

# BM-311 Bilgisayar Mimarisi

---

Hazırlayan: M.Ali Akcayol  
Gazi Üniversitesi  
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

## Genel Bilgiler

---

Öğretim üyesi : Prof. Dr. M. Ali Akcayol  
Ofis : Gazi Ün., Bilgisayar Mühendisliği Bölümü  
E-Posta : [akcayol@gazi.edu.tr](mailto:akcayol@gazi.edu.tr)  
Ofis saatleri : Cum 13:30-14:30

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

## Genel Bilgiler

### Değerlendirme

Arasınnav : 35%

Haftalık ödevler : 25% (DersKodu-OgrenciNo-OdevNo.pdf)

Final : 40%

### Temel ders kitabı

Stallings W., "Computer Organization and Architecture 11/e", Pearson, 2015.

### Yardımcı ders kitabı

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

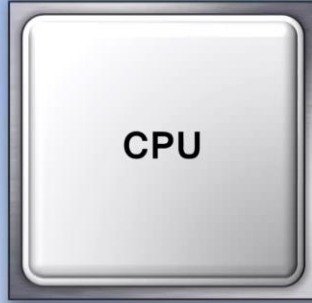
## Genel Bilgiler

### 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

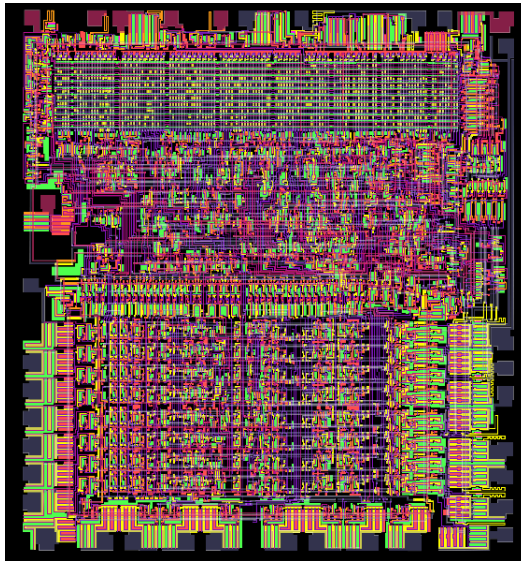
## Giriş

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



