

# Görmediğimiz Bilgisayarlar

Sıcak bir temmuz sabahı Mehmet Bey'in acelesi vardı. Otomobiline bindi kontak anahtarını çevirdi. Otomobilinin bilgisayarının açılması için bir dakika kadar sabırsızca bekledi. Sonunda bilgisayar açılmıştı. Hemen "Başlat" menüsünden "Motoru Çalıştır", "Fren Kontrolü" ve "Vites Kontrolü" programlarını seçti. Hava sıcak olduğu için "Klima" programını tıklamayı da ihmal etmedi. Nihayet otomobil harekete hazırды. "Varacağım yere kadar işletim sistemi hatası da olmazsa, vaktinde yetişirim herhalde" diye düşündü.



<http://www.microsoft.com/presspass/press/2002/mar02/03-04bmwpr.mspx>

**B**ilgisayar deyince pek çok kişinin gözünün önüne, işyerinde veya akşam evinde karşısında vakit geçirdiği, e-postalarını okuduğu ve internet sayfalarında gezindiği, rapor hazırlamak için kullandığı ekran, klavye, fare ve işlem biriminden oluşan kişisel bilgisayarlar gelir. Ancak çevremizde bizim görmediğimiz halde hayatımızı kolaylaştıran ve hatta onlarsız yapamayacağımız çok sayıda bilgisayar var. Mehmet Bey'in arabasında da çok sayıda bilgisayar var. Eğer bunlar kişisel bilgisayar olsaydı, otomobil kullanmak herhalde pek pratik ve keyifli olmazdı.

Günlük hayatta karşılaştığımız değişik aletlerin içinde saklı olan ve tek amaçları o aleti yönetmek olan bilgisayarlara "gömülü bilgisayarlar" adını veriyoruz. Bunlardan etrafımızda o kadar çok var ki, "bilgisayar kullanmayı bilmem", "bilgisayarlarla uğraşmaktan hiç hoşlanmam" diyenler bile aslında farkında olmadan her gün onlarca bilgisayarla haşır neşir oluyor. Dünyada satılan mikroişlemci sayılarına baktığımızda da, satılan gömülü mikroişlemci sayısının kişisel bilgisayarlarda veya sunucularda kullanılan türden işlemcilerin sayısından yaklaşık yirmi kat fazla olduğunu görüyoruz. Dünyanın en çok satan mikroişlemcisi genel kanının aksine o ünlü markanın değil; bir gömülü işlemci tasarımı olan ARM serisi. Dünyada tek kırkık (chip) üzerine sığdırılabilmiş ilk mikroişlemci olan Intel 4004 de, 1971'de kıran kırana bir savaşın yaşandığı elektronik hesap makinesi piyasası için bir gömülü sistem olarak tasarlanmıştı.

## Gömülü Bilgisayar Nedir?

Daha büyük bir sistemin parçası olup onu kontrol ve kumanda eden ve üzerinde tek ve belirli bir uygulama çalıştırılan bilgisayar sistemlerine gömülü sistemler diyoruz. Bu tanım, genel amaçlı bilgisayarlara aralarındaki en önemli farkı ortaya koyuyor. Evimizdeki kişisel bilgi-



Sabancı Üniversitesi'nde geliştirilen mekatronik eğitimi amaçlı gömülü bilgisayar SuboardII. Detaylı bilgi için: <http://fens.sabanciuniv.edu/suboard>

sayarımız genel amaçlı bir bilgisayardır ve üzerinde çalıştırılacak olan uygulama hem kullanıcının seçimine kalmıştır, hem de bu uygulamalar sıkça değişir; bazen yazım, bazen internet, bazen de oyunlar olabilir. İkinci fark da gömülü bilgisayarların doğrudan insanla etkileşim içinde olmayıp bir sistemi kumanda ediyor olmasıdır.

Basit gömülü bilgisayarlar mimari olarak genellikle 8 veya 16 bitlik bir mikroişlemci, bellek ve kumanda edilen sistemin parametrelerini ölçüp ona sinyaller gönderen çevre birimlerinden oluşur. Bunun yanı sıra insanlarla iletişim amaçlı tuşlar, ışıklar veya ekranlar olabilir.

