

# BM-311 Bilgisayar Mimarisi

---

Hazırlayan: M.Ali Akcayol  
Gazi Üniversitesi  
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

## Genel Bilgiler

---

Öğretim üyesi : Prof. Dr. M. Ali Akcayol  
Ofis : Gazi Üniv., Bilgisayar Mühendisliği Bölümü  
E-Posta : [akcayol@gazi.edu.tr](mailto:akcayol@gazi.edu.tr)  
Ofis saatleri : Cum 13:00-14:00

Dersin web sayfası : [https://bigdata.gazi.edu.tr/akcayol/](https://bigdata.gazi.edu.tr/akcayol/(\dersler\bilgisayarmimarisi))  
(\dersler\bilgisayarmimarisi)

## Genel Bilgiler

### Değerlendirme

Arasınnav : 35%

Haftalık ödevler : 20% (DersKodu-OgrenciNo-OdevNo.pdf)

Derse katılım : 5%

Final : 40%

### Temel ders kitabı

Stallings, W., "Computer Organization and Architecture 10/e", Pearson, 2015.

### Yardımcı ders kitabı

Patterson, D.A., Hennessy, J.L., "Computer Organization and Design 3/e", Morgan Kaufmann, 2005.

## Genel Bilgiler

### Ders konuları

- (1) Bilgisayar organizasyonu ve mimarisi
- (2) Bilgisayarın gelişimi
- (3) Bilgisayarın bileşenleri
- (4) İşlemci, veriyolu ve kontrol
- (5) Önbellek
- (6) Komut kümesi özellikleri
- (7) Komut kümesi adresleme modları
- (8) Mikroişlemci organizasyonu, CISC Mimarisi ve pipelining
- (9) Pipelining performansını artırmak ve veriyolu gösterimi
- (10) RISC mimarisi ve pipelining
- (11) Komut seviyesinde paralel çalışma
- (12) Kontrol birimi
- (13) Multicore işlemciler
- (14) Çok işlemcili sistemler
- (15) GPU


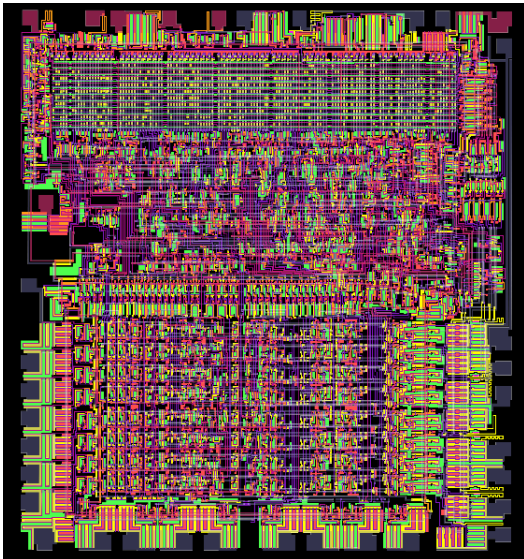
## Giriş

- 6502 simülasyon ([https://bigdata.gazi.edu.tr/akcayol/files/CAL1CPU\\_Simulation.mp4](https://bigdata.gazi.edu.tr/akcayol/files/CAL1CPU_Simulation.mp4))



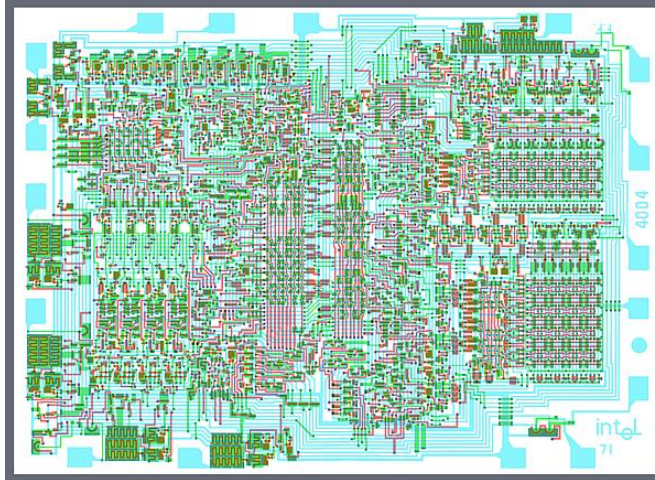
## Giriş

- 6502, 3MHz, Data bus:8-bit, Adres bus:16-bit, 64KB RAM, ~3.500 transistor



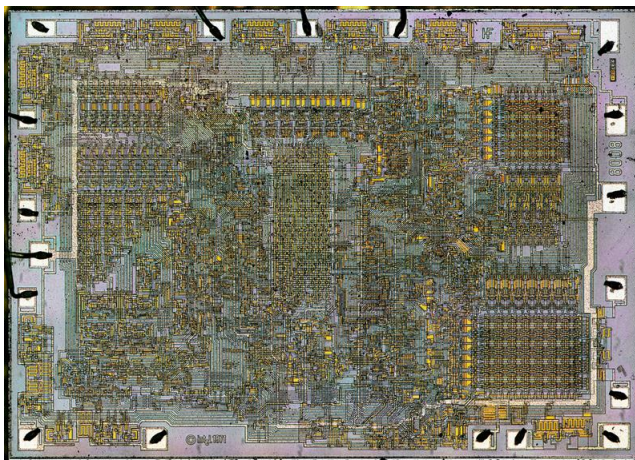
## Giriş

- 4004, 3MHz, 4-bit/12-bit, 4KB RAM, ~2.300 transistor



## Giriş

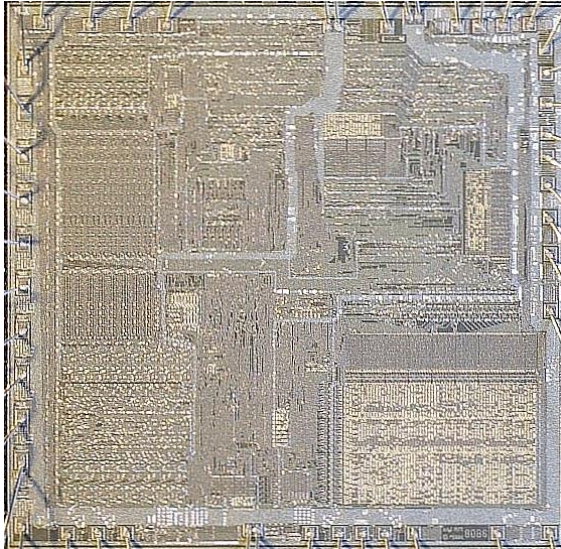
- 8008, 800KHz, 8-bit/14-bit, 16KB RAM, ~4.500 transistor





