

# Hidroelektrik Santral (HES) Otomasyonu İçin Ethernet Tabanlı Bir Haberleşme Alt-Sistemi Tasarımı Design of an Ethernet Based Communication Subsystem for Hydroelectric Power Plants

Muhammed Raşid Paç<sup>1</sup>, Abdullah Nadar<sup>1</sup>

<sup>1</sup>TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü (UZAY)  
Donanım Geliştirme ve Güç Sistemleri Grubu  
rasid.pac@uzay.tubitak.gov.tr, abduallah.nadar@uzay.tubitak.gov.tr

## Özet

*Bu bildiride hidroelektrik santral otomasyonuna yönelik olarak ethernet tabanlı bir haberleşme alt-sisteminin tasarımı ve prototip bir uygulaması anlatılmıştır. TÜBİTAK-UZAY bünyesinde yürütülen hidroelektrik santral kontrol projesi (HESKON) kapsamında konu ile ilgili yapılan çalışmalardan elde edilen bilgi ve tecrübenin aktarılması ve bundan sonra yürütülecek çalışmalara ışık tutulması amaçlanmıştır. Otomasyon sistemlerinde çok önemli bir yeri olan haberleşme ağı, gözlem ve kumanda işlevlerine aracılık etmenin yanı sıra direk olarak katkı da sağlamaktadır. Bu bakımdan haberleşme ağı otomasyon sisteminin bir parçası olarak düşünülebilecek bir alt-sistemdir ve tasarım sürecinde bu yönünün değerlendirilmesi gerekmektedir. Endüstriyel ethernet kavramının gelişmesi, kabul görmesi ve yaygınlık kazanması ile birlikte otomasyon sistemlerinin haberleşme ihtiyacına açık standartlara dayanan, hızlı, güvenilir ve dayanıklı bir altyapı ile cevap verilmesi mümkün olmuştur.*

## Abstract

*The paper presents an ethernet based communication subsystem design and its prototype implementation for hydroelectric power plants. The aim of this work is to disseminate the knowledge and experience gained out of the hydropower plant control project called HESKON of TÜBİTAK-UZAY and to shed light on the future projects. The communication network, which has a significant importance in an automation system, is not only a means for monitoring and control functions but also a contributor to them. In this respect, the communication network is an integral subsystem of the whole automation system and this should be considered during the design phase. With the advent, adoption, and prevalence of industrial ethernet, it has become feasible to meet the communication needs of automation systems by using an open standards based, fast, reliable, and robust infrastructure.*

## 1. Giriş

Başarılı bir gözlem/kumanda otomasyonunun üç temel taşından birisi güvenilir bir haberleşme alt-sistemidir. Diğer iki temel taş olan yerel/uzak kontrol birimleri ve

gözlem/kumanda merkezi arasındaki iletişimi hızlı ve etkili bir şekilde sağlayacak olan bu alt-sistemdir. Haberleşme alt-sisteminin yapısı aynı zamanda genel otomasyon sistemi mimarisini de belirlemektedir.

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) sistemlerinin gelişim sürecinde çok önemli bir yeri olan haberleşme altyapısı güncel teknolojinin sunduğu imkanlarla üçüncü nesile ulaşmıştır (bkz. Şekil 1-3). Ethernet teknolojisinin mevcut olmadığı birinci nesil SCADA sistemlerindeki yekpare (monolithic) ve merkezileşmiş gözlem/kumanda yapısının yerini ikinci nesilde yerel alan ağı (LAN) ile birbirlerine bağlı iletişim, gözlem/kumanda ve işlem ekipmanı almıştır. Üçüncü nesilde ise çeşitli SCADA işlevleri tamamen dağıtımlı (distributed) bir yapıda ve açık sistem mimarisine (open system architecture) uygun olarak geliştirilmiştir [1]. Gelişmekte olan ve gitgide daha karmaşık hale gelen endüstriyel sistemler için genişletilebilirlik, birden fazla operatör, yerel kumanda, internet bağlantısı ve web erişimi gibi SCADA gereksinimlerini karşılamak üzere 3. nesil mimaride sağlanan esneklik farklı uygulama alanlarına uyumlandırılabilen, standartlara dayanan ortak bir yapının oluşturulmasını sağlamıştır. Bu yapının oluşmasında endüstriyel ethernet teknolojisinin ortak kabul görmesi ve yaygınlık kazanması büyük rol oynamıştır.