Güdümlü sistemleri, radarlar ve üretim işlemlerini kontrol eden daha karmaşık gömülü bilgisayarlar ise hesap kabiliyeti açısından günümüzün kişisel bilgisayarlarından daha ileride olabilir. Paralel işlemciler, büyük bellekler ve hızlı haberleşme ağlarıyla donatılmışlardır.

Günümüzde bilgisayar teknolojisi ilerledikçe gömülü bilgisayar mimarisi ile genel amaçlı bilgisayar mimarisi arasındaki fark gerçekten de kapanmaktadır. Yine de yukarıda saydığımız iki temel fark ve aşağıda sayacağımız farklar her zaman vardır.

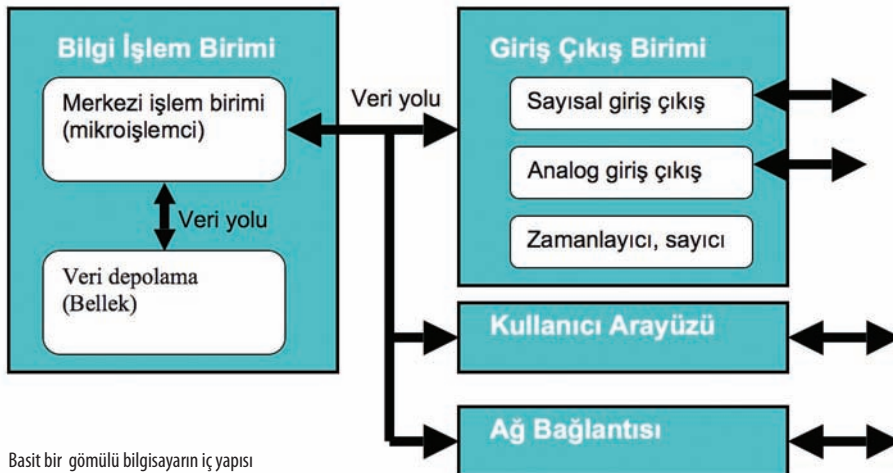
Gömülü bilgisayarlar genellikle kumanda edecekleri ürüne özel olarak tasarlanır, çünkü her sistemin işlem gücü, bellek, çevre birimler, güç tüketimi gibi ihtiyaçları farklıdır ve fazladan parça içermezlerse maliyetleri düşük tutulabilir. Tasarlanan sisteme özel sensörler ve eyleyiciler de (motorlar vb.) bulunur.

Genel amaçlı bilgisayarlardan farklı olarak gömülü bilgisayarlar sahada çalışacakları için parça seçimi, kutulama gibi konular ayrıca ele alınır. Örneğin otomobilinizin motorunu kontrol eden gömülü bilgisayarın kış ve yaz mevsimleri düşünülerek -30°C ile 100°C sıcaklık aralığında çalışması, su, nem ve tozdan etkilenmemesi ve titreşimlere, darbelere ve toza maruz kaldığında da çalışabilmesi gerekir.

Gömülü bilgisayarlarda önemli bir tasarım ölçütü de güç tüketimidir. Özellikle son yıllarda pil kullanan portatif aletler yaygınlaşmıştır. Pil ömrünü uzatmanın en iyi yollarından biri az güç tüketimli işlemciler kullanmaktır. İşlemcilerin genelde kullanılan performans ölçütlerinden MIPS (Million Instructions Per Second; saniyede yapabileceği işlem sayısı) ve MFLOPS (Mega Floating Point Operations Per Second; saniyede yapabi-

leceği kayar noktalı aritmetik işlem sayısı) değerleri, DSP işlemciler (Digital Signal Processor; sayısal işaret işlemeye yönelik işlemci) için yerlerini son yıllarda MIPS/W ve MFLOPS/W değerlerine, yani "1 Watt'lık güç karşılığı saniyede yapabileceği işlem kapasitesi" değerlerine bırakmaktadır. Güç tüketiminin azalması sayesinde pilli aletleri daha uzun süre kullanmak mümkün olmaya başlamıştır.

