K A P S A M L I T E K N İ K K I L A V U Z

CAN Bus

TEKNİK KILAVUZ

Kapsamlı Teknik Referans ve Uygulama Kılavuzu

Controller Area Network Protokolleri, Uygulama ve Tanılama

- CAN 2.0 & FD & XL
- SAE J1939 / CANopen
- UDS / ISO 14229
- OBD-II
- Yaygın Hatalar
- EMC & Harness

17 Bölüm · 66 Diyagram · 90 Tablo · 30+ ISO/SAE Standardı

Murat Mecit KAHRAMANLI

April 2026 — v1.0

Telif Hakkı & Yasal Bilgiler

Telif Hakkı

Lisans

Bu Ne Anlama Geliyor?

Kitap içeriği (CC BY-NC-SA 4.0): Atıf vererek paylaşabilir ve uyarlayabilirsiniz, ancak ticari amaçlı kullanamazsınız ve türev çalışmalar aynı lisans altında paylaşılmalıdır.

Kaynak kod örnekleri (Apache 2.0): Kendi projelerinizde (ticari dahil) kopyalayabilir, değiştirebilir ve serbestçe kullanabilirsiniz; ancak orijinal telif hakkı bildirimini korumalı, yapılan değişiklikleri belirtmeli ve lisansın bir kopyasını eklemelisiniz.

Sorumluluk Reddi

Bu kitap eğitim amaçlı hazırlanmıştır. Yazar, bilgilerin doğruluğu veya eksiksizliği konusunda garanti vermez. Kod örnekleri öğretim amaçlı basitleştirilmiştir ve üretimde doğrudan kullanılması önerilmez. Yazar, bu kitabın kullanımından doğan herhangi bir zarardan sorumlu tutulamaz.

Atıf & Kaynaklar

CAN Bus standartları için ISO 11898, ISO 14229, SAE J1939 ve CAN in Automation (CiA) spesifikasyonları referans olarak kullanılmıştır. Tüm ticari markalar ilgili sahiplerine aittir.

İlk Baskı: Nisan 2026 — Version: 1.0

GitHub: github.com/nimbustan/can_bus_guide

Web: nimbustan.github.io/can_bus_guide

Contact: nimbustan@github

İÇİNDEKİLER

Bölüm 1: CAN Bus'a Giriş 6

1.1 Tarihçe ve Gelişim 6
1.2 OSI Model Eşlemesi 7
1.3 CAN Standartlarına Genel Bakış 8

Bölüm 2: Fiziksel Katman (ISO 11898-2) 9

2.1 Diferansiyel Sinyal İletimi 9
2.2 Bus Sonlandırma (Termination) 10
2.3 Alıcı-Verici (Transceiver) Özellikleri 11

Bölüm 3: Veri Bağlantı Katmanı (Veri Bağlantısı Layer) 13

3.1 Çerçeve Formatları (Frame Formats) 13
3.2 Bit Zamanlaması (Bit Timing) 15
3.3 Senkronizasyon 16

Bölüm 4: Hata Yönetimi (Error Handling) 17

4.1 Hata Türleri 17
4.2 TEC ve REC Sayaçları 18
4.3 Bus Durumları 19
4.4 Hata Sınırlama ve Bus-Off Kurtarma 20

Bölüm 5: Ağ Topolojisi (Network Topology) 23

5.1 Bus Kablolama 23
5.2 Stub Uzunlukları 24
5.3 Kablo Spesifikasyonları 24

Bölüm 6: SAE J1939 Protokol Yığını 26

6.1 29-bit Tanımlayıcı (Tanımlayıcı) Yapısı 26
6.2 PGN Yapısı 27
6.3 Adres Talep Etme (Address Claiming) 30
6.4 Fiziksel Katman ve Konnektör Spesifikasyonları 32
6.5 J1939 Doküman Yapısı ve İlgili Standartlar 34
6.6 J1939 İstek Mekanizması (Request Mechanism) 36
6.7 Tanımlama İstekleri (Identification Requests) 37

Bölüm 7: J1939 Taşıma Protokolü (Taşıma Protocol) 40

7.1 TP.CM ve TP.DT 40
7.2 BAM Protokolü 41
7.3 Çoklu Paket Mesajları (Multi-packet) 42

Bölüm 8: J1939 Tanılama (Diagnostics) 45

8.1 DTC Yapısı 45
8.2 SPN-FMI-OC-CM 45
8.3 DM Mesajları 47

Bölüm 9: Otomotiv Tanılama — OBD-II ve UDS 48

9.1 OBD-II Protokolü 48
9.2 UDS Protokolü 50
9.3 Protokol Karşılaştırması 57
9.4 Tanılama Protokol Standartları — OSI Katman Eşlemesi 59
9.5 OBDonUDS ve WWH-OBD — Tanılama Protokol Evrimi 60
9.6 OBD-II Mesajlaşma Senaryoları 62
9.7 J1939 OBD-II Tanılama (Genişletilmiş 29-bit ID'ler) 65
9.8 UDS Mesajlaşma Senaryoları 67
9.9 UDS Servisleri 73
9.10 Oturum Kontrolü (Session Control) 74
9.11 Güvenlik Erişimi (Güvenlik Erişimi) 75

Bölüm 10: CAN FD ve CAN XL Evrimi 77

10.1 CAN FD Özellikleri 77
10.2 CAN XL Özellikleri 79
10.3 Geçiş (Migration) Hususları 82

Bölüm 11: EMC Testi ve Kablo Demeti Tasarımı 83

11.1 ISO 11452 Testi 83
11.2 ISO 7637 Geçici Rejimler (Transients) 85
11.3 Kablo Demeti Tasarım Kılavuzu 86

Bölüm 12: Pratik Uygulama 94

12.1 Sistem Mimarisi 94
12.2 Bus Yükleme Analizi 95
12.3 Ağ Geçidi (Gateway) Tasarımı 96

Bölüm 13: Sorun Giderme (Troubleshooting) 98

13.1 Yaygın Hatalar 98
13.2 Tanılama Araçları 99
13.3 Saha Debug Prosedürü 102
13.4 En İyi Uygulamalar 105

Bölüm 14: CAN FD ile J1939 106

14.1 Çoklu PG ve İçerilen PG'ler 106
14.2 CAN FD Taşıma Protokolü 108
14.3 Ağ Yönetimi ve Fonksiyonel Güvenlik 110
14.4 J1939-76 Fonksiyonel Güvenlik İletişimi 112

Bölüm 15: CANopen Protokolü 115

15.1 Mimari ve İletişim Nesneleri 118
15.2 SDO ve PDO Servisleri 120
15.3 Nesne Sözlüğü (Object Dictionary), EDS ve DCF 122

Bölüm 16: CAN DBC Dosya Formatı 126

16.1 DBC Sözdizimi ve Yapısı 126
16.2 Sinyal Çözümleme (Sinyal Decoding) 128
16.3 Gelişmiş DBC Özellikleri 129

Bölüm 17: CAN Bus Veri Kaydı ve Analizi 131

17.1 CAN Veri Kaydına Giriş 131
17.2 CAN Log Dosya Formatları 133
17.3 ASAM MDF Standardı 136
17.4 CAN Kayıt Donanımı 138
17.5 Analiz Yazılımı ve Python Ekosistemi 141
17.6 Python ile Pratik Analiz 144
17.7 Format Dönüştürme İş Akışları 147

Ek A: Referans Tabloları 150

Kaynakça 152

Bölüm 1: CAN Bus'a Giriş

Controller Area Network (CAN), mikrodenetleyicilerin ve cihazların bir ana bilgisayar olmadan birbirleriyle iletişim kurmasına olanak tanıyan dayanıklı bir araç bus standardıdır. İlk olarak 1986 yılında Robert Bosch GmbH tarafından geliştirilen CAN, araç içi iletişimde fiili standart haline gelmiş olup endüstriyel otomasyon, medikal ekipman ve diğer gömülü sistemlerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

1.1 Tarihçe ve Gelişim

CAN'ın geliştirilmesi, otomotiv uygulamaları için güvenilir ve uygun maliyetli bir iletişim protokolüne duyulan ihtiyaçtan kaynaklanmıştır. 1980'lerin başında, araçlardaki elektronik kontrol ünitelerinin (ECU) sayısının artması nedeniyle otomotiv kablo demetleri giderek daha karmaşık ve ağır hale geliyordu. ECU'lar arasında noktadan noktaya kablolama artık pratik değildi.

Tablo 1-1 CAN Protokolü Gelişim Zaman Çizelgesi

Yıl	Kilometre Taşı	Açıklama
1986	CAN'ın Doğuşu	Bosch, CAN'ı Detroit'teki SAE Kongresi'nde tanıtır
1991	Mercedes W140	CAN bus'lı ilk seri üretim araç
1993	ISO 11898	CAN, ISO 11898 olarak standartlaştırılır
2003	ISO 11898-2	Yüksek hızlı CAN fiziksel katman standardı
2012	CAN FD	Bosch, CAN FD spesifikasyonunu yayınlar
2015	ISO 11898-1:2015	CAN FD, ISO standardına dahil edilir
2018	CAN XL	CAN XL spesifikasyonu, 10+ Mbps için

Orijinal CAN protokolü, şimdi Klasik CAN veya CAN 2.0 olarak adlandırılır; çerçeve başına en fazla 8 bayt yük (payload) ile 1 Mbps'ye kadar veri hızlarını destekliyordu. Birçok uygulama için yeterli olsa da, modern araçların artan veri bant genişliği gereksinimleri, 2012 yılında CAN FD'nin (Esnek Data-rate) geliştirilmesine yol açmıştır. CAN FD, yükü 64 bayta çıkarmış ve çift bit hızı özelliği sunmuştur.

1.2 OSI Model Eşlemesi

CAN protokolü, OSI (Open Systems Interconnection) referans modelinin katmanlarını uygular. Bu eşlemenin anlaşılması, CAN'ın üst düzey protokollerle ve uygulamalarla nasıl entegre olduğunu kavramak için gereklidir.

Tablo 1-2 CAN Protokolü OSI Katman Eşlemesi

OSI Katmanı	CAN Uygulaması	İşlev
7 - Uygulama	SAE J1939, CANopen, DeviceNet	Uygulamaya özel protokoller ve servisler
6 - Sunum	Uygulanmamış	Veri formatı dönüşümü
5 - Oturum	Uygulanmamış	Oturum yönetimi
4 - Taşıma	J1939 TP, ISO-TP	Çoklu paket mesaj taşıma
3 - Ağ	Uygulanmamış	Yönlendirme ve adresleme
2 - Veri Bağlantı	CAN Denetleyici (LLC + MAC)	Çerçeveleme, hakemlik (arbitration), hata tespiti
1 - Fiziksel	ISO 11898-2 Alıcı-Verici	Elektrik sinyali, bit kodlama

CAN'daki Veri Bağlantı Katmanı iki alt katmana ayrılır:

- **Logical Link Control (LLC):** Mesaj filtreleme, aşırı yük bildirimi ve hata kurtarmayı yönetir
- **Orta Düzey Access Control (MAC):** Mesaj çerçeveleme, hakemlik (arbitration), onaylama ve hata sinyallemesini yönetir

1.3 CAN Standartlarına Genel Bakış

CAN protokolü, teknolojinin farklı yönlerini tanımlayan çeşitli uluslararası standartlarla yönetilir:

Tablo 1-3 Temel CAN Standartları

Standart	Başlık	Kapsam
ISO 11898-1	Veri Bağlantı Katmanı ve Fiziksel Sinyal	CAN protokolü, çerçeve formatları, hata yönetimi
ISO 11898-2	Yüksek Hızlı Ortam Erişim Birimi	1 Mbps'ye kadar fiziksel katman
ISO 11898-3	Düşük Hızlı, Hata Toleranslı MAU	125 kbps'ye kadar fiziksel katman
ISO 11898-4	Zaman Tetiklemeli CAN (TTCAN)	Zaman tetiklemeli iletişim
ISO 16845	CAN Uygunluk Test Planı	CAN denetleyicileri için uygunluk testi
SAE J2284	Araçlar için Yüksek Hızlı CAN	Araca özel CAN uygulaması
SAE J1939	Önerilen Uygulama	Ağır hizmet aracı uygulama katmanı

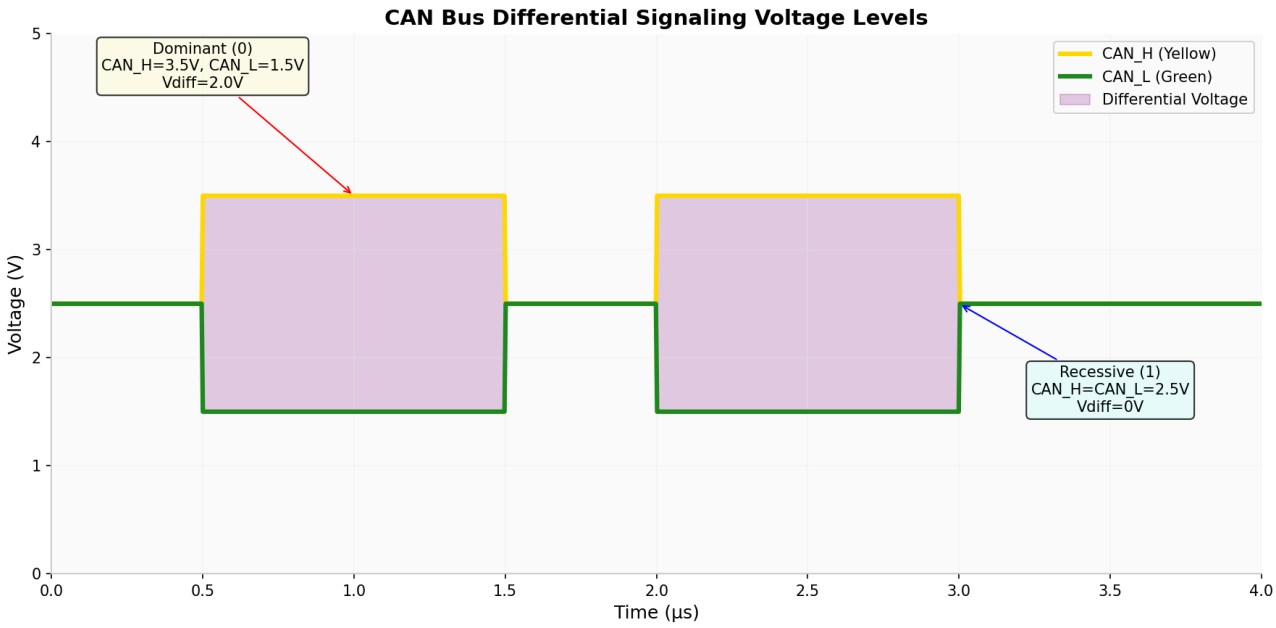
> **Önemli Bilgi: CAN ve Diğer Protokoller**
>
> Master-slave protokollerinden (SPI veya I2C gibi) farklı olarak, CAN, bus boşta olduğunda herhangi bir düğümün (node) iletişim başlatabildiği çok-master (multi-master) mimarisi kullanır. Tahribatsız hakemlik (non-destructive arbitration) ile birleşen bu eşler arası (peer-to-peer) yaklaşım, CAN'ı dağıtık sistemler için son derece verimli kılar.

Bölüm 2: Fiziksel Katman (ISO 11898-2)

ISO 11898-2'de tanımlanan CAN fiziksel katmanı, gerilim seviyeleri, sinyal hızları, kablo gereksinimleri ve alıcı-verici (transceiver) spesifikasyonları dahil olmak üzere bus'ın elektriksel karakteristiklerini belirtir. Bu katman, CAN denetleyicisindeki dijital bitlerin bus ortamındaki elektrik sinyallerine dönüştürülmesinden sorumludur.

2.1 Diferansiyel Sinyal İletimi

CAN, CAN Yüksek (CAN_H) ve CAN Düşük (CAN_L) olmak üzere iki telli bir bus üzerinde diferansiyel sinyal iletimi kullanır. Bu diferansiyel yaklaşım, ortak mod gürültüsünün (common-mode noise) her iki teli eşit şekilde etkileyip diferansiyel alıcı tarafından reddedilmesi sayesinde mükemmel gürültü bağışıklığı sağlar.



Şekil 2-1 *CAN Bus Diferansiyel Sinyal Gerilim Seviyeleri*

İki mantıksal durum aşağıdaki gibi tanımlanır:

Tablo 2-1 CAN Bus Gerilim Seviyeleri (ISO 11898-2)

Durum	CAN_H	CAN_L	Diferansiyel Gerilim	Mantıksal Değer
Baskın (Dominant)	3,5V (tipik)	1,5V (tipik)	2,0V (tipik)	0
Çekinik (Recessive)	2,5V (tipik)	2,5V (tipik)	0V (tipik)	1

Diferansiyel Gerilim Hesaplaması

$$V_{diff} = V_{CAN_H} - V_{CAN_L}$$

Baskın (Dominant) durum tanındığında: $V_{diff} > 0.9V$ (minimum)

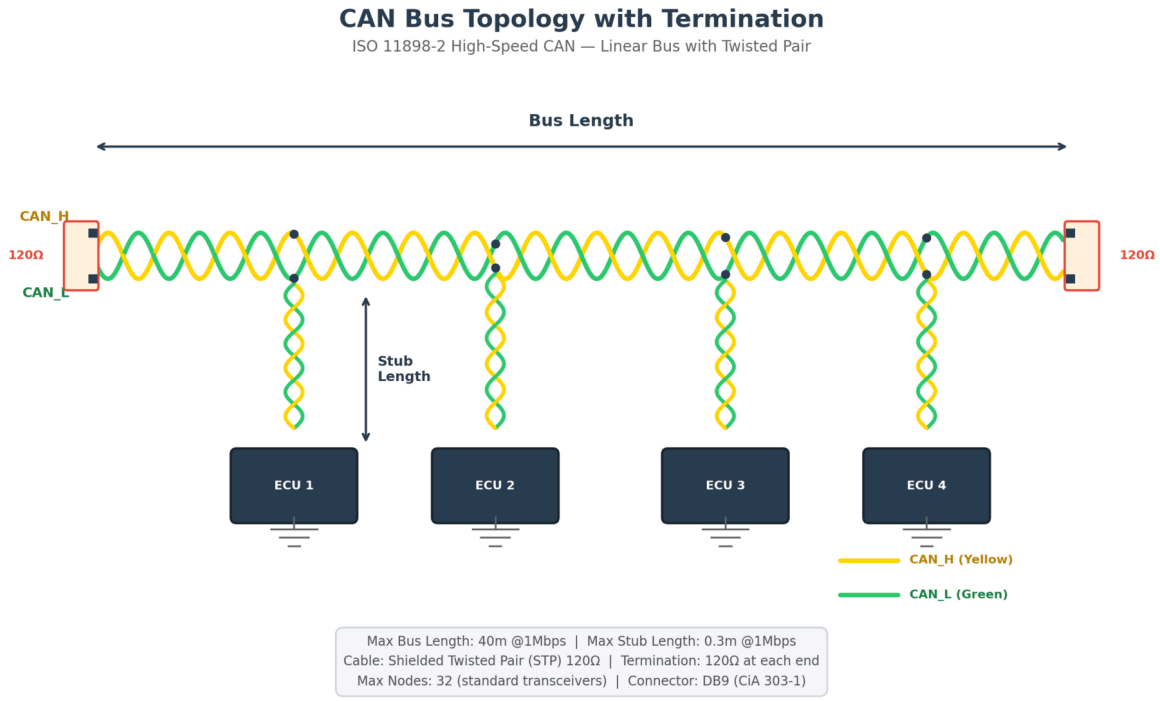
Çekinik (Recessive) durum tanındığında: $V_{diff} < 0.5V$ (maximum)

Birden fazla düğüm aynı anda iletim yaptığında, baskın durum (mantıksal 0) her zaman çekinik durumu (mantıksal 1) geçersiz kılar. Bu özellik, CAN'ın tahribatsız hakemlik (non-destructive arbitration) mekanizmasının temelini oluşturur.

2.2 Bus Sonlandırma (Termination)

Doğru sonlandırma (termination), CAN ağlarında sinyal bütünlüğü için kritik öneme sahiptir. Sonlandırma dirençleri iki temel amaca hizmet eder:

1. **Empedans uyumu (Impedance matching):** Bus uçlarında sinyal yansımalarını önler
2. **Çekinik durum polarizasyonu (Recessive state biasing):** Bus boştayken çekinik duruma dönmesini sağlar



Şekil 2-2 *Sonlandırmalı CAN Bus Ağ Topolojisi*

Sonlandırma Direnci

$$R_T = Z_0 = 120\Omega$$

Burada Z_0 kablonun karakteristik empedansıdır (bükümlü çift için tipik olarak 120Ω)

Kritik Uyarı: Sonlandırma Gereksinimleri

CAN bus'ın her iki ucu 120Ω dirençlerle sonlandırılMALIDIR. Eksik veya hatalı sonlandırma, sinyal yansımalarına ve dolayısıyla iletişim hatalarına neden olur. Tüm düğümler bağlantısı kesildiğinde CAN_H ve CAN_L arasında ölçülen toplam bus direnci yaklaşık 60Ω olmalıdır (paralel bağlı iki adet 120Ω direnç).

Sonlandırma yerleşim seçenekleri:

- **Standart sonlandırma:** Bus'ın her iki ucunda 120Ω direnç
- **Bölünmüş sonlandırma (Split termination):** Kapasitör üzerinden toprak bağlantılı iki adet 60Ω direnç (EMI'yi iyileştirir)
- **Düğüm entegre sonlandırma:** Bazı ECU'lar anahtarlanabilir sonlandırma içerir

2.3 Alıcı-Verici (Transceiver) Özellikleri

CAN alıcı-verici (transceiver), CAN denetleyicisi ile fiziksel bus arasındaki arabirimdir. Denetleyiciden gelen mantıksal seviye sinyallerini diferansiyel bus sinyallerine dönüştürür ve bunun tersini yapar.

Tablo 2-2 Yaygın CAN Alıcı-Vericiler (Transceiver)

Alıcı-Verici	Üretici	Hız	Özellikler
TJA1040	NXP	1 Mbps	Bekleme modu, mükemmel EMI
TJA1042	NXP	5 Mbps (CAN FD)	CAN FD destekli, düşük güç
TJA1051	NXP	5 Mbps (CAN FD)	Sessiz mod, VIO pin
TCAN1042	Texas Instruments	5 Mbps (CAN FD)	Otomotiv sınıfı, CAN FD
MAX3051	Maxim	1 Mbps	+80V arıza koruması
ADM3050	Analog Devices	1 Mbps	İzole alıcı-verici

Temel Alıcı-Verici Spesifikasyonları

- **Besleme gerilimi:** Tipik olarak 5V ±%10
- **Ortak mod aralığı:** -2V ile +7V arası (dayanıklı uygulamalar için)
- **Diferansiyel çıkış:** 1.5V ile 3.0V arası (baskın)
- **Yayılma gecikmesi:** Tipik olarak < 100 ns
- **Bekleme akımı:** Tipik < 50 µA

> **Tasarım Notu: Alıcı-Verici Seçimi**
>
> Bir CAN alıcı-verici seçerken, gereken maksimum veri hızını, EMI gereksinimlerini, arıza koruma ihtiyaçlarını ve güç tüketimi kısıtlamalarını göz önünde bulundurun. CAN FD uygulamalarında, alıcı-vericinin daha yüksek veri hızlarını (8 Mbps'ye kadar) desteklediğinden emin olun.

Bölüm 3: Veri Bağlantı Katmanı (Veri Bağlantısı Layer)

CAN'daki Veri Bağlantı Katmanı, mesaj çerçeveleme, hakemlik (arbitration), onaylama ve hata tespitinden sorumludur. Bu katman, CAN denetleyici donanımında uygulanır ve ana mikrodenetleyici tarafından yapılandırıldıktan sonra otomatik olarak çalışır.

3.1 Çerçeve Formatları (Frame Formats)

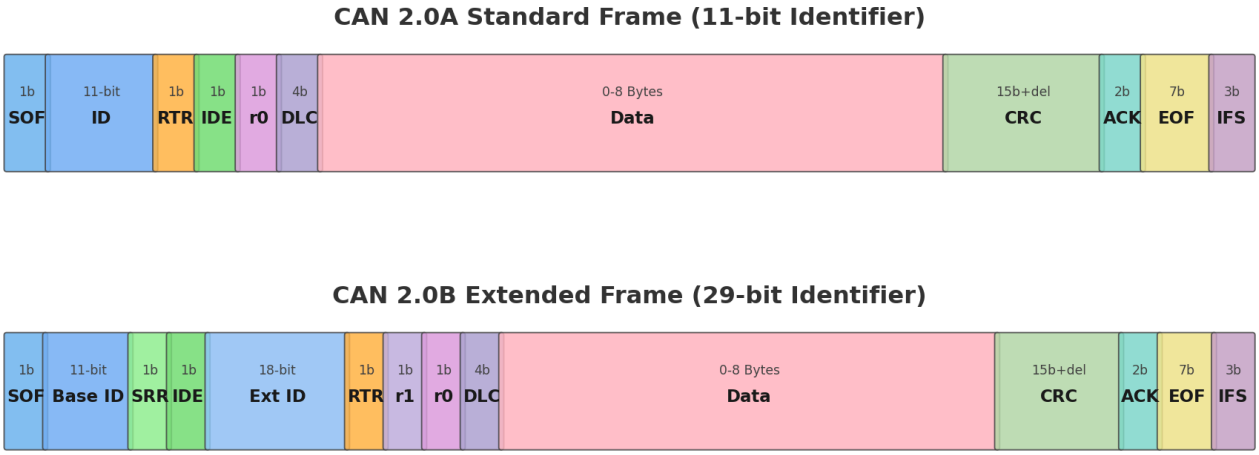
CAN, iletişim için dört farklı çerçeve türü tanımlar:

- **Veri Çerçevesi (Data Frame):** Vericiden alıcılara gerçek veriyi taşır
- **Uzak Çerçeve (Remote Frame):** Belirli bir tanımlayıcının iletimini talep eder
- **Hata Çerçevesi (Error Frame):** Bir düğüm hata algıladığında iletilir
- **Aşırı Yük Çerçevesi (Overload Frame):** Veri/uzak çerçeveler arasında ek gecikme sağlar

CAN, iki tanımlayıcı formatını destekler:

Tablo 3-1 CAN 2.0A ile CAN 2.0B Karşılaştırması

Özellik	CAN 2.0A (Standart)	CAN 2.0B (Genişletilmiş)
Tanımlayıcı Uzunluğu	11 bit	29 bit
Maksimum Tanımlayıcı Sayısı	2,048	536,870,912
IDE Bit Değeri	Baskın (0)	Çekinik (1)
Çerçeve Uzunluğu (maks. veri)	108 bit	128 bit
Uyumluluk	Sadece CAN 2.0A	CAN 2.0A ve 2.0B
Yaygın Kullanım	Endüstriyel CANopen	Otomotiv J1939



Şekil 3-1 *CAN 2.0A Standart ve CAN 2.0B Genişletilmiş Çerçeve Formatları*

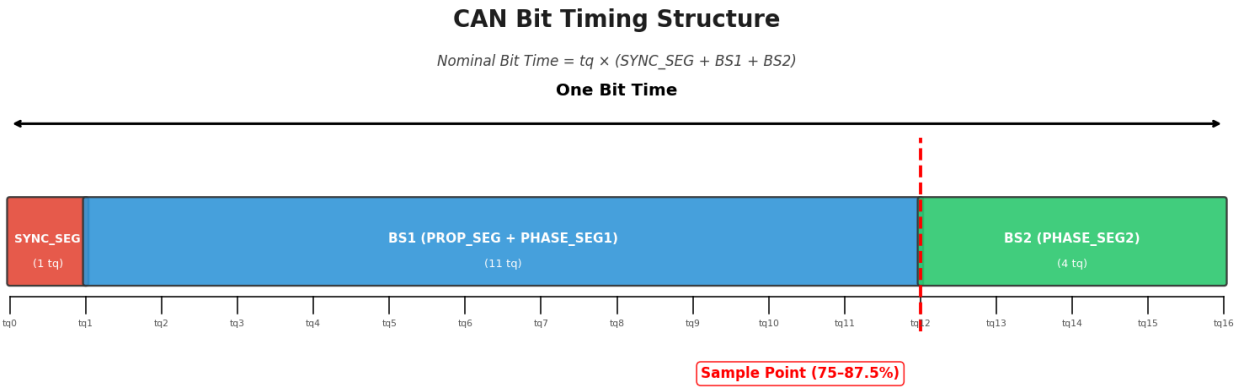
Standart CAN 2.0A Veri Çerçevesi Alanları

Tablo 3-2 CAN 2.0A Veri Çerçevesi Alan Açıklamaları

Alan	Bit	Açıklama
SOF	1	Çerçeve Başlangıcı (SOF) - baskın bit çerçeve başlangıcını işaretler
Tanımlayıcı	11	Benzersiz mesaj tanımlayıcısı (önceliği belirler)
RTR	1	Uzak İletim İsteği (veri çerçevesi için baskın)
IDE	1	Tanımlayıcı Uzantısı (standart çerçeve için baskın)
r0	1	Ayrılmış bit (baskın olmalıdır)
DLC	4	Veri Uzunluk Kodu (0-8 bayt)
Veri Alanı	0-64	Gerçek veri yükü (0-8 bayt)
CRC	15	Döngüsel Artıklık Denetimi
CRC Sınırlayıcısı	1	Çekinik bit
ACK Yuvası	1	CRC uygunsa alıcı baskın (dominant) ile yazar
ACK Sınırlayıcısı	1	Çekinik bit
EOF	7	Çerçeve Sonu (7 çekinik bit)
IFS	3	Çerçeveler Arası Boşluk (minimum 3 çekinik bit)

3.2 Bit Zamanlaması (Bit Timing)

CAN bit zamanlaması, doğru senkronizasyon ve güvenilir iletişim için kritik öneme sahiptir. Her bit süresi, örnekleme ve senkronizasyona izin vermek üzere segmentlere ayrılır.



Şekil 3-2 *CAN Bit Zamanlama Yapısı*

Bit süresi aşağıdaki segmentlerden oluşur:

- **SYNC_SEG:** Senkronizasyon segmenti (1 Zaman Kuantumu) - kenar hizalaması için kullanılır
- **BS1 (Bit Segment 1):** PROP_SEG ve PHASE_SEG1'i içerir - örnekleme noktası konumunu tanımlar
- **BS2 (Bit Segment 2):** PHASE_SEG2 - örnekleme noktası sonrası faz tamponu sağlar

Bit Süresi Hesaplaması

$$T_{bit} = t_q \times (SYNC\_SEG + BS1 + BS2)$$

Burada t_q (Time Quantum) = $2 \times (BRP + 1) / f_{CAN\_CLK}$

Baud Hızı Hesaplaması

$$Baud\ Rate = \frac{f_{CAN\_CLK}}{2 \times (BRP + 1) \times (SYNC\_SEG + BS1 + BS2)}$$

Tablo 3-3 Önerilen Bit Zamanlama Parametreleri

Baud Hızı	Toplam TQ	Örnekleme Noktası	SJW
125 kbps	16	75-87.5%	1-2 TQ
250 kbps	16	75-87.5%	1-2 TQ
500 kbps	16	80-87.5%	1-2 TQ
1 Mbps	8-16	80-87.5%	1 TQ

> **Örnekleme Noktası Önerisi**
>
> Örnekleme noktası bit süresinin %75-87,5'inde konumlandırılmalıdır. Daha geç bir örnekleme noktası (%87,5'e yakın) yayılma gecikmeleri için daha iyi tolerans sağlarken, daha erken bir örnekleme noktası (%75'e yakın) faz hataları için daha iyi tolerans sağlar.

3.3 Senkronizasyon

CAN, tüm düğümler arasında bit zamanlamasını korumak için iki tür senkronizasyon kullanır:

Sert Senkronizasyon (Hard Synchronization)

Çerçeve başlangıcında (SOF) bir kez gerçekleşir. Tüm düğümler, SOF'un çekinikten baskına geçiş kenarı algılandığında dahili bit zamanlamalarını yeniden başlatır.

Yeniden Senkronizasyon (Resynchronization)

Çerçeve sırasında SYNC_SEG dışında bir kenar algılandığında gerçekleşir. PHASE_SEG1 uzatılır veya PHASE_SEG2, SJW (Senkronizasyon Atlama Genişliği) zaman kuantumuna kadar kısaltılır.

Senkronizasyon Atlama Genişliği (SJW)

$$SJW \leq min(PHASE\_SEG1, PHASE\_SEG2)$$

Tipik SJW değeri: 1-2 Zaman Kuantumu

Yeniden senkronizasyon mekanizması, CAN'ın düğümler arası saat kaymasını telafi etmesine olanak tanır. Uygun yapılandırma ile CAN, 10 TQ'luk bir bit süresi için %1,58'e kadar osilatör toleranslarını tolere edebilir.

Bölüm 4: Hata Yönetimi (Error Handling)

CAN, yüksek güvenilirliğine katkıda bulunan kapsamlı hata tespit ve yönetim mekanizmaları içerir. Protokol, $4{,}7 \times 10^{-11}$'den az kalan hata olasılığı elde ederek güvenlik kritik uygulamalar için uygun hale gelir.

4.1 Hata Türleri

CAN, tespit edilebilecek beş hata türü tanımlar:

Tablo 4-1 CAN Hata Türleri

Hata Türü	Tespit Yöntemi	Açıklama
Bit Hatası	Verici izleme	Verici, bus seviyesini izler ve gönderilen bit ile karşılaştırır
Dolgu Hatası (Stuff Error)	Bit doldurma kuralı	Aynı polaritede 5'ten fazla ardışık bit tespit edildi
CRC Hatası	CRC kontrolü	Hesaplanan CRC, alınan CRC ile eşleşmiyor
Biçim Hatası (Form Error)	Sabit biçimli bit alanları	CRC sınırlayıcısı, ACK sınırlayıcısı veya EOF'da ihlal
Onaylama Hatası (ACK Error)	ACK yuvası kontrolü	ACK yuvasında baskın bit tespit edilmedi

Bit Doldurma (Bit Stuffing)

Bit doldurma, senkronizasyon için yeterli kenarların sağlanması amacıyla kullanılır. Aynı polaritede 5 ardışık bitten sonra, verici tarafından ters polaritede bir bit eklenir ve alıcı tarafından kaldırılır.

> **Dolgu Biti Hesaplaması**
>
> Standart 8 veri baytlı bir CAN çerçevesinde, maksimum dolgu bit sayısı 24'tür. Bu, 132 bitlik (108 + 24 dolgu biti) maksimum çerçeve boyutuna neden olur.

4.2 TEC ve REC Sayaçları

Her CAN düğümü, hata durumunu izlemek için iki hata sayacı tutar:

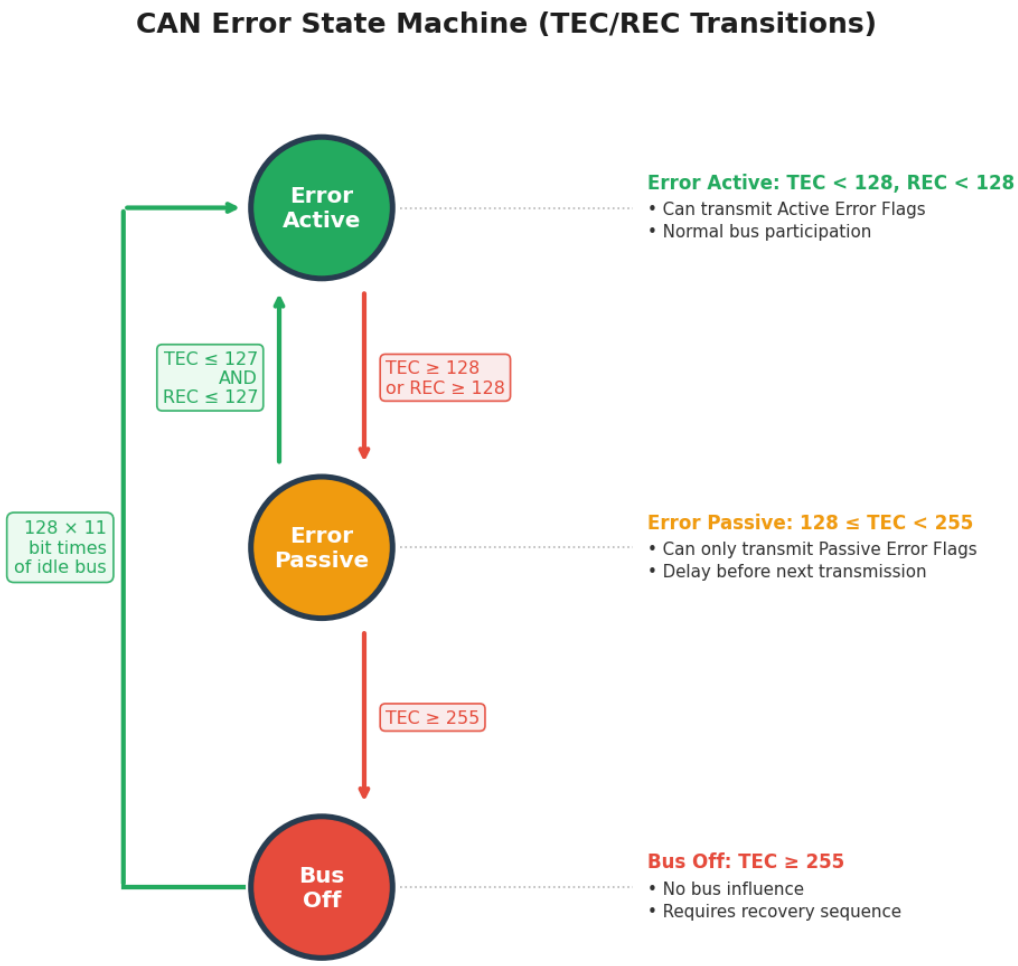
- **İletim Hata Sayacı (TEC):** Mesaj iletimi sırasındaki hataları izler
- **Alım Hata Sayacı (REC):** Mesaj alımı sırasındaki hataları izler

Tablo 4-2 Hata Sayacı Güncelleme Kuralları

Olay	TEC Güncellemesi	REC Güncellemesi
Verici hata algılar	+8	-
Alıcı hata algılar	-	+1
Başarılı iletim	-1 (TEC > 0 ise)	-
Başarılı alım	-	-1 (REC > 0 ise)
Baskın ACK hatası sonrası hata bayrağı	+8	-

4.3 Bus Durumları

TEC ve REC değerlerine göre, bir CAN düğümü üç durumdan birinde olabilir:



Şekil 4-1 *CAN Hata Durum Makinesi (TEC/REC Geçişleri)*

Tablo 4-3 CAN Düğüm Hata Durumları

Durum	Koşul	Davranış
Hata Aktif (Error Active)	TEC < 128 AND REC < 128	Normal çalışma, Aktif Hata Bayrakları iletir
Hata Pasif (Error Passive)	128 ≤ TEC < 255 OR REC ≥ 128	Pasif Hata Bayrakları iletir, iletimden sonra 8 bitlik gecikme
Bus Kapalı (Bus Off)	TEC = 255	Bus'a katılım yok, kurtarma dizisi gerektirir

Bus Off Kurtarma

Bir düğüm Bus Off durumuna girdiğinde, Error Active durumuna dönmeden önce bir kurtarma dizisinden geçmelidir:

1. Düğüm, 11 ardışık çekinik bitin 128 kez tekrarını algılar (128 × 11 bit süresi)
2. TEC ve REC sıfıra resetlenir
3. Düğüm, Error Active durumuna döner

> **Bus Off Kritik Durum**
>
> Bus Off durumuna giren bir düğüm ciddi bir soruna işaret eder — ya donanım arızası, hatalı bit zamanlama yapılandırması veya şiddetli bus bozulmalarından biri. Otomotiv uygulamalarında, bu genellikle bir arıza teşhis kodu (DTC) tetikler ve MIL'i (Arıza Gösterge Lambası) yakabilir.

4.4 Hata Sınırlama ve Bus-Off Kurtarma

ISO 11898, **hata sınırlamayı (fault confinement)** arızalı bir düğümün bus'ı kalıcı olarak bozmasını önleyen mekanizma olarak tanımlar. Protokol, arızalı bir düğümü üç durum üzerinden kademeli olarak izole etmek için TEC/REC sayaçlarını (Bölüm 4.2) kullanır: Error Active → Error Passive → Bus Off. Bu kademeli yanıt, tek bir arızalı düğümün tüm ağı kilitlememesini sağlar.

Kurtarma Süresi Hesaplama

Bir düğüm Bus Off durumuna girdiğinde, Error Active'e dönmeden önce 11 ardışık çekinik bitin 128 kez tekrarını beklemelidir. Minimum kurtarma süresi, bus veri hızına bağlıdır:

Tablo 4-4 Veri Hızına Göre Bus-Off Kurtarma Süresi

Veri Hızı	Bit Süresi	Kurtarma Bitleri (128 × 11)	Minimum Kurtarma Süresi
125 kbit/s	8 µs	1,408	11.26 ms
250 kbit/s	4 µs	1,408	5.63 ms
500 kbit/s	2 µs	1,408	2.82 ms
1 Mbit/s	1 µs	1,408	1.41 ms

Formül: **Kurtarma Süresi = 128 × 11 × Bit Süresi**. Kurtarma sırasında düğüm sessiz kalır ve yalnızca bus aktivitesini izler.

Otomatik Bus-On ve Manuel Kurtarma

128 × 11 bit kurtarma dizisini tamamladıktan sonra, düğüm bus'a otomatik olarak veya açık yazılım müdahalesiyle yeniden katılabilir:

Tablo 4-5 Otomatik Bus-On ve Manuel Kurtarma Karşılaştırması

Özellik	Otomatik Bus-On (ABOM)	Manuel Kurtarma
Kurtarma Tetikleyici	128 × 11 bit süresinden sonra otomatik	Yazılım, CAN çevre birimini açıkça yeniden başlatmalıdır
Kesinti Süresi	Minimum (baud hızına bağlı olarak 1,4–11,3 ms)	Uygulama yoklama aralığına bağlıdır
Kök Neden Analizi	Günlüğe kaydedilmezse tekrarlayan arızaları maskeleyebilir	Uygulamayı olayı işlemeye ve kaydetmeye zorlar
Tipik Kullanım Alanı	Üretim ECU'ları, güvenlik kritik sistemler	Geliştirme/hata ayıklama, tezgah testi
Risk	Hızlı yeniden giriş, tekrarlayan bus-off döngülerine neden olabilir	Kurtarma gecikirse uzun süreli iletişim kaybı

Sürücü / HAL Yapılandırması

Çoğu CAN denetleyicisi, otomatik bus-off kurtarmayı etkinleştirmek için bir donanım kaydı (register) biti sağlar. Aşağıda yaygın yapılandırma örnekleri verilmiştir:

STM32 HAL (bxCAN / FDCAN)

```
/* Enable Automatic Bus-Off Management */
hcan.Init.AutoBusOff = ENABLE;
HAL_CAN_Init(&hcan);

/* For FDCAN peripherals: */
hfdcan.Init.AutoRetransmission = ENABLE;
hfdcan.Init.TransmitPause = ENABLE;
HAL_FDCAN_Init(&hfdcan);
```

Linux SocketCAN

```
# Enable automatic restart after 100 ms delay
ip link set can0 type can restart-ms 100

# Manual one-shot restart
ip link set can0 type can restart
```

AUTOSAR CanSM (CAN Durum Yöneticisi)

AUTOSAR tabanlı ECU'larda **CanSM** modülü, CAN denetleyici durum geçişlerini yönetir. Bus-off algılandığında CanSM, yapılandırılabilir bir kurtarma stratejisi izler:

1. **Seviye 1 (L1):** Hızlı kurtarma — `CanSMBorTimeL1` aralığıyla (tipik 10–50 ms) `CanSMBorCounterL1ToL2` kadar yeniden başlatma denemesi
2. **Seviye 2 (L2):** Yavaş kurtarma — L1 başarısız olursa, `CanSMBorTimeL2` aralığına (tipik 100–500 ms) geçer
3. Kurtarma sayaçları ve zamanlamaları CanSM yapılandırma konteynerinde tanımlanır

> **Tekrarlayan Bus-Off Durumu**
>
> Bir düğüm kurtarma sonrası kısa sürede tekrar tekrar Bus Off durumuna giriyorsa, bu kalıcı bir arızaya işaret eder — genellikle kablo kısa devresi, sonlandırma uyumsuzluğu veya baud hızı yapılandırma hatası. İzleme olmadan otomatik bus-on etkinleştirmek, bus'ı hata çerçeveleriyle dolduran ve tüm düğümlerin iletişimini bozan hızlı bir bus-off / kurtarma döngüsü oluşturur.

Best Practice

Üretimde otomatik bus-on'u (ABOM) etkinleştirin, ancak bus-off olaylarını her zaman arıza teşhis kodu (DTC) olarak kaydedin. Soğuma pencereli bir bus-off sayacı uygulayın — 1 saniye içinde 3'ten fazla bus-off meydana gelirse, otomatik kurtarmayı devre dışı bırakın ve teşhis servisleri aracılığıyla eskalasyon yapın (ör. UDS DTC 0x600110).

Bölüm 5: Ağ Topolojisi (Network Topology)

Doğru ağ topolojisi tasarımı, güvenilir CAN iletişimi için esastır. Kablolama uygulamaları, stub uzunlukları ve sonlandırma dahil olmak üzere bus'ın fiziksel düzeni, sinyal bütünlüğünü ve sistem dayanıklılığını doğrudan etkiler.

5.1 Bus Kablolama

CAN, tüm düğümlerin tek bir iletim hattına bağlandığı doğrusal (lineer) bus topolojisi kullanır. Bus, elektromanyetik paraziti en aza indirmek için bükümlü çift halinde döşenmesi gereken iki telden (CAN_H ve CAN_L) oluşur.

Temel kablolama yönergeleri:

- Karakteristik empedansı 120Ω olan bükümlü çift kablo kullanın
- Bus boyunca tutarlı tel kalınlığını koruyun (tipik olarak 0,25-0,5 mm² / 22-24 AWG)
- CAN kablolarını yüksek akımlı güç hatlarından uzakta yönlendirin
- Yüksek EMI ortamlarında ekranlı kablo kullanın
- Ekranı yalnızca bir uçtan topraklayın (tipik olarak tanılama konektöründe)

Tablo 5-1 Bus Uzunluğu - Veri Hızı İlişkisi

Veri Hızı	Maksimum Bus Uzunluğu	Maksimum Stub Uzunluğu
1 Mbps	40 metre	0,3 metre
500 kbps	100 metre	0,6 metre
250 kbps	250 metre	1,5 metre
125 kbps	500 metre	3,0 metre
50 kbps	1000 metre	6,0 metre
20 kbps	2500 metre	15,0 metre

Maksimum Bus Uzunluğu Yaklaşımı

$$L_{max} \approx \frac{50 \times 10^6}{Baud\ Rate}$$

Burada L_{max} metre cinsindendir ve Baud Rate bit/saniye cinsindendir

5.2 Stub Uzunlukları

Stub'lar, ana bus'tan bireysel düğümlere olan bağlantılardır. Uzun stub'lar, sinyal yansımalarına neden olan empedans uyumsuzlukları yaratır ve sinyal kalitesini düşürür.

> **Stub Uzunluğu Sınırlaması**
>
> Stub uzunlukları mümkün olduğunca kısa tutulmalıdır. Genel kural olarak, stub uzunluğu 1 Mbps'de 0,3 metreyi aşmamalıdır. Veri hızı düştükçe maksimum stub uzunluğu orantılı olarak artar.

