **Gayko, J. E.** (2012). Lane departure and Lane keeping. In *Handbook of Intelligent Vehicles* (ss. 689–708). Springer London.
- [31] **International Organization for Standardization.** (2014). ISO 11270:2014. Intelligent transport systems – Lane keeping assistance system (LKAS) – Performance requirements and test procedures
- [32] **The United Nations Economic Commission for Europe.** (2021). Addendum 156: UN Regulation No. 157 Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to Automated Lane Keeping Systems.
- [33] **International Organization for Standardization.** (2021). ISO 22735:2021. Road Vehicles – Test method to evaluate the performance of lane-keeping assistance systems.
- [34] **Euro NCAP** (2015). Test Protocol, *Lane Support Systems v1.0*.
- [35] **Commission Implementing Regulation (EU).** (2021). Regulation No. 2144 uniform procedures and technical specifications for the type-approval of motor vehicles with regard to their emergency lane-keeping systems (ELKS)
- [36] **International Organization for Standardization.** (2017). ISO 17361:2017. Intelligent transport systems – Lane departure warning system – Performance requirements and test procedures.
- [37] **International Organization for Standardization.** (2018). ISO 19638:2018. Intelligent transport systems – Road boundary departure prevention systems (RBDPS) – Performance requirements and test procedures.
- [38] **The United Nations Economic Commission for Europe.** (2014). UN Regulation No. 130 Uniform provisions concerning the approval of motor vehicles with regard to the Lane Departure Warning System (LDWS).
- [39] **ANCAP** (2022). Assessment Protocol, *Safety Assist. v9.1*.
- [40] **National Highway Traffic Safety Administration.** (2013). Lane Departure Warning System Confirmation Test and Lane Keeping Support Performance Documentation
- [41] **Verband Der Automobilindustrie e. V.** (2015). VDA 702 Situationskatalog E-parameter Nach ISO 26262-3: Technical Report.
- [42] **Functional Safety Committee.** (2017). Considerations for ISO 26262 ASIL Hazard Classification. *SAE International*.
- [43] **Url-12** <<https://www.mathworks.com/help/driving/ug/lane-keeping-assist-with-lane-detection.html>>, date retrieved 10.10.2022.
- [44] **Url-13** <<https://www.mathworks.com/help/driving/ug/coordinate-systems.html>>, date retrieved 10.10.2022.
- [45] **International Organization for Standardization.** (2018). ISO 26262-1:2018. Road vehicles – Functional safety – Part 1: Vocabulary.



EKLER

EK A: Şerit Takip Desteği Sistemi için Tehlike Analizi ve Risk Değerlendirmesi Tabloları

EK B: Hata Tolerans Zaman Aralığı (FTTI)



EK A

Şerit Takip Desteği Sistemi için yapılan HARA çalışması bu bölümde açıklanmıştır.

Çizelge A.1 : Aracın yanal hareket kaybı.

Tehlike	Aracın yanal hareket kaybı
Senaryo / Kullanılan senaryo tanımı	Sabit hızda sürüş - otopan (100 + km/h)
Tehlikeli olay ve sonuçları	Tehlikeli olay: Araç şeridinden ayrılmaya başladığında LKAS devreye girerek aracı şeridinde tutmaya çalışıyor. Eğer aracı şeridinde tutmak için direksiyon hareketinde kayıp var ise, araç şeritten ayrılabilir. Sonuçları: Bitişik şeritte geriden gelen araç ile arkadan çarpışma olabilir.
Maruz kalma sınıfı (E)	2, F (frequency-based / frekans tabanlı)
Gereççe	VDA 702 standardında tanımlanmıştır (kasıtsız olarak şeridin geçilmesi ile maruz kalma seviyesi düşürülebilir)
Ciddiyet sınıfı (S)	3
Gereççe	Geriden gelen araçlarla arkadan çarpışma nedeniyle ölümcül yaralanma
Kontrol edilebilirlik sınıfı (C)	1
Gereççe	Sürücü yolu gözlemler ve aracı kontrol eder. Sürücü, aracın şeritten çıktığını fark ettiğinde direksiyona müdahale eder. Hemen hemen tüm sürücüler veya diğer trafik katılımcıları, durumu direksiyon müdahalesi ve fren yaparak kontrol edebilir. (Kolay bir şekilde kontrol edilebilir.)
ASIL	QM
Emniyet hedefi	Aracı şeridinde tutmak için aracın yanal hareket kaybının engellenmesi

Çizelge A.2 : Aracın yanal hareket kaybı.

Tehlike	Aracın yanal hareket kaybı
Senaryo / Kullanılan senaryo tanımı	Sabit hızda sürüş - iki yönlü, otobandan farklı yol (60 km/h - 100 km/h)
Tehlikeli olay ve sonuçları	Tehlikeli olay: Araç iki yönlü, otobandan farklı yolda giderken şeridinden ayrılmaya başladığında LKAS devreye girerek aracı şeridinde tutmaya çalışıyor. Eğer aracı şeridinde tutmak için direksiyon hareketinde kayıp var ise, araç şeritten ayrılabilir. Sonuçları: Bitişik şeritte karşıdan gelen araç ile kafa kafaya çarpışma olabilir.
Maruz kalma sınıfı (E)	3, F
Gerekçe	VDA 702 standardında tanımlanmıştır (kasıtsız olarak şeridin geçilmesi ile maruz kalma seviyesi düşürülebilir).
Ciddiyet sınıfı (S)	3
Gerekçe	Karşıdan gelen araçlarla kafa kafaya çarpışma nedeniyle ölümcül yaralanma
Kontrol edilebilirlik sınıfı (C)	1
Gerekçe	Sürücü yolu gözlemler ve aracı kontrol eder. Sürücü, aracın şeritten çıktığını fark ettiğinde direksiyona müdahale eder. Hemen hemen tüm sürücüler veya diğer trafik katılımcıları, durumu direksiyon müdahalesi ve fren yaparak kontrol edebilir. (Kolay bir şekilde kontrol edilebilir.)
ASIL	ASIL A
Emniyet hedefi	Aracı şeridinde tutmak için aracın yanal hareket kaybının engellenmesi

Çizelge A.3 : Aracın yanal hareket kaybı.