Gömülü bilgisayarların bir diğer özelliği de ham işlem kapasitesi ile birlikte başka özelliklerin de bir arada düşünülmesi, sadece bilgisayarın değil kumanda ettiği bütün sistemin belirli ölçütlere uymasının sağlanması gereksinimidir. Buna en güzel örneklerden biri Amerikan Uzay Dairesi'nin (NASA) 1996'da Mars'a gönderdiği "Pathfinder" isimli robotta kullanılan işlemcidir. Bu robot Mars'ın üzerinde kendi kendine dolaşmış, pek çok deney gerçekleştirmiş, çektiği fotoğrafları ve deney sonuçlarını Dünya'ya göndermiştir. Bütün bu işleri yapan gömülü sisteminin mikroişlemcisi 100kHz hızında çalışan ve o tarihten yirmi yıl önce yani 1977'de tasarlanmış bir Intel 8085'tir. Yanlış okumadınız 100kHz; günümüz işlemcileri neredeyse 4GHz hızındadır, yani bu robotunkinden 40.000 kat daha hızlıdır. NASA'nın bu eski, basit ve yavaş işlemciyi seçmesinde iki önemli neden var: Güvenilirlik ve çevre koşulları. Intel 8085 o tarihte çok iyi bilinen, her türlü hatası ve aksaklığı iyice belgelenmiş bir işlemciydi. Yeni bir işlemci kullanıldığında Mars'ta öngörülemeyen bir aksaklık çıkması riskinin büyük olması, bu seçimde önemli bir etkeni. İkinci etken ise yüksek radyasyon ortamında modern ve hızlı çalışan yani içindeki transistörler ve enerji seviyeleri küçük olan bir işlemci kullanıldığında, bu işlemcinin kozmik parçacıkların çarpması nedeniyle işlemlerde hata yapma olasılığının yüksek olmasıydı. Eski, yavaş ve oransal olarak büyük transistörler içeren 8085'in hata yapması olasılığı ise daha azdı. Bu örnekten de anlayabileceğimiz gibi, gömülü sistem tasarımında eldeki tasarım kriterlerine en uygun gömülü işlemci mutlaka en yeni ve en hızlı işlemci değildir.



Basit bir gömülü bilgisayarın iç yapısı

## Kullanım Alanları

Gömülü bilgisayarlar o kadar yaygınlaşmıştır ki, kullanım alanlarını saymak yerine kullanılmadıkları yerleri saymak belki daha kolay olur! Yine de bunları çeşitli gruplar halinde ele alabiliriz.

**“Hayatımızı kolaylaştıran sistemler”** Elektrikli ev aletleri, ATM’ler, CD ve MP3 çalarlar, otobüse veya trene binerken kullandığımız turnikeler gibi sistemler. Örneğin eskiden çamaşır ve bulaşık makinelerinin “beyni” diye adlandırılan ve yıkama programını uygulayan parçalar mekanik iken, günümüzde bu fonksiyon tamamen gömülü bilgisayarlarla gerçekleştiriliyor. Bu sayede, örneğin makineye konulan kirli malzemenin miktarına ve kir oranına göre kullanılacak su ve arıtıcı miktarının otomatik olarak seçilmesiyle enerji ve para tasarrufu yapmak mümkün olmuş, maliyet de ucuzlamıştır.

Maliyetteki ciddi düşüşlerin nedeni, eskiden mekanik olarak imal edilen kontrol mekanizmalarının görevinin artık çok ucuz bir mikroişlemci tarafından üstlenilmesi, böylece her makine için bir kontrol mekanizması imal etmek yerine kontrol programının bir kere yazılarak mekanik kısmı basitleşmiş ürüne neredeyse sıfır maliyetle kopyalanabilmesidir. Bu program bir kere yazıldığı için de üretilen alete çeşitli ek işlevler kolayca yüklenerek bir taşla iki kuş vurmak da mümkün olmaktadır.

