GÜVEN VEREN TEKNOLOJİ

SAYI 117 / EKİM 2023

# aselsan DERGİ

ISSN 1300-2473

ASELSAN Türk Silahlı Kuvvetlerini Güçlendirme Vakfının bir kuruluşudur.

## ASELSAN RAYLI SİSTEMLER

## Birliktelik

Birliktelik değerimizin ASELSAN kültüründeki karşılığı:

- Her durumda birlikte sorumluluk üstleniriz.
- Birbirimizle her durumda dayanışma içinde oluruz.
- Ortamda bulunmayanın hakkını koruruz.
- Ekip amaçları için birbirimizi cesaretlendiririz.
- İş sonuçlarına katkı sağladığını düşündüğümüz davranışları takdir ederiz.
- Bölümler arası iş süreçlerinin uyumu için bilgiyi ve deneyimi paylaşır, iş birliği yaparız.
- Farklılıklara saygı gösterir, farklılıklardan sinerji yaratırız.

## Güven

Güven değerimizin ASELSAN kültüründeki karşılığı:

- Söylediğimizi yapar, yaptığımızı söyleriz.
- Açık, net ve şeffaf iletişim kurarız.
- Verdiğimiz sözleri tutarız.
- İşleri zamanında ve tam olarak teslim ederiz.
- Hatayı kimin yaptığına değil, sorunun çözümüne odaklanırız.

## Gelişim

Gelişim değerimizin ASELSAN kültüründeki karşılığı:

- Sürekli öğrenir ve kişisel gelişimimizin sorumluluğunu alırız.
- Potansiyelimizi zorlayıcı hedeflerle keşfeder ve geliştiririz.
- Gelişim için geri bildirim alırız ve yapıcı geri bildirim veririz.
- İç ve dış paydaşlarımızın gelişimine katkı sağlarız.

## Mükemmellik

Mükemmellik değerimizin ASELSAN kültüründeki karşılığı:

- Süreçlere uygun çalışır, süreçlerin etkinliğini sürekli izler ve iyileştirme önerileri sunarız.
- Kaynaklarımızı verimli kullanırız.
- Daha iyisi için bir işin nasıl yapılmayacağını değil nasıl yapılabileceğini konuşuruz.
- İşimizin izlenebilir, tekrar edilebilir olmasını sağlarız.
- Paydaşlarımızın ihtiyaç ve beklentilerini doğru analiz ve tespit eder, karşılıklı teyit ederiz.

## Yenilik

Yenilik değerimizin ASELSAN kültüründeki karşılığı:

- Rutini sorgular, yeni fikirler üretir, yaratıcı çözümler deneriz.
- Değişim ihtiyacını anlar, destekler ve değişime öncülük ederiz.
- Hata yapmaktan korkmayız ve hataları bir öğrenme fırsatı olarak görürüz.
- Bireylerin farklı fikirlerini ifade etmelerini destekleriz.
- Dünyadaki yenilikçi yaklaşımları takip eder, proaktif bir anlayışla işlerimize yansıtırız.

GÜCÜMÜZ DEĞERLERİMİZ

aselsan

# RAYLARDAKİ BAŞARI HİKAYEMİZ

**Ahmet AKYOL**
Genel Müdür

Türkiye'nin lider elektronik şirketi ASELSAN olarak denizlerin altından uzayın derinliklerine kadar kritik teknolojilerin olduğu her alanda özgün çözümler geliştiriyoruz. Haberleşme sistemleriyle başlayan serüvenimizi; ulaşım ve akıllı sistemler sektöründe hizmete sunduğumuz çözümlerle devam ettiriyoruz.

Bir ülkede özgün kabiliyetler olmadan, nitelikli ürünleri hayata geçirmeden milli sanayi hamlesini geliştiremeyeceğimizin farkındayız. Bu anlamda, ülkemizde gün geçtikçe gelişen demiryolu ulaşımında milli sistemlerin kullanılmasını önemli ve öncelikli görüyoruz.

Biliyorsunuz, 100'ncü yıldönümüne büyük bir coşkuyla eriştiğimiz cumhuriyetimizin ilk yıllarında demiryolu ağının devlet tarafından inşa edilerek işletilmesi kararlaştırıldı. Dönemin zor koşullarına rağmen Anadolu'yu baştan başa saran demiryolu hatlarının yapımı İkinci Dünya Savaşına kadar büyük bir hızla devam etti. 1923-1940 yılları arasında 3 bin 208 kilometrelik demiryolu hattı tamamlandı. Sonraki yıllarda karayoluna ağırlık verilmesinin etkisiyle demiryollarının taşımadaki ve yolcu sayısındaki oranı yüzde 5'lerin altına düştü.

2000'li yıllardan itibaren demiryollarına yeniden ciddi yatırımların yapıldığına şahit olduk. Bu dönemden sonra gelişmiş ülkelerin uygulamaları göz önüne alınarak, cumhuriyetin ilk yıllarında olduğu gibi topyekûn seferberlik başlatıldı. Kara trene aşina olan Türkiye, Yüksek Hızlı Trenle tanışırken demiryollarının ulaştırmadaki payı gün geçtikçe yükseldi.

Biz de ASELSAN olarak geliştirilecek milli sistemlerde üzerimize düşen sorumluluğu layıkıyla yerine getiriyoruz. Askeri alanda edindiğimiz tecrübeyle raylı araçlardaki cer sürücüleri, yardımcı güç üniteleri, cer motorları, tren kontrol yönetim sistemi, özgün çekiş sistemi gibi yurt dışına bağımlı olduğumuz sistemlerde özgün ve milli çözümler geliştiriyoruz. Bununla birlikte raylı sistemlerde kullanılan algoritma ve yazılımları ülkemize kazandırıyoruz.

Şirket olarak, özel sistemler ve yazılım gerektiren metro sinyalizasyonu alanında Türkiye'de bir ilki başarmanın da haklı gururunu yaşıyoruz. Türkiye'nin en büyük savunma kuruluşu olan ASELSAN, milli sinyalizasyon sistemiyle ülkemizi bu alanda sistem geliştiren beş ülkeden biri haline getirdi.

Diğer tüm sistemlerin en iyi özelliklerini taşıyan sürücüsüz Yeni Nesil Metro Sinyalizasyon Sistemi ile ülkemizi yurt dışına bağımlılıktan kurtardık. Yaptığımız çalışmalarla demiryollarını en son teknolojiyle geliştirdiğimiz ASELSAN'ın milli sistemleriyle donattık.

Dergimizin bu sayısını da ASELSAN'ın raylı sistem yolculuğunda kat ettiği mesafeye ayırdık. Dergimizde 1800'lü yıllarda kara tren olarak bilinen buharlı trenle tanışan Anadolu'nun binlerce kilometreyi bulan demiryolu ağının gelişimini okuma fırsatı bulacaksınız. ASELSAN'ın raylı sistemler konusundaki engin tecrübesini işlediğimiz bu sayımızın, yıllarca başucunuzda yer alacak kıymetli bir kaynak olacağına inanıyorum.

ASELSAN olarak demiryollarımızda gelecek dönemde de yeni başarı hikayeleri yazacağız. Demiryolu sektöründe yurt dışı bağımlılığını azaltmak, yerli ve milli çözümler sağlamak için raylara ASELSAN imzasını atmayı sürdüreceğiz. 167 yıl önce dışa bağımlılıkla başlayan, son yıllarda milli sistemlerimizle taçlanan raylardaki başarı hikayemizi işlediğimiz dergimizi keyifle okumanızı diliyorum. Bir sonraki sayımızda yeniden buluşmak üzere...

aselsan DERGİ

ISSN 1300-2473
YIL: 36, EKİM 2023, SAYI: 117

**ASELSAN Elektronik Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi Adına Yayın Sahibi**
Ahmet AKYOL

**Genel Yayın Yönetmeni**
Mehmet ARTAR

**Sorumlu Yazı İşleri Müdürü**
İbrahim BİLEKLİ

**Yayın Kurulu**
Sibel AKBAŞ
Kadir Emre AKCİ
Nazlı AKGÜN
Melih BABAGİL
Hande BALCI
Esra DOĞU
Esra ERKAN
Mustafa ERKEK
Gülru SELÇUK FİLİZ
Bahar GİRGİNER
Serkan KEKEÇ
Cansın MISIRLI
Fuat Taner ÖZDEMİR
Murat SELÇUK
Cemil SEYİS
Çağrı TURNA
Aybeniz YİĞİT

**Haber Merkezi**
Erdinç ÇELİKKAN
Hatice Miray VURMAY GÜZEL
Simge SADAK

**Fotoğraf**
Evren BARIŞIK
İbrahim ÖZTÜRK

**Dağıtım**
Osman ARDOĞAN

**Tasarım**
ARMAPRGROUP
100. YIL MAHALLESİ HATIR SOKAK 27/5 Gaziosmanpaşa Ankara
06700 ÇANKAYA / ANKARA
www.armaprgroup.com

**Yayın Tarihi**
Sayı 117 - 26 EKİM 2023

**Yayın İdare Adresi**
ASELSAN Elektronik Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi
Mehmet Akif Ersoy Mahallesi
İstiklal Marşı Caddesi, No: 16
Yenimahalle 06200, Ankara

**Baskı Cilt**
26 EKİM 2023
EMSAL Matbaa Tanıtım Hizmetleri San. ve Tic. Ltd. Şti.
Bahçekapı Mah. 2477. Cad. No: 6, Etimesgut/Ankara
+90 312 278 82 00, Sertifika No: 46753

**Yayının Türü**
Yerel Süreli Yayın

Dergide yayımlanan yazılardan, kaynak adı gösterilerek alıntı yapılabilir. Dergide yayımlanan yazılar yazarların kişisel görüşüdür. ASELSAN Elektronik Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketini sorumlu kılmaz. ASELSAN Dergisi, Basın Ahlak Yasasına uymayı taahhüt eder.

ASELSAN Elektronik Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi
Türk Silahlı Kuvvetlerini Güçlendirme
Vakfının bir kuruluşudur.

**GEÇMİŞTEN GÜNÜMÜZE RAYLI SİSTEMLER**
S/**8**

**SİNYALİZASYON SİSTEMLERİ OTOMASYON SEVİYELERİ**
S/**42**

**SİNYALİZASYON SİSTEMLERİNDE SAHA DOĞRULAMA VE KARŞILAŞILAN DURUMLAR**
S/**280**

# İÇİNDEKİLER


| | |
|---|---|
| **GEÇMİŞTEN GÜNÜMÜZE RAYLI SİSTEMLER** | **8** |
| **RAYLI SİSTEM TEKNOLOJİLERİ** | **16** |
| ARAÇ TEKNOLOJİLERİ | 18 |
| RAYLI SİSTEMLERDE SİNYALİZASYON | 20 |
| TÜRKİYE'NİN ANAHAT SİNYALİZASYONU | 34 |
| SİNYALİZASYON SİSTEMLERİ OTOMASYON SEVİYELERİ | 42 |
| SİNYALİZASYON SİSTEMLERİNDE SİBER GÜVENLİK | 46 |
| SİNYALİZASYON SİSTEMLERİNDE HABERLEŞME ALTYAPISI | 52 |
| ERTMS-ETCS ARAÇÜSTÜ SİNYALİZASYON SİSTEMİ | 60 |
| METRO KUMANDA MERKEZİ SİSTEMLERİ | 66 |
| **ASELSAN RAYLI SİSTEM PROJELERİ** | **72** |
| MİLLİ ELEKTRİKLİ TREN CER ZİNCİRİ TKYS GELİŞTİRME VE SERİ ÜRETİM PROJELERİ | 75 |
| ANKARAY İŞLETMESİ YARDIMCI GÜÇ ÜNİTESİ GELİŞTİRME VE SERİ ÜRETİM PROJESİ | 76 |
| GAYRETTEPE - İSTANBUL HAVALİMANI - HALKALI METRO SİNYALİZASYON SİSTEMİ | 80 |
| GEBZE-DARICA METRO SİNYALİZASYON SİSTEMİ | 86 |
| **RAYLI SİSTEM ÜRÜN GELİŞTİRME FAALİYETLERİ** | **88** |
| TREN KONTROL YÖNETİM SİSTEMİ GELİŞTİRME PROJESİ | 90 |
| TREN KONTROL YÖNETİM SİSTEMİ (MİLLİ EMU) | 90 |
| ANKARA METRO ARAÇLARI MODERNİZASYONU | 97 |
| HİBRİT MANEVRA LOKOMOTİFİ GELİŞTİRME PROJESİ | 98 |
| COBALT METRO SİNYALİZASYON SİSTEMİ | 100 |
| **RAYLI SİSTEMLERDE TEKNOLOJİK GELİŞİM - DONANIM TASARIM** | **108** |
| EMNİYET KRİTİK BİLGİSAYAR GELİŞTİRME | 110 |
| ASELSAN YASAL KAYIT BİRİMİ | 116 |
| CER DONANIM TASARIM | 122 |
| ÇEKİŞ KONVERTÖRLERİNDE KONTROL ALGORİTMALARI | 132 |
| ÇEKİŞ SİSTEMLERİNDEKİ TEKNOLOJİK GELİŞMELER | 140 |
| RAYLI ARAÇ SİSTEMLERİNDE ÇEKİŞ MOTORU TASARIMLARI | 148 |
| TREN KONTROL VE YÖNETİM SİSTEMİ BİLGİSAYARLARI | 152 |
| **RAYLI SİSTEMLERDE TEKNOLOJİK GELİŞİM - YAZILIM GELİŞTİRME** | **156** |
| EMNİYET KRİTİK YAZILIMLARDA MODEL TABANLI YAZILIM | 164 |
| EMNİYET KRİTİK YAZILIMLARDA SERTİFİKASYONA UYGUN TEST PRATİKLERİ | 164 |
| TREN KONTROL VE YÖNETİM YAZILIMI | 170 |
| TREN KONTROL YÖNETİM SİSTEMİ YAZILIMI ÇOKLU ARAÇ SETİ MİMARİSİ | 174 |
| RAYLI SİSTEMLER SERVİS YAZILIMI | 178 |
| **RAYLI SİSTEMLERDE TEKNOLOJİK GELİŞİM - SİSTEM TASARIM** | **182** |
| RAYLI SİSTEMLERDE FONKSİYONEL EMNİYET MÜHENDİSLİĞİ | 184 |
| YÜKSEK EMNİYETLİ (SIL-4) TREN KONUMLAMA VE HIZ ÖLÇÜM SİSTEMİ | 190 |
| OTOMATİK HIZ KONTROLÜ FONKSİYONU | 196 |
| CBCT ARAÇÜSTÜ SİSTEM MİMARİSİ VE FONKSİYONLARI | 198 |
| RAYLI SİSTEMLER SİSTEM MÜHENDİSLİĞİ FAALİYETLERİ | 204 |
| METRO KUMANDA MERKEZİ SİNYALİZASYON SİSTEMİ | 210 |
| RAYLI SİSTEMLERDE ARAÇ SEVİYESİ ÇEKİŞ ANALİZİ | 216 |
| **RAYLI SİSTEMLERDE TEKNOLOJİK GELİŞİM - MEKANİK TASARIM** | **222** |
| BALİZ MONTAJ APARATININ GELİŞTİRİLMESİ VE YERLİLEŞTİRİLMESİ | 224 |
| MİLLİ ELEKTRİKLİ TREN CER SÜRÜCÜSÜ YAPISAL ANALİZ VE TEST ÇALIŞMALARI | 226 |

MİLLİ ELEKTRİKLİ TREN CER SÜRÜCÜSÜ ISIL TASARIM ÇALIŞMALARI 230

**RAYLI SİSTEMLERDE TEKNOLOJİK GELİŞİM - ENDÜSTRİYEL TASARIM 234**

ENDUSTRİYEL TASARIM 236

KULLANİCİ ARAYÜZ TASARIM 240

**RAYLI SİSTEMLERDE PROJE YÖNETİMİ YAKLAŞIMI 244**

**TEST VE DOĞRULAMA FAALİYETLERİ – TEST ALTYAPILARI 250**

OTOMATİK TEST ALTYAPISI GELİŞTİRME 252

ÇEKİŞ SİSTEMLERİNDE ÜRETİM TEST ALTYAPILARI 256

ÇEKİŞ SİSTEMLERİNDE UZAKTAN VERİ ALIŞVERİŞİ 262

YAZILIM DOĞRULAMA-TEST ALTYAPILARI 268

ÇEKİŞ SİSTEMLERİNDE TASARIM DOĞRULAMA TEST ALTYAPILARI 270

**TEST VE DOĞRULAMA FAALİYETLERİ – SISTEM DOĞRULAMA 276**

SİNYALİZASYON SİSTEMLERİNDE LABORATUVAR DOĞRULAMALARI 278

SİNYALİZASYON SİSTEMLERINDE SAHA DOĞRULAMA VE KARŞILAŞILAN DURUMLAR 280

ÇEKİŞ SİSTEMLERİNDE ARAÇ ÖNCESİ SİSTEM TEST FAALİYETLERİ 284

ÇEKİŞ SİSTEMLERİNDE ARAÇ ÜSTÜ DOĞRULAMA FAALİYETLERİ 288

TREN KONTROL YÖNETİM SİSTEMİ LABORATUVAR TESTLERİ 294

TREN KONTROL YÖNETİM SİSTEMİ TREN ÜZERİ TESTLERİ 300

**RAYLI SİSTEM BİLEŞENLERİ PİLOT ÜRETİM HATTI YAKLAŞIMI 304**

**ASELSAN COBALT ARAÇ ÜSTÜ SİSTEM ÜRETİM ENTEGRASYON SÜREÇLERİ 310**

**TESLİMAT YÖNETİMİ 318**

**KALİTE YÖNETİMİ 320**

**BAŞARILAR, PATENTLER VE TESCİLLER 324**

ASELSAN MOD-ICE, “A’DESIGN AWARD 2022 BRONZE” TASARIM ÖDÜLÜ ALDI 326

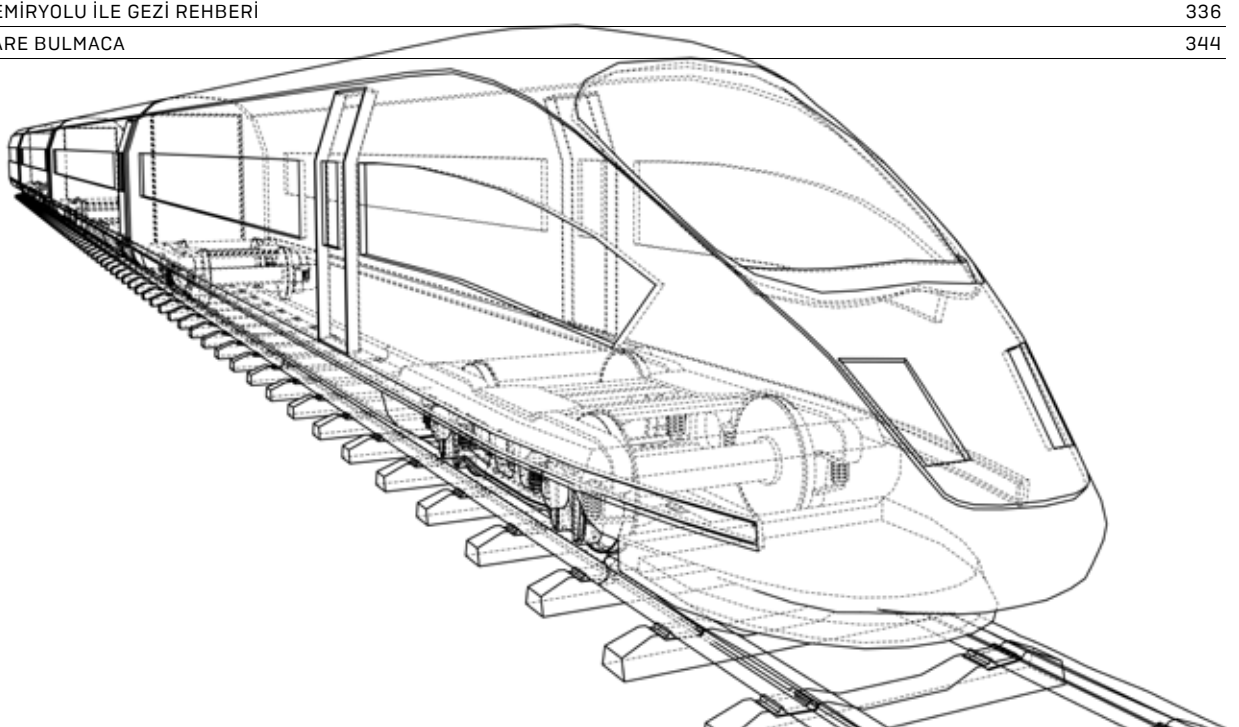
ASELSAN HSL-700, DESIGN TURKEY 2018’DE İYİ TASARIM ÖDÜLÜ ALDI YENİ TEKNOLOJİ, MODERN TASARIM 328

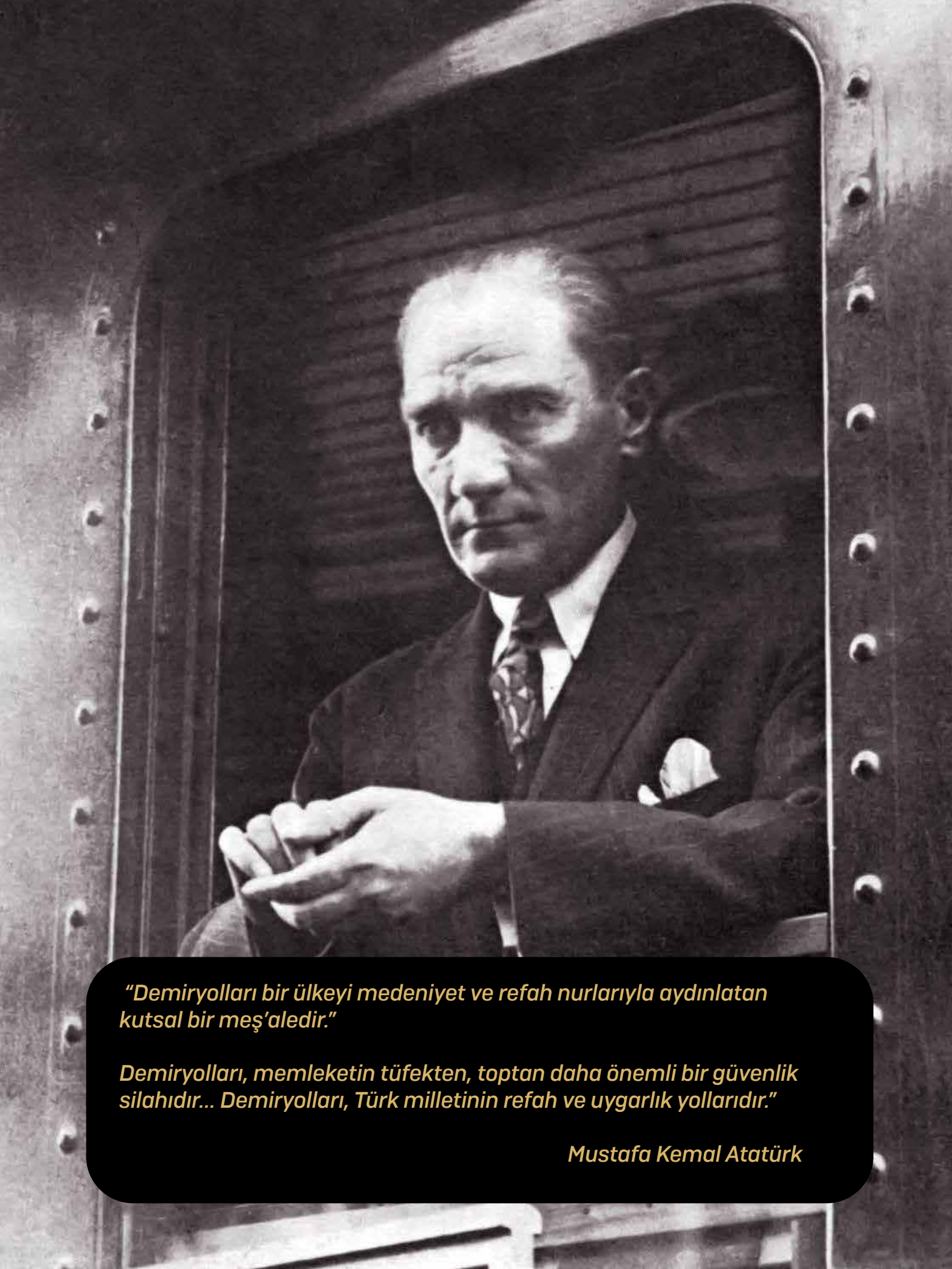
ASELSAN MİDAS-R İLE ERCI İNOVASYON ÖDÜLÜNE LAYIK GÖRÜLDÜ 332

**SOSYAL HAYATIMIZDA DEMİRYOLU 336**

DEMİRYOLU İLE GEZİ REHBERİ 336

KARE BULMACA 344





*"Demiryolları bir ülkeyi medeniyet ve refah nurlarıyla aydınlatan kutsal bir meş'aledir."*

*Demiryolları, memleketin tüfekten, toptan daha önemli bir güvenlik silahıdır... Demiryolları, Türk milletinin refah ve uygarlık yollarıdır."*

*Mustafa Kemal Atatürk*

# GEÇMİŞTEN GÜNÜMÜZE RAYLI SİSTEMLER

KARA KURT
BU LOKOMOTİF BÜTÜN PARÇALARI İLE YERLİ YAPI OLUP
TÜRKÜN ESERİDİR.
MİLLETİMİZE HAYIRLI VE UĞURLU OLSUN.

## DEMİRYOLU NEDİR?

Bir yerden bir yere madeni bir yol üzerinde, mekanik bir güçle hareket ettirilen araçlar içerisinde, insan ve eşya taşınmasını sağlayan tesislerin tümüne birden demiryolu denir. Yani demiryolu yalnız ray, travers gibi yol elemanlarından ibaret olmayıp, istasyon tesisleri, arabalar, emniyet ve sinyalizasyon tesisleri gibi taşıma işine yardımcı tüm tesislerin oluşturduğu bir bütündür. Demiryolunun taşıma işlemini gerekli niteliklerle sağlayabilmesi için, taşımaya ilişkin tüm tesislerin yeterli ve uyumlu olması gerekir.

## İLK DÖNEMLER VE TARİHİ YOLLAR

Ahşap raylı ve atlı trafiğe sahip vagon yollarının (veya tramvayların) 1550'lerde cevher varillerinin madenlere ve madenlerden taşınmasını kolaylaştırmak için kullanıldığı bilinmektedir. Bilinen en eski, insan/hayvan tarafından çekilen demiryolları, Yunanistan'ın Korint kentinde MÖ 6. yüzyıla uzanmaktadır. Tekneleri taşımak amacıyla kullanılan ilk araçların, rotadan ayrılmasını engelleyen ray elemanı olarak kireçtaşı oluklarında koştuğu görülmektedir.

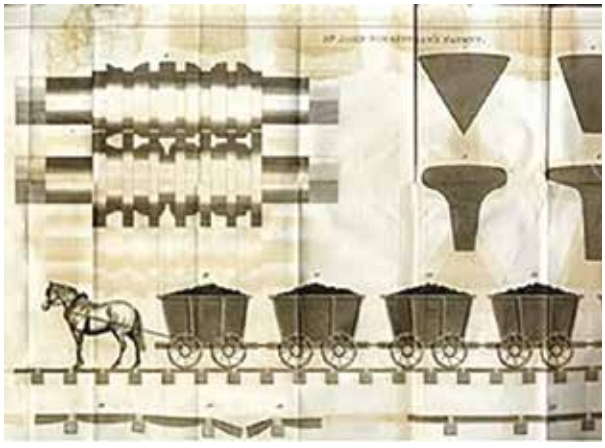
1515 öncesine dayandığı düşünülen, Avusturya'da bulunan Hohensalzburg Kalesi'ndeki bir füniküler (bir dağ veya tepe gibi dik eğimli bir araziye döşenen, bir demiryolu hattı boyunca yer alan noktaları birbirine bağlayan bir tür kablolu demiryolu sistemi) güncellenmiş hali ile hala çalışır durumdadır ve en eski faal demiryolu olarak görülmektedir. Orijinal olarak ahşap raylar ve kenevir taşıma halatı kullanılıyordu ve insan ya da hayvan gücüyle, tekerler üzerinde çalıştırılmıştır.

16. yüzyılın ortalarında ise Almanya' da atlı füniküler ve vagonlar ile demiryolu taşımacılığının kullanıldığı bilinmektedir.

## METAL RAYLAR VE BUHARLI LOKOMOTİF DÖNEMİ

1760'ların sonlarında Coalbrookdale Company, ahşap rayların üst yüzeyine dökme demir levhalar sabitlemeye başlamıştır.

Dökme demir kırılgan olduğu ve ağır yükler altında kırıldığı için başka malzeme arayışı ortaya çıkmıştır. 1820'de John Birkinshaw tarafından icat edilen dövme demir ray bu sorunları çözmüştür.



Henry Cort 1783'te, demiri sağlamlaştırma ve şekillendirmede çekiçlemeye göre 15 kat daha hızlı olan haddeleme işleminin patentini aldıktan sonra demir ve demir ray üretim maliyetleri büyük ölçüde düşmüştür. Demir üretiminde kullanılan yöntemler sıcak püskürtme yöntemiyle de gelişince kompozit ahşap/demir rayların demir raylarla tamamen değişmesine yol açmıştır.

1860'ların sonunda ise çeliğin ucuza yapılmasını sağlayan Bessemer yöntemi kullanılmaya başlanmıştır. Çelik raylar daha ağır lokomotifleri mümkün kılmış ve daha uzun trenlerin kullanımına izin vermiştir. Çelik, raylarda demir kullanımının yerini tamamen alarak tüm demiryolları için standart hale gelmiştir.

Buharlı lokomotifler, 19. yüzyıl boyunca raylı ulaşımın temel taşı oldu. İlk tam ölçekli çalışan demiryolu buharlı lokomotifi, 1804 yılında İngiliz mühendis Richard Trevithick tarafından Birleşik Krallık'ta inşa edilmiştir. 1825 yılında İngiltere'de açılan Stockton ve Darlington Demiryolu ise, dünyanın ilk ticari buharlı lokomotif hattı olarak kabul edilmektedir. Buharlı lokomotifler, daha uzun mesafelerde yolcu ve yük taşımak için kullanılmıştır. Buhar gücü, bir asırdan daha uzun bir süre dünya çapındaki demiryollarında baskın güç sistemi olarak kullanılmaya devam etmiştir. İlerleyen yıllarda lokomotif tasarımları ve raylı hatlar geliştirilmiştir.

## ELEKTRİFİKASYON VE DİZEL MOTOR DÖNEMİ

1880'lerde elektrikli trenler tanıtılmıştır. Bu durum tramvayların ve hızlı ulaşım sistemlerinin elektrifikasyonunun önünü açmıştır. 1940'lardan başlayarak, çoğu ülkedeki buharlı lokomotifler, dizel lokomotiflerle değiştirilmiş ve 2000'lerde süreç neredeyse tamamlanmıştır.

Werner von Siemens, 1879'da Berlin'de elektrikli demiryolu tanıtımını yapmış ve ilk elektrikli tramvay hatlarından biri olan Gross-Lichterfelde Tramvayı, 1881 yılında Berlin'in yakınlarında açılmıştır. 1883'te, günümüzde de hala çalışır durumda olan elektrikli demiryolu Brighton'da açılmıştır.

1897'de vagonlu tren kontrolünün icat edilmesiyle birlikte metrolar için tercih edilen güç kaynağı elektrik olmuştur. 1900'lerin başı itibarıyla da çoğu demiryolu elektrikli hale getirilmiştir.

1906 yılında dizel lokomotifler üretmek için Rudolf Diesel, Adolf Klose ve Gebrüder Sulzer tarafından Diesel-Sulzer-Klose GmbH kurulmuştur. Dünyanın ilk dizel motorlu lokomotifi, 1912 yılında İsviçre'de çalıştırılmıştır. Dizel-elektrikli lokomotiflerin ilk düzenli kullanımı, anahtarlama (shunter) olarak geçmektedir. General Electric, 1930'larda birkaç küçük anahtarlamalı lokomotif üretmiş ve ünlü "44 tonluk" anahtarlayıcıyı 1940'ta tanıtmıştır.

## HIZLI TREN VE YÜKSEK HIZLI TREN DÖNEMİ

İlk elektrikli yüksek hızlı tren Tokaido Shinkansen 1964'te Tokyo ve Osaka hattı için tanıtılmıştır. O zamandan beri, Japonya başta olmak üzere birçok Avrupa ülkesinde ve Birleşik Krallık gibi yerlerde 300 km/sa üzerindeki hızlarda yüksek hızlı trenler hizmet vermektedir. Bu durum, mesafeli uçuşlarda ve otomotiv trafiğinde dramatik bir düşüşe neden olmuştur. Yüksek hızlı trenler çoğunlukla yolcu taşımacılığı için tasarlanırken, bazı yüksek hızlı sistemler aynı zamanda yük hizmeti için de kullanılmaktadır.

## ANADOLU'DA RAYLI SİSTEMLER

Osmanlı topraklarında demiryolunun tarihi, 1851 yılında 211 km'lik Kahire-İskenderiye demiryolu hattının imtiyazının verilmesiyle, bugünkü milli sınırlar içindeki demiryollarının tarihi ise 23 Eylül 1856 tarihinde 130 km'lik İzmir-Aydın demiryolu hattının imtiyazının verilmesiyle başlamıştır.

İlk yıllarda Osmanlı toprakları üzerindeki demiryolu hattının uzunluğu 519 km'dir. Bu hattın 1/4'lük kısmı, yani 130 km'lik bölümü Anadolu toprakları üzerinde, geri kalan 389 km'lik bölümü Köstence-Tuna ile Varna-Rusçuk arasında yer almıştır.

Zamanla, Osmanlı'da demiryolu imtiyazı verilen İngiliz, Fransız ve Almanların ayrı ayrı etki alanları oluşmuştur. Fransa, Kuzey Yunanistan, Batı ve Güney Anadolu ile Suriye'de; İngiltere, Romanya, Batı Anadolu, Irak ve Basra Körfezinde; Almanya, İç Anadolu, Trakya ve Mezopotamya'da etki alanları oluşturmuştur. Fransa, 1871 yılında saraydan çıkarılan bir irade ile Haydarpaşa-İzmit hattının devlet tarafından yapımına başlamış ve 91 km'lik hat 1873 yılında bitirilirmiştir.

8 Ekim 1888 tarihli başka bir fermanla da bu hattın İzmit-Ankara kısmının inşaat ve işletme imtiyazı Anadolu Osmanlı Şimendifer Kumpanyası'na verilmiştir.

1869 yılında yapım imtiyazı Baron Hirsch'e verilmiş olan 2000 km'lik şark demiryollarının milli sınırlar içerisinde kalan 336 km'lik İstanbul-Edirne ve Kırklareli-Alpullu kesiminin 1888'de bitirilerek işletmeye açılmasıyla da İstanbul, Avrupa demiryollarına bağlanmıştır. Anadolu ve Bağdat Demiryolları, 1904 yılında kurulan Adana merkezli Osmanlı-Alman sermayeli Impérial Ottoman de Baghdad şirketi tarafından 1923 yılına kadar işletilmiştir. Fransız, İngiliz ve Almanlar arasında tartışmaya sebep olan hat, 1. Dünya Savaşının sebepleri arasında da gösterilmektedir. 1900 yılında Osmanlı sermayesi ile başlanan Hicaz Demiryolu Hattının 1908 yılında Şam-Medine arasındaki kısmı tamamlanarak işletmeye açılmıştır. Bu hat I. Dünya Savaşı ve yerel Arap kabilelerinin demiryolunu sık sık tahrip etmeleri sonucu 1920 yılına kadar işletilebilmiştir.

Cumhuriyetin ilk yıllarındaki egemen ekonomik ve politik anlayış, ulusal bütünlüğün sağlanması ve ulaşım ağının yaygınlaştırılması yönünde başlatılan çalışmalarla kendisini göstermiştir. Bu çerçevede özellikle demiryolu politikası öne çıkmıştır.

1923 yılında yayımlanan bir yasa ile hatların devlet tarafından inşa ve işletmesi kararlaştırılmıştır. İlk ihale 1927'de, ikinci ihale ise 1933'te gerçekleştirilmiştir. İlk ihalede yapımcı yabancı, taşeron ise Türk'tür. İkinci ihalede ise ilk kez bir Türk firması yapımcılığı üstlenmiştir. Böylelikle demiryollarının inşa ve işletmesi Devlet Demiryolları ve Limanları İdaresi Umumiyesi adlı kuruluşa devredilerek, Devlet Demiryolları dönemi başlatılmıştır. Bütün olanaksızlıklara karşın demiryolu yapımı II. Dünya Savaşı'na kadar büyük bir hızla sürdürülmüş, savaş nedeniyle 1940'tan sonra çalışmalar yavaşlamıştır. 1923-1950 yılları arasında yapılan 3.578 kilometrelik demiryolunun 3.208 kilometresi, 1940 yılına kadar tamamlanmıştır. Bu dönemde ayrıca, yabancı şirketlerin elindeki demiryolu hatları satın alınarak devletleştirilmiştir.

1950'li yıllardan sonra yatırımlarda karayolu ağırlık kazanmıştır. Bu nedenle demiryollarında 1950 yılından, 2000 yılına kadar neredeyse hiç yatırım yapılmamasının yanı sıra, mevcut hatlarda da yeterli bir iyileştirme sağlanamamıştır Yaklaşık 50 yıllık bu dönemde gerek devlet politikamız ve gerekse dış ülkelerin de baskısı ile demiryollarına neredeyse hiç yatırım yapılmamış, yarım asırdan fazla olan bu süre içinde sadece 945 km demiryolu hattı yapılmış, mevcut hatların bakımıyla, işletme devam etmiştir. Devlet yatırımlarında demiryollarının ikinci plana bırakılması özel firmaların ve üniversite / meslek okullarının da bu alanda çalışmalarını yavaşlatmıştır.

Bunun sonucu olarak demiryollarımızın toplam taşımadaki payı 1950'den 2000'li yıllara, yükte %68'den %5'e; yolcuda ise %42'den %2 seviyelerine kadar düşmüştür. Ayrıca sektörle ilgili eğitimin yeterli olmamasından dolayı demiryollarında uzman personel konusunda dar boğaz oluşmuştur.

2000'li yılların başından itibaren dünyadaki gelişmiş ülkelerin uygulamaları da dikkate alınarak, devlet politikası değiştirilerek, Cumhuriyet'in ilk yıllarında olduğu gibi, demiryolları için bir seferberlik dönemi başlatılmıştır. Türkiye ilk defa yolcu taşımacılığında, Yüksek Hızlı Tren (YHT) konsepti ile tanışmış, ilk etapta Ankara-Eskişehir, daha sonra Ankara-Konya ve Eskişehir-İstanbul YHT hatları hizmete açılmıştır. 2023 yılı hedef alınarak, bir kısmının şu anda inşaatı devam eden, bir kısmının ise projelendirilmesi tamamlanmış birçok YHT hattı yakın gelecekte hizmete girmesi beklenmektedir.

# RAYLI SİSTEM TEKNOLOJİLERİ

12:25
12:30 TOWN CENTRE
12:45 TOWN CENTRE
SERVICES ON TIME
COVENTRY SHUTTLE
SHOPPING CENTRE
GREEN LINE
PRIORITY SPACES AVAILABLE
SHUTTLE ROUTES

# ARAÇ TEKNOLOJİLERİ

## CER SÜRÜCÜLERİ

Trenlerin çekiş sistemleri, trenlerin hareket etmesini sağlayan ve taşıdıkları yükleri çeken mekanizmalardır. Trenler genellikle elektrikli, dizel-elektrikli veya buharlı olmak üzere farklı çekiş sistemleriyle çalışmaktadır.

Modern trenlerde, elektrikli çekiş sistemleri, daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun nedeni, elektrik enerjisi çevre dostu ve daha verimli bir enerji kaynağı olmasıdır. Dizel-elektrikli sistemler, elektrik altyapısı olmayan bölgelerde veya raylarda daha esnek bir kullanım sağlamak için tercih edilebilmektedir. Buharlı çekiş sistemleri ise genellikle tarihi veya turistik trenlerde görülmekte ve daha az kullanılmaktadır.

Elektrikli trenler, genellikle elektrik enerjisi sağlamak için harici bir kaynağa, elektrik hatlarına veya raylara bağlanmaktadır. Bu sistemlerin avantajları arasında çevre dostu olmaları, daha yüksek hızlara ulaşabilmeleri ve daha düşük işletme maliyetlerine sahip olmaları bulunur. Ayrıca elektrik enerjisinin farklı kaynaklardan üretilebilmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını da mümkün kılmaktadır.

Trenlerde çekiş konvertörü (traction converter), elektrik enerjisini çekiş gücüne dönüştürmek için kullanılan bir bileşendir. Elektrikli trenlerde, yüksek gerilimli elektrik enerjisi genellikle trenin üstündeki katener sisteminden veya üçüncü ray denilen ray yanında bulunan bir hattan alınmaktadır. Ancak bu yüksek gerilimli enerji, doğrudan trenin çekiş sistemine uygulanamamaktadır. İşte bu noktada çekiş konvertörleri devreye girmektedir.

Çekiş konvertörleri, yüksek gerilimli alternatif akımı (AC) veya doğru akımı (DC), trenin çekiş sistemi tarafından kullanılabilen uygun gerilim ve akım seviyelerine dönüştürmektedir. Bu dönüşüm, elektrikli motorların güvenli ve verimli bir şekilde çalışması için gereklidir. Çekiş konvertörleri, trenlerin elektrik enerjisini etkin bir şekilde kullanmasını sağlamakta ve çekiş sistemlerinin performansını kontrol etmektedir. Ayrıca, çevresel açıdan da avantajlıdır, çünkü enerji verimliliğini artırarak yakıt tüketimini ve emisyonları azaltabilmektedir.

## YARDIMCI GÜÇ ÜNİTELERİ

Trenlerde yardımcı güç ünitesi (auxiliary power unit-APU), trenin elektrik enerjisi ihtiyaçlarını karşılamak ve yan fonksiyonlarını desteklemek için kullanılan bir sistemdir.

APU, trenin hareket etmesi için kullanılan ana çekiş sisteminden bağımsız olarak çalışmaktadır. Aşağıda belirtilen çeşitli işlevleri yerine getirmektedir:

1. Elektrik Enerjisi Sağlama: APU, trenin elektrik ihtiyaçlarını karşılamak için bağımsız bir güç kaynağı sağlamaktadır. Trenin iç aydınlatması, klima sistemleri, yolcu bilgi ekranları, elektrikli cihazlar gibi yardımcı sistemler APU tarafından beslenmektedir. Bu sayede ana çekiş sistemiyle bağlantılı olmayan enerji gereksinimleri karşılanmaktadır.

2. Isıtma ve Soğutma: Trenlerdeki kabin ve yolcu bölmelerinin ısıtma ve soğutma ihtiyaçları APU tarafından sağlanmaktadır. APU, kabindeki hava sirkülasyon sistemlerini çalıştırarak istenen sıcaklık koşullarını oluşturmaktadır.

3. Pompalama ve Basınçlandırma: Trenlerdeki hidrolik sistemlerin, hava sistemlerinin ve su sistemlerinin çalışması için APU kullanılmaktadır. APU, pompaları ve basınçlandırma sistemlerini besleyerek, fren sistemi, sürüş sistemi ve diğer yardımcı sistemlerin doğru şekilde çalışmasını sağlamaktadır.

4. Acil Durum Gücü: Trenin acil durumlarda elektrik enerjisi sağlamak için APU kullanılmaktadır. Örneğin, ana çekiş sistemi arızalandığında veya dışarıdan elektrik enerjisi kaynağı kesildiğinde, APU devreye girerek önemli sistemlerin çalışmasını sürdürebilmektedir. Bu, yolcu güvenliğini ve trenin acil durumda hareket kabiliyetini sağlamaya yardımcı olmaktadır.

Yardımcı güç üniteleri, trenlerin güvenli ve konforlu bir şekilde çalışmasını sağlayan önemli bileşenlerdir. APU'lar, trenlerin enerji gereksinimlerini karşılayarak ana çekiş sistemini desteklemekte ve trenin bağımsız olarak çalışabilmesini sağlamaktadır.

## CER MOTORLARI

Trenlerde cer (çekiş) motoru trenin hareketini sağlayan önemli bir bileşendir. Trenler genellikle büyük ve ağır yükleri taşımak için kullanılan araçlardır. Bu nedenle çekiş motorları, bu yükleri hareket ettirebilecek güce sahip olmalıdır.

Trenlerde kullanılan çekiş motorları, elektrikli, dizel-elektrikli veya dizel-hidrolik gibi farklı tiplerde olabilmektedir. Bununla birlikte, günümüzde en yaygın olarak kullanılan çekiş motorları elektrikli

çekiş motorlarıdır. Elektrikli çekiş motorları, elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürerek trenin hareketini sağlamaktadır.

Elektrikli çekiş motorları, doğru akım (DC) veya alternatif akım (AC) motorları şeklinde olabilmektedir. DC motorlar, elektrik enerjisini doğru akıma dönüştürerek çalışırken, AC motorlar, elektrik enerjisini alternatif akıma dönüştürerek çalışmaktadır. Hangi tip motorun kullanıldığı, trenin çalıştığı demiryolu hattının altyapısı ve sistem gereksinimlerine bağlıdır.

Çekiş motorları, elektrik enerjisini tahrik sistemine ileten bir transmisyon sistemi ve tekerleklerle temas eden çekiş elemanlarına sahiptir. Elektrik enerjisi, transmisyon sistemi aracılığıyla çekiş elemanlarına iletilmekte ve bu sayede tekerleklerin dönmesi ve trenin hareket etmesi sağlanmaktadır.

Çekiş motorları, cer sürücüleri tarafından yönetilmektedir. Cer sürücüleri tarafından hız, ivme, frenleme gibi faktörlere göre güç çıkışı ayarlanmakta, trenin eğimli veya virajlı bölgelerde düzgün bir şekilde ilerlemesini sağlamak için çekiş kuvveti optimize edilmektedir.

Elektrikli çekiş motorları, diğer avantajların yanı sıra düşük enerji tüketimi, yüksek verimlilik, sessiz çalışma ve düşük karbon emisyonları gibi özelliklere de sahiptir. Bu nedenle, çevre dostu ulaşım çözümlerine yönelik tercih edilen bir seçenek olmaktadır.

## TREN KONTROL VE YÖNETİM SİSTEMİ (TKYS)

Tren kontrol yönetim sistemi, demiryolu taşımacılığındaki trenlerin güvenli ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlamak için kullanılan bir sistemdir. Bu sistem, trenin durumunu, hızını, izlerken, veri iletimi gibi önemli işlevleri de yerine getirmektedir.

TKYS, makinistin ivme kolu ile talep ettiği çekiş kuvvetini, cer sisteminden gelen uygunluk bilgisine göre cer birimlerine dağıtmaktadır. Ayrıca otomatik hız kontrolü fonksiyonu ile trenin hızını makinistin talep ettiği hızda tutmak için çekiş ve fren talebinde bulunmaktadır.

TKYS'nin en önemli bileşenlerinden Merkezi Kontrol Birimi (Central Control Unit-CCU ya da Vehicle Control Unit-VCU), trenlerde kullanılan bir araç kontrol ünitesidir. Trenin çeşitli alt sistemlerini yönetmek, kontrol etmek ve izlemek için kullanılmaktadır. CCU'nun başlıca işlevleri aşağıda belirtilmiştir:

- Tren Kontrolü: Trenin ivmelenmesini kontrol etmektedir. Hızlanma, yavaşlama ve durma gibi hareketlere yönelik komutları almakta ve bunları uygun çekiş kontrol sistemlerine ileterek trenin hızını düzenlemektedir. Bu sayede trenin güvenli ve düzenli bir şekilde hareket etmesi sağlanmaktadır.

- İletişim ve Veri Aktarımı: Uzak giriş çıkış modülleri ile birlikte trende bulunan diğer alt sistemler ile iletişim kurmaktadır. Trenin hızını, arıza bilgilerini ve diğer önemli verileri merkezi sistemlere ileterek trenin durumunu raporlamaktadır. Aynı zamanda makinist tarafından gelen komutları alarak trenin hareketini bu komutlara göre ayarlamaktadır.

# RAYLI SİSTEMLERDE SİNYALİZASYON

04

Günlük yaşantımızın vazgeçilmez bir parçası olarak görülen ulaştırma sektörü, üretim sürecinin önemli bir ayağını oluşturması ve gerektirdiği önemli yatırımları ve yarattığı etkiler açısından toplumların ekonomik yapıları içinde ağırlıklı bir yere sahiptir. Ulaştırma sistemleri ve hizmetleri modern ekonomilerin ve toplumsal gelişmenin temel öğesidir. Ulaştırma sektörünün temel amacı, insanları ve eşyayı en kısa sürede daha ucuz ve emniyetli bir şekilde taşımaktır.

Dünyanın önde gelen ekonomilerine sahip ülkeler, insan ve çevre odaklı yaşam kalitesini hedeflemekte ve daha yaşanılabilir alan ve ortamların oluşturabilmesi için ekonomi, çevre ve güvenlik ihtiyaçları temelinde gerekli ulaşım altyapılarını planlanmaktadırlar. Demografik, iklimsel ve ekonomik değişimler bu planlamalarda yeni yöntem ve çözümleri gerekli kılmaktadır. Ulaşım ve altyapı planlamalarında da bu bağlamda yeni arayışlar ve çözüm önerileri gündeme gelmektedir. Dünya genelinde karayolu ulaştırmasının doyum noktasına ulaşması, çevreyle ilgili duyarlılıkların artması özellikle son 30 yılda demiryolu ulaşımına daha fazla önem verilmesine sebep olmuştur. Demiryolları, uzay ve havacılık sektöründen sonra en yüksek büyüme ve teknoloji yoğunluğuna sahip sektördür. Bu nedenle, demiryolu sektörüne verilen önem artmakta, Ar-Ge temelinde yürütülen çalışmalar devam etmektedir.

## SİNYALİZASYON SİSTEMİ NEDİR?

Büyük kentlerde yaşanan yoğun nüfus artışı, hava kirliliği ve fosil yakıt ihtiyacında yaşanan artışlar, ulaşım sistemlerinde raylı sistemlerin yaygınlaştırılmasını zorunlu hale getirmektedir. Raylı sistemlerin bir parçası olan sinyalizasyon sistemleri ise bu taşımacılık sisteminin daha etkin, verimli ve emniyetli bir şekilde işletilmesine katkı sağlamaktadır. Bu durum emniyetli bir tren işlemeciliği yapılmasına olanak sağlamaktadır.

Demiryollarında kullanılan sinyalizasyon sistemlerinin temel amacı, tren trafiğini planlı ve ekonomik bir şekilde yöneterek, trenlerin emniyetli bir şekilde seyretmelerine ve hatların verimli şekilde çalıştırılmasına imkân sağlamaktır. Sınırlı kapasiteye sahip hat kesimlerinde, tren taleplerinin karşılanamaması durumunda kapasite artışı sağlamanın yöntemlerinden birisi de sinyalizasyon sistemleridir. Herhangi bir hat kesimine sinyalizasyon sistemlerinin teşkili ile o hattın kapasitesi genel olarak %30-35 oranında artırılarak, taşınan yolcu ve yük miktarlarında artış sağlanmaktadır. Yolcu ve yük taşımacılığında sağlanan artışlar ise doğrudan elde edilen gelire etki etmektedir.

Sinyalizasyon Sistemi trenlerin;

- Hızlarını kontrol etmek,
- Birbirleriyle çarpışmalarını önlemek,
- Hareketlerini koordine etmek,
- Dur-kalk işlemlerini yönetmek

vb. durumlarını gerçekleştirmek için kullanılır.

Gelişen teknolojiye paralel olarak sinyalizasyon sistemlerinde de gelişmeler kaydedilmiş ve bugün treni tamamen kontrol eden tren kontrol sistemlerine sahip sinyalizasyon sistemleri geliştirilmiştir. Demiryollarında kullanılan sinyalizasyon sistemleri, trafik yönetiminde insan kusurlarını ortadan kaldıracak güvenlik sistemleri ile teşkil edilmektedir. Sinyallerin ve makasların yönetimi sahadan ve birbirlerinden bilgi alacak şekilde yapılmakta, hat meşguliyeti olan yol veya makas üzerinde istenilse dahi sinyal açılmasını engelleyecek şekilde tasarlanmaktadır.

## TARİHÇE

Raylı sistemlerde sinyalizasyonun evrimi, teknolojik ilerlemeler ve deneyimler sonucunda gerçekleşmiştir. 1860'lardan 1920'lere kadar raylı sistemler için sinyalizasyonun başlangıç evreleri olarak görülebilir. Başlangıçta, raylı sistemlerde sinyalizasyon sağlamak için manuel işaretler ve gaz lambaları gibi basit mekanik sistemler kullanılmıştır. Ancak, bu mekanik sistemlerin zamanla sınırlamaları ortaya çıktığından daha karmaşık ve güvenilir sinyalizasyon sistemlerine ihtiyaç duyulmuştur.

1930'lardan itibaren sinyalizasyon sistemlerinde mekanik yöntemlerin yerini elektronik ve dijital sistemler almıştır. Bu dönemde, elektronik sinyalizasyon sistemleri geliştirilerek tren trafiğinin daha etkili bir şekilde yönetilmesi hedeflenmiştir. Günümüzde sinyalizasyon sistemleri çok gelişmiş, trenleri otomatik olarak makinistlere dahi ihtiyaç duymadan sürebilir dereceye gelmiştir. Yapay zekâ ve veri analitiği gibi teknolojik ilerlemeler, sinyalizasyon sistemlerinin daha akıllı ve öngörülebilir hale gelmesini sağlamaktadır. Bu da tren trafiğinde daha iyi bir yönetim, enerji tasarrufu ve daha düşük işletme maliyetleri anlamına gelmektedir.

Trenlerin ülkeler arası yük ve yolcu taşımacılığında kullanımının artmasına paralel olarak Avrupa Demiryolu Trafik Yönetim Sistemi (ERTMS) standartları benimsenmeye başlanmış ve sinyalizasyon sistemlerinin standartlaştırılması hedeflenmiştir.

## TÜRKİYE'DE SİNYALİZASYON SİSTEMLERİNİN TARİHÇESİ

Türkiye'de de sinyalizasyon sistemlerinin gelişimi önemli bir konudur. Başlangıçta kontrol operatörleri tarafından elle çalıştırılan blok sistemi, kontrollü elle çalıştırılan blok sistemi, yarı otomatik blok sistemi, otomatik blok sistemi, mekanik blok sistemi gibi değişik sistemler kullanılmaya başlanmıştır.

İlk sinyalizasyon sistemleri 1950'lerde kullanılmaya başlanmış ve Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları (TCDD) çeşitli projelerle sinyalizasyon altyapısını güçlendirmiştir. Türkiye'de ilk sinyalizasyon uygulamaları Sirkeci-Halkalı banliyö hattının 1955 yılında kurulması ile başlamış ve 1968 yılında da Haydarpaşa–Ankara hattının sinyalize edilmesi ile devam etmiştir.

2000'li yıllardan başlayarak Yüksek Hızlı Tren, Marmaray ve İstanbul Havalimanı Metrosu ve şehir içi metro hatlarında ileri düzey sinyalizasyon teknolojileri kullanılarak güvenli ve etkili bir tren trafiği yönetimi sağlanmaya başlanmıştır.

2022 yılı sonu itibarıyla, sinyalizasyon çalışması tamamlanan hat uzunluğu 7.235 km.'ye ulaşmış olup bu değer toplam hat uzunluğunun %55'ine karşı gelmektedir.

## SİNYALİZASYON SİSTEMİ ÇALIŞMA İLKELERİ

Sinyalizasyon sistemleri belirli temel ilkeler üzerine kurulmuştur. Bu ilkeler, tren trafiğinin güvenli ve verimli bir şekilde yönetilmesini sağlar ve aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır:

**İşaretleme:** Sinyalizasyon sistemi, trenlere yol durumu hakkında bilgi vermek için çeşitli işaretler kullanır. Bu işaretler, trenin durması, ilerlemesi veya yavaşlaması gerektiğini gösterir.

**Kontrol:** Sinyalizasyon sistemi, tren trafiğini kontrol eder. Trenlerin belirli bir hızda seyahat etmesini sağlar ve trafiğin akışını düzenler.

**İletişim:** Sinyalizasyon sistemi, trenler arasında ve tren ile istasyon arasında iletişim sağlar. Bu ile-

tişim, trenlerin güvenli bir şekilde seyahat etmelerini ve gerekli bilgileri alıp vermesini sağlar.

**Güvenlik:** Sinyalizasyon sistemi, trenlerin güvenli bir şekilde seyahat etmelerini sağlar. Çarpışmaları önlemek, hız limitlerini uygulamak ve trenlerin güvenli bir şekilde durmasını sağlamak gibi önlemler alır.

Sinyalizasyon sistemlerinde trenlerin hareket edebileceği ve kontrol edilecek bölümler bloklara ayrılmıştır. Her blokta, trenlerin ne kadar hızla ilerleyebileceğini belirleyen bir sinyal bulunur. Bu sinyaller, trenin hareket etmesine izin verir veya engeller. Sinyalizasyon sistemi aynı zamanda, sistemdeki tüm trenlerin hareketlerini takip eder ve trenlerin nerede olduğunu belirler. Böylece, tüm trenlerin emniyetli bir şekilde seyahat etmeleri sağlanır. Günümüzde birçok sistemden bahsedilirken temelde metrolarda iki tür sinyalizasyon sistemi kurulmaktadır.

- Sabit (Fixed) blok
- Hareketli (Moving) blok

Tren algılama teknolojileri ise trenlerin raylı sistemlerdeki konumlarını belirleyen sistemlerdir. Bu teknolojiler, trenlerin hareketlerini takip ederek, sinyalizasyon sistemi gibi diğer bileşenlerle uyumlu bir şekilde çalışmasını sağlar.

## SABİT (FIXED) BLOK TREN ALGILAMA TEKNOLOJİLERİ

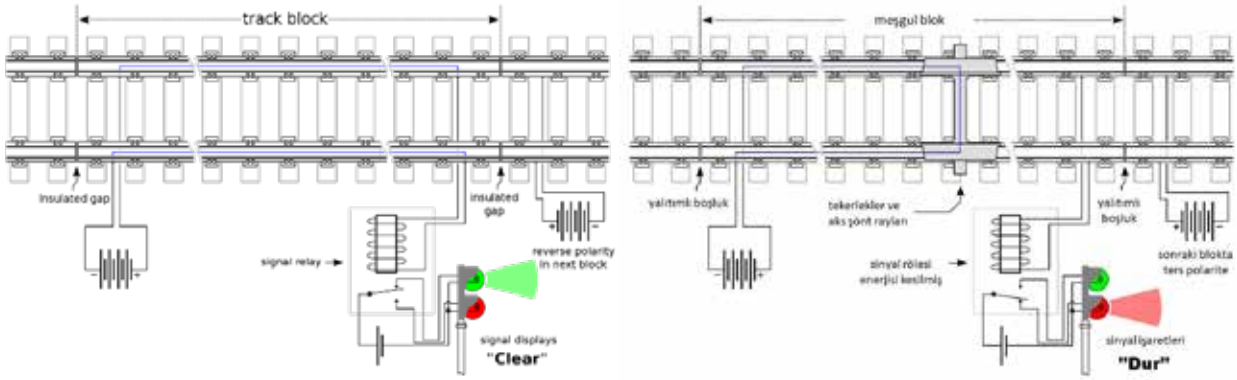
Blok sinyalizasyonu, raylı sistemlerdeki en önemli sinyalizasyon sistemlerinden biridir. Bu sistem, raylı sistemlerin emniyetli bir şekilde çalışmasını sağlamak için kullanılır. Blok sinyalizasyonu, trenlerin hareket edebileceği blokları belirler ve bu bloklarda sadece bir trenin olmasına izin verir.

Blok sinyalizasyonu, trenlerin hareket etmesine izin veren sinyallerin yanı sıra, trenlerin durması gerektiğinde kullanılan kırmızı sinyalleri de içerir. Bu sinyaller, trenlerin birbirleriyle çarpışmalarını önler ve raylı sistemlerin emniyetli bir şekilde çalışmasını sağlar.

Günümüzde kapasiteyi arttırmak ve emniyetli sürüş yapmak için tramvay sistemlerinde de kendine özgü bölgesel sinyalizasyon sistemleri kullanılmaktadır.

Ray devreleri, tren algılama teknolojilerinin en önemli bileşenlerinden biridir. Bu devreler, trenlerin geçtiği noktalarda elektrik akımının kesilmesiyle çalışır. Bu sayede, trenlerin konumları belirlenir ve sinyalizasyon sistemi gibi diğer bileşenlerle uyumlu bir şekilde çalışmaları sağlanır.

Aks sayıcılar, trenin ray üzerindeki iki nokta arasından geçişini algılayan demiryolu cihazlarıdır. Bölümün her iki ucuna bir algılama noktası (veya sayma birimi) yerleştirilmiştir ve her bir tren aksı, bloğun başlangıcındaki sayma noktasını geçtikçe, sayaç bir artar. Bir algılama noktası iki bağımsız sensör içerir; bu nedenle cihaz bir trenin yönünü ve hızını sensörlerin geçiş sırasına ve süresine göre algılayabilir. Tren, bölümün sonunda benzer bir sayma noktasından geçerken; sayaç, bölümün sonundaki sayımı başlangıçta kaydedilenle karşılaştırır. İki sayı aynı ise, bölümün ikinci bir tren için boş olduğu varsayılır.



Bu varsayım, sahada gerekli yerlere yerleştirilmiş algılama noktaları ile merkezi olarak konumlandırılmış 'değerlendiriciler' adı verilen güvenlik açısından kritik bilgisayarlar tarafından gerçekleştirilir. Algılama noktaları, değerlendiriciye özel bakır kablo veya bir telekomünikasyon iletim sistemi aracılığıyla bağlanır. Bu, algılama noktalarının değerlendiriciden önemli mesafelere yerleştirilmesine izin verir.

## HABERLEŞME TABANLI TREN KONTROLÜ (CBTC) SİSTEMLERİ VE AVANTAJLARI

Haberleşme Tabanlı Tren Kontrolü (CBTC) Sistemleri, trenlerin konumunu gerçek zamanlı olarak izleyen ve hızlarını kontrol eden bir sinyalizasyon sistemidir. Bu sistem, trenlerin daha emniyetli ve verimli bir şekilde seyahat etmelerini sağlar.

CBTC Sistemleri, trenlerin arasındaki mesafeyi otomatik olarak ayarlayarak, hareketli blok tekniğiyle, trenler arasındaki boşluğu en aza indirir. Böylece, trenlerin daha sık sefer yapması mümkün olur ve raylı taşımacılık daha verimli hale gelir.

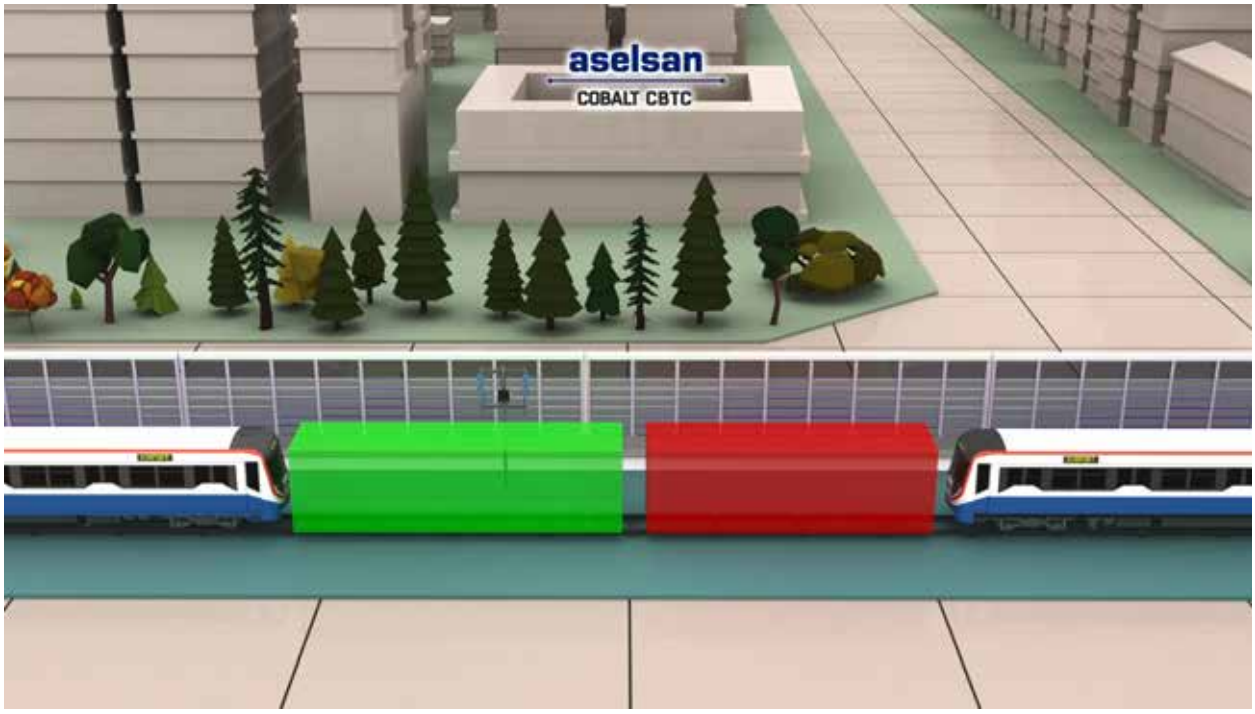
CBTC, trafik yönetimi ve altyapı kontrolü için tren ve hat boyu ekipmanı arasındaki iletişimi kullanan bir demiryolu sinyalizasyon sistemidir. CBTC Sistemleri aracılığı ile, bir trenin kesin konumu, geleneksel sinyalizasyon sistemlerine göre daha hassas bir şekilde belirlenir. Bu çözüm, demiryolu trafiğini yönetmek için daha verimli ve emniyetli bir sistem olup, işletme esnasında sefer sıklığının emniyetli bir şekilde artırılmasına olanak sağlar.

CBTC sistemi trenin hassas konumunu ray devrelerinden bağımsız olarak, çift yönlü kesintisiz haberleşme aracılığıyla, sistemi emniyette tutarak belirler. (IEEE CBTC 1474.1 Standardı, Bölüm 4.1)

## HAREKETLİ (MOVING) BLOK TREN ALGILAMA TEKNOLOJİLERİ

CBTC'nin gelişiyle, Sinyal Mühendisleri raylı sistem hatlarını, kılavuzu küçük bloklardan oluşan bir zincir yerine bitişik bir yol olarak görmeye başladılar. Bu, geleneksel sinyalleşme görüşünden radikal bir ayrılmaydı. Hareketli blok, son yıllarda gelişen sabit blok sinyalizasyon kavramlarını alt üst etti. Bu yeni paradigmanın ortaya çıkardığı en önemli özellik, güvenlik mesafesinin artık sabit bloklar tarafından uygulanan statik bir varlık değil, tren hızı ve bu hıza bağlı olarak trenin durma mesafesinin gerçek zamanlı hesaplanmasına dayalı ayarlanabilir bir mesafe olmasıdır; güvenlik mesafesi tren yüksek hızda gidiyorsa uzun, yavaş hızda gidiyorsa kısa olur. Bu yaklaşımın en önemli yararı, trenler arasındaki mesafenin azalmasıdır.

Hareketli bloğun bir diğer yönü, trenle hareket eden güvenlik mesafesidir, dolayısıyla hareketli blok adı verilir. Öndeki tren ileri doğru hareket ederken, bir güvenlik mesafesi ayrımını koruyarak önceki tren onu takip eder. Ayırma minimumda tutulduğu için, boş alan olmaz, tren bir bloğun açılmasını beklemez (sabit blokta olduğu gibi) ve en önemlisi, yol mümkün olduğunca kısa tutulur. Hareketli blok, güvenliği sağlarken rayı en verimli şekilde kullanır.



## SABİT VE HAREKETLİ BLOK SİSTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRMASI

Sabit Blok Sistemleri, trenlerin konumunu sabit bloklarla belirleyen bir sinyalizasyon sistemidir. Bu sistemde, her blokta sadece bir tren bulunabilir.

Hareketli Blok Sistemleri ise, trenlerin konumunu sürekli olarak izleyen bir sinyalizasyon sistemidir. Bu sistemde, blokların boyutları değişebilir ve birden fazla tren aynı anda aynı blokta bulunabilir. Bu yüzden, hareketli blok sistemler sık sefer aralığı ve yüksek kapasitenin ihtiyaç duyulduğu kent içi metro sinyalizasyon sistemlerinde tercih edilmektedir.

Anahat sistemler sabit blok teknolojisi kullanır. Bu yüzden, hareketli blok teknolojisi kullanan CBTC tabanlı metro sinyalizasyon sistemleriyle, ERTMS sistemlerine göre daha sık seferli hat işletmecilik yapılabilmekte ve daha yüksek taşıma kapasitesi yaratılabilmektedir.

## SİNYALİZASYON SİSTEMİNİN TEMEL BİLEŞENLERİ

Raylı sistemlerde sinyalizasyon, temel olarak aşağıdaki temel öğelerden oluşmaktadır.

- Hat Boyu ATC Sistemi (WSATP ve WSATO)
- Araç Üstü ATC Sistemi (OBATP ve OBATO)
- Haberleşme Sistemi (DCN)
- Merkezi Kontrol, Otomatik Tren Denetim Sistemi (ATS)
- Saha Ekipmanları

## OTOMASYON TÜRLERİ

Tren hareketlerinin otomasyonu, sinyal komutlarının uygulamasıyla, makinistlerin trenlerin seyir sınırlamalarının (Limit of Movement Authority-LMA) ötesine geçmesine izin vermeme zorunluluğundan dolayı geliştirilmiştir. Tren kontrolünün otomasyonu, elektronik uygulama ile çekiş sistemi (CER) kontrolü, otomatik hızlanma ve frenleme kontrolü kullanılarak geliştirilmiştir.

İlk olarak, İngiltere ve Amerika'da ATC (Automatic Train Control) ve AWS (Automatic Warning System) tanımlamaları ve uygulanmasıyla 1960'lı yıllarda başlamıştır. Bu tanımlama ABD›de Otomatik Tren Kontrolü sistemi kavramına, ATP (Automatic Train Protection), ATO (Automatic Train Operation) ve ATS (Automatic Train Supervision) konularını da ekleyerek uygulanmıştır. ATC kavramı, otomatik demiryolu işletimini tanımlamak için dünya çapında kabul edilmiştir.

## OTOMATİK TREN KONTROLÜ-ATC

Bir ATC sistem paketinin ilk kısmı, Seyir Sınırlamaları (Limit of Movement Authority-LMA) ile Otomatik Tren Korumasıdır (ATP). Bu sistem, hat boyunca hız sınırlamaları ile trenin mevcut hızına, frenleme kabiliyetine ve durmadan gidebileceği mesafe gibi parametrelere dayanır. Manuel olarak sürülen bir trende, makinist bunu güzergâh, araç bilgisi ve yol kenarındaki sinyallerden alınan görsel bilgi kombinasyonu ile yönetir. Otomatik trende, seyir bilgileri, trenin bilgisayarına aktarılır. Bu bilgiler elektronik olarak bir fren eğrisi şeklinde belirlenir. Trenin bu eğri profilini aşması halinde, frenler, trenin durması için otomatik olarak devreye girer.

ATC sisteminin ikinci kısmı Otomatik Tren İşletimidir (ATO). Bu işletim operasyonunun seyir bölümüdür. Manuel olarak sürülen bir trene baktığımızda, sürücünün trenin hareketini başlattığını, izin verilen hıza ivmelenmesini sağladığını, hız kısıtlamaları için gerektiğinde yavaşladığını ve belirlenen istasyonlarda doğru konumda durduğunu görürüz.

ATO sistemi, sürücünün normal olarak tren hareketini başlatması dışında, seyrin bu bölümlerini gerçekleştirecektir. ATO işlevlerini yerine getirmek için kullanılan çeşitli sistemler vardır, ancak hepsi trenler arasında veri iletişimini içerir ve araç için bir güzergâh haritası gerektirir.

## OTOMATİK TREN KORUMA (ATP) SİSTEMLERİ VE İŞLEYİŞİ

Otomatik Tren Koruma (ATP) Sistemleri, trenlerin emniyetli seyahat etmesini sağlamak için geliştirilmiş bir sinyalizasyon sistemidir. Bu sistem, trenlerin hızını kontrol eder ve belirlenmiş hız limitlerine uyulmasını sağlar.

ATP Sistemleri, trenlerin durma mesafelerini hesaplayarak, acil durumlarda otomatik frenleme yapar. Ayrıca, trenlerin çarpışmalarını önlemek için de tasarlanmıştır.

## MERKEZİ TRAFİK KONTROLÜ (CTC) SİSTEMLERİ VE İŞLEYİŞİ

Merkezi Trafik Kontrolü (CTC) Sistemleri, tren trafiğinin merkezi bir yerden yönetildiği bir sinyalizasyon sistemidir. Bu sistem, trenlerin konumunu gerçek zamanlı olarak izler ve trafik akışını optimize eder.

CTC Sistemleri, trenlerin emniyetli seyahat etmesini sağlamak için hızlarını kontrol eder ve belirlenmiş hız limitlerine uyulmasını sağlar. Ayrıca, trenlerin durma mesafelerini hesaplayarak, acil durumlarda otomatik frenleme yapar.

Metro sinyalizasyon sistemlerinde, CTC sistemlerine ilave otomatik sürüş, tarife düzenleme ve tren planlaması gibi yetenekler eklenmektedir. Bu sebeple, metro sistemlerinde, CTC sistemleri otomatik trafik denetim (ATS) olarak adlandırılmaktadır.

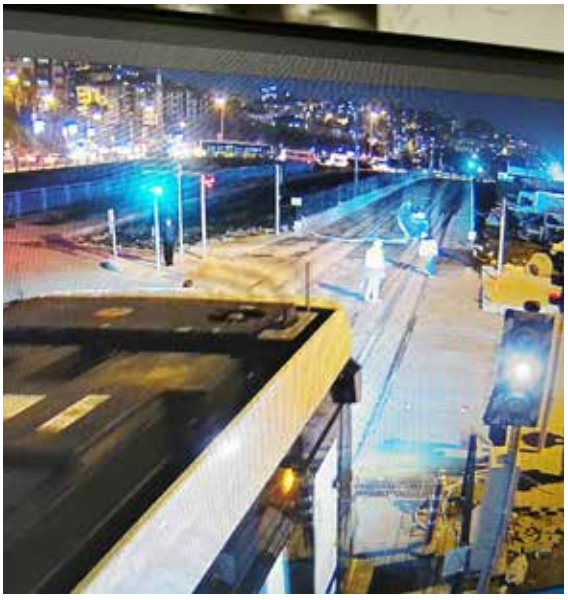
## ANA HAT (ERTMS) SİSTEMİ VE UYGULAMALARI

ERTMS (European Railway Traffic Management System), Avrupa için geliştirilmiş olmasına karşın dünya genelinde de kullanılan bir sinyalizasyon standardıdır. Bu sistem, trenlerin emniyetli ve verimli bir şekilde seyahat etmelerini sağlar.

Sistem, trenlerin konumunu gerçek zamanlı olarak izleyerek, hızlarını kontrol eder. Bu sistemler sabit blok tekniğiyle tren mesafelerinin ayarlamaktadır. Ayrıca, trenlerin durma mesafelerini hesaplayarak, acil durumlarda otomatik frenleme yapar.

## TRAMVAY SİNYALİZASYONU

Tramvay Sinyalizasyonu tramvayların, emniyetli seyahat etmesini sağlamak için geliştirilmiş bir sinyalizasyon sistemidir. Bu sistem, tramvayların hızını kontrol eder ve belirlenmiş hız limitlerine uyulmasını sağlar.



Sistem, tramvayların durma mesafelerini hesaplayarak, acil durumlarda otomatik frenleme yapar. Ayrıca, sistem, tramvayların çarpışmalarını önlemek için de tasarlanmıştır.

Hemzemin geçitler, demiryolu sistemlerinin kritik bir yönüdür, ancak uygun şekilde yönetilmedikleri takdirde önemli emniyet riskleri de oluşturabilirler. Hem trenlerin hem de yayaların veya araçların emniyetini sağlamak için, yaklaşan trenlerin sürücülerini ve yayaları uyarmak için sinyalizasyon sistemleri devreye alınır.

Bu sinyalizasyon sistemleri, bir tren yaklaşırken araçların ve yayaların raylardan geçmesini engelleyen yanıp sönen ışıklar, uyarı zilleri ve bariyerleri içerir. Ayrıca, olası tehlikeleri tespit etmek ve operatörleri gerçek zamanlı olarak uyarmak için sensörler ve kameralar gibi ileri teknolojiler kullanılmaktadır.

## SİNYALİZASYON SİSTEMLERİNİN EMNİYET ODAKLI TASARIMI VE YEDEKLİLİĞİ

Demiryolu sinyalizasyon sistemleri, emniyet ön planda tutularak tasarlanmalıdır. Bu, sistemin herhangi bir potansiyel tehlikeyi hızlı ve doğru bir şekilde tespit edip bunlara yanıt verebilmesi ve kaza riskini en aza indirebilmesi gerektiği anlamına gelir.

Sinyalizasyon sistemleri genellikle yedekli mimaride tasarlanır. Bu, birden fazla devreye girebilecek katman olduğu anlamına gelir. Bu nedenle bir bileşen arızalansa bile sistem yine de etkili bir şekilde çalışabilir. Örneğin, yedekli güç kaynakları, haberleşme kanalları ve kontrol sistemlerinin tümü modern sinyalizasyon sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Sinyalizasyon sistemi, raylı sistemlerin güvenliği için hayati öneme sahiptir. Bu nedenle, sinyalizasyon sistemi tasarımı güvenlik odaklı yapılmalıdır. Sistemdeki herhangi bir hata veya arıza durumunda, otomatik olarak devreye girecek yedeklilik sistemleri de tasarımda yer almalıdır.

Sinyalizasyon sistemi tasarımında ayrıca, trenlerin hızını kontrol eden sistemler de bulunmalıdır. Bu sayede, trenlerin belirli bir hız limitini aşması durumunda otomatik frenleme sistemi devreye girerek, kazaların önlenmesi sağlanabilir.

## DEMİRYOLU SİNYALİZASYON STANDARTLARI VE YÖNETMELİKLERİ

Demiryolu sinyalizasyon standartları ve yönetmelikleri, demiryolu sistemlerinin emniyet ve verimliliğini sağlamada kritik bir rol oynamaktadır. Bu standartlar, sinyalizasyon sistemlerinin tasarımı ve yapımından bakım ve işletilmesine kadar her şeyi kapsar.

Temel standartlar ve düzenlemelerden bazıları, Avrupa genelinde sinyalizasyona standart bir yaklaşım sağlayan Avrupa Tren Kontrol Sistemini (ETCS) ve Amerika Birleşik Devletleri'ndeki ray teftişlerinden sinyal testine kadar her şeyi kapsayan Federal Demiryolu İdaresi'nin (FRA) düzenlemelerini içerir.

Raylı sinyalizasyon standartları ve düzenlemeleri, uluslararası standartlara uygun olarak hazırlanmaktadır. Bu standartlar ve düzenlemeler, raylı sistemlerin güvenliği için belirlenmiş kurallar ve yönetmeliklerdir. Bu kurallar ve yönetmelikler, sinyalizasyon sistemlerinin tasarımı, montajı ve bakımı konularında detaylı bilgiler içermektedir.

Raylı sinyalizasyon standartları ve düzenlemeleri, sürekli olarak güncellenmektedir. Bu sayede, yeni teknolojilerin kullanımı ve güvenlik açısından ortaya çıkabilecek yeni risklerin önlenmesi sağlanmaktadır.

Türkiye'nin raylı sistemlerde sinyalizasyon alanındaki gelişmeleri, ulusal ve uluslararası standartlara uygun olarak gerçekleştirdiği yatırımlarla gözlemlenmektedir. Yüksek hızlı tren hatları, metrolar ve tramvaylar gibi raylı sistemlerde sinyalizasyonun etkin bir şekilde uygulanmasıyla daha güvenli ve verimli bir ulaşım sağlanmaktadır.

Teknolojik gelişmeler, raylı sistemlerde sinyalizasyonun geleceğini şekillendirmektedir. Uzaktan izleme ve kontrol sistemleri, yapay zekâ ve makine öğrenimi, IoT ve otomatik tren işletimi gibi yeni teknolojiler, sinyalizasyon sistemlerinin daha akıllı ve öngörülü hale gelmesini sağlamaktadır. Bu teknolojiler, tren trafiğinin yönetimi, hata tespiti ve sistem performansının optimize edilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği, raylı sistemlerde sinyalizasyonun önemli bir odak noktasıdır. Enerji yönetimi, geri dönüşüm ve malzeme seçimi, yeşil sinyalizasyon ve sürdürülebilir altyapı gibi önlemler, sinyalizasyon sistemlerinin sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağlamasını amaçlamaktadır.

Raylı sistemlerde sinyalizasyonun geleceği, teknolojik gelişmeler ve sektördeki değişen ihtiyaçlar doğrultusunda şekillenecektir. Gelecekteki yönelimler ve öneriler şunları içermektedir:

Entegre ve uyumlu sinyalizasyon sistemleri: Raylı sistemlerde sinyalizasyon, diğer ulaşım sistemleriyle entegre ve uyumlu çalışmalıdır. Çok modlu (Multimodal) ulaşım ağları oluşturmak ve yolcu deneyimini geliştirmek için bu yönelim önemlidir.

Teknolojik gelişmelere odaklanma: Yapay zekâ, IoT, uzaktan izleme ve kontrol gibi teknolojik gelişmelere odaklanarak sinyalizasyon sistemlerini daha akıllı ve etkin hale getirmek önemlidir. Yeni teknolojilerin takip edilmesi ve uygulanması için araştırma ve geliştirmeye yatırım yapılmalıdır.

Sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği: Sinyalizasyon sistemlerinde sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği önemlidir. Enerji yönetimi, geri dönüşüm, yeşil sinyalizasyon ve sürdürülebilir altyapı gibi önlemler, bu hedeflere ulaşmak için önemli adımlardır.

İş birliği ve standartlaştırma: Raylı sistemlerde sinyalizasyonun etkin bir şekilde çalışabilmesi için iş birliği ve standartlaştırma önemlidir. Ulusal ve uluslararası düzeyde ortak standartlar ve protokoller belirlenmeli ve sektör paydaşları arasında iş birliği sağlanmalıdır.

Raylı sistemlerde sinyalizasyon, güvenli, verimli ve sürdürülebilir bir ulaşım ağı oluşturmak için kritik bir öneme sahiptir. Bu çalışmada, raylı sistemlerde sinyalizasyonun başlangıçtan günümüze kadar Türkiye ve dünya özelinde işleyişi, gelişmeleri ve gelecekteki yönelimleri incelenmiştir.

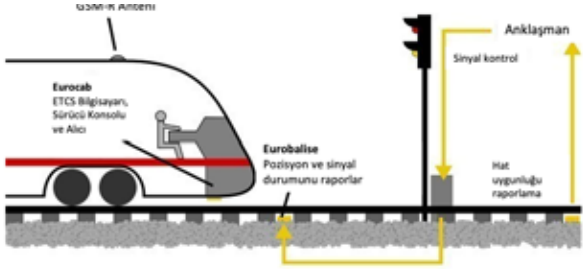
Türkiye'nin raylı sistemlerde sinyalizasyon alanındaki yatırımları ve gelişmeleri, güvenli ve verimli bir raylı ulaşım ağı oluşturmak için önemli bir adımdır. Teknolojik gelişmeler, sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği ise gelecekteki odak noktalarını belirlemektedir.

Sonuç olarak, raylı sistemlerde sinyalizasyonun sürekli olarak geliştirilmesi, yeniliklerin takip edilmesi ve iş birliği sağlanması gerekmektedir. Bu sayede, güvenli, verimli ve sürdürülebilir bir ulaşım sistemi oluşturulabilir ve raylı sistemlerin geleceği daha parlak bir şekilde şekillenebilir.

# TÜRKİYE'NİN ANAHAT SİNYALİZASYONU

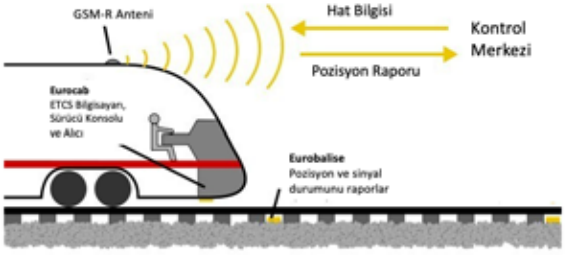
Sinyalizasyon sistemi olmayan konvansiyonel hatlarda trenin hangi konumda olduğu, seyre devam edip etmediği ve diğer istasyona ne zaman geleceği tam olarak bilinemediğinden trenler birbirlerini, işletme emniyet kuralları gereği, istasyon mesafesi ile takip etmektedirler. Böyle bir durumda trenin hangi konumda olduğu, seyre devam edip etmediği ve diğer istasyona ne zaman geleceği tam olarak bilinememektedir. Sinyalizasyon sistemi, trenlerin konum bilgilerinin anlık olarak izlenmesini ve hatta bulunan trenler ile iletişimi sağlayarak güvenli bir işletmeye olanak vermektedir. Böylelikle, sinyalli hatlarda tren takip mesafesi ve takip süreleri azaltılarak hat kapasitesi arttırılmış ve etkin olarak planlanabilir hale getirilmiş olur.

Avrupa'da neredeyse her ülke zaman içinde kendi ihtiyaçlarına uygun bir sinyal sistemi geliştirmiştir. Avrupa Tren Kontrol Sistemi (ETCS), Avrupa Birliği sonrası ulaşımda serbestleşme ile birlikte ülkelerin yerleşik sinyal ekipmanlarının başka ülkelerde işlevsiz kalması durumuna çözüm olarak tüm bu sistemlerin yerini alacak tek bir otomatik tren koruma sistemi olması ihtiyacı sebebi ile geliştirilmiş bir sistemdir. Avrupa Demiryolu Trafik Yönetim Sistemi'nin (ERTMS) amacı Avrupa çapında kesintisiz bir demiryolu sistemi tesis ederek sınır ötesi karşılıklı işletilebilirliği sağlamaktır. ETCS, tren hareketlerini her zaman denetleyebilen ve izin verilen durma noktasının ilerisine giderse treni durdurabilen yerleşik ekipmana dayanan bir tren kontrol standardıdır. Sisteme gönderilen sinyal bilgileri, işletim seviyesine bağlı olarak yol kenarı ekipmanlarından, balizlerden veya kablosuz iletişim sistemlerinden alınmaktadır. ETCS, makinistin tepkisini sürekli olarak izleyerek gerektiği durumlarda servis freni veya acil durum frenlerini etkinleştirerek kontrolü ele almaktadır.




Seviye I: Seviye 1 uygulamada hat boyu ve araç üstü ekipmanlar mevcuttur.

Seviye II: Seviye 2 uygulamalarda ise araç üstü ekipmanlara ilave olarak GSM-R sistemi kullanılır



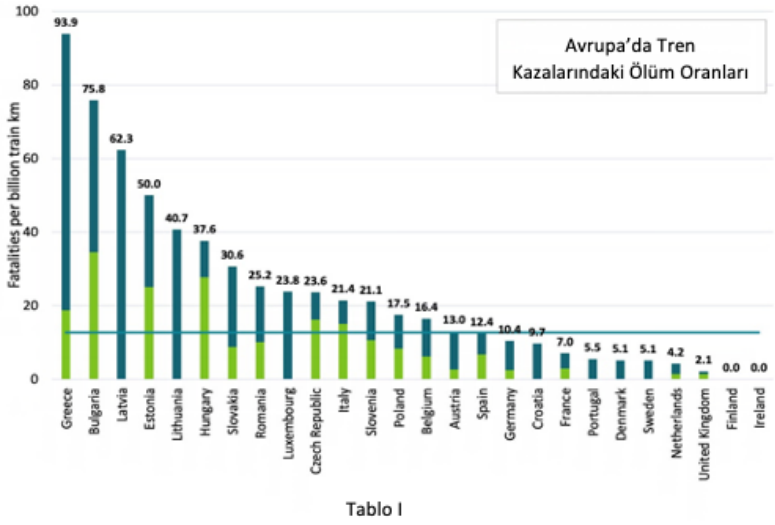

Seviye III: Seviye sistemlerde araç ile GSM-R yardımı ile sürekli ve anlık iletişim sağlanır. Hat boyu ekipmanlarına ihtiyaç duyulmaz.

Seviye 0, 1 ve 2 sabit blok yöntemi ile çalışmaktadır. Sabit blok, demiryolu hattının belli segmentlere bölünmesi ve bu segmentlerin her geçişinde yeni bir limitin bir sonraki segment olduğu bir kontrol kümesinden oluşmaktadır. Seviye 3'te ise hareketli blok uygulaması kullanmakta ve demiryolu aracının net konumu daha dar bir konumda takip edilmektedir. Ulusal sistemin kullanılması gereken hatlarda ise NTC seviyesi (National Train Control Level) kullanmakta ve araçta bulunan ulusal koruma sistemine ait ekipmanlar devreye girmektedir. Bu esnada ETCS, sinyal sistemini pasif bir şekilde takip etmektedir.

## SİNYAL SİSTEMLERİNİN AVANTAJLARI

**Artan demiryolu trafik güvenliği:** Tren hız ve trafiğinin sürekli ve anlık denetimi yüksek bir güvenlik seviyesi sağlamaktadır. Dünya üzerinde meydana gelen ölümlü demiryolu kazalarında insan faktörü ilk kaza nedeni olarak gösterilmektedir. Tablo I'de görülen Avrupa ortalamasında her milyar kilometrelik seyahatte ortalama 12.7 kişi ölmektedir. Bu rakamlar sinyalizasyon devreye alma miktarı yüksek ülkelerde ortalama 2 kişi seviyesindeyken, sinyalizasyon oranı daha düşük ülkelerde 94 kişiye kadar çıkabilmektedir. Bu kazaları önlemenin en iyi yöntemi trafik otomasyonunu ve sinyalizasyon oranını arttırmaktır. Tablo II'de sinyalizasyonlu araç sayıları ile Tablo I'de görülen ölümlü kaza oranlarının ters orantılı olduğu görülmektedir.

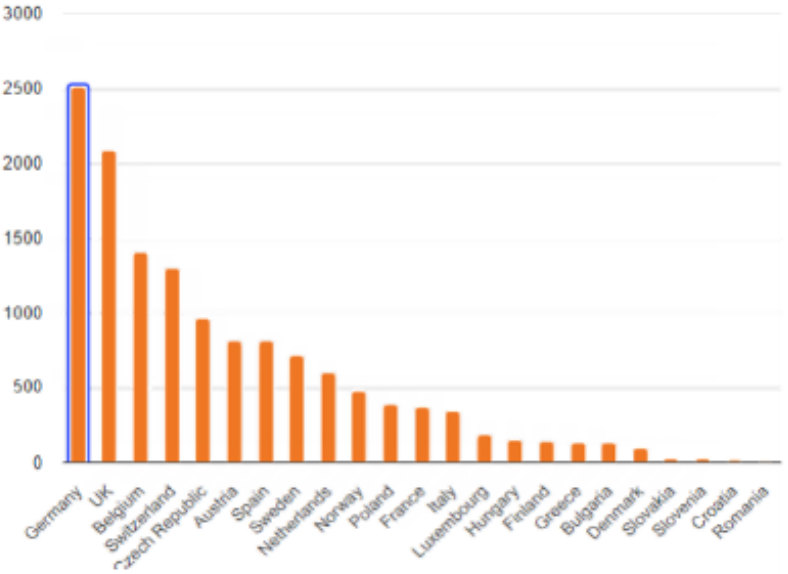
**Avrupa'da Tren Kazalarındaki Ölüm Oranları**




Tablo I

Tablo 1

**Avrupa'da, Ülkelere Göre ETCS Seviye 1 veya Seviye 1/2 Araç Üstü Donanımlı Araç Sayıları**




Avrupa'da, Ülkelere Göre ETCS Seviye 1 veya Seviye 1/2 Araç Üstü Donanımlı Araç Sayıları

Tablo 2

Dakiklik ve planlamada tutarlılık artışı: ERTMS, trenler arasındaki minimum mesafenin veya sürenin azaltılmasına izin vererek demiryolu trafik kapasitesini arttırmakta ve daha isabetli bir planlama yapılabilmesine olanak sağlamaktadır.

Kapasite artışı: Günümüzde demiryolları operasyonları belli yoğun merkezlerde hızı artan, kararlı ve yüksek kapasiteli bir trafiğe ihtiyaç duymaktadır. Sefer sürelerini kısaltmak böylece aynı hat üzerinde çok sayıda aracın aynı anda trafikte olmasını sağlamak için sinyal sistemleri çok önemli role sahiptir. Temelde karşılıklı ve emniyetli işletmeyi amaçlayan ERTMS sistemi aynı zamanda çok ciddi kapasite artışına da olanak sağlamıştır.

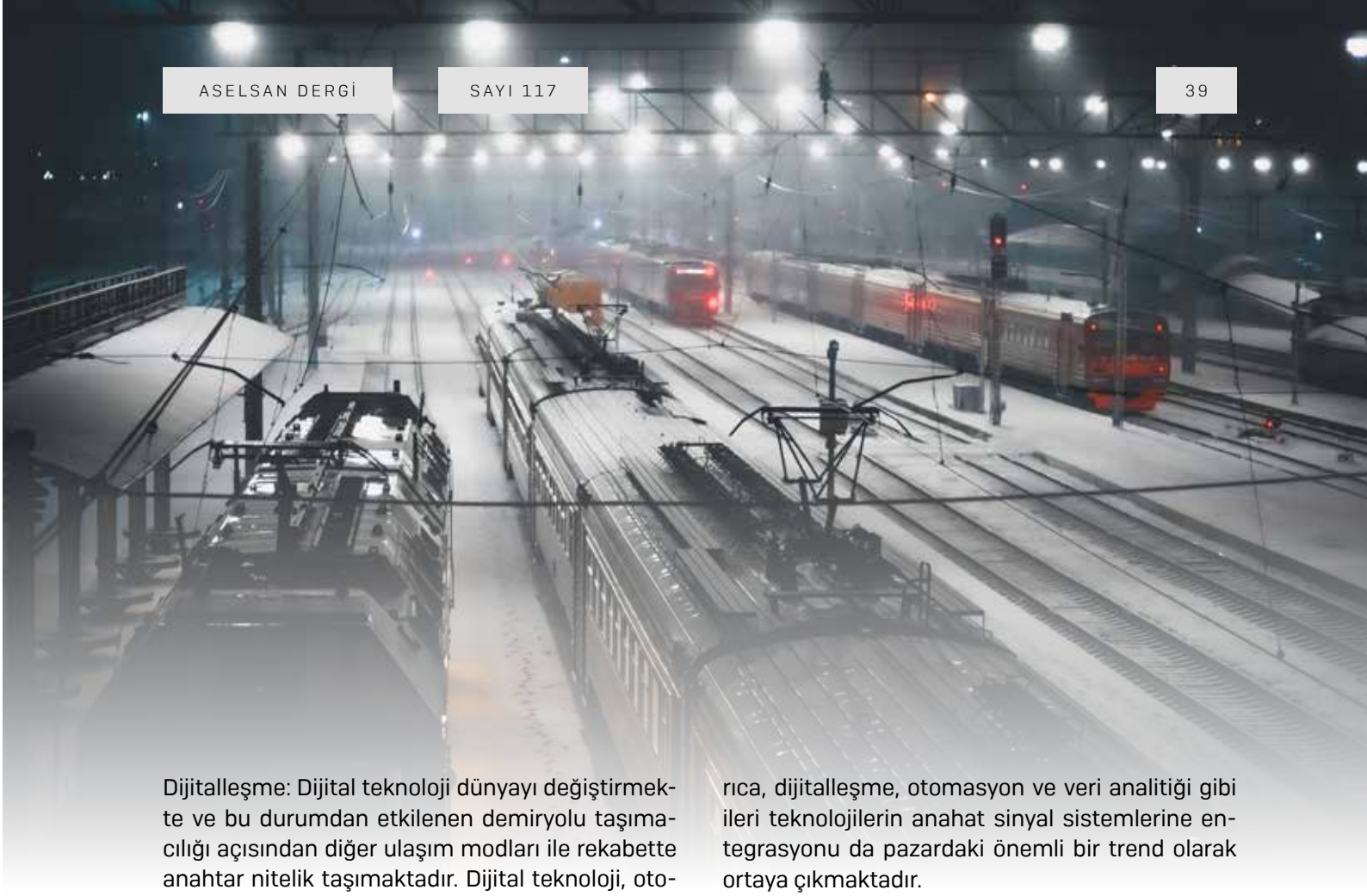
Avrupa ve dünya üzerinde sadece sinyal sistemi entegrasyonu ile %40 oranında bir kapasite artışı mevcut deneyimler sonucu bilinmektedir. Sağladığı kapasite artışı sebebiyle, bir Avrupa Birliği sistemi olmasına rağmen üretilen ERTMS sistemlerinin %50'si Avrupa dışı ülkelere satılmaktadır.

İyi optimize edilmiş seviye 2 ERTMS sisteminde Yüksek Hızlı Trenler için iki tren arasında minimum 2,5 dakika ve yük trenleri arasında 1,5 dakika süre konularak işletilmesine imkân vermektedir. Tabi ki kapasite artışı altyapılarda yapılacak iyileştirmeler, araçların verimliliği ve trafiğin iyi optimize edilmesi ile yakından ilişkilidir ancak bir sinyal sistemi ile hızlı, dakik ve yoğun bir trafiği güvenli bir şekilde yönetmek mümkün olmaktadır.

Demiryolu taşımacılığının tercih edilir kılınması: Artan demiryolu kapasitesi, maliyetleri ve operasyon sürelerini azalttığından yük taşımacılığında karayolu, yolcu taşımacılığında ise havayolu taşımacılığına karşı demiryolu taşımacılığının rekabet gücü artmakta ve demiryolu taşımacılığı yaygınlaşarak daha ekonomik ve çevreci bir ulaşım sağlanabilmektedir.

Bakım maliyetlerinde ve enerji tüketiminde azalma: ERTMS seviye 2'de hat boyu sinyallerine ihtiyaç duyulmaması, ERTMS seviye 3'de ise neredeyse tüm tren algılama sistemlerinin ortadan kalkması nedeniyle hat boyunda daha az bileşen kullanıldığından bakım maliyetleri düşmektedir. Ayrıca akıcı bir trafik oluştuğundan araç aksamlarında daha az aşınmalar oluşmakta ve çevreye daha az gürültü emisyonu salınabilmektedir.

Düzenli akan bir trafikte azalan durma ve kalkmalar, sürücüye bağlı hızlanma ve yavaşlama performansı yerine hız kontrolünün otomatik yapılması sistemlerde enerji tüketimini azaltarak optimizasyonlara olanak sağlamaktadır.



Dijitalleşme: Dijital teknoloji dünyayı değiştirmekte ve bu durumdan etkilenen demiryolu taşımacılığı açısından diğer ulaşım modları ile rekabette anahtar nitelik taşımaktadır. Dijital teknoloji, otomasyon seviyesini arttırırken taşımacılığı daha doğru planlamaya ve yönetmeye fırsat vermektedir. Özellikle yük taşımacılığı, güvenli, hızlı ve dakik ulaşım modundan ciddi avantajlar sağlayabilmektedir. Birçok nakliye firması hızlarını arttırırken enerji tüketimlerini ve risklerini azaltacak bu sistem ile performanslarını ve verimliliklerini arttırmayı hedeflemektedir.

## ANAHAT SİNYAL SİSTEMLERİNİN DÜNYA PAZARI

Dünya genelinde anahat sinyal sistemleri pazarının büyüklüğü sürekli olarak artmaktadır. Artan demiryolu yatırımları, tren trafiğinin yoğunluğu ve güvenlik gereksinimleri, özellikle yüksek hızlı tren hatları, şehir içi demiryolu sistemleri ve uluslararası demiryolu bağlantıları gibi projeler bu sistemlere olan talebi artırmaktadır. Aynı zamanda, teknolojik gelişmelerle birlikte daha gelişmiş ve akıllı anahat sinyal sistemleri geliştirilmekte ve kullanılmaktadır.

Bu pazarda rekabet yoğundur ve şirketler, teknolojik yenilikleri ve güvenilir çözümleri sunarak müşteri taleplerini karşılamaya çalışmaktadır. Ayrıca, dijitalleşme, otomasyon ve veri analitiği gibi ileri teknolojilerin anahat sinyal sistemlerine entegrasyonu da pazardaki önemli bir trend olarak ortaya çıkmaktadır.

## TÜRKİYE'DE SİNYALİZASYON ALANINDAKİ GELİŞMELER

Ülkemiz Asya, Avrupa ve Afrika kıtalarının tüm ulaşım modlarında (deniz, kara, hava ve demiryolu) yük ve yolcu taşınmasında tarihsel açıdan her zaman önemli bir konuma sahip olmuştur. Son zamanlarda demiryolu alanında yapılan ciddi yatırımlar ve atılımlar ile ülkemiz bu alandaki avantaj ve faydalardan yararlanmak istemektedir. ERTMS, demiryolu altyapısının modernleştirilmesi ve yenilerinin kazanılmasında çok önemli ve hayati bir role sahiptir.

2035 sonunda 31,000 km'lik bir demiryolu ağına sahip olunacağı düşünüldüğünde demiryolunun hayatımızdaki etkisini, hız, ulaşım kolaylığı ve ekonomik anlamda etkileyeceği öngörülmektedir. Demiryolu yatırımlarının ivmelenmesi ile yeni yerleşim ve üretim merkezlerinin kurulması, yeni iş alanlarının oluşması ve uluslararası ticaretin artması da beklenmektedir.

Türkiye'deki kritik Anahat Sinyalizasyon Sistem Projelerinden bazıları aşağıda yer almaktadır.

**Halkalı-Kapıkule Hızlı Tren Projesi:** Halkalı-Kapıkule Demiryolu Projesi, Türkiye ve Avrupa arasındaki demiryolu bağlantısını güçlendirmeyi ve uluslararası ticareti desteklemeyi hedeflemektedir.

229 km güzergâhta 200 km/s hıza uygun, çift hatlı, elektrikli ve ERTMS Seviye 1 sinyalli olarak hem yük hem de yolcu taşımacılığı yapılabilecek yeni hızlı tren hattı inşa edilmesi planlanmaktadır.

**Ankara-İstanbul Hızlı Tren Hattı:** Ankara-İstanbul YHT hattı üzerinde ERTMS Seviye 1 ve Seviye 2 uyumlu sinyalizasyon sistemi kullanılmaktadır. Bu proje, Türkiye'deki ilk ERTMS uygulamalarından biri olmuştur. Ayrıca Ankara-İstanbul arasında uzunluğu 344 kilometre olan ve trenin saatte 350 kilometre hıza ulaşacağı bir süper hızlı tren hattı planlanmaktadır. Planlanan bu süper hızlı tren hattı ile iki şehir arasındaki seyahat süresinin 89 dakika olması hedeflenmektedir.

**Ankara-Sivas Yüksek Hızlı Tren Hattı:** Bu hat 405 km ve 8 istasyonlu olup hat üzerinde, tren konum bilgilerini süreklilikle kontrol merkezine ileten ve daha hassas tren takibi yapabilen ERTMS Seviye 2 sistemi kullanılmaktadır.

**Ankara-Konya Yüksek Hızlı Tren Hattı:** Tamamen yerli firma, iş gücü ve öz kaynaklarla gerçekleştirilen proje kapsamında Polatlı-Konya arasında 218 km uzunluğunda alt yapısı 250 km/s hıza uygun çift hatlı, elektrikli ve ERTMS Seviye 1 sinyalli yüksek hızlı demiryolu inşa edilmiş olup, 2011 yılında hizmete açılmıştır.

**Konya-İstanbul Yüksek Hızlı Tren Hattı:** Konya-İstanbul Yüksek Hızlı Tren Hattının ilk kesimi olan Konya-Eskişehir YHT hattı 2013 yılında hizmete açılmış olup, Konya-İstanbul (Pendik) 2014 yılında ve Konya-İstanbul (Halkalı) Yüksek Hızlı Tren hattı 2019 yılında tamamlanmıştır.

**Ankara-İzmir Hızlı Tren Hattı:** Ankara-İzmir hızlı tren hattı, inşa ve sinyalizasyon çalışmaları devam eden önemli projelerden biri olup, 2025 yılında hat üzerinde ERTMS Seviye 2 teknolojisi kullanılarak sinyalizasyon sağlanması hedeflenmektedir.

**Kars-Tiflis-Bakü Demiryolu Hattı:** Türkiye›nin uluslararası bir projesi olan Kars-Tiflis-Bakü demiryolu hattında sinyalizasyon çalışmaları devam etmektedir. Bu hat, Türkiye, Gürcistan ve Azerbaycan arasında sinyalizasyon sistemi uygulanmış bir demiryolu bağlantısı sağlayacaktır.

**Diyarbakır-Batman-Muş Demiryolu Hattı:** Diyarbakır, Batman ve Muş illerini birbirine bağlayan demiryolu hattında sinyalizasyon çalışmaları devam etmektedir.

**Bandırma-Bursa-Yenişehir-Osmaneli Hızlı Tren Projesi:** 201 km güzergahta 200 km/saat hıza uygun yeni çift hatlı, elektrikli ve ERTMS Seviye 2 sinyalli hızlı tren hattının 2024 yılında tamamlanması planlanmıştır.

**Konya-Karaman Hızlı Tren Projesi:** Konya-Karaman hızlı tren hattı 2022 yılında tamamlanmış olup yolcu ve yük taşımacılığının birlikte yapıldığı ilk hat olarak da büyük öneme sahiptir.

**Mersin-Adana-Gaziantep Hızlı Tren Projesi:** Mersin Adana-Osmaniye-Gaziantep arasında 160-200 km/saat hıza uygun, ERTMS Seviye 1, çift hatlı, elektrikli ve sinyalli hızlı demiryolu hattı planlanmıştır.

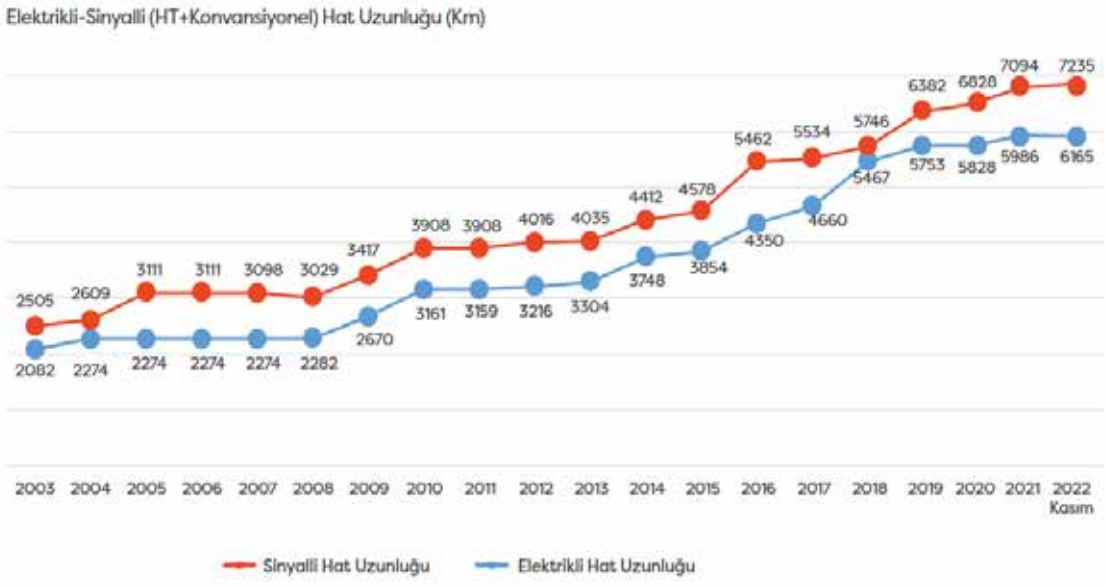
**Karaman-Ulukışla Hızlı Tren Projesi:** Konya-Karaman hızlı tren hattına bağlantılı olarak 135 km uzunluğundaki Karaman-Ulukışla arasında 200 km/saat hıza uygun yeni çift hatlı, elektrikli ve sinyalli hızlı tren hattı planlanmıştır.

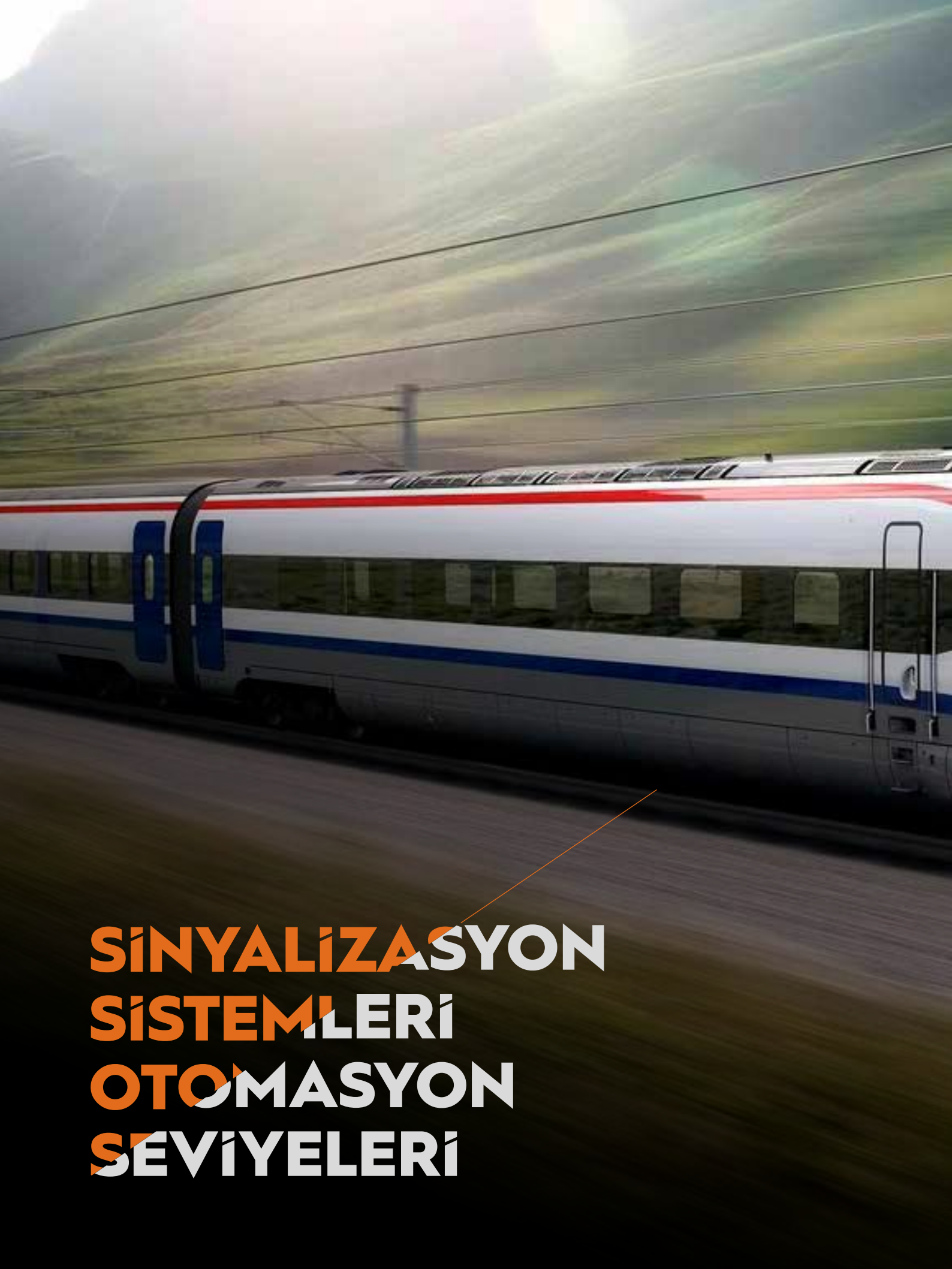
**Bakü-Tiflis-Kars Demiryolu Projesi:** Toplam uzunluğu 838 kilometre olan demiryolunun, 76 kilometresi Türkiye'den, 259 kilometresi Gürcistan'dan ve 503 kilometresi ise Azerbaycan'dan geçmektedir.

Türkiye'de demiryolu projeleri adım adım gerçekleştirilerek; 2003 yılından bugüne kadar 709 km ilave konvansiyonel hat, 1.460 km hızlı tren hattı işletmeye alınarak ülkemizin demiryolu ağı 13.128 km'ye yükseltilmiştir.