Daha uzun stub veya drop-line topolojisi gerektiren uygulamalar için şunları değerlendirin:

- **Düşük hızlı CAN (ISO 11898-3):** Daha uzun stub'larla yıldız topolojisini destekler
- **CAN tekrarlayıcılar:** Bus uzunluğunu uzatır ve segmentleri izole eder
- **Optik izolasyon:** Segmentler arasında galvanik izolasyon sağlar

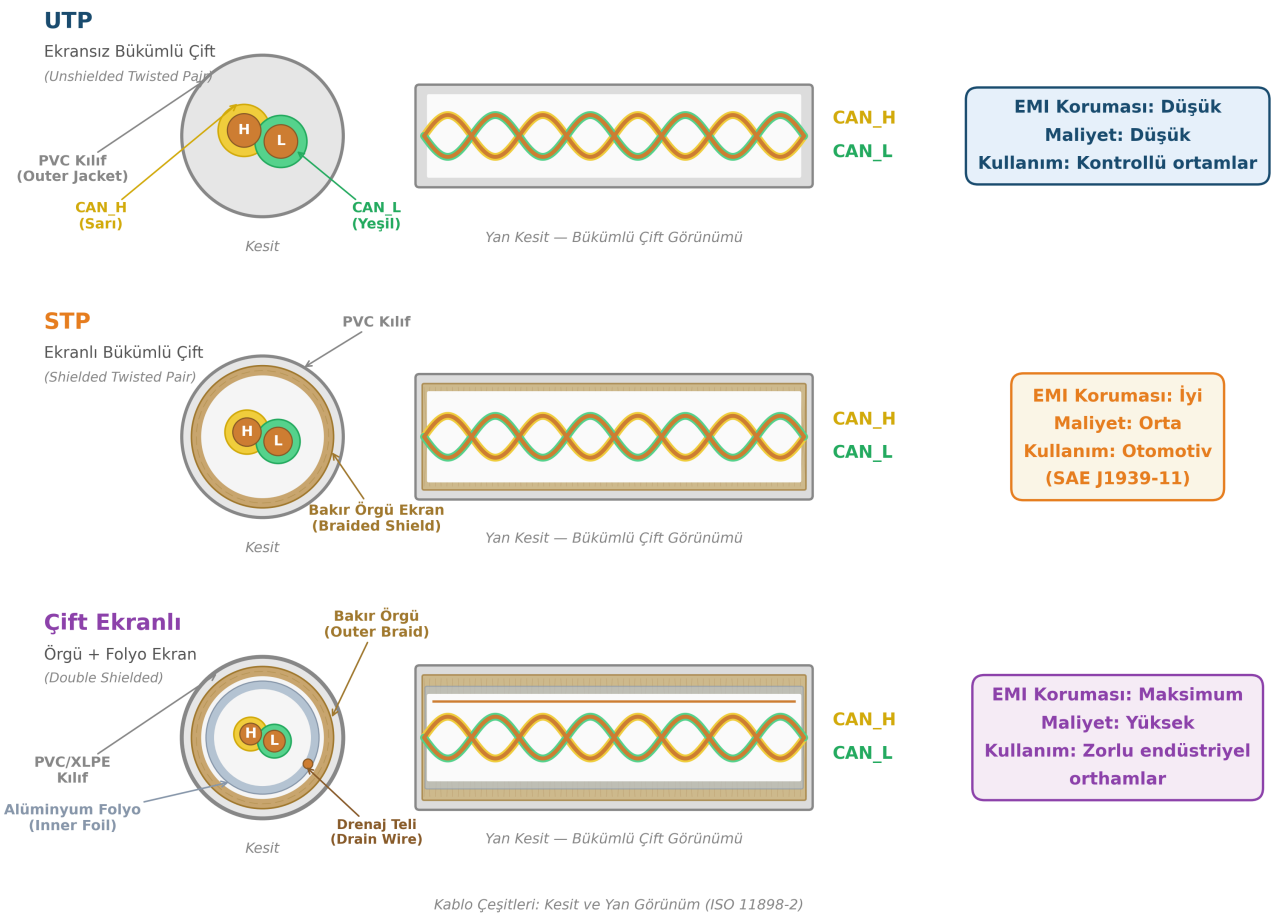
5.3 Kablo Spesifikasyonları

Tablo 5-2 Önerilen CAN Kablo Spesifikasyonları

Parametre	Spesifikasyon	Notlar
Karakteristik Empedans	120Ω ± 12Ω	1 MHz'de
İletken Kesiti	0,25-0,5 mm² (22-24 AWG)	Akım gereksinimlerine göre
Bükülme Oranı	Metre başına 20-50 bükülme	Daha yüksek bükülme oranı = daha iyi EMI bağışıklığı
Yayılma Gecikmesi	< 5 ns/m	Yüksek hızlı uygulamalar için
Kapasitans	< 60 pF/m	İletkenler arasında
Yalıtım Direnci	> 1 MΩ/km	At 500V DC

CAN uygulamaları için yaygın kablo türleri:

- **UTP (Ekransız Bükümlü Çift):** Uygun maliyetli, kontrollü ortamlar için uygundur
- **STP (Ekranlı Bükümlü Çift):** Daha iyi EMI koruması, otomotiv için önerilir
- **Çift ekranlı:** Zorlu ortamlar için maksimum EMI koruması



Şekil 5-1 *CAN Bus Kablo Çeşitleri — Kesit Görünümü (UTP, STP, Çift Ekranlı)*

Otomotiv Kablo Standartları

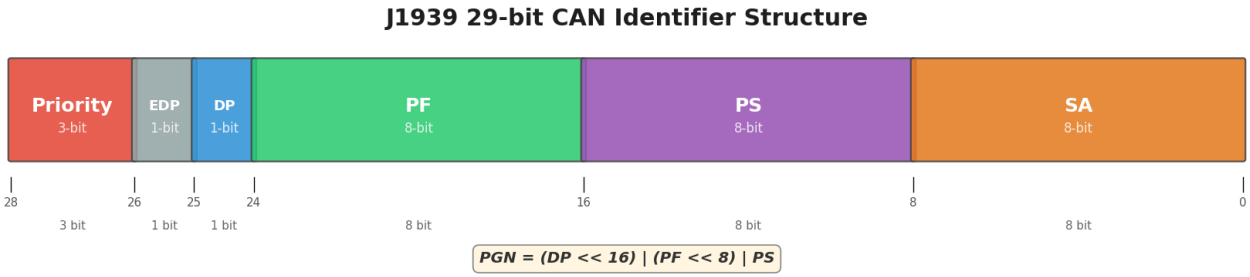
Otomotiv uygulamaları tipik olarak SAE J1939/11 veya SAE J2284 spesifikasyonlarını karşılayan kablolar kullanır. Bunlar, -40°C ile +125°C otomotiv sıcaklık aralığı için tasarlanmış PVC veya XLPE yalıtımlı 120Ω karakteristik empedansa sahip bükümlü çifti belirtir.

Bölüm 6: SAE J1939 Protokol Yığını

SAE J1939, ticari araçlar (kamyonlar, otobüsler, tarım makineleri, inşaat ekipmanları) için standart iletişim protokolüdür. CAN 2.0B üzerine inşa edilen J1939, standartlaştırılmış mesaj formatları, ağ yönetimi ve tanılama prosedürleri içeren eksiksiz bir uygulama katmanı tanımlar.

6.1 29-bit Tanımlayıcı (Tanımlayıcı) Yapısı

J1939, yalnızca 29 bitlik tanımlayıcıya sahip CAN 2.0B genişletilmiş çerçeve formatını kullanır. Bu tanımlayıcı, öncelik, parametre grubu tanımlama ve kaynak adresleme sağlayacak şekilde yapılandırılmıştır.



Şekil 6-1 *J1939 29-bit CAN Tanımlayıcı Yapısı*

Tablo 6-1 J1939 Tanımlayıcı Alan Açıklamaları

Alan	Bit	Açıklama
Öncelik (P)	3	Mesaj önceliği (0=en yüksek, 7=en düşük)
Genişletilmiş Veri Sayfası (EDP)	1	Ayrılmış (0 olmalıdır)
Veri Sayfası (DP)	1	PGN aralığını genişletir (0 veya 1)
PDU Formatı (PF)	8	PDU türünü belirler (PDU1 veya PDU2)
PDU Özgü (PS)	8	Hedef adresi (PDU1) veya Grup Uzantısı (PDU2)
Kaynak Adresi (SA)	8	İleten düğümün adresi (0-253)

Tam 29-bit Tanımlayıcı Hesaplaması

$$ID = (P \ll 26) | (EDP \ll 25) | (DP \ll 24) | (PF \ll 16) | (PS \ll 8) | SA$$

6.2 PGN Yapısı

Parametre Grup Numarası (PGN), ilgili parametrelerin bir grubunu benzersiz şekilde tanımlar. PGN'ler, DP, PF ve PS alanlarından türetilen 18 bitlik değerlerdir.

PGN Hesaplaması

$$PGN = (DP \ll 16) | (PF \ll 8) | PS$$

J1939'da iki PDU türü vardır:

Tablo 6-2 J1939'da PDU Türleri

Tür	PF Aralığı	PS Alanı	İletişim
PDU1 (Hedefe Özgü)	0-239 (0x00-0xEF)	Hedef Adresi	Noktadan noktaya
PDU2 (Genel)	240-255 (0xF0-0xFF)	Grup Uzantısı	Yayın

PGN Aralık Tahsisi

PGN adres alanı, SAE tanımlı ve üretici tarafından atanabilir aralıklar arasında bölünmüştür ve Veri Sayfası (DP) biti ile PDU formatına göre düzenlenmiştir:

Tablo 6-3 J1939 PGN Aralık Tahsisi

DP	PGN Aralığı (hex)	PGN Sayısı	SAE veya Üretici Atamalı	İletişim Türü
0	000000 – 00EE00	239	SAE	PDU1: Noktadan Noktaya
0	00EF00	1	MF	PDU1: Noktadan Noktaya
0	00F000 – 00FEFF	3840	SAE	PDU2: Yayın
0	00FF00 – 00FFFF	256	MF	PDU2: Yayın
1	010000 – 01EE00	239	SAE	PDU1: Noktadan Noktaya
1	01EF00	1	MF	PDU1: Noktadan Noktaya
1	01F000 – 01FEFF	3840	SAE	PDU2: Yayın
1	01FF00 – 01FFFF	256	MF	PDU2: Yayın

SAE ve Üretici (MF) PGN'leri

SAE tarafından atanan PGN'ler SAE J1939-71'de tanımlanmıştır ve tüm J1939 ağlarında standartlaştırılmış anlamlara sahiptir. Üreticiye özgü (MF) PGN'ler (her Veri Sayfası için PGN 0xEF00 ve 0xFF00–0xFFFF aralığı) tescilli kullanım için mevcuttur. OEM'ler ve ECU üreticileri, standartlaştırılmış PGN'lerle çakışmadan özel parametreler için MF PGN'leri kullanabilir. Toplam adres alanı her iki Veri Sayfası'de 8.672 PGN sağlar.

Yaygın J1939 PGN'leri şunlardır:

Tablo 6-4 Yaygın J1939 PGN'leri

PGN	Ad	Açıklama	Hız
61444 (0x00F004)	Elektronik Motor Kontrolörü 1 (EEC1)	Motor hızı, tork	10 ms
61443 (0x00F003)	Elektronik Motor Kontrolörü 2 (EEC2)	Gaz pedalı, yol hızı	50 ms
65248 (0x00FF00)	Araç Mesafesi	Kilometre sayacı, yol mesafesi	1 s
65265 (0x00FF07)	Hız Sabitleme/Araç Hızı	Hız sabitleme durumu	100 ms
65262 (0x00FF04)	Motor Sıcaklığı 1	Soğutma suyu, yakıt sıcaklıkları	1 s
65263 (0x00FF05)	Motor Sıvı Seviyesi/Basıncı 1	Yağ basıncı, soğutma suyu seviyesi	500 ms
59904 (0x00EA00)	PGN Talebi	Belirli PGN için istek	İstek üzerine

SPN — Şüpheli Parametre Numarası

Her PGN, bir veya daha fazla **Suspect Parameter Number (SPN)** içerir — 8 baytlık veri alanındaki bireysel sinyallerdir. SPN'ler her parametre için başlangıç pozisyonunu, uzunluğu, çözünürlüğü, ofseti ve birimi tanımlar. Fiziksel değer, ham veri baytlarından şu formülle hesaplanır:

SPN Fiziksel Değer Hesaplaması

$$\text{Fiziksel Value} = (\text{Raw Value} \times \text{Resolution}) + \text{Offset}$$

Örnek — Motor Hızı (PGN 61444 / EEC1 içinde SPN 190):

Tablo 6-5 SPN 190 — Motor Hızı Kod Çözme

Özellik	Değer
PGN	61444 (0x00F004) — Elektronik Motor Kontrolörü 1
SPN	190 — Motor Hızı
Başlangıç Bayt.Bit	4.1 (bayt 4, bit 1 — sıfır indeksli)
Uzunluk	16 bit (2 bayt)
Çözünürlük	0,125 rpm/bit
Ofset	0 rpm
Aralık	0 – 8031.875 rpm

Ham baytlar `FF FF FF 68 13 FF FF FF` (hex) için, bayt 4–5 çıkarılır: `0x1368` = 4968 ondalık. Fiziksel değer: 4968 × 0.125 = **621 rpm**.

> **J1939 Veri Geçerlilik Kuralı**
>
> J1939'da `0xFF` (tümü bir) olarak ayarlanmış veri baytları "Kullanılamaz" veya geçersiz veri anlamına gelir. SPN'ler çözümlenirken, tamamen 0xFF baytlarından oluşan ham değerler analizden çıkarılmalıdır. 2 baytlık SPN'lerde `0xFFFF` parametrenin kullanılamaz olduğunu; 1 baytlık SPN'lerde `0xFF` geçersiz olduğunu gösterir.

J1939 Talep Mesajları

Tüm PGN'ler periyodik olarak yayınlanmaz. Bazı parametreler **PGN 59904 (0xEA00)** — PGN Talebi kullanılarak açıkça talep edilmelidir. Talep eden düğüm, almak istediği PGN'yi içeren 3 baytlık bir veri alanı gönderir:

Tablo 6-6 PGN Talebi Mesaj Format

Byte	İçerik	Açıklama
1	PGN[7:0]	Talep edilen PGN'nin en düşük anlamlı baytı
2	PGN[15:8]	Talep edilen PGN'nin orta baytı
3	PGN[23:16]	Talep edilen PGN'nin en yüksek anlamlı baytı

6.3 Adres Talep Etme (Address Claiming)

J1939, ağdaki adres çakışmalarını çözmek için dinamik bir adres talep prosedürü kullanır. Her düğümün tercih ettiği bir NAME ve adresi vardır.

64-bit NAME yapısı:

Tablo 6-7 J1939 NAME Yapısı (64-bit)

Alan	Bit	Açıklama
Rastgele Adres Yetenekli	1	Düğüm rastgele adres kullanabilir
Endüstri Grubu	3	Endüstri sınıflandırması (0-7)
Araç Sistemi Örneği	4	Araç sisteminin örneği
Araç Sistemi	7	Araç sistemi sınıflandırması
Ayrılmış	1	Ayrılmış (0)
İşlev	8	Fonksiyon kodu (ör. motor, şanzıman)
Fonksiyon Örneği	5	Fonksiyonun örneği
ECU Örneği	3	Fonksiyon içindeki ECU örneği
Üretici Kodu	11	SAE tarafından atanan üretici kimliği
Kimlik Numarası	21	Benzersiz seri numarası

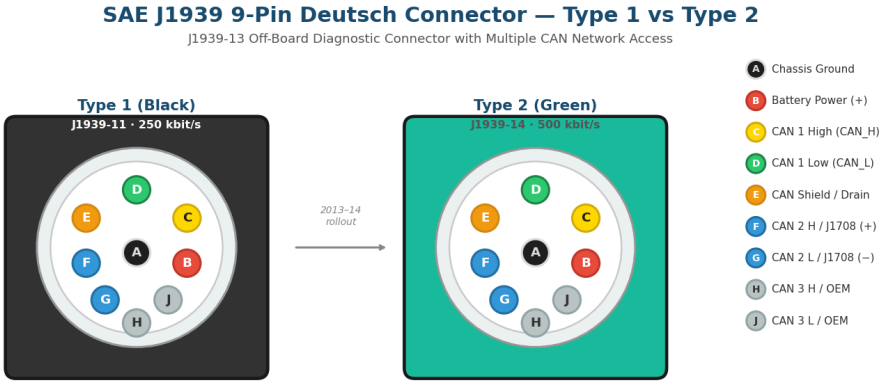
Adres Talep Akışı:

1. Açılış → Adres Talep Edildi Gönder
2. Adres Çakışması Kontrolü
    - Çakışma Yok → Normal Çalışma
    - Çakışma Algılandı → NAME değerlerini karşılaştır
        - Yüksek NAME kazanır → Adres Talep Et
        - Düşük NAME kaybeder → Talep Edilemez Gönder, Komut Bekle

> **Adres Talep Önceliği**
>
> İki düğüm aynı adresi talep etmeye çalıştığında, sayısal olarak daha yüksek NAME değerine sahip düğüm hakemliği kazanır. Kaybeden düğüm ya farklı bir adres talep etmeli ya da "Cannot Claim" durumuna girmelidir.

6.4 Fiziksel Katman ve Konnektör Spesifikasyonları

J1939 fiziksel katmanı, ECU'ların CAN bus'a bağlanması için elektriksel ve mekanik özellikleri tanımlar. SAE J1939-13 standardı, ağır hizmet araçlarında J1939 ağlarına erişim için birincil standartlaştırılmış arayüz olan **9 pinli Deutsch HD10-9-1939** harici tanı konnektörünü belirtir.



Multiple CAN Networks via Single J1939 Connector

Network	CAN_H Pin	CAN_L Pin	Typical Use
CAN 1 (Primary J1939)	**C**	**D**	Engine, transmission, brakes — main vehicle bus
CAN 2 (Secondary)	**F**	**G**	Body electronics, ISOBUS, or J1708 legacy
CAN 3 (OEM-specific)	**H**	**J**	OEM proprietary network (manufacturer-defined)

Physical Layer Comparison

Parameter	J1939-11	J1939-14	J1939-15
Connector Type	Type 1 (Black)	Type 2 (Green)	Type 1 (Black)
Bit Rate	250 kbit/s	500 kbit/s	250 kbit/s
Cable Type	Shielded TP	Shielded or Unshielded	Unshielded TP
Max ECUs	30	30	10
Max Bus Length	40 m	40–56.4 m	40 m
Max Stub Length	1 m	1.67 m	3 m

Şekil 6-2 *J1939 9-Pin Deutsch Konnektör: Tip 1 (Siyah) ve Tip 2 (Yeşil) — Çoklu CAN Ağ Erişimi ve Fiziksel Katman Karşılaştırması*

Tip 1 (Siyah) ve Tip 2 (Yeşil) Konnektörler

J1939 Deutsch konnektörü iki varyanta sahiptir:

- **Tip 1 (Siyah gövde):** J1939-11 tarafından tanımlanan orijinal konnektör, **250 kbit/s**'de çalışır. 1990'ların ortasından beri ağır hizmet araçlarında standart konnektör olmuştur.
- **Tip 2 (Yeşil gövde):** J1939-14 standardı için 2013–14 civarında tanıtılmış olup **500 kbit/s** ağları destekler. Yeşil renk görsel ayrım sağlar.

Konnektör Geriye Uyumluluğu

Tip 2 **dişi** konnektörler fiziksel olarak geriye uyumludur — hem Tip 1 hem de Tip 2 erkek soketlere uyar. Ancak Tip 1 dişi konnektörler **yalnızca Tip 1** erkek soketlere uyar. Fiziksel engelleme mekanizması, Tip 2 erkek konnektörlerde **Pin F** için daha küçük bir deliktir; bu, eski 250K donanımın 500K ağlara bağlanmasını önler.

Çoklu J1939 Ağları

Birçok modern ağır hizmet aracında 2 veya daha fazla paralel CAN bus ağı bulunur. 9 pinli Deutsch konnektörü, farklı pin çiftleri aracılığıyla üç ayrı CAN ağına erişim sağlayabilir:

Tablo 6-8 J1939 Konnektör Üzerinden CAN Ağ Erişimi

Ağ	CAN_H	CAN_L	Tipik Kullanım
CAN 1 (Birincil)	Pin C	Pin D	Ana J1939 araç veriyolu — motor, şanzıman, frenler
CAN 2 (İkincil)	Pin F	Pin G	Gövde elektroniği, ISOBUS veya eski J1708 seri
CAN 3 (OEM)	Pin H	Pin J	OEM'e özgü ağ (üretici tanımlı)

Tüm Mevcut Veriye Erişim

Yalnızca Pin C ve Pin D'ye (standart çift) bağlanmak, mevcut tüm J1939 verilerine erişimi garanti etmez. Araç birden fazla CAN ağı kullanıyorsa, kritik parametreler yalnızca ikincil (F/G) veya OEM'e özgü (H/J) bus üzerinde mevcut olabilir. Veri kaydederken, her iki ağdan aynı anda veri yakalamak için DB9-J1939 adaptör kablosu ile çift kanallı bir CAN logger kullanın.

Fiziksel Katman Standartları

Üç temel SAE standardı, çeşitli araç ortamları için optimize edilmiş farklı fiziksel katman yapılandırmalarını belirtir:

J1939-11, bus'ın her iki ucunda 120 Ω sonlandırma dirençleri bulunan ekranlı bükümlü çift kablo belirten orijinal fiziksel katman standardıdır. Maksimum 40 m bus uzunluğu ve 1 m'ye kadar stub uzunlukları ile 250 kbit/s'de 30'a kadar ECU destekler.

J1939-15, daha hafif uygulamalar için düşük maliyetli bir alternatif sunar. Ekransız bükümlü çift kablo kullanır ve daha uzun stub uzunluklarına (3 m'ye kadar) izin verir, ancak düşük gürültü bağışıklığı nedeniyle ağı 10 ECU ile sınırlar.

J1939-14, 500 kbit/s veri hızı ile daha yüksek bant genişliği uygulamalarını hedefler. Hem ekranlı hem de ekransız kablolama kabul eder, 30'a kadar ECU destekler ve kullanılan kablo türüne bağlı olarak 40 m ile 56,4 m arasında bus uzunluklarına izin verir.

6.5 J1939 Doküman Yapısı ve İlgili Standartlar

SAE J1939 standart paketi, her biri protokolün belirli bir yönünü kapsayan numaralı belgeler halinde düzenlenmiştir. Aşağıdaki şekil, protokol katmanına göre düzenlenmiş tam belge ailesini göstermektedir:

Şekil 6-3 *SAE J1939 Doküman Ailesi — Protokol Katmanına Göre Düzenlenmiş Standartlar Hiyerarşisi*

J1939 Tabanlı Standartlar

J1939 protokolü, SAE'nin konsorsiyum yaklaşımı aracılığıyla birçok sektöre özgü iletişim standardının temelini oluşturur:

Tablo 6-9 SAE J1939'dan Türetilen Standartlar

Standart	Endüstri	J1939 ile İlişki
ISO 11783 (ISOBUS)	Tarım	J1939'u traktörler ve ekipmanlar için genişletir; görev denetleyicisi, sanal ECU ekler
NMEA 2000	Denizcilik	J1939'u cihaz sınıfı tanımlarıyla denizcilik elektroniğine uyarlar
ISO 11992	Kamyon-Römork	ISO 7638 konnektörü aracılığıyla kamyon ve römork arasında J1939 tabanlı iletişim
FMS Standardı	Filo Yönetimi	Telematik için standart gateway arayüzü üzerinden sunulan J1939 PGN alt kümesi
MilCAN	Askeri	Deterministik zamanlama gereksinimleri ile askeri uyarlama

> **SAE J1939 Konsorsiyum Modeli**
>
> SAE, J1939 temel standardını sektör kuruluşlarına lisanslar ve bu kuruluşlar onu kendi özel alanları için genişletir. Bu konsorsiyum yaklaşımı, temel J1939 standardındaki gelişmelerin (ör. J1939-22 aracılığıyla CAN FD desteği) tüm türetilmiş standartlara yayılmasını sağlarken, her sektörün alana özel PGN'ler, cihaz türleri ve uygulama profilleri tanımlamasına olanak tanır.

6.6 J1939 İstek Mekanizması (Request Mechanism)

J1939, **PGN 59904 (0xEA00)** — PGN Talebi kullanarak genel amaçlı bir talep mekanizması sağlar. Herhangi bir düğüm, belirli bir ECU'dan (hedefe özel) veya bus'taki tüm ECU'lardan (global talep) herhangi bir PGN talep edebilir. Bu, periyodik olarak yayınlanmayan parametrelerin alınması için gereklidir.

Talep ve Yayın Modeli

J1939 iki iletişim modeli kullanır:

Tablo 6-10 J1939 Communication Models

Model	Mekanizma	Örnekler
Periyodik Yayın	ECU sabit aralıklarla PGN gönderir (10 ms – 10 s)	EEC1 (Motor Hızı, 10 ms), CCVS1 (Araç Hızı, 100 ms)
Talep Üzerine	PGN yalnızca PGN 59904 ile açıkça talep edildiğinde gönderilir	Yazılım Tanımlama, Bileşen Kimliği, ECU Tanımlama
Olay Tetiklemeli	Belirli bir koşul oluştuğunda PGN gönderilir	DM1 (aktif DTC algılandı), Adres Talep Edildi

Talep Mesajı Yapısı

PGN Talebi, talep edilen PGN'yi içeren 3 baytlık bir veri alanı kullanır ve little-endian bayt sırasıyla gönderilir:

```
PGN Talebi (0xEA00) — CAN ID: 0x18EAFF[SA] (global) or 0x18EA[DA][SA] (destination-specific)

CAN ID breakdown:
  Priority: 6 (0x18 = 0b110...)
  PGN:      0xEA00 (59904) — PGN Talebi
  DA:       0xFF (global) or specific destination address
  SA:       Kaynak address of requester

Data (3 bytes):
  Byte 1:   PGN[7:0]   — LSB of requested PGN
  Byte 2:   PGN[15:8]  — Middle byte
  Byte 3:   PGN[23:16] — MSB of requested PGN
```

Talep/Yanıt Örneği: Motor Hızı Talebi (EEC1)

```
Step 1 — Service Tool (SA=0xF9) requests PGN 61444 from Engine ECU (DA=0x00):
  CAN ID: 0x18EA00F9    Data: [04 F0 00]
                              │  │  └─ PGN MSB = 0x00
                              │  └──── PGN mid = 0xF0
                              └─────── PGN LSB = 0x04  → PGN = 0x00F004 = 61444

Step 2 — Engine ECU (SA=0x00) responds with EEC1:
  CAN ID: 0x0CF00400    Data: [FF FF FF 68 13 FF FF FF]
                                        │  └─ Byte 5 = 0x13
                                        └──── Byte 4 = 0x68
  Engine Speed (SPN 190) = 0x1368 × 0.125 = 621.0 rpm
```

> **Genel ve Hedefe Özel İstek Karşılaştırması**
>
> When DA = `0xFF`, talep globaldir — talep edilen PGN'yi destekleyen tüm ECU'lar yanıt verir. Bu, keşif için kullanışlıdır (ör. tüm düğümlerden Address Claimed talep etme). DA belirli bir adres olduğunda, yalnızca o ECU yanıt verir. Taşıma Protocol mesajları (>8 bayt) için yanıt veren ECU, çok paketli yanıtı teslim etmek için bir TP.CM_RTS/CTS veya BAM dizisi başlatır.

6.7 Tanımlama İstekleri (Identification Requests)

J1939, ECU tanımlaması için birkaç standart PGN tanımlar. Bunlar genellikle yazılım sürümü, donanım kimliği ve bileşen bilgisi sağlayan talep üzerine PGN'lerdir. Filo yönetimi, tanı ve mevzuat uyumluluğu için gereklidirler.

Yazılım Tanımlama (PGN 65242 / 0xFEDA)

ECU üzerinde yüklü yazılım sürüm(ler)ini bildirir. Bu PGN, bir araç filosundaki ECU firmware sürümlerini doğrulamak için tanı araçları ve filo yönetim sistemleri tarafından kullanılır.

Tablo 6-11 PGN 65242 — Yazılım Tanımlama

Byte	SPN	Açıklama
1	SPN 965	Yazılım tanımlama alanlarının sayısı
2–n	SPN 234	Yazılım tanımlama (ASCII dizesi, birden fazla sürüm için `*` ile ayrılmış)

```
Örnek — Body Controller'ın Yazılım Kimliği Talebi:
  Request:  CAN ID: 0x18EA21F9  Data: [DA FE 00]  ← PGN 65242 (0xFEDA)
  Response: via BAM (broadcast, çünkü PGN 0xFEDA PDU2 formatıdır — PF ≥ 0xF0)
    TP.CM_BAM: CAN ID: 0x18ECFF21  Data: [20 12 00 03 FF DA FE 00]
    TP.DT.1:   CAN ID: 0x18EBFF21  Data: [01 02 42 43 4D 5F 41 50]
    TP.DT.2:   CAN ID: 0x18EBFF21  Data: [02 50 5F 76 32 2E 31 2E]
    TP.DT.3:   CAN ID: 0x18EBFF21  Data: [03 30 2A 42 43 4D 5F 49]

    Decoded: Count=2, "BCM_APP_v2.1.0*BCM_IO_v1.3"
```

Bileşen Tanımlama (PGN 65259 / 0xFEEB)

ECU üreticisi, modeli ve seri numarasını ASCII dizileri olarak sağlar. Her alan `*` (yıldız) ile sınırlandırılmıştır.

Tablo 6-12 PGN 65259 — Bileşen Tanımlama

Alan	SPN	Açıklama
Make	SPN 586	Bileşen üretici adı (ASCII)
Model	SPN 587	Bileşen model tanımlaması (ASCII)
Seri Numarası	SPN 588	Bileşen seri numarası (ASCII)
Ünite Numarası	SPN 233	Sahip tarafından atanan ünite/varlık numarası (ASCII)

```
Decoded Component ID example:
  "BOSCH*EDC17C46*0281020567*FLEET-4821"
   │      │          │             └─ Ünite Numarası (SPN 233)
   │      │          └──────────────── Seri Numarası (SPN 588)
   │      └─────────────────────────── Model (SPN 587)
   └────────────────────────────────── Make (SPN 586)
```

ECU Tanımlama (PGN 64965 / 0xFDC5)

ECU parça numarası ve ECU tipi bilgisi sağlar. Fiziksel bileşeni tanımlayan Bileşen Tanımlama'ın aksine, ECU Tanımlama servis ve değiştirme için kullanılan üreticinin parça ve tip kodlarını sağlar.

Tablo 6-13 PGN 64965 — ECU Tanımlama

Alan	SPN	Açıklama
ECU Parça Numarası	SPN 2901	ECU için üretici parça numarası (ASCII)
ECU Seri Numarası	SPN 2902	ECU birimi için benzersiz seri numarası (ASCII)
ECU Konumu	SPN 2903	Fiziksel kurulum yeri açıklaması (ASCII)
ECU Türü	SPN 2904	ECU fonksiyonel türü (ASCII)

Araç Tanımlama (PGN 65260 / 0xFEEC)

Araç Kimlik Numarasını (VIN) — 17 karakterlik bir ASCII dizisi olarak yayınlar. Bu PGN, araç gateway veya gövde kontrol ünitesi tarafından yayınlanır ve tanı ile filo yönetimi bağlamlarında aracı tanımlamak için kullanılır.

```
PGN 65260 (0xFEEC) — Araç Tanımlama:
  SPN 237: Araç Tanımlama Number (VIN)
  Data: 17-byte ASCII string (e.g., "WDB9634031L123456")
  Transmitted via BAM (requires 3 TP.DT packets)
```

Özet: Yaygın Tanımlama PGN'leri

Tablo 6-14 J1939 Tanımlama PGN Özeti

PGN	Hex	Ad	Temel SPN'ler	Tipik Boyut
65242	0xFEDA	Yazılım Tanımlama	SPN 234, 965	Değişken (BAM)
65259	0xFEEB	Bileşen Tanımlama	SPN 586, 587, 588, 233	Değişken (BAM)
64965	0xFDC5	ECU Tanımlama	SPN 2901–2904	Değişken (BAM)
65260	0xFEEC	Araç Tanımlama	SPN 237 (VIN)	17 bayt (BAM)
65243	0xFEDB	Kalibrasyon Tanımlama	SPN 1634, 1635	Değişken (BAM)

> **Çoklu Paket Tanımlama Yanıtları**
>
> Tüm tanımlama PGN'leri değişken uzunluklu ASCII verisi içerir ve genellikle 8 baytı aşar. Bir talebe yanıt verirken, ECU global yanıtlar için **BAM** (Yayın Duyuru Mesajı) taşıma protokolünü veya hedefe özel yanıtlar için **RTS/CTS** kullanır. Tanı araçları, bu çok paketli yanıtları almak için J1939 Taşıma Protokolünü (bkz. Bölüm 7) uygulamalıdır.

Bölüm 7: J1939 Taşıma Protokolü (Taşıma Protocol)

CAN çerçeveleri 8 veri baytı ile sınırlı olduğundan, J1939 daha büyük mesajların iletimi için bir Taşıma Protokolü (TP) tanımlar. Taşıma protokolü iki modu destekler: noktadan noktaya iletişim için Bağlantı Modu (CM) ve global yayınlar için Yayın Duyuru Mesajı (BAM).

7.1 TP.CM ve TP.DT

Bağlantı Modu taşıma protokolü iki PGN kullanır:

- **TP.CM (PGN 60416):** Taşıma Protokolü Bağlantı Yönetimi - bağlantı kurulumunu kontrol eder
- **TP.DT (PGN 60160):** Taşıma Protokolü Veri Aktarımı - gerçek veri paketlerini taşır

TP.CM Kontrol Baytları

Tablo 7-1 TP.CM Kontrol Bayt Değerleri

Değer	Ad	Açıklama
16 (0x10)	RTS	Gönderme Talebi - bağlantıyı başlatır
17 (0x11)	CTS	Göndermeye Hazır - RTS'yi onaylar
19 (0x13)	Mesaj Sonu Onayı	Tam alımı onaylar
255 (0xFF)	İptal	Bağlantıyı iptal eder
32 (0x20)	BAM	Yayın Duyuru Mesajı

RTS Mesaj Formatı (TP.CM)

```
Byte 0: Control Byte = 0x10 (RTS)
Byte 1-2: Total message size (bytes) - LSB first
Byte 3: Total number of packets
Byte 4: Ayrılmış (0xFF)
Byte 5-7: PGN of requested message - LSB first
```

CTS Mesaj Formatı (TP.CM)

```
Byte 0: Control Byte = 0x11 (CTS)
Byte 1: Number of packets that can be sent
Byte 2: Next packet number to be sent
Byte 3-4: Ayrılmış (0xFFFF)
Byte 5-7: PGN - LSB first
```

TP.DT Veri Paketi Formatı

```
Byte 0: Sequence number (1-255)
Byte 1-7: Data (up to 7 bytes per packet)
```

7.2 BAM Protokolü

Yayın Duyuru Mesajı (BAM) protokolü, bağlantı yönetimi gerekmediği global yayınlar için kullanılır. İleten düğüm mesajı duyurur ve ardından tüm veri paketlerini yayınlar.

BAM Mesaj Formatı (TP.CM)

```
Byte 0: Control Byte = 0x20 (BAM)
Byte 1-2: Total message size (bytes) - LSB first
Byte 3: Total number of packets
Byte 4: Ayrılmış (0xFF)
Byte 5-7: PGN of broadcast message - LSB first
```

> **BAM Sınırlamaları**
>
> BAM, akış kontrolü veya onaylama sağlamaz. Verici, alıcı kapasitesine bakılmaksızın tüm paketleri 50-200 ms aralıklarla gönderir. BAM, 1785 bayt (255 paket × 7 bayt) ile sınırlıdır.

7.3 Çoklu Paket Mesajları (Multi-packet)

Taşıma protokolü, 255 veri paketine kadar kullanarak 1785 bayta kadar mesajları işleyebilir. Her TP.DT çerçevesi bir sıra numarası ve en fazla 7 veri baytı taşır.

Paket Sayısı Hesaplaması

$$N_{packets} = \lceil \frac{Mesaj\ Size}{7} \rceil$$

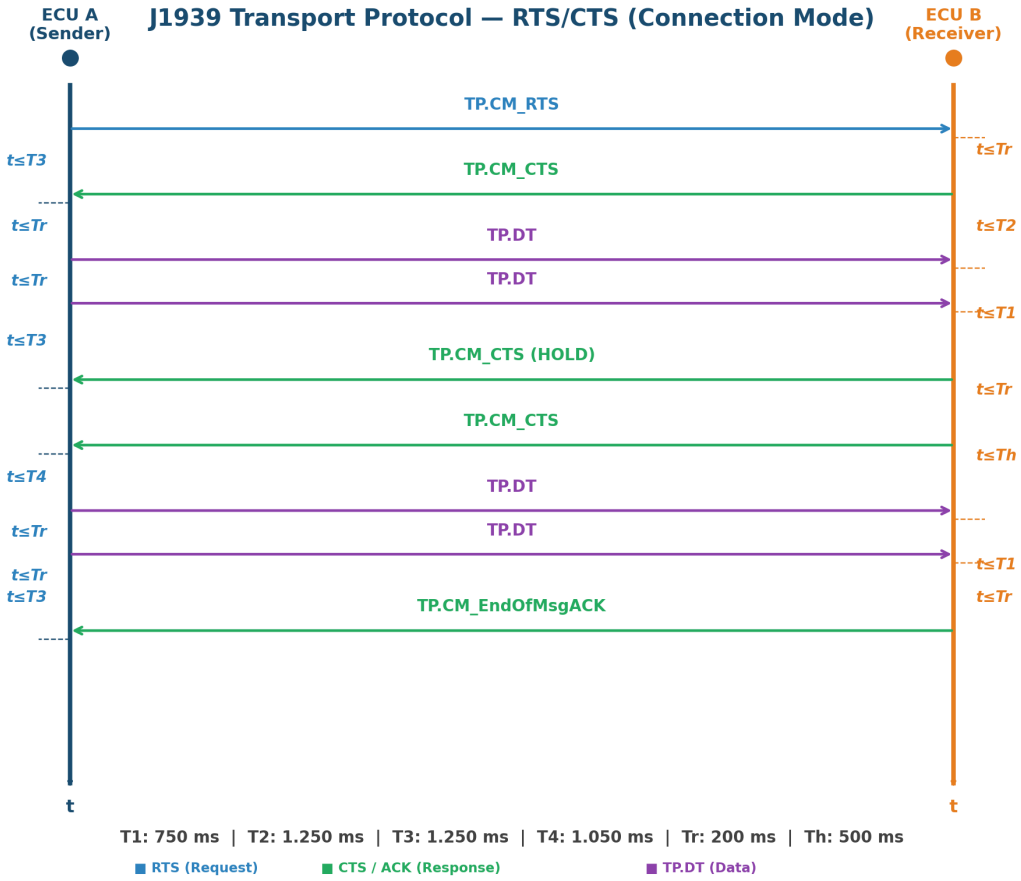
Maksimum mesaj boyutu: 255 × 7 = 1785 bayt

Örnek: 100 baytlık bir mesajın iletilmesi

```
1. Send TP.CM RTS:
   - Total size: 100 bytes
   - Number of packets: ceil(100/7) = 15
   - PGN: 0x00FF00 (example)

2. Receive TP.CM CTS:
   - Number of packets allowed: 1-255
   - Next packet: 1

3. Send TP.DT packets 1-15:
   - Each packet: 7 bytes (except last may have less)
   - Packet 15: only 2 bytes (100 - 14×7 = 2)

4. Receive TP.CM Mesaj Sonu Onayı
```

Bağlantı Modu Taşıma Protokolü Dizisi:

1. Gönderici → Alıcı: TP.CM RTS (Gönderme Talebi)
2. Alıcı → Gönderici: TP.CM CTS (Göndermeye Hazır)
3. Gönderici → Alıcı: TP.DT #1 (Veri Aktarım Paketi 1)
4. Gönderici → Alıcı: TP.DT #2 (Veri Aktarım Paketi 2)
5. Tüm paketler gönderilene kadar devam...
6. Receiver → Sender: TP.CM EOM (Mesaj Sonu Onayı)



Şekil 7-1 *J1939 RTS/CTS Bağlantı Modu — Zaman Aşımı Değerleri ile Tam Dizi*

RTS/CTS Zaman Aşımı Parametreleri

J1939-21 standardı, RTS/CTS el sıkışmasının her aşaması için katı zaman aşımı değerleri tanımlar. Bu zaman aşımlarının ihlali bağlantının iptaline neden olur:

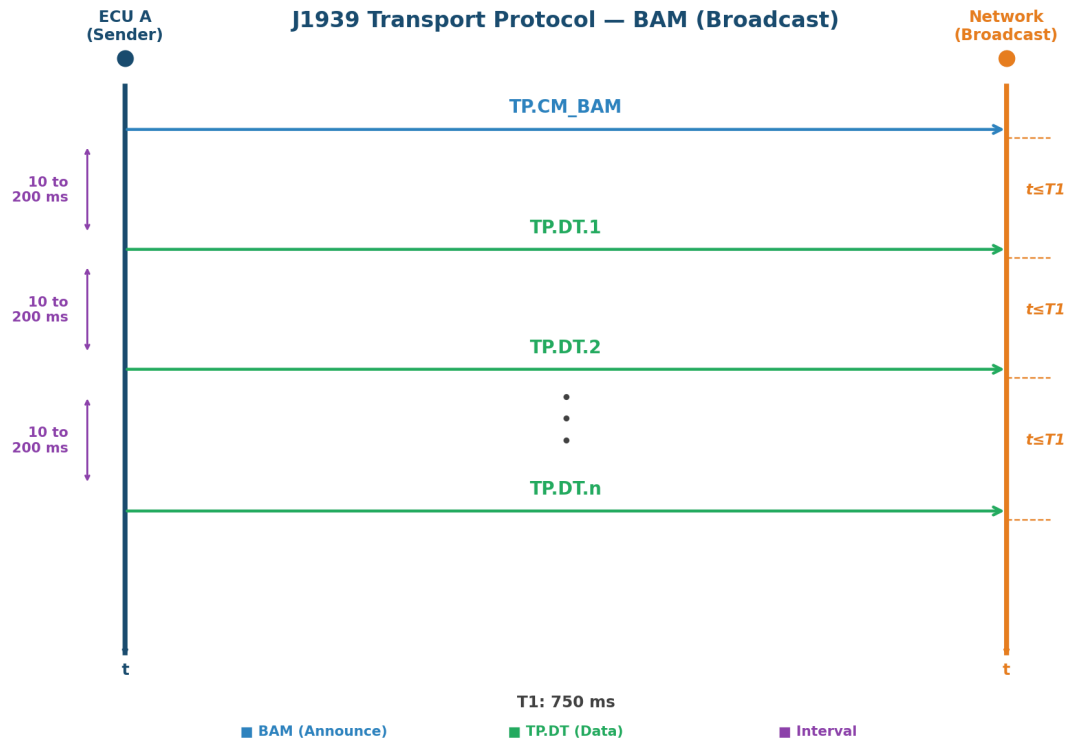
Tablo 7-2 J1939 Taşıma Protokolü Zaman Aşımı Değerleri

Zaman Aşımı	Değer	İzleyen	Açıklama
T1	750 ms	Alıcı	Ardışık TP.DT paketleri arasındaki maksimum bekleme
T2	1250 ms	Alıcı	CTS gönderdikten sonra ilk TP.DT'nin gelmesi için maksimum bekleme süresi
T3	1250 ms	Gönderici	RTS veya son TP.DT gönderdikten sonra CTS yanıtı için maksimum bekleme süresi
T4	1050 ms	Gönderici	CTS(HOLD) aldıktan sonra CTS için maksimum bekleme süresi
Tr	200 ms	Her ikisi	Protokol mesajları için maksimum yanıt süresi
Th	500 ms	Alıcı	Bekleme zaman aşımı — alıcının göndericiden beklemesini isteyebileceği süre

CTS BEKLEME Mekanizması

Alıcı, "paket sayısı = 0" (CTS HOLD) ile bir CTS göndererek veri aktarımını geçici olarak duraklatabilir. Bu, göndericiye bağlantıyı iptal etmeden beklemesi sinyalini verir. Alıcı bunu dahili arabellekleri dolduğunda veya işleme geçici olarak engellendiğinde kullanır. Gönderici, iptal etmeden önce yeni bir CTS için T4'e (1050 ms) kadar bekler.

BAM Sıralama Diyagramı



Şekil 7-2 *J1939 BAM (Yayın Duyuru Mesajı) — Zamanlama ile Dizi*

Taşıma Protokolü Zamanlaması

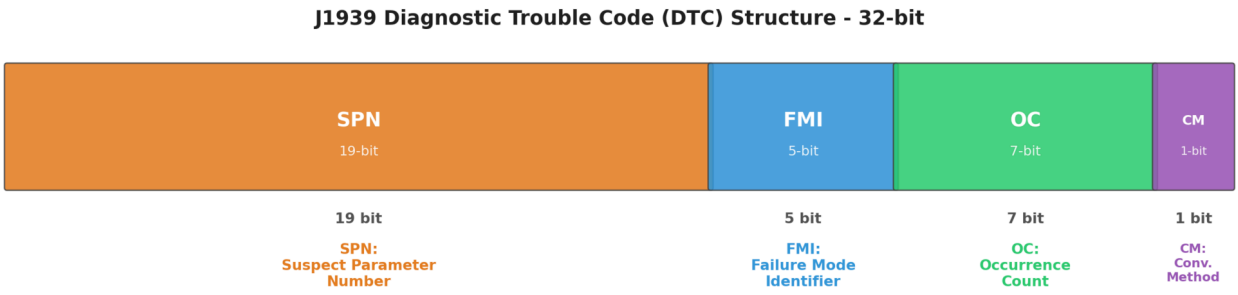
BAM modunda, verici TP.DT paketlerini 10 ile 200 ms aralıklarla gönderir. Alıcı ardışık paketler arasında T1'i (750 ms) izler — T1 içinde paket gelmezse aktarım başarısız sayılır. RTS/CTS modunda gönderici CTS beklerken T3'ü (1250 ms), alıcı ise TP.DT paketleri arasında T1'i (750 ms) ve CTS gönderdikten sonra ilk TP.DT'yi almadan önce T2'yi (1250 ms) izler.

Bölüm 8: J1939 Tanılama (Diagnostics)

J1939, standartlaştırılmış Tanılama Mesajı (DM) PGN'leri ve yapılandırılmış Arıza Teşhis Kodu (DTC) formatı aracılığıyla kapsamlı tanılama yetenekleri sağlar. Tanılama sistemi, tüm araç sistemlerinde arıza tespiti, raporlama ve temizleme işlevlerini mümkün kılar.

8.1 DTC Yapısı

J1939 Arıza Teşhis Kodları (DTC), tespit edilen arızalar hakkında ayrıntılı bilgi sağlayan standartlaştırılmış bir format izler.