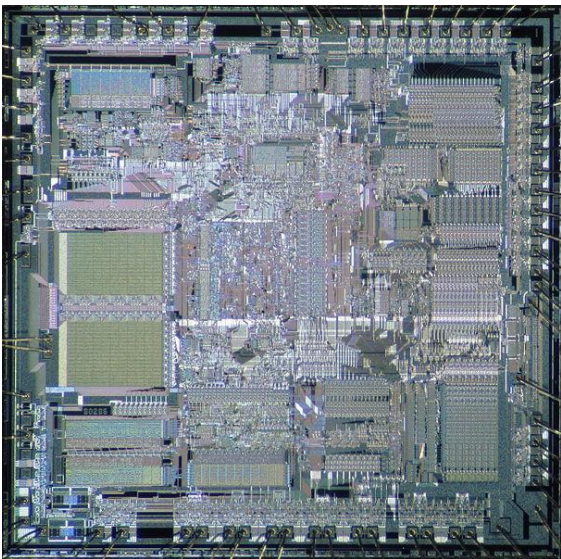
## Giriş

- 8086, 10MHz, 16-bit/20-bit, 1MB RAM, ~29.000 transistor



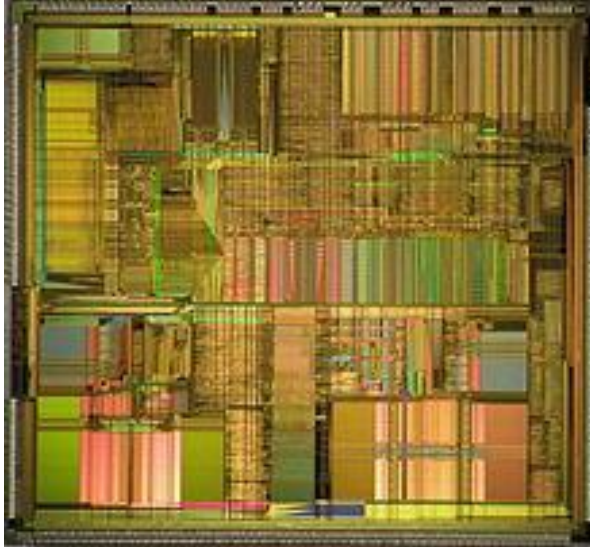
## Giriş

- 80286, 12MHz, 16-bit/24-bit, 16MB RAM, ~134.000 transistor



## Giriş

- Pentium, 60MHz, 64-bit/32-bit, 4GB RAM, ~3.1M transistor



## Giriş

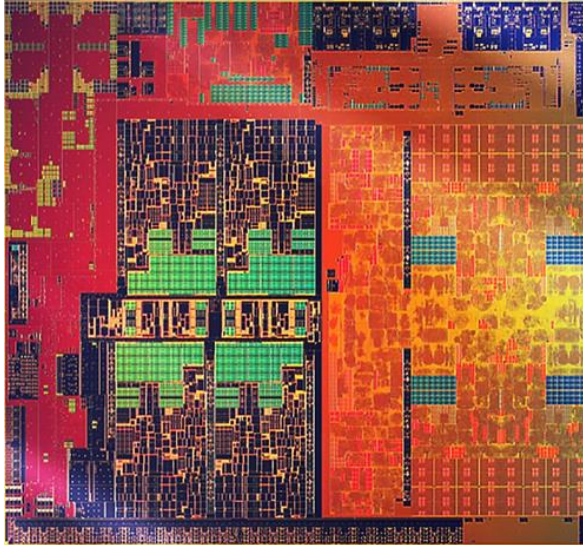
- Pentium 4, 3.8GHz, 64-bit/36-bit, 64GB RAM, ~188M transistor





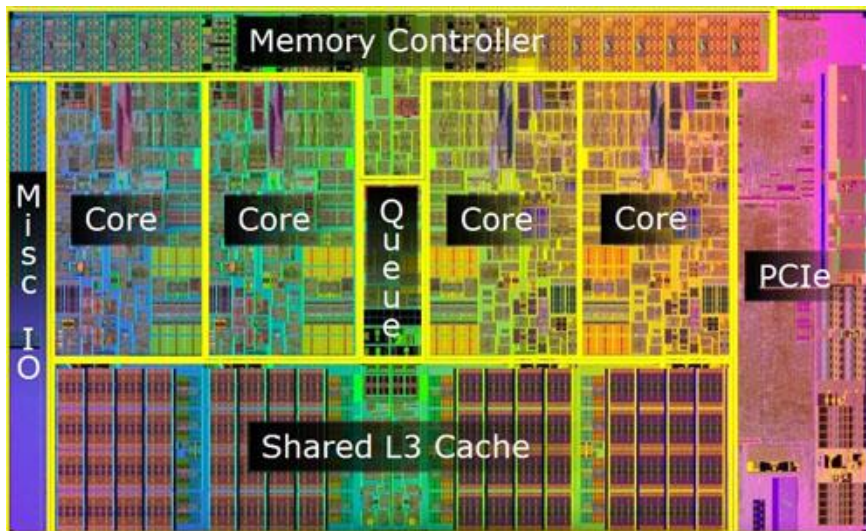
## Giriş

- i3, ~1.4Milyar transistor



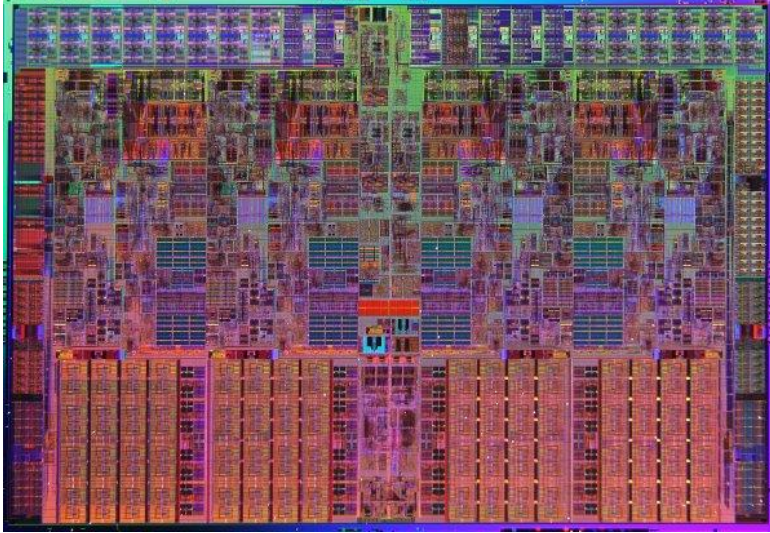
## Giriş

- i5, ~1.75Milyar transistor



## Giriş

- i7, 3.2Milyar transistor, 3.75cm x 3.75cm



## Konular

- **Bilgisayar Organizasyonu ve Mimarisi**
  - Organizasyon ve Mimari
  - Bileşenler ve Fonksiyon
- **Bilgisayarın Gelişimi**
  - Bilgisayar tarihçesi
    - 1. Jenerasyon
    - 2. Jenerasyon
    - 3. Jenerasyon
    - Sonraki Jenerasyonlar
  - Performans için tasarım
  - Pentium ve Power PC gelişimi



## Organizasyon ve Mimari

- Mimari programcıya görünen kısımları ifade eder.
  - Instruction set, veri gösterimindeki bit sayısı, I/O mekanizmaları, adresleme teknikleri.
  - Örnek: Çarpma işlemi olup olmadığı mimariyle ilgilidir.
- Organizasyon programcıya görünmeyen kısmı ifade eder.
  - Kontrol sinyalleri, arayüzler, hafıza teknolojisi.
  - Örnek: Çarpmanın ne şekilde yapıldığı organizasyonla ilgilidir (ardarda toplama veya Booth algoritması)

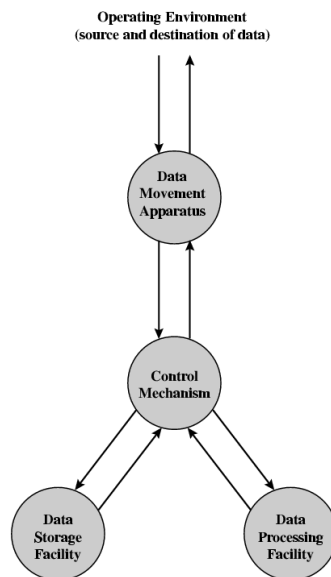
## Yapı (Structure) ve Fonksiyon (Function)

