



METROBÜS GÜVENLİ SÜRÜŞ DESTEK ve TRAFİK AKIŞ YÖNETİM SİSTEMİ

**İETT BİLGİ İŞLEM DAİRE BAŞKANLIĞI
ELEKTRONİK SİSTEMLER MÜDÜRLÜĞÜ**

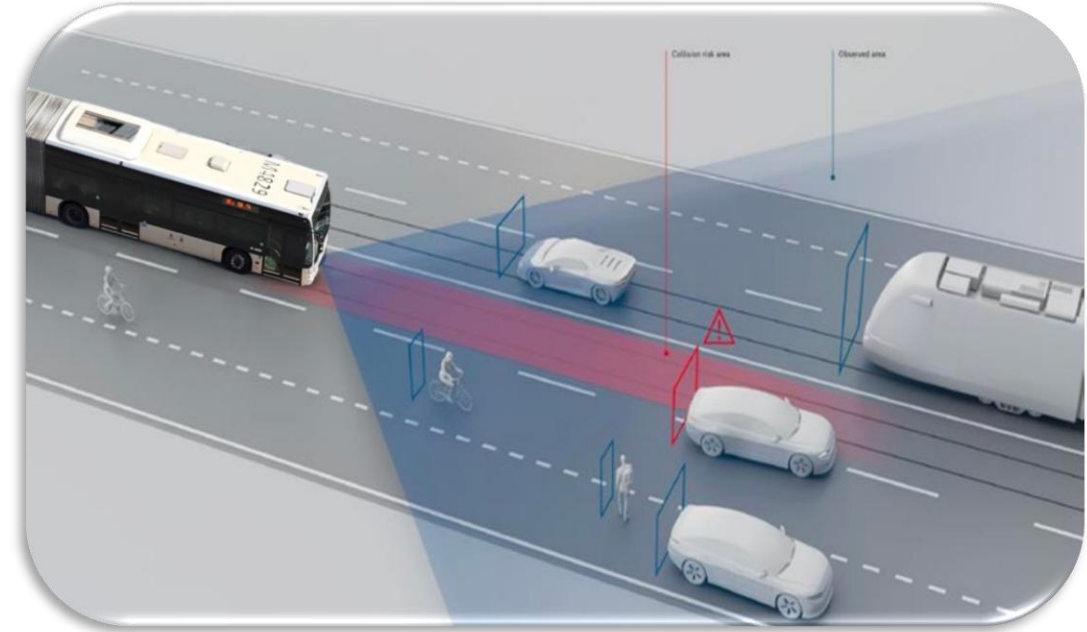


METROBÜS GÜVENLİ SÜRÜŞ DESTEK ve TRAFİK AKIŞ YÖNETİM SİSTEMİ

İETT'nin teknoloji odaklı dönüşüm vizyonunun ürünü olan **Metrobüs Güvenli Sürüş Destek ve Trafik Akış Yönetim Sistemi**, İstanbul'un en yoğun toplu taşıma hattında güvenli, verimli ve akıllı bir ulaşım deneyimi sunmak için tasarlanmıştır.

Kamera, Sensör, Radar ve **RTK** teknolojilerinin entegre çalıştığı sistem, İstanbul'un toplu taşıma altyapısında **"sıfır kaza"** hedefi doğrultusunda stratejik bir yeniliği temsil etmektedir.

Yapay zekâ destekli bu sistem, sürücü hatalarını minimize ederek, kazaları önceden tahmin eden ve yolcu güvenliğini merkeze alan akıllı ulaşım vizyonunun somut adımıdır.



METROBÜS GÜVENLİ SÜRÜŞ DESTEK ve TRAFİK AKIŞ YÖNETİM SİSTEMİ

Neden Gerekli?

Geçmiş Veriye
Dayalı Karar
Destegi Eksikligi

İstasyonlarda Hız
Limitlerine
Uyulmaması

Yoğun Trafik Akışı

Yetersiz Uyarı
Sistemleri



Sürücü Dikkat
Eksikligi

Şerit İhlalleri

GPS Sapmaları

Dar Hat Yapısı ve
Kör Noktalar

METROBÜS GÜVENLİ SÜRÜŞ DESTEK ve TRAFİK AKIŞ YÖNETİM SİSTEMİ

Neler var?

Erken Uyarı

Çarpışma riskini saniyeler öncesinden algılar.

Otomatik Müdahale

Tepki geciktiğinde sistem frenlemeyi devralır.

360° Sensör Algısı

Radar + Kamera + Sensör ile tam çevre farkındalığı.



Kaza Oranında Azalma

Sürücü hatası kaynaklı kazalarda %80 üzerinde azalma hedeflenir.

Ekonomik ve Operasyonel Verimlilik

Araç bakım maliyetleri, onarım ve servis dışı kalma süreleri azalır.

PROJE DEMO ZAMAN ÇİZELGESİ

2025

OCAK ŞUBAT MART NİSAN MAYIS HAZİRAN TEMMUZ AĞUSTOS EYLÜL EKİM KASIM ARALIK

Proje Gereksinimleri ve Planlama

2 Ay

Donanım Seçimleri ve Siparişleri

2 Ay

Donanımların Araca Fiziksel
Montajı ve Kalibrasyonları

1 Ay

Manuel Tetikleme ve Frenleme Testleri

2 Ay

Sürücü Destek Sistemi Geliştirme ve
Sensör Füzyonu (Kamera + Rtk)

2 Ay

Saha Testleri ve Kalibrasyon

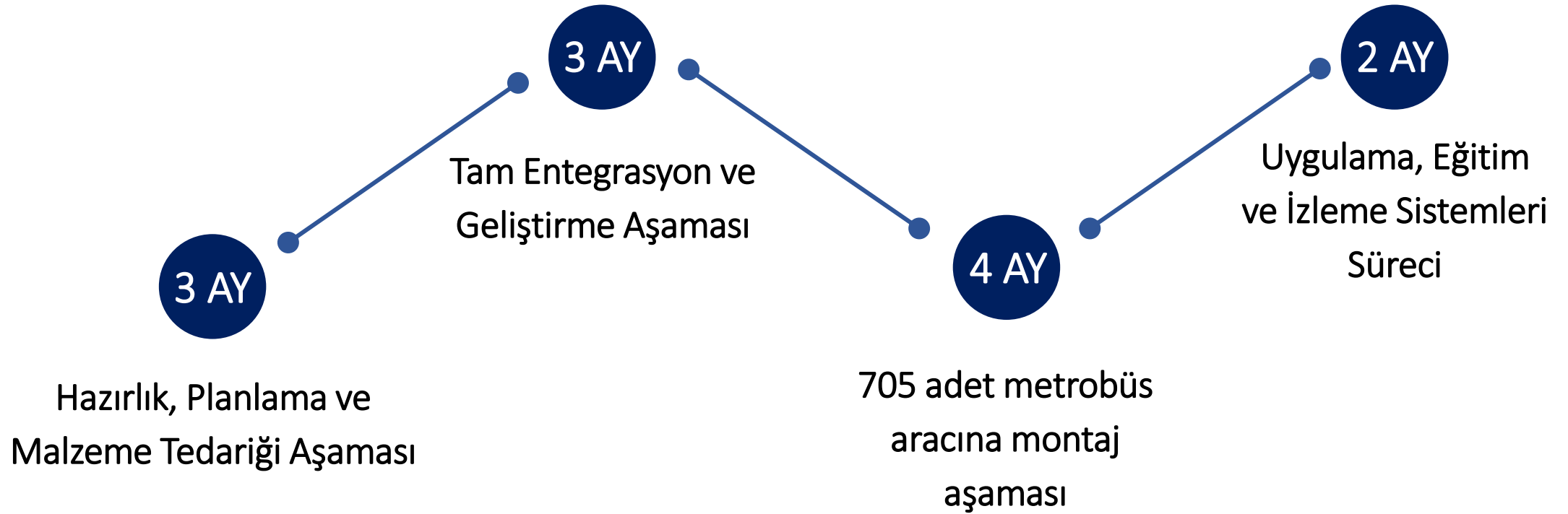
3 Ay

Ek Modüllerin Entegrasyonu
(Akıllı Saat ve Hava Kalite Sensörü)

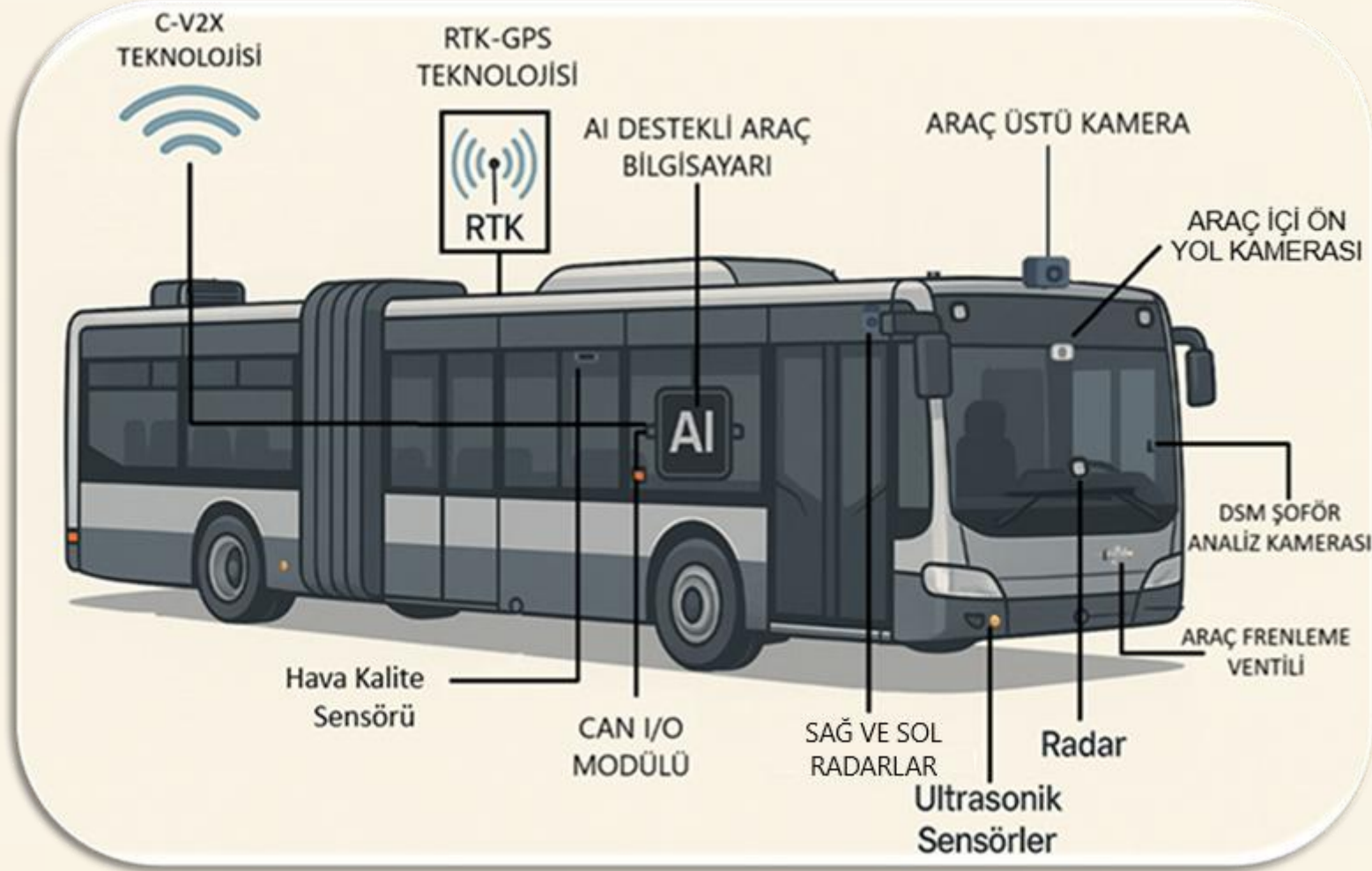
1 Ay

PROJE SÜREÇ PLANLAMASI

Proje **12 aylık süreç** içerisinde tamamlanacak şekilde tasarlanmıştır.



TEKNOLOJİK ALTYAPI VE SİSTEM MİMARİSİ



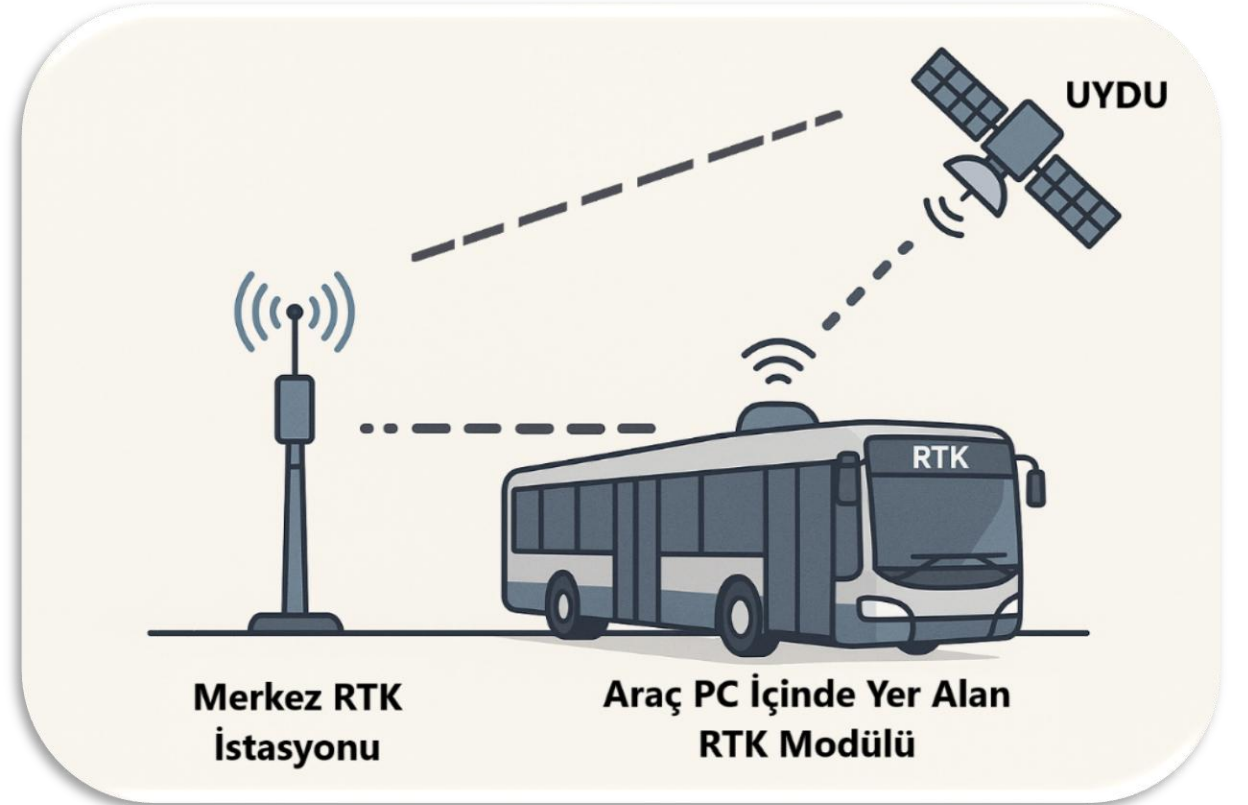
TEKNOLOJİK ALTYAPI VE SİSTEM MİMARİSİ

RTK Teknolojisi

RTK teknolojisi, uydu tabanlı bir konumlandırma sistemidir.

