

Bilgisayar Mimarisi

## BİLGİSAYAR MİMARİSİ



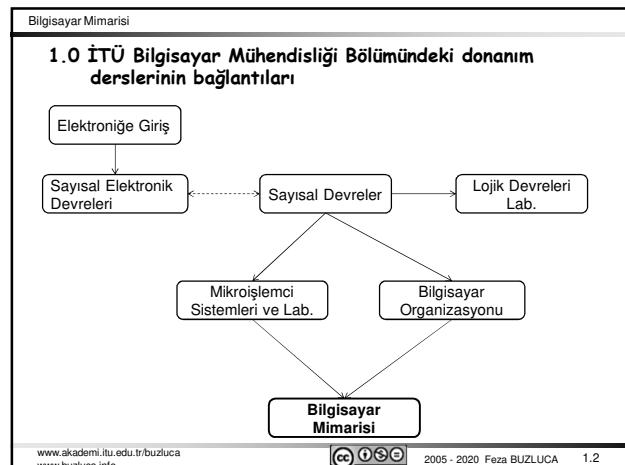
**Feza BUZLUCA**  
İstanbul Teknik Üniversitesi  
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

<http://www.akademi.itu.edu.tr/buzluca>  
<http://www.buzluca.info>

Bilgisayar Mimarisi Ders Notlarının Creative Commons lisansı Feza BUZLUCA'ya aittir.  
Lisans: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.tr>  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/legalcode.tr>

www.akademi.itu.edu.tr/buzluca  
www.buzluca.info

2005 - 2020 Feza BUZLUCA 1.1



Bilgisayar Mimarisi

#### 1.1. Bilgisayar mimarisini neden öğrenmek gereklidir?

Kaynak: *IEEE/ACM Bilgisayar Bilimleri Ders Programları 2013*, Hazırlayan: The Joint Task Force on Computing Curricula of the IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) Computer Society and ACM (Association for Computing Machinery)

- Bilgisayar/bilişim dünyasında çalışma profesyonelleri, bilgisayar programları bir sığır sonucu çalıştıran kapalı bir kutu gibi görmemeli.
- Bilgisayar mimarisi, bilgisayar mühendisliğinin temel konularından biridir ve bir bilgisayar mühendisi işini iyi yapabilmek için bu konuda (en azından) pratik bilgiye sahip olmalıdır.
- Yüksek performanslı yazılımlar geliştirebilmek için paralellik, hız, gecikme gibi konuları bilgisayar mimarisi çerçevesinde öğrenmeleri gereklidir.**
- Uygun bir bilgisayar sistemi secebilmek** için çeşitli donanım birimlerinin özelliklerini ve sistem üzerindeki etkilerini bilmek gereklidir.  
Örneğin; MİB'in saat işaret hızı, bir komutun çevrim sayısı, bellek boyu, ortalama bellek erişim süresi gibi.

www.akademi.itu.edu.tr/buzluca  
www.buzluca.info

2005 - 2020 Feza BUZLUCA 1.3

Bilgisayar Mimarisi

#### 1.1. Bilgisayar mimarisini neden öğrenmek gereklidir? (devamı)

Kaynak: *IEEE/ACM Bilgisayar Mühendisliği Ders Programları 2016*: "Bilgisayar mühendislerinin ilgilenmesi gereken alanlardan biri de zorlu ikilemler yaratarak mühendislik problemlerine neden olan yazılım/donanım arayüzleridir. Bu arayüzdeki çalışmalar **bilgisayar mimarisi** ve makine dili konularında bilgili olmayı gereklili kılardır."  
Yazılım/donanım arayüzlerinde yapılan çalışmalarla zor kararlara neden olan ikilimler oluşabilir, bu da özel amaçlı bilgisayarların ve sistemlerin tasarlanması gereklidir. Örneğin, güvenliğin kritik olduğu bir sisteme, kullanıcıların veya halkın zarar görmemesini sağlamak önemlidir.  
Bilgisayar mühendisi, tasarladığı sistemi (donanım ve yazılım) gerektiği şekilde test ederek, hatta beklenmedik değerleri ve durumları da testlerde dikkate alarak sistemin güvenli bir biçimde çalışmasını sağlamalıdır."