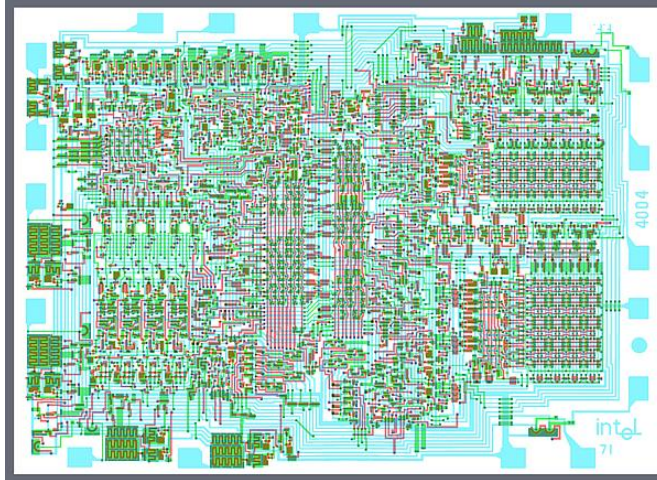
## Giriş

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



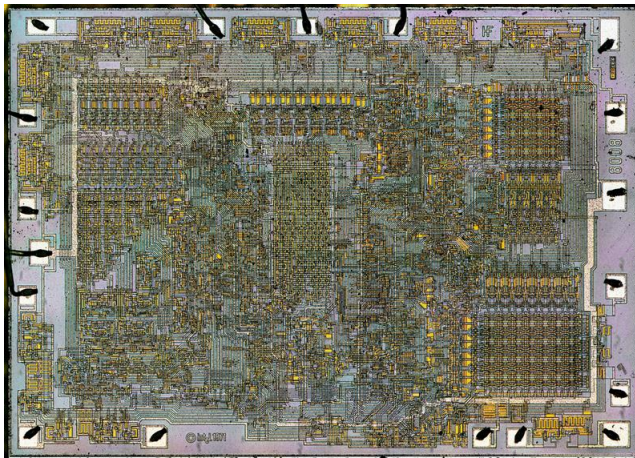
## Giriş

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



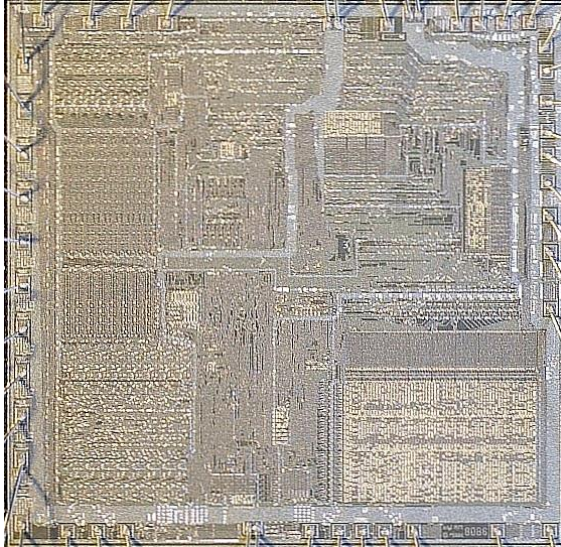
## Giriş

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



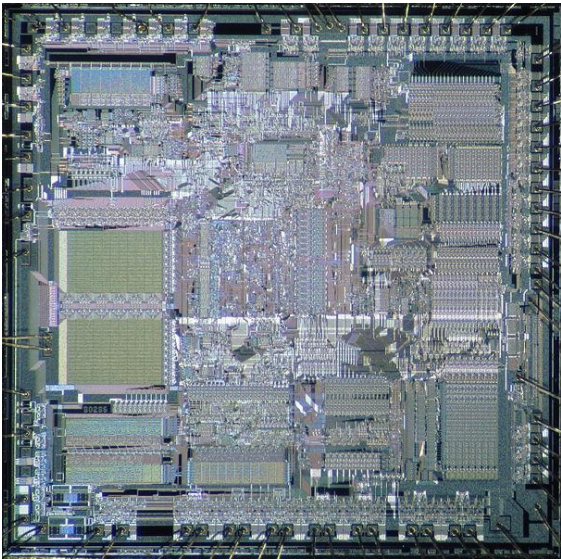
## Giriş

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



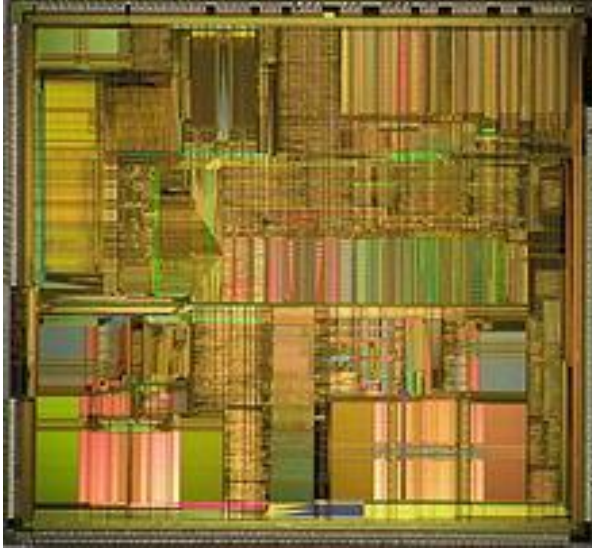
## Giriş

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



## Giriş

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



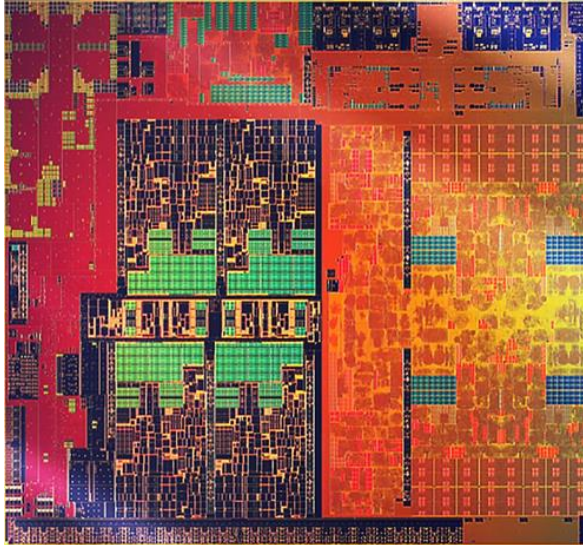
## Giriş

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



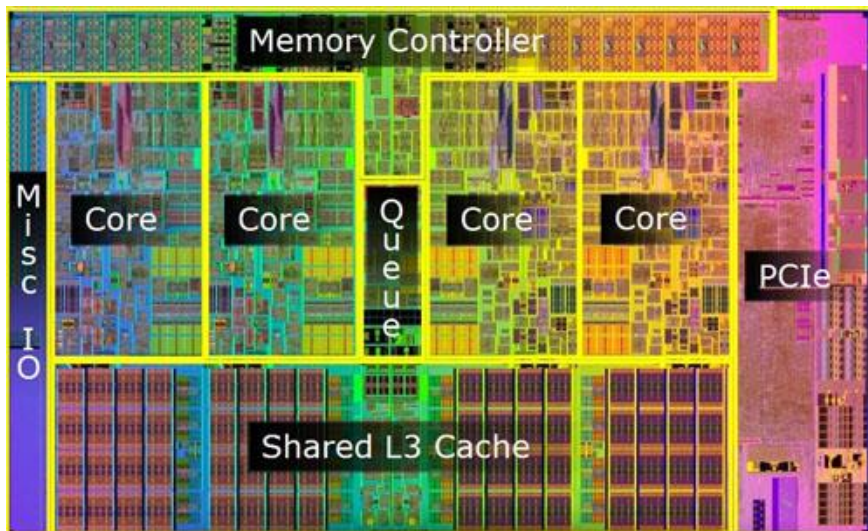
## Giriş

- i3, ~1.4Milyar transistor



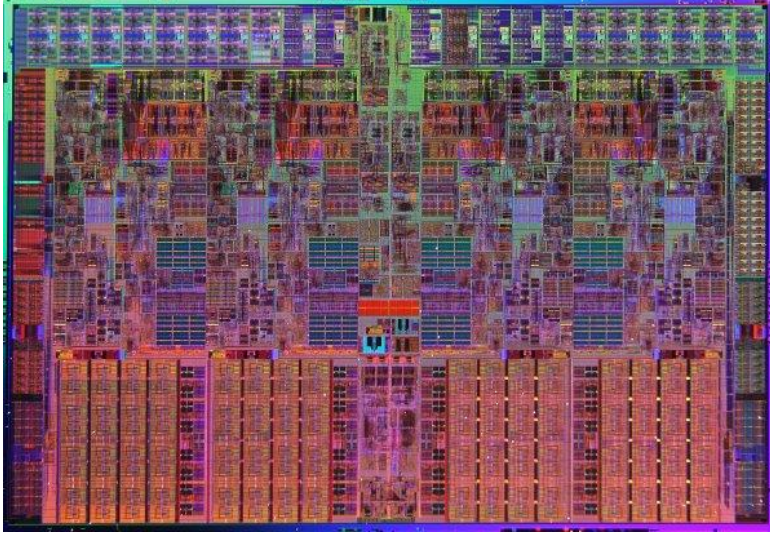
## Giriş

- i5, ~1.75Milyar transistor