Tablo: Demiryolu Hat Uzunluğu (Km)

| Yıl | Konvansiyonel ( Anahatlar ) | Konvansiyonel ( İltisak hatları + İstasyon yolları ) | Konvansiyonel Hat Toplamı | Hızlı Tren Hatları | Toplam Hat Uzunluğu |
|---|---|---|---|---|---|
| 2003 | 8.697 | 2.262 | 10.959 | - | 10.959 |
| 2004 | 8.697 | 2.271 | 10.968 | - | 10.968 |
| 2005 | 8.697 | 2.276 | 10.973 | - | 10.973 |
| 2006 | 8.697 | 2.287 | 10.984 | - | 10.984 |
| 2007 | 8.697 | 2.294 | 10.991 | - | 10.991 |
| 2008 | 8.699 | 2.306 | 11.005 | - | 11.005 |
| 2009 | 8.686 | 2.322 | 11.008 | 397 | 11.405 |
| 2010 | 8.722 | 2.330 | 11.052 | 888 | 11.940 |
| 2011 | 8.710 | 2.342 | 11.312 | 888 | 12.000 |
| 2012 | 8.710 | 2.350 | 11.120 | 888 | 12.008 |
| 2013 | 8.846 | 2.363 | 11.209 | 888 | 12.097 |
| 2014 | 8.903 | 2.369 | 11.272 | 1.213 | 12.485 |
| 2015 | 8.947 | 2.372 | 11.319 | 1.213 | 12.532 |
| 2016 | 8.947 | 2.372 | 11.319 | 1.213 | 12.532 |
| 2017 | 9.023 | 2.372 | 11.395 | 1.213 | 12.608 |
| 2018 | 9.131 | 2.396 | 11.527 | 1.213 | 12.740 |
| 2019 | 9.194 | 2.396 | 11.590 | 1.213 | 12.803 |
| 2020 | 9.194 | 2.396 | 11.590 | 1.213 | 12.803 |
| 2021 | 9.158 | 2.432 | 11.590 | 1.432 | 13.022 |
| 2022 Kasım | 9.235 | 2.433 | 11.668 | 1.460 | 13.128 |





# SİNYALİZASYON SİSTEMLERİ OTOMASYON SEVİYELERİ

Sinyalizasyon Sistemlerinde, trenlerin sinyalizasyon derecelendirmeleri, otomasyon seviyeleri (Grade of Automation) ile belirlenir. GoA dereceleri 0 ila 4 arasında değer alırken, sürücüsüz metro sistemi GoA3 ve GoA4 seviyelerinde bulunmaktadır. Global olarak, 4 seviyede belirlenen otomasyon seviyeleri aşağıdaki şekilde tarif edilmektedir.

GoA0: Otomatik tren koruma sistemi olmayan manuel çalışma sistemidir. Tren hareketleri ve güvenliğinden sorumlu tren sürücüsüdür. Yol kenarında bulunan çeşitli görsel ve işitsel uyarılar, sabit çalışma kuralları ve işitsel iletişim vasıtasıyla tren kontrolü sağlanmaya çalışılır.

GoA1: Otomatik olmayan tren operasyonudur. ATP (Automatic Train Protection) sistemi, risk analizleri sonrasında ortaya çıkan ve fonksiyonel olarak engellenebilecek tehlikelere karşı tehlikenin oluşması durumunda treni acil bir şekilde durdurur. Rota belirleme, tren aralığı, hat sonu ve belirlenen yöne doğru ilerleme otomatik olarak yapılabilir. Tren sürücüsü, trenin hızlanması/yavaşlaması, kapıların açılması/kapanmasını sağlarken, hattın koşullarını izlemekle de sorumludur.

GoA2: Yarı otomatik tren operasyonudur. Sistem işletimi, tren kabinindeki sürücü, ATP ve ATO (Automatic Train Operation) ile sağlanır. Tren sürücüsü, tren hattındaki koşulların izlenmesini sağlar. Bunun yanı sıra kapıların kapatılması ve tren kalkışına izin verilmesinden de sorumludur. Tren kalkışına sürücü tarafından izin verilmesinden sonra, tren sürüşü ATO tarafından otomatik olarak yapılır. Geriye kalan her fonksiyon ATP ve ATO sistemleri sayesinde kontrol edilir.

GoA3: Sürücüsüz tren operasyonudur. Sistem fonksiyonları ATP ve ATO tarafından sağlanır. Tren hareketleri ve hat boyunda olabilecek farklı senaryolar sistem tarafından kontrol edildiğinden sürücü kabininde, sürücüye gerek bulunmamaktadır. Tren Görevlisi, yolculara destek olmak ve gerekirse kurtarma operasyonlarını sağlamak için trende bulunmaktadır.

GoA4: Gözetimsiz tren operasyonudur. Tren sürücüsü veya görevliye gerek bulunmamaktadır. Bu seviyede, trenler tam otomatik olarak kontrol edilir.

Son yıllarda artan nüfus, toplu taşımanın öneminin gün geçtikçe artması ve bakım onarım maliyetlerinin yükselmesi sebebiyle sürücüsüz metro hatlarına olan talep de artma trendindedir.

Tren sıklığını ihtiyaca göre arttırıp azaltmak, metro hatlarının maksimum kapasitede kullanılması, metro aracının en verimli şekilde işletmek ve insan hatalarını en aza indirgemek amacıyla sürücüye gerek duymayan hatların tercih edilirliği artmıştır. Yolcu sirkülasyonunun yoğun olduğu Paris Metro Hattı, Sidney, Las Vegas Monoray ve Kopenhag Metrosu GoA4 otomasyon sistemine sahip hatlardır.

Londra'yı kuzeyden Stantford, Güneyden Lewisham; batıdan Londra Finans Merkezi ve doğudan London City Havaalanına bağlayan Dockland Hafif Raylı Sistemiyse GoA3 otomasyon seviyesine sahiptir. Yine Londra'da bulunan Victoria Hattıysa GoA2 otomasyon seviyesindedir.

Ülkemizdeyse nüfus yoğunluğunun en fazla olduğu şehir İstanbul'da bulunan M5 Üsküdar-Çekmeköy, M7 Kabataş-Mecidiyeköy-Mahmut Bey ve M8 Bostancı-Dudullu-Parseller Metro hatları sürücüsüz metro hattı olarak kullanılmaktadır.

M2 Yenikapı-Seyarntepe-Hacıosman, M3 Kirazlı-Kayaşehir, M6 Levent-Boğaziçi Üniversitesi metro hatlarıysa GoA2 otomasyon seviyesinde işletilmektedir.

Ankaray ve M1 (Yenikapı- Atatürk Havalimanı / Yenikapı-Kirazlı) metro hatlarında otomatik olmayan tren operasyonu kullanılmaktadır.

# SİNYALİZASYON SİSTEMLERİNDE SİBER GÜVENLİK

## SİBER GÜVENLİK KAVRAMI

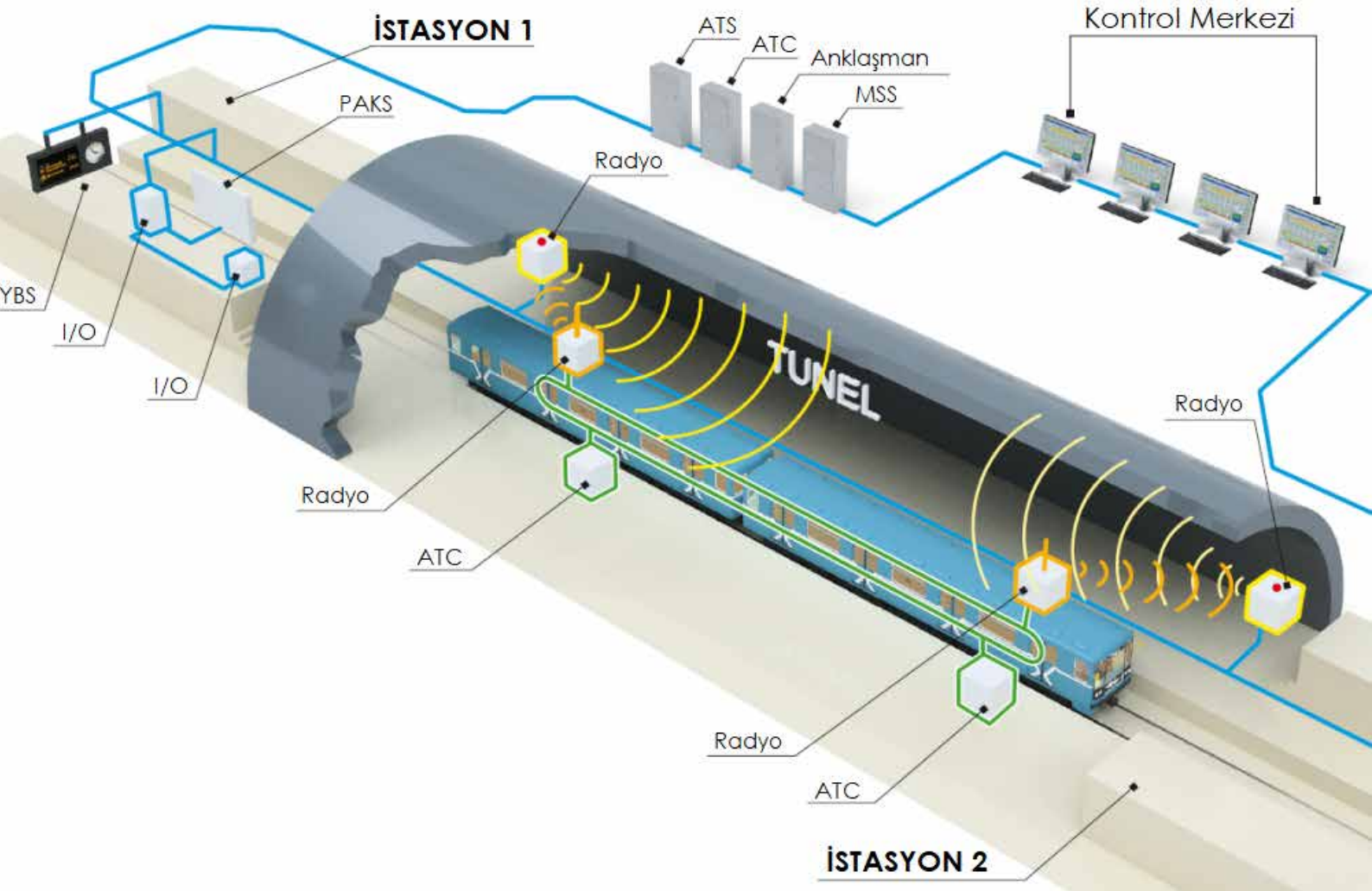
Siber güvenlik kavramı temel olarak kritik sistemlerin veya bilgi varlıklarının yetkisiz kullanımını, hizmet reddini, üzerinde değişiklik yapılmasını, ifşa edilmesini, gelir kaybını veya imha edilmesini engellemek için yapılması gereken eylemlerdir. Birleşmiş Milletler Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU) tarafından siber güvenlik, "Siber uzayda organizasyon, çevre ve kullanıcıların varlıklarını korumak amacıyla kullanılan araçlar, politikalar, güvenlik kavram ve önlemleri, kurallar, risk yönetimi yaklaşımları, eylemler, eğitimler, uygulamalar ve teknolojilerin bütünü" olarak tanımlanmıştır. ITU tarafından kabul edildiği şekilde siber güvenliğin temel amacı, elektronik ve/veya diğer ortamlarda bulunan her türlü bilginin;

- Gizliliğini (Confidentiality),
- Bütünlüğünü (Integrity),
- Kullanılabilirliğini (Availability)

sürekli olarak sağlamaktır.

## RAYLI SİSTEM UYGULAMALARINDA SİBER GÜVENLİĞİN ÖNEMİ

Geçmişte, raylı sistemlerde özel donanım ve protokollerin kullanılması, sistem/alt sistemler arasında sürekli etkileşimin bulunmaması ve kapalı devre bir yapının bulunması sistemler için dış dünyaya karşı doğal bir engel oluşturmaktaydı. Bu nedenle güvenlik, sistem tasarımında önemli bir faktör olarak görülmemekteydi. Ancak günümüz demiryolu sinyalizasyon ve kontrol sistemleri; araç üstü, hat boyu, istasyon ve kontrol merkezi arasında kablolu ve/veya kablosuz haberleşme bulunan, birbiriyle sürekli etkileşim halinde birçok alt sistem/birimden oluşan, farklı sistem/altsistemler ile arayüzü olan sistemlerin sistemi (SoS) seviyesinde bir üst sistemdir.



Sistem karmaşıklığındaki artış, altsistem birimlerinin sürekli etkileşim halinde olması, ortak teknolojilerin ve çeşitli protokollerin bir arada kullanımı, CoTS (Commercial-off-The-Shelf / Ticari Kullanıma Hazır) ürünlerin ve bilgi işlem sistemlerinin (Windows, Linux, Internet Protokolleri vb.) yaygın kullanımı sistemleri gün geçtikçe sayısı ve türleri artan yeni tehditlere (kötü amaçlı kod, casus yazılım, insan hataları vb.) açık hale getirmiştir. Konuyla ilgili olarak; Network Rail 2013 Siber Güvenlik Stratejilerinde, "Sistemlerimizin birbirine bağlılığı (interaktivite / etkileşimlilik) arttıkça, tehditlerin büyüklüğü de artmaktadır. Savunmamızın gelişmesi gerekmektedir." açıklamasında bulunulmuştur. Örnek teşkil etmesi açısından yaşanan bazı önemli vakalar aşağıda verilmiştir:

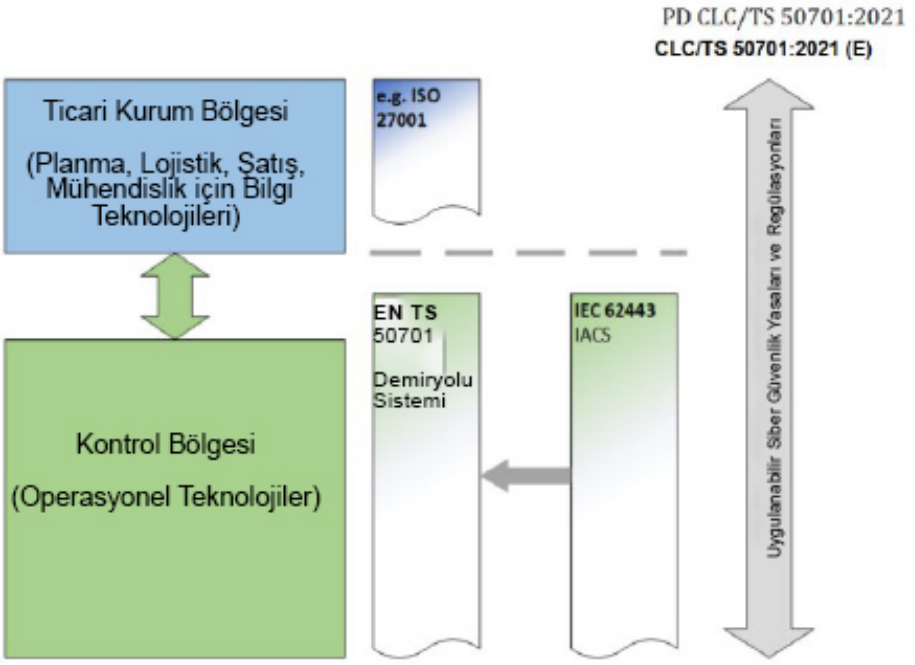
2003 yılında bir bilgisayar virüsü Doğu Amerika Birleşik Devletleri'nde sinyalizasyon sistemlerini kullanım dışı kalmasıyla suçlanmıştır. Virüs, Jacksonville, Florida'daki CSX Transportation'ın (bir demiryolu şirketi) merkezindeki bilgisayar sistemine bulaşmış ve yayılmıştır, 23 eyaleti kapsayan tüm ağları boyunca sinyal ve dağıtım sistemlerini kapatmıştır. Saldırı sırasında trenler karanlık sinyaller nedeniyle durdurulmuş ve gün boyunca 15 dakika ila 6 saat arasında gecikmeler yaşanmıştır.

2008 yılında Polonya'nın Lodz şehrinde 14 yaşında bir çocuk bir tramvay sistemini hacklemeyi başarmıştır. Hattaki rotaları değiştirmek için geliştirdiği kızılötesi cihaz ile 4 tramvayın deray olmasına neden olmuş ve bir tramvay ters yöndeki başka bir tramvay ile çarpışmıştır. Olayda 12 kişi yaralanmıştır.

Kasım 2016'da, San Francisco Belediye Demiryolu'nun iki bin sistemi saldırıya uğramıştır. Fidye yazılımı yönetici panellerini, CAD iş istasyonlarını, ödeme sistemlerini, SQL veritabanlarını, posta ve yazıcı sunucularını, iş istasyonlarını ve bilet kabinlerindeki bilgisayarları şifrelemiştir. BT ekibi durumu çözmek için çalışırken acente gün boyunca ücretsiz yolcu taşımak zorunda kalmıştır. Saldırganlar, fidye olarak 100 Bitcoin istemiştir.

## STANDARTLARA GENEL BAKIŞ

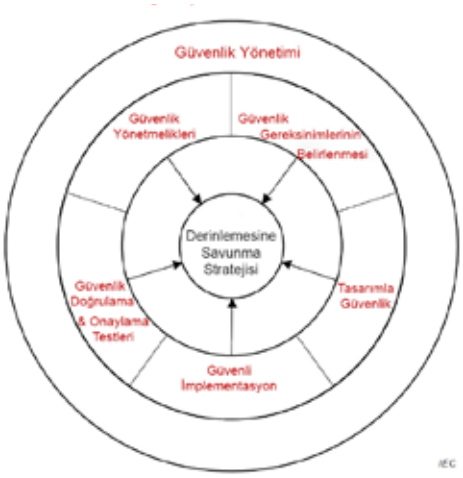
Emniyet ve erişilebilirlik açısından kritik öneme sahip sinyalizasyon sistemlerinde hayati veri haberleşmesi üzerine özel olarak oluşturulan EN 50159 benzeri standartlar yıllardır bulunmaktadır. Bununla birlikte, fonksiyonel ve işletmesel açılardan IT sistemlerinden ayrışan, veri bütünlüğünün çok önemli olduğu raylı ve sinyalizasyon sistemlerini de barındıran Endüstriyel Otomasyon ve Kontrol Sistemleri (Industrial Automation and Control Systems - IACS) için siber güvenlik, ilk olarak 2009 yılında yayınlanan IEC 62443 serisi ile standartlaştırılmıştır.




İlgili standart ailesi ile IACS'ler için siber güvenlik Genel, Politika ve Prosedürler, Sistem ve Komponent konularına özel olarak 4 bölüme ayrılmış, her bölümde ilgili başlığa ait konular farklı standartlar ile özel olarak incelenmiştir. Örneğin, IEC 62443-4-2 spesifik olarak gömülü sistemler, network cihazları, host cihazları ve yazılım uygulamaları gibi IACS sistemi oluşturan komponentler için siber güvenlik açısından teknik gereklilikleri tanımlamak için oluşturulmuştur. IEC 62443 serisinin ana amacı ise güncel-gelecek hassasiyetlerinin iyileştirilmesine olanak sağlayan, sistematik ve savunma ağırlıklı bir davranışa sahip, gerekli tüm önlemleri uygulayan esnek bir sistem mimarisi oluşturmaktır.

Standartlar ile ilgili gelişmeler, siber güvenlik konusunun raylı sistem uygulamalarına özel olarak ele alındığı CLC/TS 50701'in 2021 yılında yayınlanması ile devam etmiş, özellikle emniyet konusunda en kritik sistemlerden olan Sinyalizasyon Sistemleri için siber güvenliğin önemi bir kez daha vurgulanmıştır.

Bu ve benzer gelişmelerle; altyapı yöneticileri, sistem tasarımcıları, bakım ve entegrasyon sorumluları, ekipman üreticileri vb. ilgili paydaşların siber tehditlere karşı "Tasarımla Güvenli (Secure by Design)" bir sistem için yaşam döngüsünde iş birliği içerisinde olması yaklaşımı doğmuştur.



## DERİNLEMESİNE SAVUNMA VE TASARIMLA GÜVENLİ SİSTEM

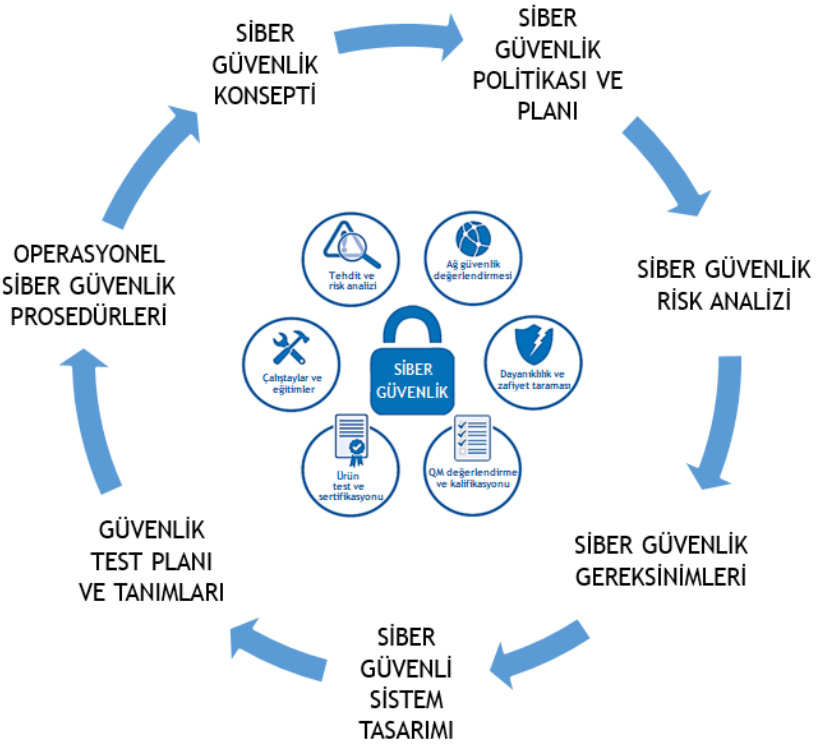
Tasarımla Güvenli (Secure by Design), bir sistem için yaşam döngüsünde siber güvenliğin süreçlere dahil edilmesi yaklaşımıdır. Doğru bir yol haritası ve gerekli tüm tedbirleri içeren bir sistem güvenlik stratejisinin oluşturulması bir diğer önemli husustur. Güvenlik hedeflerine tek bir önlem veya teknik kullanarak ulaşmak genellikle mümkün değildir. Doğru yaklaşım, çoklu karşı önlemlerin bir arada veya kademeli bir şekilde uygulanmasını temel almak, savunma kavramını derinlemesine kullanmaktır.

IEC-62443-4-1 tasarım ilke ve hedeflerine göre güvenliğin farklı aşama ve süreçlerle incelenmesinin, sistem için derinlemesine bir savunma stratejisinin oluşturulmasındaki önemini vurgulamaktadır. Şekilde de görüleceği üzere güvenlik yönetimi en dıştaki çevrede gösterilirken, ikinci çemberde gösterilen diğer uygulamalar, geliştirme yaşam döngüsü boyunca, genellikle yinelemeli bir şekilde uygulanmaktadır. Bu uygulamaların her biri, sürecin merkezi olarak gösterilen derinlemesine savunma hedefine ulaşmasına katkıda bulunmaktadır.

Örneğin, şemada Güvenlik Yönetimi (Security Management) olarak belirtilen kategoriye giren hata yönetimi ve güvenlik güncellemeleri eylemleri, güvenli bir uygulama (implementation) için doğrulanmış iyileştirmeler sağlamaktadır. Herhangi bir sistemin geliştirme süreci (gereksinimlerin oluşturulması, tasarım, harici birim ve sistemlerin kullanımı, entegrasyon, test, doğrulama / onaylama) sistemdeki güvenlik açıklarının tespiti için hayatidir. Sistem geliştirme süreci içerisinde, sistemin zafiyetlerinin belirlenmesi, tespit edilen her sorunun etki ve sıklık analizinden yola çıkılarak güvenlik hasar şiddetinin belirlenmesi gerekmektedir.

Ardından çözüm süreci, tehdidin ciddiyetine ve çözüm opsiyonlarının uygunluğuna bağlı olarak en uygun eylem yolunun belirlenmesi ve olası ise zafiyetin tasarım ile giderilmesi şeklinde devam etmektedir. Örneğin, yazılımların tasarımsal olarak kilitlenmesi, sistem erişiminde kısıtlama ve yetkilendirme mekanizmalarının kullanılması, protokol seviyesi bütünlük kontrol uygulamaları ve kriptolama tasarımla güvenli bir sistem için örnek eylemler olarak gösterilebilmektedir.

ASELSAN UGES Sinyalizasyon Sistemleri Siber Güvenlik Ekibi olarak standartlarda da tariflendiği şekilde tüm paydaşlar için farkındalığın oluşturulmasıyla amacıyla hazırlanan Siber Güvenlik Konsept dokümanı ile başlatılan Siber Güvenlik Yaşam Döngüsü'nü, siber güvenlik politika ve planlarının oluşturulması, sistem risk analizi, siber güvenlik teknik gereksinimlerin türetilmesi ve tasarım süreçleri gibi adımlarla birbirini sürekli besleyen ve yaşayan bir süreç olarak sürdürmektedir.



# SİNYALİZASYON SİSTEMLERİNDE HABERLEŞME ALTYAPISI

## SİNYALİZASYON SİSTEMLERİNDE HABERLEŞME TEKNOLOJİLERİNİN GELİŞİMİ

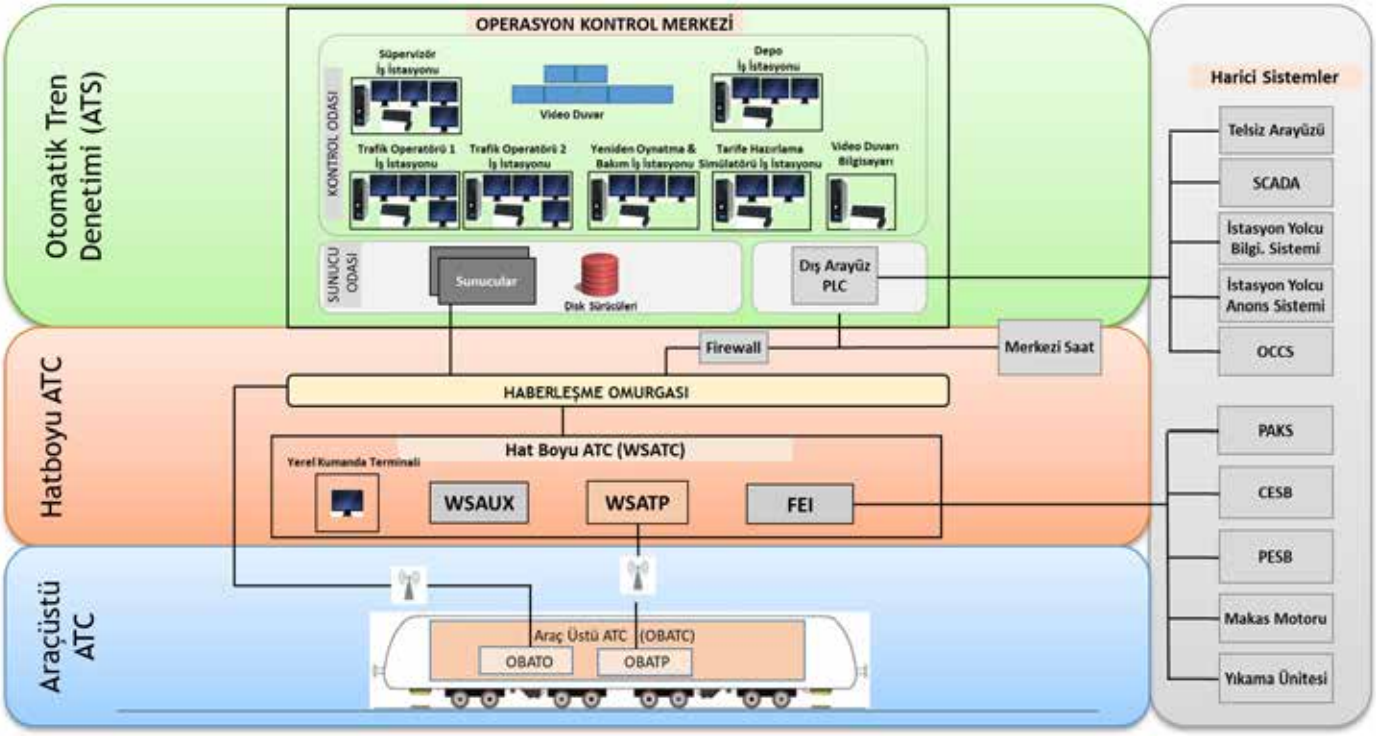
Demiryolu ilk gelişmeye başladığı yıllarda sadece hızlı bir ulaştırma yöntemi olarak kabul edilmekte, kaza, verimsizlik, hizmet dışı kalınması ve servis tehirleri gibi problemler için herhangi bir önlem almak gereksiz görülmekteydi. Ancak, yaşanılan kazalardan ve problemlerden sonra çözüm arayışları kaçınılmaz olmuş, zaman ve teknolojik gelişmelerle saha ekipmanlarının kontrolü ve tren konum tespiti için kablolu haberleşme altyapısına dayanan sinyalizasyon sistemleri kullanılmaya başlanmıştır.

1975'te Norveç'te meydana gelen bir olayın ardından LMEricson ve SRT tarafından tasarlanan bir sistem, kablolu iletişim tekniklerinden ayrışan bir yaklaşıma sahip olmasıyla önemli bir gelişmeydi. Pasif baliz adıyla kablosuz olarak (magnetik) telegram iletimi prensibini kullanan bu sistem, 27 MHz downlink ve 4,5 MHz uplink bağlantı kullanma ilkelerini oluşturmuştur. Bu gelişmeleri konumlandırma bilgisinin yanı sıra bir iletişim kanalı sağlayan SelTrac sistemi takip etmiştir. SelTrac, araçlara 36 kHz taşıyıcıda 1200 bit/s hızında, araçlardan ise 56 kHz taşıyıcıda 600 bit/s hızında veri göndermekteydi.

Günümüz ileri teknoloji sinyalizasyon sistemleri için örnek kabul edilebilecek ilk sistem, Şubat 2003'te San Francisco havaalanında Bombardier tarafından devreye alınan dünyanın ilk radyo tabanlı CBTC (Communication Based Train Control) sistemidir. Birkaç ay sonra, Alstom da benzer bir sistemi Singapur'da tanıtmıştır. CBTC sistemi şu anda, Dünya'da ve Türkiye'de metro hatlarında yaygın olarak kullanılan doğru zamanda doğru tren kontrol bilgisini iletmek için radyo haberleşmesini kullanan haberleşme tabanlı bir sistemdir.

## GÜNÜMÜZ SİNYALİZASYON SİSTEMLERİ HABERLEŞME TEKNOLOJİLERİ

CBTC sinyalizasyon sistemleri temel olarak, bir veya birden fazla merkez tarafından yönetilen ve izlenen, hat üzerinde konuşlandırılan bir takım ekipmanlar aracılığıyla tren konum ve hızlarının tespit edildiği ve diğer sistemlerle paylaşıldığı sistemlerin sistemi yapısında mimarilerdir. Ayrıca, rotalar tahsis edilmekte, trenlerin hareketlerinin bir uyum içerisinde sağlanması ve tehlikeli durumların engellenmesi için tren ve saha ekipmanlarının komutları da sürekli olarak iletilmektedir. Sıcak yedekli mimarilerle donatılmış, %99'un üzerinde emre amadelik oranlarına sahip, trenleri makinistlere dahi ihtiyaç duymadan işletilebilir hale getiren CBTC sinyalizasyon sistemlerinin omurgasını oluşturan ve bahsi geçen yeteneklerin kazandırılması sağlayan en kritik bileşenlerden biri şüphesiz haberleşme sistemidir.



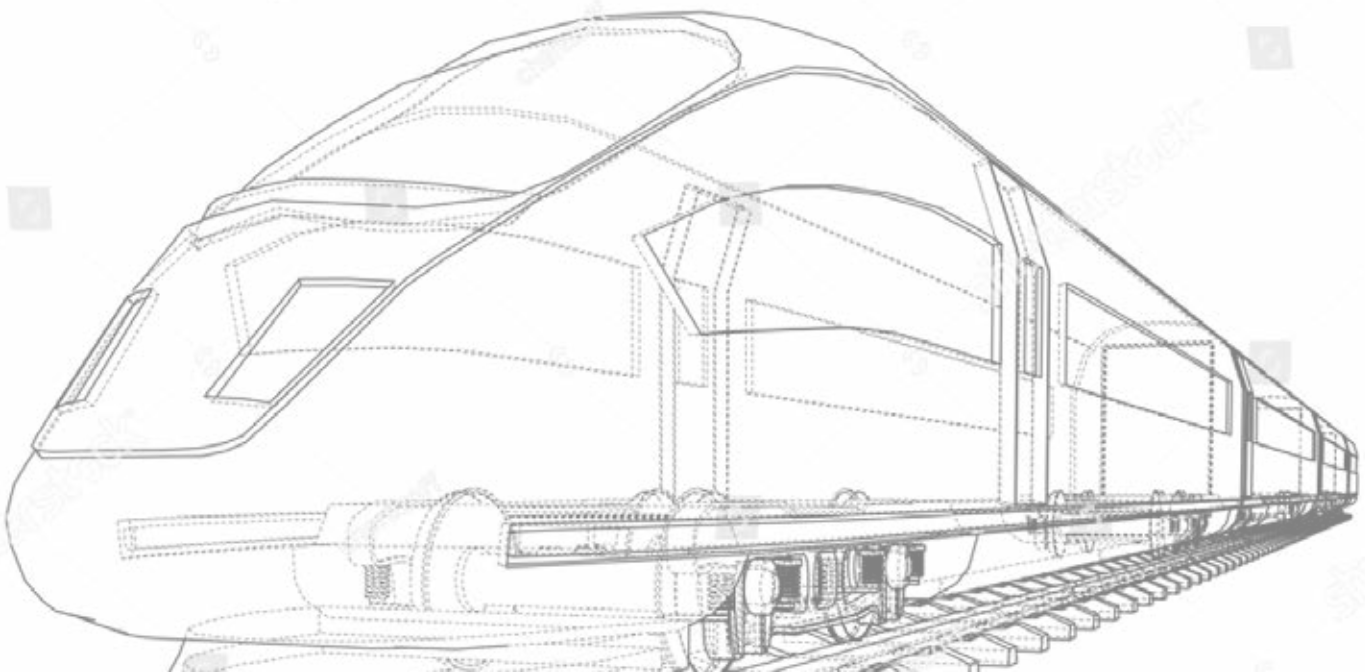
CBTC haberleşme altyapısı bütünüyle IP(Internet Protocol) tabanlı bir altyapı olup kablosuz erişim Wi-Fi standardına dayanmaktadır. Wi-Fi teknolojisinindeki handover kaynaklı sorunlar, düşük yakınsama zamanı ihtiyacı olan CBTC için özel handover algoritmalarına ihtiyacı doğurmuştur. Uçtan uca gecikme süresinin de doğru haberleşme sistemi tasarımı ile düşük tutulması, emre amadeliğin ve güvenilirliğin uygun yedeklilik mekanizmaları ile sağlanması CBTC sisteminin işleyişi için önem arz etmektedir. Wi-Fi'ın girişim (enterferans) hassasiyeti ise girişim etkisi olabilecek farklı sistemlerin dikkate alınarak yapılan doğru RF (Radio Frequency) kapsama alanı çalışmaları ile giderilmektedir. Ayrıca, CBTC sistemi emniyet kritik bir sistem olduğu için verinin haberleşme altyapısı üzerinden EN 50159 (Safety-related communication in transmission systems) standardına dayalı emniyetli haberleşme protokolleri ile taşınması gerekmektedir. Siber güvenlik konusu da birçok sistemde olduğu gibi CBTC sistemi genelinde, buna bağlı olarak haberleşme altyapısında da dikkat alınması gereken önemli bir kavramdır. Bu bilgiler ışığında haberleşme sisteminden temel olarak,

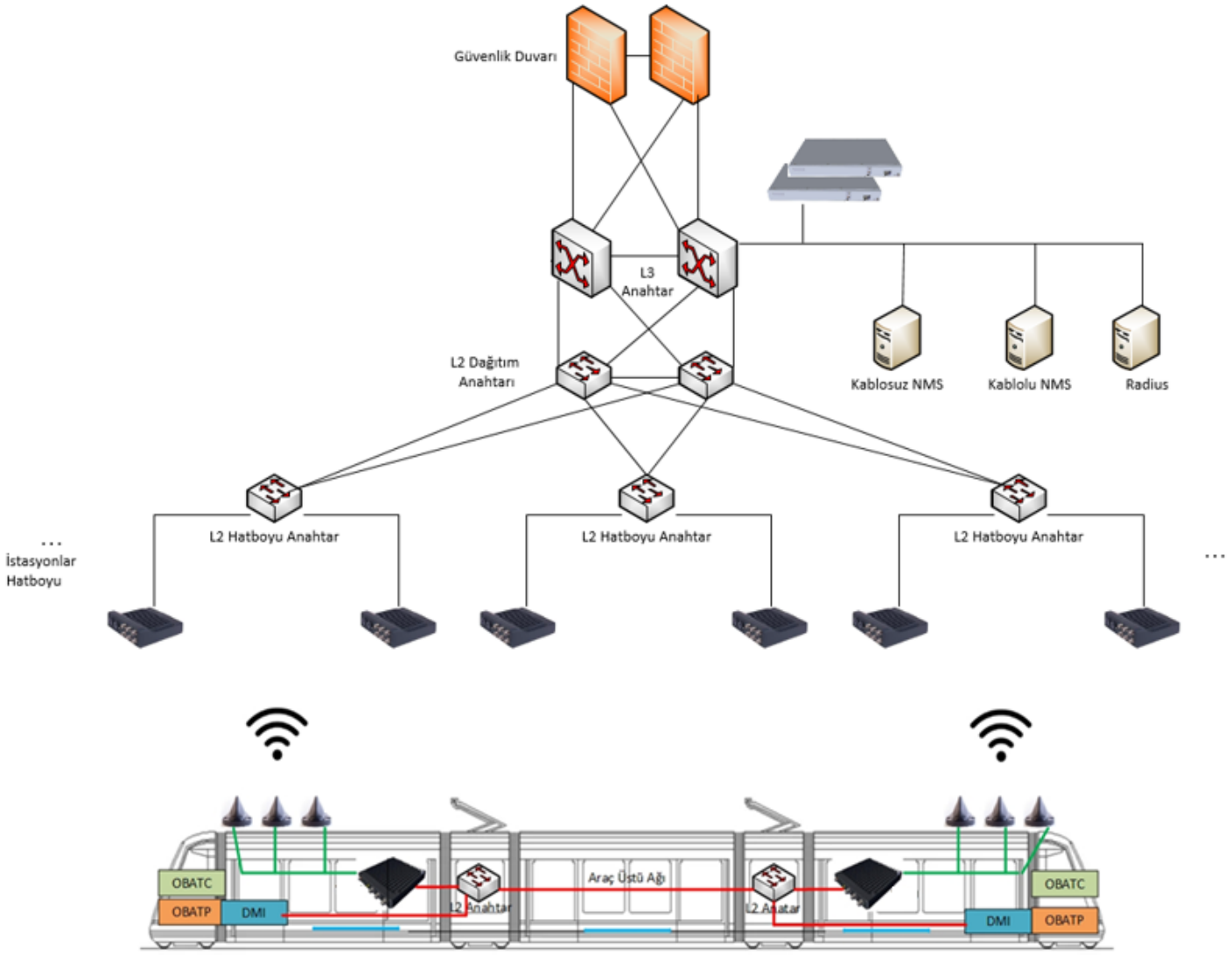
- Uygun yedeklilik mekanizmaları ile %99'un üzerinde emre amadelik sağlaması,
- Yüksek güvenilirlik sağlaması,
- Erişim noktaları ya da baz istasyonları arasındaki handover süresini milisaniyeler mertebesinde sağlaması,
- Uçtan uca haberleşme gecikme süresini milisaniyeler mertebesinde sağlaması,
- Emniyetli bir şekilde verinin taşınmasına olanak sağlaması,
- Verilerin gizliliği, bütünlüğü ve kullanılabilirliği için siber güvenlik önlemlerinin alınmasına olanak sağlaması,
- Girişim dayanımı

beklenmektedir.

- Beklentiler doğrultusunda haberleşme sistemi örnek mimari şekilde de görüldüğü üzere,
- Hatboyuna ve araçüstüne yeter seviyede RF kapsama alanı sunan yedekliliği sağlayacak şekilde atlamalı ve birbirini örten (overlap) şekilde konuşlandırılmış baz istasyonlarından,
- Merkeze, hatboyuna ve araçüstüne uygun protokolleri kullanılarak yedekli olarak yerleştirilmiş ağ ekipmanlarından (Ağ Anahtarı, Yönlendirici, Güvenlik Duvarı, Yönetim ve Yetkilendirme sunucuları),
- Bağlantı yedekliliği protokolleri ile yedekli veri bağlantılarından

oluşmaktadır.






## GÜNDEMDEKİ TEKNOLOJİLER

Raylı sistemlerde CBTC sistemi yanında haberleşme altyapılarına ihtiyaç duyan farklı sistemler de (araçüstü yolcu bilgilendirme sistemi, güvenlik kamera, araç durum bilgileri kayıt ve yolcu internet servis sistemi vb.) mevcuttur. Farklı sistemlerin farklı haberleşme altyapılarını kullanması maliyet ve operasyonel zorluğu da beraberinde getirmektedir. Bu nedenle "converged networks (yakınsayan ağlar)"gündemde olan konular arasında yer almaktadır. Ağların yakınsaması, tek bir haberleşme sistemi veya ağı üzerinden birçok sistemin ya da servisin MPLS (Multi Protocol Label Swiching) benzeri teknolojiler ile uygun QoS (Quality of Service) mekanizmaları kullanılarak taşınması olarak nitelendirilmektedir. Bununla birlikte, mevcutta kullanılan Wi-Fi teknolojisi yerine LTE, 5G teknolojilerinin kullanımı ağların yakınsaması ile birlikte oluşabilecek bant genişliği sorununu da çözecektir. Diğer taraftan, ilerleyen zamanlarda tren sefer aralığın daha da sıklaştırılması, sanal kuplaj ve konvoy uygulamaları gibi ihtiyaçlar doğrultusunda tren kontrol algoritmalarında yapılacak değişiklikler, trenler arası kesintisiz haberleşmeye olan ihtiyacı da beraberinde getirecektir ve bu durum haberleşme sistemi tasarımında değişikliklere yol açabilecektir.

# COBALT® METRO SİNYALİZASYON SİSTEMİ

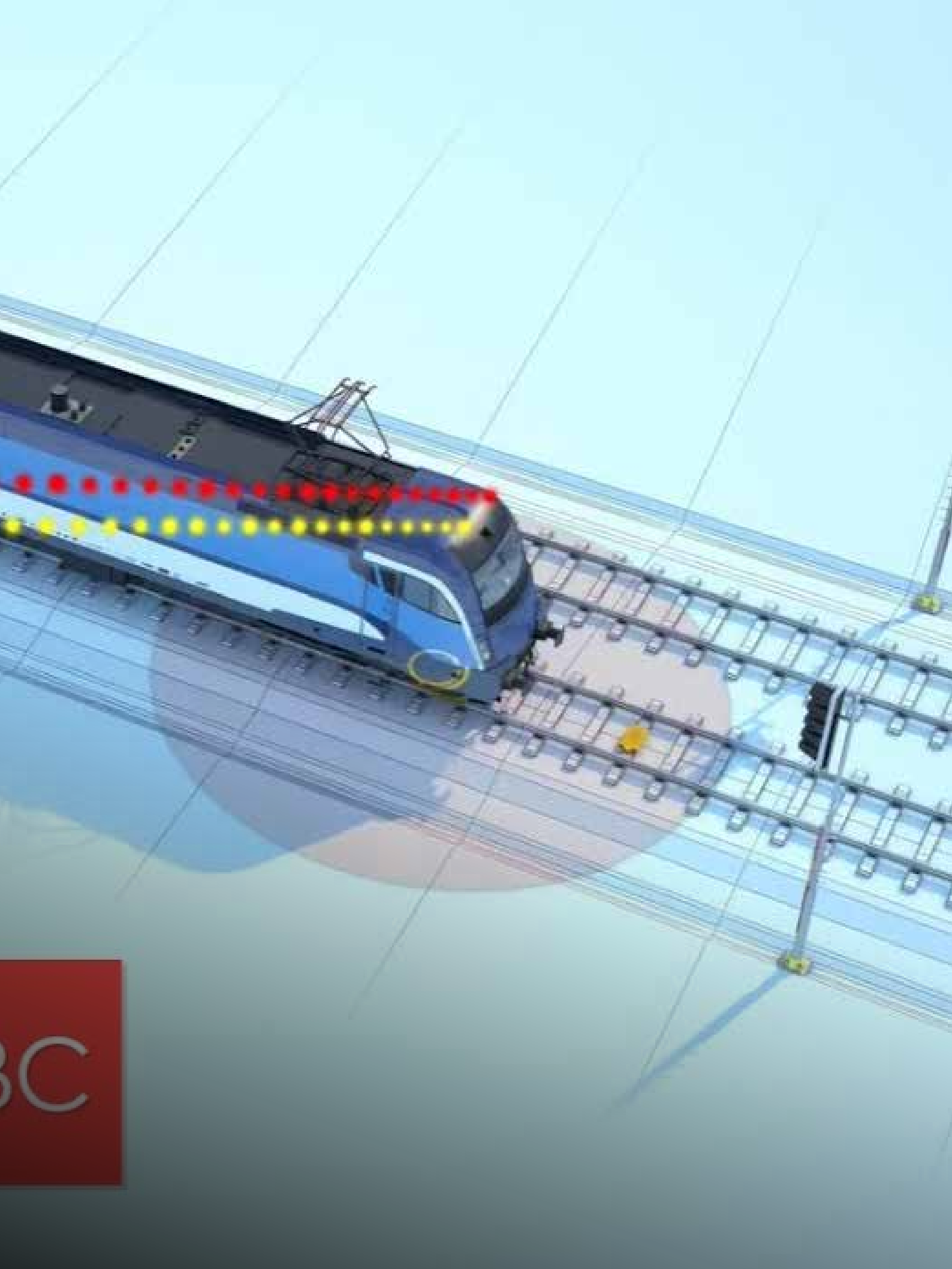
ASELSAN COBALT Metro Sinyalizasyon Sistemi, Haberleşme Tabanlı Tren Kontrol (CBTC), tekniği temel alınarak geliştirilmiştir. Günümüzün modern ve yoğun şehir içi raylı ulaşım sistemlerine yönelik güvenli, verimli, dakik ve yüksek taşıma kapasitesi sağlayan çözümler sunulmaktadır.

aselsan

# ERTMS/ETCS SEVİYE 1/2 ARAÇÜSTÜ SİNYALİZASYON SİSTEMİ

Uluslararası demiryolları standartlarına uygun, modüler, kompact, SIL-4 emniyet seviyesi ve yüksek emre amadelik yapısıyla her türlü demiryolu aracına uyarlanabilir.

# ERTMS-ETCS ARAÇÜSTÜ SİNYALİZASYON SİSTEMİ



## ERTMS/ETCS KAVRAMI

Demiryolu sinyalizasyon sistemleri, demiryolu hatları üzerindeki tren trafiğinin emniyetli bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlamak ve demiryolu hatlarını daha verimli kullanmak amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. Sinyalizasyon sistemleri barındırdığı teknolojik altyapı ve sağladığı emniyet fonksiyonları sebebiyle raylı sistemlerin en kritik parçalarındandır.

Sinyalizasyon yönetimi ve birlikte çalışabilirlik yönünden Avrupa'da ana hatlarda kullanılabilecek ortak bir tren yönetim ve kontrol platformu oluşturmak amacıyla ERTMS(European Rail Traffic Management System) standardı ERA(European Railway Agency) tarafından geliştirilmiştir.

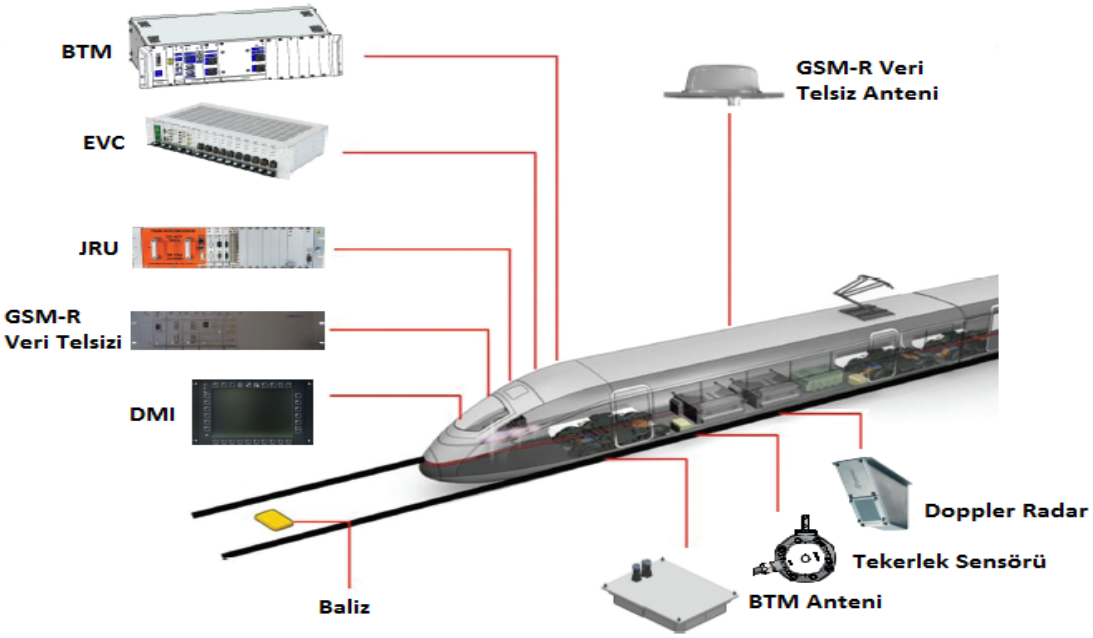
ERTMS ile birlikte,

- Uluslararası tren işletmeciliği
- Otomatik tren koruması
  - Hareket yetkileri ile emniyetli takip mesafesi
  - Hız sınırlarına uygun tren hareketi
  - Acil ve zorunlu durumlarda trenin emniyetli olarak durdurulması
- Merkezi trafik kontrolü
- Sinyalizasyon maliyetlerinin düşürülmesini
- Yüksek hızlarda emniyetli tren sürüşü

sağlanmaktadır. ERTMS, ETCS (European Train Control System) ve demiryolu haberleşmesinde kullanılan GSM-R(Global System for Mobile Communications - Railway)'ın birleşimidir ve temel olarak hatboyu ve araçüstü alt sistemlerinden oluşmaktadır.

## ERTMS/ETCS ARAÇÜSTÜ SİSTEMİ TEMEL BİLEŞENLERİ

ERTMS/ETCS araçüstü sistemi temel olarak Şekil-1'de görüleceği üzere; tren kontrol bilgisayarı EVC(European Vital Computer), baliz iletim modülü BTM(Balise Transmission Module), veri telsizi birimi GSM-R(Global System for Mobile Communications-Railway), odometre sensörleri (Takometre, Doppler Radar vb.), kullanıcı arayüz birimi DMI(Driver Machine Interface), tren arayüz birimi TIU(Train Interface Unit) ve yasal kayıt birimi JRU(Juridical Recording Unit) gibi alt bileşenlerden oluşmaktadır.




Şekil-1: ERTMS/ETCS Araçüstü Mimarisi

**EVC Birimi:** Hareket yetkisi limitleri, ilgili moddaki hız kısıtlamaları ve geçici hız kısıtlamaları gibi bilgilere göre tren denetimini ve korumasını en yüksek emniyet bütünlük seviyesi olan SIL-4 emniyet seviyesinde gerçekleştiren ana bilgisayardır.

**BTM Birimi:** Konum belirleme ve EVC'ye iletmek üzere hat boyundan veri almak için kullanılan birimdir.

**GSM-R Veri Telsizi Birimi:** EVC'nin radyo blok merkezi RBC (Radio Block Center) ile iletişimini sağlayan haberleşme birimidir.

**DMI Birimi:** Sürücüye ERTMS standartlarında tanımlı olan temel bilgileri gösteren ve sürücünün veri girişi yapabilmesine olanak sağlayan SIL-2 emniyet seviyesine sahip birimdir.

**JRU Birimi:** Kaza ya da inceleme amaçlı yasal veri kaydı için kullanılan birimdir.

**Odometre Sensörleri:** EVC'nin SIL-4 olarak hız ölçümü, pozisyon ölçümü, yön tespiti gibi fonksiyonları gerçekleştirmesi için bilgi aldığı sensörlerdir. Doppler Radar, Takometre ve ivme ölçer gibi algılayıcı teknolojilerinden oluşabilmektedir.

**TIU Birimi:** Trenin kontrolünü sağlamak amacı ile tren ile olan arayüzü sağlayan birimdir.

## ERTMS/ETCS SEVİYELERİ VE MODLAR

ERTMS/ETCS seviyeleri araçüstü ile hatboyu arasındaki mümkün olan işletme biçimlerini tanımlamak için kullanılmaktadır. Seviye tanımları hatboyunda kullanılan ekipmanlarla, hatboyundaki bilginin araçüstüne ulaşma yöntemiyle, hatboyunda ve araçüstünde hangi fonksiyonların karşılıklı olarak işlendiği ile ilgilidir.

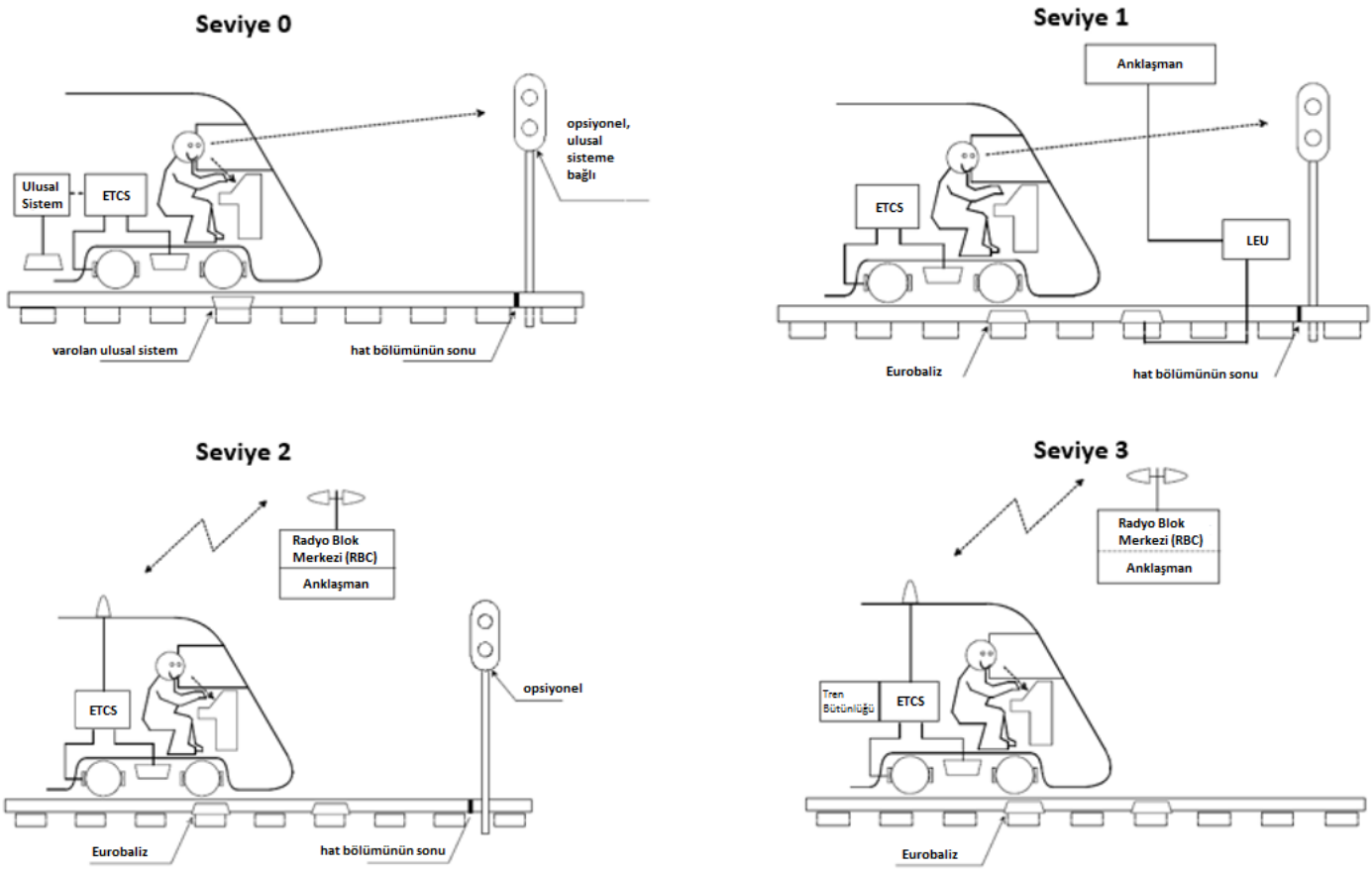
**Seviye 0 (Level 0):** ERTMS/ETCS ile donatılmış trenlerin, ERTMS/ETCS ve ulusal sinyalizasyon sistemi olmayan hatlarda ya da ERTMS/ETCS ve ulusal sinyalizasyon sistemi olmasına rağmen kontrollerinin mümkün olmadığında kullanılmaktadır. Bu nedenle, hatboyu sinyal lambaları ya da benzeri sinyaller kullanılarak sürücüye hareket yetkisi verilmekte ve hatboyundaki Eurobalizler kullanılarak seviye geçişleri sağlanmaktadır.

**Seviye NTC (Level National Train Control):** ERTMS/ETCS ile donatılmış trenlerin, ulusal sinyalizasyon sistemi donatılmış hatlarda kullanılmasıdır. Ulusal sinyalizasyon sisteminin performansına ve fonksiyonlarına göre hatboyu sinyal lambaları kullanılabilmekte ve hatboyundaki Eurobalizler kullanılarak seviye geçişleri sağlanmaktadır.

**Seviye 1 (Level 1):** ERTMS/ETCS ile donatılmış trenlerin, hatboyuna aralıklar ile yerleştirilmiş Eurobalizler aracılığıyla hatboyuyla iletişim kurduğu durumdur. Hatboyu tarafından üretilen hareket yetkileri Eurobalizler tarafından trene iletilmektedir. Seviye 1'de yetki aşımına karşı koruma yanında sürekli hız denetimi de yapılmaktadır. Tren bütünlüğü kontrolü hatboyunda yer alan sinyalizasyon sistemi tarafından anklaşman ve ray devresi bileşenlerinin desteğiyle yapılmaktadır. Sürücü tarafından hatboyu sinyal lambaları da kontrol edilmektedir.

**Seviye 2 (Level 2):** ERTMS/ETCS ile donatılmış trenlerin, radyo tabanlı haberleşme altyapısı (GSM-R) ile hatboyu ile iletişim kurduğu durumdur. Hatboyu tarafından üretilen hareket yetkileri GSM-R altyapısı üzerinden trene iletilmektedir. Seviye 2'de yetki aşımına karşı koruma yanında sürekli hız denetimi de yapılmaktadır. Tren bütünlüğü kontrolü Seviye 1 de olduğu gibi hatboyunda yer alan sinyalizasyon sistemi tarafından anklaşman ve ray devresi bileşenlerinin desteğiyle yapılmaktadır. Hatboyu sinyal lambaları zorunlu değildir.

**Seviye 3 (Level 3):** Seviye 2'de olduğu gibi trenler radyo tabanlı haberleşme altyapısı (GSM-R) üzerinden hatboyu ile iletişim kurmaktadır. Seviye-2'den temel farkı tren bütünlük kontrolü radyo blok merkezi tarafından yapılmaktadır.




Şekil-2: ERTMS/ETCS Seviyeleri

ERTMS/ETCS modları ise hatboyunun ve trenin durumlarını dikkate alarak farklı durumları yönetmek için tanımlanmış farklı koşulları tanımlamaktadır. Başka bir değişle, ERTMS/ETCS seviyeleri temelde hatboyu ile araçüstü arasındaki iletişim yapısıyla ilişkiliyken modlar hattın çalışma koşulları ve yerleşik ekipman durumları ile ilgilidir.

Aşağıda sistemin bazı modlarına ilişkin bilgiler verilmiştir.

**Isolation (IS):** Araçüstü ekipmanının fiziksel olarak frenlerden ve diğer araçüstü ekipmanlardan izole edildiği moddur.

**No Power (NP):** Araçüstü ekipmanında gücün olmadığı moddur, acil fren sürekli olarak devrede tutulur.

**System Failure (SF):** Emniyeti etkileyecek herhangi bir hata ile karşılaşıldığında bu moda geçilir, acil fren sürekli olarak devrede tutulur.

**Sleeping (SP):** Pasif durumda olan araçüstü ekipmanının yönetildiği moddur.

**Standby (SB):** Araçüstü ekipman uyandığında bu moda geçer, varsayılan moddur, trenin hareketi için gerekli bilgiler bu modda toplanır.

**Full Supervision (FS):** Trenin tam ve eksiksiz yönetiminin gerçekleştiği moddur.

**Staff Responsible (SF):** Trenin hareketi için bütün sorumluluğun sürücüye geçtiği moddur.

**On Sight (OS):** Trenin gideceği yolu başka bir tren meşgul ediyorsa ya da herhangi bir nedenden ötürü yol tıkalıysa bu moda geçilir.

**Trip (TR):** Bazı koşullar oluştuğunda trenin durma hareketini gerçekleştireceği moddur, acil fren devreye girer.

**Post Trip (PT):** Sürücünün TRIP modundayken onay vermesiyle bu moda geçilir, acil fren devre dışı bırakılır, sadece geri yönde beli bir mesafeye kadar tren hareketine izin verilir.

**National System (NS):** Trenin bütün denetiminin ve korumasının ERTMS/ETCS sistemi ile değil ulusal sistem ile yapıldığı moddur.

**Reversing (RV):** Trenin hatboyu tarafından belirtilen bölgede belli bir mesafe geri yönde gitmesine, güvenli bir yere hareket etmesine izin verilen moddur.

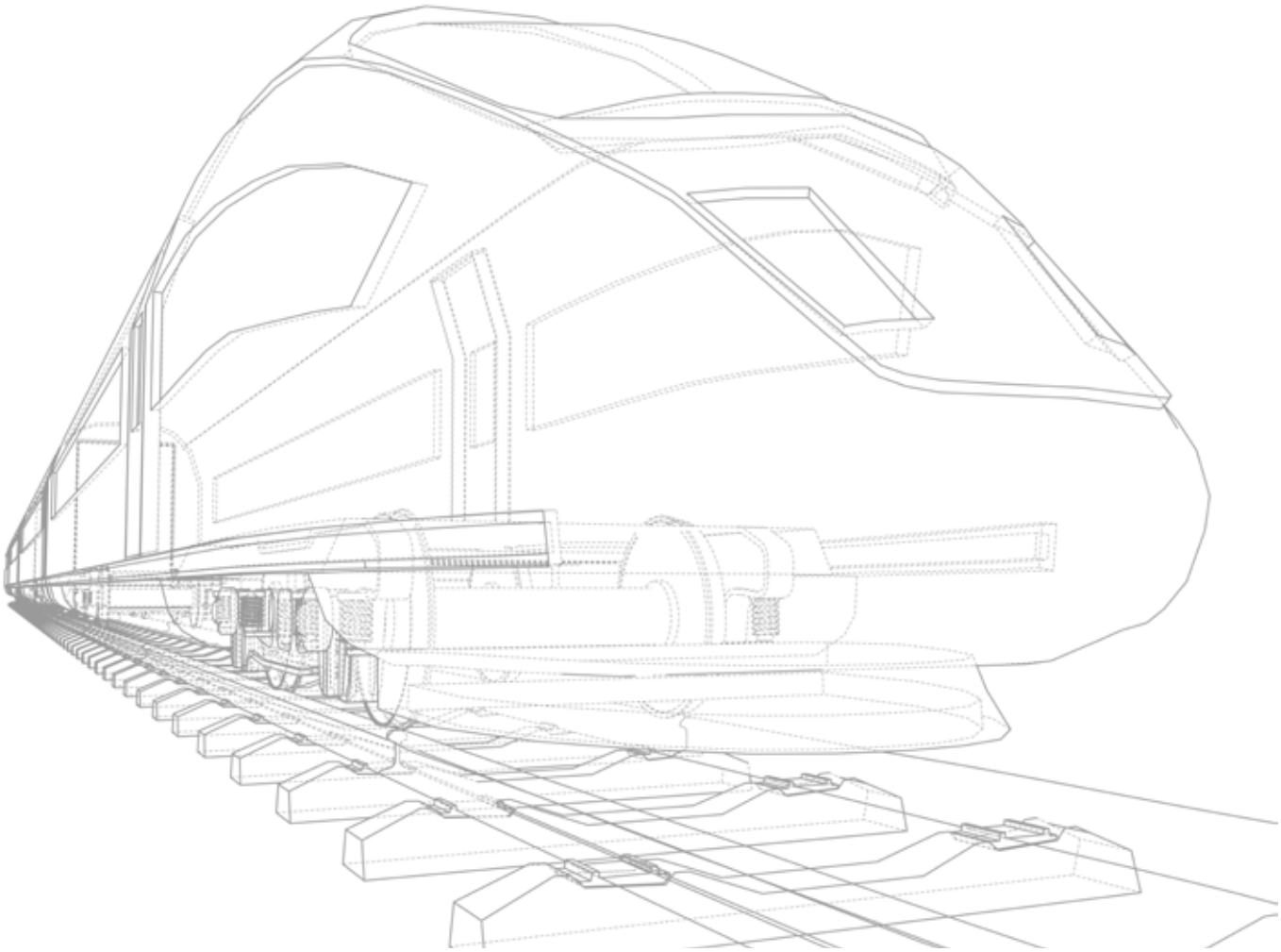
## İLİŞKİLİ TEMEL STANDARTLAR

ERTMS/ETCS araçüstü sisteminde, senaryolar, sertifikasyon, çevre koşulları, haberleşme ile ilişkili temel standartlar aşağıda verilmiştir.

- TSI CCS ANNEX A - ETCS Baseline 3 Release 2 GSM-R Baseline 1
- EN 50126, EN 50128, EN 50129, EN 50159
- EN 50155, EN 50125-1, EN 45545, EN 61373
- EIRENE FRS ve EIRENE SRS
- IEEE1482.1:2013

## ASELSAN' DA YAPILAN ÇALIŞMALAR

EVC biriminin geliştirilmesi çalışmaları devam etmekte olup JRU çalışmalarında son aşamaya gelinmiştir. ERTMS/ETCS sistemi için tüm sistem çözümünün sağlanması hedeflenmektedir.



# METRO KUMANDA MERKEZİ SİSTEMLERİ

Çoklu dağıtık sistemlerin yer aldığı birçok komuta kontrol sistemi benzeri gibi, Raylı Sistem İşletmelerinin yönetimi de belirli bir noktada konumlandırılmış kumanda merkezindeki sistemler ile yapılmaktadır. Sistemler sistemi niteliğinde olan metro kumanda merkezleri birbirinden bağımsız çalışan sistemlerden oluşmaktadır.

Merkezi kontrol ve izleme, demiryolu operasyonlarını daha etkin bir şekilde yönetmeyi sağlar. Tren hareketleri, sinyalizasyon, enerji dağıtımı ve diğer bileşenlerin entegre bir şekilde kontrol edilmesi, operasyonel verimliliği artırmaktadır. Arıza durumlarının veya hatalı işlemlerin hızlı bir şekilde tespit edilmesi ve bu olaylara müdahale edilmesi ile hattın elverişliliği ve emniyeti sağlanmaktadır. Demiryolu operasyonlarından elde edilen veriler analiz edilerek işletmeye önemli bilgiler sağlanmakta ve bu sayede bakım süreçlerinin planlanması, kaynak yönetimi, enerji verimliliği ve diğer operasyonel iyileştirmeler yapılabilmektedir.

İlgili raylı sistem hattındaki tren hareketlerinin, sinyalizasyonun, enerji dağıtımının ve diğer operasyonel bileşenlerin kontrol edilmesi ve izlenmesini sağlayan bu kumanda merkezi sistemlerinden en önemlileri SCADA Sistemi, CCTV Sistemi, Yolcu Bilgilendirme Sistemi, Telsiz Sistemi ve Sinyalizasyon Sistemidir.

## SCADA SİSTEMİ

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), genellikle büyük ölçekli endüstriyel tesislerde kullanılan bir kontrol sistemidir. Demiryolu SCADA sistemi ise demiryolu hat üzerindeki ve istasyon bölgelerindeki ekipmanların çalışma ve enerji durumunu izlemek ve kontrol etmek için kullanılmaktadır.

Demiryolu SCADA sistemi, merkezi bir kontrol noktasıyla saha cihazları arasında haberleşmeyi sağlamaktadır. Bu sistem, sahadaki sensörler ve cihazlar aracılığıyla gerçek zamanlı verileri toplamakta ve kontrol merkezindeki operatörlere sunmaktadır. Operatörler, sistemi izleyip ve gerekli durumlarda müdahale edebilmektedir. Ayrıca, demiryolu SCADA sistemi, enerji verimliliği ve kaynak yönetimi gibi operasyonel verimliliği artırmak için analitik araçlar ve raporlama özellikleri de sunabilmektedir.

Demiryolu SCADA sistemi, aşağıdaki temel bileşenleri içermektedir:

1. Sahada yer alan sensörler ve cihazlar: Enerji dağıtım ekipmanları, sinyalizasyon sistemleri, asansör, yürüyen merdiven gibi diğer raylı sistem bileşenlerinin enerji durumlarını izlemek ve veri toplamak için kullanılmaktadır. Bazı sistemlerde demiryolu araçlarına ait arıza bilgileri de iletilebilmektedir.

2. Haberleşme birimleri: Sahadaki cihazlarla haberleşmeyi sağlayan ve verileri kontrol merkezine aktaran donanım ve yazılım birimleridir.

3. Kontrol merkezi: Operatörlerin enerji durumlarını izleyebileceği, verileri analiz edebileceği ve gerektiğinde müdahalede bulunabileceği bir merkezi kontrol noktasıdır. Bu merkezde genellikle SCADA yazılımı kullanılmaktadır.

4. İletişim ağı: Sahadaki cihazlarla kontrol merkezi arasındaki veri iletişimini sağlayan bir ağ altyapısıdır. Bu, kablosuz veya kablolu iletişim teknolojileriyle gerçekleştirilebilmektedir.

## YOLCU BİLGİLENDİRME SİSTEMLERİ

Raylı sistemlerde yolcu bilgilendirme sistemi, yolcuların seyahatleri hakkında gerekli bilgilere sahip olmalarını sağlayan sistemdir. Bu sistem yolcuların, tren saatlerini, güncel sefer durumunu, gecikmeleri, peron bilgilerini, tren içi ve istasyonlardaki önemli duyuruları ve diğer seyahat bilgilerini takip etmesini sağlamaktadır.

Demiryolu yolcu bilgilendirme sistemi aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır:

İstasyon ekranları: İstasyonlarda yer alan büyük ekranlar veya panolar aracılığıyla yolculara bilgi sunulur. Bu ekranlar, tren saatlerini, gecikmeleri, peron bilgilerini, seyahat uyarılarını ve diğer önemli duyuruları gösterebilmektedir.

Tren içi ekranlar: Trenlerdeki ekranlar veya monitörler, yolcuların seyahatleriyle ilgili bilgilere erişmelerini sağlamaktadır. Bu ekranlar varış durakları, aktarma noktaları ve diğer ilgili bilgileri gösterebilmektedir.

Anons sistemleri: İstasyonlarda ve trenlerde yer alan sesli anons sistemleri, yolculara canlı ve önemli bilgileri iletmek için kullanılır. Gecikme duyuruları, varış durakları, bağlantı trenleri ve diğer bilgiler bu sistem aracılığıyla iletilmektedir.

Mobil uygulamalar ve web siteleri: Demiryolu işletmeleri, yolculara seyahatleriyle ilgili bilgileri sunmak için mobil uygulamalar ve web siteleri kullanabilmektedir. Bu uygulamalar ve siteler, tren saatleri, seyahat uyarıları ve diğer seyahat bilgileri gibi özellikleri sağlayabilmektedir.

Tüm bu bilgilendirme ekranlarında yer alan bilgiler raylı sistem işletmesi esnasında üretilen verilerden üretilmektedir. Bu verilerin ana kaynağı, kumanda merkezinde çalışmakta olan sinyalizasyon sistemi gibi sistemlerin ürettiği otomatik veriler ve işletme operatörlerinin manuel olarak ürettiği bilgilerdir. Bu bilgilerin doğruluğunun takibi için kumanda merkezindeki yetkili personel, otomatik üretilen verileri izler ve işletme esnasında oluşabilecek gerekli işletme değişiklik durumlarında yolcu bilgilendirme sistemlerine gerekli veri girişini sağlamaktadır.

## CCTV SİSTEMİ

Raylı sistemlerde CCTV (Closed Circuit Television) sistemleri, demiryolu güvenlik denetimi için kullanılmaktadır. Bu sistemler, demiryolu istasyonlarında, trenlerde ve demiryolu hatlarında yer alan kamera sistemleri aracılığıyla görüntüleri izlemek, kaydetmek ve kaydedilen verilere erişmek için kullanılmaktadır. İstasyonlarda, peronlarda, trenlerde ve demiryolu hatlarında yer alan kameralar ile canlı olarak bu bölgeler izlenebilmektedir. Kameralar, genellikle yüksek çözünürlüklü ve gece görüş özelliklerine sahip olmaktadır. Kameralardan gelen video akışı DVR (Digital Video Recorder) veya NVR (Network Video Recorder) cihazlarına depolanmaktadır. DVR veya NVR, kaydedilen video verilerini saklar ve gerektiğinde izlenmesini sağlamaktadır. Bazı sistemlerde, bulut tabanlı depolama da kullanılabilmektedir.

İstasyonlarda veya demiryolu kontrol merkezlerinde yer alan izleme merkezleri, canlı kamera görüntülerini izlemek ve kaydedilen videolara erişmek için kullanılmaktadır. Operatörler, izleme merkezinden hattın güvenliğini takip edebilmekte, olayları tespit edebilmekte ve gerekli durumlarda müdahale için gerekli birimleri bilgilendirebilmektedir.

Raylı sistemlerde hattın farklı bölgelerinde konumlanan kameraların merkezi olarak takibi ile işletme hareketliliği de denetleyebilmektedir. Bu, gecikmeleri tespit etmek, yolcu yoğunluğunu izlemek ve istasyonlarda oluşabilecek problemleri hızlı bir şekilde ele almak için önem arz etmektedir.

Yine merkezi kayıt ve incelemeler, olayların incelenmesi, şüpheli durumların belirlenmesi ve cezai soruşturmalar için kullanılabilmektedir. Bu, demiryolu güvenliği ve yasadışı faaliyetlerin önlenmesi için önemlidir. Kaydedilen video verileri, personel eğitimi ve demiryolu operasyonlarının analizi için kullanılabilmektedir. Personel, güvenlik prosedürlerini inceleyebilmekte ve olası hataları veya iyileştirme alanlarını belirleyebilmektedir.

## TELSİZ SİSTEMİ

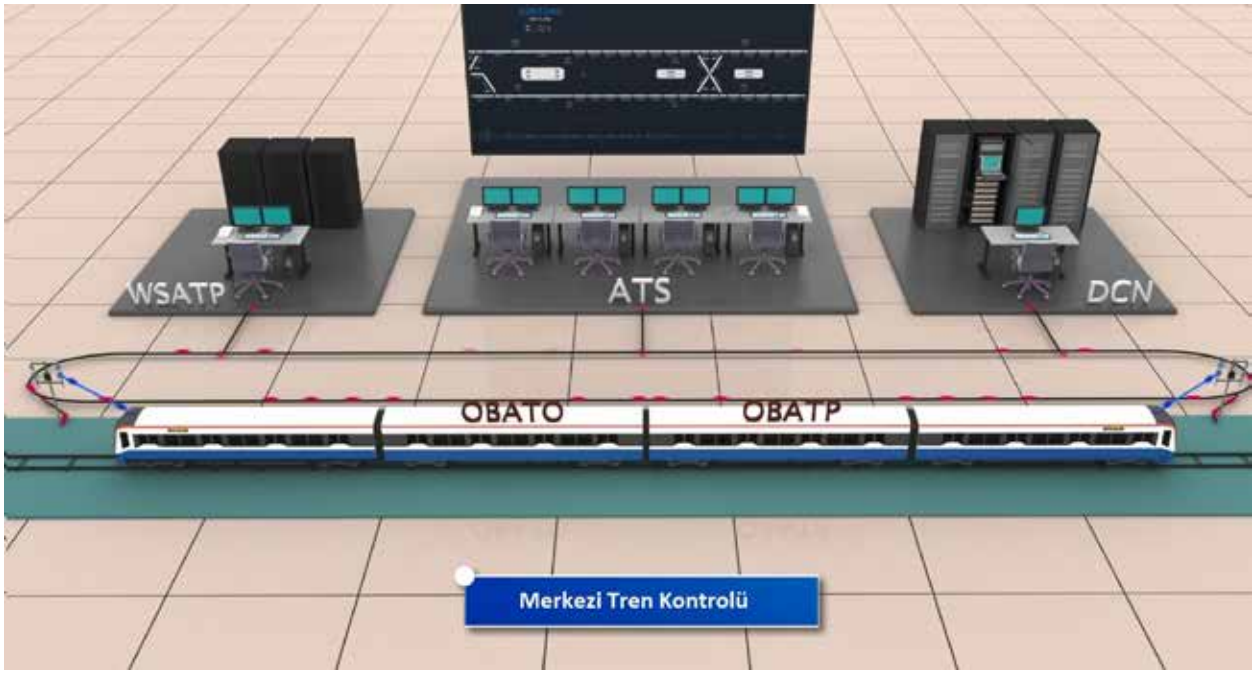
Raylı sistemlerde telsiz haberleşmesi, demiryolu sistemlerinde kullanılan iletişim aracıdır. Demiryolu işletmeciliği, demiryolu personeli ve trenler arasında bilgi alışverişi için güvenli ve etkili bir iletişim sağlamak için telsiz haberleşmesini kullanmaktadır. Bu, trenlerin seyir güvenliğini artırmak, tren hareketlerini koordine etmek ve acil durumlarda hızlı tepki vermek için önemlidir.

Demiryolu telsiz haberleşmesi, tren operatörleri ve tren kontrol merkezleri arasında iki yönlü bir iletişim sağlar. Tren operatörleri, trenin konumunu, hızını, durumunu ve diğer önemli bilgileri kontrol merkezine gönderebilmektedir. Aynı şekilde, kontrol merkezi de trenlere yol bilgileri, emirler, hız sınırlamaları ve diğer talimatları iletebilmektedir. Bu telsiz haberleşmesi genellikle demiryolu sistemlerinde kullanılan standart protokollere dayanır. TETRA ve APCO yaygın kullanılan protokollerdir.

## SİNYALİZASYON SİSTEMLERİ

Raylı sistem hatlarında yer alan sinyalizasyon sistemleri, tren hareketlerini yönlendirmek ve emniyetini sağlamak için kullanılmaktadır. Araç üzerinde bulunan alt sistemler aracın emniyetli şekilde duruş, kalkış ve seyrini otomatik olarak kontrol etmektedir. Hat üzerindeki alt sistemler de araçların çarpışmadan, aynı anda, emniyetli şekilde hareketini sağlamaktadır.

Metro Kumanda merkezindeki sinyalizasyon alt sistemleri ile, araç ve hat üzerindeki sinyalizasyon sistemleri kontrol edilerek tren trafiği düzenlenmekte, hat üzerindeki yoğunluk durumları izlenmekte ve gerekli durumlarda müdahale edilmektedir. Kumanda merkezi sistemleri, her bir aracın konumunu anlık olarak takip etmekte ve önceden oluşturulmuş tarife verilerine uygun olarak homojen şekilde araçların dağılımını sağlamakta ve gerekli optimizasyonları yapmaktadır. Bu şekilde, trenlerin daha düzenli ve verimli bir şekilde seyahat etmesini sağlar, gecikmeleri azaltır ve ilgili metro hattının kapasitesini artırır.

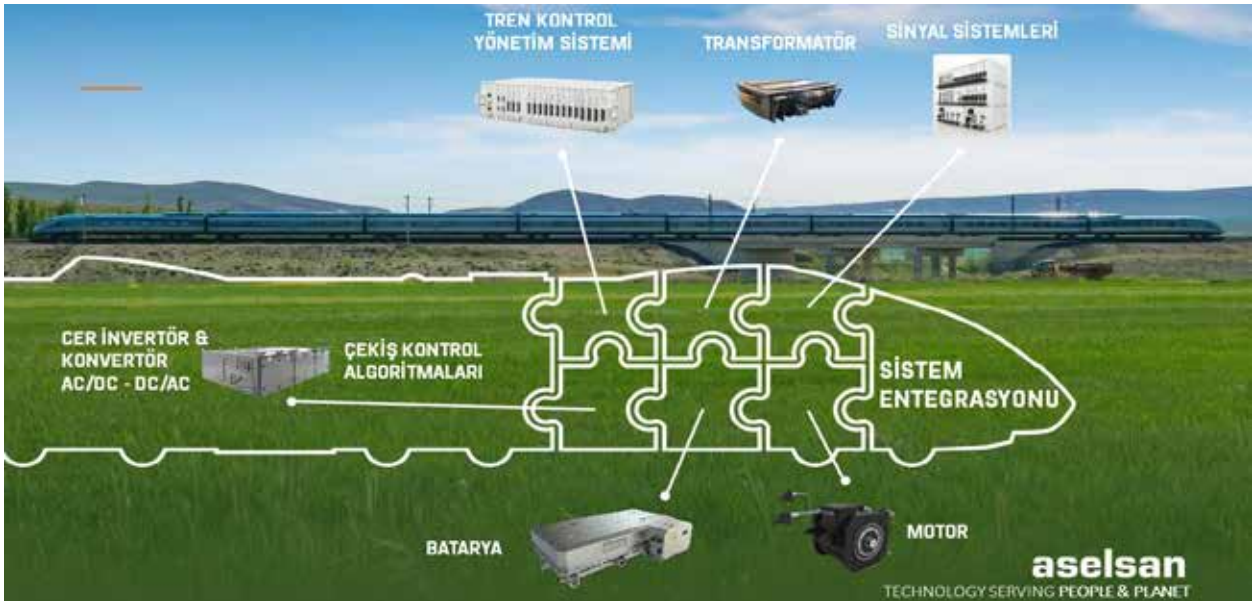


# ASELSAN RAYLI SİSTEM PROJELERİ

aselsan
MİLLİ
SİNYALİZASYON
PROJESİ

## RAYLI ARAÇ SİSTEMLERİNDE ASELSAN'IN FAALİYET ALANLARI VE YÜRÜTÜLEN PROJELER

ASELSAN askeri alanda edindiği tecrübe ile raylı araçlardaki cer sürücüleri, yardımcı güç üniteleri, cer motorları ve tren kontrol yönetim sistemi gibi kritik ve yurtdışına bağımlılık bulunan alanlarda özgün ve milli çözümler üretmektedir.




## ANKARAY İŞLETMESI YARDIMCI GÜÇ ÜNITESI GELIŞTIRME VE SERI ÜRETIM PROJESI

EGO Genel Müdürlüğü ve ASELSAN arasında imzalanan sözleşme kapsamında ANKARAY araçları için özel olarak yeni nesil Yardımcı Güç Ünitesi ASELSAN tarafından kısa bir süre içerisinde geliştirilmiştir. Geliştirilen prototip ürün aracın mevcut mekanik ve elektriksel ara yüzlerine uygun olarak tasarlanmıştır. Bu nedenle araçta hiçbir değişiklik yapılmasına gerek kalmamıştır. Tüm filonun yardımcı güç üniteleri yeni nesil teknolojik ürünler ile değiştirilmiştir. Sahadan 3 yıllık alınan verilere göre emre amadelik yüzdesi %99,9 olarak hesaplanmıştır.

## MİLLİ ELEKTRİKLİ TREN CER ZİNCİRİ VE TREN KONTROL YÖNETİM SİSTEMİ GELİŞTİRME VE SERİ ÜRETİM PROJELERİ

Türkiye Raylı Sistem Araçları Sanayii A.Ş. (TÜRASAŞ) tarafından tasarlanan ve üretilen Milli Elektrikli Tren Seti prototip projesinde, kritik bileşenlerden Cer Sistemi (ana transformatör, cer konvertörü ve yardımcı konvertör, cer motoru, dişli kutusu) ve Tren Kontrol Yönetim Sistemi (TKYS) ASELSAN tarafından sağlanmıştır.

Milli Elektrikli Tren'de ASELSAN tarafından özgün olarak tasarlanan çekiş sistemi bileşenlerinden Türkiye'nin ilk sürücü birimi CESUR™ (Cer Sürücüsü) kullanılmaktadır. CESUR™, aynı birim içerisinde çift motor sürücüsü, yardımcı güç ünitesi, batarya şarj birimi ve dahili sıvı soğutma sistemini kompakt bir yapıda barındıran Türkiye'nin ilk sürücü birimi olma özelliğini taşımaktadır.

ASELSAN tarafından özgün geliştirilen Tren Kontrol Yönetim Sistemi (TKYS), aracın hızlanma, kapı kontrolü, yolcu geçişleri ve ışıklandırma gibi işlevlerini denetlerken, aynı zamanda iklimlendirme ve yolcu bilgilendirme gibi konfora yönelik alt sistemleri de yönetmektedir. Modüler yapıda tasarlanmış

olan TKYS bilgisayarının mimarisi, kontrol güvenilirlik algoritmaları, donanımı, gömülü ve uygulama yazılımları ASELSAN tarafından geliştirilmiştir.

Saha testlerinde sağlanan başarının bir sonucu olarak, ilk iki tren setinde yolculu işletme başlamış ve seri üretim kapsamında, 19 tren seti için ASELSAN sistemlerinin tedariki maksadıyla 01.11.2022 tarihinde TÜRASAŞ ile sözleşme imzalanmıştır.

Prototip tren setlerindeki çalışmalara paralel olarak, daha önce yurtdışından temin edilmek zorunda kalınan dişli kutusu, cer motoru ve ana transformatör birimleri de ASELSAN'ın önderliğinde millileştirilmektedir.

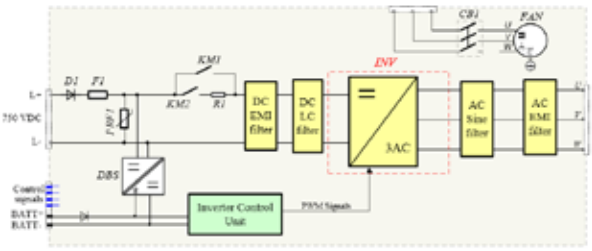
# ANKARAY İŞLETMESİ YARDIMCI GÜÇ ÜNİTESİ GELİŞTİRME VE SERİ ÜRETİM PROJESİ

Raylı sistem araçlarında zamanla yaşlanan elektrik-elektronik içerikli alt sistemlerin idamesi zorlaşmaktadır. Arızalanan modüllerin yerine yenilerinin bulunması güçleşmektedir. 30-40 yıl arasında ömürleri olan raylı sistem araçlarında bu tip zorluklar işletmelerin çalışmalarını güçleştirmektedir. Benzer bir durum EGO tarafından işletmede kullanılan ANKARAY araçlarında yaşanmıştır. 1996 yılında işletmeye alınan ANKARAY araçlarındaki Yardımcı Güç Üniteleri yaşam döngüsünü tamamlamıştır. Artık arızalanma sıklığı artmış ve yedek parça bulma zorluğu başlamıştır. Bu kapsamda eski Yardımcı Güç Ünitelerinin yenilenmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

EGO Genel Müdürlüğü ve ASELSAN arasında imzalanan sözleşme kapsamında ANKARAY araçları için özel olarak yeni nesil Yardımcı Güç Ünitesi ASELSAN tarafından 18 ay gibi kısa bir süre içerisinde geliştirilen birim 6 ay araç üzerinde test edilmiştir. Geliştirilen prototip ürün aracın mevcut mekanik ve elektriksel arayüzlerine uygun olarak tasarlanmıştır. Bu nedenle araçta mekanik ve elektriksel hiçbir değişiklik yapılmasına gerek kalmamıştır. Tüm filonun yardımcı güç üniteleri yeni nesil teknolojik ürünler ile değiştirilmiştir. Sahadan 3 yıllık alınan verilere göre emre amadelik yüzdesi %99,9 olarak hesaplanmıştır.

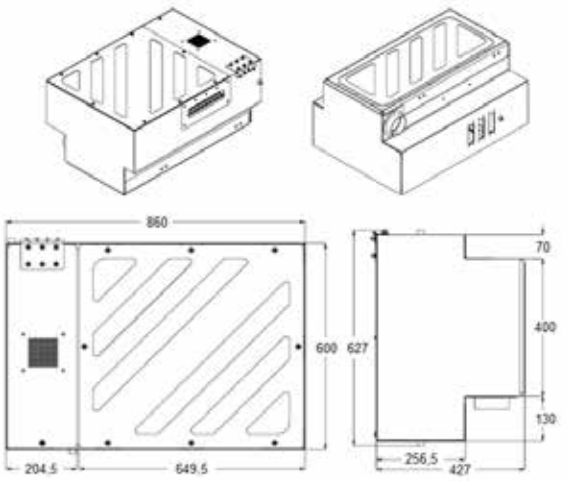
Yeni nesil Yardımcı Güç Üniteleri emsallerine göre, kullanım ve bakım onarım kolaylığı, kolay araç entegrasyonu ve hızlı devreye alma özellikleriyle öne çıkmaktadır. Proje gereksinimlere göre IGBT veya SiC MOSFET teknolojisi ile geliştirilen, modüler mimariye sahip güç blokları DSP tabanlı kontrol algoritmalarını içermekte; dâhili hata kaydı tutma ve hata giderme yazılımı ile işletmelerin kullanımına sunulmaktadır.

ASELSAN'ın Yardımcı Güç Ünitesi ürün ailesinin giriş voltajı 600/750/1500 V DC, çıkış gerilimi 3 x380/400 V AC, çıkış gücü 15 kVA ile 200 kVA ve 24/110 V DC çıkış gücü 7 kW ile 20 kW arasındadır.




Ürünün temek özellikleri aşağıda yer almaktadır:

- Demiryolu kullanımına uygun bileşenler
- İsteğe bağlı entegre batarya şarj cihazı
- Yüksek hızlı devre kesici (gerekli bulunması durumunda)
- Kompakt, hafif, güvenilir ve sağlam tasarım
- Esnek algoritma mimarisi
- Ölü batarya çalıştırıcı
- Pasif DC link deşarjı
- Trenle iletişim için CANBUS arayüzüAşırı gerilim, aşırı akım ve aşırı sıcaklık koruması
- Yüksek ve düşük voltaj arasında galvanik izolasyon (ayrı mekanik birim ile)
- EMC gerekliliklerine uyum
- Tavana monteli veya yerden montajı için uyarlanabilir
- Kolay montaj ve bakım
- Kolay servis ve hızlı teşhis için yazılım
- Tam otomatik test ve devreye alma



# GÜCÜNÜZE GÜÇ KATIYORUZ

## YARDIMCI GÜÇ ÜNİTESİ

**GİRİŞ VOLTAJI**
600/750/1500 VDC

**AC ÇIKIŞ GÜCÜ**
15 kVA - 200 kVA

**DC ÇIKIŞ GÜCÜ**
7 kW - 20 kW

aselsan

www.aselsan.com.tr

aselsan

Güven Veren Teknoloji

ASELSAN Türk Silahlı Kuvvetlerini Güçlendirme Vakfı'nın bir kuruluşudur.

GAYRETTEPE - İSTANBUL HAVALİMANI - HALKALI

# METRO SİNYALİZASYON SİSTEMİ

ASELSAN, özkaynaklı Ar-Ge projeleri ile dışa bağımlılığı azaltmak adına yüksek teknoloji ürünü sistemlerin ülkemiz menfaatleri doğrultusunda kullanıma hazır hale getirilmesini amaçlarken, sözleşmeli projelerle de geliştirilen sistemlerin son kullanıcıya ulaşmasını sağlamaktadır.

Bu doğrultuda, ASELSAN tarafından geliştirilen, Türkiye'nin ilk yerli ve milli metro sinyalizasyon sistemi COBALT, 2022 yılı içerisinde günlük ortalama 1.156 uçuşun gerçekleştiği ve toplamda 64,2 milyon yolcunun taşındığı İstanbul Havalimanı'nı şehrin ana arterlerine bağlayan Gayrettepe – İstanbul Havalimanı metro projesinde uygulanma fırsatı bulmuştur.

Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı'na bağlı Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü (AYGM) tarafından ihale edilen, ana yükleniciliğini KKC Marmaray Adi Ortaklığı'nın üstlendiği projede ASELSAN; sinyalizasyon sistemi yüklenicisi olarak görev almaktadır.

2020 yılının Şubat ayında imza altına alınan sözleşme ile başlayan süreç, pandemi koşullarına rağmen mesai mevhumu gözetmeyen gayretli çalışmalar neticesinde başarı ile sonuçlanmış ve hattın Kağıthane – Kargo Terminali kesimi 23 Ocak 2023 tarihinde işletmeye açılmıştır.

En üst düzey emniyet seviyesi olan SIL-4 sertifikasına sahip olan sistemin tesisi ile birlikte İstanbul halkı ve ziyaretçilerinin güvenli ve konforlu bir ulaşıma kavuşması sağlanmıştır. Kısa bir süre içerisinde test aşaması tamamlanacak olan Gayrettepe istasyonunun da hatta entegre edilmesi ile birlikte İstanbul ulaşım ağının kalbine bağlantı gerçekleşecek ve sistemin milyonlarca yolcuya hizmet etmesi sağlanacaktır.

Gayrettepe – İstanbul Havalimanı Projesi'nin yapım süreci devam ederken, 2020 yılının Eylül ayında imzalanan sözleşme ile ASELSAN, geliştirdiği yerli ve milli sinyalizasyon sistemini uygulayacağı ikinci sözleşmeli projesini almıştır. Hattın devamı niteliğinde olan Halkalı – İstanbul Havalimanı Projesi de, AYGM tarafından ihale edilmiş olup, ana yükleniciliğini Cengiz Kolin Kalyon Özgün Yapı Yapım Ortaklığı üstlenmiştir.

Ek olarak bu proje kapsamında hatta kullanılan trenlerin otomatik olarak park yapabileceği, periyodik ve ağır bakımların icra edilmesini sağlayacak atölyelerin ve yıkama hattının bulunduğu bir depo sahası da yer alacaktır.

Birbirinin devamı niteliğinde olsa da, iki ayrı projenin ülke kaynaklarını israf etmeksizin doğru bir planlama ile yapımının gerçekleştirilmesi için azami hassasiyet gösterilmektedir. Halkalı – İstanbul Havalimanı hattının da açılması ile yalnızca ülkemizin değil, dünyanın da en gözde şehirlerinden olan İstanbul, raylı ulaşım alanında ASELSAN sistemleri ile donatılarak, yüksek emniyetli, konforlu ve hızlı ulaşımın milletimize hizmet olarak götürülmesi sağlanacaktır.

GEBZE-DARICA

# METRO SİNYALİZASYON SİSTEMİ

T.C. ULAŞTIRMA VE ALTYAPI BAKANLIĞI

Gayrettepe – İstanbul Havalimanı ve Halkalı – İstanbul Havalimanı Projeleri ile ortaya çıkarılan ve geliştirilen Türkiye'nin ilk milli ve yerli sinyalizasyon sistemi olan COBALT, Gebze Darıca Metro Projesi hattında da müşterilerimiz tarafından tercih edilmiş ve daha önceki projelerde elde edilen bilgi birikimi ile çok daha gelişmiş bir sistem seviyesine evrilmiştir.

Bu minvalde, özellikle ASELSAN Telsiz Sistemini ve diğer alt sistemleri de proje kapsamına eklenerek, özellikle metro sinyalizasyon sektöründe, hızlı bir şekilde önemli sektör oyuncularından biri haline gelmektedir.

İdare makamı olarak Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı'na bağlı Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü tarafından ihale edilen, ana yükleniciliğini EZE İnşaat A.Ş.'nin üstlendiği projede ASELSAN; sinyalizasyon sistemi ve telsiz sistemlerinin anahtar teslim yükleniciliği görevini ifa etmektedir.

2021 yılının Şubat ayında imza altına alınan sözleşme ile başlayan süreç, ortak ve tecrübeli ekiplerin gayreti ile tasarım sürecinde ilerleyerek, 2023 yılı sonunda dinamik test aşamalarına başlama yönünde ilerlemektedir.

Gebze Darıca Metro Hattı, 15,4 km uzunluğunda ve 11 istasyondan oluşmaktadır. Projenin nihai işletme seviyesinde 7 set araç ile işletme gerçekleştirilecektir. Metro sürücüsüz işletme (CBTC GoA4) olarak tanımlanan sinyalizasyon sistemine sahip olacaktır. Etap-1 kısmında 8 istasyon teslim edilecek, devamındaki Etap-2 kısmında ise kalan 3 istasyon ve depo sahası devreye alınarak işletmeye açılacaktır.

# RAYLI SİSTEM ÜRÜN GELİŞTİRME FAALİYETLERİ

## TREN KONTROL VE YÖNETİM SİSTEMİ GELİŞTİRME PROJESİ

ASELSAN Tren Kontrol ve Yönetim Sistemi öncelikli olarak operatör kaynaklı hataları asgariye indirmek için otomatik hız kontrolü, makinist tarafından gönderilen taleplerin uygulanması, araç içi ve araçlar arası haberleşme koordinasyonu, alt sistemlerin izlenmesi vb. işlevleri sağlamaktadır.

Ayrıca sistem, tek bir noktadan trenin merkezi yönetimini sağlayarak; acil durum sistemleri, güç sistemleri, kapı sistemleri, aydınlatma, iklimlendirme, yolcu bilgilendirme ve anons sistemlerini koordine etmektedir.

Tren kontrol ve yönetim sistemlerinin en önemli ve en kritik bileşenlerinden biri tren kontrol ve yönetim bilgisayarıdır. Kapı, düşük gerilim, orta gerilim ve yüksek gerilim yönetimi kompresör gibi sistemleri kontrol etmektedir.

ASELSAN Tren Kontrol ve Yönetim Sistemi'nin kritik bileşenlerinden ASELSAN Tren Kontrol ve Yönetim Bilgisayarı; mimarisi, güvenilirlik algoritmaları, donanımı ve gömülü yazılımı tümüyle özgün olarak geliştirilmiştir.

## TREN KONTROL YÖNETİM SİSTEMİ (MİLLİ EMU)

### ASELSAN Milli EMU TKYS ÇÖZÜMÜ

ASELSAN Tren Kontrol ve Yönetim Sistemi (TKYS), raylı sistem araçlarında kullanılmak üzere tasarlanmış olan bir bilgisayar sistemi olup trenin genel kontrol, yönetim ve tanı işlemlerini yerine getirmektedir. TKYS; donanım, işletim sistemi, kontrol ve izleme uygulamalarından oluşmaktadır. Sistemin ana fonksiyonları aşağıda belirtilmiştir.

1. Tren üzerindeki sensörlerden ve çevre elemanlarından alınan verileri işlemek ve alınan komutlar dahilinde çevre elemanlarını kontrol etmek

2. HMI (Human Machine Interface) arayüzünü kullanarak operatörden alınan komutları işlemek ve operatör tarafından ihtiyaç duyulan verileri operatöre göstermek

3. İşlenen verileri gerçek zamanlı olarak kaydetmek

4. Diyagnostik işlemleri gerçekleştirmek ve gerekli uyarıları operatöre iletmek

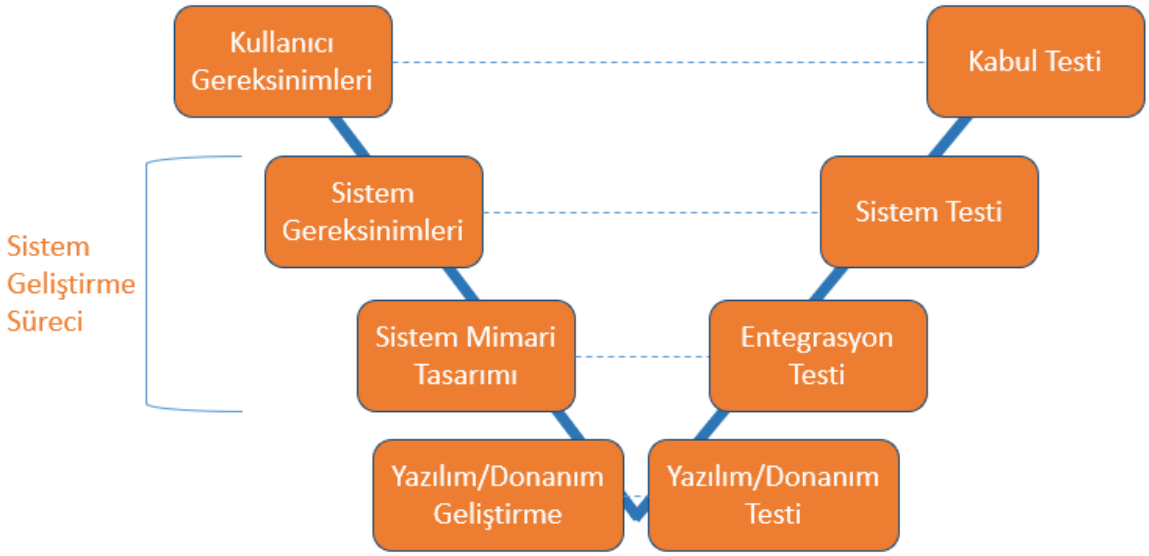
5. Diyagnostik verilerin servis yazılımı üzerinden atölye personeline göstermek

TKYS hız gösterimi, fren sistem durumlarının izlenmesi, tren genel yönetimi, sinyalizasyon sistemi ile entegrasyon, tren içi ve trenler arası haberleşme koordinasyonu gibi işlevleri sağlayabilecek yapıdadır. Ayrıca sistem, trenin merkezi yönetimini sağlayarak; acil durum sistemleri, güç sistemleri, kapı, aydınlatma, iklimlendirme, yolcu bilgilendirme ve eğlence sistemlerini koordine edebilmektedir. Kullanıcı tarafından bir komut aldığında herhangi bir sebeple işlemi gerçekleştiremiyorsa bu durumu kullanıcıya haber vermektedir. Sürücü, arıza durumlarında sistem hakkında bilgilendirilebilmektedir.

TKYS, bilgi edinimi ve aktarılmasını sağlayan ve trene monte edilmiş cihazların çoğunun işlemlerini kontrol eden, yöneten akıllı bir sistemdir:

- İzleme ve kontrol cihazları sistem ile doğrudan arayüzlendirme,
- Performans, güvenlik ve güvenilirlik gereklilikleri düzeyinde trenin yönetimi için zorunlu işletme fonksiyonları yerine getirme,
- Trenin işletimi için personele destek sağlama,
- Merkezi bakım için destek sağlama,
- Farklı konfigürasyonlarda tekrar kullanılması için modüler yapıda tasarım (3'lü, 4'lü, 5'li, 6'lı tren seti konfigürasyonları),
- Kuplaj fonksiyonu ile iki tren setinin birleştirilebilmesi,
- Farklı konfigürasyonlarda tren setleri ile kuplaj yapılabilme (3+4, 5+5, 5+3 vb.)
- Ekipman ve cihazların işletilmesi hakkında detaylı bilgileri içeren geçmiş verileri sağlama,

**TKYS Geliştirilirken Dikkat Edilen Hususlar:**




Şekil 1 Sistem Geliştirme Süreci

Tren kontrol ve yönetim sistemini geliştirirken aşağıdaki konularda çalışmalar yapılmıştır.

- Müşteri ile uyumlu çalışarak, müşterinin isteklerine göre HMI ekran tasarım, kontrol sistemleri tasarım, algoritma tasarım vb. geliştirmeleri gerçekleştirilmiştir. Geliştirme süreçlerinde müşteriyle sürekli bilgi alışverişinde bulunulmuştur.
- Dünyada kabul görmüş standartlar uygun tasarım yapılmıştır. EN 50155, UIC-612, EN 50125, EN 61375, EN 45545, EN 50126, EN 50128 vb. standartlarından alınan gereksinimler ile müşteri gereksinimleri harmanlanarak tasarım geliştirilmiştir.
- Tasarım sürecinde sistemin modüler olmasına, bakım yapılabilirliğinin kolay olmasına, güvenilir olmasına, trenin kesintisiz bir şekilde çalışabilmesi için yedekli yapıda olmasına, diğer alt bileşenler ve sistemlerle uyumlu çalışabilmesine ve kullanımının kolay olmasına dikkat edilmiştir.

## SİSTEM EKİPMANLARI

TKYS'yi oluşturan tüm ekipmanların listesi aşağıda verilmiştir.

CCU (Central Control Unit - Merkezi Kontrol Birimi): Her sürücü kabini için birer adet merkezi kontrol ve kayıt ünitesi

Şekil 2 CCU Birimi

RIOM (Remote Input Output Module): Sürücü kabini, orta araçlar için uzaktan erişimli I/O modülleri

Şekil 3 RIOM Birimi

HMI: Her sürücü kabini için ikişer adet kontrol ve diyagnostik monitörleri

Şekil 4 HMI Birimi

MVB (Multifunctional Vehicle Unit) tekrarlayıcı: Orta araçlar için gerekli olması durumunda MVB tekrarlayıcı

WTB (Wired Train Bus) ağ geçidi birimi: Her sürücü kabini için MVB/WTB dönüştürücü TKYS sistem içi bağlantı kabloları ve konektörleri

Sistem yedekli yapıda olacak şekilde tasarlanmıştır. Yedekliliğe sahip ekipman hatalarının tanınması durumunda çalışan ekipmana otomatik olarak geçiş sağlanabilmektedir. Sistemdeki RIOM ve CCU bağlantıları da dahil olmak üzere yedekli yapıdadır. RIOM sayıları platformdaki ihtiyaca göre değişebilmektedir.

Tren iletişim ağına bağlı tüm akıllı ve akıllı olmayan üniteler CCU ile kontrol edilebilmektedir. Farklı yerlere dağıtılmış farklı üniteler TCN (Train Communication Network) tren veri yolunu kullanmaktadır ve bu veri yolu IEC 61375-1 standartları ile uyumludur. Trende TCN'i desteklemeyen cihazlar mevcut ise seri haberleşme arayüzü (CAN) kullanılarak ana sisteme bağlantı sağlanmaktadır. Ayrıca, iletişim ağına ilave üniteler eklenerek sistemi genişletmek mümkün olmaktadır. Yeni kurulumu yapılan üniteyi tespit etmek ve iletişim kurabilmek için veri yolu konfigürasyonu ve uygulama yazılımının güncellenmesi gerekmektedir.

Buna ilave olarak TKYS dijital ve analog fiziksel bağlantılı arabirimlerle tren mantık devresi ve alt cihazlarla irtibatlıdır. Bu arabirimler izleme ve spesifik kontroller gibi ana işlevleri yerine getirmede TKYS'yi desteklemektedir.

Sürücü kabinindeki CCU (MKB) olaylar, arızalar ve araç statüsü ile ilgili bilgileri kendi iç veri tabanında derleyip saklayabilmektedir. Arıza bilgileri HMI ile gösterilebilmekte veya uzun vadeli kayıt ve bağlantısız ilave analizler için de bilgisayar üzerinden çalıştırılan servis yazılımına ethernet bağlantısı ile yüklenebilmektedir.

Sistemde kullanılan bütün donanımlar EN 50155 standardına uygundur. Sistemin en önemli ünitesi olan CCU ve RIOM birimleri ASELSAN öz kaynakları kullanılarak standartlara göre geliştirilmiş ve özgün bir tasarıma sahiptir. CCU üzerinde bulunacak modüller aşağıda listelenmiştir.

- Güç çevrim modülü
- Merkezi işlemci modülü
- Dijital arayüz modülü
- Analog arayüz modülü
- CAN arayüz modülü
- MVB arayüz modülü
- Ethernet anahtarlama modülü
- WTB ağ geçidi

Merkezi işlemci modülü yeni nesil işlemci ile çalışmaktadır. Merkezi işlemci modülü üzerinde yer alan kalıcı ve geçici bellekler uygulama yazılımının gereklerini karşılayabilecek büyüklükte DDR3 ve SDRAM sahiptir. CCU üzerinde en az 30 günlük sürekli çalışma bilgisini saklayabilecek kayıt modülü yer alacaktır.

## SİSTEM ARAYÜZLERİ

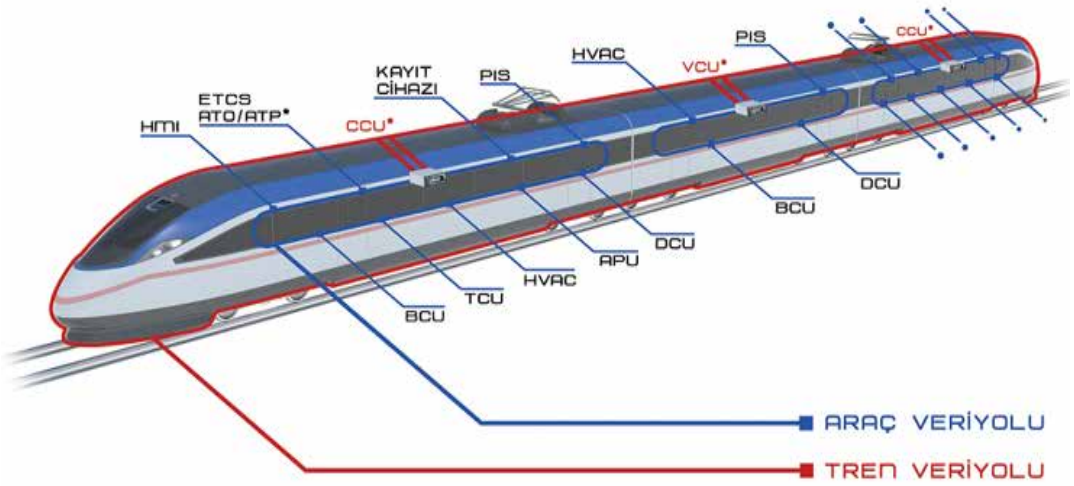
Sistemin kullandığı iç ve dış arayüzlere ait bilgiler aşağıdaki tabloda listelenmiştir.

| Nereden-Nereye | Arayüz |
|---|---|
| HMI-CCU | Ethernet |
| CCU-RIOM, Ağ Geçidi, Olay Kaydedici, BCU (Brake Control Unit), TCU (Traction Control Unit), OBATC (OnBoard Automatic Train Control) | MVB EMD (Electrical Medium Distance) |
| RIOM- Diğer Alt Sistemler | CAN |
| Ağ Geçidi-Ağ Geçidi | WTB-Ethernet |

## TKYS SİSTEMİNİN ARAYÜZÜ OLAN ALT SİSTEMLER

TKYS, demiryolu uygulamalarında, demiryolu taşıtlarında kullanılan ekipmanın kontrolünü ve izlenmesini sağlayan modüler dağıtılmış bir bilgisayar sistemidir. TKYS, aşağıdaki alt sistemleri/alt birimleri izlemekte, kontrol etmekte veya yönetmektedir:

- Kapı Kontrol Sistemi
- İç Aydınlatma
- Dış Aydınlatma
- Yolcu Bilgi Sistemi
- HVAC (Heat Ventilation Air Conditioning) Sistemi
- HMI Yönetimi
- CCTV (Close Circuit Television) Sistemi
- Fren
- Çekiş
- Hava Kompresör Yönetimi
- Batarya Şarjör
- Transformatör
- Yangın Algılama Sistemi
- Yardımcı Konvertör
- Ana Devre Kesici
- Orta Gerilim Kontaktörleri
- Yüksek Gerilim Kontaktörleri
- Otomatik Hız Kontrolü
- Pantograf
- Motor Soğutma Sistemi
- Kumlama Sistemi
- Boden Yağlama
- Tuvalet
- ERTMS (European Rail Traffic Management System)

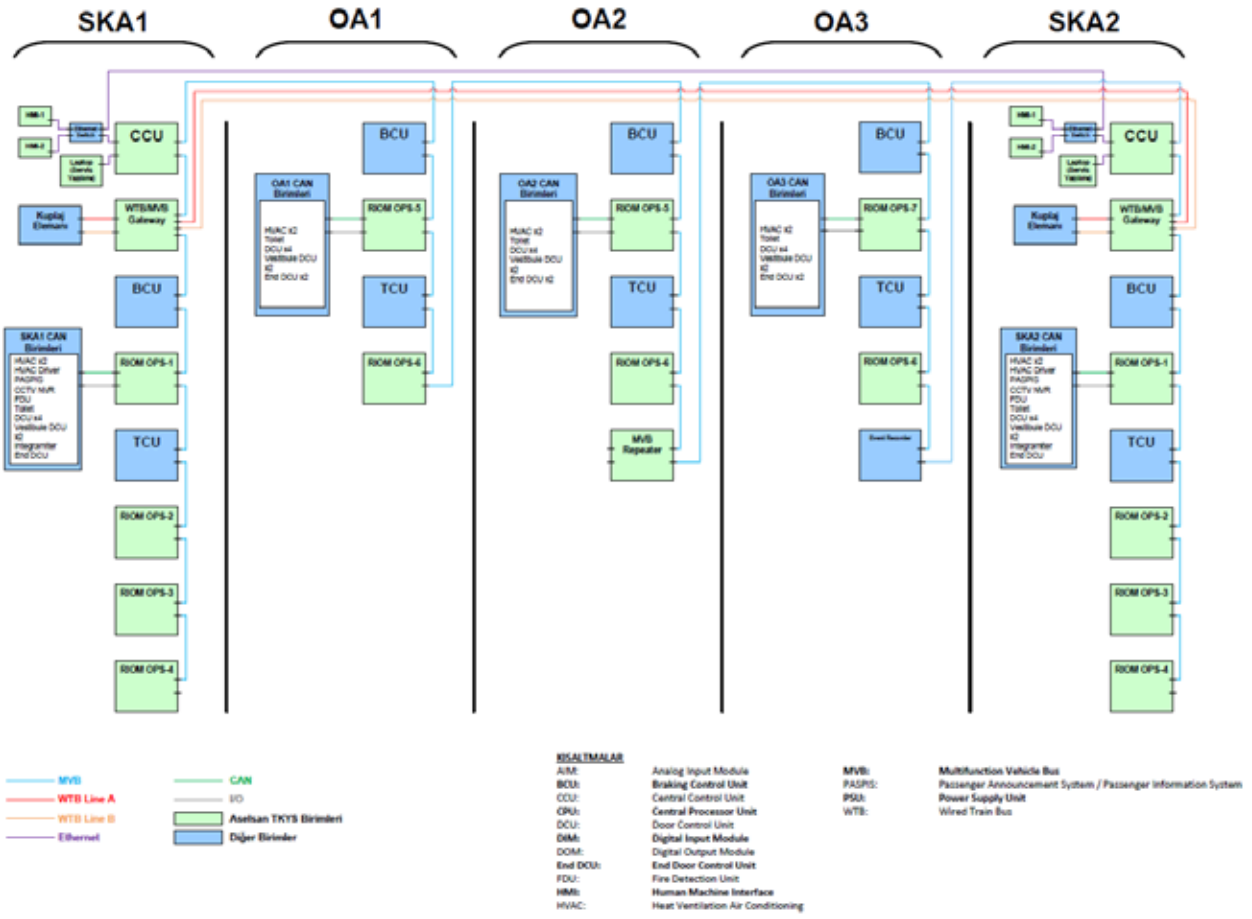



Şekil 5 Tren Veri Yolları

## TKYS FONKSİYONEL MİMARİSİ

TKYS, birbiri ile ilişkili olan ve belli sistem gereksinimlerini yerine getiren alt sistemlerden oluşmaktadır. Alt sistemler, aralarındaki arayüzler üzerinden veri paylaşımı yapmakta ve bu verileri kullanarak sistem fonksiyonlarını gerçekleştirmektedirler.