Tehlike	Aracın yanal hareket kaybı
Senaryo / Kullanılan senaryo tanımı	Sabit hızda sürüş - otoban (100 + km/h), Eğri (yanal hızlanma), yüksek sürtünme
Tehlikeli olay ve sonuçları	Tehlikeli olay: Sürücü, yüksek sürtünmeli yol ile virajlı yolda sabit hızda aracı sürüyor. Araç şeridinden ayrılmaya başladığında LKAS devreye girerek aracı şeridinde tutmaya çalışır. Direksiyon hareketinde kayıp var ise, yol sürtünmesi ve aracın hızı yüksek olduğu için şeritten çıkma meydana gelebilir. Lastikler yol tutuşunu kaybettiğinde çekiş kaybı olabilir. Sonuçları: Bitişik şeritte geriden gelen araç ile arkadan çarpışma olabilir.
Maruz kalma sınıfı (E)	3, T (time-based/zaman tabanlı)
Gereççe	SAE J2980 standardında tanımlanmıştır (kasıtsız olarak şeridin geçilmesi ile maruz kalma seviyesi düşürülebilir).
Ciddiyet sınıfı (S)	3
Gereççe	Geriden gelen araçlarla arkadan çarpışma nedeniyle ölümcül yaralanma
Kontrol edilebilirlik sınıfı (C)	1
Gereççe	Sürücü yolu gözlemler ve aracı kontrol eder. Sürücü, aracın şeritten çıktığını fark ettiğinde direksiyona müdahale eder. Hemen hemen tüm sürücüler veya diğer trafik katılımcıları, durumu direksiyon müdahalesi ve fren yaparak kontrol edebilir. (Kolay bir şekilde kontrol edilebilir.)
ASIL	ASIL A
Emniyet hedefi	Aracı şeridinde tutmak için aracın yanal hareket kaybının engellenmesi

Çizelge A.4 : Aracın yanal hareket kaybı.

Tehlike	Aracın yanal hareket kaybı
Senaryo / Kullanılan senaryo tanımı	Sabit hızda sürüş - otoban (100 + km/h), Eğri (yanal hızlanma), orta sürtünme (ıslak koşullar, kötü yol kalitesi)
Tehlikeli olay ve sonuçları	Tehlikeli olay: Sürücü, orta sürtünmeli yol ile virajlı yolda sabit hızda aracı sürüyor. Araç şeridinden ayrılmaya başladığında LKAS devreye girerek aracı şeridinde tutmaya çalışır. Direksiyon hareketinde kayıp var ise, yol sürtünmesi orta seviyede ve aracın hızı yüksek olduğu için şeritten çıkma meydana gelebilir. Lastikler yol tutuşunu kaybedebilir ve çekiş kaybı olabilir. Sonuçları: Bitişik şeritte arkadan gelen araç ile arkadan çarpışma olabilir.
Maruz kalma sınıfı (E)	2, F
Gerekçe	SAE J2980 standardında tanımlanmıştır (kasıtsız olarak şeridin geçilmesi ile maruz kalma seviyesi düşürülebilir).
Ciddiyet sınıfı (S)	3
Gerekçe	Geriden gelen araçlarla arkadan çarpışma nedeniyle ölümcül yaralanma
Kontrol edilebilirlik sınıfı (C)	2
Gerekçe	Direksiyon hakimiyetinin kaybedilmesi, orta sürtünmeli yol nedeni ile lastikler yol tutuşunu kaybedip çekiş kaybına ve yüksek hız nedeni ile aracın kısa sürede yoldan çıkmasına yol açabilir. Sürücü ve diğer trafik katılımcıları, direksiyon müdahalesi ve fren yaparak durumu kontrol edebilir. (Normal bir şekilde kontrol edilebilir.)
ASIL	ASIL A
Emniyet hedefi	Aracı şeridinde tutmak için aracın yanal hareket kaybının engellenmesi

Çizelge A.5 : Aracın yanal hareket kaybı.

Tehlike	Aracın yanal hareket kaybı
Senaryo / Kullanılan senaryo tanımı	Sabit hızda sürüş - Tünel
Tehlikeli olay ve sonuçları	Tehlikeli olay: Sürücü aracı sabit hızda tünelde sürmektedir. Araç şeridinden ayrılmaya başladığında LKAS devreye girerek aracı şeridinde tutmaya çalışıyor. Eğer aracı şeridinde tutmak için direksiyon hareketinde kayıp var ise, araç şeritten ayrılabilir. Sonuçları: Yan şeritte geriden gelen araçlar ile arkadan çarpışma olabilir.
Maruz kalma sınıfı (E)	2, T
Gerekçe	Tünellerde işlem süresi %1'den azdır anca yine de istatistiksel olarak anlamlı olacak kadar yüksek kabul edilir. VDA 702 standardında tanımlanmıştır.
Ciddiyet sınıfı (S)	3
Gerekçe	Yan şeritte geriden gelen araçlarla yandan çarpışma nedeniyle ölümcül yaralanma
Kontrol edilebilirlik sınıfı (C)	1
Gerekçe	Sürücü yolu gözlemler ve aracı kontrol eder. Sürücü, aracın şeritten çıktığını fark ettiğinde direksiyona müdahale eder. Hemen hemen tüm sürücüler veya diğer trafik katılımcıları, durumu direksiyon müdahalesi ve fren yaparak kontrol edebilir. (Kolay bir şekilde kontrol edilebilir.)
ASIL	QM
Emniyet hedefi	Aracı şeridinde tutmak için aracın yanal hareket kaybının engellenmesi

Çizelge A.6 : Aracın kasıtsız yanal hareketi.