**Dersin Amacı:**

- Hız, mal yeti gibi unsurları da göz önünde bulundurarak **donanım çözümleri üretmek** için bilgisayar mimarısını öğrenmek
- İşlemci yapısı, hızı, bellek kapasitesi gibi seçenekleri değerlendirerek belli bir çözüm (yürüteceğimiz projeyi gerçekleştirmek) için **uygun bilgisayar sistemlerini secebilmek**
- Büyük veya adanmış (*embedded*) sistemler için **kaliteli yazılım geliştirebilmek**

www.akademi.itu.edu.tr/buzluca  
www.buzluca.info

2005 - 2020 Feza BUZLUCA 1.4

Bilgisayar Mimarisi

#### Konular:

- İş hattı (Pipeline)**
  - Komut iş hattı (*Instruction pipeline*), komut düzeyinde paralellik
  - İş hattındaki sorunlar ve çözümleri
- Giriş/Çıkış Organizasyonu (Input/Output Organization)**
  - El sıkışma
  - Merkezi işlem birimi (MİB) - bellek arası veri aktarımı
- Kesme (Interrupt)**
  - Vektör, öncelik, iç içe kesmeler
- Doğrudan Bellek Erişimi (Direct Memory Access - DMA)**
- Bellek Organizasyonu**
  - Cep bellek (*Cache memory*)
  - Görüntü bellek (*Virtual Memory*)
- Disk dizileri, RAID: (Redundant Array of Independent/Inexpensive Disks)**
- Çok işlemcili ve çok çekirdekli sistemler (Multiprocessor and multicore systems)**
  - Cep bellek tutarlılığı (*Cache coherency*)
- Kayan Noktalı Sayılar (Floating Point Numbers)**

www.akademi.itu.edu.tr/buzluca  
www.buzluca.info

2005 - 2020 Feza BUZLUCA 1.5

Bilgisayar Mimarisi

#### 1.2. Bir bilgisayar sisteminin katmanlı modeli:

Yazılım	İşletim Sistemi	Derleyici	Sürücü Prog.
Donanım	ISA		
	MİB	Bellek	G/C
	Sayısal Devreler		
	Transistorlar ve geçişler (gates)		

Komut kümesi mimarisi (ISA) bir bilgisayar donanımının, alt düzey programcıya (sistem programlarına) görünen yüzüdür.  
ISA, makine dili komutları, programcıya görünen saklayıcıları ve işlemcinin doğal veri yapılarını içerir.

www.akademi.itu.edu.tr/buzluca  
www.buzluca.info

2005 - 2020 Feza BUZLUCA 1.6

Bilgisayar Mimarisi

Lisans: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.tr>

### 1.3 Merkezi İşlem Birimi (The Central Processing Unit - CPU )

#### 1.3.1 MİB'lerin sınıflandırılması

Çeşitli özeliklerine göre değişik grupperlere ayırmak mümkündür.

- Operand sayılarına göre:
  - Sıfır operandlı (Zero operand/address machines) makineler  
Yığın yapılı makine (Stack machine) olarak da adlandırılır.
  - Bir adresli makineler (Accumulator machines)
  - İki operandlı/adresli makineler (Saklayıcı-saklayıcı, saklayıcı-bellek, bellek-bellek)
  - Üç operandlı makineler
- Komut yapıları, sayıları ve adresleme kiplerine göre:
  - CISC (Complex Instruction Set Computer)
  - RISC (Reduced Instruction Set Computer)
- Komut ve veri belleklerine göre:
  - Von Neumann mimarisi
  - Harvard mimarileri

[www.akademi.itu.edu.tr/buzluca](http://www.akademi.itu.edu.tr/buzluca)  
[www.buzluca.info](http://www.buzluca.info)

 2005 - 2020 Feza BUZLUCA 1.7

Bilgisayar Mimarisi

#### 1.3.1.1 Komut yapıları, sayıları ve adresleme kiplerine göre:

- CISC (Complex Instruction Set Computer)
- RISC (Reduced Instruction Set Computer)

**CISC:**

Amaç:

- Derleyicilerin işini kolaylaştırmak: Makine dili yüksek düzeyli dillere yaklaşır.
- Programların performansını artırmak: Yetenekli komutlar ile daha kısa programlar yazmak mümkün olur.

