EtherCAT Bus Coupler Modülü



SBE7P1-00-00-00-00_1

Genel Özellikler :

* EtherCAT Slave Cihazı
* Sadece Free Run Modu desteği. Senkron modlar (DC Synchronization, Sync0/Sync1 Event Triggering) desteklenmemektedir.
* CoE (CANopen over EtherCAT) protokol desteği, SDO erişimi mümkün.
* SDO nesneleri, genişleme modülüne göre otomatik artan CoE nesne yapısında sunulmuştur (0x8000, 0x8010, vb.).
* PDO eşlemeleri sabit (Fixed PDO Mapping); genişleme modülüne göre adresler otomatik artar:
  0x6010, 0x6020... blokları (RxPDO)
  0x7010, 0x7020... blokları (TxPDO)
* Maksimum 16 adet IPERTU genişleme modülü bağlantısı
* Döngü Süresi (Cycle Time): Master tarafından belirlenir, önerilen minimum döngü süresi ≥1 ms
* Coupler Döngü Süresi: 16 genişleme modülü bağlıyken, cihazın tüm genişleme modülleriyle veri alışverişini tamamladığı süre < 6 ms
* 2 adet RJ45 Ethernet portu (IN ve OUT), 100BASE-TX, Full-Duplex
* Daisy Chain bağlantı desteği (Zincirleme bağlantı imkanı)
* Sync Manager kullanımı:
  - SM0: Mailbox Çıkışı (Mailbox Out)
  - SM1: Mailbox Girişi (Mailbox In)
  - SM2: PDO Çıkışı (PDO Out)
  - SM3: PDO Girişi (PDO In)
* ESI Dosyası (EtherCAT Slave Information XML dosyası) sağlanmaktadır
* EEPROM üzerinden otomatik tanımlama (Vendor ID, Product ID, PDO ve CoE nesneleri saklanmaktadır).
* Slave Stack Versiyonu: SSC 5.13 tabanlı geliştirme altyapısı.
* Mini USB 2.0 üzerinden parametre ve yazılım güncelleme (boot) imkanı
* DIP switch üzerinden Explicit Device ID (Belirgin Cihaz Kimliği) ayarlama imkanı
* LED Göstergeleri: MS, NS, IO, Ethernet bağlantı LED'leri

Teknik Özellikler

Modül Tipi	SBE7P1-00-00-00-00_1
Besleme Gerilimi	24 VDC ±%20 (19,2 VDC - 28,8 VDC)
Güç Tüketimi	2W
USB Aygıtı	Mini USB, USB 2.0
Ethernet	10 / 100 Mbit, Full Duplex 2 adet RJ45 Ethernet soketi (IN/OUT)
Senkronizasyon Modu	
Free Run	Free Run, EtherCAT ağı üzerinde çalışan slave cihazların, gelen veri çerçevelerini senkronizasyon sinyali olmaksızın işlediği bir çalışma modudur. Bu modda, cihazlar belirli bir zamanlama (örneğin Sync0 veya Sync1) beklemeksizin, master cihazdan her yeni veri çerçevesi geldiğinde güncellenir ve çıktı üretir.
Obje Türleri	
PDO (Process Data Object)	PDO (Process Data Object), EtherCAT ağı üzerinde döngüsel olarak iletilen giriş ve çıkış verilerini temsil eden veri yapılarıdır. PDO yapıları, cihazın çevrimsel veri iletişimini sağlar ve yüksek hızlı haberleşme için optimize edilmiştir. Giriş ve çıkış proses verileri, PDO'lar aracılığıyla slave cihazlarla hızlı ve düzenli şekilde paylaşılır. PDO veri iletimi, herhangi bir ek protokol katmanı olmadan, doğrudan EtherCAT çerçevesi

	içinde gerçekleştirilir. Bu sayede minimum gecikmeyle yüksek performanslı haberleşme sağlanır. Her PDO, belirli sayıda alt nesneden (sub-index) oluşur ve her biri belirli bir veriyi (örneğin bir analog değer, durum biti) temsil eder. Hangi verilerin hangi PDO üzerinden iletileceği bilgisi, PDO eşleme (mapping) yoluyla tanımlanır. Bu eşleme yapıları, nesne sözlüğü içinde 0x1600 serisi (RxPDO Mapping) ve 0x1A00 serisi (TxPDO Mapping) nesneleri aracılığıyla tanımlanır. İletilen verilerin kendisi ise çoğunlukla 0x6000–0x6FFF (giriş verileri) ve 0x7000–0x7FFF (çıkış verileri) aralığındaki nesneler üzerinden aktarılır. Bu yapılar, cihazın nesne sözlüğünde tanımlanır ve master cihaz tarafından okunarak çevrimsel veri akışı kurulur.
SDO (Service Data Object)	SDO (Service Data Object), EtherCAT sistemlerinde slave cihazların konfigürasyon, parametre erişimi ve tanılama işlemleri için kullanılan mesaj tabanlı veri yapısıdır. SDO yapıları, PDO'dan farklı olarak çevrimsel değil, isteğe bağlı ve asenkron veri erişimi sağlar. SDO erişimi, CANopen protokolüne dayalı CoE (CANopen over EtherCAT) yapısı ile sağlanır. Bu erişim cihazın Object Dictionary (nesne sözlüğü) üzerinde tanımlı nesneler aracılığıyla gerçekleşir. Sistem nesneleri (örneğin 0x1000 – 0x1FFF), üreticiye özel parametreler (0x8000 – 0x8FFF) ve PDO konfigürasyon nesneleri gibi çok çeşitli verileri içerir. SDO mesajları, slave cihaz içerisindeki Mailbox tamponları üzerinden iletilir ve bu iletişim SM0 (Mailbox Out) ile SM1 (Mailbox In) Sync Manager kanalları üzerinden yönetilir. SDO iletişimi, cihaz devreye alınmadan önce yapılan yapılandırmalar, çalışma sırasında yapılan parametre güncellemeleri veya tanılama işlemleri için kritik öneme sahiptir.
Protokol	
CoE (CANopen over EtherCAT)	CoE (CANopen over EtherCAT), EtherCAT ağı üzerinde CANopen protokolünün veri modeli ve yapılandırma mekanizmalarını taşıyan bir alt protokoldür. Bu yapı sayesinde EtherCAT slave cihazları, CANopen nesne modeline uygun şekilde yapılandırılabilir, yönetilebilir ve izlenebilir hale gelir. CoE, farklı üreticilere ait cihazların uyumlu çalışmasını sağlayan standartlaşmış bir yapı sunar. Konfigürasyon verileri ve cihaz parametrelerine erişim, SDO (Service Data Object) mekanizmasıyla gerçekleştirilir. SDO yapısı, master cihazın slave üzerindeki nesne sözlüğünde tanımlı verilere okuma/yazma yapabilmesine olanak tanır. Ayrıca, PDO (Process Data Object) eşleme bilgileri de CoE üzerinden yapılandırılabilir. PDO verisi doğrudan EtherCAT çerçevesiyle taşınırken, hangi verinin hangi PDO ile ilişkilendirileceği bilgisi CoE yoluyla ayarlanır. Tüm bu CoE iletişimi, EtherCAT slave cihazında bulunan Mailbox tampon veri yapıları üzerinden gerçekleştirilir. Mailbox trafiği, SM0 (Mailbox Out) ve SM1 (Mailbox In) olarak adlandırılan Sync Manager yapılarıyla kontrol edilir.
SYNC Manager Yapısı	
SM0 – Mailbox Out	Slave cihazdan master'a giden mesaj tabanlı veriler (örneğin SDO yanıtları) bu kanal üzerinden taşınır.
SM1 – Mailbox In	Master'dan slave'e gelen mesaj tabanlı veriler (örneğin SDO istekleri) bu kanal üzerinden taşınır. SM0 ile birlikte bu kanal genellikle CoE protokolü altında kullanılan SDO mesajlarının taşınması için aktiftir.
SM2 – Process Data Out (RxPDO)	Master'dan slave'e gönderilen çevrimsel (PDO) veriler bu kanal üzerinden taşınır. Hangi RxPDO nesnelerinin bu kanaldan iletileceği, 0x1C12 (RxPDO Assign) nesnesi üzerinden tanımlanır.
SM3 – Process Data In (TxPDO)	Slave'den master'a gönderilen çevrimsel (PDO) veriler bu kanal üzerinden taşınır. Hangi TxPDO nesnelerinin bu kanaldan iletileceği, 0x1C13 (TxPDO Assign) nesnesi üzerinden tanımlanır.
Çalışma Modları	
Init (Initialization)	Cihaz açıldığında ilk olarak bu duruma geçer. Haberleşme veri alanları (PDO, SDO) henüz yapılandırılmamıştır. Bu modda yalnızca EEPROM erişimi mümkündür. Master, slave'in temel donanım bilgilerini bu aşamada alabilir.
Pre-Operational (Pre-Op)	Bu modda slave cihaz, CoE protokolü üzerinden yapılandırılabilir. Master cihaz bu aşamada slave'e parametre yazar, nesne sözlüğünü okur, SDO ile konfigürasyon yapar. PDO iletişimi henüz başlatılamaz.
Safe-Operational (Safe-Op)	Bu modda, PDO yapılandırması tamamlanmıştır, ancak cihaz çevrimsel veri iletişimine sınırlı şekilde katılır. Slave cihaz, giriş verilerini (TxPDO) üretir ve master bu verileri 0x6000–0x6FFF aralığından okuyabilir. Ancak master, slave'e çıkış verisi gönderemez; RxPDO veri yazımı (0x7000–0x7FFF) pasiftir ve slave'in fiziksel çıkışları aktif hale gelmez. Safe-Op modu, sistemin çalışmaya başlamadan önce güvenliğini kontrol etmek için kullanılan bir aşamadır.
Operational (Op)	Slave cihaz hem giriş hem çıkış verilerini aktif olarak iletir. PDO haberleşmesi başlamıştır ve cihaz tam olarak çalışır durumdadır. CoE üzerinden parametre erişimi de devam edebilir.

<table>
<tr><th colspan="2">LED Göstergeler</th></tr>
<tr><td>Besleme</td><td>Normal gerilim seviyesinde sürekli yanar, düşük gerilimde 0.1s yanar 0.1s söner.
Coupler modüle herhangi bir slave modül bağlı değilse ya da slave ile arasındaki bus haberleşmesi hiç başlamadıysa 0.5s yanar 0.5s söner.
Coupler ile slave arasındaki bus haberleşmesi başladıktan sonra kesildiyse 1s yanar 1s söner .</td></tr>
<tr><td>USB</td><td>USB kablosu takılı iken sürekli yanar, veri transferi sırasında yanıp söner</td></tr>
<tr><td>Ethernet</td><td>Sarı ve Yeşil Kapalı: Ethernet kablosu takılı değil veya takılı olan modülde enerji yok.
Yeşil Sürekli: Ethernet bağlantısı var. Haberleşme henüz başlamadı
<table>
<tr><th>Çalışma Modu</th><th>Status/Run LED Davranışı (Sarı LED)</th><th>Link/Activity LED (Yeşil LED)</th></tr>
<tr><td>Init</td><td>Kapalı</td><td>Hızlı yanıp sönme (~100 ms)</td></tr>
<tr><td>Pre-Op</td><td>Hızlı yanıp sönme (~200 ms)</td><td>Hızlı yanıp sönme (~100 ms)</td></tr>
<tr><td>Safe-Op</td><td>Yavaş yanıp sönme (~1 s)</td><td>Hızlı yanıp sönme (~100 ms)</td></tr>
<tr><td>Op</td><td>Sürekli</td><td>Hızlı yanıp sönme (~100 ms)</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>MS</td><td>Sürekli (Yeşil) : Modül normal şekilde çalışıyor
Blink (Yeşil) : Modül konfigüre edilmedi veya geçersiz konfigürasyon
Sürekli (Kırmızı) : Hata algılandı
Modül boot modundayken kırmızı renkte 1s yanar 0.1s söner</td></tr>
<tr><td>NS</td><td>Kapalı : Ethernet bağlantısı algılanmadı / yok
Sürekli (Yeşil) : EtherCAT bağlantısı kuruldu, Coupler Op modda çalışıyor
Blink 500 ms (Yeşil) : EtherCAT bağlantısı kuruldu, Coupler Safe-Op modda çalışıyor
Blink 300 ms (Yeşil) : EtherCAT bağlantısı var ancak Coupler Safe Op ya da Op modda değil
Blink 300 ms (Kırmızı) : EtherCAT bağlantısı var ama haberleşme hatası</td></tr>
<tr><td>IO</td><td>Kapalı : Genişleme modülü algılanmadı / yok.
Sürekli (Yeşil) : Modül, genişleme modülleriyle haberleşiyor
Blink (Yeşil) : Modül, genişleme modülleriyle haberleşmiyor
Blink (Kırmızı) : En az 1 genişleme modülü ile (3 sorgudan sonra) timeout oluştu</td></tr>
<tr><td>Dipswitch</td><td>Coupler cihaz için sabit ve manuel bir Explicit Device ID (Belirgin Cihaz Kimliği) belirlemek amacıyla kullanılır.</td></tr>
<tr><th colspan="2">Çevresel Özellikler</th></tr>
<tr><td>Çalışma Sıcaklığı</td><td>-10°...+60° C</td></tr>
<tr><td>Depolama Sıcaklığı</td><td>-20°...+70° C</td></tr>
<tr><td>İzolasyon</td><td>* Besleme ile USB arasında izolasyon yoktur
* Besleme ile Ethernet arasında izolasyon 1500VAC</td></tr>
</table>

Modül Yuvalama (Slot) Yapısı ve Adresleme Mantığı

EtherCAT cihazınızda, genişleme yapısı slot tabanlı bir mimariye sahiptir. Bu mimaride, her bir genişleme modülü belirli bir fiziksel yuvaya (slot) bağlanır ve her slot için giriş (RxPDO) ve çıkış (TxPDO) veri nesneleri öngörülebilir bir adres aralığı ile tanımlanır.

1. Slot Yapısı

Sistem mimarisinde toplam 17 slot bulunabilmektedir. Slot 0, yalnızca coupler (ana modül) olarak ayrılmıştır. Bu modül herhangi bir PDO veri aktarımı içermez. PDO veri aktarımı yalnızca genişleme modüllerine (slot 1 ve sonrası) özeldir. Burada, genişleme modülleri bağlantı sırasına göre slotlara yerleştirilmelidir.

1.1. PDO Adresleme Sistemi

Her modülün PDO adresleri, sabit bir artış mantığıyla belirlenir:

PDO Veri Objeleri:

- **RxPDO (master → slave yazma alanı):** 0x7000 + 0x10 × slot_no (EtherCAT Bus Coupler 0. slot)
- **TxPDO (slave → master okuma alanı):** 0x6000 + 0x10 × slot_no (EtherCAT Bus Coupler 0. slot)

PDO Mapping Objeleri:

- **RxPDO Mapping:** 0x1600 + slot_no
- **TxPDO Mapping:** 0x1A00 + slot_no

PDO Assign Nesneleri:

- **RxPDO Assign (SM2 için):** 0x1C12
- **TxPDO Assign (SM3 için):** 0x1C13

Bu yapı sayesinde, her genişleme modülü kendi slot numarasına göre **otomatik ve düzenli bir PDO adres aralığına** sahip olur. PDO eşlemeleri bu cihazda sabit olarak tanımlanmıştır ve kullanıcı tarafından değiştirilemez. Bu yapı, ESI dosyasında tanımlanmış ve her modül için önceden yapılandırılmış sabit PDO mapping nesneleri kullanılmıştır.

Örnek: Slotlar için PDO Nesneleri

Slot	TxPDO Mapping Obj.	TxPDO Veri Objesi	RxPDO Mapping Obj.	RxPDO Veri Objesi
1	0x1A01	0x6010	0x1601	0x7010
2	0x1A02	0x6020	0x1602	0x7020
3	0x1A03	0x6030	0x1603	0x7030
…	…	…	…	…

1.2. PDO Sub-Index Yapısı

Her PDO Mapping nesnesi altında, hangi verilerin taşınacağını belirten birden fazla sub-index tanımlanır.
CoE protokolünde, 0x6000–0x6FFF aralığı TxPDO'lar (slave'den master'a giden veriler) 0x7000–0x7FFF aralığı RxPDO'lar (master'dan slave'e giden veriler) için ayrılmıştır. Her bir nesne birden fazla alt indis (sub-index) içerebilir. Sub-index'ler, nesnenin içindeki veri elemanlarını temsil eder. Veri elemanları 0x01'den itibaren sıralanır.

Bu indexlerde genişleme modüllerinin, dijital giriş, analog giriş, dijital çıkış ve analog çıkış verileri taşınmaktadır. Sub-index yapısı, genişleme modül tipine göre farklılık göstermektedir.

Örnek Slot Yapısı ve Sub-index İçerikleri
Aşağıda, Coupler modülüne sırasıyla belirtilen genişleme modüllerinin bağlandığı bir senaryoda PDO veri alanlarının (TxPDO/RxPDO) nasıl adreslendiği ve her bir alt indeksin (sub-index) hangi veriyi taşıdığı gösterilmektedir:

1. Slot 1: IPERTU SMR1P1-00-00-01-00_1 (15xTO)
2. Slot 2: IPERTU SMR1P1-01-00-00-00_1 (16xDI)
3. Slot 3: SMR1P1-00-30-07-02_1 (1xAI-FU, 1xTO, 1xAO)

Slot	Modül Kodu	TxPDO (Slave → Master)	Sub-index	Açıklama	Veri Tipi
1	SMR1P1-00-00-01-00_1	**0x6010**	01–0F	Transistör çıkışların durumu	BOOL
2	SMR1P1-01-00-00-00_1	**0x6020**	01	Dijital girişlerin durumu (16 bit bitmask)	UINT16
3	SMR1P1-00-30-07-02_1	**0x6030**	01	Analog giriş	UINT16
			02	Dijital çıkış durumu	BOOL
			03	Analog çıkış değeri	UINT16

Slot	Modül Kodu	RxPDO (Master → Slave)	Sub-index	Açıklama	Veri Tipi
1	SMR1P1-00-00-01-00_1	0x7010	01–0F	15 dijital çıkış kontrolü (Q0–Q14)	BOOL
2	SMR1P1-01-00-00-00_1	—	—	(çıkış yok)	—
3	SMR1P1-00-30-07-02_1	0x7030	01	Dijital çıkış komutu	BOOL
			02	Analog çıkış değeri	UINT16

Sub-index numaraları doğrudan ESI dosyasındaki yapıdan alınarak belirlenmektedir. Analog çıkış gibi değerlere yazılabilir limitler ESI dosyasında tanımlıdır (Min/Max) ve bu limitler master tarafından kontrol edilerek doğrulanır.

1.3. SDO Adresleme Sistemi

EtherCAT sistemlerinde SDO (Service Data Object) yapısı, slave cihazın konfigürasyon verilerine ve parametrelerine erişmek için kullanılır. Bu veriler cihazın içinde Object Dictionary adı verilen yapı altında organize edilir.

Adres aralıkları ve anlamları ise aşağıda açıklanmaktadır.

Adres Aralığı	Açıklama
0x1000–0x1FFF	Standart sistem nesneleri (örneğin Cihaz Tipi, Hata Kodu, Kimlik Bilgisi)
0x6000–0x7FFF	PDO veri objeleri (giriş/çıkış verileri)
0x8000–0x8FFF	Üreticiye özel yapılandırma ve çalışma parametreleri

Couplerdaki Yapı

0x1000–0x1FFF aralığı:

- **Örnek:**
  - 0x1000 → Device Type
  - 0x1001 → Error Register
  - 0x1018 → Identity Object (Vendor ID, Product Code, vs.)

0x8000–0x8FFF aralığı:

- **Coupler modül parametreleri: 0x8000–0x800F**
- **Genişleme modülleri:**
  - Slot 1 → 0x8010
  - Slot 2 → 0x8020
  - Slot 3 → 0x8030
  - … bu yapı slot numarasına göre 0x10 aralıklarla devam eder

Master, bu nesnelere SDO mesajları ile erişebilir. Parametrenin mevcut değeri sorgulanır veya yazılabilir olarak tanımlanması durumunda değer atayabilir. ESI dosyasında bu nesnelerin data tipleri, erişim özellikleri (ro, ro/rw), varsayılan değerleri ve min/max değerleri tanımlıdır.

1.4. SDO Sub-Index Yapısı

Cihaza özgü parametreler, EtherCAT nesne sözlüğü içinde 0x8000–0x8FFF aralığında tanımlanmıştır.
Bu nesneler, cihaz konfigürasyonu, çalışma ayarları ve tanılama verileri gibi bilgileri içerir ve SDO protokolü üzerinden erişilebilir.

Her genişleme modülü, slot numarasına göre sabit bir adres ile ilişkilendirilmiştir:

Slot	**Nesne Adresi**
Coupler	0x8000
Slot 1	0x8010
Slot 2	0x8020
Slot 3	0x8030
…	…

Bu yapı, sistemdeki modüllerin sırasına göre parametre erişimini basitleştirir ve adres çakışmalarını önler.

EtherCAT cihazınızda **0x8000–0x8FFF** adres aralığı, modüllere özel konfigürasyon ve tanılama parametreleri için ayrılmıştır.

Her genişleme modülü, bağlı olduğu **slot numarasına göre** sabit bir SDO nesne adresine sahiptir (örneğin slot 1 → 0x8010, slot 2 → 0x8020, vb.). Bu nesneler altında yer alan **sub-index'ler**, modül tipine göre değişir.

Sub-index yapısı, ilgili modülün **datasheet'inde tanımlı olan Modbus parametre tablolarıyla eşleşecek şekilde** yapılandırılmıştır.

Önemli Not:
Analog ve dijital **giriş/çıkış verileri** bu SDO nesneleri altında yer almaz.
Bu veriler yalnızca **PDO nesneleri (örneğin 0x6010, 0x7010 serisi)** üzerinden gerçek zamanlı olarak iletilir.

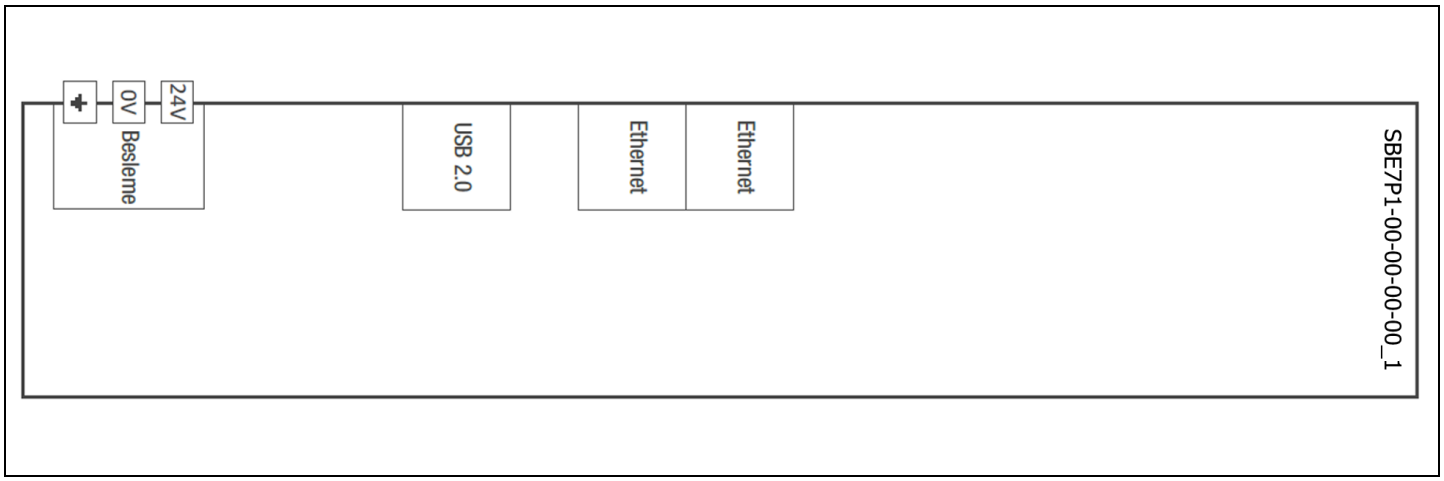
Örnek Slot Yapısı ve Sub-index İçerikleri
Aşağıda, önceki örneklerde kullanılan genişleme modüllerine ait üreticiye özel SDO nesneleri (0x8000 serisi) içinde yer alan bazı sub-index'lerin anlamları gösterilmektedir.

Modül (Slot)	**Adres (Nesne/Sub-index)**	**Açıklama**	**Veri Tipi**
SMR1P1-00-00-01-00_1 (Slot 1)	0x8010:08	Slave hata durumu	UINT16
	0x8010:09	Timeout süresi (ms)	UINT16
SMR1P1-01-00-00-00_1 (Slot 2)	0x8020:0C	1. dijital giriş filtre süresi	UINT16
	0x8020:0D	2. dijital giriş filtre süresi	UINT16
SMR1P1-00-30-07-02_1 (Slot 3)	0x8030:0B	Sıcaklık birimi seçimi (°C/°F)	UINT16
	0x8030:0C	Analog giriş sensör tipi	UINT16

Coupler SDO Adresleri (8000h)

Adres (Hex)	R/W	Parametre İsmi	Tanımlama	Varsayılan
8000:01	R	ID	Modül iç ağ haberleşmesinde kullanılan kimlik numarası	1
8000:02	R	Tip_Bus (Tip/Bus Sıra)	**b15-b8** : modül tipini gösterir. Koda göre modül tipi : SBE7P1-00-00-00-00_1 = 0xC4 **b7-b0** : modül sırasını gösterir : 0- Master Modül 17- Tek modül var bus yok	
8000:03	R	Versiyon	Donanım ve yazılım versiyonlarını bitsel olarak verir. **b15-b12**: Donanım Versiyon **b11-b6**: Yazılım Majör Versiyon **b5-b0**: Yazılım Minör Versiyon	
8000:04	R	Explicit_Cihaz_ID (Belirgin Cihaz Kimliği)	Cihazın EtherCAT master tarafından, fiziksel sırasından bağımsız olarak tanımlanmasını sağlayan sabit kimlik numarasını tanımlar.[1] *Not 1: Bu parametre 0-255 değer aralığı için dipswitchten daha üzeri değerler için USB üzerinden erişilen HTML arayüzünden yapılandırılmaktadır.*	0
8000:05	R	EtherCAT_Durumu (EtherCAT Çalışma Modu)	EtherCAT master tarafından cihaza atanan mevcut çalışma modunu gösterir. **0x01:** INIT **0x02 :** PRE-OP **0x04:** SAFE-OP **0x08:** OP	
8000:06	R	Slave_Sayisi (Bus'taki Slave Modül Sayısı)	Bus'a bağlı Slave modül sayısını gösterir.	
8000:07 8000:08 …… 8000:16	R	Slave_Modul1_Tipi Slave_Modul2_Tipi ……. Slave_Modul16_Tipi Slave Modül Ident ve Tip Bilgisi	Bus'a bağlı Slave modüllerin tip ve Module Ident bilgilerini hexadecimal formatta gösterir.[2] **b0-b7**: Slave Tip Bilgisi **b8-b15**: Slave Module Ident Bilgisi **Örnek** 8000:07 = 0x01A4 (SMR1P1-00-00-01-00_1) 8000:08 = 0x05A2 (SMR1P1-01-00-00-00_1) 8000:09 = 0x1FAF (SMR1P1-00-30-07-02_1) *Not 2: Genişleme modülü datasheetlerinde cihaz tipi bilgisi hexadecimal formatta yer almaktadır. Module Ident bilgisi Ek A'da yer alan Çizelge 4'te açıklanmıştır.*	
8000:17	R/W	Modul_Hatalari (Hata Durumları)	Hata durumlarını bitsel olarak verir. **b0-b4**: EtherCAT Master'da Slot atamasında hata tespit edilen ilk modül sıra numarası[3] **b5** : Düşük besleme gerilimi **b8** : Slave modül sayısı hatalı **b9** : Slave modül tipi hatalı **b10**: Slave modüller ile haberleşme hatası **b15-b11**: Hata tespit edilen modül numarası *Not 3: Slot ataması Slave'lerin bağlantı sırasına göre yapılmadığı durumda hatalı olan ilk genişleme modülünün sıra numarasını gösterir.*	

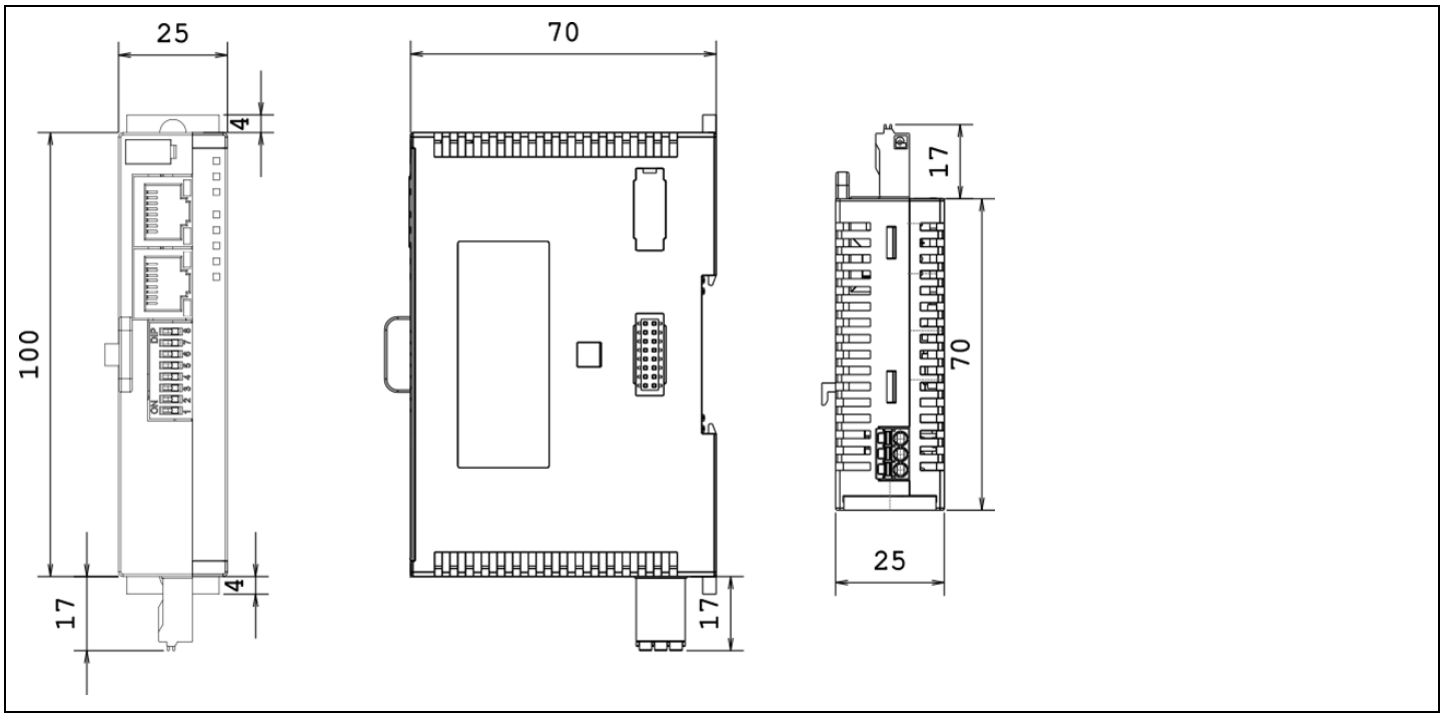
Bağlantı Şeması



** Giriş/Çıkış terminallerine kesinlikle AC besleme bağlamayınız. Aksi halde modül zarar görebilir. Enerji vermeden önce modülün tüm bağlantılarını kontrol ediniz. Elektriksel gürültüyü önlemek için topraklamanın düzgün yapıldığına emin olunuz. Besleme terminalindeki toprak bağlantısını topraklayınız. Enerjili iken modül terminallerine müdahale etmeyiniz.*

** Genişleme modülü bağlantılarını cihaza enerji vermeden önce gerçekleştiriniz. Aksi durumda modüller zarar görebilir ve hata durumları oluşabilir.*

Boyutlar



Ürün Sipariş Kodu

EtherCAT Coupler Modülü	Ethernet	USB	Dipswitch
SBE7P1-00-00-00-00_1	2 x 10/100 Mbit	+	+

Explicit Cihaz ID'nin Ayarlanması

EtherCAT ağlarında cihazlar genellikle topolojideki fiziksel sıralamalarına göre adreslenir. Ancak bazı uygulamalarda, cihazların ağ üzerindeki konumu değişse bile aynı kimlikle tanınması gerekebilir. Bu durumda Explicit Cihaz ID devreye girer. Explicit Cihaz ID, bir EtherCAT slave cihazına manuel olarak atanmış sabit bir kimlik numarasıdır. Bu kimlik, cihazın EtherCAT master tarafından fiziksel konumundan bağımsız olarak tanınmasına ve adreslenmesine olanak sağlar.