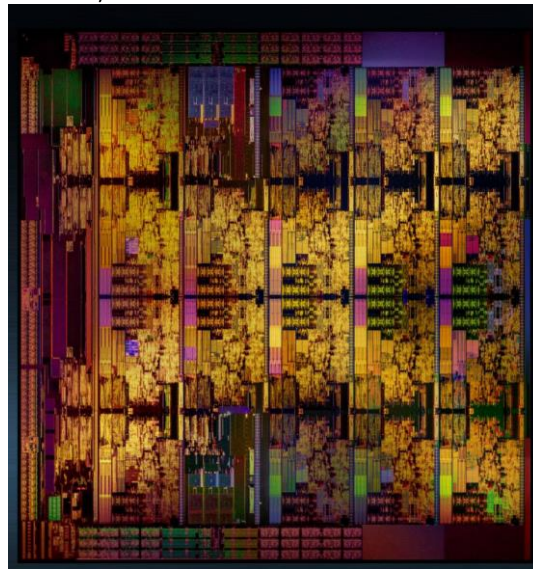
## Giriş

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



## Giriş

- i9, 4.2Milyar 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
- **Bulut Bilişim**
- **Performans için Tasarım**
- **Temel Performans Ölçütleri**

## 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 (art arda toplama veya Booth algoritması)

## Yapı (Structure) ve Fonksiyon (Function)

- **Structure**, elemanların birbirleriyle ne şekilde ilişkili olduğunu ifade eder.
- **Function**, structure'ın parçası olan her bir bileşenin işlevini ifade eder.

## Function

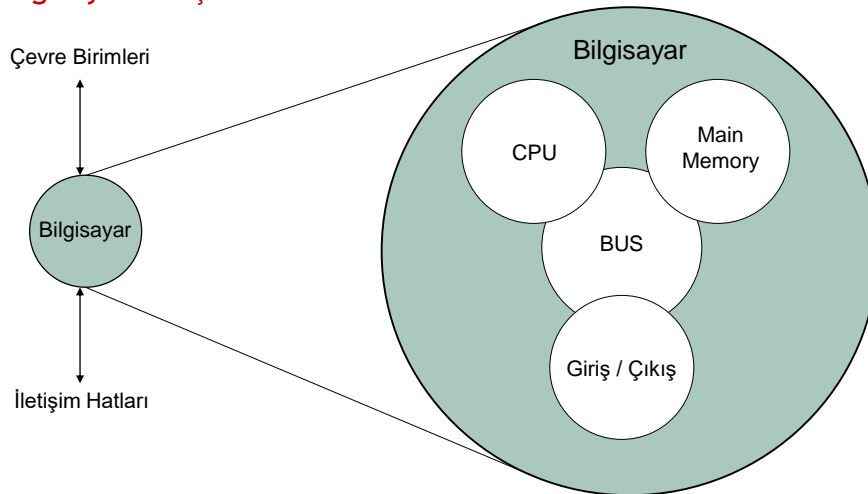
- Her bilgisayar aşağıdaki işlevleri yerine getirir:
  - Data processing
  - Data storage
  - Data movement
  - Control

## Structure

- Bir bilgisayar aşağıdaki dört ana bileşene sahiptir:
  - Central Processing Unit (CPU)
  - Main Memory
  - I/O
  - System Bus