Temel özellikler:

- Çok sayıda komut (100 - 250)
- Karmaşık komutlar ve adresleme kipleri (dolaylı adresleme ile bellek erişimi)
- Doğrudan bellek üzerinde işlem yapan komutlar
- Mikroprogramlı denetim birimi

Bu özelliklerin yan etkileri:

- Farklı uzunluklarda komutlar. Çözümek ve önceden bellekten okumak (prefetch) daha zordur.
- Bazı komutlar çok az kullanılır.
- İşlemcilerin iş yapıları karmaşıkır.

**Bkz. Ek A: Örnek CISC işlemci MC 68000**

[www.akademi.itu.edu.tr/buzluca](http://www.akademi.itu.edu.tr/buzluca)  
[www.buzluca.info](http://www.buzluca.info)

 2005 - 2020 Feza BUZLUCA 1.8

Bilgisayar Mimarisi

#### RISC:

Yüksek düzeyde programlama dilleri ile yazılmış olan programların CISC makinelerde derlenmesi ile elde edilen kodlar incelediğinde aşağıdaki noktalar belirlenmiştir:

- Çok sayıda atama ( $A = B$ ) yapılmaktadır.
- Erişilen veri tipleri çoğulukla yerel ve basit (dizi, matris olmayan) verilerdir.
- Makine dili programlarında en büyük yükü alt program çağrıları oluşturmaktadır. Geri dönüş adresi, parametre aktarımı, yerel değişkenler, yığın (bellek) kullanımı
- Alt programların büyük çoğunluğu (%98) 6 ya da daha az parametre aktarmaktadır.<sup>1</sup>
- Alt programların büyük çoğunluğu (%92) 6 ya da daha az yerel değişken kullanmaktadır.<sup>1</sup>
- Alt program çağrıma derinliği büyük çoğunlukla (%99) 8'den daha azdır.<sup>2</sup>

İncelenen programlardan elde edilen bu veriler dikkate alınarak merkezi işlem birimlerinin performanslarını artırmak amacıyla daha az bellek erişimi yapan ve birazdan açıklanacak olan özelliklere sahip olan RISC işlemciler tasarılamıştır.

1. Andrew S. Tanenbaum, Implications of structured programming for machine architecture, Communications of the ACM, Vol.21 , No.3 (1978), pp. 237 - 246  
 2. Yuval Tamir and Carlo H. Sequin, "Strategies for Managing the Register File in RISC," IEEE Transactions on Computers Vol. C-32(11) pp. 977-989, 1983.

[www.akademi.itu.edu.tr/buzluca](http://www.akademi.itu.edu.tr/buzluca)  
[www.buzluca.info](http://www.buzluca.info)

 2005 - 2020 Feza BUZLUCA 1.9

Bilgisayar Mimarisi

#### RISC Özellikleri:

Değişik özelliklere sahip RISC işlemciler bulunmakla birlikte aşağıdaki özellikleri ortaktır:

- Az sayıda komut vardır (yaklaşık 30), komutların işlevleri basittir.
- Az sayıda, basit adresleme kipi (örneğin 3 adet)
- Sabit uzunlukta komut yapısı (komut çözme işi kolaydır)
- Komutlar bellek üzerinde işlem yapmazlar, işlemler iç saklayıcılarda yapılır.
- Belleğe sadece yazma/okuma işlemleri için erişilir (load-store architecture).
- Tek çevrimde alınıp yürütülebilir komutlar (komut iş hattı (pipeline) sayesinde)
- Devrelendirilmiş (hardwired) denetim birimi.

**Diger Özellikler:**

Aşağıdaki özelliklerin bazıları tüm RISC'lerde bulunmayıpabilir, bazısı ise CISC MİB'lerde de bulunabilir. Ancak bunlar RISC'ler için özellikle önemlidir.