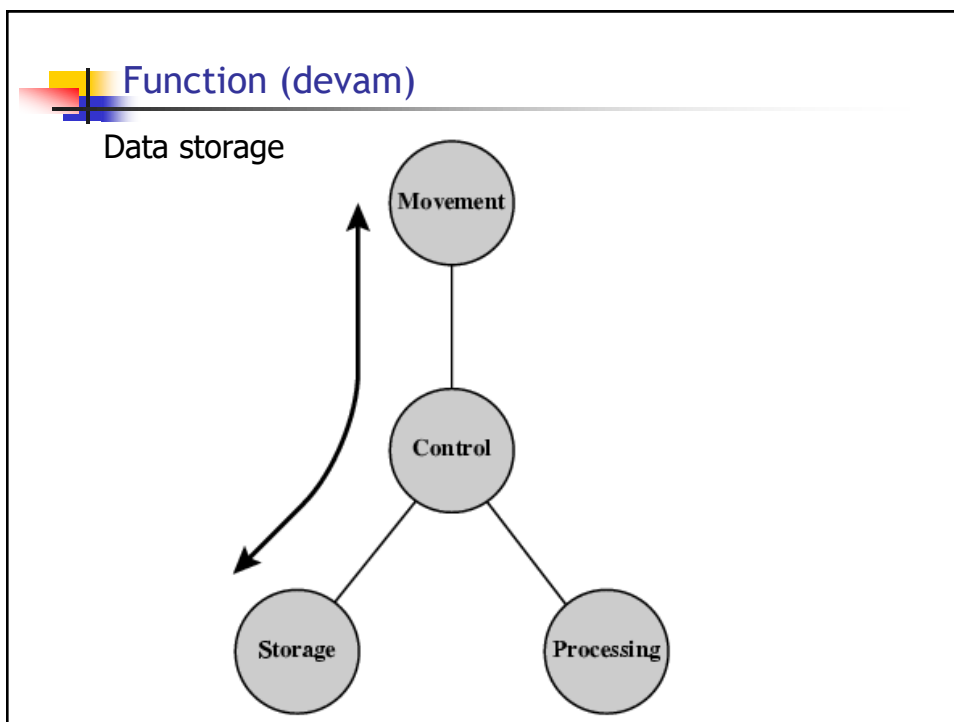
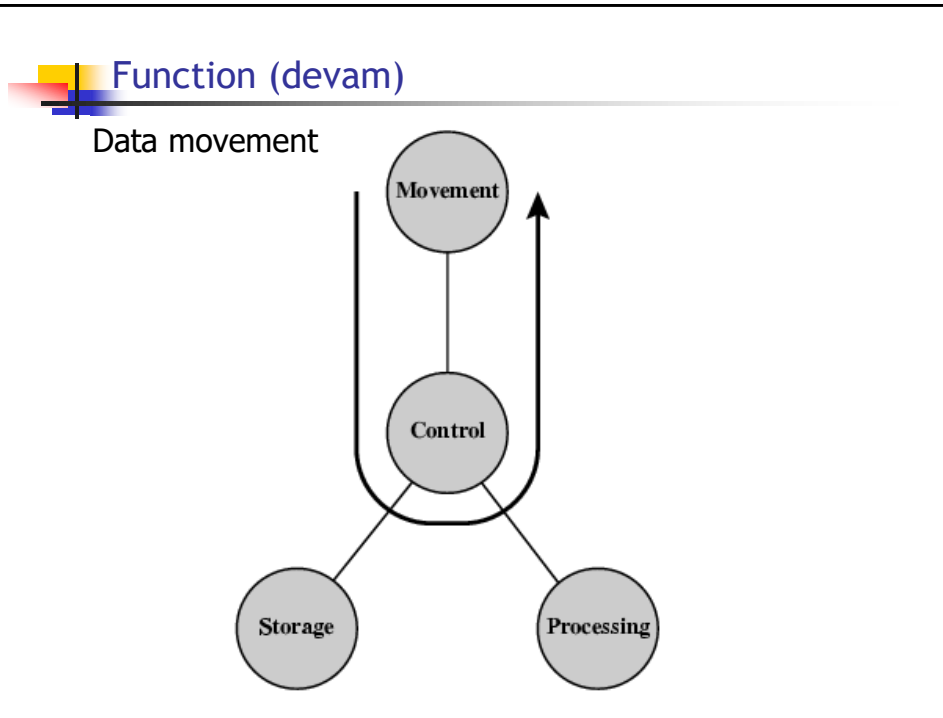
- Structure, elemanların birbirleriyle ne şekilde ilişkili olduğunu ifade eder.
- Function, herbir elemanın işlevini gösterir.

## Function

- Her bilgisayar aşağıdaki işlevleri yerine getirir.
  - Data processing
  - Data storage
  - Data movement
  - Control

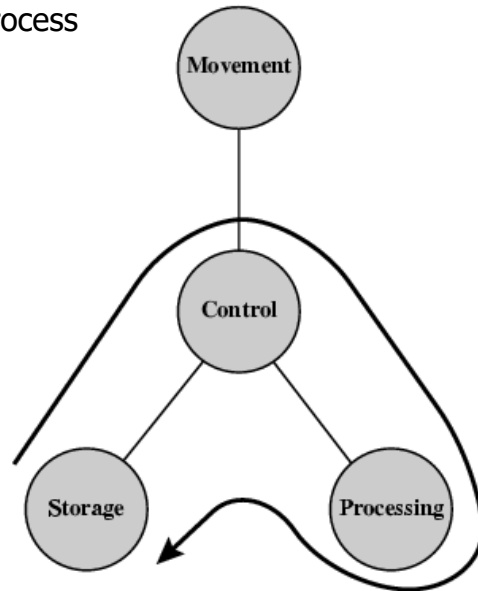
## Function (devam)





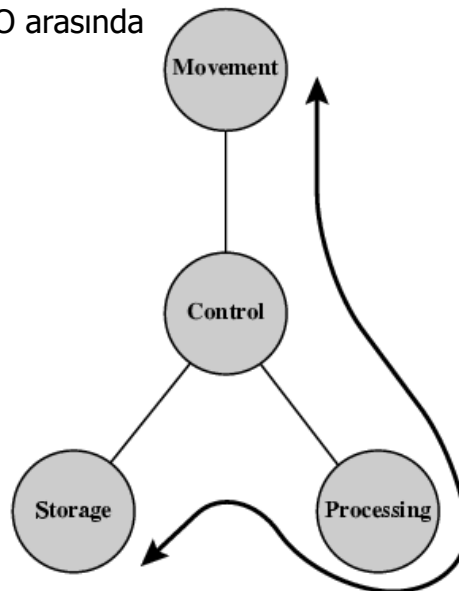
## Function (devam)