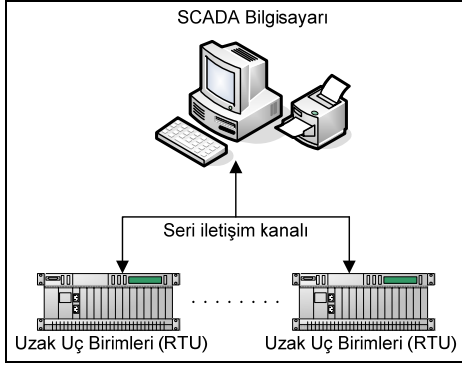
Bu bildiride hidroelektrik santral SCADA'sı için ethernet tabanlı bir haberleşme alt-sistemi tasarımı anlatılmaktadır. TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü bünyesinde yürütülen "Küçük ve Orta Ölçekli Hidroelektrik Santraller için Kontrol-Kumanda, Ölçme ve Koruma Sistemi Tasarım, Geliştirme ve Prototip Üretimi (HESKON) Projesi" [2] kapsamında geliştirilen haberleşme alt-sistemi ve konu ile ilgili edinilen tecrübeler aktarılacaktır.

## 2. HES Otomasyonunda Haberleşme İsterleri

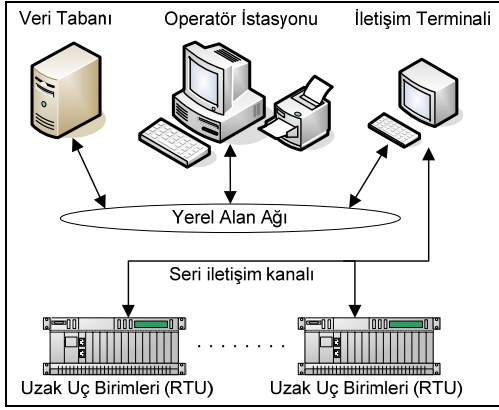
HES otomasyonundaki haberleşme isterleri büyük ölçüde genel SCADA isterleri ile örtüşmektedir. Bunlardan öne çıkan bazıları aşağıdaki gibidir [3]:

- Açık endüstri standartları ile uyumlu olması
- Genişlemeye açık olması
- Muhtemel uygulamalara olanak sağlayacak hız ve kapasitede olması
- Veri iletiminin doğru ve güvenilir bir şekilde sağlanması

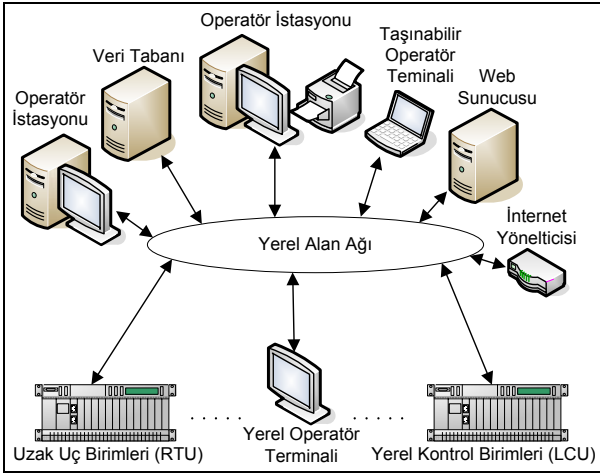
- Haberleşme kanalının devamlı olarak kullanıma hazır olması
- Haberleşme sisteminin ortam şartlarından asgari düzeyde etkilenmesi



Şekil 1 Birinci nesil SCADA mimarisi



Şekil 2 İkinci nesil SCADA mimarisi



Şekil 3 Üçüncü nesil SCADA mimarisi

Geçmişte otomasyon sistemlerinde üretici firmalar tarafından kullanılan özel haberleşme protokolleri, kurulu sistemlerin yeniden yapılandırılmasını, yeni ihtiyaçlara göre uyumlandırılmasını ve farklı üreticilerin ürünlerinin ve sistemlerinin entegrasyonunu olanaksız kılmıştır. Bu durum

yeni ihtiyaçlara cevap veremeyen bir sistemin tamamen çöpe gitmesine ve yerine yenisinin kurulmasına yol açmıştır. Gün geçtikçe yeni gereksinim ve uygulamaların ortaya çıktığı SCADA endüstrisinde müşteri memnuniyetini ve kurulu sistemlerin ekonomik ömrünü artırmak amacıyla bir araya gelmiş olan üretici firmalar ve standart otoriteleri yeni SCADA ürün ve sistemleri için bir açık sistem çerçevesi çizmişlerdir.