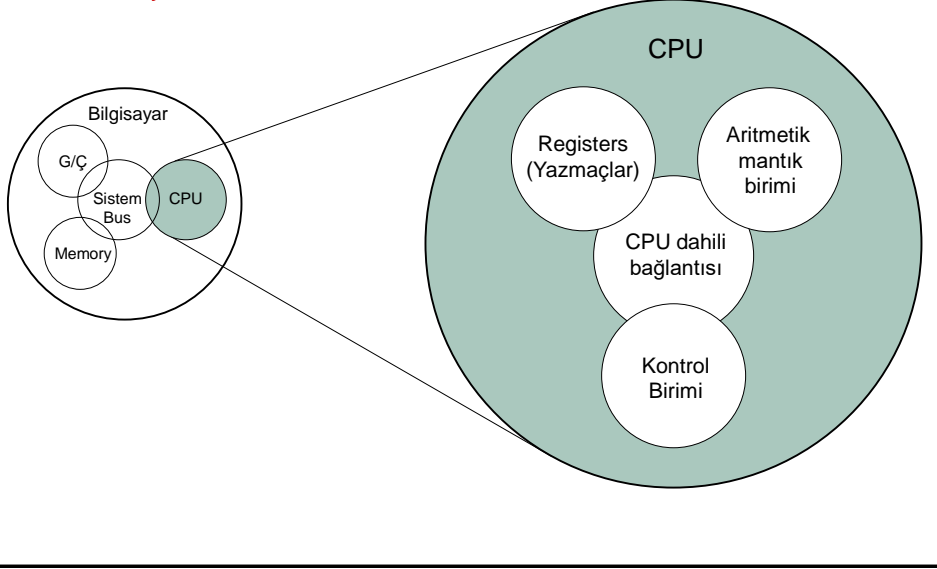
## Structure

### Bilgisayar bileşenleri



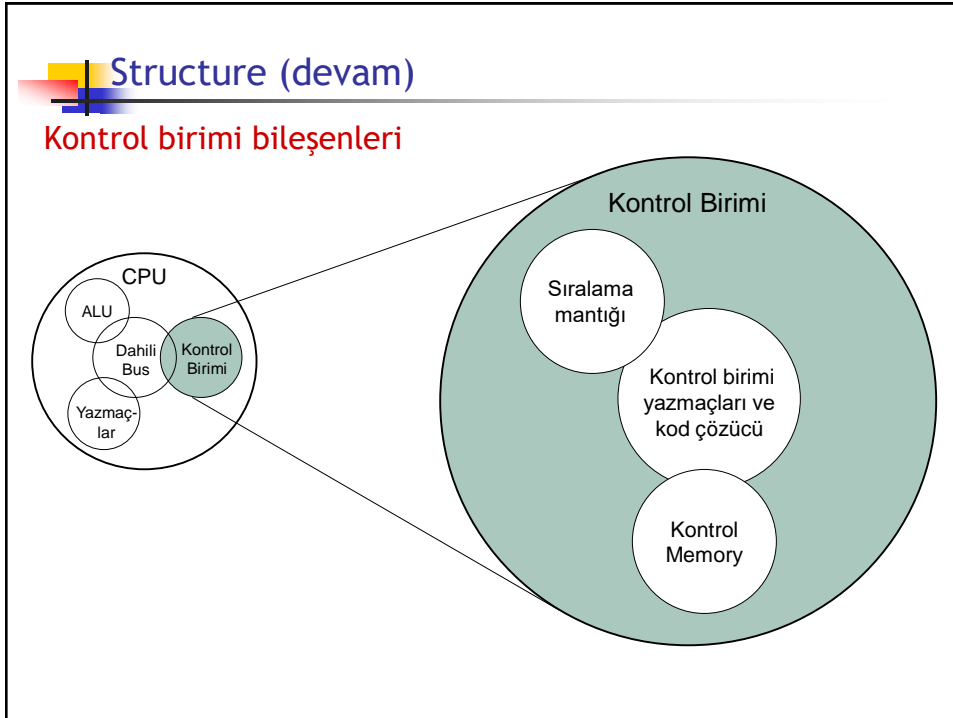
## Structure (devam)

### CPU bileşenleri



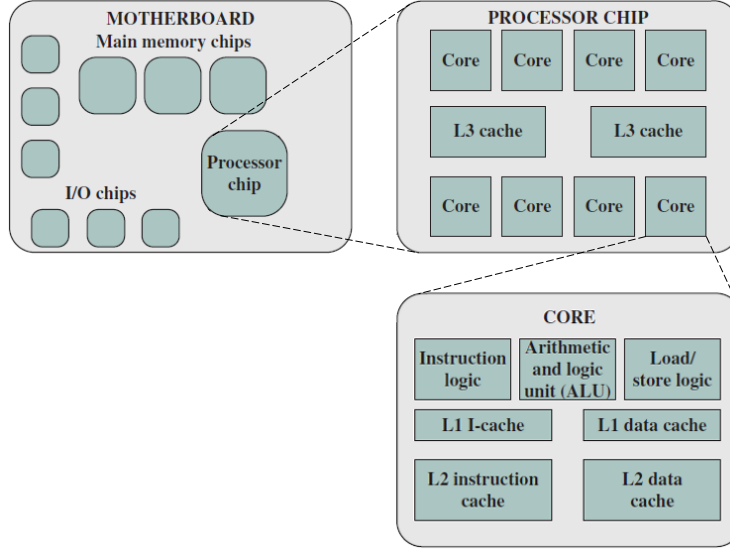
## Structure (devam)