Sistem haberleşme mimari yapısı aşağıda gösterilmiştir.




Şekil 6 5'li Tren Seti Haberleşme Mimarisi

Tren haberleşme mimarisinden görüldüğü gibi CCU'lar, HMI'lar ve servis yazılımı uygulaması yüklü bilgisayarlar ile Ethernet üzerinden haberleşmektedir.

CCU'ların MVB haberleşmesi ile bağlı olduğu birimler; tüm RIOM'lar, TCU'lar (Traction Control Unit), BCU'lar (Brake Control Unit), WTB ağ geçidi birimleri, MVB tekrarlayıcı ve olay kaydedici birimidir.

Her tren setinde bir araçta bulunan RIOM birimi HVAC, PASPIS (Passenger Announcement System/ Passenger Information System), FDU (Fire Detection Unit), Tuvalet, Kapı İç kapı alt sistemleri ile CAN üzerinden haberleşmektedir. CAN haberleşme ağı üzerinden RIOM'a gelen veri ilgili RIOM üzerinden CCU birimine gönderilmektedir.

RIOM birimleri tren üzerinden gelen kablolu sinyallerin CCU'ya gönderilmesinden sorumludur.

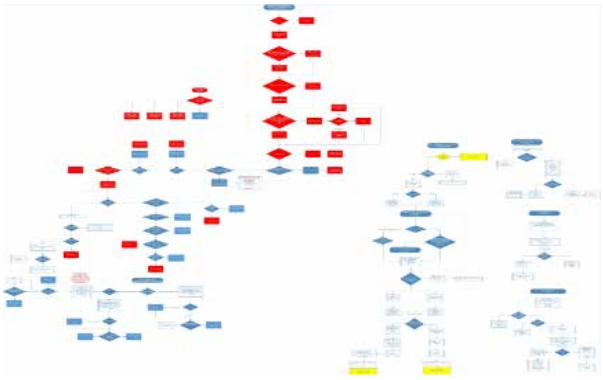
5'li tren seti üzerinde 32 birim (TKYS, RIOM, CER, Fren ve WTB/MVB Gateway) MVB ile, 61 birim (Klima, Kapı, Yolcu Bilgilendirme, Yangın Algılama, Tuvalet) TKYS sistemi üzerinden haberleşmektedir.

## SİSTEM YAZILIMLARI

Sistemde kullanılan CCU, RIOM ve HMI donanımları içerisinde uygulama yazılımları koşmaktadır. Milli EMU tren kontrol ve yönetim sistemi için HMI yazılımı, merkezi kontrol algoritması/yazılımı, uzak giriş/çıkış modül yazılımı ve servis yazılımının geliştirilmesi gerçekleştirilmiştir.

## CCU YAZILIMI

Merkezi kontrolün yapıldığı, tren bilgilerinin değerlendirilerek algoritmaların koştuğu ve makiniste gösterilecek olan verilerin değerlendirilmesinin yapıldığı yazılımdır.



Şekil 7 CCU Yazılım Algoritma Örneği

## RIOM YAZILIMI

Uzak giriş çıkış birimi yazılımı tren üzerinde dağıtık birimlerden, sistemlerden bilgilerin toplanması ve tren yönetimi için gerekli olan çıkış sinyallerinin alt birim veya sistemlere gönderilmesini sağlayan yazılımdır. Donanımdaki kartlar ihtiyaca göre konfigüre edilebilmektedir. Yazılım ise konfigürasyon dosyası üzerinden yeni birim konfigürasyonuna uygun hale hızlı bir şekilde getirilebilmektedir.

## HMI YAZILIMI

HMI Yazılımı makinistin treni konforlu ve güvenli olarak kullanabilmesi için ihtiyacı olan tüm bilgiyi sunmak üzere UIC 612 standardına göre tasarlanmıştır. Dokunmatik ekran üzerinden sayfalar arası geçiş yaparak alt sistem izlemesi ve bazı kontrolleri HMI üzerinden yapabilmektedir.

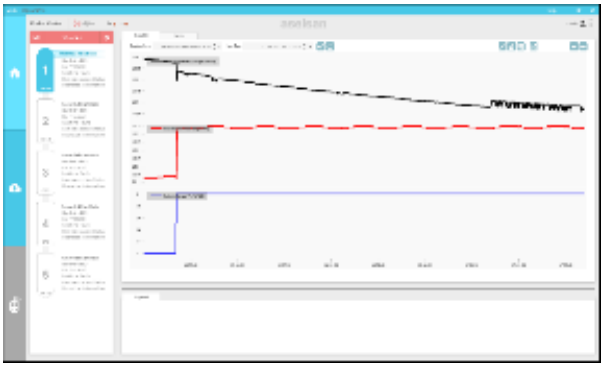
HMI üzerinden "Sürücü" ve "Bakım" modları arasında geçiş yapılabilmektedir. Bu sayede kullanıcı özelliğinin değişmesi ile sayfalarda görüntülenecek veriler ve kontrollerin detayları sınırlandırılmakta veya serbest bırakılmaktadır.

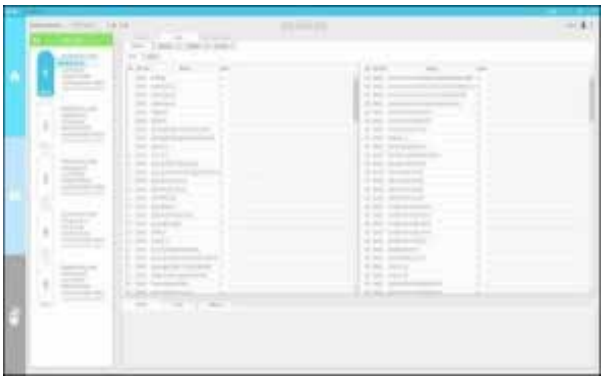
Şekil 8 HMI Yazılımı

## SERVİS YAZILIMI

Servis yazılımı, Windows 10 ve üzeri işletim sistemine sahip bilgisayarda çalışan bakım personeline destek olan bir ara yüzdür. Servis yazılımı özellikleri:

- Yazılım Yükleme,
- CCU yazılımının haberleştiği birimlere ait bilgileri gösterme,
- Arıza kayıtlarını okuma,
- CCU yazılımının çalışma parametrelerini okuma,
- CCU yazılımının çalışma parametrelerini değiştirme,
- CCU/RIOM çıkışlarını simüle edebilme





## TKYS KUPLAJ FONKSİYONU

Akuple tren setlerinde TKYS, tren setlerinin algılanması ve iş birliği yapabilmesi için önemli bir rol oynamaktadır. TKYS, bir tren setindeki tüm araçların kontrolünü sağlamakta ve bu araçlar arasında haberleşmeyi koordine etmektedir. Aşağıda, ASELSAN TKYS çözümünün akuple tren setlerindeki çalışma şekli hakkında bilgi verilmiştir:

**Tren Algılama ve Tanıma:** TKYS, her bir aracın varlığını otomatik olarak algılamaktadır. HMI konfigürasyonunu otomatik olarak akuple olan trenlere göre güncellemektedir. Bu, trenlerin tespit edilmesini ve uygun şekilde yönetilmesini sağlamaktadır.

**Haberleşme ve Veri Aktarımı:** TKYS, araçlar arasında haberleşmeyi sağlamaktadır. Kablolu WTB haberleşme protokolünü kullanarak araçlar arasında veri aktarımı gerçekleştirilmektedir. Bu sayede, araçlar arasında bilgi alışverişi yapılabilmekte ve koordinasyon sağlanmaktadır.

**Kontrol ve Yönetim:** TKYS, tren dizisindeki tren setlerinin kontrolünü sağlamaktadır. TKYS, trenlerden gelen verilere dayanarak optimal çalışma koşullarını sağlamak için algoritmalara dayalı kararlar almaktadır.

**Hata Tespiti ve Teşhis:** TKYS, trenlerdeki hataları tespit teşhis etmektedir. Sensörler aracılığıyla araçların durumunu izlemekte ve arıza veya anormallik durumunda ilgili uyarıları üretmektedir. Bu sayede, bakım ihtiyaçları belirlenmekte ve hızlı müdahale sağlanmaktadır

TKYS, akuple tren setlerindeki araçlar arasında sürekli olarak veri alışverişi yaparken, bunları analiz etmekte ve gerekli kontrolleri sağlamaktadır. Böylece, tren setinin tüm araçlarının senkronize bir şekilde çalışmasını ve güvenli bir şekilde seyahat etmesini sağlamaktadır.

Şekil 10 Tren Kuplajı

## HAFİF RAYLI ARAÇLAR İÇİN ÇEKİŞ SİSTEMİ GELİŞTİRME PROJESİ VE ANKARA METRO ARAÇLARI MODERNİZASYONU

Tramvay ve Metro araçlarında kullanılmak üzere, özgün çekiş/kontrol sistemi geliştirmek amacıyla ASELSAN tarafından Hafif Raylı Araçlar için Çekiş Sistemi Geliştirme Projesi, yürütülmüştür.

Proje kapsamında Çekiş Sistemi, Tren Kontrol ve Yönetim Sistemi algoritma ve yazılımları ile birlikte Yardımcı Güç Sistemi tümüyle özgün olarak geliştirilmiştir.

Projede araç platformu olarak, Ankara Büyükşehir Belediyesi EGO Genel Müdürlüğü ile ASELSAN arasında yapılan bir iş birliği protokolü kapsamında Ankara Metrosu 3'lü metro araç seti kullanılmaktadır. Yenilenen metronun tüm statik ve dinamik devreye alma faaliyetleri başarı ile tamamlanmıştır.

## HİBRİT MANEVRA LOKOMOTİFİ GELİŞTİRME PROJESİ

TCDD Taşımacılık A.Ş filosunda bulunan bir adet DE11000 manevra lokomotifinin prototip olarak modernize edilmesi maksadıyla çalışmalar yapılmıştır. Modernizasyon sonucunda, işletme ve bakım maliyetleri daha az, akustik gürültü ve zararlı emisyon değerleri daha düşük olan Hibrit Manevra Lokomotifine (HML) dönüşüm hedeflenmiştir.

Modernizasyon faaliyetleri kapsamında mevcut DE11000 tipi lokomotifin yalnızca bojisi ve şasisi kullanılmaktadır. Lokomotif üzerindeki diğer tüm alt sistemler ve birimler yeniden tasarlanmakta veya tedarik edilmektedir. Proje kapsamında;

- Lokomotifin, uluslararası standartlara (UIC-505, UIC-612, UIC-651, EN-45545, EN50126, EN50128, EN-50129, EN-50155) uygun olarak tasarımının yapılması,
- Operatör kabininin, her iki yönde kolay kullanımı sağlayacak şekilde, ortaya taşınması,
- Ergonomik operatör konsolu tasarımının yapılması,
- Lokomotifin modern iç-dış endüstriyel ve mekanik tasarımlarının yapılması,
- Tren Kontrol ve Yönetim Sistemi, Cer Sistemi (Cer Motoru İnvertörü, Yardımcı Güç Ünitesi, Buck&Boost Konvertörü), Çekiş Bataryası ve Batarya Yönetim Sistemi özgün tasarımı ve üretimi,
- İleri seviye kontrol algoritmaları ile çalışma modları ve senaryoların tanımlanarak geliştirilmesi,
- Lokomotif üzerindeki mevcut cer motorlarının sistem tasarımına uygun olarak yeniden tasarlanması ve test edilmesi,
- Dizel jeneratör seti, fren sistemi, soğutma sistemi ve araç üstü batarya şarj sistemi gereksinimlerinin sistem tasarımına göre oluşturulması,
- Sistem elektrifikasyon ve kablaj tasarımının yapılması,
- Pnömatik hat tasarımının yapılması,

faaliyetleri ASELSAN tarafından yürütülmüştür.

Hibrit Manevra Lokomotifi Geliştirme Projesinin en önemli bileşenlerinden biri olan Cer Sistemi'nin sorumluluğunu ASELSAN üstlenmiştir. Bu kapsamda, cer motorlarının kontrolü için Cer Sürücüsü, Çekiş Bataryası güç aktarımı için Buck&Boost Konvertör ve araç üzeri 3x400VAC, 1x230VAC ve 24VDC gerilim ihtiyaçlarının karşılanması için Yardımcı Güç Ünitesi geliştirilmiştir. Tasarımı ve üretimi ASELSAN'a ait olan Cer Sistemi, DSP tabanlı kontrol elektroniği, yeni nesil IGBT ve SiC MOSFET teknolojisi ile modüler mimariye sahiptir.

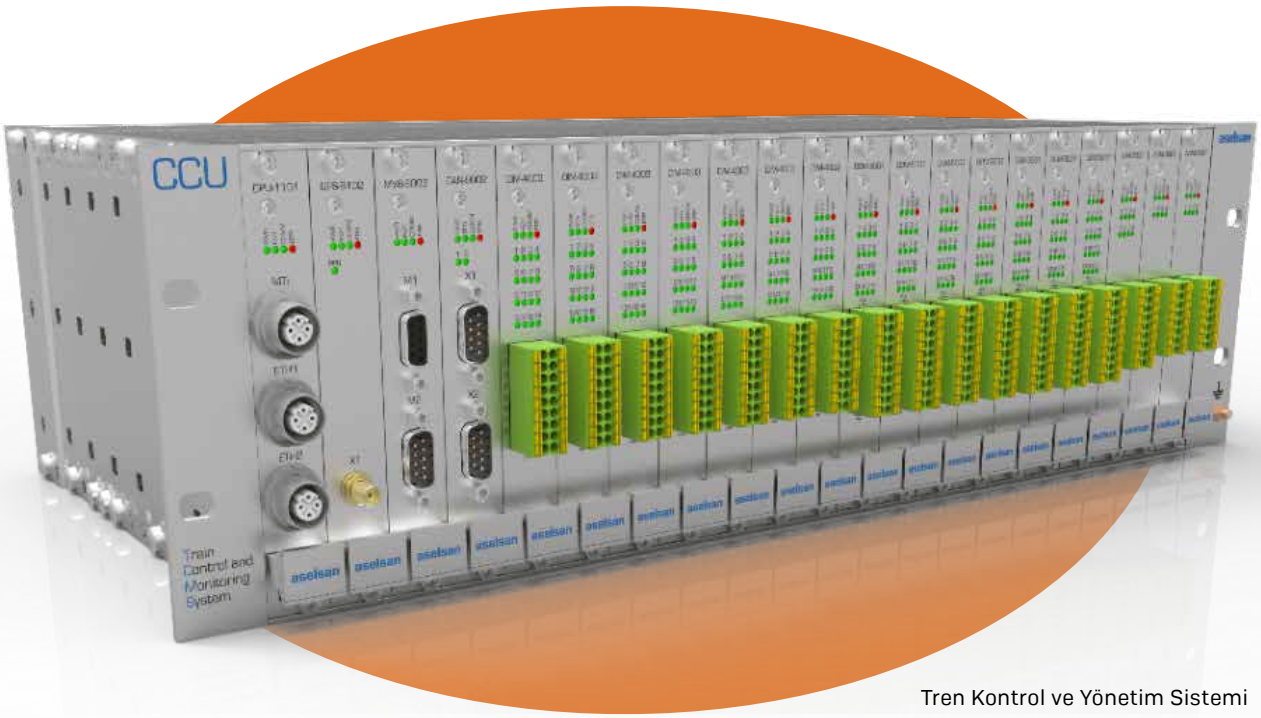
İleri ve esnek kontrol algoritmaları sayesinde, farklı tipteki AC motorlar yüksek verimlilikte ve hassasiyette kontrol edilebilmektedir. Rejeneratif frenleme, kayma/kızaklama giderme, paralel AC motor kontrolü, yedekli çalışma, yüksek akım ve gerilim koruması ve yüksek verimli anahtarlama teknikleri özgün olarak geliştirilen algoritmalar arasında yer almaktadır.

HML Cer Sistemi

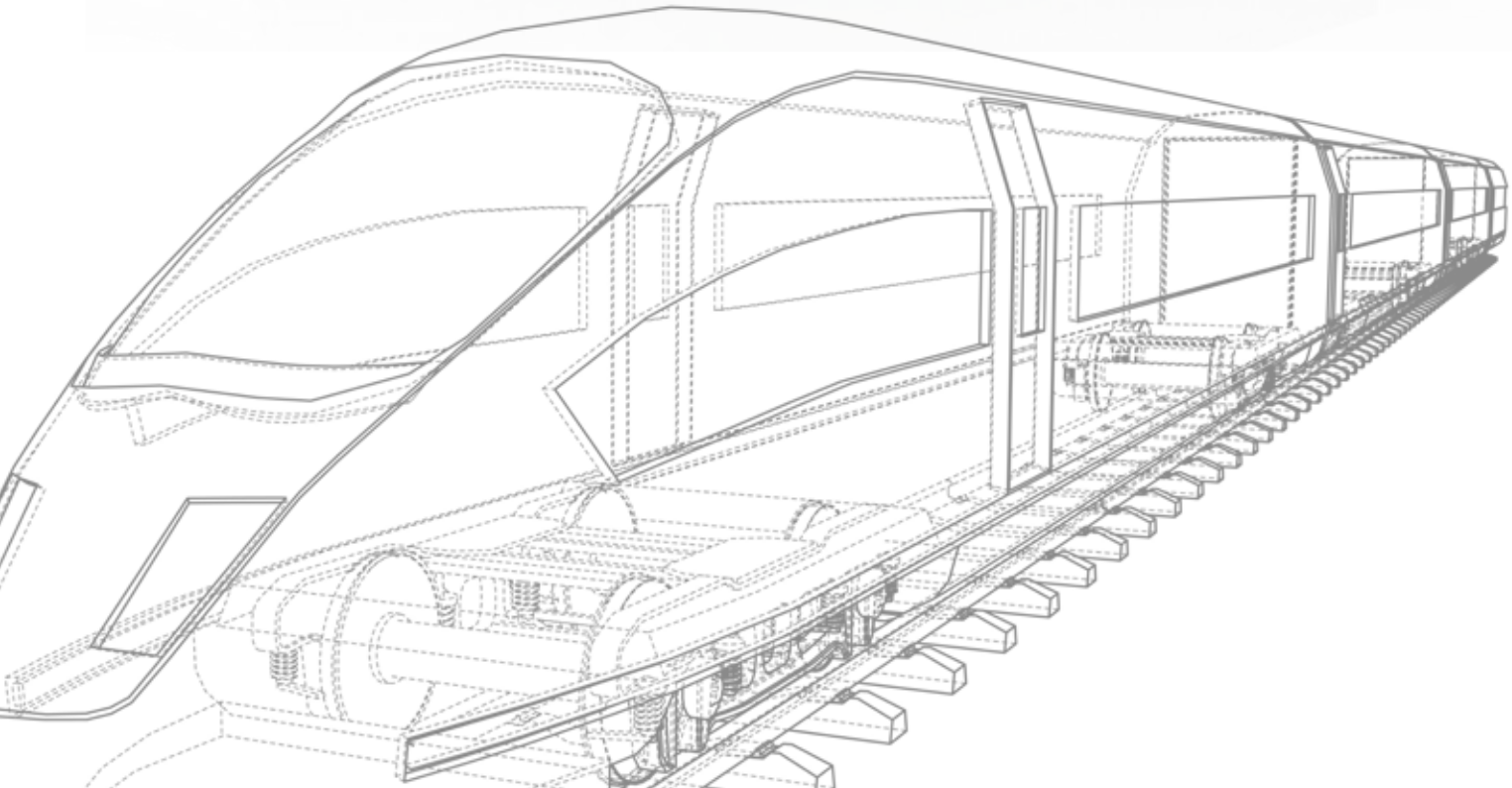
Hibrit Manevra Lokomotifi Geliştirme Projesinin diğer önemli bileşenlerinden Tren Kontrol ve Yönetim Sistemi donanım ve yazılımı da ASELSAN tarafından geliştirilmiştir.

Modüler yapıda tasarlanan Tren Kontrol ve Yönetim Sistemi bilgisayarı raylı ulaşım araçları için kabul görmüş standartlarca (IEC61508, EN50155 gibi) tariflenen güvenilirlik seviyelerine sahip olup; mimarisi, kontrol, güvenilirlik algoritmaları, donanımı ve gömülü yazılımı ile tümüyle özgün olarak geliştirilmektedir.

TKYS, modüler yapısı sayesinde, haberleşme ara yüz ihtiyacına göre (Örnek: I/O sayısı ve tipleri) yapılandırılabilmektedir.




Tren Kontrol ve Yönetim Sistemi



# COBALT® METRO SİNYALİZASYON SİSTEMİ

ST
20
20

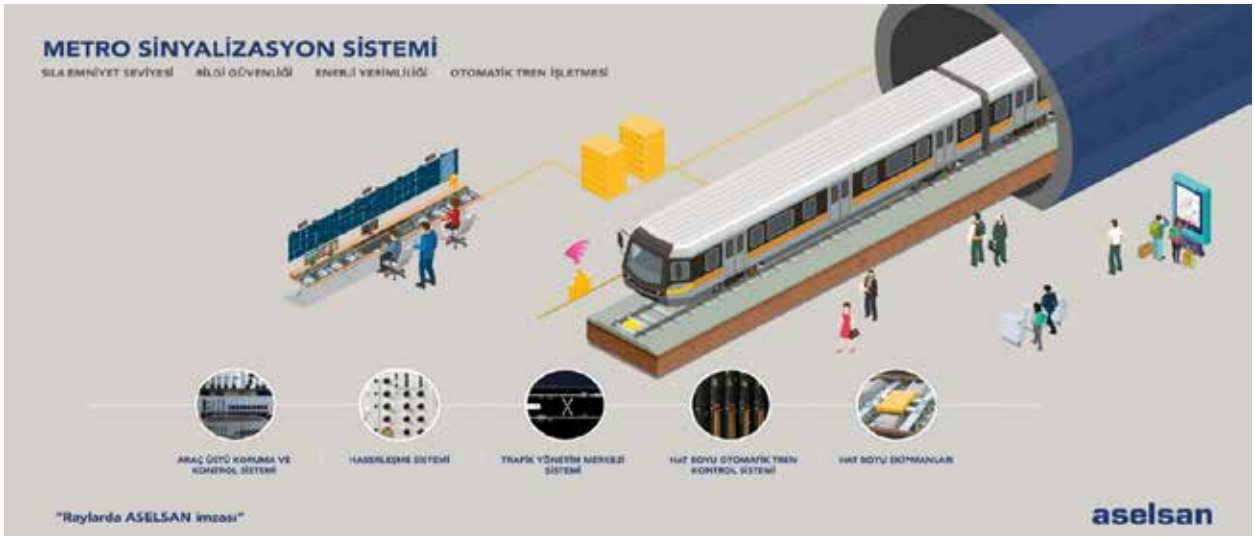
## RAYLARDA ASELSAN İMZASI

ASELSAN 40 yılı aşkın bir süredir savunma alanında yarattığı bilgi birikimini, tecrübesini ve AR-GE disiplinini Raylı Sistemler alanına taşıyarak, bu alandaki faaliyetlerini başarılı bir şekilde sürdürmektedir. Küresel pazarda yaratılan değerler ile sürdürülebilir büyümeye sahip, rekabet gücü ile tercih edilen, çevreye ve insana duyarlı olarak geliştirilen milli sinyalizasyon AR-GE çalışmaları, 2014 yılından beri devam etmektedir.

Günümüzde, hâkim olan, bilim ve teknoloji temeline dayalı yeni ekonomik anlayışta, ülkelerin küresel rekabet kabiliyeti AR-GE'ye verdikleri önem ve ayırdıkları kaynaklar ile doğrudan ilişkili seviyeye gelmiştir. ASELSAN'ın da misyonu doğrultusunda, teknolojik olarak dışa bağımlı olduğumuz bu alanda, milli çözüm oluşturmak ve yurtdışı firmalar ile küresel ölçekte rekabet etmek amacıyla AR-GE projeleri yürütülmektedir.

AR-GE projeleri bünyesinde gerçekleştirilen faaliyetler çerçevesinde, üniversite iş birliklerinin gerçekleştirilmesi, metro sistemine dair önemli bileşenlerin yerlileştirilmesi, araç üstü, hat boyu ve merkezi tren kontrol sistemlerinin yerli olarak tasarlanması gibi sayısız başarıya imza atılmıştır.

Yürütülen iş geliştirme ve AR-GE Projeleri meyvelerini vererek 2019 yılında Metro İstanbul A.Ş. ile Yenikapı-Otogar-Havalimanı-Kirazlı-Halkalı Metrosu Araç Üstü Sinyalizasyon Sistemi Tedariki Projesi imzalanmıştır. Ardından ASELSAN, Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü (AYGM) tarafından yürütülen Gayrettepe-İstanbul Yeni Havalimanı (GYH) Metro, Halkalı-İstanbul Yeni Havalimanı (HYH) Metro ve Gebze-Darıca Metro hatlarında Sinyalizasyon Sistemi yüklenicisi rolünü üstlenmiştir.

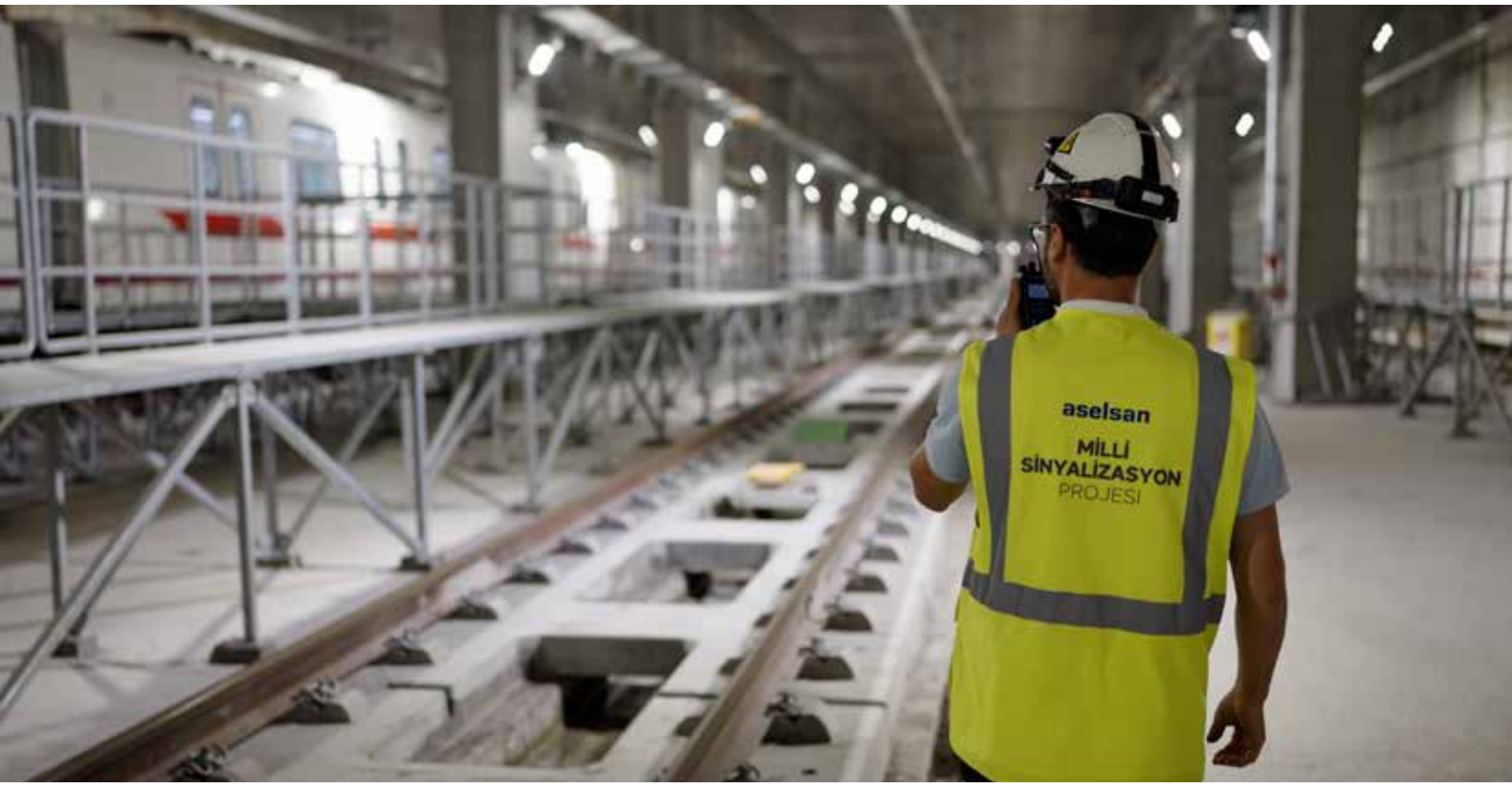



## HABERLEŞME TABANLI TREN KONTROL SİSTEMİ (CBTC)

### Ana Özellikler

CBTC, trafik yönetimi ve altyapı kontrolü için tren ve hat boyu ekipmanı arasındaki iletişimi kullanan bir demiryolu sinyalizasyon sistemidir. CBTC Sistemleri aracılığı ile, bir trenin kesin konumu, geleneksel sinyalizasyon sistemlerine göre daha hassas bir şekilde belirlenir. Bu çözüm, demiryolu trafiğini yönetmek için daha verimli ve emniyetli bir sistem olup, işletme esnasında sefer sıklığının emniyetli bir şekilde artırılmasına olanak sağlar.

CBTC sistemi trenin hassas konumunu ray devrelerinden bağımsız olarak, çift yönlü kesintisiz haberleşme aracılığıyla, sistemi emniyette tutarak belirler. (IEEE CBTC 1474.1 Standardı, Bölüm 4.1)




## YERLİ VE MİLLİ METRO SİNYALİZASYON SİSTEMİ: ASELSAN COBALT

COBALT, CBTC (Haberleşme Tabanlı Tren Kontrol) tekniğini temel alarak trenin hassas konumunu, ray devrelerinden bağımsız olarak, çift yönlü kesintisiz haberleşme aracılığıyla, sistemi emniyette tutarak belirleyen ASELSAN Sinyalizasyon Sistemi çözümüdür.

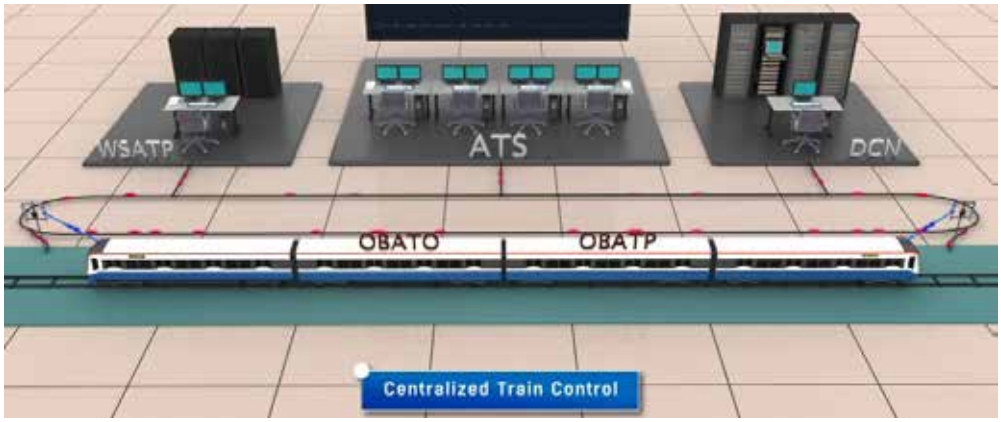
Günümüzün modern ve yoğun şehir içi raylı ulaşım sistemlerinde ortaya çıkan ihtiyacı karşılamaya yönelik güvenli, verimli, dakik, yüksek taşıma kapasite sahip ve çevre dostu bir sistem olan COBALT, aşağıdaki özellikleriyle ön plana çıkmaktadır:

- Yeni ve modernizasyon hat uygulamaları için, tüm otomasyon seviyelerinde, akıllı ve bütünleşmiş (integrated) sistem çözümü
- Entegre COBALT Maestro (Trafik yönetim ve izleme sistemi) ile akıllı trafik yönetimi
- Enerji verimliliği yüksek sürüş algoritmalarıyla Otomatik Tren İşletimi (ATO)
- Hareketli blok (Moving Block) teknolojisiyle düşük sefer sıklığı ve yüksek kapasite
- IP tabanlı ve dağıtık mimarideki saha ve araç üstü ekipmanlarla hızlı entegrasyon
- Hat boyunda ikincil algılama sistemine ihtiyaç duymayan sistem tasarımı
- İndirgenmiş saha ekipmanları sayesinde düşük işletme ve bakım maliyetleri
- Harici sistemlerle kolay ve tam entegrasyon
- Sistem Elverişliliği > %99,9
- Platform Ayırıcı Kapı Sistemi (PAKS) ve diğer hayati sistemlerle tam entegrasyon
- SIL-4 (Safety Integration Level) Emniyet Bütünlük Sertifikasyon Seviyesi

COBALT Sistemi, ülkemizde tasarlanan ve üretilen yerli ve milli ilk sistem olmanın yanı sıra, modüler sistem bileşenleri sayesinde saha ve trene kolay entegrasyon, az sayıda saha ekipman ile kolay kurulum ve düşük bakım maliyetine sahip olması ile kullanıcı dostu bir sistemdir.

COBALT Sistemi, tüm otomasyon (GoA) seviyelerinde çalıştırılabilecek tasarıma sahiptir ve 5 ana alt sistemden oluşmaktadır:

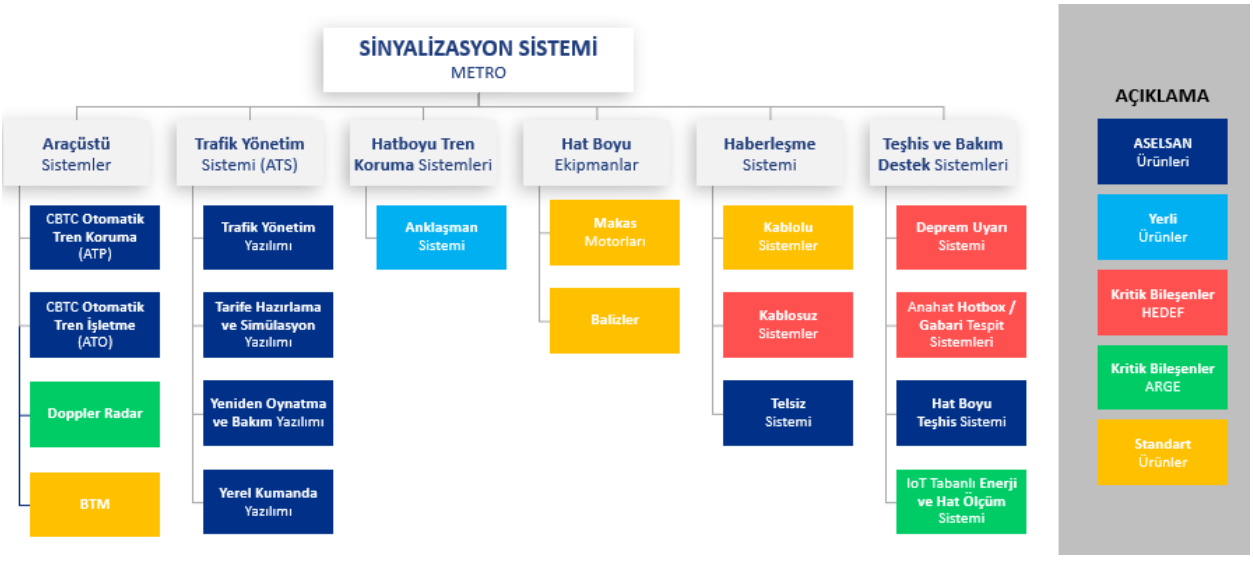
- Hat Boyu ATC Sistemi (WSATP ve WSATO)
- Araç Üstü ATC Sistemi (OBATP ve OBATO)
- Haberleşme Sistemi (DCN)
- Otomatik Tren Denetim Sistemi (ATS)
- Saha Ekipmanları



## COBALT KRİTİK BİLEŞENLER

ASELSAN projelerinde sistem tasarım, üretim ve test faaliyetleri sürerken dışa bağımlılığı azaltmak, maliyetleri düşürmek ve daha yenilikçi bir sistem yaratabilmek amacıyla, sistem kritik bileşenleri detaylı bir şekilde analiz edilerek yerli üretime başlanmıştır.

Şekil 1'de görüleceği üzere, COBALT sinyalizasyon sistemini ve alt-sistemlerinin geliştirilmesi ardından, projelerde ihtiyaç duyulan kritik bileşenlerin geliştirilmesiyle ilgili faaliyetlere başlamıştır. Bu kapsamda, OBATP alt sisteminin hız sensörü olarak bir parçası olan Doppler Radarı ve işletme bakımını kolaylaştıran Hat Ölçüm sistemleri için AR-GE faaliyetleri, ilgili sektör başkanlıklarımız ve ekiplerimizin birlikte çalışmaları ile titizlikle devam etmektedir.




Şekil 1 ASELSAN Metro Sinyalizasyon Sistemi Bileşenleri

## TRAFİK YÖNETİM SİSTEMİ (ATS)

Raylı ulaşım sinyalizasyon sistemlerinde trafiği yöneten ve izleyen alt sistem olan ATS Sistemi, tüm GoA ve ERTMS seviyelerine uygun olarak geliştirilmiştir. Yoğun çalışma sıklığındaki işletmelere yüksek performans sunan COBALT Maestro Sistemi, %99,99 seviyesinde sistem kullanılabilirliği ile de benzer sistemlerden ayrışarak, öne çıkmaktadır. Yapay zekâ teknolojisi kullanılarak çakışma noktalarında trenler yönetilebilirken, regülasyon yöntemi ile gecikmeler otomatik olarak giderilebilmektedir. Özellikle sisteme gelen alarm ve olayların sınıflandırılması ve kaydedilmesi operatör için büyük kolaylık sağlamaktadır.

ATS Sisteminde; Operatör Arayüz Yönetimi, Bakım & Yeniden Oynatma, Tarife Hazırlama fonksiyonları gerçekleştirilebilmekte olup, Yerel Kumanda yazılımı ile lokal olarak sistem kontrolü yapılabilmektedir.

## HAYATİ BİLGİSAYAR

Hayati Bilgisayar (Vital Computer), raylı ulaşım sinyalizasyon alanında hem araç üstü hem de hat boyunda gerçekleştirilen farklı uygulamalarda kullanılan, modüler, ölçeklenebilir ve yapılandırılabilir yüksek emniyet seviyesine (SIL4) sahip bir bilgisayardır.

ASELSAN olarak geliştirilen hayati bilgisayar, SIL4'e kadar emniyet bütünlük seviyelerinde kullanılabilmektedir. %99,99 seviyesinde sistem kullanılabilirliğine sahip olmasının yanı sıra güvenli haberleşme protokollerini destekleyen donanım arayüzleri ve yazılım mimarisine sahiptir. Yedekliliğe uygun ve esnek mimariye izin veren ve ön panel üzerinden kolay montaj, bakım ve test edilebilirlik özelliklerine sahip bir sistem olarak ön plana çıkmaktadır.

## HATBOYU ATC SİSTEMİ

IEC-62290-3 ile uyumlu, modüler tasarıma sahip ve COTS bileşenleri ile hızlı uygulamalara ve değişikliklere izin veren, SIL4 Emniyet Bütünlük seviyesine sahip bir sistemdir. Herhangi bir hata durumunda emniyetli haberleşmeye izin veren, farklı tipteki saha ekipmanlarına uygun arayüzleri içeren, modüler ve ölçeklenebilir bir sistem mimarisi bulunmaktadır.

## HABERLEŞME SİSTEMİ

Sinyalizasyon sisteminin tüm alt sistemlerinin kendi içlerinde ve birbirleri arasında emniyetli ve kesintisiz bir şekilde veri aktarımına olanak sağlayan yedekli bir sistemdir. Kablolu ve kablosuz olacak şekilde alt sistemlerden oluşmaktadır.

Kablosuz haberleşme sistemi, Wi-Fi temelli bir sistem olup OBATC ile WSATC arasındaki bağlantıyı sağlamaktadır. Kablolu haberleşme sistemi ise hat boyundaki birimlerin kendi aralarında ve merkez arasında iletişimine olanak sağlayan fiber transmisyon altyapısını kullanan bir sistemdir.

TÜRK PATENT

MARKA TESCİL BELGESİ

No: 2021 177253 - Ticaret - Hizmet

COBALT MAESTRO

Marka Sahibi

ASELSAN ELEKTRONİK SANAYİ VE TİC.A.Ş.

Mal / Hizmet Sınıfları

09

Bu marka, 6769 sayılı Sınai Mülkiyet Kanunu kapsamında, 10.12.2021 tarihinden itibaren 10 yıl süreyle korunmak üzere 30.03.2022 tarihinde tescil edilmiştir.

Cemil KAŞPINAR

Kurum Başkan V.

## SAYILARLA COBALT

Sözleşmeli projelerde ana kilometre taşları başarıyla tamamlanırken, elde edilen tecrübeler ve kazanımlar doğrultusunda ASELSAN mühendisleri tarafından tez, makale ve patent çalışması yürütülmüştür. Birkaç yıl gibi kısa sürede, bu çalışmalar doğrultusunda 6 makale & tez, 2 patent ve 1 faydalı model geliştirilerek ülkemize kazandırılmıştır.

Geliştirilen ASELSAN Metro Sinyalizasyon Sistemi, Türk Marka ve Patent Kurumu'na yapılan başvuru sonrasında markalaşmış ve "COBALT" olarak tescillenmiştir. CBTC sisteminin en önemli bileşenlerinden olan ATS Sistemi de "COBALT MAESTRO" olarak tescil edilmiştir.

T.C.

TÜRK PATENT ve MARKA KURUMU

MARKA TESCİL BELGESİ

Marka No : 2020 152675 Ticaret - Hizmet

COBALT

Marka Sahibi : ASELSAN ELEKTRONİK SANAYİ VE TİCARET ANONİM ŞİRKETİ

TÜRKİYE CUMHURİYETİ

Mehmet Akif Ersoy Mah. 296. Cadde No:16 Mamak/Ankara

Emtiaa : 42

İlişiktedir.

İşbu Marka 28/10/2020 tarihinden itibaren ON YIL süreyle 19/04/2021 tarihinde tescil edilmiştir.

Prof. Dr. Habip ASAN

Türk Patent ve Marka Kurumu Başkanı

TÜRK PATENT

45 yılı aşkın bir süredir savunma alanında oluşturulan tecrübe ve çalışma disiplini, başarılı bir şekilde Raylı Sistemler alanına da aktarılmış ve kısa sürede köklü başarılara imza atılmıştır. ASELSAN, ülkemizde demiryolu teknoloji alanındaki çalışmalarını birkaç yıl önce başlamasına rağmen, ülkemiz için çok önemli ve kilit raylı sistem hatlarında, sinyalizasyon ana yüklenicisi rolünü üstlenerek bu alanda da öncü bir firma olduğunu kanıtlamıştır.

Yerli ve milli sinyalizasyon sistemini sertifikalı bir şekilde ülkemize kazandırarak dışa bağımlılığı azaltılmıştır. Ülkemiz için çığır açan projeler devam ederken, ASELSAN mühendisleri "Kritik teknolojilerde bağımsızlık!" ilkesinden yola çıkarak, yabancı menşeili firmalardan tedarik edilen sistem/malzemelerin yerli bir şekilde tasarımına ASELSAN'ın öz kaynaklarıyla başlattığı AR-GE projeleri ile başlamış ve bu tasarımlar ASELSAN'ı raylı sistemler alanında bir üst basamağa taşımıştır. AR-GE projelerinde, alanında öncü akademisyen ve üniversitelerle iş birlikleri yapılmış, teknolojik ve bilimsel çalışmalar AR-GE liderleriyle gerçekleştirilmiştir.

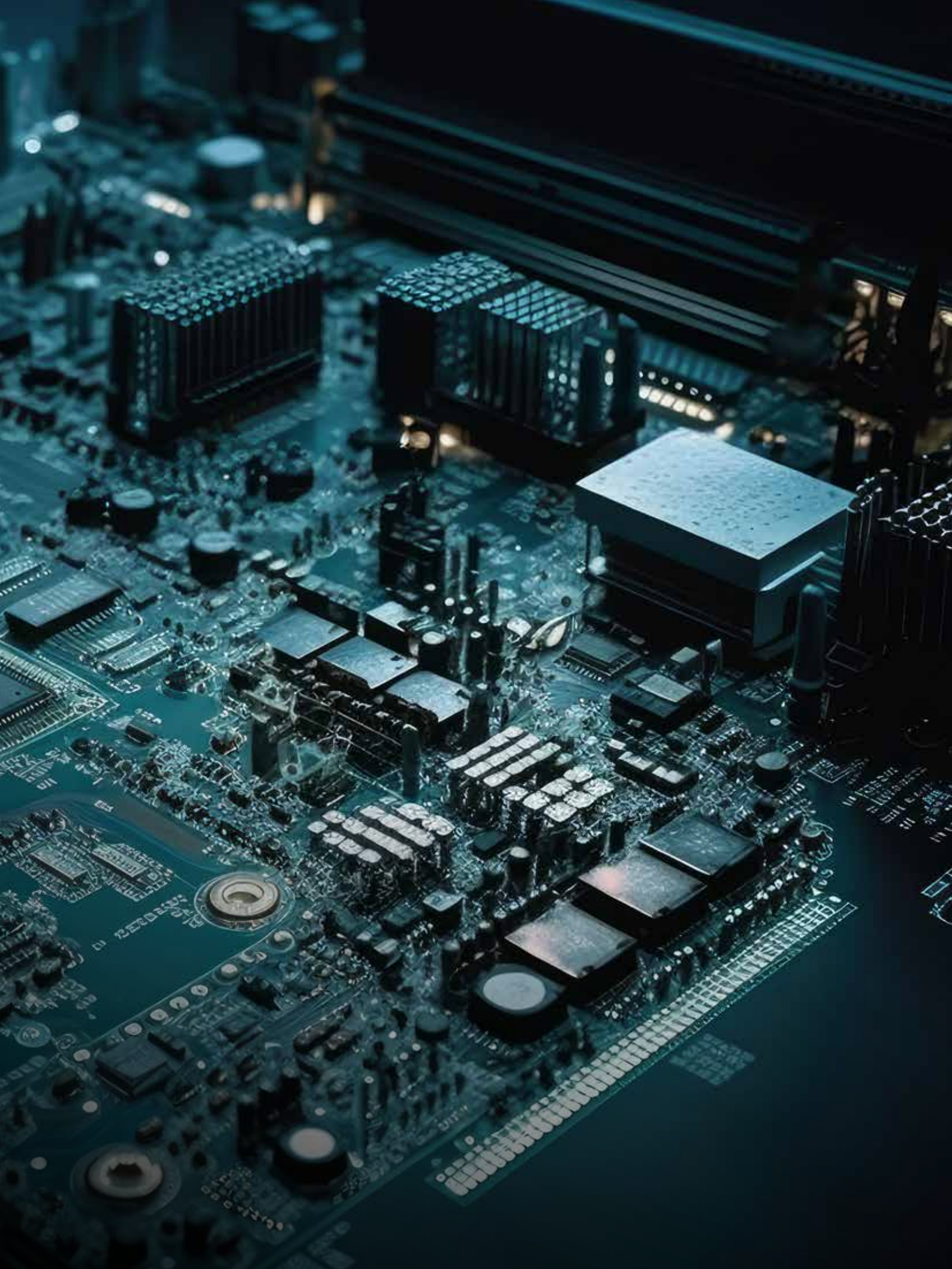
ASELSAN, oluşturduğu alt yüklenici portföyü ile Türkiye'de sinyalizasyon alanında çok büyük bir bilgi birikimi ve tecrübenin temellerini atılmasına liderlik etmiş, bu kapsamda bir sinyalizasyon sistemi ağı kurulmasını sağlamıştır.

Enerji verimliliğini baz alan, yeni teknolojilerle geliştirilen COBALT, modüler özelliği ile her türlü hatta kolay entegre edilebilen ve düşük bakım-onarım maliyetleri ile benzer sistemlerden öne çıkmaktadır.

Ülkemiz için, hep daha iyiye yol almak için, raylarda ASELSAN imzasını atmaya ve geliştirmeye devam edecektir.

RAYLI SİSTEMLERDE TEKNOLOJİK GELİŞİM

# DONANIM TASARIM



## EMNİYET KRİTİK BİLGİSAYAR SİSTEMLERİ

Emniyet kritik bilgisayarlar, insan hayatını veya maddi değeri yüksek varlıkları korumak için tasarlanmış sistemlerdir. Bu sistemlerin başarılı bir şekilde çalışması hayati öneme sahiptir ve güvenilirlikleri için gereken sistem mimarileri özenle tasarlanmaktadır. Emniyet kritik bilgisayarların mimarileri, aşağıdaki özellikleri kesin olarak içermektedir:

- **Güvenilirlik:** Sistemlerin herhangi bir beklenmeyen durumda kesintiye uğramaması ve hataları minimize etmesi gerekmektedir.
- **Yedekleme:** Sistemde kritik bileşenlerin yedekleri bulunması ve otomatik olarak devreye girebilmesi önemli olmaktadır.
- **Diyagnostik İzleme:** Sistemlerin performansı ve sağlığının sürekli olarak izlenmesi için ihtiyaç duyulan izleme sistemleri, emniyet kritik bilgisayarlar için oldukça önem arz etmektedir.
- **Veri güvenliği:** Kritik sistemlere erişimi olan kişilerin kimlik doğrulamasına tabi tutulması germektedir. Ayrıca, verilerin şifrelenmesi ve depolanması için uygun güvenlik protokolleri kullanılmaktadır.
- **Acil durum planları:** Herhangi bir acil durumda alınacak önlemleri ve izlenecek protokolleri belirleyen planlar hazırlanmaktadır. Bu planlar emniyet kritik sistem tasarımında ve işletilmesinde uygulanmaktadır.
- **Sistem tasarım süreci:** Emniyet kritik bilgisayar sistemlerinin tasarımı, yüksek performans, güvenilirlik ve tutarlı işlevselliği sağlamak için özenle planlanmakta ve gerçeklemesi bağımsız denetime tabi tutulmaktadır.

Emniyet kritik bilgisayarlar ilk olarak askeri alanlarda savunma amaçlı kullanılmıştır. 20. yüzyılda havacılık ve uzay sektöründeki araştırmaların genişlemesi ve bilgisayarların giderek daha kritik görevler üstlenmesi nedeniyle, bu akıllı sistemlerin önemi giderek artmış ve birçok bilgisayar uzmanının ve araştırmacısının ilgisini çekmiştir. Teknoloji alanındaki ilerlemelere paralel olarak bu sistemler, giderek daha karmaşık işlemleri yapabilir hale gelmişlerdir ve nükleer santraller, sağlık, ulaşım, endüstriyel otomasyon, finans, uzay ve havacılık alanlarında kendilerine çok geniş bir kullanım yelpazesi bulmuşlardır. Geçmişte, bu bilgisayarların üstlendiği emniyet fonksiyonlarının yerine getirilememesi ciddi can ve maddi kayıp içeren katastrofik kazalara sebep olmuştur ve bu sistemlerin önemi konusunda devletler seviyesinde daha fazla farkındalık yaratmıştır. Bu kazalar, emniyet kritik sistemlerin geliştirilmesi faaliyetlerini tanımlayan ve süreçlerin sıkı denetim altına alınmasını sağlayan önemli emniyet standartlarının çıkmasını sağlamıştır. Fakat risk analizlerinin bütün olası durumları kestirememesi, üst sistem kullanım konseptinde yer alan emniyet boşlukları, ortak neden hatalarının göz ardı edilmesi, geliştirme ve üretim süreçlerindeki kestirilemeyen sapmalar gibi sebeplerden dolayı bu sistemlerin doğasında yer alan risk seviyesi hiçbir zaman sıfır seviyesine çekilememiştir. Bunun yerine bu sistemlerde tehlikenin şiddeti ve periyoduna göre kabul edilebilir bir risk seviyesi hedeflenmiştir. Emniyet kritik sistemlerin yaşam döngüsünü kapsayan gereksinim, tasarım, test, devreye alma, bakım ve devreden alma fazları boyunca emniyet için alınan önlemler devam ettirilmektedir.

Emniyet Sürecinde Devamlılık

## ÖNEMLİ KAVRAMLAR

Bazı temel kavramları ele aldıktan sonra emniyet kritik bilgisayar geliştirme süreçleri daha net anlaşılacaktır.

Emniyet kritik sistem ve bileşenlerinin geliştirme ve geçerli kılma süreçleri çatı standardı olan IEC 61508'de ve bunun demiryolu sistemlerine uyarlanmış şekli olan CENELEC EN 50126/8/9 standartlarında tanımlanmıştır. Aşağıdaki tanımlamalarda EN50126/8/9 standartları baz alınmıştır.

**SIL:** "Safety Integrity Level" kısaltmasıdır ve " Emniyet Bütünlük Seviyesi" anlamına gelir. SIL4, en yüksek emniyet seviyesidir ve en riskli işlemlerde kullanılır. Bu seviyede, sistem tasarımından, donanım ve yazılımın geliştirilmesine, test ve geçerleme (validation) süreçlerine kadar her aşamada detaylı bir kontrol yapılması gerekmektedir. SIL4 sistem geliştirme sürecinde kullanılacak yöntemler ve teknolojiler oldukça sofistike ve maliyetli olmaktadır. Bu nedenle, SIL4 seviyesine çıkabilmek için maliyet-etkin bir yaklaşım benimsemek önem arz etmektedir. SIL4 seviyesindeki sistemler genellikle tehlikeli endüstriyel işlemlerde veya otomatik toplu ulaşım sistemlerinde kullanılmaktadır.

**Hatada Emniyetli Tasarım (Fail-Safe Design):** Emniyet kritik sistemler, arıza durumunda güvenli bir yaklaşımla tasarlanmaktadır. Hatada emniyetli mekanizmalar, bir arıza meydana geldiğinde sistemin emniyetli bir duruma (safe-state) girmesini sağlayarak kullanıcılara veya çevreye zarar gelmesini önlemek için önceden tanımlanmış güvenli eylemler gerçekleştirmektedir.

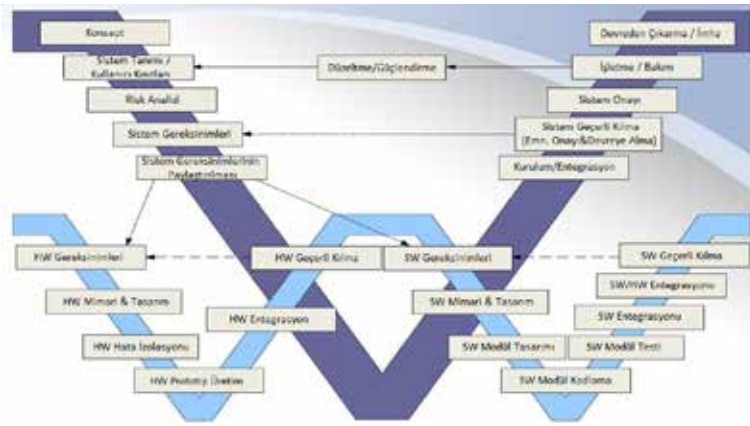
**Güvenilirlik (Reliability):** Emniyet kritik bilgisayarların son derece güvenilir ve arızalara karşı dayanıklı olması gerekmektedir. Bu bilgisayarlar, arızaları tespit etmek ve etkilerini azaltmak için tasarlanmışlardır.

**Determinizm:** Emniyet kritik sistemler genellikle deterministik davranış gerektirmektedir. Tepkileri ve zamanlamaları tahmin edilebilir ve tutarlı olmalıdır. Bu durum kritik işlevlerin hassas kontrolüne ve koordinasyonuna izin vermektedir.

**Emniyet Kritik Mimari:** Birden fazla bağımsız kanalın aynı hesaplamayı veya işlevi gerçekleştirmesi ve sonuçların tutarlılık göstermesi gerekmektedir. 1oo2 (1 out of 2), 2oo2, 2oo3 ve benzeri gösterimler ile tariflenmektedir. Literatürde kesin bir tanımlama olmamakla beraber EN50129 standardına göre, ikinci rakam toplam bağımsız kanal sayısını gösterirken, ilk rakam bu kanallardan kaçının emniyetli işlevi yerine getirmesi gerektiğini gösteren kanal sayısını belirtmektedir.

## GELİŞTİRME SÜREÇLERİ

Emniyet kritik bilgisayar geliştirme süreçleri günlük hayatta karşımıza çıkan elektronik ürünlerin geliştirme süreçlerinden çeşitli açılardan farklılıklar taşımaktadır. Bu farkların belki de en önemlisi sürece bağımsız bir denetçinin dahil olması ve ilgili standartlara göre sertifika alınmasıdır. Süreçteki temel aşamalar şu şekilde sıralanabilmektedir:




Sistem/Donanım/Yazılım V-Döngüleri

**Kavram ve Planlama:** Tasarımı gerçekleştirilecek sistemin sınırlarının belirlendiği ve planlamaların yapıldığı aşamayı belirtmektedir. Ön mimarinin belirlendiği ve emniyet, doküman, geliştirme, kalite, doğrulama, geçerli kılma planlarının oluşturulduğu bu fazda sistemin temelleri atılmaktadır.

**Risk ve Tehlike Analizi:** Geliştirme sürecindeki en önemli fazı tanımlamaktadır. Sistemin bir önceki aşamada belirlenen kullanım yeri ve koşullarına

göre insanlara, diğer canlılara, çevreye verebileceği zararlar ve oluşabilecek ciddi maddi kayıplar göz önünde bulundurularak olası riskler ortaya konmaktadır. Bu risklerin oluşma sıklığının düşürülmesini sağlayacak önlemler belirlenerek riskler kabul edilebilir seviyeye indirilmektedir.

**Gereksinimlerin Belirlenmesi ve Alt Sistemlere Paylaştırılması:** Sistem gereksinimlerinin belirlendiği ve ilgili donanım, yazılım bileşenlerine atandığı aşamayı göstermektedir. Bu noktada tehlike analizinden gelen gereksinimlerin emniyet gereksinimleri olarak belirlenmesi ve özel olarak takip edilmesi gerekmektedir.

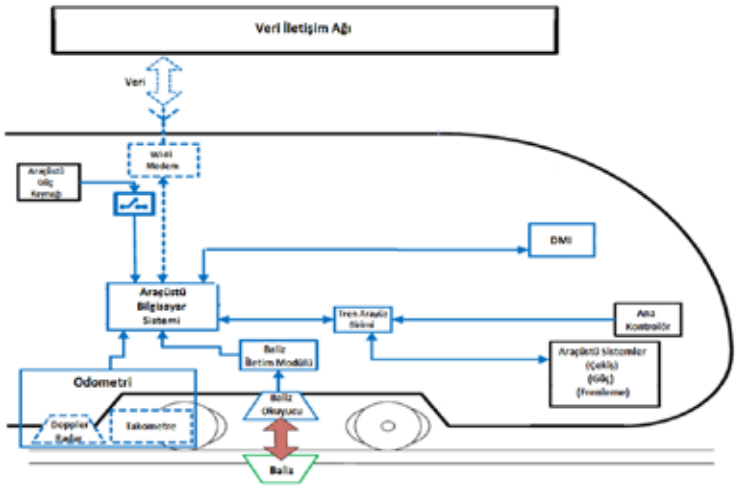
**Alt Sistem Tasarımı:** İlgili donanım, yazılım ve varsa programlanabilir tümleşik devre (FPGA, CPLD) tasarımlarının V-modele göre gerçekleştirildiği fazdır. Her bir alt sistem kendi içinde doğrulanarak entegrasyon adımına hazır hale getirilmektedir. Bu aşamadaki önemli bir fark emniyet gereksinimlerini doğrulamak amacıyla oluşturulan hata enjekte etme testleri uygulanmaktadır. Her bir emniyet gereksinimi için ilgili hata oluşturularak sistemin istenilen tepkiyi verdiği gözlemlenmektedir.

**Entegrasyon ve Test:** Alt bileşen parçalarının birleştirildiği ve sistemin testlerinin yapıldığı aşamayı ifade etmektedir. Sistemin geçerli kılınması için gerekli raporlar oluşturulmaktadır.

**Geçerli Kılma:** Bu aşamada, yukarıda belirtilen her bir aşamadaki doğrulama raporlarının toplandığı ve bağımsız denetçi görüşlerinin uygulandığının kanıtlanarak sistemin ilgili emniyet standartlarına uygun tasarımının gerçekleştirildiği raporlanmaktadır. Yukarıda da belirtildiği üzere süreç boyunca her aşamada bağımsız denetçi ile dokümanların paylaşılarak sistematik hatalara yer bırakmayacak şekilde sistemin tasarımının yapılması büyük önem arz etmektedir.

## GAYRETTEPE - İSTANBUL HAVALİMANI SİNYALİZASYON PROJESİ ARAÇ ÜSTÜ SİSTEMİ

### ASELSAN Araç Üstü Otomatik Tren Kontrol Sistemi




Araç Üstü Otomatik Tren Kontrol Sistem Mimarisi

Araç Üstü Bilgisayar Sistemi (OBCS - On-Board Computer System), Gayrettepe – İstanbul Havalimanı Metro Hattı Sinyalizasyon Projesi ile ilk kullanımına başlamıştır. OBCS, Araç Üstü Otomatik Tren Kontrol (OBATC – On-Board Automatic Train Control) sisteminde yer alan iki alt sistemin görevini ifa etmektedir. Bunlar, Araç Üstü Otomatik Tren Koruma (OBATP – On-Board Automatic Train Protection) ve Araç Üstü Otomatik Tren İşletme (OBATO – On-Board Automatic Train Operation) sistemlerinden oluşmaktadır.

OBATP alt sistemi, yer tarafındaki ATP sisteminden kendisine tanımlanan hareket yetkisine göre tren yön ve hız durumunu denetlemektedir. Tren üstündeki bütün SIL4 emniyet kritik seviyesine sahip işlevleri (kapı açma yetkisi, acil fren yetkisi, tren konumunun doğru hesaplanması vs.) gerçekleştirmektedir. OBATP sistemi, OBATO ile doğrudan iletişim kurmaktadır.

OBATO, yer tarafındaki ATO sisteminden gelen talimatlar doğrultusunda hedef hız bilgisine göre istasyonlar arasında trenin hızını düzenlemektedir. OBATO, trenleri istasyonlardaki peron ayırıcı kapılarının hizasında belirli bir hassasiyetle durdurmaktadır. Ayrıca, OBATO, yer tarafındaki ATO sisteminden sağlanan bekleme süresine göre kapıların kapatılıp açılmasını sağlamakta ve gerekli sinyalizasyon bilgisini sürücüye, DMI (Driver Machine Interface) ile, sunarak kontrol etmektedir.

OBATC, araç üstündeki Tren Kontrol ve Yönetim Sistemi (TCMS - Train Control and Management System) ile doğrudan iletişim kurmakta, tren durumu hakkında bilgileri almakta ve sinyalizasyon sistemini ilgilendiren bilgileri ATS'ye (Automatic Train Supervision) göndermektedir. Aynı zamanda otomatik sürüş için ATS komutlarını da dikkate alarak araç çekiş ve fren sistemlerine iletmesi için TCMS'ye gerekli mesajları göndermektedir.

OBATC sistemi sıcak yedeklilik esasına göre çalışmaktadır. OBATC, aynı donanım ve yazılım altyapısına sahip iki alt sistemden oluşmaktadır. Açılış anında her iki sistem de kendi kontrollerini yaptıktan sonra yedeklilik yönetim algoritmasına göre ana kontrolü devralacak sistemi belirlemektedir. Her iki sistem dış arayüzlerden gelen girdileri dinler fakat sadece ana kontrolü yapan ünite OBATC çıkışlarını kontrol etmektedir. Ana kontrol ünitesi başarısız olduğu durumda yedekteki ünite kontrolü devralmaktadır.

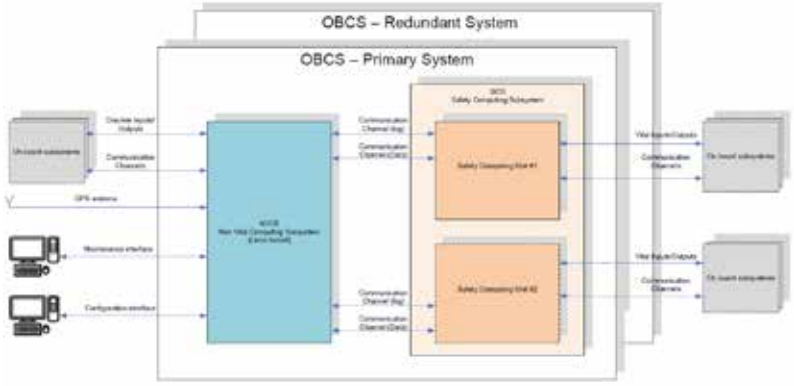
## ASELSAN ARAÇ ÜSTÜ BİLGİSAYAR SİSTEMİ

Sistem bilgisayarlarını içeren blok, Araç Üstü Bilgisayar Sistemi (OBCS - On-Board Computer System) olarak adlandırılmaktadır. OBCS içerisinde bir adet Hayati Bilgisayar Sistemi (SCS - Safety Computer System), bir adet Hayati Olmayan Bilgisayar Sistemi (NVCS - Non-Vital Computer System) ve bu bilgisayarları besleyen Güç Kaynağı Ünitesi (PSU - Power Supply Unit) yer almaktadır. OBATC içindeki bütün fonksiyonel kararların kontrolü SCS ve NVCS üzerindedir. SCS, ATP fonksiyonlarını yönetirken NVCS, ATO fonksiyonlarını ve bakım/kayıt işlemlerini yönetmektedir.

OBCS Sistemi

- CBTC (Haberleşme Tabanlı Tren Kontrolü) Araç Üstü Bilgisayar Sistemi CENELEC Standartlarına (EN 50126, EN50128, EN50129, EN50159) göre SIL4 sertifikasyonuna sahiptir.
- Sistem IEEE 1474 ve uluslararası demiryolu standartlarına göre tasarlanmıştır.
- Sistem içerisinde farklı sensör bilgilerini kullanarak emniyetli konum ve hız belirleme fonksiyonlarını gerçekleştiren odometre alt sistemi yer almaktadır.
- Sürücü ve yolcular için en güvenli ve konforlu yolculuğun sağlanması için ATP (Otomatik Tren Koruma) ve ATO GoA4 (Otomatik Tren Operasyonu) alt sistemleri ve ilgili fonksiyonları yer almaktadır.

OBCS sistemi Gayrettepe- İstanbul Havalimanı Metro Projesi kapsamında araç üstü sinyalizasyon sisteminin emniyet kritik bilgisayar platformu olarak kullanılmaktadır. Önümüzdeki dönemlerde bu sistemin farklı CBTC ve ERTMS araç üstü sinyalizasyon projelerinde kullanılması hedeflenmektedir. Ayrıca OBCS sisteminin kapsamı genişletilerek daha jenerik bir ürün haline getirilmesi ve hem araç üstü hem de hat boyu sinyalizasyon sistemlerini kapsaması hedeflenmektedir.



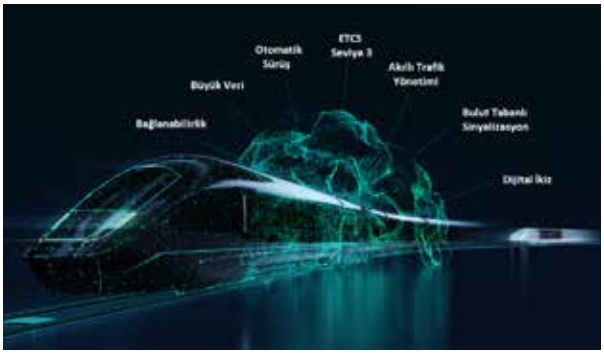

OBCS Genel Blok Diyagramı

## GELECEKTEKİ EMNİYET KRİTİK BİLGİSAYAR SİSTEMLERİ

Dijitalleşme Raylarda

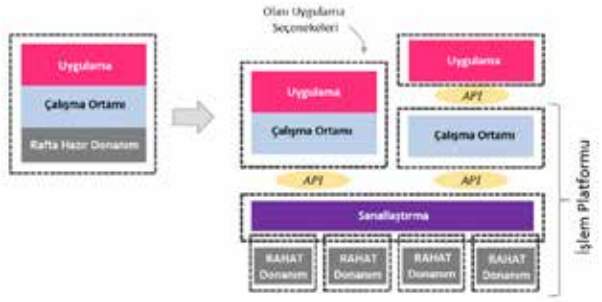
Emniyet kritik bilgisayarların geleceği, demiryolu teknolojisinin hızla gelişmesi ve dijitalleşme ile birlikte giderek daha da önem kazanmıştır. Önümüzdeki yıllarda bu sistemlerin yapısında ve işleyişinde önemli bir değişim olacağı öngörülmektedir. Bu değişimler arasında daha akıllı ve otomatik sistemlerin kullanımı, yapay zekâ ve makine öğrenmesi teknolojilerinin uygulanması, büyük veri analitiği teknolojisinin kullanımı gibi konular yer almaktadır. Gelecekte demiryolu taşımacılığının şehirleşme ve nüfus artışına paralel olarak daha güvenli, daha emniyetli ve daha verimli olması gerekecektir. Bu durum sinyalizasyon ve kontrol sistemlerinin en önemli bileşeni olan emniyet kritik bilgisayarların ve uygulamalarının insan yöne-

timinden ve etkisinden bağımsız olarak büyük bir taşımacılık ağını kontrol etmesini zorunlu kılacağı değerlendirilmektedir. Bu bilgisayarların bağlı olduğu sensör ağı sayesinde, sistemlerin otomatik olarak ön kestirimle arıza tespit taraması yapabileceği ve bu verilerin makine öğrenimi yöntemleri ile analiz edilerek işletmelerin bu arızalar hakkında uyarılmasının sağlanacağı öngörülmektedir.



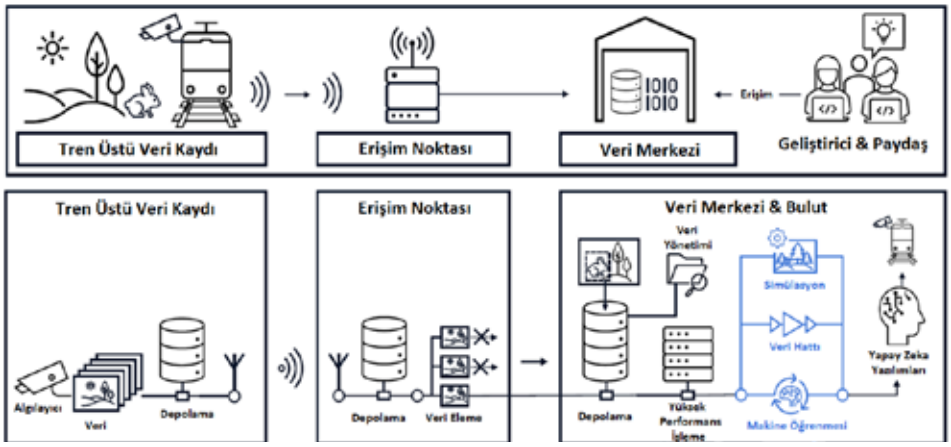

Dijital Demiryolu Kontrol Sistemleri İçin Önemli Kavramlar

Donanım teknolojilerinin GP-GPU gibi çok çekirdekli yapılara ve daha yüksek performanslı, yapay zekâ destekli işlemcilere geçmesi ile beraber, emniyet kritik uygulamalar donanım platformundan bağımsız hale getirilecektir ve bulut ortamında bu uygulamalar yüksek performanslı emniyet kritik sunucularda koşacaktır. Aynı zamanda emniyet kritik olan ve olmayan farklı uygulamaların aynı SoC üzerinde farklı çekirdeklerde koşabilir hale geleceği tahmin edilmektedir.




Uygulamaların Platformdan Bağımsız Hale Getirilmesi

Yapay zekâ ve IoT (Internet of Things) teknolojilerinin ilerlemesi aynı zamanda siber güvenlik risklerini giderek artırmaktadır. Siber güvenlik gereksinimlerinin detaylı karşılanmaması ve sürekli güncellenmemesi durumunda hem bu sistemlerin işlevselliğini hem de insanların sağlığını, güvenliğini ve hatta yaşamlarını tehlikeye atabilecek ciddi siber saldırı riskleri olasıdır. Bu nedenle günümüzde birçok ülke emniyet kritik sistemlerin siber güvenliği konusunda ciddi çalışmalar yapmaktadır. Yakın zamanda siber güvenlik gereksinimlerinin demiryolu emniyet standartları içerisine konulması beklenmektedir ve yeni sistemlerin siber güvenlik gereksinimlerine uyması beklenmektedir. Bunlar arasında güvenli yazılım ve donanım, güçlü kimlik doğrulama mekanizmaları, izleme ve alarm sistemleri, verilerin şifrelenmesi ve yedekleme mekanizmaları yer almaktadır. Ayrıca, siber tehditler ve zafiyetlerin sürekli takip edilmesi ve bu tehditlere karşı bir kriz yönetimi planının oluşturulması da büyük önem taşımaktadır. Kurumlar, siber güvenlik risklerini yönetmek için mutlaka güncel ve gelişmiş teknolojileri kullanarak siber güvenlik planı oluşturması gerekmektedir.




Sinyalizasyon Sistemlerinde Makine Öğrenimi ile Büyük Veri Analitiği

# ASELSAN YASAL KAYIT BİRİMİ

Uçak ve tren gibi toplu taşıma araçlarında, olası bir kaza anından sonra, kazanın nedenlerinin incelenebilmesi ve -varsa- yasal sorumluların bulunabilmesi için "kara kutu" olarak da bilinen kayıt cihazları bulunmaktadır. Bu cihazlar sürüş için kritik öneme sahip olan verileri kaydetmekte ve içerisinde bulunan belleği bir kaza anında yaşanabilecek fiziksel ve kimyasal etkilerden koruyarak, kaza sonrasında bellekteki verilerin incelenebilmesini sağlamaktadır. Bu sayede kaza öncesinde ve kaza esnasında araçta teknik bir sorunun yaşanıp yaşanmadığı ve pilotun ya da tren sürücüsünün kazada bir payının bulunup bulunmadığı hukuki açıdan araştırılabilmektedir.

ASELSAN UGES'in çalışma alanlarından biri olan raylı sistemler alanında yürütülen proje kapsamında tren ve metro araçlarında kullanılmak üzere tren kara kutusu olan Yasal Kayıt Birimi geliştirilmektedir. Modüler bir yapıda olan bu birimin içerisinde bulunan, Ethernet arayüzlerine sahip İşlemci Modülü, MVB Haberleşme Modülü, Seri Haberleşme Modülü, GPS Modülü ve verilerin kaydedilmesini sağlayan Dayanıklı Bellek Modülü ASELSAN UGES'in çalışmaları sonucu geliştirilmiştir. Modüler yapı sayesinde ihtiyaca göre farklı modüller de birime eklenebilecektir.

Geliştirilmekte olan Yasal Kayıt Birimi 3U 19'' standart raf birimi ölçülerine sahiptir. Birimin tasarım süreci EN 50155 ve EN 45545-2 standartlarına göre yürütülmektedir. Birimin içerisinde yer alan ve verilerin kaydedildiği Dayanıklı Bellek Modülü ise IEEE 1482.1 standardında belirtilen, kaza anında yaşanabilecek olaylardan sonra içerisindeki verilerin kurtarılabilmesini sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.

Birimde kullanılan İşlemci Modülü 3 adet EN 61375-3-4 standardına uygun 100BASE-TX Ethernet arayüzüne sahiptir. MVB haberleşme Modülü EN 61375-1 standardına uygun MVB arayüzüne sahiptir. Seri Haberleşme Modülü ise RS232, RS422 ve RS485 protokollerinde haberleşme imkanı sağlayan 2 adet arayüze sahiptir. GPS Modülü ise harici olarak yerleştirilen GPS anteni aracılığıyla zaman bilgisinin alınmasını sağlamaktadır. Tüm bu haberleşme arayüzlerinden gelen veriler İşlemci Modülü aracılığıyla zaman etiketiyle birlikte toplanmakta ve Dayanıklı Bellek Modülü içerisindeki kazaya karşı korumalı 64 GB boyutundaki hafızaya kaydedilmektedir.

## DAYANIKLI BELLEK MODÜLÜ

Dayanıklı Bellek Modülü, kaza anında içerisinde saklanan verilerin şok, girim, kalıcı ezilme, yangın, sıvıya batma ve hidrostatik basınç etkilerine karşı korunmasını sağlamaktadır. Bu amaçla geliştirilen tasarımın doğrulanması amacıyla kaza testleri proje çalışmaları kapsamında yürütülmüştür.

Dayanıklı Bellek Modülü içerisindeki kayıtların test esnasında meydana gelen etkiler sonucu bozulup bozulmadığının incelenebilmesi amacıyla modüldeki belleğe testlerden önce veri yüklenmiştir.

Bir kaza anında tren içerisinde ilk olarak yaşanabilecek etki şoktur. Bu nedenle, ilk test olarak, modül 3 farklı eksende şoka maruz bırakılmıştır. Test sonrasında birimde bir aşınma olmadığı gözlemlenmiştir.

Kaza esnasında ikinci olarak sivri bir cisim yüksek bir hızla modüle çarpabilir. Bu nedenle ikinci test olarak girim testi yapılmıştır. Bu testte, bir ağırlığın alt yüzeyine vida benzeri bir iğne monte edilmiş ve iğne modüle girim yapabilecek şekilde belirli bir yükseklikten serbest bırakılmıştır. İğnenin modülde mekanik olarak en zayıf olması beklenen yüzeyine çarpması sağlanmıştır. Testin sonunda modülün yüzeyinde boyanın sıyrılması haricinde bir hasar oluşmadığı görülmüştür.

Olası bir kaza senaryosunda üçüncü olarak, modül trenin içinde büyük bir ağırlığın altında ezilerek kalabilir. Bu nedenle, modüle uygulanan sıradaki test kalıcı ezilme testi olarak belirlenmiştir. Bu testte modül hidrolik basınç makinesin altında ezilmeye bırakılmıştır. Testin ardından modülde ezilme ya da burulma görülmemiştir.

Kaza anında ortamda yangın çıkması nedeniyle modül yangına maruz kalabilir. Bu nedenle, modül dördüncü olarak yangın testine tabi tutulmuştur. Yangın testi kapsamında modül ilk olarak doğrudan aleve maruz bırakılmış, ardından ise yüksek sıcaklıklı bir fırında uzun süreli bekletilmiştir.

Alev testi esnasında modülün etrafına 3 adet pürmüz yerleştirilmiştir. Modülün arka tarafında yanmaz tuğlalarla küçük bir duvar örülüp hava akımı oluşması engellenmiştir. Oluşan sıcaklıklar termal çiftler aracılığıyla ölçülmüştür.

Testin ardından modülün üzerindeki boyanın büyük çoğunluğu ve hafıza bağlantı kablosu beklendiği gibi yanmış ve boya kabarmıştır.

Alev testinden sonra modül yüksek sıcaklıklı fırında uzun süreli teste bırakılmıştır.

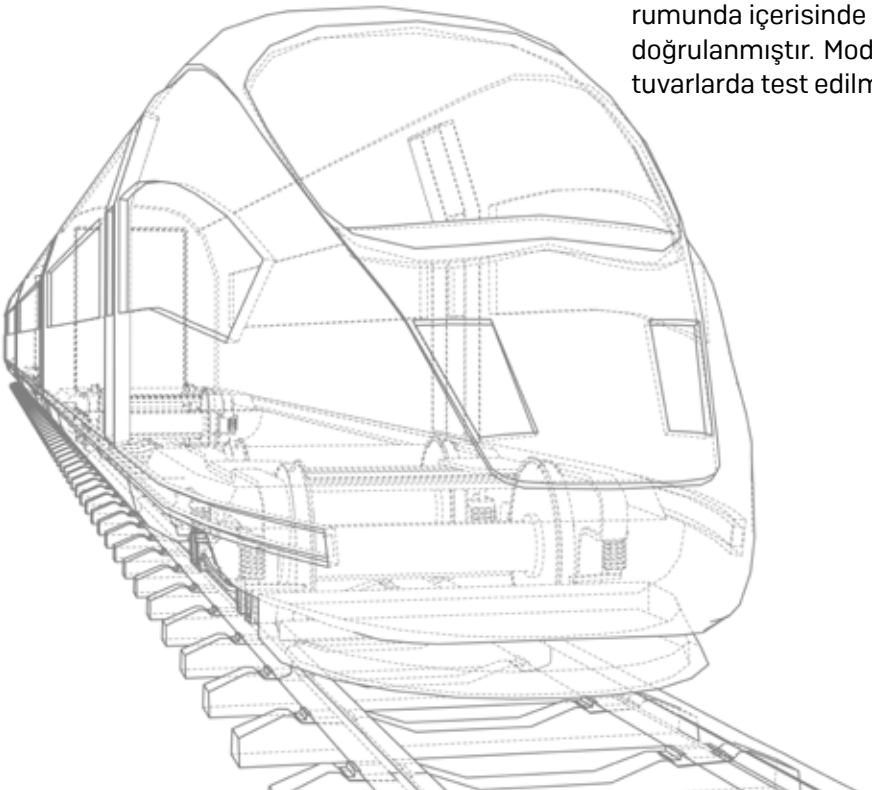
Fırından çıktıktan sonra boyanın tamamen yanmış olduğu görülmüştür.

Bir kaza senaryosunda modülün dizel yakıta maruz kalabileceği öngörülmektedir. Bu nedenle yangın testinde sonra modül dizel yakıt dolu bir kabın içerisinde uzun süreli bekletilmiştir.

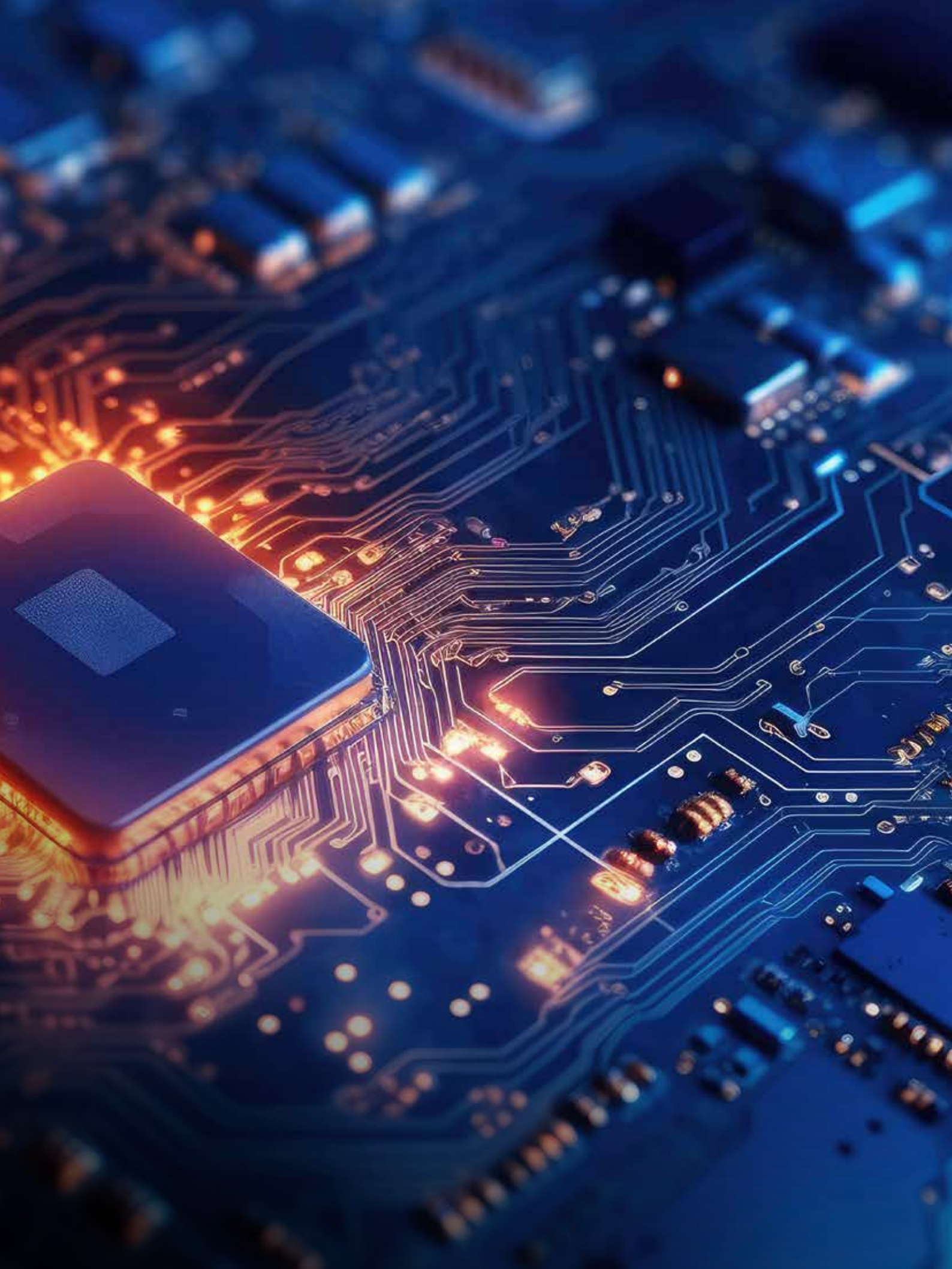
Kaza sonrasında modül yangın söndürücüye de maruz kalabileceği için, dizel yakıtın içerisinden çıkartılan modülün üzerine yangın söndürücü sıvısı sıkılmış ve modül uzun süre bu şekilde bırakılmıştır.

Bir kaza sonrasında modülün deniz suyuna düşme ihtimali olduğundan, Dayanıklı Bellek Modülü son olarak basınçlı bir kabın içerisine konularak tuzlu suya batırılmıştır. Kabın içerisine bir kompresör aracılığıyla hava verilerek iç basınç artırılmış ve modülün deniz içerisinde derin bir noktaya düşme durumundaki işlevselliği test edilmiştir.

Testler tamamlanınca modülün içerisindeki bellek çıkartılmış ve belleğin içerisindeki veriler incelenmiştir. Testlerden önce modülün içerisine yüklenen verilerin testlerden etkilenmeden saklandığı görülmüştür. Böylece ASELSAN UGES tarafından geliştirilen Dayanıklı Bellek Modülü'nün kaza durumunda içerisinde saklanan verileri koruyabildiği doğrulanmıştır. Modülün yurtdışı akredite laboratuvarlarda test edilmesi süreci devam etmektedir.

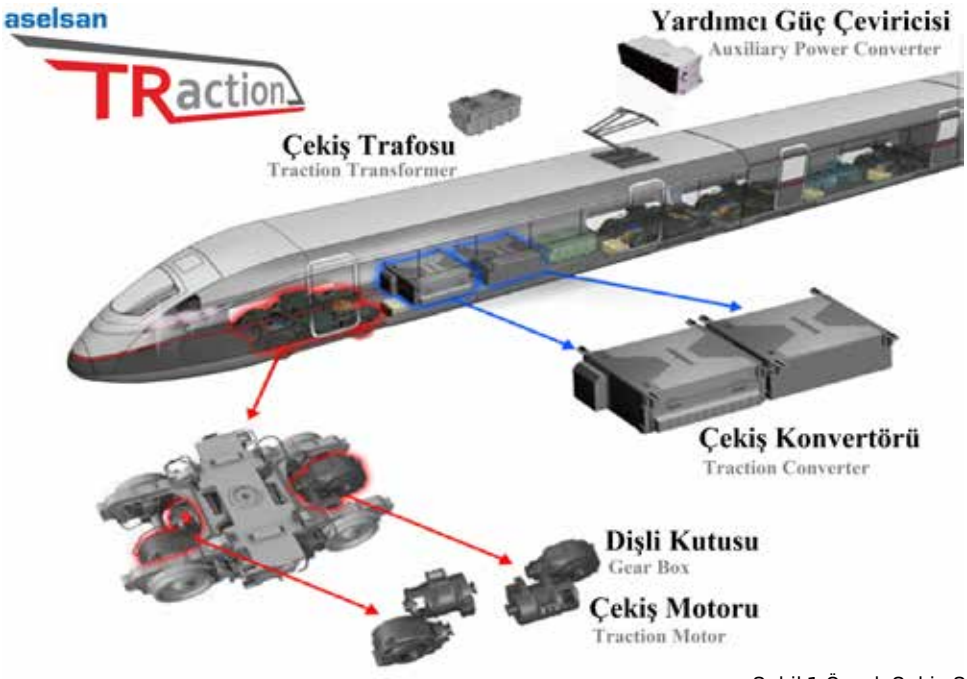


CER
DONANIM
TASARIM



## RAYLI ARAÇLAR İÇİN ÇEKİŞ KONVERTÖRÜ DONANIM TASARIMI

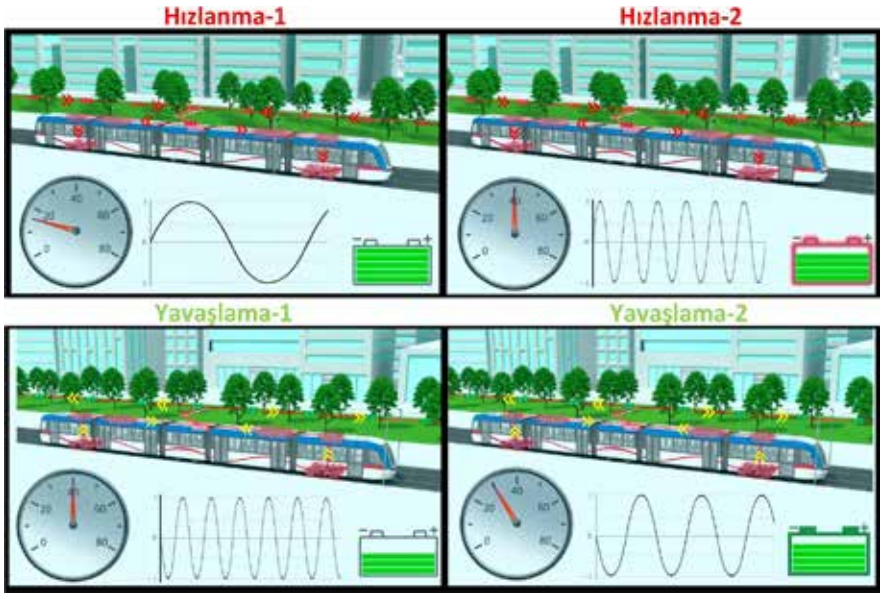
Raylı araçların en önemli bileşenlerinde biri, trenin "kalbi" olarak nitelendirilen ve trenin hareketi için gerekli enerjiyi uygun şekilde trenin ilgili alt sistemlerine ileten çekiş sistemidir. Çekiş sistemi; çekiş motoru, çekiş konvertörü, dişli kutusu, çekiş trafosu ve yardımcı güç çeviricisinden oluşmaktadır (Şekil 1).




Şekil 1 Örnek Çekiş Sistem Şeması

Çekiş sisteminin alt bileşenlerinden biri olan çekiş konvertörü elektrifikasyon altyapısına göre farklılık gösterebilen elektrik enerjisini alır ve çekiş motorlarının kontrolü için ihtiyaç duyulan akım ve gerilim dalga şekillerinin üretilmesinden sorumludur. Çekiş motorlarına aktarılan enerji dişli kutusu ve aks vasıtasıyla tekerlere aktarılır ve aracın hareketi sağlanmış olur. Aracın hareketlendirilmesinin yanı sıra ihtiyaç halinde mekanik fren sistemiyle birlikte aracı durdurma işlevi de vardır. Mekanik frenleme sırasında oluşan enerji sürtünmeyle harcanır ve tekrar kullanılamaz. Çekiş konvertörü rejeneratif frenleme yaparak geri kullanılamayan bu enerjiyi hatta geri aktararak enerji tüketimini düşürmektedir. Özet olarak, çekiş konvertörü aracı hızlandırırken kullandığı enerjinin büyük bir kısmını aracı yavaşlatırken geri kazanarak enerji hattına verir.

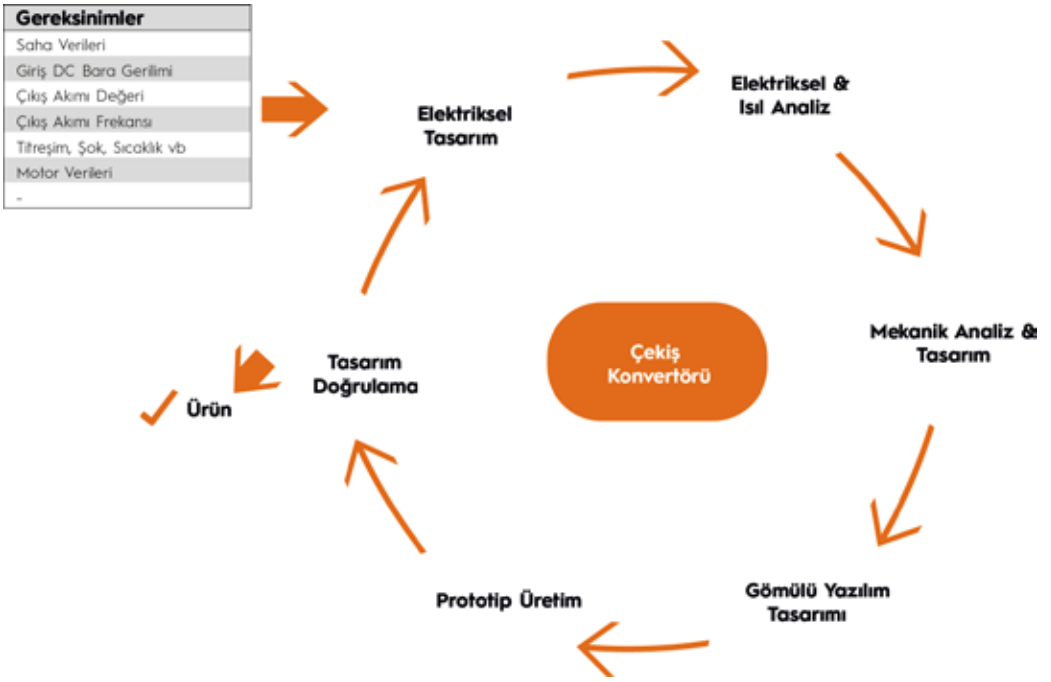
Şekil 2'de harcanan ve hatta geri kazandırılan enerji ile bazı araçlarda bulunan enerji depolama sisteminin (batarya, süper kapasitör vb.) hızlanma ve yavaşlama durumları gösterilmiştir. "Hızlanma-1" kısmında araç hızı 20km/s seviyelerine çıkarken oluşturulan basitleştirilmiş dalga formu verilmiştir. Ayrıca enerji aktarım yönü de kırmızı oklarla gösterildiği gibi enerji hattından çekiş motorlarına doğrudur. Şekildeki "Hızlanma-2" kısmına gelindiğinde araç 40km/s hıza ulaşıp enerji harcamaya devam etmektedir. Bu süre zarfında da batarya enerjisi azalmıştır. Araç, yavaşlama aşamasına geldiği zaman "Yavaşlama-1" kısmında gösterildiği gibi çekiş konvertörünün oluşturduğu çekiş motorları üzerindeki akımın yönü değiştirilir ve enerji aktarım yönü terslenmiş olur. Bu sayede çekiş motorları üzerinden üretilen enerji sarı oklarla enerji hattına ve/veya enerji depolama sistemine aktarılır. "Yavaşlama-2" kısmında da aracın hızının 30km/s hıza düştüğü ve bataryada geri aktarılan enerjinin depolandığı gösterilmiştir.




Şekil 2 Aracın Hızlanma ve Yavaşlama Durumları

## ÇEKİŞ KONVERTÖRÜNÜN DONANIM TASARIM SÜRECİ

Çekiş konvertörü donanım tasarım sürecinde raylı aracın teknik gereksinimleri, aracın işletileceği yol profilleri, besleneceği enerji hattı ve rakip ürünlerin sunduğu özelliklerden üstünlük yaratacak teknik özellikler baz alınarak gereksinimler oluşturulmaktadır. Bu gereksinimler kullanılarak akış diyagramında yer alan "elektriksel tasarım" bölümüne geçilir (Şekil 3). Ardından ok yönünde diğer tüm aşamalar başarıyla tamamlanana kadar döngü tekrarlanır ve tasarım süreci tamamlanmış olur.




Şekil 3 Çekiş Konvertörü Donanım Tasarım Süreci Akış Diyagramı

Yukarıdaki akış şemasında gösterildiği gibi elektriksel tasarım faaliyetleri için araç tipine göre sahadan yük, yol profili, ivme gereksinimleri, enerji verimliliği ve enerji hattı verileri temel alınarak elektriksel tasarım sürecinde matematiksel hesaplamalar, simülasyon ve analiz çalışmalarına başlanmaktadır. Hesaplamaların ve analiz çalışmalarının çıktısı olarak elektriksel tasarımın detayları belirlenmiş olur.

Elektriksel tasarım sonucu belirlenen isterlerle konvertörün ısıl analiz çalışması yapılmaktadır. Isıl analiz çalışmalarında yarı iletkenlerinin enerji dönüşümü sırasında elektriksel kayıplardan dolayı açığa çıkan ısı enerjisinin atılması için özel soğutma yöntemleri kullanılmaktadır. Analiz çalışmaları enerji verimliliği hedeflenen seviyeye gelene kadar elektriksel tasarımla birlikte iteratif olarak devam etmektedir.

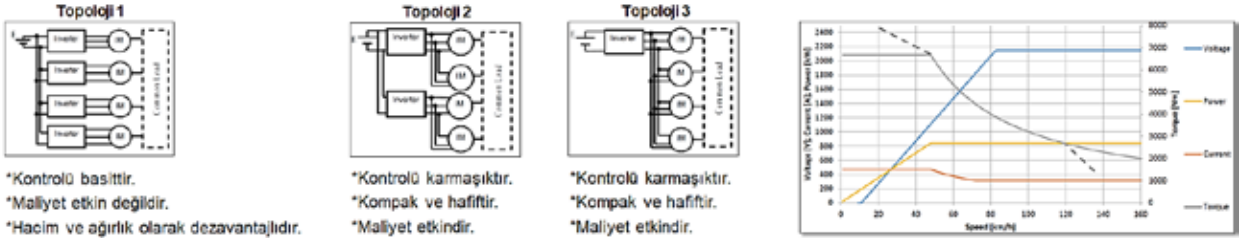
Isıl analiz faaliyetleri sonrasında gerçekleştirilen mekanik analiz ve tasarım çalışmaları kapsamında çekiş konvertörü içerisindeki elektromekanik malzemelerin tasarımı ve yerleşim çalışmalarına başlanmaktadır. Bu çalışmalar tamamlandıktan sonra çekiş konvertörü mekaniğinin yapısal analizi gerçekleştirilmektedir. Bu analizle birlikte ağırlık merkezi, kuvvet dağılımı ve mekanik stresler gibi yapısal dayanıklılığın uygunluğunu belirten parametrelerin başarı kriterleri sağlanana kadar devam etmektedir.

Ardından araç senaryosuna göre çalışacak algoritmanın gömülü yazılım tasarımına geçilir. Aracın hareketi ve güç ihtiyaçlarıyla ilgili tüm fonksiyonlarını çalıştıran kod parçacıkları ilgili alt bileşenlerinin akış diyagramları kullanılarak ayrı ayrı oluşturulmaktadır. Alt bileşen kod parçacıkları bir araya getirilerek çekiş konvertörü yazılımı tamamlanır.

Tasarım faaliyetleri tamamlanan ürünün elektronik kablajı ve mekanik montajı yapılarak prototip üretimi gerçekleştirilmekte ve ürün doğrulama fazına geçilmektedir. Her bir alt bileşen seviyesinden başlayarak üst seviye bileşenlere doğru ilerlenen doğrulama testleri ile çekiş konvertörü bir bütün olarak test edilip aracın karşılaşacağı yol ve yük profilleri laboratuvar ortamında gerçeklenerek ilk doğrulamaları tamamlanmaktadır. Çekiş konvertörü uluslararası standartlar çerçevesinde tanımlanan testlere tabi tutularak sertifikasyon süreçleri tamamlanır. Son olarak araç üzerine entegrasyonu ve test faaliyetleri gerçekleştirilmektedir.

## ELEKTRİKSEL TASARIM

Aracın mimarisine göre araçta yer alacak teker, motor ve dişli kutusu sayıları araç üreticisi tarafından paylaşılır. Aracın türü, yol profili ve enerji hattı özelliklerine göre sistemin çekiş analizi gerçekleştirilir. Bu analizin sonucunda ise sistemin ortalama ve azami teker gücü ihtiyacı elde edilmektedir. Bu ihtiyaçla birlikte araç türü, güç elektroniği malzemelerinin fiyat/performans kriterleri ve araç üreticisi tarafından çekiş konvertörüne verilen ağırlık ve hacim limitleri de göz önüne alınarak topoloji seçimi yapılmaktadır (Şekil 4).

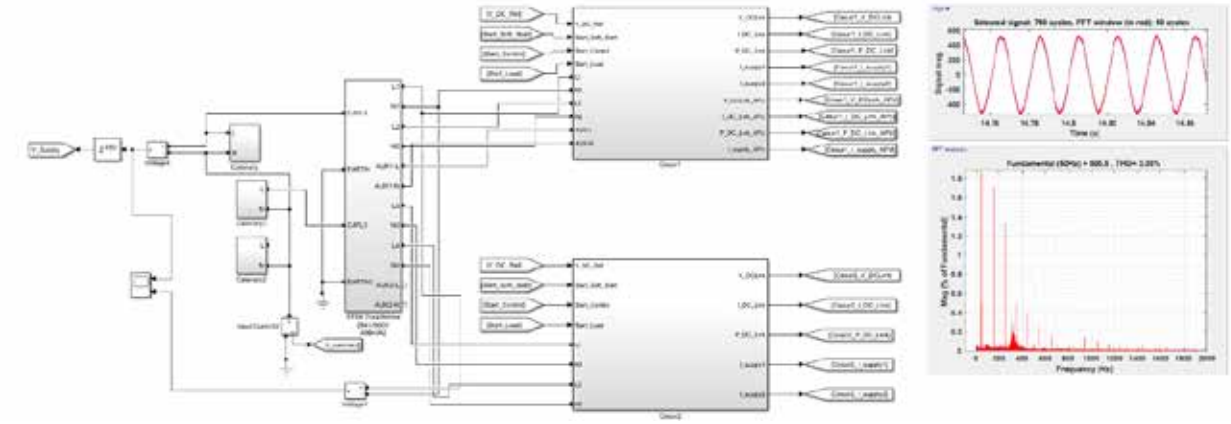



Şekil 4 Çekiş Analizi Görseli

## ÇEKİŞ KONVERTÖRÜNDE YARI İLETKENLER

Çekiş konvertörünün araçta yerleştirildiği konum, ortam sıcaklığı ve nem değerleri konvertör içerisinde kullanılacak yarı iletken seçiminin çevresel girdileri olarak alınmaktadır. Çekiş konvertörünün topolojisi, çıkış gücü, enerji verimliliği, enerji hattına göre giriş gerilimi, çekiş motoru tasarımına göre de çıkış gerilimi belirlenmektedir. Raylı araçlarda kullanılan elektronik donanım ve malzemelerin sahip olması gereken teknik isterlerle ilgili uluslararası standartlara (EN 50155, EN 60077 vb.) uygun üreticilerin ürünleri değerlendirmeye alınmaktadır. Yarı iletkenlerin yaşam ömrü, yüksek streste tekrarlı kullanıma dayanımı, izolasyon gerilimi, çalışma gerilimi, akımı ve anahtarlama frekansı gibi parametreler listelenir.

AC hat beslemeli çekiş sistemlerinde çekiş trafosu girişi standartların belirttiği harmonik sınırlamaları girdi alınarak güç analizleri yapılması gerekmektedir. Yarı iletken ve çekiş konvertörü topolojisi ve güç gereklilikleri temel alınarak yapılan simülasyon çalışmalarında enerji hattına etki eden gerilim ve akım harmonikleri analiz edilmektedir (Şekil 5).



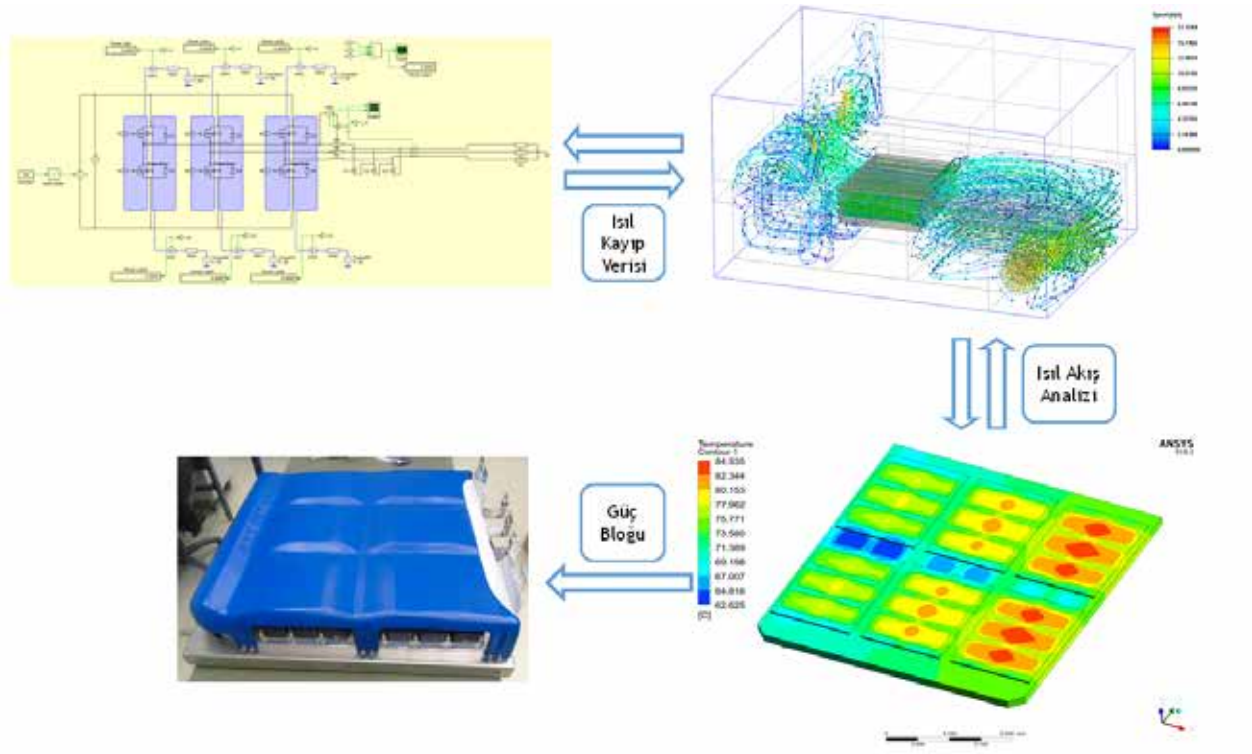
Şekil 5 Güç Kalitesi Analizi

Bu parametreler kullanılarak alternatif olarak belirlenen yarı iletkenlerin anahtarlama ve iletim kayıp değerlerinin analitik hesaplamalar ve simülasyon çalışmaları gibi farklı yöntemlerle tutarlılığı doğrulanmaktadır. Tüm çevresel, elektriksel ve fiyat\performans parametrelerinin değerlendirilmesi sonucu yarı iletken bileşenlerin seçimi tamamlanmaktadır.

## SOĞUTMA YÖNTEMİNİN BELİRLENMESİ VE GÜÇ BLOĞU TASARIMI

Yarı iletkenler enerji dönüşümü yaparken üzerlerinde enerji kayıpları oluşmakta ve bu kayıplar sonucunda yarı iletkenler ısınmaktadır. Eğer soğutma sistemi olmaz ise uygun çalışma ortamı sağlanamadığından yarı iletken bileşenler zarar görerek görevini yerine getiremeyecektir. Bu nedenle soğutma sistemine ihtiyaç duyulmaktadır.

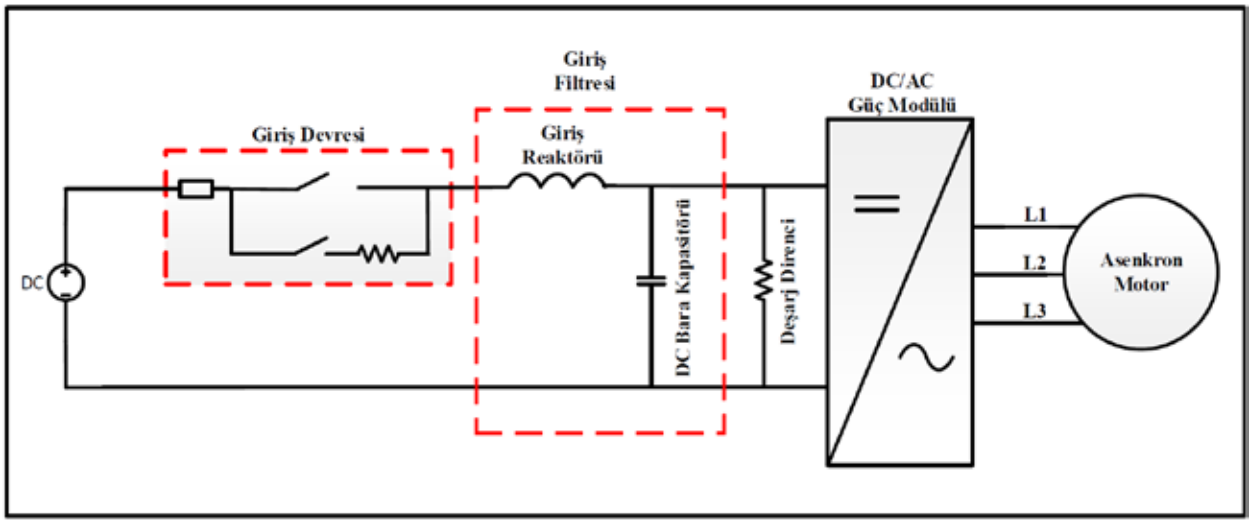
Güç bloğu içerisinde yarı iletkenler ve soğutucu plaka bulunmaktadır. Güç bloğu oluşturulurken yarı iletken seçiminde hesaplanan elektriksel kayıp değerleri ısıl analiz çalışmalarında kullanılmakta ve soğutucu plaka tasarımı gerçekleştirilmektedir. Soğutucu plaka ile yarı iletkenlerine yüksek verimli çalışma ortamı sağlanır. Örnek ısıl analiz çalışmaları ve elde edilen güç bloğu örnekleri Şekil 6'da gösterilmektedir.