Bir otomasyon sisteminin genişlemeye açık olması haberleşme alt-sisteminin genişlemeye açık olması ile doğrudan ilişkilidir. Bu noktada iletişim ekipmanının sisteme eklenecek yeni terminalleri istihdam edecek donanımsal özellikte olması gerekmektedir.

SCADA uygulamalarında haberleşme kanalı üzerinden iletilen uygulama verisi miktarı oldukça düşük olmakla birlikte sistemin boyutuna ve hedeflenen asgari tepki süresine göre ihtiyaç duyulan band genişliği belirlenmektedir. 3. nesil SCADA sistemlerinde otomasyon ağına çoklu-ortam (multi-media) uygulamalarının, internet erişiminin ve dağıtımli operatör istasyonları ve veri tabanlarının girmesi ile artık gereksinim duyulan veri hızı ve kapasitesi günümüz ethernet teknolojisi tarafından sunulan düzeye ulaşmıştır.

Gerçek zamanlı ve kritik görevler üstlenen SCADA sistemlerinde veri iletiminin doğru ve güvenli bir şekilde sağlanması büyük önem taşımaktadır. Standartlara dayanan haberleşme protokolleri sayesinde terminaller arası doğru iletimi garanti altına almak mümkün olmaktadır. Normalde kapalı bir haberleşme ağı iken günümüz uzaktan erişim gereksinimleriyle kısmen internete açılmış olan otomasyon ağlarında güvenlik sorunu gündeme gelmektedir. Günümüzde ethernet tabanlı sistemlerde ağ güvenliği, standart ürünlerle büyük ölçüde sağlanabilen bir konudur.

Haberleşme kanalının kesintisiz olarak hizmet vermesi bir diğer önemli isterdir. SCADA sistemlerinde uzun ömürlü, dayanımı yüksek endüstriyel haberleşme ekipmanlarının kullanılması gerekmektedir. Ayrıca haberleşme ortamından başlamak üzere haberleşme ekipmanlarını ve terminallerin ağ bağdaştırıcılarını da içine alacak bir düzeye kadar yedekleme yapılması söz konusudur.

Benzer şekilde haberleşme sisteminin ortam şartlarından en az etkilenmesi ayrıca dikkat gerektiren bir tasarım konusudur. Genel olarak otomasyon sistemlerinin kurulu bulunduğu endüstriyel ortamlarda elektromanyetik girişim (EMI) miktarı, sıcaklık limitleri ve salınımları, toz ve sarsıntı gibi olumsuz dış etkenler yüksek seviyelerdedir. Bu yüzden seçilen haberleşme ortam ve ekipmanının bu şartlara dayanıklı olması gerekmektedir.

Bu sayılan isterlerin dışında HES sistemlerine özgü bazı kriterler de mevcuttur. Bunlardan en önemlisi santraldeki ünitelerin gerektiğinde merkezi kontrolden bağımsız olarak, yerel SCADA teçhizatı kullanılarak gözlem ve kumanda edilebilmesi ve işletilebilmesidir. Bu ihtiyacı karşılamak üzere her bir üniteye ait yerel bir operatör terminali bulunması gerekmektedir.