Şekil 8-1 *J1939 Tanılama Arıza Kodu (DTC) Yapısı - 32-bit*

8.2 SPN-FMI-OC-CM

DTC dört alandan oluşur:

Tablo 8-1 DTC Alan Açıklamaları

Alan	Bit	Açıklama
SPN (Şüpheli Parametre Numarası)	19	Arızalı olan belirli parametreyi tanımlar (0-524287)
FMI (Arıza Modu Tanımlayıcı)	5	Algılanan arıza türü (0-31)
OC (Oluşum Sayısı)	7	Arıza oluşum sayısı (0-126, 127=kullanılamaz)
CM (Dönüşüm Yöntemi)	1	SPN dönüşüm yöntemi (0=yöntem 1, 1=yöntem 2)

DTC Kodlaması

$$DTC = (SPN \ll 13)|(FMI \ll 8)|(OC \ll 1)|CM$$

Yaygın FMI Değerleri

Tablo 8-2 Yaygın Arıza Modu Tanımlayıcıları (FMI)

FMI	Açıklama	Tipik Neden
0	Veri Geçerli Ama Normal Aralığın Üzerinde	Sensör okuması çok yüksek
1	Veri Geçerli Ama Normal Aralığın Altında	Sensör okuması çok düşük
2	Veri Düzensiz, Kesintili veya Yanlış	Kararsız sinyal
3	Gerilim Normal Üzerinde veya Yükseğe Kısa Devre	Güce kısa devre
4	Gerilim Normal Altında veya Düşüğe Kısa Devre	Toprağa kısa devre
5	Akım Normal Altında veya Açık Devre	Açık devre, kopuk kablo
6	Akım Normal Üzerinde veya Topraklama Devresi	Kısa devre
7	Mekanik Sistem Yanıt Vermiyor	Aktüatör arızası
8	Anormal Frekans veya Darbe Genişliği	Sinyal girişimi
9	Anormal Güncelleme Hızı	İletişim arızası
10	Anormal Değişim Hızı	Hızlı sinyal değişimi
11	Kök Neden Bilinmiyor	Bilinmeyen arıza
12	Arızalı Akıllı Cihaz veya Bileşen	Bileşen arızası
13	Kalibrasyon Dışı	Kalibrasyon gerekli
14	Özel Talimatlar	Servis kılavuzuna bakın
15	Veri Geçerli Ama Normal Aralığın Üzerinde (Least Severe)	Uyarı eşiği
16	Veri Geçerli Ama Normal Aralığın Üzerinde (Ortaly Severe)	Kritik eşik
17	Veri Geçerli Ama Normal Aralığın Altında (Least Severe)	Uyarı eşiği
18	Veri Geçerli Ama Normal Aralığın Altında (Ortaly Severe)	Kritik eşik
31	Koşul Mevcut	Genel koşul

8.3 DM Mesajları

Tanılama Mesajları (DM), tanılama iletişimi için kullanılan PGN'lerdir. DTC'lerin okunmasını, arızaların temizlenmesini ve tanılama verilerine erişimi sağlarlar.

Tablo 8-3 Common J1939 Tanılama Mesajları (DM)

DM	PGN	Ad	Açıklama
DM1	65226 (0x00FECA)	Aktif Tanılama Arıza Kodları	Aktif DTC'leri yayınlar
DM2	65227 (0x00FECB)	Önceden Aktif DTC'ler	Artık aktif olmayan DTC'ler
DM3	65228 (0x00FECC)	Clear Önceden Aktif DTC'ler	DM2 DTC'lerini temizleme komutu
DM4	65229 (0x00FECD)	Dondurulmuş Çerçeve Parametreleri	Arıza anındaki parametre anlık görüntüleri
DM5	65230 (0x00FECE)	Tanılama Hazırlık	İzleme hazırlık durumu
DM6	65231 (0x00FECF)	Bekleyen DTC'ler	Aralıklı arızalar
DM11	65235 (0x00FED3)	Aktif DTC'leri Temizle	DM1 DTC'lerini temizleme komutu
DM19	54016 (0x00D300)	Kalibrasyon Bilgisi	ECU kalibrasyon detayları
DM21	49408 (0x00C100)	MIL Durumu	Arıza Gösterge Lambası

DM1 Aktif DTC'ler Formatı

```
Byte 0: Protect Lamp Durum / Amber Uyarı Lamp
Byte 1: Red Stop Lamp / Arıza Gösterge Lambası
Byte 2-5: DTC #1 (SPN-FMI-OC-CM)
Byte 6-9: DTC #2 (SPN-FMI-OC-CM)
Byte 10-13: DTC #3 (SPN-FMI-OC-CM)
Byte 14-17: DTC #4 (SPN-FMI-OC-CM)
Byte 18-21: DTC #5 (SPN-FMI-OC-CM)
```

> **DM1 Yayın Hızı**
>
> Aktif DTC'ler mevcut olduğunda DM1 her 1 saniyede yayınlanır. Aktif DTC olmadığında, DM1 lamba durumu 0x00 ile ve DTC'siz olarak her 10 saniyede yayınlanır.

Bölüm 9: Otomotiv Tanılama — OBD-II ve UDS

Araç Üstü Tanılama (OBD) ve Birleşik Tanılama Servisleri (UDS), otomotiv uygulamalarında kullanılan iki temel tanılama protokolüdür. OBD-II, emisyonla ilgili tanılama için zorunludur; UDS (ISO 14229) ise tüm üreticiye özel tanılama, programlama ve kalibrasyon işlevleri için kapsamlı bir çerçeve sağlar.

9.1 OBD-II Protokolü

OBD-II (Araç Üstü Tanılama II), Amerika Birleşik Devletleri (EPA), Avrupa Birliği (EOBD) ve diğer bölgelerdeki düzenlemelerle zorunlu kılınmış standartlaştırılmış bir sistemdir. Emisyonla ilgili tanılama bilgilerine erişim sağlar.

OBD-II Konnektörü (J1962)

OBD-II sistemi, gösterge panelinin altında sürücü koltuğunun erişim mesafesinde bulunan **SAE J1962** 16 pinli tanı bağlantı konnektörünü (DLC) kullanır. Temel CAN bus pinleri:

Tablo 9-1 OBD-II (J1962) Konnektör CAN İlişkili Pinler

Pin	İşlev	Notlar
4	Şasi Toprak	Araç şasi toprak referansı
5	Sinyal Toprak	Sinyal referans toprağı
6	CAN Yüksek (CAN_H)	Yüksek hızlı CAN bus — sarı kablo
14	CAN Düşük (CAN_L)	Yüksek hızlı CAN bus — yeşil kablo
16	Akü Pozitif (+12V)	Kalıcı akü gücü, her zaman açık

> **OBD-II Araç Uyumluluğu**
>
> CAN üzerinden OBD-II (ISO 15765-4) şunlar için zorunludur: **ABD** — 2008+ model yılı tüm araçlar; **AB** — 2001+ benzinli otomobiller (EOBD) ve 2004+ dizel otomobiller. Eski araçlar farklı DLC pinleri kullanan diğer OBD-II taşıma protokollerini (ISO 9141-2, SAE J1850 VPW/PWM, ISO 14230 KWP2000) kullanabilir. CAN bus yalnızca pin 6 ve 14'ü kullanır.

OBD-II Tanılama Modları (Servisler)

Tablo 9-2 OBD-II Tanılama Modları

Mod	Hex	Açıklama
01	0x01	Güncel Güç Aktarma Tanılama Verileri (PID 00-FF)
02	0x02	Güç Aktarma Dondurulmuş Çerçeve Verileri
03	0x03	Emisyonla İlgili Tanılama Arıza Kodları
04	0x04	Emisyonla İlgili Tanılama Bilgileri Temizle/Sıfırla
05	0x05	Oksijen Sensörü İzleme Test Sonuçları
06	0x06	Araç Üstü İzleme Test Sonuçları
07	0x07	Bekleyen DTC'ler (Mevcut Sürüş Döngüsünde Algılanan)
08	0x08	Araç Üstü Sistem/Test Kontrolü
09	0x09	Araç Bilgisi (VIN, Kalibrasyon ID'leri)
0A	0x0A	Kalıcı DTC'ler (Emisyonla ilgili, temizlenemez)

OBD-II DTC Formatı

OBD-II DTC'leri standartlaştırılmış bir formatı izleyen 2 baytlık kodlardır:

```
P0XXX - Powertrain (ISO/SAE controlled)
P1XXX - Powertrain (Manufacturer controlled)
B0XXX - Body (ISO/SAE controlled)
B1XXX - Body (Manufacturer controlled)
C0XXX - Chassis (ISO/SAE controlled)
C1XXX - Chassis (Manufacturer controlled)
U0XXX - Network (ISO/SAE controlled)
U1XXX - Network (Manufacturer controlled)
```

9.2 UDS Protokolü

Birleşik Tanılama Servisleri (ISO 14229), OBD-II ile kullanılan üreticiye özel protokollerin yerine geçen kapsamlı bir tanılama protokolüdür. UDS, tüm tanılama, programlama ve kalibrasyon işlevleri için standartlaştırılmış bir çerçeve sağlar.

UDS Protokol Yığını

Tablo 9-3 UDS Protokol Yığını

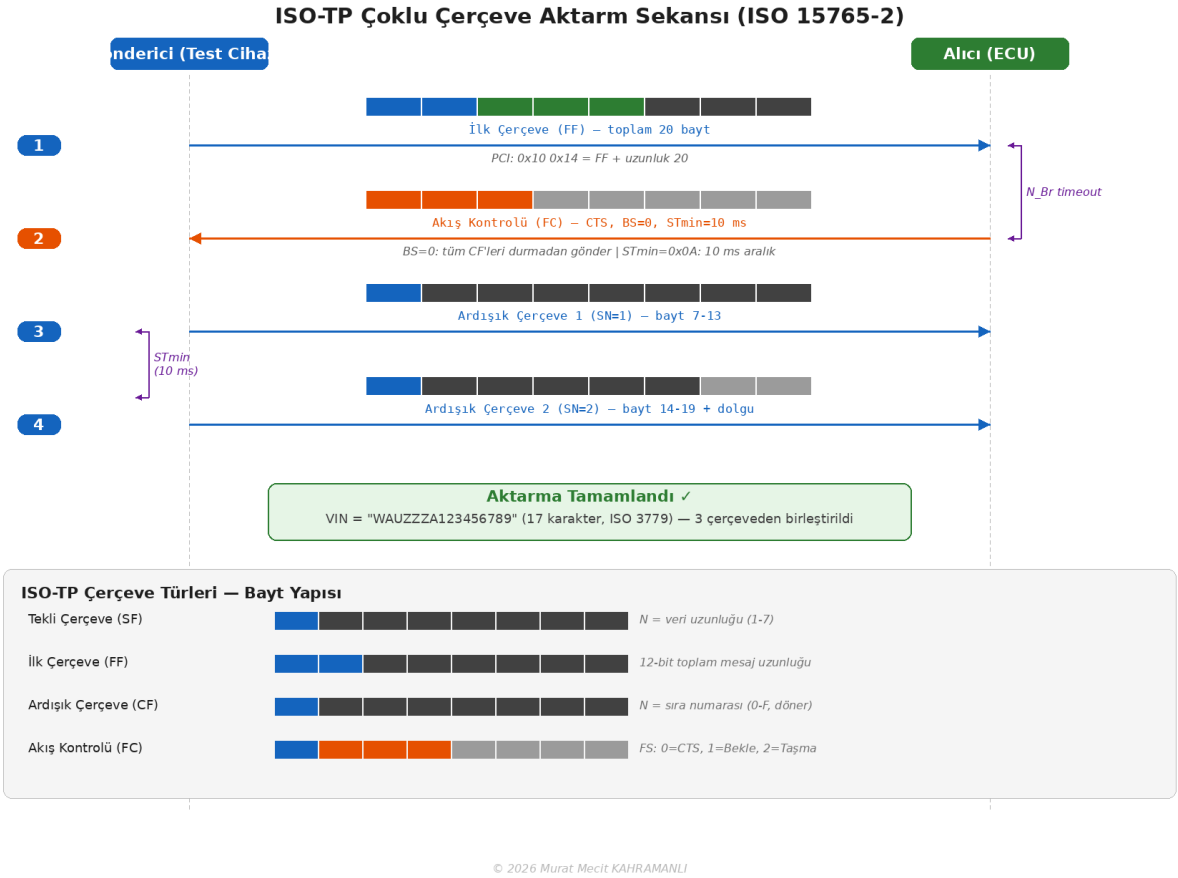
Katman	Standart	Açıklama
Uygulama	ISO 14229 (UDS)	Tanılama hizmetler ve fonksiyonlar
Taşıma	ISO 15765-2 (ISO-TP)	Çok çerçeveli mesaj taşıma
Ağ	ISO 15765-3	Ağ katmanı hizmetleri
Veri Bağlantısı	ISO 11898-1 (CAN)	CAN çerçeve iletimi
Fiziksel	ISO 11898-2 (CAN)	Fiziksel sinyalleşme

ISO-TP Taşıma Katmanı (ISO 15765-2)

CAN FD) veya 8 baytı (Klasik CAN) aşan UDS mesajları, ISO-TP (ISO 15765-2) taşıma protokolü kullanılarak bölümlenmelidir. ISO-TP, çok çerçeveli iletişim için dört çerçeve türü tanımlar:

Tablo 9-3a ISO-TP Çerçeve Türleri

Çerçeve Türü	PCI Baytı	Açıklama	Maks. Yük
Tek Çerçeve (SF)	0x0N (N = data length)	Tek çerçevede tamamlanmış mesaj	7 bytes (CAN) / 62 bytes (CAN FD)
İlk Çerçeve (FF)	0x1N NN (12-bit length)	Çok çerçeveli mesajın ilk segmenti	6 bytes (CAN) / 61 bytes (CAN FD)
Ardışık Çerçeve (CF)	0x2N (N = sequence number)	Sonraki segmentler (SN 0–F arası döner)	7 bytes (CAN) / 63 bytes (CAN FD)
Akış Kontrolü (FC)	0x30 [FS] [BS] [STmin]	Alıcı, göndericinin iletim hızını kontrol eder	N/A



Şekil 9-1 *ISO-TP Çok Çerçeveli Transfer Sırası (ISO 15765-2)*

Akış Kontrolü Parametreleri

Blok Boyutu (BS): Göndericinin bir sonraki FC'yi beklemeden önce iletebileceği ardışık çerçeve sayısı. BS = 0 sınır yok demektir (tüm CF'leri duraklamadan gönder).

STmin: Ardışık çerçeveler arasındaki minimum ayırma süresi. 0x00–0x7F değerleri 0–127 ms'yi; 0xF1–0xF9 değerleri 100–900 µs'yi temsil eder. STmin = 0 mümkün olan en hızlı gönderim demektir.

Akış Durumu (FS): 0 = Göndermeye Devam (CTS), 1 = Bekle, 2 = Taşma (iptal).

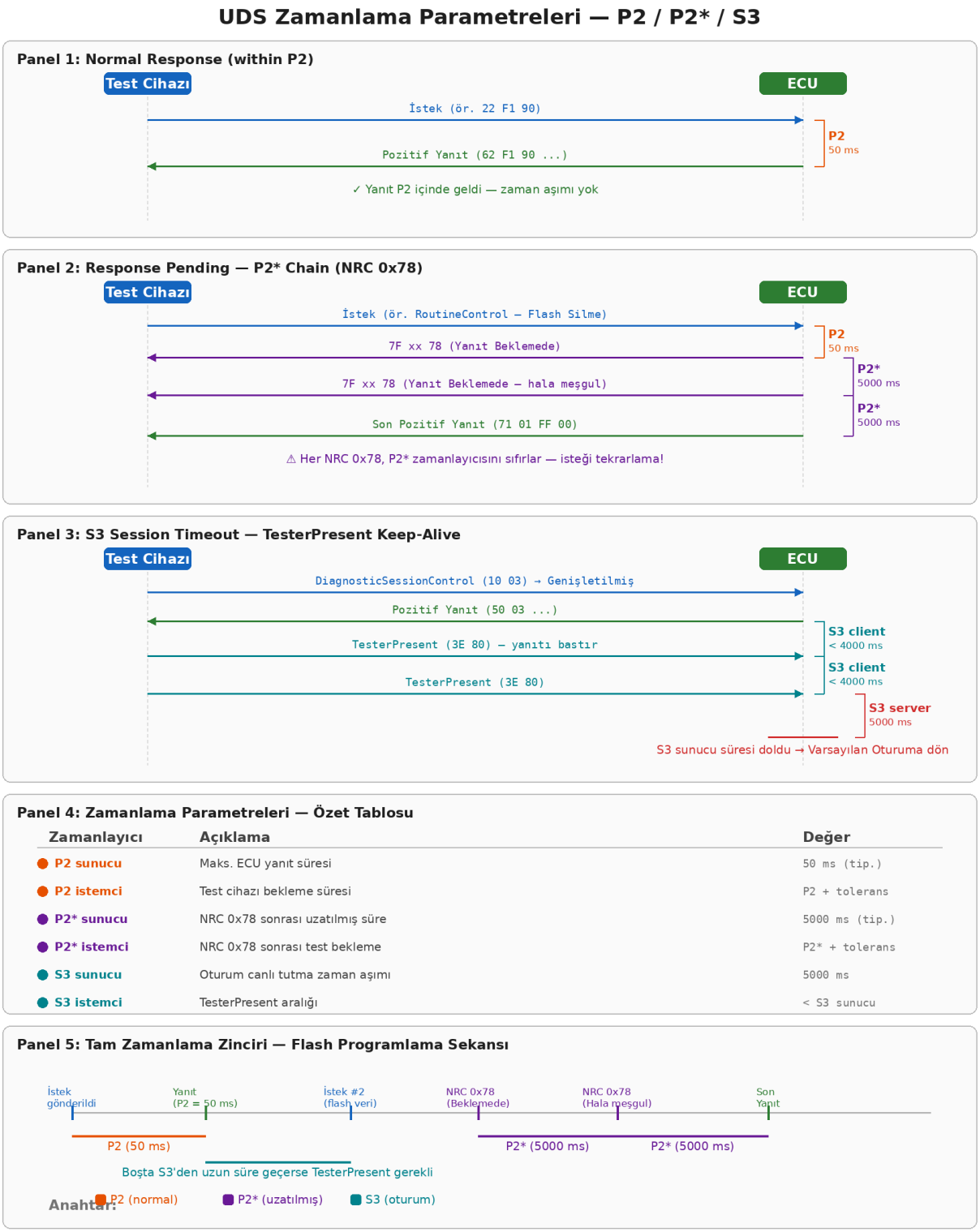
UDS Zamanlama Parametreleri

ISO 14229 ve ISO 15765-3, UDS iletişimini yöneten katı zamanlama kısıtlamaları tanımlar. Bu zamanlayıcıların doğru uygulanması, güvenilir tanılama davranışı için kritiktir:

Tablo 9-3b UDS Zamanlama Parametreleri (ISO 14229 / ISO 15765-3)

Parametre	Açıklama	Varsayılan Değer	Genişletilmiş Değer
$P2_{server}$	Bir istek aldıktan sonra ECU'nun yanıt başlatması için maksimum süre	50 ms	—
$P2^*_{server}$	NRC 0x78 (Yanıt Beklemede) gönderdikten sonra ECU'nun yanıt başlatması için maksimum süre	5000 ms	—
$P2_{client}$	Test cihazının ECU'dan yanıt bekleme zaman aşımı	50 ms + tolerance	—
$P2^*_{client}$	NRC 0x78 aldıktan sonra test cihazı zaman aşımı	5000 ms + tolerance	—
$S3_{server}$	Oturum zaman aşımı — istek alınmazsa ECU Varsayılan Oturuma döner	5000 ms	—
$S3_{client}$	Test cihazı bu zamanlayıcı dolmadan TesterPresent göndermeli	$< S3_{server}$ (e.g., 4000 ms)	—

> **P2* Zaman Aşımı Zinciri**
>
> Bir ECU NRC 0x78 (Yanıt Beklemede) gönderdiğinde, test cihazı zaman aşımını P2*'a sıfırlamalı ve beklemeye devam etmeli — **yeniden denememelidir**. ECU, son pozitif veya negatif yanıttan önce birden fazla NRC 0x78 yanıtı gönderebilir. Her NRC 0x78, P2* zamanlayıcısını sıfırlar. Yaygın bir uygulama hatası, NRC 0x78'i başarısızlık olarak yorumlamak ve isteği yeniden denemektir; bu, flash programlama sırasında yinelenen isteklere ve olası veri bozulmasına neden olur.



Şekil 9-2 *UDS Zamanlama Parametreleri — P2, P2* ve S3 Senaryoları*

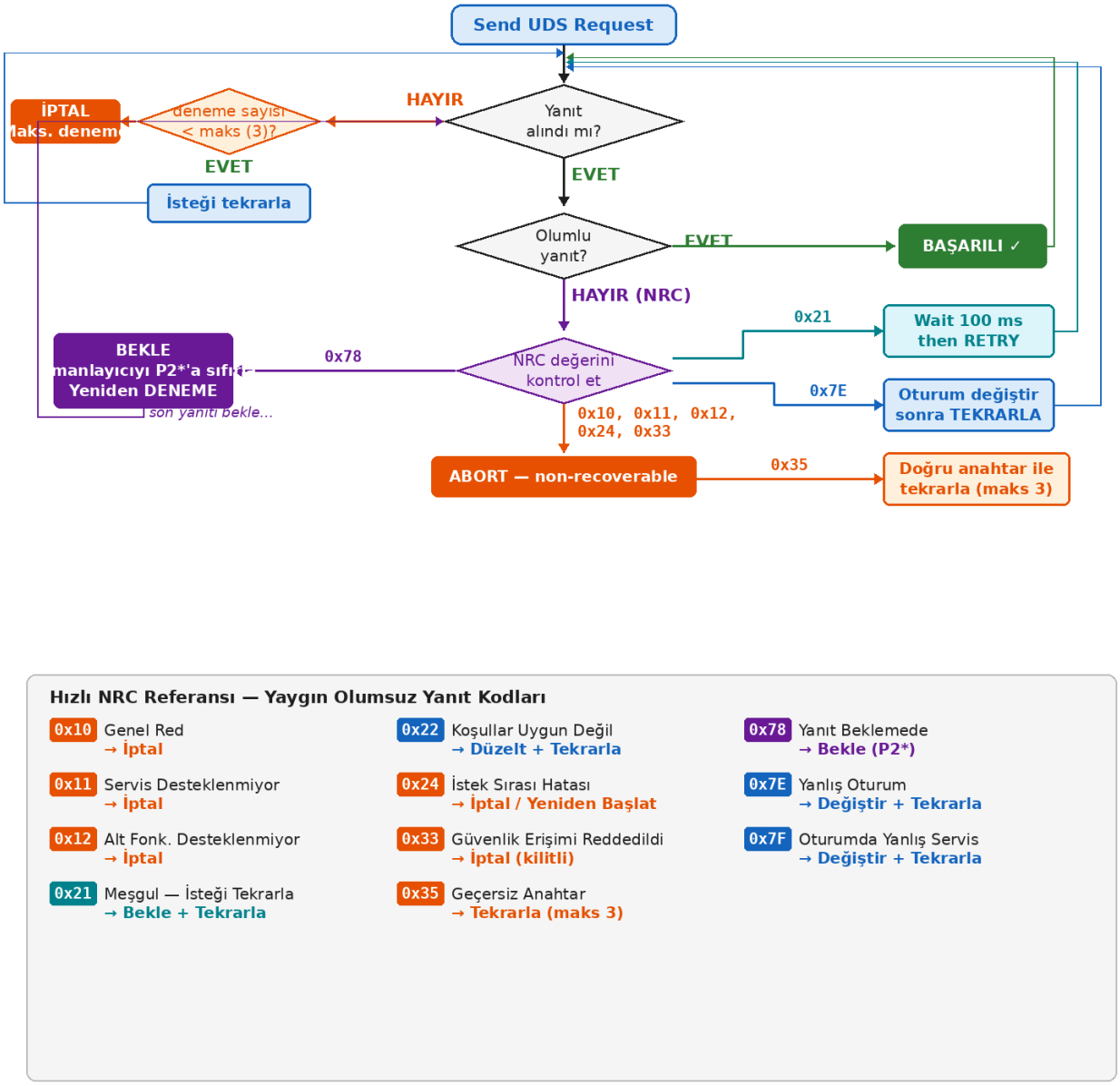
UDS Hata Yönetimi ve Yeniden Deneme Stratejisi

Sağlam UDS uygulamaları, kurtarılabilir ve kurtarılamaz hatalar arasında ayrım yapmalıdır. Yeniden deneme davranışı tamamen alınan Negatif Yanıt Koduna (NRC) — veya herhangi bir yanıt alınmamasına — bağlıdır:

Tablo 9-3c UDS Hata Yönetimi — NRC Tabanlı Yeniden Deneme Stratejisi

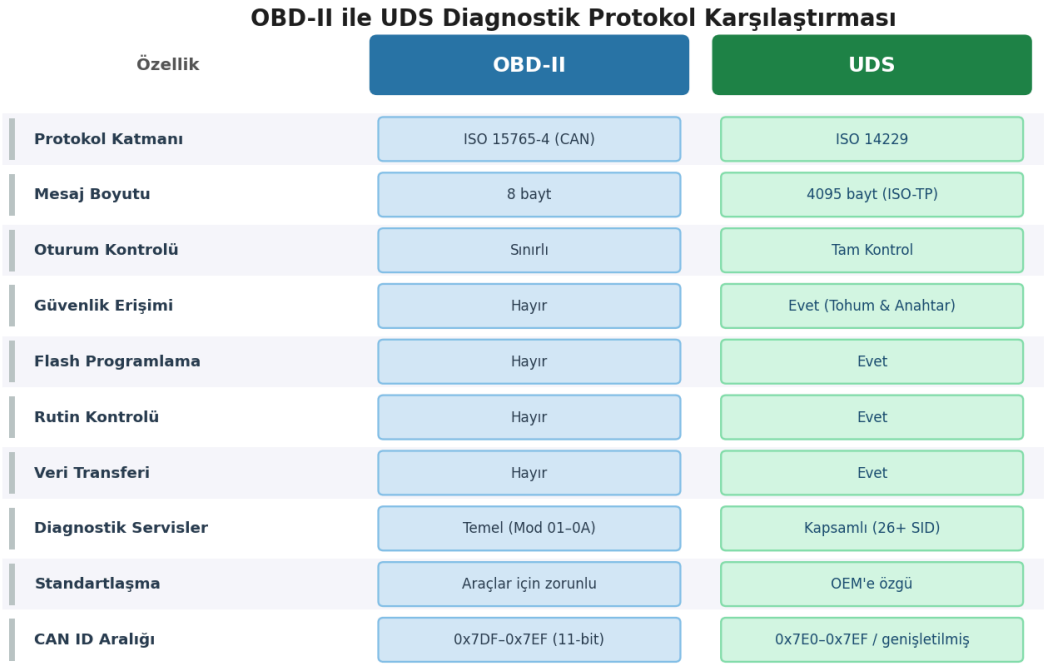
Koşul	NRC / Davranış	Test Cihazı Eylemi	Maks. Deneme
Yanıt yok (zaman aşımı)	P2 süresi dolar, çerçeve alınmaz	Aynı isteği yeniden dene	3
Yanıt Beklemede	0x78	**Bekle** (zamanlayıcıyı P2*'a sıfırla), yeniden deneME	Geçersiz (son yanıta kadar bekle)
Meşgul — İsteği Tekrarla	0x21	Kısa süre bekle, sonra yeniden dene	3
Koşullar Doğru Değil	0x22	Ön koşulları kontrol et, düzelt, sonra yeniden dene	1 (manuel)
Servis Desteklenmiyor	0x11	**İptal** — ECU bu servisi desteklemiyor	0
Alt Fonksiyon Desteklenmiyor	0x12	**İptal** — geçersiz alt fonksiyon	0
Güvenlik Erişimi Reddedildi	0x33	**İptal** — güvenlik kilitli, gecikme zamanlayıcısını bekleyin	0
Geçersiz Anahtar	0x35	Doğru anahtarla yeniden dene (deneme sayacını azalt)	Tipik olarak kilitleme öncesi 3
İstek Sıra Hatası	0x24	**İptal** — sırayı baştan yeniden başlatın	0
Genel Red	0x10	**İptal** — kurtarılamaz	0
Yanlış Oturum	0x7E (serviceNotSupportedInActiveSession)	Önce oturumu değiştir (0x10), sonra yeniden dene	1 (oturum değişikliğinden sonra)

```
UDS Retry Logic — Pseudocode:

function uds_request(service, data, max_retries=3):
    for attempt in 1..max_retries:
        send(service, data)
        response = wait_response(timeout=P2)

        if response == TIMEOUT:
            continue                    // retry

        if response == POSITIVE:
            return response             // success

        nrc = response.nrc
        if nrc == 0x78:                 // Yanıt Beklemede
            while True:
                response = wait_response(timeout=P2_star)
                if response != NRC_0x78:
                    return response     // final answer

        if nrc == 0x21:                 // Busy — Repeat Request
            wait(100 ms)
            continue                    // retry

        if nrc in [0x10, 0x11, 0x12, 0x24, 0x33]:
            return ERROR(nrc)           // non-recoverable → abort

        if nrc == 0x7E:                 // Wrong session
            switch_session(required_session)
            continue                    // retry once

    return ERROR(MAX_RETRIES_EXCEEDED)
```



Şekil 9-3 *UDS Hata Yönetimi — NRC Tabanlı Yeniden Deneme Stratejisi Akış Şeması*

9.3 Protokol Karşılaştırması



Şekil 9-4 *OBD-II ile UDS Tanılama Protokolü Karşılaştırması*

Tablo 9-4 Ayrıntılı OBD-II ile UDS Karşılaştırması

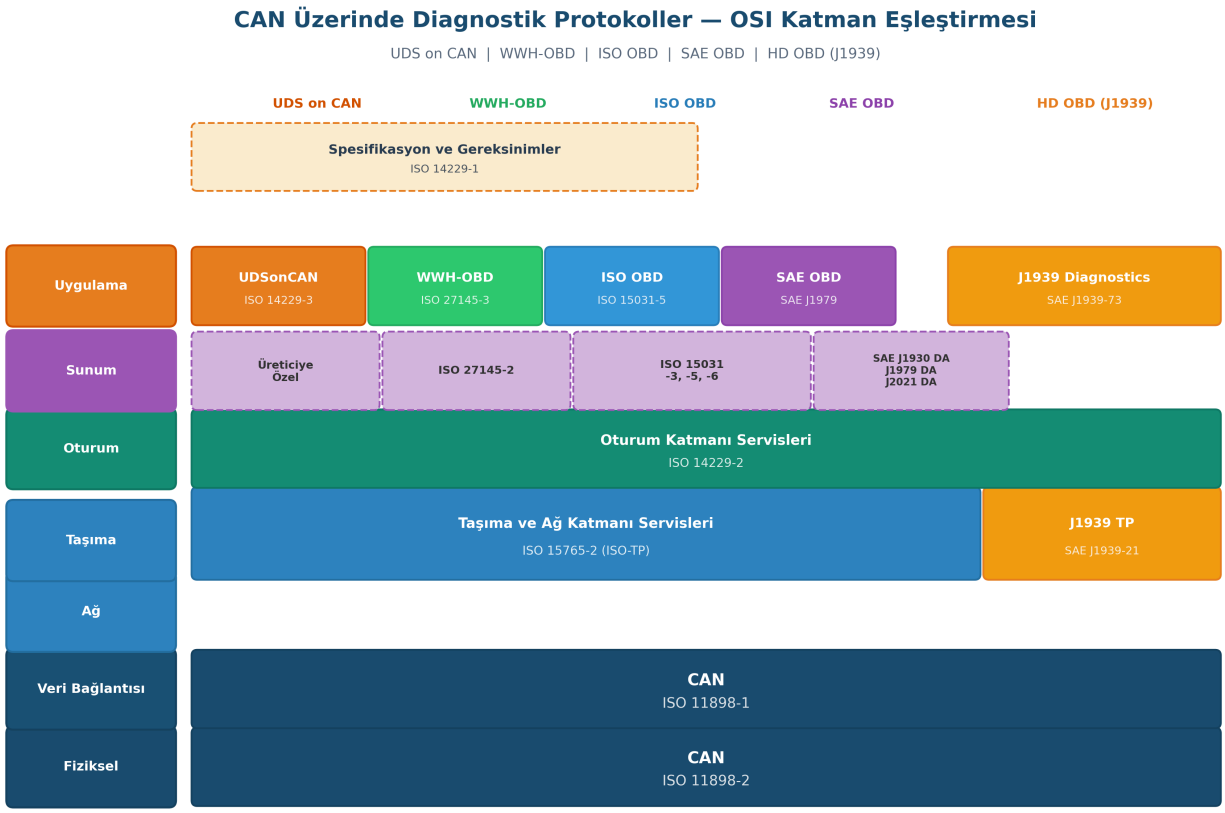
Özellik	OBD-II	UDS
Standart	SAE J1979, ISO 15031-5	ISO 14229
Zorunlu	Evet (emisyonla ilgili)	Hayır (üreticiye özgü)
Fiziksel Katman	ISO 15765-4 (CAN), ISO 9141-2, SAE J1850	CAN, LIN, FlexRay, Ethernet
Maks Veri Uzunluğu	Çerçeve başına 7 bayt (TP ile 255)	4095 bayt (ISO-TP)
Oturum Kontrolü	Sınırlı	Tam oturum yönetimi
Güvenlik Erişimi	Tanımlanmamış	Seed/Key kimlik doğrulama
Flash Programlama	Desteklenmiyor	Tam destek
Servis Sayısı	10 mod	26+ servis
Üretici Uzantıları	Sınırlı	Kapsamlı

Düzenleyici Bağlam

OBD-II, emisyonla ilgili tanı için yasal olarak zorunludur ve düzenlenen pazarlarda satılan tüm araçlar tarafından desteklenmelidir. UDS zorunlu değildir ancak üreticiye özgü tanı için fiili standart haline gelmiştir ve UNECE WP.29 düzenlemeleri kapsamında Avrupa'da araç tipi onayı için gereklidir.

9.4 Tanılama Protokol Standartları — OSI Katman Eşlemesi

Tüm CAN tabanlı tanı protokolleri aynı Fiziksel (ISO 11898-2) ve Veri Bağlantı (ISO 11898-1) katmanlarını paylaşır ancak protokol ailesine bağlı olarak daha yüksek OSI katmanlarında ayrışır. Aşağıdaki diyagram ve tablo, beş ana tanı standardının 7 katmanlı OSI modeline nasıl eşlendiğini gösterir:



Şekil 9-5 *CAN Üzerinde Tanılama Protokolleri — OSI Katman Eşlemesi (UDS, WWH-OBD, ISO OBD, SAE OBD, HD OBD)*

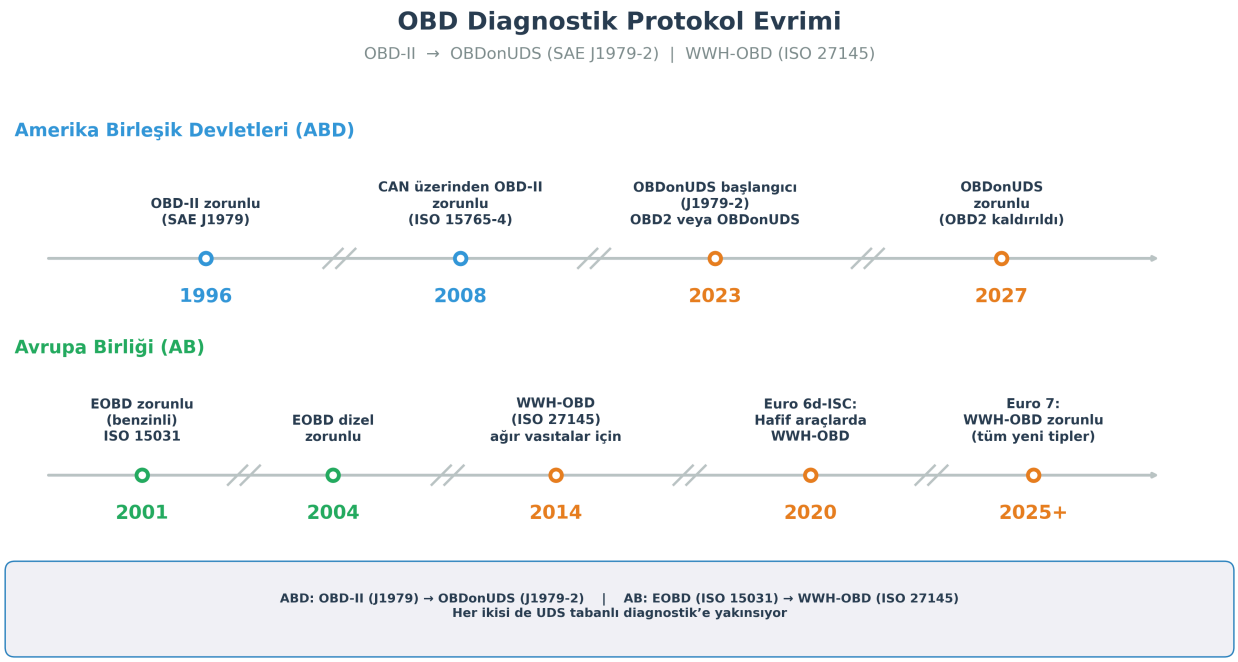
Temel spesifikasyon — **ISO 14229-1**, tüm uygulama katmanı varyantlarının üzerinde yer alan ortak UDS servis spesifikasyonunu ve gereksinimlerini tanımlar. Beş tanı ailesi de taşıma için ISO-TP'de (ISO 15765-2) birleşir; ancak **HD OBD (J1939)**, SAE J1939-21'de tanımlanan kendi taşıma protokolünü kullanır.

CAN Üzerinde UDS vs OBD-II: Ne Zaman Hangi Standart?

OBD-II / EOBD (ISO 15031-5 / SAE J1979) emisyonla ilgili tanılama için zorunludur — tüm araçlar için yasal olarak gereklidir. **UDS** (ISO 14229) her şeyi yönetir: üretici diagnostiği, ECU programlama, flash güncellemeler, kalibrasyon. Pratikte, modern araçlar her ikisini de *aynı anda* destekler — OBD-II servisleri UDS SID'lerine 0x01–0x0A eşlenir ve tam UDS servisleri üreticiye özgü genişletilmiş oturumlarla sağlanır.

9.5 OBDonUDS ve WWH-OBD — Tanılama Protokol Evrimi

Otomotiv sektörü eski OBD-II'den (SAE J1979 / ISO 15031-5) UDS tabanlı emisyon tanısına geçiş yapmaktadır. İki paralel yol mevcuttur: ABD pazarı için **OBDonUDS** (SAE J1979-2) ve AB pazarı için **WWH-OBD** (ISO 27145). Her ikisi de temel olarak UDS'yi (ISO 14229) kullanır ve eski OBD-II'nin tescilli Mode/PID yapısını standart UDS servisleriyle (ReadDataByTanımlayıcı, ReadDTCInformation vb.) değiştirir.



Şekil 9-6 *OBD Tanılama Protokolü Evrimi — ABD (OBDonUDS) ve AB (WWH-OBD) Zaman Çizelgeleri*

ABD Pazarı: OBD-II → OBDonUDS (SAE J1979-2)

AB Pazarı: EOBD → WWH-OBD (ISO 27145)

OBDonUDS ve WWH-OBD ve Eski OBD-II Karşılaştırması

Tablo 9-5 Eski OBD-II vs OBDonUDS vs WWH-OBD

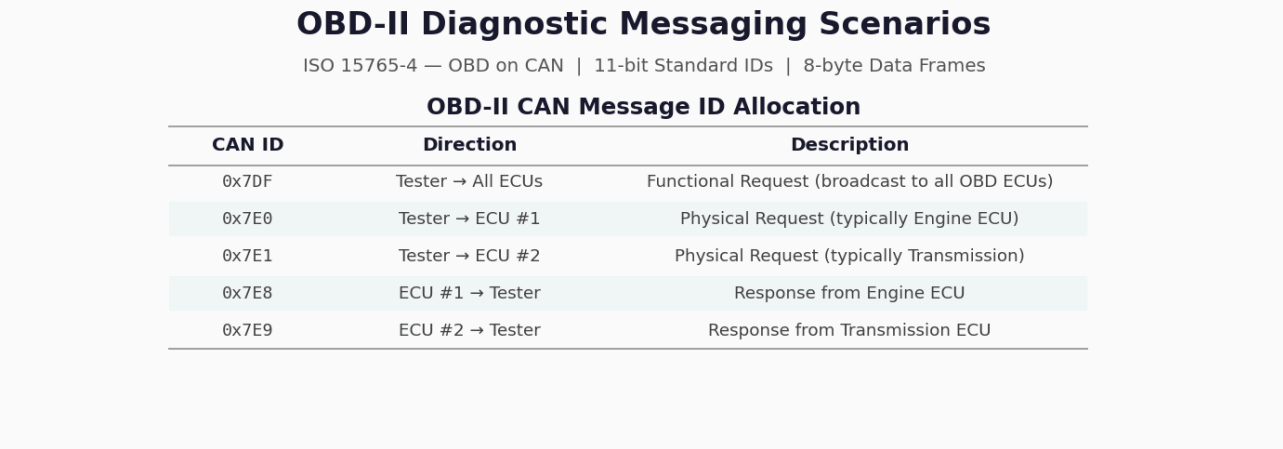
Özellik	OBD-II (Eski)	OBDonUDS (J1979-2)	WWH-OBD (ISO 27145)
Bölge	ABD / AB (eski)	Amerika Birleşik Devletleri	Avrupa Birliği
Uygulama Standardı	SAE J1979 / ISO 15031-5	SAE J1979-2	ISO 27145-3
Temel Protokol	Tescilli Mod/PID	UDS (ISO 14229)	UDS (ISO 14229)
Taşıma Katmanı	ISO 15765-4	ISO 15765-2	ISO 15765-2
Veri Erişimi	Mod + PID (ör. Mod 01, PID 0x0C)	UDS SID + DID (ör. 0x22 + DID)	UDS SID + DID (ör. 0x22 + DID)
DTC Erişimi	Mod 03 (kayıtlı), Mod 07 (bekleyen)	SID 0x19 (ReadDTCInformation)	SID 0x19 (ReadDTCInformation)
Oturum Yönetimi	Tanımlanmamış	Tam UDS oturum kontrolü	Tam UDS oturum kontrolü
Fiziksel Katman	Yalnızca CAN (ISO 15765-4)	CAN, CAN FD, DoIP	CAN, CAN FD, DoIP
Geriye Uyumlu	—	Evet (eski tarama araçları desteklenir)	Evet (eski tarama araçları desteklenir)

Endüstri Yakınsaması

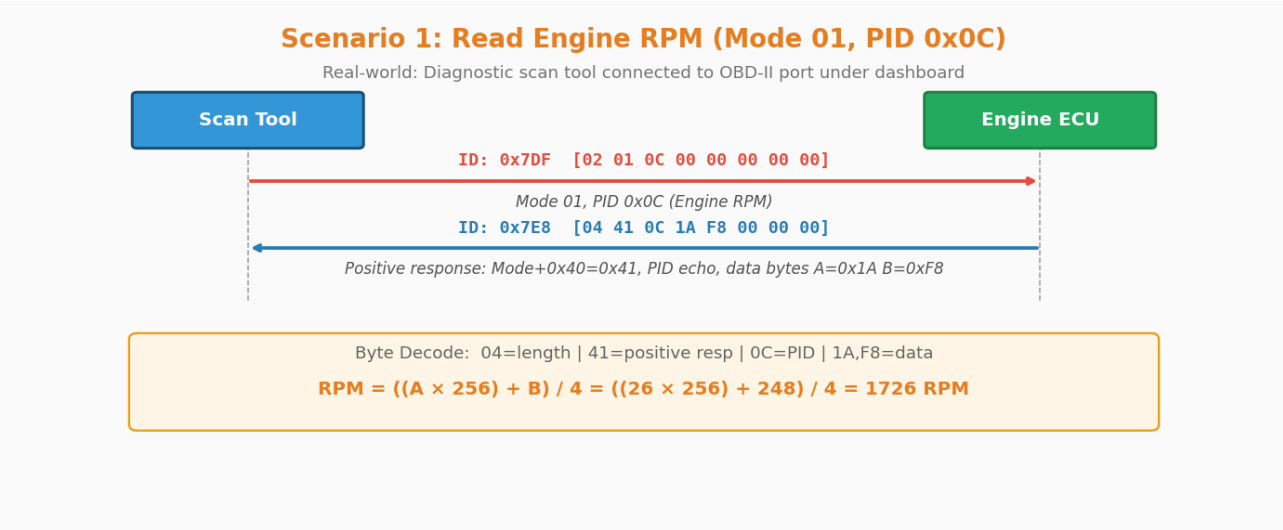
Hem OBDonUDS hem de WWH-OBD, UDS (ISO 14229) üzerine kurulmuştur; bu da otomotiv sektörünün **tek bir tanı çerçevesine** yakınsadığı anlamına gelir. Temel fark düzenleyici kapsamdır: OBDonUDS EPA/CARB düzenlemelerini (ABD) takip ederken, WWH-OBD UNECE WP.29 / Euro 7 düzenlemelerini (AB) takip eder. Mühendisler için bu, UDS uzmanlığının tüm pazarlarda hem emisyon hem de üretici tanısını kapsadığı anlamına gelir.

9.6 OBD-II Mesajlaşma Senaryoları

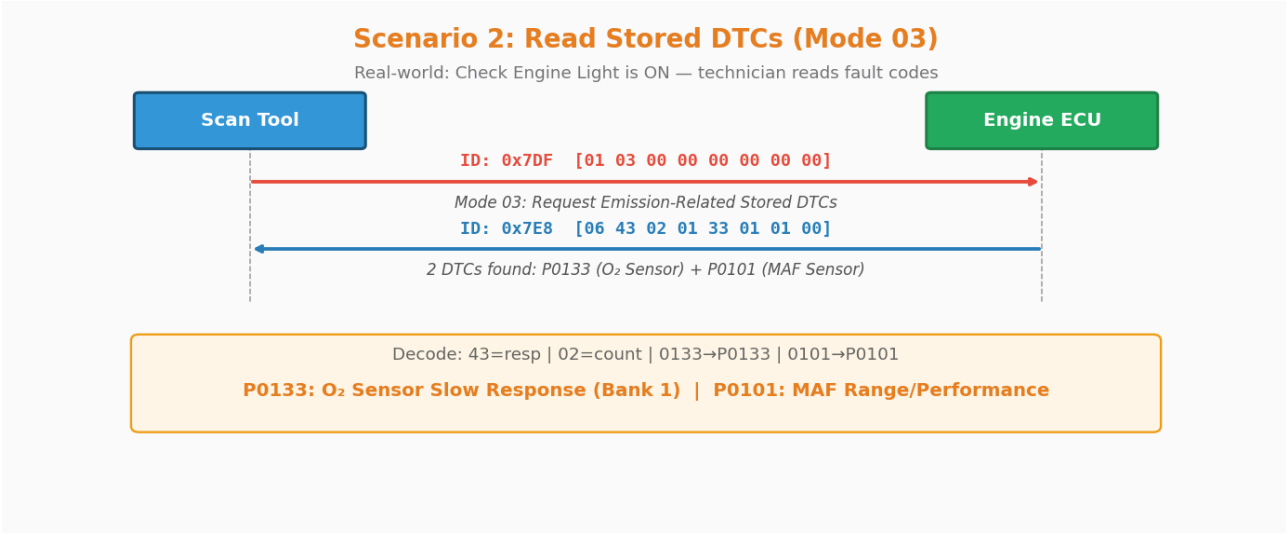
CAN üzerinden OBD-II (ISO 15765-4) standartlaştırılmış 11 bit CAN mesaj ID'leri kullanır. Tanı cihazı, fonksiyonel adres `0x7DF` (tüm ECU'lara yayın) veya fiziksel adresler `0x7E0` – `0x7E7` (belirli ECU'lara hedefli) kullanarak talep gönderir. Her ECU kendisine atanmış yanıt ID'si (`0x7E8` – `0x7EF`) üzerinden yanıt verir.