Data process

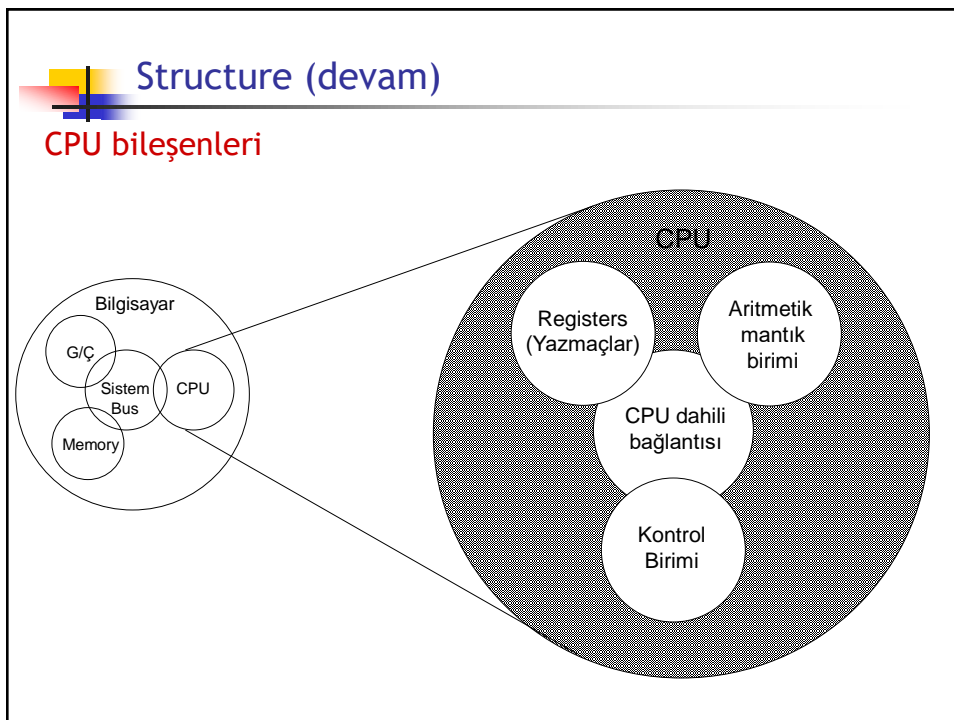
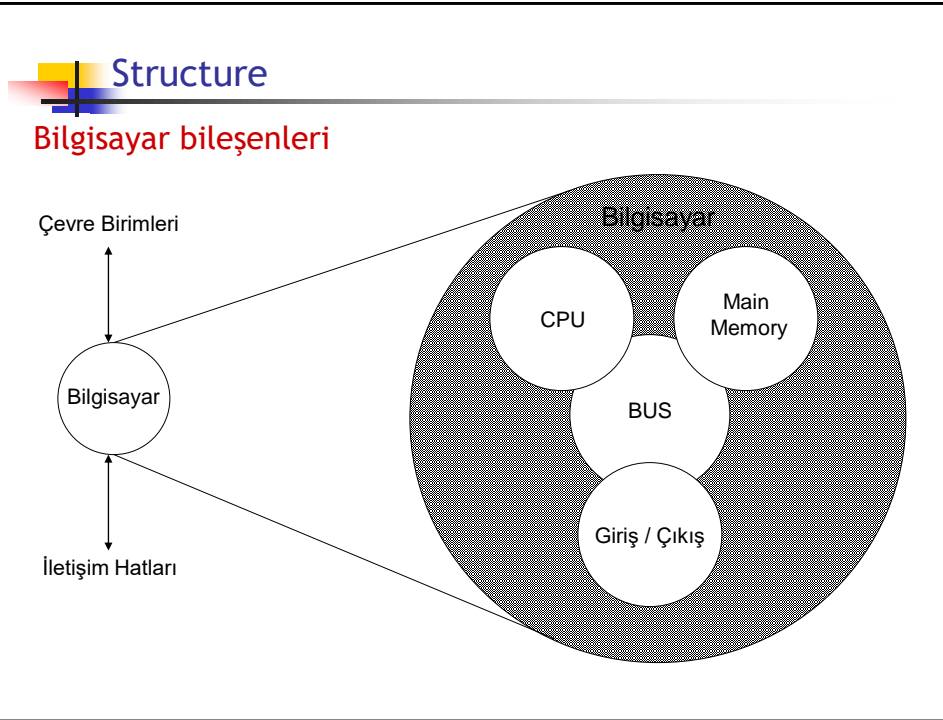


## Function (devam)

Storage ile I/O arasında  
process

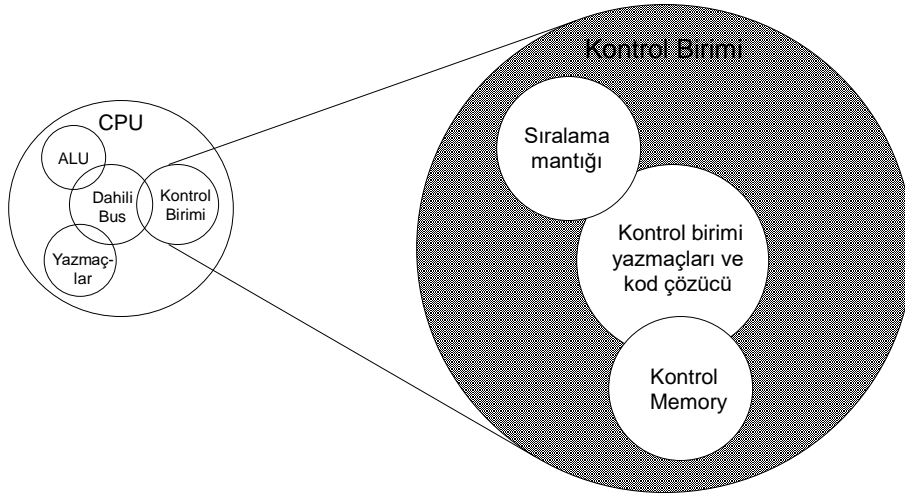






## Structure (devam)

### Kontrol Birimi bileşenleri



## Konular

- Bilgisayar Organizasyonu ve Mimarisi
  - Organizasyon ve Mimari
  - Bileşenler ve Fonksiyon
- Bilgisayarın Gelişimi
  - Bilgisayar tarihçesi
    - 1. Jenerasyon
    - 2. Jenerasyon
    - 3. Jenerasyon
    - Sonraki Jenerasyonlar
  - Performans için tasarım
  - Pentium ve Power PC gelişimi

## Bilgisayarın Tarihçesi

### Mekanik çağ

- MÖ 500 yılında ilk mekanik hesap makinesi olan **abacus** Babilliler tarafından geliştirilmiştir.
- 1642 yılında Blaise Pascal dişliler ve tekerleklerden oluşan bir hesap makinesi geliştirdi.
- Her dişlide 10 diş bulunmaktadır. Bir tur atıldığında diğeri bir diş atlayarak hesap yapmaktadır.
- 1947 yılında Charles Babbage Analytical Engine isimli bir hesap makinesi geliştirmeye başlamıştır.
- Ada Byron Lovelace'ın yardımıyla geliştirdiği bu makine punch card kullanmaktaydı.

## Bilgisayarın Tarihçesi

### Elektrik çağı

- 1800'lü yıllarda elektrik motorlarındaki gelişmelerin sonucunda Pascal tarafından mekanik olarak geliştirilen hesap makinesi motorlar tarafından çalıştırılır hale gelmiştir.
- 1970'li yıllara kadar işyerlerinde yaygın olarak kullanılmıştır.
- 1970'li yıllarda el hesap makinesi **Bomar Brain** geliştirilmiştir.
- Konrad Zuse 1936 yılında mekanik ve 1941 yılında ise elektromekanik hesap makinesini geliştirmiştir.
- 1940'lı yıllarda Konrad Zuse **Z3** isimli ilk modern bilgisayarı geliştirmiştir.
- Z3 5.33 Hz clock frekansına sahipti.
- 1943 yılında Alan Turing tarafından vakum tüplerle **Colossus** isimli elektronik hesap makinesi geliştirilmiştir.
- Colossus yeniden programlanamayan **özel amaçlı (special-purpose) bilgisayar** olarak adlandırılmaktadır.