### 3. TÜBİTAK-HESKON Prototip Tasarımı

TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü bünyesinde yürütülen "Küçük ve Orta Ölçekli Hidroelektrik Santraller için Kontrol-Kumanda, Ölçme ve Koruma Sistemi Tasarım, Geliştirme ve Prototip Üretimi (HESKON) Projesi" kapsamında model olarak seçilen akarsu tipi, 10MW'lık iki üniteli bir santral otomasyonu için ethernet tabanlı, 3. nesil bir

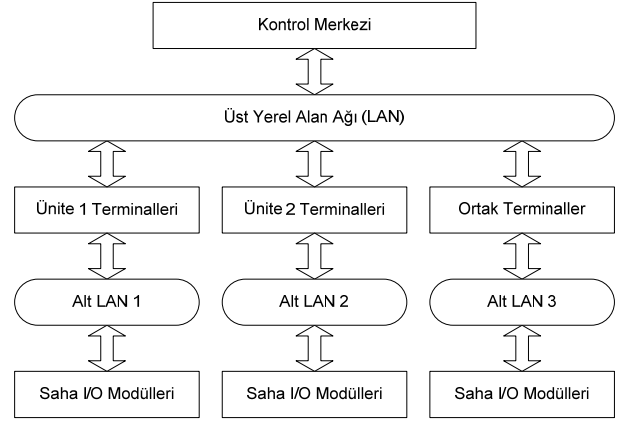
haberleşme alt-sistemi tasarlanmış ve uygulanmıştır [2]. Kullanılan güncel teknolojik altyapı sayesinde bu tasarımın son yıllara ait literatürde bahsi geçen bir benzerinden [4] iletişim hızı, yedekleme yapısı ve ölçeklenebilirliği bakımından daha gelişmiş olduğu tespit edilmiştir.

### 3.1. Haberleşme Alt-Sisteminin Donanım Özellikleri

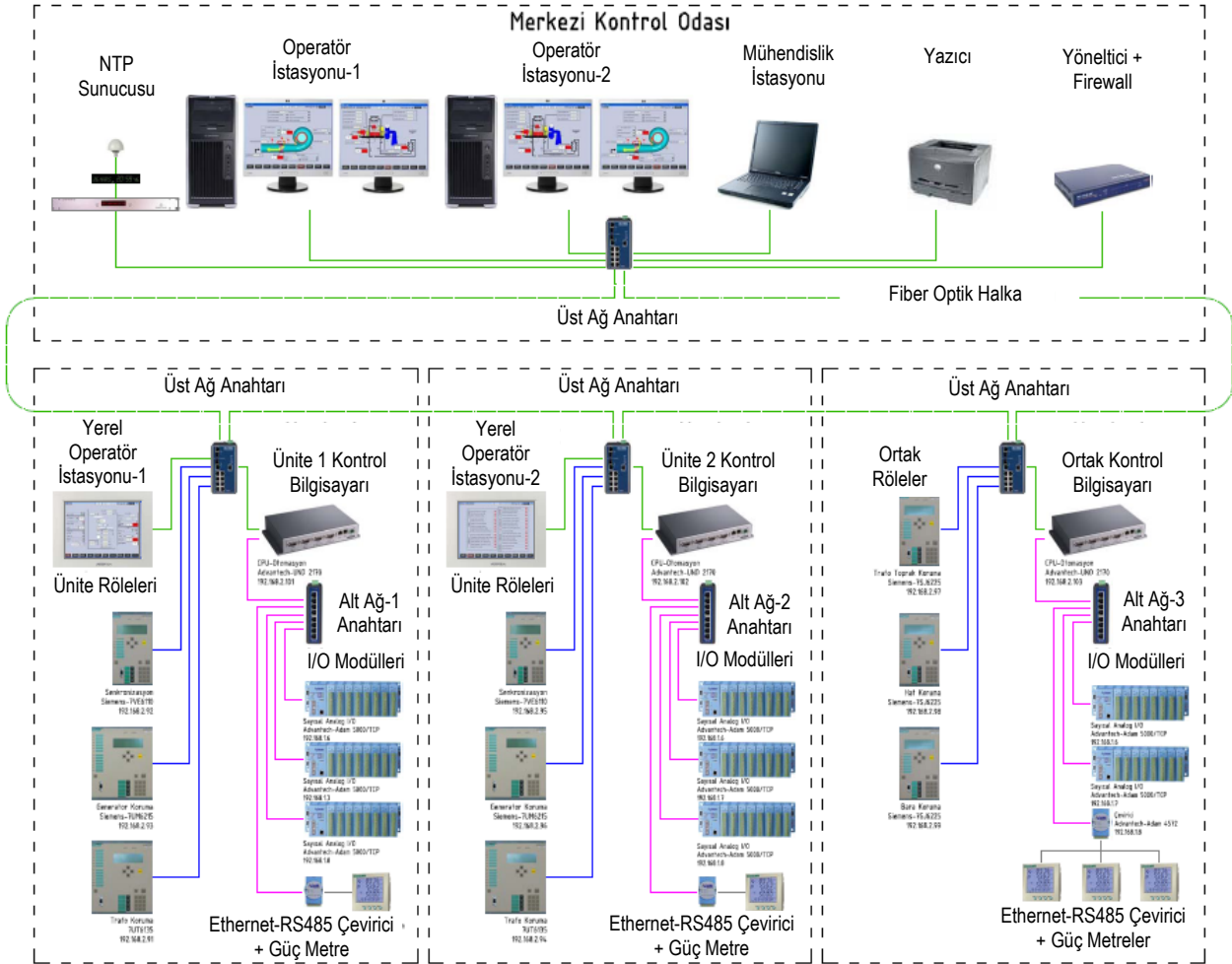
Ethernet teknolojisi IEEE 802.3 olarak bilinen bir standartlar kümesine dayanmaktadır [5]. IP (Internet Protocol) tabanlı bir iletişim standardı olan ethernet günümüz haberleşme uygulamalarında en yaygın olarak kullanılan teknolojidir. ISO (International Standards Organization) bünyesindeki OSI (Open System Interconnection) komitesi tarafından tanımlanan 7 katmanlı modelin ilk 3 katmanını kapsayan ethernet, uygulamaya bağlı olarak 4. katmandan TCP (Transport Control Protocol) veya UDP (User Datagram Protocol) ile birlikte kullanılabilir [6].