Tehlike	Aracın kasıtsız yanal hareketi
Senaryo / Kullanılan senaryo tanımı	Sabit hızda sürüş - otoban (100 + km/h)
Tehlikeli olay ve sonuçları	Tehlikeli olay: LKAS aktif ve sürücü otobanda sürüyor. İstenmeyen yönde direksiyon hareketi var ise, araç şeritten ayrılabilir. Sonuçları: Bitişik şeritte arkadan gelen araç ile arkadan çarpışma olabilir.
Maruz kalma sınıfı (E)	4, T
Gereççe	VDA 702 standardında tanımlanmıştır.
Ciddiyet sınıfı (S)	3
Gereççe	Geriden gelen araçlarla arkadan çarpışma nedeniyle ölümcül yaralanma
Kontrol edilebilirlik sınıfı (C)	3
Gereççe	Kasıtsız bir direksiyon hareketi, yüksek hızdayken yoldan çıkma durumuna neden olabilir. Bazı sürücüler veya diğer trafik katılımcıları, durumu direksiyon ve fren yaparak kontrol edebilir. (Kontrol zor veya kontrol edilemez.)
ASIL	ASIL D
Emniyet hedefi	Aracı şeridinde tutmak için aracın kasıtsız yanal hareketinin engellenmesi

Çizelge A.7 : Aracın kasıtsız yanal hareketi.

Tehlike	Aracın kasıtsız yanal hareketi
Senaryo / Kullanılan senaryo tanımı	Sabit hızda sürüş - Yapısal ayrımlı şantiye alanında (otoban) sürüş
Tehlikeli olay ve sonuçları	Tehlikeli olay: LKAS aktif ve sürücü aracı yapısal ayrımlı şantiye alanında (otoban) sürüyor. İstenmeyen yönde direksiyon hareketi var ise, araç şeritten ayrılabilir. Sonuçları: İnşaat personeli ile bir çarpışma olabilir.
Maruz kalma sınıfı (E)	3, T
Gerekçe	VDA 702 standardında tanımlanmıştır.
Ciddiyet sınıfı (S)	3
Gerekçe	İnşaat personeli ile çarpışma nedeniyle ölümcül yaralanmalar (Aracın yayayı ezme olasılığı nedeniyle, bir yaya ile herhangi bir çarpışmanın S3 olarak derecelendirildiği varsayılır.)
Kontrol edilebilirlik sınıfı (C)	3
Gerekçe	Kasıtsız bir direksiyon müdahalesi, yüksek hızdayken yoldan çıkma durumuna neden olabilir. Bazı sürücüler veya diğer trafik katılımcıları, durumu direksiyon ve fren yaparak kontrol edebilir. (Kontrol zor veya kontrol edilemez.)
ASIL	ASIL C
Emniyet hedefi	Aracı şeridinde tutmak için aracın kasıtsız yanal hareketinin engellenmesi

Çizelge A.8 : Aracın kasıtsız yanal hareketi.

Tehlike	İstenmeyen yanal yönde araç hareketi
Senaryo / Kullanılan senaryo tanımı	Sabit hızda sürüş - otoban (100 + km/h), Eğri (yanal hızlanma), yüksek sürtünme
Tehlikeli olay ve sonuçları	Tehlikeli olay: LKAS aktif durumdadır. Sürücü, yüksek sürtünmeli yolda sabit hızda aracı sürüyor. Kasıtsız bir direksiyon hareketi var ise, yol sürtünmesi ve aracın hızı yüksek olduğu için şeritten çıkma meydana gelebilir. Sonuçları: Bitişik şeritte arkadan gelen araç ile arkadan çarpışma olabilir veya araç yoldan çıkabilir.
Maruz kalma sınıfı (E)	4, T
Gerekçe	SAE J2980 standardında tanımlanmıştır.
Ciddiyet sınıfı (S)	3
Gerekçe	Geriden gelen araçlarla arkadan çarpışma nedeniyle ölümcül yaralanma
Kontrol edilebilirlik sınıfı (C)	3
Gerekçe	Kasıtsız bir direksiyon müdahalesi, yüksek hızdayken yolda çıkma durumuna neden olabilir. Bazı sürücüler veya diğer trafik katılımcıları, durumu direksiyon ve fren yaparak kontrol edebilir. (Kontrol zor veya kontrol edilemez.)
ASIL	ASIL D
Emniyet hedefi	Aracı şeridinde tutmak için aracın kasıtsız yanal hareketinin engellenmesi

Çizelge A.9 : Aracın kasıtsız yanal hareketi.

Tehlike	Aracın kasıtsız yanal hareketi
Senaryo / Kullanılan senaryo tanımı	Sabit hızda sürüş - otoban (100 + km/h), Eğri (yanal hızlanma), yüksek sürtünme
Tehlikeli olay ve sonuçları	Tehlikeli olay: LKAS aktif durumdadır. Sürücü, yüksek sürtünmeli yolda sabit hızda aracı sürüyor. Kasıtsız bir direksiyon hareketi var ise, yol sürtünmesi yüksek ve araç hızı yüksek olduğu için araç şeritten ayrılabilir. Sonuçları: Bitişik şeritte geriden gelen araç ile yandan çarpışma olabilir veya araç yoldan çıkabilir.
Maruz kalma sınıfı (E)	4, T
Gerekçe	SAE J2980 standardında tanımlanmıştır.
Ciddiyet sınıfı (S)	3
Gerekçe	Geriden gelen araçlarla yandan çarpışma nedeniyle ölümcül yaralanma
Kontrol edilebilirlik sınıfı (C)	3
Gerekçe	Kasıtsız bir direksiyon müdahalesi, yüksek hızdayken yoldan çıkma durumuna neden olabilir. Bazı sürücüler veya diğer trafik katılımcıları, durumu direksiyon ve fren yaparak kontrol edebilir. (Kontrol zor veya kontrol edilemez.)
ASIL	ASIL D
Emniyet hedefi	Aracı şeridinde tutmak için aracın kasıtsız yanal hareketinin engellenmesi

Çizelge A.10 : Aracın kasıtsız yanal hareketi.