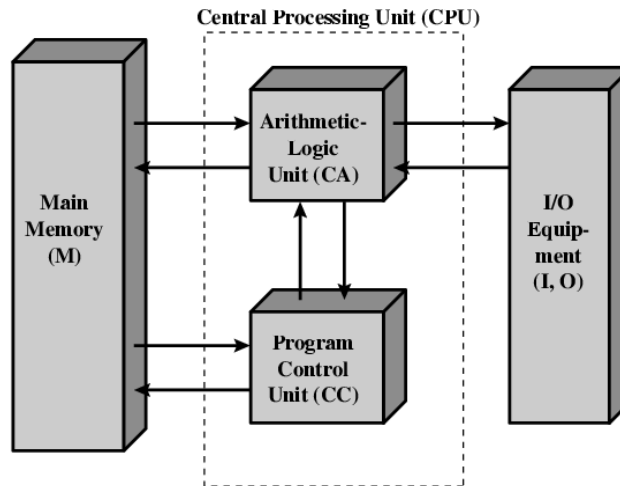
## Bilgisayarın Tarihçesi

### İlk jenerasyon : Vakum tüpleri

- **ENIAC** (Electronic Numerical Integrator and Computer) ilk genel amaçlı elektronik bilgisayardır.
- ENIAC 1946 yılında tamamlanmıştır. **30 ton ağırlığında** yaklaşık **1500 m<sup>2</sup>** ve **17000 vakum tüpten** oluşmaktaydı.
- ENIAC **140 kW gücünde** ve saniyede **5000 toplama işlemi** yapabiliyordu.
- John von Neumann 1945 yılında **hem datanın hem de programın aynı hafızada saklanması** fikrini ortaya atmış ve **EDVAC** (Electronic Discrete Variable Computer) isimli bilgisayarı geliştirmiştir (**stored-program**).
- Daha sonraki yıllarda **UNIVAC** (Universal Automatic Computer) gibi ticari bilgisayarlar geliştirilmiştir.

## Bilgisayarın Tarihçesi

### von Neumann mimarisi





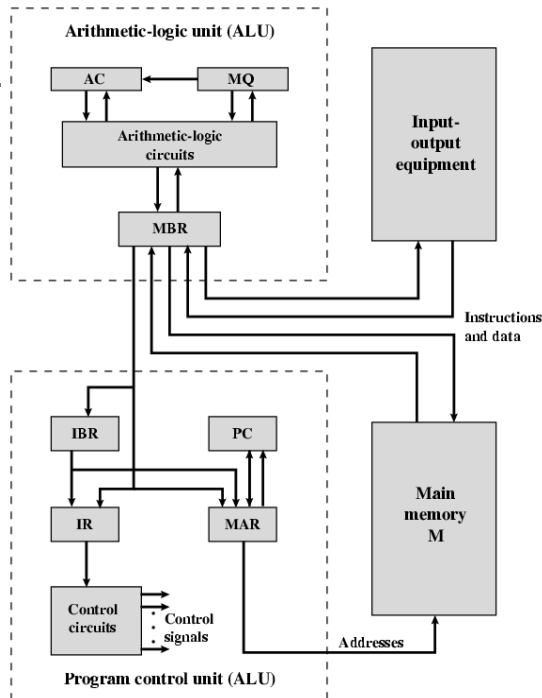
## Bilgisayarın Tarihçesi

### IAS Bilgisayar

- von Neumann ve arkadaşları IAS (Institute for Advanced Studies) bilgisayarı geliştirdiler.
- 1000 x 40 bit words
  - Binary number
  - 2 x 20 bit instructions
- Register'lar (CPU içinde)
  - Memory Buffer Register
  - Memory Address Register
  - Instruction Register
  - Instruction Buffer Register
  - Program Counter
  - Accumulator
  - Multiplier Quotient

## Tarihçe

### IAS Bilgisayar - Mimarisi



## Bilgisayarın Tarihçesi

### İkinci jenerasyon : Transistörler (10.000 transistörden oluşan bilgisayar)

- Elektronik bilgisayarlardaki en büyük değişim vakum tüplerin yerine transistörlerin kullanılmaya başlanmasıdır.
- Transistör 1947 yılında Bell laboratuarlarında bulunmuştur.
- 1950'li yılların sonlarında komple transistörlerden oluşan bilgisayarlar üretilmiştir.

### Üçüncü jenerasyon : Entegre devreler

- Entegre devreler çok sayıda discrete eleman'dan (transistör) oluşmaktadır. Small/Medium Scale Integration olarak adlandırılır.

### Dördüncü jenerasyon

- Large Scale Integration (bir chip içinde 1.000 transistör)

### Beşinci jenerasyon

- Very Large Scale Integration (bir chip içinde 10.000 transistör)

### Altıncı jenerasyon

- Ultra Large Scale Integration (bir chip içinde 1 milyondan çok transistör)

## Bilgisayarın Tarihçesi

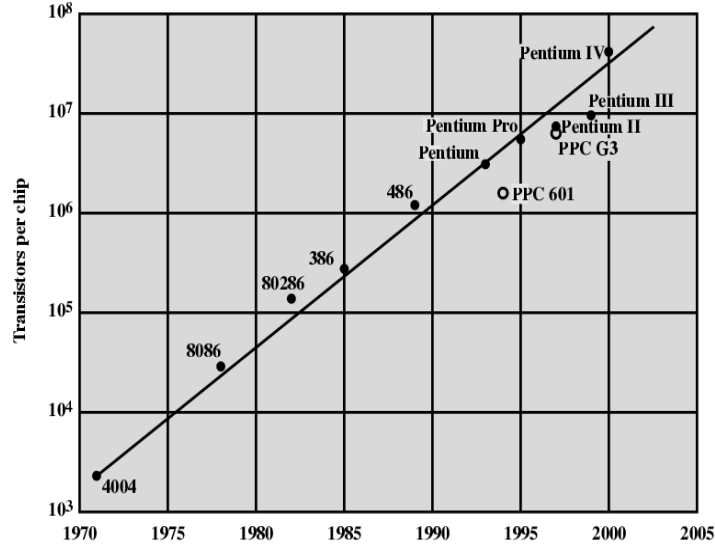
### Bilgisayar jenerasyonları

Generation	Approximate Dates	Technology	Typical Speed (operations per second)
1	1946-1957	Vacuum tube	40,000
2	1958-1964	Transistor	200,000
3	1965-1971	Small and medium scale integration	1,000,000
4	1972-1977	Large scale integration	10,000,000
5	1978-1991	Very large scale integration	100,000,000
6	1991-	Ultra large scale integration	1,000,000,000



## Bilgisayarın Tarihçesi

### Bir mikroişlemciye transistör sayısının gelişimi



## Bilgisayarın Tarihçesi

### Mikroişlemci çağı

- Intel 1971 yılında ilk mikroişlemci olan **4004**'ü geliştirdi.
  - 4096 hafıza alanı adresleme kapasitesine sahiptir.
  - Her adres alanı 4 bit (**nibble**) genişliğindedir.
  - 4004 mikroişlemci komut kümesinde toplam 45 komut vardır.
  - Saniyede 50 KIPS (kilo-instructions per seconds) hızındadır.
  - 1946 yılında geliştirilen 30 ton ağırlığındaki ENIAC bilgisayar 100 KIPS hızındadır.
  - 4004 daha yavaştır ancak çok daha hafiftir.
- Intel 1972 yılında **8008** mikroişlemciyi geliştirdi.
  - 4004 mikroişlemcinin 8-bit versiyonudur.
  - 8008 16 KByte adresleme kapasitesine sahiptir.
  - 8008 komut setinde toplam 48 komut vardır.
  - 50 KIPS hızındadır.

## Bilgisayarın Tarihçesi

### Mikroişlemci çağı (devam)

- Intel 1974 yılında **8080**'i geliştirdi.
  - 64 KByte hafıza alanı adresleme kapasitesine sahiptir.
  - 8008'den 10 kat daha hızlıdır (500 KIPS)
  - MITS (Micro Instrumentation and Telemetry Systems) Altair 8800 bilgisayarda kullanılmıştır.
  - MITS Altair 8800 için BASIC dili yorumlayıcısı 1975 yılında Bill Gates ve Paul Allen tarafından geliştirilmiştir.
  - MITS Altair 8800 için assembler programı Digital Research Corporation tarafından geliştirilmiştir.
- Intel 1977 yılında **8085** mikroişlemciyi geliştirdi.
  - 64 KByte hafıza alanı adresleme kapasitesine sahiptir.
  - Intel'in son 8-bit mikroişlemcisidir.
  - Yaklaşık 769 KIPS hızındadır.