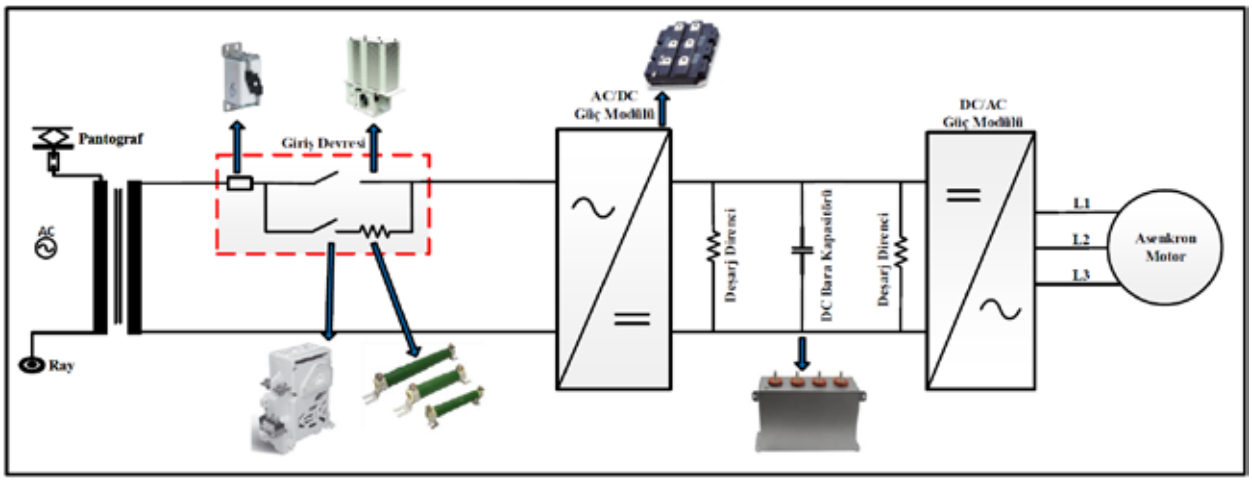

Şekil 6 Güç Bloğu Örnek Isıl Analiz Çalışmaları

## PASİF MALZEMELERİN BELİRLENMESİ

Çekiş konvertörleri AC veya DC gerilimli enerji hatlarından beslenebilmektedir. AC ve DC beslemeli çekiş konvertörü şematik örneği basit haliyle gösterilmiştir (Şekil 7, Şekil 8).




Şekil 7 DC Beslemeli Çekiş Konvertörü Örneği




Şekil 8 AC Beslemeli Çekiş Konvertörü Örneği

DC beslemeli olan hatlarda Çekiş konvertör girişinde filtre bulunmaktadır. Bu filtre genellikle seri bobin (reaktör) ve paralel kapasitörden oluşmaktadır. Giriş filtresi çekiş sisteminin besleme hattındaki harmonikleri azaltmak için kullanılmakta ve güç sisteminde oluşabilecek ani durum değişimlerinde çekiş konvertörünü korumaktadır. Ayrıca çekiş konvertörünün giriş empedansını da limitleme görevi bulunmaktadır. Filtrenin kesim frekansı sistemin harmonik bileşenleri, konvertörün toplam gücü, DC besleme gerilimi ve anahtarlama frekansı göz önüne alınarak belirlenmektedir. AC beslemeli olan hatlarda ise giriş reaktörü (bobin) ve DC bara kapasitörü enerji depolama amacıyla kullanılmakta ve benzer parametreler kullanılarak ürünler belirlenmektedir.

Sistem çalışırken DC bara kapasitörleri üzerinde depolanan enerji, sistemin güvenliği amacıyla veya operasyonel olarak kapandığında deşarj direnci üzerinden belirli sürede harcanmaktadır. Bu sayede araç veya Çekiş konvertörü bakım onarım durumunda elektrik tehlikesine karşı güvenli hale getirilmektedir. Bu ürün DC ve AC beslemeli sistemlerde aynı görevle kullanılmakta ve deşarj direncinin seçimi için DC bara gerilimi, direncin gücü, çalışma sıcaklığı gibi parametreler belirleyici olmaktadır.

## GİRİŞ DEVRESİ ÜRÜNLERİNİN BELİRLENMESİ

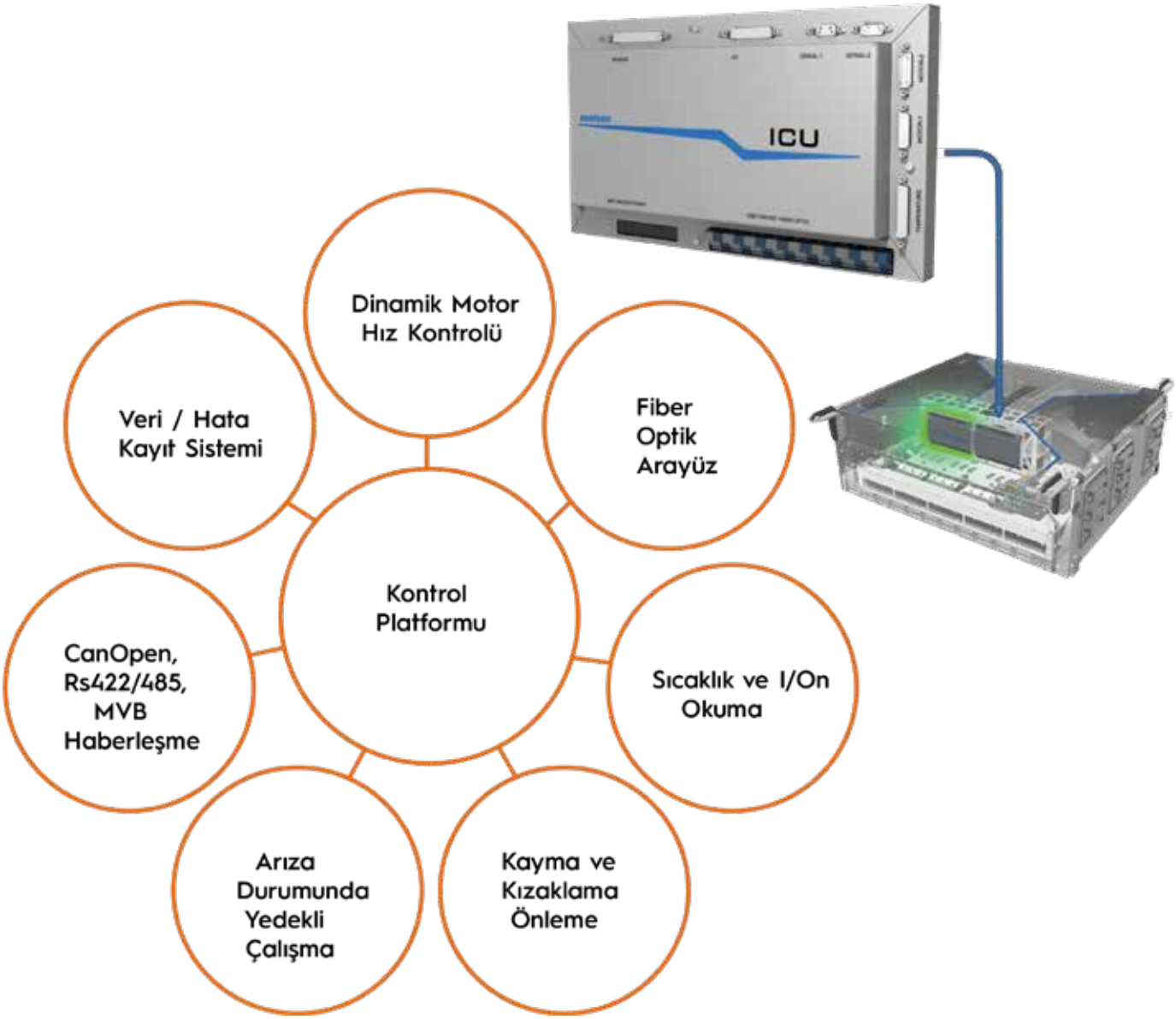
Giriş devresi enerji hattının AC veya DC fark etmeksizin çekiş konvertörünün hat ile arasında güvenli bağlantı kurmak, hattan enerjiyi kontrollü bir şekilde alıp konvertörü çalıştırmak ve ihtiyaç durumunda kontrollü bir şekilde enerjiyi kesmek için kullanılmaktadır. Giriş devresi içerisinde ön şarj sistemi (ön şarj direnci ve kontaktörü), hat kontaktörü ve hızlı sigorta bulunur. Ön şarj sistemi çekiş konvertörü ilk çalıştırılırken DC bara şarj akımının sınırlar. Bu sayede DC bara kapasitörlerin kontrollü bir şekilde enerjiyi depolaması sağlanır. Bu kapasitörler istenilen seviyede enerjiyi depoladıktan sonra ön şarj sistemi devreden çıkarılır ve hat kontaktörü devreye alınır. Hat kontaktörü çekiş konvertörünün güvenli akım ve gerilim seviyesinde çalışmasını sürdüremediği durumlarda yazılım ile kontrollü bir şekilde enerji hattıyla konvertörü birbirinden izole etmektedir.

Evlerde de kısa devre anında tehlikeleri önlemek için sigortalar kullanılmaktadır. Fakat bu sigortalar daha düşük akımlarda (16A-32A) ve daha yavaş tepki sürelerinde çalışmaktadır. Evlerdeki sigortalar ile benzer mantıkta çalışan hızlı sigorta, çekiş konvertörünün milisaniye gibi çok kısa sü-

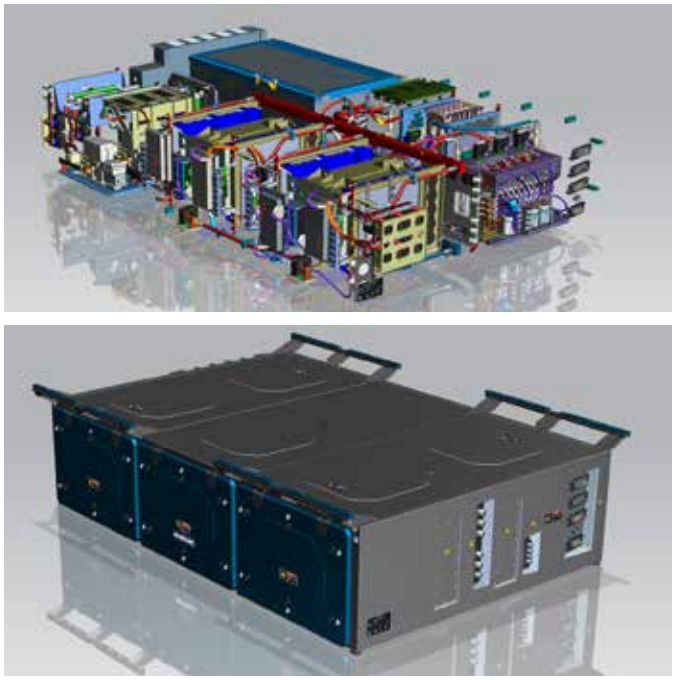
relerde ani yüksek akım (250A üzeri) çekmesini engelleyip yazılımsal kontrol olmaksızın (manuel) sistemin korunmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte kısa devre gibi beklenmeyen olumsuz durumlarda sistemin güvenilirliği de arttırılmış olur. Hızlı sigorta sistemin nominal akım seviyesi ve kısa devre gibi yüksek akımın çekiş konvertörüne olumsuz etkileyebileceği durumlarda ortaya çıkan yüksek enerjinin kesime alınma süresi değerlendirilerek seçilmektedir.

## KONTROL PLATFORMU

Kontrol platformunun temel görevi araç hareketinin kontrolü ve enerjinin motorlara transferini mikrodenetleyiciler içerisine yazılan ileri kontrol algoritmaları içeren gömülü yazılım vasıtasıyla sağlamaktır. Ayrıca kayma/kızaklama önleme, analog ve dijital okuma, araçtaki diğer elektronik sistemlerle haberleşme, veri/hata kayıt sistemi, arıza durumunda yedekli çalışma, sıcaklık okuma fonksiyonlarına da sahiptir (Şekil 9).




Şekil 9 Kontrol Platformu ve Fonksiyonları

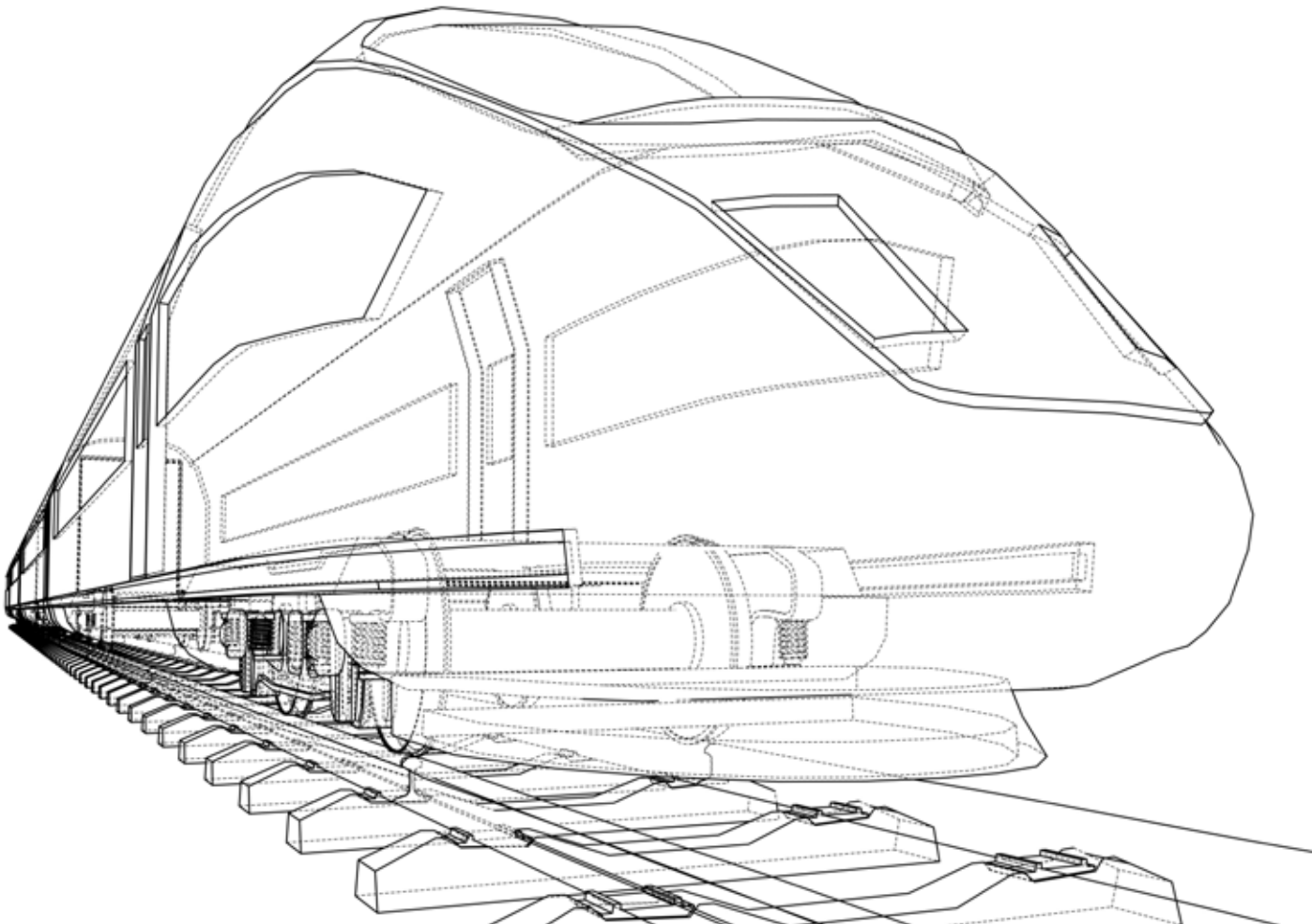


Şekil 10 Üç Boyutlu Çizim Programında Yerleşim Çalışmaları

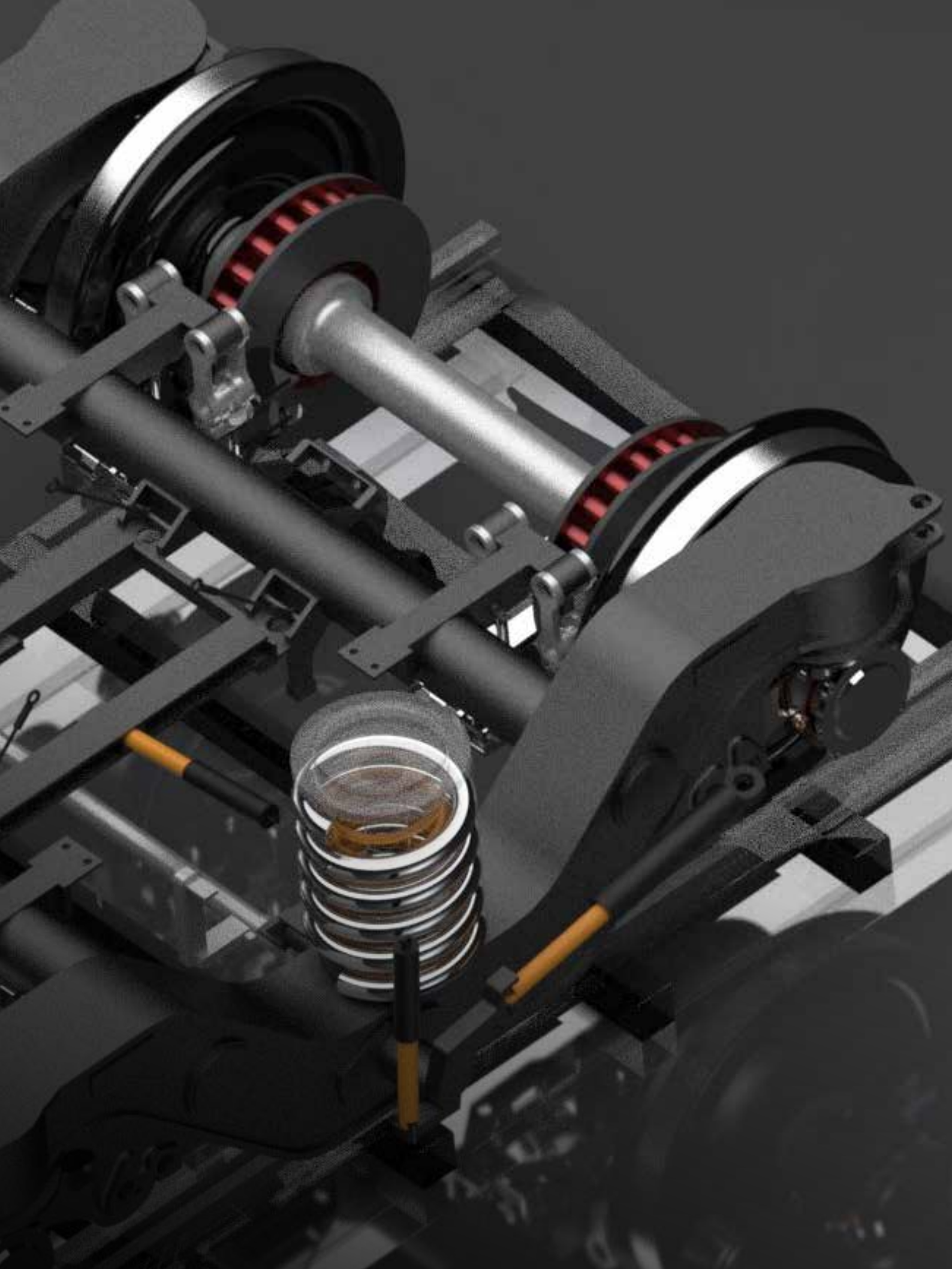
## YERLEŞİM ÇALIŞMALARI

Çekiş konvertörü içerisinde bir arada bulunacak yüksek gerilim (kapasitör, direnç vb.) ve düşük gerilim (kontrol platformu, devre kesici vb.) malzemeleri belirlendikten sonra mekanik tasarım süreçleri başlatılmaktadır. Tüm ürünler elektriksel bağlantı şeması, elektromekanik bağlantı ara yüzleri ve açıklık/sızıntı (clearance/creepage) kurallarına (EN 50124) uygun olarak üç boyutlu çizim programlarında yerleştirilmektedir.

Elektromekanik malzemelerin yerleşimi tamamlandıktan sonra malzemeler arasında elektriksel şemaya uygun kablolama çalışmaları başlatılmaktadır. Kablolamada kullanılacak kablo ve bağlantı parçalarının seçimi gerçekleştirilmektedir. Daha sonra bu parçaların elektriksel kurallara uygunluğu gözetilerek üç boyutlu çizim programında yerleşimi yapılmaktadır.



# ÇEKİŞ KONVERTÖRLERİNDE KONTROL ALGORİTMALARI



## ÇEKİŞ KONVERTÖRÜ KONTROL ALGORİTMALARI

Çekiş konvertörü, raylı sistemlerde işletilen demiryolu araçlarının önde gelen ekipmanlarındandır. Kontrol algoritma tasarımı ise çekiş konvertörlerinin tasarım aşamalarındaki temel yapıtaşlarından bir tanesidir.

Çekiş konvertörünün kontrolünde ve algoritma tasarımlarında elektrik-elektronik, kontrol ve mekatronik mühendisliği disiplinlerinden faydalanılmaktadır.

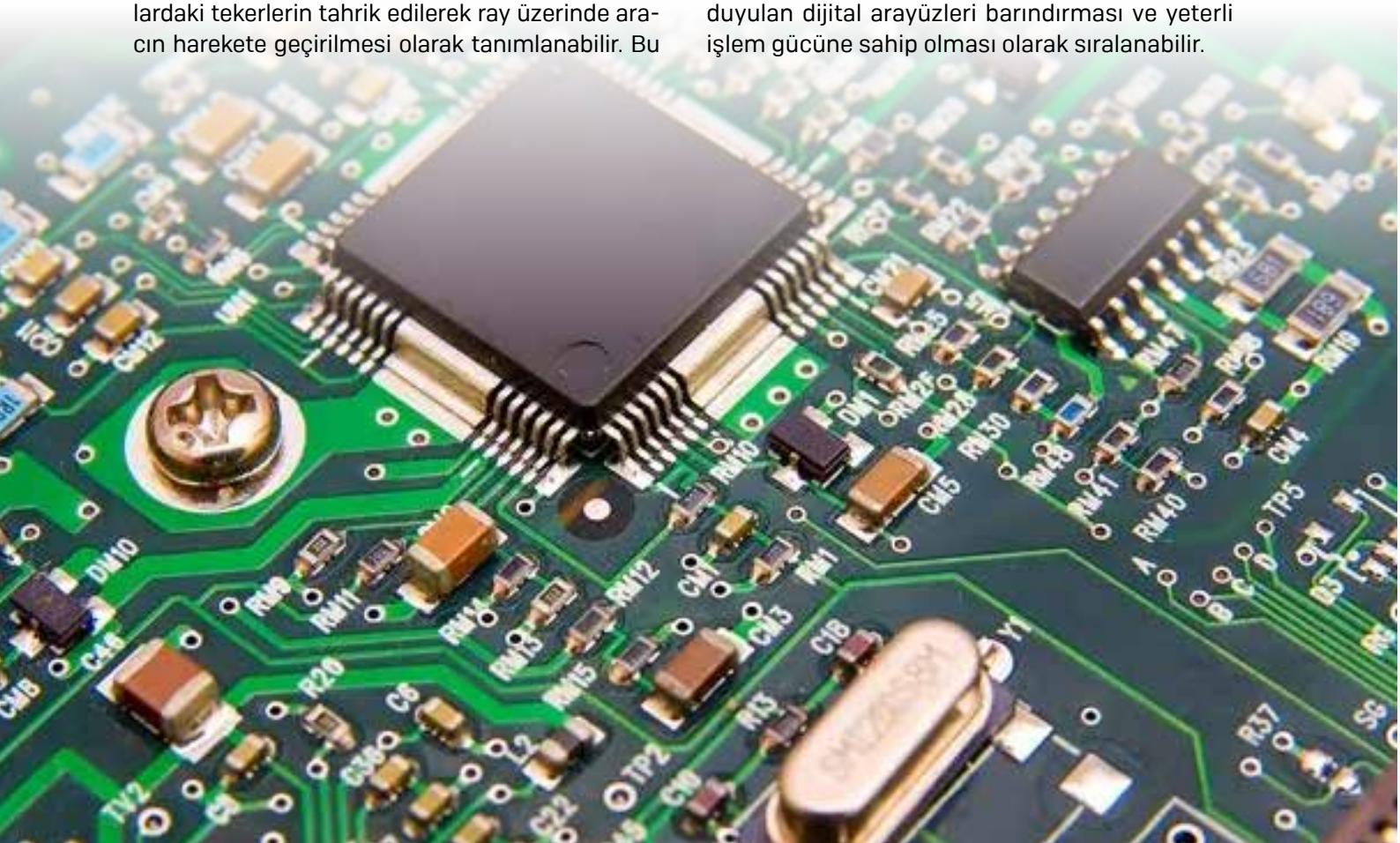
Raylı taşıtlarda görünmeyen kısım olarak da nitelendirilebilecek kontrol algoritmaları olan bu bölümde, donanımların uzun yıllar boyunca emniyetli ve güvenilir şekilde çalışmasını sağlayan yazılımların nasıl tasarlandığı anlatılmaktadır.

## ÇEKİŞ KONVERTÖRÜ KONTROLÜ KAPSAMI

Çekiş konvertörü kontrolü çok geniş bir perspektifi kapsamasına rağmen en basit haliyle raylı taşıtlardaki tekerlerin tahrik edilerek ray üzerinde aracın harekete geçirilmesi olarak tanımlanabilir. Bu tanımlamanın altında tasarlanan geniş kapsamlı kontrol algoritmaları ve bu kompleks algoritmaları işleyebilecek güçlü mikrodenetleyiciler ile etkin bir şekilde koşan gömülü yazılımlar bulunur.

Tasarımlara yön veren temel girdiler müşteri gereksinimleri, sektörde emsal görülebilecek ürünlerin sunduğu özellikler, raylı araç standartları ve ASELSAN içi deneyimlerdir. Bu doğrultuda ilk olarak sistemin gerçeğe yakın bir şekilde modellenmesinin ardından ön simülasyonlar gerçekleştirilerek yazılım mimarisi oluşturulur. Ardından simülasyonlar baz alınarak işlem miktarı, hafıza, ara yüz ihtiyacına göre mikrodenetleyici ve çevresel komponentlerle birlikte güç elektroniği ekipmanlarına akıl katacak gömülü sistem mimarisi oluşturulur.

Mikrodenetleyicinin olmazsa olmaz bazı nitelikleri; farklı haberleşme arayüzlerine sahip olması ve sektörde yaygın olarak kullanılan birçok haberleşme protokolünü desteklemesi, yüksek performanslı sensör arayüzlerine sahip olması, ihtiyaç duyulan dijital arayüzleri barındırması ve yeterli işlem gücüne sahip olması olarak sıralanabilir.

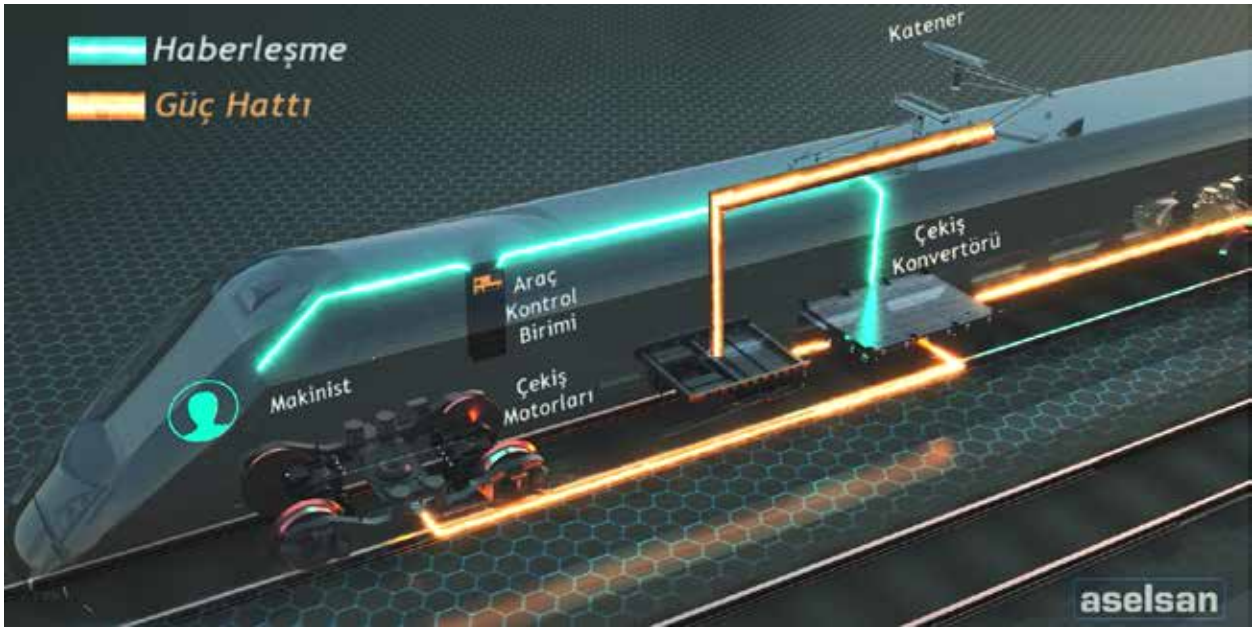


Çekiş konvertörü kontrolü aksiyonlarının başarılı bir şekilde tamamlanabilmesi için kompleks algoritmalar ve birçok farklı alt sistemin yönetimine ihtiyaç vardır. Konvertörün ana bileşenleri aşağıdaki şekilde listelenir:

- Tork Yönetimi
- Hız Limitleme
- Elektrik Motoru Kontrolü
- Haberleşme Ağları
- Araç Seviyesi Senaryo Yönetimi
- Hata Yönetimi
- Kayma Kızaklama Yönetimi
- Yolcu Konforunun Sağlanması

Makinistin denetimindeki kuvvet kolu hareketi ile pozitif veya negatif bir kuvvet referansı üretilir. Bu referans tork, yönetim algoritmaları tarafından birçok parametre değerlendirilmeye alınarak çekiş kuvveti üretmek üzere kullanılır. "Tork Yönetimi" haberleşmeyle alınan verinin güvenilirliği, hıza bağlı olarak tork referansı üretimi, sıcaklığa bağlı olarak tork azaltımının kontrolü, tork limitlerinin kontrolü gibi alt maddeleri içerir.

Elektrik motor kontrolü ise tork üretimi için olmazsa olmaz ana kontrol algoritmasının şekillendirilmesini içerir. Birbirine güç seviyelerince uygun olarak tasarlanmış çekiş konvertörü bileşenleri ve çekiş motorunu, güç hattında çalıştıracak algoritma "Elektrik Motor Kontrolü" algoritmasıdır.




Çekiş konvertörü içerisindeki donanımlar bir haberleşme ağı üzerinden birbiri ile haberleşirken; konvertörün beraber çalıştığı araç kontrol birimi, fren kontrol birimi gibi birimlerle dışarıya açılan ayrı bir ağ üzerinden haberleşir. Konvertörün dış arayüzünde de diğer birimler arası "Haberleşme Ağları" bulunur. Kritik bilgiler taşıyan bu haberleşme ağlarının kurulması da çekiş konvertörü kontrolünde önemli yer tutmaktadır.

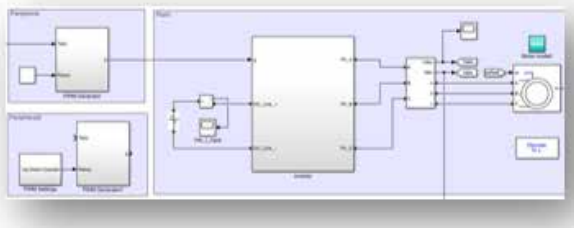
Tren üstündeki diğer çevre birimlerin durumları ve konvertörün kendi içindeki durumunun yönetimi için farklı senaryolar işletilir. Aracın güvenliği ön planda tutularak tasarlanan "Hata Yönetimi ve Rutin İşletme" senaryoları, konvertörün bütün yaşam döngüsü için gereklidir.

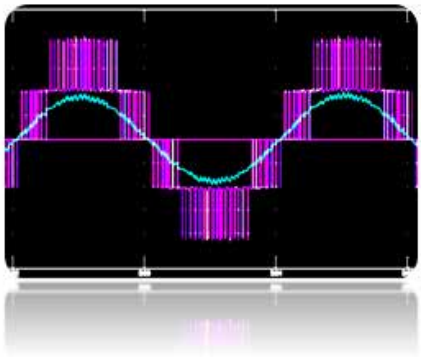
Raylı taşıtlarda kayma-kızaklama olarak bilinen, tekerlerin raya az tutunması (düşük adezyon) ile oluşan ve sonucunda da istenen çekiş/fren kuvvetinin raya aktarılmasını engelleyen bir fenomen bulunmaktadır. Yağış, nem, buzlanma, kirlilik gibi çeşitli şartlar altında karşılaşılan metal-metal (tekerlek ile ray) arasındaki adezyonun azalmasıyla ortaya çıkan bu durumunun çözümlenmesi çekiş konvertörünün yardımı ile yapılır.

## ÇEKİŞ KONTROL MİMARİSİ

Raylı araçların hareketini sağlayan çekiş kuvveti; çekiş motorlarında üretilip motor milinden mekanik sistemlerle raya aktarılarak araçların hareketi sağlanır. Bu sayede motorun ürettiği dönme kuvveti yani tork(moment) doğrusal bir harekete dönüştürülmüş olur. Motorun ürettiği tork değerinin hassas şekilde kontrol edilmesi ve buna etki eden faktörlerin yönetilmesi çekiş kontrolünün temelini oluşturmaktadır.

Ön Simülasyon





Yazılım Tasarımı

Sistem Entegrasyon

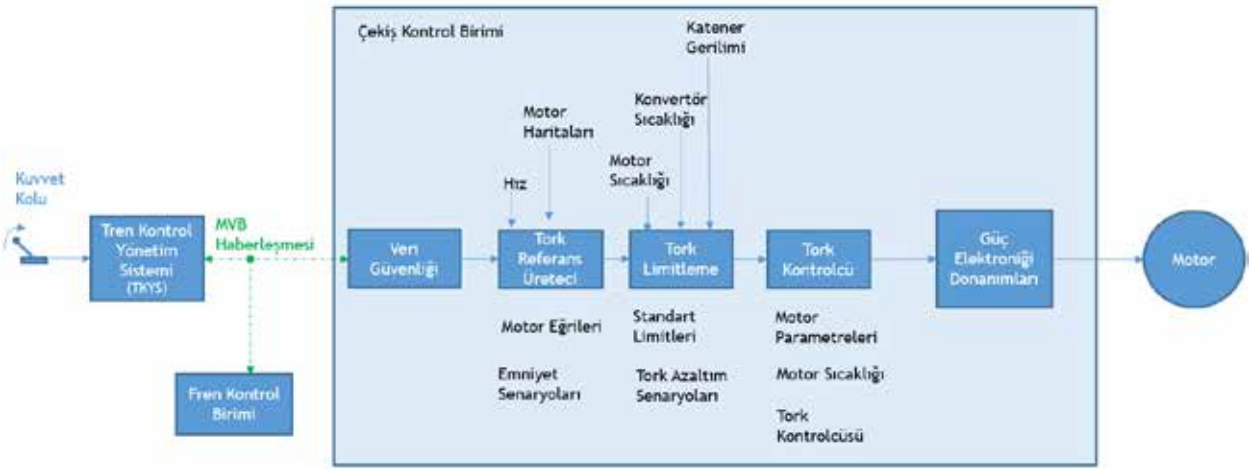
Elektrik motorlarıyla elde edilen çekiş kuvveti, aracın konfor ve seyir dinamikleri gibi parametrelerine etki eder. Raylı ulaşım standartlarında titreşim ve sarsıntıların az olması için (EN 61377, IEC 60349-2) kuvvet salınımlarında belirli limitler tanımlanmıştır. Gerekli kuvvetlerin elde edilebilmesi de çekiş kontrolü bileşenlerinin önemli tasarım girdilerindendir.

Çekiş konvertörü kullanıldığı sisteme bağlı olarak güç elektroniği donanımlarından oluşan bir dizi dönüştürücü içerebilir. Konvertör bağlı olduğu sistemden standartlarca belirlenen giriş gerilim aralıklarında gerilim regülasyonlarına uyumlu çalışmayı sağlar. Aynı zamanda motordan istenen dinamiklerde tork elde edilmesinde rol oynar. Motor akımlarını, verimliliği en iyi seviyede tutacak ve standartlarda istenen regülasyonları sağlayacak şekilde kontrol eder.

Çekiş sistemlerinde sistem verimliliğini artırmak ve enerji tasarrufu sağlamak için frenleme esnasında enerji geri kazanımı motorlar ve çekiş konvertörü ile sağlanır. Rejeneratif çalışmada ters yönde kuvvet üretilerek aracın yavaşlamasını sağlanırken, çekiş konvertörü ile motorlardan alınan enerji katener hattına iletilir. Böylece çekiş ve frenleme boyunca iki yönde de enerji akışı sağlanır. Çekiş konvertöründen her iki güç akış yönünde de verimliliğinin yüksek seviyelerde olması, standartlara uyum, fonksiyonel olarak gereksinimlerin tamamının karşılanması ve emniyetli bir çalışma sunması beklenir.

Tork kontrolüne etki eden bir diğer bileşen de kullanılan kontrol döngüsünün içerisinde bulunan elektronik donanımlardır. Kontrol algoritmalarının çalıştığı elektronik kartlardaki filtre yapıları, sensör arayüzleri, haberleşme arayüzleri, kullanılan sensörlerin karakteristik davranışları kontrol döngüsünün bir parçası olduğundan kontrolcü tasarımlarını etkiler. Ayrıca çekiş konvertörü verimliliğini etkilediğinden anahtarlama frekansı ve modülasyon yöntemlerinin seçimi de kontrolcü tasarımında rol oynar. Tüm bu bileşenler çekiş kontrolünün iyileştirilmesi/geliştirilmesi konusunda etkili olduğundan, her biri tasarım fazında araştırma ve geliştirme başlıklarını oluşturur.

Raylı araçlar yük ve yolcu taşıması sebebiyle yüksek emniyet gereksinimine sahip sistemlerdir. Emniyet gereksinimleri kontrolcü tasarımı ve yazılım geliştirme süreçlerinin tamamı boyunca göz önüne alınır. Tork yönetimi gibi kritik algoritmalar standartlar ve şartnameler göz önünde bulundurularak sürücü istekleri, katener gerilimi seviyeleri, bileşenlerin sıcaklık seviyeleri, acil durum senaryoları ve emniyet gereksinimleriyle şekillendirilir.




Basitleştirilmiş Tork Yönetim Senaryo Diyagramı

## RUTİN VE ACİL DURUM SENARYOLARI

Çekiş konvertörü tren seti üzerinde üstlendiği görev sebebiyle diğer ekipmanlarla (araç kontrol birimi, fren kontrol birimi vb.) etkileşim içerisinde çalışmak durumundadır. Tren üzerinde EN61375 standardı uyarınca bu amaca hizmet eden ve tren setindeki kritik ekipmanların bağlı olduğu bir haberleşme ağı bulunmalıdır. Bu haberleşme ağı MVB, Ethernet veya CANOpen kullanılarak kurulabilir. MVB en yaygın kullanılan tren seti içerisi haberleşme ağıdır.

Çekiş konvertörünün bir diğer arayüzü ise entegrasyon aşamasında ihtiyaç duyulan ve sonrasında yazılım güncelleme, arıza tespiti vb. ihtiyaçlar için kullanılan diyagnostik (teşhis, tanılama) arayüzüdür. Bu arayüz ise konvertör içerisindeki gerçek zamanlı verilerin gösterilmesini ve hata kayıtlarına erişilmesini sağlar.

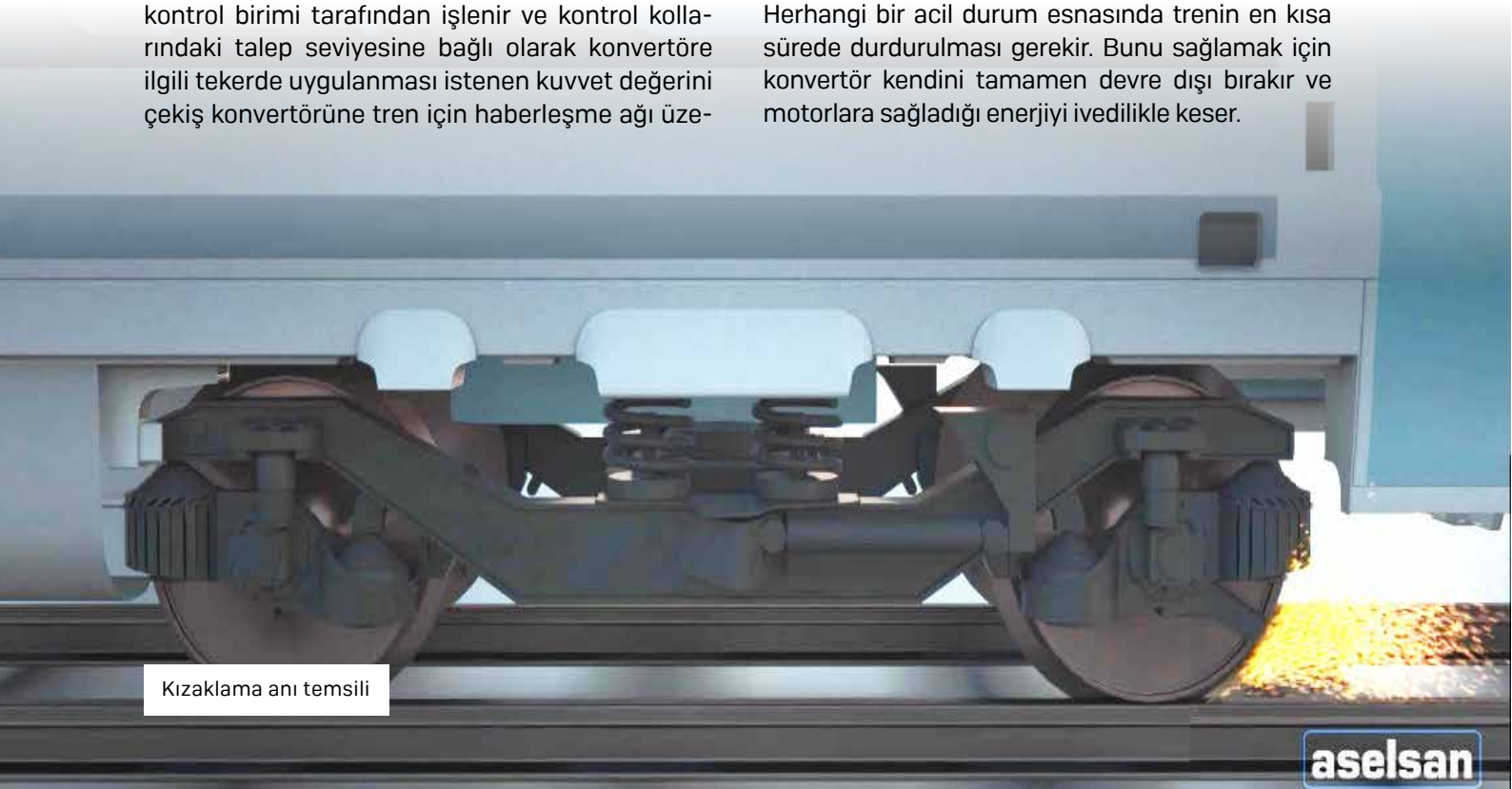
Konvertörün büyük ve karmaşık bir birim olması dolayısıyla içerisinde farklı görevler yapan birden fazla alt birim bulunmaktadır. Alt birimler arası haberleşmeyi sağlamak amacıyla da yüksek güvenlikli bir haberleşme ağı barındırmaktadır.

Trenin çekiş kontrolü; kuvvet kolu ve otomatik hız kontrol kolu kullanılarak makinist tarafından yapılmaktadır. Kontrol kollarından alınan bilgiyi araç kontrol birimi tarafından işlenir ve kontrol kollarındaki talep seviyesine bağlı olarak konvertöre ilgili tekerde uygulanması istenen kuvvet değerini çekiş konvertörüne tren için haberleşme ağı üzerinden gönderir. Konvertör tekerde istenen kuvvet verisini kullanarak motorun istenilen tork seviyesinde kontrolünü yapar.

Çekiş kuvvetinin tekere uygulandığı durumda teker ile ray arasındaki adezyon kuvvetinin azalması, tekerin ray üzerinde kayarak patinaj yapmasına sebep olabilir. Bu durumda tekerdeki kuvvetin anlık olarak yönetilerek patinajın önlenmesi çekiş kontrolü kapsamındadır. Tekerin dönme hızı, tekerin ivmesi ve trenin seyir hızı gibi veriler kullanılarak patinaj tespit edilir. Adezyon seviyesine bağlı olarak tekerin raya tutunabilmesi için çekiş kuvveti yönetilerek patinaj önlenmektedir.

ASELSAN sistemlerinden bağımsız olarak araç üzerinde çalışan ve aracın fren ekipmanlarının kontrolünü yapan birim ise fren kontrol birimidir. Çekiş konvertörü fren kontrol biriminden gelen fren talebine bağlı olarak rejeneratif fren uygular. Buna ek olarak kızaklama esnasında fren kontrolünü üstlenen birim olarak kızaklamanın önlenmesi de fren kontrol birimi sorumludur. Buna bağlı olarak talep edilen fren kuvvetinin kızaklamaya bağlı olarak yönetilmesi ve ilgili aks üzerinde rejeneratif frenin ihtiyaç halinde devre dışı bırakılması görevlerini de fren kontrol birimi yönetir.

Herhangi bir acil durum esnasında trenin en kısa sürede durdurulması gerekir. Bunu sağlamak için konvertör kendini tamamen devre dışı bırakır ve motorlara sağladığı enerjiyi ivedilikle keser.



Kızaklama anı temsili

Raylı sistemlerde yüksek gerilim hattı, çevresel etkenler sebebiyle tüm ray boyunca kesintisiz devam ettirilememektedir. Buna bağlı olarak yolculuk esnasında trenin kısa süreli de olsa yüksek gerilim olmadan ilerlemesini gerektiren bölgeler bulunmaktadır. Bu bölgeler nötr bölge olarak isimlendirilmektedir. Nötr bölgeye giriş/çıkışlarda ise konvertörün yüksek gerilim hattına sürekli olarak bağlı kalması enerjinin ilk kesildiği anda ve özellikle tekrar hattın enerjili duruma geldiği anda birtakım riskler doğurmaktadır. Bu koşullarda sinyalizasyon sistemi mevcut ise nötr bölge geçişine dair önden araca bilgi verir ve nötr bölge geçişinden trenin etkilenmemesini sağlar. Sinyalizasyon olmayan araçlarda ise enerji kesintisini makinistin fark edip yüksek gerilim hattından treni ayırması ihtiyacı doğmaktadır. İnsan elinde olan bu mekanizma hataya açıktır. Bu sebeple konvertör enerji kesintisini algılayıp kendini yüksek gerilim hattından izole eder. Böylece konvertör kendisiyle birlikte tren üzerindeki birtakım yüksek gerilim ekipmanlarını da zarar görmekten korumuş olur.

Vagon içi haberleşme hattına bağlı olan konvertör alt birimi yedekli yapıda olup konvertörün hata durumlarına dayanıklılığının arttırılması amaçlanır. İlgili alt birimlerinden bir tanesinde herhangi bir arıza olsa dahi konvertör hiçbir performans kaybı olmadan çalışmasını sürdürür. Buna ek olarak çekiş konvertörü bazı arızalarda veya yüksek stres durumları (aşırı ısınma, yüksek akım ve gerilim vb.) oluştuğunda kendi temel fonksiyonlarını devam ettirecek şekilde yolculuğun devamlılığını sağlar.

Konvertör, çalışma esnasında gözlemlenen arızalara dair kendi bünyesinde kritik verilerin kaydını tutar. Bu özelliği sayesinde arıza tespitinde ve ilgili arızanın tekrarlanmaması için önlem alınmasında kolaylık sağlar.

## GERÇEK-ZAMANLI VERİ İZLEME VE ARIZA TANILAMA FONKSİYONU

Tasarlanan yazılım ve kontrol algoritmalarını geliştirme/doğrulama fazları boyunca gözlemleyebilmek adına bir görüntüleme ve veri kayıt altyapı sistemi kurulması zaruri bir ihtiyaçtır.

Görüntüleme sistemine; teşhis etme, tanılama manasına gelen diyagnostik ismi verilmektedir. Çekiş konvertörü içerisindeki bütün kontrol verilerine ve farklı senaryolar için kullanılan veri setlerine erişim gerçekleştirilebilir. Yazılım ve algoritma geliştirme, kalibrasyon, devreye alma, konfigürasyon değişimi ve parametrik güncellemeler diyagnostik arayüzünden yapılmaktadır.

Ortaya çıkarılan ürünün her zaman güncelliğini koruyabilmesi ve geliştirilmesi günümüz dünyasında çok önemlidir. Bu sebeple çekiş konvertörünün kontrolü için gereken yazılımlar sahada çalışıyorken veya ön testler sırasında olası hata durumları kayıt altına alınır. Bu hata kayıtları hem hata tespitleri sonrasında alınacak aksiyonlara hem de ürün geliştirme süreçlerine destek olmaktadır. Veri kayıt altyapısı projelerin ilk fazlarında tasarım ve test ekiplerine, sonrasında sahada entegre lojistik birimlerine geri bildirimler vererek sistemin iyileştirilmesinde kullanılmaktadır.

# ÇEKİŞ SİSTEMLERİNDEKİ TEKNOLOJİK GELİŞMELER

700134

Günümüzde dünya genelinde üretilen enerjinin yaklaşık %40'ı elektrik enerjisi olarak tüketilmektedir. Artan sanayileşme hızı, nüfus artışı ve elektrikli araçların yaygınlaşmasındaki ivme göz önüne alındığında 2040'lı yıllara kadar kullanılan elektrik enerjisinin üretilen toplam enerjinin %60'larına kadar ulaşması öngörülmektedir. Özellikle dünya genelinde karbon salınımının azaltılmasına yönelik konulan hedefler ile birlikte elektrik enerjisinin kullanımın yaygınlaştırılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımlarının arttırılması hedeflenmektedir. Bu kapsamda Avrupa komisyonunda gelecekte raylı ulaşım sektöründen aşağıdaki hedefler beklenmektedir:

- Verimliliğin artırılması, bakım ihtiyacının azaltılması
- Kapasite kullanımının artırılması
- Yenilenebilir enerji kullanımının artırılması

Ulaşım sistemleri üretilen elektrik enerjisinin yaklaşık %20'sini tüketmektedir. Ulaşım sistemleri arasında elektrik enerjisi tüketiminin büyük bir kısmını ise raylı ulaşım sistemleri oluşturmaktadır. Gelecekte petrol, doğalgaz gibi yakıtların kullanımının ciddi oranda azalması ile birlikte bu oranın daha yukarı çıkması beklenmektedir. Bu durum sürdürülebilirlik açısından değerlendirildiğinde, ulaşım alanında akılcı, yenilikçi, enerji verimliliği ve emre amadeliği yüksek, düşük hacim ve ağırlıklı sistemlerin yaygınlaşmasının ön plana çıkacağı gözükmektedir. Buradan anlaşılacağı üzere kayıpların azaltılarak enerjinin verimli kullanılması, giderek artan elektrik enerjisi ihtiyacı da göz önüne alındığında, gelecekte daha da fazla önem kazanacaktır.

Aşağıda raylı ulaşım araçları için tipik bir enerji iletim ve dönüşüm akış şeması verilmiştir. Bu şema her dönüşüm ve iletim seviyesinde elektriksel kayıp oluştuğunu göz önüne sermektedir.

Alt sistemlerde kullanılacak yeni teknolojiler ile kayıpları, ağırlığı ve hacmi azaltmak ve buna bağlı olarak enerji tüketimini azaltmak mümkün olmaktadır. Ayrıca enerji depolama sistemlerinin entegre edildiği çözümlerde frenleme esnasında açığa çıkan enerjinin depolanması ve ihtiyaç durumunda yeniden kullanılması ile enerji tüketimi ve karbon salınımı azaltılmaktadır. Güç elektroniği ve enerji depolama sistemlerine değer katan yenilikçi teknolojilerin bir kısmına aşağıda değinilmiştir.

ASELSAN olarak raylı sistem enerji dönüşümlerindeki kayıpları azaltmak amacıyla ele aldığımız yeni nesil yarıiletken teknolojilerini (SiC ve GaN güç transistörleri) geliştirmiş olduğumuz güç dönüştürücülerinde kullanarak aşağıdaki avantajları yakalamaktayız:

- Yüksek frekans anahtarlamaya bağlı komponentleri küçültüyor, buna bağlı olarak daha küçük hacim ve ağırlıkta sistemler geliştirebiliyoruz.
- Yalın topolojiler kullanarak ürünlerdeki hata/arıza olasılığını ve işletme maliyetlerini azaltıyoruz.
- Sistem kayıplarını azaltarak daha verimli sistemler tasarlıyoruz.
- Düşük kayıp miktarları ve daha yüksek sıcaklıklarda çalışma imkânı ile soğutma sistemlerinde daha kompakt ve basit yapılara ihtiyaç duyuyoruz.

Raylı Ulaşım Araçlarında Tipik Bir Güç Aktarım Şeması

- Soğutma sistemleri ve komponentlerin küçülmesiyle sistem maliyetini de azaltıyoruz
- Geniş kontrol bandı ile güvenilir ve dinamik kontrol özelliği katıyoruz.
- Yüksek motor hızlarında bile yüksek kaliteli dalga şekilleri ve buna dayalı yüksek verimli tümleşik sistem çözümleri üretiyoruz.

Bununla birlikte; elektrik enerjisinin uygun koşullarda depolanmasını sağlamak için teknolojik gelişmeleri yakından takip etmekte ve sistemlerimizde yeni nesil batarya ve süperkapasitör teknolojileri ile yenilikçi çözümler sunmaktayız. Bu uygulama ile elde ettiğimiz avantajlar aşağıda listelenmektedir:

- Frenleme anında açığa çıkan enerjinin geri depolanmasını sağlayabiliyoruz.
- Enerjinin ısıya dönüşümünü azaltarak yüksek oranda enerji tasarrufu sağlıyoruz.
- Katener hattından beslenmeyen alanlarda kesintisiz ve sessiz şekilde sürüş yapmaya devam edebiliyoruz.

**Depolanan rejeneratif enerjiyi kalkış anında yeniden kullanabildiğimiz için katener regülasyonunu daha iyi sağlayabiliyoruz.**

ASELSAN olarak tüm çalışmalarımızı internet teknolojilerini de üst seviyede kullanarak desteklemekte ve çözümlerimizin katkılarını artırmaktayız. Hata durumlarında uzaktan tespit/müdahale yöntemleri ve motor sağlığını takip edebildiğimiz kestirimci bakım yöntemleri ile bakım/onarım ihtiyaçlarını belirlediğimiz yenilikçi yaklaşımları geliştirdiğimiz sistemlerimizde kullanmaktayız. Uygulamalarımızdaki akış şemamız aşağıdaki görselde verilmiştir.

Sonuç olarak; hata tespit ve müdahaleyi uzaktan yaparak iş gücü ve zaman kaybını minimize ediyor, işletme maliyetleri azaltıyor, elektromekanik/mekanik parçaların sağlıklarını devamlı izleyerek verimlerinin her zaman istenilen düzeyde tutulmasını sağlıyoruz.

Sistem İzleme ve Kontrol Şeması

# Batarya Şarj Birimi

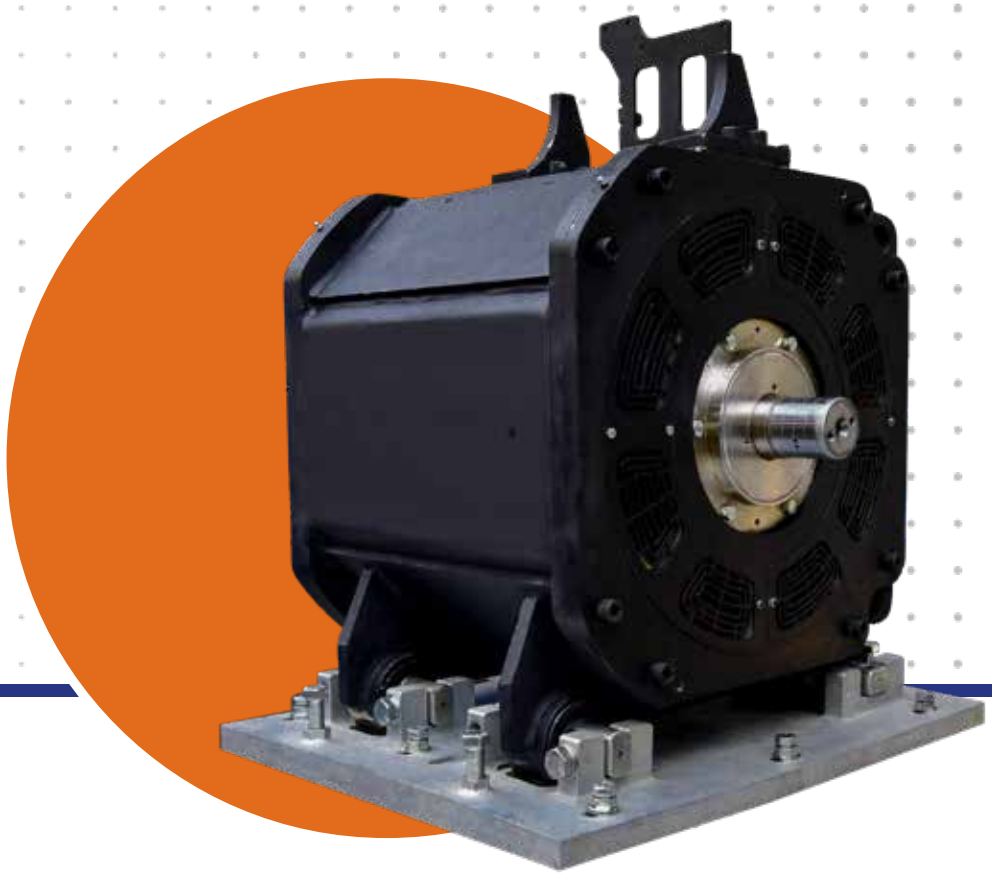
## RAYLI SİSTEM ARAÇLARI İÇİN SİC TABANLI YÜKSEK VERİMLİLİK VE PERFORMANSA SAHİP BATARYA ŞARJ BİRİMİ

Raylı sistemlerde kullanılan bataryaların şarj edilmesi amacıyla, 3 faz AC kaynaktan beslenerek DC çıkış üretmektedir. Batarya gerilimini sürekli olarak okuyup regülasyon sağlamaktadır.
Batarya Şarj Birimi CAN ara yüzü üzerinden çalışma komutunu almakta ve yönetim için bataryanın gerilim/akım/sıcaklık bilgilerini gerekli diğer alt sistemlere iletmektedir.

Aşırı akım/gerilim/sıcaklık ve düşük gerilim gibi durumlarda aktif koruma fonksiyonuna sahiptir.

# Çekiş Motoru

## HIZLI VE YÜKSEK HIZLI TREN UYGULAMALARI İÇİN YÜKSEK PERFORMANSLI ÇEKİŞ MOTORU



ASELSAN çekiş motoru ailesi farklı raylı sistem araçları için geliştirilmiş yüksek performanslı ve yüksek güvenilirlik seviyesinde kompakt çekiş motoru platformudur. Gövdesiz motor tasarımı sayesinde farklı raylı sistem araçları için kolaylıkla adapte edilebilir. Çekiş motoru ürün ailesi modern tasarım araçları kullanılarak yüksek performans ve verimlilik, efektif soğutma kabiliyeti, yüksek mekanik dayanım gibi kriterler gözetilerek optimize edilmiştir.

# CESUR® EMU

## HIZLI VE YÜKSEK HIZLI TREN UYGULAMALARI İÇİN ÇEKİŞ KONVERTÖRÜ VE YARDIMCI GÜÇ ÜNİTESİ

Cesur EMU ile iki ayrı kalıcı mıknatıslı senkron motor veya asenkron motor kontrolü sağlanabilmektedir. Tek bir mekanik yapıda çekiş konvertörü, yardımcı güç ünitesi, batarya şarj birimi ve sıvı soğutma sistemini içeren kompakt bir üründür.

Yardımcı güç ünitesi tren üzerindeki tek faz veya üç faz ile çalışan ürünlerin enerji beslemesini gerçekleştirmektedir. Batarya Şarj Ünitesi ile tren üzerindeki 110 VDC batarya beslemesi sağlanmaktadır. Birim içerisindeki dahili sıvı soğutma ünitesi ile çekiş konvertörü ve yardımcı güç ünitesinin soğutma ihtiyacı karşılanmaktadır.

Çekiş konvertörü ve yardımcı güç ünitesinde IGBT teknolojisi kullanılmakta olup ileri kontrol algoritmaları ile güvenilir ve verimli çalışma sağlamaktadır.

aselsan TRaction

# TKYS

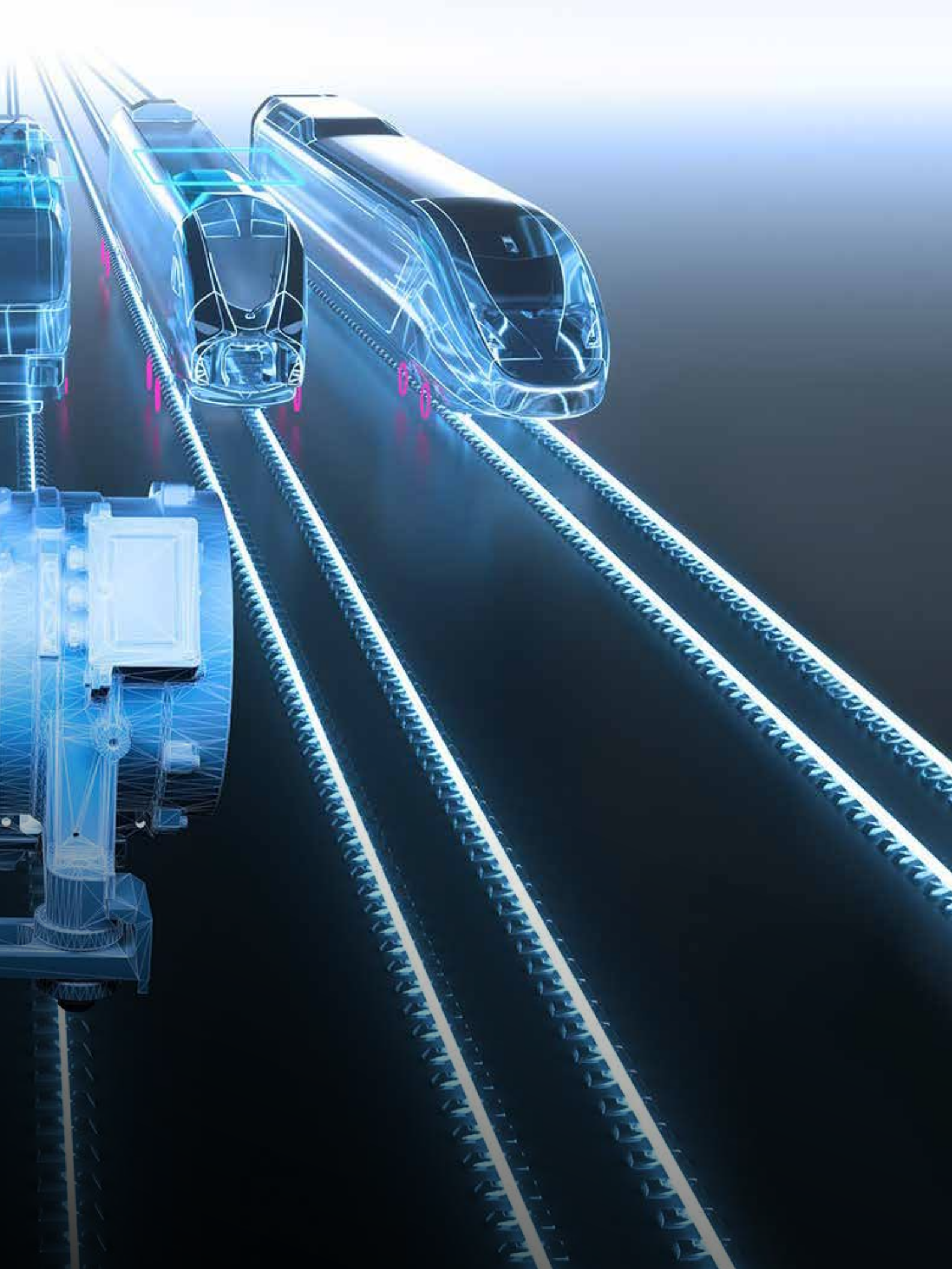
## TREN KONTROL VE YÖNETİM SİSTEMİ

TKYS; yüksek hızlı trenler, bölgesel trenler, EMU'lar, metrolar ve tüm LRV'lere uygun bir tren kontrol ve yönetim sistemidir. Özgün yazılım, donanım ve algoritmalar ile yüksek güvenliği sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.

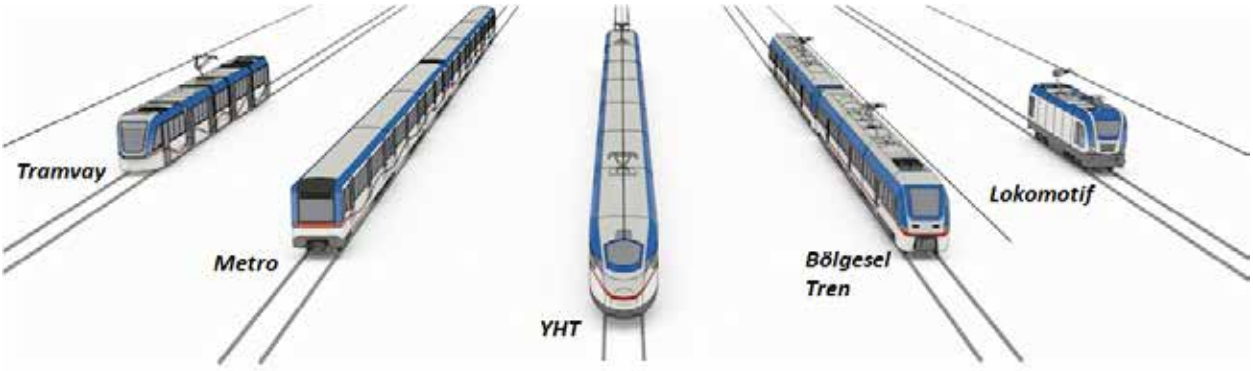
TKYS geleceğin trenlerinin gereksinimlerini karşılayacak esnek bir tasarımına sahip olmakla birlikte, modüler yapısı ile TR-CMS, CCU, VCU ve ATO bilgisayarı olarak kullanılabilmektedir.

TKYS; CCU ve VCU modlarında trenin beyni olarak görev yapmakta ve merkezi yönetimini sağlayarak; acil durum sistemleri, fren sistemleri, çekiş sistemleri, güç sistemleri, kapı geçiş sistemleri, aydınlatma, iklimlendirme, yolcu bilgilendirme, araç içi ve araçlar arası haberleşme sistemlerini koordine edebilecek yapıdadır.

# RAYLI ARAÇ SİSTEMLERİNDE ÇEKİŞ MOTORU TASARIMLARI



Çekiş motorları, raylı araç sistemlerinde elektriksel gücün mekanik güce dönüştürülerek tekerler vasıtası ile raylara aktarılarak aracın hareketine olanak sağlayan elektromekanik donanım birimleridir. Çekiş motorları tramvay, metro, bölgesel tren, lokomotif, yüksek hızlı tren gibi farklı raylı araç platformlarına özgü çekiş sistemlerinin en kritik bileşenleri arasında yer almaktadır.



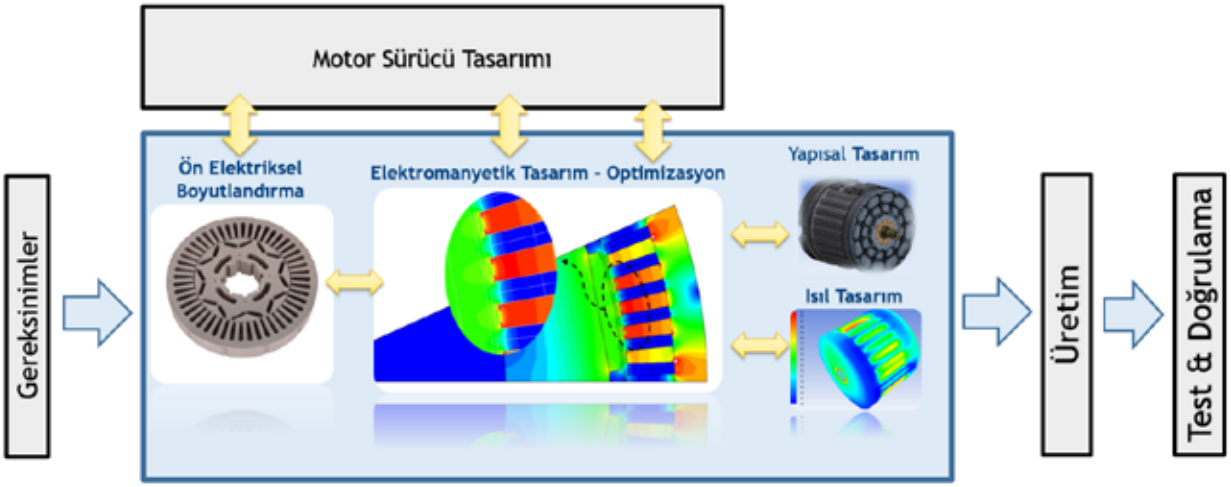

Şekil 1 Raylı Araç Platformları

Çekiş motorları standart katalog ürünü niteliğinde olmayıp kullanılacağı her platformun gereksinimlerine uygun olarak tasarlanmaktadır. Çekiş sistemine ait genel gereksinimler belirlendikten sonra çekiş sistemini oluşturan temel bileşenleri olan çekiş motoru, çekiş konvertörü ve dişli kutusunun teknik özellikleri etkileşimli olarak belirlenir.

Şekil 2 Raylı Araç Platformları Çekiş Motoru Ürün Ailesi
(a): 150kW, (b): 325kW, (c): 800kW

## ÇEKİŞ MOTORLARI TASARIM DÖNGÜSÜ

Çekiş motoru tasarım döngüsü, farklı mühendislik disiplinlerinin karşılıklı etkileşimi ile yürütülen bir dizi tasarım adımlarını içermektedir. Çekiş motorunun tasarımı için izlenen tasarım metodolojisi Şekil 3'te verilmiştir. Öncelikli olarak tasarımı gerçekleştirilecek çekiş motorunun temel gereksinimlerinin belirlenmesi, sürecin ilk aşamasını oluşturmaktadır. Gereksinimlerin belirlenmesinin ardından aşağıda detayları verilen tasarım ve optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmektedir.




Şekil 3 Elektrik Makinası Tasarım Sistematiği

**Ön Elektriksel Boyutlandırma:**

Ön elektriksel boyutlandırma aşamasında çekiş motorunun moment, hız vb. temel gereksinimleri ile zarf ebatları detay seviyede ele alınarak uygun motor dış çapı ve paket boyu, manyetik akı, akım yoğunluğu gibi temel elektriksel parametreleri belirlenmektedir. Ön elektriksel tasarım aşamasında analitik yönteme dayalı tasarım programları ile ön boyutlandırma çalışmaları yapılmaktadır.

**Elektromanyetik Tasarım ve Optimizasyon:**

Ön elektriksel boyutlandırma fazında elde edilen tasarım alternatiflerinin, numerik yöntemlere dayalı elektromanyetik tasarım yazılımları ile detay seviyede analiz edildiği aşamadır. Elektromanyetik tasarım fazında çekiş motorunun stator-rotor oluk sayıları ve geometrileri, sargı konfigürasyonu, hava aralığı, oluk doluluk oranı, manyetik ve elektriksel malzeme çeşitleri gerçekleştirilen detay analizler neticesinde optimize edilmektedir. Moment-hız eğrisi ile birlikte moment dalgalılık, manyetik doyum, verim hesabı ve hata koşullarına yönelik detay analizler bu aşamada gerçekleştirilmektedir.

Yukarıda belirtilen teknik parametrelere ek olarak maliyet ve üretilebilirlik kriterleri de göz önünde bulundurularak elektromanyetik optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmektedir.

Detay elektromanyetik tasarım fazının tamamlanmasının ardından ısıl tasarıma girdi oluşturmak amacı ile farklı yük noktaları, soğutma koşulları ve ortam sıcaklıkları için toplam kayıp değerleri belirlenmektedir. Isıl tasarım sürecine paralel olarak yapısal tasarıma girdi oluşturmak amacı ile geçici hal koşulları ve arıza durumları için elektromanyetik kuvvet değerleri belirlenmektedir.

**Yapısal Tasarım:**

Gereksinim aşamasında belirlenen zarf ebatları ve elektromanyetik tasarım çıktıları kullanılarak motorun mekanik tasarımının gerçekleştirildiği tasarım aşamasıdır. Bu aşamada motorun şaft, rulman gibi temel mekanik bileşenlerinin detay hesaplamaları gerçekleştirilerek üç boyutlu modelleme programları kullanılarak tasarımları gerçekleştirilmektedir.

Mekanik tasarım süreci ile yapısal analiz süreci tekrarlı olarak ilerletilmektedir. Yapısal analiz safhasında elektromanyetik kuvvet bileşenleri kullanılarak mekanik tasarım safhasında ortaya çıkan detay tasarıma ilişkin belirlenen sınır şartları altında yorulma analizleri gerçekleştirilmektedir.

**Isıl Tasarım:**

Farklı yük ve çalışma koşulları için elektromanyetik analiz sonucu ile hesaplanan ve ön termal analiz çıktıları kullanılarak detaylandırılan tasarım çıktılarının nümerik yöntemler kullanılarak analiz edildiği aşamadır. Bu aşamada soğutma yapısına yönelik detay optimizasyon çalışmaları yürütülmektedir. Etkin soğutma performansı sağlayabilmek için farklı topolojilerde soğutma sistem tasarımlarının birbirleri ile karşılaştırmalı analizleri gerçekleştirilmektedir.

**Üretim**

Çekiş motorunun tasarım aşamasında belirlenen elektriksel ve mekanik malzemeler, özellikleri dikkate alınarak motorun prototip üretimi gerçekleştirilmektedir. Prototip motor üretimindeki temel üretim adımları aşağıda verilmiştir:

- Stator-rotor laminasyon paketlerinin hazırlanması
- Bobin üretimi ve sarım işleminin gerçekleştirilmesi
- Rotor-mil grubu üretimi
- Gövde, kapak gibi temel mekanik bileşenlerin üretimi
- Çekiş motoru montajının tamamlanması.

**Test ve Doğrulama**

Üretim aşamasının ardından çekiş motoruna ilişkin temel test ve doğrulama prosedürlerinin gerçekleştirildiği aşamadır. Bu kapsamda öncelikli olarak çekiş motoru üretimi akabinde temel elektriksel ve mekanik kontroller gerçekleştirilmektedir. Doğrulama çalışmaları detay seviyede sargı direnç ölçümü, moment-hız karakteristiğinin belirlenmesine yönelik testler, sıcaklık artış testleri, verim tayini, kilitli rotor testi, boşta çalışma testi, gürültü, şok-titreşim gibi test aşamalarını içermektedir. Elde edilen sonuçlar ile tasarım fazında oluşturulan analiz modeli ile uyumluluğu değerlendirilmektedir.

# TREN KONTROL VE YÖNETİM SİSTEMİ BİLGİSAYARLARI

Tren Kontrol ve Yönetim Sistemi'nin (TKYS) bir parçası olan Tren Kontrol Bilgisayarı, demiryolu araçlarında bulunan donanımların kontrol ve görüntülenmesine olanak sağlayan modüler bir bilgisayar sistemi olarak geliştirilmiştir. Tren Kontrol Bilgisayarı, demiryolu araçlarında maruz kalınabilecek çevre koşullarında çalışabilmek üzere tasarlanmıştır. Birim, EN 50155:2017 standardında belirtilen düşük sıcaklıkta depolama, düşük sıcaklıkta açılma, yüksek sıcaklıkta çalışma, nem, EMI-EMC, titreşim ve şok ve yalıtım testlerinden oluşan çevre koşul testlerinden başarıyla geçmiştir.

Tren Kontrol Birimi, 32-bit, 1 GHz, çift çekirdekli Arm Cortex-A7 işlemci ve 1 GB DDR3 RAM'e sahip Linux tabanlı bir bilgisayardır. Ayrıca, konfigürasyona bağlı olarak, birimde 128 GB, 32 GB ya da 8 GB SSD bellek bulunmaktadır.

TKYS, belirlenen işlemleri yürüten farklı birim ve alt parçalardan oluşmaktadır. Kullanım durumu ve sistem senaryolarına göre, TKYS'de aşağıdaki birimler bulunabilmektedir:

- Merkezi Kontrol Birimi – CCU (Central Control Unit)
- Araç Kontrol Birimi – VCU (Vehicle Control Unit)
- Uzak Giriş-Çıkış Modülü – RIOM (Remote I/O Module)

Modüler tasarım sayesinde, giriş-çıkış ve haberleşme arayüzü ihtiyaçlarına göre, her bir bilgisayar aşağıda listelenen modüller kullanılarak yapılandırılabilir:

- CPU-1101 / CPU-1102 İşlemci Modülü
- CAN-9002 CAN Haberleşme Modülü
- MVB-9004 MVB EMD Haberleşme Modülü
- COM-9001 Seri Arayüz Haberleşme Modülü
- DIM-4001 / DIM-4003 Sayısal Giriş Modülü
- DOM-5001 Sayısal Çıkış Modülü
- AIM-2001 / AIM-2002 Analog Giriş Modülü

TKYS birimleri ihtiyaca göre aşağıda belirtilen sayılarda dış dünya arayüzü sağlayabilmektedir:

- 3 x 100 Mbit/s Ethernet Arayüzü
- Multifunction Vehicle Bus (MVB) Electrical Middle Distance Medium (EMD) arayüzü
- 2 x Controller Area Network (CAN) veri yolu arayüzü
- 2 x RS232/RS422/RS485 seri haberleşme arayüzü
- Değiştirilebilir sayıda sayısal giriş kanalı (en fazla 288)
- Değiştirilebilir sayıda sayısal çıkış kanalı (en fazla 288)
- Değiştirilebilir sayıda analog akım giriş kanalı (en fazla 144)
- Değiştirilebilir sayıda analog gerilim giriş kanalı (en fazla 144)

## ÇEVRE KOŞULLARI ÖZELLİKLERİ

**Düşük Sıcaklıkta Çalışma**

Bilgisayar EN 50155:2017 standardında belirtildiği üzere -25 °C sıcaklıkta çalışmaya başlayabilmektedir.

**Yüksek Sıcaklıkta Çalışma**

EN 50155:2017 standardına uygun tasarlanan ve üretilen bilgisayar +70 °C sıcaklıkta çalışabilmektedir.

**Düşük Sıcaklıkta Depolama**

EN 50155:2017 standardında uygun olarak bilgisayar -40 °C'ye kadar olan sıcaklıkta depolanabilecek şekilde geliştirilmiştir.

**Düşük Basınç (Yükseklik)**

EN 50125:2014 standardına uygun tasarlanan ve üretilen bilgisayar 85.65kPa (deniz seviyesinden 1400m yüksekliğe kadar) değerine kadar düşük basınçta çalışabilmektedir.

**Titreşim**

Fonksiyonel Rasgele Titreşim: EN 61373:2010

Temsili Uzun Ömür Testi: EN 61373:2010

**Şok**

EN 61373:2010

**Nem**

EN 50155:2017

**Yalıtım**

Yalıtım Ölçüm Testi: EN 50155:2017

Gerilim Dayanım Testi: EN 50155:2017

EN 50155:2017 standardına göre, 1500 VDC gerilim seviyesinde elektriksel yalıtım sağlanmaktadır.

**Yangın Koruması**

EN 45545-2:2013+A1:2015.

Elektromanyetik Uyumluluk Özellikleri

EN 50121-3-2:2016+A1:2019

RAYLI SİSTEMLERDE TEKNOLOJİK GELİŞİM

# YAZILIM GELİŞTİRME

SAFETY

## EMNİYET KRİTİK YAZILIM NEDİR?

Günümüzde kullandığımız neredeyse tüm elektronik cihazlar yazılım içermektedir ve bu yazılımların hepsinde belirli hatalar bulunmaktadır. Cihazların ömürleri boyunca, bu hatalar güncellemelerle giderilmeye çalışılmaktadır. Kritik sistemlerde ortaya çıkabilecek bir hata, ciddi ekonomik ve hayati kayıplara yol açabilecek düzeyde olabilmektedir. Bu sebeple, bu sistemlerde yazılım sahada kullanmaya başlamadan önce geliştirme aşamasında hataları tespit edilip giderilmesi amaçlanmaktadır.

Kritik sistemlerin çeşitleri üç gruba ayrılabilir:

- Emniyet kritik sistemler (Safety Critical Systems)
- Amacı kritik sistemler (Mission Critical Systems)
- İşi/kullanıcısı kritik sistemler (Business Critical Sytems)

Emniyet kritik sistem yazılımları genelde uzay, havacılık, nükleer santraller, demiryolu sistemleri gibi insan hayatı ve maliyet yönünden olası hataların telafisinin çok zor olacağı yazılımlardır. Bu olası durumların önüne geçebilmek için uluslararası kurumlar tarafından çeşitli standartlar oluşturulmuştur.

Kritik sistemlerde oluşabilecek hatalara çok dramatik bir örnek 2016 yılında Hitomi uzay teleskopunda yaşanmıştır. Hitomi japonca "göz bebeği" anlamına gelmektedir. Bu uzay teleskopu Japonya tarafından 17 Mart 2016 yılında uzaya fırlatılmıştır. Ancak 26 Mart 2016 günü uzay teleskopu kontrol yazılımında bir hata oluşmuştur. Bu hatanın sebebinin kontrol yazılımından kaynaklanan bir durum olduğu sonradan belirlenmiştir. Teleskop üstünde bulunan çift cayro sensörlerinin her ikisinden de yanlış veri gelmesi üzerine kontrol yazılımı uydunun döndüğünü düşünmüştür. Bunun akabinde uyduyu yeniden konumlandırmak üzere itki üreten motorların çalıştırılmasıyla uydu gerçekten dönmeye başlamış ve yörüngeden çıkmıştır. Bu durumu düzeltmek üzere uyduya yer istasyonundan test edilmemiş konumlandırma verileri yüklenmiştir. Dönen uydu gelen test edilmemiş yeni verilerle daha hızlı dönmeye başlamış ve Gözbebeği Japon uydusu uzay boşluğunda döne döne kaybolmuştur. Yazılım ve insan hatası sebebiyle 286 milyon Dolarlık bir maddi kayıp yaşanmıştır. Bu durum hatalı bir yazılımın ve yeterince test edilmemiş verilerin ne denli büyük sorunlara yol açabileceğini gözler önüne sermektedir.

Raylı sistemlerde çalışan emniyet kritik yazılımlardaki hatalar maddi kayıp yanında, çevre hasarına, yaralanmaya ve en önemlisi can kayıplarına yol açabilmektedir. Uzay, havacılık, nükleer santraller gibi demiryolu sinyalizasyon yazılımları da emniyet kritik yazılımlardır. Bu kapsamda diğer yazılımlardan temel farklılıkları vardır;

- **Risk Yönetimi:** Emniyet kritik yazılımlar, potansiyel tehlikeleri belirlemek ve azaltmak için sıkı risk yönetimi süreçlerine tabi tutulmaktadırlar. Bu süreçler arasında kapsamlı test, doğrulama ve onay prosedürleri yer almaktadır. Sistemin güvenilirliğini ve güvenliğini sağlamayı amaçlar. Emniyet kritik olmayan yazılımlar aynı seviyede inceleme ve risk azaltma önlemlerini gerektirmeyebilir.

- **Düzenleyici Uyumluluk:** Emniyet kritik yazılımlar genellikle güvenilirlik ve güvenirliklerini sağlayan belirli düzenlemelere ve standartlara tabi olmaktadır. Raylı sistemlerde geliştirilen yazılımlar için geçerli olan standart EN 50128' dir. Raylı sistemler, havacılık, uzay ve nükleer enerji gibi endüstriler, emniyet kritik sistemlerin geliştirilmesini, sertifikasyonunu ve işletilmesini düzenleyen sıkı düzenleyici çerçevelere sahiptir. Emniyet kritik olmayan yazılımlar böylesine katı düzenleyici gereksinimlere sahip olmamaktadır.

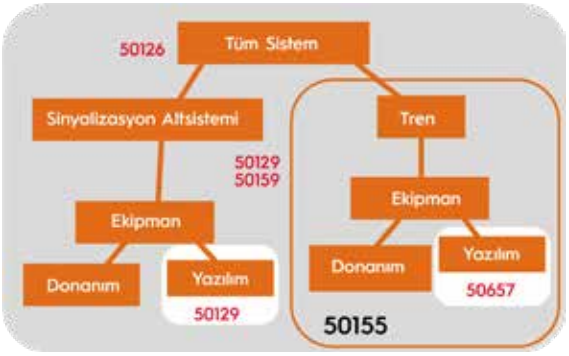
- **Geliştirme Uygulamaları:** Emniyet kritik yazılım geliştirme, emniyet analizi, formel yöntemler, hata toleransı ve yedeklilik gibi özel uygulamalarla gerçekleştirilmektedir. Bu uygulamalar, başarısızlık olasılığını en aza indirmeyi ve beklenmedik olaylara karşı sağlamlık oluşturmayı amaçlamaktadır. Buna karşılık, Emniyet kritik olmayan yazılım geliştirme işlevsellik, performans ve kullanılabilirlik gibi diğer faktörlere öncelik vermektedir.
- **Sertifikasyon ve Onay:** Emniyet kritik yazılım genellikle tabi olduğu standartlara uyumunu ispatlamak için resmi sertifikasyon ve onay süreçlerine ihtiyaç duymaktadır. Sertifikasyon süreci bağımsız üçüncü taraf kuruluşlar veya düzenleyici organlar tarafından yapılmaktadır. Emniyet kritik olmayan yazılımlar böylesine resmi sertifikasyon prosedürlerine ihtiyaç duymamaktadır.

Genel olarak, Emniyet Kritik olan sistemlerle Emniyet kritik olmayan sistemler arasındaki temel fark; başarısızlıkla ilişkili potansiyel riskler ve sonuçlar, düzenleyici denetim düzeyi ve Emniyet Kritik Yazılımın güvenirlik ve güvenilirliğini sağlamak için kullanılan özel geliştirme uygulamalarıdır.

## EMNİYET KRİTİK YAZILIM GELİŞTİRME SÜRECİ

Emniyet kritik yazılım gerektiren sistemlerde, son kullanıcıya ulaşılmadan önce tüm hataların tamamen giderilmesi ve giderildiğinin gerçekten çok iyi bir şekilde test edilmesi gerekmektedir. İşte bu doğrultuda dünyanın önde gelen firmaları ve bilim adamları bir otorite oluşturarak emniyet kritik yazılım geliştiren kişilere ders kitabı niteliğinde, tavsiye verici standartlar hazırlamışlardır. IEC 61508 tepe standart olmakla birlikte altında farklı alanlara özel birçok standart barındırmaktadır.

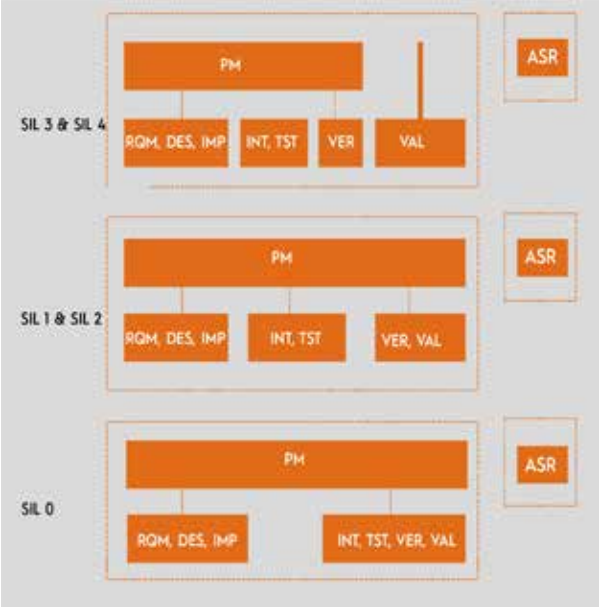
Demiryolu sinyalizasyonunda yazılım özelinde kullanılması zorunlu olan EN 50128 standardı, tren sistemlerinde oluşabilecek yazılım hatalarının hayati bir kaza ile sonuçlanmaması için hem izlenmesi gereken süreçler hem de uygulanması gereken metodolojiler açısından dikkat edilmesi gerekenleri ve süreçlerin uygulandığına dair kanıtların nasıl olması gerektiğini tanımlamaktadır. Ayrıca, yazılım çalışmalarına başlamadan önce yapılması gerekenlerden, yazılımın tamamlanması ve bakım aşamasında dahi neler yapılması gerektiğine dair tanımlamaları içermektedir.

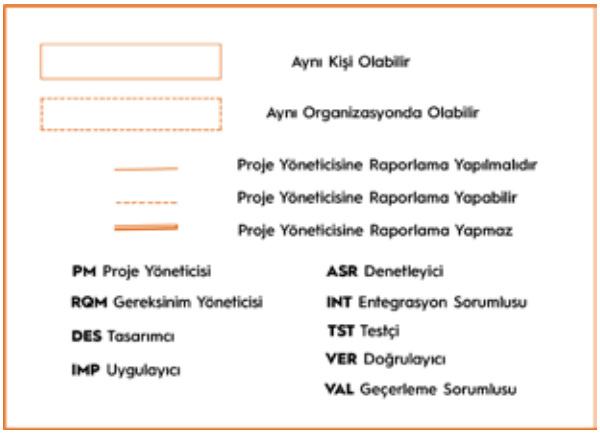



Raylı sistemlerde tüm yazılım geliştirme süreçleri EN 50128 standardında tanımlanmıştır. Raylı sistemlerde, yazılımın emniyet kritiklik seviyesi SIL (Safety Integrity Level) yani Emniyet Bütünlük Seviyesi ile tanımlanmaktadır. Emniyet Bütünlük Seviyesi, bir emniyet fonksiyonu tarafından sağlanan göreceli risk azaltma seviyesi olarak veya bir hedef risk azaltma seviyesi belirtmek için tanımlanabilmektedir. Yazılımın Emniyet Bütünlük Seviyesine göre gerçekleşecek aktiviteler, izlenecek yol ve oluşturulması gereken doküman setleri farklılık göstermektedir. Emniyet seviyesi arttıkça yapılan yazılım testleri ve oluşturulan raporlarla birlikte üretilen çıktıların sayısı artmakta ve kabul edilebilir hataların oranı ise düşmektedir. Emniyet kritiklik seviyesi, sistemde bulunan Tolere Edilebilir Tehlike Oranı (THR) ile orantılıdır.

| TFFR Saat ve Fonksiyon Başına | Güvenlik Bütünlük Seviyesi |
|---|---|
| $10^{-4} \leq$ TFFR $< 10^{-5}$ | 4 |
| $10^{-3} \leq$ TFFR $< 10^{-4}$ | 3 |
| $10^{-2} \leq$ TFFR $< 10^{-3}$ | 2 |
| $10^{-1} \leq$ TFFR $< 10^{-2}$ | 1 |

EN 50128 standardına göre yazılım geliştirme ilk önce organizasyonun ve görev sorumlulukların belirlenmesi ile başlamaktadır. Emniyet Bütünlük Seviyesi arttıkça rollerin ve bu rollerdeki kişilerin birbirinden daha da bağımsız olmaları gerekmektedir. Bu sayede oluşturulan çıktılarda oluşabilecek herhangi bir hatanın, farklı rol ve kişiler tarafından tekrar tekrar gözden geçirilerek ortadan kaldırılması sağlanmaktadır.



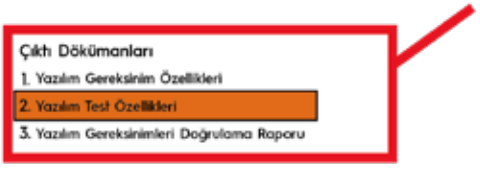

Raylı sistemler için emniyet kritik yazılım geliştirme faaliyetlerinde V-Model uygulanmaktadır. EN 50128 standardı V- Modelde, ilgili fazda hangi tasarım faaliyetlerinin yapıldığını net bir şekilde tanımlamaktadır. Her fazda uyulması gereken teknikler ve ölçümlerde standart içerisinde net bir şekilde yer almaktadır. Ayrıca ilgili fazın girdi dokümanları ve de çıktı dokümanları belirlenmiş olup standart içerisinde yer almaktadır. Bu dokümanlar daha sonrasında sertifikasyon sürecinde denetleyici otorite tarafından kontrol edilmektedir.

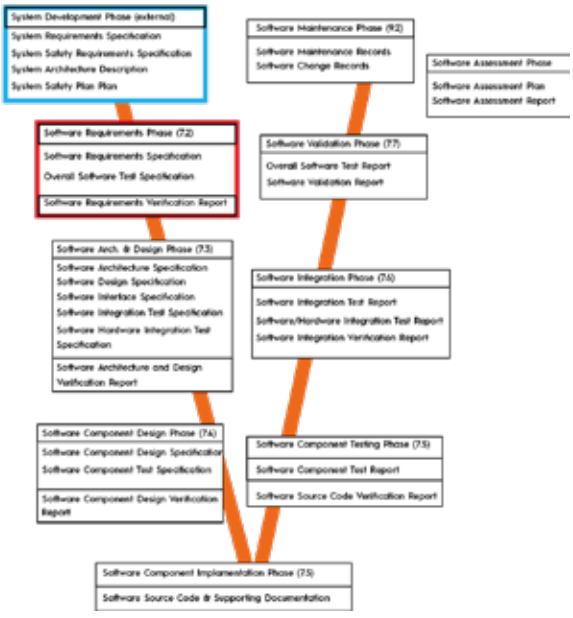
## Yazılım V-Modeli Aşamaları

Table A.7- Yazılım Testleri ( 6.2 and 7.2 )

| TEKNİK / ÖLÇÜM | REF | Basic Integrity | SIL 1 | SIL 2 | SIL 3 | SIL 4 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. Performans Testleri | Table A.18 | - | HR | HR | M | M |
| 2. Fonksyonel ve Kara Kutu(Black Box) Testleri | Table A.14 | HR | HR | HR | M | M |
| 3. Modelleme | Table A.17 | - | R | R | R | R |

Gereklilik:
1) SIL 1 ve SIL İçin Onaylanmış Teknik 1 ve 2 Kombinasyonu Kullanılmalıdır.



Şüphesiz ki Emniyet Kritik yazılımlarda kusursuz bir ürün çıkarmanın en önemli noktalarından birisi de iyi bir planlama yapmaktadır. EN 50128 standardı da projenin en başında plan dokümanlarının oluşturulmasını beklemektedir. Bu sayede projenin en başından itibaren kimlerin hangi rolde yer alacağı, hangi faaliyetlerin gerçekleşeceği, versiyon numaralarının nasıl tanımlanacağı, hangi testlerin ne zaman ve nasıl yapılacağı ve en önemlisi de bu faaliyetlerin nasıl doğrulanacağı gibi bilgiler net bir şekilde tanımlanmaktadır.

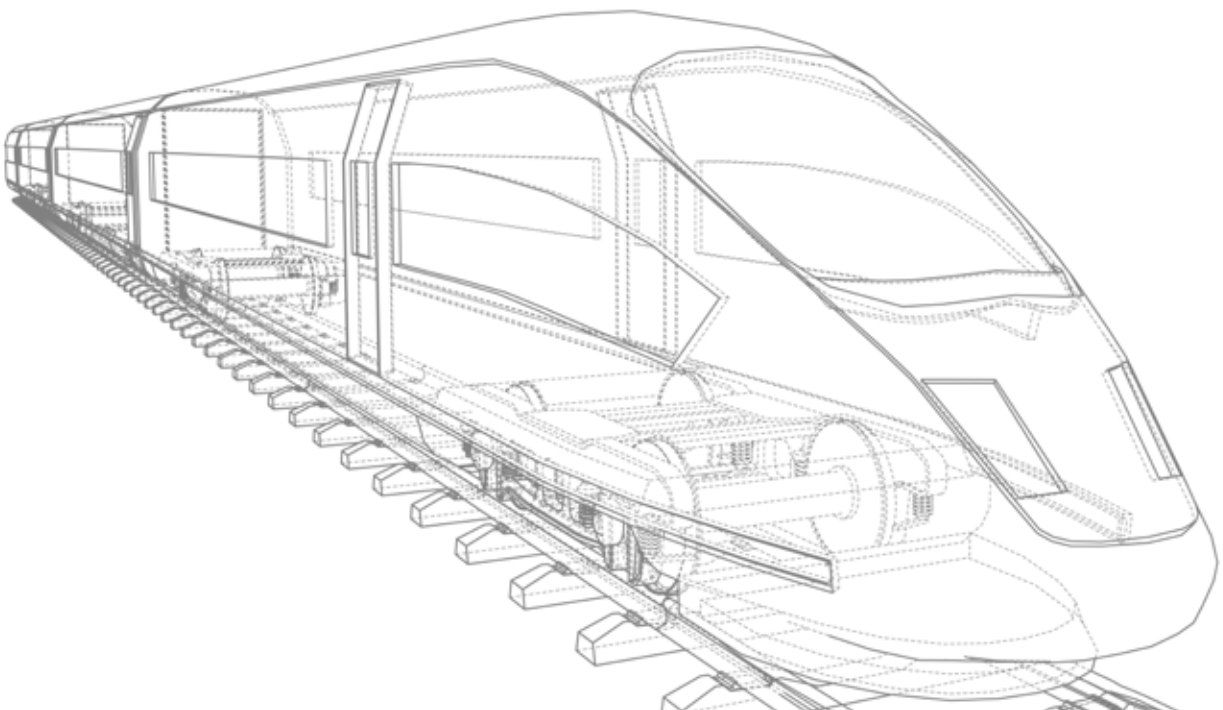
Yazılım geliştirme faaliyetleri sistem faaliyetlerinin olgunlaşması ile başlamaktadır. Bu aşamadan itibaren yazılım gereksinimleri hazırlanarak, sistem gereksinimleri ile çift yönlü izlenebilirliği kurulur. Bu izlenebilirlik yazılım test tanımları ve yazılım test raporlarına kadar gidecek olan sağlam bir izlenebilirliktir. Hatalardan arındırılmış ve de sertifikasyon sürecine girebilir bir yazılım çıkarabilmek için izlenebilirliğin çok iyi kurulmuş olması gerekmektedir.

Daha sonrasında tasarım fazı başlar ve bu faz ile birlikte bütünsel gereksinimler en küçük birimlere kadar dağıtılarak bu birimlerin geliştirmeleri yapılmaktadır. Her fazın sonunda doğrulama çalışmaları yapılmaktadır. O faza ait bütün çıktılar ilgili ekipler tarafınca gözden geçirilerek bütün bulgular toplanmaktadır. Daha sonrasında bu bulgular ile raporlar hazırlanarak gerekli düzeltme ve iyileştirmelerin yapılması sağlanmaktadır. Bu aşamada olası problemlerin bulunarak çözüme ulaştırılması daha sonrasında oluşabilecek maliyetleri düşürmektedir.

Gereksinimlerin en küçük birimlere indirgenmesi ve tasarımı yapılan yazılım birimlerinin ayrı ve detaylı testlere tabi tutulmasından dolayı model tabanlı yaklaşım yaygın olarak kullanılmaktadır.

Model tabanlı yazılım geliştirme, kaynak kodlarından önce yazılım modellerinin oluşturulmasını öngören bir süreçtir. Yazılım geliştirme iterasyonlara bölünerek V modele uygun şekilde geliştirilmektedir. Karmaşık sistemler basite indirgenerek daha anlaşılır bir model haline getirilmektedir. Girdi ve çıktı değerleri belirlenmiş gerçeklenen algoritmik veya mantıksal işlemler tanımlanmıştır. Model, bir sisteme ait işlevi ve davranışlarını biçimsel olarak belirtmektedir.

Model tabanlı yazılım geliştirme konseptinin ilk kullanımı NASA'da ortaya çıkmıştır. Havacılıkta yazılımların mazisi çok eskiye dayandığı için NASA tarafından uzaya gönderilmiş önceki uyduların yazılım bakımlarını yapacak mühendis bulmakta zorlanır çünkü mühendisleri emekli olmuştur. Yeni mühendisler bu eski tasarım ve artık kullanılmayan programlama dilleri ile yazılmış yazılımları anlamakta ve bakımlarını yapmakta zorlanmaktadır. Daha önce geliştirilmiş yazılımların bakımları yaptırılmak istendiği zaman ortaya çıkan bu sıkıntılar üzerine model tabanlı yaklaşım geliştirilmiştir. Model tabanlı geliştirme, programlama dillerinden bağımsız tasarımı ifade eden bir yaklaşımı ortaya koymaktadır.



ASELSAN UGES Sektör Bşk. bünyesinde yürütülen Emniyet Kritik Projelerde gereksinim yönetimi, model tabanlı tasarım, doğrulama ve sertifikalı kod oluşturma yetenekleri olan araçlar kullanılmaktadır. Geliştirilen modellerden otomatik oluşturulan kaynak kodları demiryolu sinyalizasyon yazılımlarında yaklaşık %72 gibi bir orana karşılık gelmektedir. ASELSAN bünyesinde geliştirilen yerli araç üstü sinyalizasyon kontrol yazılımında toplam kod sayısı yaklaşık olarak 380.000 satıra ulaşmıştır.

Kullanılmakta olan bu geliştirme araçları ile birlikte emniyetli yazılım geliştirme maliyetleri ve yazılım test sürelerinde büyük kazançlar sağlanmaktadır. Bu geliştirme ortamları ayrıca sertifikasyon sürecinde üretilmesi gereken rapor ve dokümanlar anlamında da çok avantaj sağlamaktadır.

| | |
|---|---|
| Model Tabanlı Kod Satır Sayısı | ~72.000 |
| Tasarımcı Tarafından Yazılan Kod Satır Sayısı | ~28.000 |
| Uygulama Toplam Kod Satır Sayısı | ~100.000 |
| İşletim Sistemi Kod Satır Sayısı | ~280.000 |
| Toplam Satır Kod Satır Sayısı | ~380.000 |

Sinyalizasyon Kontrol Yazılımı görevleri;

1. Trenlerin belirlenen hız sınırlarını aşmalarını engellemek,
2. Acil durumda belirli bir alanda trenin güvenli duruşunu sağlamak,
3. Tren kontrol birimleri ile arayüz ve veri paylaşımının sağlamak,
4. Trenin otomatik olarak işletimini sağlamaktadır (GOA Grade of Automation 1-4).

Model tabanlı geliştirilen kontrol yazılımının, donanım üzerinden veri alış verişi sağlayabilmek ve belirli bir kurgu ile çalışabilmek için gerçek zamanlı bir işletim sistemi ile birlikte çalışması gerekmektedir. Yerli araç üstü sinyalizasyon kontrol yazılımında işletim sistemi olarak 2oo2 mimarisine sahip sertifikasyona tabi tutulmuş gerçek zamanlı işletim sistemi kullanılmıştır. Bu işletim sisteminin başlıca şu görevleri yürütmesi beklenmekte;

- Rastgele olmayan bir görev sıralaması sağlamak,
- Hafıza koruması sağlamak,
- İşlem yapan birimler (düğümler) arası mantıksal olarak izleme sağlamak,
- Düğümler arası sürekli olarak veri kontrolü sağlamak,
- Belirtilen sürelerde tanı işlemlerini yapmasını sağlamak,
- Donanımın yazılımı kontrol etmesini sağlamak,
- Yazılımın donanımı kontrol etmesini sağlamak,

İşletim sistemi, sürücü yazılımları, uygulama yazılımı ve diğer yazılım birimleriyle birlikte aşağıdaki gibi bir yazılım mimari yapısı tasarlanmıştır. Sinyalizasyon Kontrol Yazılımı modüler, katmanlı ve model tabanlı bir yazılım mimarisi üzerinde kurulmuş ve SIL4 seviye işletim sistemi ile donanıma bağımlılığı en aza indirgenmiştir.

En alt katmanda gerçek zamanlı işletim sistemi bulunmaktadır. Gerçek zamanlı işletim sistemi sayesinde hem hafıza kullanımı hem de işlemci kullanımı açısından tamamen birbirinden bağımsız hale getirmektedir.

Bir üst katmanda Donanım Erişim Kart Destek Paketi (BSP- Board Support Package) ve Sürücü (Device Driver) yazılımları bulunmaktadır. Bu yazılımlar, uygulamadan bağımsız tamamen donanıma özgü olarak geliştirilmektedir. Donanım değişliği olduğunda bu yazılımlar güncellenmektedir. Kart Destek Paketi ve Sürücü yazılımları, kullanılan işletim sistemine özgü uygulama yazılımlarına arayüz sağlamaktadır. Sonraki katman, ilk iki katmandan bağımsız olan uygulama yazılımları ise;

- Algılayıcı Yazılımları,
- Kat Edilen Mesafe Ölçümü Yazılımı,
- Zaman Filtresi Yazılımı,
- Donanım Kontrolü Yazılımı,
- Senkronizasyon Yazılımıdır.

En üst seviyede bulunan sistem yönetim yazılımı;

- Tüm sistemin çalışır duruma geçmesi,
- Yazılımlarının sağlıkları çalışmalarını kontrol etmek,
- Hata kontrolü ve yedekleme geçiş görevleri vardır.

İşletim sisteminin özelliklerine ek olarak, ortak neden hataların (CCF-Common Cause Failure) ortadan kaldırılması maksadıyla ve SIL 4 standartlarını sağlamak için farklı iki sertifiye edilmiş derleyici kullanılmıştır. Sertifiye edilmiş derleyiciler;

- Belirli bir doğrulama sürecinden geçen,
- Hata ve tespit önlemeyi ön planda tutan,

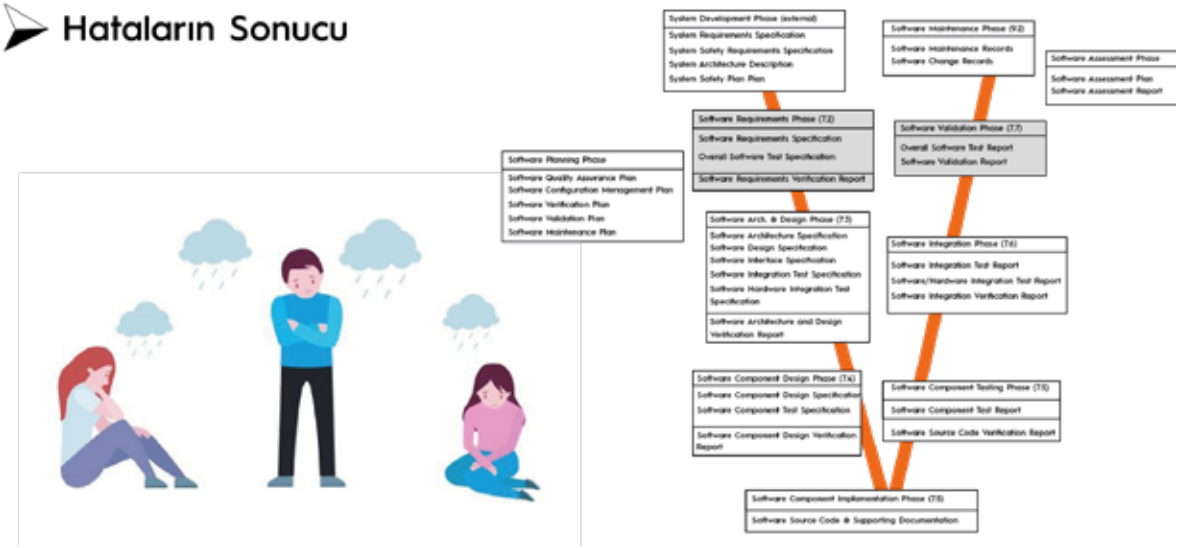
Doğrulukları matematiksel ve biçimsel yöntemler ile kanıtlanmış derleyicilerdir.

Böylelikle aynı yazılım farklı iki derleyici ile derlenip farklı donanımlara yüklenmektedir.

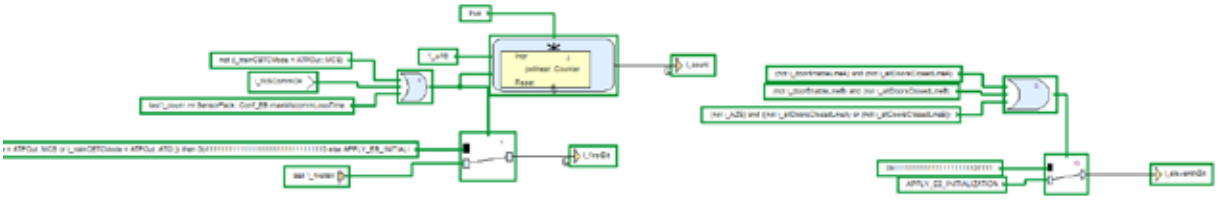
# EMNİYET KRİTİK YAZILIMLARDA SERTİFİKASYONA UYGUN TEST PRATİKLERİ

Emniyet kritik yazılım geliştirirken dikkat edilmesi gereken en önemli husus test faaliyetlerinin tanımlı, planlı ve doğru bir şekilde yapılmasıdır. Yazılım faaliyetlerinin en başında oluşturulan Test Plan dokümanında süreç boyunca hangi test faaliyetlerinin yapılacağı, ne zaman yapılacağı ve nasıl doğrulanacağı bilgisi yer almaktadır. Bu doğrultuda, test faaliyetleri planlı bir şekilde yapılmaktadır.

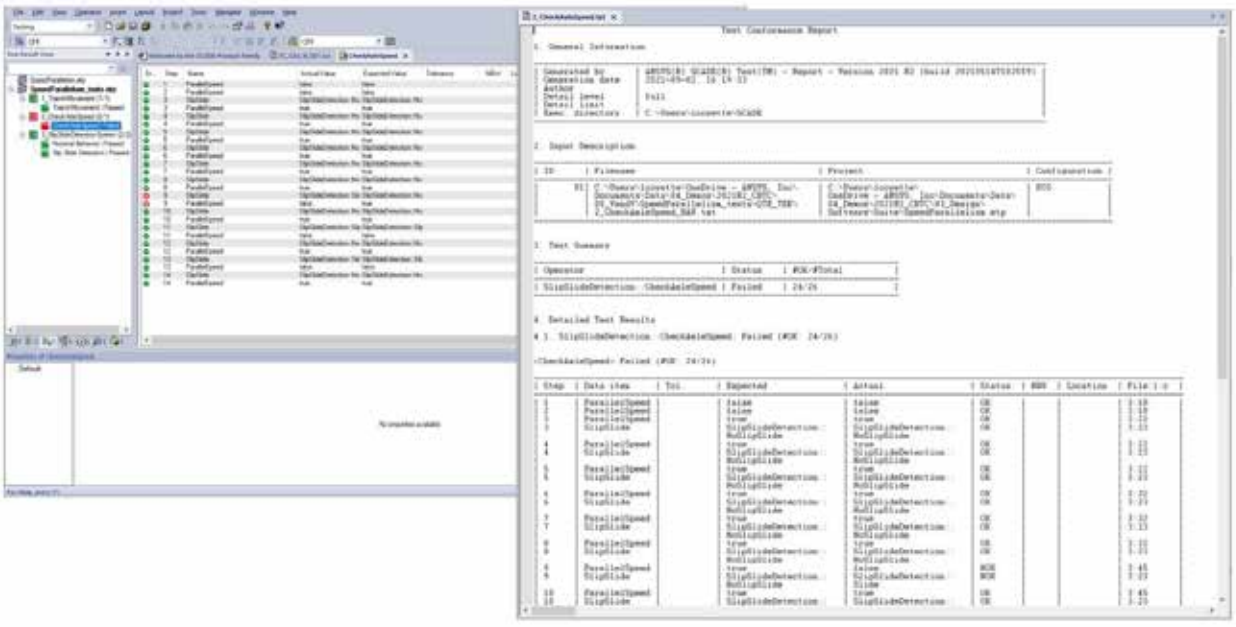
Yapılan araştırmalara göre bir hatanın tasarım aşamasında çözülmesi gereksinim fazında çözülmesine göre 5 kat, kodlama fazında çözülmesi 10 kat, kabul testleri sırasında çözülmesi 20-50 kat, son olarak, operasyon sırasında çözülmesi 100-200 kat daha maliyetli olmaktadır. Bu sebeple tasarım fazında mümkün mertebe bütün yazılım hatalarının detaylı yazılım testleri ile temizlenmesi hedeflenmektedir. Şekildeki V-Modelde görüldüğü gibi modelin sağ tarafında bir hata ile ne kadar yukardaki bir aşamada karşılaşılırsa, geri dönülecek aşama sol tarafta da o kadar yukarı seviyede olacaktır.