Tehlike	Aracın kasıtsız yanal hareketi
Senaryo / Kullanılan senaryo tanımı	Sabit hızda sürüş - otoban (100 + km/h), Eğri (yanal hızlanma), orta sürtünme (ıslak koşullar, kötü yol kalitesi)
Tehlikeli olay ve sonuçları	Tehlikeli olay: LKAS aktif durumdadır. Sürücü, orta sürtünmeli, kaygan yolda sabit hızda aracı sürüyor. İstenmeyen yönde direksiyon hareketi var ise, yol kaygan ve araç hızı yüksek olduğu için lastikler yol tutuşunu kaybedebilir ve araç şeritten ayrılabilir. Sonuçları: Bitişik şeritte geriden gelen araç ile arkadan çarpışma olabilir veya araç yoldan çıkabilir.
Maruz kalma sınıfı (E)	3, T
Gerekçe	SAE J2980 standardında tanımlanmıştır.
Ciddiyet sınıfı (S)	3
Gerekçe	Geriden gelen araçlarla arkadan çarpışma nedeniyle ölümcül yaralanma
Kontrol edilebilirlik sınıfı (C)	3
Gerekçe	Kasıtsız bir direksiyon müdahalesi, yüksek hızdayken yoldan çıkma durumuna neden olabilir. Bazı sürücüler veya diğer trafik katılımcıları, durumu direksiyon ve fren yaparak kontrol edebilir. (Kontrol zor veya kontrol edilemez.)
ASIL	ASIL C
Emniyet hedefi	Aracı şeridinde tutmak için aracın kasıtsız yanal hareketinin engellenmesi

Çizelge A.11 : Aracın kasıtsız yanal hareketi.

Tehlike	Aracın kasıtsız yanal hareketi
Senaryo / Kullanılan senaryo tanımı	Sabit hızda sürüş - otoban (100 + km/h), Eğri (yanal hızlanma), orta sürtünme (ıslak koşullar, kötü yol kalitesi)
Tehlikeli olay ve sonuçları	Tehlikeli olay: LKAS aktif durumdadır. Sürücü, orta sürtünmeli, kaygan yolda sabit hızda aracı sürüyor. İstenmeyen yönde direksiyon hareketi var ise, yol kaygan ve araç hızı yüksek olduğu için lastikler yol tutuşunu kaybedebilir ve araç şeritten ayrılabilir. Sonuçları: Bitişik şeritte geriden gelen araç ile yandan çarpışma olabilir veya araç yoldan çıkabilir.
Maruz kalma sınıfı (E)	3, T
Gerekçe	SAE J2980 standardında tanımlanmıştır.
Ciddiyet sınıfı (S)	3
Gerekçe	Geriden gelen araçlarla yandan çarpışma nedeniyle ölümcül yaralanma
Kontrol edilebilirlik sınıfı (C)	3
Gerekçe	Kasıtsız bir direksiyon müdahalesi, yüksek hızdayken yoldan çıkma durumuna neden olabilir. Bazı sürücüler veya diğer trafik katılımcıları, durumu direksiyon ve fren yaparak kontrol edebilir. (Kontrol zor veya kontrol edilemez.)
ASIL	ASIL C
Emniyet hedefi	Aracı şeridinde tutmak için aracın kasıtsız yanal hareketinin engellenmesi

Çizelge A.12 : Aracın kasıtsız yanal hareketi.

Tehlike	Aracın kasıtsız yanal hareketi
Senaryo / Kullanılan senaryo tanımı	Orta/Yüksek Hızlı Manevra - Bisikletten/yayadan/hayvandan kaçma (şehir içi, iki yönlü, otobandan farklı yol)
Tehlikeli olay ve sonuçları	Tehlikeli olay: LKAS aktif durumdadır. Bu fonksiyon, aracı şeridin içerisinde tutmaya yardımcı olmaktadır. Sürücü, yaya ile çarpışmayı önlemek için acil bir direksiyon hareketi yapmak istediğinde, sürücü LKAS’i geçersiz kılamaz ve LKAS durdurulamaz. Sonuçları: Yaya ile bir çarpışma olabilir.
Maruz kalma sınıfı (E)	1, T
Gerekçe	Yayalardan kaçmak için harcanan zaman, aracın toplam sürüş süresine kıyas ile istatistiksel olarak çok az bir seviyede kalmaktadır. (İstatistiki varsayım)
Ciddiyet sınıfı (S)	3
Gerekçe	Yaya ile çarpışma nedeniyle ölümcül yaralanmalar (Yaya ile herhangi bir çarpışma S3 olarak varsayılmaktadır.)
Kontrol edilebilirlik sınıfı (C)	3
Gerekçe	Durumu kontrol etmek zor veya kontrol edilemez. Acil bir direksiyon müdahalesi ve kontrol sürücü için zor olacaktır. (Kontrol zor veya kontrol edilemez.)
ASIL	ASIL A
Emniyet hedefi	Aracı şeridinde tutmak için aracın kasıtsız yanal hareketinin engellenmesi

Çizelge A.13 : Aracın kasıtsız yanal hareketi.