Araç üzerinde bulunan **RTK modülleri**, araçların konumlarını **2 cm hassasiyet** ile belirleyerek şerit takibi, durak yaklaşımı ve araçlar arası mesafe kontrolü gibi kritik süreçleri yönetir.

RTK teknolojisi, eğim ölçümü de sağlayarak metrobüs hattının topografik modellemesini mümkün kılar.



TEKNOLOJİK ALTYAPI VE SİSTEM MİMARİSİ

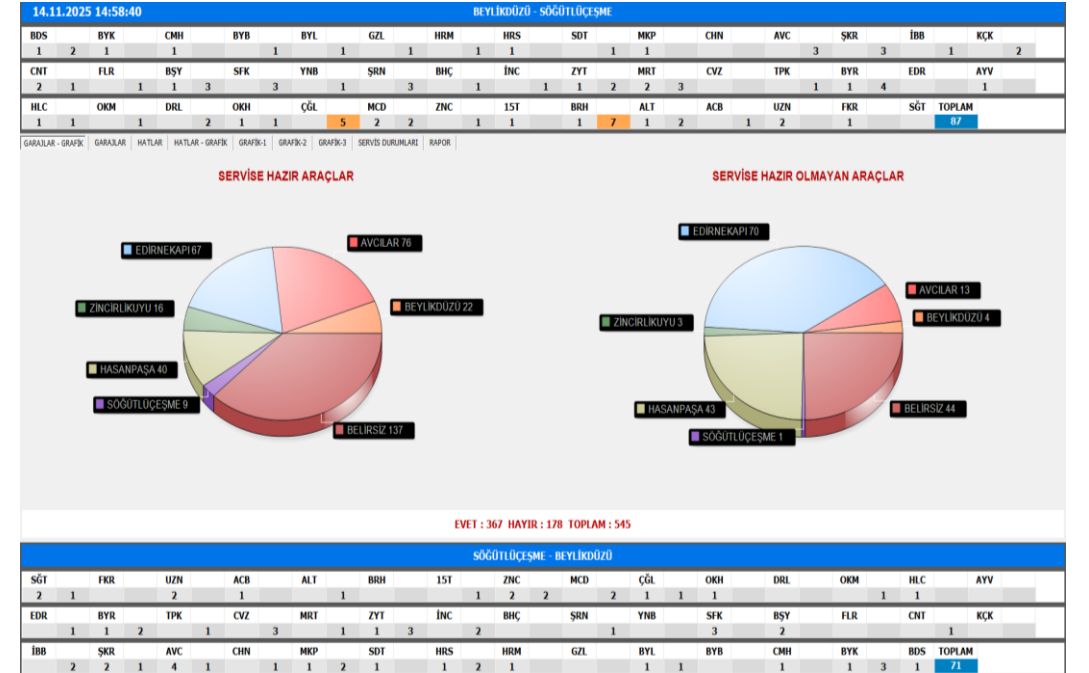
Metrobüs Ritim Projesi

Bu proje, aynı zamanda Metrobüs Ritim Projesi'nin ihtiyaç duyduğu **yüksek doğruluklu konum verisini** de sağlamaktadır.

RTK teknolojisiyle metrobüs konumu santimetre hassasiyetinde izlenerek Ritim Projesi'nin tam performansla çalışması sağlanır. Böylece ;

- Hat Yoğunluğu Yönetimi
- Araç Dağılımı ve Katarlanma Takibi
- Hat Bazında Araç Sayısı
- Servise Hazır Araçlar

gibi veriler tam doğrulukla sağlanmaktadır.



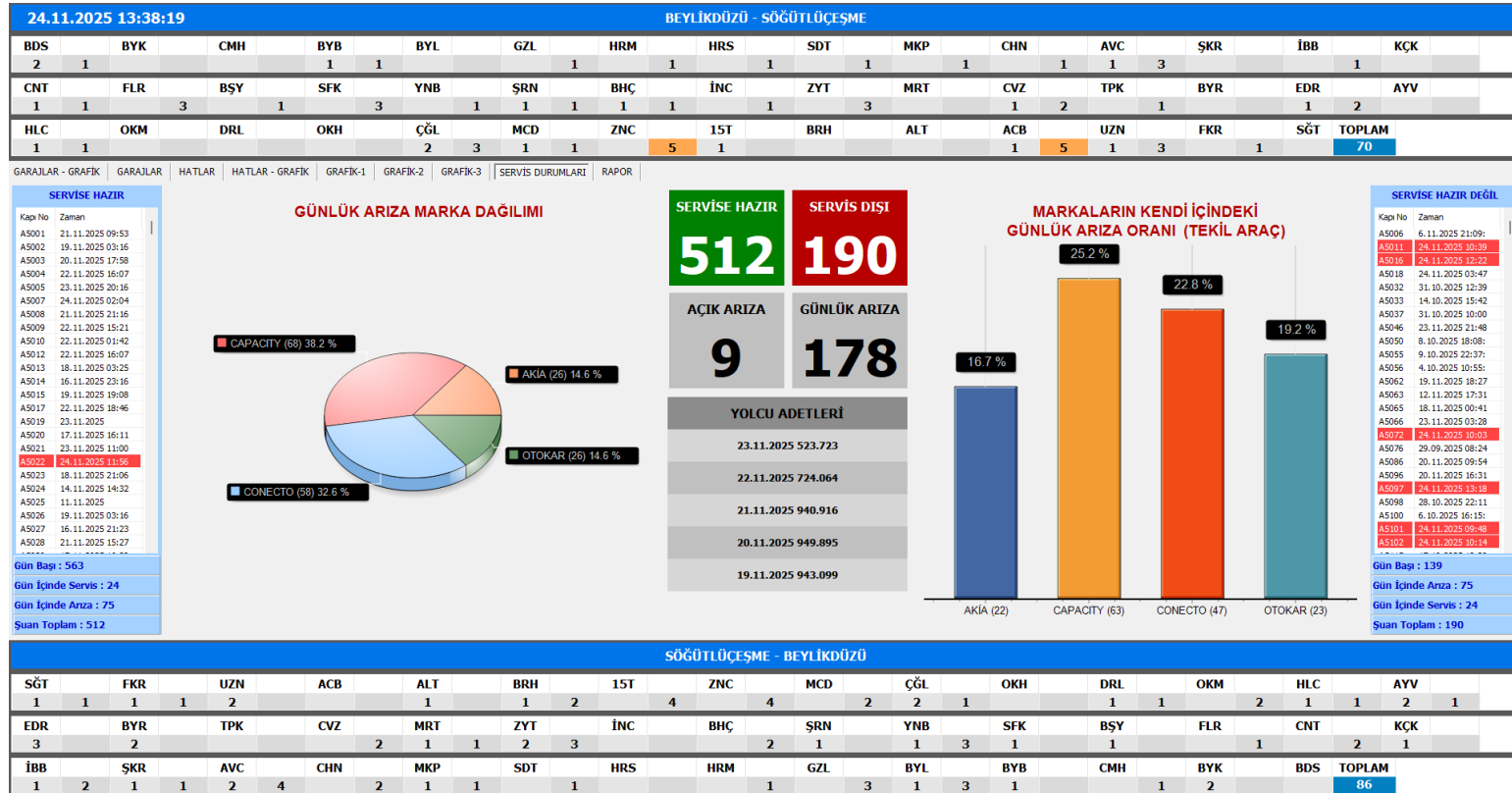
TEKNOLOJİK ALTYAPI VE SİSTEM MİMARİSİ

Metrobüs Ritim Projesi

Telemetrik veriler sayesinde araçların servis durumları da çok daha detaylı ve doğru şekilde izlenebilecek, böylece hem bakım planlaması hem de operasyon yönetimi daha verimli yürütülebilecektir.

- Araç-Şoför Eşleştirmesi
- Araç Rölanti Süreleri
- Arızaların Raporlanması
- Servis Durum Raporları

gibi bilgiler de sistemin operasyonel çeşitliliğini artırarak daha doğru planlama ve anlık yönetim imkânı sağlayacaktır.

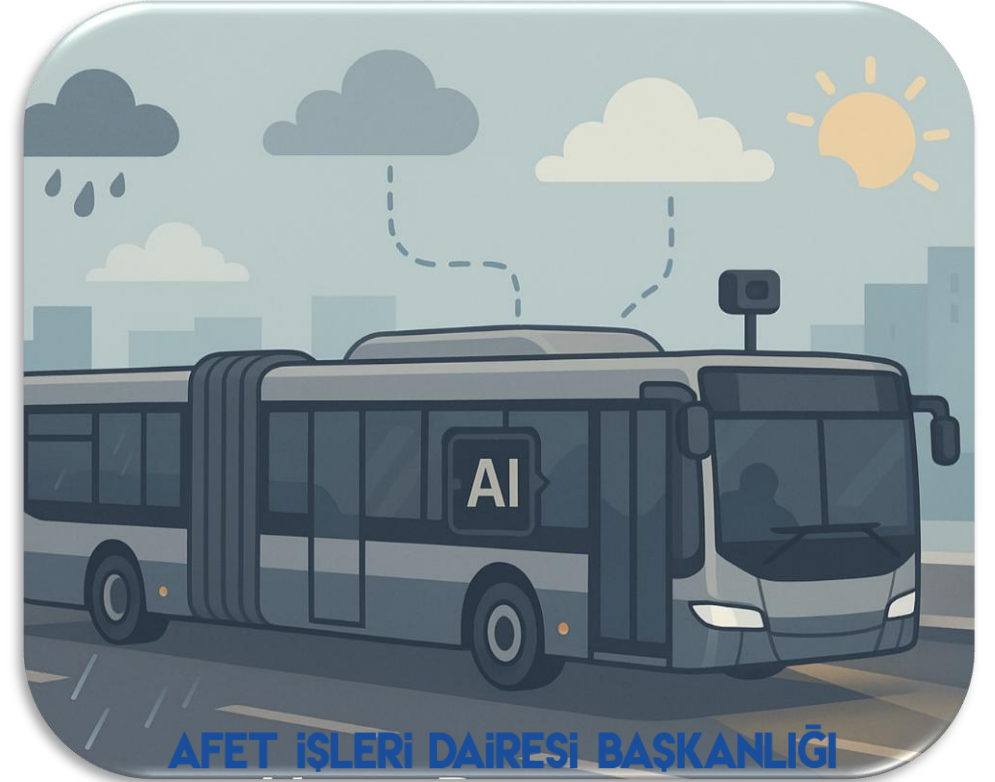


TEKNOLOJİK ALTYAPI VE SİSTEM MİMARİSİ

AKOM Entegrasyonu

Sistem, **AKOM entegrasyonu** sayesinde **lokasyon bazlı hava durumu verilerini** alır ve bu verilere göre kendini dinamik olarak optimize eder.

Yağış, sis veya düşük görüş gibi koşullar sürüş analizine otomatik olarak yansıtılır; yapay zekâ destekli araç bilgisayarı bu verilere göre **frenleme, hız limiti ve sürüş güvenliği** parametrelerini anlık olarak ayarlar.



AKOM

TEKNOLOJİK ALTYAPI VE SİSTEM MİMARİSİ

C-V2X Teknolojisi

705 metrobüs aracında kurulan **C-V2X** altyapısı ile araçlar, **5.9 GHz** frekans bandı üzerinden, 5G bağlantısına ihtiyaç duymadan **kapalı devre** olarak birbirleriyle ve merkezle haberleşecektir.

Bu sistem sayesinde **anlık hız, konum, yön ve sistem verileri** paylaşılmakta; hat üzerindeki trafik akışı ve olası riskler gerçek zamanlı olarak izlenmektedir.

Bu yapı, metrobüs filosunda **düşük gecikmeli, güvenli ve bağımsız iletişim** sağlayarak gelecekteki otonom sürüş sistemlerinin temelini oluşturmaktadır.



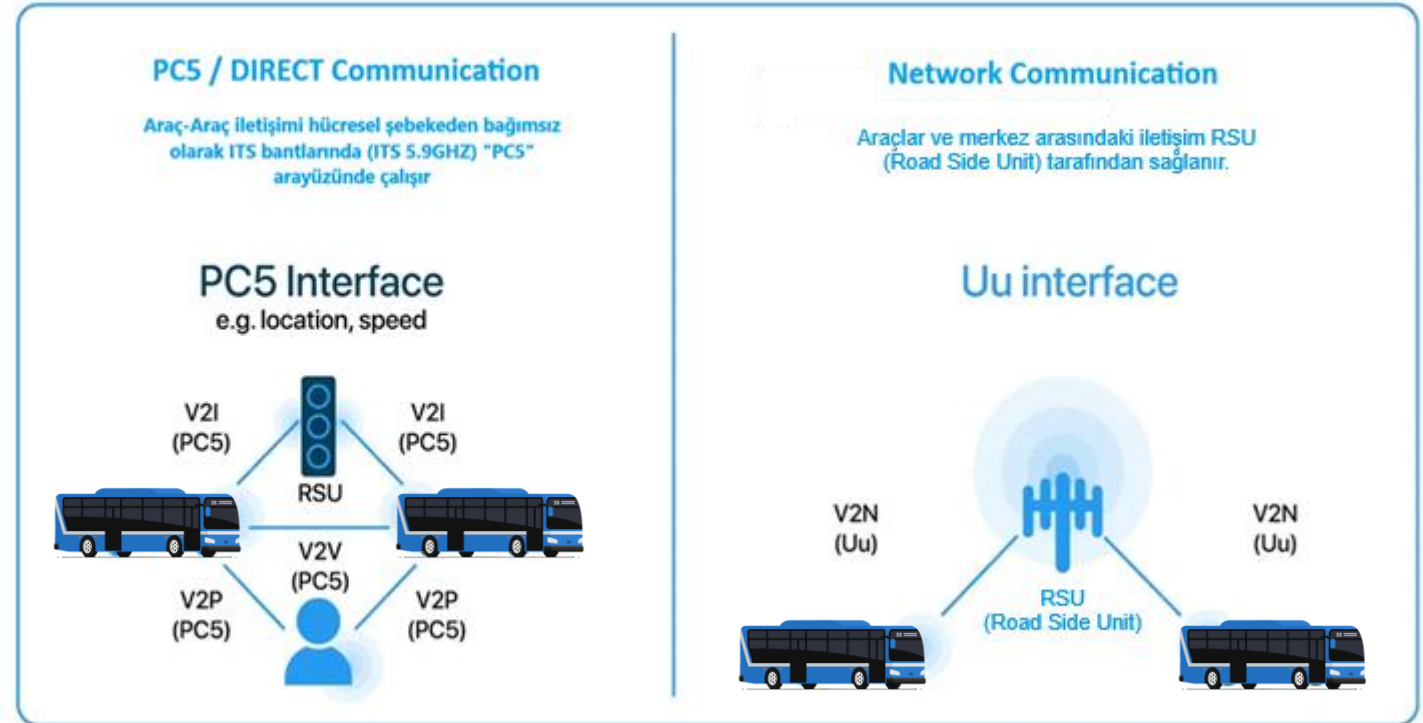
TEKNOLOJİK ALTYAPI VE SİSTEM MİMARİSİ

C-V2X Teknolojisi

C-V2X teknolojisi birden fazla çalışma modunu destekler. Bu proje kapsamında **hibrit** bir yaklaşım benimsenmiştir:

- **Araç–Araç (V2V)** haberleşmesi için **PC5 Direct (sidelink) modu** kullanılacaktır.
- **Araç–Merkez (V2C/V2N)** veri akışı ise istasyonlara konumlandırılan **RSU cihazları** üzerinden, merkeze taşınacaktır.