Günümüzde kullanılan aletlerin gerçekleştirilmelerini beklediğimiz karmaşık fonksiyonları ve performanslarının çok yönlü olarak optimize edilmesi ihtiyacını artık sadece mekanizmalarla veya elektronik devrelerle karşılamak mümkün olmadığı için, gerçekleştirilmesi istenen fonksiyonların bir mikrobilgisayara yazılıp aleti onun kumanda etmesini sağlamak en çok tercih edilen yöntem oldu. Hatta aletlerin bu tarzda tasarlanması yeni bir mühendislik dalı ortaya çıkardı: Mekatronik.

**“Güvenilirliği kritik olan sistemler”** Bu uygulamalar arasında tıbbi teşhis ve tedavi sistemleri, taşıtlar, askeri uygula-

lamalar ve sinyalizasyon uygulamaları sayılabilir. Ortak özellikleri arıza yapmaları durumunda insan hayatını tehlikeye atma ihtimalleridir. Örneğin radyoterapi cihazları, otomatik ilaç şırınga eden cihazlar, otomobil ve trenlerdeki fren sistemleri, asansörler, uçaklardaki pek çok sistem; askeri uygulamalarda silah güdüm, komuta amaçlı haberleşme sistemleri; büyük şehirlerin su şebeke-leri için kurulmuş sinyalizasyon şebekeleri bu sistemler arasında sayılabilir. Bu tür gömülü sistemlerin karşılaması gereken önemli performans ölçütleri vardır.

- Hemen hemen hepsi belirli arıza durumlarında dahi belirli bir performansta çalışabilecek şekilde tasarlanır. Uçaklar için bunun böyle olduğu yaygın olarak bilinir. Ama kullandığımız otomobilde bile benzer tasarım önlemleri alınmıştır.



- Uzun ömürlü olabilirler. Evinizdeki bilgisayar en geç beş yılda bir yenilenebilir bile asansörünüzün gömülü bilgisayarı belki kırk yıl çalışmak zorundadır. Pek çok taşıt aracı için de durum benzerdir. Bu tür bilgisayarlar kolayca değiştirilemez, çünkü her biri o işlev için özel olarak tasarlanmış ve programlanmıştır. Yıllar sonra arıza yapan sistemler için yedek parça bulmak çok zordur. Bugün arıza yapan bir asansörün hâlâ ilk çıkan mikroişlemcilerden birini kullanıyor olma ihtimali o kadar da az değildir.

- Gerçek zamanlı sistemlerdir. Yani bir etkene karşı verecekleri tepkinin hem ne olacağı hem de bu tepkinin en geç ne zaman verileceği tanımlanmıştır. Bilgisayarınızın internete bağlanması bazen gecikmesi çok sorun yaratmayabilir, ama otomobilinizin frenlerinin bazen geç tutması kabul edilemez!

- Performansları tescil edilmiştir. Bu sistemlerin gömülü bilgisayarlarında yazılı olan programın, hem nitelik olarak tepkilerinin hem de tepki sürelerinin, olabilecek bütün çalışma koşulları ve olası arıza koşulları altında belirli değerleri aşmayacağı doğrulanmıştır. Tescil edilebilir gömülü sistemler tasarlamak ve tescil testlerinin tasarlanması zor bir süreçtir. Programların normalde kullanılmayan yöntemlerle yazılması ve her satırının belgelenmesi gerekebilir. Dünyadaki büyüklüğüne oranla en az hata içeren yazılım olarak anılan NASA Uzay Mekiği kontrol programının her bir satırı için bir kütük tutulmakta, yapılacak herhangi bir değişiklik, nedenleri, beklenen sonuçları ve bu değişikliğe onay veren kişilerin imzalarıyla kayıt altına alınmaktadır. Her on bin satırda bir hata olasılığı hesaplanan bu programın satır başına maliyeti ise 1000 ABD doları olarak tahmin edilmektedir. Bell Laboratuvarları’na göre 1000 satırda en çok 1-2 hata içeren bir programın satır başına maliyeti 25-50 dolar arasında ve yazım hızı ise programcı başına ayda 150-300 satır arasındadır!