Bu özellik özellikle Hot Connect destekli sistemlerde önemlidir. Hot Connect, EtherCAT ağı çalışır durumdayken belirli cihazların çıkarılıp takılmasına izin verir. Master, Explicit Cihaz ID sayesinde hangi cihazın bağlandığını veya çıkarıldığını anlar ve uygun yapılandırmayı yükleyebilir. Böylece esnek, yeniden yapılandırılabilir sistemler oluşturulabilir ve bakım sırasında minimum kesinti sağlanır.

Explicit Cihaz ID iki farklı prosedür kullanılarak ayarlanabilir. Bu prosedürler Çizelge 1'de açıklanmaktadır.

Çizelge 1. Explicit Cihaz ID'nin ayarlanmasında kullanılan prosedürler

Prosedür	Açıklama	Gerekli bileşenler
Dipswitch	Dipswitch kullanarak ID atama	-
Yığın Bellek	HTML arayüzü üzerinden ID Atama	Mini USB kablosu ve Bilgisayar

Kullanılacak ayar prosedürü, cihaza enerji verildiği sırada Dipswitch değeri kontrol edilerek seçilmektedir. Bu durum Çizelge 2'de açıklanmaktadır.

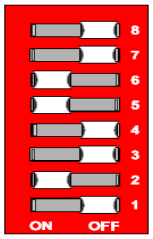
Çizelge 2. Explicit Cihaz ID ayar modları

Dipswitch Değeri	Açıklama
0 - 254	Explicit Cihaz ID, 1-254 arasında sabit bir değere ayarlanır. Bu durumda yığın bellek üzerinden ayarlanmış olan değer yok sayılır.
255	Explicit Cihaz ID, yığın bellekte yer alan HTML arayüzü üzerinden ayarlanmış değere ayarlanır.

1. Dipswitch ile Explicit Cihaz ID ayarlama

Dipswitch kullanılarak, Explicit Cihaz ID, 0 ile 254 arasında ikili kodlanmış değerlerle ayarlanmaktadır. Ayar, cihaza enerji verilmeden önce gerçekleştirilmelidir.

Örnek:



0 0 1 1 0 0 1 0

Bit	=	1	2	3	4	5	6	7	8
Durum	=	OFF	ON	OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF
Çarpan	=	1	2	4	8	16	32	64	128
Değer	=	0 +	2 +	0 +	0 +	16 +	32 +	0 +	0 = **50**

2. Yığın Bellek Özelliği Kullanılarak Explicit Cihaz ID'nin Ayarlanması

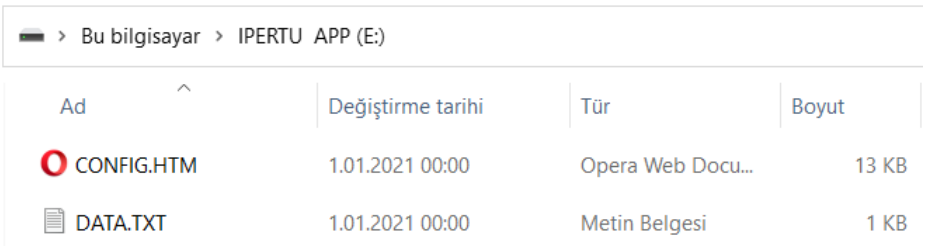
IPERTU EtherCAT Bus Coupler modülünde, Mini USB bağlantısı üzerinden bilgisayar aracılığıyla yığın bellek özelliği kullanılarak Explicit Cihaz ID konfigürasyonu yapılabilmektedir. Bu işlem sırasında IPERTU EtherCAT Bus Coupler modülü harici bir güç kaynağına ihtiyaç duymamakta olup, USB bağlantısından alacağı enerji ile konfigürasyon işlemlerini gerçekleştirebilmektedir. İşlem adımları aşağıda detaylı bir şekilde açıklanmaktadır.

Adım 1: Dipswitch Değerini Ayarlayın

Yığın bellek üzerinden Explicit Cihaz ID değeri ayarlayabilmek için modüle enerji verilmeden önce Tablo 2'de de açıklandığı üzere Dipswitch değerini, tüm switchleri ON konumuna getirerek 255 olarak ayarlayınız.

Adım 2: Modülü Bilgisayara Bağlayın

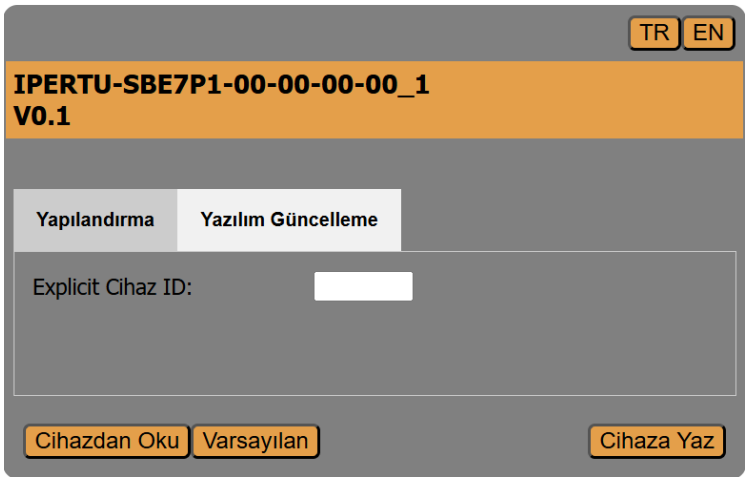
Modülü, Mini USB kablosu kullanarak bilgisayarınıza bağlayın. Bilgisayarınız, Şekil 1'de görüldüğü gibi modülü bir yığın bellek cihazı olarak tanıyacak ve otomatik olarak dosya gezginini açacaktır.



Şekil 1. Bilgisayar bağlantısı sağlanan IPERTU EtherCAT Bus Coupler modülünün yığın bellek cihazı olarak algılanması

Adım 3: Konfigürasyon Arayüzünü Açın

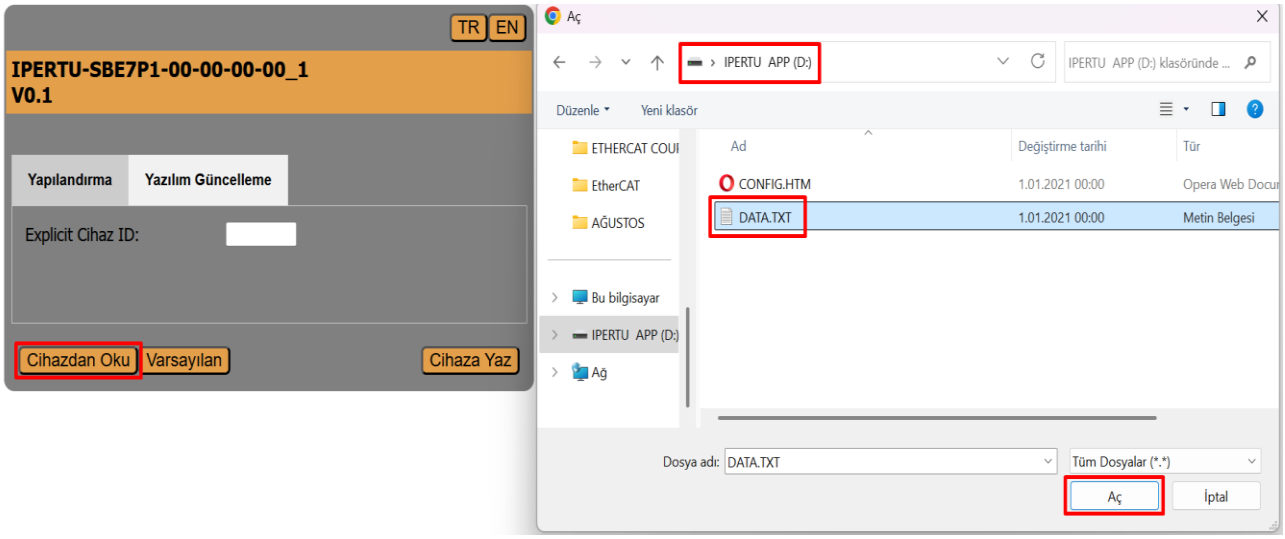
Yığın bellek cihazının içerisinde yer alan, Şekil 1'de da görülen CONFIG.HTM dosyasını açarak Şekil 2'de gösterilen konfigürasyon arayüzünü başlatın. Bu arayüz ile Explicit Cihaz ID görüntülenebilmekte ve değişiklik gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 2. IPERTU EtherCAT Bus Coupler modülü parametre konfigürasyon arayüzü

Adım 4: Parametreleri Okuyun

Konfigürasyon arayüzünde, mevcut Explicit Cihaz ID değerini görüntülemek için öncelikle "Cihazdan Oku" seçeneği kullanılır ve dosya seçim menüsüne erişilir. Burada, yığın bellek cihazı içerisinde yer alan "DATA.TXT" dosyası seçilip açılarak mevcut değer arayüze aktarılır. Bu işlem Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 3. Modül Explicit Cihaz ID değerinin arayüze aktarılması

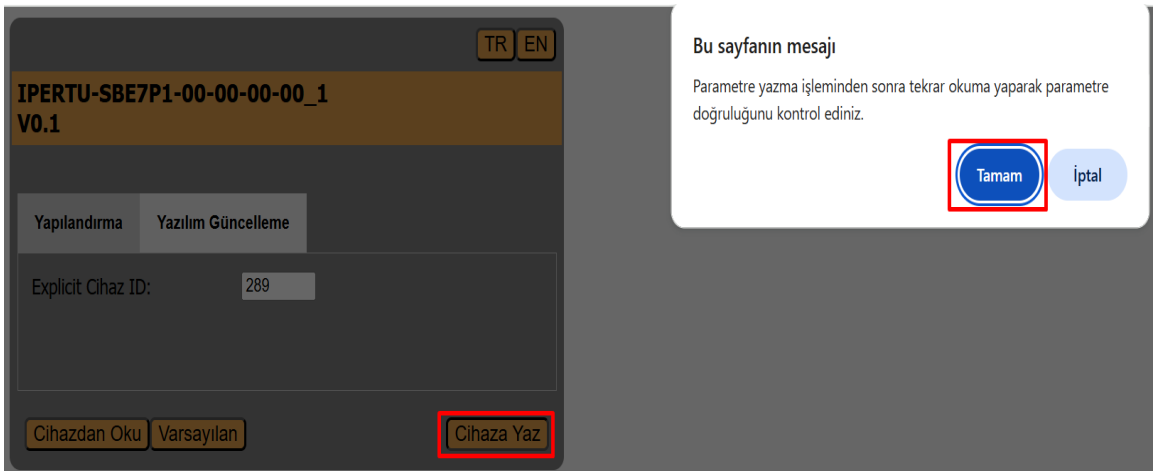
İşlemin gerçekleştirilmesinin ardından ID değeri, Şekil 4'teki gibi arayüzde görüntülenmektedir.



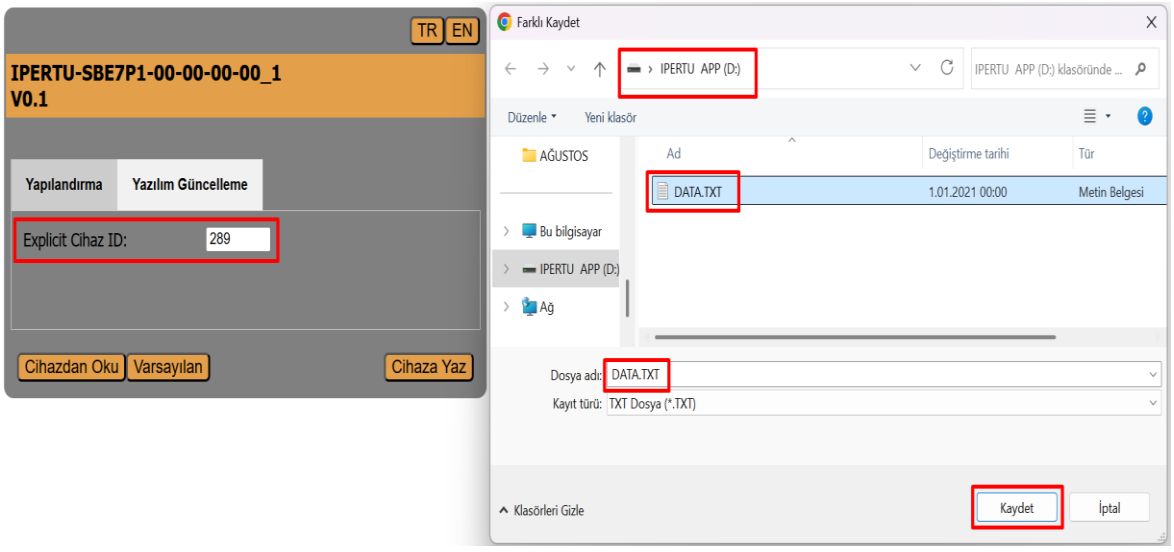
Şekil 4. Modül Explicit Cihaz ID değerinin arayüzde görüntülenmesi

Adım 5: Cihaz ID'yi Değiştirin ve Cihaza Yazın

Explicit Cihaz ID, arayüz üzerinden değiştirilebilmekte ve cihaza yazılabilmektedir. Yazılan değer modülün EEPROM'unda saklanmaktadır. İşlem için öncelikle Explicit Cihaz ID parametresinin karşısında yer alan metin kutusuna yeni değer girilir.[4] Ardından "Cihaza Yaz" seçeneği kullanılır. Bu işlemin ardından öncelikle hatırlatma amaçlı pop-up ekranı oluşmaktadır. Tamam seçeneğine tıklanarak kaydetme menüsüne erişilir. Burada, kaydedilecek dosyanın adının "DATA.TXT" olmasına ve dosya yolunun da yığın bellek cihazı olmasına dikkat edilmelidir. Bahsedilen süreçler Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilmektedir.



Şekil 5. Cihaza Yaz butonuna tıklamanın ardından oluşan pop-up ekranı



Şekil 6. Explicit Cihaz ID değişikliği ve cihaza yazılması

Ayarlamalar gerçekleştirildikten sonra “Kaydet” seçeneğiyle parametrelerin modüle yazım işlemi başlatılmaktadır[5]. İşlem tamamlandığında modül kendini otomatik olarak yeniden başlatacak ve Şekil 1’de gösterilen yığın bellek cihazı dosya gezgini tekrar açılacaktır. Adım 3 ve Adım 4’ü tekrarlayarak parametreleri okuyup değişiklikleri görebilirsiniz.

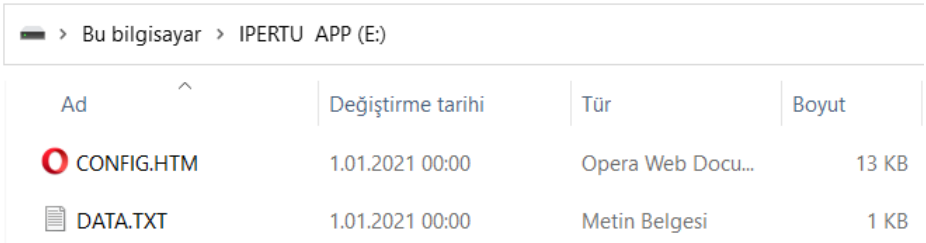
Not 4: İzin verilen Explicit Cihaz ID değer aralığı : 0 – 32767.
Not 5: Uygun olmayan değer girilmesi halinde yazılan değerler cihaz tarafından reddedilir ve eski değerlerin kullanımına devam edilir.

Mini USB ile Cihaz Yazılımı Güncelleme (Bootloader)

IPERTU EtherCAT Bus Coupler modülünde, Mini USB bağlantısı üzerinden bilgisayar aracılığıyla yığın bellek ve bootlader özelliği kullanılarak yazılım güncellemesi yapılabilmektedir. Bu işlem sırasında IPERTU EtherCAT Bus Coupler modülü harici bir güç kaynağına ihtiyaç duymamakta olup, USB bağlantısından alacağı enerji ile yazılım güncelleme işlemi gerçekleştirebilmektedir. İşlem adımları aşağıda detaylı bir şekilde açıklanmaktadır.

Adım 1: Cihazı Bilgisayara Bağlayın

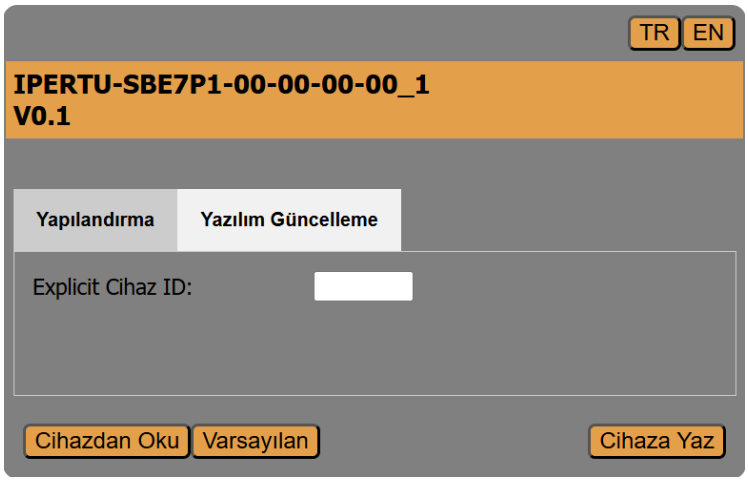
Modülü, Mini USB kablosu kullanarak bilgisayarınıza bağlayın. Bilgisayarınız, Şekil 7’de görüldüğü gibi modülü bir yığın bellek cihazı olarak tanıyacak ve otomatik olarak dosya gezginini açacaktır.



Şekil 7. Bilgisayar bağlantısı sağlanan IPERTU EtherCAT Bus Coupler modülünün yığın bellek cihazı olarak algılanması

Adım 2: Konfigürasyon Arayüzünü Açın

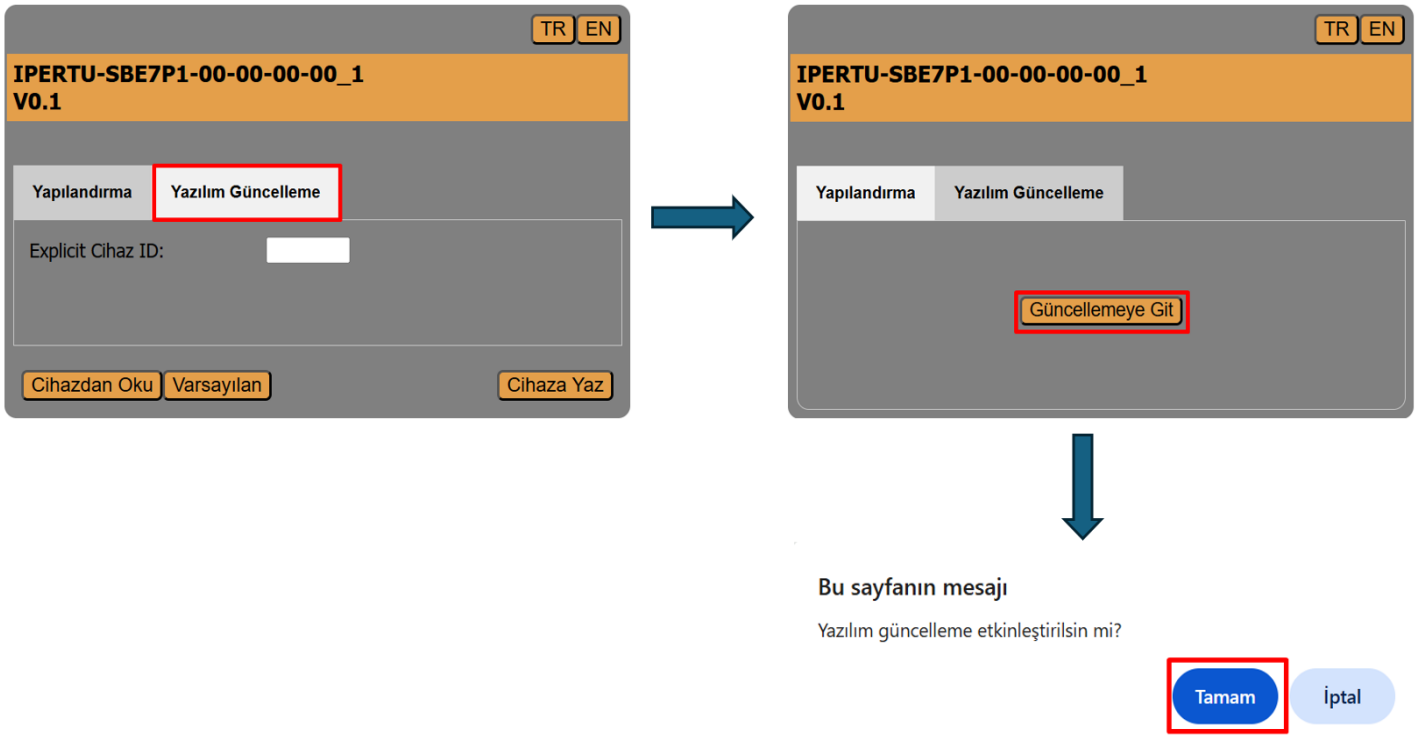
Yığın bellek cihazının içerisinde yer alan Şekil 7’de de görülen CONFIG.HTM dosyasını açarak Şekil 8’de gösterilen konfigürasyon arayüzünü başlatın. Bu arayüz üzerinden yazılım güncelleme etkinleştirme işlemi gerçekleştirilebilmektedir.



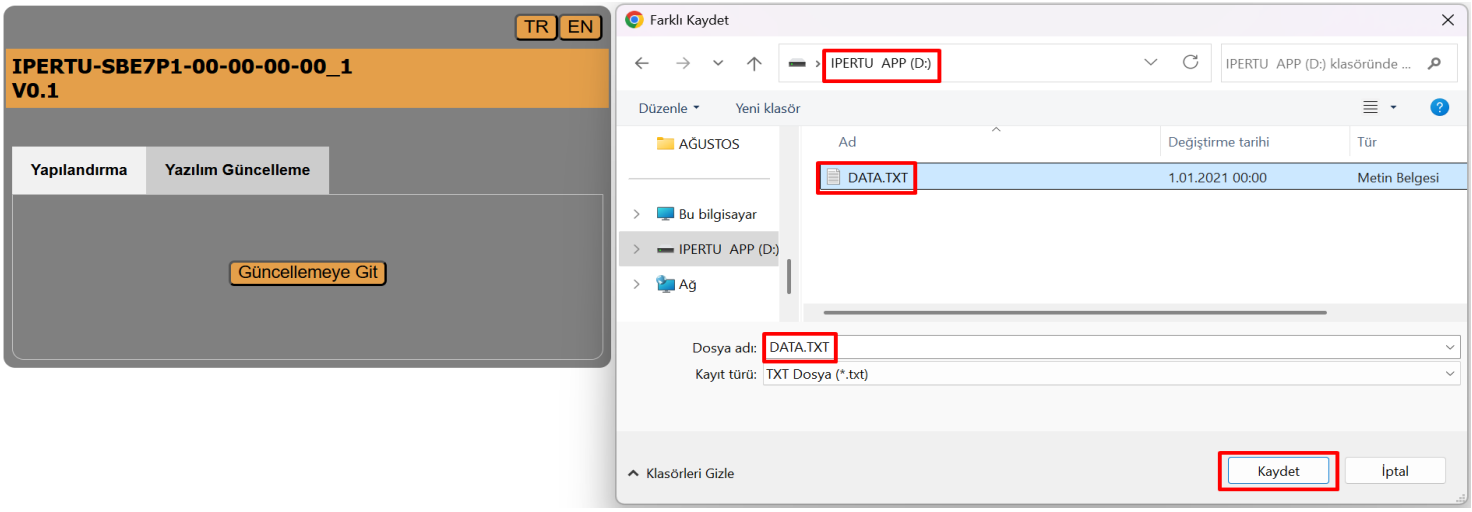
Şekil 8. IPERTU EtherCAT Bus Coupler konfigürasyon arayüzü

Adım 3: Yazılım Güncellemeyi Etkinleştirin

Modül yazılımının güncellenebilmesi için öncelikle arayüz üzerinden yazılım güncellemenin etkinleştirilmesi gerekmektedir. Bu işlem için “Yazılım Güncelleme” sekmesi kullanılır ve güncellemenin etkinleştirileceği sayfaya geçilir. Burada “Güncellemeye Git” seçeneği kullanılır. Ardından, açılan “Yazılım güncelleme etkinleştirilmesin mi?” pop-up’ında “Tamam” seçeneği kullanılarak kaydetme menüsüne erişilir. Burada, kaydedilecek dosyanın adının “DATA.TXT” olmasına ve dosya yolunun da yığın bellek cihazı olmasına dikkat edilmelidir. Bu işlemler sırasıyla Şekil 9 ve 10’da gösterilmektedir.

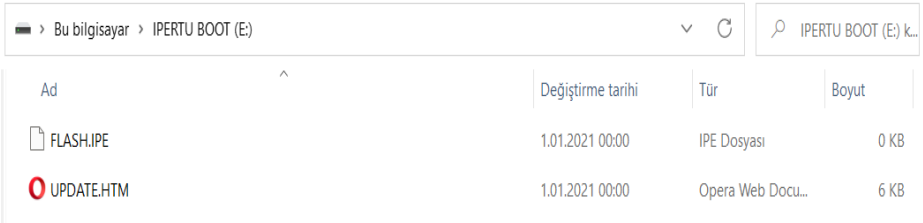


Şekil 9. Arayüz üzerinde yazılım güncellemenin etkinleştirilmesi



Şekil 10. Modülün yazılım güncelleme moduna alınması için yazma işleminin gerçekleştirilmesi

"Kaydet" seçeneğiyle modül yazılım güncelleme moduna alınmaktadır. Bu işlemin ardından modül kendini otomatik olarak yazılım güncelleme modunda yeniden başlatacak ve Şekil 11'de gösterilen yığın bellek cihazı dosya gezgini tekrar açılacaktır.

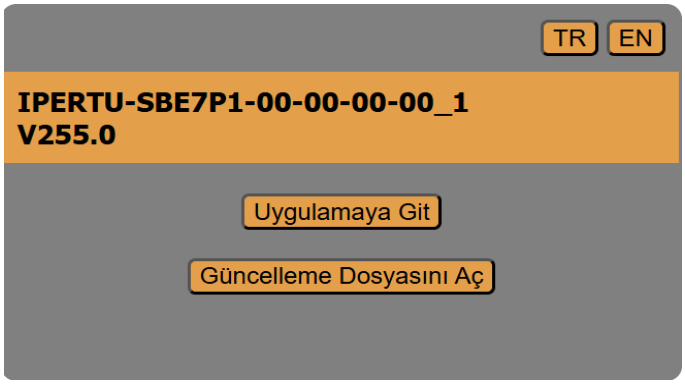


Şekil 11. Yazılım güncelleme moduna alınan IPERTU EtherCAT Bus Coupler modülünün yığın bellek cihazı olarak algılanması

Şekil 11'de de görüldüğü üzere modülün bağlı bulunduğu sürücünün adı "IPERTU BOOT" olarak değişmiş ve modül yazılım güncelleme moduna alınmıştır. Aynı zamanda yazılım güncelleme modunda MS LED'i kırmızı renkte 1s yanmakta 0.1s sönmektedir.

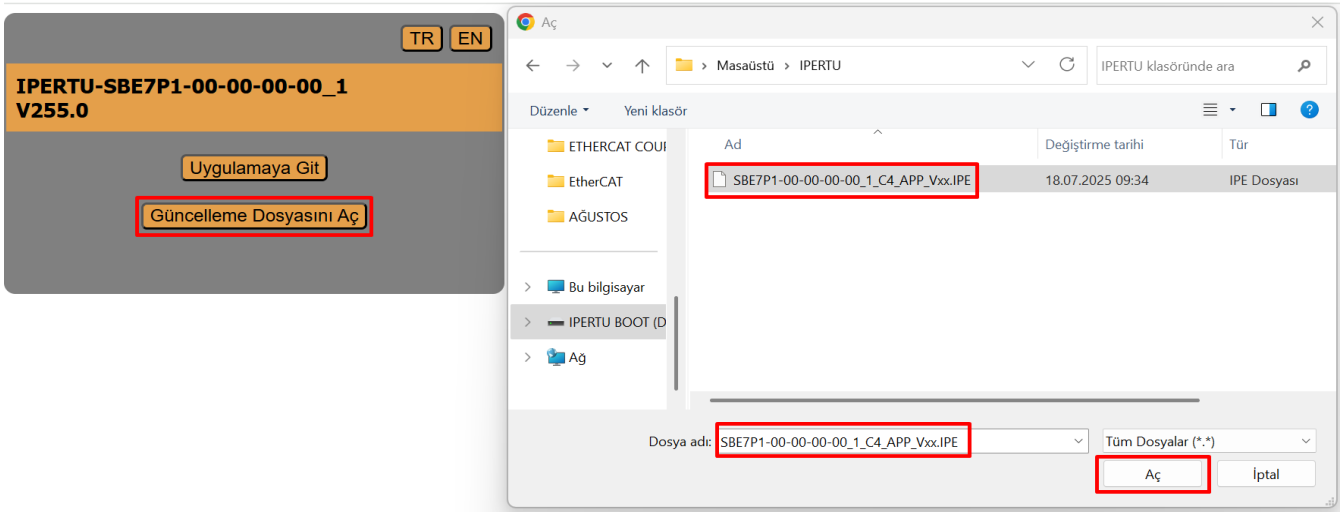
Adım 4: Güncelleme Dosyasını Arayüze Aktarın

Yığın bellek cihazının içerisinde yer alan, Şekil 11'de de görülen UPTADE.HTM dosyasını açarak Şekil 12'de gösterilen yazılım güncelleme arayüzünü başlatın. Bu arayüz üzerinden yazılım güncelleme işlemi gerçekleştirilebilmektedir.