## Bilgisayarın Tarihçesi

### Modern mikroişlemciler

- Intel 1978 yılında **8086** ve bir yıl sonra **8088**'i geliştirdi.
  - 16 bit mikroişlemcilerdir.
  - 1 MByte hafıza alanı adresleme kapasitesine sahiptirler (8085'ten 16 kat fazla).
  - 2.5 MIPS hızındadır (bir instruction 400ns).
  - 8086/8088 işlemcilerde ilk defa **4-6 byte cache** kullanılmıştır ve bazı instruction'lar prefetch yapılmıştır.
- Intel 1983 yılında **80286** mikroişlemciyi geliştirdi.
  - 16-bit mikroişlemcidir.
  - 16 MByte adresleme kapasitesine sahiptir.
  - 4 MIPS hızındadır.



## Bilgisayarın Tarihçesi

### Modern mikroişlemciler(devam)

- Intel 1986 yılında **80386** mikroişlemciyi geliştirdi.
  - Intel'in ilk **32 bit** mikroişlemcisidir.
  - 32 bit data bus ve 32 bit adres bus'a sahiptir.
  - $2^{32} = 4$  GByte adresleme kapasitesine sahiptir.
- Intel 1989 yılında **80486** mikroişlemciyi geliştirdi.
  - 32-bit mikroşlemcidir.
  - 8 KByte cache'i içinde (**on-chip**) bulundurur.
  - 50 MIPS hızındadır.
- Intel 1993 yılında **Pentium** mikroişlemciyi geliştirdi.
  - 32-bit mikroşlemcidir.
  - 4 GByte adresleme kapasitesine sahiptir.
  - 16 KByte **split cache** vardır (8 KB instruction, 8 KB data).
  - 110 MIPS veya 150 MIPS hızlarında versiyonları vardır.
  - En büyük yenilik 2 adet integer işlemciye sahip olmasıdır.

## Bilgisayarın Tarihçesi

### Modern mikroişlemciler(devam)

- Intel 1995 yılında **Pentium Pro** mikroişlemciyi geliştirdi.
  - Intel'in ilk **64 bit** mikroşlemcisidir.
  - 3 tane integer unit ve 1 adet floating-point unit vardır.
  - $2^{36} = 64$  GByte adresleme kapasitesine sahiptir (adres bus = 36 bit).
  - 16 KB (8K data + 8K instruction) **on-chip L1 cache** ve 256 KB **L2 cache** vardır.
- Intel 1997 yılında **Pentium II** mikroşlemciyi geliştirdi.
  - 64-bit mikroşlemcidir.
  - L2 cache Pentium işlemcide 60-66Mhz system bus ile çalışır.
  - Pentium II ve L2 cache ayrı bir board üzerindedir ve L2 cache 133 MHz hızla çalışır ve 512 KB boyutundadır.
  - **Pentium II Xeon** 32 KB L1 cache ve 512 KB, 1 MB, 2M L2 cache'e sahiptir.

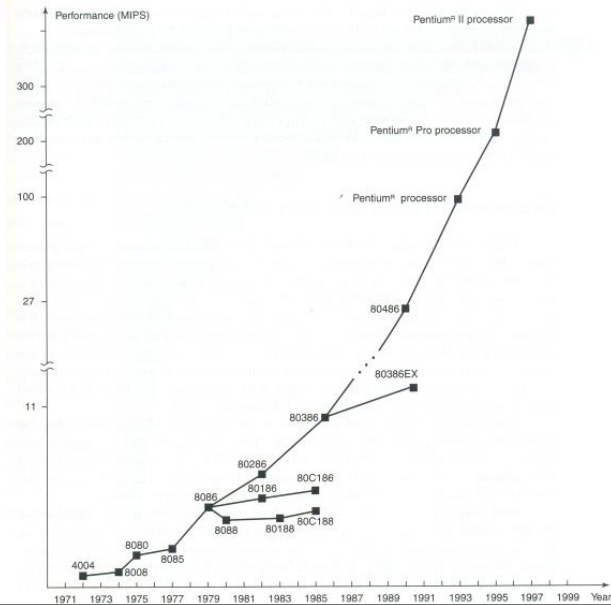
## Bilgisayarın Tarihçesi

### Modern mikroişlemciler(devam)

- Intel 1999 yılında **Pentium III** mikroişlemciyi geliştirdi.
  - 64 bit mikroişlemcidir.
  - 1 GHz clock frekansla çalışır.
  - $2^{36}$  = 64 GByte adresleme kapasitesine sahiptir.(adres bus = 36 bit)
  - 512 KB veya 256 KB cache vardır.
  - Memory bus speed 100 MHz' dir.
  - **Celeron** işlemciler 66 MHz memory bus clock hızına sahiptir.
- Intel 2000 yılında **Pentium 4** mikroişlemciyi geliştirdi.
  - 64-bit mikroişlemcidir.
  - 3.2 GHz clock frekansla çalışır.
  - L1 cache 8-32 KB, L2 cache 256-512 KB.

## Bilgisayarın Tarihçesi

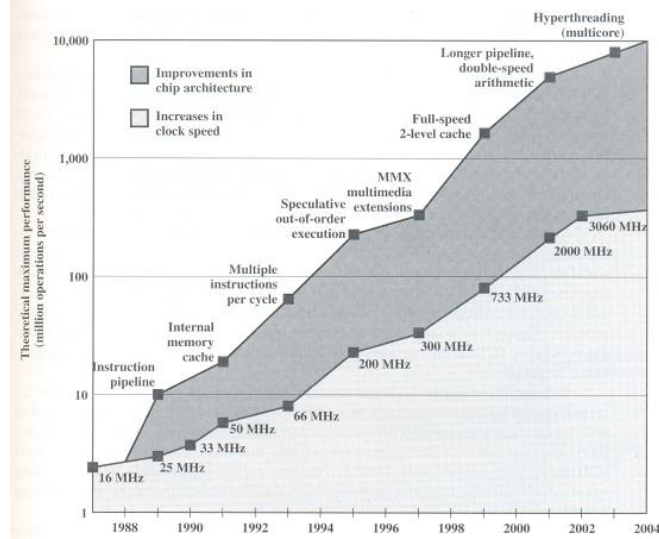
### Intel mikroişlemcilerin gelişimi





## Bilgisayarın Tarihçesi

### Intel mikroişlemcilerin performansı



## Bilgisayarın Tarihçesi

### Intel mikroişlemcilerin gelişimi

(a) 1970s Processors					
	4004	8008	8080	8086	8088
Introduced	1971	1972	1974	1978	1979
Clock speeds	108 kHz	108 kHz	2 MHz	5 MHz, 8 MHz, 10 MHz	5 MHz, 8 MHz
Bus width	4 bits	8 bits	8 bits	16 bits	8 bits
Number of transistors	2,300	3,500	6,000	29,000	29,000
Feature size (µm)	10		6	3	6
Addressable memory	640 Bytes	16 KBytes	64 KBytes	1 MB	1 MB
Virtual memory	—	—	—	—	—

(b) 1980s Processors				
	80286	386TM DX	386TM SX	486TM DX CPU
Introduced	1982	1985	1988	1989
Clock speeds	6 MHz–12.5 MHz	16 MHz–33 MHz	16 MHz–33 MHz	25 MHz–50 MHz
Bus width	16 bits	32 bits	16 bits	32 bits
Number of transistors	134,000	275,000	275,000	1.2 million
Feature size (µm)	1.5	1	1	0.8–1
Addressable memory	16 megabytes	4 gigabytes	16 megabytes	4 gigabytes
Virtual memory	1 gigabyte	64 terabytes	64 terabytes	64 terabytes