Bu teknoloji ile metrobüs filosu, gerçek zamanlı, güvenilir ve operatörden bağımsız bir iletişim altyapısına kavuşacaktır.



TEKNOLOJİK ALTYAPI VE SİSTEM MİMARİSİ

C-V2X Teknolojisi

V2X modülünün **tak-çalıştır** özelliği sayesinde, hat içinde görev yapan hizmet araçlarında da bu teknoloji kullanılabilir.

Böylece yalnızca metrobüsler arasında değil, metrobüsler ile görevli araçlar arasında da iletişim imkânı sağlanmaktadır.



TEKNOLOJİK ALTYAPI VE SİSTEM MİMARİSİ

Yeni Nesil Araç Bilgisayarı

Sistemin merkezinde yer alan yapay zekâ destekli araç bilgisayarı, tüm **sensör, radar, kamera ve konum verilerini** gerçek zamanlı olarak işleyerek anlık karar mekanizması oluşturur.

Yüksek işlem gücüne sahip **GPU** tabanlı yapısı sayesinde çoklu kamera analizlerini, sensör, radar ve **RTK** verileriyle birleştirir; **CAN I/O** kontrol modülü ile çift yönlü haberleşme kurarak aracın fren, gaz, retarder ve uyarı sistemlerine doğrudan erişir.



Araç bilgisayarı ;

- Araç üstü LED tabela,
- Araç yolcu bilgilendirme ekranları,
- Araç iç ve dış anons sistemi,
- Akıllı saat ve hava kalite sensörü,
- Doğrudan CAN hattı üzerinden mekanik verilerin sağlanması
- Güvenli sürüş destek sistemi yönetimi,

Görevlerini üstlenir.

TEKNOLOJİK ALTYAPI VE SİSTEM MİMARİSİ

Araç Üstü Kamera

Metrobüs Güvenli Sürüş Destek Sistemi'nde kullanılan Araç Üstü Kamera, aracın ön bölgesini geniş görüş alanıyla izleyerek **şerit takibi**, **durak yaklaşımı** ve **yaya tespiti** gibi kritik görevleri üstlenir.

Araç üstü kameradan alınan yüksek çözünürlüklü görüntüler, **AI destekli görsel analiz** algoritmalarıyla gerçek zamanlı olarak işlenerek sürücünün uyarılması veya gerekli durumlarda **otonom** müdahale yapılmasını sağlar.



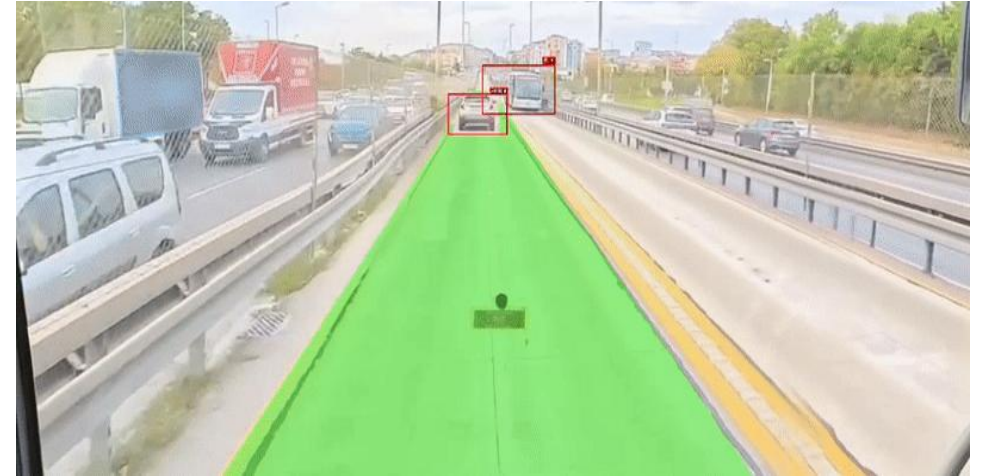
TEKNOLOJİK ALTYAPI VE SİSTEM MİMARİSİ

Araç Üstü Kamera

Araç Üstü Kamerası, aracın çevresini üst açıdan izleyerek şerit takibi, araç ve yaya tespiti görevlerini yerine getirir.

2.8 mm ve **3.6 mm** çoklu lens seçenekleri sayesinde farklı görüş açılarıyla (**41°–86°**) hem kör nokta izleme hem de uzun menzil yol takibi yapılabilir.

Sistem, lens ve hava koşullarına göre **50–75 metre** görüş menziline sahiptir.



TEKNOLOJİK ALTYAPI VE SİSTEM MİMARİSİ

Görsel İşleme

Proje kapsamında gerçek saha koşullarında, metrobüs hattı ve garajlarında toplanan **200.000**'den fazla görüntü, yapay zekâ modellerinin eğitiminde kullanılmıştır.

Bu kapsamlı veri seti sayesinde **şerit takibi, nesne algılama** ve **diğer sürücü destek fonksiyonları**, sahadaki koşullara uyumlu ve yüksek doğrulukla çalışacak şekilde optimize edilmiştir.



TEKNOLOJİK ALTYAPI VE SİSTEM MİMARİSİ

CAN I/O Modülü

CAN I/O kontrol modülü, aracın tüm mekanik sistemleri ile AI destekli araç bilgisayarı arasında **çift yönlü veri iletişimi** sağlamaktadır.

Fren, gaz, vites, kapı ve ikaz sistemlerinden aldığı verileri işleyerek araç bilgisayarına iletir; aynı zamanda bilgisayardan gelen komutları doğrudan araç sistemlerine yönlendirerek anında tepki oluşturur.

Bu sayede modül, hem gerçek zamanlı veri aktarımı hem de bilgisayardan araca komut iletimi işlevlerini entegre biçimde yürütür.

Ayrıca, **hız, rölanti, fren basıncı, motor durumu, yakıt seviyesi** gibi mekanik verileri toplamak için **ek bir donanıma ihtiyaç duymaz.**

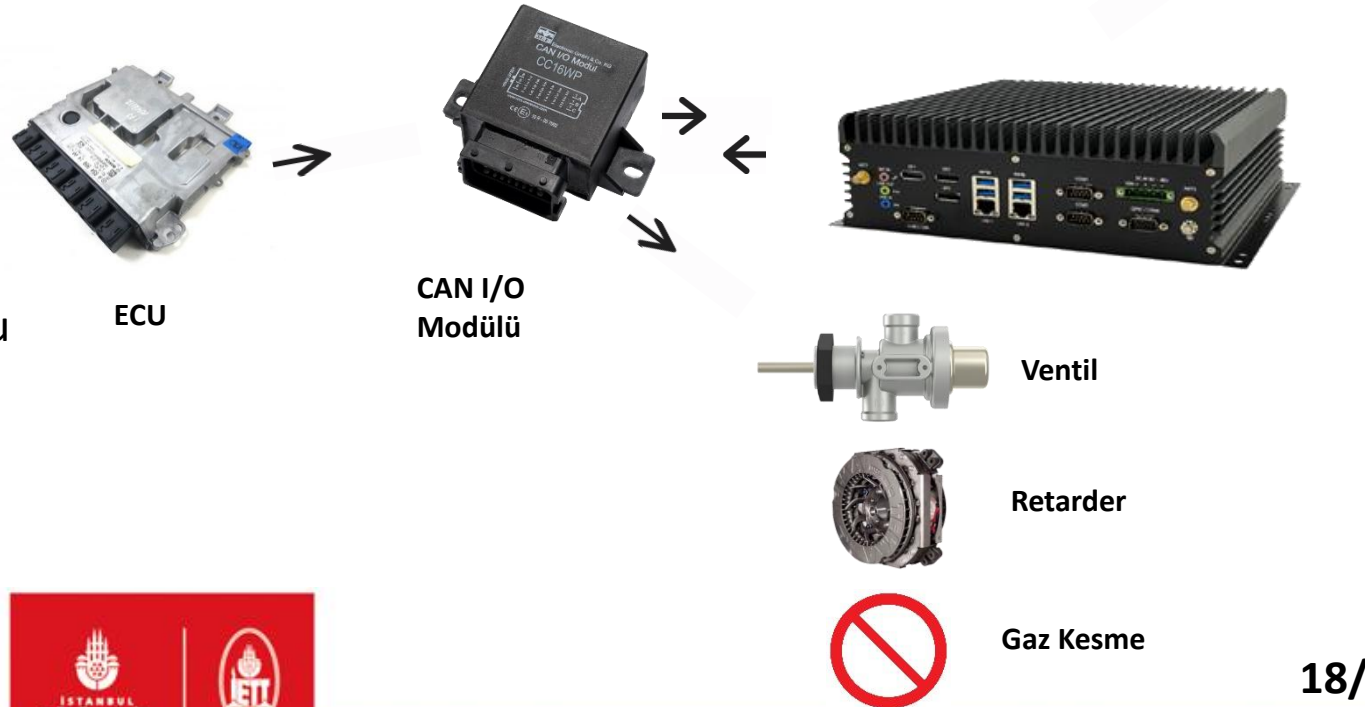


TEKNOLOJİK ALTYAPI VE SİSTEM MİMARİSİ

Telemetri Yazılımı - Araç Verileri

Geliştirilen sistem mimarisi, metrobüs filosundaki **ECU**'lardan gelen verileri, **CAN I/O** modülü ve Araç Bilgisayarı aracılığı ile toplar. Bu veriler, **V2X** altyapısı üzerinden Komuta Kontrol Merkezi'ne **kesintisiz ve gerçek zamanlı** aktarılmaktadır.

Bu sayede; her aracın **hızı, devri, yakıt durumu, fren basınçları ve olası arıza kodları gibi kritik telemetri bilgileri** anlık olarak izlenir. Uçtan uca dijitalleşmiş bu entegre yapı, filonun araç durumunu ve performansını merkezi olarak takip ederek, operasyonel verimliliği ve güvenliği en üst seviyeye taşımaktadır.



Telemetri Yazılımı - Araç Verileri



Filo Telemetri & Sürücü Kategorilendirme Sistemi

METROBÜSLER

ŞOFÖRLER

13:17:30

İstanbul, TR

Ara (Kapl No / Sicil No)...

M-3107

Hat: 34G

M-3108

Hat: 34G

M-3109

Hat: 34G

M-3110

Garajda

M-4050

Hat: 34G

M-4051

Hat: 34G

M-4052

Anıza Kaydı

A-5022

Hat: 34G

A-5023

Hat: 34G

A-5024

Hat: 34G

A-5025

M-3107

HAT: 34G - AKTİF

Model: Mercedes CapaCity

RTK Konum: 41.0082° N, 28.9784° E

Bağlantı: 5G

ARAÇ HIZI

45

km/h

MOTOR DEVRİ

1502

rpm

SÜRÜŞ DİNAMİKLERİ

Gaz Pedalı Pozisyonu

35%

Fren Pedalı Basıncı

0%

Aktüel Tork

1250 Nm

Motor Yüğü

42%

Aktüel Vites

D4

SIVILAR & ISI

Yakıt Seviyesi

62%

AdBlue

78%

Motor Hararet

88°C

KRİTİK SİSTEMLER

El Freni Durumu

SERBEST

ABS Durumu

AKTİF

Akü Voltajı

24.4 V

Motor Yangın İkazı

NORMAL

Klima

AÇIK (22°C)

Güvenlik Anahtarı

KAPALI

KAPILAR & LASTİKLER

Kapı Konumları (1-0)

1

2

3

4

Tümü Kapalı

Lastik Basıncı (PSI)

110

Ön Sol

109

Ön Sağ

112

Arka Sol

111

Arka Sağ

AKTİF UYARI & İHLAL KAYITLARI

Zaman	Uyarı Tipi	Detay	Durum
14:22:10	Hız İhlali Uyarısı	Bölge limiti (50km/s) aşıldı: 54km/s	Pasif
14:15:30	Sürücü Davranış	Ani şerit değişimi algılandı	İnceleniyor