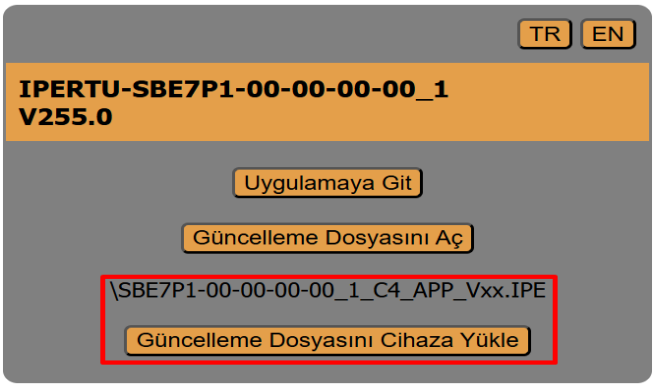
Şekil 12. IPERTU EtherCAT Bus Coupler modülü yazılım güncelleme arayüzü

Burada, modülün yazılımını güncellemek için öncelikle "Güncelleme Dosyasını Aç" seçeneği kullanılır ve dosya seçim menüsüne erişilir. Burada, bilgisayarınızda yer alan, bizim size göndermiş olduğumuz "SBE7P1-00-00-00-00_1_C4_APP_Vxx.IPE" dosyası seçilip açılarak güncelleme dosyası arayüze aktarılır. Bu işlem, Şekil 13'te gösterilmektedir.



Şekil 13. Güncelleme dosyasının yazılım güncelleme arayüzüne aktarılması

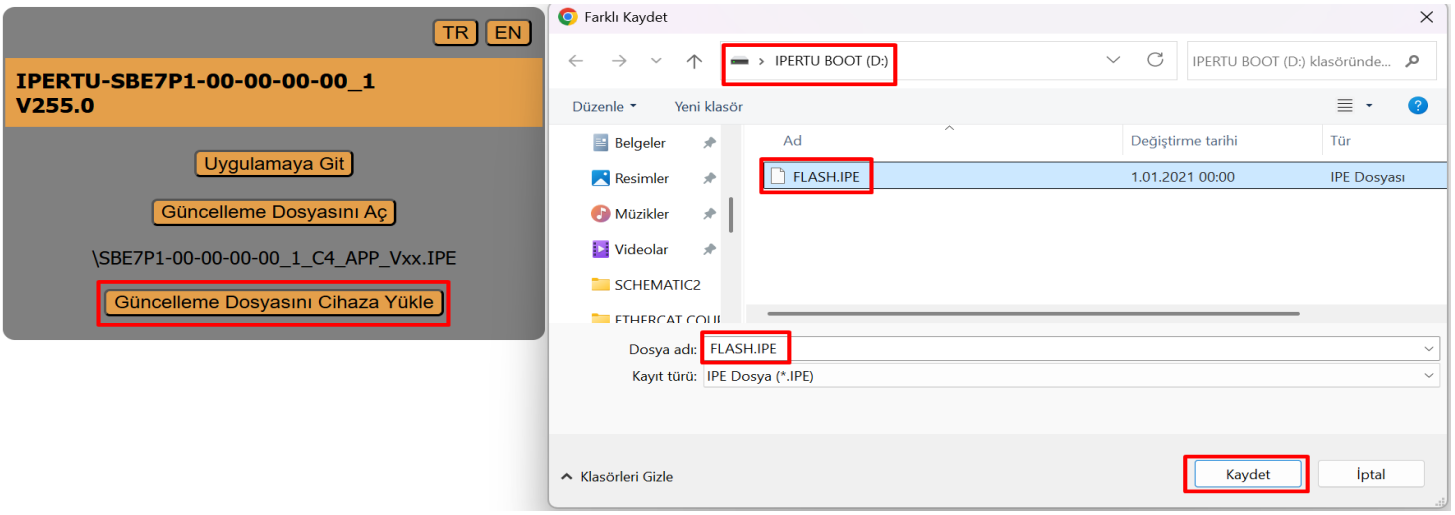
İşlemin gerçekleştirilmesinin ardından güncelleme dosyası adı ve "Güncelleme Dosyasını Cihaza Yükle Butonu", Şekil 14'teki gibi arayüzde görüntülenmektedir.



Şekil 14. Güncelleme dosyasının arayüzde görüntülenmesi

Adım 5: Güncelleme Dosyasını Cihaza Yükleyin

Güncelleme işlemi için öncelikle "Güncelleme Dosyasını Cihaza Yükle" butonu kullanılarak kaydetme menüsüne erişilir. Burada, kaydedilecek dosyanın adının "FLASH.IPE" olmasına ve dosya yolunun da yığın bellek cihazı olmasına dikkat edilmelidir. Bahsedilen süreçler Şekil 15'te gösterilmektedir.



Şekil 15. Güncelleme dosyasının modüle yazılarak yazılım güncelleme işleminin tamamlanması

Ayarlamalar gerçekleştirildikten sonra “Kaydet” seçeneğiyle güncelleme dosyasının modüle yazım işlemi başlatılmaktadır. İşlem tamamlandığında modül kendini otomatik olarak uygulama modunda yeniden başlatacak ve Şekil 7’de gösterilen yığın bellek cihazı dosya gezgini tekrar açılacaktır. Modül üzerinde yer alan LED’ler de normal cihaz çalışma modundaki durumlarına dönecektir.

Cihaz Hata Durumları

EtherCAT Bus Coupler modülünde meydana gelebilecek hata durumları, cihazın dahili tanılama sistemi tarafından izlenmekte ve SDO parametresi üzerinden erişilebilmektedir. Bu kapsamda, oluşan hata kodları 0x8000:17 adresindeki **Modul_Hatalari** isimli değişken üzerinden okunabilmektedir. Hataların türleri, olası nedenleri, cihazın bu durumlarda verdiği tepkiler ve çözüm yöntemleri Çizelge 3'te ayrıntılı olarak sunulmuştur.

Çizelge 3. EtherCAT Bus Coupler Modülü Hata Durumları, Nedenleri, Cihaz Davranışı ve Çözüm Yöntemi

Hata Açıklaması	Muhtemel Oluşma Nedeni	Cihaz Davranışı	Çözüm Yöntemi
Slot Atama Hatası	Ethercat Master arayüzünde slot atamalarının Slave modül bağlantı sırasına göre gerçekleşmediği durumda bu hata oluşur.	- EtherCAT Çalışma Modu Pre-Op'ta kalır. - NS LED'inde 300 ms'lik yeşil renkte yanıp sönme gözlemlenir. Ethernet Status/Run LED'de (Sarı LED) 200 ms'lik yanıp sönme gözlemlenir. - Hatalı olan modül sıra numarası Module_Err değişkeninin b0-b4 bitlerine yazılır.	Ethercat Master arayüzünde slot atamalarını Slave modül sırasına göre gerçekleştirip haberleşmeyi yeniden başlatınız.
Düşük besleme gerilimi	- Besleme geriliminin 17V'un altına düşmesi durumunda bu hata oluşur.	- Besleme LED'inde 0.1s'lik yanıp sönme gözlemlenir. - Cihaz RUN durumuna geçmez. Bu nedenle işlevlerini yerine getirmez. - 0x8000:17 SDO adresinde hata durumlarını gösteren ifadenin 5. Biti SET'lenir.	- Besleme kaynağını ve cihaz besleme bağlantılarını kontrol ediniz. Cihazı 24V ile beslediğinize emin olunuz.
Slave modül sayısı hatası	- Modülde enerji varken genişleme modüllerinin sökülmesi veya yeni modül takılması durumunda hata oluşur.	- Genişleme modülleriyle haberleşme kesilir ve genişleme modüllerinin Besleme LED'leri yanıp sönmeye başlar. - 0x8000:17 SDO adresindeki 8. bit SET'lenir.	- Modülde enerji varken genişleme modüllerinin bağlantı durumunda (modül ekleme veya çıkarma) değişiklik yapmayınız. - 0x8000:17 SDO adresine 3083 değerini yazarak hata bitini temizleyiniz.
Slave modül tipi hatalı	- Genişleme modüllerinin yerlerinin değiştirilmesi veya bir modül sökülüp yerine başka tipte bir modül bağlanması durumunda hata oluşur.	- Genişleme modülleriyle haberleşme kesilir. - 0x8000:17 SDO adresindeki 9.bit SET'lenir.	- Modülde enerji varken genişleme modüllerinin bağlantı durumunda (modül ekleme veya çıkarma) değişiklik yapmayınız. - 0x8000:17 SDO adresine 3083 değerini yazarak hata bitini temizleyiniz.
Slave modüller ile haberleşme hatası	- Genişleme modüllerinin Ethernet Bus Coupler modülüne bağlantısında sorun olabilir (Gevşek bağlantı vb.) .	- Genişleme modülü ile haberleşme gerçekleştirilemez ve bağlantısında sorun olan genişleme modülünün Besleme LED'inde yanıp sönme gözlemlenir. - 0x8000:17 SDO adresindeki 10. bit SET'lenir.	- Genişleme modüllerinin Ethernet Bus Coupler modülüyle olan fiziksel bağlantısını kontrol ediniz. - 0x8000:17 SDO adresine 3083 değerini yazarak hata bitini temizleyiniz.
USB bağlantı hatası	- Hata, USB kablosunun ince veya kalitesiz olmasından kaynaklanıyor olabilir. - Sisteminiz Win7 veya Win8 ise sürücü sorunundan aygıt tanınmıyor olabilir. Bu durumlarda USB bağlantı hatası oluşur.	- Modülde USB LED'i yanar ancak USB aygıtı tanınmaz veya USB haberleşme gerçekleştirilemez.	- USB kablosunu ve bağlantıları kontrol ediniz. -Sürücüleri kontrol ediniz.

Uygulama Notu 1 : TwinCAT Üzerinden EtherCAT Bus Coupler ile IPERTU Genişleme Modüllerinin Kontrolü

Bu uygulama notunda, EtherCAT üzerinden IPERTU genişleme modüllerinin dijital/analog giriş-çıkış ve parametre kontrollerinin gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır.

Örnek bir senaryo kapsamında, bir EtherCAT Bus Coupler modülününü sağına fiziksel olarak üç farklı genişleme modülü bağlanmıştır. Kullanılan modüllerin model kodları ve bağlantı yapısı aşağıda açıklanmıştır:

- **EtherCAT Bus Coupler Modülü**:

  SBE7P1-00-00-00-00_1 – EtherCAT master ile haberleşmeyi sağlayan ana modüldür.
  - Modülün ön yüzünde yer alan "IN" etiketli Ethernet portu, master cihaz (örneğin bir PC) ile haberleşmenin kurulduğu bağlantı noktasıdır.
  - Ayrıca, sistemde yer alan tüm modüllerin çalışabilmesi için gerekli olan 24V DC besleme bağlantısı da yine bu modül üzerinden sağlanmaktadır. Güç bağlantısı, modülün alt kısmında yer alan güç terminaline yapılır.

- **1. Genişleme Modülü**:

  SMR1P1-00-00-01-00_1 (15xTO) – 15 adet dijital transistör çıkışına sahiptir.
  - Transistör çıkışları için gerekli olan modül üzerinde yer alan 0V – 24V bağlantısı sağlanmıştır.
  - **Q0 çıkışı**, bir **AC lambayı** kontrol eder. Lamba, bir solid state röle (SSR) üzerinden sürülmektedir. Q0 çıkışı, SSR'nin pozitif tetikleme girişine bağlanmıştır. SSR'nin negatif tetikleme ucu ise 0 V'a bağlanmıştır.
  - Q0 çıkışı aktif edildiğinde, SSR tetiklenir ve AC lamba çalışır.

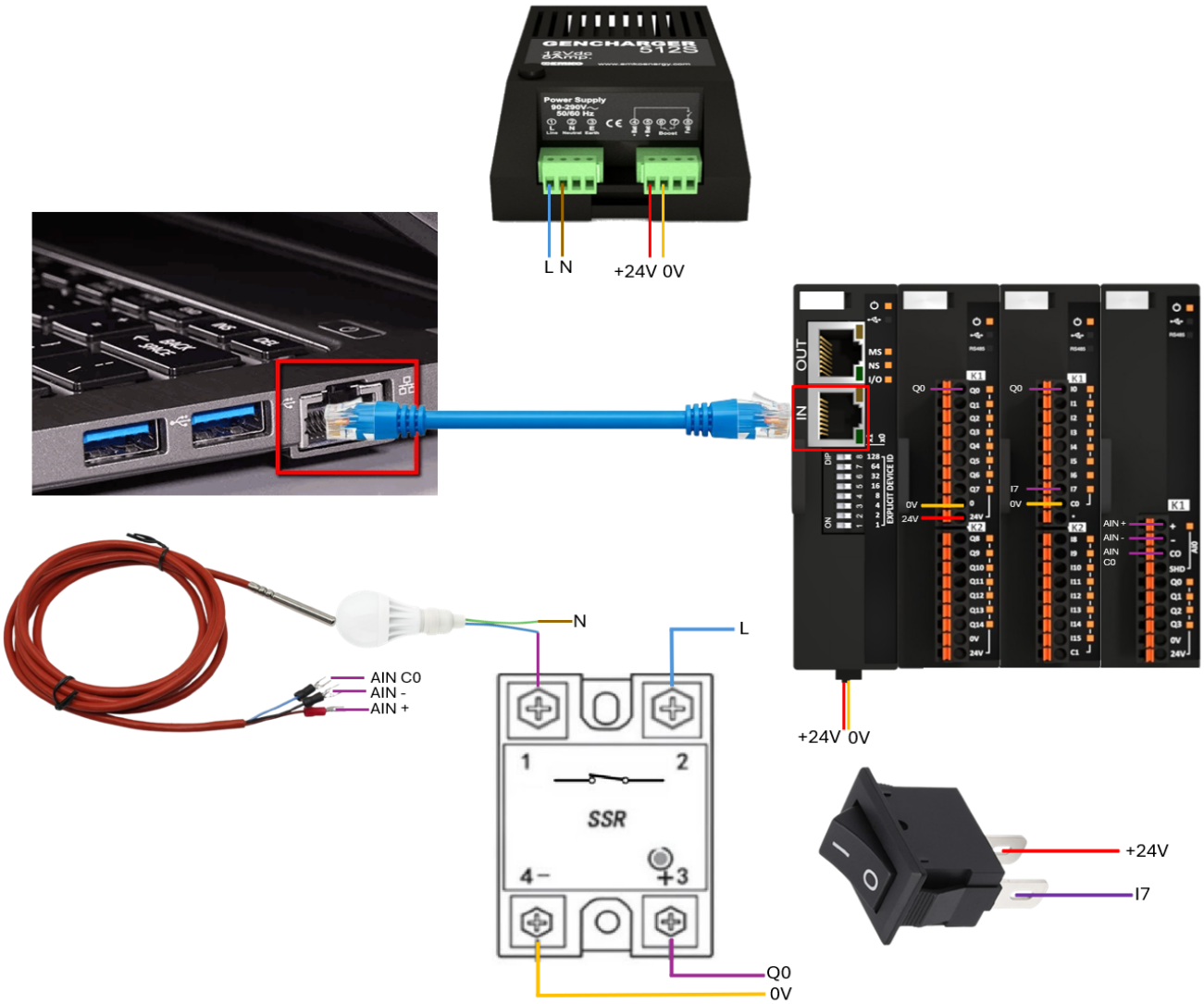
- **2. Genişleme Modülü**:

  SMR1P1-01-00-00-00_1 (16xDI) – 16 dijital giriş içerir.
  - **I0 girişi**, Q0 çıkışıyla bağlantılıdır.
  - **I7 girişi**ne bir manuel anahtar bağlanmıştır (bir ucu 24 V'a, diğer ucu I7'ye). Anahtar kapatıldığında giriş aktif olur.
  - Modülün C0 (Common) hattı, sistemin 0 V referansına bağlanmıştır.

- **3. Genişleme Modülü**:

  SMR1P1-00-30-07-02_1 (1xAI-FU, 1xTO, 1xAO) – analog giriş, dijital çıkış ve analog çıkış içerir.
  Bu modüle bir PT-100 sıcaklık sensörü bağlanmıştır. Sensörün:
  - + ucu, AIN+ terminaline,
  - Diğer iki ucu ise AIN− ve C0 (common) girişlerine bağlanmıştır.

Sistemin fiziksel bağlantı ve donanım yerleşimi Şekil 16'da gösterilmektedir.



Şekil 16. Örnek kuruluma ait donanım bağlantı diyagramı: Güç kaynağı, EtherCAT Bus Coupler, genişleme modülleri, SSR, AC lamba, PT-100 sensörü, Anahtar ve Ethernet bağlantısı

Bu uygulama notunda, EtherCAT haberleşmesinin doğrulanması ve modül konfigürasyonlarının test edilmesi amacıyla Beckhoff'un EtherCAT master yazılımı olarak **TcXaeShell** kullanılmıştır. TcXaeShell, Beckhoff'un eXtended Automation Engineering (XAE) tabanlı mühendislik arayüzüdür ve bu uygulama, TwinCAT 3 ile birlikte gelmektedir

Bu uygulama notunda **TwinCAT 3 Build 4024** kullanılmıştır. TwinCAT, EtherCAT ağına bağlı cihazların yapılandırılması, PDO/SDO parametrelerinin görüntülenmesi, çevrimsel veri transferlerinin izlenmesi ve tanılama işlemleri için ortam sunar.

TwinCAT 3 yazılımı Beckhoff'un resmi web sitesinden ücretsiz olarak indirilebilmektedir:
https://www.beckhoff.com/twincat3

Kurulum gerçekleştirildikten sonra, cihazın EtherCAT master tarafından doğru şekilde tanınabilmesi ve yapılandırılabilmesi için, web sitemizde yer alan ilgili EtherCAT Bus Coupler modülüne ait ESI (EtherCAT Slave Information) dosyasının (ETHCAT_COUPLER_tr.xml) indirilmesi gerekmektedir. ESI dosyası, slave cihaza ait tanımlayıcı bilgileri içerir: Bus Coupler'ın tipi, desteklediği genişleme modülleri, her bir modülün PDO (Process Data Object) ve SDO (Service Data Object) haritaları, iletişim parametreleri ve cihaz yetenekleri bu dosyada detaylı biçimde tanımlıdır.

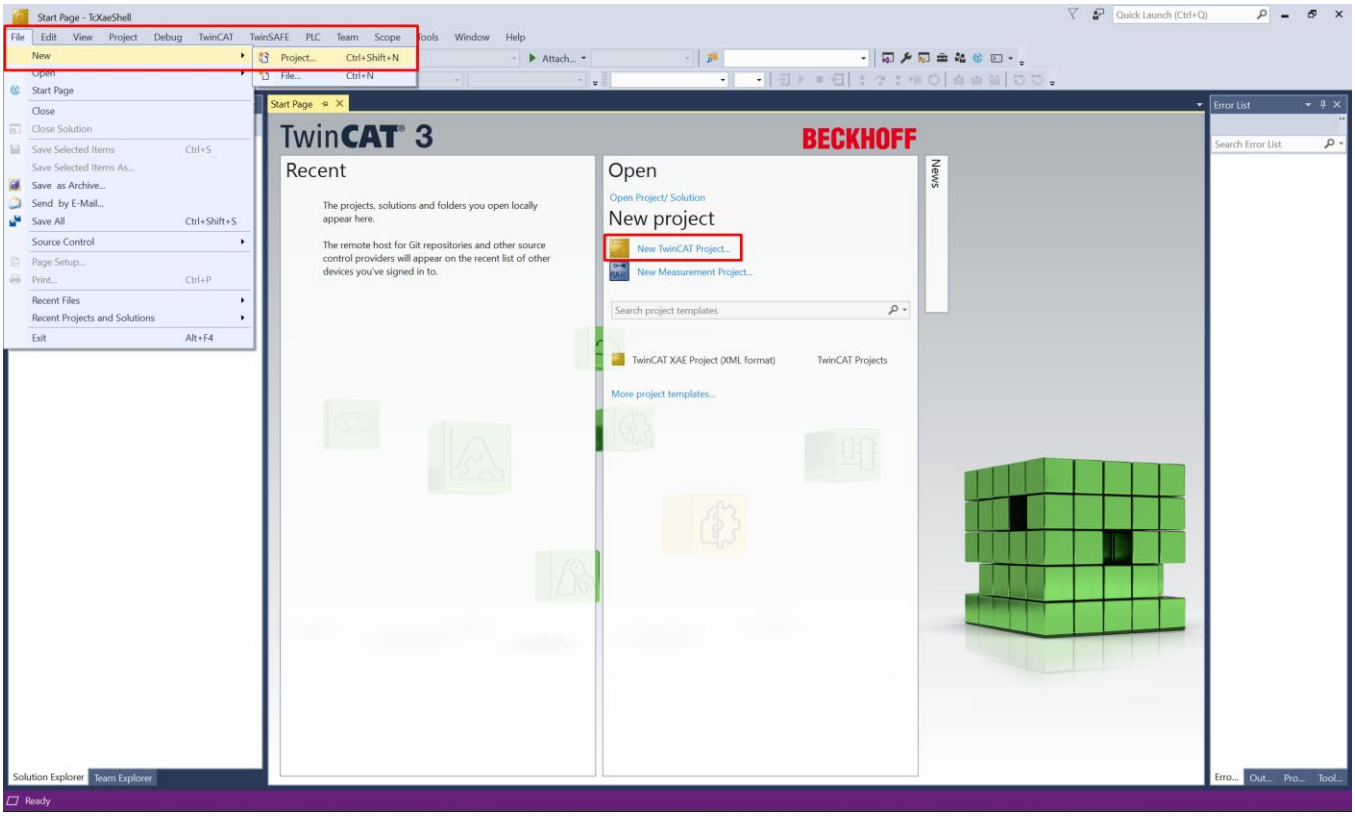
ESI dosyasının TwinCAT sistemine tanıtılması için dosyanın kütüphaneye eklenmesi gerekmektedir. Bunun için ESI dosyası uygulamanın yüklü olduğu dizindeki EtherCAT klasörüne eklenmelidir. Varsayılan kurulum yolu kullanıldığında ESI dosyası aşağıda belirtilen yere yüklenmelidir[6].

C:\TwinCAT\3.1\Config\Io\EtherCAT

Not 6: TwinCAT farklı bir dizine kurulduysa, ilgili Io\EtherCAT klasörü kendi kurulum dizini altında yer alacaktır.

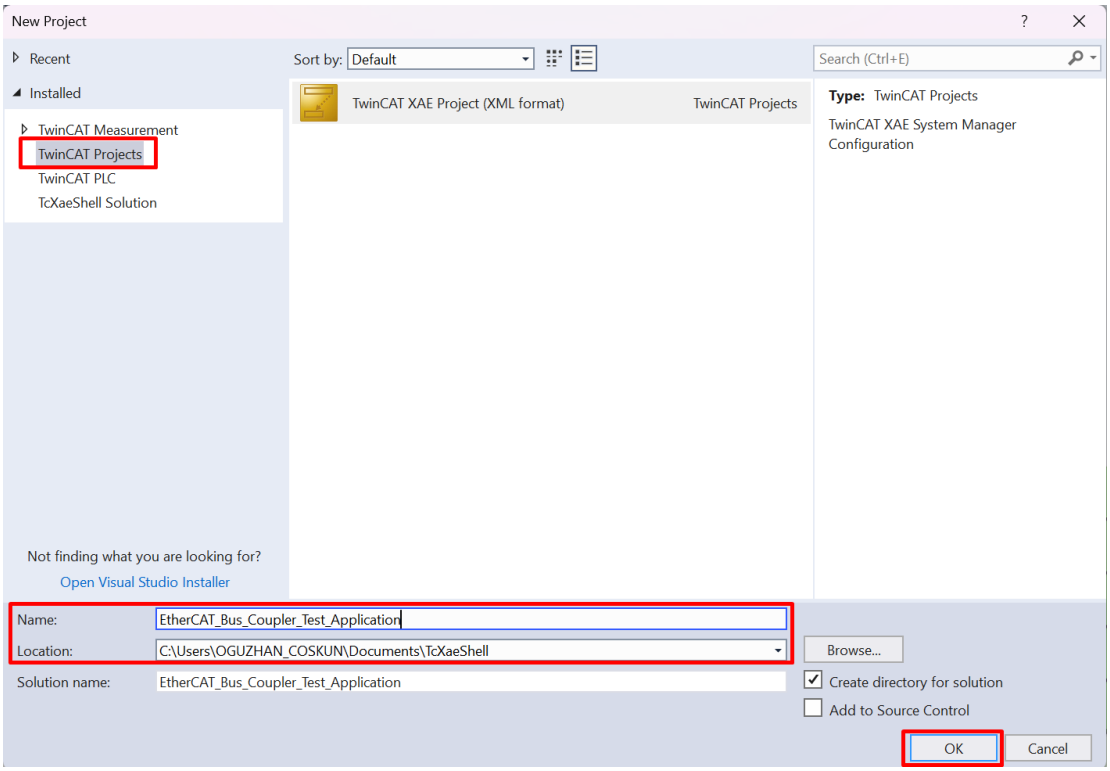
Adım 1 : Proje Oluşturma

Kurulum tamamlandıktan sonra, yapılandırma işlemleri için **TcXaeShell** uygulaması açılır. Burada **File** menüsünden **New** ve **Project** yollarını izleyerek veya arayüzde kısayol olarak yer alan **New TwinCAT Project** sekmesinden proje oluşturulmalıdır. İlgili arayüz ve sekmeler Şekil 17'de gösterilmektedir.



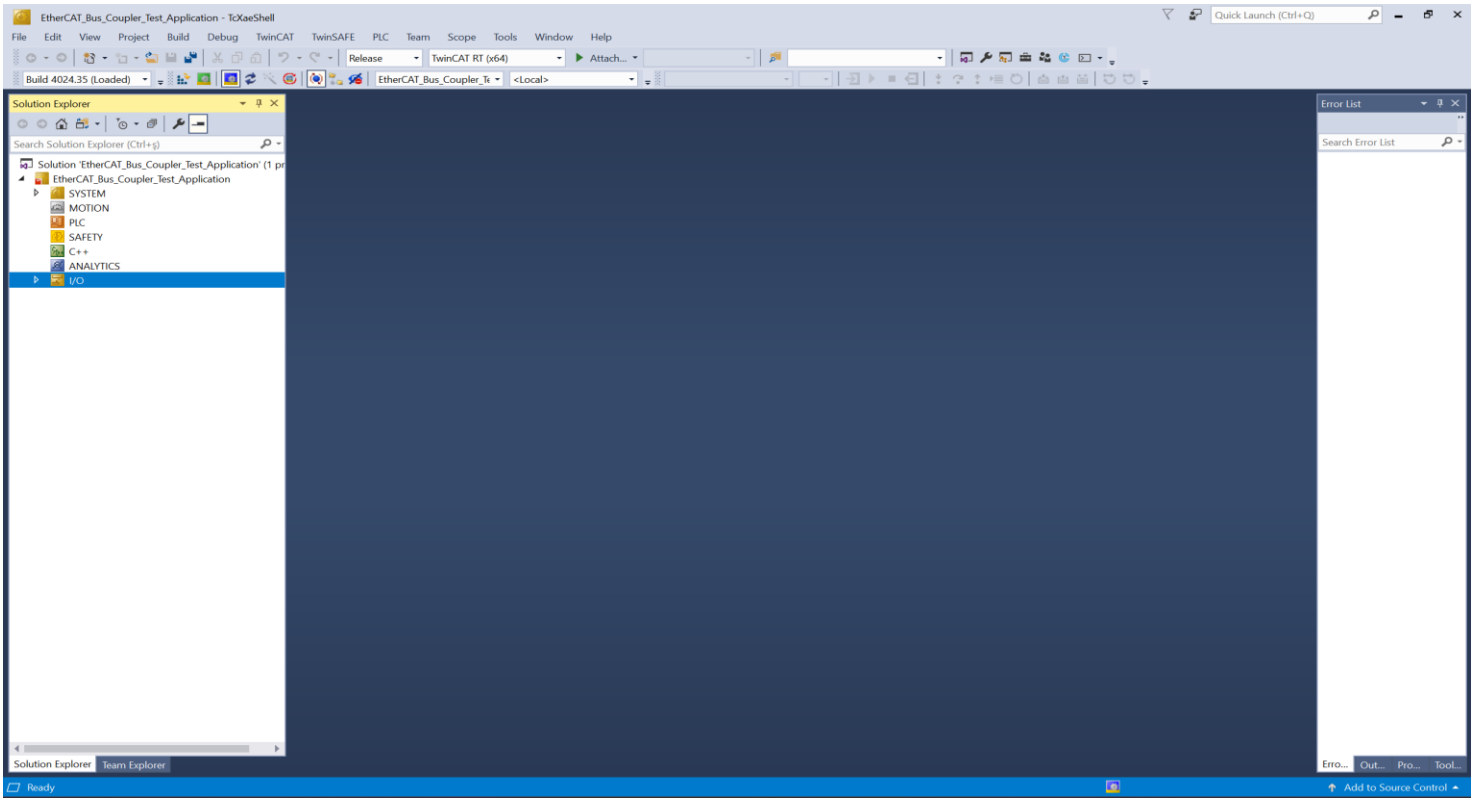
Şekil 17. TcXaeShell arayüzü ve proje oluşturma sekmeleri

Daha sonra **TwinCAT Projects** seçilir ve proje adı ile dosyanın kaydedileceği yer için ayarlar gerçekleştirilir. İşlemlerin ardından **OK** butonuna tıklanarak proje oluşturma adımı tamamlanır. İlgili işlem adımı Şekil 18'de gösterilmektedir.



Şekil 18. Proje oluşturma ayarları

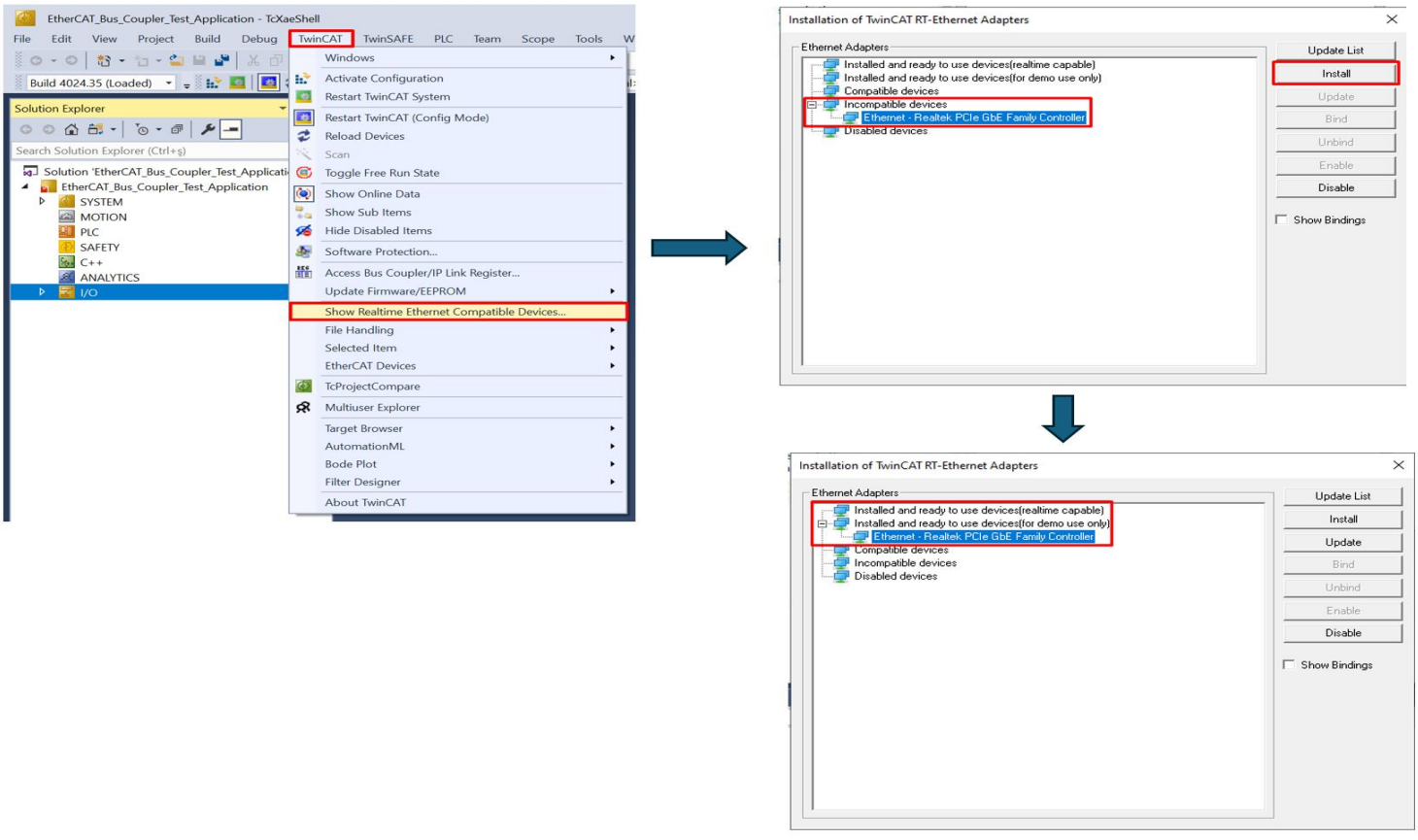
İşlem adımları tamamlandıktan sonra Şekil 19'da görülen TwinCAT proje arayüzü oluşmaktadır.