## Bilgisayarın Tarihçesi

### Intel mikroişlemcilerin gelişimi (devam)

(c) 1990s Processors

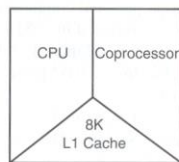
	486TM SX	Pentium	Pentium Pro	Pentium II
Introduced	1991	1993	1995	1997
Clock speeds	16 MHz–33 MHz	60 MHz–166 MHz	150 MHz–200 MHz	200 MHz–300 MHz
Bus width	32 bits	32 bits	64 bits	64 bits
Number of transistors	1.185 million	3.1 million	5.5 million	7.5 million
Feature size ( $\mu\text{m}$ )	1	0.8	0.6	0.35
Addressable memory	4 gigabytes	4 gigabytes	64 gigabytes	64 gigabytes
Virtual memory	64 terabytes	64 terabytes	64 terabytes	64 terabytes

(d) Recent Processors

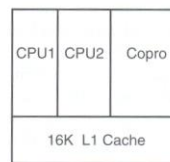
	Pentium III	Pentium 4	Itanium	Itanium 2
Introduced	1999	2000	2001	2002
Clock Speeds	450–660 MHz	1.3–1.8 GHz	733–800 MHz	900 MHz–1 GHz
Bus Width	64 bits	64 bits	64 bits	64 bits
Number of Transistors	9.5 million	42 million	25 million	220 million
Feature size ( $\mu\text{m}$ )	0.25	0.18	0.18	0.18
Addressable Memory	64 gigabytes	64 gigabytes	64 gigabytes	64 gigabytes
Virtual Memory	64 terabytes	64 terabytes	64 terabytes	64 terabytes

## Bilgisayarın Tarihçesi

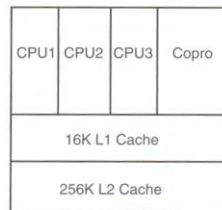
### Intel mikroişlemcilerin genel yapıları



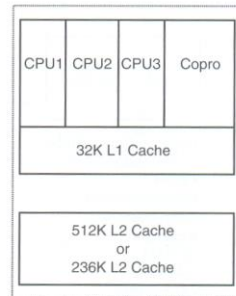
80486DX



Pentium



Pentium Pro



Pentium II, Pentium III,  
or Pentium 4 Module



## Bilgisayarın Tarihçesi

### Intel ve Motorola mikroişlemciler

TABLE 1-2 Many modern Intel and Motorola microprocessors.

Manufacturer	Part Number	Data Bus Width	Memory Size
Intel	8048	8	2K internal
	8051	8	8K internal
	8085A	8	64K
	8086	16	1M
	8088	8	1M
	8096	16	8K internal
	80186	16	1M
	80188	8	1M
	80251	8	16K internal
	80286	16	16M
	80386EX	16	64M
	80386DX	32	4G
	80386SL	16	32M
	80386SLC	16	32M + 8K cache
	80386SX	16	16M
	80486DX/DX2	32	4G + 8K cache
	80486SX	32	4G + 8K cache
	80486DX4	32	4G + 16 cache
	Pentium	64	4G + 16K cache
	Pentium OverDrive	32	4G + 16K cache
	Pentium Pro	64	64G + 16K L1 cache + 256K L2 cache

## Bilgisayarın Tarihçesi

### Intel ve Motorola mikroişlemciler (devam)

Intel	Pentium II	64	64G + 32K L1 cache + 256K L2 cache
	Pentium III	64	64G + 32K L1 cache + 256K L2 cache
	Pentium 4	64	64G + 8K L1 cache + 512K L2 cache (or larger)
	Pentium 5	64	64G + 8K L1 cache + 512K L2 cache (or larger)
	Pentium 6	64	64G + 8K L1 cache + 512K L2 cache (or larger)
	Pentium 7	64	64G + 8K L1 cache + 512K L2 cache (or larger)
	Pentium 8	64	64G + 8K L1 cache + 512K L2 cache (or larger)
	Pentium 9	64	64G + 8K L1 cache + 512K L2 cache (or larger)
	Pentium 10	64	64G + 8K L1 cache + 512K L2 cache (or larger)
	Pentium 11	64	64G + 8K L1 cache + 512K L2 cache (or larger)
	Pentium 12	64	64G + 8K L1 cache + 512K L2 cache (or larger)
	Pentium 13	64	64G + 8K L1 cache + 512K L2 cache (or larger)
	Pentium 14	64	64G + 8K L1 cache + 512K L2 cache (or larger)
	Pentium 15	64	64G + 8K L1 cache + 512K L2 cache (or larger)
	Pentium 16	64	64G + 8K L1 cache + 512K L2 cache (or larger)
	Pentium 17	64	64G + 8K L1 cache + 512K L2 cache (or larger)
	Pentium 18	64	64G + 8K L1 cache + 512K L2 cache (or larger)
	Pentium 19	64	64G + 8K L1 cache + 512K L2 cache (or larger)
	Pentium 20	64	64G + 8K L1 cache + 512K L2 cache (or larger)
Motorola	6800	8	64K
	6805	8	2K
	6809	8	64K
	68000	16	16M
	68008D	8	4M
	68008Q	8	1M
	68010	16	16M
	68020	32	4G
	68030	32	4G + 256 cache
	68040	32	4G + 8K cache
	68050	32	Proposed, but never released
	68060	64	4G + 16K cache
	PowerPC	64	4G + 32K cache

## Performans için Tasarım

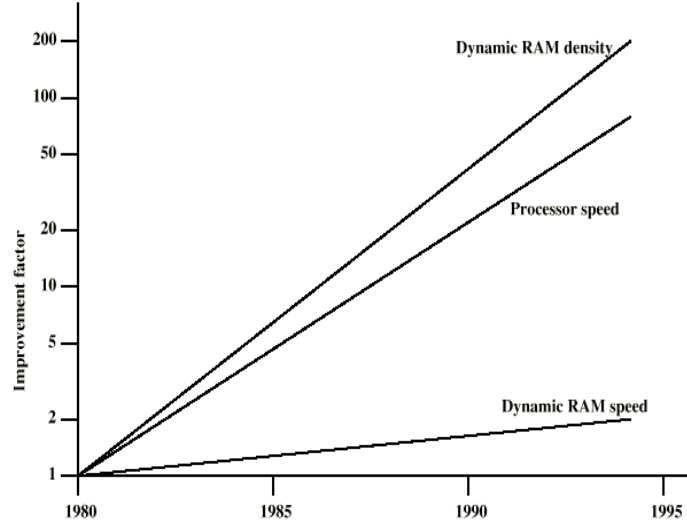
- Her geçen yıl bilgisayarların performansı ve kapasitesi artarken fiyatları önemli oranda düşmüştür.
- Resim işleme, konuşma algılama, video konferans, multimedya ve simülasyon uygulamaları yüksek performans gerektirir.
- Yaklaşık **her üç yılda** bir çip içerisindeki **transistör sayısı dört katına çıkmıştır**.
- Bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler tek başına performansı istenen seviyede artırmaya yeterli olmamaktadır.
- Teknolojideki hız artışına paralel bir şekilde **mikroişlemci performansını artırmak için yeni teknikler geliştirilmiştir**.

## Performans için Tasarım - devam

- **Branch prediction (Atlama tahmini)** - İşlemci hafızadan aldığı atlama komutlarını çalıştırmadan önce sonraki komutun hangisi olacağını tahmin etmeye çalışır.
- **Data flow analysis (Veri akış analizi)** - İşlemci komutları çalıştırırken birbirinin sonucuna bağlı olanları belirler ve çalıştırma sırasını bekleme olmayacak şekilde düzenler.
- **Speculative execution (Önceden çalıştırma)** - İşlemci bir komutu gerekmeden önce çalıştırıp sonucunu geçici olarak kaydeder ve gerektiğinde kullanır.