- Çok sayıda saklayıcı (128-256) (register File)
- Kesişimi (overlapped register window) saklayıcı penceresi
- Komutlar için optimize edilebilir iş hattı
- Harvard mimarisi

**Bkz. Ek B: RISC işlemciler**

[www.akademi.itu.edu.tr/buzluca](http://www.akademi.itu.edu.tr/buzluca)  
[www.buzluca.info](http://www.buzluca.info)

 2005 - 2020 Feza BUZLUCA 1.10

Bilgisayar Mimarisi

#### CISC ve RISC işlemci örnekleri:

- CISC:  
VAX, PDP-11, Intel x86 until Pentium, Motorola 68K.
- RISC:  
MIPS, SPARC, Alpha, HP-PA, PowerPC, i860, i960, ARM, Atmel AVR
- Karışık (Hybrid) (Dış kabuğu CISC özellikleri göstermektedir ancak iç çekirdeği RISC yapısından: Pentium, AMD Athlon.)

Günümüzdeki durum:

RISC işlemciler bazı CISC özellikleri tasarımlarına katarken bazı CISC işlemciler de RISC özellikleri içermektedir.

Sonuç olarak güncel bazı RISC tasarımları, örneğin PowerPC, "saf" bir RISC değildi.

Benzer şekilde bazı CISC işlemciler de, örneğin Pentium II ve sonrası, "saf" CISC tasarımlar değildir ve RISC işlemcilerin bazı özelliklerini taşımaktadırlar.

[www.akademi.itu.edu.tr/buzluca](http://www.akademi.itu.edu.tr/buzluca)  
[www.buzluca.info](http://www.buzluca.info)

 2005 - 2020 Feza BUZLUCA 1.11

Bilgisayar Mimarisi

#### RISC işlemcilerin kullanıldığı ürünlerle ilişkin örnekler:

- ARM:
  - Apple iPod, Apple iPhone, iPod Touch, Apple iPad.
  - Palm and PocketPC PDA, smartphone
  - RIM BlackBerry smartphone/email device.
  - Microsoft Windows Mobile
  - Nintendo Game Boy Advance
- MIPS:
  - SGI computers, PlayStation, PlayStation 2
- Power Architecture (IBM, Freescale (eski Motorola SPS)):
  - IBM supercomputers, midrange servers and workstations,
  - Apple PowerPC-tabanlı Macintosh
  - Nintendo Gamecube, Wii
  - Microsoft Xbox 360
  - Sony PlayStation 3
- Atmel AVR:
  - BMW otomobillerde denetçi olarak kullanılıyor.

[www.akademi.itu.edu.tr/buzluca](http://www.akademi.itu.edu.tr/buzluca)  
[www.buzluca.info](http://www.buzluca.info)