Tehlike	Aracın kasıtsız yanal hareketi
Senaryo / Kullanılan senaryo tanımı	Orta/Yüksek Hızlı Manevra - Bisikletten/yayadan/hayvandan kaçma (şehir içi, iki yönlü, otobandan farklı yol)
Tehlikeli olay ve sonuçları	Tehlikeli olay: Sürücü aracı kullanırken, asıl aracın önüne ani bir engel çıkmıştır. Daha sonra aracın sürücüsü direksiyonu çevirerek çarpışmadan kurtulmaya çalışır. Fakat LKAS, kaçınma manevrasından önce beklenmedik bir şekilde aktiftir. Bu nedenle LKAS, aracı şeridinde tutmaya çalışacaktır. Sonuçları: Yaya ile bir çarpışma olabilir.
Maruz kalma sınıfı (E)	2, F
Gerekeçe	ISO 26262-3:2018 standardında tanımlanmıştır.
Ciddiyet sınıfı (S)	3
Gerekeçe	Yaya ile çarpışma nedeniyle ölümcül yaralanmalar (Yaya ile herhangi bir çarpışma S3 olarak varsayılmaktadır.)
Kontrol edilebilirlik sınıfı (C)	3
Gerekeçe	Durumu kontrol etmek zor veya kontrol edilemez. Acil bir direksiyon müdahalesi ve kontrol sürücü için zor olacaktır. (Kontrol zor veya kontrol edilemez.)
ASIL	ASIL B
Emniyet hedefi	Aracı şeridinde tutmak için aracın kasıtsız yanal hareketinin engellenmesi

Çizelge A.14 : Aracın kasıtsız yanal hareketi.

Tehlike	Aracın kasıtsız yanal hareketi
Senaryo / Kullanılan senaryo tanımı	Orta/Yüksek Hızlı Manevra - Şerit Değişirme
Tehlikeli olay ve sonuçları	Tehlikeli olay: LKAS aktif. Kasıtsız bir direksiyon hareketi var ise, araç hızı yüksek olduğu için araç kontrolü kaybedip şeritten ayrılabilir. Sonuçları: Bitişik şeritte geriden gelen araç ile yandan çarpışma olabilir.
Maruz kalma sınıfı (E)	3, T
Gerekçe	VDA 702 standardında tanımlanmıştır.
Ciddiyet sınıfı (S)	3
Gerekçe	Geriden gelen araçlarla yandan çarpışma nedeniyle ölümcül yaralanma
Kontrol edilebilirlik sınıfı (C)	3
Gerekçe	Kasıtsız bir direksiyon müdahalesi, yüksek hızdayken yoldan çıkma durumuna neden olabilir. Bazı sürücüler veya diğer trafik katılımcıları, durumu direksiyon ve fren yaparak kontrol edebilir. (Kontrol zor veya kontrol edilemez.)
ASIL	ASIL C
Emniyet hedefi	Aracı şeridinde tutmak için aracın kasıtsız yanal hareketinin engellenmesi

Çizelge A.15 : Aracın kasıtsız yanal hareketi.

Tehlike	Aracın kasıtsız yanal hareketi
Senaryo / Kullanılan senaryo tanımı	Orta/Yüksek Hızlı Manevra - Dönüş (şehir, iki yönlü, otopandan farklı yol)
Tehlikeli olay ve sonuçları	Tehlikeli olay: Araç şehir yolunda dönüş yapmaktadır. Aracın şeritten çıktığını algılanır ise, LKAS kasıtsız şekilde etkinleşir. LKAS aracı kendi şeridinde tutmak için direksiyon hareketi ile aracı kontrol etmeye çalışacaktır. Sonuçları: Bu durum sürücü için trafikte kafa karışıklığına ve panik olmasına sebep olabilir. Araç yoldan çıkabilir ve diğer araç ile yandan çarpışma olabilir.
Maruz kalma sınıfı (E)	3, T
Gereççe	VDA 702 standardında tanımlanmıştır.
Ciddiyet sınıfı (S)	2
Gereççe	Geriden gelen araçlarla yandan çarpışma nedeniyle şiddetli ve hayati tehlike oluşturan yaralanma
Kontrol edilebilirlik sınıfı (C)	3
Gereççe	Kasıtsız bir direksiyon müdahalesi, yüksek hızdayken yoldan çıkma durumuna neden olabilir. Bazı sürücüler veya diğer trafik katılımcıları, durumu direksiyon ve fren yaparak kontrol edebilir. (Kontrol zor veya kontrol edilemez.)
ASIL	ASIL B
Emniyet hedefi	Aracı şeridinde tutmak için aracın kasıtsız yanal hareketinin engellenmesi

Çizelge A.16 : Aracın kasıtsız yanal hareketi.

Tehlike	Aracın kasıtsız yanal hareketi
Senaryo / Kullanılan senaryo tanımı	Orta/Yüksek Hızlı Manevra - Sollama (hızlanma aşamasını içerir)
Tehlikeli olay ve sonuçları	Tehlikeli olay: Sürücü sollama yapmaktadır. LKAS fonksiyonu aracın şeritten çıktığını algılayarak, LKAS kasıtsız şekilde etkinleşir. LKAS aracı kendi şeridinde tutmak için direksiyon hareketi ile aracı kontrol etmeye çalışacaktır. Sonuçları: Bu durum sürücü için trafikte kafa karışıklığına ve panik olmasına sebep olabilir. Araç yoldan çıkabilir ve karşıdan gelen araçlarla kafa kafaya çarpışma olabilir.
Maruz kalma sınıfı (E)	2, T
Gerekçe	VDA 702 standardında tanımlanmıştır.
Ciddiyet sınıfı (S)	3
Gerekçe	Karşıdan gelen araçlarla kafa kafaya çarpışma nedeniyle ölümcül yaralanma
Kontrol edilebilirlik sınıfı (C)	3
Gerekçe	Kasıtsız bir direksiyon müdahalesi, yüksek hızdayken yoldan çıkma durumuna neden olabilir. Bazı sürücüler veya diğer trafik katılımcıları, durumu direksiyon ve fren yaparak kontrol edebilir. (Kontrol zor veya kontrol edilemez.)
ASIL	ASIL B
Emniyet hedefi	Aracı şeridinde tutmak için aracın kasıtsız yanal hareketinin engellenmesi

Çizelge A.17 : Aracın kasıtsız yanal hareketi.