Şekil 19. TwinCAT proje arayüzü

Adım 2 : Ethernet Adaptör Ayarı

TwinCAT programını kişisel bilgisayarına ilk defa kuran kullanıcılar için Ethernet adaptör ayarlarının gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu işlem için öncelikle **TwinCAT** menüsü altında **Show Realtime Ethernet Compatible Devices** sekmesine girilir. Karşımıza çıkan izin uyarısı onaylanarak işleme devam edilir. **Incompatible devives** başlığı altında listelenen adaptörler arasından kişisel bilgisayarınızın Ethernet adaptörü seçilip **Install** ile yükleme gerçekleştirilir. Yükleme tamamlandığında seçilen adaptör **Installed and ready to use devices** başlığı altında listelenir. İşlem adımları Şekil 20'de gösterilmektedir.



Şekil 20. TwinCAT Ethernet adaptör ayarları işlem adımları

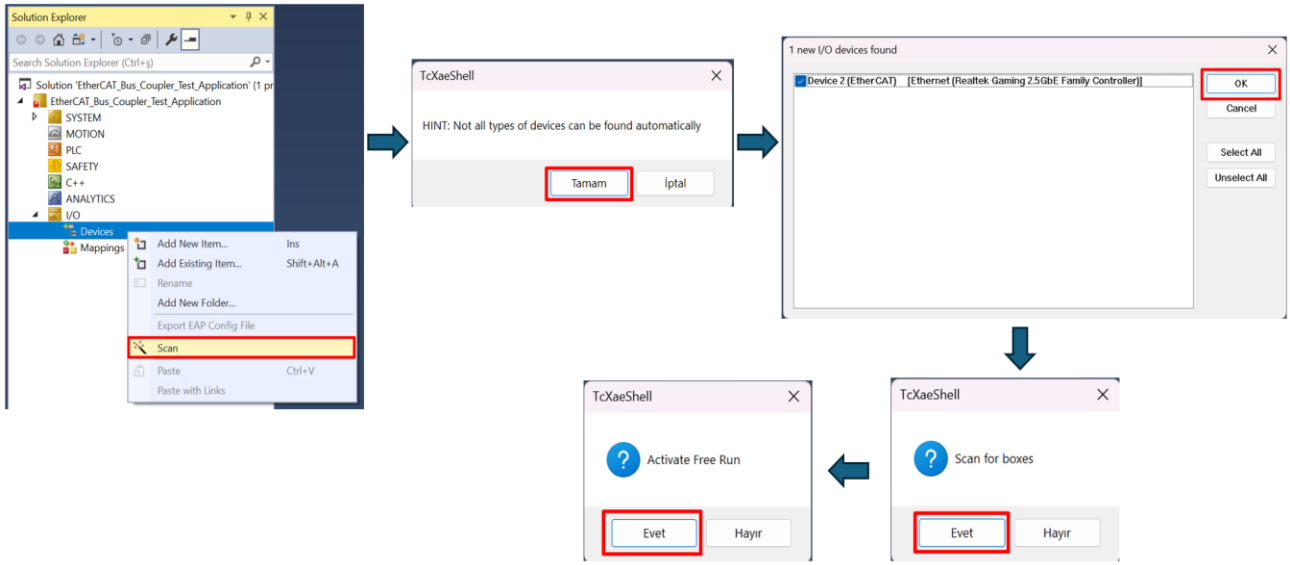
Adım 3 : EtherCAT Bus Coupler Modülünün Projeye Eklenmesi ve Çalıştırılması
Ayar işleminin tamamlanmasının ardından EtherCAT Bus Coupler modülünün EtherCAT slave olarak tanıtılarak projeye dahil edilmesi gerekmektedir.

Tanıtma işlemine başlamadan önce, Şekil 16'da gösterildiği gibi EtherCAT Bus Coupler modülünün 24V DC besleme bağlantısının sağlanmış olması ve Ethernet kablosunun kişisel bilgisayarın Ethernet portu ile Bus Coupler üzerindeki "IN" olarak etiketlenmiş Ethernet soketi arasında bağlantı kuracak şekilde takılmış olması gerekmektedir.

EtherCAT Bus Coupler modülünün tanıtılarak projeye dahil edilmesi, otomatik ve manuel olarak iki şekilde gerçekleştirilmektedir.

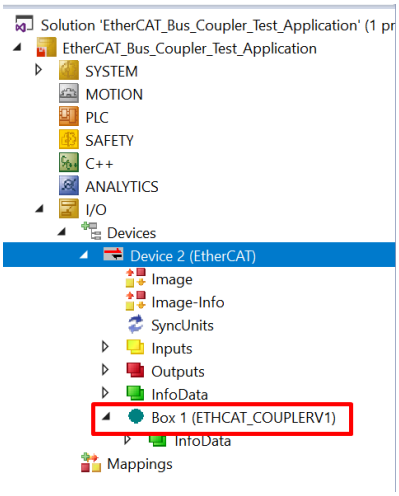
Otomatik Tanımlama:

Solution Explorer bölümünde IO sekmesi altında yer alan Devices'a sağ tıklanarak Scan sekmesi seçilir. Pop-up olarak açılan tüm cihazların otomatik olarak bulunacağına yönelik uyarıyı belirten ekranda OK seçeneği işaretlenerek devam edilir. Tarama işlemi sonucunda kullanılan Ethernet soketinde bir cihaz bulunduğuna yönelik uyarı ekranı oluşur. Burada da OK butonuna tıklanarak işleme devam edilir. Daha sonra Scan for boxes uyarısında da Evet seçeneği işaretlenir. Bu işlemin ardından Free Run aktive edilsin mi uyarı ekranında Evet seçeneği seçilerek işlem tamamlanır. İşlem adımları Şekil 21'de gösterilmektedir.



Şekil 21. EtherCAT Bus Coupler modülünün otomatik tanımlama ile projeye dahil edilmesi işlem adımları

Tamamlamanın ardından Şekil 22'de görüldüğü üzere Ethercat Bus Coupler modülü projeye dahil edilmiş olur ve aktive edilerek herhangi bir hata olmaması durumunda Operation (OP) modunda çalışmaya başlar.

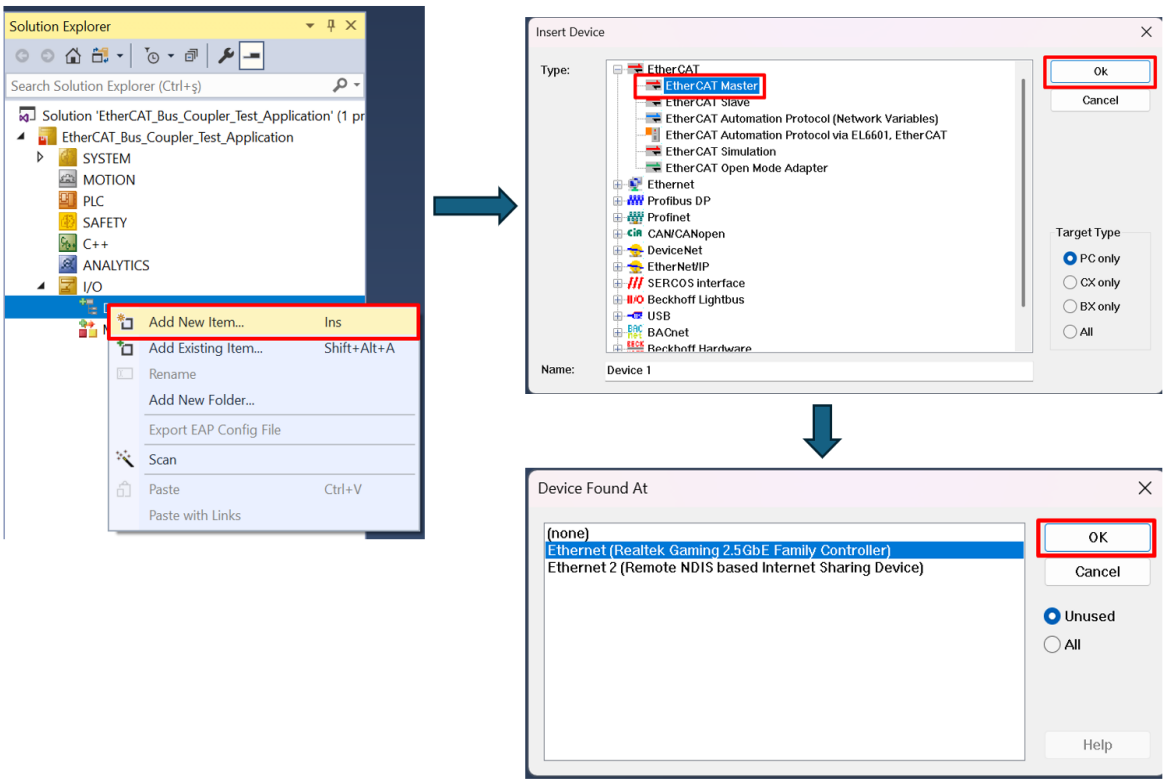


Şekil 22. Otomatik tanımlama ile EtherCAT Bus Coupler modülünün projeye dahil edilmesi

Burada Device 2 (EtherCAT) EtherCAT master'ı, Box 1 (ETHCAT_COUPLERV1) EtherCAT Bus Coupler modülünü temsil etmektedir.

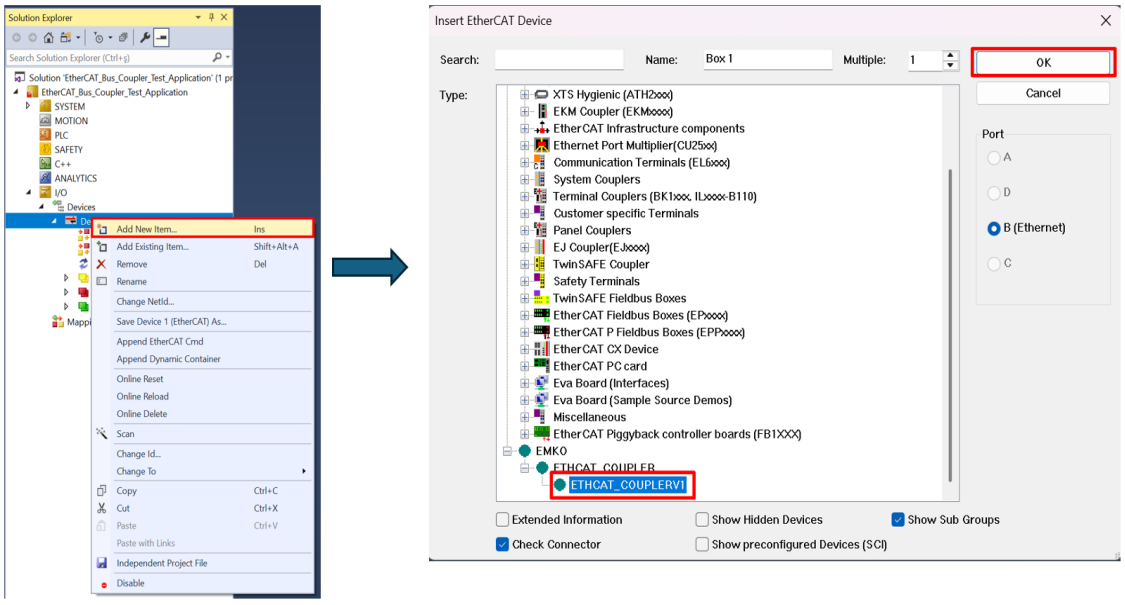
Manuel Tanımlama:

Solution Explorer bölümünde IO sekmesi altında yer alan Devices'a sağ tıklanarak Add New Item sekmesi seçilir. Ardından açılan Insert Device penceresinde EtherCAT başlığı altındaki EtherCAT Master işaretlenir ve OK tuşuna basılır. Daha sonra hangi Ethernet adaptörünün kullanılacağına yönelik seçim ekranı oluşur. Burada Coupler ile bağlantı sağlanan adaptör seçilir ve OK seçeneği ile ekleme işlemi tamamlanır. İşlem adımları Şekil 23'te gösterilmektedir.



Şekil 23. Manuel tanımlama işlem adımında EtherCAT Master'ın eklenmesi

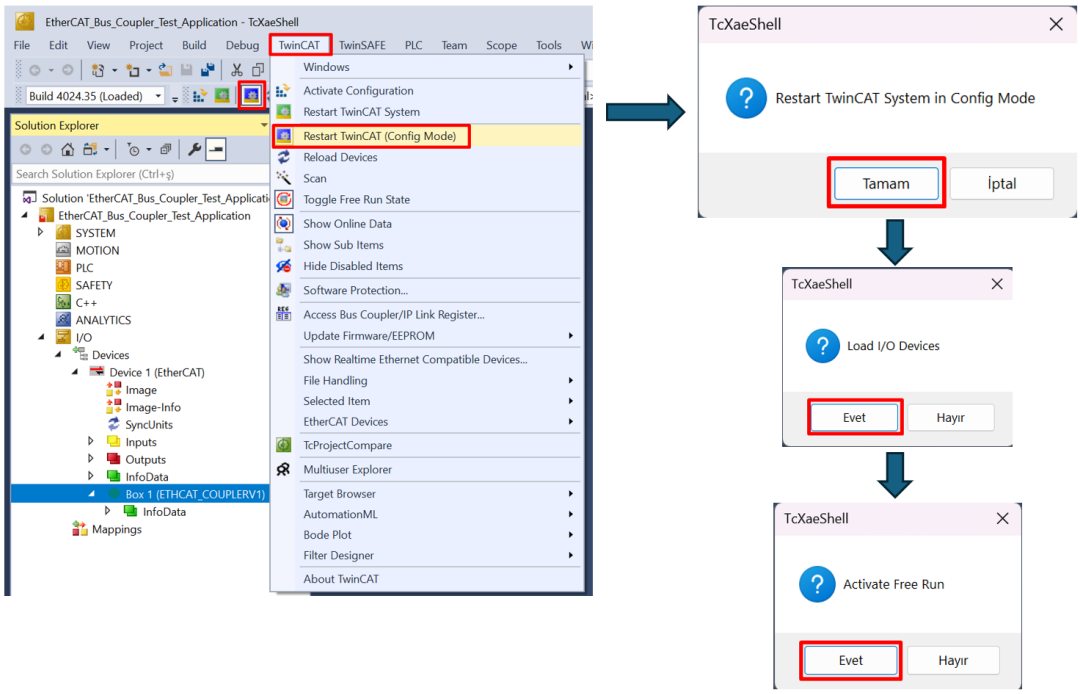
Master'ın eklenmesinin ardından EtherCAT Bus Coupler modülünün eklenmesi gerekmektedir. Bu işlem için ilk olarak Devices'ın altında listenen Master'a (Bu örnekte Device 1 (EtherCAT)) sağ tıklanarak Add New Item sekmesi seçilir. Açılan Insert EtherCAT Device penceresinde EMKO başlığının altında yer alan ETHCAT_COUPLER başlığının içerisindeki ETHCAT_COUPLERV1 seçilir ve OK tuşuna basılarak ekleme işlemi tamamlanır. İşlem adımları Şekil 24'te gösterilmektedir.



Şekil 24. Manuel tanımlama işlem adımında EtherCAT Bus Coupler modülünün eklenmesi

İşlemin tamamlanmasının ardından EtherCAT Bus Coupler modülü, Şekil 22'de otomatik tanımlama modunda olduğu gibi projeye eklenmiş olur. Burada manuel ekleme işlemi yapıldığından otomatik olarak çalışmaya başlamaz. Başlatma

işlemi için TwinCAT menüsü altında veya Standard durum çubuğunda yer alan ya da yer Restart TwinCAT (Config Mode) sekmesine tıklanır. Restart TwinCAT System in Config Mode uyarısı için açılan pop-up ekranında Tamam butonuna tıklanarak devam edilir. Load I/O Devices uyarısı için açılan pop-up ekranında Evet'e tıklanarak işleme devam edilir. Sonrasında Activate Free Run uyarısı için açılan pop-up ekranında Evet'e tıklanarak işlem tamamlanarak EtherCAT Bus Coupler modülü Operation mode'da çalışmaya başlatılır. İlgili işlem adımları Şekil 25'te gösterilmektedir.

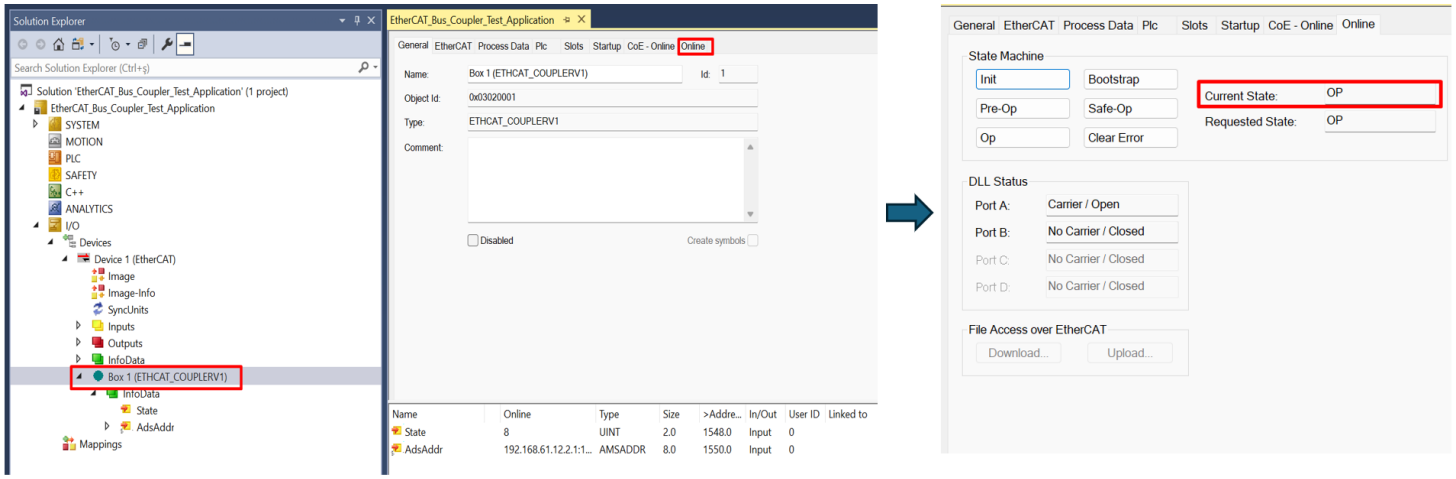


Şekil 25. EtherCAT Bus Coupler modülünün çalıştırılma işlemi

Modülün Operation Mode'da çalışmaya başladığı modül üzerinden ve master yazılımdan olmak üzere iki şekilde teyit edilebilmektedir.

0- Modül üzerinde yer alan Status/Run LED Davranışı (Sarı LED) sürekli yanar. Ayrıca NS LED'i yeşil renkte sürekli olarak yanmaktadır.

1- TwinCAT arayüzünde projeye eklenen Box 1 (ETHCAT_COUPLERV1)' e çift tıklanarak modül arayüzüne erişilir. Burada, Online sekmesine tıklanarak modülün çalışma durumu gözlemlenir. İşlem adımları Şekil 26'da gösterilmiştir.



Şekil 26. EtherCAT Bus Coupler modülünün çalışma modunun kontrolü

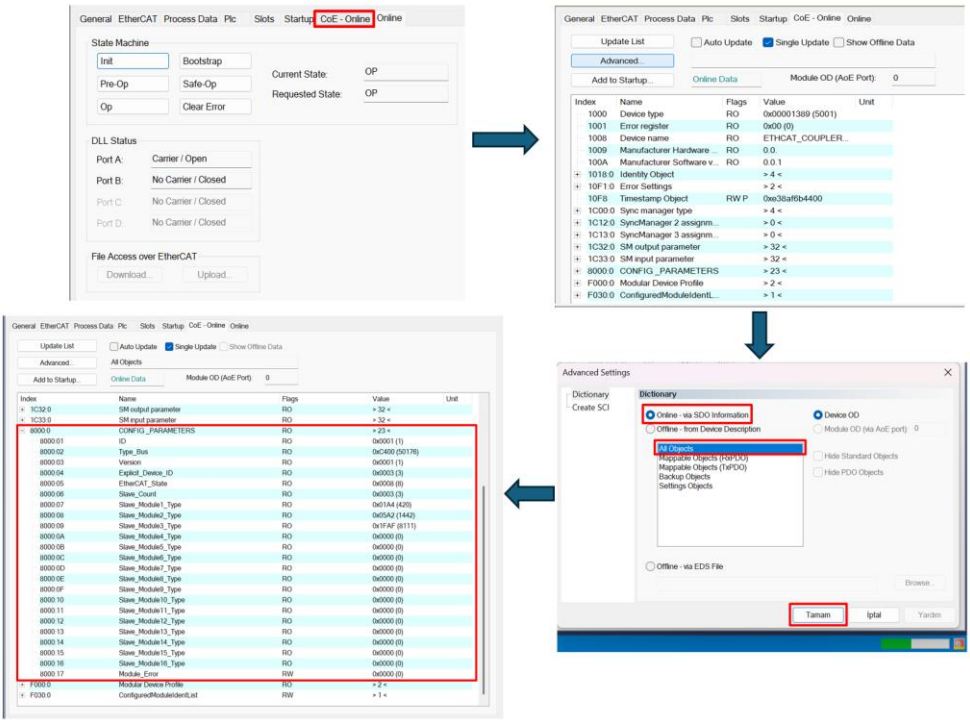
Adım 4 : EtherCAT Bus Coupler Modül Parametrelerinin SDO'dan İzlenmesi

Modül arayüzünde yer alan **CoE - Online** sekmesine tıklanarak, SDO parametrelerine erişimin sağlandığı arayüze ulaşılır. Burada, parametrelerin izlenebilmesi için öncelikle **Advanced** butonuna tıklanarak ayar menüsüne erişilir. Açılan pencerede **Online - via SDO Information** seçeneği işaretlenir ve **All Objects** seçeneğine çift tıklanır[7].

Bu işlem sonrasında, sağ alt köşede yer alan yükleme çubuğunda (yeşil bar) cihazdan veri alım sürecini temsil etmektedir. Sürecin sonlanmasının ardından **Tamama** tıklanarak nesne sözlüğü yüklenir ve kullanıcı arayüzüne aktarılır. Bu noktadan

itibaren, modülün desteklediği tüm SDO parametreleri çevrim içi (online) olarak okunabilir ve izlenebilir. Bu işlem sırasında master, slave cihaza arka arkaya SDO Read sorguları göndererek her bir nesne hakkında bilgi alır ve tabloyu oluşturur.

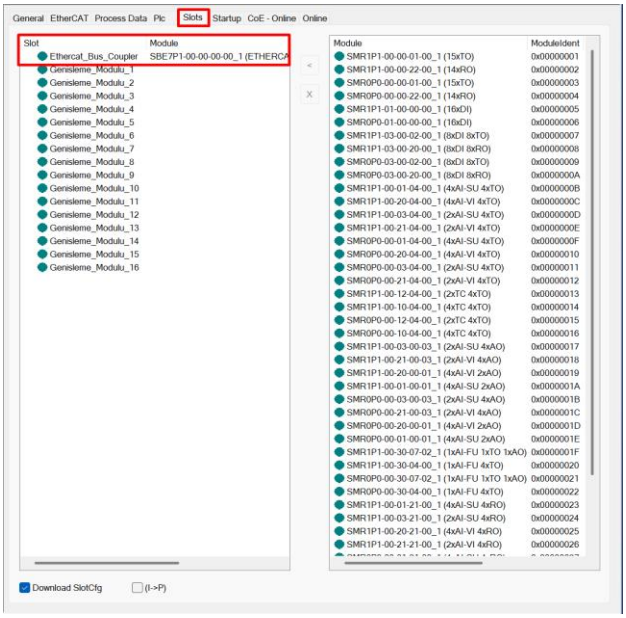
Burada, EtherCAT Bus Coupler modülü parametreleri 8000h adresinde yer almakta ve buradan izlenebilmektedir. Bahsedilen işlem adımları Şekil 27'de açıklanmaktadır.



Şekil 27. EtherCAT Bus Coupler modülü SDO parametre izleme işlem adımları

Not 7: "Advanced → Online - via SDO Information" seçeneği kullanıldığında, değişkenler cihazdan okunarak SDO nesne sözlüğü bilgilerine göre güncellenir. Bu adım zorunlu değildir; atlanması durumunda sistem, yalnızca ESI dosyasında tanımlı nesne bilgileri ile veri alışverişini sürdürür. Ancak bu işlem gerçekleştirildiğinde, cihazdan alınan bilgiler doğrultusunda bazı değişkenlerin isimlendirme dili farklılık gösterebilir. Bu durum haberleşmeye engel oluşturmaz; fakat değişkenlerin takibi sırasında isimsel farklılıklar gözlemlenebilir.

Adım 5 : EtherCAT Bus Coupler Modülüne Bağlı Genişleme Modüllerinin Slotlara Yerleştirilmesi
Modül arayüzünde yer alan **Slots** sekmesine tıklanarak, genişleme modüllerinin slotlara atanabildiği yapılandırma ekranına erişilir. Şekil 28'de görüldüğü gibi, sol bölme sistemde tanımlı slotları ve bu slotlara atanmış modülleri; sağ bölme ise kullanılabilir tüm genişleme modüllerinin listesini gösterir.



Şekil 28. EtherCAT Bus Coupler modül arayüzü slot sekmesi

Burada görüldüğü üzere, ilk slot varsayılan olarak değiştirilemez şekilde SBE7P1-00-00-00-00_1 EtherCAT Bus Coupler modülüne ayrılmış ve ataması gerçekleştirilmiştir. Bu arayüzde, slot atamaları fiziksel bağlantı sırasına uygun olarak gerçekleştirilmelidir. Yani, EtherCAT Bus Coupler modülüne fiziksel olarak bağlanan:

- ilk genişleme modülü → Genisleme_Modulu_1,
- ikinci modül → Genisleme_Modulu_2,
- üçüncü modül → Genisleme_Modulu_3

şeklinde devam eden sırayla slotlara atanmalıdır[8].

Not 8: Slot atamaları fiziksel bağlantı sırasına uymazsa, sistem başlatıldığında modül çalışma durumuna geçemez ve Pre-Op modunda kalır. Bu durumda, 0x8000:17 adresindeki hata parametresi, slot ataması hatalı olan modülün sıra numarasını gösterir. Bu durum, Çizelge 3'te "Slot Atama Hatası" başlığı altında detaylı şekilde açıklanmıştır.

Fiziksel modül bağlantı sırası bilinmiyorsa veya modüller uzakta/görünmeyen bir konumdaysa, bu durumda modül sıralaması EtherCAT Bus Coupler'ın SDO parametreleri üzerinden öğrenilebilir. Şekil 27'de görüldüğü üzere:

- 0x8000:06 adresi → bağlı olan genişleme modül sayısını gösterir.
- 0x8000:07 adresinden itibaren → her bir genişleme modülüne ait **Module Ident** (benzersiz EtherCAT tanımlayıcısı) ve **Tip bilgisi** yer alır.

Bu bilgiler, fiziksel bağlantı sırasına karşılık gelecek şekilde listelenmiştir. Bu durum, slotlara doğru modüllerinin atanabilmesi için bahsedilen SDO verilerinin referans alınabilmesini sağlamaktadır.

TwinCAT arayüzünde, sağ bölümde gösterilen modül listesinde her bir genişleme modülünün yanında Module Ident değeri de yer almaktadır. Bu değerler, modüllerden SDO üzerinden okunan tanımlayıcı bilgilerle karşılaştırılarak doğru slot atamalarının yapılmasına olanak tanır. Ayrıca, Slot atamalarının güvenilir şekilde gerçekleştirilmesi için Ek A'da Çizelge 4'te verilen Genişleme Modüllerinin Module Ident ve Tip Bilgileri referans alınabilir.

Slot Atama İşlemi:
Slot atama işlemini gerçekleştirmek için aşağıdaki adımlar izlenmelidir:

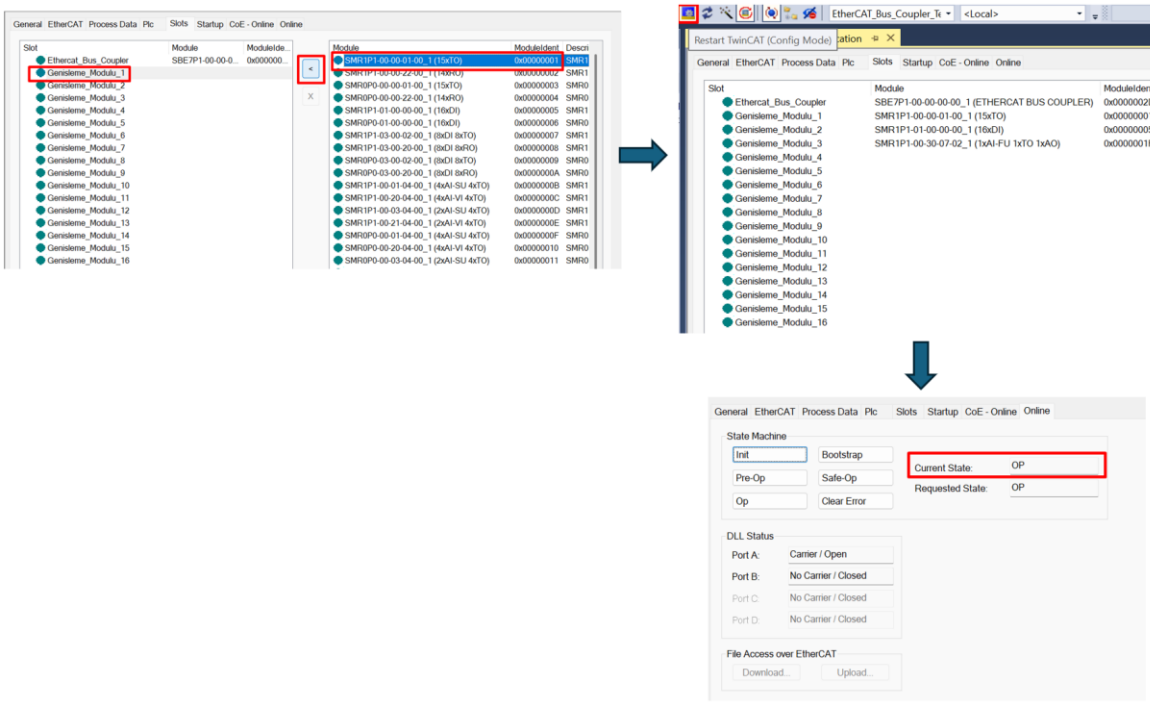
1. **Sol bölmeden**, atanacak slot (örneğin Genisleme_Modulu_1) seçilir.
2. **Sağ bölmeden**, slot sırasına karşılık gelen fiziksel modül seçilir.
   Bu uygulama örneğinde, Genisleme_Modulu_1 için fiziksel olarak Bus Coupler'a ilk sırada bağlı olan SMR1P1-00-00-01-00_1 (15xTO) modülü seçilir.
3. Slot ataması gerçekleştirmek için **< butonuna** tıklanır.
4. Aynı işlem, diğer modüller için **fiziksel bağlantı sırasına uygun şekilde** tekrarlanır.