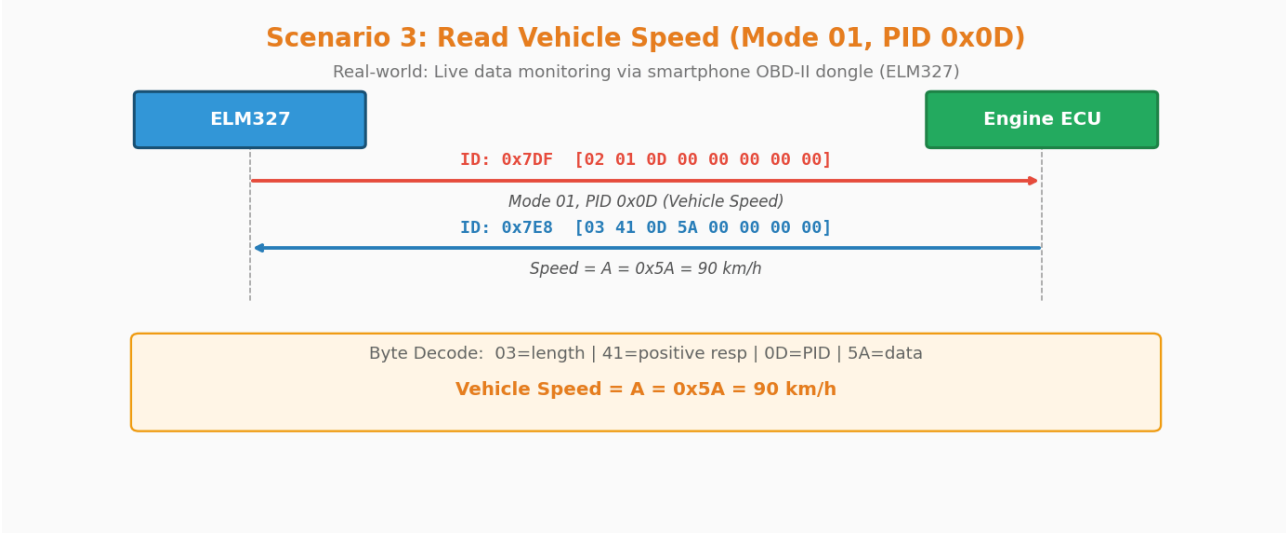
Şekil 9-7 *OBD-II CAN Mesaj Kimliği Tahsisi (ISO 15765-4)*



Şekil 9-8 *Senaryo 1: Motor Devri Okuma — Mod 01, PID 0x0C*



Şekil 9-9 *Senaryo 2: Kayıtlı DTC'leri Okuma — Mod 03*



Şekil 9-10 *Senaryo 3: Araç Hızı Okuma — Mod 01, PID 0x0D*

Commonly Used OBD-II PIDs (Mode 01)

PID	Parameter	Formula	Unit	Bytes
0x04	Engine Load	A × 100 / 255	%	1
0x05	Coolant Temperature	A − 40	°C	1
0x0C	Engine RPM	(A×256 + B) / 4	RPM	2
0x0D	Vehicle Speed	A	km/h	1
0x0F	Intake Air Temperature	A − 40	°C	1
0x10	MAF Air Flow Rate	(A×256 + B) / 100	g/s	2
0x11	Throttle Position	A × 100 / 255	%	1
0x2F	Fuel Tank Level	A × 100 / 255	%	1

Şekil 9-11 *Yaygın Kullanılan OBD-II PID'leri (Mod 01) Referans Tablosu*

Gerçek Dünya Örneği: Atölyede Motor Devri Okuma

Bir teknisyen, gösterge panelinin altındaki 16 pinli DLC konnektörüne bir OBD-II tarama aracı bağlar. Araç, PID 0x0C (Motor Devri) için bir Mode 01 talebi gönderir:

```
Tester Request (CAN ID: 0x7DF):
  [02] [01] [0C] [00] [00] [00] [00] [00]
   |    |    |
   |    |    └── PID: 0x0C (Engine RPM)
   |    └─────── Mode: 0x01 (Akım Data)
   └──────────── Veri Uzunluğu: 2 bytes

ECU Response (CAN ID: 0x7E8):
  [04] [41] [0C] [1A] [F8] [00] [00] [00]
   |    |    |    |    |
   |    |    |    └────┘── Data bytes A=0x1A, B=0xF8
   |    |    └──────────── PID echo: 0x0C
   |    └───────────────── Positive response: 0x41 (Mode + 0x40)
   └────────────────────── Veri Uzunluğu: 4 bytes

RPM Calculation: ((A × 256) + B) / 4 = ((26 × 256) + 248) / 4 = 1726 RPM
```

Gerçek Dünya Örneği: Motor Arıza Lambasından Sonra Arıza Kodlarının Okunması

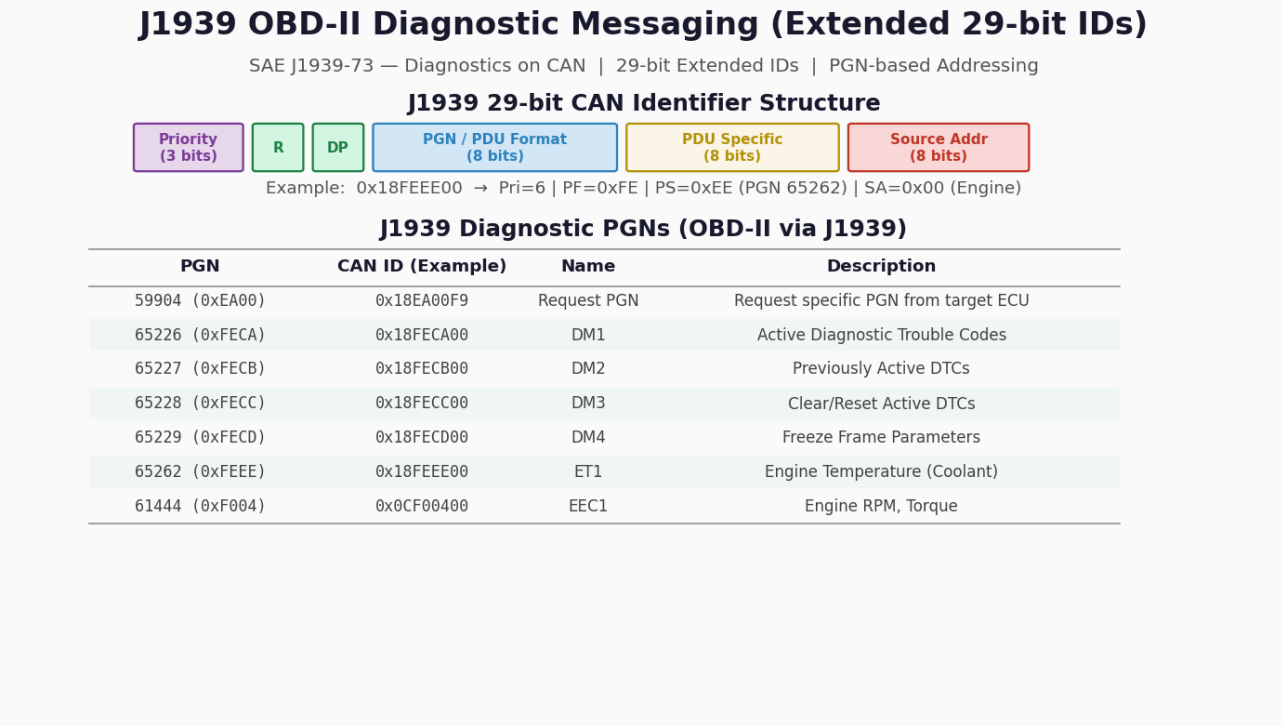
MIL (Motor Arıza Lambası) yandığında, teknisyen kayıtlı DTC'leri almak için Mode 03'ü kullanır:

```
Tester Request (CAN ID: 0x7DF):
  [01] [03] [00] [00] [00] [00] [00] [00]
   |    └── Mode 03: Request Emission-Related DTCs
   └─────── Length: 1 byte

ECU Response (CAN ID: 0x7E8):
  [06] [43] [02] [01] [33] [01] [01] [00]
   |    |    |    |         |
   |    |    |    └─────────┘── DTC 1: 0x0133 → P0133
   |    |    └── DTC count: 2  |       DTC 2: 0x0101 → P0101
   |    └─────── Positive response (Mode + 0x40)
   └──────────── Length: 6 bytes

P0133 → O₂ Sensor Circuit Slow Response (Bank 1, Sensor 1)
P0101 → Mass Air Flow (MAF) Circuit Range/Performance
```

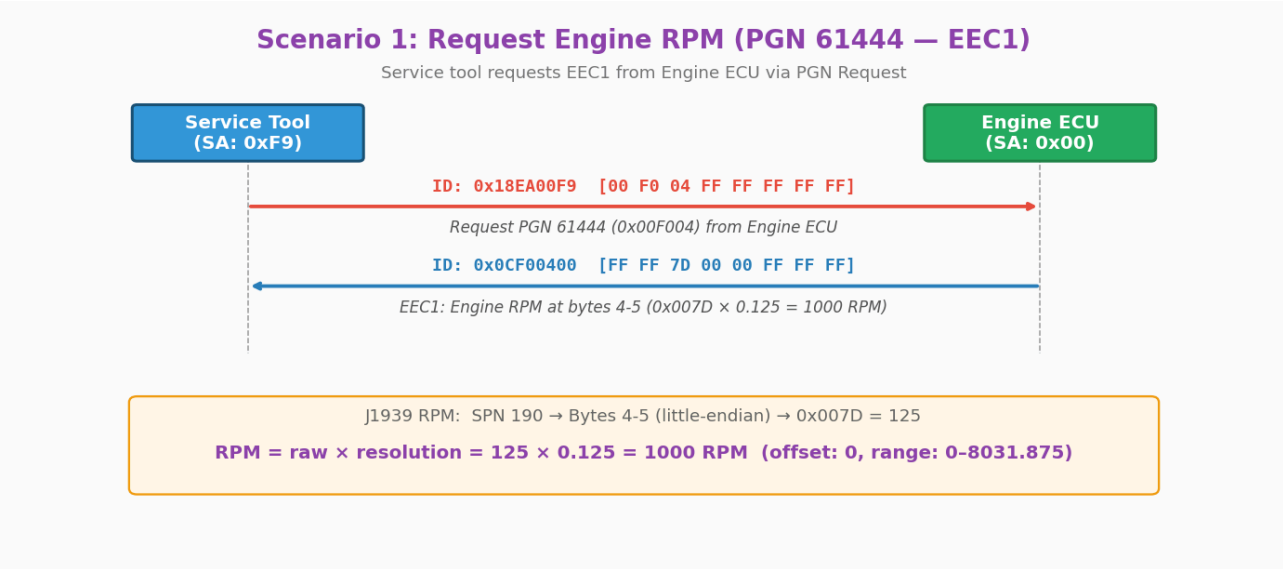
9.7 J1939 OBD-II Tanılama (Genişletilmiş 29-bit ID'ler)

Ağır hizmet araçlarında (kamyon, otobüs, iş makineleri) tanı, ISO 15765-4 yerine **SAE J1939-73** standardını takip eder. J1939, Parameter Group Number'ın (PGN) doğrudan CAN ID'ye gömüldüğü **29 bit genişletilmiş CAN tanımlayıcıları** kullanır. Standart OBD-II'nin talep/yanıt modelinin aksine, J1939 ECU'ları parametrelerin çoğunu periyodik olarak *yayınlar* (genellikle 1 Hz), aktif ve kayıtlı arıza kodlarını taşıyan özel tanı mesajları (DM1–DM4) ile.

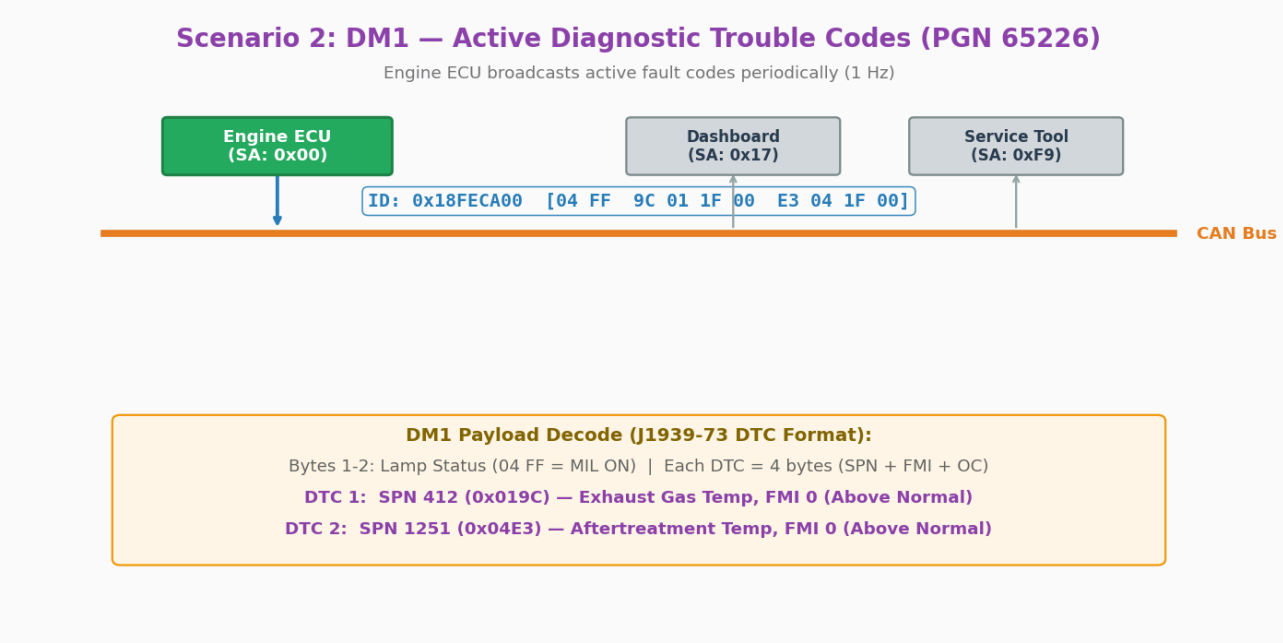
29 bitlik tanımlayıcı öncelik (3 bit), PGN/PDU formatı (18 bit) ve kaynak adresi (8 bit) kodlar. Örneğin, DM1 aktif DTC'leri yayınlayan Motor ECU'su (SA=0x00) CAN ID `0x18FECA00` kullanır, burada PGN 65226 = DM1. Arıza kodları, standart OBD-II'nin P/C/B/U DTC kodları yerine **SPN + FMI** formatını (Şüpheli Parametre Numarası + Arıza Modu Tanımlayıcı) kullanır.



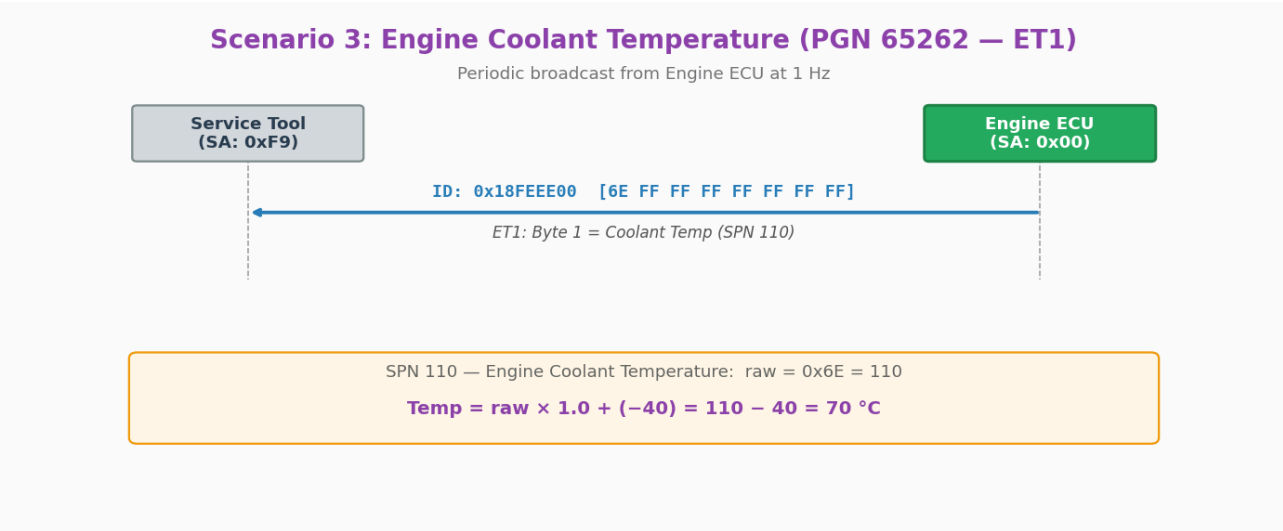
Şekil 9-12 *J1939 29-bit CAN Tanımlayıcı Yapısı ve Tanılama PGN'ler*



Şekil 9-13 *Senaryo 1: PGN 61444 (EEC1) ile Motor Devri Talebi*



Şekil 9-14 *Senaryo 2: DM1 Aktif Tanılama Arıza Kodları (PGN 65226)*



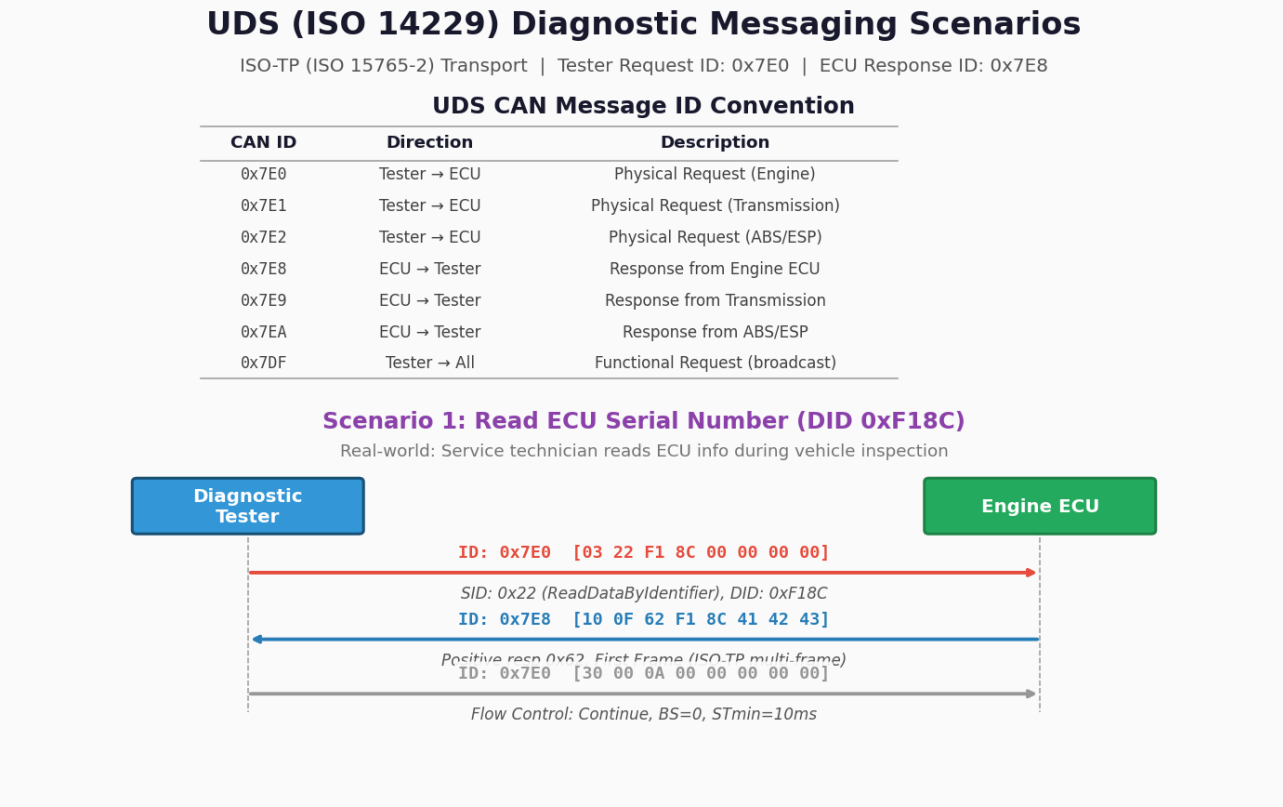
Şekil 9-15 *Senaryo 3: Motor Soğutma Suyu Sıcaklığı (PGN 65262 — ET1)*

Temel Farklar: Standart OBD-II ve J1939 Tanılama

Özellik	Standart OBD-II (ISO 15765-4)	J1939 Tanılama (SAE J1939-73)
CAN Kimliği Uzunluğu	11-bit standart	29-bit genişletilmiş
Adresleme	Sabit ID'ler (0x7DF, 0x7E0–0x7EF)	PGN tabanlı (29-bit ID'ye gömülü)
İletişim Modeli	İstek/Yanıt	Periyodik Yayın + İstek/Yanıt
Arıza Kodu Formatı	P/C/B/U DTC'ler (ör. P0133)	SPN + FMI (ör. SPN 412, FMI 0)
Araç Tipi	Binek araçlar, hafif kamyonlar	Ağır hizmet kamyonları, otobüsler, arazi
Tanılama Mesajları	Modlar 01–0A	DM1–DM50+ (Tanılama Mesajları)

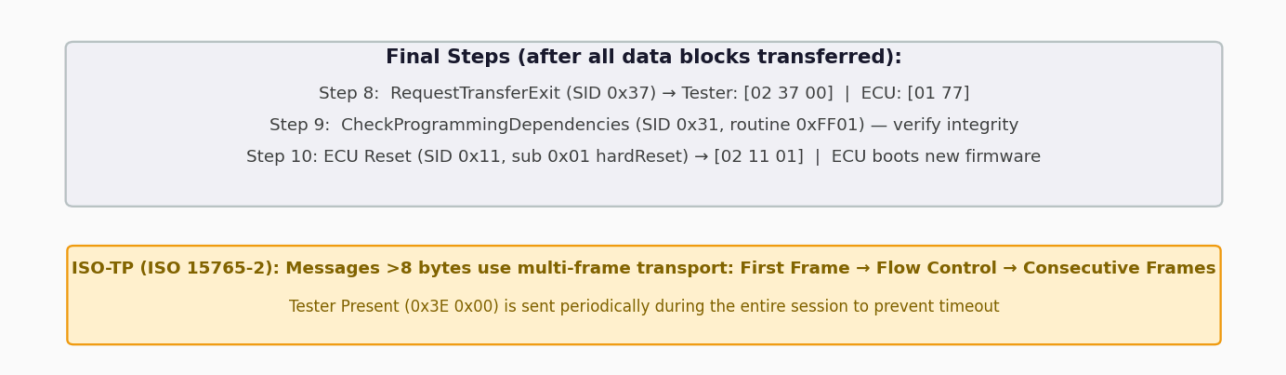
9.8 UDS Mesajlaşma Senaryoları

UDS (ISO 14229), OBD-II ile aynı CAN ID aralığını (`0x7E0` – `0x7EF`) kullanır ancak çok daha zengin bir tanı servisi seti sunar. 8 bayttan uzun UDS mesajları, ISO-TP (ISO 15765-2) çoklu çerçeve taşıma protokolü kullanılarak segmentlere ayrılır.



Şekil 9-16 *UDS CAN Mesaj ID'leri ve Senaryo 1: ECU Seri Numarası Okuma (DID 0xF18C)*

Şekil 9-17 *Senaryo 2: ECU Yazılım Güncellemesi — Tam Flash Programlama Dizisi*



Şekil 9-18 *Son Flash Programlama Adımları ve ISO-TP Taşıma Notu*

Gerçek Dünya Örneği: Bayii Atölyesinde ECU Yazılım Güncellemesi

Bir OEM geri çağırma kampanyası sırasında, yetkili servis ECU firmware'ini güncellemek için bir VCI (Vehicle Communication Interface) kullanır. Tam flash programlama dizisi şu adımları takip eder:

```
Step 1: Enter Extended Diagnostic Session
  Tester → ECU (0x7E0): [02 10 03]     DiagnosticSessionControl(ExtendedDiag)
  ECU → Tester (0x7E8): [02 50 03]     Positive Response

Step 2: Güvenlik Erişimi — Request Seed
  Tester → ECU (0x7E0): [02 27 05]     SecurityAccess(Seviye 5 Seed Request)
  ECU → Tester (0x7E8): [06 67 05 A3 B2 C1 D0]  Seed = A3B2C1D0

Step 3: Güvenlik Erişimi — Send Key
  Tester → ECU (0x7E0): [06 27 06 7C 4D 3E 2F]  Key = f(Seed, Secret)
  ECU → Tester (0x7E8): [02 67 06]     Security Unlocked ✓

Step 4: Enter Programming Session
  Tester → ECU (0x7E0): [02 10 02]     DiagnosticSessionControl(Programming)
  ECU → Tester (0x7E8): [02 50 02]     Positive Response

Step 5: Erase Flash Memory
  Tester → ECU (0x7E0): [10 0B 31 01 FF 00 ...]  RoutineControl(Erase)
  ECU → Tester (0x7E8): [03 7F 31 78]  NRC 0x78: Yanıt Beklemede
  ECU → Tester (0x7E8): [04 71 01 FF 00]  Erase Complete ✓

Step 6: Request Download
  Tester → ECU (0x7E0): [10 0B 34 00 44 ...]  RequestDownload(addr, size)
  ECU → Tester (0x7E8): [04 74 20 10 02]  Max block = 4098 bytes

Step 7: Transfer Data (repeated for each block)
  Tester → ECU (0x7E0): [10 xx 36 01 <data>]  TransferData(block 1)
  ECU → Tester (0x7E8): [02 76 01]     Blok Accepted

Step 8: Exit Transfer
  Tester → ECU (0x7E0): [02 37 00]     RequestTransferExit
  ECU → Tester (0x7E8): [01 77]        Exit OK

Step 9: Verify Programming
  Tester → ECU (0x7E0): [06 31 01 FF 01 ...]  RoutineControl(CheckDependencies)
  ECU → Tester (0x7E8): [06 71 01 FF 01 00]   Verification OK ✓

Step 10: ECU Hard Reset
  Tester → ECU (0x7E0): [02 11 01]     ECUReset(hardReset)
  ECU → Tester (0x7E8): [02 51 01]     ECU reboots with new firmware
```

> **Tester Present — Oturum Canlı Tutma**
>
> Tüm programlama dizisi boyunca, test cihazı ECU'nun zaman aşımına uğramasını ve Default Session'a dönmesini önlemek için periyodik olarak `0x3E 0x00` (TesterPresent) gönderir. S3 zamanlayıcısı genellikle 5 saniyedir — bu süre içinde tanı etkinliği olmazsa, ECU otomatik olarak Default Session'a döner ve programlama sürecini iptal eder.

> **NRC 0x78 — Yanıt Bekliyor**
>
> ECU bir talebi işlemek için daha fazla zamana ihtiyaç duyduğunda (ör. flash belleği silme), Negatif Yanıt Kodu 0x78 (Yanıt Beklemede) ile yanıt verir. Test cihazı son olumlu veya olumsuz yanıtı beklemelidir. İşlem tamamlanmadan önce ECU birden fazla 0x78 yanıtı gönderebilir.

Pratik Hata Ayıklama Senaryoları

Aşağıdaki gerçek dünya CAN log örnekleri, tanılama geliştirme ve saha hata ayıklama sırasında karşılaşılan yaygın UDS iletişim kalıplarını ve hata koşullarını göstermektedir.

Senaryo 1 — ISO-TP Çok Çerçeve ile VIN Okuma

```
TX: 7E0  [03 22 F1 90 00 00 00 00]     ReadDataByTanımlayıcı(DID=0xF190)

RX: 7E8  [10 14 62 F1 90 57 41 55]     First Frame: total 20 bytes
TX: 7E0  [30 00 00 00 00 00 00 00]     Flow Control: BS=0, STmin=0 (send all)
RX: 7E8  [21 5A 5A 5A 31 32 33 34]     CF SN=1: "ZZZA1234"
RX: 7E8  [22 35 36 37 38 39 00 00]     CF SN=2: "56789"

Result: VIN = "WAUZZZA123456789" (17 characters, ISO 3779)
```

Analiz: Yanıt 7 baytı aştığı için ISO-TP bunu 3 çerçeveye böler. Bayt `0x10 0x14` = Toplam uzunluk 20 bayt olan İlk Çerçeve. Test cihazı Akış Kontrolü (BS=0 = sınır yok) ile yanıt verir. İki Ardışık Çerçeve aktarımı tamamlar.

Senaryo 2 — Yanıt Beklemede (NRC 0x78)

```
TX: 7E0  [10 0B 31 01 FF 00 ...]       RoutineControl(Erase Flash)

RX: 7E8  [03 7F 31 78]                 NRC 0x78 — Yanıt Beklemede
                                        ↳ Reset timer to P2* (5000 ms)
... (ECU erasing, 3.2 seconds later) ...
RX: 7E8  [03 7F 31 78]                 NRC 0x78 — Still processing
                                        ↳ Reset timer to P2* again
... (1.8 seconds later) ...
RX: 7E8  [04 71 01 FF 00]              Positive Response — Erase Complete ✓
```

Analiz: ECU flash silerken birden fazla NRC 0x78 gönderir. Her 0x78, P2* zamanlayıcısını sıfırlar. Test cihazı **yeniden denememeli** — sadece beklemeli.

Senaryo 3 — Zaman Aşımı (Yanıt Yok)

```
TX: 7E0  [03 22 F1 90 00 00 00 00]     ReadDataByTanımlayıcı(VIN)
RX: ---  (no response within P2=50 ms)

Retry 1:
TX: 7E0  [03 22 F1 90 00 00 00 00]     Retry
RX: ---  (no response)

Retry 2:
TX: 7E0  [03 22 F1 90 00 00 00 00]     Retry
RX: ---  (no response)

Result: FAIL — ECU unreachable after 3 attempts
```

Olası nedenler: ECU'ya güç verilmemiş, yanlış CAN bus, yanlış baud hızı, ECU uyku modunda, fiziksel katman arızası (kırık sonlandırma, CAN_H/CAN_L kısa devre).

Senaryo 4 — Yanlış Oturum (NRC 0x7E)

```
TX: 7E0  [04 2E F1 90 41]              WriteDataByTanımlayıcı (in Default Session)
RX: 7E8  [03 7F 2E 7E]                NRC 0x7E — serviceNotSupportedInActiveSession

Fix: Switch to Extended Diagnostic session first
TX: 7E0  [02 10 03]                    DiagnosticSessionControl(ExtendedDiag)
RX: 7E8  [06 50 03 00 19 01 F4]       Positive: P2=25 ms, P2*=5000 ms

TX: 7E0  [04 2E F1 90 41]              Retry WriteDataByTanımlayıcı
RX: 7E8  [02 6E F1]                    Positive Response ✓
```

Analiz: Birçok UDS servisi Genişletilmiş Tanılama veya Programlama oturumu gerektirir. `0x10`'a verilen pozitif yanıt P2 ve P2* zamanlama değerlerini içerir — test cihazı zamanlayıcılarını buna göre güncellemelidir.

Senaryo 5 — Güvenlik Erişimi Başarısızlığı (NRC 0x35)

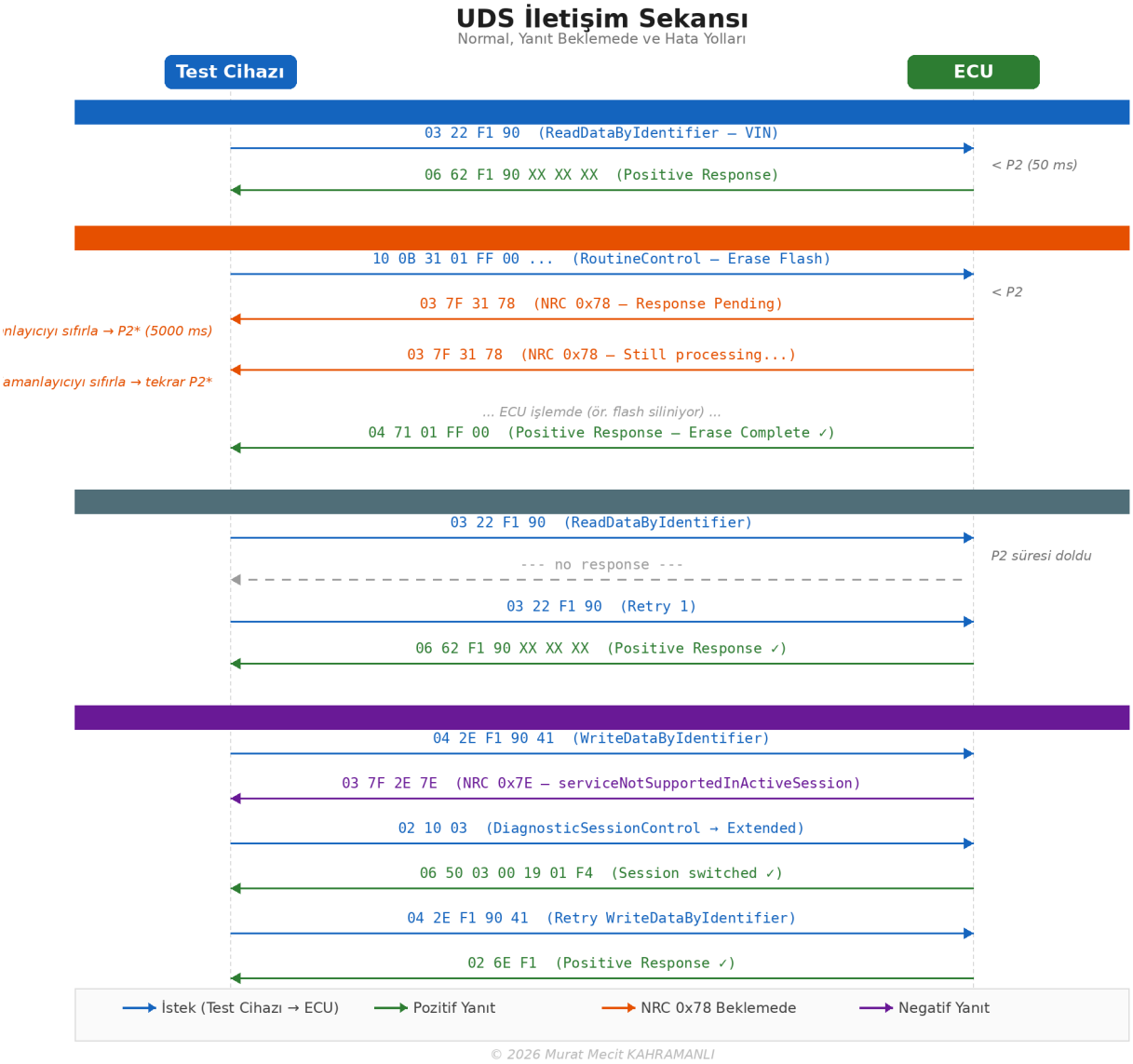
```
TX: 7E0  [02 27 01]                    SecurityAccess — Request Seed (Seviye 1)
RX: 7E8  [06 67 01 A3 B2 C1 D0]       Seed = 0xA3B2C1D0

TX: 7E0  [06 27 02 FF FF FF FF]        Send Key (WRONG key!)
RX: 7E8  [03 7F 27 35]                 NRC 0x35 — invalidKey

TX: 7E0  [02 27 01]                    Request new seed
RX: 7E8  [06 67 01 5E 7A 1C 9F]       New seed (different each time)

TX: 7E0  [06 27 02 XX XX XX XX]        Send correct key
RX: 7E8  [02 67 02]                    Access Granted ✓
```

Analiz: Geçersiz bir anahtardan sonra, ECU bir sonraki istekte yeni bir seed üretir. 3 ardışık başarısızlıktan sonra, ECU daha fazla seed isteği kabul etmeden önce bir gecikme zamanlayıcısı (genellikle 10–60 s) etkinleştirir.

Senaryo 6 — ISO-TP Akış Kontrolü Başarısızlığı

```
TX: 7E0  [10 14 62 F1 90 57 41 55]     ECU sends First Frame
RX: ---  (tester fails to send Flow Control)

Result: Transfer aborted — ECU timeout on FC
        No Consecutive Frames are sent
```

Olası nedenler: Test cihazı yazılım hatası (FC uygulanmamış), FC iletimini engelleyen CAN bus tıkanıklığı, test cihazı tarafında alım tamponu taşması.



Şekil 9-19 *UDS İletişim Sırası — Normal, Yanıt Beklemede ve Hata Yolları*

9.9 UDS Servisleri

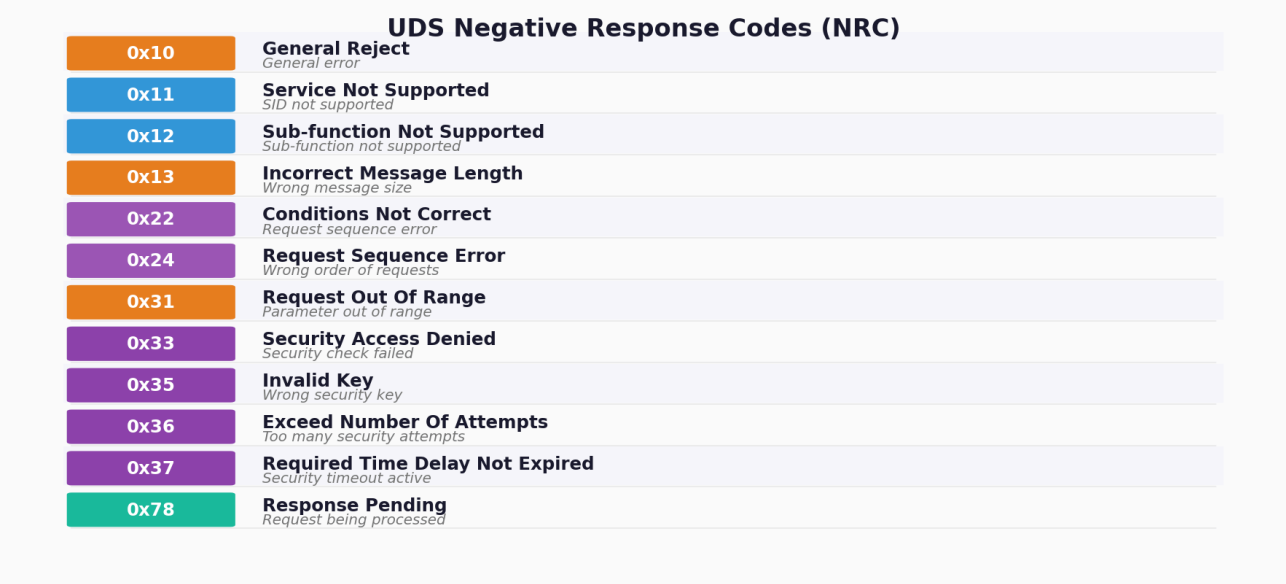
Şekil 9-20 *Birleşik Tanılama Hizmetleri (UDS) - Yaygın Servis ID'leri*

UDS servisleri, Şekil 9-20'de gösterildiği gibi 1 baytlık bir Servis Tanımlayıcı (SID) ile tanımlanır.

UDS Talep/Yanıt Formatı

```
İstek Formatı:
[SID] [Alt fonksiyon/Data] [...]

Pozitif Yanıt:
[SID + 0x40] [Alt fonksiyon/Data] [...]

Negatif Yanıt:
0x7F [SID] [Yanıt Kodu]
```

Yaygın Negatif Yanıt Kodları



Şekil 9-21 *UDS Negatif Yanıt Kodları (NRC)*

9.10 Oturum Kontrolü (Session Control)

UDS, ECU servislerine erişim düzeyini kontrol eden birden fazla tanı oturumu tanımlar:

Tablo 9-6 UDS Tanılama Oturumları

Oturum	ID	Açıklama	Zaman Aşımı
Varsayılan Oturum	0x01	Normal çalışma, sınırlı servisler	N/A
Programlama Oturumu	0x02	Yazılım indirme/yükleme	5s
Genişletilmiş Tanılama	0x03	Tam tanılama erişimi	5s
Güvenlik Sistemi Tanılama	0x04	Hava yastığı, ABS tanılama	5s

Oturum Geçiş Diyagramı:

- Varsayılan Oturum → (0x10 0x02) → Programlama Oturumu
- Varsayılan Oturum → (0x10 0x03) → Genişletilmiş Tanılama
- Programlama Oturumu → (0x10 0x01) → Varsayılan Oturum
- Genişletilmiş Tanılama → (0x10 0x01) → Varsayılan Oturum
- Herhangi Bir Oturum → (Zaman Aşımı) → Varsayılan Oturum

Oturum Zaman Aşımı (S3)

Tanı oturumlarının (Default hariç) bir zaman aşımı süresi vardır. Bu süre içinde tanı etkinliği olmaz ise ECU otomatik olarak Default Session'a döner.

```
S3 Timeout: Tipik olarak 5000 ms (5 seconds)
Tester Present (0x3E): Used to keep session alive
```

9.11 Güvenlik Erişimi (Güvenlik Erişimi)

Güvenlik Erişimi (SID 0x27), hassas ECU işlevlerini yetkisiz erişimden korur. Seed/key kimlik doğrulama mekanizması, yalnızca yetkili tanı araçlarının kritik işlemleri gerçekleştirebilmesini sağlar.

Güvenlik Erişimi Sequence

```
Step 1: Request Seed
Tester -> ECU: 0x27 0x01 (Request Seed, Security Seviye 1)
ECU -> Tester: 0x67 0x01 [Seed 4 bytes]

Step 2: Send Key
Tester -> ECU: 0x27 0x02 [Key 4 bytes]
ECU -> Tester: 0x67 0x02 (Positive Response)

If Key Invalid:
ECU -> Tester: 0x7F 0x27 0x35 (Invalid Key)
```

Anahtar Hesaplaması

$$Key = f(Seed, Secret)$$

Burada f() üreticiye özgü bir algoritmadır (tipik olarak AES, RSA veya tescilli)

Tablo 9-7 Güvenlik Erişim Seviyeleri

Seviye	Alt fonksiyon	Erişim
Seviye 1	0x01 (Seed), 0x02 (Key)	Standart tanılama fonksiyonları
Seviye 3	0x03 (Seed), 0x04 (Key)	Genişletilmiş tanılama fonksiyonları
Seviye 5	0x05 (Seed), 0x06 (Key)	Flash programlama
Seviye 7	0x07 (Seed), 0x08 (Key)	Geliştirme/Mühendislik

Güvenlik Kilitleme

Yapılandırılabilir sayıda başarısız güvenlik erişimi denemesinden (genellikle 3) sonra ECU bir kilitleme durumuna girer. Daha fazla denemeye izin verilmeden önce gecikme zamanlayıcısının (genellikle 10-60 saniye) sona ermesi gerekir. Bu, güvenlik mekanizmasına yönelik kaba kuvvet saldırılarını önler.

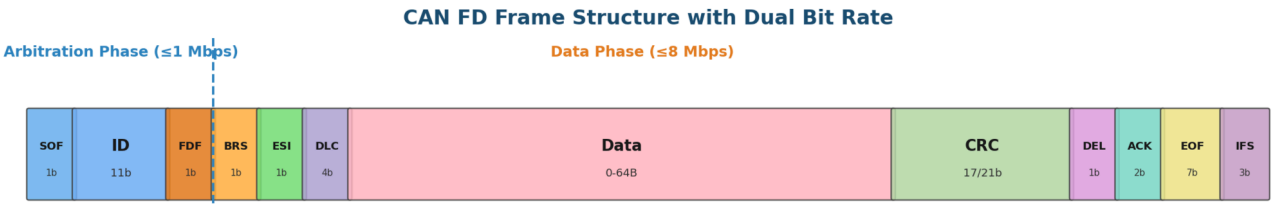
Bölüm 10: CAN FD ve CAN XL Evrimi

Otomotiv sistemleri artan miktarda veri ürettikçe, Klasik CAN'ın 1 Mbps ve 8 bayt yük sınırlamaları kısıtlayıcı hale gelmiştir. CAN FD (Esnek Data-rate) ve CAN XL, CAN protokolü ile uyumluluğu koruyarak bu sınırlamaları ele alır.

10.1 CAN FD Özellikleri

Bosch tarafından 2012'de tanıtılan ve ISO 11898-1:2015'te standartlaştırılan CAN FD, Klasik CAN'a göre iki önemli iyileştirme sağlar:

- **Daha Yüksek Veri Hızları:** Veri fazında 8 Mbps'ye kadar (hakemlik 1 Mbps'de kalır)
- **Daha Büyük Yükler:** Çerçeve başına 64 bayta kadar veri



Şekil 10-1 *Çift Bit Hızlı CAN FD Çerçeve Yapısı*

CAN FD Çerçeve Farklılıkları

Tablo 10-1 CAN FD ile Klasik CAN Çerçeve Farkları

Özellik	Klasik CAN	CAN FD
Veri Uzunluğu	0-8 bayt	0-8, 12, 16, 20, 24, 32, 48, 64 bayt
Arbitrasyon Bit Hızı	1 Mbps'ye kadar	1 Mbps'ye kadar
Veri Bit Hızı	Arbitrasyon ile aynı	8 Mbps'ye kadar
FDF Biti	Ayrılmış (baskın)	FD Formatı (resesif)
BRS Biti	Mevcut değil	Bit Hızı Anahtarı
ESI Biti	Ayrılmış (baskın)	Hata Durumu Göstergesi
CRC Uzunluğu	15 bit	17 bit (≤16 bayt) veya 21 bit (>16 bayt)
CRC'de Doldurma Bitleri	Sabit form	Dinamik (doldurma sayısı + parite)

CAN FD DLC Kodlaması

Tablo 10-2 CAN FD Veri Uzunluk Kodu Eşlemesi

DLC	Klasik CAN Veri Baytları	CAN FD Veri Baytları
0-8	0-8	0-8
9	8	12
10	8	16
11	8	20
12	8	24
13	8	32
14	8	48
15	8	64

CAN FD Overhead ve Veri Verimliliği

CAN FD'nin önemli bir avantajı geliştirilmiş protokol verimliliğidir. Klasik CAN'da overhead (SOF, arbitration, control, CRC, ACK, EOF, IFS) özellikle küçük yükler için her çerçevenin büyük bir yüzdesini tüketir. CAN FD, daha yüksek veri hızlarında daha büyük yükleri destekleyerek veri/overhead oranını önemli ölçüde iyileştirir:

Tablo 10-3 CAN FD ve Klasik CAN — Veri Verimliliği Karşılaştırması

Yük (bayt)	Klasik CAN Verimliliği	CAN FD Verimliliği	Verim Kazanımı
8	~%47 (8 / ~17 bayt toplam)	~%53 (+ BRS hız artışı)	Up to 3.5×
12	N/A (CAN'da maks 8)	~60%	—
32	N/A	~80%	—
64	N/A	~91%	Up to 8×

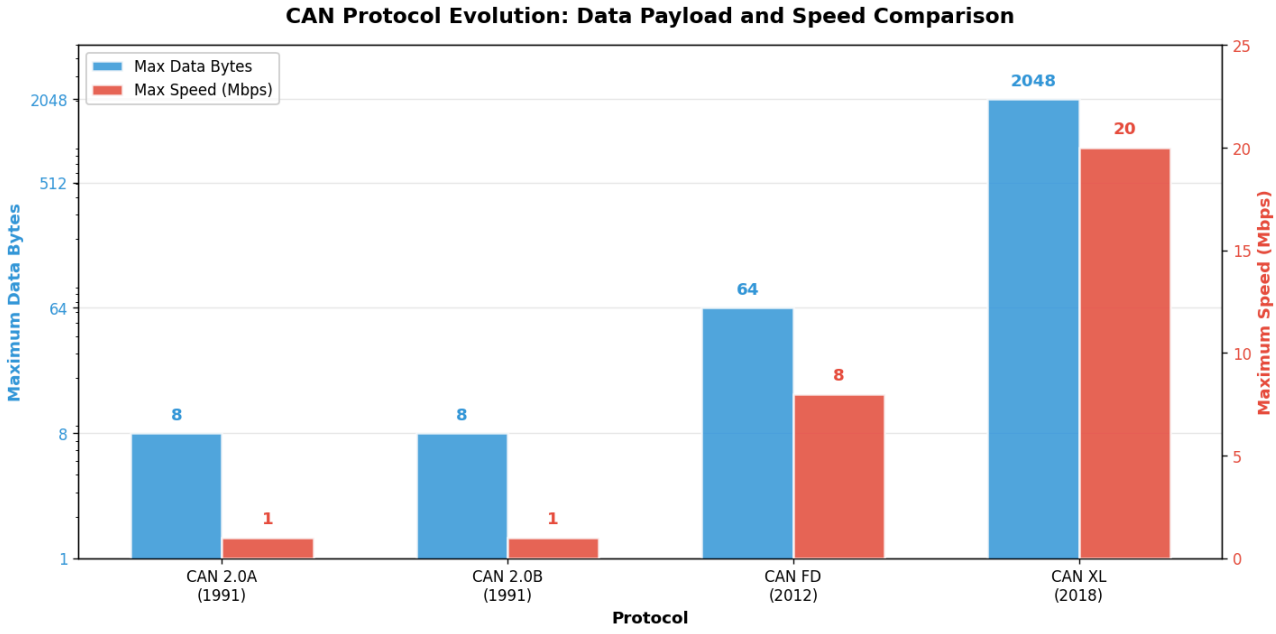
CAN FD'nin En Önemli Olduğu Durumlar

En büyük throughput iyileşmesi **Bit Hızı Anahtarı (BRS)** kullanıldığında gerçekleşir. BRS aktif ve 2 Mbps veri fazı (500 kbps arbitration'a karşı) ile 64 baytlık bir CAN FD çerçevesi, 8 bayt taşıyan bir Klasik CAN çerçevesinin yaklaşık 8 katı etkin throughput elde eder. BRS olmadan bile, daha büyük yük tek başına gereken çerçeve sayısını azaltır — ör. 64 bayt iletmek 1 CAN FD çerçevesi gerektirirken 8 Klasik CAN çerçevesi gerektirir, arbitration overhead'ini ~%87 azaltır.