HESKON prototipinde Şekil 4'te görüldüğü gibi iki katmanlı, 100Mbps hızında bir yerel alan ağı (LAN) yapısı tasarlanmıştır. Üst yerel alan ağı olarak adlandırılan katman santralin merkezi gözlem ve kumanda odası ile üniteler arasındaki haberleşmeyi sağlamaktadır. Alt ağlar (LAN 1-3) ise herbir üniteye denetleyici bilgisayarın, sahaya giriş/çıkış

hatları ile bağlı I/O modüllerine erişimini sağlamaktadır. Şekil 5'te daha detaylı bir şekilde görülen sistemde merkezi kontrol odası ve kontrol birimleri birbirlerinden kesikli çizgiler ile ayrılmıştır. Ünite ve ortak kontrol ekipmanları santralde aynı odada ayrı panolarda yer almaktadır.



Şekil 4 HESKON haberleşme ağı katmanları



Şekil 5 HESKON prototipi elemanları ve haberleşme ağı

### 3.1.1. Üst Ağa Bağlı Terminaller

Merkezi kontrol odası ile ünite ve ortak kontrol panolarının birbirlerine bağlayan üst ağda şu terminaller vardır:

- **Operatör İstasyonu 1 ve 2:** Birbirleri ile yedekli olarak çalışan ve SCADA yazılımı, veritabanı ve insan-makine arayüzünün bulunduğu terminallerdir.
- **Mühendislik İstasyonu:** Ünite bilgisayarlarına gömülü yazılım yüklemek, sistemdeki hataları bulmak, ağ ayarlarını yapmak gibi yönetsel amaçlar için kullanılmaktadır.
- **NTP (Network Time Protocol) Sunucusu:** Üst ağa bağlı tüm terminallerin ve ağ anahtarlarının zaman senkronizasyonunu sağlamak için kullanılan ve saat bilgisini GPS (Global Positioning System) uydularından alan ağ saati sunucusudur.
- **Yazıcı ve Yöneltilici:** Yazıcı operatör istasyonlarından çıktı almak için kullanılmaktadır. Yöneltilici ise sistemi gerektiğinde internete açmak için kullanılacak olan kapıdır. Güvenlik amacı ile firewall da içermektedir.
- **Yerel Operatör İstasyonu 1 ve 2:** Herbir ünitenin yerinden kontrolü için kullanılan ve insan-makine arayüzü ile SCADA yazılımı içeren bilgisayarlardır.
- **Ünite Kontrol Bilgisayarı 1 ve 2:** Herbir ünitenin bütün mantıksal işlevlerini gömülü yazılımı ile yerine getiren, sinyallerini gözleyip operatör istasyonlarına bildiren endüstriyel bilgisayarlardır.
- **Ortak Kontrol Bilgisayarı:** Santrale ait ortak ekipmanın gözlenmesi, kumanda edilmesi ve sinyallerinin operatör istasyonlarına bildirilmesinden sorumlu endüstriyel bilgisayardır.
- **Ünite Röleleri ve Ortak Röleler:** Ünitenin koruma ve senkronizasyon işlevlerini, santralin de ortak elektriksel ekipmanının korunması görevlerini otomatik ve bağımsız olarak yerine getiren akıllı elektronik cihazlardır.
- **Üst Ağ Anahtarları:** Kendi aralarında çift yönlü fiber optik halka (ring) ile bağlı, terminallere ise bakır ethernet kabloları ile bağlı yönetilebilir (managed) ağ anahtarlarıdır.