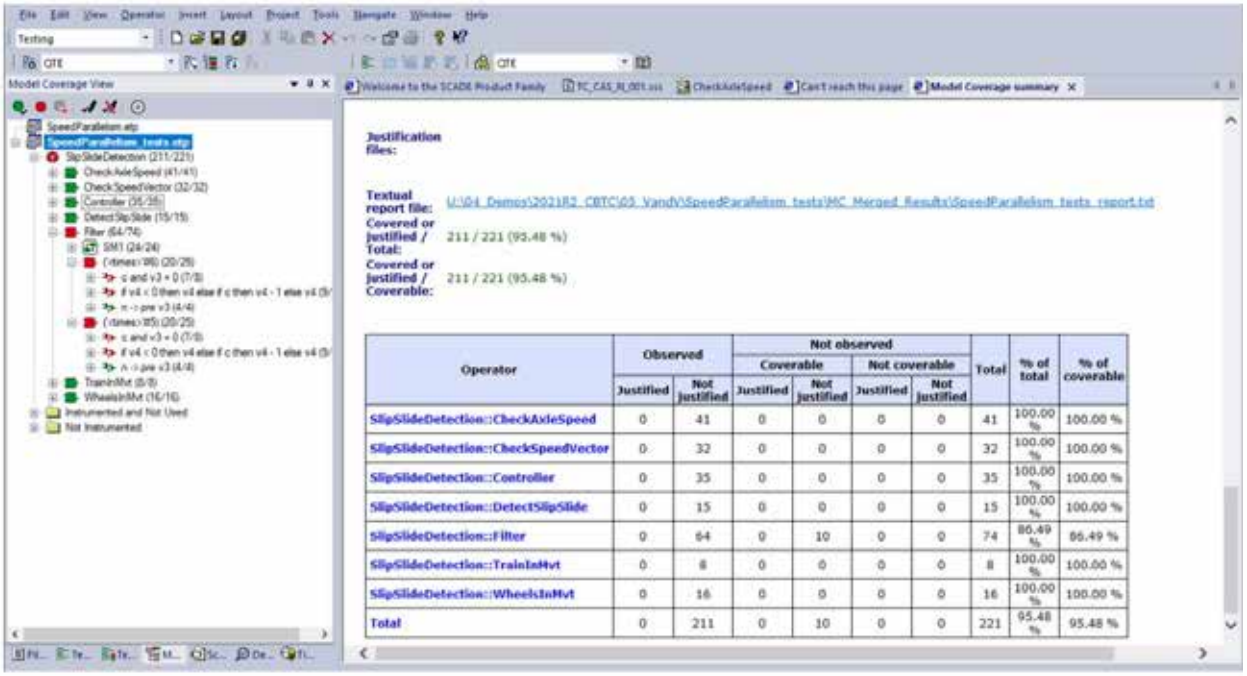



Raylı sistemler özelinde uygulanan EN 50128 standardında 4 farklı test tanımı yer almaktadır. Bunlardan ilki birim test faaliyetleridir. Tasarım aşamasında yazılım model tabanlı programlama konsepti ile geliştirilmektedir. Model tabanlı geliştirme aracı, birim testleri yapılırken doğrudan model üzerinde bir test faaliyeti gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Standart birim testlerine ek olarak model üzerinde doğrudan modeli test ederek modelin içinde olan aritmetik ve mantıksal işlemler test edilmektedir. Bu işlemlerin ne kadarlık bir kısmının test kapsamına girdiği de görülebilmektedir. Yazılım test uzmanına modelin herhangi bir kısmında olası bir senaryonun, her hangi bir değişkenin aldığı tüm değerlerin test edilip edilmediğini de anlık olarak takip etme imkanı vermektedir. Test senaryolarının tüm kodun ne kadarını kapsadığı takip edilip sonuçlara göre test senaryolarının sayısı arttırılarak birim testlerinde yüzde yüz yakınlığa ulaşılması sağlanmaktadır. Model üzerinde yapılan testlerde kullanılan araç, test uzmanına test edilmeyen bir kısım olup olmadığını farklı renkler ile göstermektedir. Kullanılan test aracı, örneğin mantıksal bir değişkenin sadece bir durumunu test ediyorsa değişkeni turuncu ile boyamaktadır. Tüm durumlar test ediliyorsa yeşil ile boyamaktadır. Hiçbir durum test edilmediğinde ise kırmızı ile boyamaktadır.



Emniyetli yazılım projelerinde kullanılan geliştirme araçları genellikle test sonuçlarını raporlayabilme yeteneğine sahip olmaktadır. SIL (Safety Integrity Level) yani Emniyet Bütünlük Seviyesi standartlarda tanımlanmaktadır. SIL, sistemin emniyet kritiklik seviyesini ifade etmek için kullanılmaktadır. Sinyalizasyon sistemleri, görevleri sebebiyle, en yüksek emiyet kritik seviye olan SIL 4 standardını kullanılmaktadır. Bu sistemlerde kullanılan test aracının aynı zamanda sertifikasyon otoritesi tarafından kabul gören SIL 4 uyumluluğuna sahip olması bir zorunluluktur. Test aracı, hem birim testlerinin işleyişine dair sonuçları hem de modelin ne kadarının kapsandığı bilgisini (Coverage Analysis) içeren 2 farklı rapor üretebilmektedir. Oluşan raporlarda tasarımı yapılmış modelin içinde ulaşılamayan ya da test edilemeyecek kısımları varsa bunlar da ayrıca belirtilmektedir.





Justification files:

Textual report file: U:\04_Demos\2021R2_CBTC\03_Vandi\SpeedParallelism_tests\MC_Merged_Results\SpeedParallelism_tests_report.txt

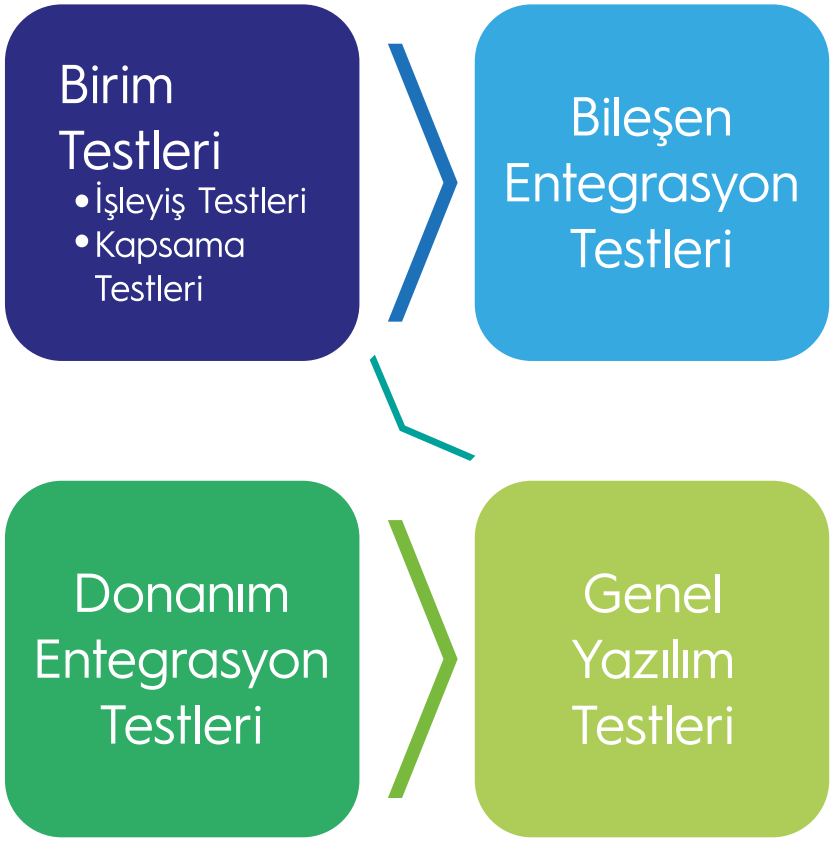
Covered or justified / Total: 211 / 221 (95.48 %)

Covered or justified / Coverable: 211 / 221 (95.48 %)

| Operator | Observed | | Not observed | | | | Total | % of total | % of coverable |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Coverable | | Not coverable | | | | |
| | Justified | Not justified | Justified | Not justified | Justified | Not justified | | | |
| SlipSlideDetection::CheckAxleSpeed | 0 | 41 | 0 | 0 | 0 | 0 | 41 | 100.00 % | 100.00 % |
| SlipSlideDetection::CheckSpeedVector | 0 | 32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 32 | 100.00 % | 100.00 % |
| SlipSlideDetection::Controller | 0 | 35 | 0 | 0 | 0 | 0 | 35 | 100.00 % | 100.00 % |
| SlipSlideDetection::DetectSlipSlide | 0 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15 | 100.00 % | 100.00 % |
| SlipSlideDetection::Filter | 0 | 64 | 0 | 10 | 0 | 0 | 74 | 86.49 % | 86.49 % |
| SlipSlideDetection::TrainInMvt | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 100.00 % | 100.00 % |
| SlipSlideDetection::WheelsInMvt | 0 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16 | 100.00 % | 100.00 % |
| Total | 0 | 211 | 0 | 10 | 0 | 0 | 221 | 95.48 % | 95.48 % |

Birim testlerin tamamlanması sonrası bu birimlerin birbiri ile entegre bir şekilde çalışabilir oldukları da yine model tabanlı test aracı üzerinden test edilmektedir. Her bir birimin birleştirilmiş olduğu büyük resim üzerinden bütün blokların giriş ve çıkışları birbiri ile entegre bir şekilde çalıştığını test edebilmek adına test senaryoları oluşturularak birim entegrasyon testleri tamamlanmaktadır.

Daha sonrasında oluşturulmuş olan bu yazılımın donanım üzerinde çalışabilir oluğunun ispatı için nihai yazılım gerçek donanım üzerine yüklenerek daha önce tanımlı olan test tanımlarının testleri gerçekleştirilmektedir. Bu aşamada bütün yazılım testi yapılmasından daha çok yazılımın cihaz üzerinde çalışmasında herhangi bir sorun var mı, yazılım ile donanım arasında bir uyumsuzluk söz konusu mu, yazılım donanıma doğru yapıldı mı gibi kontroller yapılmakta ve test sonuçları bütün testlerde olduğu gibi raporlanmaktadır.




Son olarak genel yazılım testleri yapılmaktadır. Bu aşamada yazılım donanım üzerine yüklenerek, nihai kullanım senaryoları test edilmektedir. Yapılan bu etraflı yazılım testlerinde kullanılan senaryolar çok daha kapsamlı olmakla beraber artık model tabanlı bir test uygulaması üzerinde değil gerçek bir cihaz üzerinde testler yapılmaktadır. Cihaza doğrudan bağlanılarak elektriksel arayüzler gerekli giriş değerleri ile beslenerek uygulama senaryolarının çalışması ve uygun sonuçların üretildiği gözlemlenmektedir.

Emniyet kritik bir yazılım geliştirirken kaynak kod içinde olan her fonksiyon her komut test edilmeye çalışılır ki test kapsamı yüzde yüze yaklaşabilsin. Bu sebeple tasarım faaliyetlerinin yoğunluğu kadar ciddi bir de test ağırlığı ortaya çıkmaktadır. Manuel olarak yapılan testlerin günlerce sürmesi, testlerin yavaş ilerlemesi, yapılan testlerin büyüklüğü ve sıklığı göz önünde bulundurularak ASELSAN bünyesinde yeni bir Test Aracı gerçeklemesinin gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu sebeple, ASELSAN bünyesinde testlerin otomatize edebil-

mesini sağlayan yeni araçlar geliştirilmiştir. Bu sayede yazılım testlerini yapan uzman personelin günlerce süren genel yazılım test faaliyetleri, kaydedilen test senaryolarının otomatik olarak hedef donanım üzerinde birkaç saat içerisinde gerçeklenmesi sayesinde kolaylaşmıştır. Ayrıca test maliyetlerinden ve zamandan tasarruf edilmesi sağlanmıştır.

Birbirinden bağımsız test uzmanları tarafından paralel testlerin koşturulması sağlanarak, personel bazlı problemlerin ortadan kaldırılması sağlanmıştır. Böylelikle, bütün test raporları çapraz bir şekilde kontrol edilmektedir. Buna ek olarak her faaliyet sonrasında olduğu gibi test faaliyetleri sonrasında da gözden geçirmeler gerçekleştirilerek tespit edilemeyen durumların oluşması engellenmeye çalışılmaktadır.

Emniyet Kritik yazılım testlerinde normalden farklı olarak testi yapan test uzmanı bir nevi test edilmektedir. Projelerin organizasyonunda EN 50128 standardının belirtmiş olduğu gibi doğrulama ve geçerli kılma görevleri yer almaktadır. Doğrulayıcı, yazılım test uzmanının tüm faaliyetlerini denetlemektedir. Ayrıca dilediği takdirde Test Sorumlusu ile beraber test yapabilme, testleri yeniden tekrarlatabilme yetkisine sahiptir. Bu sayede farklı Test Sorumluları tarafından test faaliyetlerinin denetimi gerçekleştirilmektedir. Yapılan kontroller gözden geçirme raporlarında yer almaktadır.

# TREN KONTROL VE YÖNETİM YAZILIMI

Trenler, modern toplumlarda yolcu ve yük taşımacılığında kullanılan, uzun mesafeleri kat edebilme özelliği ile büyük yolcu kapasitesine sahip, verimli ve çevreci ulaşım araçlarıdır. Trenlerde verimliliği sağlayan ana etmen tek bir operatör ile yüzlerce yolcuyu ya da büyük miktarda yükü taşıyabilmesidir. Yüzlerce kişinin aynı anda güvenli ve emniyetli bir şekilde seyahat etmesi için ise bu devasa araçların içerisinde bulunan güç, çekiş, frenleme, kapı kontrolü, yolcu bilgilendirme, havalandırma ve klima gibi onlarca alt sistemin bir arada uyumlu çalışabilmesi, kontrol ve yönetimlerinin sağlanabilmesi, kondüktörlerin anlık bilgilendirilmesi ve olası hata durumlarında önlem alınabilmesi gerekmektedir. Tüm bu fonksiyonları tek merkezden yönetmeyi sağlayan sistem ise Tren Kontrol ve Yönetim Yazılımı olarak adlandırılmaktadır.

Tren Kontrol ve Yönetim Yazılımı üzerinde bulunduğu trene özgü fonksiyonları yerine getirmek amacıyla özelleşmiştir. Bu yazılımlar, farklı sayıda araçlardan oluşabilecek farklı konfigürasyonlarda çalışma ihtiyacı göz önünde bulundurularak tasarlanmalıdır. Örneğin; işletme açısından bölgesel bir hat için 3 araçlı konfigürasyona sahip bir tren yeterli iken, şehirlerarası yolculuklar için 6 araçlı tren seti tercih edilebilmektedir. Bunun yanı sıra, daha büyük kapasitelerde yolcu taşıma için 5 araç konfigürasyonuna sahip iki tren akuple edilip (2 ayrı tren setinin birbirine bağlanarak çalışması) 10 araçlı bir tren seti elde edilerek de kullanılabilmektedir. İçerisinde onlarca alt sistemin onlarca farklı konfigürasyon ile çalışabildiği bu sistemin demiryolları üzerinde güvenli ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlayan kontrol yazılımları da aynı oranda büyük ve karmaşık bir yapıya sahiptir.

ASELSAN bünyesinde Tren Kontrol ve Yönetim Yazılımları kapsamında, Merkezi Kontrol Birimi (CCU – Central Control Unit), Uzak Giriş/Çıkış Birimi (RIOM – Remote Input Output Module), İnsan Makine Arayüz Birimi (HMI – Human Machine Interface) ile bu birimlerin yazılımları ve Servis Yazılımı geliştirilmektedir.

Tren Kontrol ve Yönetim Yazılımının haberleştiği ve kontrol işlemlerini gerçekleştirdiği birimler şu şekildir:

**Güç**

Elektrikli trenlerde güç çoğunlukla ray boyunca döşenen katener hatlarından (Demiryolu taşıtlarına elektrik enerjisi sağlamak amacıyla kullanılan hat) sağlanmaktadır. Ülkemizde bu katener hatlarındaki standart gerilim 24500 V'tur. Tren bu gücü tren içi sistemleri beslemek için 220V'a ve bataryalar için 110V'a indirmektedir. Bu süreçte güç iletimi için pantografların indirilmesi/kaldırılması, gücün vagonlar arası iletimi, acil durum ya da güç kesintisi olması durumunda tren içi fonksiyonların önceliklendirilerek beslenmesi gibi işlevlerin kontrolü ve bu fonksiyonlardaki hataların operatöre iletilmesi Tren Kontrol Yazılımı'nın sürüş güvenliği açısından en kritik görevlerinden biridir.

**Çekiş**

Milli Elektrikli Tren Seti projesinde ASELSAN tasarımı ve üretimi Cer sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemde mevcut ve istenen hız değerleri, rayın eğimi ve yük gibi etmenlere bağlı olarak gereken tork hesaplanmakta ve ilgili vagonların cer birimlerine iletilmesi TKYS üzerinden sağlanmaktadır.

**Fren**

Trenlerde frenleme trenin ağırlığı, rayların eğimi, güç hattının durumu ve hatta havanın sıcaklığı gibi birçok etmeni hesaba katarak yürütülen karmaşık bir süreçtir ve frenlemede koşullara göre pnömatik (havalı) fren ile hidrolik fren kullanılmaktadır. Bu etmenleri göz önünde bulundurarak uygulanması gereken fren sistemlerini istenilen koşullarda devreye almak, düşük sıcaklıkta gerekirse kumlama yapmak gibi güvenlik açısından kritik süreçlerin yönetimi Tren Kontrol Yazılımı tarafından yürütülmektedir.

**Kapılar, Aydınlatma, Silecekler ve Tuvalet**

Trenin seyir halindeyken iç kapılarının açılabilir, dış kapılarının kapalı durumda olması ya da acil durumlarda açılması gibi kontroller yolcu ve seyahat güvenliği ve konforu için elzemdir. Bu tür kontrollerin setteki tüm vagonlar için izlenmesi ve kontrol edilmesi Tren Kontrol Yazılımı tarafından yapılmaktadır.

Kapılar dışında trenin dış farları, setlerin iç aydınlatmaları ve acil durum aydınlatmaları operatör

tarafından izlenmekte ve arıza durumları bildirilmektedir. Trende bulunan tuvaletlerle ilgili de kullanılabilirlik ve su tankı doluluk durumu gibi bilgiler ile uyarılar operatöre Tren Kontrol Yazılımı üzerinden bildirilmektedir.

**Yolcu Bilgilendirme, Yangın Alarmı**

Yolculardan gelen acil durum alarmları, yangın alarmları gibi durumların operatöre iletilmesi, gereken anonsların yapılması ve ilgili önlemlerin alınması gibi güvenlik açısından önemli fonksiyonlar ile yolculuk hakkında (Anlık hız, konum, bir sonraki durak gibi bilgiler) yolcuları bilgilendirmeye yönelik sistemler Tren Kontrol Yazılımı üzerinden işlemektedir.

**Havalandırma ve Klima**

Tren içindeki havalandırma ve klima sistemleri yolcuların seyahat konforunu iyileştirmenin dışında pnömatik frenlerin çalışmasında da rol oynamaktadır. Bu nedenle bu sistemlerin Tren Kontrol Yazılımı aracılığıyla operatör tarafından kontrol edilmesi, basınç değerlerinin izlenmesi ve sorunların raporlanması sürüş güvenliği için kritik önemdedir.

## YAZILIM GELİŞTİRME SÜRECİ

Raylı sistemlerde gömülü yazılım geliştirme faaliyetleri sonrasında ortaya çıkacak olan ürünün kalitesi, doğruluğu ve güvenirliliği çok önemlidir. Fonksiyonel olarak müşteri ihtiyaçlarını tam karşılayan, emniyet kritiklik seviyesine uygun ve hatasız bir yazılımın geliştirilmesi, sistematik ve aşamalı bir süreci takip etmek ile mümkündür.

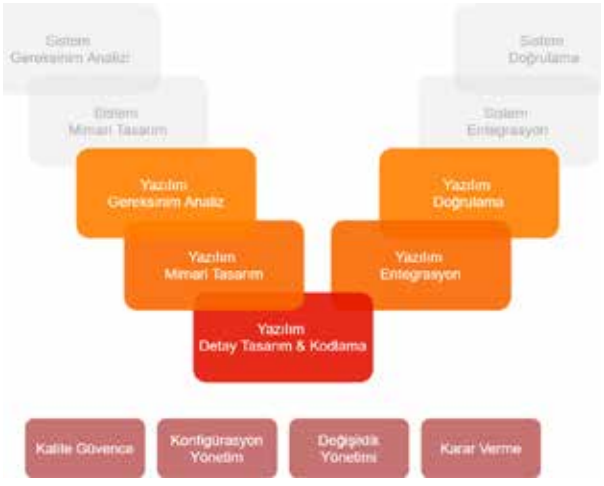
Bu sistematik yaklaşım, müşteri ihtiyaçlarından başlayarak birçok süreci içerisinde barındıran V-model üzerine kurulmuş bir dizi faaliyetler bütününden oluşmaktadır. V-model içerisinde sistem, donanım, mekanik ve yazılım gibi mühendislik disiplinlerine ait süreçlere ek olarak konfigürasyon, değişiklik yönetimi, kalite güvence gibi destek süreçleri ve proje yönetimi, risk yönetimi gibi organizasyonel süreçler bulunmaktadır.

Müşteri gereksinimlerinin elde edilmesinden itibaren gerçekleşen bir dizi sistem seviyesi faaliyet ile sistem tasarımının oluşturulması sonrasında yazılım alanın faaliyetleri başlamaktadır. Bu noktadan sonra ilk olarak yazılım gereksinimleri türetilmektedir. Bu aşamada gereksinimler, teknik fizibilite ve risk tanımlama için analiz edilmektedir.

Gereksinim analizi sonrası genel bir yazılım mimarisi oluşturulmaktadır. Alternatif olabilecek farklı mimariler ortaya konulup karar verme süreçleri işletilerek belirli kriterleri en iyi şekilde karşılayan yazılım mimarisi tasarlanmaktadır. Mimari tasarım aşamasında model tabanlı geliştirme yapılmaktadır.

Mimari tasarım ardından, yazılım detaylı tasarımı ve kodlama aşamaları gelmektedir. Kodlama sırasında önceden tanımlanmış kodlama kurallarına uyularak statik kod analizi gerçekleştirilmektedir.

Kodlaması gerçekleştirilmiş yazılımın önceki süreçlerde türetilmiş her bir yazılım gereksinimini karşıladığı yazılım testleri ile doğrulanmaktadır. Bu faaliyetler sırasında tüm süreç çıktıları arasında izlenebilirlik kurulmaktadır. Böylece müşteri ihtiyaçlarından başlanarak sistem seviyesinde gerçekleştirilen tasarım, yazılım süreçleri sonunda sistem seviyesi testlere hazır duruma gelmektedir.

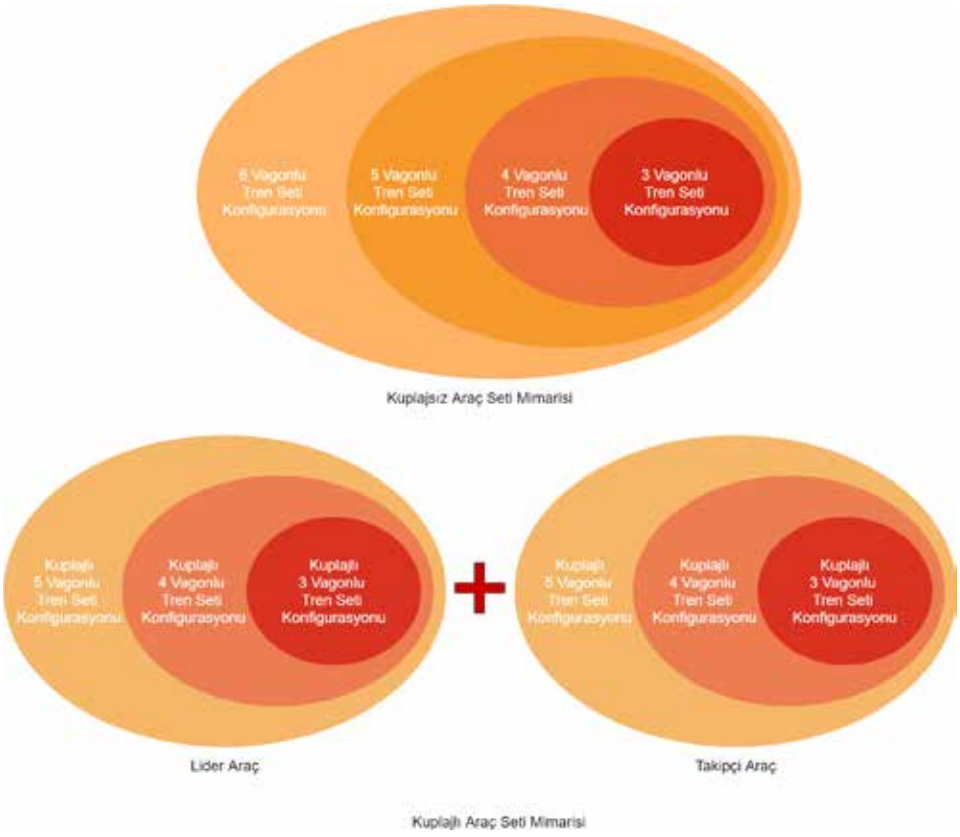



Yazılım Geliştirme Süreci

Yazılım geliştirme süreçleri sayesinde ortaya çıkabilecek risklerin değerlendirildiği, sistematik yöntemler kullanılarak kararlar alınan ve her bir gereksinimin doğru tasarlanıp kodlandığından emin olunan bir yazılım ortaya çıkarılmaktadır.

# TREN KONTROL YÖNETİM SİSTEMİ YAZILIMI ÇOKLU ARAÇ SETİ MİMARİSİ

28 %
0 %
FAULT
DOOR
SR
NRBD
USBD
VVVF FLT
SIV FLT
ECU FLT
DeadMan
HSCB
ESK
EB
HB
PB
RESET
FAULT
MR. BC
POSITION STO

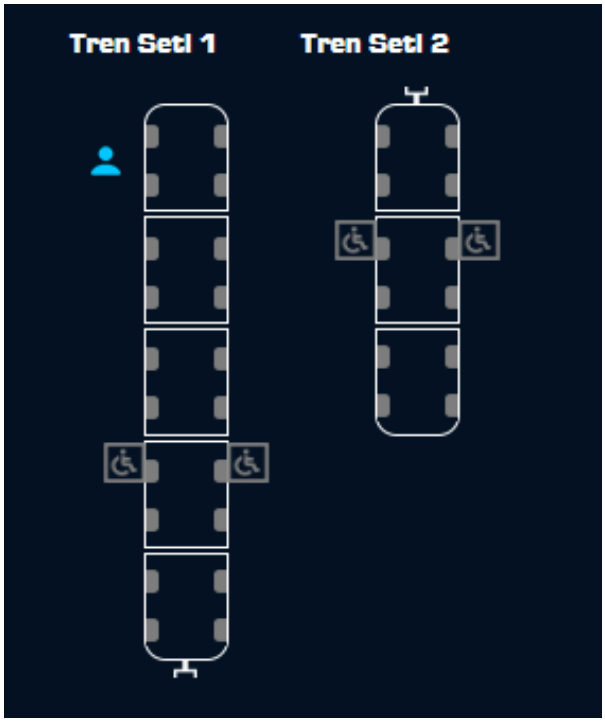



ASELSAN tarafından tasarlanan tren kontrol yönetimi yazılımları farklı konfigürasyonlardaki (örneğin 3 vagonlu, 4 vagonlu, 5 vagonlu veya 6 vagonlu) tren setleri ile uyumlu çalışabilecek şekilde geliştirilmiştir. Ayrıca iki ayrı tren seti birbirine bağlanarak kuplajlı tren seti oluşturulması durumda, TKYS bu iki tren setini bir sürücü kabininden kontrol edebilmektedir. Farklı konfigürasyonlardaki tren setlerinin akuple edilmesi (örneğin 3 vagonlu + 4 vagonlu ya da 5 vagonlu + 5 vagonlu) de mümkündür. Merkezi tren kontrol yönetim yazılımının tüm treni yönetebilmesi için tren setindeki tüm vagonlarla haberleşmeyi sağlaması gerekmektedir. Onlarca farklı konfigürasyonu tek başına yönetebilme kabiliyetine sahip bir tren kontrol yazılımı modüler bir yapıya sahip olmalıdır ve bu nedenle tren setinin kaç vagondan oluştuğu fark etmeksizin doğru konfigürasyonda çalışabilecek bir yapıda tasarlanmıştır.

Merkezi tren kontrol yönetim yazılımı, tren setinin vagon sayısı bilgisini çalışma esnasında donanımdan okumakta ve bu bilgiye göre fonksiyonları ve parametreleri yapılandırmaktadır. Yazılım, ilk olarak bu bilgiyi donanımdan okuduktan sonra tren setinin mod ayarlarını yapmakta ve daha sonra hangi durumlarda hangi fonksiyonları hangi parametrelerle çağıracağını ilgili tren seti sınıflarını oluşturarak dinamik yapıyı sağlamaktadır. 6 vagonlu tren seti, en kapsamlı tren seti olduğu için tüm konfigürasyonlara sahipken, 3 vagonlu tren seti ise kapsamı en az olan tren setidir. 3 vagonlu tren seti, baz konfigürasyon olarak kabul edilmiş ve her ekstra vagon için ek konfigürasyon tanımlanarak katmanlı bir mimari tasarımı inşa edilmiştir. 4 vagonlu tren setinde yazılım çalıştırıldığında öncelikle 3 vagonlu tren seti konfigürasyonları yapıldığı için, yazılım ek olarak sadece dördüncü vagonun konfigürasyon ayarlarını oluşturmaktadır. Bu şekilde, her tren seti için bir eksik sayıda vagonlu tren setinin konfigürasyonu zaten yapılandırılmış olmakta ve buna ek olarak en son birleştirilmiş olan vagonun konfigürasyonu yapılandırılmaktadır. Bu katmanlı mimari, merkezi tren kontrol yönetim yazılımı en kapsamlı tren setinde çalışarak doğrulandığında diğer tren setlerinde de (3,4,5 vagonlu) dolaylı yoldan doğrulanmış olmasını sağlamaktadır.

Kuplajlı tren setlerinde aynı merkezi tren kontrol yönetim yazılımı çalışmaktadır. Kuplajlı trenin konfigürasyonları için hazırlanan tasarım çok büyük oranda kuplajsız tasarıma benzemektedir. Merkezi tren kontrol yazılımı, tren setinin kuplajlı olup olmadığı bilgisini ilgili bağlantı noktasından okuduktan sonra ilgili fonksiyon ve parametreleri kullanıma hazır hale getirmektedir. Kuplajlı tren setlerinde bir tren seti lider olarak, diğeri ise takipçi olarak kabul edilmektedir. Lider tren setinin konfigürasyon ayarları kuplajsız tren setinde olduğu gibidir. Takipçi tren setinin konfigürasyon ayarları ise bağlantı noktasındaki bilgiye göre yazılım çalışmaktayken değişebilmektedir. Kuplajsız tren setinde olduğu gibi, takipçi tren setinin konfigürasyonu, bir eksik sayıda vagonlu takipçi tren setinin konfigürasyonu üzerine ek olarak en son birleştirilmiş olan vagonun konfigürasyonu yapılandırılarak inşa edilmektedir.

Merkezi tren kontrol yazılımının modüler yapıya sahip olması, tüm araç sayısı ve kuplaj durumlarında esnek bir yapılandırma için yeterli değildir. Bunun yanı sıra operatörlere gerçek zamanlı izleme, kontrol ve yönetim yeteneği sağlayan HMI (İnsan-Makine Arayüzü) yazılımının da benzer bir altyapıya sahip olması gereklidir.

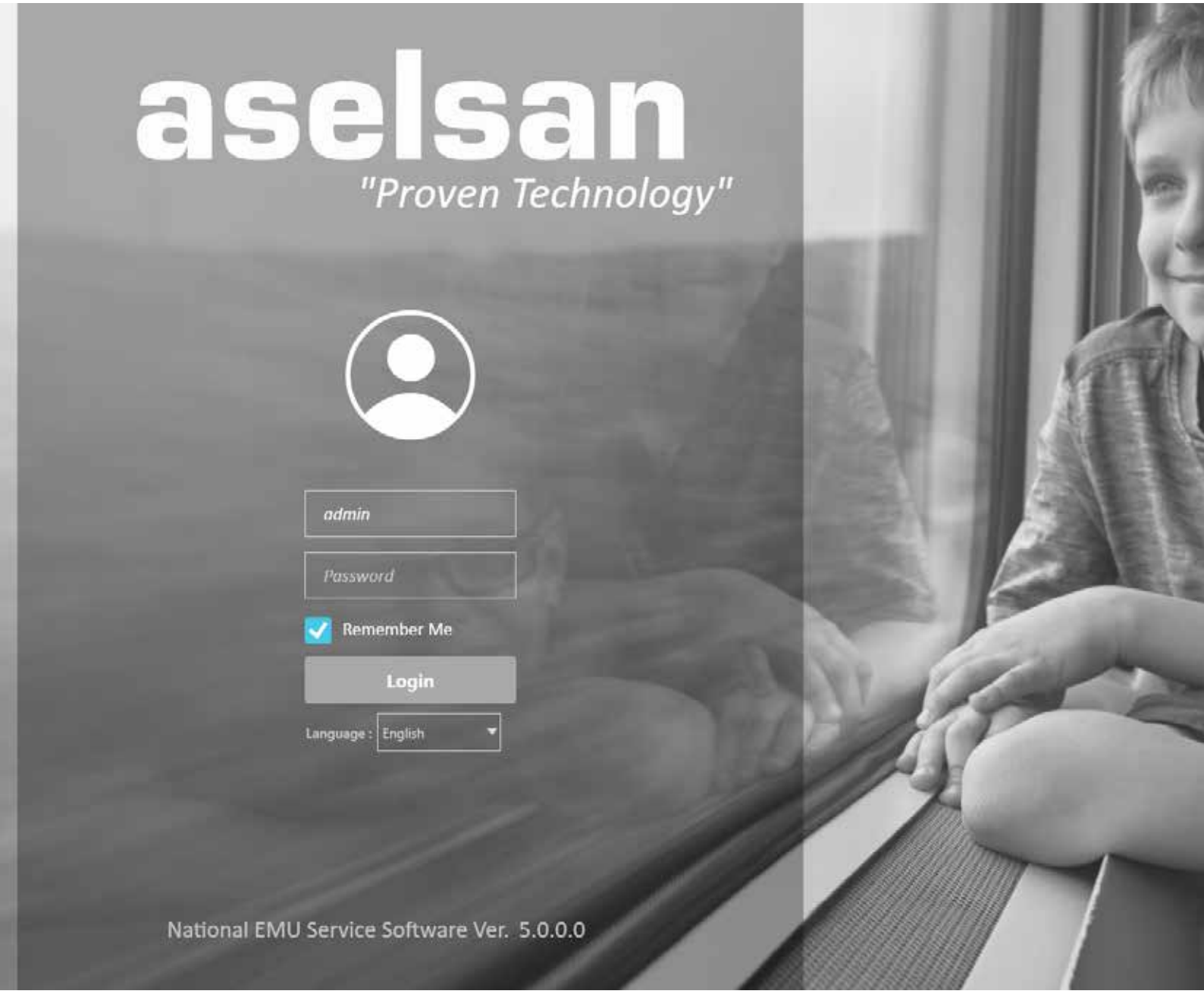



ASELSAN tarafından geliştirilen HMI yazılımı da trenin tüm konfigürasyonları ile çalışabilecek yapıda tasarlanmıştır. Bu tasarımda tren setlerinin kaç araçtan oluştuğu ve kuplaj bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. Merkezi kontrol biriminden gelen bu bilgiler doğrultusunda kendini çalışma esnasında güncel duruma göre yapılandırabilmektedir.

HMI yazılımı mimarisinde model katmanı ve görüntü katmanları ayrı tutulmaktadır. Merkezi kontrol biriminden gelen konfigürasyon bilgisine göre model katmanı güncellenmektedir. Örneğin kuplaj ile birbirine bağlı iki adet 5 araçlı tren seti konfigürasyonu için model katmanı 2 set oluşturmaktadır. Böylelikle bu modeller ekran üzerinde ayrı ayrı gösterilmektedir. Yazılım içerisinde her bir araç seti için araç tipi ve kimlik numaraları bulunduran listeler oluşturulmaktadır. Merkezi kontrol biriminden gelen her bir sinyal bu listede bulunan araçlar ile eşleştirilerek durum güncellemeleri ekran üzerine yansıtılmaktadır. Liste içerisinde bulunan her bir araç setinin mesajları ayrı paketler ile yönetilmektedir. Güncel konfigürasyon içerisinde bulunmayan araç tiplerine ait mesaj paketleri haberleşme hattında bulunmamaktadır. Bu yapı sayesinde haberleşme hattında bant genişliği optimizasyonu sağlanarak tepki süresi en alt limitte tutulmakta, farklı bir araç konfigürasyona geçilse dahi birimler arası fiziksel hattın en verimli şekilde kullanılması sağlanmaktadır.

Farklı sayıdaki araçlardan oluşan tren setlerine uyum sağlamaya yönelik çalışma esnasında yapılandırılabilen merkezi kontrol ve HMI yazılımları, işletmedeki trenlerin farklı kapasitelerde farklı hatlar için yolcu taşıyabilmesine olanak sağlamaktadır. Böylelikle hem bölgesel hatlarda hem de uzun mesafeli şehirlerarası hatlarda aynı yazılım hiçbir değişiklik yapılmaksızın kullanılabilmektedir.

# RAYLI SİSTEMLER SERVİS YAZILIMI




ASELSAN tarafından geliştirilen Raylı Sistemler Servis Yazılımı; tren sistemini izleme, yazılım yükleme/güncelleme, geçmişe dönük kayıt ve hataların analizi gibi pek çok yetenek sunan bir masaüstü uygulamasıdır. Kullanıcı dostu arayüzü ve gereksinimlere göre güncellenebilen uyumlu yapısı sayesinde müşteri ihtiyaçlarına çözüm sunmaktadır.

Servis Yazılımı, CCU, RIOM, HMI ve MVB Gateway birimleri ile Ethernet hattı üzerinden haberleşerek tren içerisindeki CAN, MVB ve Ethernet hatlarındaki verilere erişim sağlayabilmektedir. Uygulama üç ana moddan oluşmaktadır;

- **İzleme Modu:** CCU yazılımının haberleştiği birimlere ait verilerin ve arıza kayıtlarının anlık ve geriye dönük gösterimi yapılmaktadır. Ayrıca, ihtiyaç duyulması halinde ilgili sinyaller kul-

lanıcılara görsel olarak da aktarılabilmekte ve farklı formatlarda raporlanabilmektedir.

- **Yazılım Yükleme Modu:** Bağlı birimler için yazılım yükleme, indirme, içeri aktarma ve silme işlemleri yapılmaktadır. Ek olarak, parametre ayarları yapılabilmekte ve tren birimlerinin IP adresleri güncellenebilmektedir.
- **Simülasyon Modu:** Araç kontrol birimlerine ait çıkış değerleri izlenmekte ve CCU cihazına ait MVB mesajları, RIOM'a giden CAN mesajları ve DOM çıkışları simüle edilebilmektedir. Simülasyon sırasında, güvenlik önlemi olarak CCU yazılım senaryoları çalıştırılmamaktadır.

ASELSAN Servis Yazılımı sayesinde, bahsi geçen özellikler ile mevcut bildirimlerin doğrudan bir bakım önlemiyle ilişkili olup olmadığı değerlendirilir. Analiz sonrasında, yetkili personel tarafından ilgili bileşenlerin kontrolü ve iyileştirme eylemleri ile işletme verimliliğinin artırılması öngörülmektedir.

## RAYLI SİSTEMLER YARDIMCI PROGRAMLAR AİLESİ

Tren Kontrol Birimi ile haberleşen birim ve bu haberleşme için kullanılan parametrelerin sayısı oldukça fazladır. Yazılım geliştirme faaliyetleri sırasında güncellenen müşteri isteklerine ve gereksinimlere hızlı adapte olabilmek amacı ile ASELSAN tarafından bazı yardımcı programlar geliştirilmiştir. Bu programlar sayesinde kod içerisinde geliştirici kaynaklı hataların önüne geçilmekte ve uzun süren kodlama faaliyetleri yerine otomatik kod parçaları ile zamandan tasarruf sağlanmaktadır. Bu programların çıktılarını diğer proje paydaşları da test ve tasarım faaliyetlerinde kullanmaktadır.

Parametrelerin görüntülenmesi, değiştirilebilmesi ve kodun içerisine otomatik olarak eklenebilmesi için "CCU Parametre Editor" programı geliştirilmiştir. Bu program ile trenin çalışması esnasında değişen dinamik parametreler ve tren çalıştırılmadan önce yetkililer tarafından uygun görülen ve değiştirilemeyen statik parametreler kontrol edilmektedir.

Arayüz Kontrol Dokümanı (Interface Control Document -ICD); Tren Kontrol Biriminin tren içerisinde bulunan diğer alt sistemler ile haberleşmesini tanımlayanan ve ilgili tüm proje paydaşlarının ortak olarak yararlandığı önemli bir dokümandır. ICD içerisinde değişken isimleri, alınan ve gönderilen verilerin tipleri ,boyutları gibi özellikler tanımlanmaktadır. Yazılım geliştirme süreci devam ederken, bu özelliklerin güncellenme ihtiyacı doğabilir. Bu durumda, geliştiriciler tarafından kod içerisinde manuel olarak güncelleme oldukça zor ve hataya açık bir hal almaktadır. İnsan hatasını önlemek ve zamandan tasarruf için ASELSAN bünyesinde "Raylı ICD Editor" programı geliştirilmiştir. Bu program sayesinde ihtiyaç duyulan güncelleme otomatikleştirilerek standart hale getirilmiştir.

RAYLI SİSTEMLERDE TEKNOLOJİK GELİŞİM

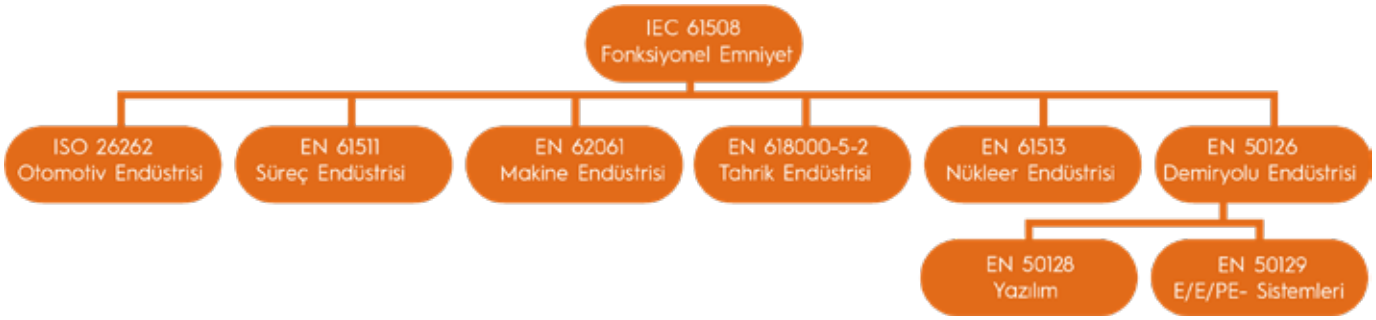
# SİSTEM TASARIM

## RAYLI SİSTEMLERDE FONKSİYONEL EMNİYET MÜHENDİSLİĞİ

### ENDÜSTRİYEL UYGULAMALARDA FONKSİYONEL EMNİYET

Son yüzyıllık süreçte ulaşım servislerinde/sistemlerinde gerçekleştirilen yenilik ve buluşların yaklaşık %80'i yarı iletkenlerle sağlanmıştır. Buna bağlı olarak, otomobillerden raylı sistemlere, gemilerden elektrikli bisikletlere ve hatta traktörlere kadar birçok makine ve ekipmanda elektrik, elektronik ve programlanabilir elektronik (E/E/PE) kullanımı ciddi oranda artış göstermiştir. Bununla birlikte ürünler giderek çok daha karmaşık tasarımlara veya tasarım mimarilerine sahip olmaktadır. Giderek karmaşıklaşan ulaşım sistemlerinde meydana gelebilecek hatalar ve arızalar kabul edilebilir seviyelere indirilmezse çok ciddi kazalara, can ve mal kayıplarına yol açabilmektedir. Bu durumun önüne geçebilmek için sistem tasarım çözümünde kullanılan elektrik, elektronik ve programlanabilir elektronik (E/E/PE) ekipmanlar ve alt-sistemlerin belirli standartlara göre geliştirilmesi gerekir. Ayrıca, bu sistemler emniyet fonksiyonlarında görev ve rol alıyorsa, bu fonksiyonların doğru çalışması, insan hayatının korunması ve çevre felaketlerinin önlenmesinde hayati önem taşımaktadır.

Fonksiyonel Emniyet ile ilgili olarak çerçeve ya da şemsiye standart olarak belirtilen standart IEC 61508 olup; bunun altında birçok endüstri kolu için farklı ve özelleşmiş standartlar da türetilmiştir. Örneğin, Raylı sistemlerde EN 50126, EN 50128 ve EN 50129, Otomotivde ise ISO 26262,




sistemin/ürünün tüm yaşam döngüsü boyunca geçerli endüstri özel standartlardır.

IEC 61508; elektrik, elektronik ve programlanabilir elektronik sistemler için fonksiyonel emniyet çatı standardıdır. Bu standart sistemlerin tasarımı, geliştirilmesi, test edilmesi, işletilmesi ve bakımı sırasında uygulanacak yöntemleri belirler.

Fonksiyonel Emniyetin temel amacı;

- Kabul edilemez risklerin önlenmesi,
- Hayati tehlikelerin önlenmesi,
- Çevre felaketlerinin önlenmesi,
- Büyük çaplı maddi hasarlı kazaların önlenmesi,
- Hayvanların hayatlarının korunması olarak sıralanabilir.

### RAYLI SİSTEMLERDE FONKSİYONEL EMNİYET SERTİFİKASYONU ÖZELİNDEKİ ULUSLARARASI STANDARTLAR

Raylı sistemlerin emniyetli ve güvenli bir şekilde tasarlanması, inşa edilmesi, işletilmesi ve bakımı için uluslararası standartlar belirlenmiştir. CENELEC EN 50126, EN 50128, EN 50129 ve IEC 61508 standartları, raylı sistemlerin emniyet ve güvenlik gereksinimlerini belirleyen ve tasarım, üretim, işletme ve bakım aşamalarında uygulanması gereken yöntemleri tanımlayan standartlardır.

EN 50126 standardı, raylı sistemlerin emniyet gereksinimlerini tanımlar ve bir sistemin işlevlerinin, parçalarının ve alt sistemlerinin güvenilirliğini ispatlamak için risk analizi yapılmasını gerektirir. Bu standart, raylı sistemlerin tasarım, üretim, işletme ve bakımı sırasında uygulanacak yöntemleri belirler.

EN 50128 standardı, raylı sistemlerde kullanılan yazılımların geliştirilmesi, doğrulanması ve geçerlenmesi için gereken süreçleri tanımlar. Bu standart, raylı sistemlerin yazılımının güvenilirliğini sağlamak ve sistemlerin emniyetli ve güvenli bir şekilde çalışmasını sağlamak için gereken tüm faktörleri belirler.

EN 50129 standardı, raylı sistemlerde kullanılan donanımlar için gereken emniyet gereksinimlerini tanımlar. Bu standart, donanımın tasarımı, üretimi, testi ve onaylanması sırasında uygulanması gereken yöntemleri belirler.

## RAYLI SİSTEMLERDE EMNİYET SERTİFİKASYONU

Raylı sistemlerde emniyet sertifikasyonu, bir emniyet kritik sistemin, tasarım, üretim, bakım ve işletme aşamalarında belirli standartlara (CENELEC EN 50126, EN 50128, EN 50129 vb.) uygun olduğunu onaylayan bir sertifikadır. Bu sertifika, yetkili otoriteler tarafından verilir ve raylı sistemlerin emniyetli bir şekilde ilgili uygulama koşulları altında işletilebilmesini sağlar. Bu sertifikasyon ayrıca, raylı sistem işletmecilerinin ilgili yasalara ve düzenlemelere uygun hareket ettiğini de doğrular.

Emniyet sertifikasyonunun olmaması durumunda, raylı sistemlerin emniyetli bir şekilde tasarlanmadığı, üretilmediği, bakımının yapılmadığı ve/veya işletilmediği konusunda bir onay olmayacaktır. Bu durum sistemlerin emniyetinin garanti edilemeyeceği anlamına gelir ve birçok olumsuz sonuç doğurabilir. Örneğin:

- Kaza Riski: Raylı sistemlerde emniyet sertifikasyonunun olmaması, kaza riskini artırabilir. Bu, kullanıcıların yaralanması veya ölmesiyle sonuçlanabilir.
- Güvenlik Sorunları: Emniyet sertifikasyonunun olmaması, raylı sistemlerin güvenlik sorunlarına neden olabilir. Bu, örneğin, raylı sistemlerin terör saldırılarına karşı savunmasız olması anlamına gelebilir.
- Yasal Sorunlar: Emniyet sertifikasyonu, ilgili yasalara ve düzenlemelere uygunluk için gereklidir. Bu sertifikasyonun olmaması, yasal sorunlara neden olabilir ve işletmecilerin para cezası veya diğer yasal yaptırımlarla karşı karşıya kalmasına neden olabilir.

Bu nedenlerle, emniyet sertifikasyonu, raylı sistemlerin emniyetli bir şekilde tasarlanması, üretilmesi, bakımı ve işletilmesi için gereklidir.

## RAYLI SİSTEMLERDE FONKSİYONEL EMNİYET VE GÜVENLİK TERİMLERİ

Türkçede "safety" ve "security" kısaltmalarının her ikisi de güvenlik olarak çevrilebilmektedir. Ancak uygulamada önemli farklılıkları bulunmaktadır.

"Emniyet" esas olarak insanları veya çevrelerindeki ekosistemleri raylı sistem tehlikelerinden korumayı amaçlarken, "Güvenlik (ve dolayısıyla siber güvenlik)" raylı sistemleri çevrelerinden veya çevredeki ekosistemden gelen saldırılara karşı korumayı amaçlar. Raylı sistemlerde de emniyet ve güvenlik terimleri farklı anlamlara sahiptir. Emniyet terimi, bir sistemin belirli bir seviyenin üzerinde risk altında olmaması ve istenmeyen olayların önlenmesi ile ilgilidir. Güvenlik terimi ise bir sistemin işlevini yapabilmesi için sistemin ve kullanıcıların korunması ile ilgilidir.

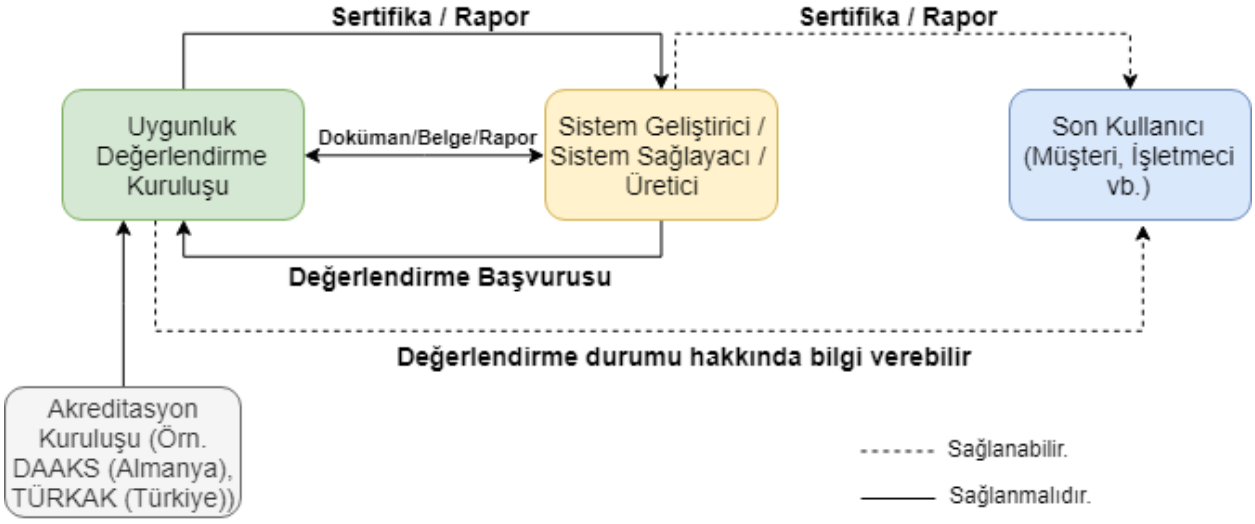
EN 50126 ve TS 50701 standartları, raylı sistemlerin emniyetli ve güvenli bir şekilde tasarlanması, inşa edilmesi, işletilmesi ve bakımı için gereken temel prensipleri belirler. EN 50126 standardı, özellikle endüstriyel uygulamalarda emniyeti, TS 50701 standardı ise bilgi teknolojileri alanında güvenliği ve siber güvenliği tanımlar.

- Emniyet tehlikelere karşı koruma sağlarken, güvenlik tehditlere karşı koruma sağlar.

- Emniyet standardı olarak EN 50126 kullanılırken, siber güvenlik/güvenlik standardı olarak TS 50701/IEC 62443 standartları kullanılır.
- Emniyet seviyeleri için emniyet bütünlük seviyeleri (SIL- Safety Integrity Level) kullanılırken, Güvenlik için güvenlik seviyeleri (SL- Security Level) kullanılır.
- Emniyet için Emniyetle ilgili Uygulama Koşulları (SRAC- Safety Related Application Conditions) tanımlanırken, Güvenlik için Güvenlikle ilgili uygulama koşulları (SecRAC- Security Related Application Conditions) tanımlanır.

## RAYLI SİSTEM PROJELERİNDE FONKSİYONEL EMNİYET DEĞERLENDİRME KURULUŞLARI

Bir üretici, sistem geliştirici veya sağlayıcı aşağıdaki şekilde gösterildiği üzere ilgili sistem veya ürün için bir değerlendirme başvurusu gerçekleştirmektedir. Bu başvuru ürün veya sistemin, son kullanıcının istediği bir sertifika veya rapor olabilir. Son kullanıcı bu ürünü/sistemi nerede kullanılacak ise ona uygun olarak bir uygunluk




Şekil 1: Temel Sertifikasyon Akışı

değerlendirme kuruluşuna gidilmelidir. Uygunluk değerlendirme kuruluşları ilgili akreditasyon kuruluşlarından ilgi standartlar (IEC 17020 – 17021) özelinde değerlendirme kuruluşu olarak yetkilendirilmişlerdir.

AB direktifi 2008/57/EU'ya göre üç farklı değerlendirme kuruluşu bulunmaktadır:

- NoBo, Onaylanmış Kuruluş
- DeBo, Atanmış Kuruluş
- AsBo, Değerlendirme Kuruluşu
- ISA, Independent Safety Assessor

| Faaliyet | Kapsam | NoBo | DeBo | AsBo | ISA |
|---|---|---|---|---|---|
| Karşılıklı İşletilebilirlik (TSI) gereksinimlerinin yerine getirildiğinin değerlendirilmesi ve sistem/alt-sistem/ürün sertifikalandırılması | Ana hat demiryolu sistemleri (hızlı tren, konvansiyonel, banliyö) | X | - | - | - |
| Ulusal gereksinimlerin yerine getirildiğinin değerlendirilmesi ve rapor hazırlanması | Ana hat demiryolu sistemleri (hızlı tren, konvansiyonel, banliyö) | - | X | - | - |
| Sistem/Alt-Sistem bağımsız değerlendirmesi ve rapor hazırlanması ve raporun NoBo ya sunulması (CSM 402/2013 Düzenlemesine göre) | Ana hat demiryolu sistemleri (hızlı tren, konvansiyonel, banliyö) | - | - | X | - |
| Genel Ürün/Uygulama ve Spesifik Uygulama bağımsız emniyet değerlendirmesi ve rapor/sertifika hazırlanması (CENELEC EN 50126/50129/50128 Standartlarına göre) | Ana hat demiryolu sistemleri (hızlı tren, konvansiyonel, banliyö) Metro, Tramvay sistemleri | - | - | - | X |

Direktifler temel alınarak oluşturulmuştur ve bu sayede Avrupa'daki demiryolu sistem/alt-sistem/ürünlerinin Avrupa Birliği çerçevesinde sorunsuz ve emniyetli bir şekilde ülkeler arasında çalışması sağlanmıştır.

AsBo, DeBo, NoBo, ISA faaliyetlerinin çalışma alanları ve farklarını aşağıdaki tabloda görebilirsiniz:

Ülkemizde TSE (Türk Standartları Enstitüsü), Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı yetkilendirmesi ile demiryolu araçlarının test, muayene ve belgelendirme işlemleri ile bakımdan Sorumlu Kuruluşların (ECM) belgelendirme faaliyetlerini yürütmektedir. Ayrıca TS EN/ISO IEC 17065 standardı kapsamında akreditasyon süreçlerini tamamlayarak, ülkemizin demiryolu belgelendirme faaliyetleri kapsamında ilk akredite olan yerli kuruluşu olmuştur.

TS EN 50126 serisi standartlara göre Bağımsız Emniyet Değerlendirme (ISA) ve Demiryolu Araçları Tip Onay Yönetmeliği 7. Maddesi gereği araç tip onayları için uygulanması zorunlu olan Ortak Emniyet Yöntemleri' ne (UTP-GEN G) göre bağımsız risk değerlendirme kuruluşu (AsBo) olarak faaliyet yürütmesi için gerekli altyapı şartlarını sağlayarak, TÜRKAK'tan akreditasyon belgesini almıştır.

Ülkemizin ihtiyaç duyduğu demiryolu araçları tip onay, aksam belgelendirme, ECM belgelendirmesi, ISA ve AsBo faaliyetlerinde TSE bu alandaki yerlileşmeyi tamamlayarak ülkemizin milli belgelendirme kuruluşu olarak faaliyetlerini sürdürmektedir.

Raylı sistemlerin teknoloji ayağında sinyal ve araç üstü kritik birim ve sistemlerin üretilmesinde dışa bağımlılığı azaltmayı ilke edinen ASELSAN, sertifikasyon alanında da dışa bağımlılığı azaltmak üzere yapılan çalışmalara doğrudan destek vermektedir. 18 Ocak 2023 tarihinde imzalanan ASELSAN – TSE iş birliği protokolü ile raylı sistemler sertifikasyon ve belgelendirme alanlarında TSE ile iş birliği yapma kararı alarak sürdürülebilir bir yerlilik vurgusu güçlendirilmiştir.

## İHRACAT İÇİN SERTİFİKASYONUN ÖNEMİ

Emniyet sertifikasyonu; bir ürünün, sistem veya hizmetin emniyetli olduğunu kanıtlayan bir belgedir. Bu sertifikasyon, ihracat yapmak isteyen firmalar için önemli bir belgedir çünkü sağlamış oldukları ürün, sistem veya hizmetin hedef ülkelerdeki emniyet ve güvenlik standartlarını karşılamaları gerekmektedir.

İhracat yapan bir firma, hedef ülkedeki yasal mevzuatlara ve standartlara uygunluğu kanıtlayarak, ürünlerinin emniyetli olduğunu göstermek zorundadır. Emniyet sertifikasyonu, bu kanıtı sağlayan bir belgedir. İhracat yapan bir firmanın, hedef ülkelerde geçerli olan emniyet ve güvenlik standartlarına uygunluğu kanıtlayan bir emniyet sertifikasına sahip olması, global ölçekte rekabet edebilmeye ve ihracat yapabilmeye olanak tanır.

Ayrıca, emniyet sertifikasyonu, bir firmanın müşterilerine güven verir. Bir ürünün emniyetli olduğunu kanıtlayan bir sertifika, müşterilerin o ürüne ve ürünün sağlayıcısının iş süreçlerine olan güvenini artırır. Bu güven ihracat yapan bir firmanın ürünlerinin hedef ülkelerde daha fazla tercih edilmesine olanak sağlar.

## RAYLI SİSTEMLERDE FONKSİYONEL EMNİYET SERTİFİKASYON SÜRECİ

Dünyada çok az firmada bulunan emniyet sertifikasyonu almak, çok sayıda bilinmeyen yeni durumların ortaya çıkmasına zemin hazırlayabilen bir süreçtir. Bu bilinmezlikler arasında şunlar olabilir.

- Yüksek Maliyetler: Emniyet sertifikasyonu almak için gereken tasarım, test ve analiz dokümanlarını hazırlamak oldukça maliyetlidir. Bu nedenle, sertifikasyon süreci yüksek maliyetlerle beraber gelir. Ayrıca, sertifikasyon sürecinin uzun sürmesi de maliyetleri artırır.

- Uzmanlık Gerektiren Alanlar: Emniyet sertifikasyonu süreci, alanında uzman kişiler tarafından yapılmalıdır. Ancak, bu uzmanlıkların çok spesifik ve nadir olması, bu kişilerin bulunmasını ve sertifikasyon sürecinin yönetilmesini zorlaştırabilir.

- Yerel Mevzuat ve Standartlara Uyum Sağlama: Raylı sistemler, farklı ülkelerde farklı mevzuat ve standartlara tabidir. Bu nedenle, bir ülkede alınan bir sertifikasyonun, başka bir ülkede geçerli olmayabilir. Bu durum, sertifikasyon sürecinin farklı ülkelerde yeniden yapılmasını gerektirebilir.

- İletişim Zorlukları: Emniyet sertifikasyonu süreci, birçok farklı paydaş arasında gerçekleşir. Bu paydaşlar arasında sertifikasyon kuruluşları, üreticiler, işletmeciler ve regülatörler yer alır. Bu paydaşlar arasında uygun iletişim ve iş birliği sağlanamazsa, sertifikasyon süreci olumsuz etkilenebilir.

- Emniyet Kültürü ve organizasyonu oluşturmak. Bu bağlamda Fonksiyonel Emniyet Mühendisliği eğitimleri ve sertifikalı personeller ile süreci yönetmek faydalı olacaktır.

Bu durumlar, emniyet sertifikasyonu sürecinin başarıyla tamamlanmasını zorlaştırmaktadır. Ancak, uygun bir planlama, yönetim ve iş birliği ile bu zorlukların üstesinden gelinebilir.

## ASELSAN COBALT CBTC SİSTEMİ SERTİFİKASYON SÜRECİ

Gayrettepe – İstanbul Yeni Havalimanı Metro Sinyalizasyon Sistemi Projesi kapsamında CBTC sistemi için ilgili CENELEC EN 50126/8/9 standartlarına göre bağımsız emniyet değerlendirmesi ihtiyacına karşın yaklaşık 3 yıllık süre boyunca ASELSAN emniyet ekibi ilgili alt yükleniciler ve paydaşlar ile çalışmalarını gerçekleştirerek, sertifikasyon sürecini 30.12.2022 tarihinde başarıyla tamamlamıştır. Alınan sertifika Türkiye'de yerli bir firma tarafından bu kadar büyük bir sistem için alınmış ilk SIL-4 sertifikası olma özelliği taşımaktadır. Geliştirilen sistem, analizler ve mühendislik çalışmalarının doküman setleri (sistem, yazılım ve donanım) başta Gayrettepe İstanbul Yeni Havalimanı Sinyalizasyon Projesi'nde ardından spesifik uygulama olarak Halkalı Yeni Havalimanı, Gebze Darıca sinyalizasyon projeleri ve olası diğer sinyalizasyon projelerinde uyarlanarak kullanılacaktır. GYH Projesi kapsamında gerçekleştirilen sertifikasyon çalışmalarında; Toplamda 400'den fazla doküman (20.000 sayfanın üzerinde) sertifikasyon amacı ile oluşturulup ISA tarafından incelenerek onaylanmıştır.

- Sertifikasyon süreci boyunca denetçi tarafından yaklaşık 1000 teknik not gelmiş olup bu notlar tek tek cevaplanarak kapatılmıştır.
- Bağımsız denetçi, alt yükleniciler ve paydaşlar dahil olmak üzere 6 adet dış denetim gerçekleştirmiştir. Bu denetimler başarı ile tamamlanarak sertifikasyon süreci tamamlanmıştır. Bu denetimlerin kapsamı;
  - Kalite ve emniyet denetimleri,
  - Yazılım test şahitliği denetimleri,
  - Laboratuvar test şahitliği denetimleri,
  - Çevre koşulları test denetimleri,
  - Saha test denetimleri olarak tanımlanabilir.
  - Raylı Sistem faaliyetleri kapsamındaki yetkinlikler

| Tür | Tanım |
|---|---|
| Makale | Visible Light Communications Based Train Control |
| Makale | Development of an Automated Test Environment for the Verification of CBTC On-Board System |
| Makale | An Application of IMM Based Sensor Fusion Algorithm in Train Positioning System |
| Tez | Haberleşme Temelli Tren Kontrol Sisteminde Emniyetli Fren Modeli |
| Tez | Implementation and Efficient Execution of Safe Driving Algorithms on Embedded Systems |
| Faydalı Model | Tren Konumlama Sistemi |
| Patent | Demiryolu Sinyalizasyon Sistemlerinde trenlerin emniyetli ayrım mesafesini kısaltmaya yönelik bir yöntem |
| Patent | Demiryolu Kumanda Merkezleri için Yapay Süpervizör Sistemi |
| Patent | Demiryollarında Otomatik Tren İşletimi Fonksiyonu Altında İşletilen Trenlerin Hat Kapasitesini Arttırmaya Yönelik Bir Yöntem |
| Marka Tescili | COBALT ve COBALT Maestro |

# YÜKSEK EMNİYETLİ (SIL-4) TREN KONUMLAMA VE HIZ ÖLÇÜM SİSTEMİ

Gün geçtikçe şehir içi ve şehirlerarası ulaşımda raylı sistemlerin payı artmaktadır. Yoğun ulaşım ihtiyacını karşılamak için trenlerin hızları ve sefer sıklığı sürekli arttırılmaktadır. Sinyalizasyon sistemlerinin bu koşullarda emniyetli bir kontrol sağlayabilmeleri için tren konumlarını ve hızlarını yüksek doğrulukta ve gecikmesiz bilmeleri gerekmektedir. ASELSAN tarafından geliştirilen Tren Konumlama Sistemi bu ihtiyacı, SIL-4 Emniyet Bütünlük Seviyesinde, Küresel Konumlama Uydu Sistemlerine (GNSS) ihtiyaç duymadan düşük hatalı, yüksek çözünürlüklü ve gerçek zamanlı olarak sağlamaktadır.

## TREN KONUMLAMA SİSTEMİ MİMARİSİ VE BİLEŞENLERİ

Tren Konumlama Sistemi aşağıda verilen bileşenlerden oluşmaktadır:

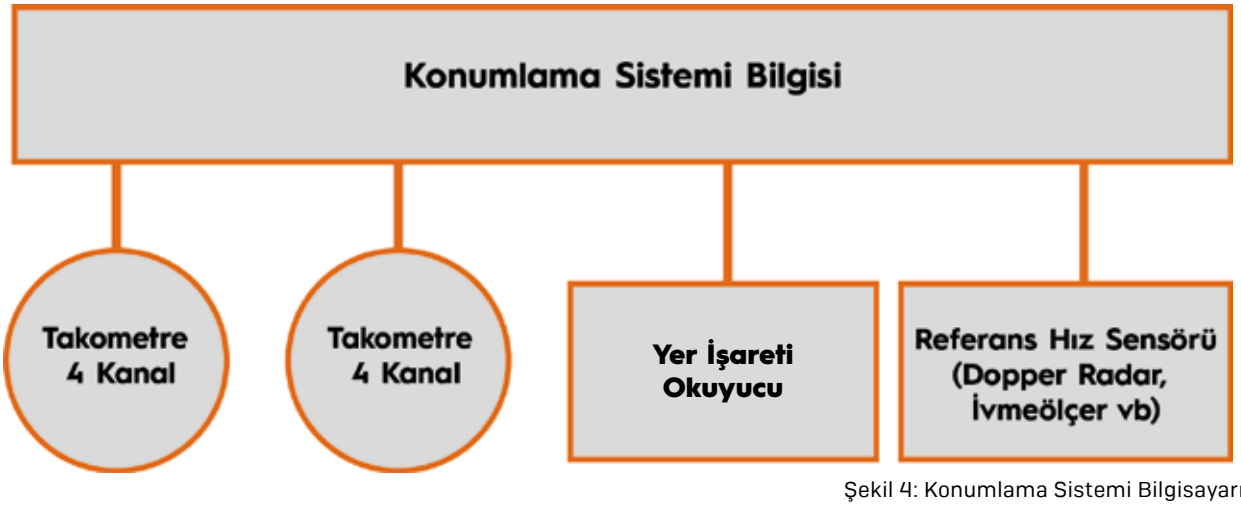
1. 2 adet takometre (Şekil 1): Tren tekerinin aldığı yola göre darbe üretir.
2. Referans hız sensörü: Doppler radar (Şekil 2), ivmeölçer vb.
3. Yer işareti okuyucu: Hat üzerinde bulunan yer işaretlerini (baliz - Şekil 3) okuyan birim.
4. Konumlama Sistemi Bilgisayarı: Sensörlerden gelen verileri okuyan ve işleyen birimdir.

Şekil 1 Takometre

Şekil 2 Doppler Radar

Şekil 3 Yer İşareti (Baliz)

Sistem mimarisi ve bileşenleri Şekil 4'te görülmektedir.




Şekil 4: Konumlama Sistemi Bilgisayarı

Şekil 5'te Konumlama Sistemi Bilgisayarı veri akış şeması verilmiştir. Sensörlerden alınan veri, üç katmanlı hata ve tutarlılık kontrollerinden geçirilmekte, tutarlı sensör verileri konum hesaplamalarında kullanılmakta ve sensörler periyodik olarak kalibre edilmektedir.

Şekil 5 Tren Konumlama Sistemi Bilgisayarı Veri Akış Şeması

## SIL-4 SİSTEM ÇÖZÜMÜ

Kullanılan sensörler herhangi bir emniyet bütünlük seviyesine sahip olmamasına rağmen geliştirilen üç katmanlı hata ve tutarlılık kontrolü sayesinde sisteme SIL-4 emniyet bütünlük seviyesi (Probility of Failure per Hour - PFH<10 üzeri -9) kazandırılmıştır.

Üç katmanlı hata ve tutarlılık kontrollerinde;

- İlk katmanda, Voltaj Seviyesi ve Akım kontrolleri yapılmaktadır. Bu aşamada sensörlerin güç beslemesi ve veri hatları sürekli gözlenmekte ve herhangi bir arıza durumu hemen tespit edilmektedir.
- İkinci katmanda takometrelerin 4 kanalı birbiri ile karşılaştırılmakta ve tutarsız bir kanal var ise hesaplamada kullanılmamaktadır. En az 2 tutarlı kanal olması durumunda o takometreye ait veriler kullanılmaktadır. Referans hız sensörlerinin kendi durum çıktıları değerlendirilmekte ve geçersiz veriler kullanılmamaktadır.
- Üçüncü katmanda ise 3 sensörün verileri karşılaştırılmakta ve tutarsız bir sensör varsa konum hesaplamasında kullanılmamaktadır.

Üç katmanlı hata ve tutarlılık kontrollerinde, tespit edilen hataların büyüklüğü ve süresi gibi değişkenler de kontrol edilmektedir. Bu sayede hatanın kısa süreli bir hata mı yoksa kalıcı bir arıza mı olduğu belirlenmekte ve hata durumu üst sisteme anlık olarak bildirilmektedir.

Trenin farklı iki aksına takılan 2 takometrenin ivme değerleri sürekli izlenmekte ve geliştirilen kayma kızaklama tespit yöntemi sayesinde başka bir referans sensöre ihtiyaç duyulmadan tekerlerdeki kayma kızaklama durumunun saptanabilmesi sağlanmaktadır. Bu sayede takometrelerin boş (çekiş ve fren tertibatı olmayan) akslara takılma ihtiyacı da ortadan kaldırılmıştır.

Referans hız sensörü olarak Doppler Radar, ivmeölçer gibi farklı sensörlerin kullanılabileceği bir yapı kurulmuştur.

Aralarında 90 derece faz kayıklığı bulunan kare dalgalar üreten 4 kanallı takometreler kullanılmıştır. Kanallar arasındaki 90 derecelik faz kayıklığı takometrenin dönüş yönünün belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır. Bu şekilde aracın hangi yöne gittiği ve hat üzerindeki yönü belirlenmekte ve peron tarafında olmayan kapıların açılması engellenmektedir. Yanlış taraftaki kapıların açılması sonucu oluşacak kazalar kesin olarak önlenmektedir.

## İLK KONUM TESPİTİ

Tren konumlama sistemi hat üzerine konumlandırılan yer işaretlerini okumakta ve önceden kaydedilmiş olan hat haritası verisini de kullanarak, hat

üzerindeki ilk konumunu ve hareket yönünü belirlemektedir. Hat üzerindeki ilk yer işareti okunduğunda hat üzerindeki konum belirlenmekte ancak hattın hangi yönünde gidildiği ikinci bir yer işareti de okunduğunda hesaplanmaktadır. Bu aşamadan sonra sensörler kullanılarak alınan yol hesaplanmakta ve sürekli son okunan yer işaretinden uzaklık belirlenerek hat üzerindeki konum sürekli güncellenmektedir.

Yer işaretinden uzaklık, her döngüde alınan yolun toplanmasıyla hesaplanmaktadır. Her döngüde alınan yol hesaplamasında yapılan en ufak bir hata sürekli toplanacağından kısa sürede yüksek konum hatalarına sebep olabilir. ASELSAN'da geliştirilen Tren Konumlama Sisteminde sensör verileri mevcut sistemlerden daha farklı bir yöntem kullanılarak daha düşük hatalı mesafe hesaplaması yapılmaktadır. Bu yöntem sayesinde trenin herhangi bir zamandaki konum hatası santimetreler seviyesine kadar düşürülmüştür.

## DÜŞÜK HATALI VE YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ MESAFE HESAPLAMA YÖNTEMİ

Takometrelerden elde edilen darbelerin frekansı trenin hızı ile orantılıdır. Darbelerin frekansından anlık hız bilgisi ve hız bilgisinden de o döngüde trenin aldığı yol hesaplanabilir. Ancak bu yöntemde, döngü zamanına sığmayan son darbe küsuratı sebebiyle hız hesaplamasında küçük hatalar oluşacak ve bu hatalar toplanarak birikecektir. Geliştirilen sistemde geleneksel konumlama sistemlerinde kullanılan yüksek hatalı bu yöntem yerine, Formül-1 kullanılarak darbe sayısından trenin aldığı yol hesaplanmıştır. Bu yöntemde bir döngü zamanına sığmayan bir darbe sonraki döngüde alınan yola eklenir. Böylece kayıpsız bir mesafe hesabı yapılmıştır. Her döngüde hesaplanan yer değiştirme, döngü zamanına bölünerek tren hızı daha doğru bir şekilde hesaplanmakta ve dışarı verilmektedir.

(1)

$$Alınan\ Yol = \sum_{i=0}^{n} \frac{\pi * R * T_{pulse}}{T_{ppr}}$$

$R$: Takometrenin takılı olduğu teker çapı

$T_{pulse}$: Döngü içerisinde takometreden gelen darbe sayısı

$T_{ppr}$: Tekerin bir dönüşünde takometrenin ürettiği darbe sayısı

Kullanılan takometrelerin, tekerin bir dönüşünde ürettikleri darbe sayısı değeri, konumlama sisteminde ayarlanabilir şekilde tasarlanmıştır. Böylece farklı özellikteki takometreler yazılımda herhangi bir değişiklik yapılmadan ve tekrar sertifikasyon ihtiyacı olmadan kullanılabilmektedir.

Kanalları arasında 90 derecelik faz kayıklığı bulunan 4 kanallı takometre kullanılmasının bir diğer sebebi de 4 kanalda üretilen darbe sayılarının ortalaması alınarak çözünürlüğün 4 katına çıkarılmasıdır. Bu sayede çok daha hassas konumlama yapılabilmekte ve kayma kızaklama durumu daha erken tespit edilebilmektedir. Bir kanalda sorun olması durumunda üç katmanlı hata ve tutarlılık kontrollerinde tespit edilmekte ve hesaplamadan çıkarılmaktadır. Bu durumda 3 kanalın ortalaması alınmakta ve sadece o takometrenin konum çözünürlüğü azalmaktadır.

Doppler Radar anlık hız, ivmeölçer ise anlık ivme üretmektedir. Alınan yol hesabı için Doppler Radar'ın ürettiği anlık hız verisi ortalama hız olarak kabul edilip, döngü zamanıyla çarpılmalıdır. İvmeölçerde ise önce ivme zamanla çarpılarak hız, hız tekrar zamanla çarpılarak alınan yol hesaplanır. İki sensörde de anlık hız ve ivme bilgisinin ortalama değer olarak kullanılması hatalara sebep olur. Bu iki sensörde niceleme hataları (quantization error) da vardır. Hesaplanan alınan yol değeri de sürekli toplandığından hata hızla artar. Bu sebeple, geliştirilen sistemde Referans Hız Sensörleri sadece takometre verilerindeki hataların tespitinde kullanılmıştır. Takometrelerin sağlıklı olduğu durumlarda alınan yol sadece takometrelerden hesaplanmıştır. Referans sensörlerin verisi sadece takometrelerden birinin sağlıklı veri üretemediği durumlarda konum hesaplamasına katılmıştır.

Tren Konumlama Sistemi hat üzerindeki yer işaretlerini kullanarak konumu günceller ve yeni yer işaretini referans alarak konum hesaplamaya başlar, böylece biriken hata her yer işaretinde sıfırlanmış olur.

ASELSAN'da geliştirilen bu düşük hatalı mesafe hesaplama yöntemi sayesinde, konumlama sisteminin hatalarını sıfırlamak amacıyla hat üzerine yerleştirilen yer işaretlerine (baliz) olan bağımlılık

azaltılmıştır. Bu sayede, ASELSAN Tren Konumlama Sistemi, diğer sistemlere göre hat üzerinde daha az yer işareti kullanarak ihtiyaç duyulan doğruluğun çok daha fazlasını sağlayabilmektedir.

Geliştirilen düşük hatalı bu konumlama yöntemi sayesinde istasyon duruşları çok düşük hatayla yapılabilmekte ve istasyonda bulunan Peron Ayırıcı Kapı Sistemi (PAKS) kapıları ile tren kapıları hatasız bir şekilde eşleşebilmektedir.

## OTOMATİK TEKER ÇAPI VE SENSÖR KALİBRASYONU

Takometrelerden üretilen verinin yüksek doğrulukta olması için teker çapının hatasız olarak bilinmesi gerekmektedir. Ancak teker çapı zamanla ve yapılan ani frenlemelerle değişebilmektedir. Bu sebeple Tren Konumlama Sistemi'ne teker çapının sürekli otomatik olarak hesaplanıp kaydedildiği bir kalibrasyon yöntemi eklenmiştir. Aynı yöntemle Doppler Radar'dan elde edilen hız verisi de kalibre edilmektedir.

Kalibrasyon yönteminde aralarındaki mesafe hassas olarak belirlenmiş iki yer işareti arasında takometrelerin ürettiği toplam darbe sayısı ve Doppler Radar verisinden alınan mesafe hesaplanmaktadır. Gerçek mesafe Doppler Radar'ın ürettiği mesafeye bölünerek Doppler Radar için bir düzeltme katsayısı hesaplanmaktadır. Teker çapı Formül-2 ile hesaplanmaktadır.

(2)

$$R = \frac{Mesafe * T_{ppr}}{\pi * \sum T_{pulse}}$$

Kalibrasyon bölgeleri hat üzerinde ihtiyaç duyulan sayıda bulunabilir. Sistem kalibrasyon bölgesine geldiğini otomatik olarak algılayacak ve kalibrasyon hesaplamalarını yapacak şekilde oluşturulmuştur. Hesaplanan teker çapı ve Doppler Radar düzeltme katsayısı hafızaya kaydedilmekte ve sistem kapatılıp açıldığında son kaydedilmiş olan en doğru değer kullanılmaktadır.

## SENKRONİZE SENSÖR OKUMA

Üç katmanlı hata ve tutarlılık kontrollerinde, sensör verileri birbiri ile karşılaştırılmaktadır. Bu karşılaştırmanın doğru yapılabilmesi için sensörlerden alınan verilerin aynı zamana ait olmaları gerekmektedir.

Konum hesaplamaları yer işaretlerine olan uzaklığın hesaplanmasıyla yapıldığından, yer işaretinin okunma anı ile eşzamanlı olarak sensör verilerinin hesaplamaya katılması gerekmektedir. Arada oluşan zaman kayıpları doğrudan konum hatası olarak eklenecektir. Tren hızları arttıkça bu zaman kayıplarından oluşan konum hataları daha da yüksek olacaktır.

ASELSAN'da geliştirilen Tren Konumlama Sistemi'nde sensörlerden aynı zamana ait verilerin okunabilmesi için sensörleri okuyan kartlar arasında senkronizasyon yapısı kurulmuştur. Bu senkronizasyon yapısı ile bütün sensörlerden aynı zamana ait sensör verileri okunmakta ve okundukları zamana ait zaman etiketleri ile birlikte Konumlama Sistemi Bilgisayarına iletilmektedir.

Yer işaretlerinin okunduğu zaman bilgisi de Konumlama Sistemi Bilgisayarına iletilmektedir. Yer işaretinin okunduğu zamandan sonraki sensör verileri yeni konum hesaplamaları için kullanılmaktadır.

Geliştirilen Tren Konumlama Sistemi'nde kullanılan bu senkronizasyon yöntemi ile yüksek hızlı trenlerde bile diğer sistemlere göre daha düşük hatalı konum verisi elde edilebilmektedir.

Kullanılan senkronizasyon yapısı sayesinde teker çapı ve sensör kalibrasyon parametreleri de çok daha az hatayla hesaplanabilmektedir.

ASELSAN'da geliştirilen Tren Konumlama Sistemi Küresel Konumlama Uydu Sistemi (GNSS) gibi açık gökyüzü ihtiyacı duyulan yapılara ihtiyaç duymamaktadır. Bu sayede tünellerde ve yer altı raylı sistemlerinde (metro gibi) tam performanslı çalışabilmektedir.

Geliştirilen bu Yüksek Emniyetli (SIL-4) Tren Konumlama ve Hız Ölçüm Sistemi Gayrettepe – Yeni Hava Limanı Metro hattında başarılı bir şekilde görevini yerine getirmektedir.

# OTOMATİK HIZ KONTROLÜ FONKSİYONU

Otomatik hız kontrolü fonksiyonu; operatörlerin hız güvenliğini sağlamak, sürücü yorgunluğunu azaltmak, enerji verimliliğini artırmak ve tren hat uyumunu sağlamak gibi nedenlerle ihtiyaç duyduğu bir özelliktir. Bu fonksiyon, referans hız değerini olarak takip ederek hız aşımı riskini azaltarak trenlerin daha düzenli ve verimli bir şekilde ilerlemesini sağlamaktadır.

Otomatik hız kontrolü fonksiyonu; sürücü tarafından ASC (Automatic Speed Control) kolu yardımıyla belirlenen bir seviyeye, hızın ayarlanarak aracın sabit hızda gitmesine olanak sağlamaktadır. Bu fonksiyonun yönetimi TKYS (Tren Kontrol ve Yönetim Sistemi) tarafından sağlanmaktadır. TKYS, trenin cer (çekiş) ve fren birimlerine kuvvet talebi göndermek suretiyle otomatik hız kontrolünü yapmaktadır.

TKYS, ASC fonksiyonunun aktif ve deaktif olabilmesi için UIC 612 standardı gereği aşağıdaki durumları değerlendirmektedir;

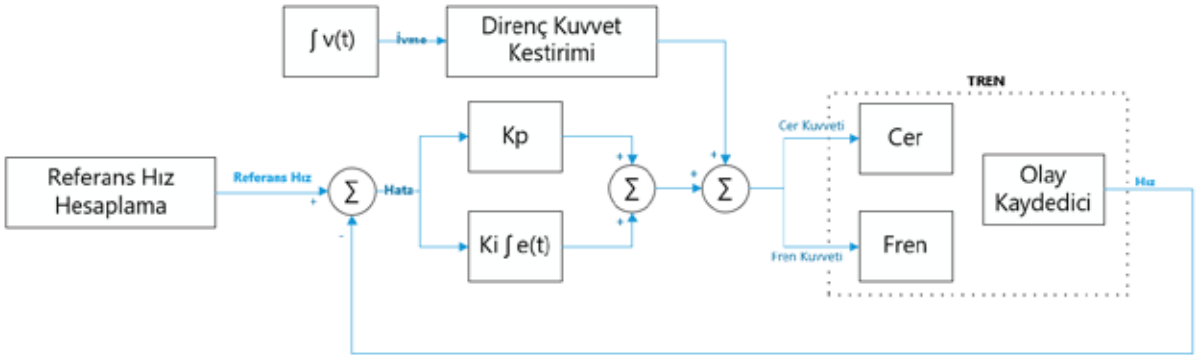
- Sürücünün ASC kolundan verdiği hız referansı,
- Fren sisteminde yaşanan herhangi bir arıza durumu,
- Seyir yönünü

TKYS yukarıda belirtilen koşulları, tren üzerindeki diğer birim ve alt sistemlerden gelen giriş sinyalleriyle değerlendirmektedir. Bu giriş sinyalleri, RIOM Birimi (Remote Input Output Module – Uzak Giriş/Çıkış Birimi) ya da MVB (Multi-Vehicle Bus) haberleşme ağı üzerinden gelmektedir.

Sürücü konsolunda yer alan ASC kolundan TKYS'nin RIOM birimine konum bilgisi analog olarak gelmektedir. Bu anolog veri ile TKYS, referans hız hesabı yapmaktadır. TKYS, tren hızını sürekli olarak izleyerek sürücü tarafından talep edilen referans hız ile karşılaştırmaktadır. Eğer trenin mevcut hızı referans hızın üzerindeyse, TKYS frenleme işlemi başlatmaktadır. Bunun için fren sistemine referans fren kuvveti sinyalini göndererek trenin hızını azaltmaktadır. Tersine, eğer trenin mevcut hızı referans hızın altındaysa, TKYS hız artırma işlemi başlatmaktadır. Bunun için cer sistemine referans cer kuvveti sinyalini göndererek trenin hızını arttırmaktadır.

TKYS, uygulanan fren/cer kuvvetleri ve araç hızını kullanarak tren üzerine etkiyen direnç kuvvet kestirimi yapmaktadır. Bu sayede ASC fonksiyonu daha iyi bir performans sergileyebilmektedir.

İki trenin birbirine akuple olması durumunda, lider tren seti sürücü tarafından talep edilen referans hıza göre iki tren seti için de kuvvet hesabı yapmakta ve WTB (Wired Train Bus) haberleşme ağı üzerinden takipçi tren setine talep edilen kuvveti iletmektedir.



# CBCT ARAÇÜSTÜ SİSTEM MİMARİSİ ve FONKSİYONLARI

umption:
Aerodynamic
excellence

## FONKSİYONEL GENEL MİMARI

OBATC (On-Board Automatic Train Control) Sistemi tam otomatik olarak araç üstü tren denetimi ve yönetimi sağlayabilen, yedekli bir mimaride tasarlanmış bir araç üstü sinyalizasyon sistemidir.

OBATC' nin fonksiyonel kapsamı aşağıdaki kısımlardan oluşmaktadır:

- ATP (Automatic Train Protection) fonksiyonları
- ATO (Automatic Train Operation) fonksiyonları
- Araç TCMS sistemi ve mantık devreleri ile uyumlu çalışma
- Sinyalizasyon sistemi için sıcak yedeklilik yönetimi

Araç üstü ATP (OBATP) alt sistemi, hat boyu ATP sisteminden kendisine tanımlanan hareket yetkisine göre tren yön ve hız durumunu denetleyen sistemdir. OBATP alt sistemi tren üstündeki bütün SIL4 emniyet kritik seviyesine sahip fonksiyonları (kapı açma yetkisi, acil fren yetkisi vs.) gerçekleştirmekle yükümlüdür. OBATP sistemi OBATO ile doğrudan iletişim halindedir.

Araç üstü ATO (OBATO), hat boyu ATO sisteminden gelen talimatlar doğrultusunda hedef hız bilgisine göre istasyonlar arasında trenin hızını düzenlemekle yükümlüdür. OBATO, trenleri istasyonlardaki peron ayırıcı kapılarının hizasında belirli bir hassasiyetle durdurmaktan sorumludur. OBATO, yer tarafındaki ATO sisteminden sağlanan bekleme süresine göre kapıların kapatılıp açılmasını talep eder. OBATO ayrıca gerekli sinyalizasyon bilgisini sürücüye DMI (Driver Machine Interface) ile sunarak kontrol eder.

OBATC, araç üstündeki TCMS (Train Control and Management/Monitoring System) ile doğrudan iletişim kurarak tren durumu hakkında bilgileri alır ve sinyalizasyon sistemini ilgilendirenleri ATS (Automatic Train Supervision)'ye gönderir. Aynı zamanda otomatik sürüş için ATS komutlarını da dikkate alarak araç çekiş ve fren sistemlerine iletmesi için TCMS' e gerekli mesajları gönderir.

OBATC sistemi sıcak yedeklilik esasına göre çalışmaktadır. Her iki sistem tren uyandırılma anından itibaren kendi girişlerini ve haberleşme ara yüzlerini dinlemektedir fakat sadece master olarak atanan ünite sistem çıkışları üretmektedir. Master olarak atanan ünite arızalandığı zaman slave ünite sistem kontrolünü devralarak operasyonu devam ettirmektedir. OBATC, donanım ve yazılım olarak aynı iki alt sistemden oluşmaktadır. Sistem açılış anındaki testlere göre iki alt sistemden birisini aktif (master) olarak seçmektedir. Master sistem içindeki herhangi bir ünitede donanımsal veya yazılımsal hata olması durumunda, pasif (slave) olarak bekleyen sistem herhangi bir fonksiyonel kayıp olmadan kontrolü devralarak göreve devam edilmektedir.

Sistem bilgisayarlarını içeren blok OBCS (On-Board Computer System) olarak adlandırılmaktadır. OBCS içerisinde bir adet SCS (Safety Computer System), bir adet NVCS (Non-Vital Computer System) ve bu bilgisayarları besleyen güç kaynakları (PSU-Power Supply Unit) yer almaktadır. OBATC içindeki bütün emniyet kritik olan ve olmayan fonksiyonel kararlar bu iki ünitede verilmekte ve uygulanmaktadır. OBCS'e bağlı çevre elemanlar ve fonksiyonel tanımları aşağıda belirtilmiştir.

1. TIU (Train Interface Unit): Hayati ve hayati olmayan röleler, devre kesiciler ve klemens gruplarından oluşmaktadır. OBCS tren lojiklerine bu ünite üzerinden erişmektedir.

2. Odometre sensörleri: 2 adet OPG (Optic Pulse Generator) ve 1 adet Doppler Radar sensöründen oluşmaktadır. OBCS konum, hız ve yön ölçümü için bu sensörleri kullanmaktadır.

3. Baliz okuyucu (BTM-Balise Transmission Module) ve anteni: Ray ortasına yerleştirilmiş baliz ekipmanı içindeki sayısal veriyi okuyan ve OBCS'e gönderen ünitedir.

4. Wi-Fi modem (TMU- Transportation Mobile Unit) ve antenleri: Yer tarafındaki WSATC ve ATS alt sistemleri ile kablosuz haberleşme kurabilmek için kullanılan ünitelerdir. Her yedek alt sistem için bir adet TMU ve 3 adet Wi-Fi anteni bulunmaktadır.

5. Ethernet anahtarı ve güç çeviricisi: OBATC içindeki Ethernet ağını kontrol eden ve mesajları ilgili uç noktalara yönlendiren ünitedir. Ethernet anahtarı TMU modemleri ile PoE (Power Over Ethernet) bağlantısına sahiptir. Diğer ethernet bağlantıları 10/100/1000 Mbps Base-T yapıdadır. Ethernet anahtarının kendisi ve PoE bağlantıları için harici bir 110VDC/54 VDC güç çevirici birimi bulunmaktadır.

6. Sürücü makine arayüzü (DMI): Sürücü ile görsel iletişimi ve sistem bilgi paylaşımını sağlayan ünitedir.

7. Sistem açılıştan itibaren dış ara yüzlerdeki giriş ve çıkış sinyallerini, haberleşme hatlarından iletilen mesajları belirli periyotlarla kaydetmektedir. Test veya bakım amaçlı olarak sistem test terminalinden bu bilgiler dinlenebilmektedir.

## ATP FONKSİYONLARI

### 1. Tren Konumu Belirleme

Tren konumu belirleme ile ilgili olarak;

- Trenin konumunu ve hangi yöne gittiğini belirlemesi,
- Konum hata yüzde değerinin belirlenmesi amacıyla tekerlek çaplarının belirlenmesi ve kalibre durumunun bildirimi
- Trenin ayak izini oluşturması
- Trenin sanal meşguliyetini oluşturması
- Trenin ayak izi ve sanal meşguliyet bilgilerinin WSATC' ye ve ATS' ye gönderilmesi
- WSATC' nin tren konumunu algılaması
- WSATC ve OBATC' nin haberleşme kaybını algılayıp trenin konumunu kaybetmesi işlevlerini yapmaktadır.

**2. Tren Hızının Belirlenmesi ve Sıfır Hız Algılama**

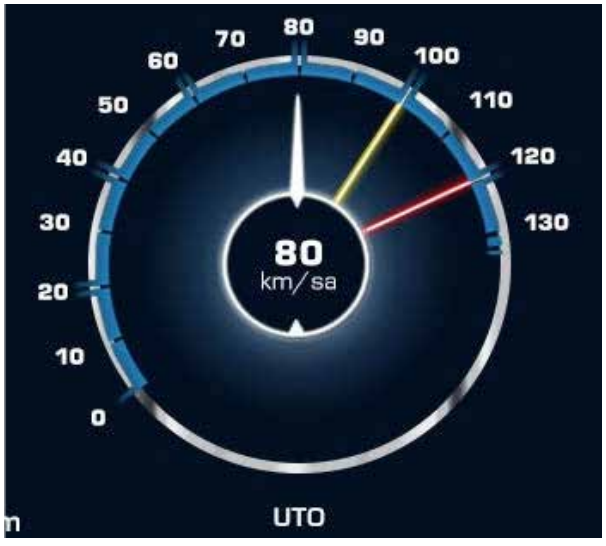
Hız belirleme ile ilgili;

- Trenin hızını belirlemesi ve gösterimi
- Trenin hareket yönünün belirlenmesi ve gösterimi
- Sıfır hız ve mutlak sıfır hız belirleme işlevlerini yapmaktadır.

**3. Aşırı Hız Koruması ve Fren Güvencesi**

Aşırı Hız Koruması ve Fren Güvencesi ile ilgili;

- Hareket yetkisine ve tren moduna göre ileri ve geri yöndeki güvenli hızı, uyarı hızını, izin verilen maksimum hızı belirlemesi,
- İzin verilen maksimum hızı aşmasıyla acil durum freni uygulaması,
- Emniyetli fren mesafesi hesaplaması,
- Emniyetli fren mesafesi ihlali durumunda acil durum freni uygulaması işlevlerini yapmaktadır.




**4. Yetkisiz Hareket Koruması**

OBATC, trenin trafik yönünün tersine hareketini engellemesi, geri kayma koruması ve tren hareketine izin verilmiyorken hareketin engellenmesi işlevlerini yapmaktadır.

**5. Tren Bütünlüğü Koruma**

Trenin tekli ve kuplajlı iken bütünlüğünü izlemesi, bütünlüğün bozulması durumunda acil durum freni uygulaması ve konumunu kaybetmesi işlevleri ile bu durumun sürücü ve ATS'ye bildirim işlevlerini yapmaktadır.

**6. Kapı Kontrolü Koruması**

Kapı açma ile ilgili;

- Peronda doğru noktada duruş tespiti sonrası Tren ve PAKS kapılarının etkinleştirilmesi,
- Tren ve PAKS kapıların devre dışı bırakılması (etkinleştirmenin iptali),
- Tren kapılarının beklenmedik bir şekilde açılması ile acil durum freni uygulanması işlevlerini yapmaktadır.

**7. Kalkış Anklaşmanı**

Kalkış Anklaşmanı ile ilgili;

- İstasyondan kalkış sırasında bekleme süresi dolması sonrası kalkış isteğini başlatması,
- Kalkış anklaşmanı kontrollerini yapması ve kalkışa hazır bilgisinin sürücüye verilmesi,
- Kalkış anklaşmanının etkinleştirilmesi işlevlerini yapmaktadır.

**8. Acil Durum Frenleme**

Herhangi bir sebepten acil durum fren uygulama talebi yapılması sonrası acil durum freninin uygulanması, gösterimi ve tren üzerinden, ATS üzerinden ve otomatik olarak resetlenme işlevlerini yapmaktadır.

## ATO FONKSİYONLARI

### 1. Otomatik Hız Ayarı

Tren hızının izin verilen hızın altında kalacak şekilde, ivmedeki değişim oranı sınırı ve performans seviyesine bağlı olarak düzenlemesi işlevini yapmaktadır.

### 2. Platform Yanaşma Kontrolü

OBATC, trenin bir perona yanaşması sırasında;

- Otomatik sürüş ile trenin peronda doğru noktada durdurulması,
- Doğru noktada durmaması durumunda ileri veya geri jog ile yeniden yanaşma denemesi,
- Yeniden yanaşma deneme başarısız olması durumunda trenin bir sonraki istasyona devam etmesi veya otomatik tutma uygulaması ve bildirimi işlevlerini yapmaktadır.

### 3. Kapı Kontrolü

Kapı kontrolü ile ilgili;

- Otomatik kapı açmanın tetiklenmesi
- Kapıların otomatik kapatılmasının tetiklemesi
- Tren ve PAKS kapılarının senkron bir şekilde açılması,
- Tren ve PAKS kapılarının senkron bir şekilde kapanması Arızalı tren ve PAKS kapılarının tespit ve işletimi
- Tren ve PAKS kapı durum bilgilerinin bildirimi işlevlerini yapmaktadır.

# RAYLI SİSTEMLER SİSTEM MÜHENDİSLİĞİ FAALİYETLERİ

## SİSTEM MÜHENDİSLİĞİ NEDİR?

Sistem mühendisliği disiplinler arası bir yaklaşımdır ve başarılı sistemlerin gerçekleştirilmesini mümkün kılar.

Müşteri ihtiyaçlarını ve gerekli işlevselliği geliştirme döngüsünün erken aşamalarında tanımlamaya, gereksinimleri dokümante etmeye ve ardından tüm problemi göz önünde bulundurarak tasarım sentezi ve sistem doğrulama ile ilerlemeye odaklanır. (operasyonlar, maliyet ve zamanlama, performans, eğitim/destek, test, üretim ve dönüştürme)

Bütün disiplinleri ve uzmanlık gruplarını, konseptten üretime ve işletmeye kadar uzanan yinelemeli (iterative) bir geliştirme süreci oluşturan bir ekip çalışmasına entegre eder.

Kullanıcı ihtiyaçlarını karşılayan kaliteli bir ürün sunmak amacıyla bütün müşterilerin hem iş hem de teknik ihtiyaçlarını dikkate alır.

Sistem mühendisliğinin bir amacı da kompleksitenin ve değişimin yönetilmesidir.

## ÖMÜR DEVRİ SAFHALARI (ISO/IEC/IEEE 15288:2015)

**Konsept (Concept)**

- Problem uzayını tanımlama
- Çözüm uzayının özelliklerini belirleme
- Paydaşların ihtiyaçlarını belirleme ve iyileştirme
- Fikirleri ve teknolojileri araştırma
- Uygulanabilir konseptleri araştırma
- Uygulanabilir çözümler önerme

**Geliştirme (Development)**

- Sistem gereksinimlerini tanımlama ve iyileştirme
- Çözümün açıklamasını oluşturma – mimari ve tasarım
- İlk sistemi uygulama
- Sistemi entegre etme, doğrulama ve geçerli kılma

**Üretim (Production)**

Sistemleri üretme, muayene etme ve doğrulama

**Kullanım (Utilization)**

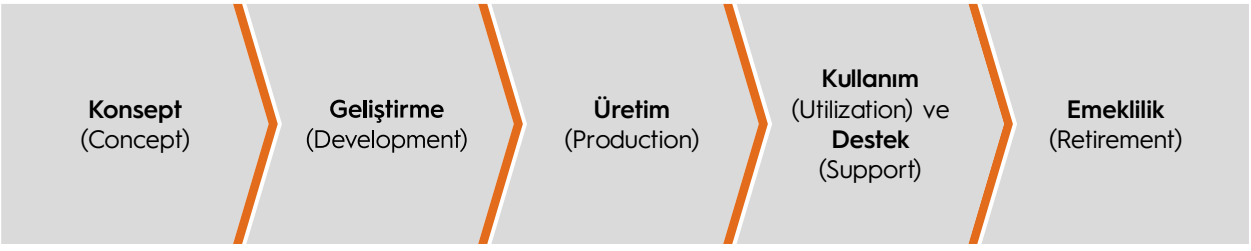
Kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılamak için sistemi çalıştırma

**Destek (Support)**

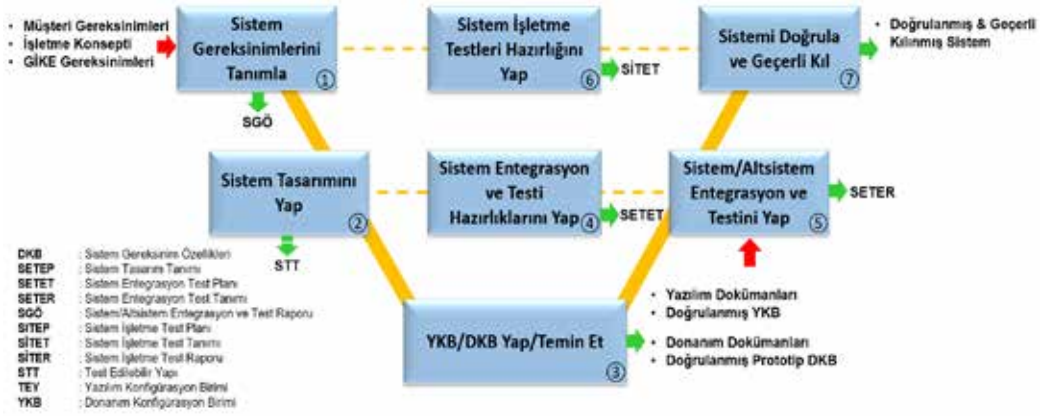
Sürdürülebilir sistem yeteneği sağlama

**Emeklilik (Retirement)**

Sistemi saklama, arşivleme veya imha etme




Şekil 1 Jenerik Ömür Devri Modeli




Şekil 2 Sistem Geliştirme Süreci (V-Model)

## SİSTEM GELİŞTİRME SÜRECİ

Sistem geliştirme sürecinde müşteri ihtiyaçlarını/yasal gereklilikleri/ilgili ulusal ve uluslararası standartları karşılayacak en uygun sistemi maliyet, takvim, performans ve kalite kriterlerini göz önüne alarak geliştirmek amaçlanmaktadır.

### Sistem Geliştirme Faaliyetleri

- Sistem Gereksinimlerini Oluşturma
- Sistem Tasarımı
- Gerçekleştirme (donanım/yazılım geliştir/temin et)
- Sistem Entegrasyonu ve Testi
- Doğrulama ve Geçerli Kılma

## SİSTEM GELİŞTİRME SÜRECİ (V-MODEL) ADIMLARI

### 1) Sistem Gereksinimlerinin Tanımlanması

- Müşteri gereksinimleri (teknik şartname ve paydaş ihtiyaçları) İşletme konsept dokümanı
- Geliştirilecek sistemle ilgili ulusal/uluslararası standartlar ve yasal gereksinimleri
- Benzer sistemlerin incelenmesi
- Literatür araştırması (örnek makaleler, patent incelemesi vb.)
- Kurumsal yaklaşımla gelen gereksinimler (üretilebilirlik, test edilebilirlik, bakım yapılabilirlik vb.)
- GİKE, LCC ve diğer analizler sonucunda üretilen gereksinimler

### 2) Sistem Tasarımının Yapılması

- Sistem senaryolarını ve fonksiyonel gereksinimlerini yerine getirecek alt sistem ve ara yüz alternatifleri oluşturulur.
- Oluşturulan alternatif sistem mimarileri üzerinde getiri-götürü analizleri ve fizibilite çalışmaları yapılır.
- Alt sistemleri oluşturacak donanım ve yazılım konfigürasyon birimleri (DKB ve YKB' ler) belirlenir. Avantaj ve dezavantajlar değerlendirilerek sistem fonksiyonları bunlara atanır.
- Sistem fonksiyonlarının DKB, YKB ve Kullanıcı İşlemlerine dağılımı, DKB ve YKB' lerin karakteristikleri ve ilişkileri tanımlanır.
- Sistemi oluşturan DKB ve YKB' lerin fonksiyonları ve ara yüzleri (elektriksel, mekanik, yazılım) belirlenir.
- Gerektiği durumlarda, sistem tasarımını doğrulamaya yönelik analiz/modelleme/simülasyon/prototip çalışmaları yapılır.

- Genel stratejiler, proje ihtiyaçları, kaynaklar, takvim, bütçe göz önüne alınarak (yap, yaptır) /temin et kararları verilir.
- Sistem seviyesi malzeme listesi ve taslak mühendislik dokümanları oluşturulur.
- STT dokümanı, diğer disiplinlerinin desteği ile (tasarım, üretim, ELD, kalite, özel mühendislik vb.) sistem mühendisi tarafından hazırlanır.

**3) YKB/DKB Yapılması/Temin Edilmesi**

- **Yap;** Yazılım ve Donanım Geliştirme Süreçlerine göre YKB ve DKB' ler geliştirilir.
- **Yaptı;** Altyüklenici firmalara YKB ve DKB' ler geliştirilir. Altyüklenici Tasarım ve Üretim Tedarik Süreci, Yazılım Geliştirme Süreci, Donanım Geliştirme Süreci gibi süreçler kullanılır.
- **Temin Et (Hazır Ürün Al);** İhtiyaçları karşılayan rafta hazır ürün (COTS) seçimi ve temini gerçekleştirilir.
- **Yeniden Kullan (Re-use);** Daha önceki projelerde kullanılan mevcut ürünlerinin yeniden kullanımı değerlendirilir.

**4) Sistem Entegrasyon ve Test Hazırlıklarının Yapılması**

- TEY tanımlarını içeren SETEP hazırlanır.
- Her bir TEY tanımı, STT ile uyumlu planlama içerir (test edilecek DKB/YKB' leri gösteren blok şema çizilir).
- Her bir TEY tanımı için, kaynak planlaması yapılır (test personeli, test zamanı, süresi ve altyapı planlanır).
- Test tanımlarını içeren SETET dokümanı hazırlanır.
- Test metotları belirlenir. SETET dokümanı ile STT arasında izlenebilirlik kurulur.
- Entegrasyon ve testlerin yapılabilmesi için test araçları ve test altyapısı hazırlanır.
- Özel amaçlı test yazılımı ve donanımı geliştirilir (simülatör, emülatör vb.).
- Test için gerekli ekipman hazırlanır, gerekirse yeni yatırımlar yapılır (güç kaynağı, osiloskop, veri kayıt altyapısı, BT ekipmanı vb.).
- Test alanı/laboratuvarı hazırlanır, altyapı ihtiyaçları giderilir.
- TEY tanımları ve SETEP sistem mühendisinin sorumluluğunda; SETET, test araçları ve test altyapısı test mühendisinin sorumluluğunda hazırlanır.

**5.1) Sistem/Alt sistem Entegrasyonunun Yapılması**

- Sistem Entegrasyon ve Teste Hazırlık Toplantısı yapılır.
  - Toplantıda, ilgili PKD sorumlularının katılımı ile YTER/DTER' ler ve SETEP (ilgili TEY formu) esas alınarak TEY' de kullanılacak YKB ve DKB' lerin entegrasyon testine yeterlilikleri değerlendirilir.
  - YKB ve DKB' lerin entegrasyona hazır olduklarına karar verilirse entegrasyona başlanır. TEY içinde yer alacak birimlerin doğrulanmış olması gerekir.
- TEY' lerin oluşturulması amaçlı YKB' ler, DKB' ler ve test alt yapıları SETEP' e uygun olarak temin edilir, entegrasyonu sağlanır ve TEY düzeneği teste hazır hale getirilir.

**5.2) Sistem/Alt sistem Testinin Yapılması**

- Entegre edilen her TEY üzerinde SETET' e uygun doğrulama testleri uygulanır, test sonuçları kaydedilir.
- Test kayıtlarının analizi ve yorumlanması ile test raporu (SETER) hazırlanır.
- Test raporları (SETER) gözden geçirilerek yapı veya bütünleşik sistemin test gereklerini sağladığı doğrulanmış olur.

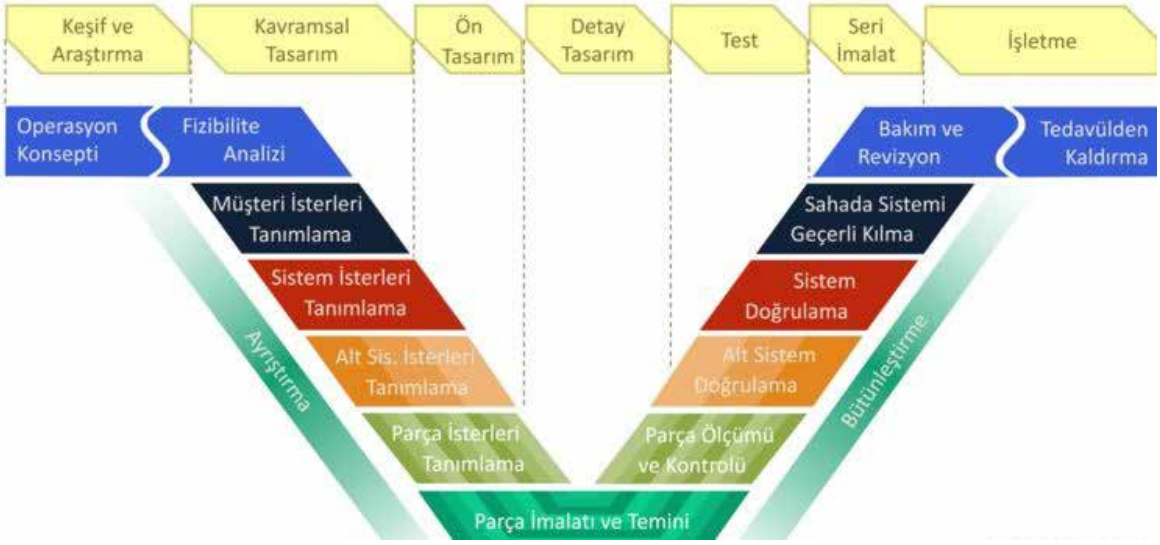
- Testte tespit edilen uygunsuzluklarla ilgili Problem Çözme Süreci kullanılarak iş akışları başlatılır. Gerekli düzeltici ve önleyici faaliyetler sonrasında ilgili testler tekrar edilir (regression).

**6) Sistem İşletme Testleri Hazırlığının Yap**

- Test planlarını içeren SİTEP hazırlanır.
- Test tanımlarını içeren SİTET dokümanı hazırlanır.
  - Test metotları belirlenir. SİTET dokümanı ile SGÖ arasında izlenebilirlik kurulur.
- Test, simülasyon, analiz araçları ve altyapılar hazırlanır.
  - Özel amaçlı test yazılımı ve donanımı geliştirilir (simülatör, emülatör vb.).
  - Test için gerekli ekipmanlar (güç kaynağı, osiloskop, veri kayıt altyapısı, bilgisayar vb.) hazırlanır.
- Test sahası hazırlanır, altyapı ihtiyaçları giderilir.

**7) Sistemin Doğrulanması ve Geçerli Kılınması**

- Sistem İşletme Testine Hazırlık Toplantısı yapılır. SİTEP esas alınarak test, simülasyon, analiz araçları, altyapılar, test sahası ve işletme testine girecek entegre edilmiş sistemin teste hazırlık durumları değerlendirilir.
- Sistem, gerçek kullanım ortamında veya buna en yakın koşullarda SİTET' e uygun olarak test edilir, test sonuçları kaydedilir.
- Test kayıtlarının analizi ve yorumlanması ile test raporu (SİTER) hazırlanır.
- Testte tespit edilen uygunsuzluklarla ilgili Problem Çözme Süreci kullanılarak iş akışları başlatılır. Gerekli düzeltici ve önleyici faaliyetler sonrasında ilgili testler tekrar edilir (regression).
- Sistem işletme testleri test mühendisliği tarafından yapılır ve raporlanır. SİTET içerisinde yer alan ve müşteriden gelen teknik gereksinimlerin geçerli kılındığı sistem işletme testleri sonrası "Kabul Muayene Faaliyetleri" ne esas olacak Kabul Muayene Test Prosedürü Program Kalite Yönetimi tarafından hazırlanır. Teslimat Ekibi ve Müşteri Temsilcisi ile birlikte sahada/kullanım yerinde icra edilerek Geçerli Kılma faaliyeti tamamlanır.



# METRO KUMANDA MERKEZİ SİNYALİZASYON SİSTEMİ

1:36
aselsan

## OTOMATİK TREN DENETİMİ – (AUTOMATIC TRAIN SUPERVISION)

Metro Sinyalizasyon sistemlerinde tren trafiği kumanda merkezinde bulunan Komuta Kontrol sistemi tarafından izlenilmekte ve yönetilmektedir. Sinyalizasyon sisteminin bu alt sistemi IEEE 1474 standardına göre Automatic Train Supervision kısaca ATS olarak adlandırılmaktadır.

ATS sistemi, sistem işletimini izlemekte, sistem durum bilgisini operatöre göstermekte ve sistemin çeşitli fonksiyonları için otomatik kontroller sağlamaktadır. Tren trafiğinin önceden belirlenmiş servis tarifesine göre otomatik kumandasını sağlamaktadır. Bir servis arızası durumunda, Trafik Operatörleri vasıtasıyla gerekli düzeltici stratejilerin uygulanması için talep girişine de imkan sağlamaktadır.