SÜRÜCÜ PERFORMANSINA KATKILARI

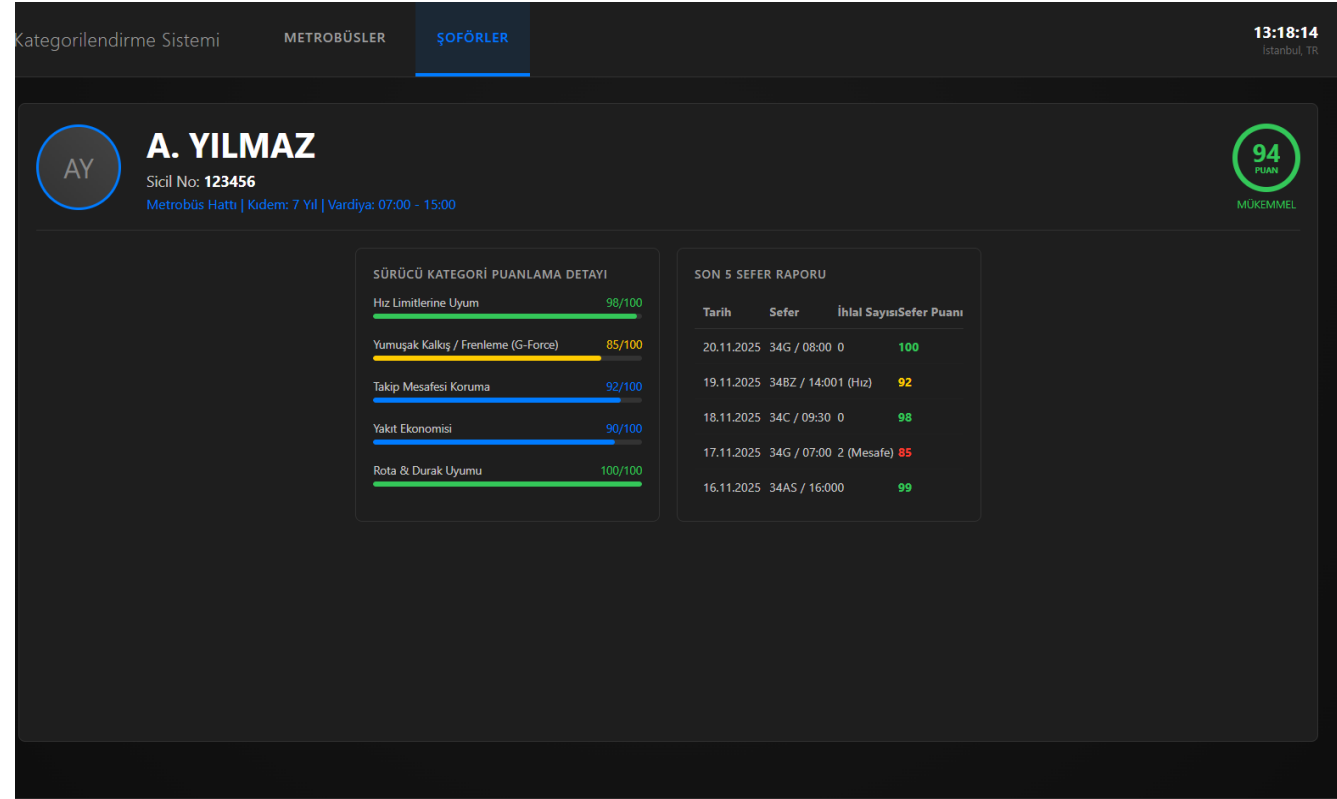
Telemetri Yazılımı – Sürücü Puanlama ve Eğitim

Telemetri ile Sürücü Puanlama: Hız, takip mesafesi, ani frenleme ve gaz kesme verilerine dayalı davranış analizi.

Otonom Müdahalelerle Teşvik: Otomatik frenleme ve hız düşürme gibi güvenlik müdahaleleriyle kurallara doğal uyum sağlama.

Proaktif Sürüş Alışkanlığı: Sürücülerin, sistem müdahalesini beklemeden hız ve davranışlarını kendilerinin düzenlemesi.

Güvenli Sürüş Kültürü ve Eğitime Katkı: Güvenli sürüş kültürünün güçlenmesi ve sürücü eğitim süreçlerinin desteklenmesi.



TEKNOLOJİK ALTYAPI VE SİSTEM MİMARİSİ

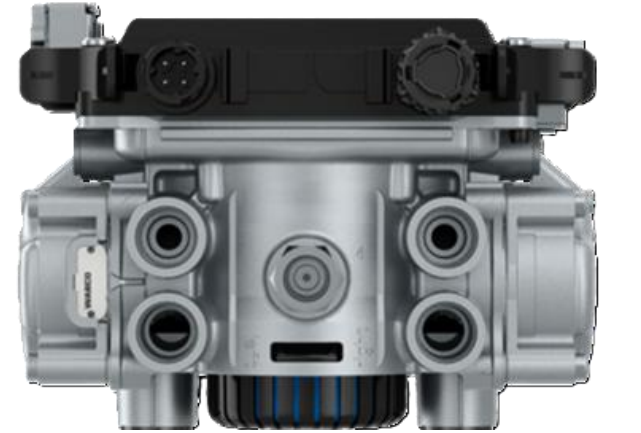
CAN ile Haberleşen Oransal Ventil

Mevcut sistemde kullanılan ventil yalnızca **on-off** olarak çalıştığından, fren basıncının kademeli olarak kontrol edilmesi **mümkün değildir**.

Güvenli sürüş destek sistemi kapsamında ihtiyaç duyulan “**oransal fren**”, “**kademeli yavaşlama**” gibi hassas kontrol seviyeleri, mevcut ventil mimarisiyle gerçekleştirilememektedir.

Bu nedenle proje kapsamında, fren sistemi kontrolünün tamamen yazılım tarafından yönetilebilmesini sağlayan **CAN bus** üzerinden haberleşen oransal ventile geçiş planlanmaktadır.

Bu yeni teknoloji sayesinde araç bilgisayarı fren basıncını yüzde bazlı olarak komuta edebilecek, frenleme süreci daha yumuşak, kontrollü ve güvenli bir hale gelecektir. Ayrıca valfin çalışma durumu ve uygulanan fren basıncı gerçek zamanlı izlenerek sistemin fonksiyonel güvenlik seviyesi önemli ölçüde artırılabilecektir.



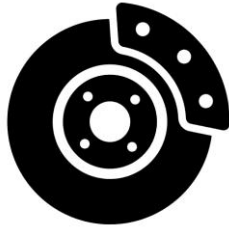
TEKNOLOJİK ALTYAPI VE SİSTEM MİMARİSİ



FREN HAVA TANKI



FREN BASINÇ AYARLAMA



FREN SİSTEMİ



VENTİL

ON/OFF
KOMUTU (24V)



CAN I/O
Modülü

Radar

Metrobüs ön camına konumlandırılan **4D radar (Mesafe-Hız-Yatay Açı-Dikey Açı)**, hattaki araçların çevresini gerçek zamanlı olarak tarayarak olası çarpışma risklerini erken aşamada tespit eder.

Gelişmiş **4D algılama teknolojisi** sayesinde öndeki araçların mesafesini, hızını ve konumunu yüksek doğrulukla belirler; aynı anda birden fazla hedefi takip edebilir.

Radarın sis, yağmur ve kar gibi zorlu hava koşullarında dahi kararlı çalışması, metrobüs hattı için kritik bir güvenlik avantajı sağlar.

4D Radar, **0,2** metreden **300** metreye kadar mesafeyi algılayabilir.



4D RADAR

1. Distance
2. Direction
3. Depth
4. Doppler

Ultrasonik Sensör

Ultrasonik sensörler, ses dalgaları kullanarak aracın yakın çevresindeki nesne ve yayaları milimetre hassasiyetiyle algılayan, güvenli manevra ve kalkış desteği sağlayan bir sistemdir.

- **Ses Dalgaları ile Ölçüm:** Mesafe ölçümü ses dalgaları kullanılarak yapılmaktadır.
- **Hassas Algılama:** Nesneler milimetre hassasiyetinde algılanarak güvenli kalkış sağlanır.
- **Kör Nokta Tespiti:** Durak yaklaşımlarında ve kör noktalardaki yayalar veya engeller tespit edilir.
- **Park Desteği:** Araç parkı sırasında hassas mesafe kontrolü sunulur.
- **Algılama Menzili:** Sistem 2 metre mesafeye kadar algılama yapabilmektedir.



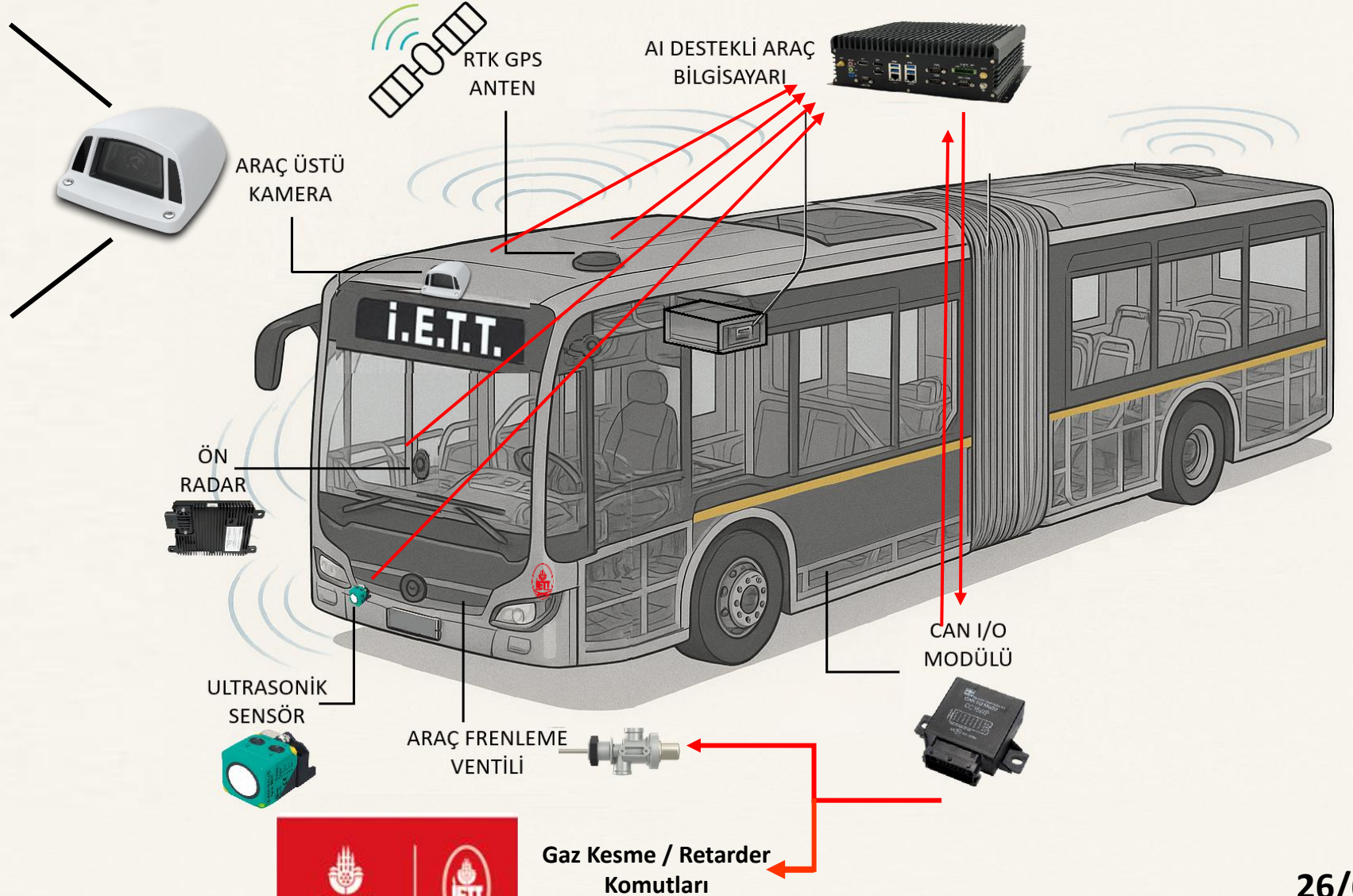
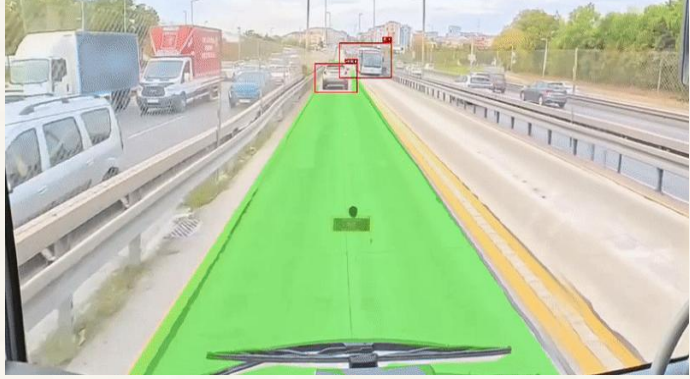
Tümleşik Anten

Tümleşik Anten, aracın tüm haberleşme altyapısını tek bir kompakt yapıda toplayarak; **5G, Wi-Fi/Bluetooth, V2X, RTK-GNSS** teknolojileriyle dış dünya ile **kesintisiz ve yüksek hızlı** veri transferini sağlar.

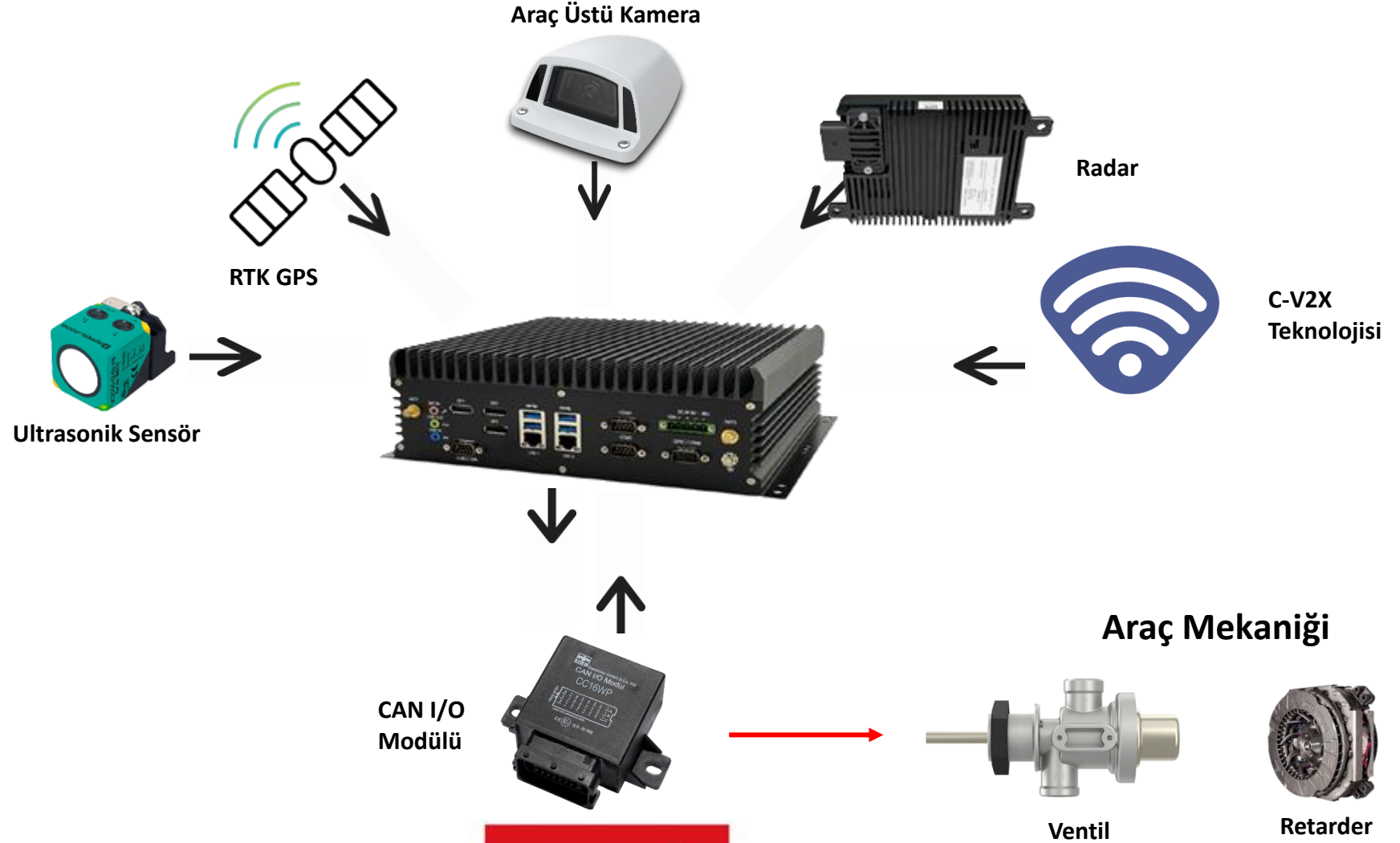
- 2x V2X
- 1x Wi-Fi6 / Bluetooth
- 2x 5G
- 1x RTK-GNSS