### Kontrol birimi bileşenleri



## Structure (devam)

### Multicore bilgisayar yapısı



## Konular

- Bilgisayar Organizasyonu ve Mimarisi
  - Organizasyon ve Mimari
  - Bileşenler ve Fonksiyon
- **Bilgisayarın Gelişimi**
  - Bilgisayar tarihçesi
  - 1. Jenerasyon
  - 2. Jenerasyon
  - 3. Jenerasyon
  - Sonraki Jenerasyonlar
- Bulut Bilişim
- Performans için Tasarım
- Temel Performans Ölçütleri

## 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 gelişmelerle birlikte, 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 işlemci **5.33 Hz** clock frekansına sahiptir.
- 1943 yılında Alan Turing tarafından vakum tüplerle **Colossus** isimli **elektronik hesap makinesi** geliştirilmiştir.
- Colossus yeniden programlanamayan **özel amaçlı (special-purpose) bilgisayar** olarak adlandırılmaktadır.

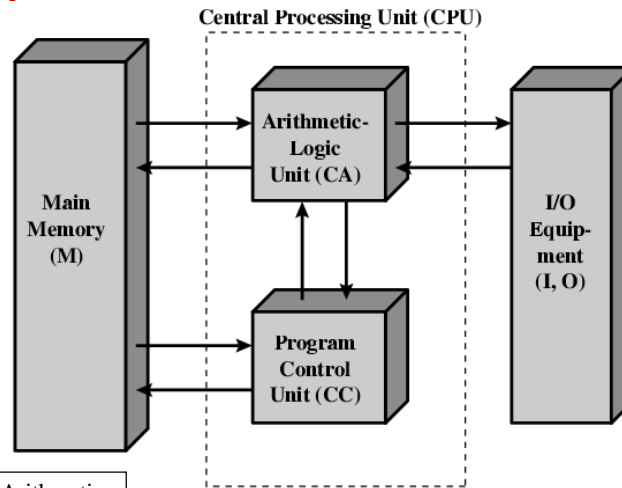
## Bilgisayarın Tarihçesi

### 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

### IAS Bilgisayar Mimarisi



CA = Central Arithmetic  
CC = Central Control

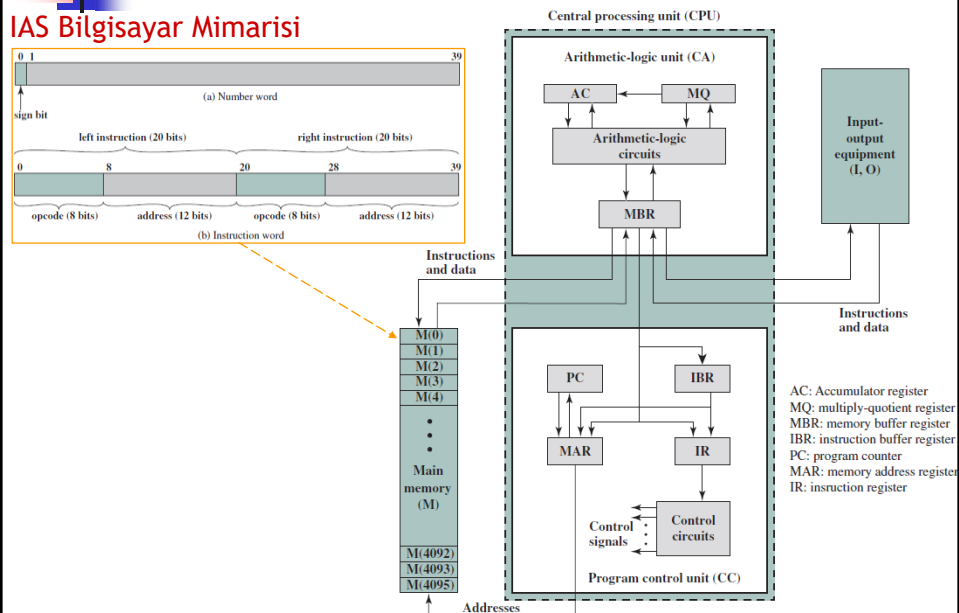
# Bilgisayarın Tarihi

## IAS Bilgisayar Mimarisi

- 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 laboratuvarlarında 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	1957–1964	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

### 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) hızına sahiptir.
  - 1946 yılında geliştirilen **30 ton** ağırlığındaki **ENIAC 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

### Mikroişlemci çağı (devam)

- 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

### Mikroişlemci çağı (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 mikroişlemcidir.
  - 8 KByte cache'i içinde (on-chip) bulundurur.
  - 50 MIPS hızındadır.
- Intel 1993 yılında **Pentium** mikroişlemciyi geliştirdi.
  - 32-bit mikroişlemcidir.
  - 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

### Mikroişlemci çağı (devam)

- Intel 1995 yılında **Pentium Pro** mikroişlemciyi geliştirdi.
  - Intel'in ilk **64 bit** mikroişlemcisidir.
  - **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** mikroişlemciyi geliştirdi.
  - **64-bit** mikroişlemcidir.
  - 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