Kritik sistemlerdeki hatalar sonucu oluşan kazalar genellikle haberlere çıkar. Bunların en meşhurlarından biri 1996’daki Ariane 5 füzesinin 501 numaralı uçuşundaki kazadır. Bu füzenin uçuş bilgisayar programı daha küçük olan Ariane 4 füzesinden alınmış, uçuş dinamiğindeki farklılıklar göz önüne alınıp küçük değişiklikler yapılarak kullanılmıştır. Ancak programda kullanılan değişkenlerden birinin Ariane 5 uçuşu sırasında izin verileden daha büyük bir değere ulaşması sonucunda, atalet güdüm sistemleri devre dışı kalmış, bu da füzenin imha olmasına neden olmuştur. Benzer bir hata evimizdeki bilgisayarda olsa en kötü ihtimalle bilgisayarı yeniden başlatıp işimize devam ederiz. Gömülü sistemlerde ise hesapların zamanında yetiştirilmesi gerektiğinden böyle bir seçenek yoktur. Ayrıca programın kendi başına hatasız olması yeterli olmaz, kumanda ettiği sistemin karşılaştığı durumlarla beraber değerlendirilmek zorundadır.



## Gömülü Bilgisayarların Geleceği

Gömülü bilgisayarların kullanıldığı sadece belli başlı alanları sayabildik tabii. Pek çok bilim adamı gelecekte çevremizde gittikçe daha az bilgisayar görmeye başlayacağımız konusunda hemfikir. Son yıllarda da bu yönde gelişmeler var. Artık gömülü bilgisayarların da internete bağlı olmaması düşünülemez hale geldi. Bilgisayar ile televizyon, telefon, internet gibi iletişim araçları bütünleşmeye başladı; artık birbirinden ayırt edilemez hale geliyorlar. Merkezi büyük bilgisayarlar yerine her biri kendi özel görevini yerine getiren ve otomatik görev paylaşımıyla amaçlarını gerçekleştiren sistemlerin ileride yaygınlaşması beklenebilir. Cep telefonunuz buzdolabınızla haberleşip alışveriş listeniz için tavsiyeler hazırlamaya başlayabilir veya eviniz içeride kimse olmadığını fark edip ısıtmayı kısabilir. Bu gelişmeler günümüzde teknik olarak mümkün; en büyük sıkıntı sistemlerin birlikte çalışmalarına izin verecek bir standart olmaması. Bu konuda da Avrupa Birliği'nin en büyük bilimsel programı olan Yedinci Çerçeve Programı dahilinde projeler yapılmaya başlandı.



Bahsettiğimiz marifetli sistemlerin her biri tabii gömülü bilgisayarlar içeriyor. Bilgi işlem teknolojisi ve bilgisayarlarla etkileşim yöntemlerindeki son gelişmeler sayesinde genel amaçlı bilgisayarlar ve gömülü bilgisayarların arasındaki performans farkı kapandıkça, kişisel bilgisayarımızın da yerini işbirliği yapan çok sayıda gömülü bilgisayara bırakması iştenden bile değil.

### Kaynaklar

- Le Lann, G., "An Analysis of the Ariane 5 Flight 501 Failure - A System Engineering Perspective", 10. IEEE International ECBS Conference, s. 339-346, Mart 1997.
- Malone, M. S., *The Microprocessor: A Biography*, TELOS Springer, 1995.
- Liu, J. W., *Real-Time Systems*, Prentice Hall, 2000.
- Ganssle, J. G., *The Art of Designing Embedded Systems*, Newness, 2000.



**"Karmaşık işlevli sistemler"** Bu sistemler arasında cep telefonu, baz istasyonu, internet haberleşme cihazları, görüntü sıkıştırma ve sayısal TV yayınları gibi haberleşme işlevleri ile şifreleme ve kimlik denetimi işlevlerini yerine getiren gömülü bilgisayarlar sayılabilir. Günümüzde haberleşme ihtiyaçları arttığından haberleşme kanallarından en iyi şekilde yararlanabilmek için verileri gönderirken özel yöntemlerle kodlamak ve sıkıştırmak gerekmektedir. Örneğin evimizde izlediğimiz sayısal uydu yayınının veya kablolu yayının çözülerek televizyona yansıtılması veya GSM şebeke protokolünün uygulanması için şaşırtıcı miktarda işlem gücü gerekir.