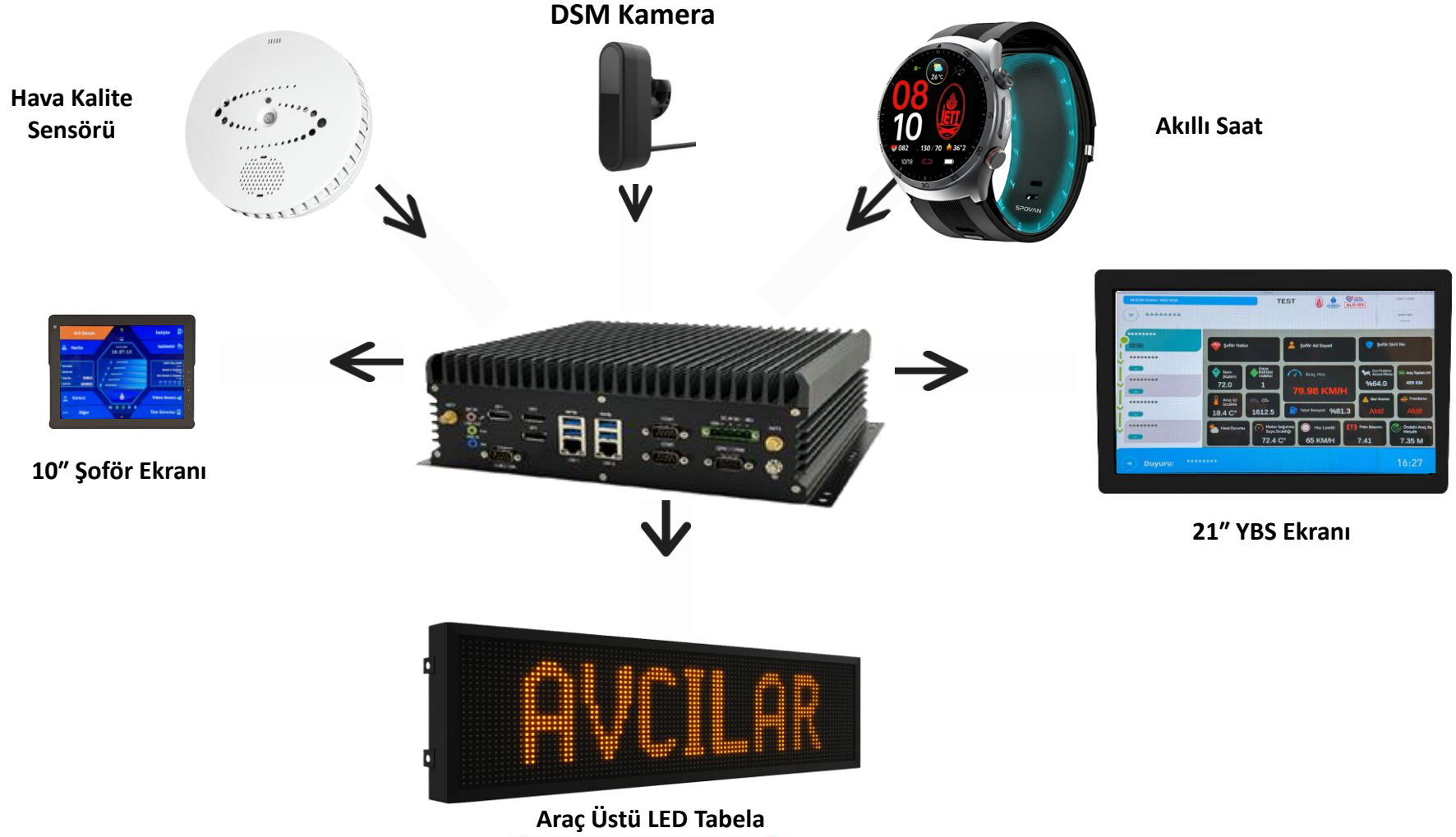
ARAÇ ÜSTÜ EKİPMAN TOPOLOJİSİ



TEKNOLOJİK ALTYAPI VE SİSTEM MİMARİSİ



TEKNOLOJİK ALTYAPI VE SİSTEM MİMARİSİ



TEKNOLOJİK ALTYAPI VE SİSTEM MİMARİSİ

Adaptif Sensör Füzyonu

Sistem, farklı çevresel ve operasyonel koşullarda sensör ağırlıklarını dinamik ayarlayarak tek bir sensörün zayıflamasının kör noktaya yol açmasını önler; her durumda en güvenilir sensörleri öne çıkarıp kesintisiz ve yedekli güvenlik sağlar.

Mesafe Aralığı	Ana Sensörler	Güçlü Yön	Kritik Rol
50m - 100m	V2X + RTK + Radar	Mesafe/Hız ölçümü, görsel sınıflandırma	Çarpışma risk algısı ve uyarı
0m - 50m	V2X + RTK + Radar + Kamera	Yaya, trafik ışığı, durağan engel tespiti, fren tetiklemesi için ek veri	Görsel sınıflandırma ve yaya tespiti
0m - 5m	Ultrasonik + RTK + Araç İçi Ön Kamera	Kısa menzilde insan/engel tespiti, durak manevra güvenliği	Fren tetiklemesi

Koşul	Kamera	Radar	RTK-GNSS	ArUco Markers
☀️ Açık Hava	★★★★★	★★★	★★★★★	★★
🌫️ Sis	★	★★★★★	★★★	★★
🌧️ Yağmur	★★★	★★★★★	★★★	★★★★
🌙 Gece	★★★	★★★★★	★★★★★	★★★
🌉 Köprü Altı/Tünel	★★★	★★★★★	★★	★★★★★

Güneşli



Bulutlu



Yağmurlu



Kentsel Kanyon



Gece/Tünel



Kamera	✓✓✓✓✓
Radar	✓✓✓
RTK	✓✓✓✓✓
ArUco	✓✓

Kamera	✓
Radar	✓✓✓✓✓
RTK	✓✓✓
ArUco	✓✓

Kamera	✓✓✓
Radar	✓✓✓✓✓
RTK	✓✓✓
ArUco	✓✓✓

Kamera	✓✓✓
Radar	✓✓✓✓✓
RTK	✓✓
ArUco	✓✓✓✓✓

Kamera	✓✓✓
Radar	✓✓✓✓✓
RTK	✓✓✓✓✓
ArUco	✓✓✓



TEKNOLOJİK ALTYAPI VE SİSTEM MİMARİSİ

Mesafe Bazlı Sensör Mimarisi

Bu adaptif yapı sayesinde, tek bir sensörün zayıflaması sistemin kör olmasına neden olmaz.

Sistem, o anki koşula ve mesafeye göre en güvenilir sensörlere dinamik olarak ağırlık verir.

Bu, her koşulda kesintisiz ve yedekli güvenlik sağlar.



TEKNOLOJİK ALTYAPI VE SİSTEM MİMARİSİ

ArUco

ArUco, sistemde araç üstü kamera ile birlikte çalışarak hassas konum verilerinin kesintisiz korunmasına yardımcı olan bir görsel konumlandırma teknolojisidir. Her biri benzersiz kimliğe sahip bu işaretçiler; tünel, garaj ve GNSS sinyalinin zayıfladığı kritik noktalara yerleştirilerek sistemin bu bölgelerde ek konum referansı üretmesini sağlar.

RTK-GNSS'in sinyal kaybı yaşadığı veya doğruluğun düştüğü durumlarda ArUco devreye girer; ön kameranın okuduğu bu etiketler sayesinde aracın konumu santimetre hassasiyetinde anında güncellenir. Böylece metrobüsün konum doğruluğu her koşulda kesintisiz ve güvenilir şekilde korunur.



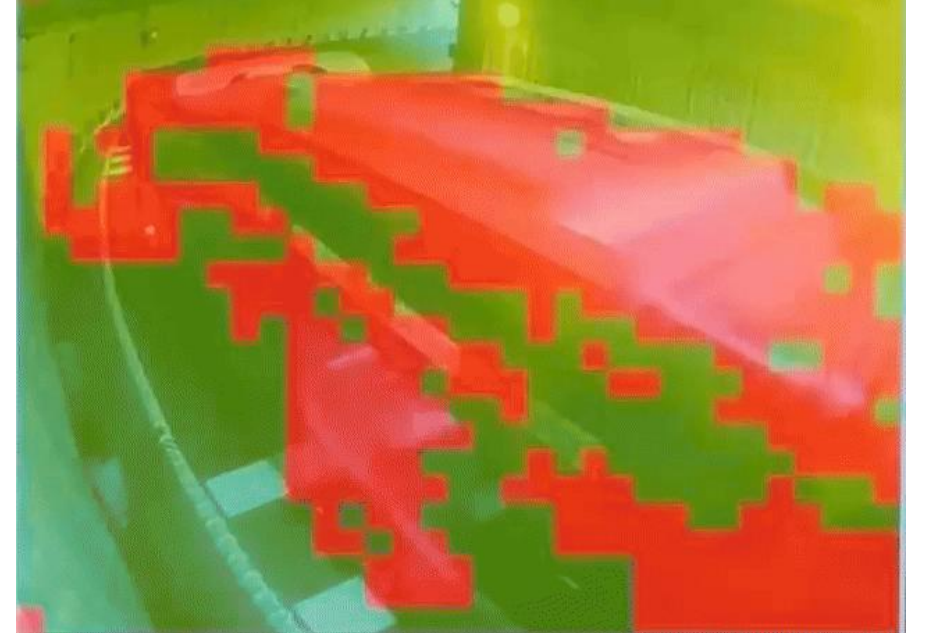
TEKNOLOJİK ALTYAPI VE SİSTEM MİMARİSİ

Sabit Kameralar ile Entegrasyon

Bu projede hat boyunca bulunan sabit kameraların sisteme entegre edilmesiyle özellikle tünel gibi düşük görüş alanlarında araç hareketleri daha güvenilir şekilde izlenebilecektir. Sabit kameralar, araç üzerindeki radar, kamera ve RTK verilerini tamamlayarak görüşün kaybolduğu noktalarda ek bir güvenlik katmanını sağlayacaktır.

Bu sayede tünel içinde bekleyen araçlar, ani yoğunluklar veya riskli duruşlar merkez tarafından gerçek zamanlı olarak tespit edilebilir. Sabit kamera görüntülerinin yapay zekâ ile analiz edilmesi, olası kaza ve tıkanma senaryolarının erken algılanmasını mümkün kılarak hat güvenliğini önemli ölçüde artıracaktır.

Edirnekapı Tüneli



Hava Kalite Sensörü

Araç bilgisayarıyla entegre çalışan çok fonksiyonlu hava kalite sensörü, metrobüs içinde yalnızca hava kalitesini değil, operasyonel güvenliği de izleyen bütünleşik bir sensör olarak görev yapar.

Sensör; **CO₂, partikül madde, sıcaklık ve nem ölçümleriyle** seyahat ortamını izlerken, ses analizi yetenekleri sayesinde kavga, arbede, yüksek gürültü ve saldırganlık gibi anormal durumları gerçek zamanlı olarak tespit eder.

Sigara kullanımını ve dumanı algılayarak sistem üzerinden anlık uyarı verebilir.



TEKNOLOJİK ALTYAPI VE SİSTEM MİMARİSİ

Akıllı Saat Entegrasyonu

Her sürücüye özel tanımlanan akıllı saatler, araç bilgisayarına bluetooth ile bağlanarak sürücü kimliğini otomatik olarak doğrular; böylece araca binış anında **sürücü atama, hat ve vardiya takibi süreçleri** dijital ve güvenli şekilde gerçekleştirilir.

- **Otomatik Kimlik Doğrulama:** Bluetooth bağlantısı ile sürücü kimliği anında doğrulanarak atama ve vardiya takibi otomatikleştirilir.
- **Sağlık ve Stres Takibi:** Anormal nabız veya stres artışı gibi sağlık riskleri tespit edildiğinde sürücü uyarılır.
- **Çift Yönlü Haberleşme:** Yerleşik mikrofon ve hoparlör sayesinde merkez ile interkom benzeri sesli iletişim sağlanır.
- **Merkezi İzleme:** Sürücü sağlık durumu, kimlik verileri ve acil durum iletileri merkez tarafından anlık olarak takip edilir.



Sağlık Verileri

- Nabız Ölçümü
- Kandaki Oksijen Seviyesi
- Stres Seviyesi
- Kan Şekeri
- Tansiyon

TEST SÜRECİ VE PİLOT UYGULAMALAR

Peron Yaklaşım Senaryosu

Durum: Metrobüs aracı hat üzerinde ilerlerken istasyona 150 metre kala hızla yaklaşmaktadır.

Kural: Peron alanında hız sınırı **30km/s**'dir.

- Araçta bulunan Rover RTK, Station'dan aldığı düzeltme verisi ile konumunu hesaplar.
- Araç PC, kamera verilerini bu konumla karşılaştırarak "Durak Alanına Giriş" durumunu tanımlar.
- Araç bilgisayarı CAN I/O modülüne "Yavaşlama Komutu" gönderir.
- CAN I/O modülü PWM çıkışlarını aktif hale getirir ve ventil bağlantısını tetikler.→ Gaz kesme ve fren sistemi kademeli olarak devreye girer.
- Metrobüs Peron alanında hız otonom olarak **30 km/s** seviyesine düşer.