ASELSAN COBALT Sinyalizasyon Sisteminin tren trafiğini izleyen ve yöneten alt sistemi COBALT Maestro olarak adlandırılmaktadır. Bu sistem ilk olarak Gayrettepe-İstanbul Havalimanı metro hattında 2023 yılının ilk günleri itibarıyla kullanıma alınmış ve 7/24 olarak operatörlere hizmet vermektedir.

### ATS Operatör Arayüzü

COBALT CBTC sisteminin izlenmesinin ve yönetilmesinin gerçekleştirildiği kullanıcı ara yüzü ATS Operatör ara yüzü yazılımı ile sağlanmaktadır. Operatör Ara yüzünde Hat Görüntüsü, Alarm/Olay Ekranı, Ekipman Durumu, Tarife Ekranı, Tren Hareket Grafiği başta olmak üzere çeşitli yönetim ekranları bulunmaktadır.

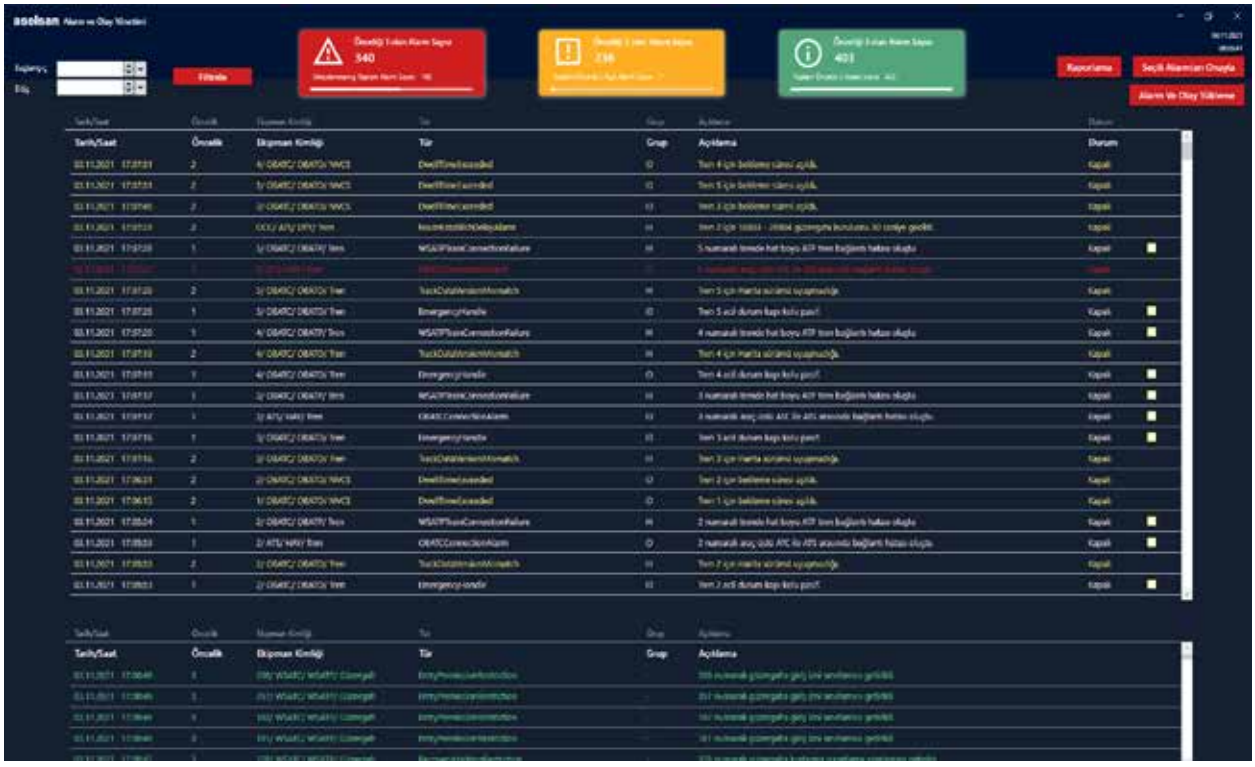
Hat görüntüsü üzerinden tren hareketleri, hat ekipmanları görüntülenmekte ve yönetilmektedir. Hat görüntüsü grafik, sembol ve renk gösterimleriyle desteklenen hattın bir coğrafi sunumudur.

ATS Operatörü tren trafiğini yönetmek için hat öğelerine veya trenlere manuel taleplerde bulunabilir. Bu şekilde bir treni durdurabilir, bir makas üzerinden diğer hatta alabilir, işletmeden çıkarabilir veya işletme dışındaki bir treni tekrar servise alabilir. Operatör tarafından yapılan manuel işlemlerin otomatik tren işletimini etkilemesi durumunda COBALT Maestro bir alarm üreterek kullanıcıyı bilgilendirmektedir.

Ekipman durumu sayfasında ekipmanların bağlantı ve genel sağlık durumları görüntülenmektedir. Trenler, saha ekipmanları, merkezi ekipmanlar için ayrı bölümler olup, Operatör tek bir bakışta sistemi bütünsel olarak görebilmektedir.

COBALT Maestro, sisteme gelen olayları ve alarmları kaydeder ve operatörün görüntüleyebilmesi için alarm/olay ara yüzü sunmaktadır. Alarm/olay genel izleme ekranında, sistemde bulunan tüm olaylar ve alarmlar görüntülenmektedir. ATS operatörü alarm ve olayları, kronolojik sıraya, öncelik seviyesine, ekipman kimliğine göre, alarm grubuna, türüne ve durumuna göre sıralama imkanı sunmaktadır.

Tren Hareket Grafiği ekranı, trafik operatörünün trenlerin zaman çizelgesini, istasyonlar bazında grafiksel olarak görmesini sağlamaktadır.



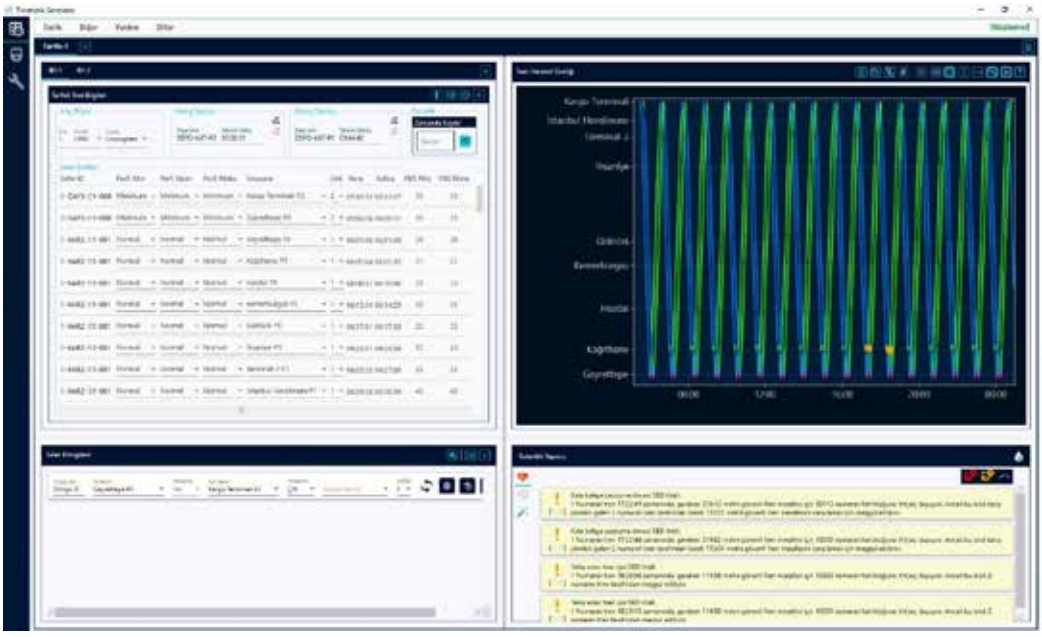

## Tarife Yönetimi

COBALT CBTC Sisteminde tren işletimi günlük tarifeler vasıtasıyla yapılmaktadır. Tarife hazırlama yazılımı ile işletme tarifelerinin kullanıcı ihtiyaçlarına göre oluşturulabilmekte ve oluşturulan tarifenin uygulanabilirliği simüle edilebilmektedir. Tarife Hazırlama yazılımı kullanıcı dostu bir ara yüze sahiptir.

Tarife hazırlama yazılımı, günün belirlenen saat aralıkları için, belirlenen işletme döngüsünde, hedeflenen sefer aralığı (headway) süresine veya verilen tren sayısına göre otomatik tarife hazırlayabilmektedir. Hazırlanan tarifelerde çakışma yönetimi yapılmakta, tren trafiğinin engellemesine izin verilmemektedir. Uygulama gün içinde birden çok tarifenin oluşturulmasına ve saat aralıkları bazında hangi tarifenin uygulanacağının ayarlanabilmesine imkan vermektedir.

Otomatik tarife üretimi istasyonlar arası sürüşlerin dinamiği dikkat edilerek yapılmaktadır. Tarife hazırlama yazılımında araç parametreleriyle sürüş dinamikleri dikkate alınarak istasyonlar arası süreler çıkarılmakta ve hesaplama sonucunda elde edilen zaman değerleri tarife oluşturma algoritmalarına aktarılmaktadır.

Elde edilen tarifenin Tren Hareket Grafiği (Trenlerin Konum-Zaman grafikleri) bilgisi çıkarılarak uygunluğu kullanıcıya gösterilir. Bu uygulamanın çıktısı olan tarife bilgisi üzerinden simülatörde simülasyon başlatılarak uygulanabilirliği simüle edilmektedir. ATS tarife yazılımı kontrolünde koşturulan simülasyon sonucunda araçların tarifeye uygun olarak hareket etmesi durumunda tarifenin sisteme aktarımına izin verilmektedir.

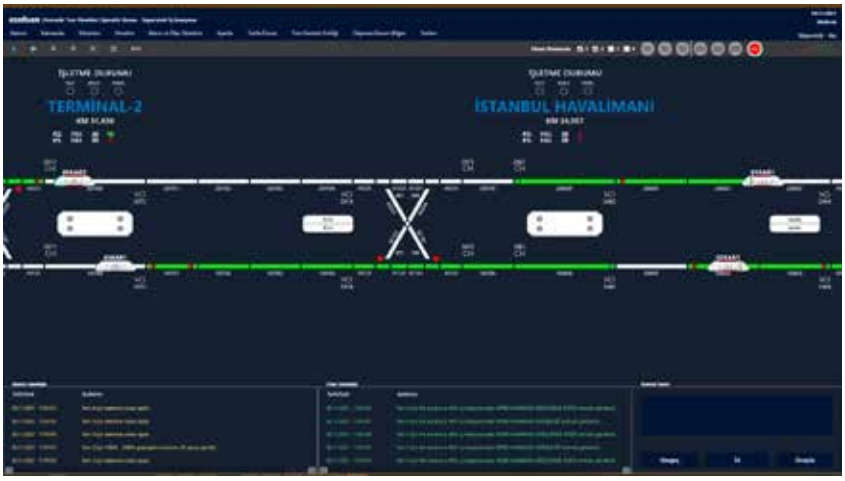


## İşletme Tarzları

COBALT Maestro trenlerin işletilmesi için Tarifeli İşletme (Otomatik) Tarzı, Sabit Sefer Aralığı İşletme Tarzı ve Elle Kumanda Tarzı olmak üzere üç ayrı işletme tarzı sunmaktadır. ATS operatörü işletme tarzlarından herhangi birini seçerek tren trafiğini yönetebilmektedir.

Tarifeli İşletme tarzında COBALT Maestro trenleri mevcut tarifeye mümkün olduğunca yakın işletecek şekilde düzenlemektedir. Sistem tarifeli işletme tarzında (otomatik tarzda) çalışırken tarife ile ilişkilendirilen trenlere bir sefer kimliği atamaktadır. Trenler bu sefer kimliğine göre hedef istasyon almakta ve yönlendirilmektedir. Tarifede trenlerin her seferi için tanımlanan peronlarda planlı varış ve kalkış saatleri bulunmaktadır. Tarife dahilinde tahsisi yapılmamış trenler manuel olarak yönlendirilmektedir. Tarife ekranında işletilen tarife verileri görüntülenmekte, tarifeye atanan trenlerin gerçek zamanlı verileri tarifede planlanan verilerin karşısına işlenmektedir.

COBALT Maestro tarifeli işletme altındaki bir treni otomatik olarak regüle etmektedir. Sistem, trenlerin seyrini herhangi bir gecikme ya da erken gelme durumuna göre tarifeye mümkün olduğunca yakın şekilde tutmak için istasyondan istasyona seyir süresini uzatmak ya da kısaltmak suretiyle performans seviyesini değiştirebilmekte veya peronda bekleme süresini tarifede bulunan maksimum ve minimum değerler arasında ayarlayabilmektedir. Trenin istasyona erken gelmesi durumunda peronda bekleme süresini tarifede bulunan maksimum değeri geçmeyecek şekilde ayarlanmaktadır. Trenin istasyona geç gelmesi durumunda peronda bekleme süresini tarifede bulunan minimum değerin altına inmeyecek şekilde ayarlamaktadır.




Sistemde döngü ataması yapılan trenleri sabit sefer aralığı ile birbirinden ayırmak için sabit sefer aralığı işletme tarzı seçilebilmektedir. Sabit Sefer Aralığı İşletme Tarzında COBALT Maestro, döngüde çalışan tren sayısına ve belirlenen peron bekleme sürelerine göre sabit bir sefer aralığı hesaplamaktadır. Operatör sefer aralığı değerini değiştirmek isterse döngüdeki tren sayısını veya döngüdeki bekleme sürelerini değiştirebilmektedir. Sabit sefer aralığı işletme tarzında çalışırken sistem bekleme sürelerinde regülasyon yapmaktadır. Regülasyon için uygulanması istenen değerler operatör tarafından değiştirilebilmektedir.

COBALT Maestro, bir tarife seçilmediği zaman trenleri operatör komutlarıyla yönlendirme özelliğine sahiptir. Sistemde manuel işletimi kolaylaştırmak ve tarifesiz çalışan trenleri yönlendirmek için bazı özellikler mevcuttur. Trenler bir döngü ataması ile tek yön hedefi vererek veya manuel güzergâh kurularak yönlendirilebilmektedir.

## Yeniden Oynatma

ATS operatörü COBALT Maestro tarafından kaydedilen bilgileri bakım ve yeniden oynatma uygulaması üzerinden yeniden izleme imkânına sahiptir. Operatör yeniden izleme yapmak istediği veri dosyasını tarih ve zaman belirterek seçebilmektedir. Yeniden oynatma işlevi verilerin kaydedildiği zamandaki görsel ekrana bakılmaksızın herhangi bir ATS penceresini açabilme ve görüntüleme imkanı sağlamaktadır. Yeniden oynatma sırasında, ATS Operatör Uygulamasında görüntülenmesi istenen katmanlar seçilerek görüntülenme sağlanabilmektedir.

## Depo Yönetimi

COBALT Maestro depo bölgesindeki trenlerin parklanmasını, yıkanmasını ve tekrar işletmeye verilmesini yönetmek üzere otomatik işlevlere sahiptir. Parklanma işlevi parklanma listesi üzerinden yönetilmektedir. Sistemde depo bölgesine gelen bir tren otomatik parklanma işlevi etkin ise parklanma listesinde yapılan önceliklendirmeye göre parklanma alanlarına park edilmektedir. Park edilen trenler operatörün seçimine göre uyku moduna geçmektedir. Operatöre parklanma listesine müdahale imkanı da sağlanmaktadır.

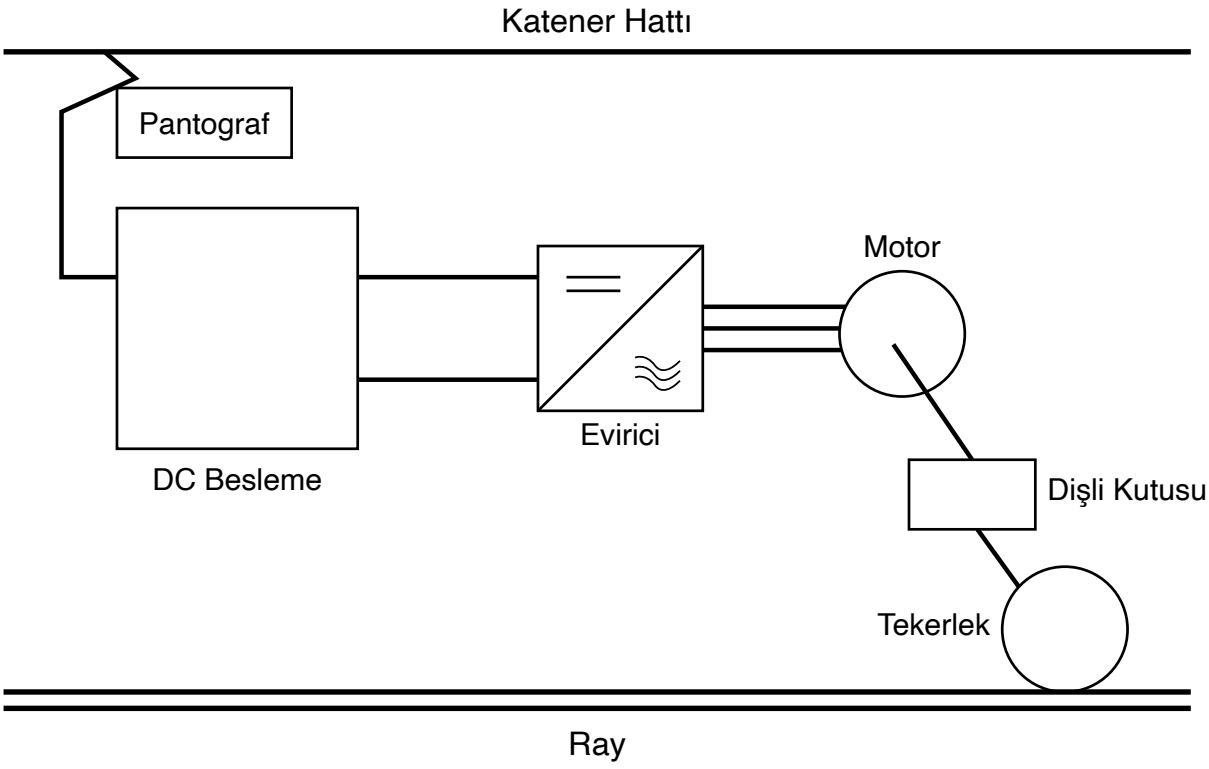
Trenlerin belirli bir takvime göre yıkanması için yıkama listesi bulunur. Yıkama listesindeki gün ve saati gelen trenler için ATS, trenleri otomatik olarak yıkama hattına yönlendirmektedir. Eğer yıkama zamanı gelen tren park bölgesinde değilse ATS alarm oluşturmaktadır. Otomatik yıkanan tren için bir sonraki yıkama zamanı operatör tarafından girilen parametrik bir süre ile yıkama listesine işlenmektedir.

Trenlerin işletmeye verilmesi sevk listelerine göre yapılır. Tarifeli işletim esnasında bir trenin depodan çıkış yapması gerektiğinde sevk listesine bakılmakta ve listede sevk önceliği bulunan tren servise alınmaktadır. Servise alınacak tren uyku modunda ise öncelikle uyandırma işlemi yapılmaktadır. Sevk listesi ATS ekranında gösterilmektedir. Operatöre sevk listesine müdahale imkanı da sağlanmaktadır.

# RAYLI SİSTEMLERDE ARAÇ SEVİYESİ ÇEKİŞ ANALİZİ

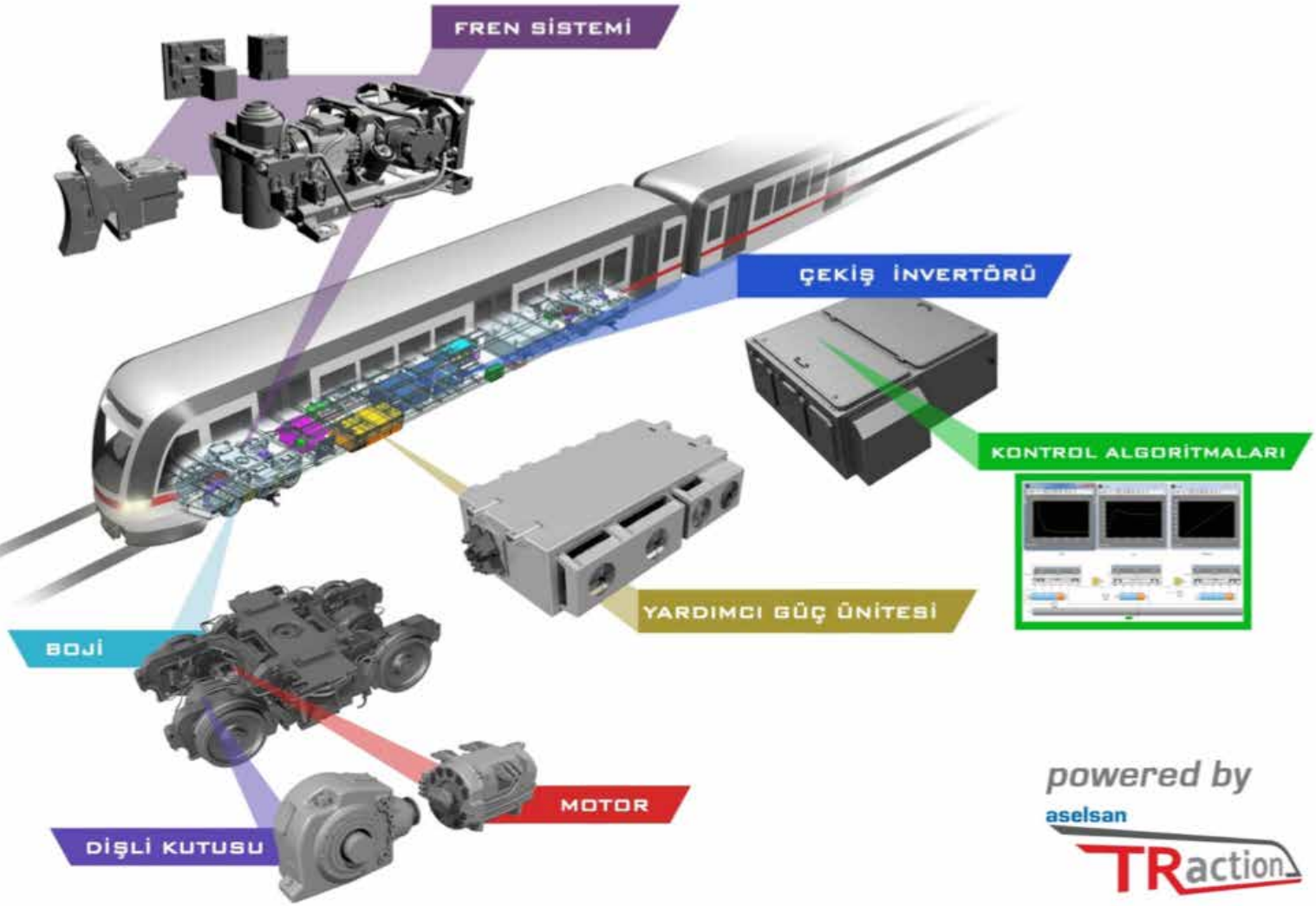
## RAYLI ARAÇ ÇEKİŞ SİSTEMLERİNE GENEL BAKIŞ

Günümüzde, dünyadaki demiryollarının %20'sinden fazlası elektrik beslemesi ile donatılmıştır. Elektrikli çekiş sistemleri elektrikli tren dizileri, yüksek hızlı trenler, lokomotifler, tramvaylar ve metrolar gibi birçok uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır. Genel bir bakış açısıyla bir elektrikli çekiş sistemi, pantograftan tekerleklere kadar tüm bileşenleri içermektedir. Şekil 1.2, bir demiryolu çekiş sisteminin tipik şemasını göstermektedir. Pantograftan çekilen elektrik gücü AC besleme hatlarında doğrultucudan geçirilerek, DC besleme hatlarında ise doğrudan evirici girişine iletilmektedir. Evirici daha sonra DC elektrik enerjisini değişken frekanslı bir AC enerjiye dönüştürmekte ve bunu cer motorlarına iletmektedir. Elektrik enerjisi motorlar tarafından mekanik enerjiye dönüştürülmekte ve mekanik enerji dişli kutusu vasıtasıyla tekerleklere iletilmektedir.




Raylı araç çekiş sistemi genel hatlarıyla aşağıda belirtilen bileşenlerden oluşmaktadır.

- Pantograf
- DC besleme / Doğrultucu
- Evirici
- Cer motoru
- Dişli kutusu




Şekil 1.2 Demiryolu çekiş sisteminin şeması

## MODEL VE ANALİZ ARAÇLARI

Bir çekiş sistemi tasarlamak için çeşitli tasarım modelleri ve yazılımlar kullanılmaktadır. Çekiş sistemi seviyesindeki elektriksel ve termal tasarım faaliyeti için, başlangıç değişkenlerini belirlemek amacıyla ön aşamada çeşitli kurallar kullanılmakta ve ön sonuçlar RSSAP (Railway System Simulation and Analysis Program) çekiş sistemi simülasyon programı yardımıyla doğrulanmaktadır. Bu yazılım aracı, ray üzerinde çalışan bir trenin kinematik ve elektriksel davranışını simüle etmeye olanak tanımaktadır. Örneğin; gidiş-dönüş tren yolculuğu. RSSAP, standart bileşenlerden oluşan bir kütüphane kullanmakta ve temel olarak çekiş sisteminin optimizasyonuna odaklanmaktadır. Her mühendislik ekibinin uzmanlığına bağlı olarak daha ayrıntılı bileşen modelleri mevcuttur. Şekil 1.3, RSSAP' ın kullanıcı arayüzünü göstermektedir.

Şekil 1.3: RSSAP kullanıcı arayüzü görselleri

Tasarım mühendisleri sistem tasarımı sürecinin farklı aşamalarında çeşitli mühendislik yazılımları da kullanmaktadır. Örneğin; (FEA) mekanik ve termal analiz araçları, (ANSYSr, CATIAr, FloTHERMr).

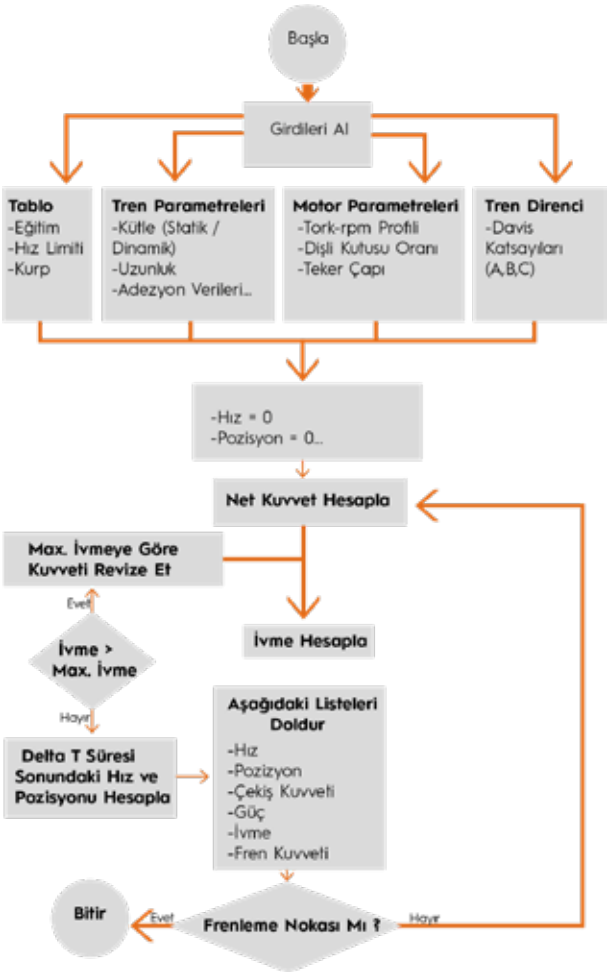
## DEMİRYOLU SİSTEMİ SİMÜLASYON VE ANALİZ PROGRAMI

Demiryolu aracının hedeflenen performans parametrelerine göre, çekiş sistemi birimlerinin teknik özellikleri ve güç arayüzlerinin belirlenmesi için aracın konsept tasarım aşamasında iteratif bir yöntem benimsenmesi gereklidir.

Çekiş sistemini oluşturan alt sistemlerin trafo gücü, motor sürücüsü gücü, motor karakteristiği, dişli kutusu dönüştürme oranı ve tekerlek çapı parametrelerinin yanında aracın kat edeceği yol geometrisi ve taşıyacağı yük koşulları gibi birden fazla değişken sistem tasarımında dikkate alınmalıdır. Bu tasarım değişkenlerinin farklı değerleri ile yapılacak analiz ve sürüş simülasyonları ile optimum çekiş sistemi tasarımına ulaşılabilir.

Demiryolu uygulamaları için müşteri (demiryolu operatörü) trenin işletme şartlarını belirlemektedir. Bu, yolcu konforu (maksimum hızlanma, yavaşlama ve sarsılma) ve yolculuk süresi ile ilgili yol özelliklerinin (hız sınırı, yol eğimi, viraj eğrisi gibi), istasyon bilgilerinin (durma süresi, durma mesafesi) ve sürüş özelliklerinin verilmesi ve sistem tasarımının giriş parametreleri olarak belirlenmesi anlamına gelmektedir.

Tüm bu bilgiler ve araç özellikleri, verilen hat profilinde çekme ve frenleme kuvvetlerinin belirlenmesine olanak tanımaktadır. Motor torku ve dönüş hızı daha sonra motor sayısından ve dişli oranından kolayca çıkarılabilir. Bu kapsamda ASELSAN tarafından geliştirilen RSSAP akış diyagramı Şekil 1.4'de verilmiştir. Akış diyagramı incelendiğinde, her zaman aralığında trenin performansı, hat detayları, tren hızı ve konumu dikkate alınarak trenin ivmesi, hızı, konumu ve gücü güncellenmektedir. Simülatör, trenin o anki konumuna ve hızına göre, ivmelenme, frenleme ve boşta gitme modlarında simüle edebilmektedir.




Şekil 1.4: RSSAP tren simülatörü akış diyagramı

RSSAP ile çekiş sistemi analizleri hızlı ve güvenilir bir şekilde elde edilerek sistem tasarımı ve optimizasyonu gerçekleştirilebilmektedir.

Bu yazılım, raylı araç cer motorlarının optimum tork-hız karakteristiklerinin belirlenmesi, performans analizi, güç analizi, verimlilik analizi ve sürüş simülasyonları yapabilmesi sayesinde çekiş sisteminin tasarımında kritik öneme sahiptir.

RSSAP programının gelişmiş motor tanımlama uygulaması;

- özel bir motorun tork/hız parametreleri
- özel bir motorun güç parametreleri
- aracın ivme, hız, taşınabilecek yük ve yol geometrisi

gibi performans parametrelerini girdi alarak motor modelinin oluşturulabilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca, raporlama ve simülasyon aşamasında kullanılmak üzere motorun tork, hız ve güç ile ilgili grafikleri elde edilebilmektedir.

Sistem seviyesinde motor karakteristiklerinin belirlenmesindeki en önemli aşamalardan biri motorun sürekli çalışma bölgesinin belirlenmesidir. Doğru belirlenmemiş bir motorun kullanımı aracın enerji sarfiyatını arttırarak işletme maliyetlerini olumsuz etkileyeceği gibi motorun MTBF (Mean Time Between Failure) değerlerinin de azalmasına neden olarak bakım maliyetlerini artırmaktadır.

Çeşitli yaklaşımlarla elde edilen optimize edilmiş motor tasarımları RSSAP üzerinde çeşitli yol profilleri üzerinde çalıştırılarak sürüş simülasyonları yapılabilmektedir. Yapılan sürüş simülasyonu sonucunda tren setinin hız, ivme, harcanan elektrik gücü, çekiş kuvveti, karşılaşılan direnç kuvvetleri, elektrodinamik fren kuvveti gibi veriler katedilen her metre için hesaplanıp kaydedilmektedir. Bu veriler işlenerek motorun en verimli olması gereken sürekli çalışma bölgesi tanımlanmaktadır. Bu sayede motorun kütle, hacim, maliyet, araç sürüş zamanı gibi durumlarının optimize edilmesine olanak sağlanmaktadır.

RAYLI SİSTEMLERDE TEKNOLOJİK GELİŞİM

# MEKANİK TASARIM

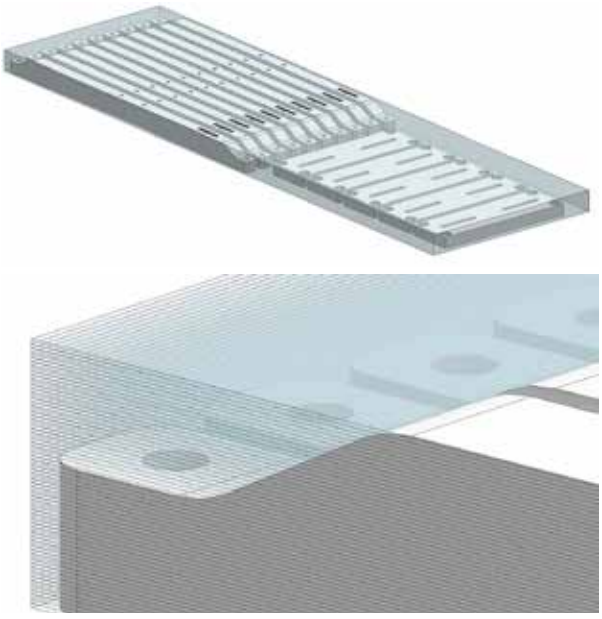
## BALİZ MONTAJ APARATININ GELİŞTİRİLMESİ VE YERLEŞTİRİLMESİ

Baliz, sinyalizasyon sistemlerinde Otomatik Tren Koruma (ATP - Automatic Train Protection) sisteminin bir parçası olarak demiryolu raylarının arasına yerleştirilmiş elektronik bir etiket sistemidir. Baliz üzerinde, sinyal sisteminin ihtiyaç duyduğu, demiryolu hattına ait kritik bilgiler bulunmaktadır. Baliz okuyucu sistem (BTM – Balise Transmission Module), üzerinden geçilen Baliz'e tele-güç (Tele-power) gönderen ve Baliz içindeki bilgileri okuyan bir iletim cihazıdır. ATP sistemleri, BTM'den gelen bilgiler, tekerlek dönüşleri ve hatboyu sistemlerinden gelen bilgileri kullanarak treni izler ve trenin hız limitlerine uymasını sağlar. ATP sistemleri, rota verileri, geçici hız sınırlandırma bölgesi ve dinamik hız profilini içeren Telgraf (Telegram) bilgilerini de merkeze iletir. Bu nedenlerle, Baliz demiryollarında emniyetin sağlanması ve işletmenin devam ettirilmesi için gerekli olan kritik bileşenlerden biridir.

Şekil 1 Baliz ve BTM

Baliz Montaj Aparatı, Baliz'in iki ray arasına eşit mesafede montajlanmasını sağlayan, elektriksel ve mekanik tüm gereksinimleri karşılayan bir montaj aparatıdır. Aparat, yerli üreticilerde bulunamadığı ve sadece yurt dışından tedarik edilebildiği için ASELSAN tarafından geliştirilerek yerlileştirilmesine karar verilmiştir.

Tasarım sürecine, aparatın kullanılacağı bölgelerdeki gereksinimler, kısıtlamalar ve standartlar dikkate alınarak başlanmıştır. Baliz ile BTM arasındaki bilgi iletiminin etkilenmemesi, elektriksel ve mekanik özelliklerin karşılanması için aparatın "TS EN 60893 – Elektrik yalıtım malzemeleri – Termoset reçine esaslı endüstriyel rijit lâmine levhalar" standardına uygun olan cam elyaf takviyeli polyester malzemeden üretilmesine karar verilmiştir. Ham malzeme seçiminde çentik darbe dayanımı, çekme/basma/eğilme mukavemetleri, su absorbsiyonu, UL 94 – V0 alevlenebilirlik sınıfı vb. özellikler dikkate alınmıştır.



Şekil 2: Cam Elyaf Takviyeli Polyester'in Örnek Katmanlı Yapısı

Kompozit bir malzeme olan cam elyaf takviyeli polyester, levha kalıplama bileşimi (SMC – Sheet Moulding Compound) yöntemi ile üretilmektedir. Bu yöntemde belirli kalınlıktaki katmanlar üst üste dizilerek sıcak kalıpta ve yüksek basınç altında preslenmektedir. Tasarım yapılırken Şekil 2'de görüldüğü gibi parça üzerinde açılan delik vb. işlemlerde, delik ekseninin pres yönüne paralel olması gerekmektedir. Paralel olmadığı durumlarda delaminasyon sorunu ile karşılaşılmaktadır.

Standartlara uygun bir tasarım yapılması için birçok kriter göz önüne alınmıştır. Baliz ile BTM arasındaki bilgi iletim sisteminin doğru bir şekilde yapılabilmesi için Baliz üzerindeki referans noktası ile rayın tepe noktası arasındaki mesafe 97±4mm aralığında olmalıdır. Aparat montajının tren hattı üzerindeki betona yapılması ve montaj ara yüzleri açılırken beton (travers) içerisindeki çelik örgü donatılara zarar verilmemesi gerekmektedir. Hat boyundaki herhangi bir yangın olasılığına karşı aparat UL 94 – V0 alevlenebilirlik sınıfını da sağlamalıdır. Bu sınıfın gereği olarak ham malzemeden alınan numuneye 10 saniye boyunca alev uygula-

nır ve bu uygulama iki kez tekrar edilir. Her uygulamadan sonra yanmanın 10 saniye içinde kendiliğinden durması ve alevli bir damlamaya neden olmaması gerekmektedir.

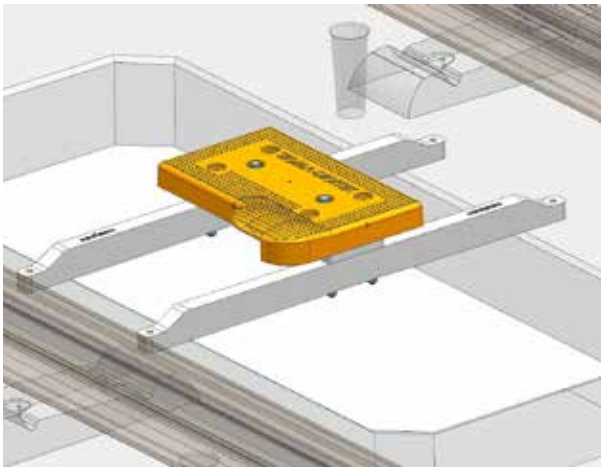
Aparat tasarımının "TS EN 50125-3 – Demiryolu uygulamaları – Donanım için ortam şartları – Bölüm 3: İletişim ve sinyalizasyon donanımı" standardında verilen ve traverslerde kullanılan ivme değerlerini karşılaması gerekmektedir. Şok testinde düşey yönde 8 ms süresince 300 m/s2, 2 ms süresince 800 m/s2'lik ivme değerleri uygulanmaktadır. Rastsal titreşim testinde ise tren gidiş yönünde 90 m/s2, yanal yönde 50 m/s2 ve düşey yönde 130 m/s2'lik ivme değerleri 5'er saat uygulanmaktadır. Tasarım yapılırken bu ivme değerleri göz önünde bulundurulmuş ve bilgisayar ortamında yapısal analizleri yapılmıştır. Yapısal analiz sonuçlarından alınan veriler ile tasarımda iyileştirmeler yapılmıştır. Prototip üretimini takiben doğrulama yapmak amacıyla titreşim testine girilmiştir. Şok ve rastsal titreşim testlerinde yapısal bütünlüğü bozacak olumsuz bir durum ile karşılaşılmayıp, testler başarılı şekilde sonuçlandırılmıştır.

Şekil 3 Baliz Montaj Aparatı Titreşim Testi

Titreşim testlerine ek olarak, ham malzemenin su absorbsiyonunu teyit etmek için "TS EN ISO 62 – Plastikler – Su absorbsiyonunun tayini" standardında Metod 1'e uygun testler gerçekleştirilmiş ve testten başarılı şekilde geçilmiştir.

Tüm prototip ve saha testleri başarılı bir şekilde tamamlandıktan sonra seri üretim aşamasına geçilmiştir. Baliz Montaj Aparatı ve Baliz'in saha entegrasyonları tasarım ve üretim dokümanlarında tanımlandığı şekilde gerçekleştirilmiştir.

Yerlileştirme çalışmalarıyla ASELSAN tarafından tasarlanan ve üretilen aparatın maliyeti ile yurt dışından alınan teklifler kıyaslandığında, aparat başına düşen maliyet %80 oranında azaltılmıştır.

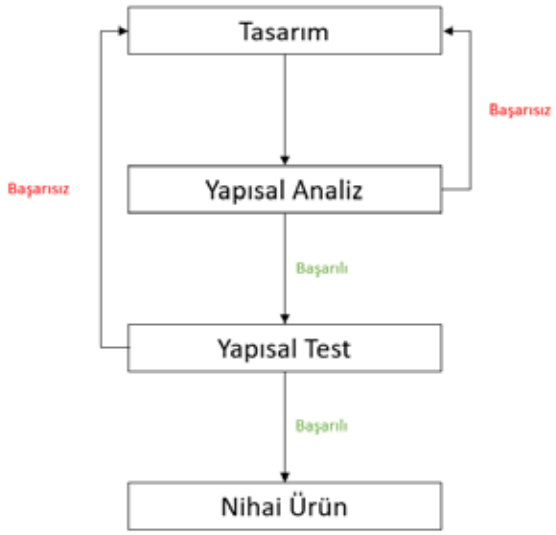


Şekil 4 Baliz Montaj Aparatı ve Baliz'in Hat Üzerindeki Görünümü

# MİLLİ ELEKTRİKLİ TREN CER SÜRÜCÜSÜ YAPISAL ANALİZ VE TEST ÇALIŞMALARI

Raylı sistemlerde kullanılan ürünler için operasyonel ve çevresel koşullardan kaynaklı, uluslararası standartlarla belirlenen titreşim ve şok yükü gereksinimleri bulunmaktadır. Tasarım sürecinin başlangıcından itibaren bu isterler göz önünde bulundurulup bu yüklere direngenlik gösteren ürünlerin çıktı olarak alınması gerekmektedir.

Ön tasarımın ortaya çıkmasıyla birlikte sonlu elemanlar analizleri başlatılıp ürünlerin maruz kaldığı yükler sanal ortamda simule edilmektedir. Simülasyon sonucunda, tasarımın yapısal dayanımı ve zayıf noktaları tespit edilip, alınan sonuçlara göre gerekli tasarım değişiklikleri gerçekleştirilmektedir. Bir veya birden fazla iterasyon sonrası tasarımın yeterince dayanım sağladığı değerlendirildiğinde ilgili yüklerin test ortamında uygulanması için prototip üretimine geçilmektedir. Prototip testlerinde başarılı sonuçlar elde edilmesi halinde tasarım dondurulup nihai ürün üretimine başlanmaktadır.




Yapısal Analiz Ve Testlerin Tasarımdaki Yeri

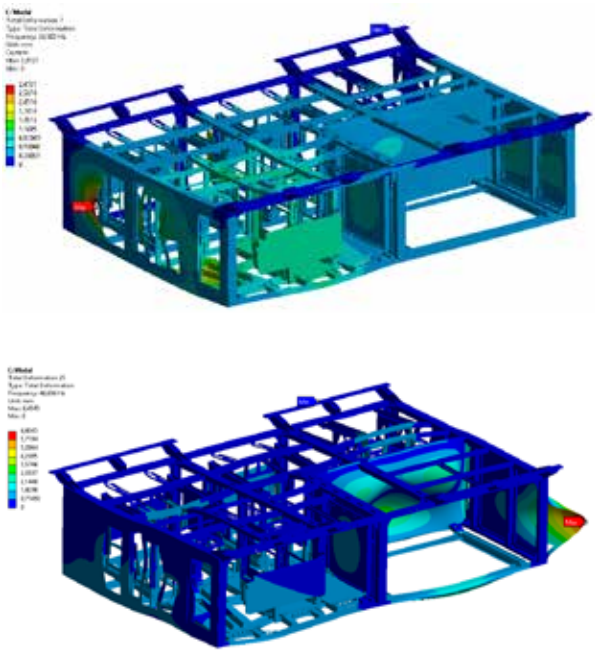
## YAPISAL ANALİZLER

Yapısal analizler bir ürünün ön tasarımı sonrasında, yapısal testler gerçekleştirilmeden önce teste hazır hale getirilmesi, minimum iterasyon sayısı ile bu testlerden başarılı bir şekilde geçilmesi maksadıyla gerçekleştirilmektedir. Analizler, bilgisayar ortamında uygun matematiksel modeller kurularak sonlu elemanlar yöntemiyle gerçekleştirilmektedir. Sonlu elemanlar yöntemiyle ürünün modeli küçük parçalara ayrılarak ağ örgüsü oluşturulmaktadır. Bir yapısal analizde izlenen adımlar aşağıdaki gibidir:

- Ürünün üç boyutlu dijital modelinin uygun kalitede elemanlar ile ağ örgüsü yapısı oluşturmak amacıyla sadeleştirilmesi
- Model ağ örgüsünün oluşturulması
- Model üzerinde yer alan bütün bileşenlerin malzeme atamasının gerçekleştirilmesi
- Model üzerinde yer alan bileşenler arasındaki temas modellerinin tanımlanması
- Sınır koşulları ve yük koşullarının tanımlanması

Gerçekleştirilen analizler sonrası ilgili çıktılar incelenip ürünün isterleri karşılayıp karşılamadığı, yeterli dayanım gösterip göstermediği hakkında bilgi edinilmekte, alınan veriler raporlanmaktadır. Milli Elektrikli Tren Projesi için ASELSAN tarafından özgün olarak tasarlanan cer sürücüsü, CESUR®, biriminin yapısal analizleri yine ASELSAN mühendisleri tarafından gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda tasarımda iyileştirilmesi gereken noktalar tespit edilerek mekanik tasarıma geri bildirimde bulunulmuş ve güncellenen tasarım için analizler tekrarlanmıştır. Örnek olarak, CESUR® biriminin doğal frekans değerlerinin hesaplandığı modal analiz çıktılarına ait görüntüler sunulmuştur. (Görsel amaçlarla deplasmanlar abartılı sunulmuştur.)

CESUR® Birimi



CESUR® Birimi Modal Analiz Örnek Sonuçlar (Görsel amaçlı olarak deplasmanlar abartılı olarak sunulmuştur.)

## YAPISAL TESTLER

Yapısal analizler neticesinde, teorik olarak ürünün ilgili gereksinimleri sağlayacağı değerlendirildiğinde prototip üretime geçilmekte ve bu prototip ile yapısal testler gerçekleştirilmektedir. Test öncesinde, ilgili ürünün sahada montaj durumu göz önüne alınarak test fikstürü tasarımı ve üretimi gerçekleştirilmektedir. Test fikstürünün tasarımında aşağıdaki hususlara dikkat edilmektedir:

İlgili fikstürün analizleri, ürün bağlantısı yapılmış biçimde gerçekleştirilerek, test esnasında herhangi bir hasara uğramayacağından emin olunmaktadır.

Test fikstürünün doğal frekans değerleri sonlu elemanlar yöntemiyle hesaplanmaktadır. Titreşim test profilinin frekans aralığıyla çakışan doğal frekansın olup olmadığına bakılmakta, eğer çakışma varsa bunun etkisi değerlendirilmektedir.

İlgili hususlar değerlendirildikten sonra test fikstürünün tasarımı onaylanıp üretilmektedir.

Titreşim ve şok testleri, ürünün ağırlık durumu ve ilgili test profilleri göz önünde bulundurularak sorunsuz bir şekilde testleri sürdürebilecek bir alt yapıda gerçekleştirilmektedir. Yapılan testlerde genellikle elektromanyetik sarsıcılar tercih edilmektedir. Gerçekleştirilen testler standardın belirlediği sınırlar çerçevesinde iki ayrı koşulda gerçekleştirilebilir:

Pasif test: Mekanik yüklemeler esnasında ürünün fonksiyonelliğiyle ilgili bir ister bulunmamaktadır. Sadece tüm testler tamamlandıktan sonra mekanik muayenelerle beraber ürünün çalışıp çalışmadığı kontrol edilmektedir.

Aktif test: Mekanik yüklemeler esnasında ürünün fonksiyonelliğini sürdürmesi beklenmektedir. Test sırasında ürünün fonksiyonelliğiyle ilgili performans ölçümleri alınmaktadır. Aktif test esnasında performans ölçümleriyle birlikte mekanik kontroller de sürdürülmektedir.

Gerçekleştirilen testler sonrasında ürün başarılı bir şekilde testten geçtiği takdirde tasarım dondurulup nihai ürünün seri üretimine geçilmektedir. İyileştirme gereken hususların ortaya çıkması durumunda ise tasarım sürecinde güncellemeye gidilerek süreç baştan tekrarlanmaktadır. Bu kapsamda CESUR® birimi için titreşim ve şok testleri uygun bir test altyapısı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

CESUR® Birimi Titreşim ve Şok Testi

# MİLLİ ELEKTRİKLİ TREN CER SÜRÜCÜSÜ ISIL TASARIM ÇALIŞMALARI

Raylı sistemlerde kullanılan soğutma çözümleri birimin izin verilen sıcaklık aralıklarında çalışmasını ve böylece birimin işlevsellik, performans ve ömür isterlerini karşılamasını sağlamaktadır. En etkin ısıl çözüm, ısıyı kaynağa en yakın noktadan uzaklaştırmaktır. Bu nedenle, ısıl tasarım çalışmaları konsept tasarımın erken aşamalarında başlamakta ve birim tasarımında yönlendirici bir rol oynamaktadır. Milli Elektrikli Tren'de kullanılan ve ASELSAN tarafından özgün olarak tasarlanan CESUR® (Cer Sürücüsü) biriminin ısıl tasarım çalışmaları ASELSAN tarafından gerçekleştirilmiştir.

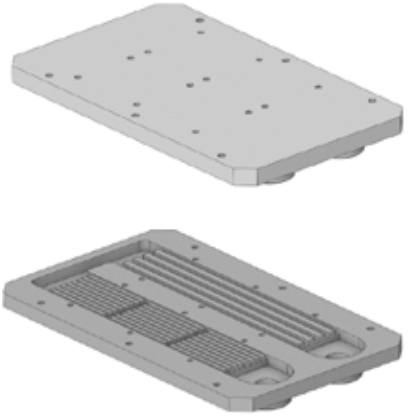
CESUR® Birimi

## SOĞUTMA ÇÖZÜMÜ VE ISIL ANALİZLER

Soğutma çözümünü oluşturabilmek için birimin bulunduğu ortamın sıcaklığı, bileşenlerin ısı atımları ve ısı akıları (birim alana düşen ısı), ısıl dirençleri, boyutları, mekanik tasarım ile ilgili kısıtlar gibi bazı temel bilgilere ihtiyaç vardır. Raylı sistemler için birimin trendeki yerleşim yerine göre maruz kalacağı ortam sıcaklığı ilgili uluslararası standartlarda belirtilmiştir. Diğer bilgiler elektronik ve mekanik tasarım faaliyetleri sonucunda elde edilmektedir.

Milli Elektrikli Tren için tasarlanan CESUR® içindeki bileşenler, yukarıda belirtilen bilgiler ışığında değerlendirildiğinde sıvı soğutma çözümünün kullanılmasına karar verilmiştir. Sıvı soğutmanın uygulama şekli de bileşenlere göre farklılık göstermektedir. Örneğin, bobinlerdeki ısı bobin etrafını dolaşan hortumlardan yeterli debi ve sıcaklıkta soğutucu sıvı dolaştırılarak uzaklaştırılmaktadır. Anahtarlama görevini gerçekleştiren güç elektroniği elemanları ise soğuk plaka olarak adlandırılan ısı soğurucu yapılar ile soğutulmaktadır. Soğuk plakalar ısıl iletkenlik yüksek malzemelerden üretilmektedir (alüminyum, bakır gibi) ve soğutucu akışkan bu plakalar içinde özel olarak tasarlanmış bir desene sahip kanallardan geçerek ısıyı yüzeyden çekmektedir. Bu desen soğutucu plakanın kilit özelliği olup bilgisayar ortamında hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemleri kullanılarak tasarlanmaktadır.

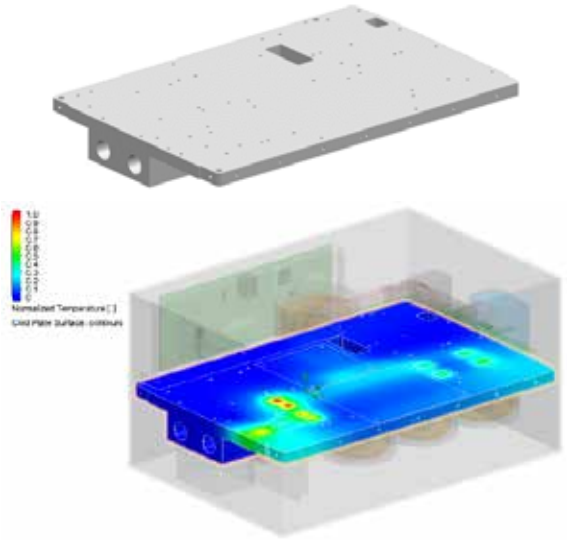
Soğuk Plaka Örneği



Soğuk Plaka Tasarımı
*Patent/faydalı model başvuruları nedeniyle başka bir çalışmaya ait bir soğuk plaka örneği sunulmuştur.

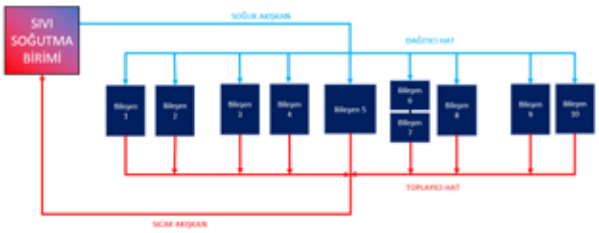
Soğuk plaka tasarımında temel olarak üç teknik parametre optimize edilmektedir. Bunlar maksimum yüzey sıcaklığı, basınç düşümü ve yüzeydeki maksimum sıcaklık farkıdır. Birimlerin temas ettiği yüzeylerin maksimum sıcaklıklarının sınır değeri geçmemesi ve bu yüzeylerin sıcaklık farklarının birimlerin benzer performans ve yıpranma ile çalışması için birbirlerine yakın olması gerekmektedir. Bununla birlikte, plaka içinde tasarlanan akışın ve desenin özellikleri plakanın basınç düşümünü etkilemektedir. Basınç düşümü, sistemdeki pompalama gücünü, dolayısıyla direkt olarak enerji tüketimini ve pompa seçimini etkilemekte olup plakadaki maksimum yüzey sıcaklığı ile ters

orantılıdır. Soğuk plaka tasarımındaki hedef kabul edilebilir bir basınç düşümü ile uygun yüzey sıcaklıklarının birlikte başarılmasıdır. Burada göz önünde bulundurulması gereken önemli bir parametre de maliyettir. Soğuk plaka üretiminde talaşlı imalat ve vakum lehimleme gibi yöntemler kullanılmaktadır. Soğuk plakada kullanılan soğutma yapılarının ve desenlerinin talaşlı imalat yöntemi ile üretiminde üretim süresi, zorluğu ve malzeme miktarı maliyeti etkilemektedir. Maliyeti etkileyen bir diğer unsur da vakum lehimleme yönteminde kullanılan fırınların çalışma süresi ve bir vakum lehimleme işleminde üretilebilecek plaka sayısıdır. CESUR birimi soğuk plakaları belirtilen teknik çıktılarla birlikte maliyet de göz önünde bulundurularak tasarlanmıştır. Ayrıca, yürütülen özgün çalışmalar ile soğuk plaka tasarımlarından biri için patent alınmış olup bir diğeri için de faydalı model başvuru süreci devam etmektedir.



Soğuk Plaka Isıl Analizi

CESUR içindeki tüm bileşenlerin sıvı soğutma ihtiyaçları belirlendikten sonra birim seviyesinde bir boyutlu ısıl analizler gerçekleştirilmiştir. Bileşenlerin, hortum ve bağlantı elemanlarının ve soğutucu sıvıyı geldiği ana hattan dağıtıp, dönüşte toplayan kolektörlerin debi - basınç düşümü karakteristikleri analiz programına tanımlanmış, analiz sonuçlarında tüm bileşenlere yeterli debide ve sıcaklıkta soğutucu sıvı sağlanıp sağlanamadığı kontrol edilmiştir. Bir boyutlu analizin bir diğer önemli çıktısı da CESUR® içindeki toplam basınç düşümünü belirlemesidir. Toplam basınç düşümü, debi ihtiyacı, ısı yükü ve sıvı sıcaklığı soğutma sıvısını temin eden sıvı soğutma biriminin tasarımına temel girdileri oluşturmuştur. Sıvı Sıvı soğutma birimi CESUR® biriminin içine entegredir.




CESUR® Birimi Hidrolik Akış Şeması

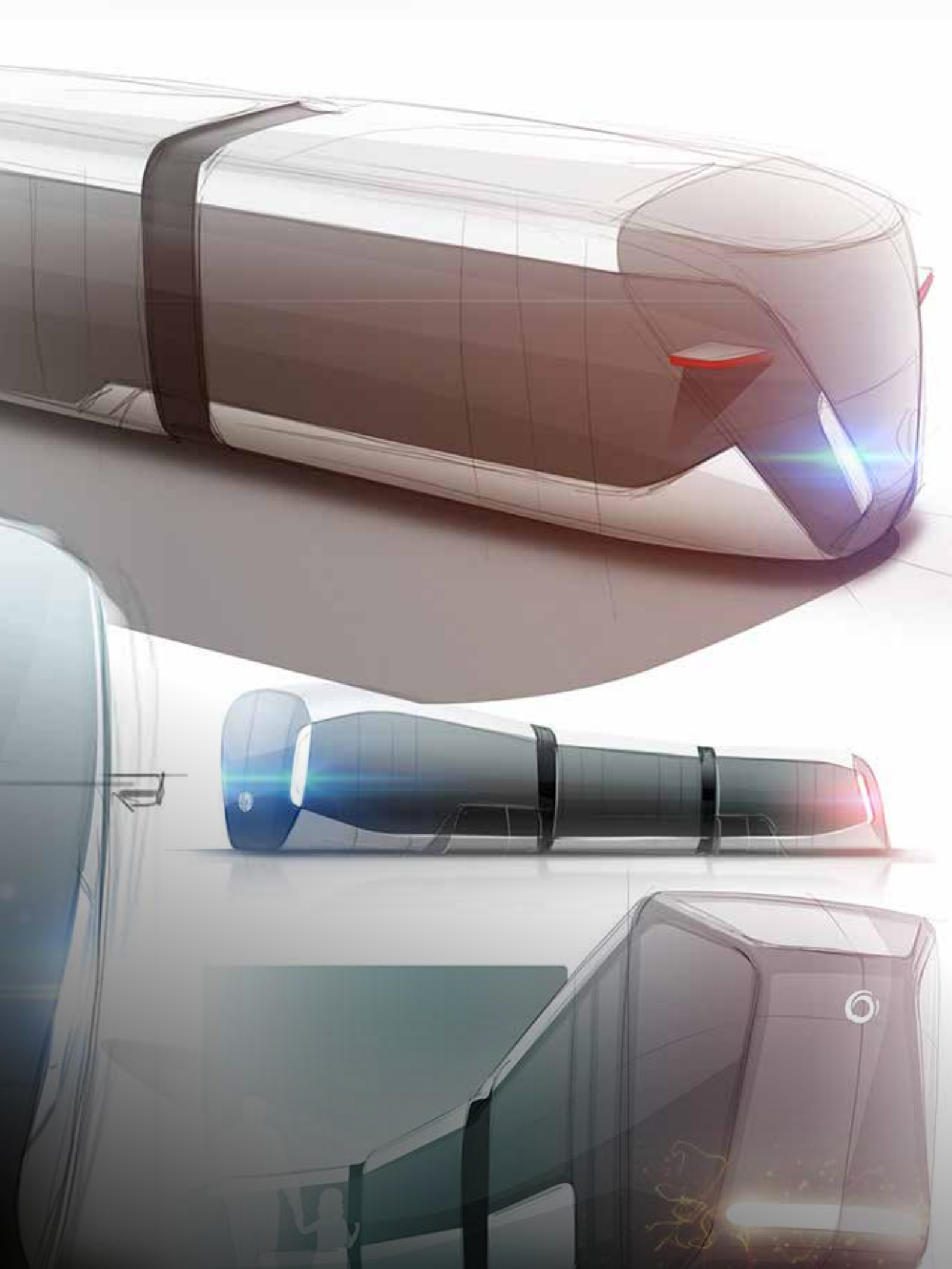
## ISIL TESTLER

Isıl analiz ve testleri tasarıma geri bildirimde bulunabilmesi için erken aşamalarda tamamlanması önemlidir. Bu nedenle soğuk plaka prototipleri üretildiğinde sıcaklık ve basınç düşümü - debi testlerinin yapılması gerekmektedir. Isıyı üreten elektronik bileşenlerin prototiplerinin hazır olmasına gerek olmadan aynı ısı atımı ve boyutlara sahip taklit ısı yükleriyle ilgili testler yapılabilmektedir. Ayrıca CESUR® içinde yer alan sıvı soğutma biriminin kullanılması gerekmeden ihtiyaç duyulan sıvı sıcaklığı ve debideki soğutma akışkanını sağlayan test altyapıları da ASELSAN'da mevcuttur. Bu test düzenekleri ile yüzey sıcaklıkları, debiler ve basınç düşümleri ölçülerek analizler doğrulanmıştır. CESUR® birimi prototipinin çıkmasıyla birlikte birim seviyesi testler de gerçekleştirilmiş ve başarıyla sonuçlanmıştır.

Isıl Test ve Doğrulama Altyapısı

RAYLI SİSTEMLERDE TEKNOLOJİK GELİŞİM

# ENDÜSTRİYEL TASARIM



## ENDÜSTRİYEL TASARIM

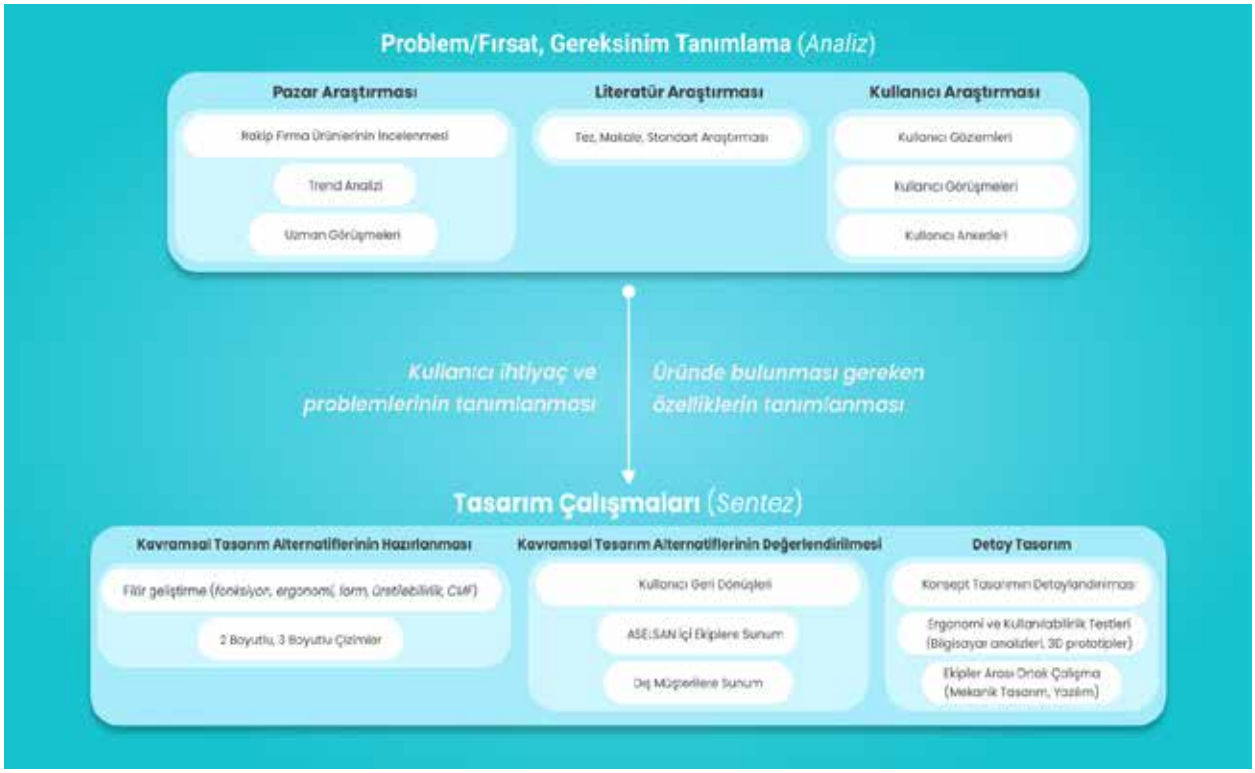
Endüstriyel tasarım; nihai kullanıcıya yönelik ürünlerin hedef kitlenin beğenisine ve kullanıcının ihtiyaçlarına uygunluk ölçütlerini gözeterek fikren geliştirilmesi ve üretime uygun yeni fonksiyonel ürün olarak projelendirilmesidir. Endüstriyel tasarım; yenilikçiliği hedefleyen şirketlerin sektörde başarısının artmasına katkıda bulunan ve yenilikçi ürünler, sistemler, hizmet ve deneyimlerle kullanıcısına daha iyi hayat kalitesi sunan stratejik problem çözme yöntemidir.

## RAYLI ARAÇLARDA ENDÜSTRİYEL TASARIM

Raylı araçlarda endüstriyel tasarım; ergonomik, kullanılabilir, işlevsel ve görsel kalitesi yüksek ürünler tasarlar. Yenilikçi, fark yaratan ve pazarda rekabet gücü yüksek ürünler geliştirir/geliştirilmesinde rol oynar. Geliştirilen yeni teknolojiler ile potansiyel kullanıcılar arasındaki ilişkiyi kurgular. Ürünün pazarda ayırt edilebilir olmasını sağlayacak şekilde tasarım dilini yaratır ve markalaşarak marka algısını geliştirir.

Elektrikli Ana Hat Lokomotifi

## ENDÜSTRİYEL TASARIM SÜREÇLERİ NASIL İŞLER?




## ARAŞTIRMA SÜRECİ:

Endüstriyel tasarımda araştırma süreci birçok adımı içermektedir. Araştırma sürecinin en önemli kısmı kullanıcı araştırmalarıdır. Bu kapsamda kullanıcı ile sahada birebir görüşmeler yapılarak; kullanıcı ihtiyaçları ve beklentileri, ürün ile yaşadığı kullanım problemleri, arızalar ve bunlarla nasıl baş edildiği yapılan anketler ve röportajlar ile analiz edilerek derinlemesine öğrenilmektedir. Kullanıcı araştırması tamamlandıktan sonraki aşama pazar araştırmasıdır. Bu aşama rakiplerin hem estetik hem de ürün özelliklerinin incelendiği, ASELSAN tarafından tasarlanacak ürünlerin hem rekabetçi hem de ayırt edilebilir ürün tasarımı fikirlerinin edinildiği aşamadır. Sonrasında trend analizleri yapılarak, zamanın estetik ihtiyaçlarına uygun ürün dili oluşturulmaktadır. Son olarak, literatür araştırması yapılarak teknolojik gelişmeler takip edilmekte ve bunların ürüne uygulanabilirliğine karar verilmektedir.

## KAVRAMSALTASARIM:

Endüstriyel tasarımda kavramsal tasarım, tasarımcıların araştırmalar sonucunda edindiği tüm bilgileri harmanlayarak ürün fikirleri oluşturduğu süreçtir. Bu süreçte birçok alternatif çalışılarak, hangi ürün fikrinin hem ASELSAN vizyonuna hem de pazar ihtiyaçlarına uygun olduğu belirlenmektedir. Tasarımcılar fikirlerini gerek eskiz gerek 3 boyutlu modeller ile ifade edebilmektedir. Kavramsal tasarım aşaması; tasarımcının kullanım senaryoları oluşturarak, kullanıcının yaşayacağı problemleri öngörerek ürünü hem estetik, ergonomik hem de fonksiyonel olarak geliştirdiği önemli bir süreçtir. Yaratıcılığın ve yenilikçi yaklaşımların ortaya çıktığı bu süreç ürün tasarımında önemli bir safhayı oluşturmaktadır.

## DETAY TASARIM:

Detay tasarım, kavramsal tasarımda seçilen alternatifin üretim yöntemi ve ergonomi standartlarına uygun olarak 3 boyutlu ortamda gerekli yüzey tasarımlarının yapıldığı aşamadır. Bu süreçte, ilgili ekiplerle beraber çalışılarak ürünlerin gerçek hayata uygunluğu için çalışmalar yürütülmekte, özellikle ürün boyutuna göre ölçekli modeller yapılarak hem tasarım hem de ergonomik kontroller yapılmaktadır.

## KULLANILABİLİRLİK VE ERGONOMİ TESTLERİ:

Ürünlerin kullanıcılar tarafından anlaşılabilir ve kolay kullanılabilir olup olmadığını anlamak için kullanılabilirlik testleri yapılmaktadır. Bu testler esnasında kullanıcılara müdahale etmeden ürünü kullanmaları beklenmektedir. Ayrıca, ürünlerin fiziksel olarak ergonomik standartlara uygunluğu da test edilmektedir. Bu sürecin, ürünler pazara sunulmadan yapılması ileride oluşabilecek birçok problemin önüne geçerek, daha sonrasında zaman ve kaynak harcamasını önlemektedir.

# KULLANICI ARAYÜZ TASARIM

## KULLANICI DENEYİMİ/ARAYÜZÜ TASARIMI

Kullanıcı deneyimi (User Experience-UX) tasarımı, kullanımı kolay, keyifli ve kullanıcının ihtiyaçlarını karşılayan ürünler yaratmaya odaklanır. Bunun yanı sıra psikoloji, sosyoloji ve kullanıcı araştırması dahil olmak üzere çok çeşitli disiplin içerir. UX tasarımcıları, kullanıcıların ihtiyaç ve hedeflerini anlamak için kullanıcı araştırması yapar ve ardından bu bilgileri, ürünün genel kullanım deneyimini tasarlamak için kullanır. Kullanıcı arayüzü (User Interface- UI) tasarımı, kullanıcıların yazılım, uygulama veya web sitesiyle etkileşime girmesine yardımcı olan simgeler ve butonlar gibi görsel öğelerini oluşturmayı içerir. UI tasarımının amacı, kullanıcının yazılım, uygulama veya web sitesiyle olan deneyimini mümkün olduğunca sorunsuz ve sezgisel hale getirmektir.

- UX tasarımı tamamen kullanıcı problemlerini tanımlamak ve çözmekle ilgilidir; UI tasarımı tamamen sezgisel, estetik açıdan hoş, etkileşimli arayüzler oluşturmakla ilgilidir.
- UX tasarımı genellikle ürün geliştirme sürecinde önce gelir, ardından UI tasarım süreçleri gelir. UX tasarımcısı, kullanıcı yolculuğunun ana hatlarını çizer; UI tasarımcısı daha sonra onu görsel ve etkileşimli öğelerle doldurur.
- UX her türlü ürün, hizmet veya deneyim için geçerli olabilir; UI, dijital ürünlere ve deneyimlere özeldir.

## RAYLI ARAÇLARDA KULLANICI DENEYİM/ARAYÜZ TASARIMI

Raylı araçlarda UX/UI tasarım; insanı odakta tutan, güncel trendlerin ve ASELSAN mühendislik birikiminin ışığında, kullanıcı ve hedef pazar ihtiyaçlarına uygun fonksiyonel, kullanımı kolay görsel kalitesi yüksek ürünleri tasarlamaktır.

KULLANICI DENEYİMİ/ARAYÜZÜ TASARIM SÜRECİ

## KULLANICI DENEYİM/ARAYÜZ TASARIM SÜRECİ

### ARAŞTIRMA SÜRECİ:

Kullanıcıların ihtiyaç ve hedeflerini anlamak için kullanıcı araştırması yapılır. Bu süreç; literatür araştırması, anketler, röportaj ve daha önce var olan ürünün kullanılabilirlik testlerini içerir. Yapılan araştırmalar analiz edilerek tasarıma girdi olarak sunulur.

### FİKİR OLUŞTURMA VE PLANLAMA SÜRECİ:

UX tasarımcıları, ürünün tasarımına yönelik fikirler bulmak için araştırma aşamasından elde edilen bilgileri kullanır. Bu bilgiler: kullanıcı akışları, tel kafeslendirme (wireframe) ve prototipler oluşturmayı içerebilir.

## TASARIM SÜRECİ:

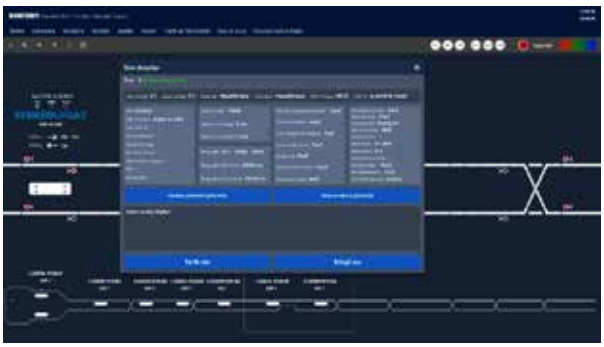
Tasarım aşamasında düzen, tipografi ve renk paleti dahil olmak üzere ürünün görsel tasarımını oluşturmak için gerekli çalışmalar yapılır. Görseller günün trendlerine ve kullanıcı ihtiyaçlarına uygun şekilde tasarlanır.

## GELİŞTİRME SÜRECİ:

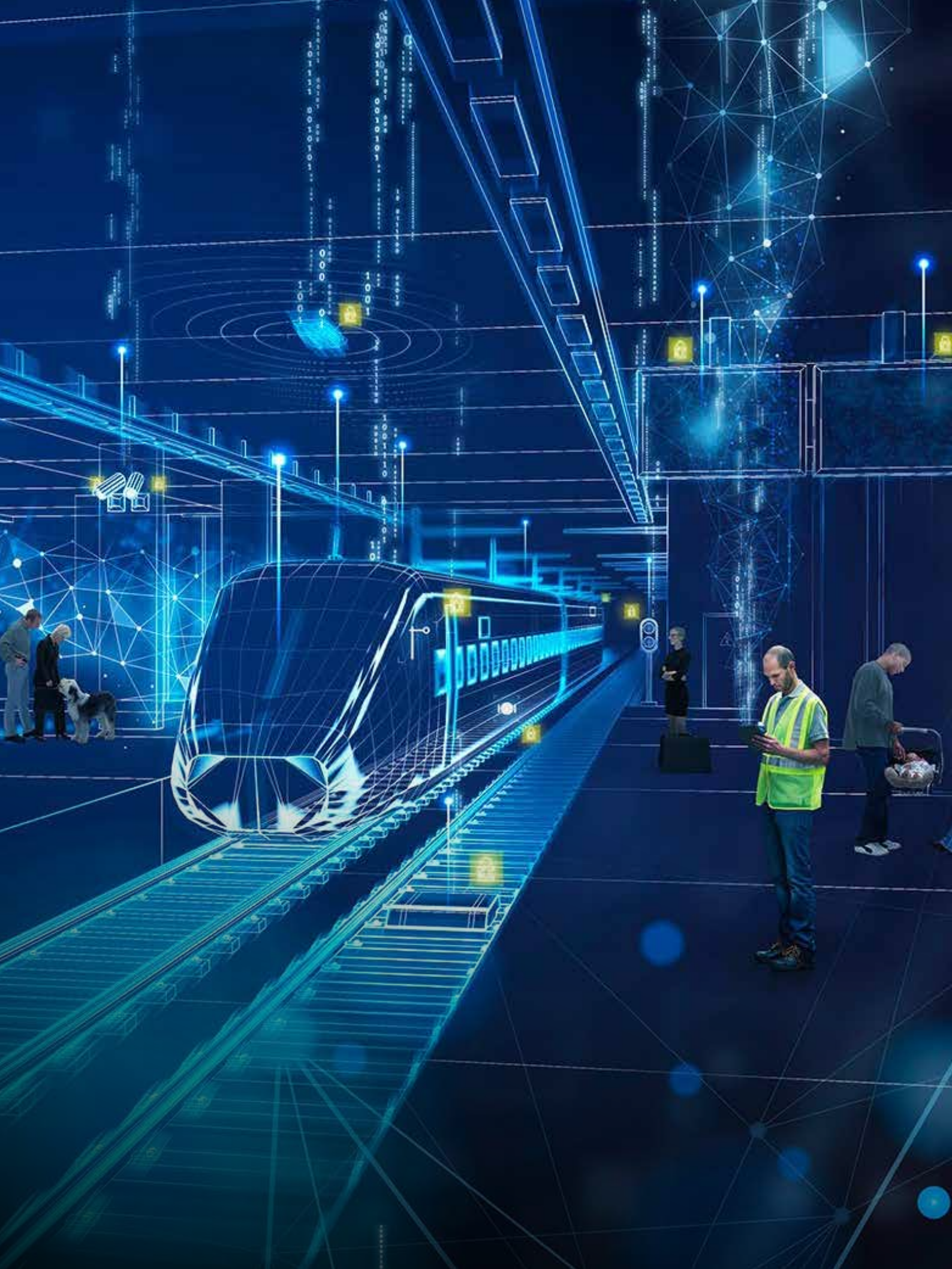
Geliştirme aşamasında tasarımcılar, yazılım geliştiriciler ile beraber çalışarak tasarımın uygulanması ve olası problemlerinin giderilmesi ile birlikte hayata geçmesi sağlanır.

## KULLANILABİLİRLİK TESTLERİ:

Ürünlerin kullanıcılar tarafından anlaşılabilir ve kolay kullanılabilir olup olmadığını anlamak için kullanılabilirlik testleri yapılır. Bu testler esnasında kullanıcılara müdahale etmeden kullanıcıların ürünü kullanmaları beklenir.



# RAYLI SİSTEMLERDE PROJE YÖNETİMİ YAKLAŞIMI



Raylı sistemler, günümüzde önemli bir toplu taşıma sistemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Toplu taşımada etkili, çevreci ve konforlu bir seçenek sunan raylı sistemlerin tasarım ve inşası ise karmaşık bir dizi süreci içermektedir. Bu minvalde; raylı sistemlerde karşılaşılan durumlar ele alınarak, başarılı bir raylı sistem proje yönetiminin önemli noktaları vurgulanacaktır.

Genel olarak raylı sistem projelerinde, proje kapsamı temel alındığında üç ana kategori ortaya çıkmaktadır;

- Araç Projeleri,
- Sinyalizasyon Projeleri
- Araç ve Sistem Ekipman, Bileşen Projeleri

Proje yönetimi için genellikle iki ana yaklaşım olan Waterfall (Şelale) ve Agile (Çevik) yöntemleri kullanılır. Waterfall yöntemi, proje sürecinin önceden belirli bir şekilde ilerlediği ve bir aşamanın tamamlanmasının ardından bir sonraki aşamanın başladığı bir yaklaşımdır. Bu yöntemde, ağ planlama ve zaman çizelgesi, risk yönetimi, kalite yönetimi gibi teknikler önceden belirlenen aşamaların sırasında uygulanır. Waterfall yöntemi, öngörülebilir ve sabit gereksinimlere sahip projelerde etkili olabilir.

Diğer yandan, Agile yöntemi, esneklik ve iş birliğine dayalı bir yaklaşımdır. Bu yöntemde, projenin gereksinimleri ve hedefleri sürekli olarak gözden geçirilir ve takımdaki üyelerin iş birliğiyle hızlı ve iteratif geliştirmeler yapılır. Agile yöntemi, iletişim yönetimi, değişiklik yönetimi, insan kaynakları yönetimi gibi teknikleri kullanarak ekipler arasındaki etkileşimi ve iş birliğini teşvik eder. Bu yaklaşım, proje gereksinimlerinde değişikliklerin sıkça yaşandığı ve hızlı tepki verilmesi gereken projeler için daha uygundur.

Raylı sistem projelerinde ise Waterfall ve Agile yöntemleri bir arada kullanılabilmektedir. Örneğin, projenin başlangıcında Waterfall yöntemi kullanarak ağ planlaması, risk yönetimi ve kalite yönetimi gibi tekniklerle temel bir çerçeve oluşturulabilir. Ardından, projenin ilerleyişi sırasında Agile yöntemi devreye alınabilir ve esneklik, iletişim ve değişiklik yönetimi gibi Agile teknikleri kullanılarak daha hızlı ve etkili gelişmeler sağlanabilir. Bu entegre yaklaşım, proje yönetimi sürecinde hem planlı ve tahmin edilebilir bir yaklaşımı hem de esneklik ve iş birliğini bir araya getirerek raylı sistem projelerinin başarılı bir şekilde yönetilmesine yardımcı olabilir.

## PROJE YÖNETİMİ YAKLAŞIMI

Genel olarak; raylı sistem projelerinde etkili bir proje yönetimi için dikkate alınması gereken yaklaşımlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

**A. İyi Bir Planlama:** Proje yönetimi süreci, iyi bir planlama ile başlar. Projenin hedefleri, kapsamı, zaman çizelgesi ve bütçesi belirlenmeli, kaynaklar doğru bir şekilde tahsis edilmeli ve riskler önceden değerlendirilmelidir. Teklif verme döneminden başlayarak, işin alınması ve sözleşme içeriğinin oluşturulması süreci, planlamanın ana altyapısının oluştuğu kritik bir etkinlikler bütünüdür. İyi bir proje planlamasının önemli olduğu bazı noktalar:

*Hedeflerin Belirlenmesi:* Hedefler, projenin neyi başarmayı amaçladığını ve projenin sonuçlarının ne olması gerektiğini tanımlar. Hedeflerin ölçülebilir olması son derece önemlidir.

*Kapsamın Tanımlanması:* Projenin hangi işlerin dahil olduğunu ve hangi işlerin dışında olduğunu netleştirir. Kapsamın doğru bir şekilde tanımlanması, projenin sınırlarının belirlenmesine ve gereksiz faaliyetlerin önlenmesine yardımcı olur.

*Kaynakların Tahsis Edilmesi:* İnsan kaynakları, finansal kaynaklar, malzeme ve ekipman gibi unsurları içerir. Kaynakların verimli bir şekilde kullanılması ve gereksiz maliyetlerin önlenmesi hedeflenmelidir.

*Zaman Çizelgesi Oluşturma:* Projenin farklı aşamalarının ne zaman başlayaca-

ğını, ne kadar süreceğini ve hangi aşamaların birbirini takip edeceğini gösterir. Raylı sistemler projelerinde, genel olarak; teslim edilecek nihai ürünün tasarım, test, devreye alma safhalarından, işletmeye alınmasına kadar bir dizi teknik ve idari onay süreçleri yoğun bir şekilde gerçekleştiğinden, proje zaman çizelgesi oldukça dinamik bir şekilde değişen, bu değişikliklerin de proje yönetimi tarafından dikkatli bir şekilde izlenmesinin gerektiği önemli bir performans alanı olarak ortaya çıkmaktadır.

**B. Ekip İş birliği:** Raylı sistem projelerinde birçok paydaşın bulunması, ekip çalışmasını önemli hale getirir. Farklı disiplinlerden uzmanların bir araya gelerek iş birliği yapması, proje sürecinin etkin bir şekilde yönetilmesini sağlar.

*Uzmanlık ve Yeteneklerin Birleşimi:* Mühendisler, mimarlar, tasarımcılar, inşaat uzmanları ve diğer paydaşlar arasındaki etkili bir iş birliği, projenin her aşamasında en iyi uygulamaların ve çözümlerin keşfedilmesini ve uygulanmasını sağlar.

*Bilgi Paylaşımı ve İletişim:* İyi bir ekip iş birliği, açık ve etkili iletişimi teşvik eder. Ekip üyeleri arasında düzenli ve aktif iletişim, bilgi paylaşımını kolaylaştırır. Bu, projenin farklı aşamalarında ortaya çıkabilecek sorunların hızla tespit edilmesini ve çözülmesini sağlar.

*Problemlerin Çözümünde Hız ve Verimlilik:* Raylı sistem projelerinde karşılaşılan problemler zaman zaman ortaya çıkabilir ve projenin ilerlemesini engelleyebilir. İyi bir ekip iş birliği, ekip üyelerinin sorunlara hızlı bir şekilde tepki vermesini ve etkili çözümler üretmesini sağlar.

*Motivasyon ve İş Memnuniyeti:* İyi bir ekip iş birliği, ekip üyeleri arasında birlik ve dayanışma duygusunu güçlendirir. Ekip üyeleri, birbirlerine destek olur, birlikte çalışmanın getirdiği motivasyonu paylaşırlar. Bu da iş memnuniyetini artırır ve projenin başarı şansını yükseltir.

**C. Risk Yönetimi:** Raylı sistem projeleri, birçok riskle karşılaşabilecek karmaşık projelerdir. Bu nedenle, riskler önceden belirlenmeli, değerlendirilmeli, yeni riskler ortaya çıkar çıkmaz ele alınmalı ve uygun risk yönetimi stratejileri geliştirilmelidir. Risklerin etkileri minimize edilmeli ve alternatif planlar oluşturulmalıdır. Bu sürece yönelik adımlar aşağıdaki şekildedir:

*Risk Tanımlama:* Risk yönetimindeki ilk adım riskleri tanımlamaktır. Proje ekibi, projenin her aşamasında potansiyel riskleri belirlemelidir. Bu riskler, teknik, mali, operasyonel, çevresel ve paydaşlarla ilgili olabilir. Örneğin, finansal kaynakların yetersizliği, teknik sorunlar, hava koşulları, düzenleyici engeller gibi riskler tanımlanabilir.

*Risk Analizi:* Tanımlanan risklerin analizi yapılmalıdır. Bu aşamada risklerin olasılığı, etkisi ve olası sonuçları değerlendirilir. Her riskin önemi ve önceliği belirlenir. Bu analiz, projenin risklerle nasıl başa çıkacağını ve hangi risklere öncelik verileceğini belirlemek için kullanılır.

*Risk Değerlendirmesi:* Risklerin değerlendirilmesi, risklerin kabul edilebilirlik düzeyini belirlemeyi içerir. Bazı riskler, kabul edilebilir seviyelerde olabilir ve daha fazla önlem alınmasına gerek olmayabilir. Ancak, yüksek riskli alanlar tespit edilirse, daha fazla dikkat ve strateji gerektirebilir.

*Risk Stratejileri Geliştirme:* Risk yönetimi sürecinde, belirlenen risklere yönelik stratejiler geliştirilmelidir. Bu stratejiler, riskleri azaltmayı, kabul etmeyi, transfer etmeyi veya tamamen önlemeyi içerebilir. Örneğin, riskli bir teknik sorun için daha fazla araştırma yapmak, alternatif çözümler bulmak veya riskin etkilerini azaltacak ek önlemler almak stratejiler arasında yer alabilir.

*Risk Takibi ve Kontrolü:* Risk yönetimi, projenin süreci boyunca devam etmelidir. Tanımlanan risklerin izlenmesi, kontrol edilmesi ve gerekirse stratejilerin güncellenmesi önemlidir.

**D. İletişim ve Koordinasyon:** Projenin tüm paydaşları arasında etkili iletişim ve koordinasyon sağlanmalıdır.

*Paydaşlar Arasındaki Etkili İletişim:* Raylı sistem projeleri birçok paydaşı içerir, bu da çeşitli ilgili kişi ve kurumlar arasında etkili bir iletişimi gerektirir. Projede yer alan paydaşlar arasında, müşteriler, finansörler, proje ekibi, müteahhitler, kamu kurumları ve yerel topluluklar gibi farklı gruplar bulunabilir. Etkili iletişim, paydaşların beklentilerini anlamak ve projenin tüm taraflarının ortak hedeflere odaklanmasını sağlamak için önemlidir.

*Bilgi Akışının Hızlı ve Doğru Olması:* Raylı sistem projeleri genellikle karmaşık ve detaylıdır. İyi bir iletişim ve koordinasyon, projeyle ilgili bilgilerin hızlı ve doğru bir şekilde paylaşılmasını sağlar. Bu, projenin farklı aşamalarında ortaya çıkan değişikliklerin, ilerlemelerin ve kararların zamanında paylaşılmasını ve tüm ekip üyelerinin güncel bilgilere erişimini sağlar.

*Uyum ve Entegrasyon:* İyi bir iletişim ve koordinasyon, farklı projelerin veya projenin alt bileşenlerinin uyumlu bir şekilde çalışmasını sağlar. Farklı ekipler arasında düzenli iletişim ve koordinasyon, projenin tüm bileşenlerinin bir araya getirilmesini ve uyumlu bir şekilde entegre edilmesini kolaylaştırır. Bu, projenin başarılı bir şekilde tamamlanması için önemlidir

## RAYLI SİSTEM PROJELERİNDE KARŞILAŞILAN AŞAMALAR

Bu projelerde sıkça rastlanan bazı aşamalar aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

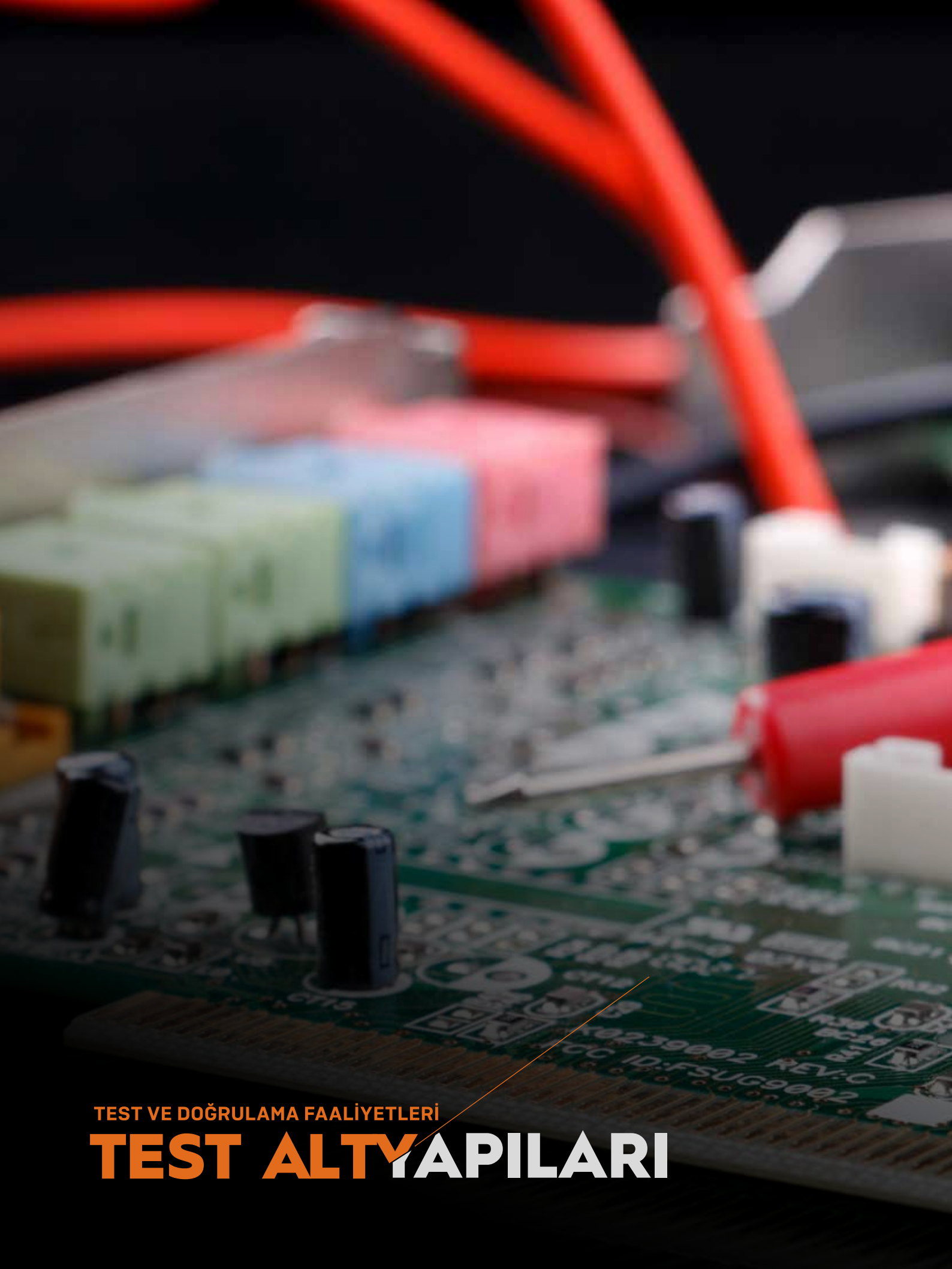
- **Finansman:** Raylı sistem projeleri genellikle büyük maliyetlere sahiptir. Finansmanın sağlanması, projenin başarıyla tamamlanması için önemli bir faktördür. Uzun süreçlere yayılan raylı sistem projelerinde, sözleşmenin karşılıklı onaylanmasından başlayarak, projenin tüm safhalarında gerçekleşen finans aktiviteleri çok yakın ve dengeli bir şekilde yönetilmelidir.

- **Teknik Aşamalar:** Raylı sistem projeleri, karmaşık mühendislik çalışmalarını gerektiren yapılardır. Tasarım, inşa ve montaj süreçlerinde özellikle takvim kaymalarına neden olacak teknik zorluklarla karşılaşılabilir. Sertifikasyon, sistemlerin entegrasyonu, sinyalizasyon ve güvenlik sistemlerinin kurulumu gibi teknik detaylar dikkatlice yönetilmelidir.

- **Çevresel Etkiler:** Raylı sistem projeleri genellikle şehir merkezlerinde veya yoğun nüfuslu bölgelerde gerçekleştirilir. Bu da çevresel etkilerin ve toplumun projeye olan tepkilerinin önemli olduğu anlamına gelir. Bu nedenle, çevresel etkilerin yönetimi ve toplumun katılımı projenin başarısı için önemlidir.

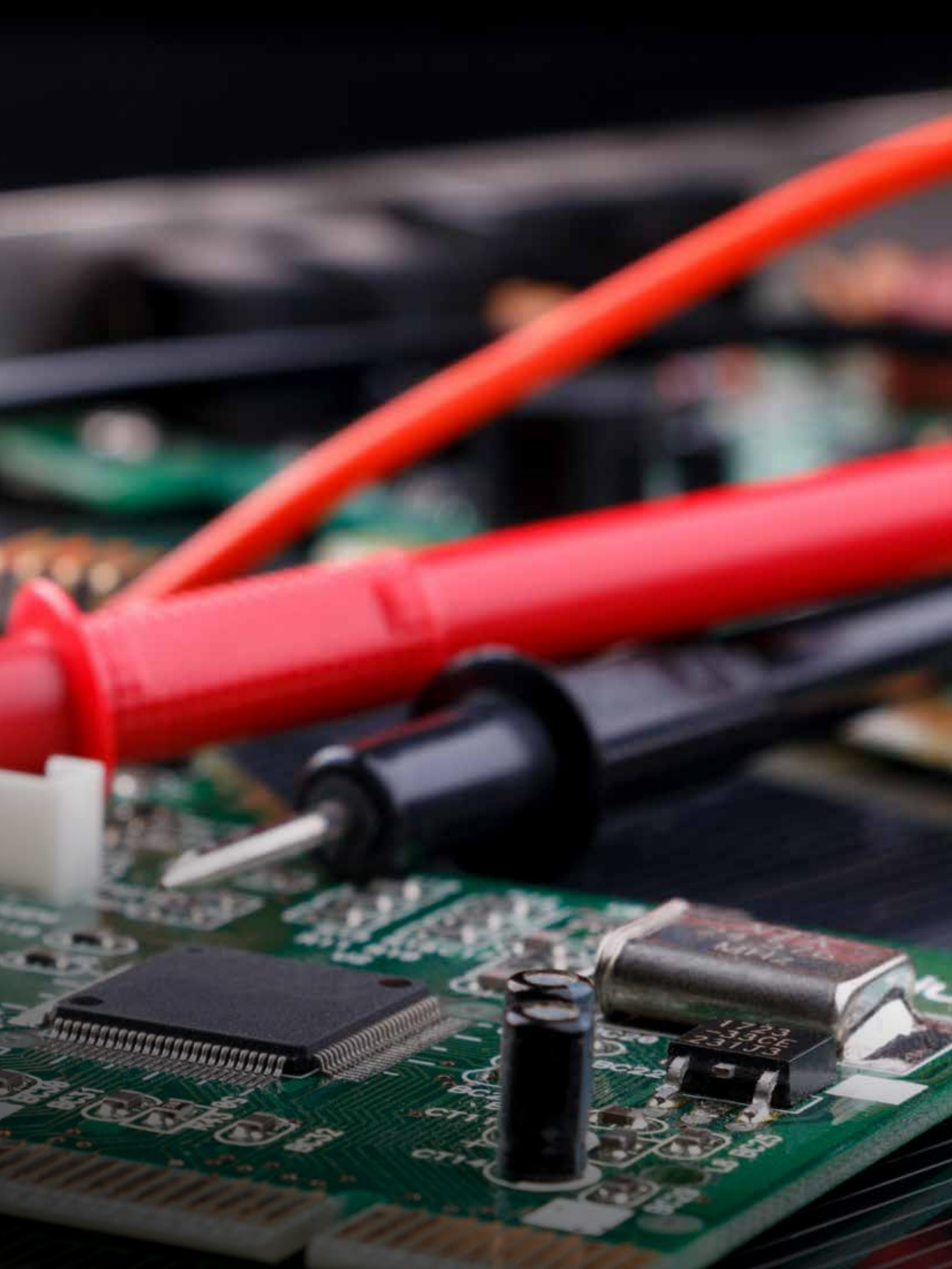
- **İşletme ve Bakım:** Raylı sistem projeleri tamamlandıktan sonra, uzun vadeli işletme ve bakım süreçleri önem kazanır. İşletme aşamasında doğru ekipman, personel ve süreçlerin yönetilmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak; raylı sistem projeleri, toplu taşıma sektöründe önemli bir yere sahip, karmaşık ve büyük ölçekli projelerdir. Bu projelerin başarıyla tamamlanabilmesi için etkili bir proje yönetimi yaklaşımının benimsenmesi gerekmektedir. Bu nedenle, projenin başlangıcından itibaren ihtiyaç analizi yapılmalı, planlama süreci dikkatlice yürütülmeli, ekip iş birliği sağlanmalı ve riskler önceden belirlenerek yönetilmelidir. Bu sayede, toplumun ihtiyaçlarına cevap verebilen, güvenli ve sürdürülebilir raylı sistem projeleri başarıyla tamamlanabilir.



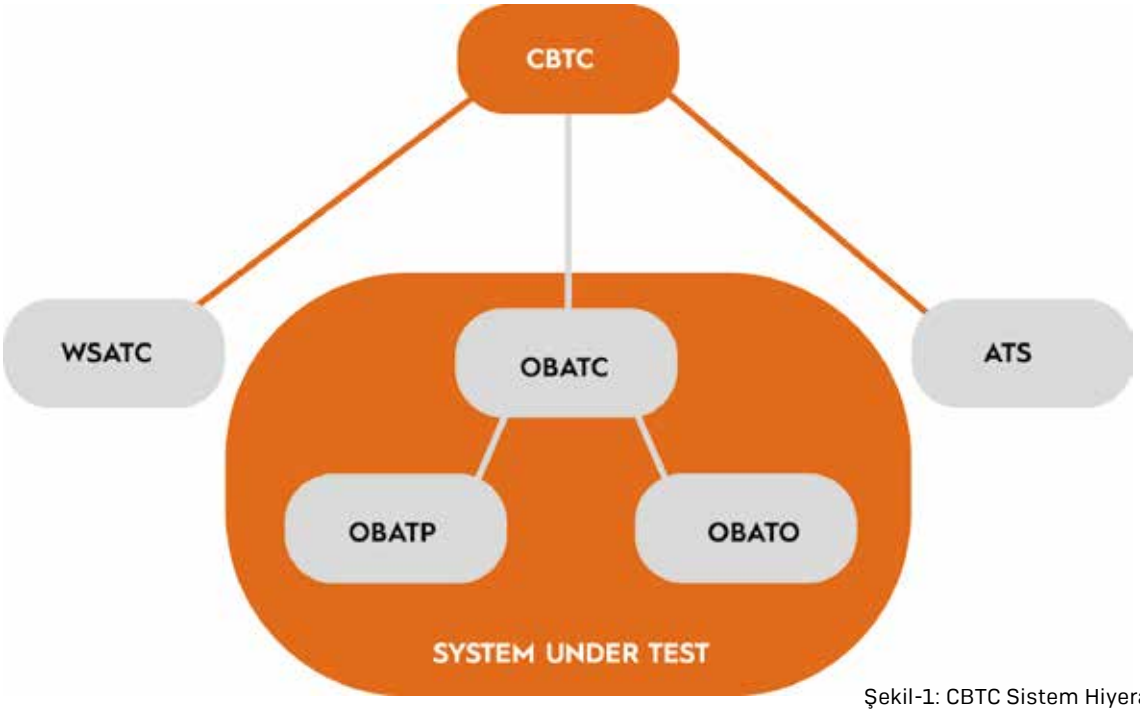
TEST VE DOĞRULAMA FAALİYETLERİ

# TEST ALTYAPILARI



## OTOMATİK TEST YAPISI GELİŞTİRME

İletişim Tabanlı Tren Kontrolü (CBTC), demiryolu hat devrelerinden bağımsız yüksek çözünürlüklü tren konum belirleme kullanarak sürekli Otomatik Tren Kontrolü (ATC) sağlayan bir sistemdir. Ayrıca sürekli, yüksek kapasiteli, iki yönlü tren-yol veri iletişimi ve IEEE 1474 standartlarında belirtildiği gibi kritik fonksiyonları uygulayabilen araç üstü ve yol kenarı işlemcilerini içerir. CBTC sisteminin alt sistemleri, ana işlevsellikleri ve arayüzleri, bu makalede sunulan test ortamındaki simülatörleri daha iyi anlamak için temel olarak anlaşılmalıdır. Araç üstü ATC (OBATC) sistemi, geliştirilen otomatik test ortamı ile test edilen CBTC sisteminin altsistemlerinden biridir. OBATC iki altsistemden oluşur, birinci altsistem Araç üstü Otomatik Tren Koruması (OBATP) olup bu sistem araç-üstü bilgisayarlar, hayati ve hayati olmayan röleleri içeren Tren Arayüz Birimi (TIU), odometre sensörleri, Baliz İletim Modülü (BTM) ve BTM anteninden oluşur. OBATP, OBATC ve Otomatik Tren Denetimi (ATS) ile birlikte CBTC sisteminin bir başka altsistemi olan yol kenarı ATP (WSATP) tarafından belirlenen hareket yetkisi doğrultusunda trenin yönünü ve hızını denetler. Ayrıca OBATP alt sistemi, tren üzerindeki tüm emniyet kritik fonksiyonlardan (kapı açma yetkisi, acil fren yetkisi, çekiş kesme vb.) sorumludur. OBATP'nin bir parçası olan BTM ve BTM anteni, balizleri tanır ve Profibus üzerinden Emniyetli Bilgisayar Sistem (SCS) birimlerine ham veri sağlar. Balizler hat boyunca bulunan ve raylar arasına yerleştirilen kodlanmış belli bir sinyali gönderen cihazlardır ve treni konumlandırmak ve tren konumunu hesaplarken oluşan kümülatif hataları azaltmak için kullanılır. İkinci altsistem, Araç-üstü Otomatik Tren İşletimi (OBATO) adını taşır ve hız düzenlemesi, programlanmış duraklama, kapı kontrolü, performans seviyesi düzenlemesi veya tren operatörüne atanmış diğer işlevleri gerçekleştirir. OBATO ayrıca treni belirli bir hassasiyetle platform ekran kapılarıyla hizalamakla da sorumludur. OBATO, ATS tarafından sağlanan bekleme süresi ile kapıların kapanmasını ve açılmasını talep eder. Ek olarak OBATO, Sürücü Makine Arayüzü (DMI) aracılığıyla sürücüye gerekli sinyal bilgilerini ve sistem durumunu sağlar ve sürücü taleplerini OBATC sistemindeki ilgili birimlere aktarır. Sinyalizasyon sistemi etkinleştirildiğinde, OBATO, çoğunlukla demiryolu araçları için kullanılan ve seri bir veri yolu olan Çok İşlevli Araç Veri Yolu (MVB) üzerinden Tren Kontrol ve Yönetim Sistemi'ndeki (TCMS) Merkezi Kontrol Ünitesi (CCU) ile iletişim kurar. Genel olarak, CBTC sisteminin hiyerarşik yapısı Şekil-1'de görülebilir.




Şekil-1: CBTC Sistem Hiyerarşisi

Çok karmaşık ve emniyet kritik bir sistem olan CBTC araç-üstü sistem testleri büyük çaba gerektirir. Hata düzeltmeleri, tasarım veya uygulama değişikliklerini takiben saha testlerinden önce fabrika düzeyinde birçok test gerçekleştirilmelidir ve bu testlerin sahadaki sınırlı zaman ve diğer kısıtlayıcı koşullar göz önüne alındığında mümkün olan en kısa sürede yönetilmesi son derece önemlidir. Her test koşumunda bu testlerin manuel olarak yapılması durumunda işçilik maliyeti önemli ölçüde artar. Bu nedenle, test otomasyonunun gerekliliği açıktır. Önceden tanımlanmış senaryoları otomatik olarak çalıştırabilen ve CBTC araç üstü sistem testleri için test raporları oluşturabilen bir test ortamı bu amaçlar için geliştirilmiştir. Geliştirilen test ortamında otomatik testler gibi sistem tasarımını doğrulamak için manuel testler de yapılabilir. Temel test ekipmanlarının (güç kaynakları, osiloskoplar, adaptörler, ağ anahtarları vb.) yanı sıra test ortamı, önceden bahsedilen arayüzleri simüle etmek ve test otomasyonunu gerçekleştirmek için 11 ana yazılım bloğundan oluşur. Bu yazılım blokları aşağıdaki gibidir:

- **BTMIS (Baliz İletim Modülü Arayüz Simülatörü):** Emniyetli Bilgisayar Sistem (SCS) birimine baliz ham verisi sağlar.
- **WSIS (Yol Kenarı Arayüz Simülatörü):** OBATP'ye hareket yetkisi sağlayarak izin verilen hat blokları ve karşılık gelen hız limitlerini belirler.
- **TIS (Tren Arayüz Simülatörü):** İlgili tren inputlarını sağlamak için geliştirilmiştir.
- **SSIS (Hız Sensörü Arayüz Simülatörü):** OBATP'ye sensör (takometreler ve doppler radar) bilgisini sağlar.
- **TCMSIS (Tren Kontrol ve Yönetim Sistemi Arayüz Simülatörü):** Tren ile ilgili bilgileri OBATO'ya iletmek için geliştirilmiştir.
- **ATSIS (Otomatik Tren Denetimi Arayüz Simülatörü):** OBATO'ya bir sonraki istasyonun ID'si ve istasyondaki istenen duruş noktası gibi bilgileri sağlar.
- **DMIS (Sürücü Makine Arayüz Simülatörü):** Gerçek DMI ile gerçekleştirilen eylemleri simüle etmek için tasarlanmıştır.
- **TMS (Tren Hareket Simülatörü):** Tren hareket dinamiklerini simüle etmek için geliştirilmiştir.
- **SC (Senaryo Kontrolörü):** Otomatize edilmiş test senaryolarını koşmak için senaryo adımlarını yürüten ve yukarıda ifade edilen diğer tüm modülleri kontrol ve senkronize eden simülatördür.
- **SE (Senaryo Düzenleyici):** Senaryoları, senaryo isimlerini, tanımlarını ve adımlarını listeleyebildiğimiz ekleyip silebildiğimiz ve düzenleyip kaydedebildiğimiz yazılım bloğudur.
- **SRE (Senaryo Sonuç Değerlendirici):** Gerçek sonuçlarla beklenen sonuçları karşılaştırarak senaryo adımının geçtiğini ya da kaldığını belirleyen simülatördür.

## TEST ORTAMI VE TEST OTOMASYONU KULLANIMI İLE ELDE EDİLEN AVANTAJLAR

Otomatik test altyapısı, test sürecini hızlandırmakta ve tekrarlanabilirliği arttırmaktadır. Bu sayede regresyon koşumunun sıkça yapıldığı sistemlerde ciddi anlamda zaman tasarrufu sağlamaktadır. Testleri manuel olarak yapmak yerine otomatik olarak çalıştırabilir ve sonuçlar hızla elde edilebilir. Bu durum test süresini kısaltmakta ve daha fazla testin kısa sürede gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. CBTC projesi kapsamında elde edilen verilere göre otomasyonun kullanıldığı durumdaki test süresinin manuel koşumdaki test süresine kıyasla %70 daha az olduğu görülmektedir.

Otomatik testler, insan hatası riskini azaltmaktadır. Manuel olarak yapılan testlerde, kullanıcı hataları veya yanlışlıkla yapılan adımlar nedeniyle hatalar ortaya çıkabilir. Otomatik testler bu hataları önlemek için daha kesin ve tutarlı bir şekilde çalışır.

Otomatik test altyapısı, büyük miktarda test senaryosunu yönetebilme kapasitesine sahiptir. Farklı senaryoları, farklı giriş verileriyle ve farklı durumlarla otomatik olarak çalıştırabilmektedir. Bu, sistemlerin geniş bir yelpazede test edilmesini sağlar ve test kapsamını arttırır.

Bunun yanı sıra otomatik testler, işçilik maliyetinin azaltılmasını sağlayarak proje maliyetlerinin düşürülmesine katkıda bulunmaktadır.

## DEZAVANTAJLARI

Otomatik test altyapısının kurulumu ve yapılandırılması için başlangıç maliyeti yüksek olabilmektedir. Test otomasyon araçlarına ve altyapının kurulmasına ve yönetilmesine yatırım yapmak gerekebilir. Bu, bazı projeler için başlangıçta bir maliyet engeli oluşturabilmektedir.

Otomatik test altyapısı zamanla bakım gerektirebilir. Test senaryoları ve otomasyon araçları güncel tutulmalı ve değişen sistem gereksinimlerine uyum sağlanmalıdır. Bu durum, ek bir kaynak ve zaman gerektirmektedir.

Otomatik testlerin başka bir dezavantajı ise insan müdahalesinin sınırlı olmasıdır. Özellikle karmaşık senaryolarda veya hata ayıklama süreçlerinde manuel müdahale gerekebilmektedir. Otomatik testlerin her durumu kapsaması mümkün olmayabilir.

## SONUÇ

Otomatik test altyapısı geliştirme, yazılım ve sistem testlerinde önemli avantajlar sağlayan bir süreçtir. Bu altyapı, test sürecini hızlandırmakta, verimliliği artırmakta, tekrarlanabilirliği sağlamakta ve insan hatalarını azaltmaktadır. Kapsamlı test kapasitesi sayesinde daha geniş bir test kapsamı elde edilmektedir. Bununla birlikte, başlangıç maliyeti ve bakım gerekliliği gibi bazı dezavantajlar da göz önünde bulundurulmalıdır. Şirketler, ihtiyaçlarına ve kaynaklarına göre otomatik test altyapısı geliştirmeyi değerlendirmeli ve avantajları ile dezavantajları dikkatlice değerlendirerek karar vermelidir. Genel olarak, otomatik test altyapısı geliştirme, daha güvenilir ve sağlam yazılım veya sistemlerin oluşturulmasına katkı sağlamakta ve test sürecini daha verimli hale getirmektedir.

# ÇEKİŞ SİSTEMLERİNDE ÜRETİM TEST ALTYAPILARI

Donanım tasarımı tamamlanmış ve seri üretim fazına geçilmiş kart veya birimlerin üretim doğrulama aşamaları; taşıyabileceği riskler açısından kritik öneme sahiptir. Bu yüzden üretilen kartların ve/veya birimlerin test gereksinimlerinin belirlenmesi, bu gereksinimlere göre testlerinin yapılması, test sonuçlarının alınarak raporlanması ve hatalar varsa tespit edilebilmesi gerekmektedir.

ASELSAN tarafından çekiş sistemlerinde kullanılmak üzere tasarlanan çekiş konvertörü, cer motorlarının kontrolünü, 400/230VAC gerilim ile beslenen ekipmanların enerjilendirilmesini ve bataryaların şarj edilmesini sağlamaktadır. İçerisinde çekiş ünitesi, yardımcı güç ünitesi, batarya şarj ünitesi ve sıvı soğutma ünitesi bulunmaktadır (Şekil 1). Çekiş ünitesi ve yardımcı güç ünitesi içerisinde kontrol, işlemci ve güç kartları yer almaktadır (Şekil 2).