### Mikroişlemci çağı (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

(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 ( $\mu\text{m}$ )	10	8	6	3	6
Addressable memory	640 bytes	16 KB	64 KB	1 MB	1 MB

(b) 1980s Processors

	80286	386TM DX	386TM SX	486TM DX CPU
Introduced	1982	1985	1988	1989
Clock speeds	6–12.5 MHz	16–33 MHz	16–33 MHz	25–50 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 ( $\mu\text{m}$ )	1.5	1	1	0.8–1
Addressable memory	16 MB	4 GB	16 MB	4 GB
Virtual memory	1 GB	64 TB	64 TB	64 TB
Cache	—	—	—	8 kB

## Bilgisayarın Tarihçesi

### Intel mikroişlemcilerin gelişimi (devam)

(c) 1990s Processors

	486TM SX	Pentium	Pentium Pro	Pentium II
Introduced	1991	1993	1995	1997
Clock speeds	16–33 MHz	60–166 MHz,	150–200 MHz	200–300 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 GB	4 GB	64 GB	64 GB
Virtual memory	64 TB	64 TB	64 TB	64 TB
Cache	8 kB	8 kB	512 kB L1 and 1 MB L2	512 kB L2

(d) Recent Processors

	Pentium III	Pentium 4	Core 2 Duo	Core i7 EE 4960X
Introduced	1999	2000	2006	2013
Clock speeds	450–660 MHz	1.3–1.8 GHz	1.06–1.2 GHz	4 GHz
Bus width	64 bits	64 bits	64 bits	64 bits
Number of transistors	9.5 million	42 million	167 million	1.86 billion
Feature size (nm)	250	180	65	22
Addressable memory	64 GB	64 GB	64 GB	64 GB
Virtual memory	64 TB	64 TB	64 TB	64 TB
Cache	512 kB L2	256 kB L2	2 MB L2	1.5 MB L2/15 MB L3
Number of cores	1	1	2	6

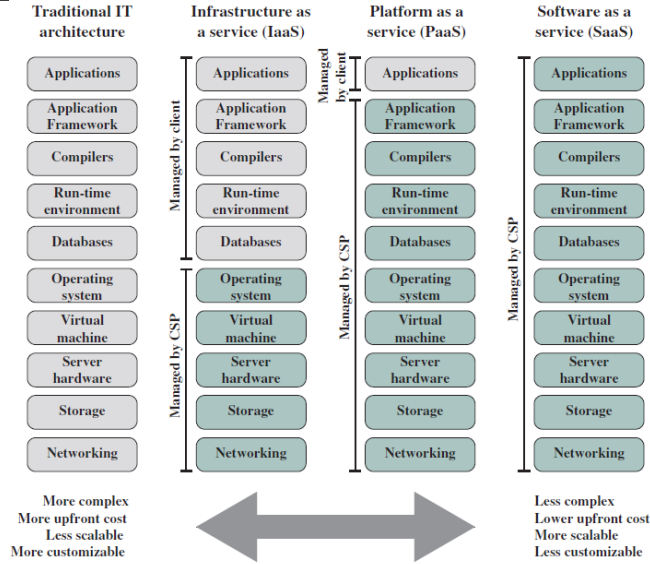
## Konular

- Bilgisayar Organizasyonu ve Mimarisi
  - Organizasyon ve Mimari
  - Bileşenler ve Fonksiyon
- Bilgisayarın Gelişimi
  - Bilgisayar tarihçesi
  - 1. Jenerasyon
  - 2. Jenerasyon
  - 3. Jenerasyon
  - Sonraki Jenerasyonlar
- **Bulut Bilişim**
- Performans için Tasarım
- Temel Performans Ölçütleri

## Bulut Bilişim

- Yapılandırılabilir bilgi işlem kaynaklarının (ağlar, sunucular, depolama, uygulamalar ve servisler) paylaşımını sağlayan her yerden, kolayca ve talep edildiğinde erişimini sağlayan modeldir.
- Bulut bilişim ile ekonomik ölçekleme, profesyonel ağ yönetimi ve profesyonel güvenlik yönetimi servisleri alınır.
- Bulut servisleri:
  - Software as a Service (SaaS), Gmail
  - Platform as a Service (PaaS), Google App Engine
  - Infrastructure as a Service (IaaS), Amazon Elastic Compute Cloud

## Bulut Bilişim



## Konular

- Bilgisayar Organizasyonu ve Mimarisi
  - Organizasyon ve Mimari
  - Bileşenler ve Fonksiyon
- Bilgisayarın Gelişimi
  - Bilgisayar tarihçesi
  - 1. Jenerasyon
  - 2. Jenerasyon
  - 3. Jenerasyon
  - Sonraki Jenerasyonlar
- Bulut Bilişim
- Performans için Tasarım
- Temel Performans Ölçütleri

## Performans için Tasarım

- Günümüzdeki çoğu uygulama yüksek hesaplama gücü gerektirir:
  - Image processing
  - Three-dimensional rendering
  - Speech recognition
  - Video conferencing
  - Multimedia authoring
  - Voice and video annotation of files
  - Simulation modeling