TEST SÜRECİ VE PİLOT UYGULAMALAR

DSM, Şerit Takibi ve Sürücü Sağlık İzleme Senaryosu

Durum: Araç seyir halindeyken sürücüde uykusuzluk belirtileri ve şerit dışına çıkma eğilimleri görülmektedir.

- **DSM kamera** uykusuzluk, dikkat dağınıklığı, esneme ve telefon kullanımı gibi durumları algılar. Bu bilgiler araç bilgisayarına gönderilir
- **Araç bilgisayarı** DSM verisini RTK konumu ve ön kamera görüntüsüyle birlikte değerlendirir. Şeritten çıkma riskini hesaplar.
- **Risk görülürse** sistem sürücüyü hemen uyarır. Uyarılar sesli, görsel ve titreşimli şekilde verilir.

Hız yönetimi

- İlk Alarmda: Sadece uyarı verilir.
- Alarm Devam Ederse: Araç hızı otomatik olarak 10 km/s düşürülür.
- Sonraki Her Alarmda: Hız her seferinde 10 km/s daha düşürülür.
- Bir Dakika Alarm Gelmezse: Hız limiti kademeli olarak artırılır. Araç normal hat hız sınırına geri döner.

Bu süreçte DSM, RTK, kamera ve varsa akıllı saatten gelen sürücü verileri birlikte değerlendirilir. Sistem en güvenli aksiyonu otomatik uygular.



TEST SÜRECİ VE PİLOT UYGULAMALAR

Araçlar Arası Hıza Bağlı Takip Mesafesinin Korunması

Durum: İki araç arasında mesafe azalmakta ve arkadaki araç hızlanmaktadır.

- Her iki araç, aynı Station **RTK+V2X** referansına bağlı olarak konumlarını hesaplar. Tünel gibi konum sinyallerinin zayıfladığı durumda ise kamera ve radar devreye girer.
- Araçlar arası konum farkı **V2X** üzerinden merkeze aktarılır.
- Sistem **hat eğimi, fren eğilimi, mesafe ve hız verilerini** saniyede 10 defa veri yenileme oranıyla anlık mesafe değişimini takip eder.
- Öndeki araç frenleme yaptığı anda, arkadaki araç 200 ms içinde aynı fren komutunu otomatik olarak uygular.
- Böylece öndeki araç ani fren yaptığı anda çarpışma riski Minimuma indirilerek araçlar arası takip mesafesi korunur.



METROBÜS HATTI KAZA TÜRLERİ

KAZA TÜRLERİ ;

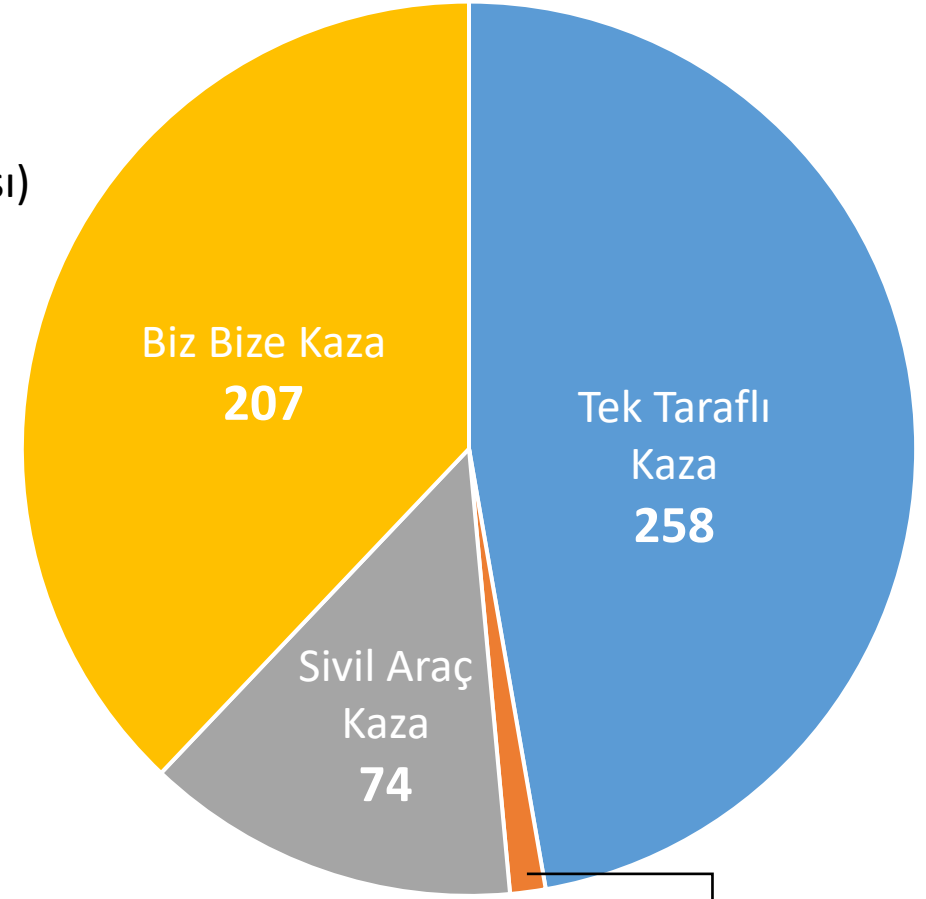
Metrobüs hattı ve garajlarda son **1 yıllık** (Kasım 2024- Kasım 2025 arası) dönemde toplam **546** kaza meydana gelmiştir.

546 adet kaza,

- ❑ **258** adet Tek Taraflı Kaza
- ❑ **207** adet Biz Bize Kaza
- ❑ **74** adet Sivil Araç Kazası
- ❑ **7** adet Görevli Araç (Vinç, Ambulans, Yüklenici Firmalar)

Şeklindedir.

TOPLAM 546 KAZA



Görevli Araç Kaza
7

METROBÜS HATTI KAZA LOKASYONLARI

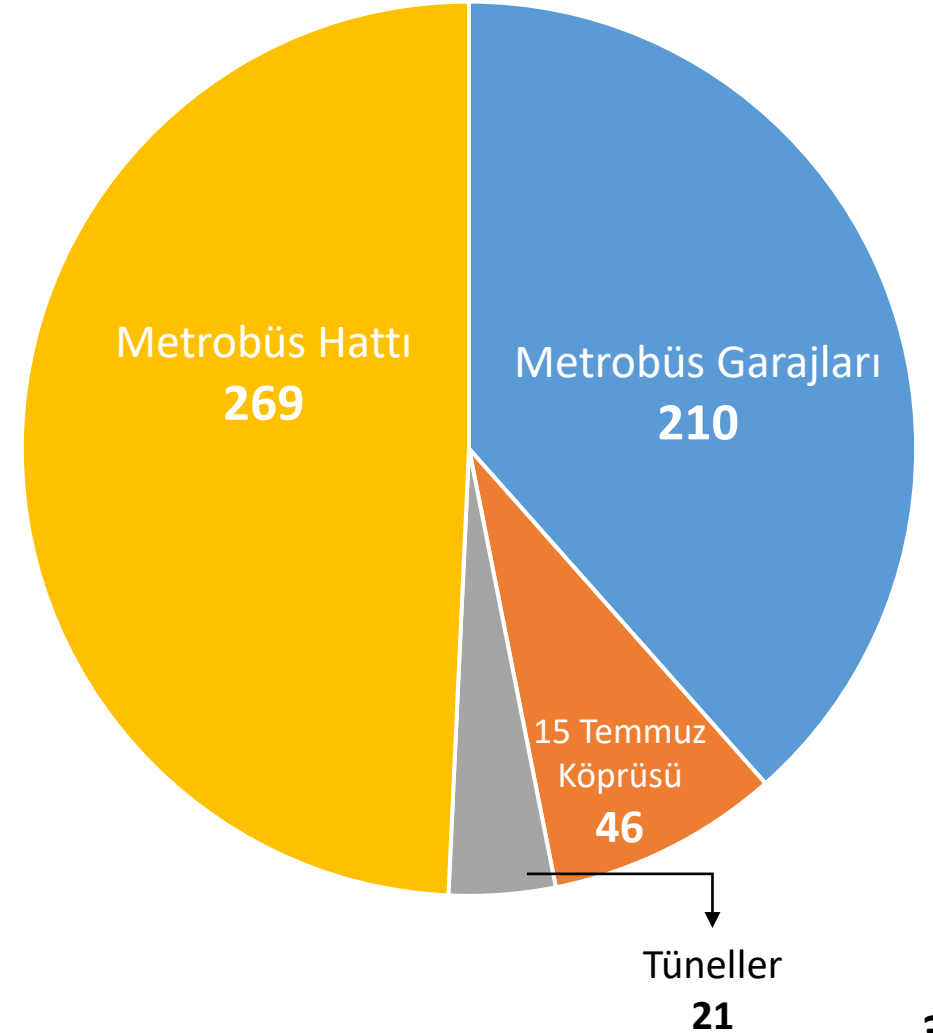
KAZA LOKASYONLARI ;

546 adet kaza **lokasyon** olarak,

- ❑ 210 adet Garajlarda
- ❑ 46 adet 15 Temmuz Şehitler Köprüsü
- ❑ 21 adet Tüneller
- ❑ 269 adet Metrobüs Hattı

Lokasyonlarında meydana gelmiştir.

TOPLAM 546 KAZA

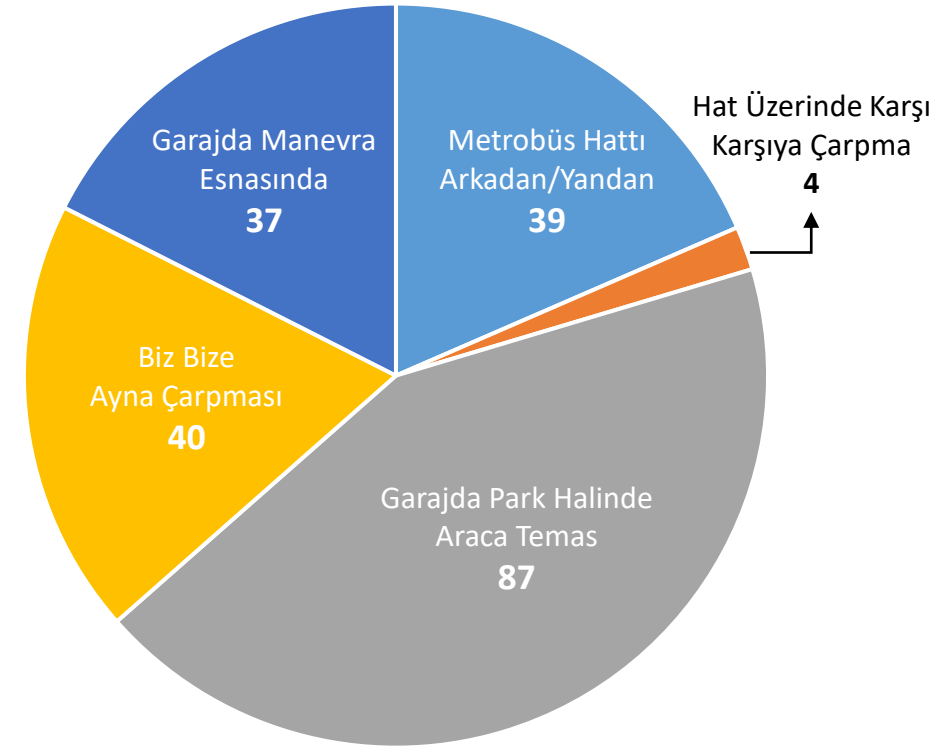


METROBÜS HATTI BİZ BİZE KAZALAR

Bu kazalardan **207** tanesi **biz bize** (metrobüs-metrobüs) kazası olup,

- **39** tane metrobüs hattı üzerinde arkadan/yandan çarpma,
- **4** tane metrobüs hattı üzerinde karşıdan çarpma,
- **87** adet garaj alanında park halindeki araca temas,
- **40** adet ayna çarpması,
- **37** adet manevra esnasında iki metrobüsün çarpışması şeklindedir.

207 Biz Bize Kaza



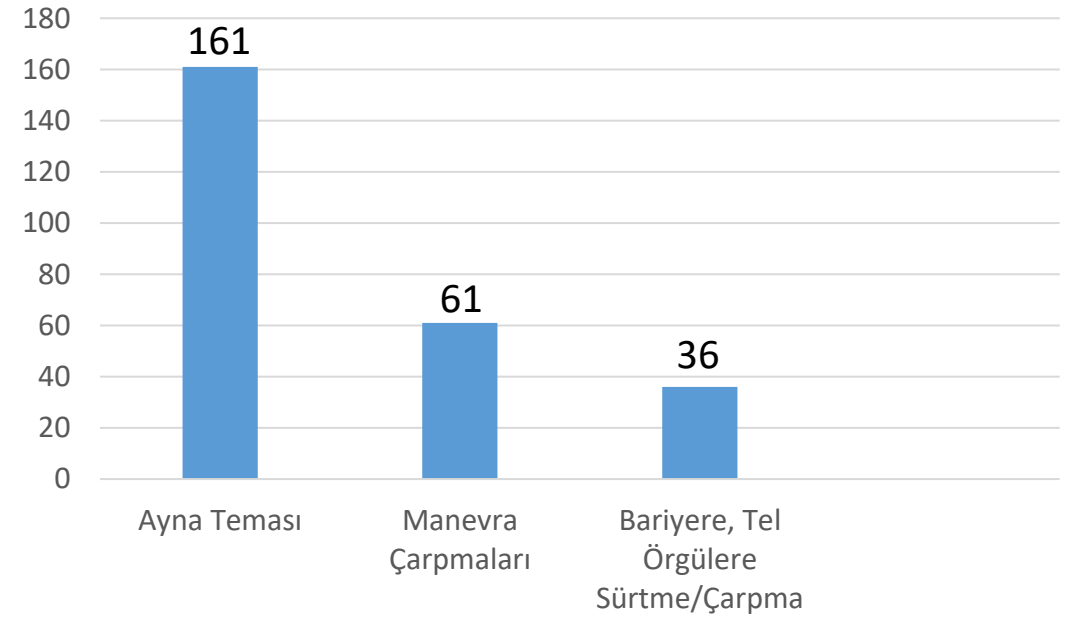
METROBÜS HATTI TEK TARAFLI KAZALAR

546 kazanın **258'i tek taraflı** olarak gerçekleşmiştir.

Bu kazalar büyük ölçüde, ayna teması ile manevra esnasında aracın çevresindeki yapı ve engellere çarpma/sürtme şeklinde ortaya çıkmaktadır.