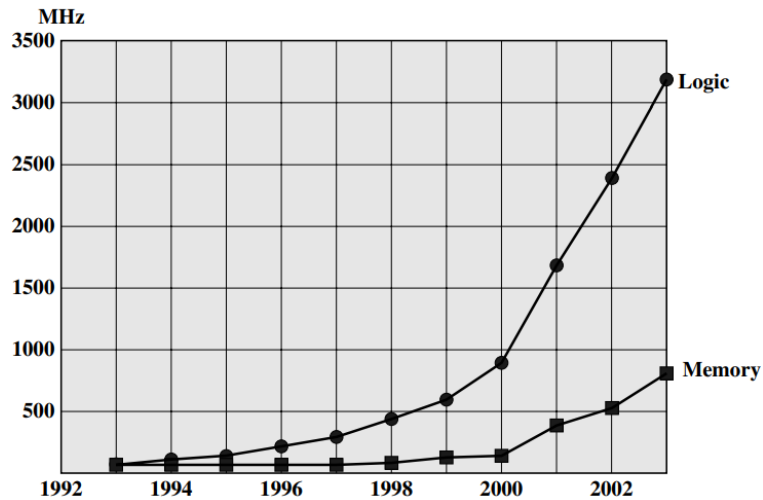
## Performans için Tasarım - devam

Mikroişlemciler farklı kapasitelere sahip elemanlar arasında performansı düzenlemek zorundadır.



## Performans için Tasarım - devam

Mantık devreleri ile hafıza performansı



## Performans için Tasarım - devam

- Program komutları ve verilerini daha yavaş olan hafızadan olabildiğince hızlı alabilmek için bazı teknikler kullanılır.
- Bir erişimde DRAM'den (Main Memory) alınan veri miktarı artırılır. Bunun için **daha geniş data bus** kullanılır.
- DRAM ile mikroişlemci arasına sık kullanılan verileri saklayan **önbellek (cache)** yerleştirilir.
- Mikroişlemcinin hafızaya erişim sıklığı azaltıcı algoritmalar kullanılır.
- Mikroişlemci ile hafıza arasındaki bağlantı yolunun bant genişliği (hızı) artırılır.

## Performans için Tasarım - devam

- **Mikroişlemci içindeki elemanlar** boyutları küçülürken birbirine daha yakın hale gelmiştir. Böylece yollar kısalmış ve sinyallerin erişim süreleri artmıştır.
- Önbellekler mikroişlemci içerisine yerleştirilmiş ve erişim hızları artırılmıştır.
- Mikroişlemcilerde paralel çalışma yöntemleri geliştirilerek işlemci hızları artırılmıştır.
- Bütün bu gelişmeler yaşanırken kapı devrelerinin boyutları çok küçülmüş ve saat hızı (clock speed) artırılmıştır.

## Performans için Tasarım - devam

- Aşağıdaki üç olumsuzluk performans artışı engellemeye başlamıştır:
  - Birim alanda **harcanan enerji artmış** ve **ısınma problemleri** ortaya çıkmaya başlamıştır.
  - İşlemci elemanları birbirine yaklaştıkça yollar hem birbirine yaklaşmış hem de incelmıştır. Yolların incilmesi sonucunda direnç (**Resistance - R**) artmış ve yolların birbirine yaklaşması sonucunda kapasitans (**Capacitance - C**) artmıştır. Bu ikisinin oluşturduğu **RC gecikme (RC Delay)** performansı engellemeye başlamıştır.
  - Mikroişlemci teknolojisindeki hız artışının çok fazla olmasından dolayı **hafıza ile işlemci arasındaki fark giderek artmış** ve hafıza işlemcinin performansını olumsuz etkilemeye başlamıştır.

## Pentium ve Power PC Gelişimi

- **Intel** mikroişlemciler Complex Instruction Set Computer (CISC) mimarisine sahip bilgisayarların, **Power PC** mikroişlemciler ise Reduced Instruction Set Computer (RISC) mimarisine sahip bilgisayarların gelişimini göstermektedir.

### *Intel*

- Intel geliştirmiş olduğu her mikroşlemcide mimari açıdan önemli değişiklikler yapmıştır.
- **8080:** Dünyanın ilk genel amaçlı mikroşlemcisidir. 8-bit işlemcidir ve data bus 8-bit genişliğindedir.
- **8086:** İlk 16-bit mikroşlemcidir. Geniş data bus yanında daha büyük register'lara, komut önbelleğine, kuyruk yapısına, komutları önceden hafızadan alan **prefetch** yapısına sahiptir.
- **80286:** 8086 işlemcinin gelişmiş versiyonudur ve 1MB yerine 16MB hafızayı adresleyebilmektedir.
- **80386:** Intel'in ilk **32-bit** mikroşlemcisidir. İlk çoklu görev (multitasking) çalıştırma kapasitesine sahip mikroşlemcidir.
- **80486:** Güçlü önbellek (cache memory) yapısına sahiptir, komut **pipeline** (boru hattı) yapısına sahiptir. Ayrıca **yardımcı matematiksel işlemciye** sahiptir.

## Pentium ve Power PC Gelişimi

- **Pentium:** Intel Pentium serisiyle **superscalar** işlemcileri tanıtmıştır. Birden fazla komut paralel bir şekilde çalıştırılabilmektedir.
- **Pentium Pro:** Superscalar işlemin yanı sıra, **register renaming**, **branch prediction**, **data flow analysis** ve **speculative execution** gibi dinamik yöntemlere sahiptir. Komutlar arasındaki **veri bağımlılığından kaynaklanan gecikmeler** minimize edilmiştir. **Atlamalar** önceden tahmin edilmeye çalışılmıştır. Komutlar arasındaki **veri bağımlılıkları** ortadan kaldırılmaya veya **çalışma sıraları değiştirilmeye çalışmaktadır**. Ayrıca **gerektiği zamandan önce komutlar çalıştırılıp sonuçları saklanmakta** ve kaynaklar olabildiğince çalışır durumda tutulmaktadır.
- **Pentium II:** Intel multimedya teknolojisine (MMX) sahiptir. Hareketli görüntü, ses ve grafik uygulamaları daha etkin çalıştırılabilmektedir.
- **Pentium III:** Ekstra floating-point komutlara sahiptir ve 3 boyutlu grafik yazılımlarını daha iyi destekler.
- **Pentium 4:** Multimedya ile ilgili ek özelliklere sahiptir.
- **Itanium:** 64-bit organizasyona sahip olan IA-64 mimarisine sahiptir.
- **Itanium 2:** Bu yeni itanium serisi hızı artırmak için ek donanımlara (daha büyük L3 cache, daha yüksek clock speed) sahiptir.

## Pentium ve Power PC Gelişimi - devam

### *Power PC*

- IBM tarafından 1975 yılında RISC mimarisine sahip mimari yaklaşımı duyurulmuştur.
- **601:** 32-bit işlemcidir ve Power PC ailesinin ilk üyesidir.
- **603:** 601 gibi **32-bit** mimariye sahiptir ancak daha ucuz ve yüksek performanslı mikroişlemcidir.
- **604:** 32-bit mikroişlemcidir ve **superscalar** mimariye sahiptir.
- **620:** Sunucu bilgisayarlar için geliştirilmiş olup **64-bit** mimariye sahiptir.
- **740/750:** G3 işlemci olarak da bilinir. **İki seviyeli önbelleğe** sahiptir ve önemli oranda performans artışı sağlamıştır.
- **G4:** **Paralellik** sayesinde performans artışı sağlamaktadır.
- **G5:** Mikroişlemcinin iç mimarisi geliştirilerek hız artışı sağlanmıştır ve paralel çalışmadaki performans artırılmıştır.



## Ödev

---

- Hyperthreading hakkında bir araştırma ödevi hazırlayınız.