### 3.1.2. Alt Ağa Bağlı Terminaller

Ünite veya ortak kontrol bilgisayarı ile, ilgili giriş/çıkış (I/O) modülleri arasındaki ağda şu terminaller vardır:

- **Ünite veya Ortak Kontrol Bilgisayarı:** Herbir ünite veya ortak kontrol bilgisayarı, ilgili I/O modüllerine bağımsız bir alt ağ ile bağlıdır.
- **I/O Modülleri:** Dağıtım yapıda kullanılabilen ve erişimi ethernet aracılığıyla yapılan endüstriyel giriş/çıkış modülleridir.
- **Ethernet-RS485 Çevirici:** İlgili kontrol bilgisayarının güç metre cihazından veri almasını sağlayan kapıdır.
- **Alt Ağ Anahtarları:** Yukarıda sayılan elemanların birbirleri ile olan bağlantısını sağlayan ethernet ekipmanıdır.

### 3.1.3. Yedekli Fiber-Optik Halka Yapısı

Genelde hidroelektrik santrallerde kontrol merkezi, türbin, generatör gibi saha ekipmanlarının olduğu kattan birkaç kat yukarıda, gürültü ve sıcaklık gibi koşullar bakımından daha kontrollü bir odada yer almaktadır. Kontrol panoları ise ünitelerin veya ilgili saha ekipmanının yakınında

konumlandırılmaktadır. Bu sebeple kontrol merkezi ile kontrol panoları arasındaki haberleşme kanalının olumsuz saha şartlarına sahip uzun mesafelerden geçmesi zorunlu olmaktadır. Bu şartlarda veri iletimini kesintisiz ve etkili bir şekilde sağlayabilmek için, iletim kanalının elektromanyetik gürültüden sakınmak için fiber optik seçilmesi ve arızalara karşı yedekli bir yapıda kurulması gerekmektedir. SCADA uygulamalarında haberleşme ortamının en temel yedeklenme yöntemi Şekil 5'teki gibi halka şeklinde bir kanal oluşturmaktır. Endüstriyel ethernet ürünlerinde de artık mevcut olan bu halka özelliği ile herhangi iki ağ anahtarı arasındaki bağlantının kesilmesi durumunda halkanın işlevine devam eden diğer kısımları iletişimin sürdürülmesini sağlamaktadır.

### 3.2. Haberleşme Alt-Sistemindeki Uygulama Katmanı Protokolleri ve Sunucu-İstemci Yapısı

HESKON Projesi kapsamında geliştirilen SCADA yazılımının çalıştığı operatör istasyonları ile ünite ve ortak kontrol bilgisayarları arasındaki haberleşmenin uygulama katmanı için DNP (Distributed Network Protocol) 3.0 protokolü kullanılmıştır. DNP otomasyon sistemleri için özel olarak geliştirilmiş ve dünya çapında kabul görmüş bir standarttır [7]. Ethernet üzerinden iletişim için DNP'nin uygulama katmanı TCP/IP sarması (encapsulation) içinde kullanılmaktadır. Sistemdeki röle cihazları da DNP 3.0 ve IEC 61850 [8] protokolleri ile uyumludur.