10.2 CAN XL Özellikleri

CiA 610-1'de standartlaştırılan CAN XL (Extra Long), modern otomotiv ağlarının taleplerini karşılamak için CAN yeteneklerini daha da genişletir:

- **Veri Uzunluğu:** Çerçeve başına 2048 bayta kadar
- **Veri Hızı:** 10 Mbps veya daha yüksek
- **SDU Tip Alanı:** Taşınan veri türünü belirtir (IP, J1939, vb.)



Şekil 10-2 *CAN Protokol Evrimi: Veri Yükü ve Hız Karşılaştırması*

CAN XL Çerçeve Yapısı

CAN XL birkaç yeni alan sunar:

- **XLF (CAN XL Format):** CAN XL'i CAN FD'den ayırır
- **SEC (Basit Genişletilmiş İçerik):** SDU tip alanı varlığını belirtir
- **SDT (SDU Type):** Servis veri birimi türünü tanımlar
- **SBC (Doldurma Bit Sayısı):** Genişletilmiş doldurma bit sayacı
- **VCID (Sanal CAN Kimliği):** Ağ sanallaştırma için

CAN XL ve IP İşbirliği

CAN XL'in temel bir tasarım hedefi, İnternet Protokolü (IP) iletişimi için doğal destektir. 2048 bayta kadar yük ve SDU Type alanı ile CAN XL çerçeveleri birçok kullanım durumunda Ethernet/IP paketlerini parçalama olmadan doğrudan taşıyabilir. Bu şunları sağlar:

- **CAN XL üzerinden TCP/IP:** Küçük TCP/IP paketleri doğrudan CAN XL veri çerçeveleri içinde tünellenebilir; CAN XL omurgası üzerinden IP tabanlı tanı ve kablosuz güncellemeler sağlanır
- **Çoklu Protokol Köprüleme:** SDU Type alanı tek bir CAN XL ağının karışık trafik taşımasına olanak tanır — J1939 PGN'leri, CANopen nesneleri ve IP paketleri aynı anda, farklı SDT değerleri ile tanımlanır
- **Gateway Basitleştirme:** SDU türü yük formatını açıkça tanımladığından CAN XL-Ethernet gateway'leri daha basit hale gelir; karmaşık protokol algılama sezgisellerinden kaçınılır

SIC Alıcı-Verici (Sinyal İyileştirme Yeteneği)

CAN XL, **SIC transceiver'lar** (ISO 11898-2:2024) olarak bilinen yeni nesil transceiver'lar gerektirir. SIC transceiver'lar bus üzerindeki sinyal kalitesini şu yollarla aktif olarak iyileştirir:

- **Kenar Simetri İyileştirmesi:** Yükselen ve düşen kenarların aktif eşitlenmesi, yüksek veri hızlarında bit zamanlama hatalarına neden olan asimetriyi azaltır
- **Çınlama Bastırma:** Çekinik-baskın geçişlerinden sonra veriyolu çınlamasının aktif sönümlemesi daha kısa bit sürelerine olanak sağlar
- **Geriye Uyumluluk:** SIC transceiver'lar, CAN 2.0 ve CAN FD düğümleri ile tam geriye uyumludur. Bir bus segmenti SIC ve SIC olmayan transceiver'ları karıştırabilir; ancak tam 10 Mbps veri hızı tüm düğümlerin SIC kullanmasını gerektirir

CAN / CAN FD / CAN XL Uyumluluğu

Üç CAN nesli kademeli dağıtım için tasarlanmıştır. Temel uyumluluk kuralları:

- **CAN FD düğümleri**, yalnızca CAN FD toleranslı transceiver'lar kullanılırsa veya ayrı bus segmentleri gateway'ler aracılığıyla bağlanırsa klasik CAN düğümleri ile bir arada var olabilir
- **CAN XL düğümleri** CAN FD ile geriye uyumludur ve CAN FD çerçevelerini doğal olarak gönderip/alabilir. CAN XL denetleyicileri tam bir CAN FD uygulaması içerir
- **Karma CAN XL + CAN FD ağları**, CAN XL düğümlerinin paylaşılan çerçeveler için CAN FD veri hızlarına geri döndüğü ancak yalnızca CAN XL çerçeveleri için 10 Mbps kullanabildiği "uyumluluk modunda" çalışır
- **SIC transceiver'lar**, SIC olmayan düğümlere bağlı olsalar bile bus üzerindeki tüm çerçeve türleri (klasik CAN, CAN FD ve CAN XL) için sinyal kalitesini iyileştirir

Üst Katman Protokol Desteği

CAN XL'in SDU Type alanı, çerçevenin hangi üst katman protokolünü taşıdığının standartlaştırılmış tanımlanmasını sağlar. Şu anda tanımlanmış SDU türleri şunlardır:

Tablo 10-4 CAN XL SDU Tip Değerleri (CiA 611)

SDT Değeri	Protokol	Açıklama
0x01	Klasik İçerik	CAN / CAN FD yorumuyla uyumlu içerik
0x03	CANopen	CANopen XL çerçeveleri (CiA 1301+)
0x05	J1939	CAN XL çerçevelerinde J1939 parametre grupları
0x07	IEEE 802.3 (Ethernet)	CAN XL içinde tünellenen Ethernet çerçeveleri
0x09	IPv4 / IPv6	CAN XL içinde doğrudan kapsüllenen IP paketleri

Tablo 10-5 CAN Protokol Karşılaştırma Özeti

Özellik	CAN 2.0	CAN FD	CAN XL
Maks Veri Baytı	8	64	2048
Maks Bit Hızı	1 Mbps	8 Mbps (veri)	10+ Mbps
Tanımlayıcı Uzunluğu	11/29 bit	11/29 bit	11/29 bit
Standart	ISO 11898	ISO 11898-1:2015	CiA 610-1
Geriye Uyumlu	N/A	Evet (CAN 2.0)	Evet (CAN FD)
Alıcı-Verici	ISO 11898-2	ISO 11898-2:2016	ISO 11898-2:2024

10.3 Geçiş (Migration) Hususları

Klasik CAN'dan CAN FD veya CAN XL'e geçiş yaparken birkaç faktör dikkate alınmalıdır:

Donanım Gereksinimleri

- **CAN Denetleyici:** CAN FD/CAN XL desteği olmalıdır
- **Alıcı-Verici:** Daha yüksek bit hızlarını desteklemelidir
- **Saat:** Daha yüksek doğruluk gereklidir (tipik olarak 40 MHz veya 80 MHz)

Ağ Tasarımı

- **Veriyolu Uzunluğu:** Yüksek bit hızlarında daha kısa maksimum uzunluklar
- **Topoloji:** Yüksek hızlarda daha kritik
- **Sonlandırma:** CAN XL için aktif sonlandırma gerekebilir

> **Karma Ağ Hususları**
>
> Klasik CAN ve CAN FD düğümleri olan karma bir ağda, CAN FD çerçeveleri Klasik CAN düğümleri tarafından hata olarak algılanır. CAN FD çerçevelerini göz ardı edebilen CAN FD toleranslı transceiver'lar (TJA1043 gibi) kullanın veya ağ segmentlerini ayırmak için gateway düğümleri uygulayın.

Yazılım Geçişi

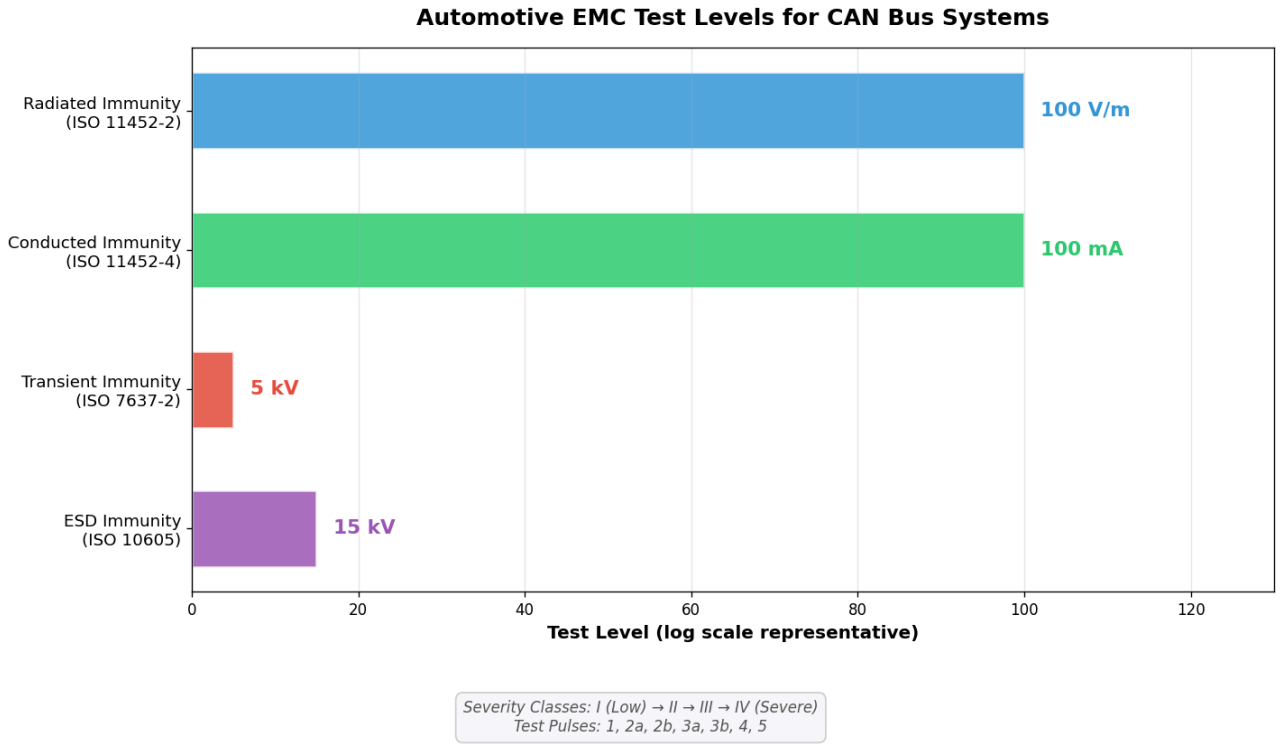
```
// Classical CAN Frame
struct CanFrame {
    uint32_t id;        // 11 or 29 bit
    uint8_t dlc;        // 0-8
    uint8_t data[8];
};

// CAN FD Frame
struct CanFdFrame {
    uint32_t id;        // 11 or 29 bit
    uint8_t dlc;        // 0-15 (maps to 0-64 bytes)
    uint8_t data[64];
    bool brs;           // Bit Hızı Anahtarı
    bool esi;           // Hata Durumu Göstergesi
};
```

Bölüm 11: EMC Testi ve Kablo Demeti Tasarımı

Elektromanyetik Uyumluluk (EMC), otomotiv ortamlarındaki CAN bus sistemleri için kritik öneme sahiptir. Araçlar çok sayıda elektromanyetik parazit kaynağı içerir ve CAN ağları bu zorlu koşullarda güvenilir şekilde çalışmalıdır.

11.1 ISO 11452 Testi

ISO 11452, araçlardaki elektronik bileşenlerin elektromanyetik bozulmalara karşı bağışıklığını değerlendirmek için test yöntemlerini belirtir. Bu testler, CAN sistemlerinin yayılan elektromanyetik alanlara dayanabilmesini sağlar.



Şekil 11-1 *CAN Bus Sistemleri için Otomotiv EMC Test Seviyeleri*

ISO 11452-2 (Işınımsal Bağışıklık)

Bu test, test edilen cihazı (DUT) yankısız odada elektromanyetik alanlara maruz bırakır:

Tablo 11-1 ISO 11452-2 Test Seviyeleri

Seviye	Alan Şiddeti	Uygulama
I	25 V/m	Genel binek araçlar
II	50 V/m	Ticari araçlar
III	75 V/m	Ağır ortamlar
IV	100 V/m	Aşırı ortamlar, askeri

ISO 11452-4 (Toplu Akım Enjeksiyonu)

BCI testi, RF akımlarını doğrudan kablo demetine enjekte eder:

Tablo 11-2 ISO 11452-4 Test Levels

Seviye	Akım	Frekans Aralığı
I	25 mA	1-400 MHz
II	50 mA	1-400 MHz
III	75 mA	1-400 MHz
IV	100 mA	1-400 MHz

11.2 ISO 7637 Geçici Rejimler (Transients)

ISO 7637-2, araç elektrik sistemlerinde meydana gelen geçici bozulmaları simüle eden test darbelerini belirtir. Bu geçici bozulmalar uygun şekilde korunmazsa iletişim hatalarına veya kalıcı hasara neden olabilir.

ISO 7637-2 Test Darbeleri

Tablo 11-3 ISO 7637-2 Test Darbeleri

Darbe	Açıklama	Genlik	Kaynak
1	Endüktif yük bağlantısının kesilmesinden kaynaklanan negatif geçici	-100V to -600V	Endüktif yüklerin bağlantısının kesilmesi
2a	Endüktif yük anahtarlamasından kaynaklanan pozitif geçici	+50V to +100V	Paralel endüktif yükler
2b	Enerjisi kesilme sırasında DC motor geçici	+10V to +50V	DC motor durdurma
3a	Negatif hızlı geçici olaylar (patlama)	-100V to -200V	Anahtarlama süreçleri
3b	Pozitif hızlı geçici olaylar (patlama)	+75V to +150V	Anahtarlama süreçleri
4	Motor çalıştırma sırasında voltaj düşüşü	-6V to -12V	Marş motoru devreye girişi
5	Yük boşalması (alternatör bağlantısının kesilmesi)	+65V to +200V	Alternatör yük boşaltması

Yük Boşaltma Koruması

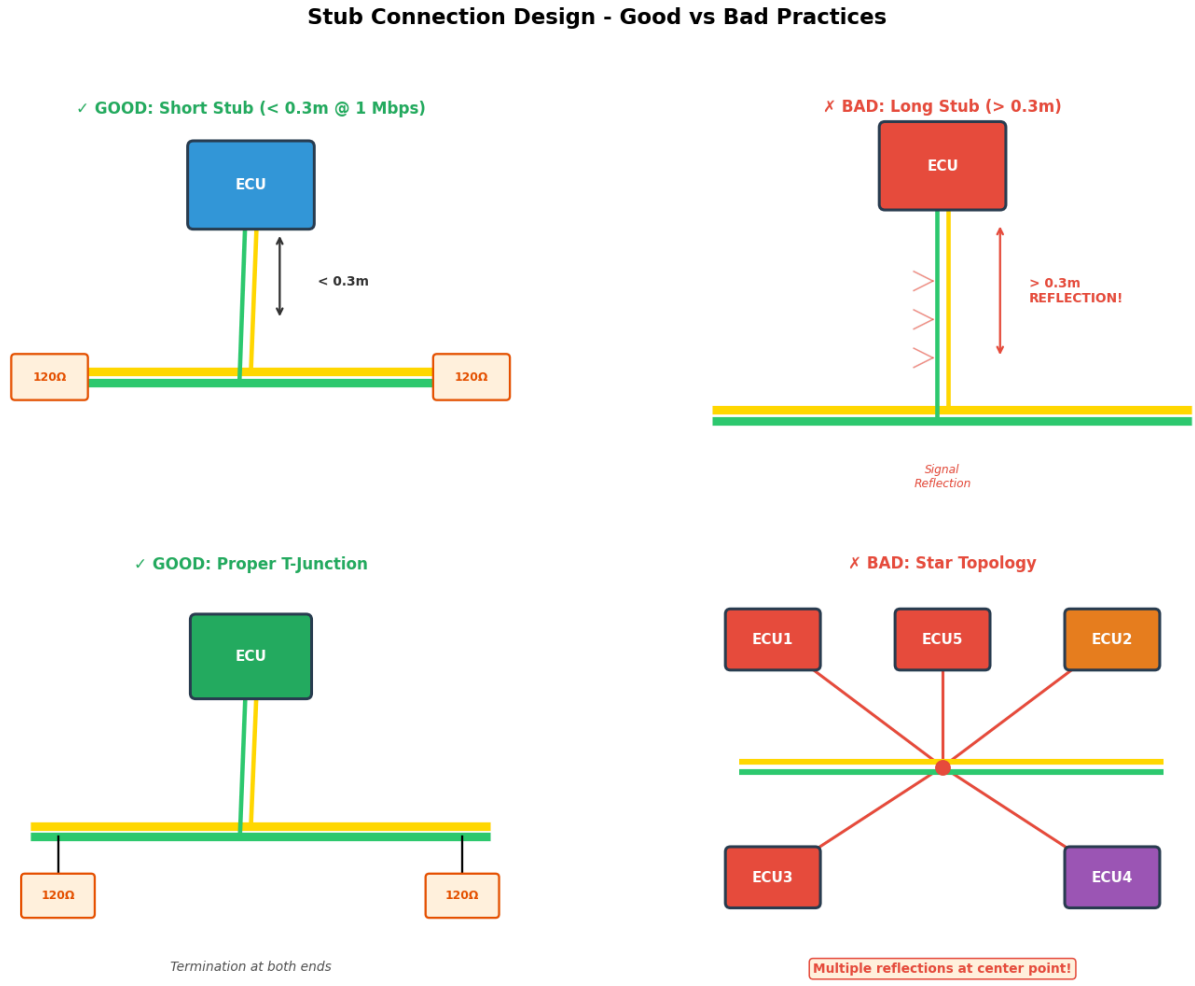
Darbe 5 (Yük Boşaltma) alternatör şarj olurken akünn bağlantısı kesildiğinde meydana gelen en şiddetli geçici durumdur. Modern araçlar merkezi yük boşaltma bastırma (CLDS) kullanır, ancak CAN transceiver'lar yine de bu geçici durumlara dayanmalıdır. Dahili yük boşaltma korumalı transceiver'lar kullanın (ör. 58V değerli TJA1057).

11.3 Kablo Demeti Tasarım Kılavuzu

Uygun kablo donanımı tasarımı, EMC performansı ve sinyal bütünlüğü için esastır. Tasarım ve kurulum sırasında en iyi uygulamaları takip etmek birçok CAN iletişim sorununu önleyebilir. Bu bölüm stub bağlantılarını, yaygın hataları ve kaçınılması gereken tasarım anti-kalıplarını kapsar.

Stub Bağlantı Tasarımı

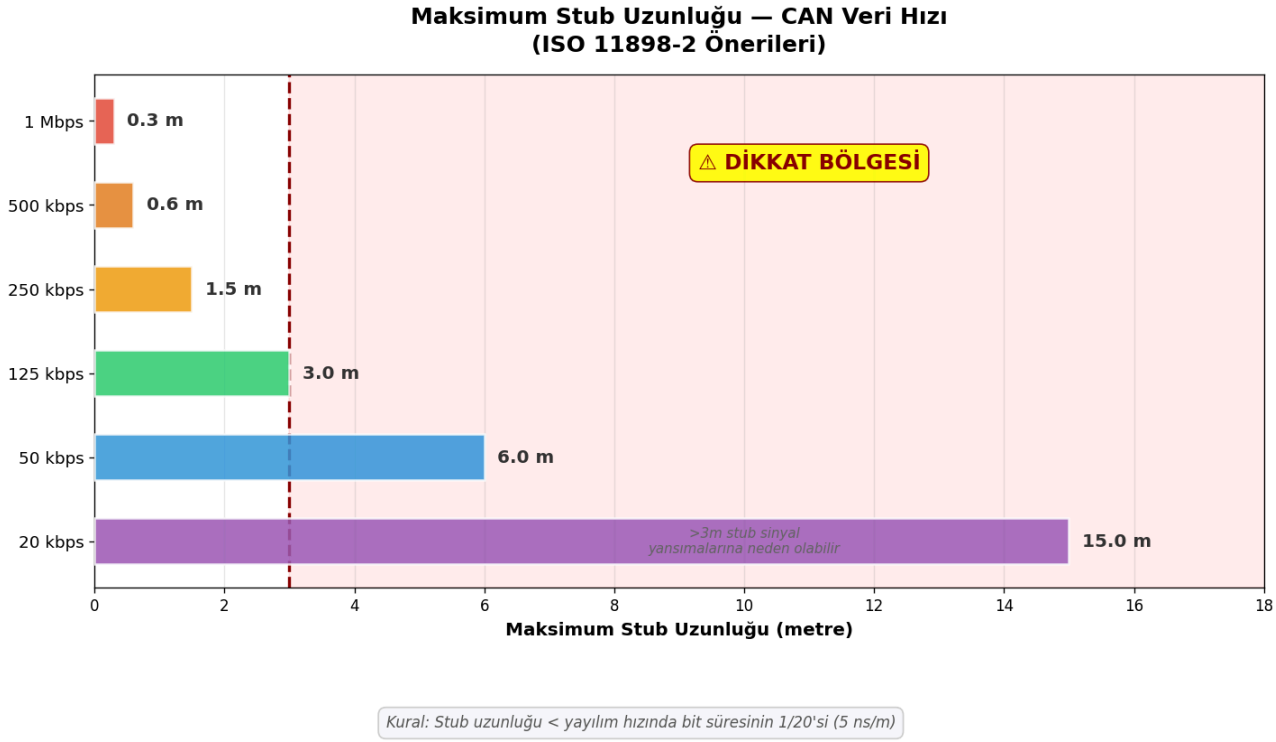
Stub'lar, ana bus'tan bireysel ECU'lara yapılan bağlantılardır. Stub uzunluğu ve bağlantı yöntemi sinyal kalitesini doğrudan etkiler. Daha yüksek veri hızlarında stub uzunluğu giderek daha kritik hale gelir.



Şekil 11-2 *Stub Bağlantı Tasarımı - Good vs Bad Practices*

Saplama Uzunluğu Kılavuzu

Maksimum izin verilen stub uzunluğu veri hızına bağlıdır. Veri hızı arttıkça, sinyal yansımalarını önlemek için stub uzunluğu azalmalıdır.



Şekil 11-3 *Maksimum Saplama Uzunluğu ve CAN Veri Hızı*

Stub Uzunluğu Pratik Kuralı

$$L_{stub(max)} = t_{bit} \times v_{prop} / 20$$

Burada t_{bit} bit süresidir ve v_{prop} kablodaki sinyal yayılma hızıdır (bükümlü çift için tipik olarak 5 ns/m)

Tablo 11-4 Saplama Uzunluğu ve Veri Hızı

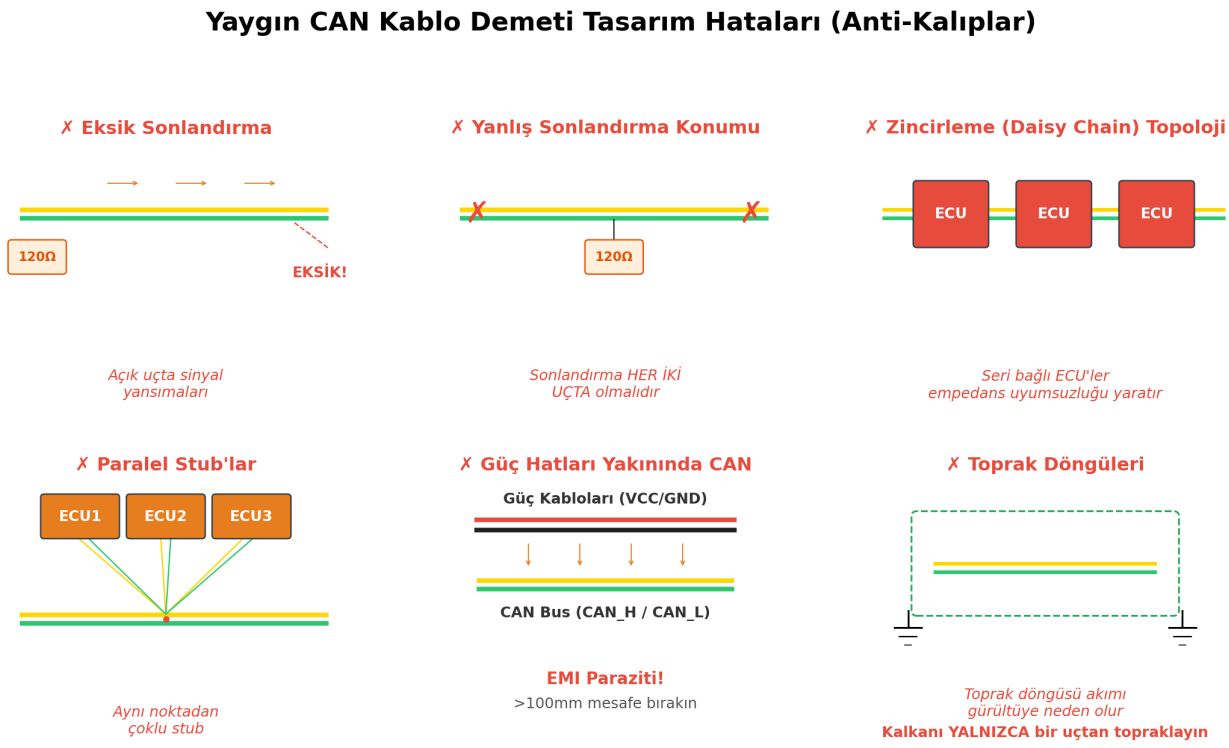
Veri Hızı	Bit Süresi	Maks Stub Uzunluğu	Durum
1 Mbps	1 µs	0.3 m	Kritik
500 kbps	2 µs	0.6 m	Kritik
250 kbps	4 µs	1.5 m	Orta
125 kbps	8 µs	3.0 m	Gevşek
50 kbps	20 µs	6.0 m	Esnek

Stub Uzunluğu Kritik Uyarı

1 Mbps'de 0,3 metreden uzun bir stub, bit hatalarına neden olabilecek önemli sinyal yansımaları oluşturur. 5 Mbps veri fazında CAN FD için stub uzunluğu 0,1 metre veya daha az ile sınırlandırılmalıdır. Kurulum sırasında stub uzunluklarını her zaman ölçün ve doğrulayın.

Yaygın Tasarım Hataları (Anti-Kalıplar)

Aşağıdaki diyagramlar, iletişim sorunlarına yol açan CAN kablo donanımı tasarımındaki yaygın hataları göstermektedir:



Şekil 11-4 *Yaygın CAN Kablo Demeti Tasarım Hataları (Anti-Kalıplar)*

Anti-Kalıp 1: Eksik Sonlandırma

Eksik veya hatalı sonlandırma, CAN bus sorunlarının en yaygın nedenidir. Bus'ın her iki ucunda uygun sonlandırma olmadan sinyaller geri yansır ve duran dalgalar oluşturur.

Sonlandırma Doğrulaması

Sonlandırma direncini her zaman bir multimetre ile doğrulayın (güç kapalı). Bus üzerindeki herhangi bir noktada CAN_H ve CAN_L arasını ölçün. Okunan değer yaklaşık 60Ω olmalıdır (paralel iki 120Ω direnç). 60Ω'dan önemli ölçüde farklı okumalar bir sonlandırma sorununa işaret eder.

Anti-Kalıp 2: Yıldız Topoloji

Birden fazla stub'ın merkezi bir noktaya bağlandığı yıldız topolojisi, birden fazla yansıma noktası oluşturur. Yıldızın her dalı bir empedans süreksizliği olarak davranır ve sinyal bozulmasına neden olur.

> **Yıldız Topoloji İstisnası**
>
> Düşük hızlı CAN (ISO 11898-3, hata toleranslı), belirli transceiver'larla yıldız topolojisini destekler. Ancak yüksek hızlı CAN (ISO 11898-2) yalnızca doğrusal bus topolojisi kullanmalıdır.

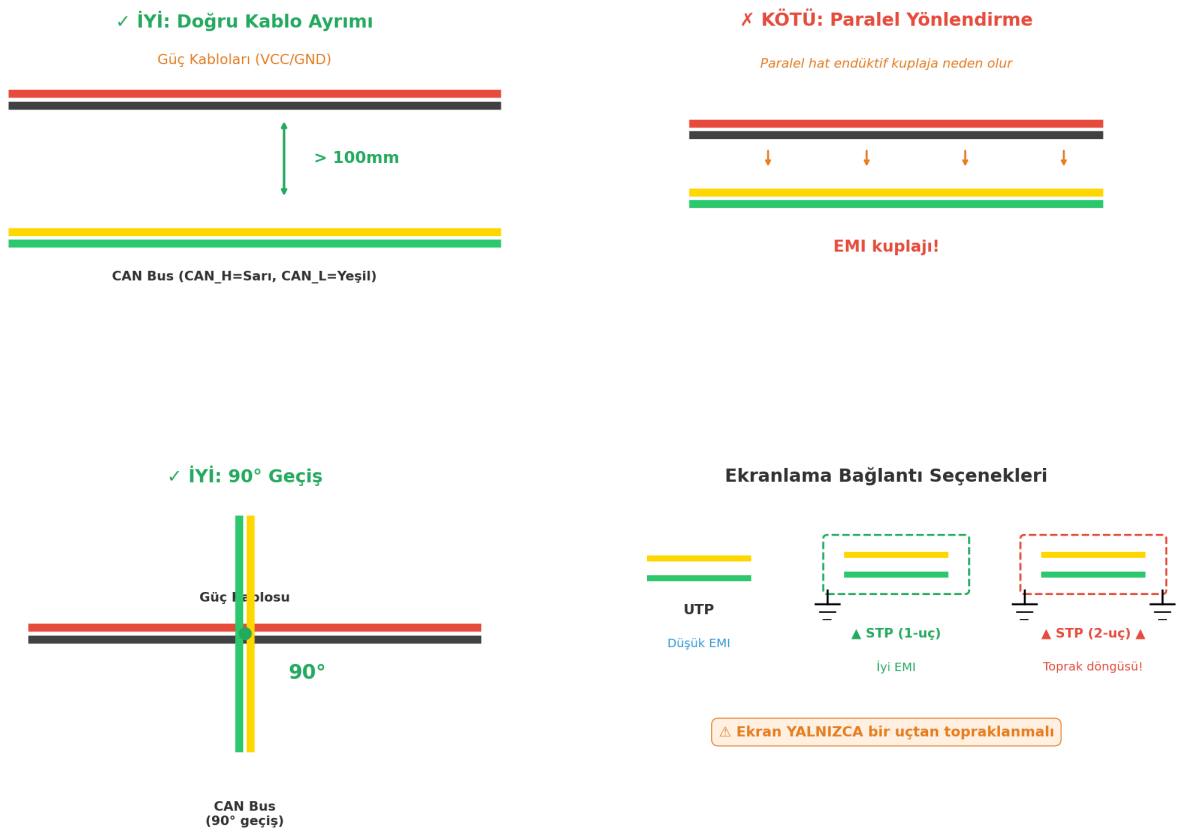
Anti-Kalıp 3: ECU'lar Üzerinden Zincirleme Bağlantı

ECU'ları seri olarak bağlamak (daisy chain), her düğümde empedans uyumsuzlukları oluşturur. ECU'nun dahili devresi bus'a 120Ω olmayan bir yük sunar ve sinyal bütünlüğünü bozar.

Anti-Kalıp 4: Toprak Döngüleri

Kablo ekranının her iki ucundan topraklanması bir toprak döngüsü oluşturur. Ekrandan akan akım, kapasitif ve endüktif kuplaj yoluyla sinyal iletkenlerinde gürültüye neden olur.

Kablo Yönlendirme En İyi Uygulamaları



Şekil 11-5 *Kablo Yönlendirme ve Ekranlama En İyi Uygulamaları*

Güç Hatlarından Ayrım

Tablo 11-5 Minimum Ayırma Mesafeleri

Güç Kablosu Türü	Minimum Ayırma	Notlar
Düşük akım (< 5A)	50 mm	Genel kablolama
Orta akım (5-20A)	100 mm	Aksesuar devreleri
Yüksek akım (> 20A)	200 mm	Marş motoru, alternatör
Ateşleme bobinleri	300 mm	Yüksek gerilim darbeleri
RF antenleri	500 mm	Radyo frekansı

Güç Kablolarını Geçme

CAN kabloları güç kablolarını geçmek zorunda olduğunda, her zaman 90° açıyla geçin. Bu kuplaj alanını en aza indirir ve endüktif girişimi azaltır. CAN kablolarını uzun mesafelerde güç kablolarına paralel asla çekmeyin.

Ekranlama Seçenekleri

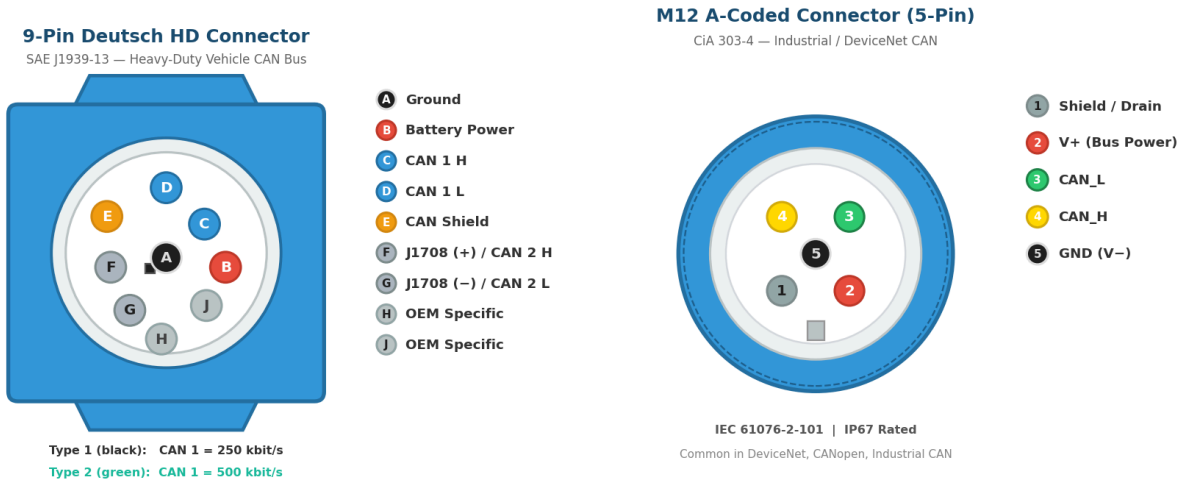
Tablo 11-6 CAN Kablo Ekranlama Seçenekleri

Tür	Uygulama	Etkinlik	Cost
Ekransız (UTP)	Kontrollü ortamlar, düşük EMI	Temel	Düşük
Tek ekranlı (STP)	Genel otomotiv	Good	Orta Düzey
Çift ekranlı	Yüksek EMI ortamları	Mükemmel	High
Zırhlı	Ağır makine, aşırı koşullar	Maksimum	Çok Yüksek

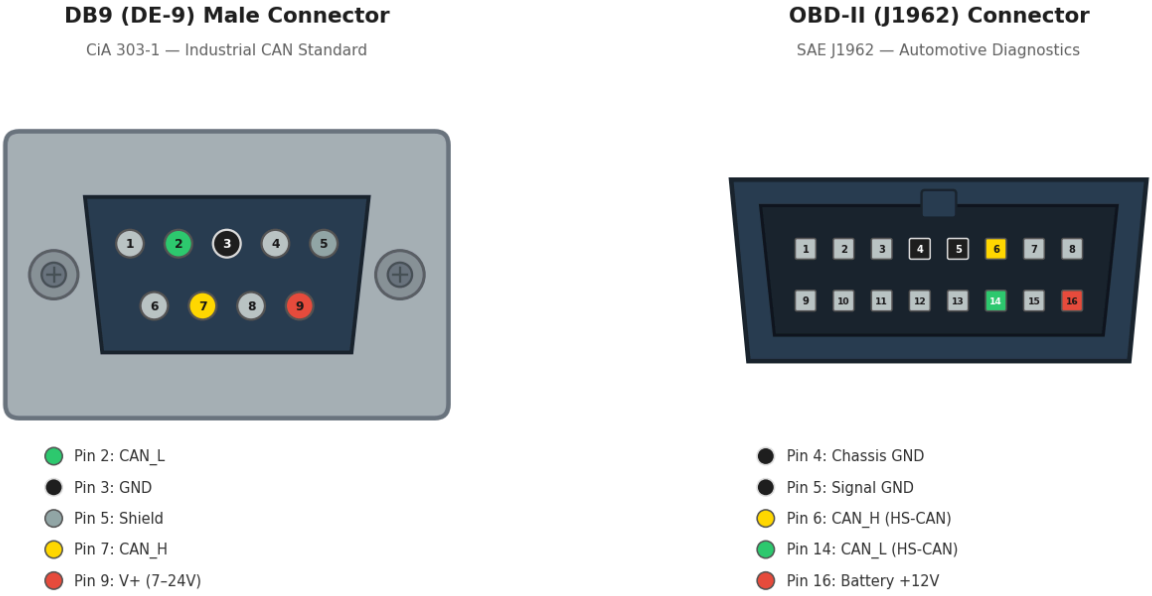
Ekran Topraklaması

Ekran yalnızca bir ucundan topraklanmalıdır, genellikle tanı konnektörü tarafından. Her iki ucundan topraklama, gürültüye neden olabilecek toprak döngüleri oluşturur. Topraklanmamış uç, kazara teması önlemek için yalıtılmalıdır.

Konnektör Seçimi



Şekil 11-6 *9-Pin Deutsch HD (SAE J1939-13) ve M12 A-Kodlu (CiA 303-4) Konnektör Pin Şemaları*



Şekil 11-7 *DB9 ve OBD-II Fiziksel Konnektör Görünümleri ve Pin Tanımlaması*

Konnektör Gereksinimleri

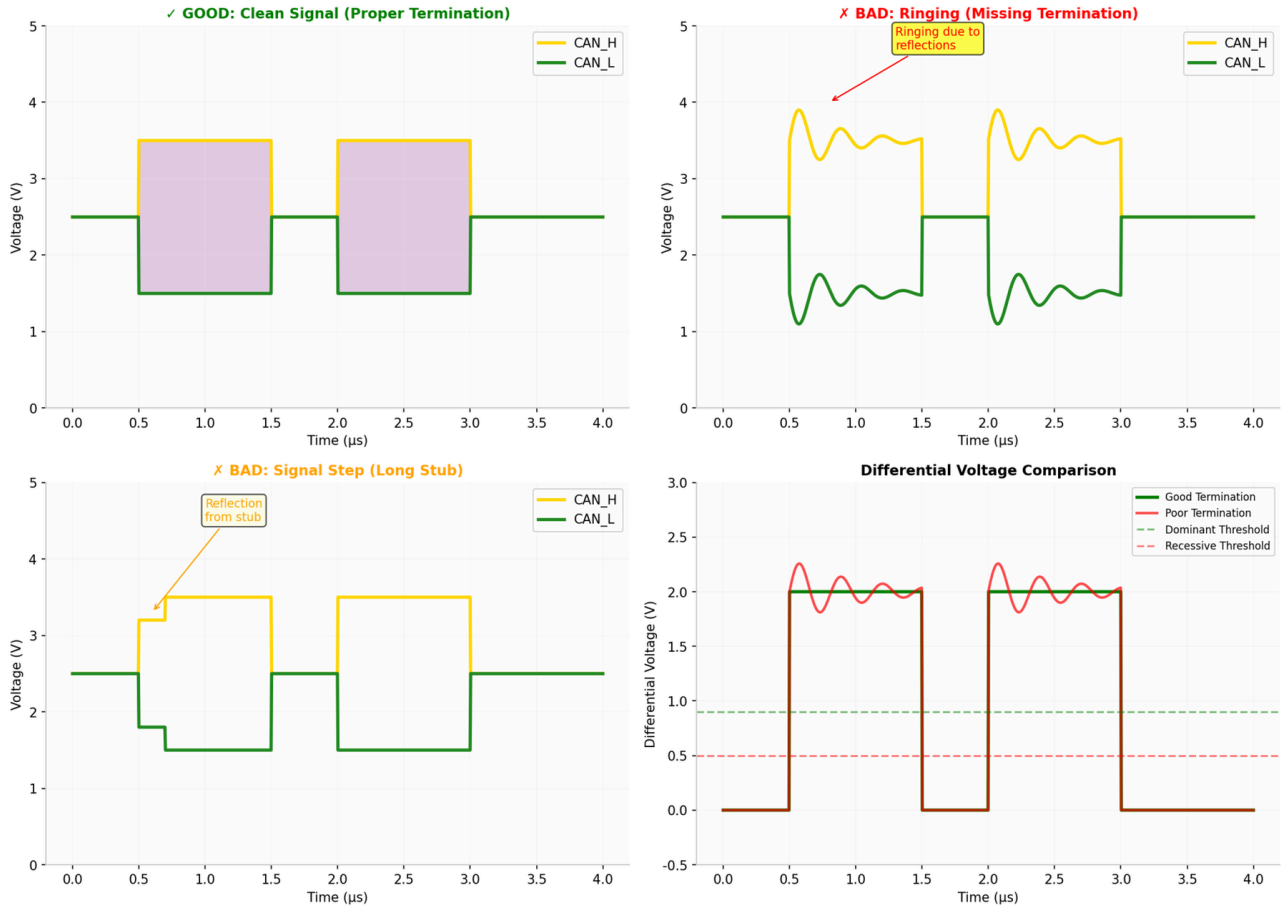
- **Ekran sürekliliği:** 360° ekran sürekliliği sağlayan konnektörler kullanın
- **Gerilim giderici:** Titreşim ve hareketten kaynaklanan kablo hasarını önleyin
- **IP derecesi:** Ortam için uygun giriş koruması seçin
- **Altın kaplama:** Korozyon direnci için altın kaplama kontaklar kullanın
- **Kilitleme mekanizması:** Kazara bağlantı kopmasını önleyin

Yaygın Konnektör Türleri

Tablo 11-7 Yaygın CAN Konnektör Türleri

Konnektör	Uygulama	Pins	Standart
DB9 (DE-9)	Endüstriyel, tanılama araçlar	9	CiA 303-1
OBD-II (J1962)	Otomotiv diagnostiği	16	SAE J1962
M12	Endüstriyel otomasyon	5	IEC 61076-2-101
Deutsch DT	Ağır hizmet araçları	2-12	SAE J1939-13
RJ45	Ethernet-CAN ağ geçitleri	8	IEC 60603-7

Sinyal Bütünlüğü Hususları



Şekil 11-8 *Sinyal Bütünlüğü - Sonlandırma Etkilerinin Dalga Formu Kalitesine Etkisi*

Ortak Mod Boğma Bobinleri

Ortak mod bobinleri, diferansiyel sinyallerin geçmesine izin verirken ortak mod gürültüsünü filtreleyerek EMC performansını iyileştirebilir:

```
Common Mode Choke Specifications:
- Impedance: 100-1000 Ω at 100 MHz
- Akım rating: 100-500 mA (match transceiver requirements)
- DC resistance: < 1 Ω (minimize voltage drop)
- Saturation current: > 2× operating current

Recommended Placement:
- Install near connector entries
- Place on both CAN_H and CAN_L lines
- Use bifilar wound chokes for best common-mode rejection
```

Kurulum Kontrol Listesi

Güç Öncesi Doğrulama

Yeni bir CAN kurulumuna güç vermeden önce:

1. Sonlandırma direncini doğrulayın: CAN_H ve CAN_L arasında 60Ω ± 10Ω
2. Kısa devre kontrolü: CAN_H/CAN_L ile güç/toprak arasında süreklilik olmamalıdır
3. Stub uzunluklarını doğrulayın: Tüm stub'lar veri hızı spesifikasyonu dahilinde
4. Yönlendirmeyi kontrol edin: Güç kablolarından minimum 100mm
5. Ekran topraklamasını kontrol edin: Yalnızca bir uçtan topraklanmış
6. Konnektör bütünlüğünü doğrulayın: Tüm pinler düzgün oturmuş

Tasarım Doğrulaması

EMC performansını her zaman test yoluyla doğrulayın. Geliştirme sırasında ön uyumluluk testi sorunları erken tespit edebilir ve maliyetli yeniden tasarımları azaltır. Son doğrulama akredite bir EMC test tesisinde yapılmalıdır. Tüm kablo donanımı güzergahlarını belgeleyin ve gelecekteki sorun giderme için yapıldığı haliyle çizimleri muhafaza edin.

Bölüm 12: Pratik Uygulama

Güvenilir bir CAN ağı uygulamak, sistem mimarisi, bus yüklemesi ve gateway tasarımının dikkatli bir şekilde değerlendirilmesini gerektirir. Bu bölüm, gerçek dünya CAN sistemi geliştirmesi için pratik rehberlik sağlar.