Yine günlük hayatta sık sık kullandığımız, "çipli kart" olarak adlandırılan kredi kartları, SİM kartlar, kimlik kartları ve bir kısım elektronik taşıt biletleri de aslında şifreleme özellikleri gelişkin birer bilgisayardır. Cüzdanımızdaki çipli kartların bazılarının sahip olduğu bilgi işlem gücü, Ay'a ilk giden astronotların bile hayran kalacağı seviyededir. Bunlar kendi üzerlerindeki bilgileri sizin girdiğiniz şifre ile karşılaştırmakla kalmayıp o sırada takılı oldukları okuyucu cihazın geçerli bir kuruma ait olup olmadığını, bağlandıkları banka bilgisayarının sizin verilerinizi öğrenmek isteyen sahte bir bilgisayar olup olmadığını da aynı anda kontrol eder. Sahtecilik yapıldığını anladıkları anda (filmlerdeki gibi duman ve kıvılcımlar çıkararak olmasa da) üzerlerindeki bilgiyi imha edebilenleri bile var.

**"Otomasyon"** Bu alandaki gömülü sistemler belki de hayalimizdeki korkunç bilgisayar tiplmesine en uygun olanlar, çünkü robotlar ve üretim makineleri gibi hareket eden sistemleri kontrol ediyorlar. Stanley Kubrick'in ünlü *2001 Uzay Macerası* adlı filmindeki akıllı bilgisayar HAL 9000 de bu sınıftan bir gömülü bilgisayardır diyebiliriz. Otomasyonda kullanılan gömülü bilgisayarların diğerlerinden önemli bir farkı vardır: Standartlar. Üretim tesislerinin otomasyonunda kullanılan sistemler genellikle az sayıda üretilir, ancak her yeni fabrika veya üretim tesisi için sil baş-

tan tasarım yapmak çok masraflı olacaktır, kullanılan gömülü bilgisayarlar (bir kısmı piyasa devleri tarafından belirlenmiş) standartlara uyan belirli alt parçalardan yapılır. Bu nedenle otomasyon sistemlerinin kurulumunu yetkinlere yönelik LEGO oyununa benzetmek mümkündür. Otomasyonda en yaygın kullanılan gömülü bilgisayarlar PLC (Programmable Logic Controller; programlanabilir mantıksal kontrolör) adı verilen, basit bir şekilde programlanabilmeleri için sınırlandırılmış bir dille sahip olan, elektriksel ve mekanik olarak sağlamlaştırılmış sistemlerdir. Bunlar ve daha karmaşıkları, otomasyon için tasarlanmış bilgisayar ağlarını da kullanarak, bütün bir üretim hattının hatta fabrikanın otomasyonunu üstlenirler.

**"Kontrol uygulamaları"** Gömülü bilgisayarların belki de en sık kullanıldığı ama en geri planda kaldığı uygulamalar herhalde kontrol uygulamalarıdır. Bu sistemler otomobilinizin hızını, merkezkaç kuvvetini ve gaz pedalına ne kadar bastığınızı saniyede yüzlerce kez ölçüp hesaplar yaparak virajlarda savrulmanızı engeller, bir nükleer reaktörün kaza ve sızıntıya yer kalmayacak şekilde azami güç üretmesini sağlar, kahvenizin bol köpüklü olması ve hızlı pişmesi için sensör verilerini değerlendirirken gereken anlık ısıtıcı gücünü de hesaplar. Eskiden bir sistemin kontrol edilmesi gerektiğinde özel bir analog devre tasarlanması normalken, günümüzde bu yöntemlerin neredeyse tamamı artık gömülü bilgisayarlara bırakılmış durumda. Evdeki gereçler arasında analog kontrolün son kalerlerinden olan ütü termostatları bile artık yerlerini gömülü bilgisayarlara bırakmaya hazırlanıyor.