 2005 - 2020 Feza BUZLUCA 1.12

Bilgisayar Mimarisi

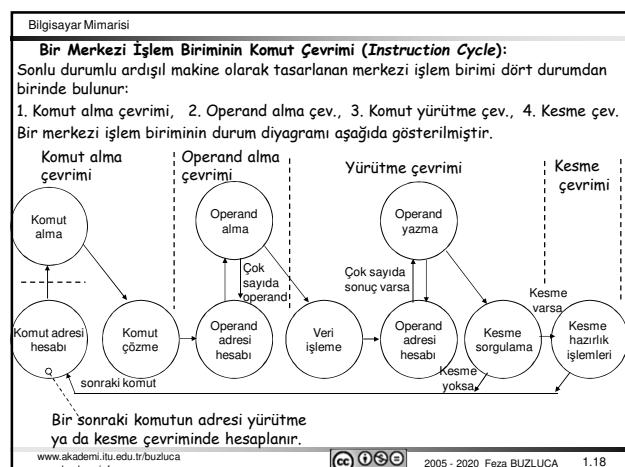
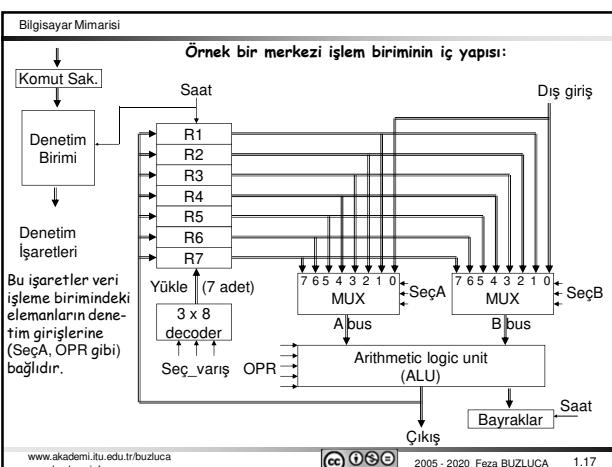
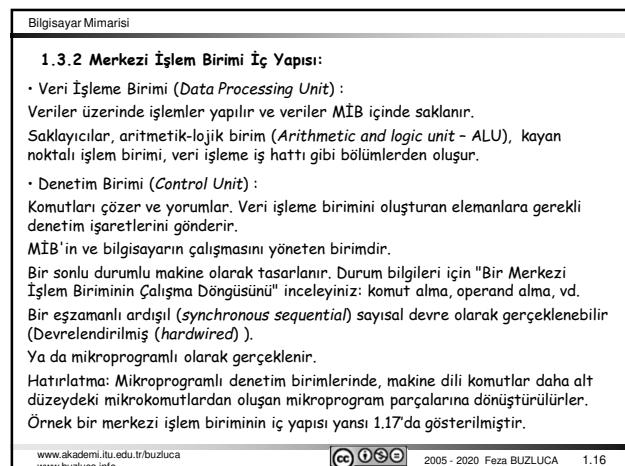
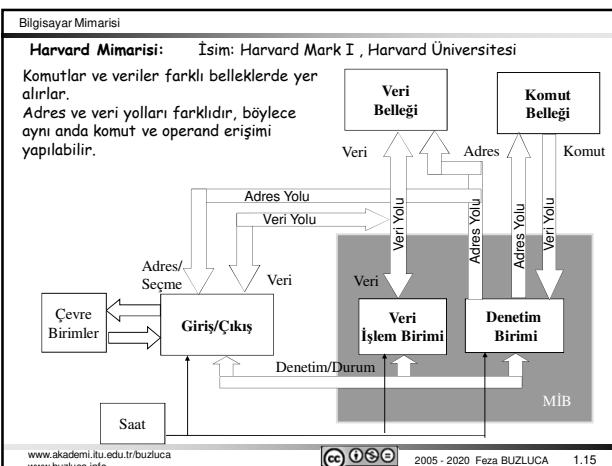
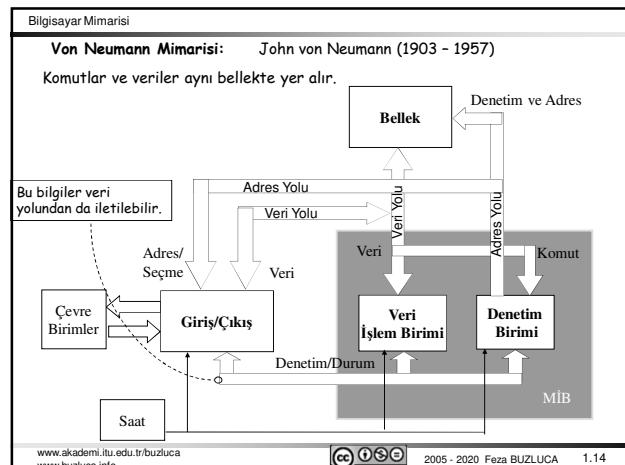
Lisans: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.tr>

### 1.3.1.2. MİB'lerin komut ve veri belleklerine göre gruplanması

a) Von Neumann Mimarisi:  
Komutlar ve veriler aynı bellekte yer alır.

b) Harvard Mimarisi :  
Komutlar ve veriler farklı belleklerde yer alırlar.  
Adres ve veri yolları farklıdır, böylece aynı anda komut ve operand erişimi yapılabilir.