Tüm slot atamaları tamamlandığında, yapı fiziksel bağlantıyla uyumlu hale gelir.

TwinCAT Sistemini Yapılandırma Modunda Yeniden Başlatma:
Slot ataması tamamlandıktan sonra, TwinCAT sisteminin yapılandırma modunda yeniden başlatılması gerekir. Bu işlem aşağıdaki şekilde gerçekleştirilir:

1. Üst menüden **TwinCAT → Restart TwinCAT (Config Mode)** seçilir.
2. Şekil 25'te gösterilen işlem adımları uygulanarak sistem yeniden başlatılır.
3. Yapılandırma ve haberleşme başarılı şekilde kurulmuşsa, sistem OP (Operational) moduna geçer ve modüller veri alışverişine başlar.

Bahsedilen işlem adımları Şekil 29'da gösterilmektedir.



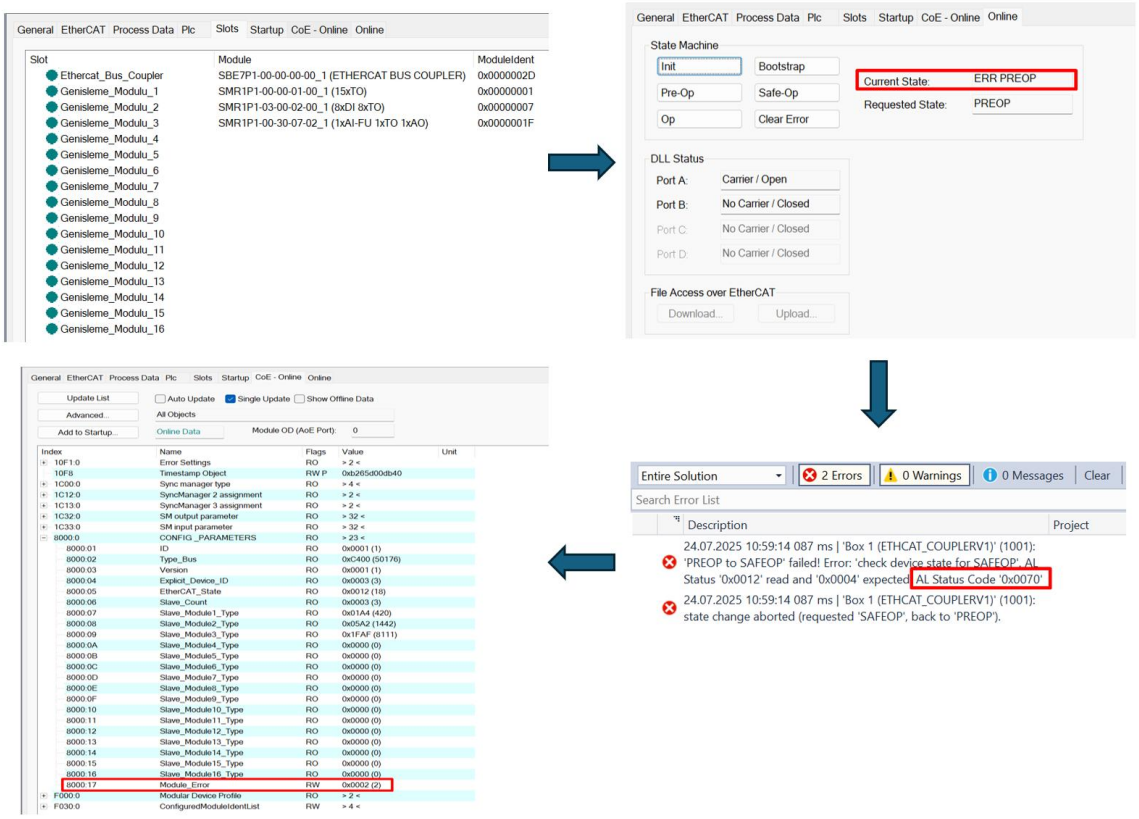
Şekil 29. Slot atamanın işlem adımları ve başarılı bir şekilde tamamlanması

Slot Atama Hatası Durumu:

Eğer slot atamaları fiziksel bağlantı sırasına uygun şekilde yapılmamışsa, sistem OP moduna geçemez ve Pre-Op modunda çalışır. Bu durumda, TwinCAT arayüzünde:

- **Error** alanında, AL Status Code: 0x0070 (ALSTATUSCODE_MODULE_ID_LIST_NOT_MATCH) hatasıyla birlikte, modülün SAFEOP durumuna geçişinin başarısız olduğu ve PREOP modunda kaldığı bilgisi görüntülenir.
- Ayrıca, SDO nesne sözlüğünde **0x8000:17** adresinden okunabilen hata parametresinin b0–b4 bitleri, slot ataması hatalı olan ilk modülün sıra numarasını gösterir.
- Ethernet soket LED'leri ve NS LED'i Pre-Op modundaki senaryoda çalışır.

Hatalı slot atama durumu Şekil 30'da gösterilmektedir. Burada örnek olarak 2. Slota yanlış modül ataması gerçekleştirilmiştir.



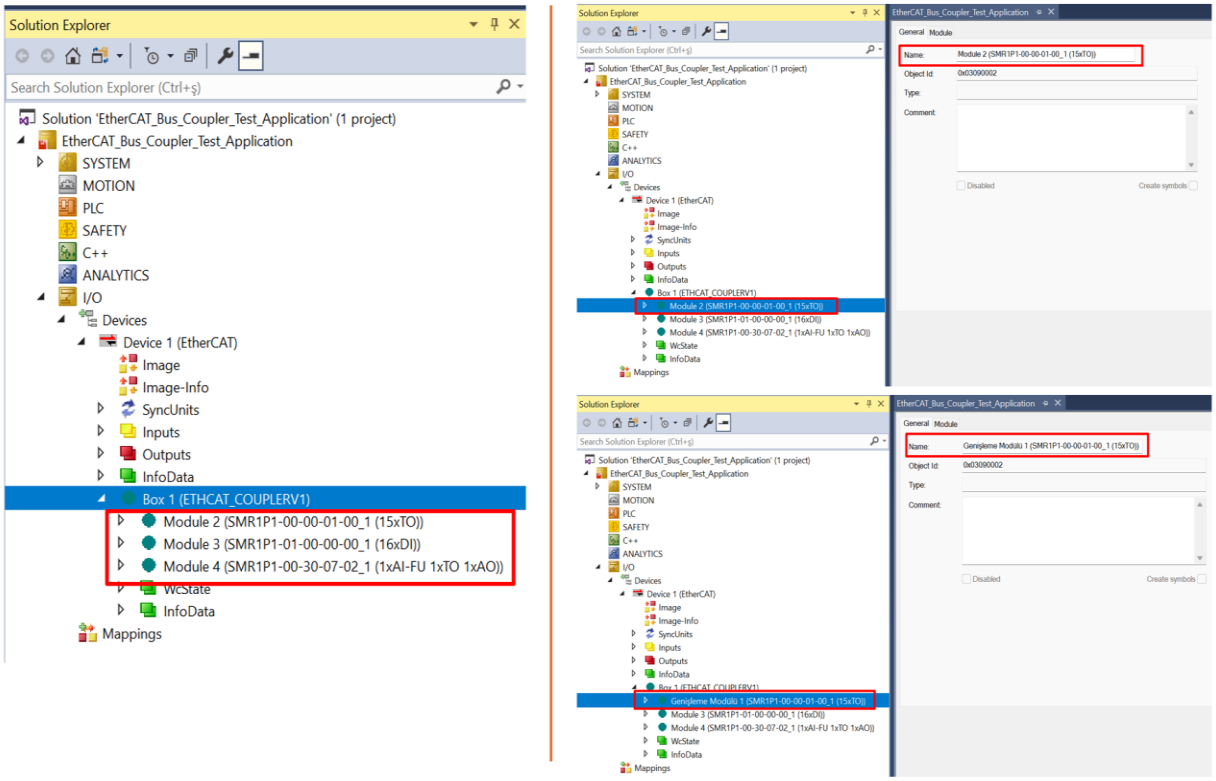
Şekil 30. Örnek bir hatalı slot atama işlemi

Bu hata durumları, modül bağlantı sırası ile slot atamasının **eşleşmediğini** ifade eder ve sistemin çalışmasını engeller. Sorunun çözülmesi için slot atamaları, fiziksel bağlantıya uygun şekilde yeniden yapılmalı ve sistem yapılandırma modunda yeniden başlatılmalıdır.

Adım 6 : Genişleme Modüllerinde Giriş/Çıkış Okuma ve Parametre Yapılandırma

Slot atamaları başarıyla tamamlanıp sistem OP (Operational) moduna geçtiğinde, TwinCAT arayüzünde Device 1 (EtherCAT) altında yer alan Box 1 (ETHCAT_COUPLERV1) alanı altında, ataması gerçekleşen genişleme modülleri tanımlanır ve listelenir.

Şekil 31 a 'da görüldüğü üzere bu modüller, sistem tarafından Module 2, Module 3, Module 4 şeklinde adlandırılır. Bu numaralandırma TwinCAT tarafından otomatik yapılır ve Module 1, EtherCAT Bus Coupler modülüne ayrıldığı için, genişleme modülleri 2'den itibaren sıralanır. TwinCAT arayüzünde listelenen modüller, kullanıcı tarafından yeniden adlandırılabilir. Şekil 31'b'de gösterildiği üzere, örneğin Module 2 üzerine tıklandığında sağ panelde Name alanı açılır. Bu alandan, modül adı kullanıcı ihtiyacına göre değiştirilebilir. Örneğin "Module 2" ismi "Genişleme Modülü 1" olarak güncellenebilir.

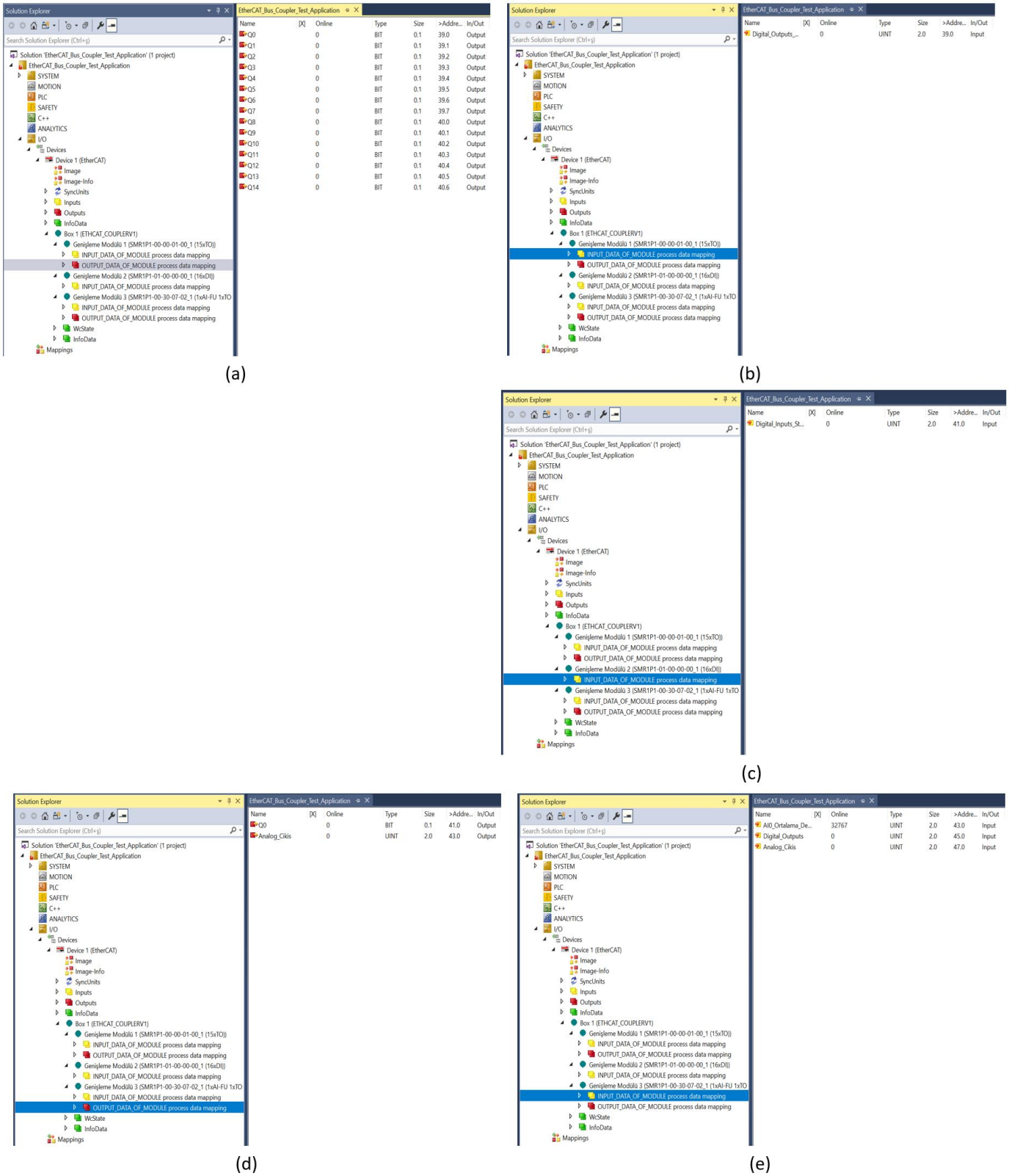


Şekil 31. Slot atama sonrası genişleme modüllerinin listelenmesi ve yeniden adlandırılması

Bu modül başlıkları altında (modül adının solunda yer alan▷ tuşu ile görüntülenebilir), ilgili genişleme modülünün tip bilgisi (örneğin 15xTO, 16xDI, 1xAI-FU 1xTO 1xAO) de parantez içinde gösterilir. Her modül, kendi giriş ve çıkış verilerini taşıyan PDO alanları üzerinden çalışır.

- **INPUT_DATA_OF_MODULE process data mapping** : Slave tarafından **okunan veriler**. Dijital/analog giriş verileri veya çıkış durum bilgileri (0x6000 + 0x10 × slot_no)
- **OUTPUT_DATA_OF_MODULE process data mapping**: Master tarafından **yazılan veriler.** Dijital/analog çıkış verileri (0x7000 + 0x10 × slot_no)

Şekil 32'de TwinCAT arayüzünde genişleme modül PDO alanlarının görüntülenmesi işlem adımları gösterilmektedir.



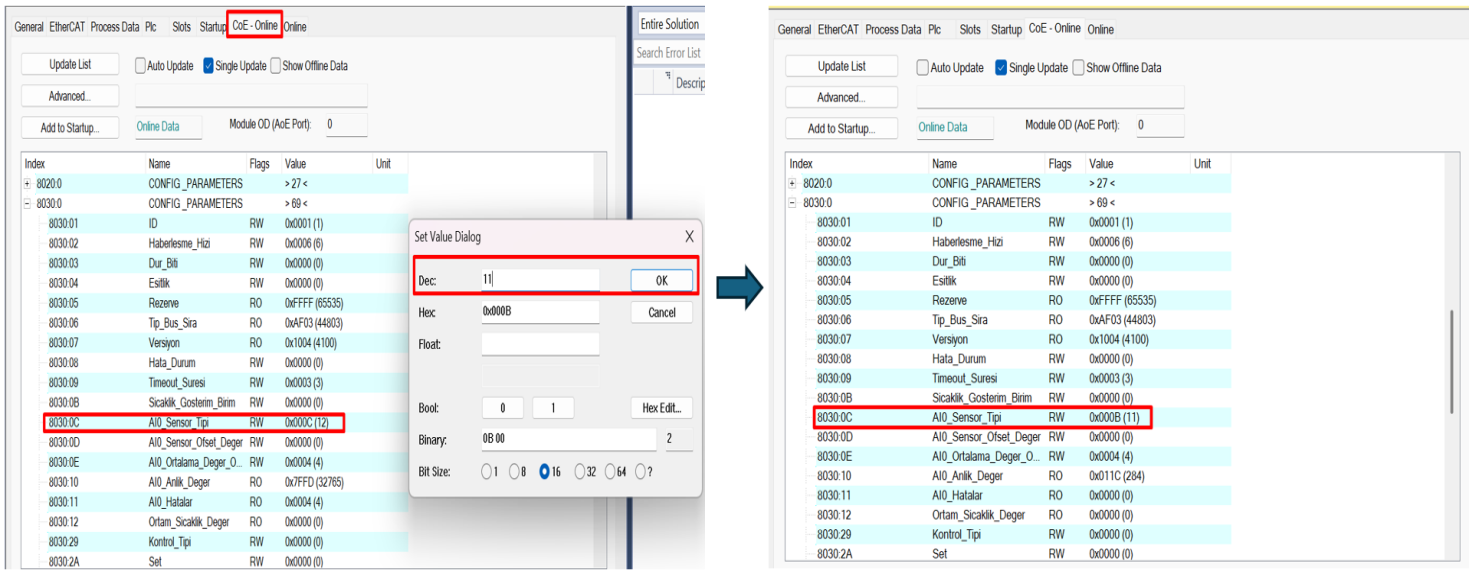
Şekil 32. Genişleme modüllerine ait PDO veri alanlarının TwinCAT arayüzünde gösterimi:
(a) SMR1P1-00-00-01-00_1 (15xTO) modülüne ait çıkış PDO'ları (0x7010),
(b) Aynı modüle ait çıkış durum bilgileri(0x6010 serisi),
(c) SMR1P1-01-00-00-00_1 (16xDI) modülüne ait dijital giriş PDO'ları (0x6020),
(d) SMR1P1-00-30-07-02_1 (1xAI, 1xTO, 1xAO) modülüne ait çıkış PDO'ları (0x7030),
(e) Aynı modüle ait giriş PDO'ları (0x6030).

PDO alanları üzerinden dijital/analog giriş ve çıkışlara ait çevrimsel veriler okunabilir ve yazılabilir. Ancak bazı modüller, belirli işlevler için ek yapılandırma gerektirir. Örneğin, üçüncü genişleme modülünde PT-100 sıcaklık sensörü kullanılacağından, bu modülün sensör seçim parametresi uygun şekilde ayarlanmalıdır.

Bu işlem için, Box 1 arayüzünde **CoE (CANopen over EtherCAT) → Online** sekmesine gidilerek parametre ayarı yapılması gerekmektedir. Burada, Adım 4'te anlatılan işlemler yapılarak tüm SDO'lar yüklenir. **0x8030** (3. Genişleme modülüne

karşılık gelen adres) adresinde **0x0C sub-index'inde** yer alan "AI0_Sensor_Tipi" parametresi **PT100** sensör tipine ayarlanması gerekmektedir. Modül datasheeti incelendiğinde ilgili parametrenin 11 değerine ayarlanması gerektiği görülmektedir (bkz SMR1P1-00-30-07-02_1 ürün bilgi sayfası)[9]. Bu işlem için ilgili parametreye çift tıklanarak **Set Value Dialog** ekranına ulaşılır ve decimal ya da hex olarak 11 değeri girilip **Ok** butonuna tıklanarak işlem tamamlanır. İlgili işlem adımları Şekil 33'te gösterilmektedir.

Not 9: Modül parametreleri sub-index değerleri, modüllerin ürün bilgi sayfalarında yer alan Modbus adresleriyle eşleşmektedir (Modbus Adres – 40000 = EtherCAT SDO Sub-index)



Şekil 33. Üçüncü genişleme modülü sensör tipi parametresinin SDO üzerinden ayarlanması

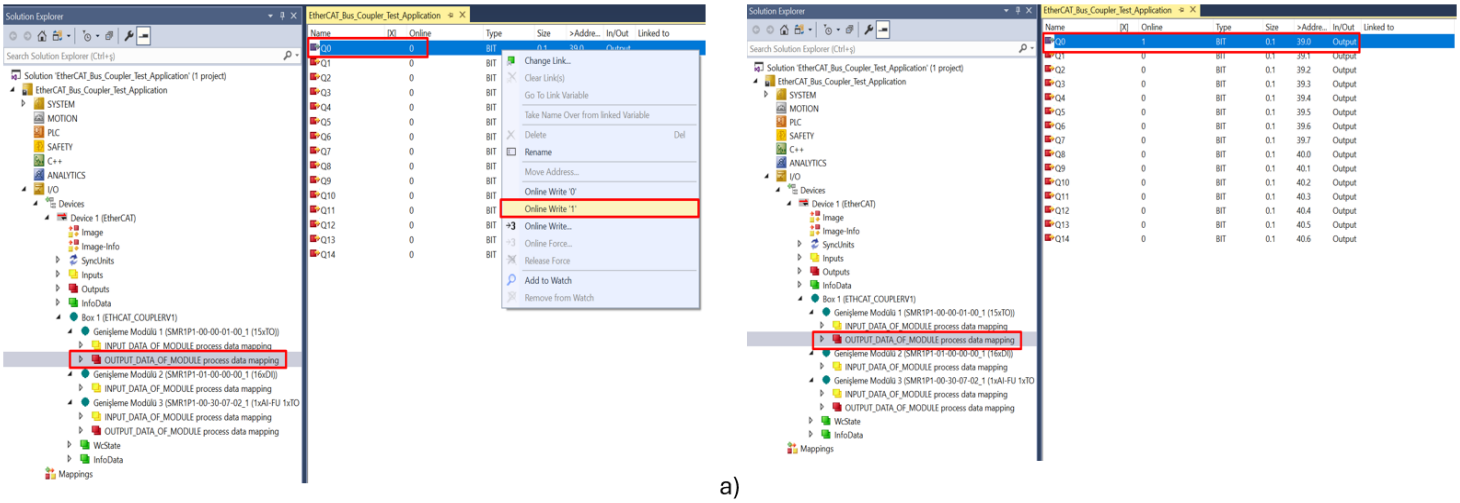
PDO Alanları Üzerinden Giriş/Çıkış Kontrolü

Önceki bölümde, sıcaklık sensörü gibi özel işlevler için gerekli SDO parametre yapılandırmaları yapılmıştır. Bu gibi parametre ayarlamaları tamamlandıktan sonra, modül üzerindeki giriş ve çıkışlara TwinCAT yazılımı üzerinden doğrudan erişilerek istenen uygulamalar gerçekleştirilebilmektedir.

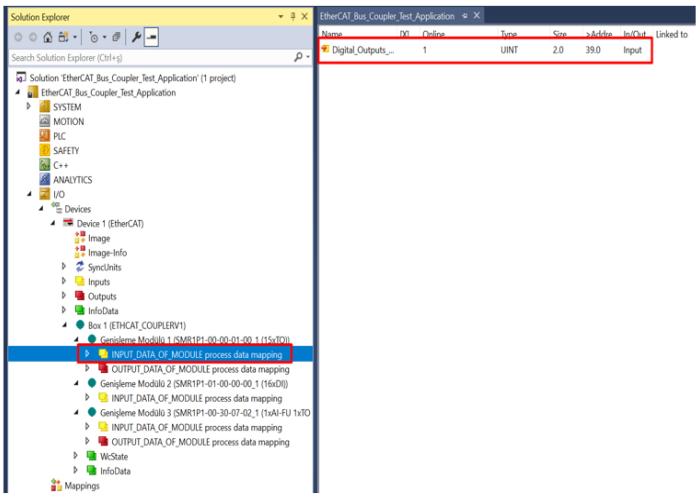
Örneğin, SMR1P1-00-00-01-00_1 (15xTO) kodlu genişleme modülündeki dijital çıkışlardan biri olan Q0 çıkışı ile bir AC lamba sürülmektedir. Bu çıkışın aktif edilerek lambanın çalıştırılması için şu adımlar izlenebilir:

1. Şekil 32 a'da görüldüğü üzere, Q0 çıkışı, **Genişleme Modülü 1 (SMR1P1-00-00-01-00_1 (15xTO))** isimli modülün altında **OUTPUT_DATA_OF_MODULE process data mapping** isimli PDO alanı altında listelenmektedir. Burada, Q0 çıkışı üzerine sağ tıklanarak açılan menüden Şekil 34 a'da gösterildiği gibi **Online Write '1'** seçeneği seçilir. Bu işlem, çıkışın aktif (lojik 1) konuma getirilmesini sağlar.
2. Q0 çıkışı aktif edildiğinde, çıkış terminaline bağlı olan SSR tetiklenir. Pozitif tetikleme mantığıyla çalışan bu yapı sayesinde, SSR çıkışı üzerinden bağlı AC lamba çalışır.

Çıkışın durum bilgisi, aynı modüle ait Şekil 32 b'de görülen **INPUT_DATA_OF_MODULE process data mapping isimli** PDO alanındaki **Digital_Outputs** değişkeni üzerinden okunabilir. Bu alana girildiğinde Şekil 34 b'de görüldüğü üzere ilk çıkış aktif olduğundan (0.bit) 1 değeri gözlemlenir.



a)



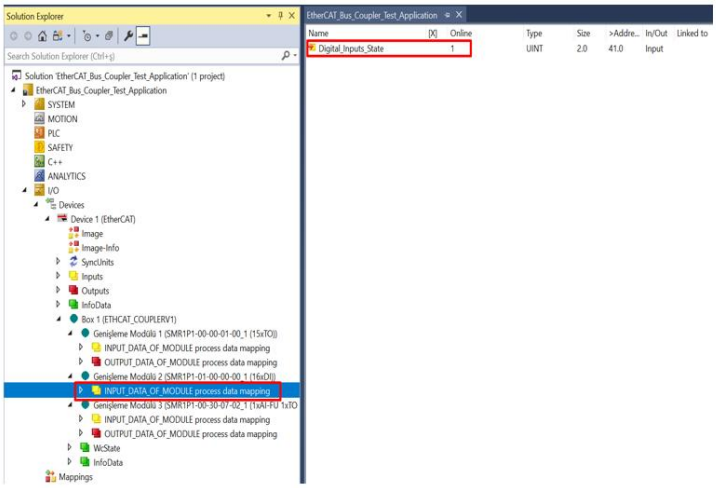
b)

Şekil 34. SMR1P1-00-00-01-00_1 (15xTO) kodlu genişleme modülünde Q0 çıkışının aktif edilmesi ve çıkış durumunun okunması

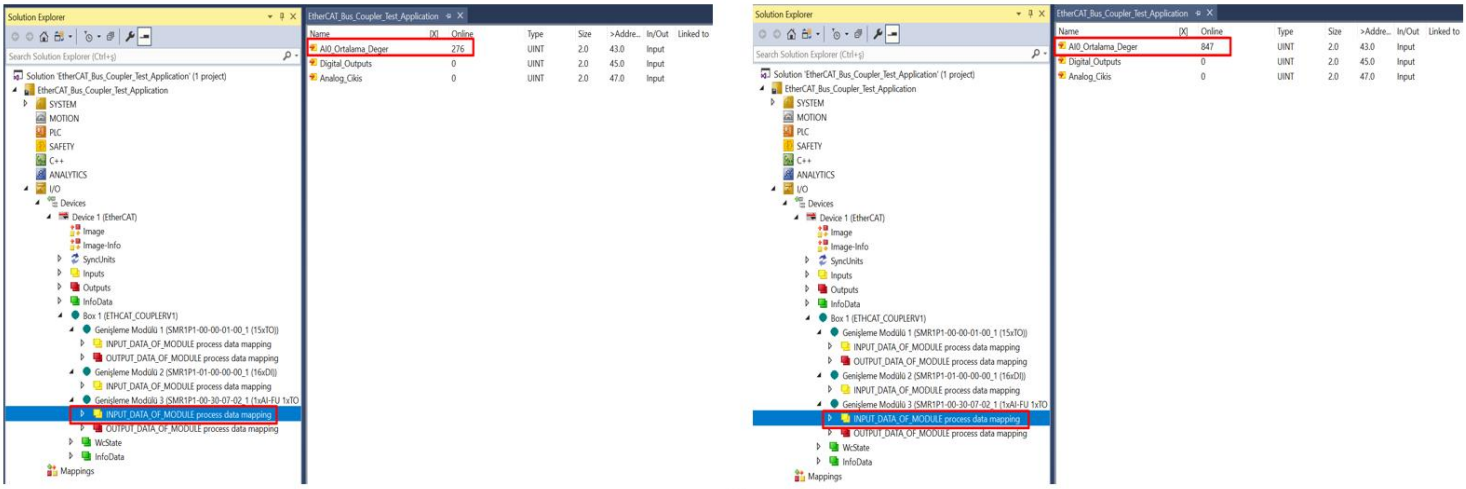
Q0 çıkışına karşılık gelen I0 dijital girişinin okunması:
Q0 çıkışı, ikinci genişleme modülünde (SMR1P1-01-00-00-00_1 (16xDI)) bulunan I0 dijital girişine bağlanmıştır. Şekil 32 c'de görüldüğü gibi, dijital girişler **Genişleme Modülü 2 (SMR1P1-01-00-00-00_1 (16xDI))** isimli modülün altında **INPUT_DATA_OF_MODULE process data mapping** isimli PDO alanı altında listelenmektedir. TwinCAT arayüzünde bu alana girildiğinde, Şekil 35 a'da olduğu gibi ilk giriş (0. bit) aktif olduğundan **Digital_Inputs_State** değişkeni üzerinden 1 değeri gözlemlenir.

Analog giriş üzerinden sıcaklık değerinin okunması:
Üçüncü genişleme modülü olan SMR1P1-00-30-07-02_1 (1xAI-FU, 1xTO, 1xAO), AC lambaya temas ettirilen PT100 sıcaklık sensöründen veri okumaktadır. Şekil 32 e'de gösterildiği üzere, analog giriş verisi **Genişleme Modülü 3 (SMR1P1-00-30-07-02_1 (1xAI-FU, 1xTO, 1xAO))** isimli modülün altında **INPUT_DATA_OF_MODULE process data mapping** isimli PDO alanı altında yer almaktadır. TwinCAT yazılımı üzerinden bu alana girildiğinde sıcaklık bilgisi **AI0_Ortalama_Deger** değişkeni üzerinden gözlemlenir. Şekil 35 b'de lamba yanmadan öncesi ve sonrası için sıcaklık değeri görülmektedir[10].