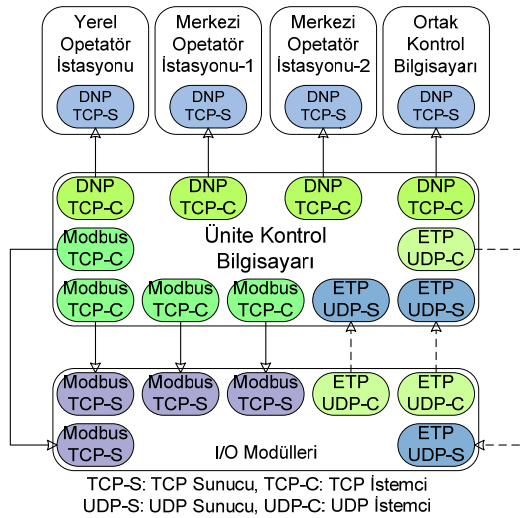
Ünite veya ortak kontrol bilgisayarları ile ilgili I/O modülleri arasındaki iletişim ise TCP/IP üzerinden Modbus [9] ve Advantech® firmasının geliştirdiği ETP (Event Trigger Protocol - UDP/IP sarması içinde) ile sağlanmaktadır.

Haberleşme ağındaki terminaller arasındaki sunucu (server) – istemci (client) ilişkilerine bir örnek olarak Şekil 6'da ünite kontrol bilgisayarının, dahil olduğu iki LAN aracılığıyla kurduğu mantıksal bağlantılar gösterilmiştir. Operatör istasyonları DNP uygulama katmanlı TCP sunucusu kullanarak ünite ve ortak kontrol bilgisayarlarından gelecek bağlantı taleplerini kabul ederken, ortak kontrol bilgisayarı da herbir ünite kontrol bilgisayarından gelecek bağlantı talepleri için bir TCP sunucusu taşımaktadır. Alt ağda ise I/O modülleri Modbus uygulama katmanlı TCP sunucuları ile giriş/çıkış bilgilerini ve kumandalarını sağlamaktadırlar. Ayrıca yine I/O modülleri olay bazlı sorgusuz (unsolicited) ve periyodik bilgilendirmeler için ünite kontrol bilgisayarındaki ETP uygulama katmanlı UDP sunucularına analog ve sayısal verileri ayrı ayrı göndermektedirler.

### 3.3. Haberleşme Ağının Yapılandırma ve Tanı Özellikleri

Temel olarak ağ anahtarlarından ve anahtarların kendi aralarında ve terminaller ile olan bağlantılarından oluşan ethernet ağı aynı zamanda SCADA sisteminin gözlediği bir alt-sistemdir. Özellikle ağ anahtarlarının sunduğu yapılandırma (configuration) ve tanı (diagnostic) özellikleri sayesinde ağ parametrelerini gereksinimler ölçüsünde ayarlamak ve sistemi çalışır halde iken gözlemek mümkündür. Endüstriyel ethernet uygulamaları için özel olarak geliştirilen yönetilebilir (managed) ağ anahtarlarında bu bakımdan şu genel özellikler mevcuttur:

- **Yapılandırma:** Web, telnet, seri konsol, FTP ve SNMP gibi protokoller ile ethernet üzerinden veya seri bağlantı ile cihaza ait şu işlemler yapılabilmektedir
  - Anahtar IP adresi, DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol), DNS (Domain Name System) ve ağ geçidi sunucusu ayarları
  - TFTP (Trivial File Transfer Protocol) ile yazılım güncelleme, SNTP (Simple Network Time Protocol) sunucu/istemci ayarları
  - IP güvenlik, port ve trafik kontrol ayarları
  - Halka, port-mirroring ve dual-homing gibi yedekleme ayarları, Kullanıcı ayarları
  - SNMP (Simple Network Management Protocol) ile ağ yönetimi ayarları, VLAN (Virtual LAN) ayarları
  - IGMP (Internet Group Management Protocol) ayarları, RADIUS (Remote Authentication Dial In User Service) ayarları
- **Tanı:** Ağa ait hat, elektrik ve iletişim kesintisi gibi alarm bilgilerinin
  - Anahtardaki entegre Syslog istemcisi aracılığıyla bir Syslog sunucusuna bildirilmesi ve(ya) Syslog sunucusu ile diğer anahtarlardan toplanması mümkündür
  - Anahtarın e-mail kullanıcı hesabı aracılığıyla, tanımlanmış e-mail adreslerine iletilmesi mümkündür
  - Herbir porta ait istatistik bilgileri, servis kalitesi (QoS) bilgileri, ağ topolojisi bilgileri gibi dinamik ağ bilgileri gözlenebilmektedir.