## 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

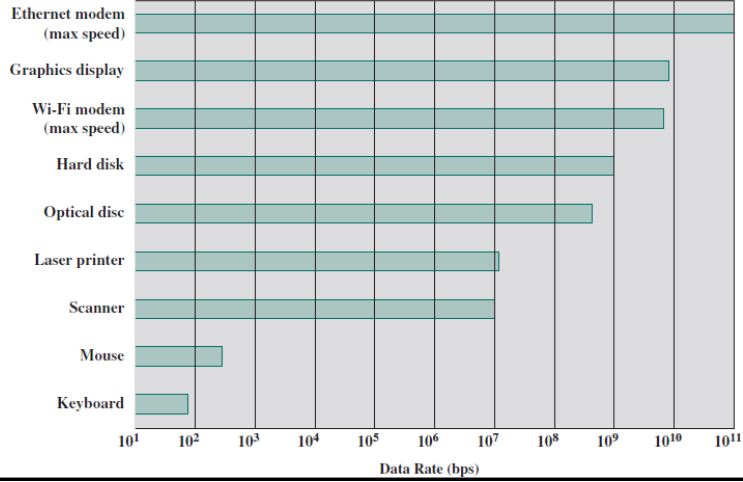
- Program komutları ve verileri daha yavaş olan hafızadan olabildiğince hızlı alabilmek için bazı teknikler kullanılır:
  - Bir erişimde DRAM'den (Main Memory) alınan veri miktarı artırılır. Bunun için daha geniş data bus kullanılır.
  - DRAM ile mikroişlemci arasında sık kullanılan verileri saklayan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

## Performans için Tasarım

- Performansı artırmak için yöntemler geliştirilmiştir:
  - Pipelining (Farklı komutları eşzamanlı çalıştırma): Farklı komutların fetch, decode, execute,... aşamalarını aynı anda çalıştırır.
  - 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 veri bağımlılığı olan komutları belirler ve bekleme olmayacak şekilde çalıştırma sırasını düzenler.
  - Speculative execution (Önceden çalıştırma): İşlemci bir komutu gerekmeden önce çalıştırıp sonucunu geçici olarak kaydeder ve gerektiğinde kullanır.

## Performans için Tasarım

- I/O cihazlarının hızı ve kapasitesi çok farklıdır.
- Bilgisayarın I/O cihazları ile uyumlu çalışması için cache, buffer ve yüksek hızlı bus geliştirilmiştir.



## Performans için Tasarım

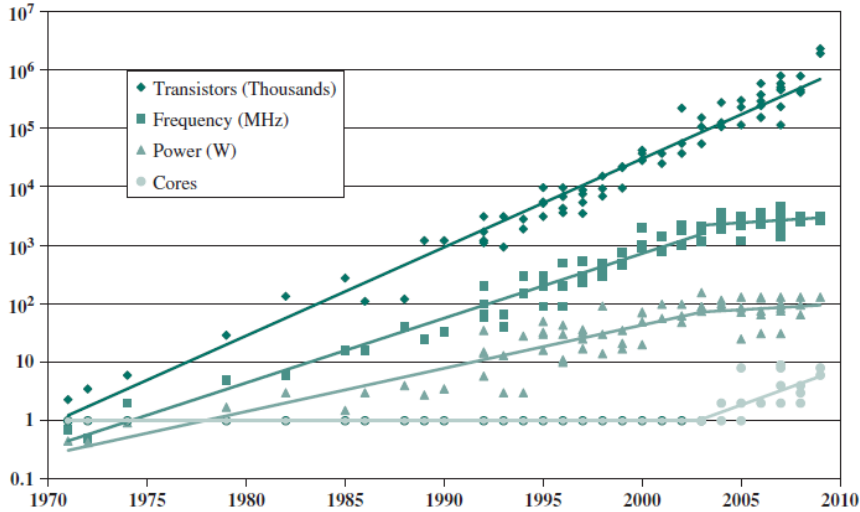
- Mikroşlemci içindeki elemanlar, boyutları küçülürken birbirine daha yakın hale gelmiştir.
- Elemanlar birbirine yaklaştıkça yollar kısalmış ve sinyallerin erişim süreleri azalmıştır.
- Önbellekler mikroşlemci içerisine yerleştirilmiş ve erişim hızları artırılmıştır.
- Mikroşlemcilerde paralel çalışma 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 artışını engellemeye başlamıştır:
  - Birim alanda **harcanan enerji artmış** ve **ısı problemleri** ortaya çıkmaya başlamıştır.
  - İşlemci elemanları birbirine yaklaştıkça yollar hem birbirine yaklaşmış hem de incelmıştır. Yolların incelmesi sonucunda direnç (**Resistance - R**) artmış ve yolların birbirine yaklaşması sonucunda **kapasitans (Capacitance - C)** artmıştır. Bu ikisinin oluşturduğu **RC çarpım gecikmesi (RC Delay)** performansı engellemeye başlamıştır.
  - Mikroişlemci teknolojisindeki hız artışının çok fazla olmasından dolayı **hafıza ile işlemci arasındaki hız farkı giderek artmış** ve hafıza işlemcinin performansını olumsuz etkilemeye başlamıştır.