Not 10: Bu modülde analog sıcaklık değeri, ondalıklı (float) formatta değil, sabit bir ölçekleme faktörü ile çarpılarak tam sayı (integer) formatında iletilir. Ölçekleme katsayısı 10 olduğundan, örneğin 27.6 °C sıcaklık değeri PDO alanında 276 olarak görülür.



a)



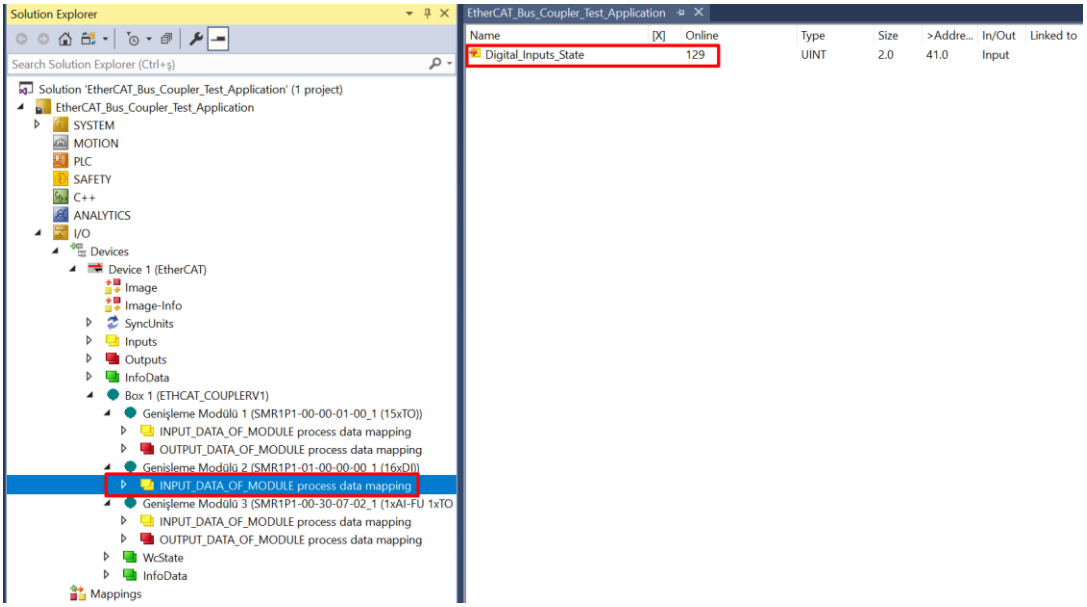
b)

Şekil 35. SMR1P1-01-00-00-00_1 (16xDI) kodlu genişleme modülündeki dijital girişin ve SMR1P1-00-30-07-02_1 (1xAI-FU, 1xTO, 1xAO) kodlu genişleme modülündeki analog giriş değerinin okunması

Anahtar Durumuna Göre Dijital Giriş Okunması:

Uygulama senaryosu kapsamında, ikinci genişleme modülü olan SMR1P1-01-00-00-00_1 (16xDI) üzerinde yer alan I7 dijital girişine bir manuel anahtar bağlanmıştır. Anahtarın bir ucu +24 V hattına, diğer ucu ise doğrudan I7 girişine bağlanmıştır. Anahtar kapatıldığında, I7'ye (7.bit) lojik '1' uygulanarak giriş aktif hale getirilir. Ayrıca, hali hazırda Q0 çıkışı ile I0 (0.bit) girişi birbirine bağlandığından ve bu çıkış da aktif olduğundan I0 da aktif durumdadır.

Bu durumda Şekil 36'da da görüldüğü üzere **Digital_Inputs_State** değişleninde bu iki bitin toplamı olan **129 ($2^7 + 2^0$)** değeri okunur.



Şekil 36. SMR1P1-01-00-00-00_1 (16xDI) kodlu genişleme modülünde anahtar kapatılınca okunan giriş değeri

Uygulama Notu 2 : Çoklu EtherCAT Bus Coupler Kullanımı ve Explicit Device ID ile Modül Tanımlama

Bus Coupler Kavramı: Genel Tanım:

Bus coupler, saha cihazları ile haberleşme altyapısı arasında köprü görevi gören bir modüldür. Genellikle I/O modüllerinin haberleşme protokolüne uygun şekilde ağ sistemine bağlanmasını sağlar. Coupler'ın temel işlevi:

- Bağlı olduğu I/O modüllerinin verilerini alarak merkezi sisteme (örneğin PLC veya endüstriyel PC) aktarır.
- Aynı zamanda kontrol ünitesinden gelen komutları ilgili çıkış modüllerine dağıtır.
- Sistem topolojisinin modüler ve genişletilebilir olmasına olanak tanır.

Bu sayede sahada dağıtık şekilde yer alan sensör, aktüatör ve diğer I/O modülleri, merkezi bir kontrolcü üzerinden yönetilebilir hale gelir.

EtherCAT Sistemlerinde Bus Coupler Kullanımı

EtherCAT mimarisi içerisinde bus coupler, bir grup I/O modülünün EtherCAT ağına dahil edilmesini sağlar ve EtherCAT slave olarak davranır. Coupler modülün EtherCAT haberleşme içerisindeki rolü ise şöyledir:

- Coupler, fiziksel olarak kendisine bağlanan I/O modüllerini algılar ve bu modüllere ait PDO ve SDO yapılarını EtherCAT ağına dahil eder.
- Bu yapı sayesinde, EtherCAT master cihazı her bir modüle doğrudan erişmek yerine, coupler üzerinden bu modülleri mantıksal olarak adresleyebilir; modüller bir grup alt birim olarak merkezi şekilde yönetilebilir.
- Her bir coupler, bağımsız bir EtherCAT slave terminali gibi davranır ve zincirleme (daisy chain) topolojiyle diğer coupler'larla seri olarak bağlanabilir.

Daisy Chain Topolojisinde IN ve OUT Portları:

- **IN Portu (RJ45)**: Önceki EtherCAT cihazından gelen veriyi alır.
- **OUT Portu (RJ45)**: Veriyi bir sonraki EtherCAT cihazına iletir.

Bu yapı sayesinde EtherCAT ağı, bir zincir şeklinde uzatılabilir. Bu zincir boyunca tüm cihazlar sıralı olarak tanımlanır.

Neden Birden Fazla Coupler Kullanılır?

Gerçek dünya uygulamalarında I/O modülleri genellikle saha boyunca dağılmış farklı panolarda, üretim hücrelerinde veya proses istasyonlarında yer alır. Bu tür dağıtık yerleşimlerde tek bir coupler kullanmak, uzun kablo mesafeleri, karmaşık kablolama ve bakım zorlukları doğurur.

Bu nedenle, her fiziksel bölgeye bir bus coupler yerleştirilerek yerel I/O modüllerinin kontrolü sağlanır. Tüm bu coupler'lar EtherCAT zinciri üzerinden tek bir master ile haberleştirilerek merkezi bir kontrol altyapısı oluşturulur. Böylece hem esneklik hem de bakım kolaylığı elde edilir. Bu yapı ile elde edilen avantajlar şöyle sıralanabilir:

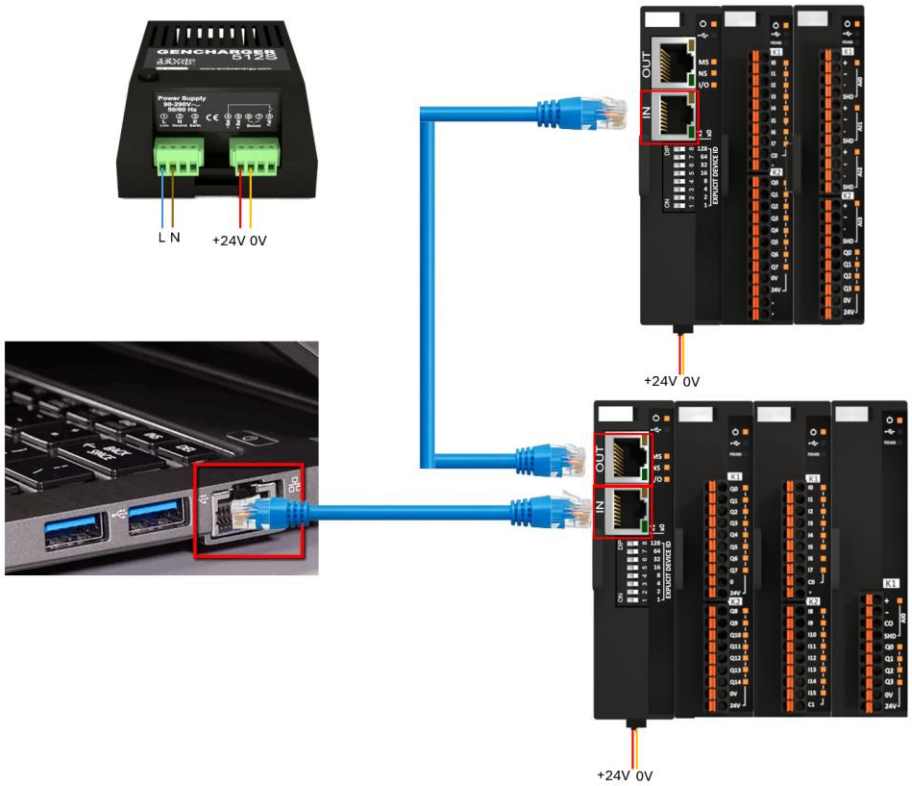
- Kablo maliyetinin ve karmaşıklığın azaltılması
- Genişletilebilir ve modüler sistem tasarımı
- Arızalı modül ya da coupler'ın sistemin geri kalanını etkilemeden değiştirilebilmesi
- Farklı fiziksel bölgelerdeki sistemlerin tek noktadan kontrolü

Uygulama Senaryosu: Çoklu EtherCAT Bus Coupler ile Dağıtık I/O Kontrolü:

Bu uygulama senaryosunda, EtherCAT haberleşmesi ile farklı fiziksel konumlarda yer alan I/O modüllerinin merkezi bir master üzerinden kontrol edilmesi ele alınmıştır. Senaryoda iki ayrı EtherCAT Bus Coupler modülü kullanılmıştır:

- Birinci Coupler (SBE7P1-00-00-00-00_1):,
    - Daha önceki uygulama senaryosunda ayrıntılı olarak açıklanan üç genişleme modülünü içeren yapı bu senaryoda da kullanılmıştır.
- İkinci Coupler (SBE7P1-00-00-00-00_1):
  Aşağıdaki iki genişleme modülünü içermektedir:
    - SMR1P1-03-00-02-00_1 (8xDI, 8xTO)
    - SMR1P1-00-01-04-00_1 (4xAI-SU, 4xTO)

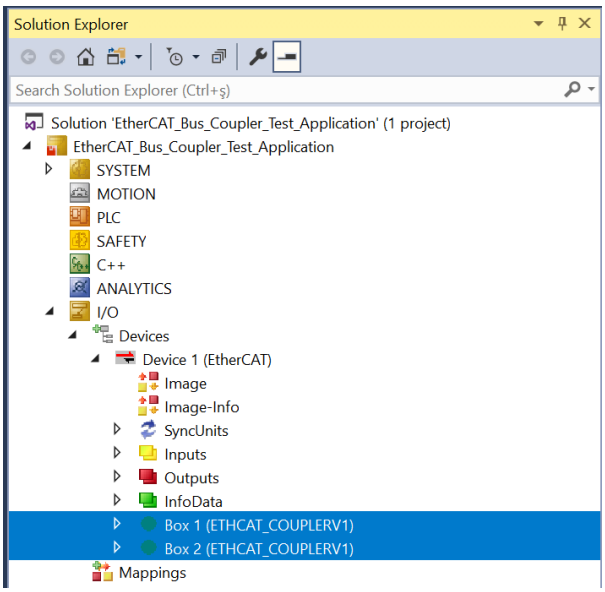
Bağlantı yapısı Şekil 37'de gösterildiği gibi EtherCAT'in daisy-chain topolojisine uygun olarak, birinci Coupler'ın OUT portundan ikinci Coupler'ın IN portuna Ethernet kablosu ile yapılmıştır.



Şekil 37. İki EtherCAT Bus Coupler kullanılan senaryonun bağlantı diyagramı

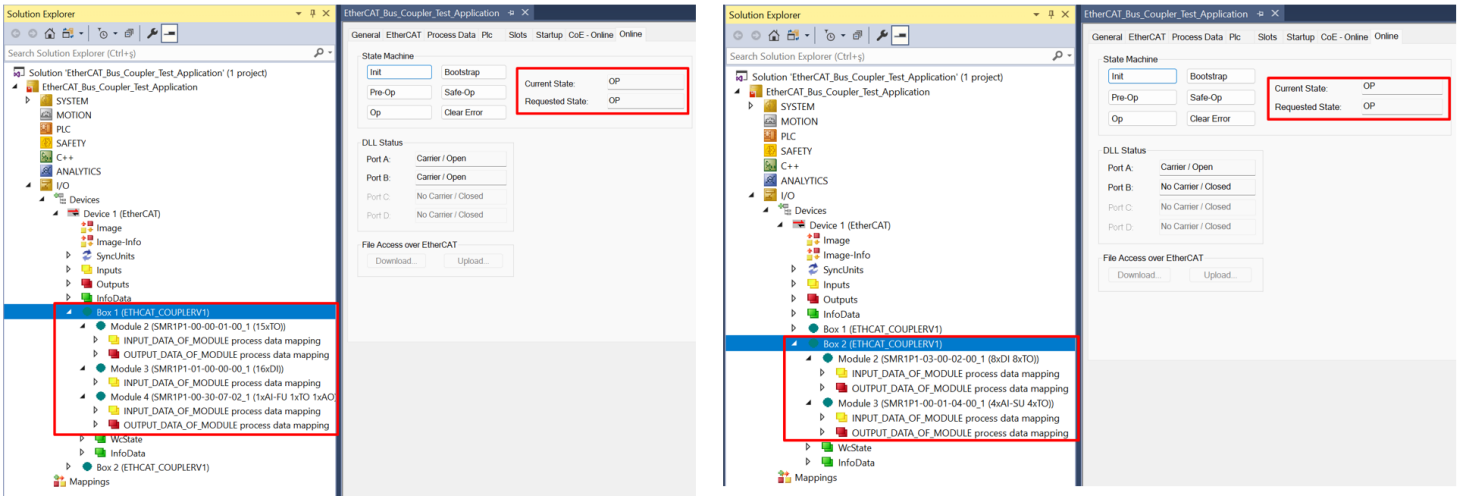
Modüllerin TwinCAT master'a tanıtımı için Uygulama Notu 1'de Adım 3'te açıklanan otomatik tarama yöntemi veya manuel yapılandırma yöntemlerinden biri kullanılabilir. Manuel yapılandırma tercih edildiğinde, her bir EtherCAT Bus Coupler için TwinCAT projesine ayrı ayrı EtherCAT Device tanımlamaları yapılmalıdır.

Sistemdeki tüm EtherCAT cihazları fiziksel bağlantı sırasına göre tanınır ve Box numaraları bu sıraya göre atanır. Örneğin, master'a fiziksel olarak ilk bağlı olan Coupler "**Box 1**", ikinci sıradaki Coupler ise "**Box 2**" olarak tanımlanır. Tanılamadan sonra TwinCAT içerisinde modüllerin görünümü Şekil 38'de gösterilmiştir.



Şekil 38. Tanılama sonrası iki EtherCAT Bus Coupler modülünün master arayüzünde görüntülenmesi

Devamında, Uygulama Notu 1'de Adım 5'te açıklandığı üzere, her Coupler'a ait genişleme modülleri, ilgili slotlara tanıtılır ve sistem yapılandırması tamamlanarak haberleşme başlatılılabilir. Slot atamaları sonrasında sistemin çalışır duruma geçtiği ve her iki Coupler'daki modüllerin OP (Operational) moduna ulaştığı Şekil 39'da görülmektedir. Aynı zamanda burada, Coupler'ların fiziksel bağlantı sırasına göre Box 1 ve Box 2 olarak sıralandığı, altlarında ise her birine ait genişleme modüllerinin doğru şekilde tanındığı gözlemlenebilmektedir.



Şekil 39. İki EtherCAT Bus Coupler'a atanan modüller ve çalışma durumları

Son olarak, Uygulama Notu 1'de Adım 6'da anlatıldığı şekilde, tanımlanan modüllerin PDO ve SDO alanları üzerinden veri alışverişi ve haberleşme testleri gerçekleştirilebilir.

Explicit Device ID ve Hot Connect Kullanımı:

EtherCAT sistemlerinde cihazlar, ağ üzerindeki **fiziksel bağlantı sırasına göre** otomatik olarak adreslenir. Ancak bazı durumlarda, cihazların fiziksel bağlantı sırasından bağımsız olarak mantıksal bir sırayla (örneğin coğrafi konum, kontrol önceliği vb.) tanımlanması gerekebilir. Bu amaçla Coupler modüllere sabit bir kimlik atamak ve bu kimlik üzerinden adresleme yapmak gerekebilir. İşte bu gibi durumlar için **Explicit Cihaz ID** ve **Hot Connect** mekanizması devreye girer.

Bu uygulama notunun ilk aşamasında, iki adet EtherCAT Bus Coupler'ın fiziksel olarak sıralı şekilde bağlandığı bir yapı üzerinden tanılama gerçekleştirilmiş ve TwinCAT tarafından bu cihazlar fiziksel bağlantı sırasına göre otomatik olarak sırasıyla Box 1 ve Box 2 olarak tanımlanmıştı. Fiziksel sıradan bağımsız tanımlamanın nasıl gerçekleştirilebileceğini ortaya koymak amacıyla, aşağıdaki senaryo uygulanmıştır.

Senaryo: Fiziksel Sıradan Bağımsız Tanımlama için Explicit Cihaz ID ve Hot Connect Kullanımı

Bu uygulama senaryosunda, fiziksel bağlantı sıralamasından **bağımsız olarak** EtherCAT Coupler'ların mantıksal adreslerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Özellikle, fiziksel olarak **ikinci sırada bağlanan** bir Coupler'ın, TwinCAT tarafında **ilk cihaz** olarak tanımlanması hedeflenmiştir. Bunun için **Hot Connect** ve **Explicit Cihaz ID** mekanizmaları kullanılacaktır.

Adım 1: Coupler'lara Explicit Device ID Atanması

Her iki Coupler'a benzersiz bir cihaz kimliği atanır. Bu işlem, Coupler üzerindeki **DIP switch** üzerinden gerçekleştirilir[11]:

- İkinci sırada fiziksel olarak bağlı olan Coupler'ın DIP switch değeri 1 olarak ayarlanır
- İlk sıradaki Coupler'ın DIP switch değeri 2 olarak ayarlanır

Not 11: DIP switch değişikliklerinin geçerli olması için, Coupler'ların enerjisi kesilip yeniden verilmelidir.

Adım 2: Eski Tanımlamaların Temizlenmesi

TwinCAT projesinde daha önce yapılmış fiziksel sıraya bağlı cihaz tanımlamalarının temizlenmesi gerekir. Bunun için:

- **Device 1 > Box 1** ve **Box 2** cihazları üzerine sağ tıklanarak Remove komutu ile sistemden tanımlamalar sistemden çıkarılır.

Adım 3: Yeniden Tanılama

Uygulama Notu 1 – Adım 3'te anlatıldığı gibi otomatik tarama veya manuel tanımlama yöntemiyle Coupler modüller tekrar master'a tanıtılır.

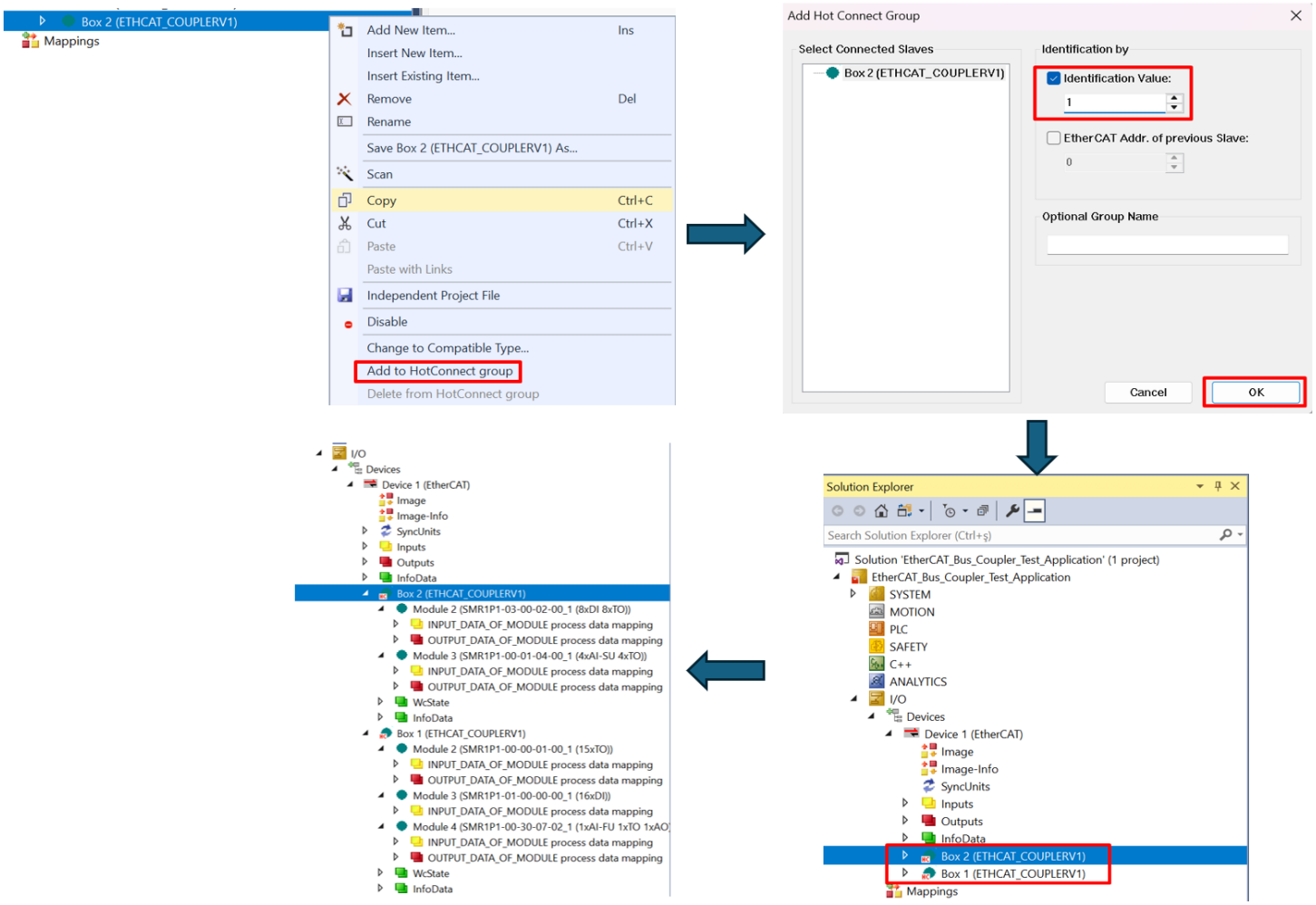
Adım 4: Hot Connect Yapılandırması

Tanılama işlemi sonrasında sistemdeki EtherCAT Bus Coupler cihazları, **fiziksel bağlantı sırasına göre** otomatik olarak tanımlanır. Örneğin, fiziksel olarak ikinci sırada bağlanan Coupler, TwinCAT içinde yine **Box 2**, birinci sıradaki Coupler ise **Box 1** olarak yer alır.

Bu senaryoda, fiziksel olarak ikinci sırada bağlanan Coupler'ın TwinCAT arayüzünde ilk sırada, fiziksel olarak ilk sırada bağlanan Coupler'ın ise arayüzde ikinci sırada kontrol edilmesi sağlanacaktır.

Burada Hot Connect yapısı kurmak için, öncelikle TwinCAT arayüzünde fiziksel olarak ikinci sırada yer alan Box 2'ye sağ tıklanır ve **Add to HotConnect Group** seçeneği seçilir. Açılan pencerede, **Identification Value** alanına belirlenen Explicit Cihaz ID'nin girilmesi gerekir. Bu amaçla, ilgili alana ikinci Coupler için ayarlanmış olan 1 değeri girilir ve **OK** butonuna tıklanarak işlem tamamlanır. Aynı adımlar, fiziksel olarak birinci sırada bulunan Box 1 için de tekrarlanır; bu kez Identification Value olarak 2 girilir.

Yapılandırma işlemi tamamlandıktan sonra, sistemdeki Coupler cihazları fiziksel bağlantı sırasından bağımsız olarak, atanmış olan Explicit Cihaz ID değerlerine göre ve Hot Connect bağlantı simgeleri ile yeniden sıralanır. Son olarak, Restart Config Mode komutu uygulanarak haberleşme başlatılır. Ardından, Uygulama Notu 1 – Adım 5'te anlatıldığı şekilde slot atamaları yapılabilir ve Adım 6'da belirtildiği gibi PDO/SDO alanlarına erişim sağlanarak sistemin çevrimsel veri alışverişi başlatılabilir. İşlem Adımları Şekil 40'ta gösterilmektedir.



Şekil 40. Hot Connect Bağlantı İşlem Adımları

Uygulama Notu 3 : CODESYS Üzerinden EtherCAT Bus Coupler ile IPERTU Genişleme Modüllerinin Kontrolü

Bu uygulama notunda, CODESYS tabanlı EtherCAT master kullanılarak EtherCAT Bus Coupler ve ona bağlı genişleme modüllerinin yapılandırılması adım adım açıklanacaktır. Fiziksel donanım olarak, daha önce Uygulama Notu 1'de kullanılan Şekil 16'da gösterilen kurulum kullanılmıştır.

Projelerin geliştirilmesi, cihaz konfigürasyonu ve PLC programlaması için **CODESYS Geliştirme Ortamı (IDE)** kullanılır. Bu uygulama notunda **CODESYS Development System 3.5** kullanılmıştır. Yazılım aşağıdaki bağlantı üzerinden indirilebilir:

https://store.codesys.com/en/codesys.html

Geliştirilen programların PC üzerinde çalıştırılabilmesi için **CODESYS Control Win SL** adlı yazılım runtime motoru kurulmalıdır. Bu uygulamada, fiziksel bir PLC yerine bu Soft PLC kullanılmakta olup, CODESYS Control Win V3 - x64 kullanılmıştır. Yazılım aşağıdaki bağlantıdan indirilebilir[12]:

https://store.codesys.com/en/codesys-control-win-sl-1.html

Not 12: Yukarıdaki bağlantılardan dosyaları indirebilmek için CODESYS Store üzerinden hesap oluşturulması ve oturum açılması gereklidir.

CODESYS yazılımları, **bireysel kullanıcılar (private customer)** ya da **kurumsal müşteriler (corporate)** olarak indirilebilir.

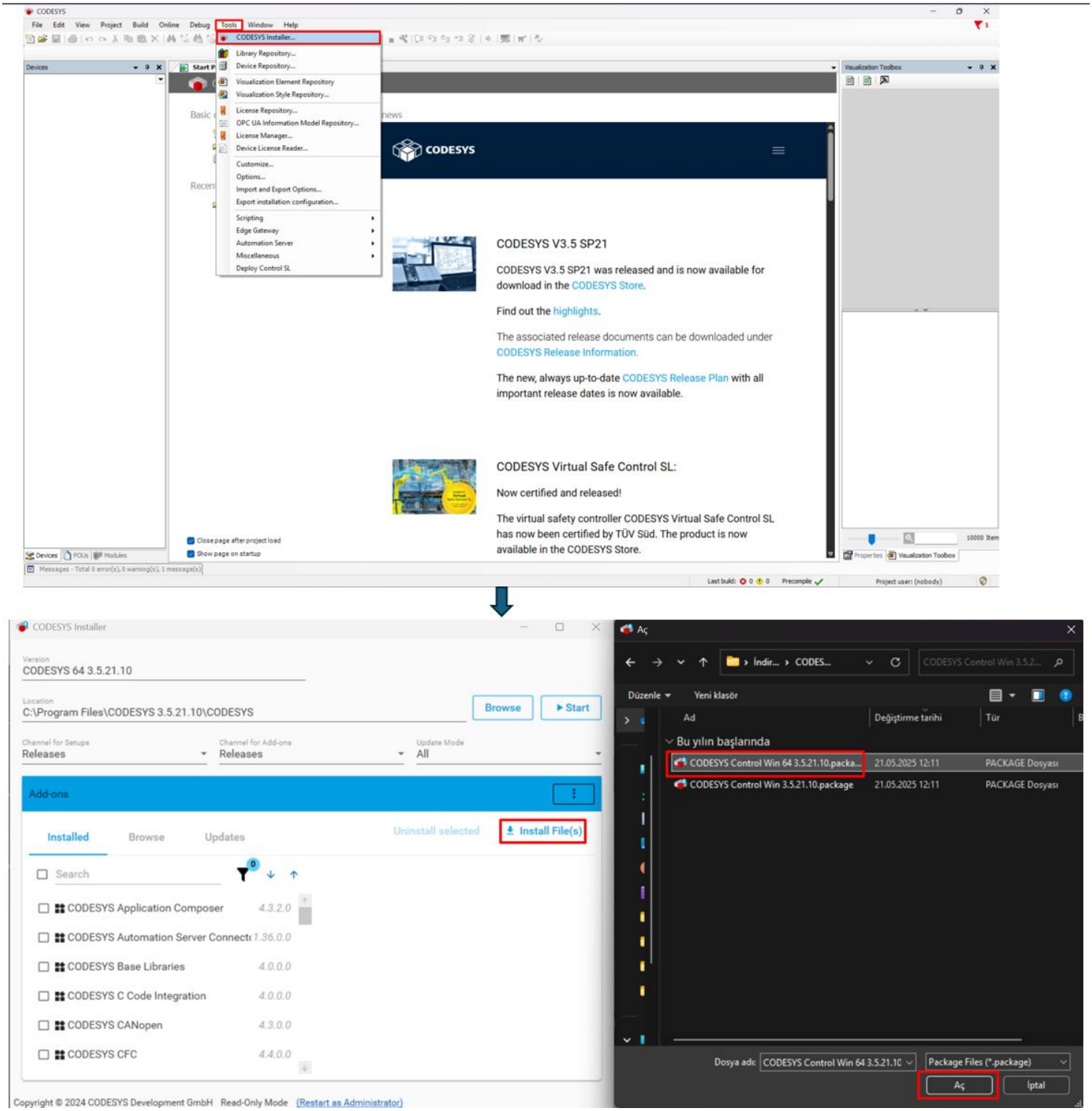
- Eğer sistem lisanslı bir firma altyapısı üzerinden kullanılacaksa, CODESYS Corporate hesabı tercih edilebilir.
- Bireysel kullanıcılar ise Private Customer seçeneğiyle ilerleyebilir.

İlk olarak CODESYS 64 3.5.21.10.exe ile IDE kurulumu gerçekleştirilir. Ardından **CODESYS Control Win 64 3.5.21.10.exe** çalıştırılarak Soft PLC kurulumu gerçekleştirilir. Ancak bu işlem, CODESYS Development System içerisine ilgili runtime bileşenlerini otomatik olarak eklemez. Bu nedenle ikinci adımda, CODESYS Installer aracı kullanılarak runtime paketinin IDE'ye entegre edilmesi gereklidir.

Bu amaçla:

1. CODESYS V3.5 SP21 Patch 1 IDE açılır.
2. Üst menüden **Tools > CODESYS Installer** sekmesine tıklanır.
3. Açılan Installer sayfasında, **Install File** butonuna tıklanır.
4. Daha önce indirilmiş olan CODESYS Control Win SL sıkıştırılmış klasörü içerisindeki CODESYS Control Win 64 3.5.21.10.package dosyası bulunarak seçilir.
5. Kurulum adımları tamamlanarak runtime motoru IDE'ye entegre edilir.