Kurulması planlanan sistem, radar ve kamera tabanlı teknolojiler sayesinde, özellikle maddi hasar boyutu yüksek olabilecek bu tür tek taraflı kazaların önemli bir kısmını önceden algılayarak engelleyebilecek potansiyele sahiptir.

258 Tek Taraflı Kaza



METROBÜS HATTI KAZA VERİLERİ

Bu kaza türleri ve kaza esnasında araç hızı esas alınarak iki farklı güvenlik sistemi devreye girmektedir:

FCWS (Ön Çarpışma Uyarı Sistemi): Sürücüyü çarpışma riski oluşmadan önce sesli/görsel olarak uyarır.

AEB (Otomatik Acil Fren Sistemi): Çarpışma kaçınılmaz hâle geldiğinde aracı otomatik olarak frenler.

Metrobüs hattında, yani yüksek hız modunda, **FCWS+AEB** birlikte çalışarak hem uyarı hem de acil frenleme fonksiyonunu devreye alır.

Düşük hız (manevra) modunda, özellikle garaj ve istif alanlarında ise hassaslaştırılmış AEB sistemi tek başına çalışarak aracı doğrudan otomatik olarak durdurur.

METROBÜS HATTI KAZA VERİLERİ

ÖNLEME ORANI **YÜKSEK** KAZALAR

Son 1 yıllık döneme ait **207 adet** “biz-bize” metrobüs kaza türü analiz edilmiştir.

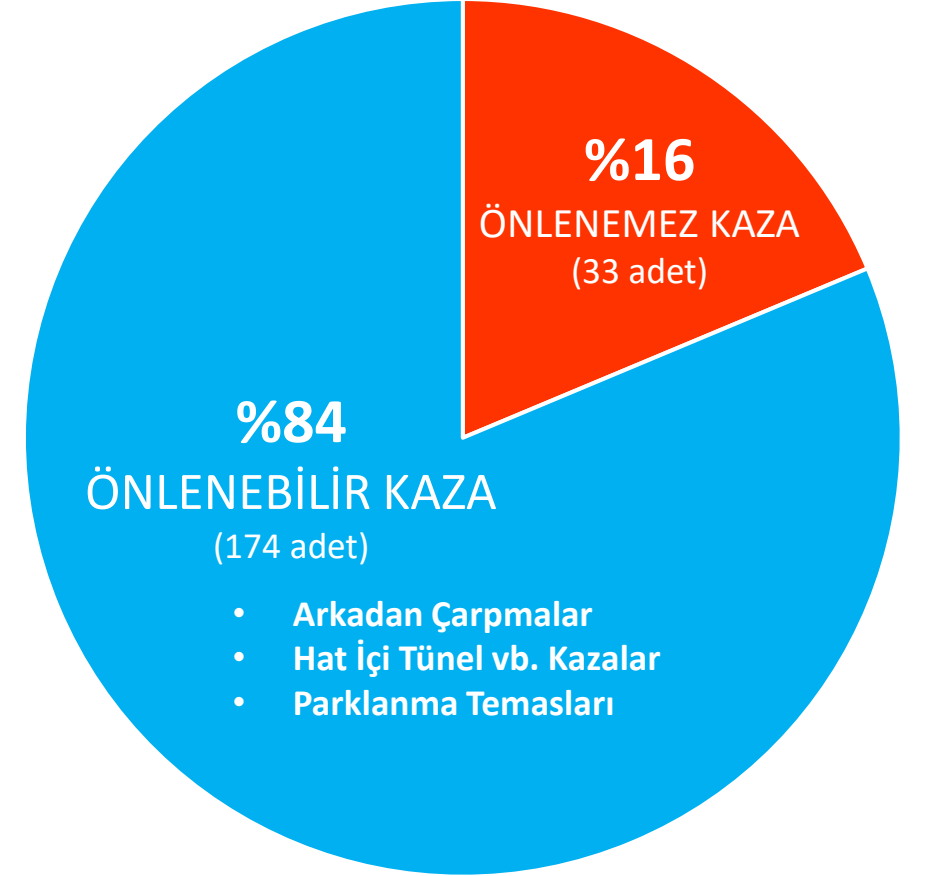
Yapılan inceleme, **FCWS** ve **AEB** sistemlerinin aktif olarak kullanıldığı senaryolarda bu kazaların **yaklaşık %84’ünün önlenabilir** olduğunu göstermektedir.

Kalan **yaklaşık %16’lık** bölüm ise sistemlerin kapsama alanı dışında kalan veya müdahalesi sınırlı olan durumlarda meydana gelmektedir.

Bu gruptaki kazaların başlıca nedenleri:

- **Öngörülemeyen kör nokta kaynaklı çarpışmalar**
- **Ayna temasları**
- **Dar manevra alanlarında sürtme/temas olayları**

Bu bulgular, **FCWS** ve **AEB**’nin etkin kullanımının, “biz-bize” metrobüs kazalarında belirgin bir risk azaltımı sağlayacağını ortaya koymaktadır.



METROBÜS HATTI KAZA VERİLERİ ÖNLEME ORANI **DÜŞÜK** KAZALAR

Son 1 yıllık döneme ait **339 adet** “tek taraflı” ve “sivil ve görevli araç” metrobüs kaza türleri analiz edilmiştir.

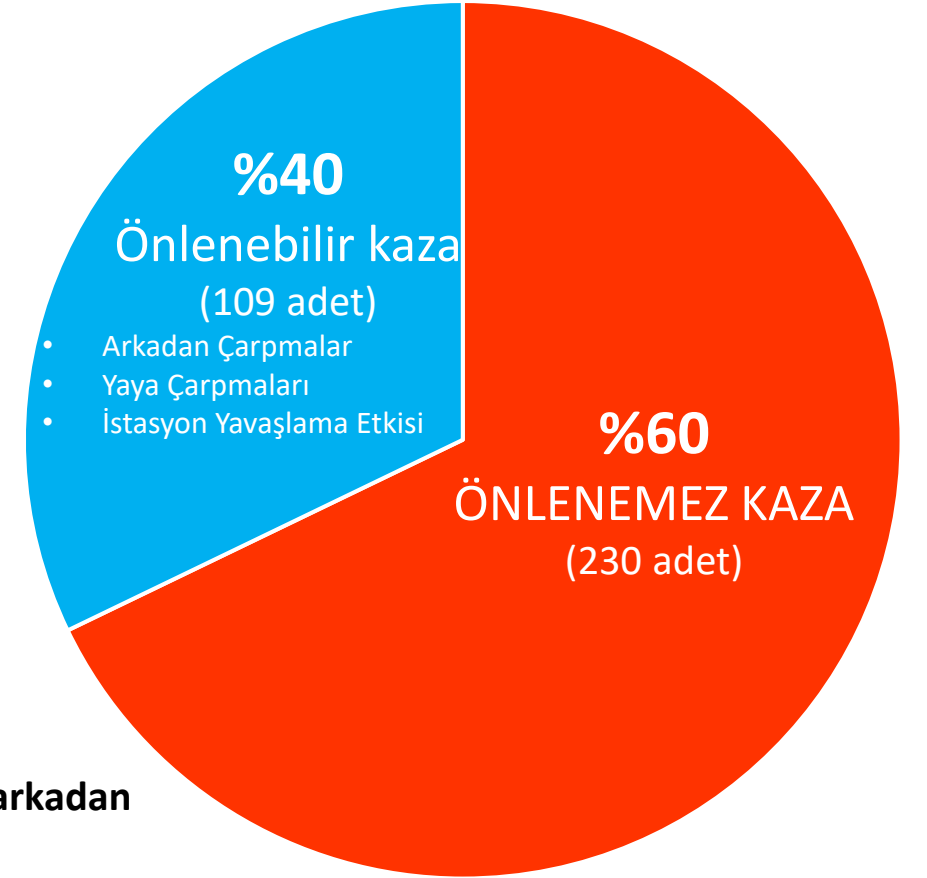
Yapılan inceleme, **FCWS** ve **AEB** sistemlerinin aktif olarak kullanıldığı senaryolarda bu kazaların **yaklaşık %40’ı önlenabilir** olduğunu göstermektedir.

Kalan **yaklaşık %60’lık** bölüm ise sistemlerin kapsama alanı dışında kalan veya müdahalesi sınırlı olan durumlarda meydana gelmektedir.

Bu gruptaki kazaların başlıca nedenleri:

- **15 Temmuz Köprüsü-Hasanpaşa Sivil Araç Kazaları**
- **Bariyer ve Tel Örgülere Sürtme**
- **Ayna temasları**
- **Manevra Esnasında Ağaca, Duvara Çarpma/Sürtme**

Bu bulgulara, metrobüs kazalarının büyük kısmının **FCWS/AEB’nin** en etkili olduğu **arkadan çarpışma** senaryoları yerine **yan/çevresel temas, düşük hız manevraları, kör nokta/algılama sınırları** ve **operasyonel kısıtlar** içeren, sistemin müdahale kabiliyetinin sınırlı olduğu durumlarda gerçekleşmesidir.



ÖNLENEMEYEN KAZA ÖRNEKLERİ

Garaj İçi Manevra Kazaları

207 Biz Bize kazanın **40'**ı, garaj içi parklanma sırasında veya istif alanlarında **dar manevra** bölgelerinde meydana gelen sürtme ve ayna çarpması kaynaklıdır.

Bu tür kazalar, temasın çok düşük hızda ve aynanın araç dış yüzeyinde bulunması nedeniyle, geliştirilen sistemler tarafından **önlenbilir nitelikte değildir.**



ÖNLENEMEYEN KAZA ÖRNEKLERİ

15 Temmuz Şehitler Köprüsü Kazaları

Ayrıca toplam **546** kazanın **46'sı**, **15 Temmuz Şehitler Köprüsü** bağlantı yolunda sivil araçlarla gerçekleşmiştir. Bu bölge, metrobüs hattı dışında kaldığından; yoğun dış etkenler, trafik akışının karmaşık yapısı ve karşı tarafta RTK veya benzeri güvenlik sistemlerinin bulunmaması, **bu kazalarda önleme oranını düşürmektedir.**



GEÇMİŞ METROBÜS KAZALARI

10.05.2025 tarihinde meydana gelen kazada, ilgili aracın metrobüs istasyonuna **48 km/s** hızla giriş yaptığı tespit edilmiştir.

Sistemimizin aktif olduğu bir senaryoda, araç RTK tabanlı konum verileri doğrultusunda istasyona 150 metre kala kontrollü bir şekilde yavaşlamaya başlayacak ve istasyon giriş noktasında hızı otomatik olarak **30 km/s** seviyesinde sınırlandırılacaktır.

Bu hızda ilerleyen araç, önünde duran aracı radar ve kamera verileriyle algılayarak sürücüyü zamanında uyaracaktır. Sürücüden herhangi bir tepki alınmaması durumunda ise sistem **otonom frenleme gerçekleştirerek kazanın etkisini önemli ölçüde azaltacak veya tamamen önleyecektir.**



GEÇMİŞ METROBÜS KAZALARI

13.11.2025 tarihinde **Cevizlibağ** istasyonunda meydana gelen kaza özelinde, araç +50km/s hız ile hatta ilerlemektedir.

Sistemimizin aktif olduğu bir senaryoda araç; RTK tabanlı konum verileri sayesinde istasyona giriş yapmadan önce kontrollü şekilde yavaşlamaya başlayacak ve giriş noktasında hızı otomatik olarak **30 km/s** seviyesine düşecektir.

Peron sonuna kadar bu hız limitinde ilerleyen araç, **çarpma etkisini önemli ölçüde azaltacak veya tamamen önleyecektir.**



GEÇMİŞ METROBÜS KAZALARI

29.08.2024 tarihinde, metrobüs hattı içerisinde duraklama yapan görevli araca çarpmamak için yapılan ani manevra sonucu bir kaza meydana gelmiştir

Sistemimizin aktif olduğu bir senaryoda, **RTK, kamera ve radar sensör füzyonu**, hat üzerindeki bu durağan engeli çok daha uzun mesafeden algılayarak sürücüyü zamanında uyaracaktır.

Sürücüden herhangi bir tepki alınmaması durumunda ise sistem otonom frenleme gerçekleştirerek **kazanın etkisini önemli ölçüde azaltacak veya tamamen önleyecektir.**



GEÇMİŞ METROBÜS KAZALARI

26.12.2024'te **Edirnekapı Garajı**'nda yaşanan kazada, sürücü aracı durdurduktan sonra kontrol kaybı nedeniyle araç istem dışı olarak hareket etmiş ve öndeki araca çarpmıştır.

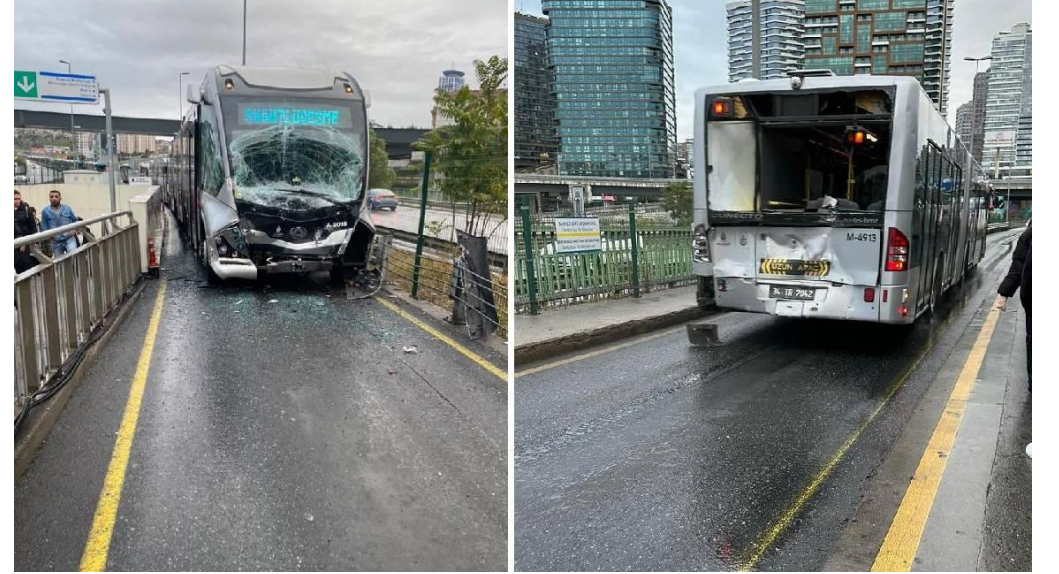
Sistemimizin aktif olduğu bir durumda ise; **kamera, radar ve ultrasonik sensörler**, aracın öndeki araca hızla yaklaştığını veya güvenli mesafenin aşıldığını anında tespit edecek, bu durumu çarpışma riski olarak değerlendirerek sürücünün müdahalesini beklemeden **otomatik frenleme yapacak ve kazayı tamamen önleyecektir**.