## Performans için Tasarım - devam

- Mikroişlemcideki **transistör sayısı, frekans, güç tüketimi ve core sayısı** artmıştır.



## Konular

- Bilgisayar Organizasyonu ve Mimarisi
  - Organizasyon ve Mimari
  - Bileşenler ve Fonksiyon
- Bilgisayarın Gelişimi
  - Bilgisayar tarihçesi
  - 1. Jenerasyon
  - 2. Jenerasyon
  - 3. Jenerasyon
  - Sonraki Jenerasyonlar
- Bulut Bilişim
- Performans için Tasarım
- **Temel Performans Ölçütleri**

## Temel Performans Ölçütleri

### Clock Speed

- Mikroişlemci komut alma (fetch), çözümlenme (decode), işlem yapma (operation) vb. işlemleri clock işaretiyle gerçekleştirir.
- Tüm işlemler clock pulse ile başlar.
- En temel düzeyde bir işlemcinin hızı clock frekansı (Hertz) ile ifade edilir.
- Günümüz mikroşlemcileri 3GHz frekansın üzerinde clock pulse üretir.

## Temel Performans Ölçütleri

### Instruction Execution Rate

- Ortalama cycles per instruction (CPI) bir program için önemli parametrelerden birisidir.
- Bir programda  $n$  adet farklı tip komut olsun.  $CPI$  aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$CPI = \frac{\sum_{i=1}^n (CPI_i \times I_i)}{I_c}$$

- burada,  
 $CPI_i$  :  $i$ .tip komut için gereken cycle sayısı  
 $I_i$  :  $i$ .tipteki çalıştırılan komut sayısı  
 $I_c$  : programda çalıştırılan toplam makine komut sayısıdır.

## Temel Performans Ölçütleri

### Instruction Execution Rate

- Bir programın çalışması için gerekli olan işlemci süresi  $T$  aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$T = I_c \times CPI \times \tau$$

- burada,  
 $I_c$  : programda çalıştırılan toplam makine komut sayısı  
 $CPI$  : komutlar için ortalama cycle sayısı  
 $\tau$  : cycle için geçen süre

## Temel Performans Ölçütleri

### Performans faktörleri

- Bir programın çalışması için gerekli olan işlemci süresi  $T$  aşağıdaki şekilde de ifade edilir:

$$T = I_c \times [p + (m \times k)] \times \tau$$

- burada,

$I_c$  : programda çalıştırılan toplam makine komut sayısı

$p$  : işlemci cycle sayısı (decode ve execute için gerekli)

$m$  : memory erişim sayısı

$k$  : memory cycle time (erişim süresi) ile processor cycle time (decode ve execute süresi) oranı

$\tau$  : cycle için geçen süre

- $I_c$ ,  $p$ ,  $m$ ,  $k$  ve  $\tau$  performans faktörleri olarak adlandırılır.

## Temel Performans Ölçütleri

### Performans faktörleri

- Performans faktörleri ile sistem özellikleri arasında aşağıdaki ilişki vardır:

	$I_c$	$p$	$m$	$k$	$\tau$
Instruction set architecture	X	X			
Compiler technology	X	X	X		
Processor implementation		X			X
Cache and memory hierarchy				X	X

$I_c$  : programda çalıştırılan toplam makine komut sayısı

$p$  : işlemci cycle sayısı (decode ve execute için gerekli)

$m$  : memory erişim sayısı

$k$  : memory cycle time (erişim süresi) ile processor cycle time (decode ve execute için gereken süre) oranı

## Temel Performans Ölçütleri

### MIPS ve MFLOPS

- **Millions of instructions per second (MIPS rate)** işlemciler için yaygın kullanılan performans ölçütüdür.

$$\text{MIPS rate} = \frac{I_c}{T \times 10^6} = \frac{f}{\text{CPI} \times 10^6}$$

- **Millions of floating-point operations per second (MFLOPS rate)** bilimsel çalışmalarda ve oyun teknolojilerin kullanılan uygulamalar için yaygın kullanılan performans ölçütüdür.

$$\text{MFLOPS rate} = \frac{\text{Number of executed floating - point operations in a program}}{\text{Execution time} \times 10^6}$$

## Temel Performans Ölçütleri

**EXAMPLE 2.2** Consider the execution of a program that results in the execution of 2 million instructions on a 400-MHz processor. The program consists of four major types of instructions. The instruction mix and the *CPI* for each instruction type are given below, based on the result of a program trace experiment:

Instruction Type	<i>CPI</i>	Instruction Mix (%)
Arithmetic and logic	1	60
Load/store with cache hit	2	18
Branch	4	12
Memory reference with cache miss	8	10

The average *CPI* when the program is executed on a uniprocessor with the above trace results is  $\text{CPI} = 0.6 + (2 \times 0.18) + (4 \times 0.12) + (8 \times 0.1) = 2.24$ . The corresponding MIPS rate is  $(400 \times 10^6)/(2.24 \times 10^6) \approx 178$ .