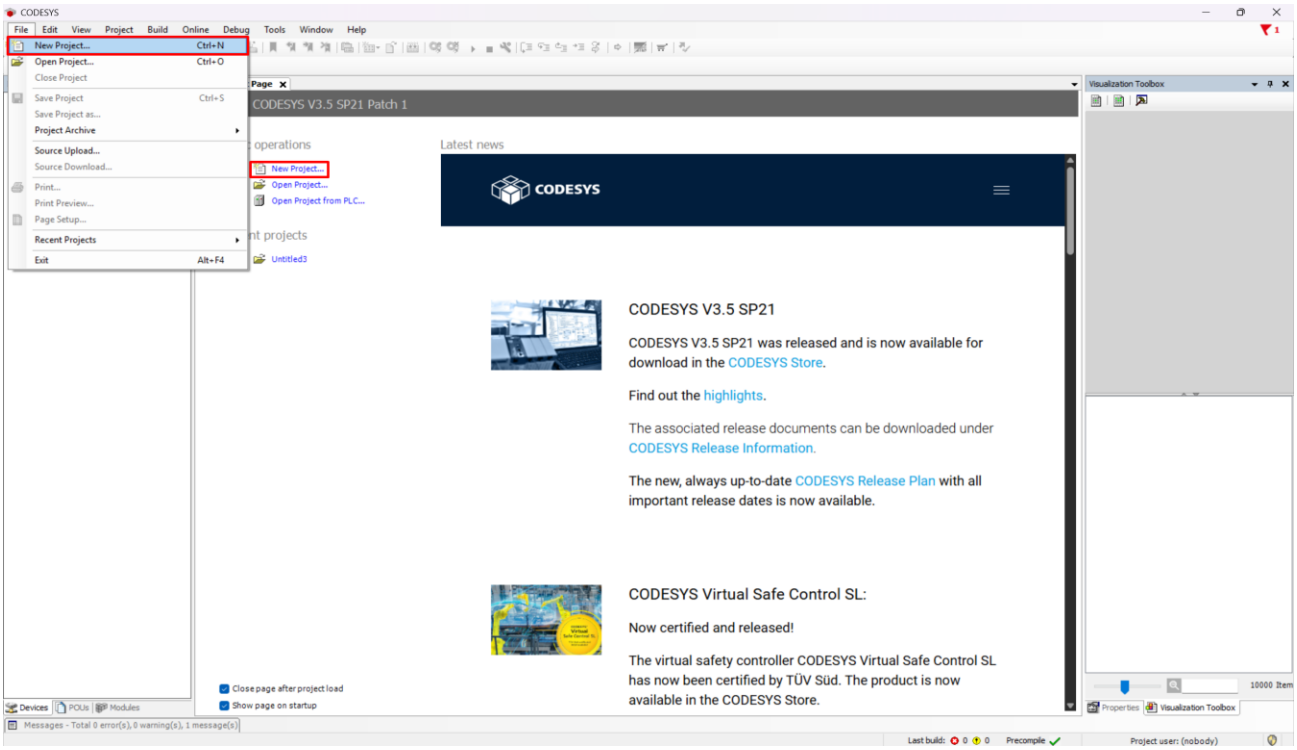
İşlem adımları Şekil 41'de gösterilmektedir. Bu işlem tamamlandıktan sonra CODESYS sistemi, geliştirilmiş PLC projelerini doğrudan PC üzerinde çalıştırabilecek hale gelir.



Şekil 41. CODESYS Control Win 64 paketinin yüklenmesi

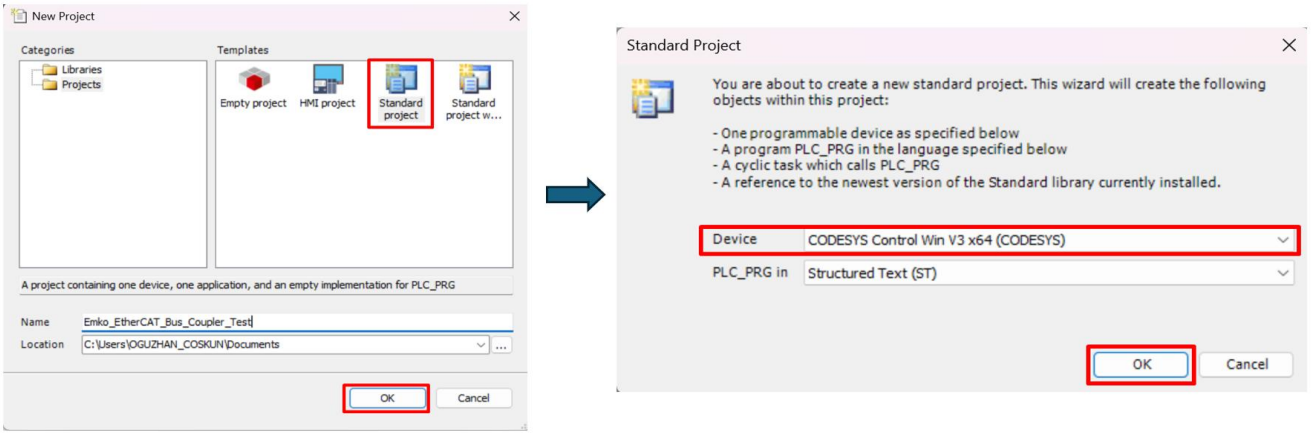
Adım 1 : Proje Oluşturma

CODESYS V3.5 SP21 Patch 1 IDE'de **File** menüsünden **New Project** yolunu izleyerek veya arayüzde kısayol olarak yer alan **New Project** sekmesinden proje oluşturulmalıdır. İlgili arayüz ve sekmeler Şekil 42'de gösterilmektedir.



Şekil 42. CODESYS V3.5 arayüzü ve proje oluşturma sekmeleri

Burada Standart Project seçilip isim ve dosya yolu ayarlanarak işleme devam edilir. Daha sonra karşımıza çıkan proje ayar sayfasında Device olarak yüklenilmiş olan CODESYS Control Win V3 x64 seçilmelidir. Dil olarak ise bu uygulamada Structered Test (ST) kullanılmıştır. İşlem adımları Şekil 43'te gösterilmiştir.



Şekil 43. Proje oluşturma ayarları

Adım 2 : Soft PLC ve Gateway Hizmet ve Yazılımlarının Başlatılması

EtherCAT sisteminin PC üzerinde çalıştırılabilmesi için, kurulan yazılım bileşenlerinin doğru şekilde başlatılması ve birbirleriyle haberleşebilecek durumda olması gerekir. Bu noktada üç temel bileşen aktif olmalıdır:

1. CODESYS Gateway V3

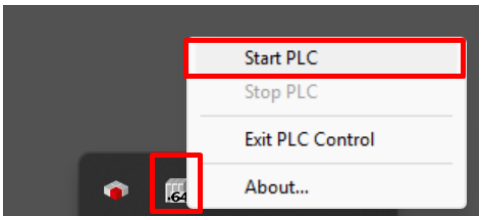
- **Rolü:** CODESYS IDE ile Soft PLC (Control Win) arasında bağlantı kurar.
- **Kurulumu:** IDE yüklenirken otomatik olarak kurulmaktadır.
- **Başlatılması:** Bir Windows uygulaması olarak çalışır. Eğer aktif değilse uygulamayı bularak çalıştırınız.

2. CODESYS Control Win V3 – x64 (Soft PLC)

- **Rolü:** Soft PLC
- **Başlatılması:**. CODESYS Control Win V3 - x64 uygulaması çalıştırılarak başlatılır.
- **Durum Kontrolü:** Başarılı şekilde başlatıldığında, konsol ekranında "CODESYS Control ready" ifadesi görünür ve çalıştığına dair aşağıdaki gibi bir çıktı alınır:
  `Cmp=CM, Class=1, Error=0, Info=34, pszInfo= CODESYS Control ready`

3. CODESYS Control Win SysTray Aracı

- **Rolü:** Soft PLC'nin çalıştırılması (Start), durdurulması (Stop) gibi işlemleri kontrol eder.
- **Kullanımı:** Sistem tepsisinde (sağ alt köşede saat yanındaki alan) yer alır. Eğer görünmüyorsa, SysTray uygulaması manuel olarak çalıştırılmalıdır (örneğin kurulum klasöründen).
- PLC **Start** edilmeden, Gateway ile bağlantı kurmak mümkün değildir çünkü Soft PLC dinleme moduna geçmemiş olur. Bu nedenle Şekil 44'te gösterildiği gibi sistem tepsisinde yer alan **CODESYS Control Win SysTray** aracından Start PLC işleminin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.



Şekil 44. CODESYS Control Win SysTray'den Soft PLC'nin başlatılması

Adım 3 : CODESYS Device Bağlantı Ayarlarının Yapılması

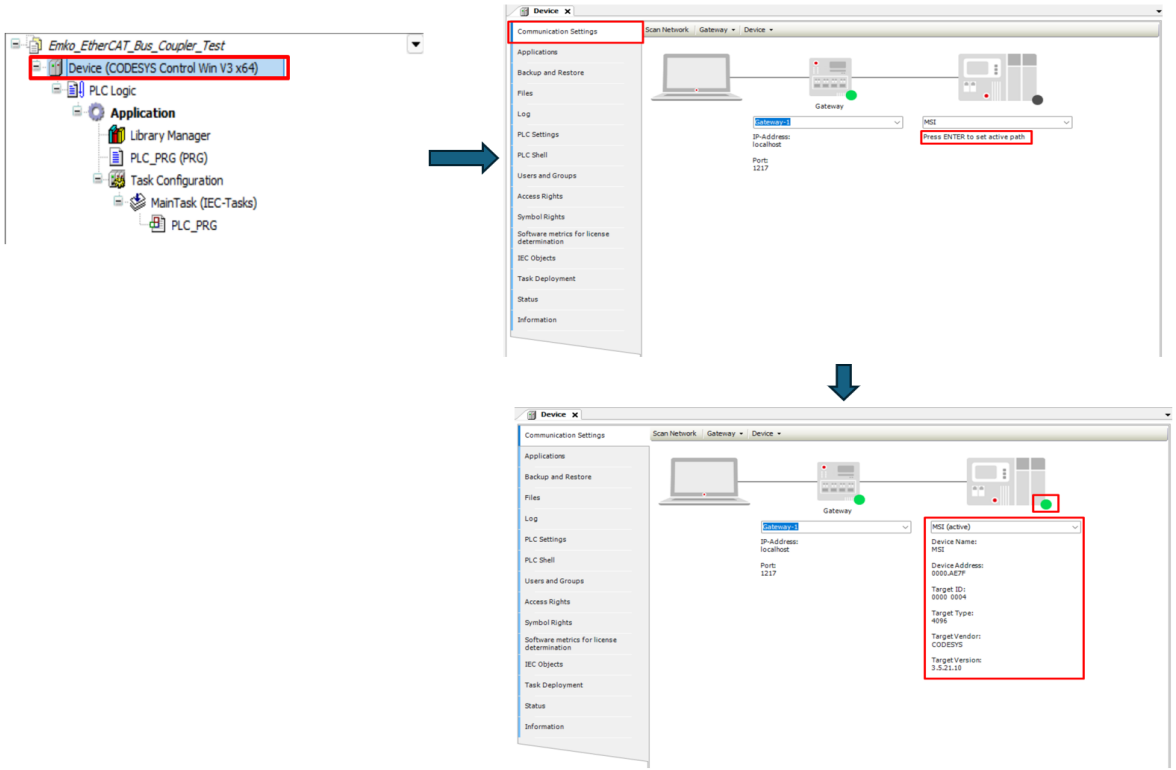
CODESYS IDE üzerinde oluşturulan projede, cihazın (Soft PLC) haberleşme ayarlarının yapılabilmesi için sol taraftaki Devices sekmesinden tanımlı olan Device (CODESYS Control Win V3 x64) üzerine çift tıklanır. Açılan pencerede Communication Settings bölümü aktif hale gelir.

Bu arayüzde, bilgisayar ile Soft PLC (CODESYS Control Win) arasında bağlantıyı sağlayan Gateway yapılandırması yer alır. Gateway, CODESYS IDE ile runtime (çalışma zamanı) ortamı arasında haberleşmeyi sağlayan ara katmandır. IDE kurulumu sırasında CODESYS Gateway V3 servisi otomatik olarak yüklenir, ancak çalışır durumda olması gerekir. Servis çalışmıyorsa Windows hizmetlerinden manuel olarak başlatılmalıdır.

Gateway seçimi çoğunlukla otomatik olarak yapılır ve bilgisayar adıyla birlikte görünür (örneğin: MSI, localhost). Ağ üzerindeki port varsayılan olarak 1217'dir. Bu ekranda:

- Sol kutucukta Gateway seçilir (örneğin: Gateway-1)
- Sağ kutucukta bilgisayar adı seçilir (örneğin: MSI)
- Seçimden sonra bağlantı yolunun aktif hale gelmesi için Enter tuşuna basılır.
- Eğer bağlantı başarılı ise, Gateway ile cihaz arasında yeşil bağlantı simgesi belirir.

İşlem adımları Şekil 45'te gösterilmiştir.



Şekil 45. IDE ile Soft PLC'nin gateway ara katmanı ile bağlantısının sağlanması

Adım 4 : EtherCAT Master'ın eklenmesi

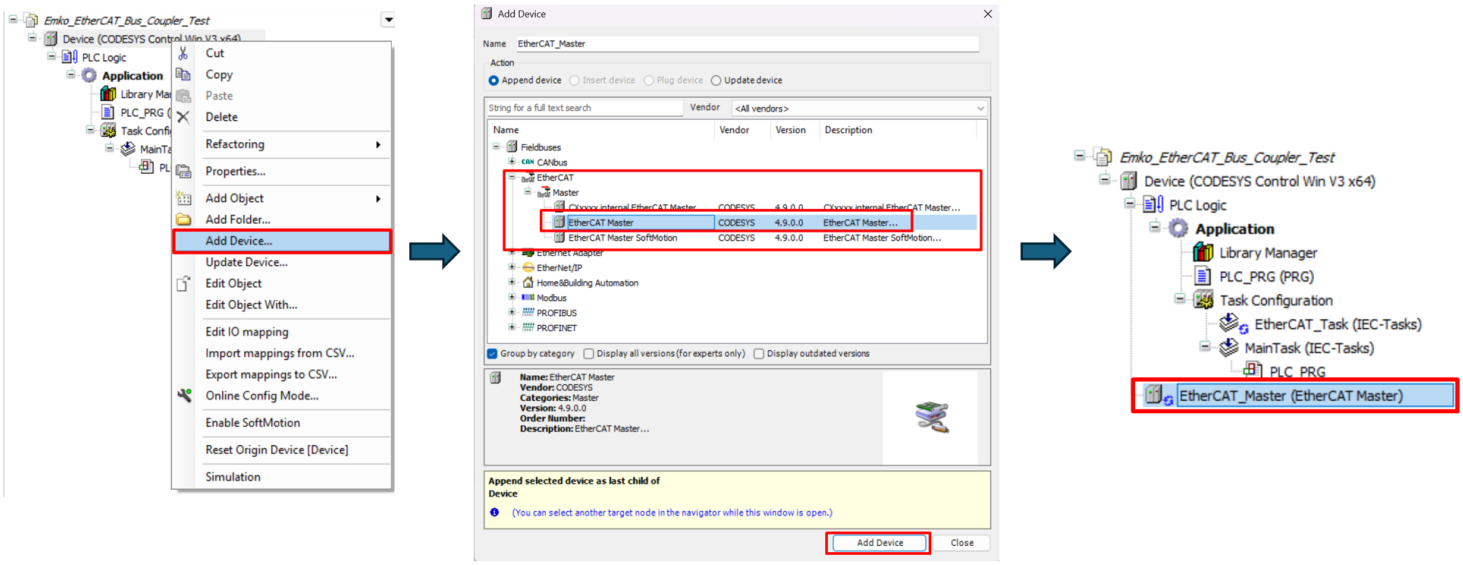
EtherCAT tabanlı bir sistemde, ağın yönetilebilmesi ve veri alışverişinin sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için bir **EtherCAT Master** bileşeni gereklidir. Bu master cihaz, ağa bağlı tüm EtherCAT slave modülleriyle (örneğin Bus Coupler) haberleşmeyi yöneten kontrol birimidir.

Bu uygulamada kullanılacak olan **Bus Coupler** bir **EtherCAT slave** cihazıdır. Bu nedenle, slave cihazla haberleşebilecek bir EtherCAT Master modülünün projeye eklenmesi zorunludur. CODESYS üzerinde bu master görevini, projeye eklenecek bir **EtherCAT Master aygıtı (device)** üstlenir.

EtherCAT Master'ın projeye eklenmesi için aşağıdaki adımlar izlenir:

1. **Device (CODESYS Control Win V3 x64)** satırına **sağ tıklanır**.
2. Açılan menüden **"Add Device"** seçeneği seçilir.
3. Açılan cihaz seçim penceresinde, EtherCAT başlığı altındaki Master bölümünden **"EtherCAT Master (EtherCAT)"** cihazı seçilir
4. **"Add Device"** butonuna tıklanarak projeye eklenir.

Bu işlem tamamlandığında, proje ağacında kontrol cihazı altında EtherCAT Master bileşeni görüntülenir ve bu bileşen üzerinden slave cihazların (örneğin Bus Coupler) taranması ve yapılandırılması mümkün hale gelir. İşlem adımları Şekil 46'da gösterilmiştir.



Şekil 46. EtherCAT Master cihazının eklenmesi

Adım 5 : EtherCAT Master Network Adaptör Ayarı

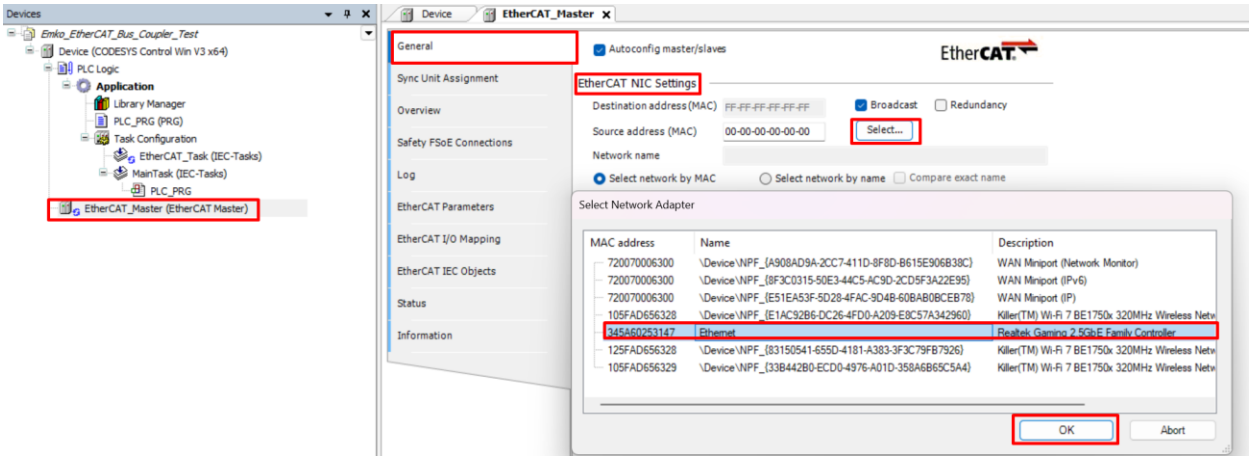
EtherCAT haberleşmesinin gerçekleştirilebilmesi için, EtherCAT Master cihazının hangi fiziksel ağ arabirimi (Ethernet adaptörü) üzerinden haberleşeceğinin belirlenmesi gerekir. Bu ayar, CODESYS üzerinden eklenen EtherCAT Master bileşenine özel olarak yapılır.

İlgili işlem için aşağıdaki adımlar izlenir:

1. Proje ağacında yer alan **EtherCAT_Master (EtherCAT Master)** cihazına çift tıklanır.
2. Açılan arayüzde sol menüden **"General"** sekmesi seçilir.
3. Ardından, **"EtherCAT NIC Settings"** başlığı altında bulunan **"Select..."** butonuna tıklanır.
4. Karşımıza çıkan adaptör seçim ekranında, bilgisayarda tanımlı tüm ağ arabirimleri listelenir[13].
5. Buradan EtherCAT ağına fiziksel olarak bağlı olan adaptör (örneğin, "Realtek Gaming 2.5GbE Family Controller") seçilir ve **OK** butonuna tıklanarak işlem tamamlanır.

Bu işlem adımları Şekil 47'de örnek bir adaptör seçimi ile görsel olarak sunulmuştur.

*Not 13: Soft PLC'nin bilgisayarınızda yüklü olan ağ arabirimlerini (Ethernet adaptörlerini) doğru şekilde tanıyabilmesi için **Npcap** yazılımının sistemde kurulu olması gerekmektedir.*
İndirme bağlantısı: https://npcap.com/#download



Şekil 47. EtherCAT Master Network Adaptör ayarı

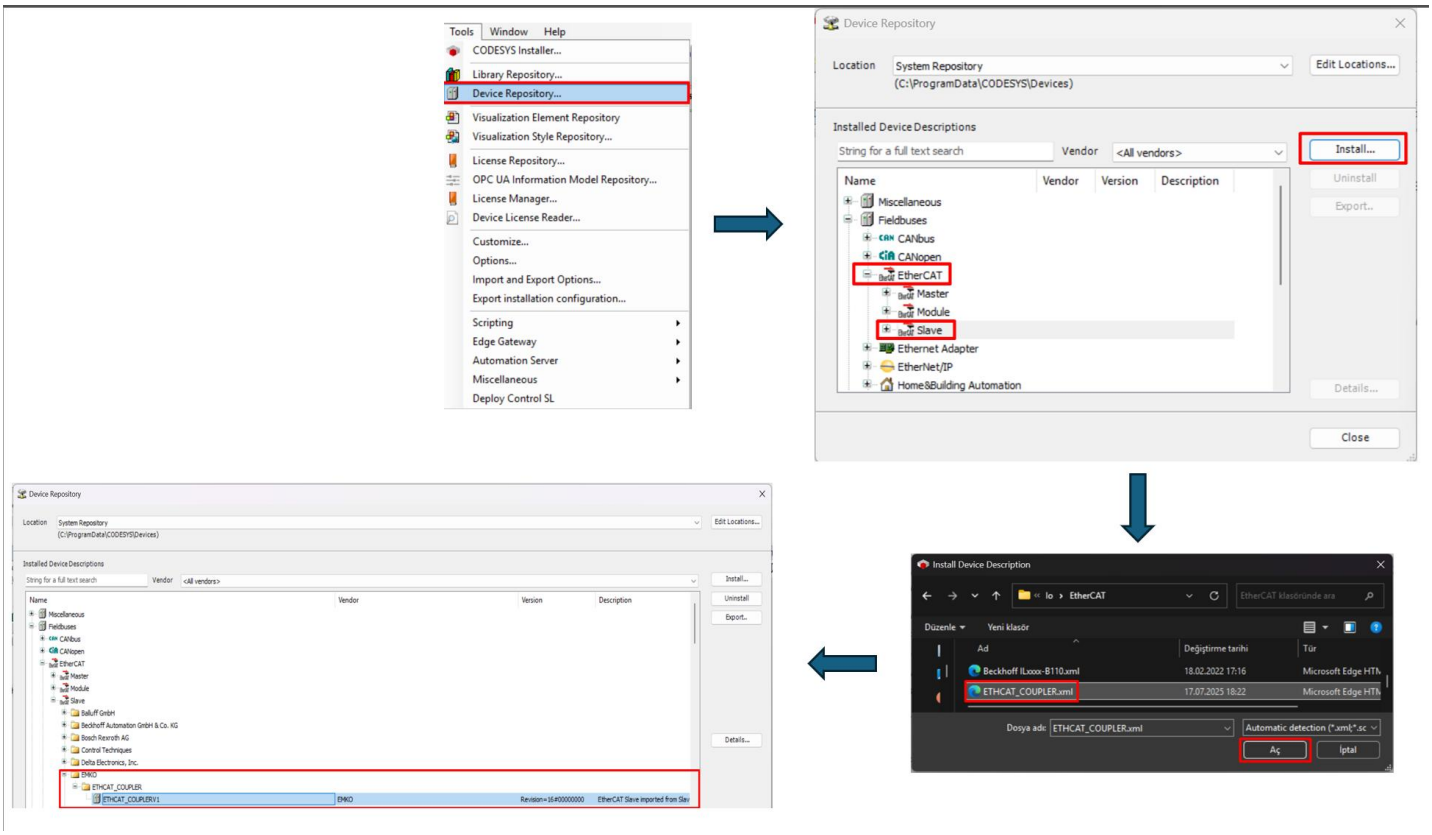
Adım 6 : IPERTU EtherCAT Bus Coupler Modülünün Device Kütüphanesine Eklenmesi

EtherCAT haberleşmesinde her bir slave cihazın tanımlanabilmesi için, ilgili cihaza ait ESI (EtherCAT Slave Information) dosyasının geliştirme ortamına tanıtılması gerekir. Bu işlem sayesinde cihazın PDO/SDO yapısı, tanımlayıcı bilgileri ve konfigürasyon seçenekleri IDE tarafından tanınabilir hâle gelir.

Bu adımda, EMKO tarafından geliştirilen IPERTU EtherCAT Bus Coupler modülünün CODESYS içerisine tanıtılması sağlanacaktır.
İşlem Adımları:

1. CODESYS üst menüsünden **Tools** sekmesi açılır.
2. Açılan menüden **Device Repository...** seçeneğine tıklanır.
3. Karşımıza gelen pencerede **EtherCAT** başlığı altında **Slave** sekmesi seçilir.
4. Sağda yer alan **Install...** butonuna tıklanır.
5. Açılan dosya seçim penceresinden, IPERTU EtherCAT Bus Coupler cihazına ait ESI dosyası olan **ETHCAT_COUPLER_tr.xml** seçilir ve **Aç** butonuna tıklanarak yükleme işlemi tamamlanır.

İşlem tamamlandığında, Slave cihaz listesi altında "EMKO" adlı bir üretici klasörü oluşur ve bu klasörün içinde IPERTU EtherCAT Bus Coupler modülü yer alır. işlem adımları Şekil 48'te gösterilmiştir.



Şekil 48. IPERTU EtherCAT Bus Coupler ESI dosyası yükleme adımları

Adım 7 : EtherCAT Bus Coupler Modülünün Projeye Eklenmesi ve Çalıştırılması

Ekleme işlemine başlamadan önce, Şekil 16'da gösterildiği gibi EtherCAT Bus Coupler modülünün 24V DC besleme bağlantısının sağlanmış olması ve Ethernet kablosunun kişisel bilgisayarın Ethernet portu ile Bus Coupler üzerindeki "IN" olarak etiketlenmiş Ethernet soketi arasında bağlantı kuracak şekilde takılmış olması gerekmektedir.

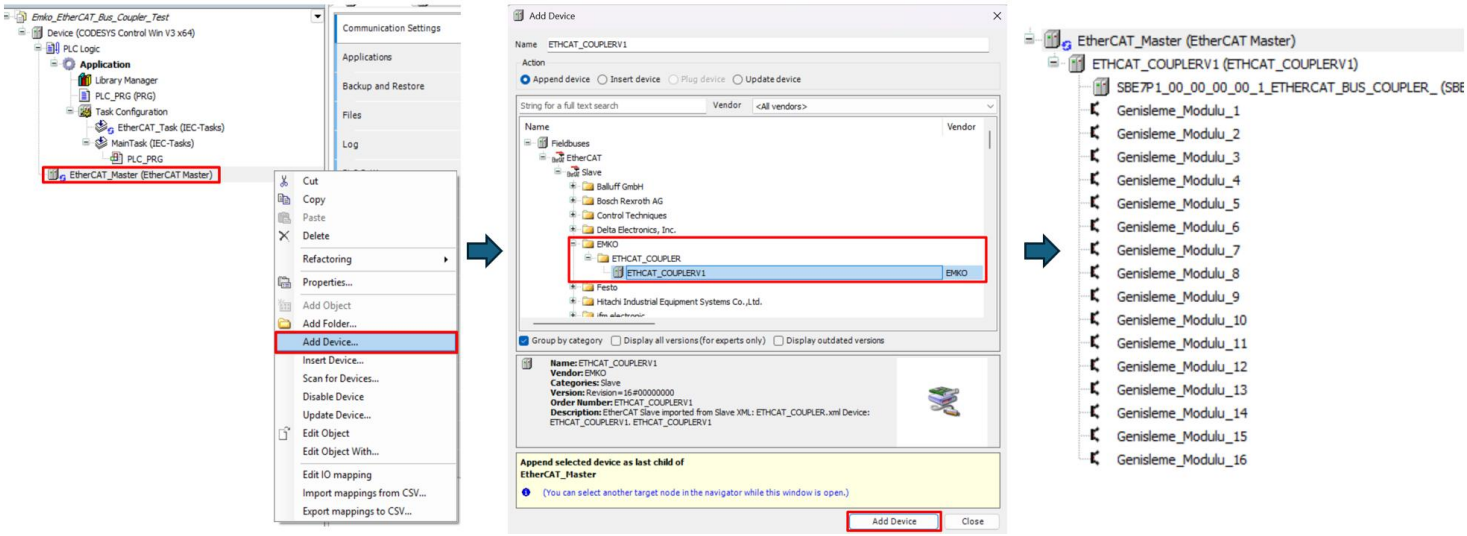
EtherCAT Bus Coupler modülünün tanıtılarak projeye dahil edilmesi, manuel ve otomatik olarak iki şekilde gerçekleştirilmektedir.

Manuel Tanımlama

EtherCAT Bus Coupler modülü, projeye manuel olarak aşağıdaki adımlar takip edilerek eklenebilir:

1. Daha önce projeye eklenmiş olan **EtherCAT Master** cihazı üzerinde **sağ tıklanır**.
2. Açılan menüden **Add Device...** seçeneği seçilir.
3. Açılan pencerede **Slave cihazlar** listesinden, daha önce Device Repository'ye yüklenmiş olan **EMKO > ETHCAT_COUPLER > ETHCAT_COUPLERV1** cihazı seçilir.
4. Sağ alttaki **Add Device** butonuna tıklanarak modül projeye eklenir.

Bu işlem sonucunda, EtherCAT Master'ın altında **SBE7P1 kodlu** bir Bus Coupler modülü listelenir ve altına ön tanımlı olarak 16 adet genişleme modül slotu (Genisleme_Modulu_1 ... Genisleme_Modulu_16) otomatik olarak eklenmiş olur. İşlem adımları Şekil 49'da gösterilmiştir.



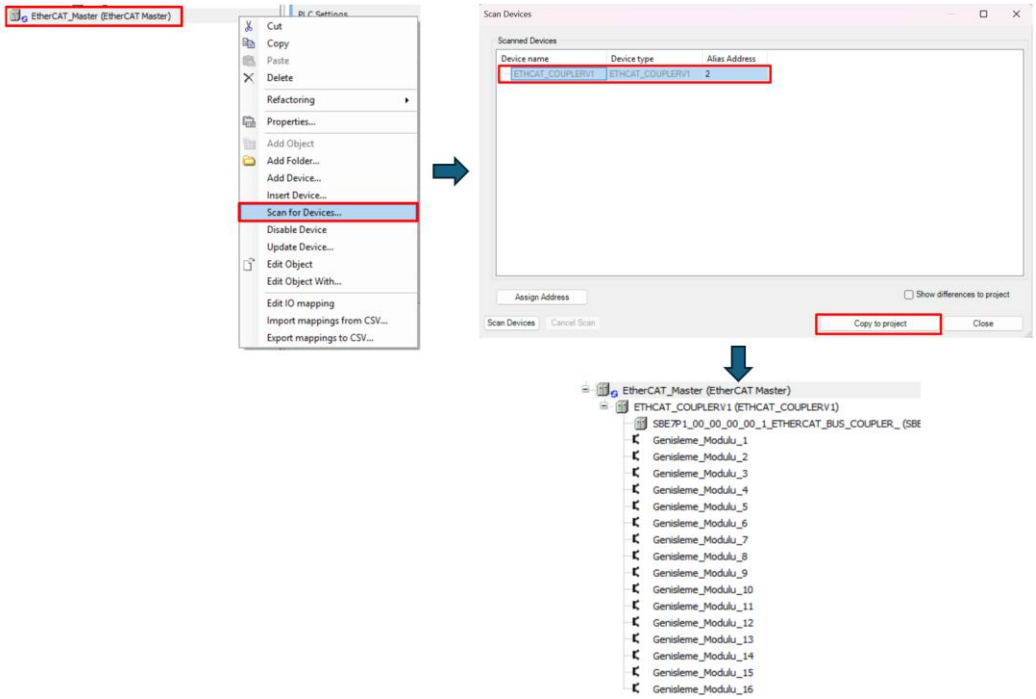
Şekil 49. Manuel tanımlama ile Bus Coupler modülünün eklenmesi

Otomatik Tanımlama

EtherCAT Bus Coupler modülü, projeye otomatik olarak da eklenebilir. Bu yöntem, sistemde aktif olarak bağlı olan slave cihazların taranarak otomatik şekilde projeye eklenmesini sağlar. İşlem adımları şu şekildedir:

1. Projeye daha önce eklenmiş olan **EtherCAT Master** cihazı üzerinde **sağ tıklanır**.
2. Açılan menüden **Scan for Devices...** seçeneği seçilir.
3. Açılan tarama penceresinde bağlı olan cihazlar taranır ve sonuçlar listelenir.
4. Tarama sonucunda **ETHCAT_COUPLERV1** cihazı algılanır ve listede görüntülenir.
5. Bu cihaz seçili iken, sağ alt köşedeki **Copy to project** butonuna tıklanır.