Şekil 6 Ünite bilgisayarı ile diğer terminaller arasındaki mantıksal ağ bağlantıları

#### 4. Sonuçlar

Günümüz modern SCADA sistemleri devamlı olarak gelişmekte olan bilgisayar ve gömülü sistem teknolojilerinin sunduğu bütün imkanlardan azami ölçüde istifade etmektedir. Gözlem, kumanda ve otomatik kontrol ile ilgili temel otomasyon istemleri büyük ölçüde aynı kalmakta iken, gelişen SCADA teknolojisi ile sistemlerin birbirleri ile daha uyumlu, daha güvenilir, hızlı, uzun ömürlü, ucuz ve otomatik hale gelmesi söz konusudur. Bu noktada, Türkiye’de halen kurulu olan veya gelecekte tesis edilecek olan endüstriyel sistemlerin otomasyon kapsamına alınması veya SCADA

rehabilitasyonlarının yapılması sürecinde güncel teknolojinin yakından takip edilmesi ve uygulanması zorunludur.

Bu bildiride hidroelektrik santral otomasyonuna yönelik olarak bir haberleşme alt-sistemi tasarımı ve uygulaması ele alınmıştır. HES SCADA’sı haberleşme istemlerine büyük ölçüde cevap verebildiği düşünülen bu prototip sistemde

- Haberleşme donanımının ve kullanılan protokollerin uluslararası açık endüstri standartları ile uyumlu olması, sistemde
  - Çeşitli üretici firmalardan temin edilen donanımın birarada kullanılabilmesini
  - Genişletilebilir bir yapının oluşturulmasını
  - Entegrasyonun kolay olmasını sağlamıştır.
- Hızlı ethernet altyapısının sunduğu imkanlar ile ana SCADA yazılımının yanı sıra çoklu-ortam, bilgi paylaşımı ve internet üzerinden erişim uygulamalarına da olanak sağlanmıştır.
- Kullanılan standart donanım ve protokoller ile hatasız veri iletimi ve bilgi güvenliği garanti altına alınmıştır.
- Endüstriyel ethernet kavramı çerçevesinde geliştirilmiş olan dayanımı yüksek, yedekli yapıda ve SCADA işlevleri ile donatılmış ürünler kullanılarak santrallerin olumsuz ortam şartlarında dahi yıllarca çalışabilecek ve asgari düzeyde bakım gerektirecek bir haberleşme ağı kurulmuştur.

Bütün bu özellikleri ile bir SCADA ağının sadece haberleşmeye aracılık eden bir kanal olmaktan öteye geçip SCADA işlevlerine direk olarak katkı sağlayan bir alt-sistem olduğu tespit edilmiş ve otomasyon sisteminin tasarım sürecinde bu yönünün dikkatle göz önünde bulundurulması gerektiği anlaşılmıştır.

#### 5. Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir. KAMAG (1007 programı) Proje No: 105G124.

#### 6. Kaynaklar

- [1] McClanahan, R., “SCADA and IP Is Network Convergence Really Here?”, *IEEE Industry Applications Magazine*, Mar/Apr, s. 29-36, 2003.
- [2] Nadar, A., Güner, E., Tör, O. B., “Küçük Hidrolik Santralleri için Geliştirilen bir SCADA Sistemi: HESKON”, *ELECO’08*, 2008.
- [3] IEEE Std 1249-1996, *IEEE Guide for Computer Based Control for Hydroelectric Power Plant Automation*, IEEE, 1996.
- [4] M. S. Thomas, P. Kumar, V. K. Chandna, “Design, Development, and Commissioning of a Supervisory Control and Data Acquisition Laboratory for Research and Training”, *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 19, no. 3, August 2004.
- [5] IEEE 802.3 Ethernet Working Group, <http://www.ieee802.org/3/>.
- [6] Tanenbaum, A. S., *Computer Networks*, Pearson Education Inc., New Jersey, 2003.
- [7] Distributed Network Protocol (DNP), <http://www.dnp.org/>.
- [8] IEC 61850, <http://www.iec.ch/>.
- [9] Modbus Protocol, <http://www.modbus.org/>.