Tehlike	Aracın kasıtsız yanal hareketi
Senaryo / Kullanılan senaryo tanımı	Sabit hızda sürüş - otoban (100 + km/h)
Tehlikeli olay ve sonuçları	Tehlikeli olay: LKAS aktif ve sürücü otobanda sürüyor. LKAS fonksiyonundaki bir arıza nedeniyle şerit çizgisi ve şeritten sapma algılama aktif değilse, kasıtsız bir direksiyon hareketi vardır ve araç şeritten ayrılabilir. Sonuçları: Bitişik şeritten gelen araç ile yandan çarpışma olabilir.
Maruz kalma sınıfı (E)	4, T
Gerekçe	VDA 702 standardında tanımlanmıştır.
Ciddiyet sınıfı (S)	3
Gerekçe	Geriden gelen araçlarla yandan çarpışma nedeniyle ölümcül yaralanma
Kontrol edilebilirlik sınıfı (C)	3
Gerekçe	Kasıtsız bir direksiyon müdahalesi, yüksek hızdayken yoldan çıkma durumuna neden olabilir. Bazı sürücüler veya diğer trafik katılımcıları, durumu direksiyon ve fren yaparak kontrol edebilir. (Kontrol zor veya kontrol edilemez.)
ASIL	ASIL D
Emniyet hedefi	Aracı şeridinde tutmak için aracın kasıtsız yanal hareketinin engellenmesi

Çizelge A.18 : Aracın kasıtsız yanal hareketi.

Tehlike	Aracın kasıtsız yanal hareketi
Senaryo / Kullanılan senaryo tanımı	Sabit hızda sürüş - Tünel
Tehlikeli olay ve sonuçları	Tehlikeli olay: Sürücü aracı sabit hızda tünelde sürmektedir. LKAS nedeniyle kasıtsız yanal yönde araç hareketi olursa, sürücü aracı kendi şeridinde tutmak için direksiyon hareketi ile aracı kontrol etmeye çalışacaktır. Sonuçları: Bitişik şeritten gelen araç ile yandan çarpışma olabilir.
Maruz kalma sınıfı (E)	2, T
Gerekçe	Tünellerde işlem süresi %1'den azdır anca yine de istatistiksel olarak anlamlı olacak kadar yüksek kabul edilir. VDA 702 standardında tanımlanmıştır.
Ciddiyet sınıfı (S)	3
Gerekçe	Geriden gelen araçlarla yandan çarpışma nedeniyle ölümcül yaralanma
Kontrol edilebilirlik sınıfı (C)	3
Gerekçe	Kontrol edilmesi zor veya kontrol edilemez. Sürücü bu ani yanal harekete hazırlıklı değildir, sürücü/diğer katılımcılar paniğe kapılır ve reaksiyon süresi çok kısa olduğu için durumu kontrol etmek zordur. (Kontrol zor veya kontrol edilemez.)
ASIL	ASIL B
Emniyet hedefi	Aracı şeridinde tutmak için aracın kasıtsız yanal hareketinin engellenmesi

Çizelge A.19 : Aracın kasıtsız yanal hareketi.

Tehlike	Aracın kasıtsız yanal hareketi
Senaryo / Kullanılan senaryo tanımı	Frenleme ve Acil Frenleme - Ani Engel (Trafik Sıkışıklığı, yaya/bisikletlerin yola girmesi)
Tehlikeli olay ve sonuçları	Tehlikeli olay: Sürücü şehir yolunda aracı sürerken acil frenleme gerekiyor. Araç fren yaparken LKAS fonksiyonunu nedeniyle kasıtsız yanal hareket var ise, araç yoldan çıkabilir ve aracın kontrolünün kaybedilmesine yol açabilir. Sonuçları: Bitişik şeritte geriden gelen araç ile yandan çarpışma olabilir.
Maruz kalma sınıfı (E)	2, T
Gerekçe	Varsayım: Bu senaryoda çalışma süresi, frenleme harcaması %1'den azdır, ancak yine de istatistiksel olarak anlamlı olacak kadar yüksek olarak kabul edilir.
Ciddiyet sınıfı (S)	3
Gerekçe	Geriden gelen araçlarla yandan çarpışma nedeniyle ölümcül yaralanma
Kontrol edilebilirlik sınıfı (C)	3
Gerekçe	Kontrol edilmesi zor veya kontrol edilemez. Sürücü bu ani yanal harekete hazırlıklı değildir, sürücü/diğer katılımcılar paniğe kapılır ve reaksiyon süresi çok daha kısa olduğu için durumu kontrol etmek zordur. (Kontrol zor veya kontrol edilemez.)
ASIL	ASIL B
Emniyet hedefi	Aracı şeridinde tutmak için aracın kasıtsız yanal hareketinin engellenmesi

Çizelge A.20 : Aracın kasıtsız yanal hareketi.