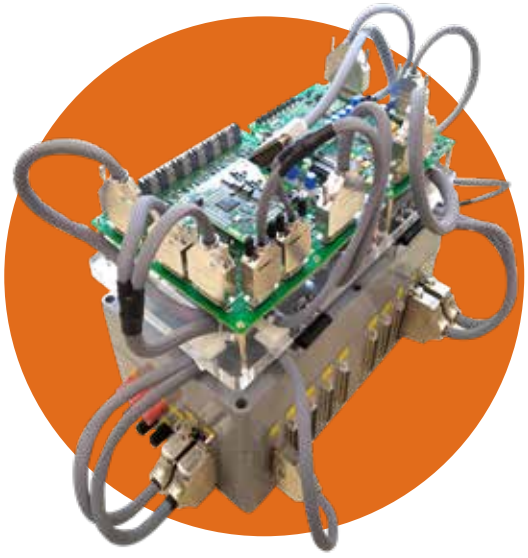
Şekil 1 Çekiş Konvertörü

Şekil 2 Kontrol Birimi

## KART ÜRETİM TEST ALTYAPILARI

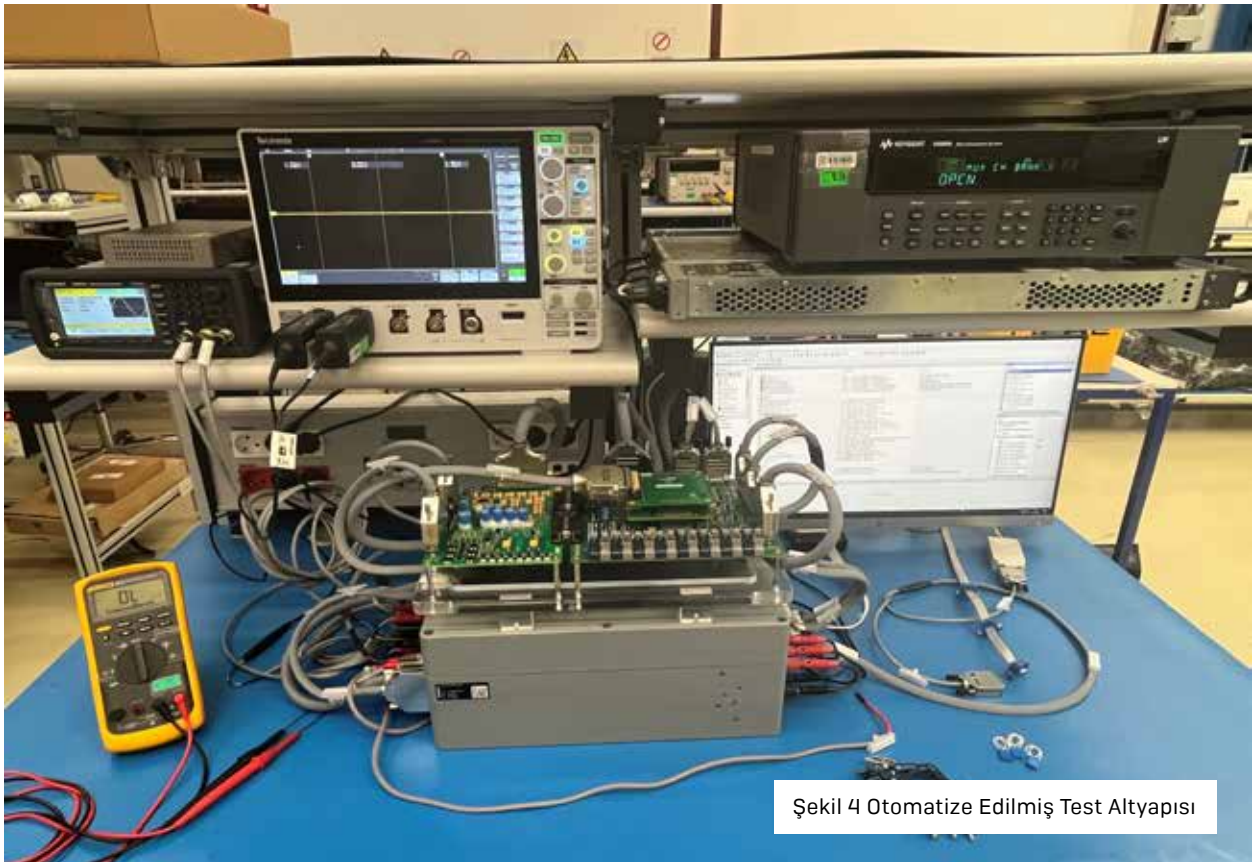
Çekiş Konvertöründe yer alan her bir kartın üretim doğrulama testleri için ayrı test prosedürleri hazırlanması gerekmektedir. Bu prosedürlerde test adımları, testlerin nasıl gerçekleşeceği, test esnasında ihtiyaç duyulacak ekipmanlar ve test geçme/kalma kriterleri belirtilmektedir.

Kartların fonksiyonel testlerini eksiksiz bir biçimde gerçekleştirebilmek için uygun test altyapısının kurulması gerekmektedir. Bu test altyapısı; test donanımından, test yazılımından, standart test cihazlarından (osiloskop, güç kaynağı vb.) ve harici test kablolarından meydana gelmektedir. Test edilecek kartlar ile test ekipmanlarının birbirleri olan bağlantısını sağlamak amacıyla ABA (Arayüz Bağlantı Adaptörü) olarak adlandırılan test kutuları tasarlanmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3 Arayüz Bağlantı Adaptörü

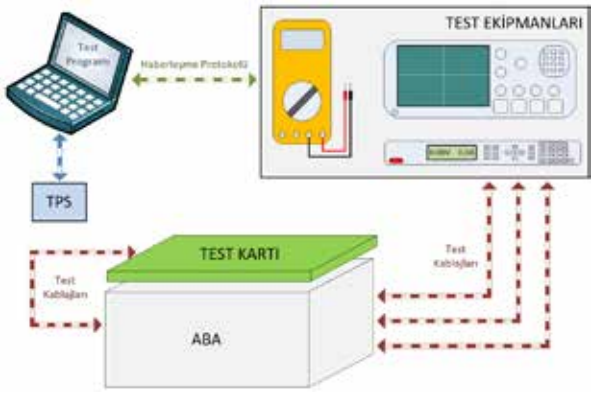
Üretim doğrulama testleri manuel veya otomatik olarak yapılabilmektedir. Manuel testlerde; operatörün görsel kontrol yapması, fiziksel ölçümler alarak sonuçları raporlaması gibi dikkat gerektiren faaliyetlerin bulunması testlerin riskini arttırmaktadır. Manuel test esnasında yaşanabilecek operatör kaynaklı hataların önüne geçmek ve test sürelerini kısaltmak amacıyla üretim test altyapılarında otomatik test sistemleri yaygın olarak tercih edilmektedir (Şekil 4 ve Şekil 5).



Şekil 4 Otomatize Edilmiş Test Altyapısı

Otomatik testler için kullanılan cihazların öncelikle RS422, CAN, Ethernet gibi protokollerle haberleşmesi ve otomasyona uygun sürücüleri olması gerekmektedir. Üretici firmalardan sağlanan bu sürücüler C# tabanlı kodda derlenerek tek bir dosya haline getirilmektedir. Bu kütüphane dosyası ile TPS (Test Program Seti) geliştirilmektedir.

TPS geliştirirken testleri koşturacak bir test yönetim programı kullanılmaktadır. Bu program aracılığıyla üretim doğrulama testleri için test senaryoları oluşturulmaktadır. Senaryolar içerisinde kütüphane dosyası çağırılmakta ve istenilen cihazın konfigürasyonu yapılmaktadır. Otomatik olarak alınan ölçümler tasarım aşamasında belirlenen toleranslar ile karşılaştırılarak geçti/kaldı bilgisi veren test raporu oluşmakta ve kartların üretimi doğrulanmaktadır.




Şekil 5 Test Altyapısı Blok Şeması

## ÇEKİŞ KONVERTÖRÜ ÜRETİM TEST ALTYAPILARI

Test edilmiş kontrol kartları ve çeşitli elektronik/elektromekanik komponentlerin (sensörler, çeviriciler, kontaktörler, anahtarlama elemanları, bağlantı kabloları vb.) birleştirilmesiyle çekiş konvertörü üretimi tamamlanır. Üretimi tamamlanan çekiş konvertöründe malzeme ve işçilik hatalarının tespitini sağlayan üretim doğrulama testlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

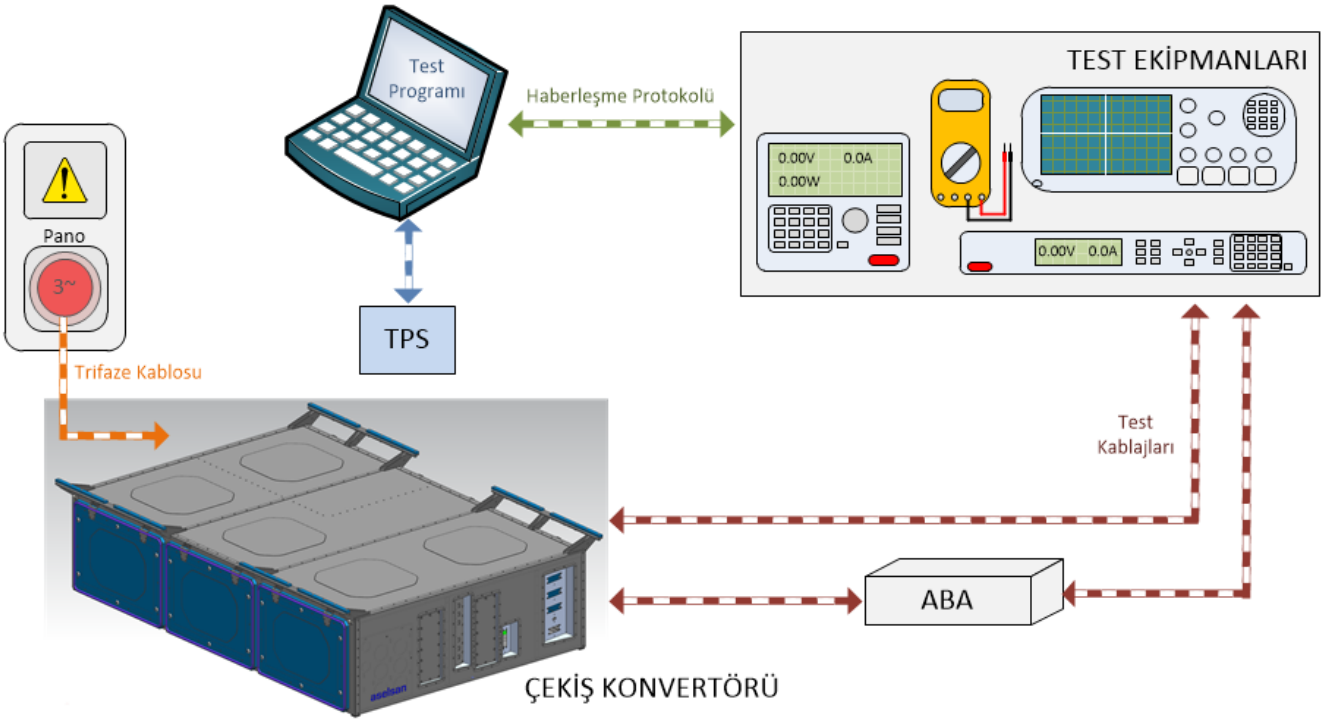
Çekiş konvertörü üretim doğrulama testleri, test yöntemlerinin ve test düzeneklerinin farklılığı sebebiyle "düşük gerilim testleri" ve "yüksek gerilim testleri" olarak ikiye ayrılmaktadır.

### Düşük Gerilim Testleri

Düşük gerilim testlerinde görsel, elektriksel bağlantı kontrolleri ile işçilik ve malzeme kaynaklı hataların tespit edilmesi hedeflenmektedir. Düşük gerilim testleri aşağıdaki adımları kapsamaktadır.

- Görsel kontroller
- İzolasyon testi
- Kablaj kontrolleri
- Haberleşme testleri
- Kontaktörler, gerilim/akım sensörleri, çeviriciler, enkoder, batarya şarj ünitesi, soğutma sistemi testleri
- I/O testleri

Düşük gerilim testleri için operatör hatalarını en aza indirgemek amacıyla otomatik test altyapısı tasarlanmaktadır (Şekil 6). Bu altyapı, kart üretim doğrulama testleri için geliştirilen TPS yöntemlerine benzer adımlar uygulanarak hazırlanmaktadır. Test raporu, test yazılımı tarafından otomatik olarak oluşturulmaktadır.




Şekil 6 Düşük Gerilim Testleri Blok Şeması

## Yüksek Gerilim Testleri

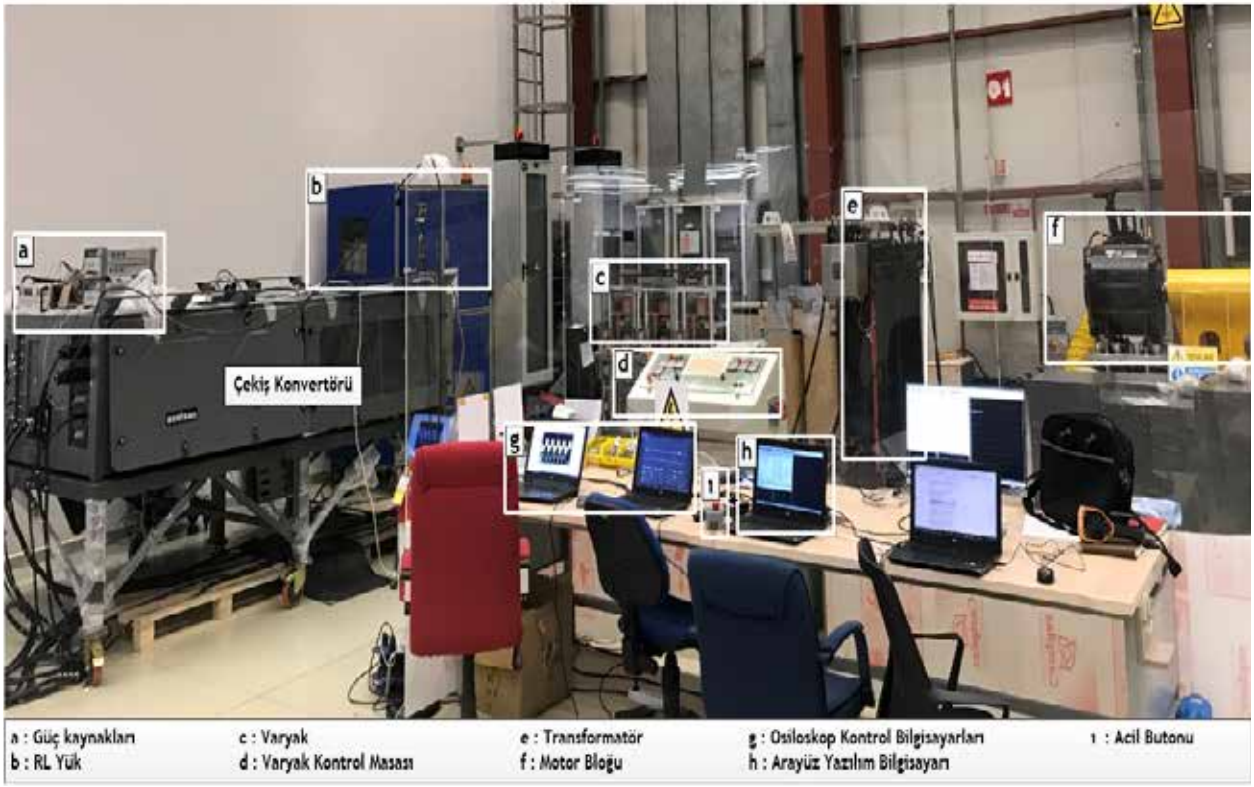
Düşük gerilim testlerinin başarılı olarak tamamlanmasıyla yüksek gerilim testleri operatör tarafından manuel olarak gerçekleştirilmektedir. Yüksek gerilim test altyapısında; düşük gerilim test altyapısından farklı olarak yüksek güç kapasiteli test ekipmanları, çekiş konvertörüne test komutlarının iletilmesini ve verilerin izlenmesini sağlayan arayüz yazılımı, manuel test prosedürü ve test sonuçlarının kayıt altına alınacağı test raporu yer almaktadır.

Test altyapısında çekiş konvertörünün nominal giriş gerilim seviyesi için transformatör ve bu gerilim seviyesinin kademeli olarak ayarlanmasını sağlayan varyak yer almaktadır. Yük olarak motor bloğu ile RL yük cihazı ve analog verilerin anlık olarak izlenebilmesi için osiloskop cihazları kullanılmaktadır (Şekil 7).

Yüksek gerilim testleri aşağıdaki adımları kapsamaktadır.

- Yüksüz durumda farklı giriş gerilim kademeleri için çekiş ünitesi ve yardımcı güç ünitesi testleri
- Yüklü durumda nominal giriş gerilimi ile çekiş ünitesi ve yardımcı güç ünitesi testleri

Bu testler sırasında giriş/çıkış gerilim değerlerine ve dalga şekillerine, giriş/çıkış akım değerlerine ve dalga şekillerine, dc bara gerilim değerine, birim içi sıcaklık değerlerine bakılarak yüksek gerilim testleri tamamlanmaktadır.




Şekil 7 Yüksek Gerilim Testleri Test Düzeneği

# ÇEKİŞ SİSTEMLERİNDE UZAKTAN VERİ ALIŞVERİŞİ

ASELSAN tarafından özgün olarak tasarlanan cer sürücüsü biriminin tasarım doğrulama testlerinde, sistem seviyesi entegrasyon/işletme testlerinde ve satış sonrası entegre lojistik destek faaliyetleri aşamasında veri kayıt altyapısı kullanılmaktadır.

## ÇEKİŞ SİSTEMLERİNDE VERİ KAYIT GEREKSİNİMİ

Çekiş sistemlerinde takip edilmesi gereken veri sayısının fazlalığından dolayı verilerdeki kısa süreli değişimleri canlı takip etmek mümkün olmamaktadır. Bu nedenle veriler gerçek zamanlı olarak takip edilirken aynı anda veri kayıt cihazı ile de kaydedilmektedir. ASELSAN, ürün yaşam döngüsü boyunca çekiş sistemlerinin bakım ve idamesi için gerekli alt malzemelerin temini/yönetimi ve entegre lojistik destek faaliyetlerini yürüterek müşterilerine satış sonrası desteğini de sürdürmektedir. Entegre lojistik destek faaliyetlerine girdi sağlamasına ek olarak demiryolu çekiş sistemlerinin yüksek güvenlik ve kullanılabilirlik gereksinimleri nedeniyle veri toplama ve toplanan verilerin analizi çok önemlidir. Yolcu işletiminin kesintisiz olarak sağlanabilmesi için çekiş sistemlerinden verilerin toplanıp kaydedilmesi ve periyodik olarak bakım mühendisi tarafından kontrol edilmesi gerekmektedir.

## ÇEKİŞ SİSTEMLERİNDE VERİ KAYDI

Çekiş sisteminde yer alan birimlerin kullandığı veriler, farklı haberleşme protokolleri üzerinden kaydedilebilmektedir. Sinüzoidal sinyallerin anlamlı bir şekilde elde edilebilmesi için yüksek frekansta veri kaydı yapılmaktadır. Veri çeşitliliğinin de fazla olmasından dolayı kaydedilen veri boyutu önemli ölçüde artmaktadır. Bu nedenle verilerin daha sonra analiz edilmesi ya da test bilgisayarına transfer edilmesi için gereken süre uzamaktadır. Veri transfer ve analiz sürelerini kısaltmak için veri kayıt cihazı programlanarak uzun süreli veri kaydının yanı sıra sınıflandırılmış veri kayıt blokları da oluşturulmaktadır. Çekiş sisteminin çalışma senaryoları veri kayıt cihazına tanımlanarak hatalı gerçekleşen bir senaryoda veri kayıt cihazının tetik alması sağlanabilmektedir. Kayıt cihazına tanımlanan tetik öncesi ve tetik sonrası süreleri kapsayan küçük boyutlu bir veri kayıt bloğu oluşturulabilmektedir.

Tetikleme kayıtları sayesinde günlerce uzunluktaki verilerin analizi eş zamanlı olarak otomatik şekilde yapılmaktadır. Sınıflandırılmış veriler elde edilirken ihtiyaç durumunda kullanılabilecek uzun süreli kayıt dosyaları da hafızada tutulmaktadır.

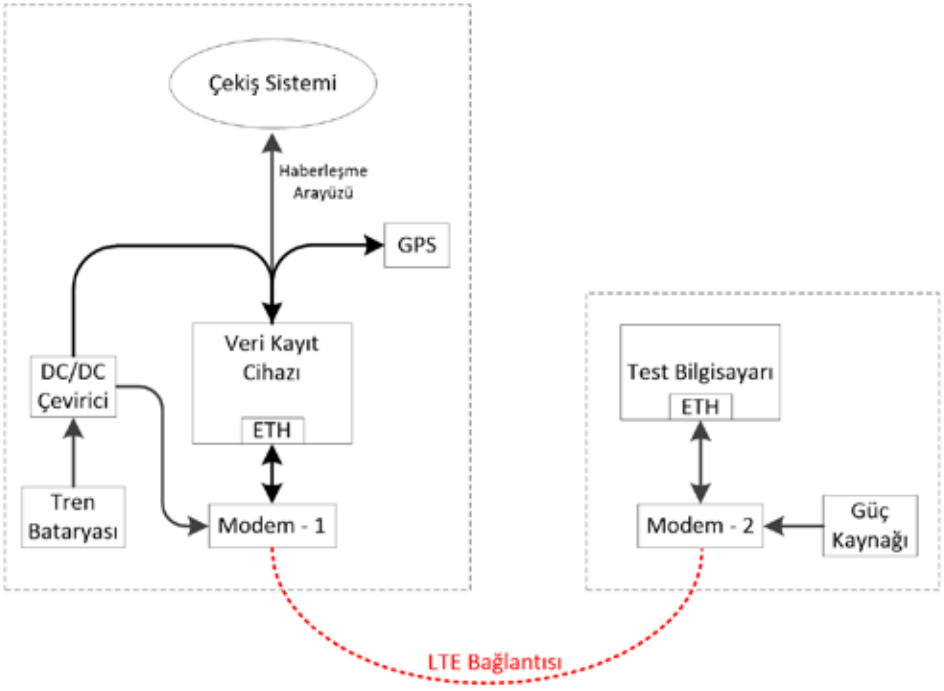
Tetikleme ile oluşturulmuş kayıtların test bilgisayarına transfer edilmesi ile hem analiz edilmiş veri elde edilmekte hem de veri transfer süresi düşürülmektedir. Bu sayede, bakım personelinin transfer edilen veriyi yeniden analiz etmesine gerek kalmadan gerçekleşen senaryo dışı olaya doğrudan erişimi sağlanmaktadır. Kayıt altyapısının ve çekiş sisteminin çalışır olduğunu rutin olarak kontrol etmek için de senaryo hataları dışında periyodik tetiklemeler oluşturulmaktadır.

Dijital verilere ek olarak gerçekleşen olayların tarih ve saat bilgisiyle bir metin dosyasına kaydedilmesi, bu olayların sınıflandırılıp istatistiksel analizin de yer aldığı özet bir rapor çıkartılması veri kayıt cihazı tarafından otomatik olarak gerçekleştirilmektedir. Bu sayede, grafik ekranında herhangi bir veri inceleme ihtiyacı olmadan hangi sıklıkta hangi koşulların gerçekleştiği bilgisine ulaşılabilmektedir.

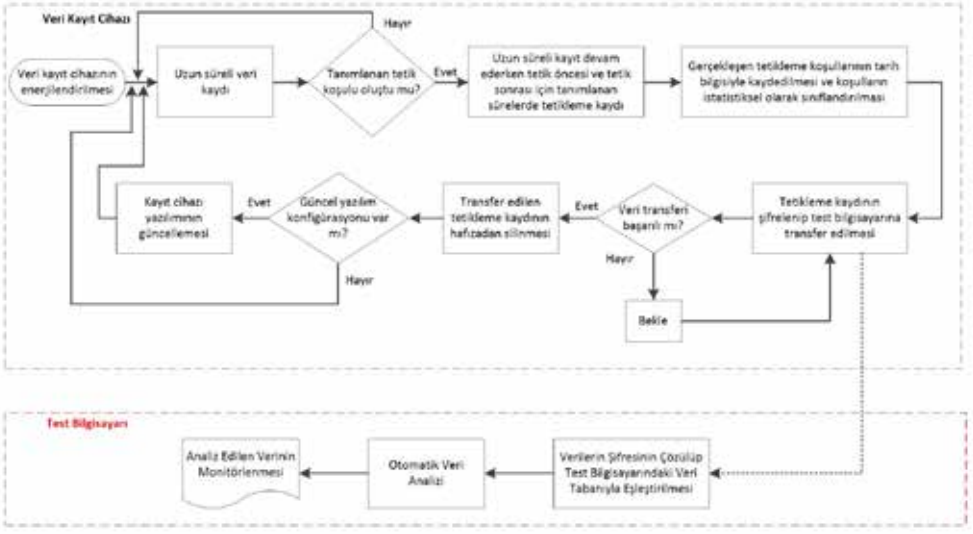
Şekil 1 - Veri Kayıt Sistemi

## KAYITLI VERİNİN İNTERNET ÜZERİNDEN TRANSFERİ

Veri kayıt cihazı ile test bilgisayarı arasındaki transfer iki yönlü olarak gerçekleşmektedir. Kayıt cihazının hafızasındaki veriler test bilgisayarına aktarılırken test bilgisayarındaki güncel yazılım konfigürasyonu taranmakta ve yeni konfigürasyon varsa veri kayıt cihazı yazılımı güncellenmektedir. Kayıt cihazının transfer edeceği kayıt dosyası türünün değiştirilmesi, kontrol edilen senaryoların değiştirilmesi ya da tetikleme öncesi/sonrası sürelerin değiştirilmesi gibi güncellemeler yapılmak istendiğinde uzaktan veri alışverişi yöntemiyle kayıt cihazının yazılımı güncellenebilmektedir.




Şekil 2 - Uzaktan Veri Transfer Altyapısı Blok Şeması




Şekil 3 – Veri Kayıt ve Veri Transfer Sistemi Blok Şeması

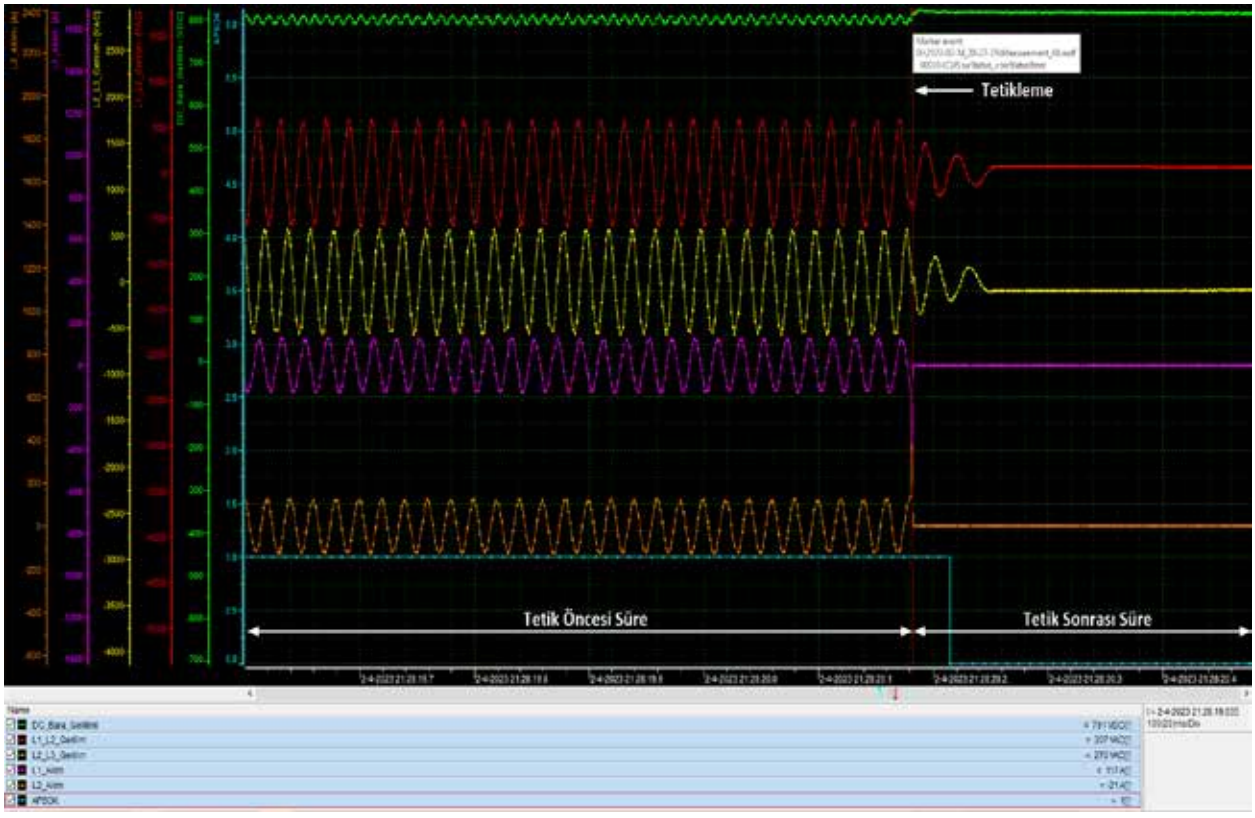
İnternet üzerinden veri transferi esnasında kayıt cihazı arka planda kayıt almaya devam etmektedir. Böylece transfer süresince herhangi bir veri kaybı olmamaktadır. İnternet üzerinden veri transferinde genellikle tetikleme kayıtlarının ve özet rapor olan metin dosyasının transfer edilmesi tercih edilmektedir. Bu sayede daha hızlı sürede işlenmiş veriye erişim imkânı sağlanmaktadır. Uzun süreli veri ihtiyacının olduğu durumlarda ise veri kayıt cihazının uzaktan programlanabilmesi sayesinde transfer edilecek veri tipi güncellenerek uzun süreli kayıtların transfer edilmesi sağlanmaktadır.

## İnternet Üzerinden Mikrokontrolcü Programlanması

Veri kayıt cihazı ile yapılan iki yönlü veri alışverişi sayesinde cihazın yazılım konfigürasyonu uzaktan güncellenebilmektedir. Veri kayıt cihazının haberleşme arayüzüyle çekiş sistemindeki mikrokontrolcülere de dolaylı olarak internet üzerinden erişim imkânı sağlanmaktadır. Mikrokontrolcü yazılım yükleme algoritması veri kayıt cihazı programlanarak geliştirilebilmektedir. Mikrokontrolcüye yüklenecek yazılım dosyası da uygun formata dönüştürülerek veri kayıt cihazının hafızasına yazılabilmektedir. Bu sayede veri kayıt cihazı, mikrokontrolcüyü programlamaya hazır şekilde tetik beklemektedir. Programlamanın tetik ile başlamasının nedeni ise aracın hareketli olması, aracın harekete hazırlanması ya da yüksek gerilim olması gibi güvenlik açığı oluşturabilecek nedenlerdir. Programlama için sistem uygun olduğunda bakım personeli tarafından tetik verilerek yazılım yükleme işlemi başlatılmaktadır.

## İnternetten Transfer Edilen Verilerin Güvenliği

Veriler, kayıt cihazına önceden tanımlanmış statik IP adresine şifrelenerek gönderilmektedir. Bu IP adresine bağlı olan test bilgisayarında şifreli veriler çözülerek veri tabanı ile eşleştirme yapılmaktadır.




Şekil 4 – Test Bilgisayarına Transfer Edilen Tetikleme Kaydının Monitörlenmesi

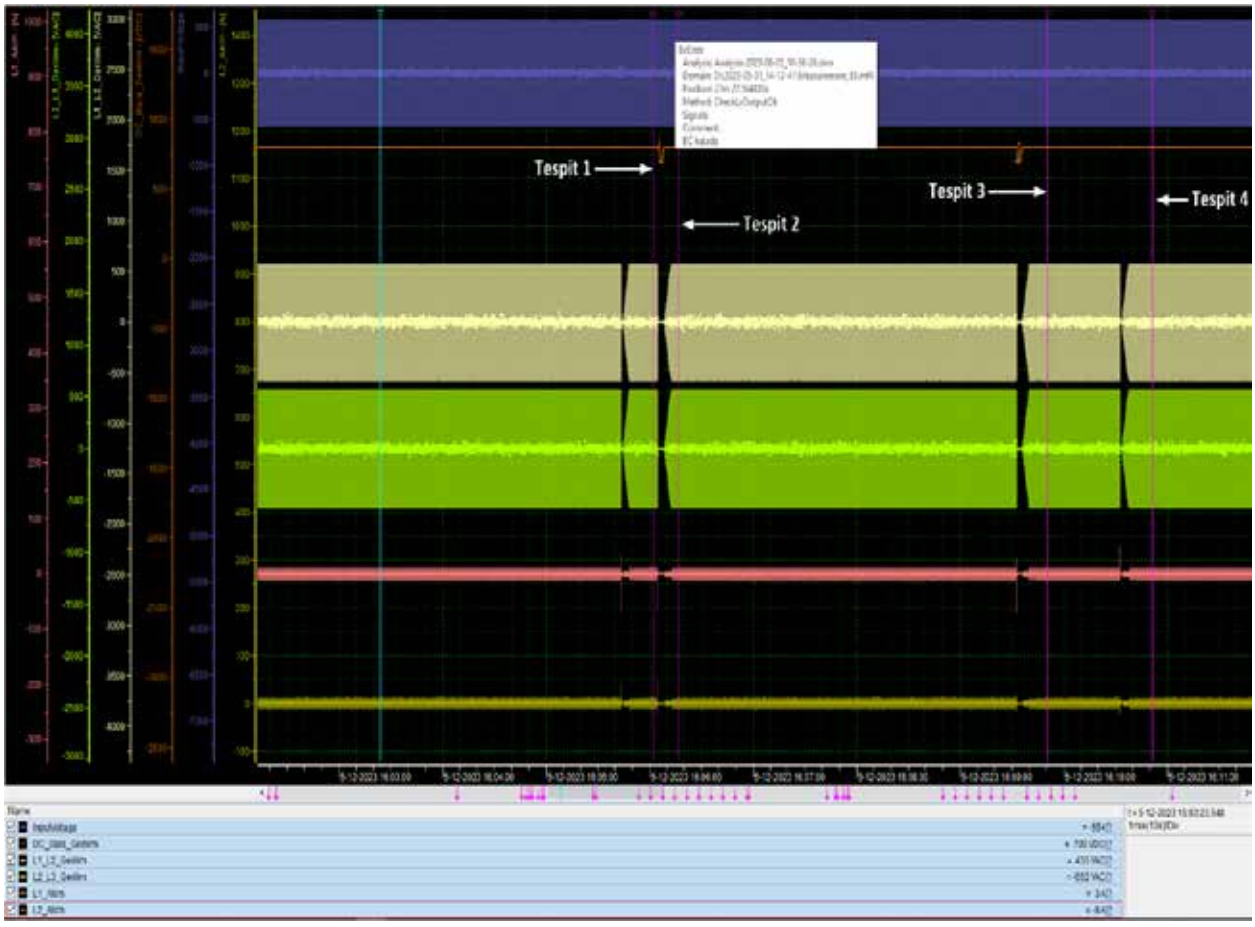
## İnternet Üzerinden Veri Transferinin Avantajları

Veri kayıt cihazları yolcuların erişemediği bölümler olan elektrik kabinetlerinde bulunmaktadır. Dolayısıyla veri kayıt cihazına fiziksel bir bağlantı yapmak her an mümkün olmamaktadır. Veri kayıt cihazından fiziksel bağlantı ile veri alınmak istenildiği durumlarda da aracın şehirlerarası yolculuk için hareket edecek olması ya da aracın farklı bir şehirde olması gibi durumlar çıkabilmektedir. Bu durumlar bakım personelinin kısa süreli bir iş için çok uzun süre işçilik ayırmasına ve proje maliyetinin artmasına sebep olmaktadır. İnternet üzerinden veri transferi sayesinde fiziksel bağlantı zorluğu aşıldığı gibi bakım personelinin gereksiz işçilik harcaması, şehirlerarası yolculuk ve konaklama gibi ekstra maliyetlerin azalması da sağlanmaktadır.

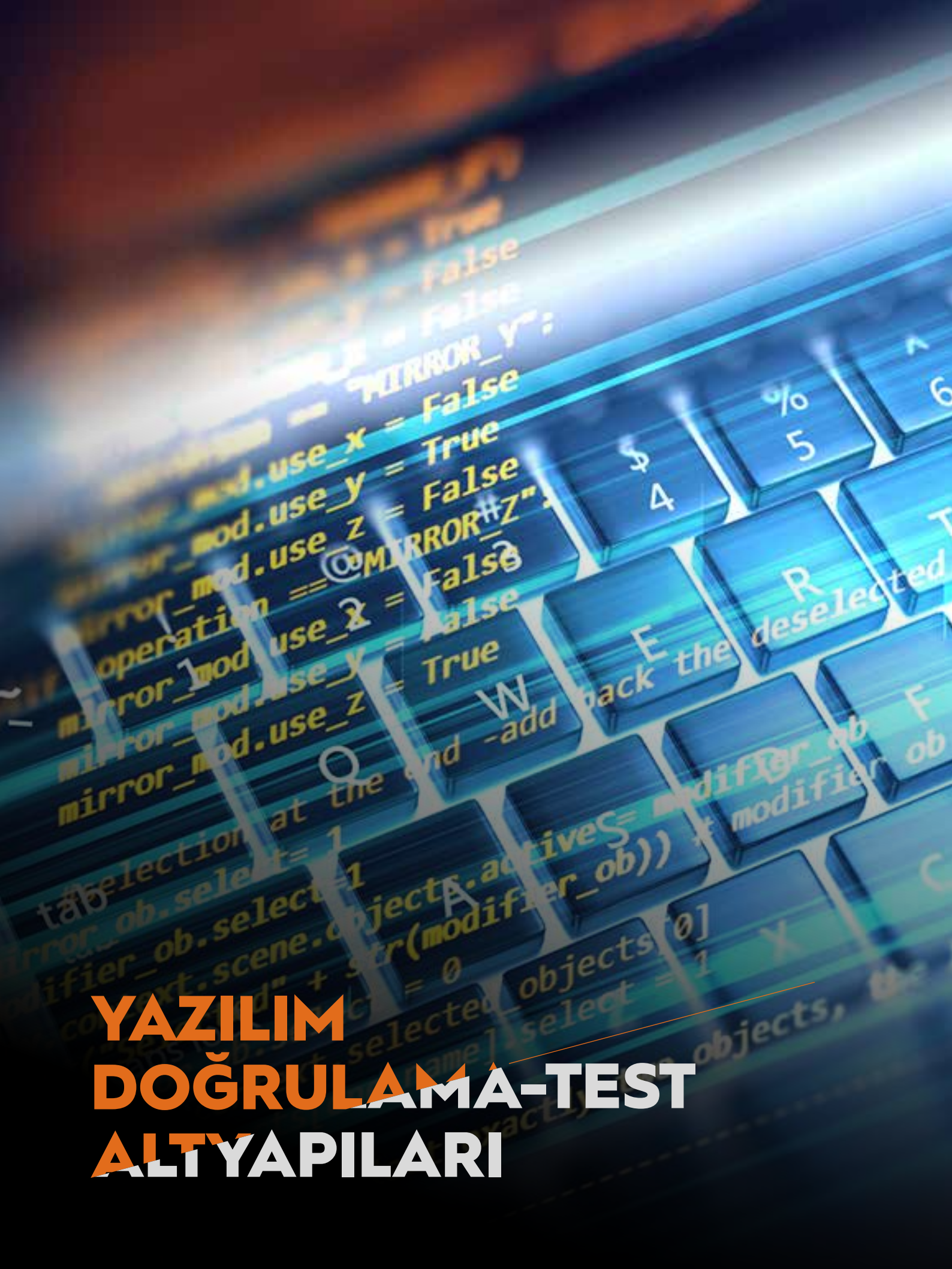
## Veri Madenciliği

Güncel çalışma durumunda tespit edilen ancak veri kayıt cihazı kontrol senaryosunda tanımlanmamış olan koşullar meydana gelebilmektedir. Tespit edilen bu koşulların başlangıç zamanını tespit etmek için geçmişe dönük uzun süreli verilerin analizi yapılmaktadır. Bu durumda, günler hatta haftalar süren veri kayıtları içerisinden analiz yapılması gerekmektedir. Manuel olarak yapılacak bir analiz günlerce sürebilmektedir. Taranması gereken senaryo sayısının artması da bu sürenin daha da uzamasına neden olmaktadır.

Veri madenciliği kullanılarak haftalarca uzunlukta bir veri kaydının içerisinden senaryo taramak dakikalar içerisinde gerçekleştirilebilmektedir. Tarama sonrası ilgili koşulların gerçekleştiği anlar tespit edilip grafik ekranında işaretlenerek veri otomatik olarak analiz edilmektedir.




Şekil 5 – Uzun Süreli Veri Kaydında Veri Madenciliği

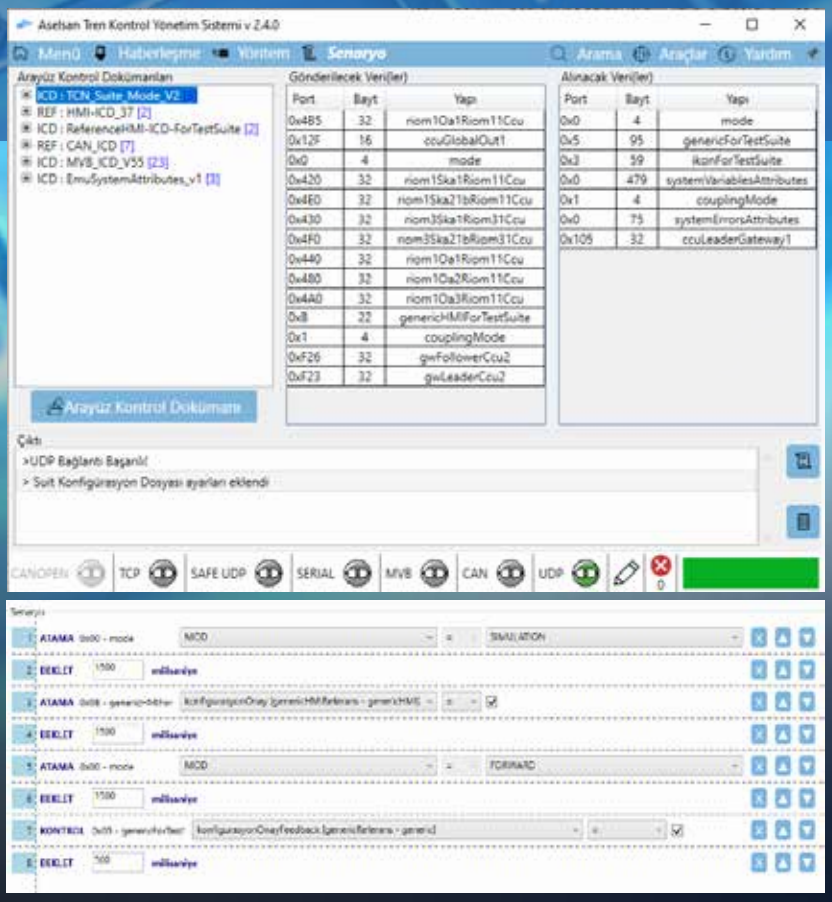


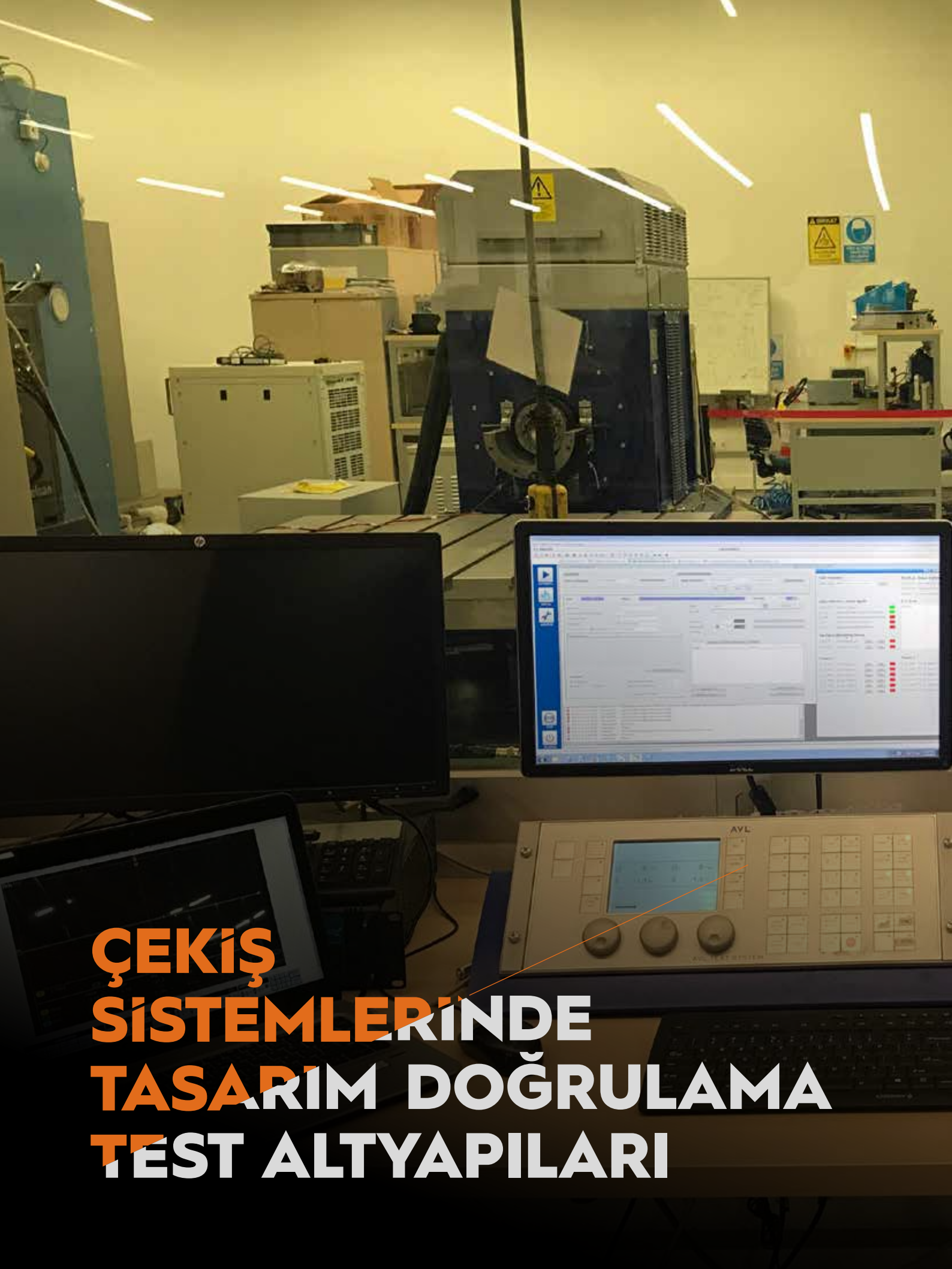
# YAZILIM DOĞRULAMA-TEST ALTYAPILARI

Tren Kontrol Yazılımının yazılım testleri ASELSAN bünyesinde geliştirilen TCN Test Suite adlı uygulama tarafından yapılmaktadır. Bu yazılım, geliştirme sürecinde geliştirici ve test mühendislerinin hem kendi bilgisayarlarında hem de hedef donanımlar üzerinde yazılımı test etmelerini sağlamakta ve olası hataları ya da istenmeyen davranışları tespit etmekte ve yazılımın performansını izlemek için kullanılmaktadır.

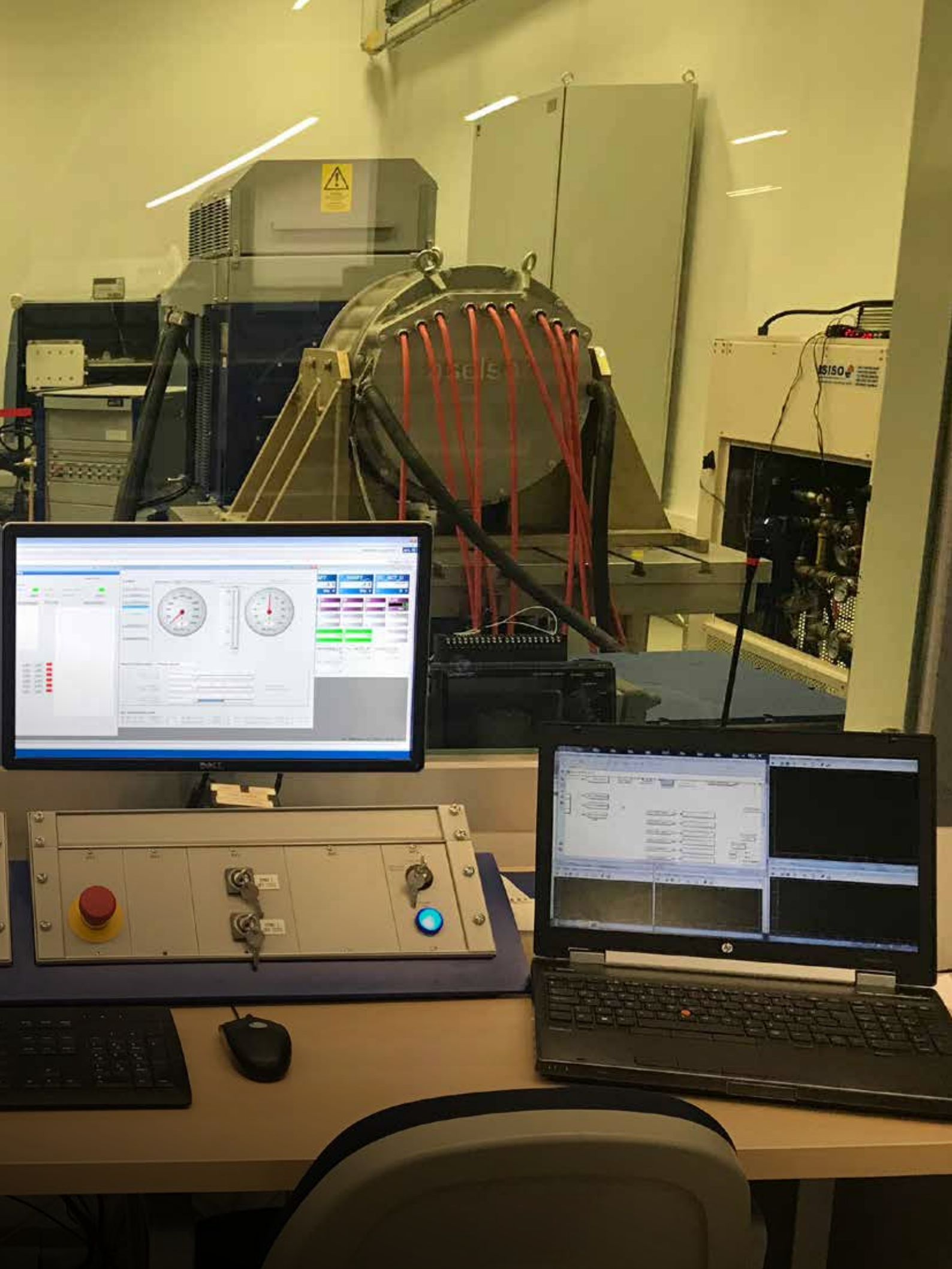
TCN Test Suite ile test yapmak için yazılım çalıştırılmakta ve simülasyon moduna alınmaktadır. Bu modda yazılımın haberleşmesi Test Suite'de belirlenen portlara yönlendirilmekte ve Test Suite bu portlar üzerinden haberleşmektedir. Tren Kontrol Yazılımının kullandığı sinyaller, bu sinyallerin ve değişkenlerin veri türleri topluca ICD adı verilen bir arayüz kontrol dokümanında tanımlanmakta ve bu dosya doğrudan TCN Test Suite'e eklenebilmektedir. Değişkenlerin türü ICD dosyasından otomatik okunduğu için olası insan hatalarının önüne geçilmektedir. Test Suite, Tren Kontrol Yazılımının kullandığı TCP, UDP, MVB, CAN gibi haberleşme protokolleri kullanabilmekte ve çalıştırılan yazılıma bu protokoller üzerinden veri paketi gönderip alabilmektedir. Ayrıca trende kullanılan fiziksel arayüz sinyallerini simüle etmek için Test Suite referans HMI (Human Machine Interface) modüllerini ICD'ye göre otomatik oluşturmakta ve trenin çalışması sırasında operatörün ekranlarından gönderdiği sinyalleri de bu şekilde test etme imkânı sunmaktadır.

TCN Test Suite, mühendislik dokümanlarına göre oluşturulan test senaryolarını sırayla çalıştırmaktadır. Bu senaryolarda değişken atama, belli bir süre bekleme, değişkenlerin istenen değerde olup olmadığını kontrol etme gibi adımlar senaryolara eklenebilmektedir. Bu senaryoların sonucu da rapor olarak basılmaktadır. Ayrıca test senaryolarının kaydedilmesi, JSON formatında taşınması ve aktarılması da mümkündür. Böylece test senaryo dosyaları bir bilgisayarda toplanıp senaryolar art arda otomatik olarak koşulabilmekte ve raporlanabilmektedir.





# ÇEKİŞ SİSTEMLERİNDE TASARIM DOĞRULAMA TEST ALTYAPILARI



Çekiş sistemlerinin; kullanılacağı platform üzerine takılmadan önce doğrulamalarının laboratuvar ortamında kontrollü olarak yapılması önem arz etmektedir. Saha koşullarını test ortamına taşıyarak, raylı araç üzerinde ortaya çıkabilecek farklı motorlardaki farklı yüklenme koşullarını laboratuvar ortamında tekrarlanabilir şekilde oluşturmak oldukça kritiktir. Bu doğrulamaların yapılabilmesi için firmalar; özel test altyapılarına ihtiyaç duymaktadır. Yüksek gerilim/güç ve büyük ağırlık/boyut özellikleri nedeniyle bu test altyapılarının kurulması yüksek maliyet ve özelleşmiş tasarımlar gerektirmektedir.

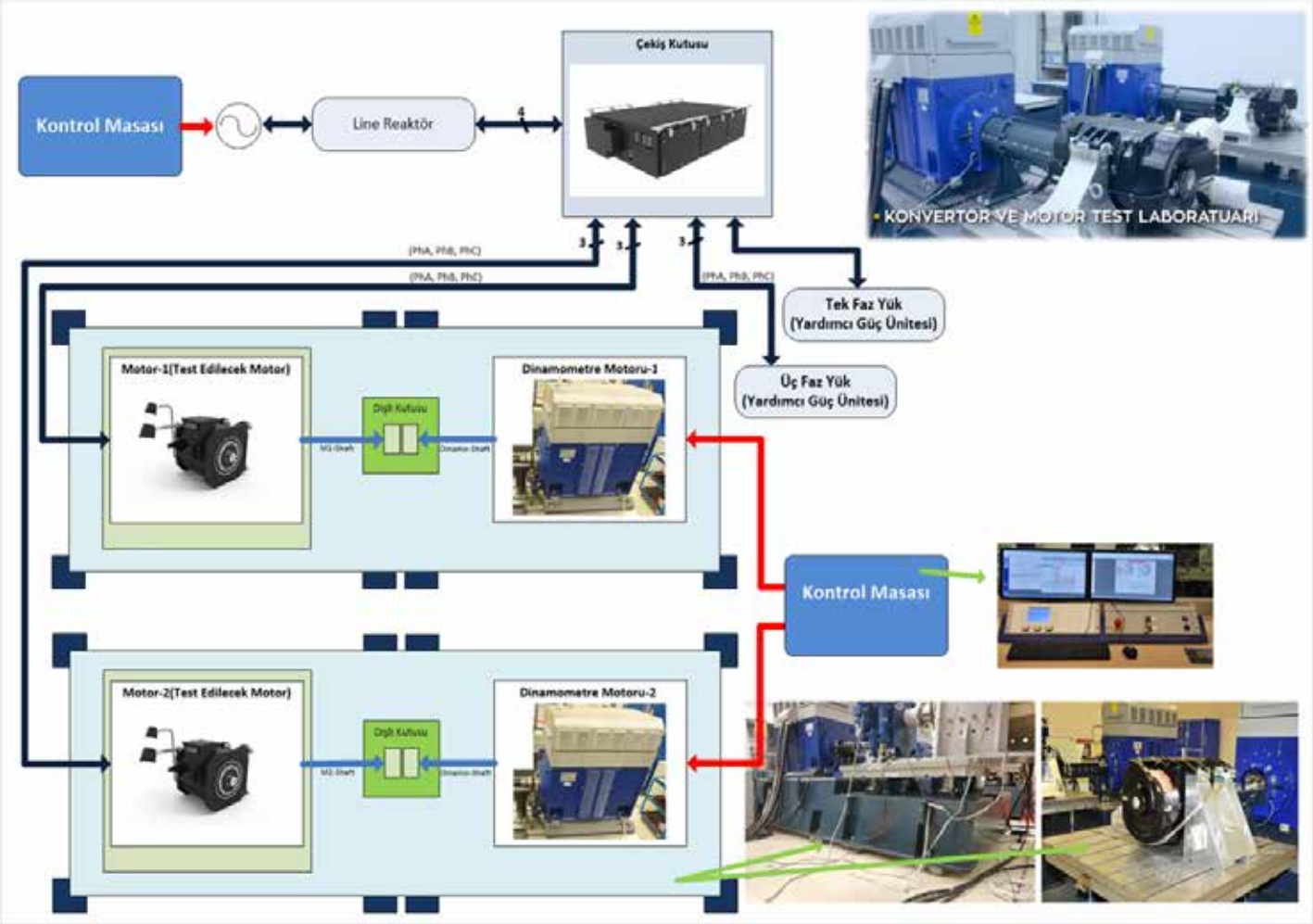
Çekiş sistemi bileşenlerinin raylı ulaşım sektörüne özel standartlara uygun olarak tasarlanması gerektiğinden, tasarlanan çekiş sistemlerinin tasarım doğrulama ve sistem entegrasyon test faaliyetleri; en az tasarım faaliyetlerinin kendisi kadar süre alabilmektedir. Bu testlerin ASELSAN dışında yapılması ise proje takvimi ve test maliyetleri açısından sürdürülebilir olmamaktadır. Şirket bünyesinde bu ihtiyaçları karşılayabilecek test altyapılarının bulunması ASELSAN açısından stratejik önem arz etmektedir.

ASELSAN; raylı ulaşım sektöründe faaliyetlerine başladığı 2013 yılından itibaren bu test altyapılarının şirket bünyesinde kurulmasına yönelik çalışmalarına başlamıştır. Bu kapsamda "Çekiş Sistemi Test Laboratuvarları", "Katener Hattı Simülatörü", yüksek güçlü aktif ve pasif elektronik yükler, taşınabilir test cihazları vb. yatırımların satın alımları gerçekleştirilmiş ve ilgili yatırımlar devreye alınmıştır. (Şekil 1). Bu yatırımlar vesilesi ile projelerdeki tasarım, test ve kabul aşamalarının gerçekleştirilmesi sağlanacak olup altyapı eksikliği nedeniyle ürün geliştirme sürecini riske sokabilecek koşullar ortadan kaldırılmıştır.

Şekil 1 Çekiş Sistemi Test Laboratuvarları

ASELSAN bünyesine, Çekiş sistemi test laboratuvarlarında çekiş konvertörü ve çekiş motoru doğrulama yetenekleri kazandırılmıştır. Bu yeteneklerin detayları aşağıda verilmiştir:

- Motor Tasarım ve Optimizasyon Çalışmaları
- Seri Üretim Kalifikasyon Testleri
- Maksimum Yükleme Testleri
- Araç Hızlanma ve Yavaşlama Testleri
- Aracın Eğimde Kalkış ve Durma Testleri
- "Software/Hardware in the Loop" Testleri
- Güç, Tork ve Hız Parametrelerine göre Donanım, Yazılım ve Algoritma Optimizasyonu
- Çekiş Sisteminin Rejeneratif Enerji Aktarımı
- Kontrolcü Parametre Optimizasyonu
- Batarya Test Sistemi ve Batarya Emülatörü olarak Kullanım
- Raylı Sistemler ve Elektrikli Araç Birimleri Geliştirilmesi için Yüksek Kapasiteli Kaynak
- Enerji Depolama Birimleri Geliştirilmesi için Yüksek Kapasiteli Kaynak




Şekil 2 Çekiş Sistemi Test Laboratuvarları Konfigürasyon Şeması

Şekil 3 1MVA Katener Hattı Simülatörü

AC katener hatlarının laboratuvar ortamında simüle edebilmesini sağlayan "1MVA Katener Hattı Simülatörü" bulunmaktadır. Bu simülatörün kabiliyetleri; raylı standartların statik limitlerine uyum, katener hattı dinamik değişimlerinin ve harmoniklerin gerçeklenmesi, kullanıcı dostu kontrol arayüzüne sahip olması olarak sıralanabilir.

Üretimi yapılan çekiş motoru ve trendeki cihazları beslemek için kullanılan yardımcı güç ünitesi gibi sistemlerin testlerinde 3 faz AC yük kullanılması gerekmektedir. Bu yükler aktif ve pasif olmak üzere ikiye ayrılırken pasif yükler enerjiyi doğrudan ısıya dönüştürerek harcar. Fakat aktif yük ise enerjiyi şebekeye geri kazandırarak tasarruf sağlamış olur. ASELSAN bünyesinde bu fonksiyonu gerçekleştirip enerji verimliliğini sağlamak için 500kW elektronik yük bulunmaktadır (Şekil 3).

Şekil 4 500kW Elektronik Yük

## Çekiş Sistemlerinde Doğrulama ve Çevre Koşulları Testleri

Bahsi geçen altyapılar çekiş konvertörü standartlarında belirtilen doğrulama testlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Sistem açılışında ekipmanların zarar görmemesi, normal çalışma geriliminden daha fazla giriş gerilimi verilmesi, anlık enerjinin kesilmesi, paralel bağlı yüklerdeki akım paylaşım dengesi, uzun süreli tam yük çalışması sonrası performans gözetimi gibi birçok doğrulama testi vardır. Bu testler çekiş konvertörünün sahada karşılaşacağı birçok farklı senaryoda güvenli çalışmasını garanti edebilmek adına gereklidir.

Doğrulama testleri altında yukarıdaki senaryolara ek olarak farklı çevre koşullarında da rutin çalışma işlevinin yerine gelmesi gerekmektedir. Bu çevre koşul testleri ürün tasarımlarında bir değişim olmadığı müddetçe bir kereye mahsus yapılır.

Çekiş sistemleri, kullanıldığı platforma göre dış ortamlarda çeşitli çevre koşullarına (yüksek/düşük sıcaklık, titreşim/şok, yağmur, elektromanyetik girişim vb.) maruz kalmaktadır. Bu koşullara karşı sistemin dayanıklılığını doğrulamak için raylı ulaşım sektörüne özel standartlarda belirtilmiş çeşitli çevre koşulu testleri gerçekleştirilmektedir. Bu testler için aşağıda listelenen çevre koşulu test sistemleri kullanılmaktadır.

- Yüksek/Düşük Sıcaklık ve Nem Test Kabinleri
- Titreşim ve Şok Test Sistemi
- Yağmurlama ve Sızdırmazlık Test Sistemi
- EMC Test Laboratuvarı

Her bir testin kendi standardı olmakla beraber konvertörün araç üzerinde yerleştirileceği yere göre test koşulları değişmektedir. Test koşulları belirlendikten sonra öncelikle ASELSAN yerleşkesinde bulunan uygun laboratuvar belirlenip testler gerçekleştirilir. Testler esnasında çekiş konvertörü ana fonksiyonlarının bozulmadan çalışması ve devamlılığı gözetilmektedir. İlgili standardın belirttiği toleranslar çerçevesinde testten başarıyla geçen ürünün tasarım doğrulama süreçleri tamamlanır ve sertifikasyona hazır hale gelmiş olur.

[1]

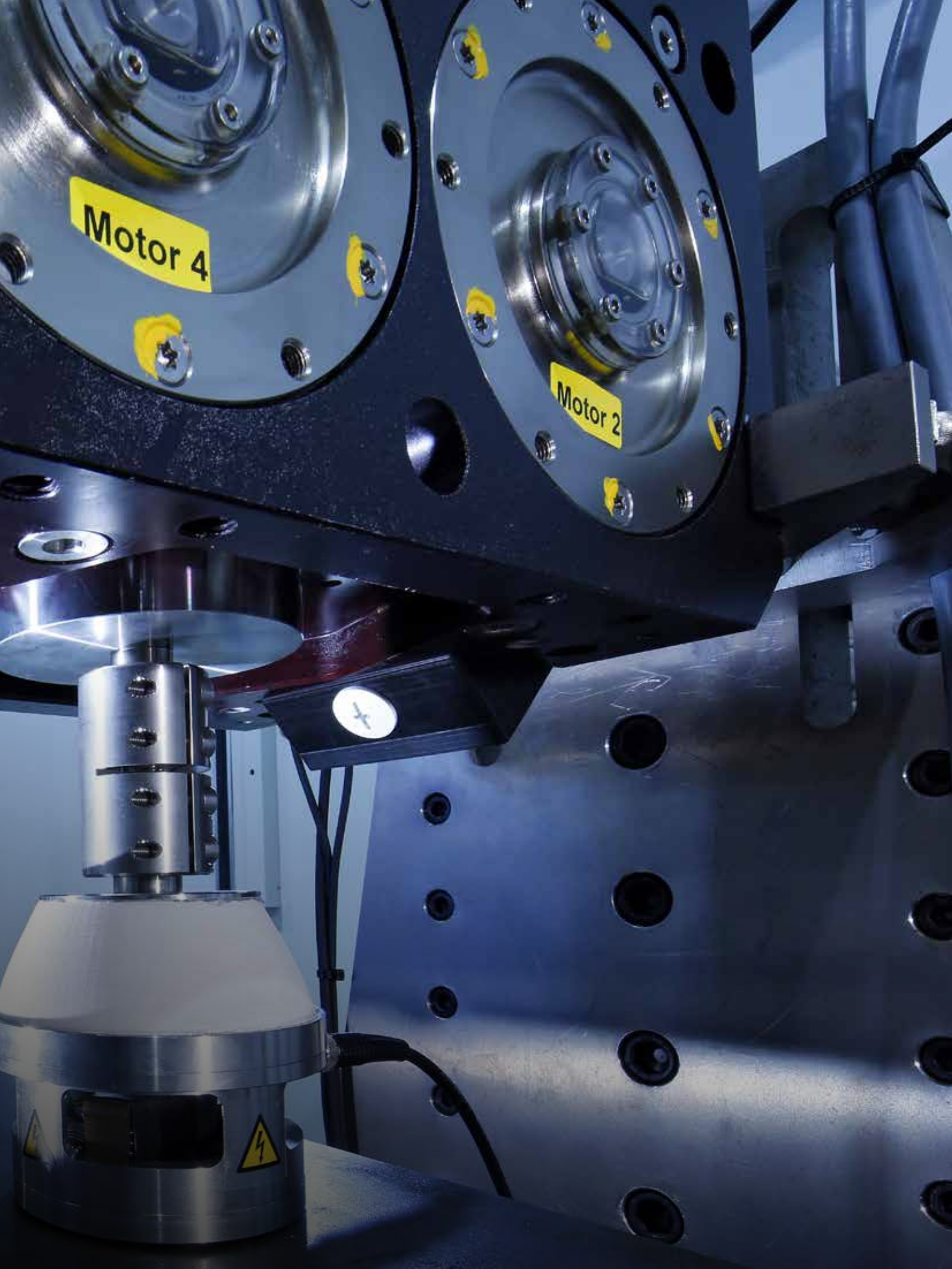
[2]

[3]

Şekil 5
[1] Sıcak-Soğuk Testi,
[2] Titreşim Testi,
[3] EMC Testi

TEST VE DOĞRULAMA FAALİYETLERİ

# SİSTEM DOĞRULAMA


Motor 4
Motor 2

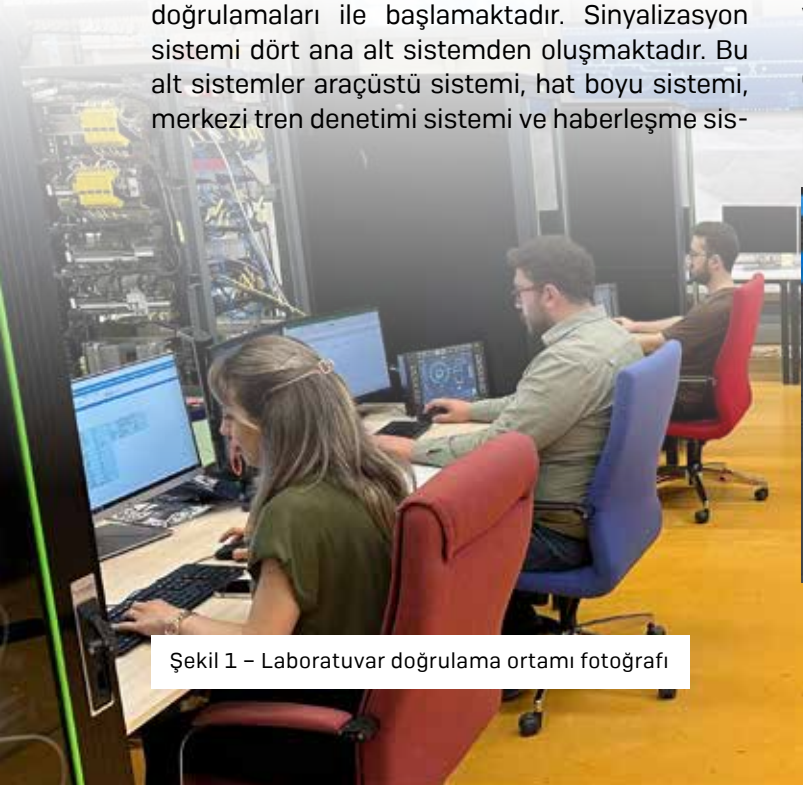
## SİNYALİZASYON SİSTEMLERİNDE LABORATUVAR DOĞRULAMALARI

Sinyalizasyon sistemleri, demiryolu işletmelerinde trenlerin güvenli bir şekilde işletmesini sağlamak amacıyla kullanılan kurallar ve sistemler bütünüdür. Tren konumunun belirlenmesi, trenler arası mesafenin korunması, kapı kontrolü gibi fonksiyonlar sinyalizasyon sistemi ile sağlanmaktadır. İlgili sistemde ortaya çıkacak olan hatalar, işletme esnasında emniyet ve performans kriterleri bakımından çok ciddi sonuçlara neden olabilir. Bu sebeple, hayati kritik emniyete sahip olan sinyalizasyon sistemlerinin işletmeye alınmasından önce test süreçlerinin eksiksiz gerçekleştirilmesi gerekmektedir ve bu sayede muhtemel sorun ve kazaların engellenmesi sağlanmaktadır. Sinyalizasyon sistemleri, trenlerin emniyeti ve işletmesinden sorumlu olduğundan test çalışmaları da bu kapsam üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bu yazıda, ASELSAN'ımızın geliştirdiği Yerli ve Milli Sinyalizasyon Sistemi'nin laboratuvar doğrulamaları hakkında bilgi verilip ilgili süreç aktarılacaktır.

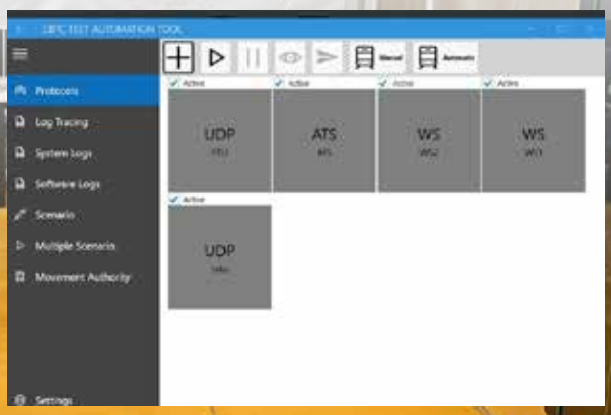
## LABORATUVAR DOĞRULAMALARI HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Laboratuvar doğrulamaları, sistem geliştirme sürecinin önemli bir aşamasıdır. Sinyalizasyon sisteminde sistem seviyesinde testler, laboratuvar doğrulamaları ile başlamaktadır. Sinyalizasyon sistemi dört ana alt sistemden oluşmaktadır. Bu alt sistemler araçüstü sistemi, hat boyu sistemi, merkezi tren denetimi sistemi ve haberleşme sistemi olarak isimlendirilmektedir. Öncelikle her bir alt sistem kendi fonksiyonlarını doğrulayan yeterlilik testlerini gerçekleştirmektedir. Ardından alt sistemler arasında ikili entegrasyon testleri gerçekleştirilmektedir. Bu testlerde alt sistemler arası arayüzlerin doğrulaması yapılmaktadır. Arayüz doğrulamaları bittikten sonra bütün alt sistemler laboratuvar ortamında bir araya getirilerek sistemin bütün başarı ve hata senaryoları doğrulanmaktadır. Bu aşamada sisteme ait dış arayüzler (laboratuvar ortamına getirilmesi mümkün olmayan tren platformu gibi arayüzler) simüle edilerek gerçek sisteme en yakın test ortamı hazırlanmaktadır. ("Otomatik Test Altyapıları Geliştirme" isimli makalede ilgili konu hakkında detaylı bilgi verilmektedir.) Bu testler esnasında koşulacak test senaryolarının belirlenmesinde müşteri istekleri, sistem mühendisliğinin hazırladığı gereksinimler, tasarım tanımları ve sistem mimarileri referans alınmaktadır. Test mühendisliğinin sorumluluğu ise test senaryolarını oluşturmak, test senaryolarının koşulabileceği test altyapılarını tasarlamak, testleri koşmak ve bulunan hataları raporlamaktır.

Testler raporlanırken tespit edilen hatalar hata kayıt sistemi üzerinden tasarım ekiplerine iletilir. Hatalar tasarım ekipleri tarafından çözülür ve güncel versiyon donanım ve yazılımlar çıkartılır. Yeni konfigürasyonun sistem seviyesi etki analizi yapılır. Eğer değişikliklerin sistem seviyesine etkisi büyükse testlerin hepsinin tekrarına karar verilir. Değişikliklerin sadece belirli fonksiyonlara etkisi olduğu değerlendirilirse, etkilenen fonksiyonları içeren regresyon testleri koşulur. Değişiklikler sadece tespit edilen hataları düzeltiyor ve diğer fonksiyonlara etkisi bulunmuyorsa sadece hata tespit edilen test adımları tekrarlanarak testler raporlanır. Sinyalizasyon sistemi gibi hayati



Şekil 1 – Laboratuvar doğrulama ortamı fotoğrafı




Şekil 2 – Hazırlanan test yazılımı fotoğrafı

Şekil 3 – Test kabineti ön yüz fotoğrafı

kritik öneme sahip projelerde yolcuların, personellerin güvenliği söz konusu olduğundan bu süreç bütün test aşamalarında, gereksinimler doğrulanıncaya kadar defalarca tekrarlanır. Hataya sebebiyet vermemek için gereksinim maddelerinin tamamının karşılanması gereklidir. Bu yüzden, maddeler arası takibin kolaylaştırılması ve kayıt altına alınması için gereksinim maddeleri ile test maddeleri arasında bağlantıların izlenebilirliği sağlaması gereklidir. Böylece, hem geçmiş testlere ait bilgiler düzenli şekilde kayıt altına alınmaktadır hem de gereksinim maddelerinin tamamının doğrulandığına emin olunmaktadır. Hataların tümünün kapatılması, gereksinimlerin tamamının doğrulanması ile testler sona ermektedir. Laboratuvar doğrulamaları tamamlandıktan sonra ise tren üzerinde gerçekleştirilecek olan saha testleri işletmenin yapılacağı tren hattında başlar.

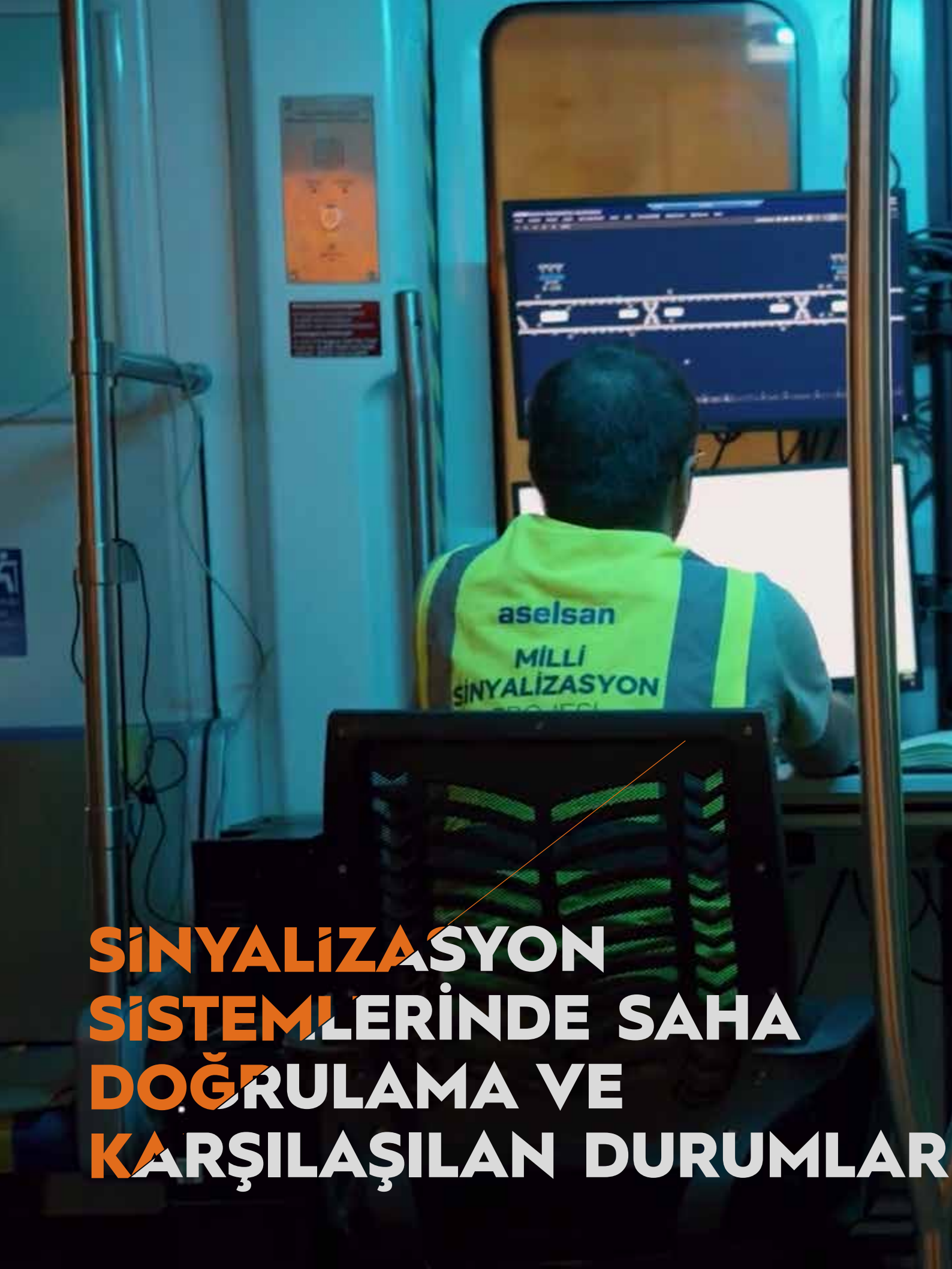
## LABORATUVAR DOĞRULAMALARININ AVANTAJI VE DEZAVANTAJI

Sinyalizasyon sistemlerinde laboratuvar doğrulamalarının pek çok avantajı bulunmaktadır. İlk olarak, test koşacak personel için saha elemanlarının, koşullarının simülatörler ile kontrol edilebilir bir ortamda bulunması güvenli bir test ortamı sağlamaktadır. İkinci olarak işletmede meydana gelme tehlikesi barındıran ve saha testlerinde test edilmesi zor olan senaryolar, laboratuvar testlerinde simülatörler yardımıyla oluşturulup sistem davranışının incelenmesini sağlamaktadır. Ayrıca laboratuvar doğrulama testleri, saha testlerine göre daha verimli şekilde gerçekleştirilebilir. Bu verimliliği artırmak için uygun olan senaryolarda test otomasyonu kullanılmaktadır. Testlerin otomatize edilmesi çok sayıda test maddesinin az eforla gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Gereksinim maddelerinin saha testlerinden önce laboratuvar ortamında test edilmesiyle, gözlemlenecek hatalar daha erken sürede ve saha ortamı yerine laboratuvar ortamında tespit edilmiş olur. Böylelikle hata tespiti ve hataların çözülmesi süreci esnasında testlerin süresi ve maliyeti minimuma indirilmektedir.

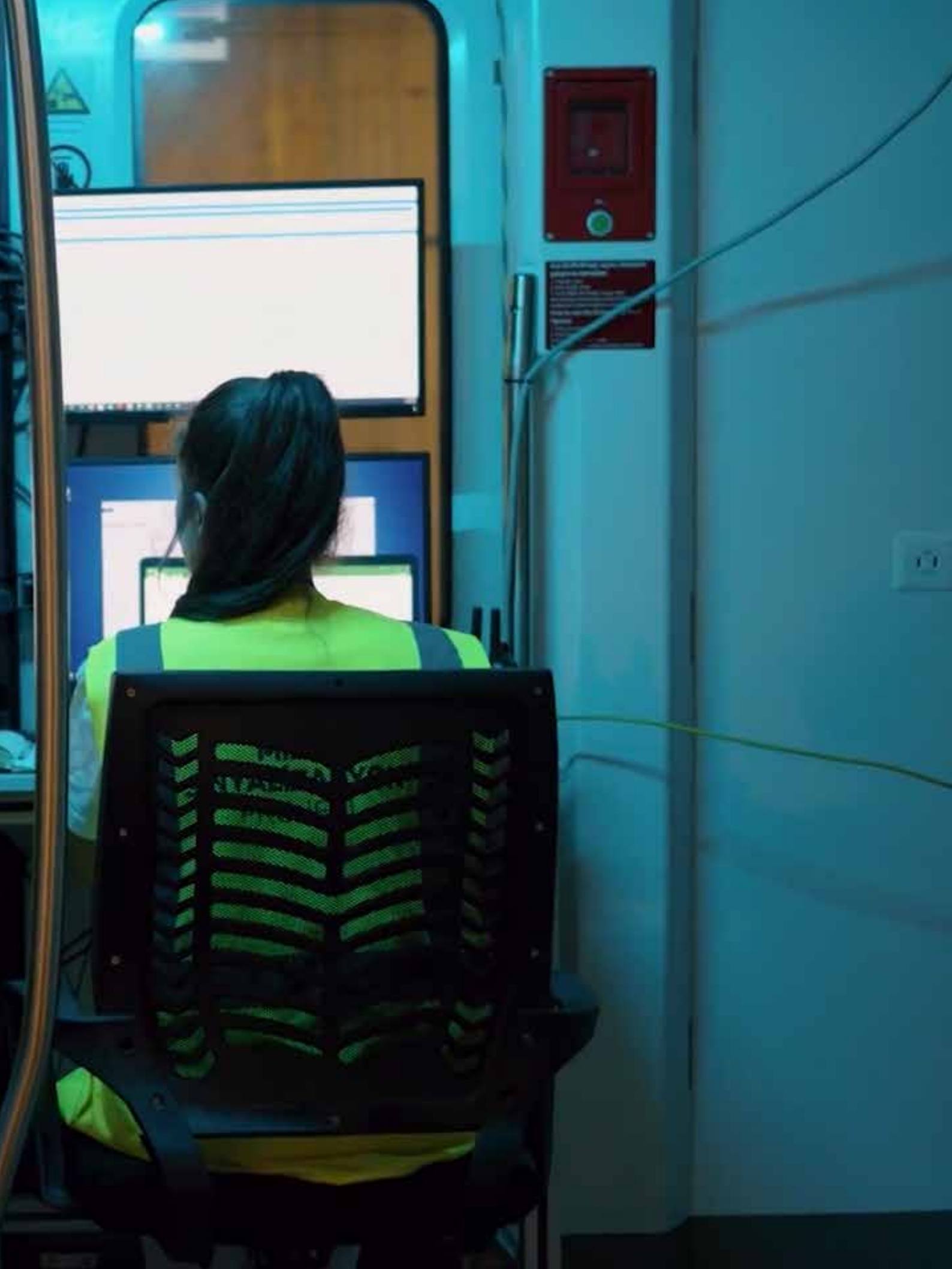
Laboratuvar doğrulamalarının dezavantajlarından biri, test ortamının pek çok simülatör ve emülatör içermesidir. Her simülatör ve emülatör tasarımı ayrı bir efor gerektirmektedir. Ayrıca çok sayıda alt yapı öğelerinin kullanılması test koşumu esnasında karmaşıklığı artırmaktadır. Bu durum iyi bir tasarım oluşturulmamışsa (alt yapı öğelerinin kullanım zorluğu, otomatize edilmiş test sayısının azlığı) test süresini uzatabilmektedir. Bir diğer dezavantaj ise hazırlanan simülatör ve emülatörlere rağmen gerçek sahayı tam olarak simüle etmenin mümkün olmamasıdır. Örneğin, saha inşaatı veya sinyalizasyon ekipmanlarının montajı esnasında insan faktöründen oluşabilecek olumsuz senaryoların tamamı laboratuvar ortamında test edilememektedir. Böyle bir hatanın tespiti için saha testinin yapılması gerekmektedir.

## SONUÇ

Sinyalizasyon sistemlerinde laboratuvar doğrulamaları, ilgili yazılım ve donanımların oluşturduğu alt sistemlerin beklenen özellikleri yerine getirdiğini gözlemleyebildiğimiz ilk aşamadır. Bu sebeple laboratuvar doğrulamaları test sürecinde büyük önem taşımaktadır. Tasarlanan sistemin doğrudan sahada test edilmesi sonucu ortaya çıkacak hatalar büyük maliyet getirmektedir ve daha önemlisi emniyet sorunlarına yol açmaktadır. Bu durumlara engel olunması için gerçekleştirilen bir süreçtir. İyi bir planlama uygulandığı takdirde laboratuvar testleri, yüksek bir verim sağlamaktadır. Bu verimliliği daha da artırmak için sahada koşulması zor olan testlerin laboratuvar ortamında rahat şekilde koşulması, otomatize edilmeye uygun olan test maddelerinin doğrulanması için test otomasyonunun kullanılması gibi imkanlar bulunmaktadır. Böylece laboratuvar doğrulamaları sürekli geliştirilebilen bir test ortamı olanağı sunmaktadır.




# SİNYALİZASYON SİSTEMLERİNDE SAHA DOĞRULAMA VE KARŞILAŞILAN DURUMLAR

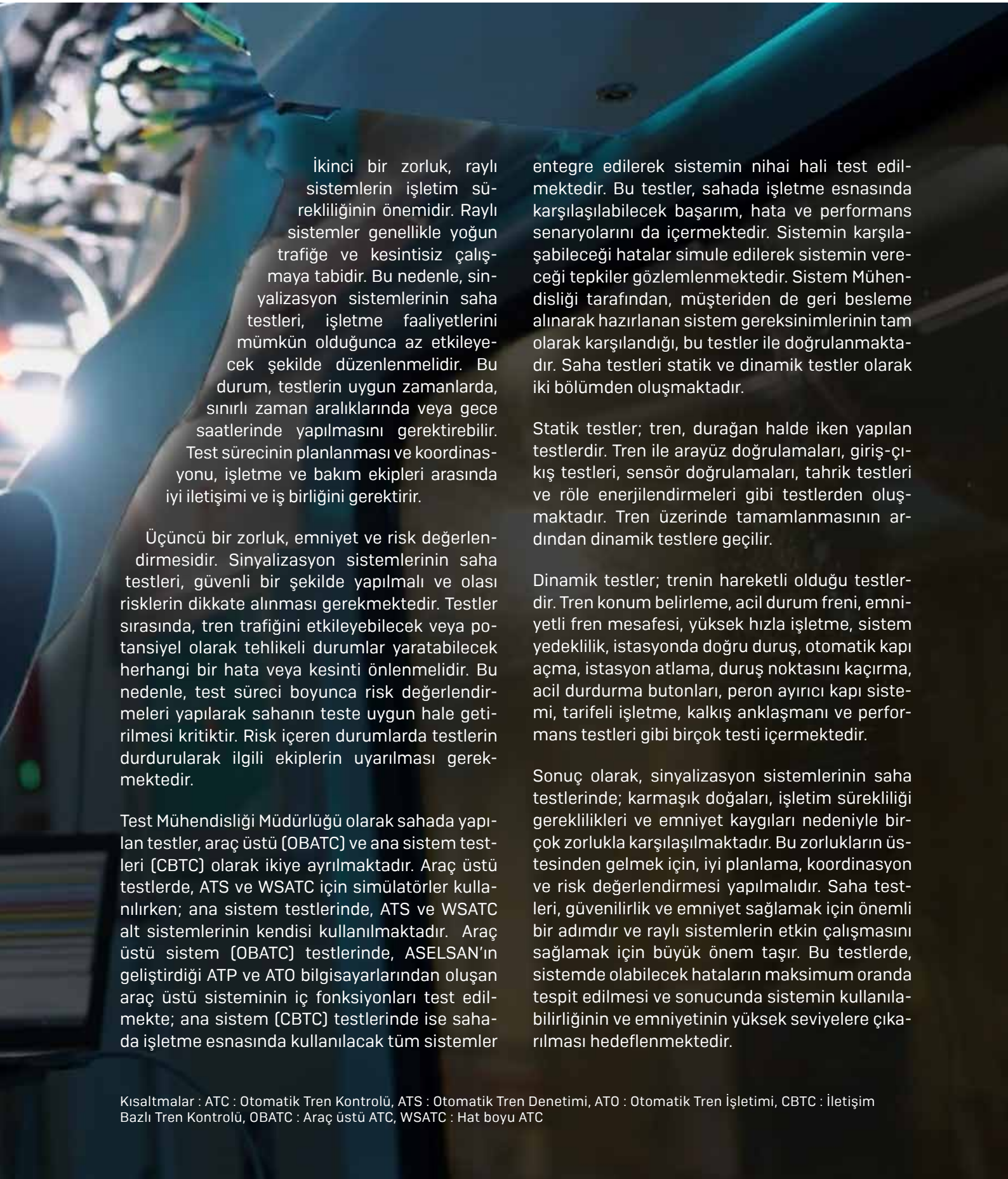


Sinyalizasyon sistemleri, demiryolu işletmelerinin emniyeti açısından hayati öneme sahip olan teknolojik sistemlerdir. Bu sistemler, trenlerin işletme esnasında güvenli bir şekilde ilerlemesini, yolcu taşımasını, olası kazaların önlenmesini sağlar. Sinyalizasyon sistemlerinde oluşabilecek hatalar veya arızalar, işletme esnasında ciddi emniyet problemlerine neden olabilir. Sistemdeki hataların erken tespit edilerek işletmeye çıkmadan önce çözülmesi, işletme esnasında karşılaşılacak muhtemel sorunların erken çözülmesini ve olası kazaların engellenmesini sağlamaktadır.

Saha doğrulamaları, sinyalizasyon sistemlerinin tasarım aşamasından işletmeye alınmasına kadar olan süreçte diğer alt sistemlerle tüm entegrasyonun sağlanarak yapıldığı son aşamadaki testlerdir. Bu bakımdan işletme esnasında karşılaşılabilecek olası hataların da simüle edildiği bu testler, emniyetli işletme için kritik öneme sahiptir. Bu yazıda, ASELSAN'ın geliştirdiği Yerli ve Milli Metro Sinyalizasyon Sisteminin sahada yapılan doğrulama işlemleri ve karşılaşılan problemleri anlatılacaktır.

Raylı sistemlerde sinyalizasyon sistemleri, tren trafiğini düzenlemek, güvenliği sağlamak ve hat kapasitesini optimize etmek için kritik bir rol oynar. Bu sistemlerin doğru ve güvenilir şekilde çalışması, yolcuların ve personelin güvenliğini sağlamak için büyük önem taşır. Sinyalizasyon sistemlerinin saha testleri, saha koşulları ve emniyet gibi nedenlerden ötürü bazı zorlukları içermektedir.

Birincil zorluk, raylı sistemlerin karmaşık doğasıdır. Sinyalizasyon sistemleri, trenlerin konumunu, hızını ve hareketini izler ve kontrol eder. Bu sistemler, trenlerin güvenli bir şekilde seyahat etmesini sağlamak için çok sayıda sensör, algılayıcı ve kontrol mekanizması içerir. Bu karmaşık yapı; saha testlerinin planlanması, koordinasyonu ve uygulanması sürecini zorlu bir hale getirir.



İkinci bir zorluk, raylı sistemlerin işletim sürekliliğinin önemidir. Raylı sistemler genellikle yoğun trafiğe ve kesintisiz çalışmaya tabidir. Bu nedenle, sinyalizasyon sistemlerinin saha testleri, işletme faaliyetlerini mümkün olduğunca az etkileyecek şekilde düzenlenmelidir. Bu durum, testlerin uygun zamanlarda, sınırlı zaman aralıklarında veya gece saatlerinde yapılmasını gerektirebilir. Test sürecinin planlanması ve koordinasyonu, işletme ve bakım ekipleri arasında iyi iletişimi ve iş birliğini gerektirir.

Üçüncü bir zorluk, emniyet ve risk değerlendirmesidir. Sinyalizasyon sistemlerinin saha testleri, güvenli bir şekilde yapılmalı ve olası risklerin dikkate alınması gerekmektedir. Testler sırasında, tren trafiğini etkileyebilecek veya potansiyel olarak tehlikeli durumlar yaratabilecek herhangi bir hata veya kesinti önlenmelidir. Bu nedenle, test süreci boyunca risk değerlendirmeleri yapılarak sahanın teste uygun hale getirilmesi kritiktir. Risk içeren durumlarda testlerin durdurularak ilgili ekiplerin uyarılması gerekmektedir.

Test Mühendisliği Müdürlüğü olarak sahada yapılan testler, araç üstü (OBATC) ve ana sistem testleri (CBTC) olarak ikiye ayrılmaktadır. Araç üstü testlerde, ATS ve WSATC için simülatörler kullanılırken; ana sistem testlerinde, ATS ve WSATC alt sistemlerinin kendisi kullanılmaktadır. Araç üstü sistem (OBATC) testlerinde, ASELSAN'ın geliştirdiği ATP ve ATO bilgisayarlarından oluşan araç üstü sisteminin iç fonksiyonları test edilmekte; ana sistem (CBTC) testlerinde ise sahada işletme esnasında kullanılacak tüm sistemler entegre edilerek sistemin nihai hali test edilmektedir. Bu testler, sahada işletme esnasında karşılaşılabilecek başarım, hata ve performans senaryolarını da içermektedir. Sistemin karşılaşabileceği hatalar simule edilerek sistemin vereceği tepkiler gözlemlenmektedir. Sistem Mühendisliği tarafından, müşteriden de geri besleme alınarak hazırlanan sistem gereksinimlerinin tam olarak karşılandığı, bu testler ile doğrulanmaktadır. Saha testleri statik ve dinamik testler olarak iki bölümden oluşmaktadır.

Statik testler; tren, durağan halde iken yapılan testlerdir. Tren ile arayüz doğrulamaları, giriş-çıkış testleri, sensör doğrulamaları, tahrik testleri ve röle enerjilendirmeleri gibi testlerden oluşmaktadır. Tren üzerinde tamamlanmasının ardından dinamik testlere geçilir.

Dinamik testler; trenin hareketli olduğu testlerdir. Tren konum belirleme, acil durum freni, emniyetli fren mesafesi, yüksek hızla işletme, sistem yedeklilik, istasyonda doğru duruş, otomatik kapı açma, istasyon atlama, duruş noktasını kaçırma, acil durdurma butonları, peron ayırıcı kapı sistemi, tarifeli işletme, kalkış anklaşmanı ve performans testleri gibi birçok testi içermektedir.

Sonuç olarak, sinyalizasyon sistemlerinin saha testlerinde; karmaşık doğaları, işletim sürekliliği gereklilikleri ve emniyet kaygıları nedeniyle birçok zorlukla karşılaşılmaktadır. Bu zorlukların üstesinden gelmek için, iyi planlama, koordinasyon ve risk değerlendirmesi yapılmalıdır. Saha testleri, güvenilirlik ve emniyet sağlamak için önemli bir adımdır ve raylı sistemlerin etkin çalışmasını sağlamak için büyük önem taşır. Bu testlerde, sistemde olabilecek hataların maksimum oranda tespit edilmesi ve sonucunda sistemin kullanılabilirliğinin ve emniyetinin yüksek seviyelere çıkarılması hedeflenmektedir.

Kısaltmalar : ATC : Otomatik Tren Kontrolü, ATS : Otomatik Tren Denetimi, ATO : Otomatik Tren İşletimi, CBTC : İletişim Bazlı Tren Kontrolü, OBATC : Araç üstü ATC, WSATC : Hat boyu ATC

# ÇEKİŞ SİSTEMLERİNDE ARAÇ ÖNCESİ SİSTEM TEST FAALİYETLERİ

Araç öncesi sistem test faaliyetleri, araç üstü çalışmalara başlamadan önce sistemde bulunan birimlerin (bileşenlerin) birbirleri ile uyumlu şekilde çalışmasının doğrulanması amacıyla yapılan bir çalışmadır. Bir sistem, birbiri ile haberleşen birçok bileşenden meydana gelmektedir. Bir çekiş sisteminde yer alabilecek bileşenleri; çekiş konvertörü, çekiş motorları, çekiş trafosu, sıvı soğutma birimi ve yardımcı güç ünitesi olarak sıralayabiliriz. Araç üzeri test faaliyetleri öncesinde birimlerin birbirleri ile olan iletişimleri ve uyumlu bir şekilde çalışmaları doğrulanmazsa araç üzeri test faaliyetleri esnasında çıkacak hataları saptamak ve kaynağını belirlemek zor olacağı için araç öncesi sistem testleri kritik önem arz etmektedir.

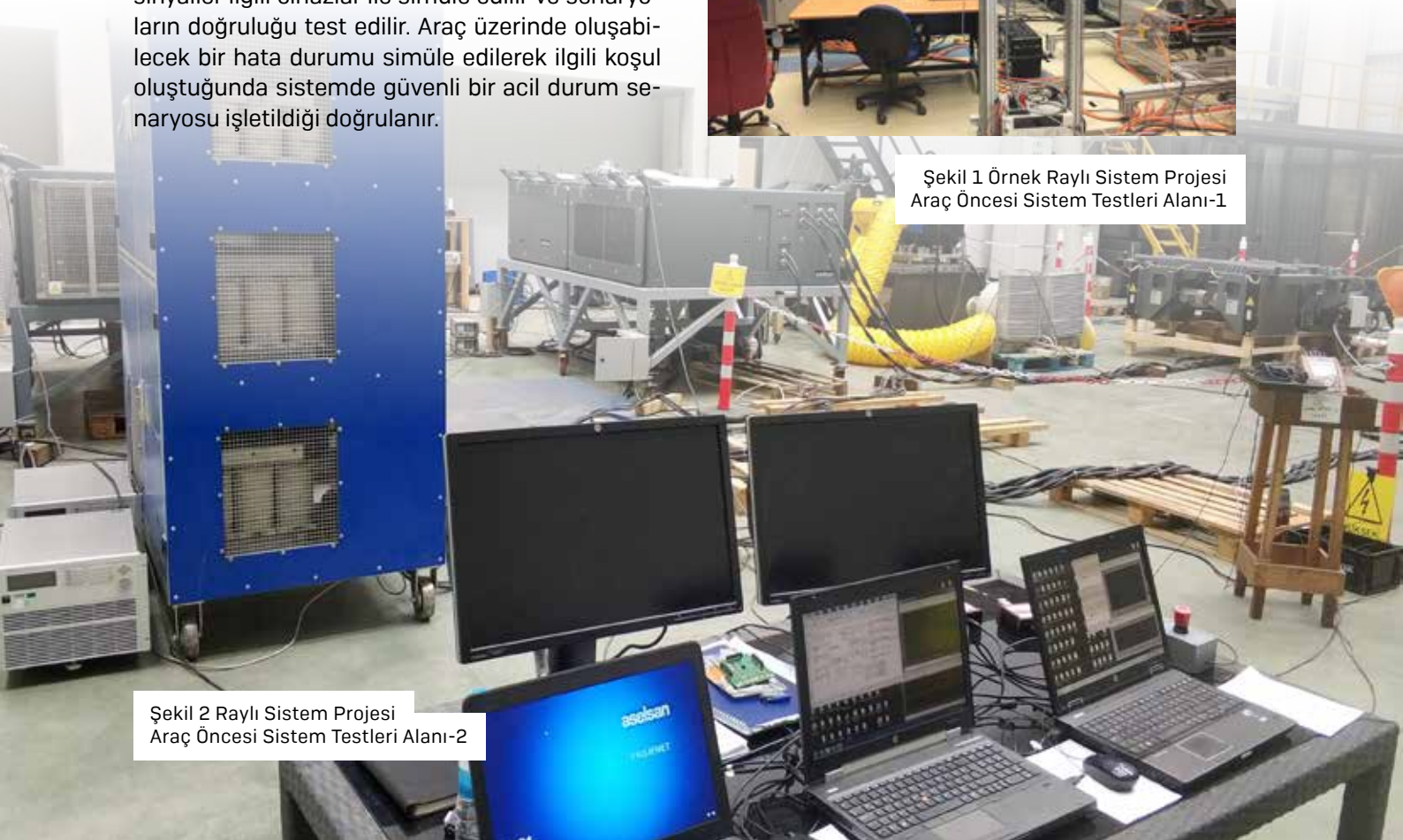
## SİSTEM TEST FAALİYETLERİ

Test adımlarında kritik öneme sahip olan araç üstü haberleşmesi ile ilgili olarak Multifunction Vehicle Bus (MVB) ve Controller Area Network (CAN) hatlarının donanımsal kontrolünün yapılması ve hattaki mesajların dinlenerek haberleşmenin çalışır durumda olduğunun doğrulanması gerekir. Rutin araç üstü senaryolarını gerçekleştirmek için bazı sinyaller ilgili cihazlar ile simule edilir ve senaryoların doğruluğu test edilir. Araç üzerinde oluşabilecek bir hata durumu simüle edilerek ilgili koşul oluştuğunda sistemde güvenli bir acil durum senaryosu işletildiği doğrulanır.

İlave olarak araç öncesi sistem test faaliyetleri kapsamında, sistem bileşenleri nominal kapasitede enerjilendirilir ve sistemin ana güç hatlarının kontrolü yapılır. Gerilim ve akım dalga şekillerinde bir bozulma olmadığı, motor arayüzünden okunan hız ve sıcaklık bilgilerinin anlamlı olduğu, çekiş konvertörü içerisindeki güç modülünde kullanılan yarı iletken sıcaklıklarının anlamlı okunduğu kontrol edilir. Çıkan hatalar mühendislik ekiplerine hata kaydı olarak bildirilir ve problemin kaynağı tespit edildikten sonra ilgili ekipler hatanın çözümü için çalışma yapar. Hata çözüldükten sonra testler tekrarlanır, ayrıca mevcut çözümün, sistemin başka yerlerinde probleme sebebiyet verip vermediğini anlamak için regresyon testleri de yapılır. Böylece birçok hata henüz araç üstü çalışmalar başlamadan önce tespit edilip çözüme kavuşturulur.

Araç öncesi sistem test faaliyetlerinin önemini vurgulamak açısından örnek bir uygulama, bir sonraki paragrafta detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

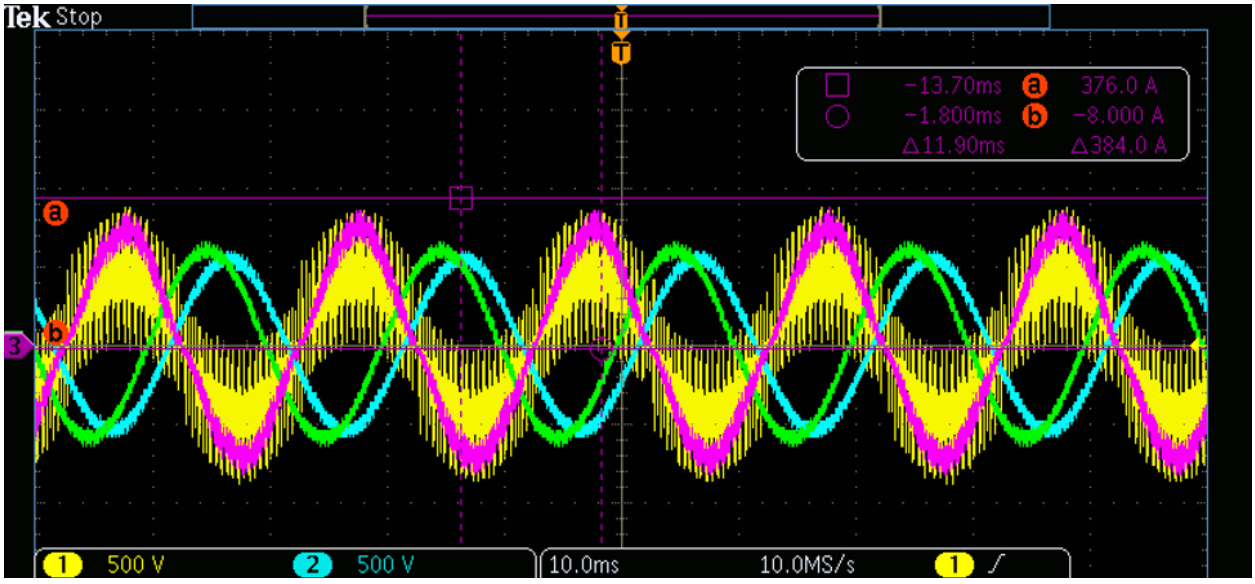
Şekil 1 Örnek Raylı Sistem Projesi
Araç Öncesi Sistem Testleri Alanı-1



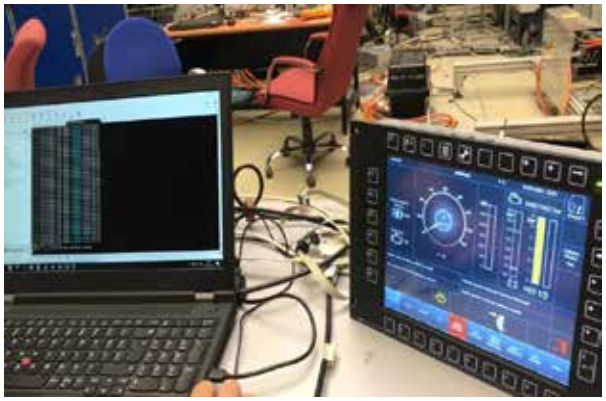

Şekil 2 Raylı Sistem Projesi
Araç Öncesi Sistem Testleri Alanı-2

Nominal kapasitede enerjilendirme sırasında düşük güçte kopmayan haberleşme hatları gücün arttırılması sonrasında kopabilir, veri akışı kesintiye uğrayabilir. CAN hattı tıkanarak haberleşme hatası görülebilir. Böyle bir durumda adreslenebilecek pek çok problem kaynağı olabileceğinden ötürü öncelikle her birini ayrı ayrı incelemek gerekir. Örneğin problemin kaynağının EMI (Elektro manyetik girişim) olduğu tespit edildiği takdirde bu problemin çözümü için çeşitli aksiyonlar alınması zaruri hale gelir. Topraklama ile ilgili önlemlerin artırılması ya da sistemde kullanılan kabloların ekranlı hale getirilmesi çözüm önerilerinden sadece bazılarıdır. Çevre koşulu testlerinden biri olan EMC (Elektro manyetik uyumluluk) testlerine de girdi sağlayabilecek olan bu örnek, elektromanyetik uyumluluk sertifikası için testlere girmeden önce gerekli aksiyonların alınmasını sağlar. Sonraki süreçte laboratuvar hizmeti alınan firmalarda geçirilen süreleri azaltarak kendi firmamıza maddi olarak da katkı sağlar.

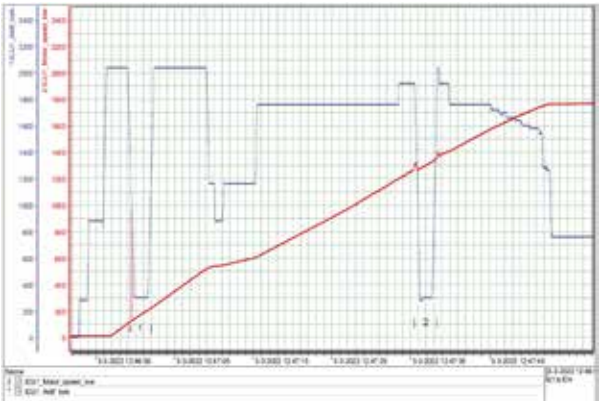
Araç öncesi sistem testlerini yapmak, araç üzerinde yapılan çalışmalarda çıkacak tüm problemleri elimine etmek demek değildir ve sistemde hiçbir problem olmadığı anlamına gelmez ancak araç üstünde doğabilecek pek çok sıkıntıyı önceden görme ve elimine etme imkânı tanır.