METROBÜS KAZA MALİYETLERİ

Son bir yıllık kaza kayıtları ve maliyet analizleri incelendiğinde, arkadan çarpma şeklinde gerçekleşen bir metrobüs kazasının kaza başına ortalama **milyonlarca liralara bulan onarım maliyeti** oluşturduğu görülmektedir.

Güvenli Sürüş Destek Sistemi'nin devreye alınmasıyla, özellikle istasyon içi çarpışmalar ve araç–araç temasları gibi yüksek maliyetli kazaların **önemli ölçüde azaltılması hedeflenmektedir.**

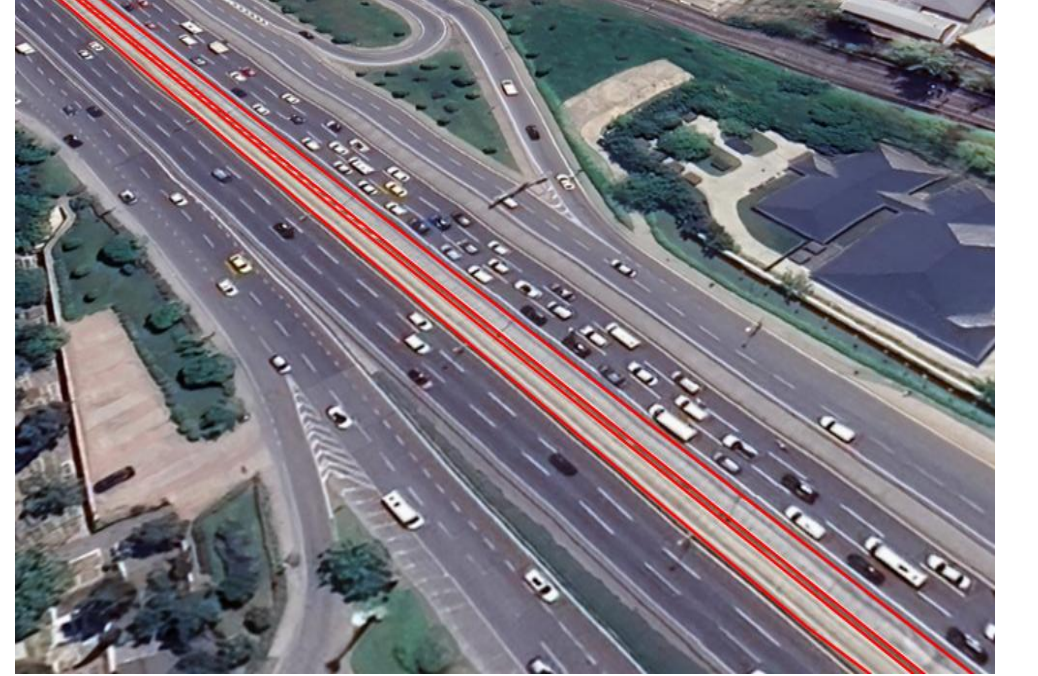


3D HAT MODELİ & SÜRÜCÜ EĞİTİMİ

Sistem; RTK'nın sağladığı yüksek hassasiyetli konum ve irtifa verilerini, kamera tabanlı şerit geometrisi ve radarın derinlik algısıyla birleştirerek metrobüs **hattının üç boyutlu topoğrafik dijital modelini** oluşturmaktadır.

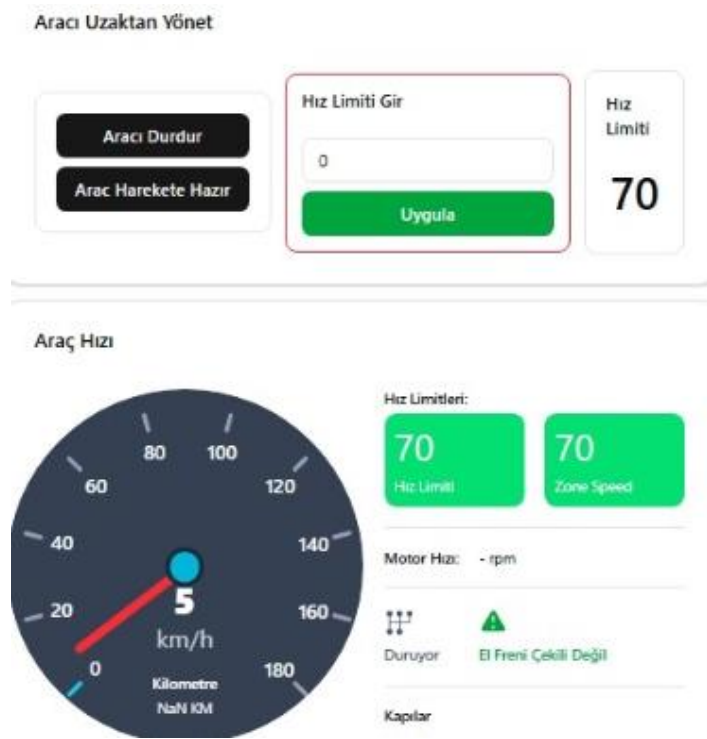
Böylece yolun **eğim, rampa ve viraj** detayları santimetre seviyesinde çıkarılarak hattın gerçek fiziksel karakteristiği tam olarak temsil edilir.

Bu kapsamlı **3D model**, sürücü eğitimlerinde yalnızca konumun değil, gerçek çevresel koşulların da simüle edilmesini sağlar. Zorlayıcı bölümlerin önceden tanınması, sürüş stratejilerinin geliştirilmesi ve senaryo tabanlı geri bildirimlerin üretilmesiyle, eğitim süreçlerine güçlü ve veriye dayalı bir altyapı sunar.



MERKEZİ ACİL MÜDAHALE

Acil durum senaryolarında, merkezdeki yetkili kullanıcılar tek bir komutla tüm metrobüs filosunu güvenli şekilde durdurabilir. Bu mekanizma hem web tabanlı kontrol paneli üzerinden hem de fiziksel acil durdurma butonlarıyla devreye alınabilir. Bu yapı, hat genelinde hızlı müdahale imkânı sağlayarak operasyonel güvenliği önemli ölçüde artırır.



Metrobüs Güvenli Sürüş Destek & Kontrol Sistemi

Komuta Merkezi - Yetkili: Mehmet Yılmaz 12:00:38

SİSTEM PASİF - FİLO SEYİR HALİNDE

ACİL DURDURMA

DİKKAT: Bu butona basıldığında, hat üzerindeki tüm araçlara "GÜVENLİ DURUŞ" komutu gönderilir. Eylem geri alınamaz.

TÜM FİLOYU DURDUR?

Bu işlem, aktif olan **705** aracın tamamına acil durdurma sinyali gönderecektir.

Bu işlem sadece doğal afet, terör şüphesi veya majör hat güvenliği sorunu durumunda kullanılmalıdır.

Onaylıyor musunuz?

İPTAL

ONAYLA VE DURDUR

DÜNYADAN ÖRNEKLER

Hitachi HORA

Hitachi HORA ADAS sistemi, **Napoli**'deki mevcut filodan seçilen bir pilot tramvaya entegre edilmiştir. Sistem; Kamera, Lidar ve GNSS-INS gibi gelişmiş sensör teknolojileriyle, karmaşık kentsel senaryolarında dahi otonom tespit ve uyarı çözümleri sunmaktadır.



Napoli'de HORA test tramvayı

Araştırmalarımıza göre, Dünya genelinde bu sistemlerde %30'a varan kaza azalımı hedeflenmektedir. Benzer sistemlerin uygulandığı tramvay hatlarında elde edilen bu kaza azalım oranına kıyasla, kapalı hat yapısına sahip **metrobüs sistemimizde daha yüksek düzeyde güvenlik artışı hedeflenmektedir.**

Bosch TFCW

Bosch TFCW sistemi, **12 ülke ve 50'den fazla şehirde** mevcut tramvay filolarına sonradan entegre edilen bir sürücü destek sistemidir. Sistem, kamera ve radar sensör füzyonunu kullanmaktadır. Bu teknoloji, çarpışma uyarısına ek olarak tam otomatik acil frenleme (AEB) kabiliyeti sunar.



Polonya'nın Lodz şehrinde TFCW entegre tramvay

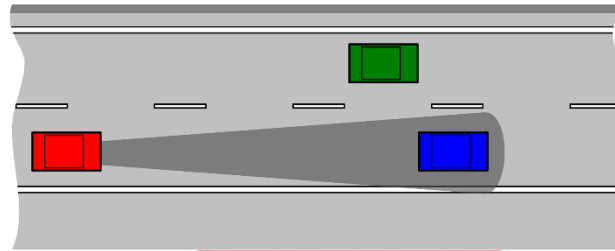
YASAL MEVZUATLAR

Önden Çarpışma Uyarı Sistemi (FCW)

Önden Çarpışma Uyarı Sisteminin en önemli avantajı, **AB** ve **UNECE** nezdinde "sürücü bilgilendirme sistemi" olarak kabul edilmesidir. Bu sınıflandırma sayesinde, sistemin mevcut metrobüs filosuna entegrasyonu için özel bir Tip Onayı **izni gerekmekte**, yalnızca ilgili kalite standartlarına uyum yeterli olmaktadır.

Otonom Acil Frenleme Sistemi (AEB)

Otonom Acil Frenleme Sistemi, aracın fren sistemine doğrudan müdahale eden "güvenlik-kritik" bir sistemdir. Bu nedenle, metrobüslerimizin de dahil olduğu ağır vasıtalar uluslararası **UNECE R131 standardına** uymak zorundadır. Bu yasal zorunluluk, sistemin mevcut filomuza sonradan entegre edilmesi durumunda da geçerlidir ve kapsamlı bir sertifikasyon süreci gerektirmektedir.



YASAL MEVZUATLAR

Türkiye’de AEB sistemlerinin doğrulanması ve sertifikasyonu, TSE Araç Kontrol Merkezleri tarafından yürütülen kapsamlı test süreçlerini gerektirir. Bu süreç, ülkemizde **TSE’nin UNECE R131** standardı kapsamında yetkili otorite olarak sertifikasyon verebildiği anlamına gelmektedir. **R131** kapsamında **üç temel gereklilik** bulunmaktadır: sürücüye sesli uyarı, koltuk titreşimi ile uyarı ve otomatik frenleme fonksiyonları. Sistemimiz bu gerekliliklerden **ikisini** hâlihazırda karşılamakta olup, otomatik frenleme entegrasyonunun tamamlanmasıyla **tüm gereksinimler sağlanacaktır**.

Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, AEB’nin sonradan araca entegre edilmesi durumunda bu testleri yasal olarak zorunlu tutar ve nihai onay süreci yine Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı’nın ilgili birimleri tarafından tamamlanır. Fren sistemine müdahale içeren tadilatlarda son uygunluk kontrolü **TÜVTÜRK** tarafından yapılmaktadır. Bu bağımsız doğrulama adımları, sistemin hem güvenilirlik hem de mevzuat uyumluluğu açısından tam bir güvence altına alınmasını sağlamaktadır.



AR-GE DESTEK FONU

Metrobüs Güvenli Sürüş Destek ve Trafik Akış Yönetim Sistemi projesi, **tamamen yerli ve milli imkanlarla geliştirilmiş bir Ar-Ge projesidir**. Araştırma Geliştirme Projelerinin Desteklenmesine ilişkin Yönetmelik kapsamında Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı'na **fon desteği** için sunulmuştur.

Bu başvuru ile projenin toplam bütçesinin bir kısmının dış kaynaklarla karşılanması ve İETT'nin iç kaynak kullanımı üzerindeki yükün hafifletilmesi hedeflenmektedir. Bu doğrultuda, **12 milyon TL** tutarında destek talep edilerek, projenin finansal sürdürülebilirliği ve hayata geçiş süreci güvence altına alınması hedeflenmektedir.

AR-GE çalışmaları devam eden projemiz, bu süreçte **Türkiye Bilişim Derneği** tarafından da **inovasyon ve teknoloji** dalında ödüle layık görülmüştür.



YAKLAŞIK PROJE MALİYETİ

Araç bilgisayarı, filomuzun standart yenileme planı kapsamında proje dışında da tedarik edilmesi gereken bir donanımdır.

Proje kapsamında kullanılan araç bilgisayarı dışında RTK, C-V2X, radar, kamera ve ilgili sensör bileşenleriyle birlikte araç başına toplam **3000 \$'lık bir maliyet oluşturmaktadır.**

Böylece projeye ilişkin ek maliyet, **705 araç için** ileri seviye güvenlik ve iletişim bileşenlerinden kaynaklanan **2 milyon 115 bin dolardır.**

TEST SENARYOSU

EDİRNEKAPI
GARAJI



1 - AKILLI SAAT VE YBS

2 - ARAÇ DURDURMA SENARYOSU

3 - YAYA TESPİT SENARYOSU

5 - ÇARPIŞMA ÖNLEYİCİ

Cevizlibağ istasyonu çıkışında bekleyen araçla mesafe kapanırken arka çarpışma önleme sisteminin devreye girmesi.

4 - YOKUŞ HIZ SINIRLAMASI

Bayrampaşa-Topkapı-Cevizlibağ arasında sistemin yokuş aşağı 50km/s üzeri hızlanmayı engelleme fonksiyonu.



CEVİZLIBAĞ

6 - DSM İLE GAZ KESME

Cevizlibağ-Merter arasında DSM tarafından algılanan dikkat kaybı/uykululuk durumunda gaz kesme ve hız azaltma senaryosu.



7 - HIZ LİMİTLEME

Cevizlibağ-Merter arasında manuel hız limiti belirleme işlemi.



MERTER

8 - TAKİP MESAFESİ

Merter-Zeytinburnu aralığında iki araç arasında güvenli takip mesafesinin sistem tarafından otomatik olarak korunması.



EDİRNEKAPI
TÜNEL



1 - TÜNELDEN HATTA GİRİŞ

Tünel bölümüne girişte sistemin otomatik olarak 20 km/s hız limitine girmesi.

BAYRAMPAŞA
TOPKAPI
CEVİZLIBAĞ



2 - İSTASYON HIZ SINIRLAMASI

Peronlara yaklaşırken 30 km/s istasyon hız sınırının otomatik olarak uygulanması.

70
km/h

3 - HAT HIZ SINIRLAMASI

Bayrampaşa-Topkapı-Cevizlibağ arasında sistemin 70 km/s üzeri hızlanmayı engelleme fonksiyonu.

50
km/h

TEŞEKKÜRLER