12.1 Sistem Mimarisi

Modern araçlar, işlev ve veri hızı gereksinimlerine göre düzenlenmiş birden fazla CAN bus kullanır. Tipik bir otomotiv ağ mimarisi şunları içerir:

Tablo 12-1 Tipik Otomotiv CAN Bus Mimarisi

Bus	Veri Hızı	Bağlı Sistemler	Özellikler
Aktarma Organı CAN	500 kbps - 1 Mbps	Motor, Şanzıman, ABS	Yüksek öncelik, gerçek zamanlı
Gövde CAN	125 kbps - 250 kbps	Kapılar, Camlar, Aydınlatma, HVAC	Konfor özellikleri
Bilgi-Eğlence CAN	125 kbps - 500 kbps	Radyo, Navigasyon, Ekran	Yüksek veri hacmi
Tanılama CAN	500 kbps	OBD-II, Servis Araçları	Standartlaştırılmış erişim
Şasi CAN	250 kbps - 500 kbps	Süspansiyon, Direksiyon, Fren	Güvenlik kritik

Tipik Çoklu Bus Mimarisi:

- Güç Aktarma CAN (500 kbps) → Merkezi Geçit
- Gövde CAN (125 kbps) → Merkezi Ağ Geçidi
- Bilgi-Eğlence CAN (250 kbps) → Central Gateway
- Şasi CAN (500 kbps) → Central Gateway
- Merkezi Ağ Geçidi → OBD-II Tanılama Portu

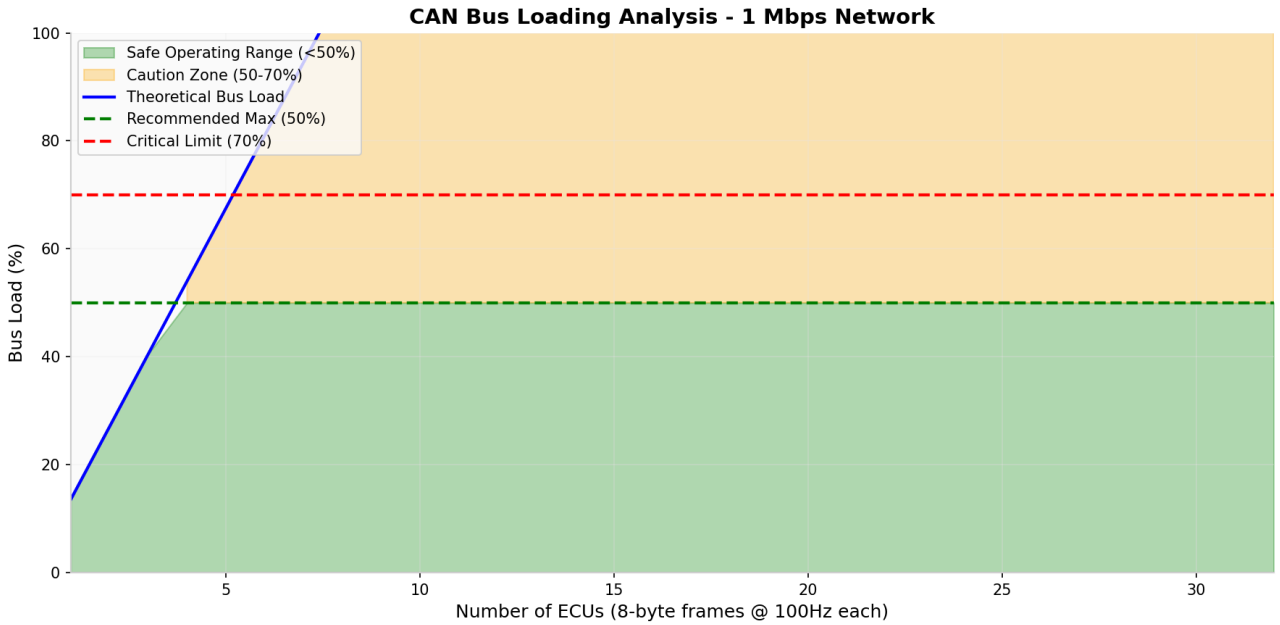
Ağ Geçidi Tasarım Hususları

Gateway düğümü farklı CAN bus'ları birbirine bağlar ve mesaj yönlendirmesini yönetir:

- **Mesaj filtreleme:** Veriyolları arasında yalnızca ilgili mesajları iletin
- **Protokol dönüşümü:** Gerekirse CAN 2.0 ve CAN FD arasında dönüştürün
- **Güvenlik:** Kritik bus hatlarını izole etmek için güvenlik duvarı işlevleri uygulayın
- **Tanılama:** Tüm veriyollarına birleşik tanılama erişim sağlayın

12.2 Bus Yükleme Analizi

Bus yüklemesi, CAN ağ tasarımı için kritik bir parametredir. Aşırı yükleme mesaj gecikmelerine ve öncelik inversiyonu sorunlarına neden olabilir.



Şekil 12-1 *CAN Bus Yükleme Analizi - 1 Mbps Ağ*

Bus Yük Hesaplaması

$$Bus\ Load = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Frame\ Size_i \times Rate_i)}{Baud\ Rate} \times 100\%$$

500 kbps bus için örnek hesaplama:

```
Mesajs:
- Engine RPM: 130 bits × 100 Hz = 13,000 bits/s
- Vehicle Speed: 130 bits × 50 Hz = 6,500 bits/s
- Coolant Temp: 130 bits × 10 Hz = 1,300 bits/s
- (20 more messages at various rates)

Total: 180,000 bits/s
Bus Yükü: 180,000 / 500,000 = 36%
```

Tablo 12-2 Bus Yükleme Kılavuzu

Bus Yükü	Durum	Öneri
< 30%	Mükemmel	Gelecekteki genişleme için yeterli pay
30-50%	Good	Normal çalışma aralığı
50-70%	Dikkat	Gecikme sorunlarını izleyin
70-85%	Uyarı	Öncelik tersine dönme riski, yeniden tasarım önerilir
> 85%	Kritik	Ağda önemli gecikmeler yaşanacaktır

> **En Kötü Durum Gecikmesi**
>
> %50 bus yükünde, yüksek öncelikli bir mesaj bir düşük öncelikli çerçeve kadar gecikebilir. %70 yükte gecike birkaç çerçeve olabilir. Güvenlik açısından kritik mesajlar için her zaman en kötü durum yanıt süresi analizi yapın.

12.3 Ağ Geçidi (Gateway) Tasarımı

Gateway, çoklu bus mimarilerinde kritik bir bileşendir. Mesaj yönlendirme, protokol dönüşümü ve güvenlik işlevlerini yönetmelidir.

Ağ Geçidi Mesaj Yönlendirmesi

```
// Örnek Gateway Routing Table
struct RoutingEntry {
    uint32_t can_id;        // Kaynak CAN ID
    uint8_t  source_bus;    // Kaynak bus number
    uint8_t  target_bus;    // Target bus number
    uint32_t new_id;        // Translated CAN ID (optional)
    uint8_t  priority;      // Routing priority
};

RoutingEntry routing_table[] = {
    // Route Engine RPM from Powertrain to Infotainment
    {0x0CFFF048, POWERTRAIN_BUS, INFO_BUS, 0x0CFFF048, 5},

    // Route Door Durum from Body to Infotainment
    {0x18FEF103, BODY_BUS, INFO_BUS, 0x18FEF103, 3},

    // Route Diagnostic requests to all buses
    {0x18EA00F9, DIAG_BUS, ALL_BUSES, 0x18EA00F9, 1},
};
```

Ağ Geçidi Performans Gereksinimleri

Tablo 12-3 Ağ Geçidi Performans Spesifikasyonları

Parametre	Tipik	Yüksek Performans
Mesaj Gecikmesi	< 5 ms	< 1 ms
İş Hacmi	2000 mesaj/s	10000 mesaj/s
Yönlendirme Tablosu Boyutu	256 giriş	1024 giriş
Tampon Boyutu	64 mesaj	256 mesaj
Protokol Dönüştürme	CAN 2.0 ↔ CAN FD	CAN ↔ LIN ↔ FlexRay

> **Siber Güvenlik Hususları**
>
> Modern gateway'ler mesaj kimlik doğrulaması, saldırı tespiti ve güvenli firmware güncellemeleri dahil siber güvenlik önlemleri uygulamalıdır. Gateway, araç bus'ları ile harici arayüzler arasındaki birincil güvenlik sınırı olarak hizmet verir.

Bölüm 13: Sorun Giderme (Troubleshooting)

CAN bus sorun giderme, sistematik bir yaklaşım ve uygun tanı araçları gerektirir. Bu bölüm yaygın arızaları, tanı prosedürlerini ve güvenilir CAN iletişimini sürdürmek için en iyi uygulamaları kapsar.

13.1 Yaygın Hatalar

CAN bus sorunları fiziksel katman arızaları ve protokol katmanı arızaları olarak sınıflandırılabilir.

Fiziksel Katman Arızaları

Tablo 13-1 Yaygın Fiziksel Katman Arızaları

Arıza	Belirtiler	Neden	Çözüm
Açık Devre	İletişim yok, bus recessive'de takılı	Kopuk kablo, gevşek bağlantı	Kablolamayı onar, konektörleri kontrol et
CAN_H - VBAT Kısa Devre	Bus dominant'ta takılı	Kablolama hasarı	Kısa devreyi izole et ve onar
CAN_L - GND Kısa Devre	Bus dominant'ta takılı	Kablolama hasarı	Kısa devreyi izole et ve onar
CAN_H/CAN_L Kısa Devre	Diferansiyel sinyal yok	Kablolama hasarı	Kısa devreyi izole et ve onar
Eksik Terminasyon	Sinyal yansımaları, hatalar	Arızalı direnç, eksik ECU	CAN_H/CAN_L arası 60Ω kontrol et
Yanlış Terminasyon	Sinyal yansımaları	Yanlış direnç değeri	Doğru 120Ω dirençleri tak
Ground Kayması	Aralıklı hatalar	Kötü ground bağlantısı	Topraklamayı iyileştir

Protokol Katmanı Arızaları

Tablo 13-2 Yaygın Protokol Katmanı Arızaları

Arıza	Belirtiler	Neden	Çözüm
Bit Zamanlama Uyumsuzluğu	Aralıklı hatalar, Bus Off	Yanlış örnekleme noktası	Bit zamanlama konfigürasyonunu doğrula
Yinelenen Node ID'leri	Adres çakışmaları (J1939)	Konfigürasyon hatası	Benzersiz adresler ata
Yüksek Bus Yükü	Mesaj gecikmeleri, kayıp frame'ler	Çok fazla mesaj	Mesaj hızlarını optimize et
EMI Paraziti	Rastgele hatalar	Kötü kablo yönlendirmesi	Ekranlamayı ve yönlendirmeyi iyileştir
Arızalı Transceiver	Tek node hatalara neden oluyor	Donanım arızası	Transceiver/ECU'yu değiştir

13.2 Tanılama Araçları

Etkili CAN sorun giderme uygun tanı araçları gerektirir:

Temel Araçlar

Tablo 13-3 CAN Tanılama Araçları

Araç	Amaç	Tipik Kullanım
Dijital Multimetre	Gerilim, direnç ölçümleri	Terminasyon, kısa devre kontrol
Osiloskop	Sinyal dalga formu analizi	Sinyal kalitesi, zamanlama doğrula
CAN Analizörü	Protokol analizi	Mesaj izleme, hata tespiti
Tarama Aracı	Araç tanılama	DTC oku, canlı veri
Ağ Test Cihazı	Fiziksel katman testi	Kablo testi, sinyal bütünlüğü

Gerilim Ölçümleri

```
Normal Bus Gerilim Ölçümleri:

CAN_H - Ground:
- Recessive: 2.5V ± 0.5V
- Dominant: 3.5V ± 0.5V

CAN_L - Ground:
- Recessive: 2.5V ± 0.5V
- Dominant: 1.5V ± 0.5V

CAN_H - CAN_L:
- Recessive: 0V ± 0.5V
- Dominant: 2.0V ± 0.5V

Terminasyon Direnci (güç kapalı):
- CAN_H - CAN_L: 60Ω ± 5Ω (paralel iki 120Ω)
```

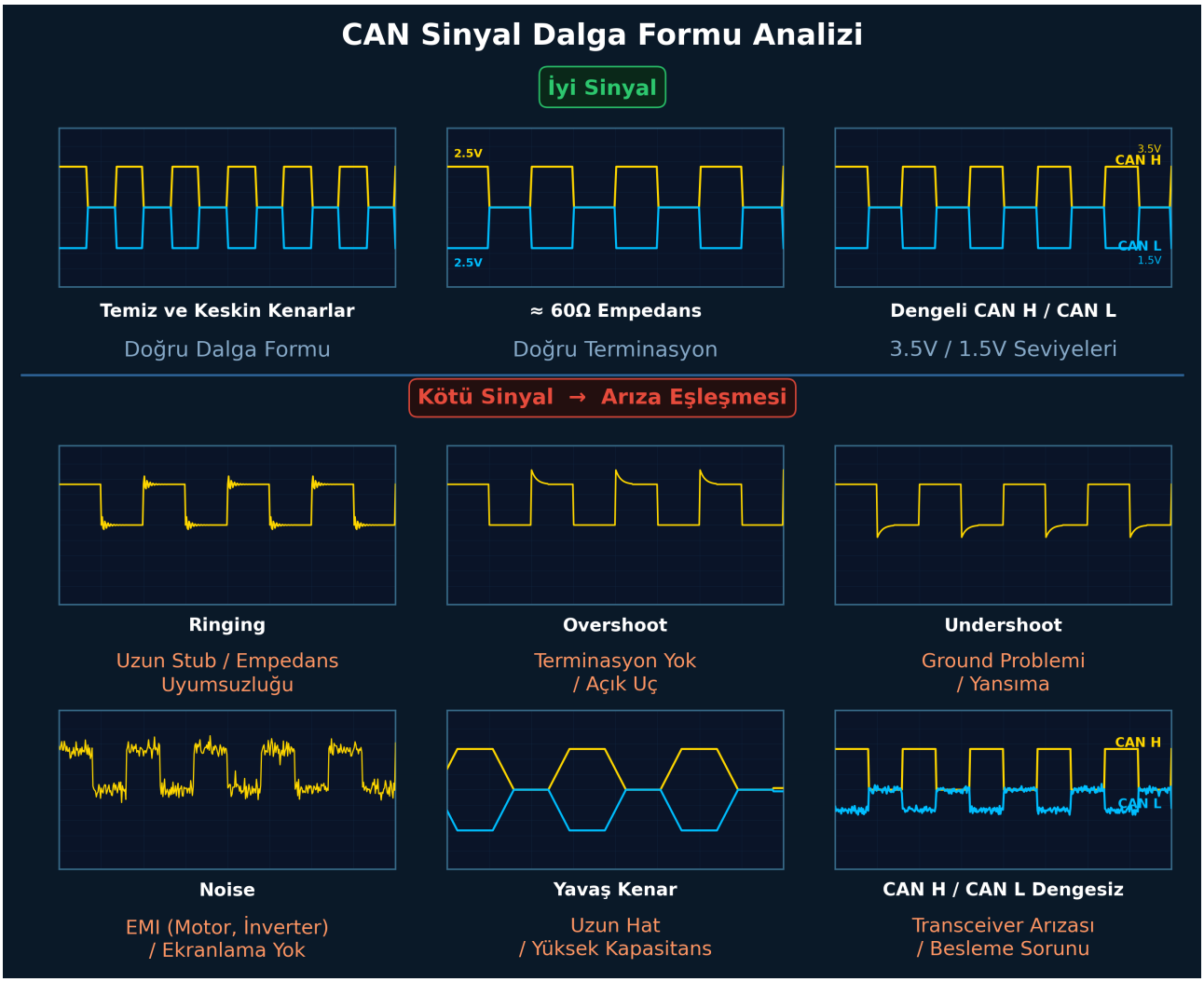
Osiloskop Analizi

Doğrulanacak temel dalga formu özellikleri:

- **Diferansiyel gerilim:** Baskın ~2V, çekinik ~0V olmalıdır
- **Yükselme/düşme süreleri:** Yüksek hızlı CAN için tipik olarak 20-50 ns
- **Sinyal simetrisi:** CAN_H ve CAN_L birbirinin ayna görüntüsü olmalıdır
- **Gürültü:** Her iki hatta minimal gürültü

Dalga Formu → Arıza Cheat Sheet

Aşağıdaki şekil, osiloskop dalga formlarından CAN bus arızalarını tanımlamak için görsel bir referans sağlar. Üst sıra sağlıklı sinyal özelliklerini gösterirken, alt bölüm yaygın dalga formu anomalilerini kök nedenlerine eşler:



Şekil 13-1 *CAN Sinyal Dalga Formu Analizi — İyi Sinyal vs Arıza Eşleşmesi*

Tablo 13-4 Dalga Formu Anomali Tanısı

Anomali	Kök Neden	Doğrulama Adımları	Çözüm
Zil Çalma	Uzun stub, empedans uyumsuzluğu, eksik terminasyon	Stub uzunluğu < 20 cm kontrol; 120Ω + 120Ω mevcut mu doğrula	Stub'ları kısalt, empedansı düzelt, eksik terminasyonu ekle
Aşırı Yükselme	Terminasyon yok, açık uç yansıması	CAN_H–CAN_L ≈ 60Ω ölç	Her iki bus ucuna uygun 120Ω terminasyon dirençleri takın
Aşırı Düşme	Ground problemi, sinyal yansıması	GND sürekliliğini kontrol et; ECU ground referansının ortak olduğunu doğrula	Ground bağlantılarını onar, tek nokta topraklama sağla
Gürültü	EMI (motor, inverter), ekranlama yok	Kablo ekranlamasını kontrol et; güç hatlarına yakınlığı ölç	Ekranlı kablo ekle, EMI kaynaklarından uzaklaştır, ortak mod bobin ekle
Yavaş Kenar	Uzun kablo, aşırı kapasitans, çok fazla node	Kablo uzunluğunu ölç; bus üzerindeki node sayısını say	Kablo uzunluğunu azalt, node sayısını azalt, daha kaliteli kablo kullan
CAN H/L Dengesiz	Arızalı transceiver, besleme gerilimi sorunu	CAN_H ve CAN_L simetrisini karşılaştır; transceiver beslemesini kontrol et	Arızalı transceiver/ECU'yu değiştir, güç kaynağını doğrula

13.3 Saha Debug Prosedürü

CAN bus problemlerinin yaklaşık %90'ını çözen sistematik 10 adımlı saha arıza giderme prosedürü:

Adım Adım Debug Prosedürü

Tablo 13-5 CAN Bus Saha Debug Prosedürü

Adım	Eylem	Detaylar	Beklenen Sonuç
1	**Multimetre — Direnç**	Kontak KAPALI. CAN_H ↔ CAN_L direncini ölç.	~60Ω = OK | ~120Ω = tek terminasyon | ~40Ω = fazla terminasyon | ∞ = kopuk hat
2	**Fiziksel Kontrol**	Doğrula: bus uçlarında terminasyon, stub uzunlukları, bükümlü çift kullanımı, ek yok	Tüm bağlantılar sağlam, topoloji doğru
3	**Osiloskop — Bağla**	CAN_H ve CAN_L'yi probla (tercihen diferansiyel ölçüm)	Temiz kare dalga görünür
4	**Dalga Formu Analizi**	Dalga formunu cheat sheet ile karşılaştır (Şekil 13-1)	Anomalileri tespit et: ringing, overshoot, noise, vb.
5	**Hız Düşürme Testi**	Bus hızını düşür (örn. 500 kbps → 250 kbps)	Hatalar kaybolursa → fiziksel katman problemi onaylandı
6	**Node İzolasyonu**	ECU'ları tek tek çıkar	Hangi node'un probleme neden olduğunu belirle
7	**Stub Testi**	Uzun branş hatlarını çıkar	Sinyal düzeliyorsa → stub problemdir
8	**Terminasyon Testi**	Bir terminasyonu çıkar → gözlemle; hassas dirençle değiştir	Hatalı veya eksik terminasyonu belirle
9	**EMI Testi**	Motoru çalıştır, DC-DC dönüştürücüyü aktifleştir, sinyal değişimlerini gözlemle	EMI'ye duyarlı koşulları belirle
10	**Transceiver Doğrulama**	Tek ECU ile test et; bilinen sağlam ECU ile karşılaştır	Arızalı transceiver'ı belirle

> **Altın Kural**
>
> Bus hızını düşürmek problemi ortadan kaldırıyorsa, bu %100 fiziksel katman sorunudur. Yazılım hatası aramayın.

Gerçek Araç Problem Senaryoları

Tablo 13-6 Yaygın Araç CAN Problem Senaryoları

Senaryo	Belirtiler	Kök Neden	Çözüm
Motor çalışınca CAN kesiliyor	Kontakta OK, motor çalışırken CAN error/bus-off. Osiloskop artan noise ve bozuk kenarlar gösterir.	Alternatör/inverter EMI, kötü topraklama	Bükümlü çift + ekran kullan, GND referansını düzelt, kabloyu güç hatlarından uzaklaştır, ortak mod bobin ekle
ECU'lar aralıklı olarak kayboluyor	Rastgele zaman aşımları, DM1 mesajları gelip gidiyor. Osiloskop ringing + kenar bozulması gösterir.	Uzun stub'lar, yıldız/T-branş topolojisi	Stub'ları < 20 cm'ye kısalt, yıldız topolojiyi lineer bus'a dönüştür
Sadece yüksek hızda hatalar	250 kbps OK, 500 kbps hata	Empedans uyumsuzluğu, kötü kablo kalitesi	Uygun 120Ω kablo kullan, terminasyonu doğrula, kabloyu değiştir
Hiç iletişim yok	CAN tamamen ölü. Multimetre ∞Ω gösteriyor.	Kopuk kablo, çıkmış konektör	Süreklilik testi, tüm konektörleri kontrol et
Zayıf sinyal seviyeleri	CAN_H/CAN_L diferansiyel gerilim çok düşük	Üçlü terminasyon (≈40Ω), aşırı bus yüklemesi	Fazla terminasyonu çıkar — sadece iki 120Ω uç bırak
Tek ECU bus'ı bozuyor	Belirli ECU bağlandığında bus çöküyor	Arızalı transceiver, dominant-stuck çıkış	Arızalı ECU'yu çıkar, transceiver'ı değiştir

> **Saha İstatistikleri**
>
> CAN bus problemlerinin yaklaşık %80'i fiziksel katmandan (kablolama, terminasyon, konektörler) kaynaklanır ve yalnızca %20'si yazılım veya konfigürasyon sorunlarından gelir. Her zaman önce fiziksel katmanı kontrol edin.

CAN FD Debug Farkları

CAN FD, daha yüksek veri fazı bit hızları (2–5 Mbps) nedeniyle daha sıkı fiziksel katman toleransları gerektirir. Klasik CAN hızlarında tolere edilebilen aynı kablolama hataları, CAN FD veri hızlarında kritik hale gelir:

Tablo 13-7 Klasik CAN vs CAN FD — Fiziksel Katman Hassasiyeti

Parametre	Klasik CAN	CAN FD	Etki
Maks Stub Uzunluğu	< 30 cm	< 10 cm	Veri fazı hızındaki yansımalar bit hatalarına neden olur
Ringing Toleransı	Orta — küçük yansımaları tolere edebilir	Çok düşük — küçük yansımalar bile CRC hatalarına neden olur	Daha sıkı empedans eşleşmesi gerekli
Kablo Kalitesi	Standart kablo kabul edilebilir	Gerçek 120Ω bükümlü çift zorunlu	Empedans uyumsuzluğu yüksek frekansta büyütülür
Terminasyon Hassasiyeti	±%10 tolerans	±%5 veya daha az önerilir	Küçük sapmalar görünür yansımalar oluşturur
Kenar Zamanlaması	Yumuşak kenarlar kabul edilebilir	Keskin, temiz kenarlar gerekli	Eğim kontrolü ve yükselme/düşme süresi kritik

CAN FD'ye Özgü Arıza Modları

- **Data Phase Crash:** Arbitration fazı düzgün çalışır ama veri fazı başarısız olur — yüksek frekanslı fiziksel katman hatalarından kaynaklanır
- **CRC Error Spike'ları:** Veri fazında rastgele CRC hataları — arbitration hızında görünmeyen küçük yansımalardan kaynaklanır
- **Bit Stuffing Hataları:** Veri hızındaki kenar bozulması bit zamanlama ihlallerine neden olur

CAN FD Debug Stratejisi

CAN FD debug, RF seviyesinde sinyal bütünlüğü analizine yaklaşır. Şu sırayı izleyin: (1) Önce düşük veri hızında test edin, (2) Sadece 2 node ile test edin, (3) Tüm stub'ları kesin, (4) Osiloskop ile kenarları inceleyin, (5) Gerekirse kabloyu değiştirin. CAN FD sistemlerde başarılı iletişim için klasik CAN kurallarının daha sıkı uygulanması gerekir — özellikle stub uzunluğu, empedans uyumu ve sinyal bütünlüğü.

13.4 En İyi Uygulamalar

Tasarım, kurulum ve bakım sırasında en iyi uygulamaları takip etmek birçok CAN bus sorununu önleyebilir:

Tasarım En İyi Uygulamaları

- Normal çalışma için veriyolu yükünü %50'nin altında tutun
- Uygun empedanslı bükümlü çift kablo kullanın
- Her iki veriyolu ucunda uygun sonlandırma uygulayın
- Stub uzunluklarını minimize edin (< 0,3 m, 1 Mbps hızda)
- CAN kablolarını yüksek akımlı güç hatlarından uzağa yönlendirin
- Yüksek EMI ortamlarında ekranlı kablolar kullanın
- Uygun topraklama uygulayın (ekran için tek nokta)

Kurulum En İyi Uygulamaları

- Güç vermeden önce sonlandırma direncini doğrulayın
- CAN_H, CAN_L, güç ve toprak arasındaki kısa devreleri kontrol edin
- Gerilim gidericili uygun konnektörler kullanın
- Tüm CAN kablolarını açıkça etiketleyin
- Ağ topolojisini ve düğüm adreslerini belgeleyin

Bakım En İyi Uygulamaları

- Veriyolu yükünü ve hata sayaçlarını düzenli olarak izleyin
- Trend analizi için tanılama arıza kodlarını kaydedin
- Periyodik fiziksel katman testi gerçekleştirin
- Bilinen sorunları gidermek için yazılımı güncelleyin
- Kritik bileşenler için yedek parça bulundurun

> **Sorun Giderme Kontrol Listesi**
>
> CAN sorunlarını giderirken şu sistematik yaklaşımı izleyin: (1) Fiziksel bağlantıları ve sonlandırmayı doğrulayın, (2) Multimetre ile gerilim seviyelerini kontrol edin, (3) Osiloskop ile dalga biçimlerini analiz edin, (4) CAN analizörü ile mesajları izleyin, (5) ECU'lardaki hata sayaçlarını kontrol edin, (6) Arızalı cihazı belirlemek için düğümleri izole edin.

Bölüm 14: CAN FD ile J1939

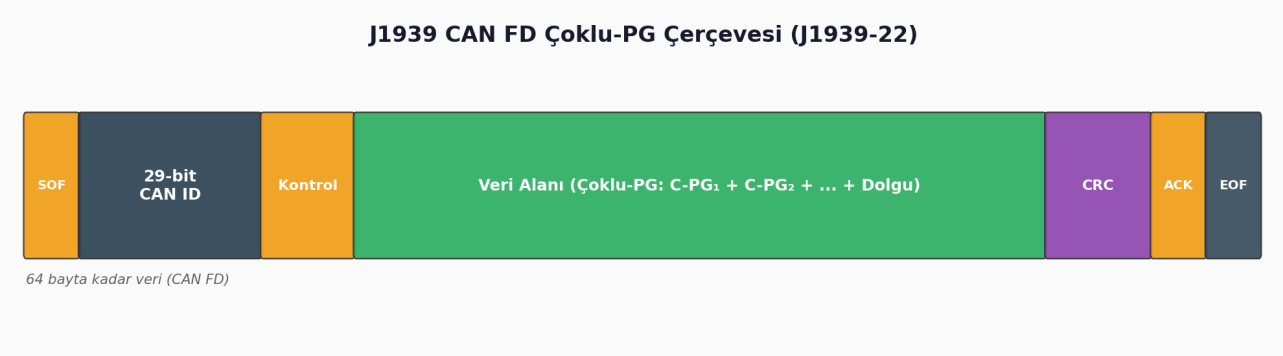
SAE J1939-22, J1939 protokolünün CAN FD ağlarına adaptasyonunu tanımlar; CAN FD'nin artan bant genişliği ve yük kapasitesinden yararlanırken üst katman protokol desteğini sağlar. Bu bölüm, J1939-22'nin modern ağır hizmet araç ağları için tanıttığı Multi-PG mekanizmasını, CAN FD Taşıma Protokolünü ve geliştirilmiş ağ yönetimi yeteneklerini kapsar.

14.1 Çoklu PG ve İçerilen PG'ler

Klasik J1939, CAN çerçevesi başına bir Parameter Group (PG) eşler. CAN FD'nin 64 baytlık yükü ile J1939-22, birden fazla Parameter Group'un tek bir CAN FD çerçevesine paketlenmesine olanak tanıyan **Multi-PG** konseptini sunar. Her gömülü PG, **Contained PG (C-PG)** olarak adlandırılır.

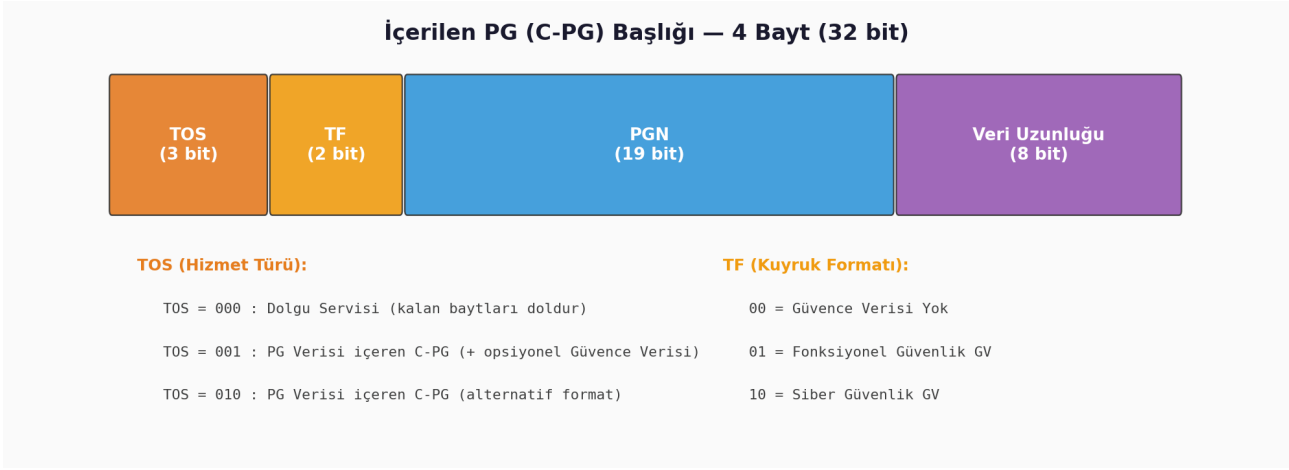
Çoklu-PG Çerçeve Yapısı

Bir Multi-PG çerçevesi özel bir PGN kullanır ve bir veya daha fazla C-PG'yi veri alanına ardışık olarak paketler. Her C-PG, orijinal PGN'yi tanımlayan kendi başlığını taşır ve alıcının içeriği çoğullamadan çıkarmasını sağlar.



Şekil 14-1 *J1939 CAN FD Çoklu-PG Çerçeve Genel Görünümü (J1939-22)*

Şekil 14-2 *İçerilen PG'lerle Çoklu-PG Veri Alanı Yapısı*



Şekil 14-3 *İçerilen PG (C-PG) Başlığı — TOS ve TF Alanları*

İçerilen PG Başlık Alanları

Tablo 14-1 İçerilen PG (C-PG) Başlık Yapısı

Alan	Size	Açıklama
Hizmet Türü (TOS)	4 bit	İçerilen PG için öncelik ve QoS parametreleri
İletim Formatı (TF)	4 bit	C-PG adresleme modunu belirtir (PDU1 veya PDU2)
PGN	18 bit	İçerilen PG'nin Parametre Grup Numarası
Veri Uzunluğu	Değişken	Başlığı takip eden C-PG yük uzunluğu

Çoklu PG Bant Genişliği Verimliliği

Multi-PG, CAN FD ağlarında bus overhead'ini önemli ölçüde azaltır. Birden fazla küçük PG'yi (ör. 2 baytlık sensör değerleri) tek bir 64 baytlık çerçeveye paketleyerek, protokol overhead'inin yararlı veriye oranı dramatik olarak düşer. Örneğin, ayrı ayrı gönderilen dört 8 baytlık PG, her biri arbitration, CRC ve çerçeveler arası boşluk overhead'i olan dört CAN FD çerçevesi gerektirir. Tek bir Multi-PG çerçevesi olarak aynı veri yalnızca bir set overhead alanı gerektirir — yaklaşık %60 bant genişliği tasarrufu.

CAN FD Tanımlayıcı Eşleme

J1939-22 hem 11 bit hem de 29 bit CAN tanımlayıcılarını destekler. Geleneksel 29 bit genişletilmiş format için eşleme, arbitration fazı için geriye uyumluluğu koruyarak klasik J1939 ile tutarlı kalır:

Tablo 14-2 J1939 CAN FD 29-bit Tanımlayıcı Alanları

Bit Konumu	Alan	Açıklama
28–26	Öncelik	Mesaj önceliği (0 = en yüksek, 7 = en düşük)
25	Ayrılmış	Gelecekte kullanım için ayrılmış (0 olarak ayarlanmış)
24	Veri Sayfası	PGN adres alanını genişletir
23–16	PDU Formatı (PF)	PDU1 (PF < 240) veya PDU2 (PF ≥ 240) belirler
15–8	PDU Özgü (PS)	Hedef Adresi (PDU1) veya Grup Uzantısı (PDU2)
7–0	Kaynak Adresi	Gönderici düğümün adresi (0–253)

14.2 CAN FD Taşıma Protokolü

J1939-22, CAN FD'nin daha büyük çerçeveleri için optimize edilmiş yeni bir FD Taşıma Protokolü (FD.TP) tanımlar. Klasik J1939 TP (BAM/CMDT) TP.DT çerçeve başına 7 bayt ile sınırlıyken, FD.TP büyük veri setlerini daha verimli aktarmak için CAN FD yüklerinden yararlanır.

FD Taşıma Protokolü Mesajları

Tablo 14-3 J1939 FD Taşıma Protokolü Mesaj Türleri

Mesaj	PGN	Açıklama
FD.TP.CM	0x1CEC	Bağlantı Yönetimi — aktarım oturumlarını başlatır ve kontrol eder
FD.TP.DT	0x1CEB	Veri Aktarımı — her biri 63 bayta kadar yük segmentleri taşır
FD.TP.EOMS	—	Mesaj Oturumu Sonu — başarılı alımı onaylar
FD.TP.İptal	—	Bağlantı İptali — hata durumunda oturumu sonlandırır

FD.TP ve Klasik TP Performansı

FD.TP'nin klasik TP'ye göre performans avantajı, çerçeve başına daha büyük veri segmenti boyutu nedeniyle önemlidir:

Tablo 14-4 Taşıma Protokolü Karşılaştırması: Klasik TP ve FD.TP

Parametre	Klasik TP (J1939-21)	FD.TP (J1939-22)
DT çerçevesi başına bayt	7	Up to 63
Maksimum aktarım boyutu	1785 bayt	> 100 kB (genişletilmiş)
1785 bayt için çerçeve sayısı	~255 + CM	~29 + CM
Oturum yönetimi	CTS/EOM el sıkışma	EOMS ile geliştirilmiş akış kontrolü
Eşzamanlı oturumlar	Sınırlı	Çoklu eşzamanlı oturumlar desteklenir

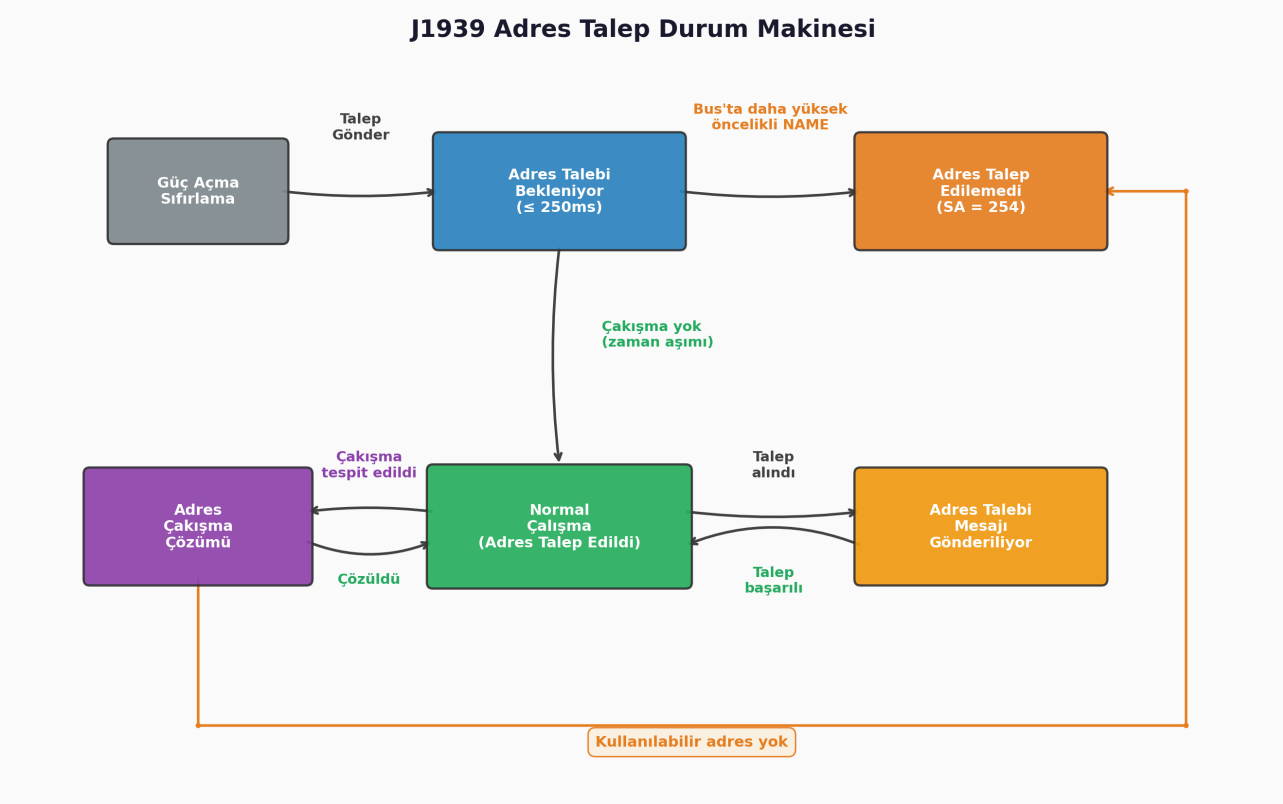
> **Karma Ağ İşletimi**
>
> Klasik J1939 (CAN 2.0B) segmentlerini J1939-22 (CAN FD) segmentleriyle bağlayan gateway'lerde, Multi-PG çerçevelerinin klasik taraf için tekrar bireysel PG'lere parçalanmasına dikkat edilmelidir. FD.TP oturumları zamanlama parametreleri uygun şekilde ayarlanarak klasik BAM/CMDT oturumlarına dönüştürülmelidir. Bu parçalanma, gerçek zamanlı kontrol uygulamalarında hesaba katılması gereken gecikme ekler.

14.3 Ağ Yönetimi ve Fonksiyonel Güvenlik

J1939 Ağ Yönetimi (J1939-81), bus üzerindeki ECU'ların tak-çalıştır çalışması için gerekli adres talep etme ve çakışma çözümleme mekanizmaları sağlar. J1939-22 geriye uyumluluğu korurken bu yetenekleri CAN FD ağları için genişletir.

Adres Talep Protokolü

Her J1939 düğümü, iletimden önce ağda benzersiz bir kaynak adresi (0–253) talep etmelidir. Address Claimed mesajı (PGN 0xEE00), küresel olarak benzersiz bir tanımlayıcı olarak hizmet eden ve adres çakışmaları sırasında önceliği belirleyen düğümün 64 bitlik NAME alanını taşır.



Şekil 14-4 *J1939 Adres Talep Durum Makinesi*

Şekil 14-5 *J1939 NAME Alanı (64 bit) — Adres Talep Önceliği*

J1939 NAME Alan Yapısı

Tablo 14-5 J1939 NAME Alanı — 64-bit Benzersiz Tanımlayıcı

Bit	Alan	Açıklama
63	Rastgele Adres	1 = düğüm adres müzakeresi yapabilir, 0 = sabit adres
62–59	Endüstri Grubu	Uygulama alanı (0 = Genel, 1 = Karayolu, 2 = Tarım, vb.)
58–55	Araç Sistemi Örneği	Birden fazla özdeş sistemi ayırt eder
54–48	Araç Sistemi	Araç sistemini tanımlar (motor, şanzıman vb.)
47–40	İşlev	ECU'nun sistem içindeki belirli işlevi
39–35	Fonksiyon Örneği	Fonksiyonun örneği
34–32	ECU Örneği	Bu işlev için ECU örneği
31–21	Üretici Kodu	SAE tarafından atanan üretici tanımlayıcısı
20–0	Kimlik Numarası	Üretici tarafından atanan benzersiz seri numarası

Çakışma Çözümü

İki düğüm aynı adresi talep ettiğinde, NAME alan değerleri kazananı belirler. **Sayısal olarak daha düşük NAME değerine** sahip düğüm adresi kazanır. Kaybeden düğüm ya alternatif bir adres seçmeli (Rastgele Adres biti = 1 ise) ya da Cannot Claim Address durumuna geçmelidir (kaynak adresi 254 ile PGN 0xEE00 gönderme).

> **J1939-17: CAN FD Fiziksel Katman**
>
> SAE J1939-17, J1939 CAN FD ağları için fiziksel katmanı belirtir. Çift bit hızları tanımlar: arbitration fazında 500 kbit/s ve veri fazında 2 Mbit/s. CAN FD'nin teorik maksimumu olan 8 Mbps'ye kıyasla bu muhafazakâr yaklaşım, zorlu ticari araç ortamlarında mevcut J1939 kablo donanımları ve konnektör sistemleriyle güvenilir çalışmayı sağlar. Standart ayrıca J1939 CAN FD düğümleri için transceiver gereksinimlerini, bus zamanlama toleranslarını ve osilatör spesifikasyonlarını ele alır.

Fonksiyonel Güvenlik Hususları

Modern J1939 CAN FD uygulamaları fonksiyonel güvenlik (ISO 26262) gereksinimlerini ele almalıdır. Temel mekanizmalar şunlardır:

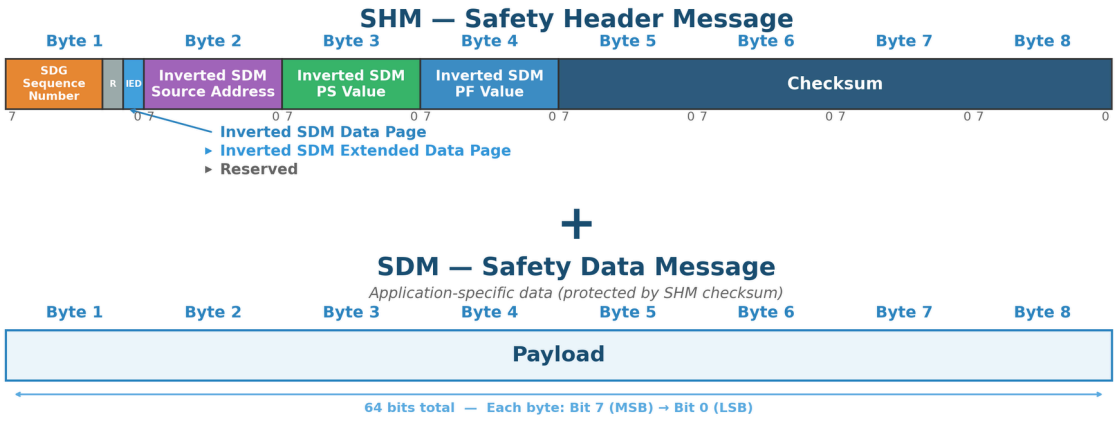
- **Hata Durumu Göstergesi (ESI):** CAN FD'nin ESI biti, error-passive vericilerin anında tespitine olanak tanır ve arıza sınırlamasını iyileştirir
- **CRC İyileştirmeleri:** CAN FD'nin stuff-bit sayımı ile 17/21 bit CRC'si, klasik CAN'ın 15 bit CRC'sinden daha güçlü hata tespiti sağlar
- **Uçtan Uca Koruma:** Uygulama seviyesinde E2E koruması (ör. AUTOSAR E2E Profil 6), güvenlik açısından kritik PG'ler için CAN FD'nin yerleşik hata tespitini tamamlamalıdır
- **Alive Counter:** Mesaj sıra numaralarının izlenmesi, arızalı ECU'lardan gelen donmuş veya bayat verilerin tespit edilmesine yardımcı olur
- **Zaman Aşımı İzleme:** Heartbeat tabanlı gözetim, tanımlı reaksiyon süresi içinde sessiz düğüm arızalarını algılar

14.4 J1939-76 Fonksiyonel Güvenlik İletişimi

SAE J1939-76, ASIL D'ye (ISO 26262) kadar güvenlik açısından kritik uygulamalar için veri bütünlüğünü sağlayan J1939 üzerinde bir güvenlik iletişim katmanı tanımlar. Standart, bir **Safety Header Mesaj (SHM)** ve bir **Safety Data Mesaj (SDM)** kullanarak eşleştirilmiş mesaj mekanizması sunar.

SHM/SDM Mesaj Yapısı

Her güvenlik açısından kritik PGN için üretici iki ardışık mesaj iletir: SHM (bütünlük doğrulama verisi içeren) ardından SDM (gerçek güvenlik yükünü içeren). Tüketici, SDM verilerini kabul etmeden önce SHM'yi doğrular.



J1939-76 — Safety Communication Timing

SDG Timing Basis	SCT Maximum	SRVT Maximum
≤ 200 ms	150% of time basis	50% of time basis
> 200 ms	Time basis + 100 ms	100 ms

Şekil 14-6 *J1939-76 Güvenlik Başlık Mesajı (SHM) ve Güvenlik Veri Mesajı (SDM) Yapısı*

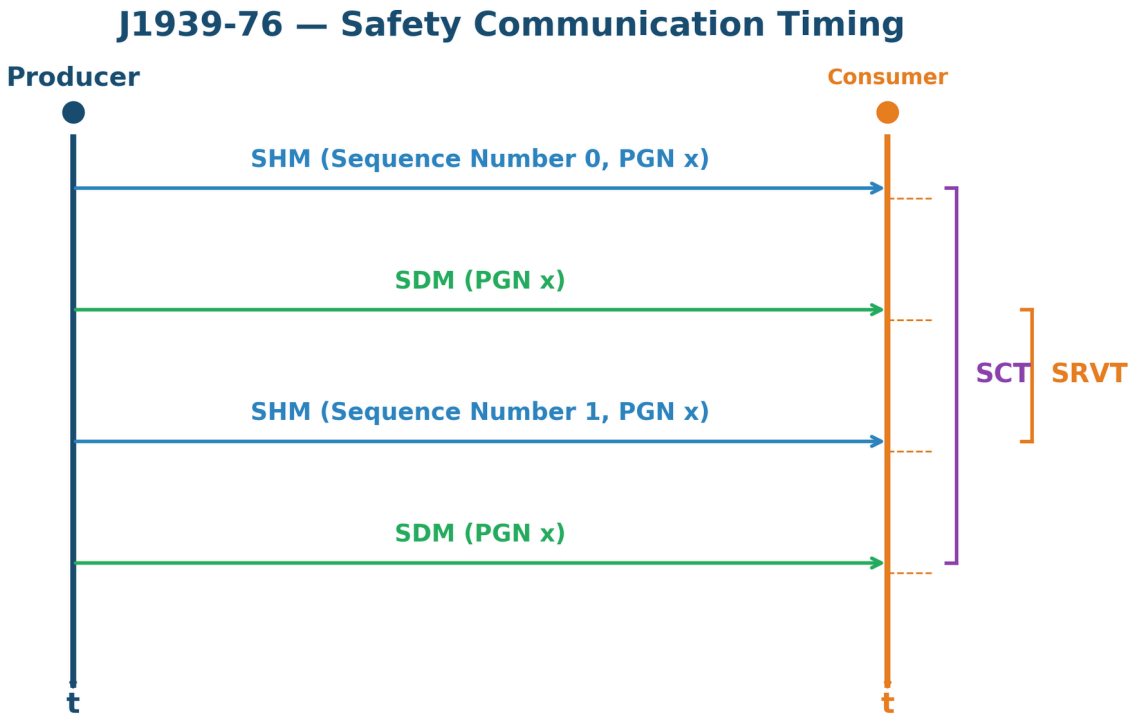
SHM Alan Açıklamaları

Tablo 14-6 Güvenlik Başlık Mesajı (SHM) Alanları

Byte	Alan	Açıklama
1 (bits 7-1)	SDG Sıra Numarası	Safety Data Group başına artımlı sayaç (0–127), mesaj kaybını veya tekrarını algılar
1 (bit 0)	Ayrılmış	Gelecekte kullanım için ayrılmış
1 (IED bits)	Ters Çevrilmiş Genişletilmiş Veri Sayfası / Veri Sayfası	Çapraz doğrulama için SDM'nin DP ve EDP alanlarının ters değerleri
2	Inverted SDM Kaynak Adresi	SDM'nin Kaynak Adres alanının bit düzeyinde tersi
3	Ters Çevrilmiş SDM PS Değeri	SDM'nin PDU Specific alanının bit düzeyinde tersi
4	Ters Çevrilmiş SDM PF Değeri	SDM'nin PDU Format alanının bit düzeyinde tersi
5-8	Sağlama Toplamı	SHM başlığı ve karşılık gelen SDM verisi üzerinden hesaplanan 32 bitlik CRC

Güvenlik İletişim Zamanlaması

J1939-76, tüketicinin her Safety Data Group (SDG) için izlediği iki kritik zamanlama parametresi tanımlar:



Şekil 14-7 *J1939-76 Güvenlik İletişim Zamanlaması — SCT ve SRVT ile Üretici/Tüketici*

Tablo 14-7 J1939-76 Güvenlik Zamanlama Parametreleri

Parametre	Tam Adı	Açıklama
SCT	Güvenlik İletişim Süresi	Aynı PGN için iki ardışık geçerli SHM/SDM çifti arasında izin verilen maksimum süre. Aşılırsa tüketici güvenli duruma geçer.
SRVT	Güvenlikle İlgili Geçerli Zaman Aşımı	Tek bir güvenlik veri grubunda SHM ve karşılık gelen SDM arasında izin verilen maksimum süre. Aşılırsa veri çifti atılır.