Bu işlemin ardından, EtherCAT Master altında otomatik olarak **Bus Coupler modülü** ve bağlı **genişleme modülleri** slotları eklenmiş olur. İlgili işlem adımları Şekil 50 üzerinde görsel olarak gösterilmiştir.



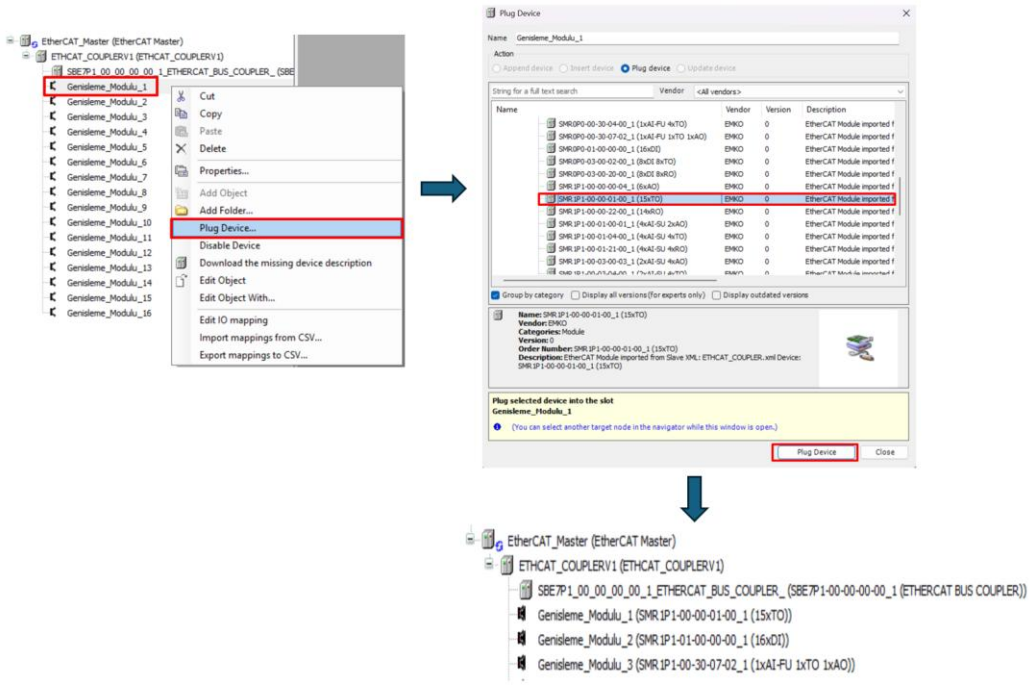
Şekil 50. Otomatik tanımlama ile Bus Coupler modülünün eklenmesi

Adım 8 : Bağlı Olan Genişleme Modüllerinin Slotlara Yerleştirilmesi

EtherCAT Bus Coupler modülüne bağlı genişleme modülleri, sistemde fiziksel olarak hangi sıradaysa, projede de aynı sıraya göre yerleştirilmelidir. Bu işlem, her bir slot için manuel olarak gerçekleştirilir. İşlem adımları:

1. **Genisleme_Modulu_#** (örneğin Genisleme_Modulu_1) slotu üzerine **sağ tıklanır**.
2. Açılan menüden **Plug Device...** seçeneği seçilir.
3. Açılan pencerede, ilgili slota fiziksel olarak bağlı olan genişleme modülü listeden seçilir.
4. Seçim yapıldıktan sonra **Plug Device** butonuna tıklanarak modül slota yerleştirilmiş olur.
5. Bu işlem, sistemdeki tüm genişleme modülleri için tekrarlanır.

İlgili işlem adımları Şekil 51 üzerinde görsel olarak sunulmuştur.



Şekil 51. Genişleme modüllerinin slotlara yerleştirilmesi

Bu adımların doğru bir şekilde uygulanması, sistemin hem konfigürasyon hem de çalışma esnasında sorunsuz çalışması açısından önemlidir. Fiziksel kurulumla uyumsuz bir slot eşlemesi yapılırsa sistem OP moduna geçemez ve daha önce bahsedilen hata durumları oluşarak kullanıcı bilgilendirilir.

Adım 9 : Genişleme Modüllerinde Giriş/Çıkış Okuma ve Parametre Yapılandırma

PDO alanları üzerinden dijital/analog giriş ve çıkışlara ait çevrimsel veriler okunabilir ve yazılabilir. CODESYS içerisinde bu alanlar **I/O Mapping** sekmesiyle gösterilmektedir.

Ancak bazı modüller, belirli işlevleri yerine getirebilmek için ek yapılandırma parametrelerine ihtiyaç duyar. Örneğin, üçüncü genişleme modülü olan **SMR1P1-00-30-07-02_1** modülünde **PT-100 sıcaklık sensörü** kullanılacağı için bu modülün **AI0_Sensor_Tipi** parametresi uygun şekilde yapılandırılmalıdır.

TwinCAT gibi gelişmiş arayüzlerde bu tarz parametre ayarları, çalışma anında (run-time) doğrudan **SDO menüsü** üzerinden yapılabilirken, CODESYS'te bu tarz bir SDO arayüzü mevcut değildir. Bu nedenle SDO işlemleri iki şekilde gerçekleştirilebilir:

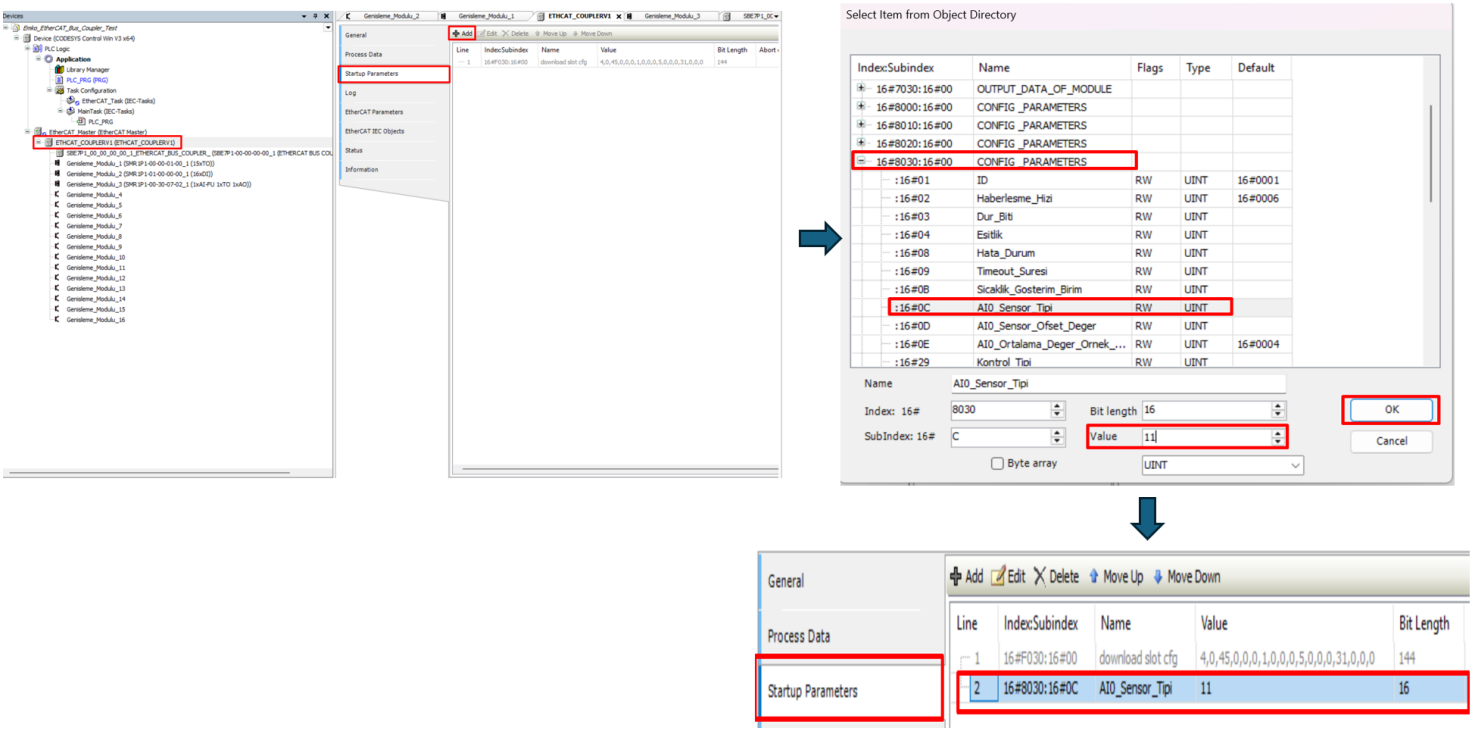
1. **PLC programı içerisinde** SDO erişim fonksiyon blokları kullanılarak,
2. **Sistem RUN durumuna geçmeden önce**, **Startup Parameters** üzerinden önceden tanımlanarak.

Bu uygulama notunda, **Startup Parameters** yöntemi kullanılarak PT-100 sensör tipi için gerekli parametre ayarının nasıl yapılacağı gösterilmektedir.

PT-100 Ayarı İçin İşlem Adımları:

1. Proje ağacında, **EtherCAT_Master** altındaki **ETHCAT_COUPLERV1** cihazına çift tıklanarak detay ekranına girilir.
2. **Startup Parameters** sekmesi seçilir.
3. Sağ üstte yer alan **Add** butonuna tıklanarak SDO nesne listesinin yer aldığı Obje kütüphanesi açılır.
4. Açılan listede, üçüncü genişleme modülüne karşılık gelen **Index: 0x8030 / SubIndex: 0x0C** adresindeki **AI0_Sensor_Tipi** parametresi seçilir.
5. Alt kısımdaki **Value** alanına PT-100 sensör tipi için gerekli olan **11** değeri yazılır ve **OK** butonuna tıklanır.

Bu sayede sistem çalışmaya başladığında, ilgili parametre değeri otomatik olarak yazılır ve modül PT-100 sensör tipine uygun olarak yapılandırılmış olur. İşlem adımları Şekil 52'de gösterilmektedir.



Şekil 52. Ön tanımlı ayarla PT-100 sensör tipinin ayarlanma işlemi

Cihaz yapılandırması ve parametre ayarlarının ardından sistem, çalışma (RUN) moduna geçirilmelidir. Bu işlem, **Project** menüsü altındaki **Online Config Mode** seçeneği ile gerçekleştirilir. Sistem yapılandırması doğruysa — yani:

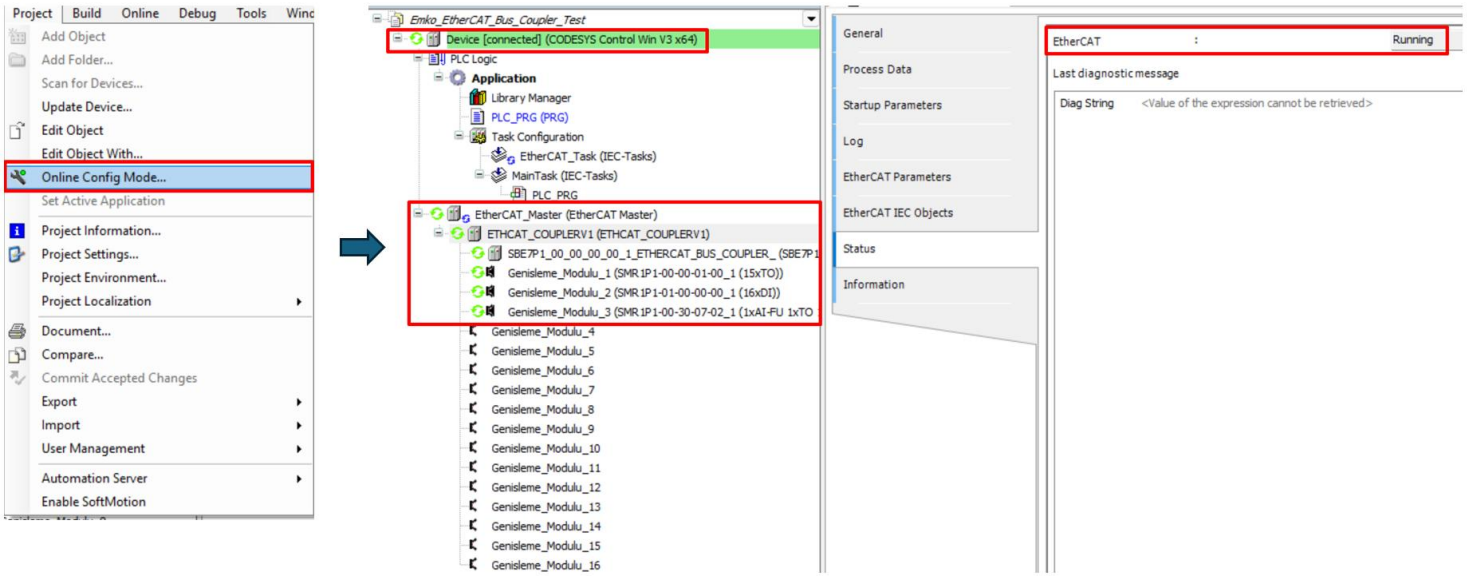
- Genişleme modüllerine doğru slotlar atanmışsa,
- EtherCAT bağlantılarında fiziksel sorun (kablo, port vs.) yoksa,
- Master-Slave haberleşmesi uyumluysa,

bu durumda sistem **çalışma moduna başarıyla geçer.**

Cihaz RUN durumundayken:

- Proje ağacında **Device** başlığı altında "connected (CODESYS Control Win V3 x64)" ibaresi görünür ve simge **yeşil** olur.
- EtherCAT Master ve bağlı tüm slave modüller (bus coupler dahil) **yeşil döngü** simgesi ile gösterilir.
- Sağ panelde yer alan **Status > EtherCAT** sekmesinde sistem durumu **"Running"** olarak görünür.
- Donanım üzerinde de **bus coupler üzerindeki RJ45 port LED'leri** sürekli sarı ve **NS LED'i** sürekli yeşil yanar. Bu da fiziksel bağlantının ve veri alışverişinin sorunsuz olduğunu gösterir.

Bu durum, yapılandırmanın tamamlandığını ve genişleme modülleriyle birlikte sistemin çevrimsel haberleşmeye hazır hale geldiğini gösterir. Bahsedilen işlemler Şekil 53'te gösterilmiştir.



Şekil 53. EtherCAT Bus Coupler modülünün çalıştırılarak haberleşmenin başlaması işlem adımları

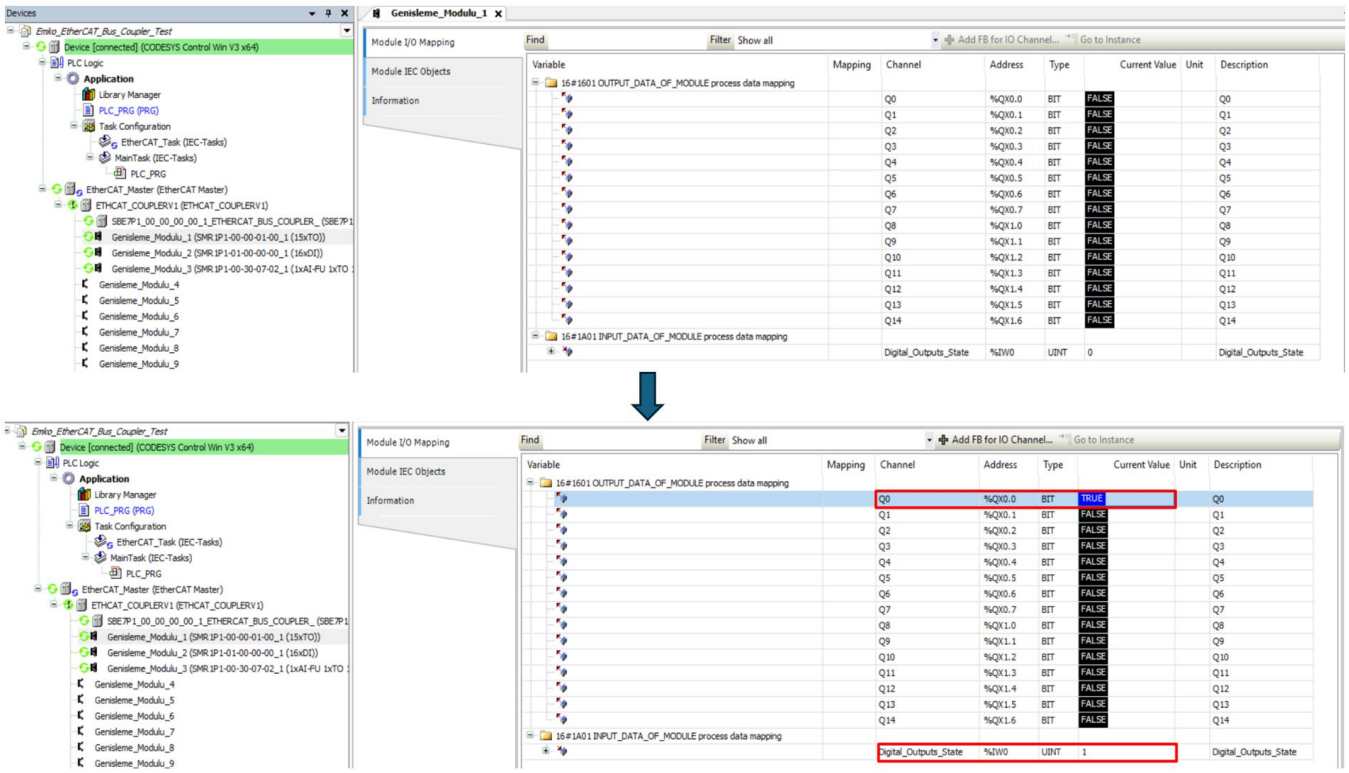
I/O Mapping Alanı Üzerinden Giriş/Çıkış Kontrolü

Önceki bölümde sıcaklık sensörü gibi özel işlevlere sahip giriş-çıkışlar için gerekli SDO parametre yapılandırmaları gerçekleştirilmiştir. Bu yapılandırmalar tamamlandıktan sonra, modül üzerindeki dijital veya analog giriş-çıkışlara CODESYS yazılımı üzerinden doğrudan erişilerek istenen uygulamalar gerçekleştirilebilmektedir.

Örneğin, **SMR1P1-00-00-01-00_1 (15xTO)** kodlu genişleme modülündeki dijital çıkışlardan biri olan Q0 çıkışı ile bir AC lamba sürülmektedir. Bu çıkışın aktif edilerek lambanın çalıştırılması için şu adımlar izlenebilir:

1. **Genişleme_Modulu_1** isimli modüle çift tıklanarak açılan arayüzde**, 16#1601 OUTPUT_DATA_OF_MODULE process data mapping** başlığı altında tüm dijital çıkışlar listelenmektedir. Bu alanda **Q0** satırı bulunur. "**Current Value"** sütunundaki hücreye çift tıklanarak değer FALSE'tan TRUE'a çevrilir. Böylece çıkış aktif hale gelir ve çıkış terminaline bağlı olan SSR tetiklenir. Pozitif tetikleme mantığıyla çalışan bu yapı sayesinde SSR çıkışı üzerinden bağlı olan AC lamba çalışır.
2. Aynı modülün **16#1A01 INPUT_DATA_OF_MODULE process data mapping** başlığı altındaki **Digital_Outputs_State** isimli değişken, çıkışların durum bilgisini içermektedir. Q0 çıkışı aktif edildiğinde bu değişkenin değeri 1 olur; yani çıkışın ilk biti set durumundadır. Bu sayede çıkışın gerçekten aktif olup olmadığı kontrol edilebilir.

Bu işlem, Şekil 54'te gösterilmektedir



Şekil 54. SMR1P1-00-00-01-00_1 (15xTO) kodlu genişleme modülünde Q0 çıkışının aktif edilmesi ve çıkış durumunun okunması

Q0 çıkışına karşılık gelen I0 dijital girişinin okunması:

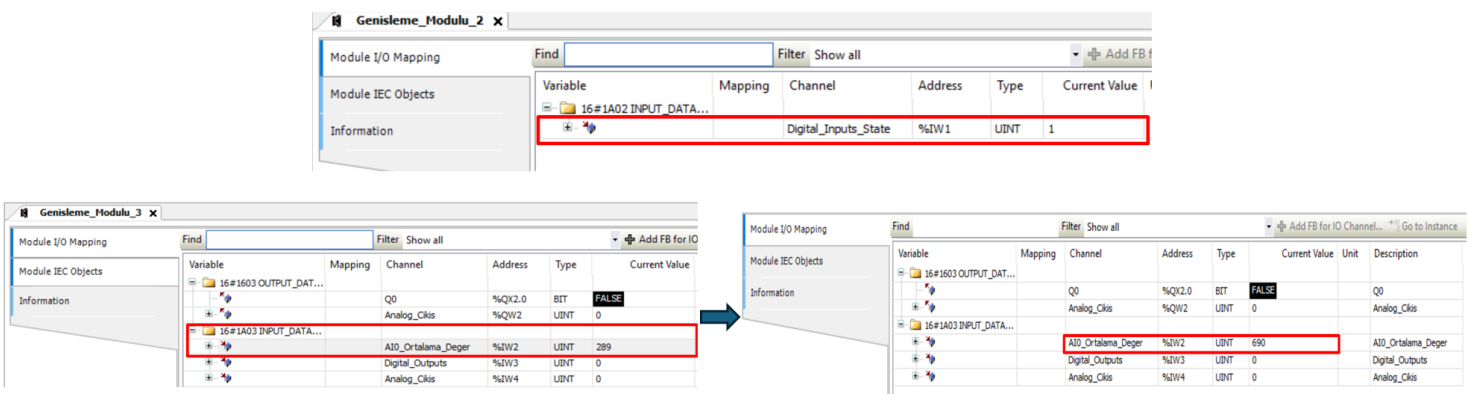
Q0 çıkışı, ikinci genişleme modülü olan SMR1P1-01-00-00-00_1 (16xDI) üzerindeki **I0** dijital girişine bağlanmıştır. Bu bağlantının doğrulanması için, **Genisleme_Modulu_2** başlıklı modül öğesine çift tıklanarak Module I/O Mapping sekmesine geçilir.

Şekil 55'te görüldüğü gibi, bu modülün **16#1A02 INPUT_DATA_OF_MODULE** başlığı altında listelenen Digital_Inputs_State değişkeni, tüm dijital girişlerin durumunu temsil etmektedir. Eğer Q0 çıkışı aktif hale getirilmişse, bu durumda Digital_Inputs_State değişkeninin **0. biti 1** olacaktır. CODESYS arayüzünde bu değerin **Current Value** sütununda 1 olarak gözlemlenmesi, I0 girişinin aktif olduğunu gösterir.

Analog giriş üzerinden sıcaklık değerinin okunması:

Üçüncü genişleme modülü olan SMR1P1-00-30-07-02_1 (1xAI-FU, 1xTO, 1xAO) modülüne bağlı olan **PT100 sıcaklık sensörü**, analog giriş üzerinden veri sağlamaktadır. Bu veriye ulaşmak için, **Genisleme_Modulu_3** modülüne çift tıklanır ve Module I/O Mapping sekmesi görüntülenir.

Şekil 55'te gösterildiği üzere, modülün **16#1A03 INPUT_DATA_OF_MODULE** başlığı altında yer alan AI0_Ortalama_Deger değişkeni üzerinden sıcaklık bilgisi okunur.

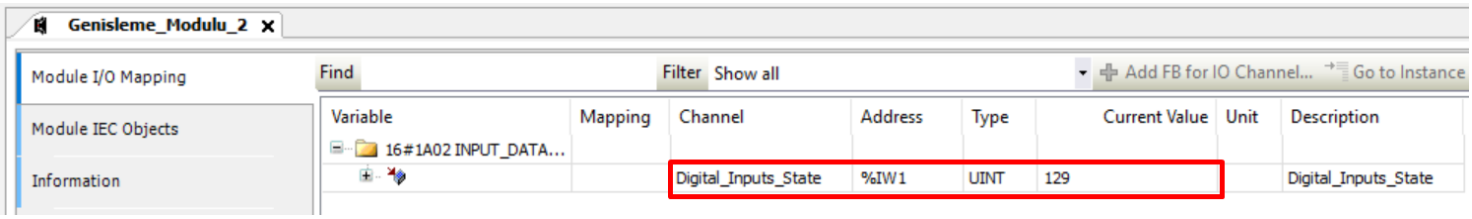


Şekil 55. SMR1P1-01-00-00-00_1 (16xDI) kodlu genişleme modülündeki dijital girişin ve SMR1P1-00-30-07-02_1 (1xAI-FU, 1xTO, 1xAO) kodlu genişleme modülündeki analog giriş değerinin okunması

Anahtar Durumuna Göre Dijital Giriş Okunması:

Uygulama senaryosu kapsamında, ikinci genişleme modülü olan SMR1P1-01-00-00-00_1 (16xDI) üzerinde yer alan I7 dijital girişine bir manuel anahtar bağlanmıştır. Anahtarın bir ucu +24 V hattına, diğer ucu ise doğrudan I7 girişine bağlanmıştır. Anahtar kapatıldığında, I7'ye (7.bit) lojik '1' uygulanarak giriş aktif hale getirilir. Ayrıca, hali hazıırda Q0 çıkışı ile I0 (0.bit) girişi birbirine bağlandığından ve bu çıkış da aktif olduğundan I0 da aktif durumdadır.

Bu durumda Şekil 56'da da görüldüğü üzere Digital_Inputs_State değişleninde bu iki bitin toplamı olan 129 ($2^7 + 2^0$) değeri okunur.



Şekil 56. SMR1P1-01-00-00-00_1 (16xDI) kodlu genişleme modülünde anahtar kapatılınca okunan giriş değeri

EK A: Genişleme Modullerinin Module Ident ve Tip Bilgileri

Çizelge 4. Genişleme modüllerinin Module Ident ve Tip Bilgileri

No	Modül Kodu	Module Ident Değeri	Modül Tip Değeri
1	SMR1P1-00-00-01-00_1 (15xTO)	0x00000001	0xA4
2	SMR1P1-00-00-22-00_1 (14xRO)	0x00000002	0xA3
3	SMR0P0-00-00-01-00_1 (15xTO)	0x00000003	0x74
4	SMR0P0-00-00-22-00_1 (14xRO)	0x00000004	0x73
5	SMR1P1-01-00-00-00_1 (16xDI)	0x00000005	0xA2
6	SMR0P0-01-00-00-00_1 (16xDI)	0x00000006	0x72
7	SMR1P1-03-00-02-00_1 (8xDI 8xTO)	0x00000007	0xA1
8	SMR1P1-03-00-20-00_1 (8xDI 8xRO)	0x00000008	0xA0
9	SMR0P0-03-00-02-00_1 (8xDI 8xTO)	0x00000009	0x71
10	SM01P0-03-00-20-00_1 (8xDI 8xRO)	0x0000000A	0x70
11	SMR1P1-00-01-04-00_1 (4xAI -SU 4xTO)	0x0000000B	0xAC
12	SMR1P1-00-20-04-00_1 (4xAI -VI 4xTO)	0x0000000C	0xAD
13	SMR1P1-00-03-04-00_1 (2xAI -SU 4xTO)	0x0000000D	0xA9
14	SMR1P1-00-21-04-00_1 (2xAI -VI 4xTO)	0x0000000E	0xAA
15	SMR0P0-00-01-04-00_1 (4xAI -SU 4xTO)	0x0000000F	0x7C
16	SMR0P0-00-20-04-00_1 (4xAI -VI 4xTO)	0x00000010	0x7D
17	SMR0P0-00-03-04-00_1 (2xAI -VI 4xTO)	0x00000011	0x79
18	SMR0P0-00-21-04-00_1 (2xAI -VI 4xTO)	0x00000012	0x7A
19	SMR1P1-00-12-04-00_1 (2xTC 4xTO)	0x00000013	0xAB
20	SMR1P1-00-10-04-00_1 (4xTC 4xTO)	0x00000014	0xAE
21	SMR0P0-00-12-04-00_1 (2xTC 4xTO)	0x00000015	0x7B
22	SMR0P0-00-10-04-00_1 (4xTC 4xTO)	0x00000016	0x7E
23	SMR1P1-00-03-00-03_1 (2xAI -SU 4xAO)	0x00000017	0xB1
24	SMR1P1-00-21-00-03_1 (2xAI -VI 4xAO)	0x00000018	0xB2
25	SMR1P1-00-20-00-01_1 (4xAI -VI 2xAO)	0x00000019	0xB4
26	SMR1P1-00-01-00-01_1 (4xAI -SU 2xAO)	0x0000001A	0xB3
27	SMR0P0-00-03-00-03_1 (2xAI -SU 4xAO)	0x0000001B	0x81
28	SMR0P0-00-21-00-03_1 (2xAI -VI 4xAO)	0x0000001C	0x82
29	SMR0P0-00-20-00-01_1 (4xAI -VI 2xAO)	0x0000001D	0x84
30	SMR0P0-00-01-00-01_1 (4xAI -SU 2xAO)	0x0000001E	0x83
31	SMR1P1-00-30-07-02_1 (1xAI -FU 1xTO 1xAO)	0x0000001F	0xAF
32	SMR1P1-00-30-04-00_1 (1xAI -FU 4xTO)	0x00000020	0xB0
33	SMR0P0-00-30-07-02_1 (1xAI -FU 1xTO 1xAO)	0x00000021	0x7F
34	SMR0P0-00-30-04-00_1 (1xAI -FU 4xTO)	0x00000022	0x80
35	SMR1P1-00-01-21-00_1 (4xAI -SU 4xRO)	0x00000023	0xA7
36	SMR1P1-00-03-21-00_1 (2xAI -SU 4xRO)	0x00000024	0xA5
37	SMR1P1-00-20-21-00_1 (4xAI -VI 4xRO)	0x00000025	0xA8
38	SMR1P1-00-21-21-00_1 (2xAI -VI 4xRO)	0x00000026	0xA6
39	SMR0P0-00-01-21-00_1 (4xAI -SU 4xRO)	0x00000027	0x77
40	SMR0P0-00-03-21-00_1 (2xAI -SU 4xRO)	0x00000028	0x75
41	SMR0P0-00-20-21-00_1 (4xAI -VI 4xRO)	0x00000029	0x78
42	SMR0P0-00-21-21-00_1 (2xAI -VI 4xRO)	0x0000002A	0x76
43	SMR1P1-00-00-00-04_1 (6xAO)	0x0000002B	0xB5
44	SMR0P0-00-00-00-04_1 (6xAO)	0x0000002C	0x85
45	SMR1P1-05-51-04-02_1 (1xLoadcell 2xDI 4xDQ 1xAQ)	0x0000002D	0xBF
46	IPERTU Paketleme Rezistans Kontrol Cihazı	0x0000002E	0xE1