Tehlike	Aracın kasıtsız yanal hareketi
Senaryo / Kullanılan senaryo tanımı	Düşük Hızda Manevra - Yoğun trafikte veya düşük hızda dur-kalk sürüşü ($0 < v < \sim 12$ km/h)
Tehlikeli olay ve sonuçları	Tehlikeli olay: Araç yoğun trafikte dur & kalk durumunda hareket ediyor. LKA sisteminde işlevsel bozukluktan kaynaklanan şeridin ve şeritten sapmanın algılanamaması nedeniyle kasıtsız yanal hareket var ise, araç yoldan çıkabilir. Aracın kontrolünün kaybedilmesine neden olabilir. Sonuçları: Bitişik bölgede çevredeki araç ile yandan çarpışma olabilir.
Maruz kalma sınıfı (E)	4, F
Gerekçe	VDA 702 standardında tanımlanmıştır.
Ciddiyet sınıfı (S)	1
Gerekçe	Çevredeki araçlarla yandan çarpışma nedeniyle hafif ve orta dereceli yaralanma
Kontrol edilebilirlik sınıfı (C)	3
Gerekçe	Kasıtsız bir direksiyon müdahalesi, düşük hızdayken yoldan çıkma durumuna neden olabilir. Sürücü bu ani yanal yöndeki hareket için müdahale zamanı az olabilir. Bazı sürücüler veya diğer trafik katılımcıları, durumu direksiyon ve fren yaparak kontrol edebilir. (Kontrol zor veya kontrol edilemez.)
ASIL	ASIL B
Emniyet hedefi	Aracı şeridinde tutmak için aracın kasıtsız yanal hareketinin engellenmesi

Çizelge A.21 : Direksiyon nedeni ile aracın dengesizleşmesi.

Tehlike	Direksiyon nedeniyle aracın dengesizleşmesi
Senaryo / Kullanılan senaryo tanımı	Sabit hızda sürüş - otoban (100 + km/h)
Tehlikeli olay ve sonuçları	Tehlikeli olay: Sürücü aracı otobanda sürüyor. LKAS etkinleştirildiğinde, direksiyon beklenmedik bir şekilde davranır. Direksiyon hareketi nedeni ile aracın dengesi bozulur ise, araç şeridinden ayrılabilir. Sonuçları: Bitişik şeritte geriden gelen araç ile yandan çarpışma olabilir.
Maruz kalma sınıfı (E)	4, T
Gerekçe	VDA 702 standardında tanımlanmıştır.
Ciddiyet sınıfı (S)	3
Gerekçe	Geriden gelen araçlarla yandan çarpışma veya aracın yoldan çıkması nedeniyle ölümcül yaralanma
Kontrol edilebilirlik sınıfı (C)	3
Gerekçe	Araç dengesizliği, kısa sürede yüksek hızda yoldan çıkma durumuna sebep olabilir. Bazı sürücüler veya diğer trafik katılımcıları, durumu direksiyon ve fren yaparak kontrol edebilir. (Kontrol zor veya kontrol edilemez.)
ASIL	ASIL D
Emniyet hedefi	Direksiyon nedeniyle aracın dengesizleşmesinin önlenmesi

Çizelge A.22 : Direksiyon nedeni ile aracın dengesizleşmesi.

Tehlike	Direksiyon nedeniyle aracın dengesizleşmesi
Senaryo / Kullanılan senaryo tanımı	Sabit hızda sürüş - otoban (100 + km/h), Eğri (yanal hızlanma), yüksek sürtünme
Tehlikeli olay ve sonuçları	Tehlikeli olay: Sürücü, yüksek sürtünmeli yolun olduğu virajlı yolda aracı sürüyor. LKAS etkinleştirildiğinde, direksiyon beklenmedik bir şekilde davranır. Direksiyon hareketi nedeni ile aracın dengesi bozulur ise, araç şeridinden ayrılabilir. Sonuçları: Bitişik şeritte geriden gelen araç ile yandan çarpışma olabilir.
Maruz kalma sınıfı (E)	4, T
Gerekçe	SAE J2980 standardında tanımlanmıştır.
Ciddiyet sınıfı (S)	3
Gerekçe	Geriden gelen araçlarla yandan çarpışma veya aracın yoldan çıkması nedeniyle ölümcül yaralanma
Kontrol edilebilirlik sınıfı (C)	3
Gerekçe	Araç dengesizliği, kısa sürede yüksek hızda yoldan çıkma durumuna sebep olabilir. Bazı sürücüler veya diğer trafik katılımcıları, durumu direksiyon ve fren yaparak kontrol edebilir. (Kontrol zor veya kontrol edilemez.)
ASIL	ASIL D
Emniyet hedefi	Direksiyon nedeniyle aracın dengesizleşmesinin önlenmesi

Çizelge A.23 : Direksiyon nedeni ile aracın dengesizleşmesi.

Tehlike	Direksiyon nedeniyle aracın dengesizleşmesi
Senaryo / Kullanılan senaryo tanımı	Sabit hızda sürüş - otoban (100 + km/h), Eğri (yanal hızlanma), orta sürtünme (ıslak koşullar, kötü yol kalitesi)
Tehlikeli olay ve sonuçları	Tehlikeli olay: Sürücü kaygan yolun olduğu virajlı yolda aracı sürüyor. LKAS etkinleştirildiğinde, direksiyon beklenmedik bir şekilde davranır. Direksiyon hareketi nedeni ile aracın dengesi bozulur ise, araç şeridinden ayrılabilir. Sonuçları: Bitişik şeritte geriden gelen araç ile yandan çarpışma olabilir.
Maruz kalma sınıfı (E)	3, T
Gerekçe	SAE J2980 standardında tanımlanmıştır.
Ciddiyet sınıfı (S)	3
Gerekçe	Geriden gelen araçlarla yandan çarpışma veya aracın yoldan çıkması nedeniyle ölümcül yaralanma
Kontrol edilebilirlik sınıfı (C)	3
Gerekçe	Araç dengesizliği, kısa sürede yüksek hızdayken yoldan çıkma durumuna sebep olabilir. Bazı sürücüler veya diğer trafik katılımcıları, durumu direksiyon ve fren yaparak kontrol edebilir. (Kontrol zor veya kontrol edilemez.)
ASIL	ASIL C
Emniyet hedefi	Direksiyon nedeniyle aracın dengesizleşmesinin önlenmesi

Çizelge A.24 : Direksiyon nedeni ile aracın dengesizleşmesi.