> **J1939-76 Doğrulama Süreci**
>
> Tüketici, güvenlik verilerini kabul etmeden önce şu kontrolleri yapmalıdır: (1) SDG Sıra Numarasının doğru şekilde arttığını doğrulayın, (2) SHM'deki ters tanımlayıcı alanlarının SDM'nin gerçek tanımlayıcı alanlarıyla eşleştiğini onaylayın, (3) 32 bitlik sağlama toplamını alınan veriye karşı doğrulayın ve (4) hem SCT hem de SRVT zamanlama kısıtlamalarının karşılandığını doğrulayın. Herhangi bir kontrol başarısız olursa, güvenlik verisi reddedilir ve uygulama tarafından tanımlanan arıza tepkisi tetiklenir.

Bölüm 15: CANopen Protokolü

CANopen, CAN in Automation (CiA) tarafından standartlaştırılmış CAN tabanlı bir uygulama katmanı protokolüdür. Ağırlıklı olarak CiA 301'de tanımlanan CANopen, endüstriyel otomasyon, tıbbi cihazlar, denizcilik sistemleri ve gömülü kontrolde yaygın olarak kullanılan standartlaştırılmış bir iletişim çerçevesi sağlar. CANopen, birlikte çalışabilir çok satıcılı ağları mümkün kılan bir cihaz modeli, iletişim profilleri ve yapılandırma mekanizmaları uygular.

Standart Geçmişi ve Spesifikasyon Belgeleri

CANopen başlangıçta Bosch tarafından geliştirilmiş ve bir Avrupa standardı (EN 50325-4) olarak yayınlanmıştır. CAN in Automation (CiA) uluslararası kullanıcılar ve üreticiler grubu spesifikasyonu sürdürür ve geliştirir. Temel spesifikasyon belgeleri şunlardır:

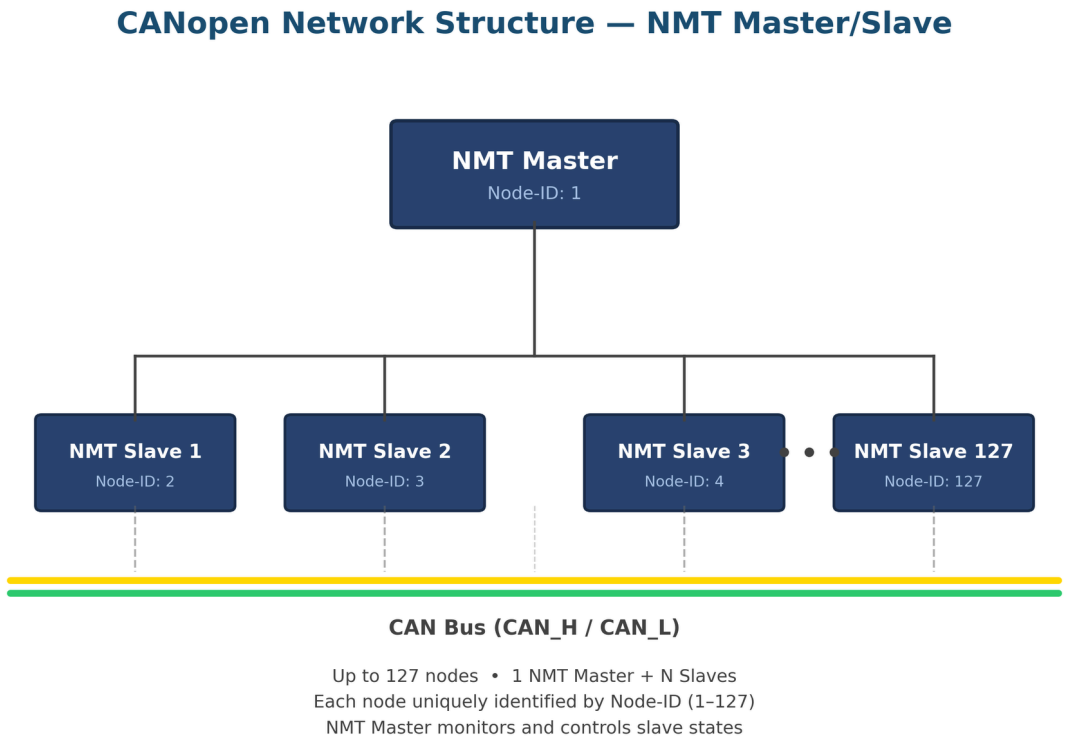
Tablo 15-1 CANopen Spesifikasyon Belgeleri

Belge	Başlık	Kapsam
CiA 301 (DS 301)	CANopen Uygulama Katmanı	Çekirdek spesifikasyon: Nesne Sözlüğü, NMT, SDO, PDO, iletişim modeli
CiA 302 (DS 302)	Ek Uygulama Katmanı Fonksiyonları	NMT ana düğüm özellikleri, yüzen ana düğüm, başlatma, yapılandırma yönetimi
CiA 303-3 (DR 303-3)	Gösterge Spesifikasyonu	CAN ve cihaz durumu göstergesi için LED davranışı (yeşil/kırmızı desenleri)
CiA 305	Katman Ayar Hizmetleri (LSS)	Ön yapılandırma olmadan CAN üzerinden Node-ID ve baud hızı ataması
CiA 306	Elektronik Veri Sayfası (EDS)	Yapılandırma araçları için makine tarafından okunabilir cihaz açıklama formatı
CiA 4xx	Cihaz Profilleri	Alana özgü profiller (401: G/Ç, 402: Sürücüler, 404: Ölçüm, vb.)
CiA 1301	CANopen FD	CAN FD ağları için genişletme: 64 bayt PDO/SDO, geliştirilmiş MPDO

Ağ Yapısı

CANopen ağı, Ağ Yönetimi (NMT) protokolü tarafından koordine edilen bir **master/slave** mimarisini takip eder. Bir node **NMT Master** (tipik olarak PLC veya merkezi kontrolör) olarak görev yapar ve bus üzerindeki diğer tüm node'ların yaşam döngüsünü ve durum geçişlerini yönetir. Temel özellikler:

- **Node-ID Ataması:** Ağdaki her cihaza benzersiz bir Node-ID (1–127) atanır. Node-ID 0, NMT yayın komutları için ayrılmıştır. Node-ID, ilgili cihazın tüm varsayılan COB-ID'lerini belirler.
- **NMT Durum Makinesi:** Her node tanımlı bir durum makinesini takip eder: *Başlatma* → *Pre-Operasyonel* → *Operasyonel* → *Durdurulmuş*. NMT Master, NMT komutları (Start, Stop, Pre-Operasyonel, Reset Node, Reset Communication) ile geçişleri kontrol eder.
- **Heartbeat / Node Guarding:** Ağ sağlığı, Heartbeat (tercih edilen, üretici tarafından yönlendirilen) veya Node Guarding (eski, master tarafından sorgulanan) ile izlenir. Heartbeat mesajları, her node tarafından yapılandırılabilir aralıklarla iletilir ve NMT Master ile tüketicilerin node arızalarını tespit etmesini sağlar.
- **Boot-Up Mesajı:** Bir node başlatma işlemini tamamladığında, ağdaki varlığını duyurmak için bir boot-up mesajı (COB-ID = 0x700 + Node-ID) yayınlar.



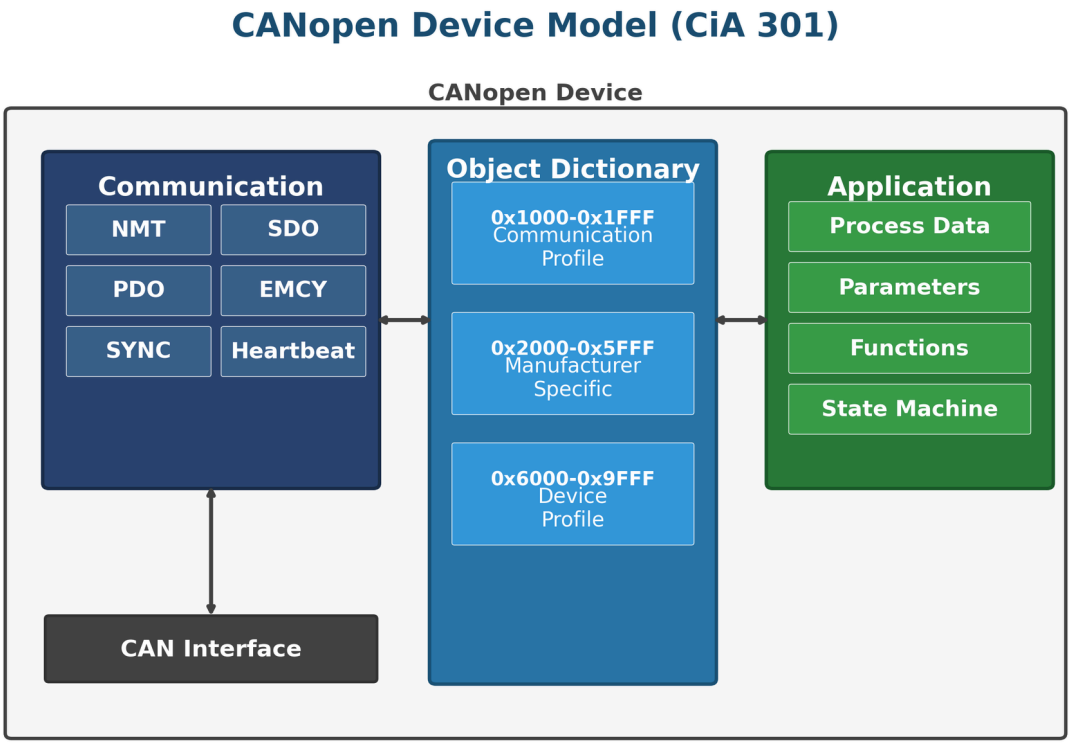
Şekil 15-1 *CANopen Ağ Yapısı — NMT Ana Düğüm ve Bağımlı Düğümler*

Cihaz Modeli

Her CANopen cihazı, CiA 301 tarafından tanımlanan standartlaştırılmış bir dahili yapı uygular. Cihaz modeli birbiriyle bağlantılı üç bileşenden oluşur: İletişim birimi (protokol yığını), Nesne Sözlüğü (merkezi veri deposu) ve Uygulama (cihaza özgü işlevler).

- **İletişim Birimi:** Gerçek zamanlı veri için PDO (Süreç Veri Nesnesi) alışverişi, yapılandırma ve parametreleme için SDO (Servis Veri Nesnesi) transferleri, NMT durum yönetimi, SYNC senkronizasyonu, EMCY acil durum mesajları ve TIME zaman damgası dağıtımı dahil tüm CAN bus etkileşimlerini yönetir.
- **Nesne Sözlüğü (OD):** Her CANopen cihazının merkezi veri yapısı — her biri isteğe bağlı 8-bit alt indeksli, 16-bit indeks girdilerinden (0x0000–0xFFFF) oluşan sıralı bir tablo. OD, tüm iletişim parametrelerini, cihaz profili girdilerini ve üreticiye özgü verileri içerir. 0x1000–0x1FFF indeksleri iletişim profili girdilerini; 0x6000–0x9FFF indeksleri cihaz profili girdilerini barındırır.
- **Uygulama:** Nesne Sözlüğünden okuyan ve yazan cihaza özgü işlevsellik (örn. motor kontrolü, sensör okuma, I/O yönetimi). Uygulama katmanı, OD aracılığıyla iletişim katmanından ayrılmıştır ve üretici uygulamasından bağımsız olarak cihaz verilerine standartlaştırılmış erişim sağlar.

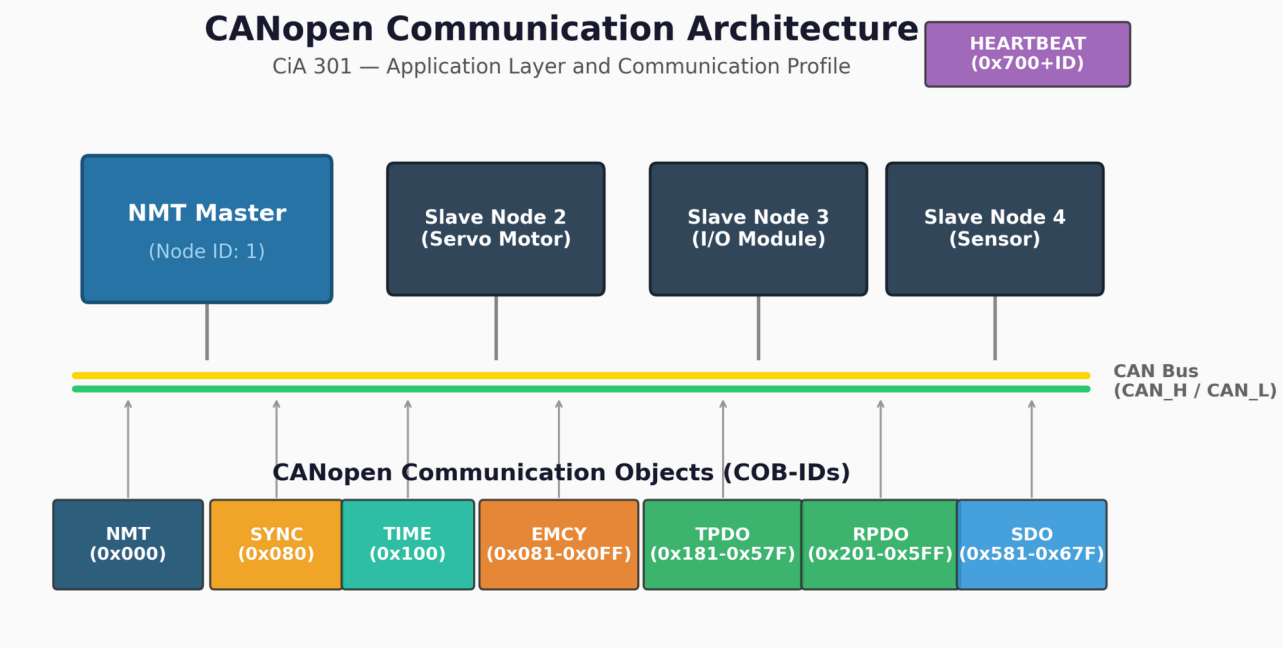
Bu üç katmanlı mimari, herhangi bir CANopen uyumlu yapılandırma aracının standartlaştırılmış Nesne Sözlüğü arayüzü üzerinden ağdaki herhangi bir cihaza erişmesini, yapılandırmasını ve tanılamasını sağlayarak gerçek çoklu tedarikçi birlikte çalışabilirliğini mümkün kılar.



Şekil 15-2 *CANopen Cihaz Modeli (CiA 301) — İletişim, Nesne Sözlüğü ve Uygulama*

15.1 Mimari ve İletişim Nesneleri

Bir CANopen ağı, ağ durumunu koordine eden bir **NMT Master** ve bir veya daha fazla **NMT Slave** düğümünden oluşur. Her düğüm benzersiz bir Node-ID (1–127) ile tanımlanır ve standartlaştırılmış tahsis şemasına dayalı olarak her birine bir COB-ID (CAN Object Tanımlayıcı) atanan önceden tanımlanmış iletişim nesneleri aracılığıyla iletişim kurar.



Şekil 15-3 *CANopen İletişim Mimarisi — Düğümler, Veriyolu ve İletişim Nesneleri*

İletişim Nesne Türleri

Tüm iletişim nesneleri için önceden tanımlanmış COB-ID tahsisi Şekil 15-4'te gösterilmiştir.

Pre-defined COB-ID Allocation (CiA 301)

Function	COB-ID Range	Protocol
NMT	0x000	Master → Slave
SYNC	0x080	Producer → Consumer
TIME	0x100	Producer → Consumer
EMCY	0x081 – 0x0FF	Producer → Consumer
TPDO1-4	0x181 – 0x4FF	Producer → Consumer
RPDO1-4	0x201 – 0x57F	Producer → Consumer
SDO (Tx)	0x581 – 0x5FF	Client / Server
SDO (Rx)	0x601 – 0x67F	Client / Server
Heartbeat	0x701 – 0x77F	Producer → Consumer

Şekil 15-4 *Önceden Tanımlı COB-ID Tahsisi (CiA 301)*

NMT Durum Makinesi

Her CANopen düğümü, NMT Master tarafından iki baytlık NMT komutlarıyla (COB-ID 0x000) kontrol edilen aşağıdaki NMT durumlarından birinde çalışır:

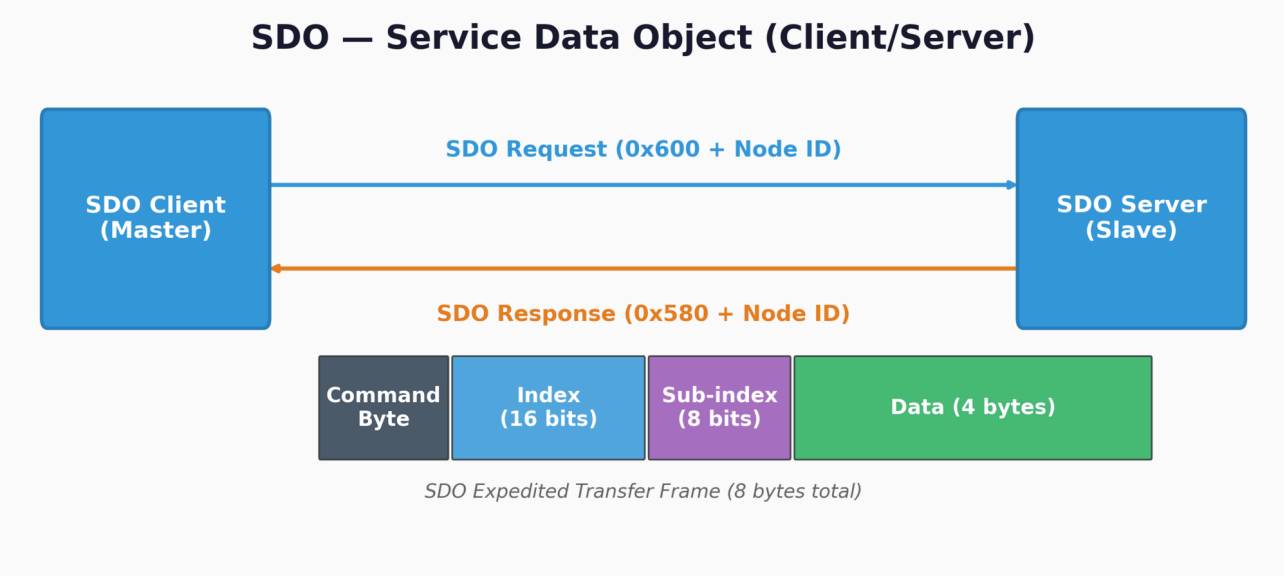
Tablo 15-2 CANopen NMT Durumları ve İzin Verilen İletişim Nesneleri

Durum	NMT Komutu	İzin Verilen Nesneler
Başlatma	—	Yalnızca başlatma mesajı
Operasyon Öncesi	0x80	SDO, EMCY, NMT, Heartbeat, SYNC, TIME
Operasyonel	0x01	Tüm nesneler (PDO + SDO + NMT + EMCY + Kalp Atışı + SYNC + TIME)
Durdurulmuş	0x02	Yalnızca NMT ve Kalp Atışı

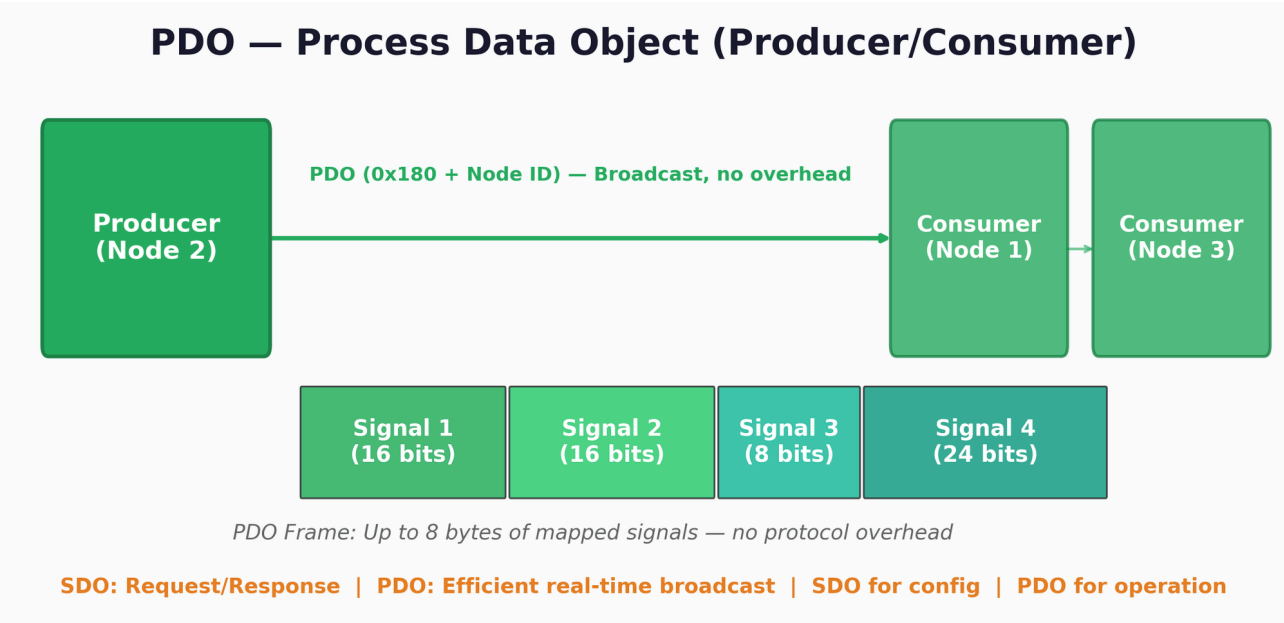
> **Başlatma Dizisi (Boot-up)**
>
> Güç verildiğinde, bir CANopen düğümü Başlatma'a girer, dahili kurulumu yürütür, ardından otomatik olarak Operasyon Öncesi durumuna geçer. COB-ID 0x700 + Node-ID üzerinde bir boot-up mesajı (durum 0x00 ile Heartbeat çerçevesi) göndererek varlığını duyurur. NMT Master, PDO iletişiminin başladığı Operasyonel durumuna girmek için "Start Remote Node" komutunu (0x01) vermeden önce SDO aracılığıyla düğümü yapılandırabilir.

15.2 SDO ve PDO Servisleri

CANopen, temelden farklı iki veri alışverişi mekanizması sağlar: yapılandırma ve parametre erişimi için **SDO** (Service Data Object) ve verimli gerçek zamanlı veri alışverişi için **PDO** (Process Data Object).



Şekil 15-5 *SDO — Servis Veri Nesnesi (İstemci/Sunucu) İletişimi*



Şekil 15-6 *PDO — Süreç Veri Nesnesi (Üretici/Tüketici) İletişimi*

Servis Veri Nesnesi (SDO)

SDO, Nesne Sözlüğü girdilerini okumak ve yazmak için bir istemci/sunucu modeli kullanır. SDO istemcisi (genellikle yapılandırma aracı veya NMT Master) bir talep gönderir ve SDO sunucusu (hedef düğüm) yanıt verir. SDO üç aktarım modunu destekler:

Tablo 15-3 SDO Transfer Modes

Mod	Veri Boyutu	Gereken Çerçeveler	Kullanım Senaryosu
Hızlandırılmış	1–4 bayt	1 talep + 1 yanıt	Tekil parametreler (düğüm kimliği, kalp atışı süresi, vb.)
Bölümlü	5+ bayt	Başlat + N segment + onayla	Orta uzunlukta veri (dize parametreleri, diziler)
Blok	Büyük	Başlat + N blok + onayla	Yazılım indirme, büyük veri setleri

SDO Çerçeve Yapısı

Bir SDO hızlandırılmış aktarım çerçevesi her zaman 8 bayttır ve aşağıdaki alanları içerir:

Tablo 15-4 SDO Hızlandırılmış Aktarım Çerçeve Düzeni (8 bayt)

Byte	Alan	Açıklama
0	Komut Baytı	Aktarım türü, yönü ve veri boyutu göstergesi
1–2	İndeks	16-bit Nesne Sözlüğü indeksi (little-endian)
3	Alt indeks	OD girdisi içindeki 8-bit alt indeks
4–7	Data	En fazla 4 bayt parametre verisi (hızlandırılmış mod)

Süreç Veri Nesnesi (PDO)

PDO’lar, bir CANopen ağında en verimli gerçek zamanlı veri alışverişini sağlar. SDO’nun aksine, PDO çerçeveleri **protokol overhead’i taşımaz** — 8 baytlık CAN yükünün tamamı süreç verisi için kullanılabilir. PDO’lar, bir düğümün PDO ilettiği ve herhangi sayıda düğümün alabileceği bir üretici/tüketici modeli kullanır.

PDO davranışı Object Dictionary aracılığıyla yüksek düzeyde yapılandırılabilir:

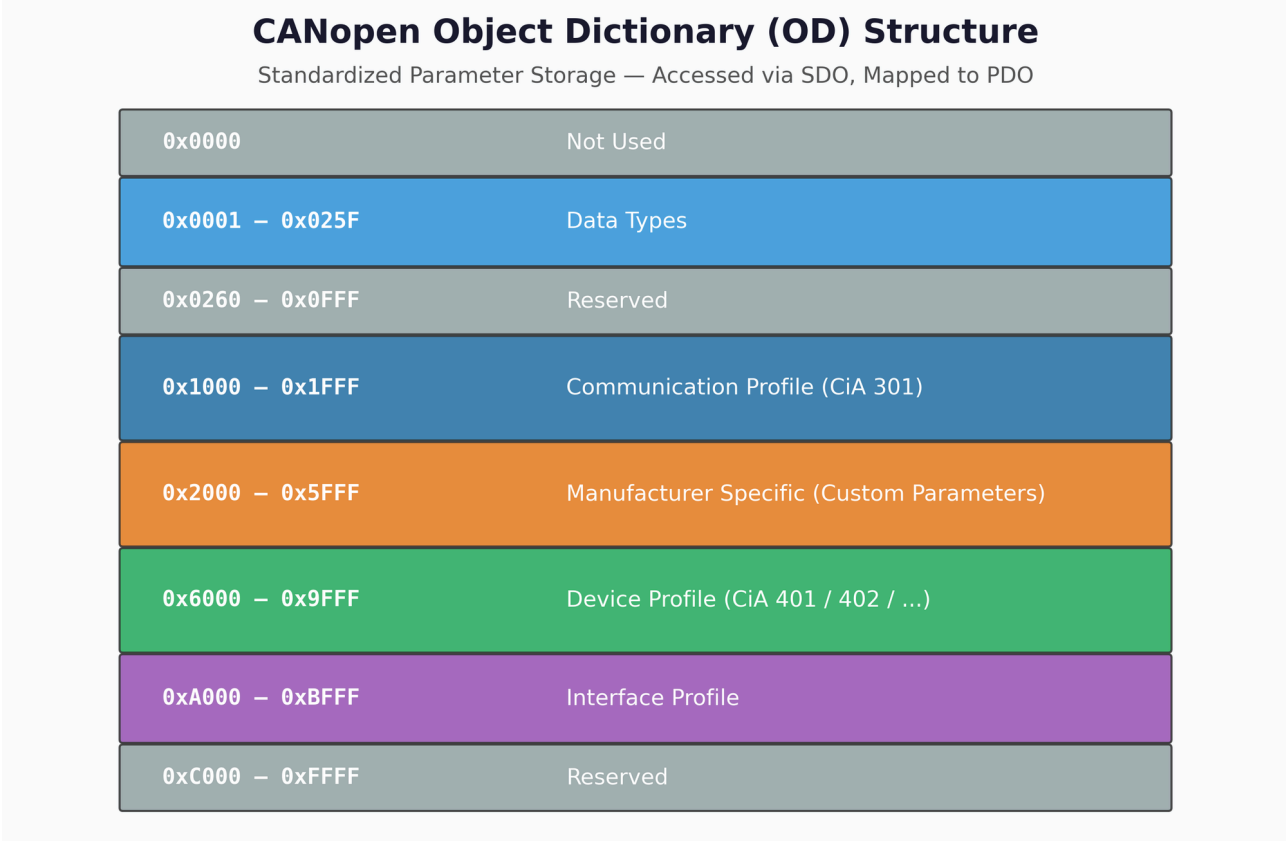
- **Olay güdümlü:** Eşlenen sinyal değiştiğinde PDO iletilir
- **Zamanlayıcı tetiklemeli:** PDO yapılandırılmış aralıkta iletilir (olay zamanlayıcısı)
- **SYNC güdümlü:** SYNC nesnesi alındığında PDO iletilir
- **Uzak istek:** PDO, bir RTR çerçevesine yanıt olarak iletilir

PDO Eşlemesi

PDO eşlemesi, hangi Nesne Sözlüğü girdilerinin bir PDO çerçevesine paketlendiğini tanımlar. Statik eşleme, düğüm Operasyonel durumuna girmeden önce yapılandırılırken, dinamik eşleme (CiA 301) çalışma zamanında SDO aracılığıyla yeniden yapılandırmaya olanak tanır. Her eşlenen nesne İndeks, Alt indeks ve bit uzunluğu ile tanımlanır. Toplam eşlenen uzunluk 64 bit'i (8 bayt) aşmamalıdır. Örneğin, TPDO1 üç sensör değerini eşleyebilir: Temperature (0x6000:01'de 16 bit), Pressure (0x6000:02'de 16 bit) ve Durum (0x6001:00'da 8 bit), mevcut 64 bitin 40'ını kaplar.

15.3 Nesne Sözlüğü (Object Dictionary), EDS ve DCF

Nesne Sözlüğü (OD), her CANopen cihazının merkezi veri yapısıdır. Tüm cihaz parametrelerini, iletişim ayarlarını ve uygulama verilerini standartlaştırılmış bir dizine alınmış girdi seti olarak tanımlar. OD yapısı CiA 301'de belirtilen kurallara uyar ve iyi tanımlanmış adres aralıklarına bölünmüştür.



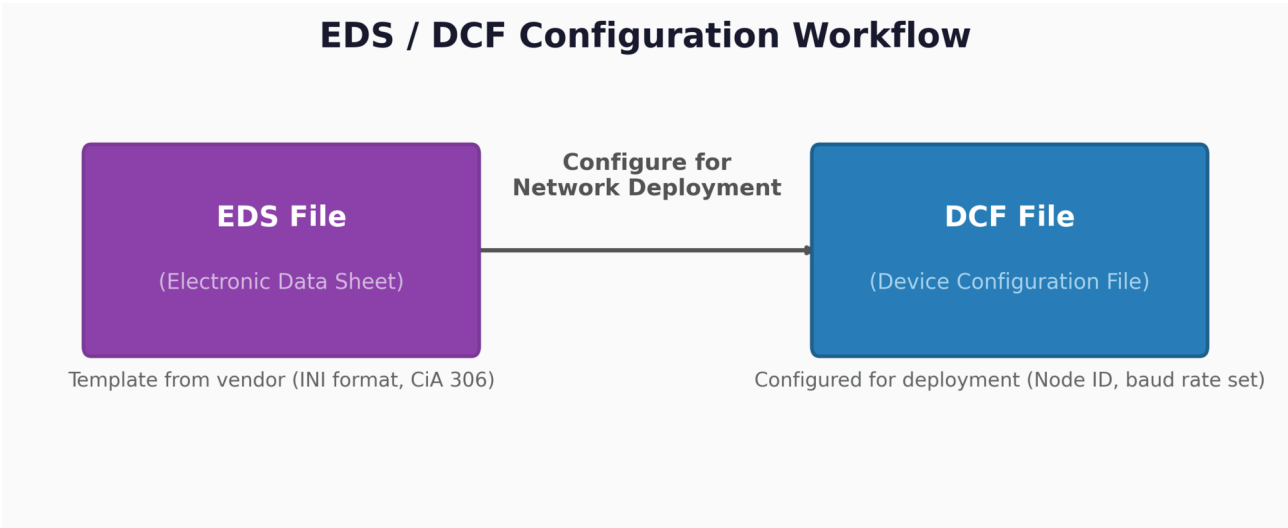
Şekil 15-7 *CANopen Nesne Sözlüğü (OD) İndeks Yapısı*

Key Communication Profile Entries (0x1000 – 0x1FFF)

Index	Name	Type	Access	Category
0x1000	Device Type	UNSIGNED32	ro	M
0x1001	Error Register	UNSIGNED8	ro	M
0x1008	Device Name	STRING	ro	O
0x1017	Heartbeat Producer Time	UNSIGNED16	rw	O
0x1018	Identity Object	RECORD	ro	M
0x1200	SDO Server Parameter	RECORD	ro	M
0x1400	RPDO1 Comm. Parameter	RECORD	rw	O
0x1600	RPDO1 Mapping	RECORD	rw	O
0x1800	TPDO1 Comm. Parameter	RECORD	rw	O
0x1A00	TPDO1 Mapping	RECORD	rw	O

M = Mandatory O = Optional

Şekil 15-8 *Temel İletişim Profili Girişleri (0x1000 – 0x1FFF)*



Şekil 15-9 *EDS / DCF Yapılandırma İş Akışı*

Nesne Sözlüğü Adres Aralıkları

Tablo 15-5 Nesne Sözlüğü İndeks Tahsisi

İndeks Aralığı	Bölüm	Açıklama
0x0000	Kullanılmıyor	Ayrılmış
0x0001–0x025F	Veri Türleri	Standart ve karmaşık veri türü tanımları
0x0260–0x0FFF	Ayrılmış	Gelecekteki CiA spesifikasyonları için ayrılmış
0x1000–0x1FFF	İletişim Profili	CiA 301 parametreleri: Cihaz Tipi, Hata Kaydı, Kalp Atışı, SDO/PDO yapılandırması
0x2000–0x5FFF	Üreticiye Özgü	Cihaz üreticisi tarafından tanımlanan özel parametreler
0x6000–0x9FFF	Cihaz Profili	Standartlaştırılmış uygulama nesneleri (CiA 401 G/Ç, CiA 402 Sürücüler, vb.)
0xA000–0xBFFF	Arayüz Profili	Ağ ve arayüzle ilgili parametreler
0xC000–0xFFFF	Ayrılmış	Gelecekte kullanım için ayrılmış

Temel İletişim Profili Girdileri

Tablo 15-6 Temel OD Girişleri (İletişim Profili Alanı)

İndeks	Ad	Tür	Erişim	Kategori
0x1000	Cihaz Türü	UNSIGNED32	ro	Zorunlu
0x1001	Hata Kaydı	UNSIGNED8	ro	Zorunlu
0x1008	Cihaz Adı	STRING	ro	İsteğe Bağlı
0x1017	Heartbeat Üretici Zamanı	UNSIGNED16	rw	İsteğe Bağlı
0x1018	Kimlik Nesnesi	RECORD	ro	Zorunlu
0x1200	SDO Sunucu Parametresi	RECORD	ro	Zorunlu
0x1400	RPDO1 İletişim Parametresi	RECORD	rw	İsteğe Bağlı
0x1600	RPDO1 Eşleme Parametresi	RECORD	rw	İsteğe Bağlı
0x1800	TPDO1 İletişim Parametresi	RECORD	rw	İsteğe Bağlı
0x1A00	TPDO1 Eşleme Parametresi	RECORD	rw	İsteğe Bağlı

EDS ve DCF Dosyaları

Elektronik Veri Sayfası (EDS), bir cihazın tam Nesne Sözlüğünü makine tarafından okunabilir INI benzeri metin formatında tanımlayan standartlaştırılmış bir dosyadır (CiA 306). EDS cihaz üreticisi tarafından sağlanır ve şunları içerir:

- İndeks, sub-index, veri türü ve erişim hakları ile tüm Nesne Sözlüğü girdileri
- Her parametre için varsayılan değerler ve değer aralıkları
- PDO eşleme yetenekleri ve iletişim parametreleri
- Cihaz tanımlama bilgisi (satıcı kimliği, ürün kodu, revizyon)

Cihaz Yapılandırma Dosyası (DCF), bir yapılandırma aracı tarafından EDS'den türetilir. EDS bir cihazın neler *yapabileceğini* tanımlarken, DCF belirli bir ağ yapılandırmasında ne *yapacağını* tanımlar. DCF şunları ekler:

- Atanmış Node-ID ve baud hızı
- Hedef uygulama için özel PDO eşleme yapılandırması
- Dağıtım için özelleştirilmiş parametre değerleri
- Heartbeat zamanlaması ve diğer ağa özgü ayarlar

> **EDS/DCF Yapılandırma İş Akışı**
>
> Tipik CANopen devreye alma iş akışı, cihaz üreticisinin EDS dosyasını bir ağ yapılandırma aracına (ör. Vector CANopen Architect, Ixxat canAnalyser veya CODESYS) aktarmayla başlar. Araç, cihazın yeteneklerini görüntüler ve mühendisin PDO eşlemelerini, heartbeat zamanlamasını, Node-ID atamasını ve uygulama parametrelerini yapılandırmasına olanak tanır. Araç daha sonra her düğüm için Operasyon Öncesi aşamasında SDO aracılığıyla cihazlara indirilebilen veya başlangıçta otomatik yapılandırma için kalıcı bellekte saklanan bir DCF dosyası oluşturur.

Cihaz Profilleri

CiA, belirli cihaz kategorileri için Cihaz Profili alanındaki (0x6000–0x9FFF) OD girdilerini belirten standartlaştırılmış cihaz profilleri tanımlar:

Tablo 15-7 Key CANopen Cihaz Profilis

Profil	Açıklama	Tipik Uygulamalar
CiA 401	Genel G/Ç Modülleri	Dijital/analog girişler ve çıkışlar
CiA 402	Sürücüler ve Hareket Kontrolü	Servo motorlar, step motorlar, frekans invertörleri
CiA 404	Ölçüm Cihazları	Sensörler, enkoder'ler, dönüştürücüler
CiA 406	Enkoder Arayüzü	Mutlak ve artımlı enkoder'ler
CiA 410	Eğim Ölçer	Eğim sensörleri, açı ölçümü
CiA 418	Batarya Modülleri	Batarya yönetim sistemleri

> **CANopen vs CANopen FD**
>
> CiA 1301, klasik CANopen çerçevesini CAN FD ağlarına genişleten CANopen FD'yi tanımlar. Temel farklar şunlardır: SDO ve PDO yükleri tam 64 baytlık CAN FD kapasitesini kullanabilir, MPDO (Multiplexed PDO) desteği geliştirilmiştir ve yeni çerçeve formatları daha büyük veri alanlarını barındırır. Ancak CANopen FD düğümleri, bir protokol gateway'i olmadan aynı bus segmentinde klasik CANopen düğümleri ile doğrudan birlikte çalışamaz. Yeni tasarımlar için, 1 Mbps'de klasik CANopen ile karşılaştırıldığında artan bant genişliğinin ek karmaşıklığı ve azalan ekosistem olgunluğunu haklı çıkarıp çıkarmadığını dikkatli bir şekilde değerlendirin.

Bölüm 16: CAN DBC Dosya Formatı

Bir CAN DBC dosyası (CAN veritabanı), ham CAN bus verilerinin insan tarafından okunabilir fiziksel değerlere dönüştürülmesi için kuralları içeren yapılandırılmış bir metin dosyasıdır. DBC dosyaları mesajları, sinyalleri, kodlama parametrelerini ve meta verileri tanımlar — herhangi bir CAN ağını yorumlamak için temel "sözlük" görevi görür.

16.1 DBC Sözdizimi ve Yapısı

Bir DBC dosyası, her biri bir anahtar kelimeyle başlayan bölümler halinde düzenlenmiştir. En kritik iki bölüm **mesajları** (BO_) ve **sinyalleri** (SG_) tanımlar:

Mesaj Tanımı (BO_)

```
BO_ <CAN_ID> <MesajName>: <DLC> <Verici>
  SG_ <SinyalName> : <BaşlangıçBiti>|<Length>@<BaytSırası><Sign> (<Ölçek>,<Offset>)
[<Min>|<Max>] "<Unit>" <Receiver>
```

Tablo 16-1 DBC Mesaj Syntax (BO_)

Alan	Açıklama	Kurallar
CAN_ID	Ondalık sistemde CAN tanımlayıcısı	29 bit ID'ler için bit 31 genişletilmiş bayrak olarak ayarlanır (ID + 0x80000000)
MesajName	Benzersiz mesaj adı	1–32 karakter, [A-z], rakamlar, alt çizgiler
DLC	Veri uzunluk kodu	Tam sayı 0–1785 (Klasik CAN için 8, CAN FD için 64'e kadar)
Verici	Gönderici düğüm adı	Bilinmiyorsa Vector__XXX

Sinyal Tanımı (SG_)

Tablo 16-2 DBC Sinyal Syntax (SG_)

Alan	Açıklama	Örnek
BaşlangıçBiti	Yükte bit konumu (0-indeksli)	24
Uzunluk	Bit cinsinden sinyal uzunluğu	16
BaytSırası	@1 = Küçük-endian (Intel), @0 = Büyük-endian (Motorola)	@1
Sign	+ = işaretsiz, − = işaretli	+
Ölçek	Çarpım faktörü	0.125
Ofset	Ölçeklemeden sonra eklenir	0
[Min|Max]	Fiziksel değer aralığı	[0|8031.875]
Unit	Mühendislik birimi dizesi	"rpm"

Tam DBC Örneği — J1939 Motor Hızı ve Araç Hızı

```
VERSION ""

NS_ :
    CM_
    BA_DEF_
    BA_
    BA_DEF_DEF_

BS_:

BU_:

BO_ 2364540158 EEC1: 8 Vector__XXX
 SG_ EngineSpeed : 24|16@1+ (0.125,0) [0|8031.875] "rpm" Vector__XXX

BO_ 2566844926 CCVS1: 8 Vector__XXX
 SG_ WheelBasedVehicleSpeed : 8|16@1+ (0.00390625,0) [0|250.996] "km/h" Vector__XXX

CM_ BO_ 2364540158 "Electronic Engine Controller 1";
CM_ SG_ 2364540158 EngineSpeed "Actual engine speed calculated over a
minimum crankshaft angle of 720 degrees divided by the number of cylinders.";
CM_ BO_ 2566844926 "Hız Sabitleme/Araç Hızı 1";

BA_DEF_ SG_ "SPN" INT 0 524287;
BA_DEF_ BO_ "VFrameFormat" ENUM "StandardCAN","ExtendedCAN","reserved","J1939PG";
BA_DEF_ "BusType" STRING ;
BA_DEF_ "ProtocolType" STRING ;
BA_DEF_DEF_ "SPN" 0;
BA_DEF_DEF_ "VFrameFormat" "J1939PG";
BA_DEF_DEF_ "BusType" "";
BA_DEF_DEF_ "ProtocolType" "";
BA_ "ProtocolType" "J1939";
BA_ "BusType" "CAN";
BA_ "VFrameFormat" BO_ 2364540158 3;
BA_ "SPN" SG_ 2364540158 EngineSpeed 190;
```

J1939 DBC ID Kuralı

J1939, 29 bit genişletilmiş CAN ID'leri kullanır. DBC dosyalarında, genişletilmiş ID bayrağı CAN ID'ye `0x80000000` eklenerek saklanır. Örneğin, CAN ID `0x0CF00400`, DBC ID `2364540158` olur (= 0x0CF00400 + 0x80000000 = 0x8CF00400 = 2364539904 + 254). The `VFrameFormat` attribute `"J1939PG"` identifies this message as a J1939 Parameter Group.

16.2 Sinyal Çözümleme (Sinyal Decoding)

Çözümleme süreci, ham CAN veri baytlarını doğrusal formül kullanarak fiziksel mühendislik değerlerine dönüştürür:

DBC Sinyal Fiziksel Değeri

$$\text{Fiziksel Value} = (\text{Raw Value} \times \ddot{\text{O}}\text{lçek}) + \text{Offset}$$

Adım Adım Örnek: Ham CAN Çerçevesinden Motor Hızı Çözümleme

Ham CAN çerçevesi verildiğinde:

```
CAN ID: 0CF00400    Data: FF FF FF 68 13 FF FF FF
```

Adım 1 — Mesajı tanımlayın: CAN ID `0x0CF00400` matches DBC message EEC1 (ID 2364540158 with extended flag).

Adım 2 — Ham sinyal baytlarını çıkarın: Sinyal EngineSpeed starts at bit 24 (byte 3, bit 0) with length 16 bits. The raw bytes at positions 3–4 are `0x68` and `0x13`.

Adım 3 — Bayt sırası uygulama: Little-endian (@1) → LSB önce: ham değer = `0x1368` = **4968** ondalık.

Adım 4 — Ölçek ve ofset uygulayın:

Motor Hızı Hesaplaması

$$\text{EngineSpeed} = 4968 \times 0.125 + 0 = 621.0 \text{ rpm}$$

Bayt Sırası: Intel vs Motorola

Bayt sırası, çok baytlık sinyallerin CAN veri alanından nasıl çıkarıldığını önemli ölçüde etkiler:

Tablo 16-3 Intel (Küçük Endian) ve Motorola (Büyük Endian) Bayt Sırası

Özellik	Intel (@1) — Küçük Endian	Motorola (@0) — Büyük Endian
LSB Konumu	Başlangıç bitinde	Başlangıç bitinde
MSB Konumu	Daha yüksek bayt adresleri	Daha düşük bayt adresleri
Bayt Doldurma Yönü	LSB → MSB: soldan sağa	MSB → LSB: sağdan sola
Yaygın Kullanım	J1939, çoğu Avrupalı OEM	Birçok Asyalı OEM, bazı eski sistemler

> **Bayt Sırası Uyumsuzluğu**
>
> Yanlış bayt sırası kullanmak, hatalı CAN sinyal çözümlemesinin en yaygın tek kaynağıdır. Çözümlenen değerler büyüklük sıralarıyla yanlış görünüyorsa veya beklenmedik negatif sayılar üretiyorsa, önce bayt sırası ayarını doğrulayın. J1939 sinyalleri her zaman little-endian (Intel)'dır, ancak OEM'e özgü CAN mesajları her iki düzeni kullanabilir.