Şekil 3 Sistem Testlerinde Gerilim ve Akım Kontrolü

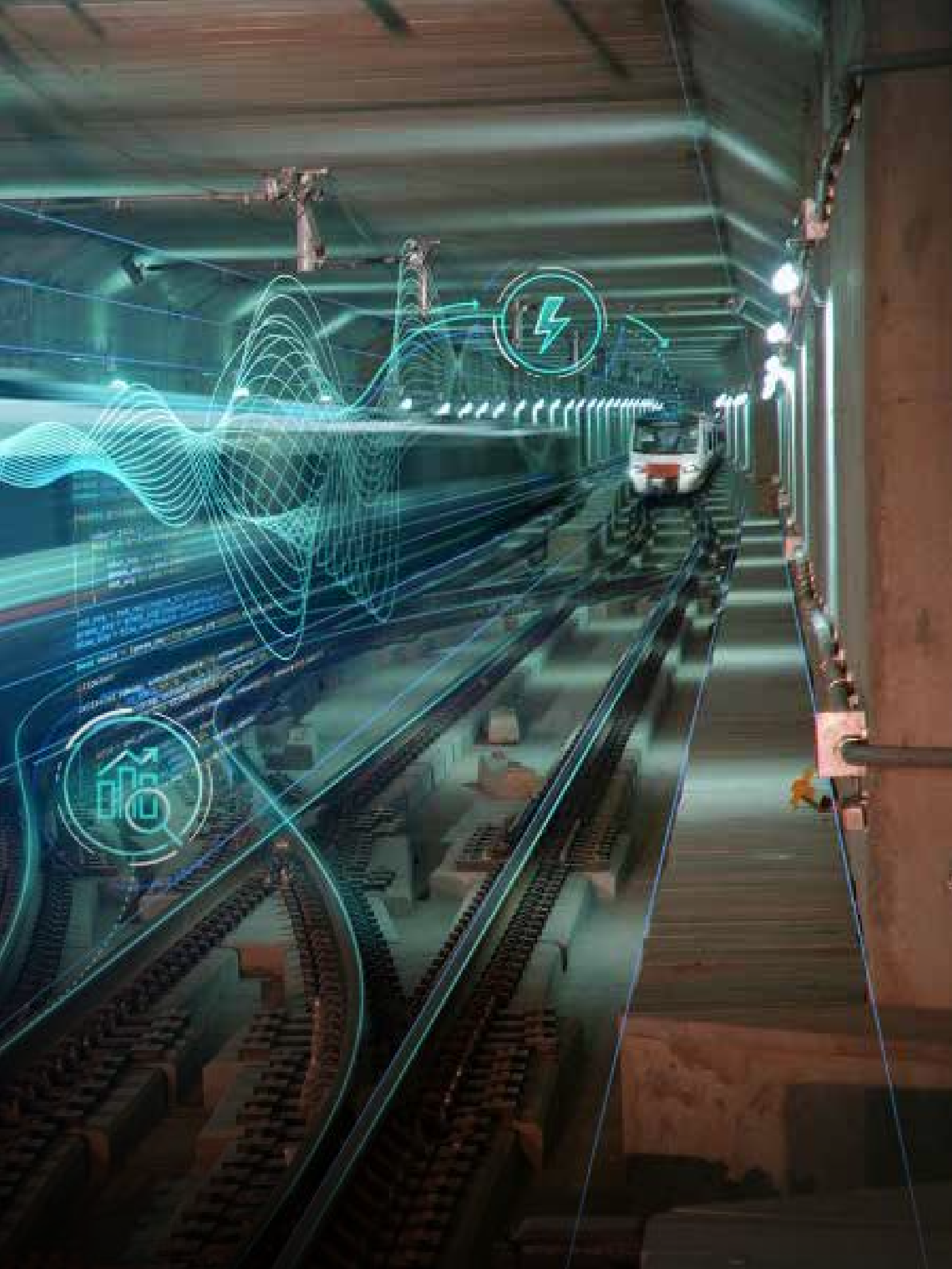


Şekil 4 Sistem Testlerinde Merkezi Kontrol Birimi ve HMI ile kombine testler



Şekil 5 Sistem Testleri Motor Hız-Tork Eğrisi

# ÇEKİŞ SİSTEMLERİNDE ARAÇ ÜSTÜ DOĞRULAMA FAALİYETLERİ



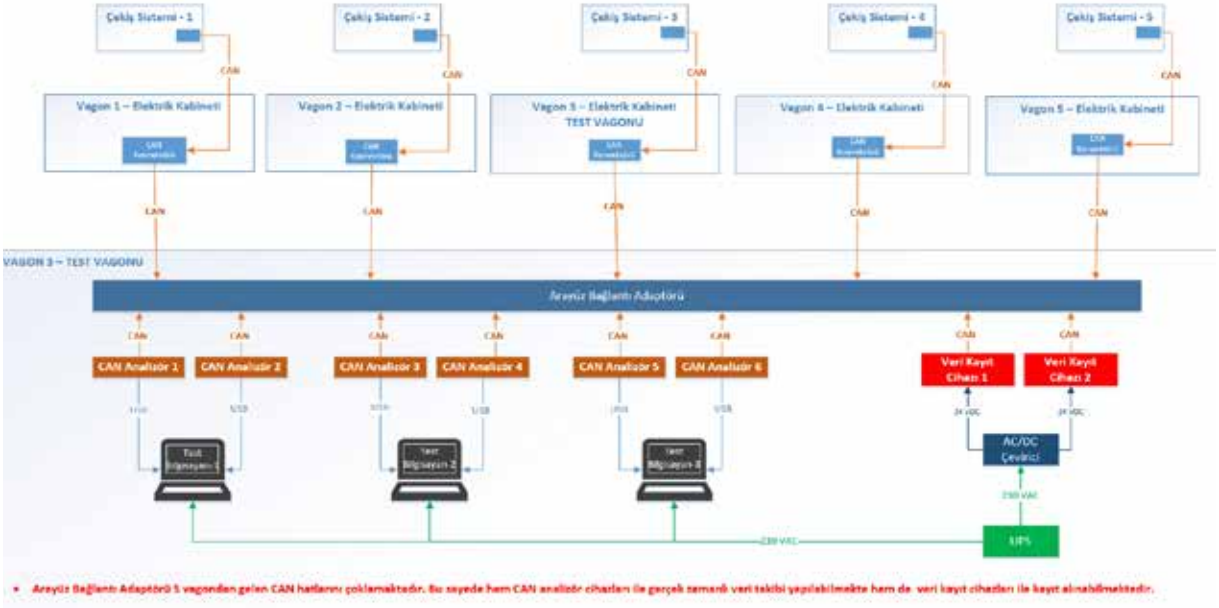
Çekiş sisteminin alt bileşenlerinin araç öncesi yazılım ve donanım doğrulama faaliyetlerinin tamamlanmasının ardından, sistem seviyesi gereksinimlerinin de karşılandığını kontrol etmek için araç üstü doğrulama faaliyetlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

## ARAÇ ÜSTÜ DOĞRULAMA ALTYAPISI

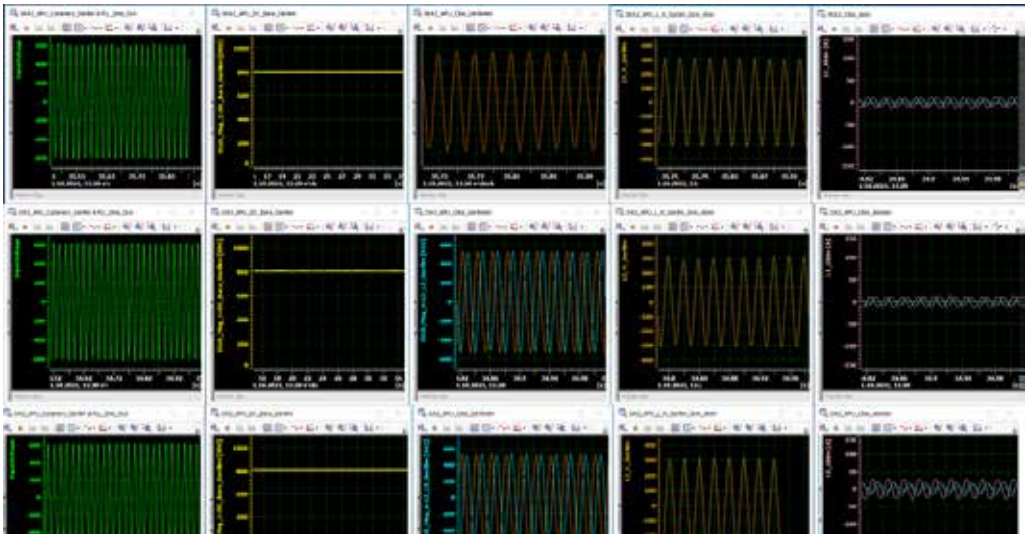
Doğrulama faaliyetlerini gerçekleştirmek için her vagondaki çekiş sisteminin haberleşme hatları merkezi noktadaki test vagonuna taşınmıştır. Bu sayede ortak bir noktadan tüm çekiş sistemlerine erişmek mümkün olmuştur. Çekiş sistemlerinin haberleşme arayüzünden gönderdiği mesajlara göre veri tabanları hazırlanıp sisteme özel geliştirilen test yazılımları ile verilerin gerçek zamanlı olarak görüntülenmesi ve eş zamanlı olarak kaydedilmesi sağlanmıştır. Geliştirilen arayüz ile çekiş birimlerinin analog verileri grafik ekranında çizdirilmekte, sayısal verileri ise renkli led görselleri ile desteklenerek gösterilmektedir. Tüm vagonlara erişimin olması sayesinde farklı çekiş birimlerinin verileri birbiriyle rahatlıkla karşılaştırılabilmekte, olası hatalı durumlar hızlıca tespit edilebilmektedir.

Tüm çekiş birimlerinin verilerinin eş zamanlı takibinde yüzlerce verinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Verilerdeki kısa süreli değişimleri takip etmek her an mümkün olmamaktadır. Bu nedenle canlı izlenen veriler aynı zamanda veri kayıt cihazı ile de kaydedilmektedir. Uzun süreli tutulan bu kayıtlar sayesinde olası hata anlarında yüzlerce verinin eş zamanlı olarak kontrol edilip hata sebebinin saptanması kolaylaştırılmaktadır. Sistem çalışma senaryolarına göre veri kayıt cihazı programlanıp olası senaryo dışı durumların tarih ve saat bilgisiyle birlikte otomatik olarak metin dosyasına kaydedilmesi sağlanarak arka planda otomatik analizler yapılmaktadır.

Şekil 1 – Test Vagonu

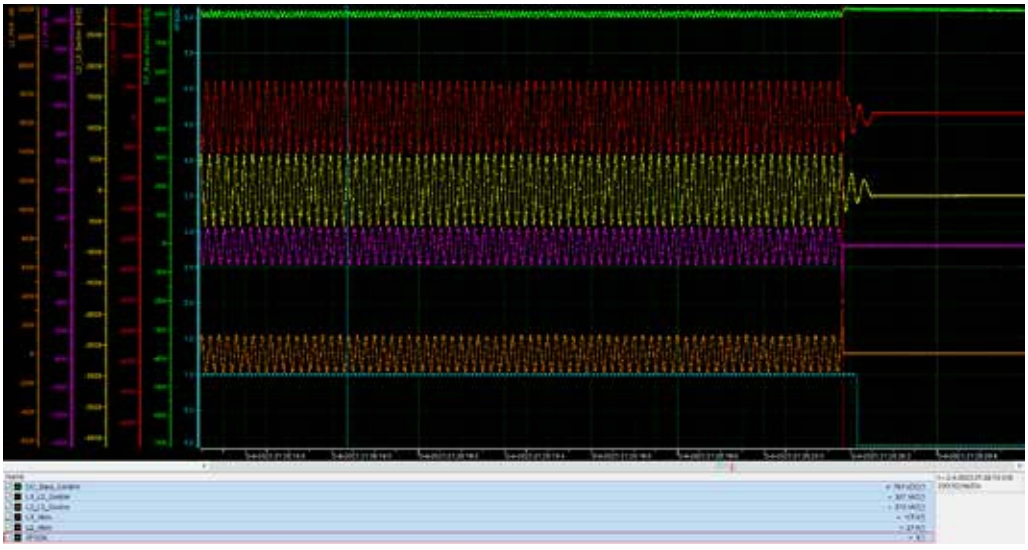



Şekil 2 – Araç Üstü Doğrulama Faaliyetleri Test Altyapısı Blok Şeması



Şekil 3 – Gerçek Zamanlı Veri İzleme Arayüzü – 1

Şekil 4 – Gerçek Zamanlı Veri İzleme Arayüzü – 2



Şekil 5 – Kayıtlı Veri İnceleme Arayüzü

## ARAÇ ÜSTÜ DOĞRULAMA FAALİYETLERİ

Araç üstü doğrulama faaliyetleri statik ve dinamik testler olmak üzere iki başlık altında ilerlemektedir. Statik testler aracın hareketsiz olduğu testlerdir. Dinamik testler ise aracın test parkuruna alınarak yol profiline uygun hareket ettiği testlerdir.

### Statik Testler

Statik testlerde çekiş sistemi için aşağıdaki kontroller yapılmaktadır.

1. Enerjisiz kontrollerde araca herhangi bir enerji verilmeden çekiş birimlerinin diğer birimler ile bağlantıları kontrol edilmektedir. Bu kontroller aşağıdaki gibidir.

- Araç üstü bağlantılarda kablajın doğru yapıldığının kontrolü
- Topraklama direnç ölçümleri
- Seviye göstergelerinin (trafo yağ seviyesi, dişli kutusu yağ seviyesi, soğutma birimi sıvı seviyesi vb.) görsel kontrolü

2. Düşük gerilim seviyesinde çekiş sisteminin araçla olan haberleşme ve IO arayüzleri kontrol edilmektedir. Bu kontroller aşağıdaki gibidir.

- Haberleşme arayüzlerinin (CAN-Controller Area Network, CANOpen, MVB-Multifunction Vehicle Bus vb.) kontrolü
- Kontrol kartlarının yazılım versiyonlarının kontrolü
- Sıcaklık okuma (motor sıcaklıkları, trafo sıcaklıkları, batarya sıcaklıkları vb.) arayüzlerinin kontrolü
- Tren kontrol yönetim sisteminden gelen sinyallerin (emniyet sinyalleri, master kontrol kolu kademesine bağlı kuvvet talebi bilgisi, aracın hareket yönü vb.) kontrolü
- Çekiş sistemi bileşenlerinden gelen hata ve uyarı sinyallerinin (trafo yüksek basınç/sıcaklık uyarıları, trafo yağ seviyesi uyarısı vb.) kontrolü

3. Yüksek gerilim seviyesinde çekiş sistemi bileşenlerinin tamamı enerji hattından beslenerek nominal akım ve gerilim altında çalışması kontrol edilmektedir. Bu kontroller aşağıdaki gibidir.

- Çekiş trafosunun yağ pompasının ve soğutma fanından gelen bilgilerin kontrolü
- Çekiş motoru fanlarının çalışma kontrolü
- Çekiş konvertörü girişindeki gerilim seviyesinin doğru okunduğunun kontrolü
- Çekiş konvertörünün çıkış gerilimlerini düzgün ürettiğinin kontrolü
- Batarya şarj biriminin düzgün çalıştığının kontrolü
- Çekiş konvertörünün çalışma durumlarını bildiren sinyallerin (yüksek gerilim girişi mevcut, orta gerilim üretildi, düşük gerilim üretildi vs.) kontrolü
- Sıcaklıkların (IGBT, trafo, batarya, motor vs.) kontrolü

### Dinamik Testler

Dinamik testlerde çekiş sistemi için aşağıdaki kontroller yapılmaktadır.

- Çekiş konvertörünün araç üstünde güvenli şekilde doğrulanması için araçta bulunan her bir motorla aracın hareketinin tek tek sağlanması
- Her bir motor ile sürüş sırasında motor dönüş yönünün, motor hız bilgisinin ve motor akımlarının kontrolü
- Motor sayısı tek tek arttırılarak tüm motorlarla hareket edilebildiğinin kontrolü
- Farklı kuvvet istekleri ile hızlanma ve elektrodinamik frenlemenin kontrolü
- Aracın yüksüz (yolcusuz veya yük vagonsuz) ve yüklü (yük vagonlu veya ortalama yolcu ağırlığına karşılık gelen yüklerle) koşullarda ivme, jerk, kayma, kızaklama, rampada kalkış vb. değerlerin araç tasarımına uygunluğunun kontrolü

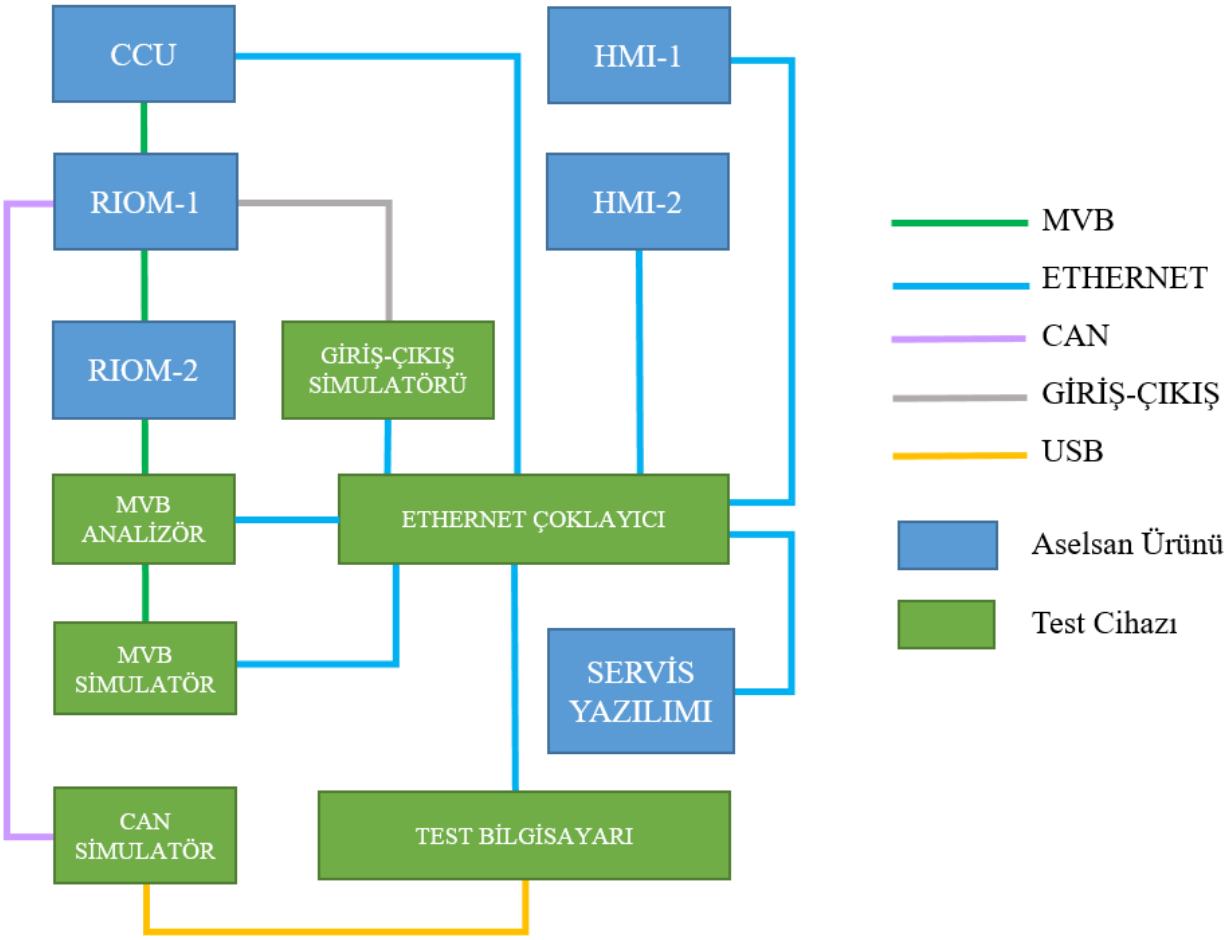
# TREN KONTROL YÖNETİM SİSTEMİ LABORATUVAR TESTLERİ

Tasarım doğrulama faaliyetleri, yazılım ve donanım geliştirme süreçlerinin önemli bir parçasıdır.

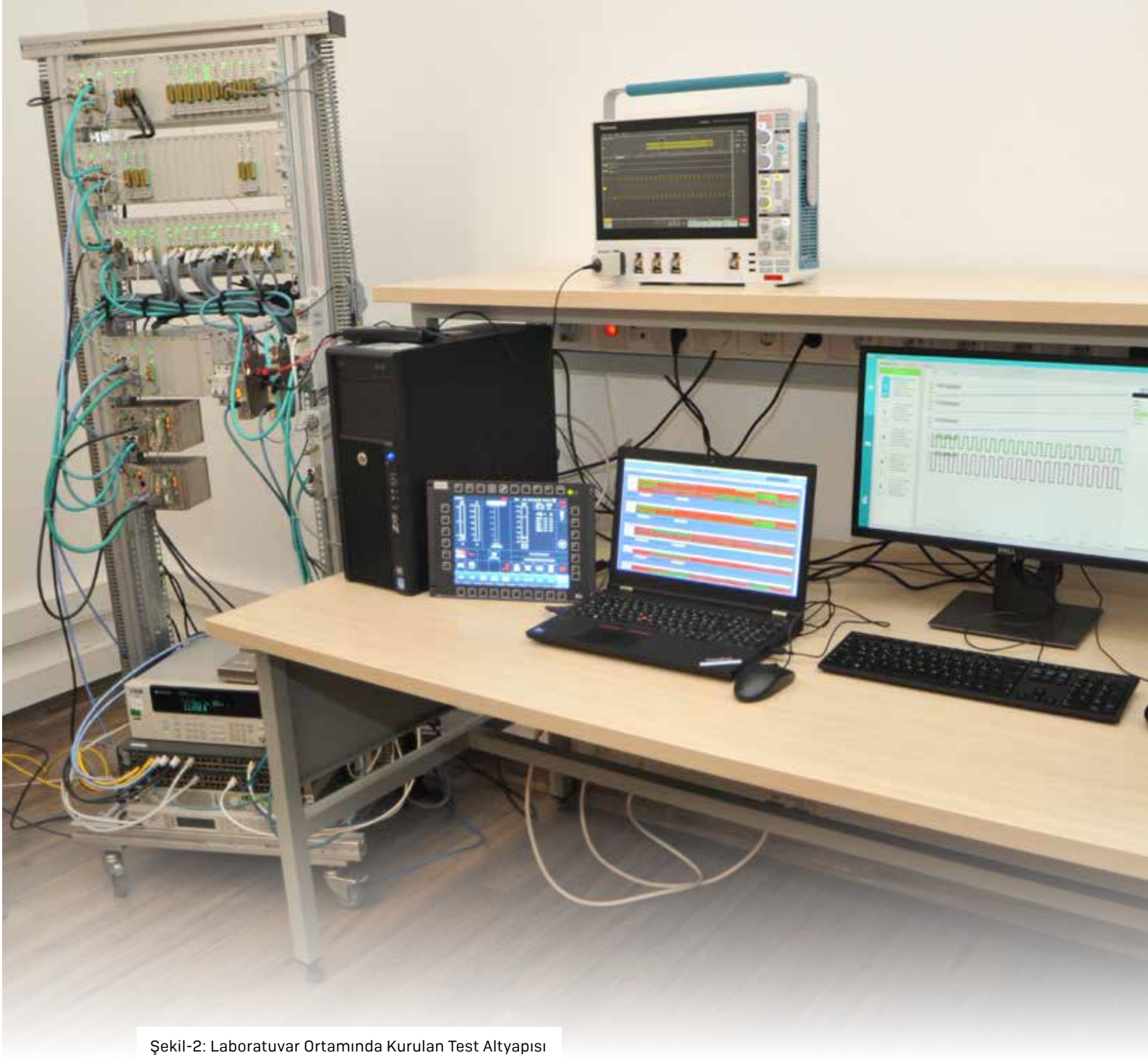
Bu faaliyetler tamamlandıktan sonra, bir araya getirilen konfigürasyon birimlerinin birbirleri ile uyumlu bir şekilde çalışıp çalışmadıkları, sistem entegrasyon testleri kapsamında test edilmektedir. Sistem işletme seviyesi testler öncesinde olası riskleri azaltmak için laboratuvar ortamında gerçekleştirilen bu testler büyük önem taşımaktadır.

TKYS kapsamında Merkezi Kontrol Birimi (CCU – Central Control Unit), Uzak Giriş Çıkış Birimi (RIOM – Remote Input Output Module), İnsan Makine Arayüzü (HMI – Human Machine Interface) ve Servis Yazılımı; birbirleriyle Multifunction Vehicle Bus (MVB), Controller Area Network (CAN) ve Ethernet haberleşme protokolleri üzerinden haberleşmektedir. Bu haberleşmenin sağlanabilmesi için her birime özel uygulama yazılımları tasarlanmakta ve laboratuvar testleri öncesi birimlere yüklenmektedir. Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen entegrasyon testleri ile bu birimlerin birbirleriyle sistem gereksinimlerine uygun bir şekilde haberleştiği doğrulanmaktadır.

Sistem gereksinimleri dokümanında tanımlanan her bir gereksinim için test tanım maddeleri oluşturulmaktadır. Test tanım maddelerinde; test adımları sıralı bir şekilde, yönergelerle açıklanmaktadır. Birbirleriyle ilişkili test adımları, test tekrarını önlemek ve daha verimli bir test koşumu sağlamak için gruplandırılarak test senaryoları oluşturulmaktadır.



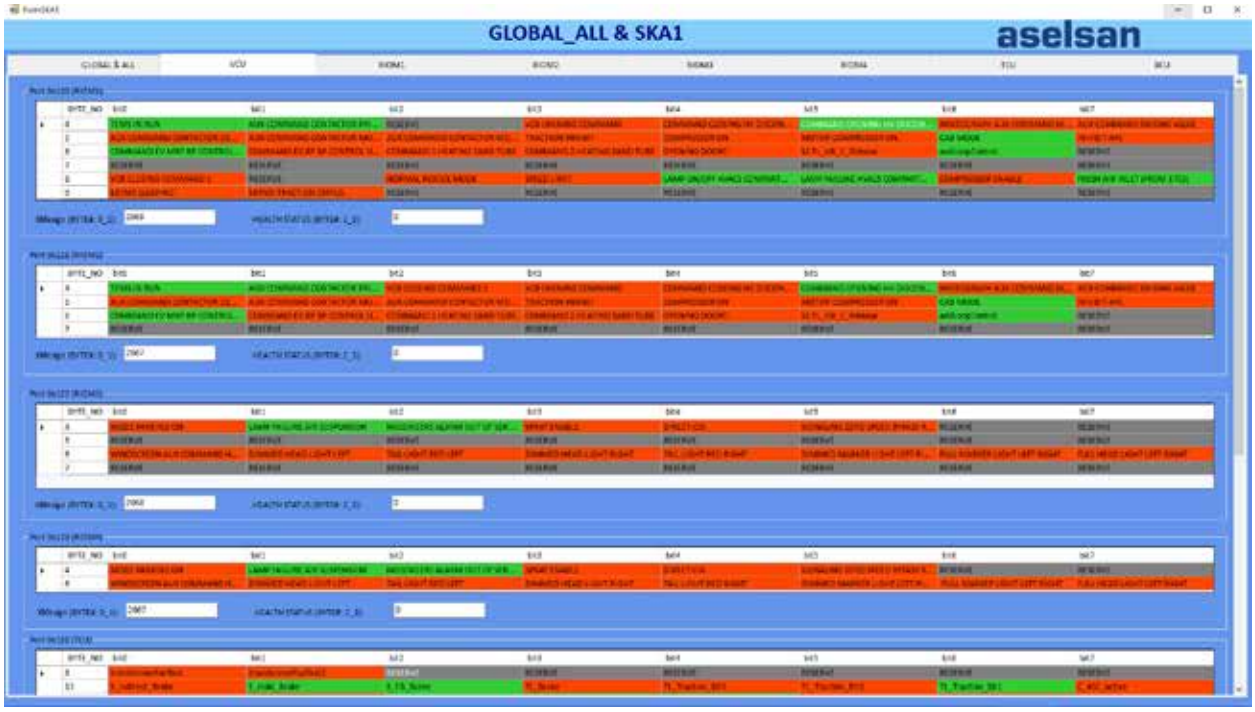

Şekil-1: Test Altyapısı Blok Şeması



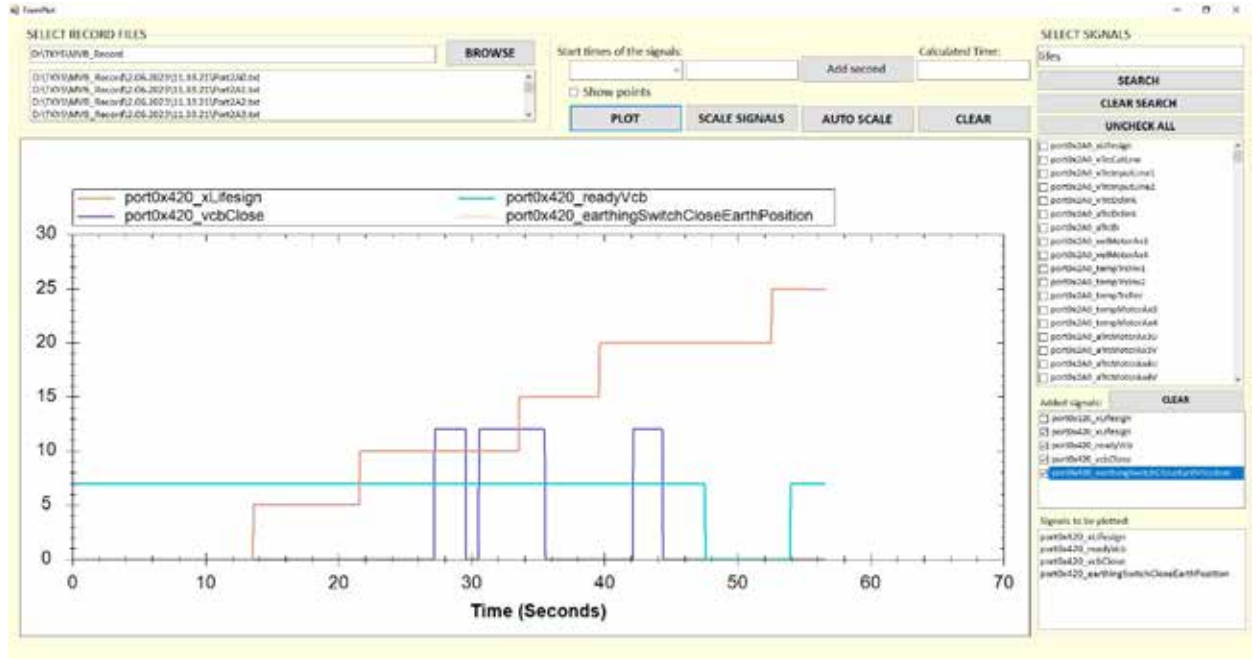
Şekil-2: Laboratuvar Ortamında Kurulan Test Altyapısı

Laboratuvar ortamında test senaryolarını gerçekleyebilmek için CCU, RIOM, HMI birimleri ve trendeki diğer alt sistemlerin yerine geçebilecek simülatörler kullanılarak test altyapısı oluşturulmaktadır (Şekil-1 ve Şekil-2). Bu kapsamda test edilecek ürünlerin, güç kaynaklarının, ölçüm cihazlarının ve simülatörlerin birbirleriyle bağlantıları tren üzerindeki kablo takımlarına benzer şekilde yapılmaktadır.

Alt sistemlerin birbirlerine ilettiği sinyallerin tanımlandığı arayüz kontrol dokümanları referans alınarak test analiz ve simülasyon yazılımları hazırlanmaktadır. Test analiz yazılımlarında alt sistemlerden iletilen sinyaller anlık olarak izlenebilmekte, kaydedilebilmekte ve kaydedilen veriler incelenebilmektedir (Şekil-3 ve Şekil-4). Test simülasyon yazılımlarında ise CCU, RIOM ve HMI birimleri haricindeki diğer tüm birimlere ait sinyaller gönderilebilmektedir. Ayrıca bu simülasyon yazılımları, test otomasyon algoritmaları içermektedir (Şekil-5). Test otomasyonu sayesinde test süresi kısaltılmakta ve test operatörü kaynaklı oluşabilecek hataların önüne geçilmektedir.



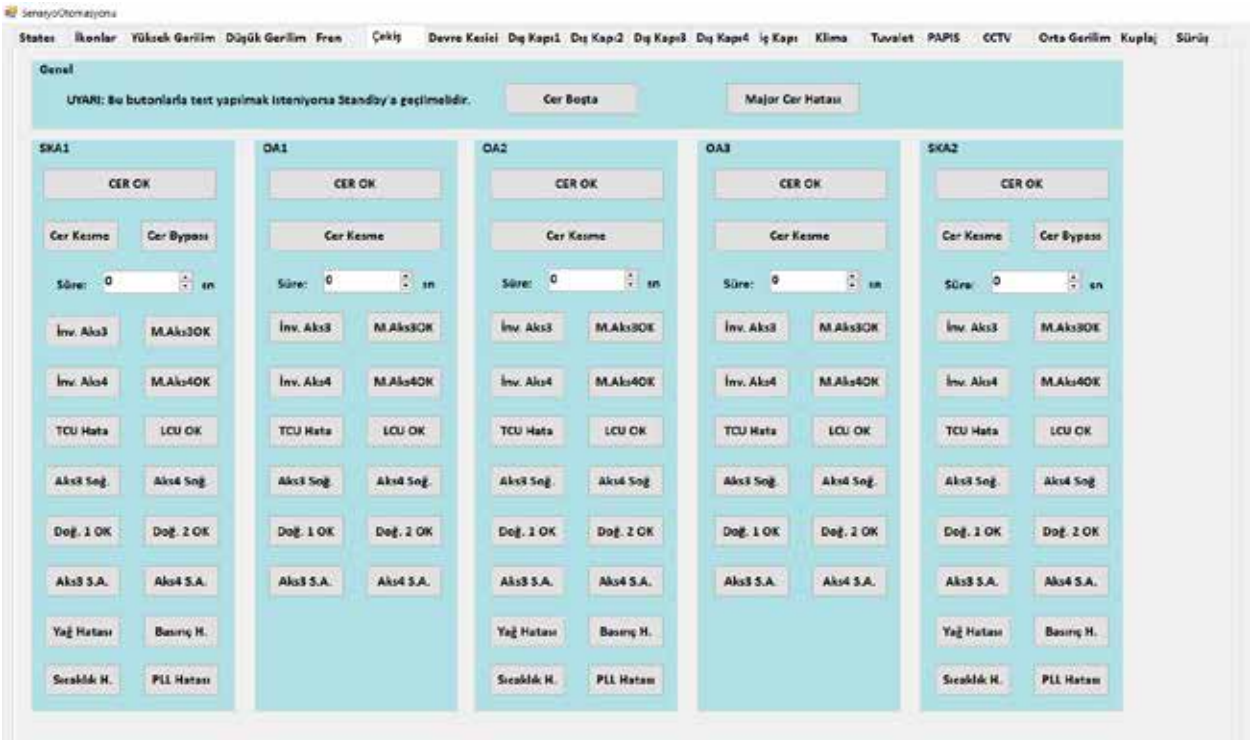

Şekil-3: Test Analiz Yazılımı Anlık Veri İzleme Ekranı




Şekil-4: Test Analiz Yazılımı Kayıt İnceleme Ekranı

Test altyapısı ve test yazılımları kullanılarak koşturulan tüm test adımlarının geçme ya da kalma durumları ile test esnasında gözlemlenen diğer tüm bulgular test raporuna işlenerek test sonuçları kayıt altına alınmaktadır. Ayrıca test raporunda test ve ölçüm cihazlarının kalibrasyon geçerlilik tarihleri; test edilen birimlerin versiyon/revizyon bilgisi, seri numarası gibi bilgiler de verilmektedir. Hazırlanan test analiz ve simülasyon yazılımları ile hata tespitleri yapılmakta ve hata kayıtları ilgili ekiplere yönlendirilmektedir.

Laboratuvar ortamında, tren üzerinde oluşturulabilecek testlere ek olarak tren üzerinde gerçekleşmesi tehlikeli olan veya oluşturulması çok güç olan senaryolara yönelik test maddeleri de detaylı bir şekilde test edilebilmektedir. Bu testler esnasında tespit edilen kritik hataların giderilmesi önem arz etmektedir. Bu sebeple kritik hata kayıtları doğrulanana kadar laboratuvar ortamındaki testler tekrarlanmaktadır. Tren üzeri testlere başlamadan önce laboratuvar testleri tamamlanmış ve tüm hata kayıtlarının çözülüp doğrulanmış uygulama yazılımlarının trene yüklenmiş olması hedeflenmektedir.



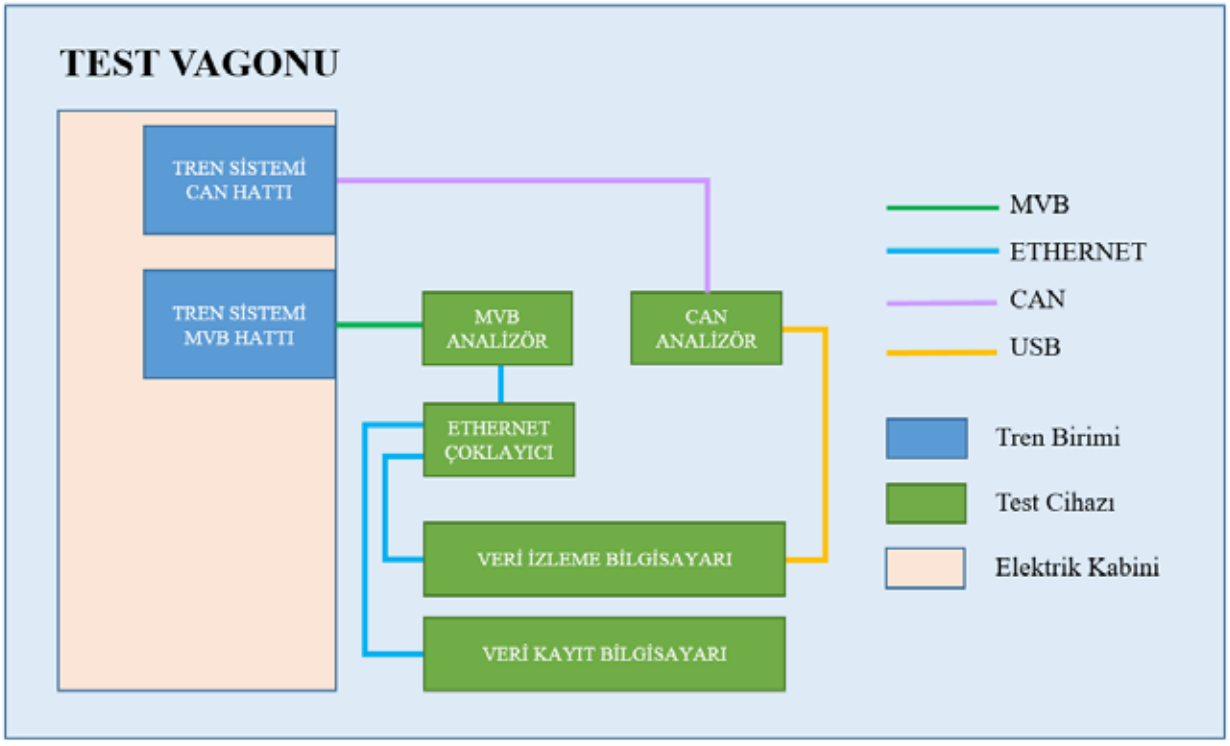

Şekil-5: Test Simülasyon Yazılımı Test Otomasyon Ekranı

# TREN KONTROL YÖNETİM SİSTEMİ TREN ÜZERİ TESTLERİ

TKYS, yüksek hızlı trenler, bölgesel trenler, metrolar ve tüm hafif raylı araçlara uygun bir tren kontrol ve yönetim sistemidir. TKYS, tren üzerindeki fren, çekiş, kapı, klima gibi alt sistemlerle arayüze sahiptir ve bu alt sistemleri yönetmektedir. Tren üzeri testlerde, laboratuvar testlerinden farklı olarak simülatörler yerine gerçek alt sistemler bulunmaktadır. Test senaryolarını doğrulamaya başlamadan önce, TKYS'nin tren üzerindeki diğer alt sistemlerle uyumu, bağlantılarının doğruluğu ve alt sistemler ile haberleşebildiği kontrol edilmektedir. Bu faaliyetlerin ardından sistem gereksinimlerine uygun şekilde test senaryolarının doğrulanması aşamasına geçilmektedir.

Müşteri ile mutabık kalınan teknik şartname maddelerine göre sistem gereksinimleri türetilmektedir. Bu gereksinimlere göre tren üzerinde koşturulacak test adımlarını ve test altyapısını tanımlamak için test tanımı dokümanı hazırlanmaktadır. Test altyapısı, test adımlarını daha verimli bir şekilde koşturabilmek için tren üzerindeki sinyalleri anlık olarak izleyebilecek ve kaydedebilecek şekilde tasarlanmaktadır. Test altyapısı kurulurken farklı vagonlarda bulunan birimlerden gelen sinyallerin mesafe kaynaklı zayıflamasını önlemek için orta vagon tercih edilmektedir. Orta vagonda bulunan elektrik kabinindeki MVB, CAN veya Ethernet hattından geçen birimlerin arasına test analizörleri bağlanarak veriler anlık olarak izlenebilmekte ve kaydedilebilmektedir (Şekil-1 ve Şekil-2). Tren üzerinde anlık izleme yapılırken test bilgisayarına monitörler bağlanarak tüm sinyaller ekranlardan gözlenebilmektedir (Şekil-3).

Test tanımı dokümanındaki test senaryoları, testlerin daha güvenli ve verimli bir şekilde koşturulabilmesi için risk analizi yapılarak önceliklendirilmektedir. Tren üzeri testlerine ilk olarak tren aktivasyonu ve ilklendirme senaryoları ile başlanmaktadır. Bu senaryolarda, tren seti konfigürasyonunun başarılı bir şekilde yapıldığı, TKYS'nin diğer alt sistemlerle haberleşebildiği ve trenin bataryalar üzerinden beslenebildiği test edilmektedir. Tren durağan haldeyken; düşük gerilim, yüksek gerilim, orta gerilim fonksiyonları ve fren, çekiş, aydınlatma, kapı, klima, yangın, yolcu alarm sistemi gibi alt sistem fonksiyonları test edilmektedir.




Şekil-1: Test Altyapısı Blok Şeması

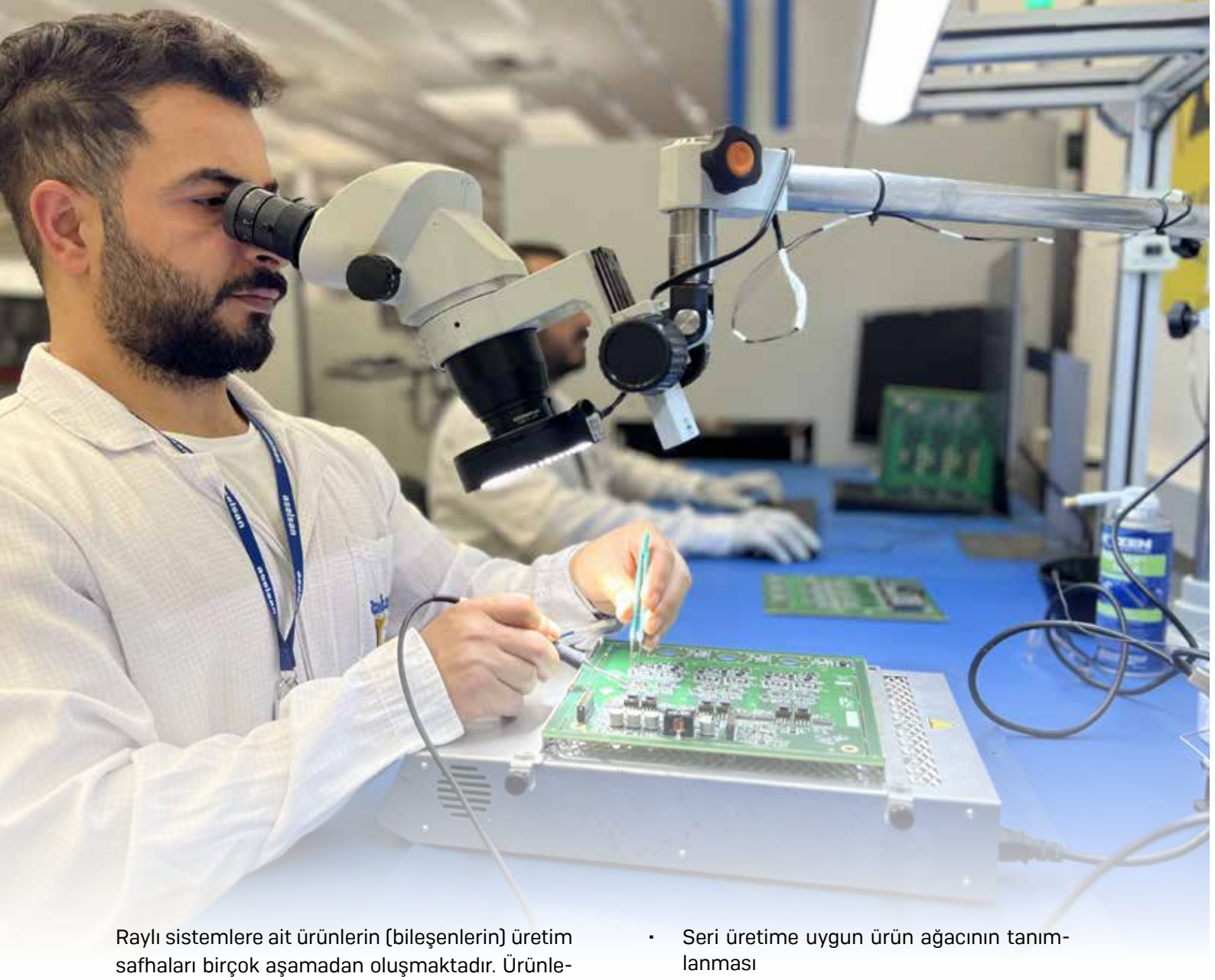
Şekil-2: Tren Üzeri Test Altyapısı

Durağan haldeki testler tamamlandıktan sonra sürüş fonksiyonu ile ilgili testler koşturulmaktadır. Hız limit, motor soğutma, çekiş kontrol, boden yağlama gibi fonksiyonlar hareketli durumda test edilmektedir. Tren üzerinde koşulan tüm test adımlarının geçme ya da kalma durumları ve test esnasında gözlemlenen diğer tüm bulgular test raporuna işlenerek test sonuçları kayıt altına alınmaktadır.

Entegrasyon testlerinde alt sistemlerin gerçek davranışlarının tam olarak öngörülememesi sebebiyle fark edilemeyen bazı hatalar tren üzerinde yapılan sistem testleriyle tespit edilebilmektedir. Tren üzerinde tespit edilen hatalar TKYS ya da alt sistemlerden kaynaklı olabilmektedir. Hatanın hangi sisteme ait olduğu belirlenirken entegrasyon testlerinde TKYS için raporlanan bulgular sorunu indirgemede referans olmaktadır.

Şekil-3: Anlık Veri İzleme Ekranları

# RAYLI SİSTEM BİLEŞENLERİ PİLOT ÜRETİM HATTI YAKLAŞIMI



Raylı sistemlere ait ürünlerin (bileşenlerin) üretim safhaları birçok aşamadan oluşmaktadır. Ürünlerin mühendislik prototipleri ve az sayıda üretimleri ASELSAN bünyesinde gerçekleştirilmektedir. Bu dönemde alt yükleniciler de üretim süreçlerinin başında dahil edilerek seri üretim yolunda bilgi ve tecrübelerinin artması sağlanmaktadır.

Sinyalizasyon ve Cer Motoru sürücü birimlerinin tasarım ve az sayıda üretim sürecinde, tasarım aşaması ile eş zamanlı prototip ve az sayıda üretimleri yapılarak optimizasyon sağlanmış, tasarım doğrulama faaliyetlerinden gelen geri bildirim ve değişiklikler, zamanında, eş zamanlı olarak birimlere uygulanarak efektif bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Prototip ve az sayıda üretimler esnasında edinilen bilgiler ışığında, seri üretime hazırlık (Pilot) ve seri üretim planlaması kapsamında verimli ve etkin seri üretim çıktıları sağlanabilmesi için pilot üretim hattı yaklaşımı uygulanacaktır. Bu yaklaşım çerçevesinde ürünlere ait

- Seri üretime uygun ürün ağacının tanımlanması
- Üretime uygun malzeme akışı yaklaşımı
- Üretim hattı planı
- Kritik operasyonların belirlenmesi
- Zaman etüdü yapılarak hat dengelemelerinin tanımlanması
- Seri üretime uygun dokümantasyon

ASELSAN bünyesinde tanımlanmakta ve doğrulanmaktadır. Bu adımlar sonrası yüksek adette üretim ihtiyacı olan raylı sistem bileşenleri verimli ve etkin maliyet oluşturularak alt yüklenicilerde üretim adımlarına geçilecektir.

Pilot üretim hattı yaklaşımı ile hedeflenen kalite, takvime uygunluk ve etkin maliyete ulaşılırken alt yüklenicilerde sürekli gelişim sağlanacaktır.

## HABERLEŞME TABANLI TREN KONTROL SİSTEMİNDE (CBTC) ÜRETİM UYGULAMALARI

Sinyalizasyonda ASELSAN, Türkiye'de ilk defa Gayrettepe – İstanbul Yeni Havalimanı projesi ile tasarımından üretimine kadar yerli imkanlarla CBTC sistemlerini geliştirmiş ve bundan sonra da Türkiye'deki sinyalizasyon projeleri için üretim altyapıları ile hazır durumdadır. CBTC sinyalizasyon sisteminde, tren üstü ekipmanlar, hat boyu ekipmanları, sinyal odaları ve onboard kabinleri yer almaktadır. Sistem için hayati önem taşıyan sistemlerden olan onboard kabini, elektronik kartlardan oluşan bilgisayarlar, sistemler ile bağlantılarını sağlayan kablo ağacı ve montaj ekipmanlarından oluşmaktadır.

Prototip seviyede başlayan kablo ağacı tasarımında kabinin sade ve tüm sistemlerine/birimlerine kolay erişebilir şekilde olması göz önünde bulundurularak optimum iletim yapısı gözetilir. Kablonun kabin üzerinde gideceği noktaya en kısa yoldan gitmesi sağlanarak hem kablo üzerinde kayıpların önlenmesi sağlanır hem de karmaşık görüntünün oluşması engellenir. Bilgisayar üzerinde ledler yardımıyla bilgi iletilmesi veya bilgisayar müdahalenin kolay yapılabilmesi için kabloların mümkün olan en kısa yoldan ve sabitlenmiş olarak ilerlemesi sağlanır.

Çeşitli sayıda elektronik kartlardan oluşan bilgisayarları barındırmasıyla oldukça yoğun bir sistem olan kabin, karmaşık kablo ağacı ile birçok işlevi yapan sistemin bir arada bulunmasını sağlamaktadır. Prototip üretim ile üretilebilirlik anlamında doğrulaması yapılan kartların, kablajların ve birimlerin, az sayıda üretimleri ile dokümantasyon süreçleri tamamlanmaktadır. Ürünlerin ASELSAN'da ilk üretimlerinin yapılması ve doğrulanması ile alt yüklenicilerde sorunsuz bir şekilde üretilebilmesi için ASELSAN'da az sayıda üretimden sonra üretim yöntemlerinin belirlenmesi, hat dengeleme ve optimizasyon için seri üretim öncesi adetli üretim yapılarak pilot üretim (ön seri) yaklaşımı gösterilir.

Ön seri üretimler ile ürünlerin tüm işlem adımlarının zaman etüdü yapılır. Zaman etüdü sonucunda değer katmayan adımlar elimine edilir, değer katan adımlarda ise iyileştirme faaliyetleri planlanarak verimlilik sağlanır. Hat dengelemede ise her bir adımda çıkan ürün miktarı hesaplanır ve buna göre hat üzerinde darboğaz oluşmaması için istasyonların hızları, o istasyonda çalışan kişi sayılarının yeniden ayarlanması veya istasyon dağılımlarının tekrar düzenlenmesi sağlanır.

## CER MOTORU KONTROL SÜRÜCÜ BİRİMİ (CESUR) ÜRETİM UYGULAMALARI

Milli Tren CER zincirinin bir parçası olan CESUR birimi tek bir gövde içerisinde çekiş sürücüsü, yardımcı güç ünitesi, batarya şarj birimi ve soğutma birimini içeren bütünleşik bir yapıdır. Tüm bu alt birimleriyle birlikte 3,8 m3 hacimli ve 1,5 TON'dan fazla ağırlığı olan CESUR birimi,

- Kontrol kartları,
- Kablo ağaçları,
- IGBT gruplarını içeren güç modülleri,
- Kondansatör gruplarını, trafoları, anahtarlama ve koruma donanımlarını içeren tepsilerini içeren çok yoğun bir yapıdan oluşmaktadır.

Birim montajına başlamadan önce belirtilen komponentlerin ön montaj ve test süreçleri ile hazırlanması gerekmektedir. Son aşamada tüm bu alt birimler birim kasasıyla birleştirilerek ana birimi oluşturacaktır. Tüm bu üretim safhalarının birbirinden farklı kabiliyetler gerektirmesinden dolayı farklı altyükleniciler ile koordine bir çalışma içerisinde ilerlenmektedir.

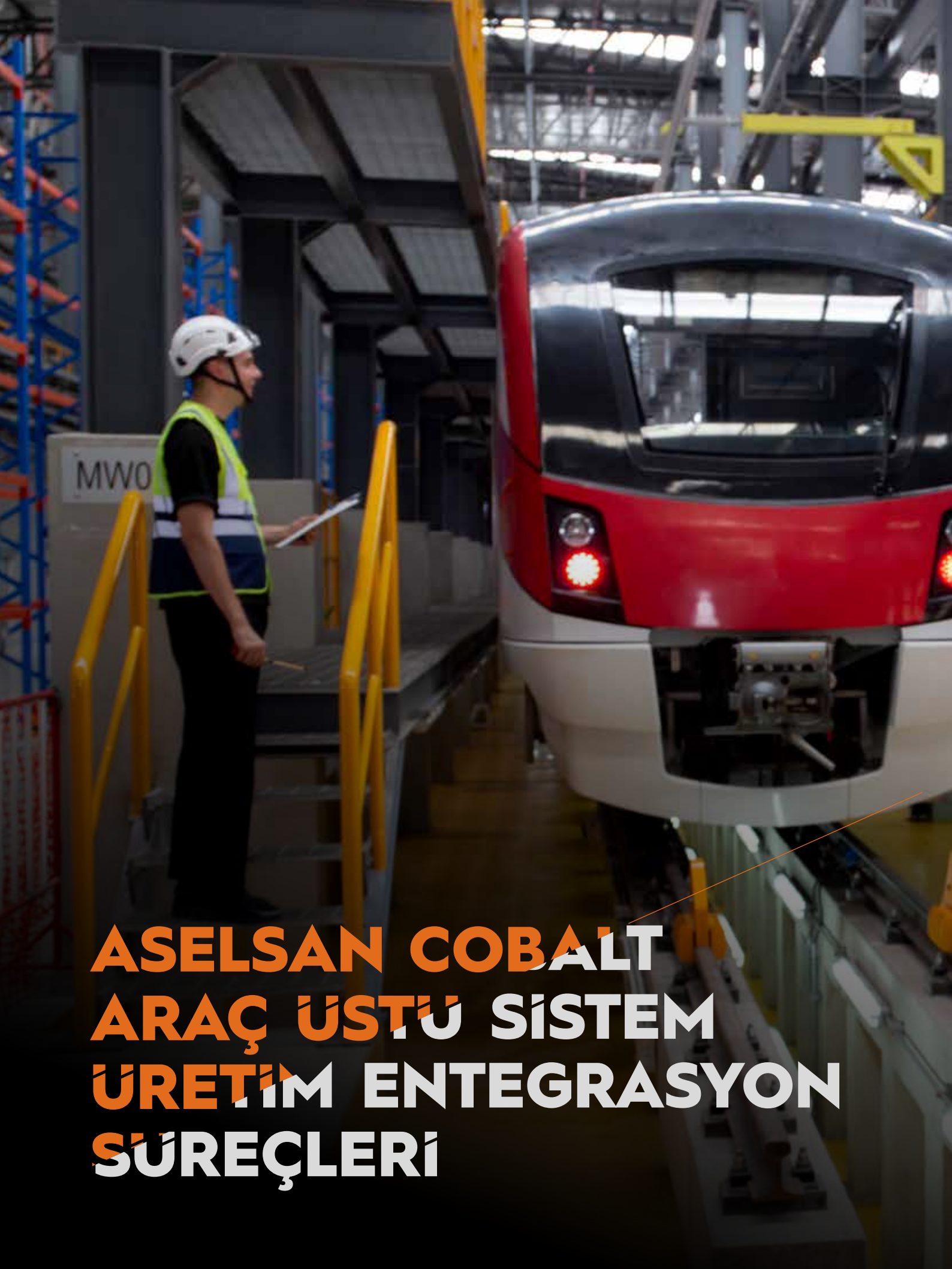
Bu kapsamda birim üretiminin öncelikle prototip üretimleri, tüm süreç yönergelerinin ve dokümanlarının hazırlanması ASELSAN personeli tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu aşamada seri üretime uygun dokümantasyon üretim ile doğrulanarak hedeflenen kalite ve işçiliğe ulaşmayı sağlamaktadır. Planlanan çalışmalarda alanında uzman alt yükleniciler üretim süreçlerinin başında dahil edilerek seri üretim yolunda da bilgi ve tecrübeleri geliştirilmektedir. Doğru zamanda alt yüklenicilerin sürece dahil edilmesi ile yerli üretim yetkinliğinin artırılması ve seri üretime hazırlanması amaçlanmaktadır.

Hemen ardından gelen az sayıda üretimler ve sonrasında pilot üretim hattı yaklaşımıyla ASELSAN personeliyle birlikte alt yüklenicilerin ortak çalışmaları ile tüm sürecin doğru biçimde tanımlanabilmesi sağlanmıştır. Bu sayede gelecek üretimlerin en üst düzey kalitede ve doğru bir planlama ile yapılabilmesi için gerekli olan tecrübe ve bilgi toplanmıştır.

Üretim tanımlama süreçleri tamamlandıktan sonra; güç modülleri ve CESUR biriminin nihai testleri için gerekli olan altyapılar ASELSAN bünyesinde kurulmuştur. Böylece akışta yer alan tüm kritik noktalar güvence altına alınmıştır.

Bu kapsamda raylı sistem bileşenlerinin üretiminde alt yüklenicileri de kapsayan bir prototip, az sayıda ve pilot üretim yaklaşımının benimsenmesi: üretim süreci stratejisinin doğru planlanmasını; öngörülemeyen problemlerin, eksikliklerin ya da çeşitli olumsuz durumların tespitini ve giderilmesini sağlamaktadır.

Kaynakları doğru planlayarak; zamandan ve işçilikten tasarruf sağlanarak, ileride karşılaşılacak olası problemler ve riskler en aza indirmiştir.



# ASELSAN COBALT ARAÇ ÜSTÜ SİSTEM ÜRETİM ENTEGRASYON SÜREÇLERİ

ASELSAN COBALT Sinyalizasyon Sistemi temel olarak ATP, ATO, PSU, OPG Takometre, DMI, BTM, Doppler Radar, Wi-fi Anten ve Ethernet Anahtarı gibi araç üstü bileşenlerinden oluşmaktadır. Bununla birlikte araç üstü bileşenleri tasarım kriterleri, müşteri talepleri ve yedeklilik seviyesi gibi şartlara göre de değişiklik gösterebilmektedir.

**ATP (Automatic Train Protection):** Otomatik Tren Koruma (ATP) Bilgisayarı, aracın güvenlik fonksiyonlarını kontrol eder. ATP bilgisayarı tüm hayati giriş ve çıkış sinyallerini işleyerek gerekli koruma fonksiyonlarını yerine getirir.

**ATO (Automatic Train Operation):** Otomatik Tren İşletme (ATO) Bilgisayarı, aracın işletme fonksiyonlarını kontrol eder. ATO bilgisayarı tüm hayati olmayan giriş ve çıkış sinyallerini işleyerek gerekli işletme fonksiyonlarını yerine getirir.

**PSU (Power Supply Unit):** Araç Üstü Sinyalizasyon Sisteminin güç ihtiyaçlarını karşılayan birimdir. Batarya besleme gerilimini, CPU ve I/O kartlarının istenen giriş gerilim seviyelerine dönüştürür, birim ve modüllerin enerjilendirilmesini sağlar.

**OPG Takometre (Optic Pulse Generator):** Tekerlek çap ve dönüş sayısına göre hassas hız bilgisi ve tren yön bilgisi üreten birimdir. Ürettiği hız ve yön bilgisini ATP bilgisayarına iletir.

**Doppler Radar:** Raya gönderdiği radyo dalgaları ile hız bilgisi üretir. Ürettiği hız bilgisini ATP bilgisayarına iletir.

**DMI (Driver-Machine Interface):** Makinist komut ve gösterge ekranıdır.

**BTM (Balise Transmission Module) ve Anteni:** Hatta yerleştirilmiş balizler ile anten üzerinden haberleşerek konum bilgisi üretir. BTM bilgisayarı ürettiği konum bilgisini ATP bilgisayarına iletir.

**Wi-fi Anten:** Hat boyu sinyalizasyon bilgisayarları ile araç üstü sinyalizasyon bilgisayarlarının veri alışverişi yapabilmesini sağlayan ekipmandır.

**Ethernet Anahtarı:** Araç içi sinyalizasyon ekipmanlarının hem birbirleri arasında hem de hat boyu ekipmanları ile haberleşmesini sağlayan ekipmandır.

Araç üstü sinyalizasyon ekipmanlarının araca entegrasyonu öncesinde elektriksel ve mekanik arayüzleri ile ekipman yerleşimlerinin belirlenmesi ve üretilebilirlik, kolay montaj yapılabilirlik, bakım yapılabilirlik, işletilebilirlik açısından ilgili ekiplerce gözden geçirilmesi önem arz etmektedir. Üretim ve süreç tasarım ekipleri tarafından tüm araç, bu yaklaşımlarla ele alınarak;

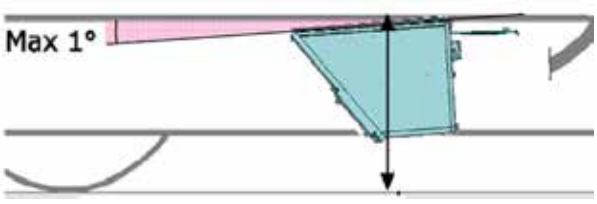
- seri üretim/entegrasyon aşamalarında karşılaşılabilecek olası uyumsuzlukların belirlenerek giderilmesi,
- montaj braketleri ve konumları,
- kablo geçiş güzergahları ve kablo takımlarının etkileşimleri,
- birimler arası ve araç kablo takımlarında kullanılan konnektör tipleri,
- birimlerin ve kablo takımlarının araca entegrasyonunda kullanılacak montaj, bağlantı ve sızdırmazlık elemanlarının uygunluğu ve uygulanabilirliği için gözden geçirilir.

İlgili düzeltme ve iyileştirmelerle birlikte ilk araç üzerinde uygulanarak araç ve araç üstü sinyalizasyon sisteminin entegrasyonu sağlanır.

Raylı araç ve sistemlerinin ömür beklentileri yaklaşık 30 yıldır. Bu nedenle entegrasyonu yapılan birim ve mekanik yapıların ve bunların bağlantı yöntemlerinin ilgili standart ve normlara uygun olması beklenir. Raylı araçlar, işletme durumunda iken yüksek titreşime maruz kalması nedeni ile mekanik yapıların titreşimden etkilenmeyecek veya maruz kalınan titreşimi sönümleyebilecek bağlantı elemanları kullanılmakta ve genelde DIN normlarına (malzeme, boyut, vs. göre belirlenen tork değerleri) göre montajı yapılmaktadır. Bağlantı elemanlarının yanı sıra sistem bileşenlerinin doğru çalışması, bileşenden sağlıklı veri alınabilmesi için bileşenin üretici montaj kriterleri de göz önünde bulundurularak entegrasyon faaliyetleri yürütülmektedir.

Uluslararası standartlar (IEEE 1474, EN 50155, EN 50343, vb.) doğrultusunda entegrasyonu yapılan araç üstü sinyalizasyon ekipmanlarının birkaçı ele alınırsa;

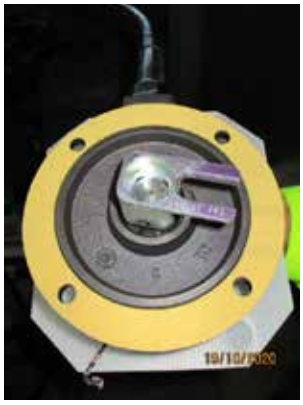
- Doppler radarın montajı yapılırken trenin hareket yönü, minimum ve maksimum tren teker çapları, ray üst kotu ile radar arası mesafe dikkate alınır ve bu kriterlere uygun arayüz braketi ile monte edilir. Radarın tarama yüzeyi raya bakmalıdır. Her üç eksen için tren ve radar eksenleri birbirine uyumlu olmalıdır. Montaj esnasında gerekli ölçümler yapılarak açısal toleranslar içinde kalması sağlanmalıdır. Ayrıca radar, tren üzerindeki hareketli bir parçaya, tren bojisine veya yüksek titreşim alan bir noktaya monte edilmemelidir. Belirlenen kriterlere ve montaj yöntemlerine uyulmaması durumunda radar hatalı veri okuyacak ve ATP bilgisayarına hatalı veri iletecektir. Sağlıklı odometre bilgisinin alınamadığı durumlarda tren acil fren uygular ve sinyalli modda hareket ettirilemez.



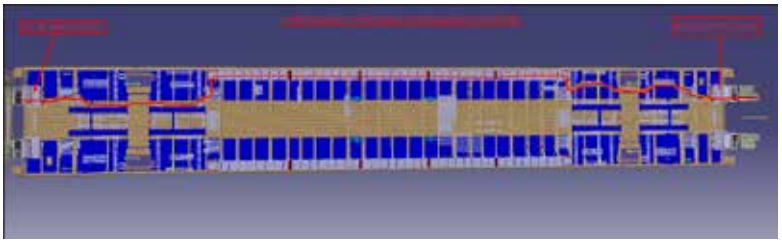
- BTM Anteninin montajı yapılırken hat boyuna yerleştirilen balizler ile arasındaki mesafe dikkate alınır ve baliz bilgisinin doğru okunabileceği toleranslar içinde monte edilir. Ayrıca BTM anteninin çevresinde metal plaka bulunmamalıdır. BTM anteni ile baliz arası mesafenin tolerans değerleri dışında olması, BTM anteninden doğru konum bilgisi alınamamasına neden olacaktır. Ayrıca metal plaka, BTM

anteni ile baliz arasındaki radyo haberleşme frekansı üzerinde bozucu etkilere neden olabileceğinden BTM anteninin ATP bilgisayarına hatalı veya hiç konum gönderememesine neden olacaktır. ATP bilgisayarının doğru konum bilgisi alamadığı durumlarda tren lokalizasyon bilgisini kaybedeceğinden acil fren yapar ve yeniden lokalize oluncaya kadar sinyalli modda sürülemez.

- OPG takometre ideal durumunda frensiz aksa montajlanır. İdeal durumun gerçekleştirilemediği senaryo için servis freni olmayan aksa montajlanması uygun olacaktır. Takometre aks başına monte edilirken takometre rotoru üzerindeki U profil aks içerisindeki profil yuvasına tam olarak yerleştirilmelidir. U profilin yuvasına tam yerleşmemesi durumunda tren hareketi sırasında aks dönecek fakat takometre bir süre dönmeyecektir. Dolayısıyla takometrenin kare dalda olarak ürettiği ve ATP bilgisayarına gönderdiği hız bilgisi yanlış olacaktır. Ayrıca takometre ile aks arasında sızdırmazlık contası kullanılmalıdır. Sızdırmazlık contasının kullanılmaması veya yönünün yanlış olarak monte edilmesi aks başı ile takometre arasına toz veya sıvı girmesine neden olacaktır. Bu yabancı maddeler de zamanla oksitlenmeye ve rulman sıkışmalarına dolayısıyla ATP bilgisayarına yanlış hız bilgisi gönderilmesine neden olacaktır. Takometrenin yanlış montajlanması hassas hız bilgisi, trenin yön bilgisi ve hassas duruş fonksiyonlarını olumsuz etkileyecek ve tren işletmede kullanılamayacaktır.



- Sinyalizasyon sistemi kabloları araç üzerine serilirken kablonun zırh, kılıf ve kablo damarlarının zarar görmemesi ve kablo dönüş çapları çok önemlidir. Kablonun zarar görmesi veya kablonun daha dar bir açı ile kıvrılması kablo damarının kırılmasına neden olacak ve kablo üzerinden taşınan sinyal veya besleme geriliminin kaybına dolayısıyla sistemin çalışmamasına sebep olacaktır. Ayrıca sinyalizasyon kabloları ile yüksek gerilim kabloları birbirine mümkün olduğunca uzak olmalıdır. Yüksek gerilim kablolarının sinyal kablolarına yakın olması elektromanyetik etkileşim nedeniyle kabloda taşınan sinyali bozabilir ve ATP/ATO bilgisayarlarına sinyalin yanlış gitmesine veya hiç gitmemesine neden olabilir.



- Tüm araç üstü sinyalizasyon sistem bileşenleri, sinyal bozucu elektromanyetik gürültüleri ve olası kaçak gerilimler sebebiyle oluşabilecek arızaları önlemek için topraklanmalıdır. Topraklama yapılırken direnç değerlerinin EN 50153 standardında belirtilen değerleri sağladığı mutlaka ölçülerek kontrol edilmelidir.

Entegrasyon ve montaj faaliyetlerinin ardından trenler işletmeye alınmadan önce gerekli ayarların yapılması ve sistemin belirlenen kriterlere göre çalışırlığının sağlanması için tren devreye alma faaliyetleri yürütülür. Bu faaliyetler sırasında sisteme yönelik yazılımları yüklenir, birimlerin ve araç üstü sinyalizasyon sisteminin diğer sistemlerle (Merkezi sistem ve hat boyu sistemleri, vb.) haberleşmesini sağlayacak gerekli konfigürasyon ayarları yapılır.

Entegrasyon ve devre alma faaliyetleri sonrasında Uluslararası Standartlar ile belirlenen seri üretim testleri her bir araca uygulanır. Seri üretim testleri

statik ve dinamik testler olmak üzere iki aşamalıdır ve rutin test olarak yapılır. Seri üretim test kriterleri teknik şartname, sistem gereksinim özellikleri ve uluslararası standartlara (çevresel koşullar için EN 50155, CBTC fonksiyon ve performans gereksinimleri için IEEE 1474, kablolama ve kablo testleri için EN 50343, vb.) göre belirlenir.

Seri üretim testleri trenlerin güvenli, emre amade ve güvenilir şekilde işletmeye verilmesi için yapılır.

Seri üretim testlerinden birkaçı ele alınırsa;

- Tren istasyona gelip doğru duruş noktasında durduğu zaman yolcu kapıları otomatik olarak veya makinist tarafından kapı açma butonuna basılarak açılabilir. Kapı_Modu otomatik veya manuel olmak üzere 2 konumludur. Kapıların açılma şekli trenin aktif kabinindeki Kapı_Modu seçimine bağlıdır. Kapı açma fonksiyonu aktif ve pasif kabin durumu ve Kapı_Modu seçimi için olası tüm senaryolara göre test edilir. İlgili sinyalin ATO bilgisayarına doğru geldiği arayüz programı ve fiziksel ölçümlerle doğrulanır. Bu senaryoda kapıların açılma senaryosu yolcu güvenliği açısından önemlidir.

- DMI ekranında hedef hız (örneğin 7km/h) ve limit hız (örneğin 10km/h) değerleri bulunur. Bu değerler yarı otomatik sürüşlerde yani treni makinist kullanırken makinisti güvenli sürüş için yönlendirir. Makinist hedef hızı geçerse sesli ve görsel uyarı alır ancak limit hızı geçmesi durumunda tren ATP tarafından hız aşımı gerekçesi ile acil fren yaptırılarak durdurulur. Bu test için hat boyu ATP bilgisayarı ile belli bir bölgeye belli bir hız sınırı (örneğin 10 km/h) uygulanır. Makinist tren ile bu bölgeye girdiğinde DMI ekranında hedef hız 7km/h ve limit hız 10 km/h olarak görünür. Makiniste limit hız değerini geçmesi söylenir. Tren 7 km/h hıza ulaştığında DMI ekranından sesli ve görsel uyarı alınır. Tren 10km/h hızı geçince de ATP bilgisayarı tarafından hız aşımı gerekçesi ile acil fren yaptırılarak durdurulur. İlgili hız sinyalinin DMI ve ATP bilgisayarına doğru geldiği arayüz programı ile doğrulanır.

Entegrasyon, devreye alma ve test faaliyetleri esnasında/akabinde tüm faaliyetlerin doğru şekilde yapıldığının ve hangi konfigürasyon ile ilgili aracın doğrulandığının kayıt altında alınması için sistem, yazılım ve donanım birimlerinin konfigürasyon kayıtları oluşturulur. Bu kayıtlar ilgili aracın ömür döngüsü boyunca bakım ve idame faaliyetleri için önemli rol oynamaktadır.

Tasarım faaliyetleri sonrasında, her bir aracın tanımlanmış sistem entegrasyon aşamalarından geçmesi hem sistemlerin işletmeye güvenle alınmasını hem işletme sırasında gizli üretim hatalarından ayıklanmasını, hem de üst seviye müşteri ve yolcu memnuniyetini sağlamaktadır.

# TESLİMAT YÖNETİMİ

AYEM

ASELSAN, teslimat yönetimi faaliyetleri kapsamında, müşteri memnuniyetinin ön planda tutulduğu, proje ekipleri ile koordineli, proje takvimi ve bütçesinin sınırlarının gözetildiği bir yaklaşımla sevkiyat ve teslimatlar gerçekleştirilmektedir.

Proje teslimatları kapsamında teslimat sürecine giren ürünlerin kabul şartlarını laboratuvarlarda benzetim (simülasyon) yapılarak, Saha ve Fabrika Kabul Test Prosedürü koşumu için müşteri kabulü öncesinde Ön Test-Koşumu (Dry-Run) gerekli hazırlıkları tamamlanmaktadır. Sahada gerçekleşecek olan Müşteri Kabul Testlerinde sıfır hatayı hedefleyerek, sistemin müşteri kabulüne uygun olup olmadığı ASELSAN dahili süreçlerinde teslimat öncesinde doğrulanmaktadır.

Bu sayede müşteri ile yapılacak olan kabul muayene testleri, çok daha kısa sürede, yüksek müşteri memnuniyeti ile sonuçlanmaktadır.

Müşteri ile yapılan kabul testleri, kabul muayene test prosedürü adımlarına uygun olarak yürütülmektedir.

Müşteri ile Fabrika Kabul Test koşumu başarılı şekilde gerçekleştirildikten sonra, ilgili ürünler sürdürülebilir paketleme anlayışıyla, müşteri memnuniyeti, çevreci, maliyet odaklı ve kurumsal bakış açısı odaklı bir çalışma yürütülerek paketlenmektedir;

Ürünler, gönderim yerlerine anlık darbe, sıcaklık, titreşim gibi çevresel etkiler, kaydedebilecek IOT haberleşme yeteneğine sahip sevkiyat takip

cihazları ile gönderilmektedir. Bu sayede kritik öneme sahip cihazların sevkiyatında olumsuz bir durum yaşanması durumunda geriye dönük takip ve ispat kolaylıkla sağlanmakta, ayrıca anlık takip özelliği ile müşteri memnuniyeti de kazanılmaktadır.

Tüm sistem ve ürün bileşenlerinin izlenebilirliği kayıt ve güvence altına alınmaktadır.

Tüm teslimat süreçlerimiz, müşteri deneyimi bakış açısıyla gözden geçirilerek sürekli iyileştirilmektedir.

# KALİTE YÖNETİMİ

CESAN SWL 15 t 13486 08/201

ASELSAN-UGES Türkiye'de Raylı Alanında İlk GÜMÜŞ seviye IRIS sertifikasını aldı

ISO / TS 22163 (IRIS) BELGELENDİRME SÜRECİ

2004 yılından itibaren; UNIFE (Union of Industries Ferroviaires Européennes) tarafından ilk olarak IRIS (International Railway Industry Standard - Uluslararası Demiryolu Endüstri Standardı) başlığıyla Raylı Sistemler sektöründeki kurallar ve standartlardan oluşan bir tetkik ve belgelendirme yöntemiydi. 2016 yılında UGES Sektör Başkanlığı IRIS Sertifikasyon çalışmalarını başarıyla tamamlayarak IRIS kalite gereklilikleri seviyesinde çalışmalarını gerçekleştirdiğini belgelendirmiştir.

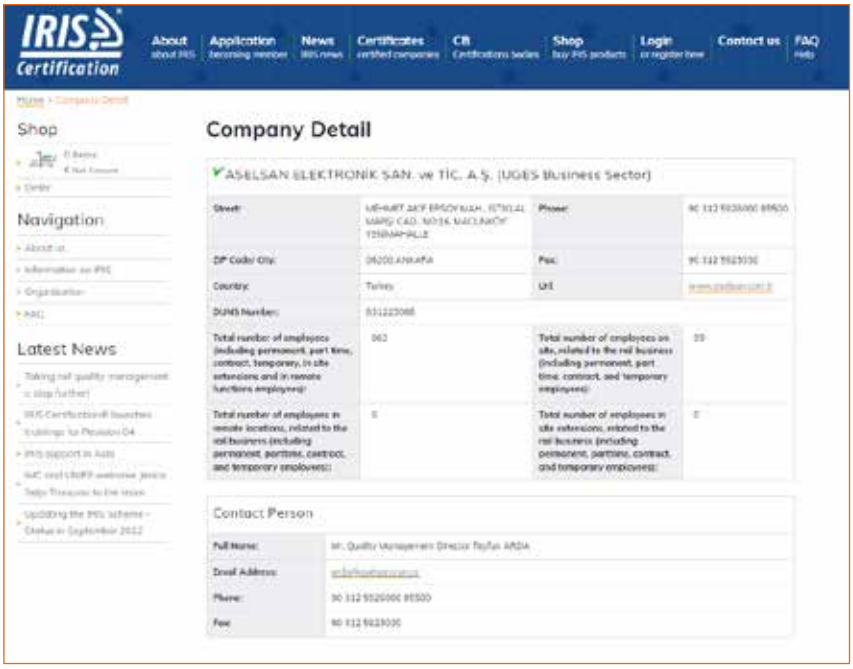
ISO (International Organization for Standardization) tarafından bu tetkik yöntemi ve standartlar bütününün kabul görmesiyle bir Technical Specification (TS) olarak ISO / TS 22163 standardı adıyla Mayıs 2017'de yayınlanmıştır. Standart, zorunlu süreçler ve göstergeleri, firmaların olgunluk seviyelerini aynı zamanda sertifika seviyelerini de belirleyen tavsiye edilen prosedürler ve tavsiye edilen süreç performans göstergeleri olması açılarından diğer Kalite Yönetim Standartlarına göre farklılaşmaktadır. IRIS Sertifikaları süreç olgunluk seviyelerine ve tetkik performans değerlendirme sonuçlarına göre BRONZ, GÜMÜŞ VE ALTIN kategorilerinde olmak üzere 3 seviyede verilmektedir. Seviyelendirme uygulamasının kuralları 1 Eylül 2021 tarihinde devreye alınmıştır.

UGES Ekiplerinin özverili çalışmaları sonucunda oluşturulan Kalite Yönetim Sistemimiz, ISO/TS 22163:2017 standardı kapsamında 27-31 Mart 2023 tarihlerinde yürütülen --- 2. Gözetim ve Kapsam Genişletme Tetkiki sonucunda aşağıda belirtilen 6 ürün kategorisinde;

- Güç sistemi, tahrik birimi
- Tren işletmesi için kontrol cihazı
- Haberleşme, izleme ve emniyet ekipmanı
- Elektrik Tesisatı
- Altyapı
- Demiryolu tek bileşenleri

Tasarım, Üretim ve Bakım/Onarım faaliyetlerini gerçekleştirmeye uygun bulunmuştur.

Türkiye' de 38 şirkette IRIS sertifikası mevcut olup 2 şirket GÜMÜŞ seviye sertifikaya sahiptir. Yukarıdaki geniş kapsamda Türkiye'de IRIS (International Railway Industry Standard) GÜMÜŞ seviye sertifika sahibi tek şirket ASELSAN olmuştur. Sertifikamız, IRIS organizasyonu otoritesi tarafından "IRIS GÜMÜŞ Seviyede Kalite Yönetim Sistemi" sertifikası olarak onaylanmış ve IRIS portalinde yayınlanmıştır.




## Certificates

| Performance Level | Standard | Product Categories | Activity | Date of Audit / Audit valid until | Certificate valid from / Certificate valid until / Current date |
|---|---|---|---|---|---|
| ✔ | IRIS rev. 03.1 | o 04 - Power system, drive unit<br>o 08 - Control apparatus for train operations<br>o 10 - Communication, monitoring and safety equipment<br>o 12 - Electrical wiring<br>o 18 - Infrastructure<br>o 19 - Single railway components | Design<br>Manufacturing<br>Maintenance | 31.03.2023 /<br>09.06.2024 | - /<br>- /<br>- |
| ⚠ | IRIS rev. 03.1 | o 04 - Power system, drive unit<br>o 12 - Electrical wiring<br>o 19 - Single railway components | Design<br>Manufacturing<br>Maintenance | 18.03.2022 /<br>09.06.2023 | - /<br>- /<br>- |
| | IRIS rev. 03.1 | o 04 - Power system, drive unit<br>o 12 - Electrical wiring<br>o 19 - Single railway components | Design<br>Manufacturing<br>Maintenance | 19.03.2021 /<br>09.06.2022 | 10.06.2021 /<br>09.06.2024 /<br>02.04.2021 |
| | IRIS rev. 03.1 | o 04 - Power system, drive unit<br>o 12 - Electrical wiring<br>o 19 - Single railway components | Design<br>Manufacturing<br>Maintenance | 18.03.2020 /<br>09.06.2021 | - /<br>- /<br>- |
| | IRIS rev. 03 | o 04 - Power system, drive unit<br>o 12 - Electrical wiring<br>o 19 - Single railway components | Design<br>Manufacturing<br>Maintenance | 20.03.2019 /<br>09.06.2020 | - /<br>- /<br>- |
| ✔ | IRIS rev. 03 | o 04 - Power system, drive unit<br>o 12 - Electrical wiring<br>o 19 - Single railway components | Design<br>Manufacturing<br>Maintenance | 30.03.2018 /<br>09.06.2019 | 10.06.2018 /<br>09.06.2021 /<br>28.05.2019 |
| | IRIS Rev 02, V2.4 | o 4 - Power system<br>o 5 - Propulsion<br>o 12 - Cabling and cabinets<br>o 20 - Single railway components | Design<br>Manufacturing<br>Maintenance | 05.04.2017 /<br>09.06.2018 | - /<br>- /<br>- |
| ✔ | IRIS Rev 02, V2.4 | o 4 - Power system<br>o 5 - Propulsion<br>o 12 - Cabling and cabinets<br>o 20 - Single railway components | Design<br>Manufacturing<br>Maintenance | 10.06.2016 /<br>09.06.2017 | 29.06.2016 /<br>09.06.2019 /<br>29.07.2016 |

# BAŞARILAR
# PATENTLER
# TESCİLLER

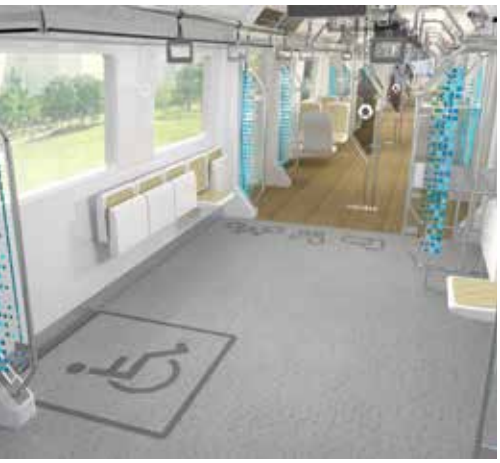
## ASELSAN MOD-ICE, "A'DESİGN AWARD 2022 BRONZE" TASARIM ÖDÜLÜ ALDI

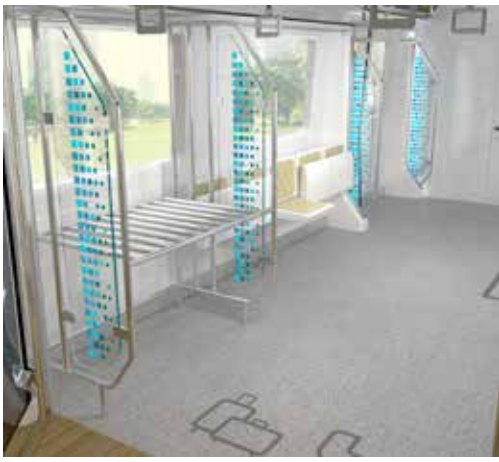
Dünyanın en prestijli tasarım yarışmalarından biri sayılan İtalya merkezli A'Design Award tarafından her yıl 100 farklı tasarım kategorisinde 141 farklı milletten ortalama 4.500 başvuru alınmakta ve en iyi tasarım kriterlerine sahip yaklaşık 200-250 tasarım ödüle layık bulunmaktadır.

"A'Vehicle, Mobility and Transportation Design" (A'Vasıta, Taşıma ve Ulaşım Tasarımı) kategorisinde ASELSAN, Mod-Ice konsept banliyö treni iç ve dış endüstriyel tasarım çalışması ile bu kategoride verilen 14 ödülden biri olan "A'DESIGN AWARD 2022 BRONZE" ödülüne layık görülmüştür.

**Ödüle Layık Görülen Tasarımın Öne Çıkan Özellikleri:**

- İç ve dış tasarımın birbiriyle uyumlu modern ve sade tasarım dili
- İç alan tasarımında maliyet azaltımına yönelik Cam Elyaflı Destekli Plastik (FRP) kalıp boyutlandırması
- Küçük çantalı, büyük bagajlı, bebek arabalı, bisikletli ve engelli yolcular için özelleşmiş alanlar ile geniş bir kullanıcı kitlesini kucaklayan vagon iç tasarımı
- Serin bir hava akımını soyutlayan buz küpü desenleri ile kalabalık ve sıcak yolculuklarda serinlik hissiyatı veren ferah bir iç ambiyans tasarımı
- Kapı kenarlarındaki buz küpü desenleri üzerine yansıyarak hafifçe hareket eden LED ışıklandırmaları ile güçlendirilen hava akımı hissiyatı, dinamik bir görsel tasarım





# ASELSAN HSL-700, DESIGN TURKEY 2018'DE İYİ TASARIM ÖDÜLÜ ALDI

YENİ TEKNOLOJİ, MODERN TASARIM

DESIGN
TURKEY
2018
Good Design Award
TÜLOMSAŞ

ASELSAN tarafından tasarlanan Hibrit Manevra Lokomotifi (Hybrid Shunting Locomotive) HSL-700, modern ve güçlü hatlara sahip özgün bir tasarımdır. Sürücü kabininin aracın tam ortasında konumlandırılması görüş açılarını her iki sürüş yönü için de optimum seviyede tutmaktadır. Konvansiyonel lokomotiflere kıyasla daha az yakıt tüketmekte ve daha sessizdir. Çevre dostu hibrit teknolojisi ile daha az NOx, CO ve CO2 salınımı yapmaktadır. Yeni jenerasyon güç üniteleri, kontrol birimleri ve Li-Ion batarya teknolojisi kullanılmaktadır. Kapalı alanlarda batarya sürüş modunda emisyonsuz çalışabilmektedir. Sistem tasarımı, mekanik tasarımı, endüstriyel tasarımı, batarya yönetim sistemi, çekiş sistemi ve tren kontrol yönetim sistemi de yerli ve milli olarak tasarlanmış ve üretilmiştir.

## KULANICI DOSTU KONTROL MASASI

HSL-700'ün karakteristik kabin ve konsol tasarımı dış tasarım unsurlarını desteklemektedir. Ergonomik, sade, düzenli ve kullanıcı dostu kontrol masası tasarımı, her iki sürüş yönünde de konforlu ve güvenli bir seyir sağlamaktadır. Modüler bir yapıya sahip olan konsol masası, sonradan ihtiyaç duyulacak farklı tuş ve ekran yerleşimlerine olanak tanımaktadır.

## GENİŞ GÖRÜŞ AÇILARI

HSL-700, geniş görüş açılarına sahiptir. Aracın ortalanmış sürücü kabini konumuna ek olarak aracın geniş camları ve camlara göre şekillenmiş konsol yapısı; sürücü görüşünü artırarak en verimli seviyeye getirecek şekilde tasarlanmıştır. Buna ek olarak, sürücünün yol hakimiyetini artırmak adına aracın önüne ve arkasına sürüş yolunu gösteren kameralar yerleştirilmiştir.

# ASELSAN MİDAS-R İLE ERCİ İNOVASYON ÖDÜLÜNE LAYIK GÖRÜLDÜ

Avrupa Demiryolu Kümelenmeleri Girişimi (European Railway Clusters Initiation-ERCI) tarafından her sene düzenlenen ERCI İnovasyon Ödülleri ile Avrupa demiryolu endüstrisi şirketlerinin öncü inovasyon projeleri değerlendirilmekte ve en iyi seçilen projeler ödüllendirilmektedir. ASELSAN tarafından geliştirilen MİDAS-R, jüri tarafından, "En İyi Büyük Ölçekli Şirket" kategorisinde ödüle layık görülmüştür.

## ASELSAN MİDAS-R (MULTİPURPOSE INTELLİGENT DİSTİBUTED ACOUSTİC SENSOR)

ASELSAN fiber optik algılayıcı akustik tespit sistemi ile demiryolu uygulamalarında güvenlik, arıza tespit ve sinyalizasyon alanlarında yenilikçi çözümler üretmektedir.

MİDAS-R'nin çalışma prensibi, standart özellikteki fiber optik kabloların içinde gözlenen optik saçılmaların algılanması esasına dayanır. Fiber optik kablo içinde ilerleyen ışık, kablonun fiziksel yapısından kaynaklanan optik saçılmalar yaratır. Toprak üstündeki insan ve araç faaliyetleri mekanik dalgalar yaratır ve bu mekanik dalgalar kablo ile etkileşime girerek kablo içerisindeki saçılmaların yapısını değiştirir. Saçılmalardaki değişimler ölçülerek fiber optik kablonun çevresinde mekanik dalgalara sebep olan kaynaklar tespit ve teşhis edilebilir. MİDAS-R'nin tespit ettiği olay tipleri:

- İnsan hareketi,
- İnsan tarafından kazma ile yapılan kazı faaliyeti,
- Araç hareketi,
- Araçla kazı faaliyeti

olarak sıralanabilir.

MİDAS-R'nin demiryollarına özel güvenlik (hat hırsızlığı, sabotaj, heyelan, vb.), arıza tespit (apleti, ray hasarları vb.) ile sinyalizasyon (tren konumu ve hızı tespiti, hemzemin geçit kontrolü) alanlarındaki yenilikçi çözümlerinin yerli imkanlarla, TCDD ve Belediyelerin ihtiyaçları doğrultusunda kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

# ERCI INNOVATION AWARDS 2020

INNOTRANS BUSINESS DAYS — SEPTEMBER 23rd, 2020

This is to certify that

## ASELSAN

won the ERCI Innovation Awards 2020

## «BEST LARGE COMPANY»

Jury Members

JURY CHAIRMAN
Jean VERRIER
Founder of ERCI (France)

Associate Professor Ph.D. Adam JABLONSKI
Southern Railway Cluster (Poland)

Prof. Alessandro FANTECHI
University of Firenze (Italy)

Prof. Dr.-Ing. Arnd STEPHAN
Technische Universität Dresden (Germany)

Michael PELLOT
Transports Metropolitans de Barcelona (Spain)

Prof. Dr. Mustafa YASAR
Karabuk University (Turkey)

Nima GHAVIHA
DEVA Mecaneyes AB (Sweden)

Norbert SCHÄFER
AEbt Angewandte Eisenbahntechnik GmbH (Germany)

Prof. Dr. Uwe HÖFT
Technische Hochschule Brandenburg (Germany)

# DEMİRYOLU İLE GEZİ REHBERİ

Tren ile Türkiye'nin 7 bölgesini gezmek mümkün. Pulman vagon, örtülü kuşetli vagon, yemekli vagon ve yataklı vagon seçebileceğiniz vagon tipleri. 4-5 saatlik bir yolculuk için pulman vagonla yolculuk edebilecekken daha uzun ve özellikle gece yolculuklarında örtülü kuşetli vagonu ve yataklı vagonu tercih edebilirsiniz.

## VAGON ÇEŞİTLERİ

Kompartımanlı Yolcu Vagonları: Bu vagonlar, her kompartımanda karşılıklı üçer kişi olmak üzere 6 kişi oturabilecek şekilde bir kapasiteye sahiptir. 2.mevki kompartımanlı vagonlarda ise kapasite 8 kişiye çıkar.

Kuşetli Yolcu Vagonları: Bu vagonlar da kompartımanlı vagonlara benzer. Ancak, kompartımanlı vagonlarda bulunan oturma yerlerinde farklı bir tasarım yapılarak her kompartımanda 4 – 6 kişinin yatabileceği şekilde yatak düzeni oluşturulmuştur.

Demiryolu ile gezilebilecek yerlere geçmeden önce Türkiye'nin tarihi garları da bir o kadar görülmeye değer olduğunu belirtmeliyiz.

**Haydarpaşa Tren İstasyonu, İstanbul**

Haydarpaşa Garı, İstanbul'un Anadolu Yakası'nda, Kadıköy ilçesi Rasimpaşa Mahallesi'nde yer alan TCDD'ye ait ana tren istasyonudur.

Günümüzde TCDD 1. Bölge Müdürlüğü'ne ev sahipliği yapan ve demiryolunun başlangıç noktasında yer alan garın ilk binası, Osmanlı İmparatorluğu Nâfia Nezâreti tarafından inşa edilerek 22 Eylül 1872›de hizmete girmiştir. Zamanla artan trafik sebebiyle yetersiz kalmaya başlayan bu gar binasının yerine Alman mimarlar Otto von Kühlmann ve Hellmuth Cuno tarafından neo-klasik Alman stili ile tasarlanan ve Chemins de Fer Ottomans d'Anatolie / Osmanlı Anadolu Demiryolları (CFOA) Şirketi tarafından inşa edilen mevcut gar binası ise 19 Ağustos 1908›de hizmete girmiştir.

Haydarpaşa Tren İstasyonu hem tarihi hem de mimari açıdan oldukça büyük öneme sahiptir. Binanın batı kanadı, "U" şeklinde tasarlanmış doğu kanadından daha kısadır ve yüksek tavanlı koridorlardan bolca bulunmaktadır. Çatısı arduvazla kaplanmış ve oldukça dik durmaktadır. Güney tarafında Barok tarzı, bir dönem TCDD sembolü olarak da kullanılmış bir saat bulunmaktadır. 28 Kasım 2010'da garın çatısında çıkan yangından dolayı binanın çatısı çökmüş ve 4. katı kullanılamaz hâle gelmiştir

**Sirkeci Tren İstasyonu, İstanbul**

Sirkeci Garı ya da İstanbul Garı, İstanbul'un Avrupa Yakası'nda, Fatih ilçesi Hocapaşa Mahallesi'nde Ankara Caddesi üzerinde yer alan TCDD'ye ait ana tren istasyonudur.

İstanbul-Sirkeci-Pythio demiryolu başlangıç noktası olan gar, Chemins de fer Orientaux / Rumeli Demiryolu (CO) Şirketi tarafından (22 Temmuz 1872'de hizmete giren) Rumeli Demiryolu için inşa edilerek 3 Kasım 1890'da II. Abdülhamid döneminde hizmete girmiştir. O zamanlar "Musir Hamdi Paşa Garı" olarak bilinmekteydi. Yerel kül-

türün ağır bastığı bir tasarıma sahip olan, renkli desenlerle kaplı zemini ve büyük saat kuleleriyle, istasyon görülmeye ve gezilmeye değerdir. Güzel bir tarihe ve çalkantılı bir döneme şahitlik etmiş olan bu istasyon, günümüzde hizmet vermeye devam ediyor.

**Ankara Tren İstasyonu**

Ankara Garı, Ankara'nın Altındağ ilçesi Hacı Bayram Mahallesi›nde yer alan TCDD›ye ait hemzemin ana tren istasyonudur.

Günümüzde TCDD 2. Bölge Müdürlüğü'ne ev sahipliği yapan ve İstanbul-Haydarpaşa-Ankara Demiryolu'nun bitiş ve Ankara-Kars Demiryolu'nun başlangıç noktası olan garın ilk binası, Chemins de Fer Ottomans d'Anatolie / Osmanlı Anadolu Demiryolları (CFOA) Şirketi tarafından Osmanlı Anadolu Demiryolları için inşa edilerek 31 Aralık 1892'de hizmete girmiştir. Ankara'nın başkent olmasıyla birlikte giderek yetersiz kalan ilk gar binasının yerine TCDD tarafından inşa edilen yeni gar binası 30 Ekim 1937'de hizmete girmiştir.

Hem şehir içi ulaşım hem de aydınlatıcı bir tarihe sahip olması açısından Ankara Tren İstasyonu oldukça büyük bir öneme sahip. Bu taştan binaya adımınızı atar atmaz Kurtuluş Savaşı tarihi zihninizde yankılanıyor. İstasyonda bulunan dört müze, sizi Türk demiryollarının 1856 yılında başlayan, demiryollarının kuruluşu ve hızlı trenlere geçişin olduğu tarihi bir yolculuğa çıkartıyor. Kurtuluş Savaşı sırasında meclis binası olarak da kullanılan istasyonun zemin katı müzelerden bir tanesi haline getirilmiş. Atatürk'ün ve meclis üyelerinin kullandığı tren burada sergileniyor.

**Türkiye'nin Yolcu Taşınan Demiryolu Hatları**

- **Konya – İzmir:** Konya Mavi Treni
- **Ankara – İzmir:** İzmir Mavi Treni
- **Ankara – Malatya:** 4 Eylül Mavi Treni
- **Denizli – Eskişehir:** Pamukkale Ekspresi
- **Ankara – Kars:** Doğu Ekspres
- **Kayseri – Adana:** Erciyes Ekspresi
- **Ankara – İstanbul:** Ankara Ekspresi
- **Elâzığ – Adana:** Fırat Ekspresi
- **Basmane – Eskişehir:** Ege Ekspresi
- **Ankara – Tatvan:** Van Gölü Ekspresi
- **İzmir – Isparta:** Göller Ekspresi
- **Ankara – Kurtalan:** Güney Kurtalan Ekspresi

Haydi şimdi bu hatları ve bu hatlar ile yapacağınız yolculuk ile ulaşabileceğiniz güzelliklerden bazıları hakkında kısa bilgiler verelim.

## EGE EKSPRESİ

İzmir (Basmane) – Eskişehir güzergahında hizmet veren Ege Ekspresi 2+1 pulman vagon ile hizmet vermektedir. İzmir, Manisa, Balıkesir, Kütahya, Eskişehir ve Ankara güzergahında hizmet veren İzmir Mavi Treni'nin bir seferi ortalama 12 saat 50 dakika sürmektedir.

Her gün karşılıklı 1 sefer düzenlenmektedir. İzmir'den 19:05'te kalkan tren, gece boyunca yolculuk ederek ertesi gün 7:54'te Ankara'ya; Ankara'dan 20:00'da kalkan tren, gece boyunca yolculuk ederek, ertesi sabah 08:37'da İzmir'e (12 saat 37 dakika) ulaşmaktadır.

## AİZANOİ, ÇAVDARHİSAR-KÜTAHYA

Zeus Tapınağı, Aizanoi antik kent harabeleri içinde bulunan Zeus tapınağı, anıtsal yapıların başında günümüze ulaşan en sağlam örneklerden biri olduğu görülmektedir. Roma dönemine ait tapınağın çevresinde yürütülen kazılar İlk Tunç Çağı'na ait yerleşme tabakalarını da açığa çıkarmıştır. Buradaki ilk kazılar 1926 yılında, ikinci dönem kazıları ise 1970 yılında başlatılmıştır. Aizanoi antik kenti, eski adı Penkalas olan Koca Çay'ın iki yakasında kurulmuştur.

**Efes Antik Kenti, İzmi**

Anadolu'nun batı kıyısında, bugünkü İzmir ilinin Selçuk ilçesinin üç kilometre güneybatısında yer alan antik bir Luvi şehri. Şehir, Anadolu'da Yunan sömürgeciliğinin başlamasıyla birlikte İyonya ve daha sonra Roma dönemlerinde de önemini korumuştur. Kuruluşu Cilalı Taş Devri'ne yani MÖ 6000 yıllarına dayanır. MÖ 10. yüzyılda eski Arzava başkentinin yerine Attik ve İyonyalı Yunan kolonistleri tarafından inşa edilmiştir. Klasik Yunan döneminde İyonya'nın on iki şehrinden biriydi. Şehir, MÖ 129'da Roma Cumhuriyeti'nin kontrolüne geçtikten sonra gelişti. 1994'te UNESCO tarafından Dünya Mirası Geçici Listesi'ne dahil edilen Efes 2015'te ise Dünya Mirası olarak tescil edildi.

## KONYA MAVİ TRENİ

16 Ağustos 2012 tarihinde Alsancak-Konya güzergâhında hizmet vermeye başlayan anahat trenidir. 2017 yılından bu yana Basmane-Konya güzergâhında hizmet vermektedir. Her gün karşılıklı 1 sefer düzenlenmektedir. Sefer süresi 12 saattir. İzmir'den Saat 20:05'te kalkan tren, gece boyunca yolculuk ederek ertesi gün Saat 8:59'da Konya'ya; Konya'dan Saat 19:00'da kalkan tren, gece boyunca yolculuk ederek, ertesi sabah Saat 7:50'de İzmir'e ulaşmaktadır. Konya, Afyonkarahisar, Uşak, Manisa ve İzmir güzergahında yolculuk yapılmaktadır.

**Mevlâna Müzesi, Konya**

Mevlânâ Müzesi, Konya'da bulunan, eskiden Mevlâna'nın dergâhı olan yapı kompleksinde 1926 yılından beri faaliyet gösteren müzedir. "Mevlâna Türbesi" olarak da anılır. Yeşil Kubbe yani Mevlana'nın türbesi dört kalın sütun (fil ayağı) üzerine yapılmıştır. O günden sonra farklı tarihlerde çeşitli eklemeler yapılmasıyla yapı genişlemiştir. Osmanlı sultanlarının bir kısmının Mevlevi tarikatından olması Türbe'ye özel bir önem verilmesini ve iyi korunmasını sağlamıştır

## 4 EYLÜL MAVİ TRENİ

Ankara – Malatya güzergahında hizmet veren 4 Eylül Mavi Treni güzergahı, Ankara, Irmak, Kayseri, Sivas ve Malatya olarak belirlenmiştir. 4 Eylül Mavi Treni'nin bir seferi ortalama 14 saat 30 dakika sürmektedir. 4 Eylül Mavi Treni; pulman vagon ve örtülü kuşetli vagon ile hizmet vermektedir.

**Nemrut Dağı, Adıyaman**

Dağ, eski çağlarda "Kommagene" olarak bilinen, bu alanda bulunan arkeolojik kalıntılara ev sahipliği yapmaktadır. Antiochos tümülüsü ve buradaki dev heykeller, Eskikale, Yenikale, Karakuş Tepe ve Cendere Köprüsü millî park içinde kalan kültürel değerlerdir. Doğu ve batı teraslarında Antiochos ile tanrı-tanrıça heykellerinin yanı sıra aslan ve kartal heykelleri bulunmaktadır. Batı terasında eşsiz bir aslanlı horoskop yer almaktadır. Aslanın üzerinde 16 ışından oluşan 3 adet yıldız vardır ve bunların Mars, Merkür ve Jüpiter gezegenlerini temsil etmekte olduğu sanılmaktadır. Tarihte bilinen en eski horoskoptur. Malatya'dan 1saat 50 dakika uzaklıktadır.

**Çifte Minareli Medrese, Sivas**

Türkiye'nin Sivas ilinin merkezinde yer alan medrese. Taç kapı üzerinde yer alan kitabesine göre 1271 yılında İlhanlılar Veziri Şemseddin Cüveyni tarafından yaptırılmıştır. Medrese, süslemeli taç kapısı ve tuğla-çini örgülü iki minaresi ile dikkati çekmektedir. Medresenin kapalı mekânı yok olmuş, sadece doğu yönündeki minarelerin bulunduğu asıl cephe yüzeyi ayakta kalmıştır. Şifaiye Medresesi'nin tam karşısında yer almaktadır.

## PAMUKKALE EKSPRESİ

Denizli ve Eskişehir arasında hizmet veren Pamukkale Ekspresi'nin bir seferi ortalama 6 saat sürmektedir. Eskişehir, Kütahya, Afyon, Sandıklı ve Denizli güzergahında hizmet veren Pamukkale Ekspresi, pulman vagon ile yolcularını taşımaktadır.

**Hierapolis, Pamukkale**

Eski Hierapolis kenti, Denizli yakınlarında bulunan ve Frigler döneminde ana tanrıça Kibele kültünün merkezlerinden biri olarak faaliyet göstermiş bir antik kenttir. Toplam 2.700 metre uzunluğunda, 600 metre genişliğinde ve 160 metre yüksekliğindeki beyaz "kalenin" üzerine inşa edilmişti. Pamukkale, Denizli'nin 20 km uzaktaki merkezindeki vadinin karşı tarafındaki tepelerden görülebilir. 5–10 km yakınında Laodikya antik kenti bulunur. 5 km ilerisinde ise uluslararası bir termal merkez olan Karahayıt köyü vardır. Pamukkale UNESCO tarafından belirlenen Dünya Miras Listesi'nde yer almaktadır.

**Yazılıkaya, Eskişehir**

Eskişehir'e 80 km uzaklıkta bulunan Han ilçesinin Yazılıkaya Mahallesi'ndeki anıt, Yazılıkaya Mahallesi ile iç içe bulunmaktadır. Anıt nedeniyle bölge Midas Kenti olarak anılmaktadır. Yüksekliği 17 metre olan anıt MÖ 600'lerde yapılmıştır. Antik Frigya'nın

merkezinde olduğu kabul edilen anıt Frig Vadisi olarak adlandırılan ve çok geniş bir coğrafyaya yayılan bölgedeki anıtların en görkemlisidir.

## DOĞU EKSPRESİ

Türkiye'nin en çok rağbet gören tren rotasından bir tanesi olan Doğu Ekspresi; TCDD Taşımacılık tarafından 1.365 kilometre uzunluğundaki Ankara-Kars güzergâhında her gün karşılıklı işleyen yataklı, kuşetli ve yemekli vagonlardan oluşan anahat trenidir. Tren, Ankara- Kars güzergâhındaki seferini 25 saat 30 dakikada tamamlamaktadır. Doğu Ekspresi, Ankara-Kars demiryolu hattının inşasına paralel olarak ilk seferini 1936 yılında Haydarpaşa-Çetinkaya arasında yaptı. 1939'da hattın Erzurum'a ulaşmasıyla trenin güzergahı Erzurum'a uzadı. O dönemler Erzurum-Kars arasının Rus hat açıklığında olması sebebiyle yolcular Kars'a varmak için Erzurum'da tren değiştirmek zorundaydılar. 1962'de hattın standart hat açıklığına değiştirilmesiyle Haydarpaşa-Kars arasında kesintisiz seferler başlamıştır. 2012'de Ankara-İstanbul YHD projesinin inşası sebebiyle hat kısaltılmış ve seyahat başlangıç noktası Ankara olmuştur.

**Üç Kümbetler, Erzurum**

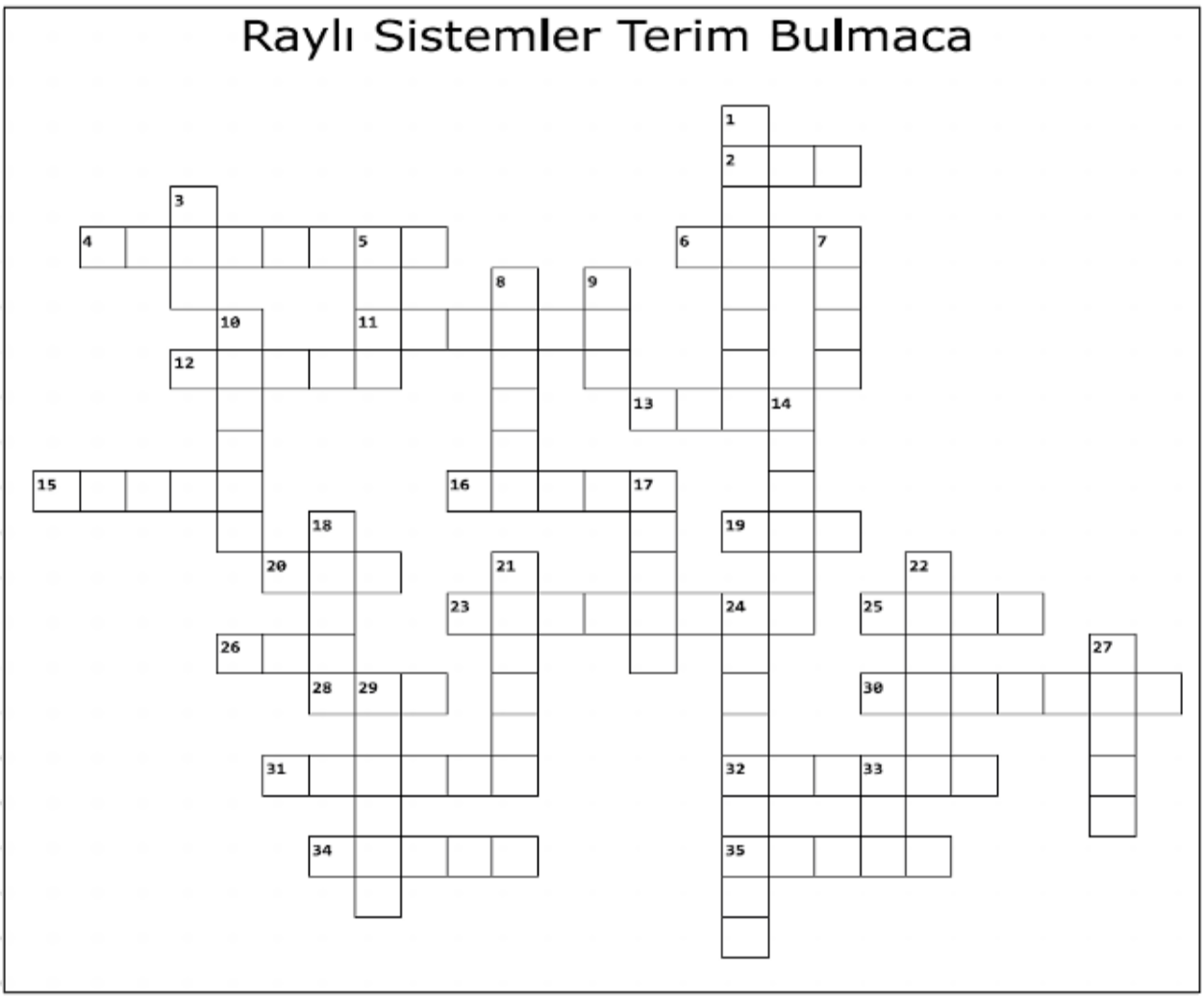
Erzurum'da bulunan 12. yüzyıl ile 14. yüzyıl tarihleri arasında yapıldıkları düşünülen kümbetlerdir. Anadolu eserlerinin arasında devlet adamlarına ya da alimlerin mezar, türbe mimarisindeki önemli yapılarından biri olduğu sanılan Üç Kümbetler, 12 ve 14. yüzyıl arasında inşa edildiği sanılmaktadır. Diğer iki kümbet ve kümbetlere yakın kare biçimli bir yapının ne zaman ve kimler tarafından yaptırıldığı bilinmemektedir. İmar ediliş biçim ve tarzının birbirinden farklı özellikler taşıdığı görülen Üç Kümbetler arasındaki mesafenin birbirine yakın olması kişilere özel olarak imar edildiği düşünülmekte. Çatı kısımlarının benzerliği dönem içerisinde yaşamış devlet adamları adına yapılmış anıt mezar niteliği tezini güçlendirmektedir. Fakat 12. yüzyılda yapılmış kümbetlerden en büyüğü Emir Saltuk adına yapıldığı 14. yüzyılda inşa edilen diğer kümbetler hakkında henüz bir fikir birliği oluşmadığı bilinmektedir.

**Ani Harabeleri, Kars**

Kars şehrinin güneydoğusunda ve Arpaçay boyunda bulunan ören yeridir. Demir Çağı'ndan beri önemli bir yerleşim merkezi olan Ani, önce Anadolu yerlilerinden olan Nairilerin ve Urartuların topraklarının bir parçası olmuş, daha sonra ise Ermeniler tarafından ele geçirilmiş ve 961-1045 yılları arasında Pakraduni Hanedanlığından Ermeni hükümdarlarının başkentliğini yapmıştır. 11. ve 12. yüzyıla ait bazı İslam mimarisi eserlerini de barındırır. 2012'de UNESCO tarafından Dünya Mirası Geçici Listesi'ne dahil edilen Ani, 2016'da ise Dünya Mirası olarak tescil edildi.

Eğer gezmeyi seviyorsanız, kültürü seviyorsanız, tarihi ve doğayı seviyorsanız, yeni anılar ve maceralar tecrübe etmek istiyorsanız gezi planınızın bir yerinden demiryolları teğet geçecektir. Kim bilir hangi yol hikayeleri sizi bekliyor. Yolunuz açık, istiminiz bol olsun.

# BULMACA



**Soldan Sağa**

2. Otomatik tren kontrolü
4. Üç demiryolu hattının buluştuğu yerde kurulan, üç makastan oluşan üçgen şeklinde demiryolu hattı
6. Demiryolu araçlarında frenleme için tekere baskı yapan demir veya kompozit parça
11. ASELSAN'ın metro sinyalizasyon sisteminin adı
12. Demiryolunda bir hattan diğer hatta geçişi sağlayan ray mekanizması.
13. Demiryolundaki dönüşler
15. ASELSAN'ın çekiş sistemine verilen ad
16. Avrupa demiryolu trafik yönetim sistemi
19. Elektrikli tren dizisi
20. Meyil
23. Ray açıklığı
25. Lokomotif ya da vagon gövdesi
26. Metrolarda otomasyon düzeyini gösteren sistem
28. Yüksek hızlı tren
30. Demiryolu üzerindeki elektrik hattı
31. Yük
32. Genellikle vagonun hareketi sırasında tekerin fren vb. sebeplerle dönmemesi sonucu oluşan, tekerleğin bir bölgesinde düzleşme oluşması durumu
34. Uluslararası demiryolu taşımalarına ilişkin sözleşme
35. Fiber optik üzerinden algılama yapabilen ASELSAN ürünü

**Yukarıdan Aşağı**

1. Demiryolu araçlarında ani elektriksel darbelerde ve aşırı gerilimlerde, darbe ve gerilimleri toprağa ileten cihaz
3. Karşılıklı işletilebilirlik teknik şartnamesi
5. Avrupa tren kontrol sistemi
7. Hareket çizelgesi
8. Dik rampalarda ek bir lokomotifle trene destek verilmesi
9. Otomatik tren durdurma sistemi
10. Demiryolu araçlarına ve tesislerinde uyulması gereken genişlik ve yükseklik değerlerini gösteren çizim
14. Sadece koltuklardan oluşan yolcu vagonu
17. Yay
18. Demiryolu aracının raydan çıkması
21. Birbirine bağlı olan
22. Taş kırığı
24. Konvansiyonel hatlarda kullanılan hatboyu sinyalizasyon sistemi
27. Yolcuların trene inip bindiği alan
29. Demiryolu aracının darası ve yük tonajının toplamı
33. Avrupa demiryolu ajansı

# SİNYALİZASYON

## Kentsel Raylı Ulaşım Sinyalizasyon Sistemleri

ASELSAN Kentsel Raylı Ulaşım Sinyalizasyon Sistemi, Haberleşme Tabanlı Tren Kontrol (CBTC) standardında ve en yüksek emniyet seviyesinde (SIL-4) tasarlanmıştır. Günümüzün modern ve yoğun şehir içi raylı ulaşım sistemlerine yönelik güvenli, verimli, dakik ve yüksek taşıma kapasitesi sağlayan çözümler sunulmaktadır.

www.aselsan.com

aselsan

asildernegi.org.tr

Yapacağınız bağışlar ile

**geleceğe umut, hayata değer** katıyoruz.

**Bağış Hesap Numaralarımız**

YAPI VE KREDİ BANKASI OSTİM ŞUBESİ

**Şube Kodu: 602**
**Hesap No: 59468139**
**Para Cinsi: TL**
**Iban No: TR13 0006 7010 0000 0059 4681 39**

**Şube Kodu: 602**
**Hesap No: 59430336**
**Para Cinsi: USD**
**Iban No: TR60 0006 7010 0000 0059 4303 36**

**Şube Kodu: 602**
**Hesap No: 59451723**
**Para Cinsi: EUR**
**Iban No: TR52 0006 7010 0000 0059 4517 23**

asil
Geleceğe Umut Hayata Değer

ASELSAN SOSYAL İNOVASYON LİDERLERİ YARDIMLAŞMA DERNEĞİ