Tehlike	Direksiyon nedeniyle aracın dengesizleşmesi
Senaryo / Kullanılan senaryo tanımı	Frenleme ve Acil Frenleme - Ani Engel (Trafik Sıkışıklığı, yaya/bisikletlerin yola girmesi)
Tehlikeli olay ve sonuçları	Tehlikeli olay: Sürücü şehir yolunda aracı sürüyor. LKAS etkin iken, acil frenleme durumu ortaya çıkıyor. Direksiyon beklenmedik bir şekilde davranır. Direksiyon hareketi nedeni ile aracın dengesi bozulur ise, araç şeridinden ayrılabilir. Sonuçları: Bitişik şeritte geriden gelen araç ile yandan çarpışma olabilir.
Maruz kalma sınıfı (E)	2, T
Gerekçe	Varsayım: Bu senaryoda çalışma süresi, frenleme harcaması %1'den azdır, ancak yine de istatistiksel olarak anlamlı olacak kadar yüksek olarak kabul edilir.
Ciddiyet sınıfı (S)	3
Gerekçe	Geriden gelen araçlarla yandan çarpışma veya aracın yoldan çıkması nedeniyle ölümcül yaralanma
Kontrol edilebilirlik sınıfı (C)	3
Gerekçe	Araç dengesizliği, sürücü tarafından kısa sürede müdahaleyi zorlaştırabilir. Bazı sürücüler veya diğer trafik katılımcıları, durumu direksiyon ve fren yaparak kontrol edebilir. (Kontrol zor veya kontrol edilemez.)
ASIL	ASIL B
Emniyet hedefi	Direksiyon nedeniyle aracın dengesizleşmesinin önlenmesi

Çizelge A.25 : Direksiyon nedeni ile aracın dengesizleşmesi.

Tehlike	Direksiyon nedeniyle aracın dengesizleşmesi
Senaryo / Kullanılan senaryo tanımı	Sabit hızda sürüş - Yapısal ayrımlı şantiye alanında (otoban) sürüş
Tehlikeli olay ve sonuçları	Tehlikeli olay: Sürücü, şantiye alanına bitişik şeritte aracı kullanıyor. LKAS etkinleştirildiğinde, direksiyon beklenmedik şekilde davranır. Sonuçları: Sürücü aracı kontrol etmekte güçlük çeker ve inşaat personeli ile çarpışma olabilir..
Maruz kalma sınıfı (E)	3, T
Gerekçe	VDA 702 standardında tanımlanmıştır.
Ciddiyet sınıfı (S)	3
Gerekçe	İnşaat personeli ile çarpışma nedeniyle ölümcül yaralanmalar (Aracın yayayı ezme olasılığı nedeniyle, bir yaya ile herhangi bir çarpışmanın S3 olarak derecelendirildiği varsayılır.)
Kontrol edilebilirlik sınıfı (C)	3
Gerekçe	Araç dengesizliği, kısa sürede yüksek hızdayken yoldan çıkma durumuna neden olabilir. Bazı sürücüler veya diğer trafik katılımcıları, durumu direksiyon ve fren yaparak kontrol edebilir. (Kontrol zor veya kontrol edilemez.)
ASIL	ASIL C
Emniyet hedefi	Direksiyon nedeniyle aracın dengesizleşmesinin önlenmesi

EK B

FTTI, ISO 26262-1:2018, 3.61 maddesinde “Emniyet mekanizmalarının etkinleştirilmemesi durumunda, ögede arızanın meydana gelmesinden olası bir tehlikeli olayın meydana gelmesine kadar olan minimum zaman aralığı” olarak tanımlanmaktadır [45]. Minimum zaman aralığı, tüm tehlikeli olaylar üzerinden değerlendirilmelidir ve tehlikelerin nitelendirilmelerine bağlı olabilmektedir. FTTI ile ilişkili olan diğer terimler aşağıdaki gibidir:

- **Hata Tespit Etme Zaman Aralığı (FDTI) – ISO 26262-1:2018, 3.55 [45]:** Bir hatanın meydana gelme süresinden tespit edilmesine kadar geçen süredir.
- **Hata Tepki Zaman Aralığı (FRTI) – ISO 26262-1:2018, 3.59 [45]:** Bir hatanın tespit edilmesinden emniyetli bir duruma veya acil duruma ulaşılmasına kadar geçen süredir.
- **Hata İşleme Zaman Aralığı (FHTI) – ISO 26262-1:2018, 3.56 [45]:** Bir hata tespit zaman aralığının ve hata tepki zaman aralığının toplam süredir.
- **Acil Operasyon Zaman Aralığı (EOTI) – ISO 26262-1:2018, 3.44 [45]:** Bir hataya reaksiyon verilmesinden sonra emniyetli bir duruma geçene kadar emniyeti sağlamak için ögenin çalışmasının sürdürüldüğü zaman aralığı.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Emir KUDUN

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2019, Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2019-2020 – Otomotiv Kontrol Sistemleri Mühendisi, FEV Türkiye
- 2020-2022 – Otomotiv Fonksiyonel Emniyet Mühendisi, FEV Türkiye
- 2022-halen – Kıdemli Otomotiv Fonksiyonel Emniyet Mühendisi, FEV Türkiye

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

Cantürk, O., **Kudun, E.** (2019). Anahtarlamalı Model Öngörülü Kontrol ile Otonom Bir Aracın Şerit Değiştirme Problemi. Türkiye Otomatik Kontrol Konferansı 2019 (ss.175-179). Muğla.