16.3 Gelişmiş DBC Özellikleri

Yorumlar (CM_)

DBC dosyaları mesajlar, sinyaller ve genel açıklamalar için yorumları destekler:

```
CM_ BO_ 2364540158 "Electronic Engine Controller 1";
CM_ SG_ 2364540158 EngineSpeed "Actual engine speed.";
CM_ "This DBC file covers the J1939 powertrain network.";
```

Nitelikler (BA_DEF_ / BA_)

Öznitelikler, DBC meta verilerini özel özelliklerle genişletir. Yaygın öznitelikler şunlardır:

Tablo 16-4 Yaygın DBC Öznitelikleri

Nitelik	Kapsam	Açıklama
BusType	Genel	Bus türü dizisi ("CAN", "CAN FD")
ProtocolType	Genel	Protokol tanımlayıcısı ("J1939", "OBD2")
VFrameFormat	Mesaj	Çerçeve formatı (StandardCAN, ExtendedCAN, J1939PG)
SPN	Sinyal	SAE J1939 Şüpheli Parametre Numarası
GenMsgCycleTime	Mesaj	Nominal iletim döngü süresi (ms)
SystemSinyalLongSymbol	Sinyal	Genişletilmiş sinyal adı (32 karakter sınırının ötesinde)

Sinyal Çoklaması (Multiplexing)

Çoğullama, bir çoğullayıcı sinyalin değerine bağlı olarak aynı CAN ID'nin farklı sinyaller taşımasına olanak tanır. Bu, OBD-II'de (PID çoğullayıcı rolü oynar), UDS ve CCP/XCP protokollerinde kullanılır:

```
BO_ 2024 OBD2_Response: 8 ECU
 SG_ ServiceMode m : 0|8@1+ (1,0) [0|255] "" Tester
 SG_ PID m : 8|8@1+ (1,0) [0|255] "" Tester
 SG_ EngineRPM m12 : 16|16@1+ (0.25,0) [0|16383.75] "rpm" Tester
 SG_ VehicleSpeed m13 : 16|8@1+ (1,0) [0|255] "km/h" Tester
 SG_ CoolantTemp m5 : 16|8@1+ (1,-40) [-40|215] "°C" Tester
```

> **Multiplexor Sözdizimi**
>
> SG_ tanımında, sinyal adından sonra gelen `m` **çoğullayıcı** sinyali belirtir. `m12`, çoğullayıcı değeri 12'ye eşit olduğunda (PID 0x0C = Motor Devri) bu sinyalin geçerli olduğu anlamına gelir. `m13`, PID = 0x0D (Araç Hızı) olduğunda geçerlidir. Bu mekanizma, tek bir CAN ID'nin yüzlerce farklı parametre taşımasını sağlar — DBC aracı çoğullayıcı değerine göre doğru çözümleme kuralını seçer.

DBC Dosya Araçları ve Ekosistemi

Tablo 16-5 DBC Dosyası Yazılım Ekosistemi

Araç	Tür	DBC Yeteneği
Vector CANdb++	Ticari Editör	Tam DBC oluşturma, düzenleme, doğrulama
PEAK Symbol Editor	Ücretsiz Editör	DBC oluşturma ve sembol yönetimi
SavvyCAN	Açık Kaynak	DBC kod çözme, tersine mühendislik
cantools (Python)	Açık Kaynak Library	DBC'yi programatik olarak ayrıştırma, kodlama ve çözümleme
asammdf (Python)	Açık Kaynak Library	MF4 günlük dosyaları + DBC kod çözme + grafik çizme
CANalyzer / CANoe	Ticari	Gerçek zamanlı DBC çözümleme, simülasyon, test

> **Yaygın Protokoller için Standart DBC Dosyaları**
>
> Standartlaştırılmış DBC dosyaları J1939 (SAE'den — tüm standart PGN'leri/SPN'leri kapsar), OBD-II (standart PID'ler) ve ISOBUS için mevcuttur. Bunlar, o protokolü kullanan herhangi bir araç veya makinede standart parametrelerin anında çözümlenmesine olanak tanır. Üreticiye özgü sinyaller (tescilli PGN'ler, özel PID'ler) genellikle gizli olan OEM'e özgü DBC dosyaları gerektirir.

Bölüm 17: CAN Bus Veri Kaydı ve Analizi

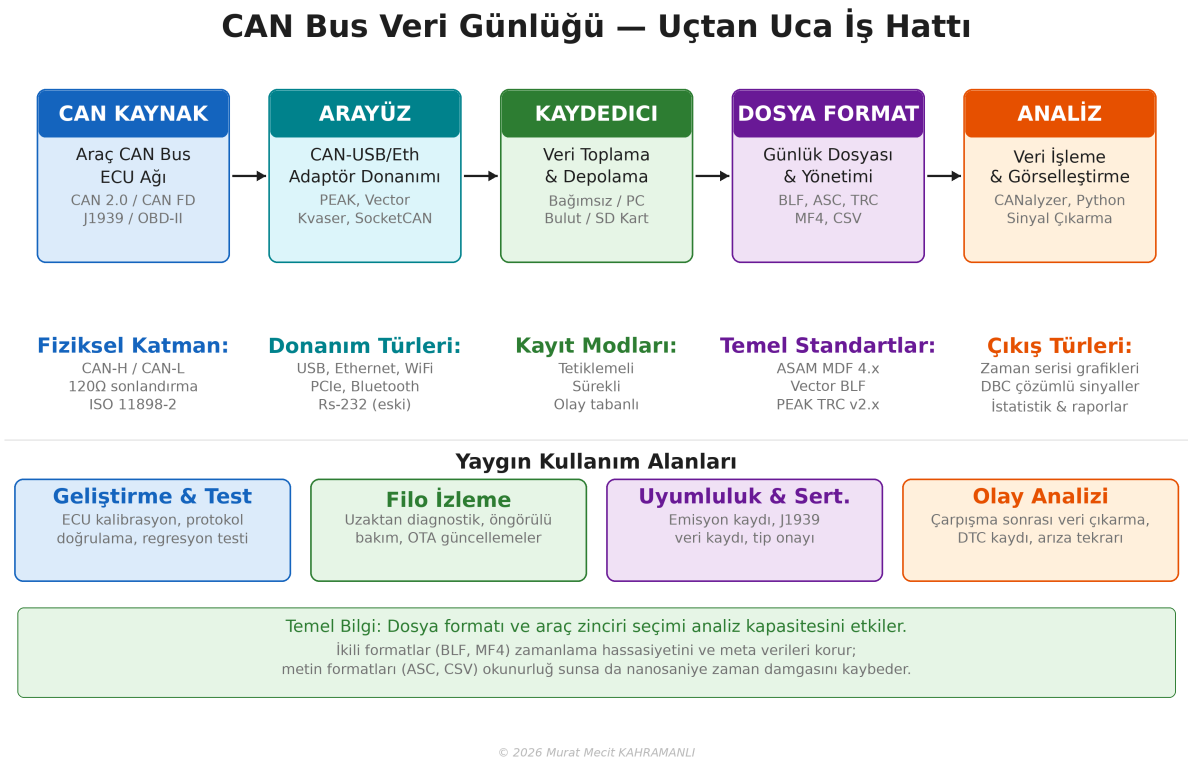
Veri kaydı, CAN bus mühendisliğinde temel bir uygulamadır — mühendislerin geliştirme, tanılama, uyumluluk ve filo yönetimi için gerçek zamanlı bus trafiğini yakalamasını, depolamasını ve analiz etmesini sağlar. Bu bölüm, donanım arayüzlerinden ve dosya formatlarından yazılım araçlarına ve Python tabanlı analiz tekniklerine kadar tam veri kayıt sürecini kapsar.

17.1 CAN Veri Kaydına Giriş

CAN veri kaydı, çevrimdışı analiz için ham veya çözümlenmiş bus mesajlarını yakalar. Kaydedilen veriler zaman damgaları, CAN ID'leri, DLC (Veri Uzunluk Kodu) ve veri yükünü içerebilir — mühendislerin bus üzerinde meydana gelen olayların tam sırasını yeniden oluşturmasını sağlar.

CAN Verileri Neden Kaydedilir?

- **Geliştirme ve Test:** ECU kalibrasyonu, protokol doğrulama, regresyon testi ve entegrasyon doğrulama
- **Tanılama ve Sorun Giderme:** Aralıklı arızaları yakalama, DTC kaydı, arıza tekrarı ve kök neden analizi
- **Filo İzleme:** Uzaktan tanılama, kestirimci bakım, yakıt verimliliği takibi ve OTA güncelleme doğrulaması
- **Uyumluluk ve Sertifikasyon:** Emisyon verisi kaydı (J1939/OBD-II), tip onay belgeleri ve denetim izleri
- **Olay Analizi:** Kaza sonrası veri çıkarımı, olay yeniden yapılandırması ve sorumluluk belgeleri



Şekil 17-1 *CAN Bus Veri Kaydı — Uçtan Uca Süreç: Araç CAN kaynağından arayüz donanımı, veri toplama, dosya depolama, analiz ve görselleştirmeye kadar.*

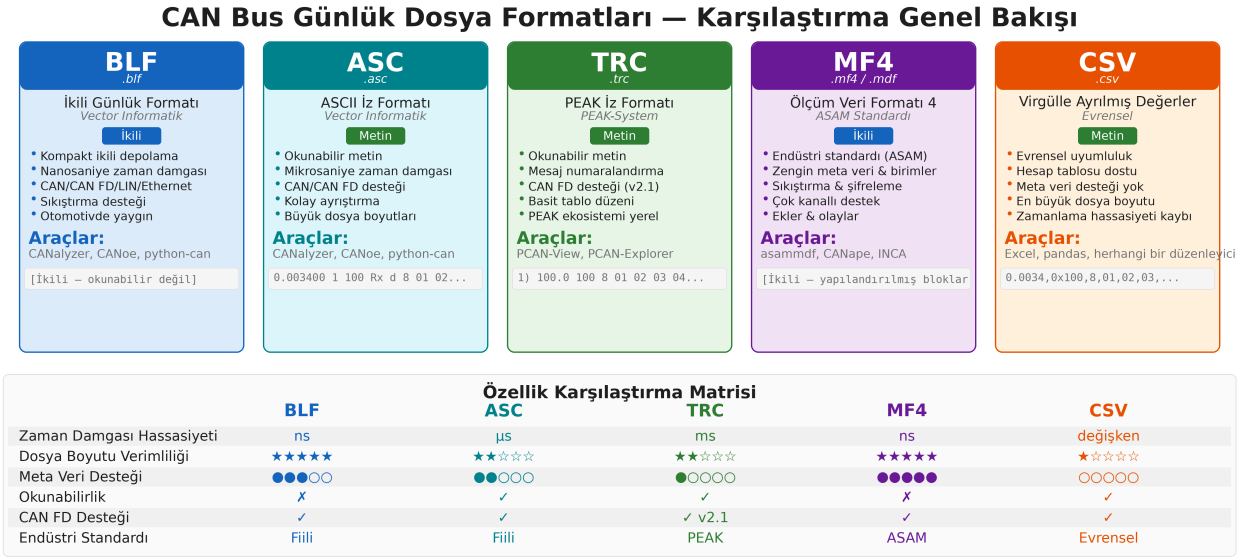
Kayıt Mimarisi

Tipik bir CAN veri kayıt kurulumu beş aşamadan oluşur:

1. **CAN Kaynağı:** Araç veya cihaz CAN bus'ı (CAN 2.0A/B, CAN FD, J1939, OBD-II)
2. **Arayüz Donanımı:** CAN-USB, CAN-Ethernet veya CAN-WiFi adaptörü
3. **Veri Toplama:** Logger yazılımı veya bağımsız donanım kaydı
4. **Dosya Formatı:** BLF, ASC, TRC, MF4/MDF veya CSV dosyaları
5. **Analiz ve Görselleştirme:** Sinyal çıkarımı, grafikleme, istatistikler ve raporlama

17.2 CAN Log Dosya Formatları

Log dosya formatı seçimi, depolama verimliliğini, analiz yeteneğini ve araç uyumluluğunu önemli ölçüde etkiler. CAN ekosistemindeki en yaygın beş format BLF, ASC, TRC, MF4 ve CSV'dir.



Şekil 17-2 *CAN Bus Log Dosya Formatları — Karşılaştırma Genel Bakışı: BLF, ASC, TRC, MF4 ve CSV özellik matrisi ile.*

BLF — İkili Kayıt Formatı (Vector)

BLF, otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılan Vector Informatik'in tescilli ikili formatıdır. Nanosaniye zaman damgası hassasiyeti ile kompakt depolama sunar ve CAN, CAN FD, LIN ve Otomotiv Ethernet'i destekler. BLF dosyaları CANalyzer, CANoe ve açık kaynak `python-can` kütüphanesi tarafından okunabilir.

```
# Reading a BLF file with python-can
import can

log = can.BLFReader('vehicle_trace.blf')
for msg in log:
    print(f"  {msg.timestamp:.6f}  ID: 0x{msg.arbitration_id:03X}  "
          f"DLC: {msg.dlc}  Data: {msg.data.hex()}")
```

ASC — ASCII İzleme Formatı (Vector)

ASC, Vector'dan gelen, insan tarafından okunabilir bir metin formatıdır. Her satır bir zaman damgası, kanal, CAN ID, yön, DLC ve veri baytları içerir. Okunması ve ayrıştırılması kolay olsa da, ASC dosyaları BLF'den önemli ölçüde büyüktür ve mikrosaniye (nanosaniye değil) hassasiyetine sahiptir.

```
date Wed Jan 15 10:23:45.123 am 2025
base hex  timestamps absolute
 0.003400 1  100       Rx   d 8 01 02 03 04 05 06 07 08
 0.008200 1  200       Rx   d 8 A1 B2 C3 D4 E5 F6 07 18
 0.013100 1  7DF       Tx   d 8 02 01 00 00 00 00 00 00
```

TRC — PEAK İzleme Formatı

TRC, PEAK-System'ın yerel izleme formatıdır. Sürüm 1.x yalnızca CAN 2.0'ı desteklerken, sürüm 2.1 CAN FD desteği ekler. TRC dosyaları, mesaj numaralandırması ile basit tablo düzenli metin kullanır.

```
;$FILEVERSION=2.1
;   Start time: 15.01.2025 10:23:45.123
;
;   Mesaj Number)  Time  ID   DLC  Data Bytes
     1)      0.0     100    8   01 02 03 04 05 06 07 08
     2)    100.0     200    8   A1 B2 C3 D4 E5 F6 07 18
     3)    200.0     7DF    8   02 01 00 00 00 00 00 00
```

MF4/MDF — Ölçüm Veri Formatı (ASAM)

MDF (Measurement Data Format), ölçüm verisi depolama için ASAM standardıdır. MDF4 (dosya uzantısı `.mf4` veya `.mdf`) güncel sürümdür; zengin meta veriler, sıkıştırma, çok kanallı destek ve gömülü ekler sunar. Profesyonel otomotiv veri toplama için önerilen formattır.

CSV — Virgülle Ayrılmış Değerler

CSV, neredeyse her araç tarafından desteklenen evrensel bir metin formatıdır. Elektronik tablolar ve betiklerle kullanımı kolay olsa da, CSV dosyaları en büyük format seçeneğidir, meta veri desteği sunmaz ve metin tabanlı sayı gösterimi nedeniyle zamanlama hassasiyetini kaybeder.

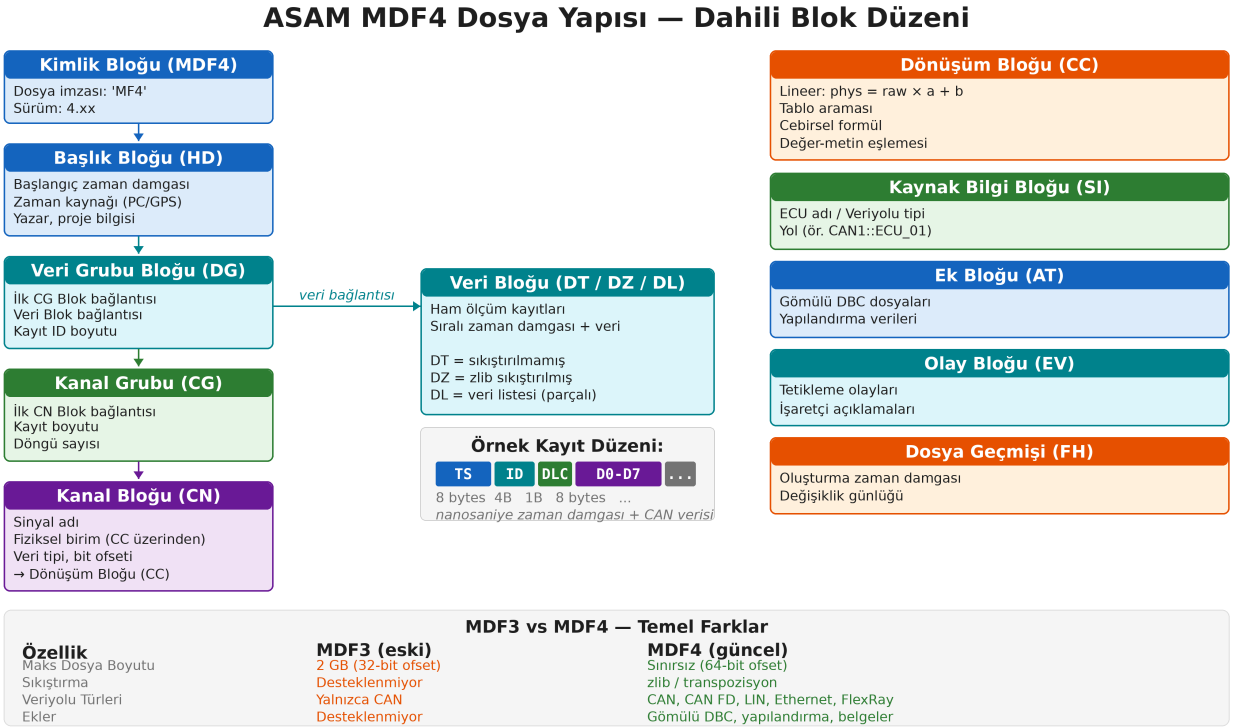
```
timestamp,id,dlc,data
0.003400,0x100,8,01 02 03 04 05 06 07 08
0.008200,0x200,8,A1 B2 C3 D4 E5 F6 07 18
0.013100,0x7DF,8,02 01 00 00 00 00 00 00
```

Tablo 17-1 CAN Log Dosya Formatı Karşılaştırması

Özellik	BLF	ASC	TRC	MF4	CSV
Tür	İkili	Metin	Metin	İkili	Metin
Zaman Damgası Hassasiyeti	ns	µs	ms	ns	değişken
Dosya Boyutu Verimliliği	Mükemmel	Zayıf	Zayıf	Mükemmel	En Kötü
Meta Veri Desteği	Orta Düzey	Düşük	Düşük	Mükemmel	Yok
İnsan Tarafından Okunabilir	Hayır	Evet	Evet	Hayır	Evet
CAN FD Desteği	Evet	Evet	v2.1+	Evet	Evet
Sıkıştırma	Evet	Hayır	Hayır	Evet (zlib)	Hayır
Birincil Araç	CANalyzer	CANalyzer	PCAN-View	CANape/asammdf	Any

17.3 ASAM MDF Standardı

ASAM Measurement Data Format (MDF), otomotiv geliştirmede ölçüm verilerini depolamak için endüstri standardı ikili dosya formatıdır. Güncel sürüm MDF4 (ASAM MDF v4.x), eski MDF3 formatının yerini almıştır ve tüm büyük ölçüm araçları tarafından desteklenir.



Şekil 17-3 *ASAM MDF4 Dosya Yapısı — Dahili Blok Düzeni: ID Bloğundan Başlık, Veri Grupları, Kanal Grupları, Kanallar ve Veri Bloklarına kadar hiyerarşik organizasyon.*

MDF4 Blok Hiyerarşisi

Bir MDF4 dosyası, türlenmiş blokların bağlantılı listesi olarak düzenlenmiştir:

- **ID Bloğu:** Dosya imzası ('MF4') ve sürüm tanımlayıcı
- **Başlık Bloğu (HD):** Başlangıç zaman damgası, zaman kaynağı (PC saati, GPS, PTP), yazar ve proje meta verileri
- **Veri Grubu Bloğu (DG):** Kanal Grubu ve Veri bloklarına bağlantılar; kayıt yapısını tanımlar
- **Kanal Grubu Bloğu (CG):** Paylaşılan zaman damgalarıyla ilgili kanalları (sinyalleri) gruplar
- **Kanal Bloğu (CN):** Ad, birim, veri türü ve bit ofseti ile bireysel sinyal tanımları
- **Dönüştürme Bloğu (CC):** Fiziksel değer dönüştürme kuralları (doğrusal, tablo, cebirsel, değer-metin)
- **Veri Bloğu (DT/DZ/DL):** Ham ölçüm kayıtları — DT (sıkıştırılmamış), DZ (zlib sıkıştırılmış), DL (parçalı veri listesi)

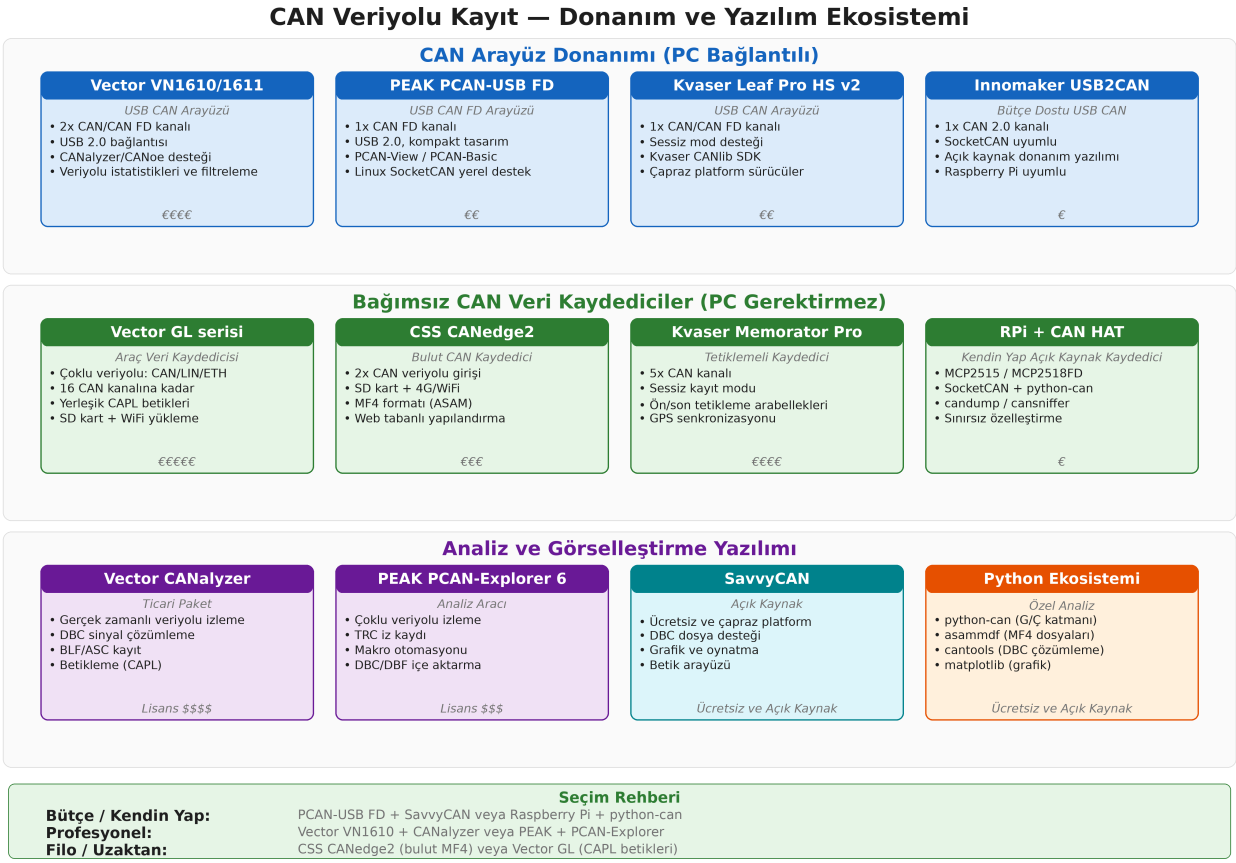
MDF4'ün MDF3'e Göre Avantajları

Tablo 17-2 MDF3 ve MDF4 Temel Farklar

Özellik	MDF3 (Eski)	MDF4 (Güncel)
Maks. Dosya Boyutu	2 GB (32-bit offsets)	Sınırsız (64-bit ofsetler)
Sıkıştırma	Desteklenmiyor	zlib / transpozisyon
Bus Türleri	Yalnızca CAN	CAN, CAN FD, LIN, Ethernet, FlexRay
Ekler	Desteklenmiyor	Gömülü DBC, yapılandırma, belgeleme
Olaylar	Temel işaretçiler	Meta verili zengin olay blokları
Şifreleme	Desteklenmiyor	AES-128/256 şifreleme
XML Meta Verisi	Desteklenmiyor	Yapılandırılmış XML meta veri blokları

17.4 CAN Kayıt Donanımı

CAN kayıt donanımı, PC tabanlı kayıt için basit USB adaptörlerinden araçlarda otonom olarak çalışan gelişmiş bağımsız veri logger'larına kadar uzanır. Seçim, kullanım senaryosuna, bütçeye ve gerekli özelliklere bağlıdır.



Şekil 17-4 *CAN Bus Kayıt — Donanım ve Yazılım Ekosistemi: Büyük satıcılardan CAN arayüzleri, bağımsız logger'lar ve analiz yazılımı.*

PC Bağlantılı CAN Arayüzleri

Bu cihazlar USB, Ethernet veya PCIe aracılığıyla bir PC'ye bağlanır ve kayıt için eşlik eden yazılım gerektirir:

Tablo 17-3 CAN Arayüz Donanımı Karşılaştırması

Cihaz	Bağlantı	CAN FD	Kanal	Yazılım	Fiyat Aralığı
Vector VN1610/1611	USB 2.0	Evet	2	CANalyzer/CANoe	€€€€
PEAK PCAN-USB FD	USB 2.0	Evet	1	PCAN-View/PCAN-Temel	€€
Kvaser Leaf Pro HS v2	USB 2.0	Evet	1	Kvaser CANlib SDK	€€
Innomaker USB2CAN	USB 2.0	Hayır	1	SocketCAN (Linux)	€
Intrepid ValueCAN 4-2	USB 2.0	Evet	2	Vehicle Spy	€€€

Bağımsız CAN Veri Logger'ları

Bağımsız logger'lar PC olmadan çalışır, doğrudan SD kartlara, dahili belleğe kaydeder veya bulut hizmetlerine yükler:

- **Vector GL serisi:** 16'ya kadar CAN kanalı, CAPL betikleme ve WiFi/4G yükleme özellikli profesyonel araç veri logger'ları. OEM geliştirme ve filo testlerinde yaygın olarak kullanılır.
- **CSS Electronics CANedge2:** 2 CAN kanalı, SD kart + 4G/WiFi ile kompakt bulut bağlantılı CAN logger, ASAM MF4 formatında kayıt. Web tabanlı yapılandırma özelliğine sahip.
- **Kvaser Memorator Pro 5×HS:** Tetik tabanlı kayıt, ön/son tetik tamponları, GPS senkronizasyonu ve sessiz bus çalışması ile 5 kanallı CAN logger.
- **Raspberry Pi + CAN HAT:** MCP2515 veya MCP2518FD CAN kontrolörleri kullanan kendin yap açık kaynak logger. Minimum maliyetle sınırsız özelleştirme için SocketCAN + python-can çalıştırır.

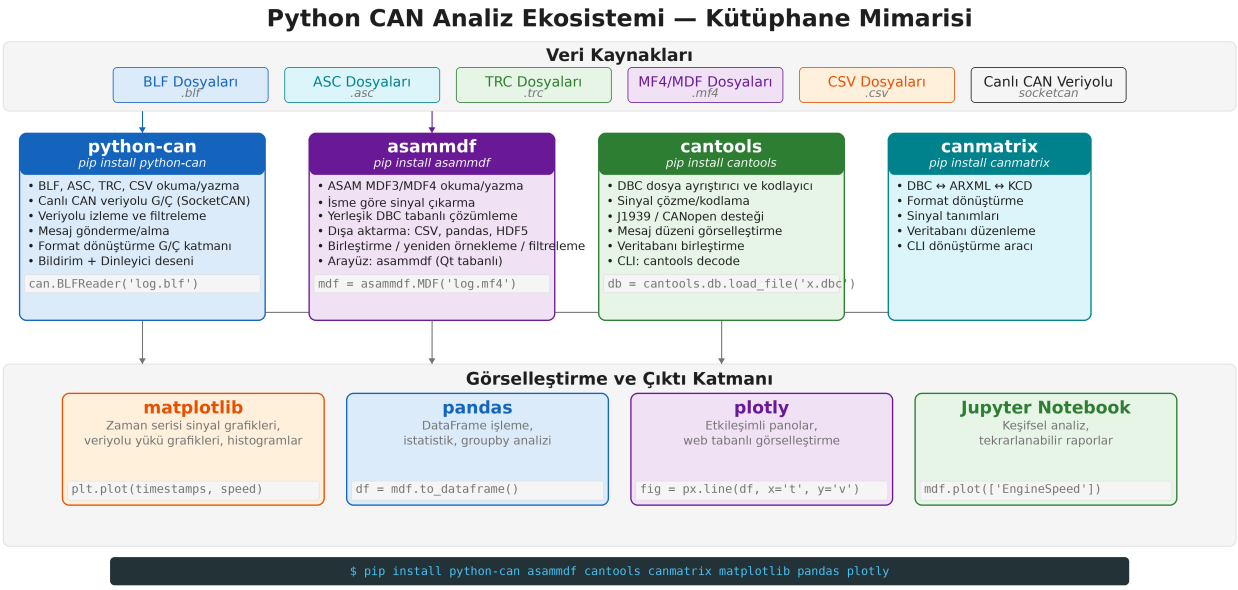
Linux SocketCAN Kurulumu

Bütçe dostu ve yüksek düzeyde özelleştirilebilir kayıt için Linux SocketCAN, yerel çekirdek düzeyinde CAN arayüzü sağlar:

```
# Set up CAN interface
$ sudo ip link set can0 type can bitrate 500000
$ sudo ip link set can0 up

# Temel logging with candump
$ candump -l can0                    # Log to candump-*.log
$ candump -L can0 > trace.asc       # Log in ASC format

# Advanced: python-can with SocketCAN
import can
bus = can.interface.Bus(channel='can0', interface='socketcan')
logger = can.BLFWriter('capture.blf')
notifier = can.Notifier(bus, [logger])
# ... recording in background ...
```

17.5 Analiz Yazılımı ve Python Ekosistemi

CAN veri analizi, ticari GUI araçlarından açık kaynak Python kütüphanelerine kadar uzanır. Python ekosistemi, otomatik, betiklenebilir ve tekrarlanabilir analiz iş akışları için özellikle güçlü hale gelmiştir.



Şekil 17-5 *Python CAN Analiz Ekosistemi — Kütüphane Mimarisi: Veri kaynakları, temel kütüphaneler (python-can, asammdf, cantools, canmatrix) ve görselleştirme çıktı katmanı.*

Ticari Analiz Araçları

Tablo 17-4 CAN Analiz Yazılımı Karşılaştırması

Araç	Satıcı	Temel Özellikler	Lisans
CANalyzer	Vector	Bus izleme, DBC çözümleme, BLF/ASC kaydı, CAPL betikleme	Ticari
CANoe	Vector	Tam simülasyon + analiz, ağ tasarımı, otomatik test	Ticari
PCAN-Explorer 6	PEAK-System	Çoklu bus izleme, TRC kaydı, makrolar, DBC içe aktarım	Ticari
Vehicle Spy	Intrepid CS	Çoklu protokol analizi, betikleme, simülasyon	Ticari
SavvyCAN	Open-source	Ücretsiz, çapraz platform, DBC desteği, grafikleme, betikleme	Ücretsiz (GPL)

CAN Analizi için Python Kütüphaneleri

python-can — Python için temel CAN kütüphanesi. BLF, ASC, TRC ve CSV dosyalarını okuma/yazma için birleşik bir arayüz sunar ve SocketCAN, PCAN, Kvaser ve Vector arayüzleri aracılığıyla canlı CAN bus G/Ç sağlar.

```
import can

# Read a BLF file and print all messages
log = can.BLFReader('vehicle_trace.blf')
for msg in log:
    print(f"  {msg.timestamp:.6f}  0x{msg.arbitration_id:03X}  "
          f"[{msg.dlc}]  {msg.data.hex(' ')}")

# Convert BLF to ASC
with can.BLFReader('input.blf') as reader:
    with can.ASCWriter('output.asc') as writer:
        for msg in reader:
            writer.on_message_received(msg)
```

asammdf — ASAM MDF3/MDF4 dosyaları için birincil kütüphane. İsme göre sinyal çıkarımı, DBC tabanlı çözümleme, CSV/pandas/HDF5'e dışa aktarım destekler ve Qt tabanlı bir GUI ile birlikte gelir.

```
from asammdf import MDF

# Open an MF4 file
mdf = MDF('measurement.mf4')

# Extract specific signals
speed = mdf.get('VehicleSpeed')
rpm = mdf.get('EngineRPM')

# Export to pandas DataFrame
df = mdf.to_dataframe()

# Apply DBC decoding
mdf_decoded = mdf.extract_bus_logging(
    database_files={'CAN': ['vehicle.dbc']}
)
```

cantools — Bir DBC dosya ayrıştırıcı ve sinyal çözümleyici/kodlayıcı. J1939 ve CANopen protokol uzantılarını destekler. Hem Python API hem de komut satırı arayüzü sağlar.

```
import cantools

# Load DBC database
db = cantools.db.load_file('vehicle.dbc')

# Decode a CAN message
msg_def = db.get_message_by_frame_id(0x100)
decoded = msg_def.decode(b'\x01\x02\x03\x04\x05\x06\x07\x08')
print(decoded)
# {'EngineSpeed': 1234.5, 'VehicleSpeed': 67.8, ...}

# Encode a CAN message
data = msg_def.encode({'EngineSpeed': 1500.0, 'VehicleSpeed': 80.0})
print(data.hex())
```

canmatrix — Bir CAN veritabanı dönüştürme kütüphanesi. DBC, ARXML (AUTOSAR), KCD (Kayak), SYM ve diğer veritabanı formatları arasında dönüştürme yapar.

```
import canmatrix

# Convert DBC to ARXML
canmatrix.formats.convert('vehicle.dbc', 'vehicle.arxml')

# Load and inspect a database
db = canmatrix.formats.loadp('vehicle.dbc')
for msg in db:
    print(f"  0x{msg.arbitration_id.id:03X}  {msg.name}  "
          f"DLC={msg.size}  Sinyals={len(msg.signals)}")
```

17.6 Python ile Pratik Analiz

Bu bölüm, Python ekosistemini kullanarak tam analiz iş akışlarını göstermektedir.

İş Akışı 1: BLF Log → DBC Çözümleme → Grafik

```
import can
import cantools
import matplotlib.pyplot as plt

# Load DBC and BLF
db = cantools.db.load_file('vehicle.dbc')
log = can.BLFReader('drive_test.blf')

# Collect decoded signals
timestamps = []
speeds = []
rpms = []

for msg in log:
    try:
        msg_def = db.get_message_by_frame_id(msg.arbitration_id)
        decoded = msg_def.decode(msg.data)
        if 'VehicleSpeed' in decoded:
            timestamps.append(msg.timestamp)
            speeds.append(decoded['VehicleSpeed'])
        if 'EngineRPM' in decoded:
            rpms.append(decoded['EngineRPM'])
    except (KeyError, cantools.db.DecodeError):
        pass  # Unknown message or decode error

# Plot results
fig, (ax1, ax2) = plt.subplots(2, 1, figsize=(14, 8), sharex=True)
ax1.plot(timestamps[:len(speeds)], speeds, color='#1565C0', linewidth=1)
ax1.set_ylabel('Vehicle Speed (km/h)')
ax1.set_title('CAN Bus Log Analysis — DBC Decoded Sinyals')
ax1.grid(True, alpha=0.3)

ax2.plot(timestamps[:len(rpms)], rpms, color='#2E7D32', linewidth=1)
ax2.set_ylabel('Engine RPM')
ax2.set_xlabel('Time (seconds)')
ax2.grid(True, alpha=0.3)

plt.tight_layout()
plt.savefig('analysis_output.png', dpi=150)
plt.show()
```

İş Akışı 2: asammdf ile MF4 Sinyal Çıkarımı

```
from asammdf import MDF
import matplotlib.pyplot as plt

# Open MF4 and extract signals
mdf = MDF('fleet_recording.mf4')

# List all available signals
for i, group in enumerate(mdf.groups):
    for ch in group.channels:
        print(f"  Group {i}: {ch.name} [{ch.unit}]")

# Extract and plot specific signals
speed = mdf.get('VehicleSpeed')
fuel_rate = mdf.get('FuelRate')
coolant = mdf.get('CoolantTemperature')

fig, axes = plt.subplots(3, 1, figsize=(14, 10), sharex=True)

axes[0].plot(speed.timestamps, speed.samples, color='#1565C0')
axes[0].set_ylabel('Speed (km/h)')

axes[1].plot(fuel_rate.timestamps, fuel_rate.samples, color='#E65100')
axes[1].set_ylabel('Fuel Rate (L/h)')

axes[2].plot(coolant.timestamps, coolant.samples, color='#2E7D32')
axes[2].set_ylabel('Coolant Temp (°C)')
axes[2].set_xlabel('Time (s)')

for ax in axes:
    ax.grid(True, alpha=0.3)

plt.suptitle('MF4 Sinyal Analysis — Fleet Recording', fontsize=14)
plt.tight_layout()
plt.savefig('mf4_analysis.png', dpi=150)
```

İş Akışı 3: J1939 Log Analizi

```
import can
import cantools

# Load J1939 DBC
j1939_db = cantools.db.load_file('J1939.dbc')

# Read log file
log = can.BLFReader('truck_highway.blf')

# J1939 PGN extraction
engine_data = []
for msg in log:
    # Extract PGN from 29-bit CAN ID
    pgn = (msg.arbitration_id >> 8) & 0x3FFFF

    if pgn == 0xF004:  # Elektronik Motor Kontrolörü 1 (EEC1)
        decoded = j1939_db.get_message_by_frame_id(
            msg.arbitration_id).decode(msg.data)
        engine_data.append({
            'time': msg.timestamp,
            'rpm': decoded.get('EngineSpeed', 0),
            'torque': decoded.get('ActualEngineTorque', 0),
            'load': decoded.get('DriversDemandEnginePercentTorque', 0),
        })

print(f"Collected {len(engine_data)} EEC1 messages")
print(f"RPM range: {min(d['rpm'] for d in engine_data):.0f} - "
      f"{max(d['rpm'] for d in engine_data):.0f}")
```

17.7 Format Dönüştürme İş Akışları

CAN log formatları arasında dönüştürme, araç değiştirirken veya farklı analiz süreçleri için veri hazırlarken yaygın bir görevdir. Python kütüphaneleri bunu basitleştirir.

Yaygın Dönüştürme Yolları

Tablo 17-5 CAN Log Format Dönüştürme Matrisi

Kaynak → Hedef	Araç / Kütüphane	Komut / Kod
BLF → ASC	python-can	`can.BLFReader` → `can.ASCWriter`
BLF → CSV	python-can	`can.BLFReader` → `can.CSVWriter`
BLF → MF4	asammdf	`MDF.from_bus_logging` from BLF source
ASC → BLF	python-can	`can.ASCReader` → `can.BLFWriter`
TRC → BLF	python-can	`can.TRCReader` → `can.BLFWriter`
MF4 → CSV	asammdf	`mdf.to_dataframe().to_csv()`
MF4 → pandas	asammdf	`mdf.to_dataframe()`
DBC → ARXML	canmatrix	`canmatrix.formats.convert()`

Evrensel Dönüştürücü Betiği

```
#!/usr/bin/env python3
"""Universal CAN log format converter using python-can."""
import can
import sys

READERS = {
    '.blf': can.BLFReader,
    '.asc': can.ASCReader,
    '.trc': can.TRCReader,
    '.csv': can.CSVReader,
}

WRITERS = {
    '.blf': can.BLFWriter,
    '.asc': can.ASCWriter,
    '.csv': can.CSVWriter,
}

def convert(input_file, output_file):
    in_ext = '.' + input_file.rsplit('.', 1)[-1].lower()
    out_ext = '.' + output_file.rsplit('.', 1)[-1].lower()

    reader_cls = READERS.get(in_ext)
    writer_cls = WRITERS.get(out_ext)

    if not reader_cls or not writer_cls:
        print(f"Unsupported format: {in_ext} or {out_ext}")
        return

    count = 0
    with reader_cls(input_file) as reader:
        with writer_cls(output_file) as writer:
            for msg in reader:
                writer.on_message_received(msg)
                count += 1

    print(f"Converted {count} messages: {input_file} → {output_file}")

if __name__ == '__main__':
    convert(sys.argv[1], sys.argv[2])
```

DBC Çözümleme ile MF4 Dışa Aktarım

```
from asammdf import MDF

# Open MF4 file and decode with DBC
mdf = MDF('raw_recording.mf4')
mdf_decoded = mdf.extract_bus_logging(
    database_files={'CAN': ['vehicle.dbc']}
)

# Export decoded signals to CSV
df = mdf_decoded.to_dataframe()
df.to_csv('decoded_signals.csv', index=True)

# Export specific signals only
speed = mdf_decoded.get('VehicleSpeed')
rpm = mdf_decoded.get('EngineRPM')
import pandas as pd
pd.DataFrame({
    'time': speed.timestamps,
    'speed_kmh': speed.samples,
}).to_csv('speed_only.csv', index=False)

print(f"Exported {len(df)} records to CSV")
```

> **💡 En İyi Uygulama**
>
> Uzun süreli arşivleme için ASAM MF4 formatını kullanın — nanosaniye zaman damgalarını, meta verileri korur ve DBC dosyalarını gömebilir. Hızlı paylaşım ve hata ayıklama için ASC veya CSV anında okunabilirlik sağlar. `python-can` + `asammdf` + `cantools` kombinasyonu neredeyse tüm CAN veri kaydı ve analiz ihtiyaçlarını karşılar.

Ek A: Referans Tabloları

A.1 CAN Tanımlayıcı (Tanımlayıcı) Aralıkları

Tablo A-1 Standart CAN 2.0A Tanımlayıcı Aralıkları

Aralık (Hex)	Aralık (Dec)	Kullanım
0x000-0x0FF	0-255	En yüksek öncelikli sistem mesajları
0x100-0x3FF	256-1023	Yüksek öncelikli mesajlar
0x400-0x6FF	1024-1791	Orta öncelikli mesajlar
0x700-0x7EF	1792-2031	Düşük öncelikli mesajlar
0x7F0-0x7FF	2032-2047	En düşük öncelik, tanılama

A.2 J1939 Adres Atamaları

Tablo A-2 Common J1939 Kaynak Adresies

Adres (Hex)	Adres (Dec)	İşlev
0x00	0	Motor Kontrolörü #1
0x01	1	Motor Kontrolörü #2
0x03	3	Şanzıman Kontrolörü
0x0B	11	Fren Sistemi Kontrolörü
0x14	20	Gösterge Paneli
0x21	33	Gövde Kontrolörü
0x33	51	Kabin Kontrolörü
0x80	128	Birincil Tanılama Araç
0xF9	249	OBD-II Aracı
0xFE	254	Boş Adres (talep edilemez)
0xFF	255	Genel Adres (yayın)

A.3 UDS Veri Tanımlayıcıları (DID)

Tablo A-3 Yaygın UDS Veri Tanımlayıcıları

DID (Hex)	Açıklama
F180	Boot Yazılım Tanımlama
F181	Uygulama Yazılımı Tanımlama
F182	Uygulama Verisi Tanımlama
F183	Önyükleme Yazılımı Parmak İzi
F184	Uygulama Yazılımı Parmak İzi
F185	Uygulama Verisi Parmak İzi
F186	Aktif Tanılama Oturum
F187	Araç Üreticisi Yedek Parça Numarası
F188	Araç Üreticisi ECU Yazılım Numarası
F189	Araç Üreticisi ECU Donanım Numarası
F18A	Sistem Tedarikçisi Tanımlayıcısı
F190	VIN (Araç Tanımlama Number)
F197	Sistem Adı veya Motor Tipi
F193	Sistem Tedarikçisi ECU Donanım Sürüm Numarası
F194	Sistem Tedarikçisi ECU Yazılım Sürüm Numarası
F199	Programlama Tarihi
F19D	ECU Seri Numarası

Kaynakça

1. ISO 11898-1:2015. *Road vehicles - Controller area network (CAN) - Part 1: Data link layer and physical signalling*. International Organization for Standardization.
2. ISO 11898-2:2016. *Road vehicles - Controller area network (CAN) - Part 2: High-speed medium access unit*. International Organization for Standardization.
3. ISO 14229-1:2020. *Road vehicles - Unified diagnostic services (UDS) - Part 1: Application layer*. International Organization for Standardization.
4. SAE J1939-21:2018. *Veri Bağlantısı Layer*. SAE International.
5. SAE J1939-71:2018. *Vehicle Application Layer*. SAE International.
6. SAE J1939-73:2018. *Application Layer - Diagnostics*. SAE International.
7. SAE J1939-81:2017. *Network Management*. SAE International.
8. ISO 15765-2:2016. *Road vehicles - Diagnostic communication over Controller Area Network (DoCAN) - Part 2: Taşıma protocol and network layer services*. International Organization for Standardization.
9. ISO 11452-2:2019. *Road vehicles - Component test methods for electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy - Part 2: Absorber-lined shielded enclosure*. International Organization for Standardization.
10. ISO 7637-2:2011. *Road vehicles - Electrical disturbances from conduction and coupling - Part 2: Electrical transient conduction along supply lines only*. International Organization for Standardization.
11. Etschberger, K. (2011). *Controller Area Network: Temels, Protocols, Chips and Applications*. IXXAT Press.
12. Pfeiffer, O., Ayre, A., & Keydel, C. (2008). *Embedded Networking with CAN and CANopen*. RTC Books.
13. Voss, W. (2008). *A Comprehensible Guide to J1939*. Copperhill Technologies.
14. Zimmermann, W., & Schmidgall, R. (2014). *Bussysteme in der Fahrzeugtechnik: Protokolle und Standards*. Springer Vieweg.
15. Bosch, R. (2012). *CAN Specification 2.0*. Robert Bosch GmbH.
16. Bosch, R. (2012). *CAN with Esnek Data-Rate Specification Version 1.0*. Robert Bosch GmbH.
17. CiA 301. *CANopen Uygulama Katmanı and İletişim Profili*. CAN in Automation.
18. CiA 305. *Katman Ayar Hizmetleri (LSS) ve Protokoller*. CAN in Automation.
19. CiA 610-1. *CAN XL Specification*. CAN in Automation.
20. NXP Semiconductors. (2020). *AN96116: CAN Bit Timing Application Note*. NXP B.V.
21. SAE J1939-22:2018. *Taşıma Katmanı for CAN FD Networks*. SAE International.
22. SAE J1939-17:2019. *CAN FD Fiziksel Katman*. SAE International.
23. CiA 306. *Elektronik Veri Sayfası (EDS) Specification*. CAN in Automation.
24. CiA 401. *Cihaz Profili for Genel G/Ç Modülleri*. CAN in Automation.
25. CiA 402. *Cihaz Profili for Sürücüler ve Hareket Kontrolü*. CAN in Automation.