[www.akademi.itu.edu.tr/buzluka](http://www.akademi.itu.edu.tr/buzluka) [www.buzluka.info](http://www.buzluka.info) 2005 - 2020 Feza BUZLUCA 1.13



Bilgisayar Mimarisi      Lisans: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.tr>

## 1.4 Bilgisayarların Evrimi

**Bilgisayar evrimimin özellikleri:**

İşlemci hızının artışı, devre tümeştiğindeki, artış, elemanların boyutlarındaki küçülme, bellek boyutlarındaki büyümeye, G/C kapasitesi ve hızındaki artışı.

İşlemci hızındaki artışı nedenleri:

- Malzemekdeki gelişme:**  
Mikroislemcilerdeki elemanların küçülmesi; bu küçülme elemanlar arası uzaklığı da azaltmaktadır ve hızlamayı sağlamaktadır.
- Yapısal (organizational) gelişme:**  
İş hattı gibi paralel işlem tekniklerinin kullanımı, çok sayıda ALU, çok sayıda paralel işlemci içeren tasarımlar  
Cep bellekler (cache memories)

Bu derste özellikle yapısal gelişmeler ele alınacaktır.

www.akademi.itu.edu.tr/buzluca    2005 - 2020 Feza BUZLUCA 1.19

Bilgisayar Mimarisi

### Devrelerin Tümeştiğilmesi

Moore kanunu (Gordon Moore, Intel'in kurucularından): "Bir devre yongasına (chip) yerleştirilebilen transistor sayısı her yıl ikiye katlanmaktadır ve bu eğilim yakın gelecekte de devam edecektir". (1965)

1970'lerden bir devre yongasına (chip) yerleştirilebilen transistor sayısı yaklaşık olarak her 18 ayda bir ikiye katlanmıştır.

Günümüzde bu kanun DRAM yongalarında belirgindir ancak hızı yavaşlamaktadır. Gordon Moore bu kanunun 2025 yılı civarında sona ereceğini öngörmektedir.

Tüm devrelerdeki transistor sayısını artı (DRAM):

Ilk transistor Yonga Moore Kanunu duyuruldu

William Stallings, Computer Organization and Architecture, 10/e, Prentice Hall, 2016

www.akademi.itu.edu.tr/buzluca    2005 - 2020 Feza BUZLUCA 1.20

Bilgisayar Mimarisi

### Bilgisayarların kısa tarihçesi

**ENIAC 1946**  
(Electronic Numerical Integrator And Computer),  
Pennsylvania Üniversitesi  
İlk genel amaçlı elektronik bilgisayar  
30 ton  
140 kW  
5000 toplama/saniye

Replacing a bad tube meant checking among ENIAC's 19,000 possibilities.

www.akademi.itu.edu.tr/buzluca  
www.buzluca.info    2005 - 2020 Feza BUZLUCA 1.21

Bilgisayar Mimarisi

### ENIACın programlanması

Kaynak <http://www.library.upenn.edu/exhibits/>

www.akademi.itu.edu.tr/buzluca  
www.buzluca.info    2005 - 2020 Feza BUZLUCA 1.22

Bilgisayar Mimarisi

### Z3 (1941):

Konrad Zuse,  
(1910-1995)  
İlk genel amaçlı bilgisayar  
Elektromekanik  
Röleler ile çalışıyor.  
Orijinal Z3 1943'te bombalama sonucu çalışmaz duruma gelmiştir.  
Zuse 1962'de tam işlevsel yeni bir Z3'ü baştan yapmıştır.  
Konrad Zuse, 1942-46 yılları arasında ilk yüksek düzeyli programlama dili Plankalkül'ü tasarlamıştır.

www.akademi.itu.edu.tr/buzluca  
www.buzluca.info    2005 - 2020 Feza BUZLUCA 1.23

Bilgisayar Mimarisi

### İlk mikroiglemci: Intel 4004

- 1971
- 4-bit veri işleme
- 2300 transistör
- Adreslenebilir bellek: 640 Byte
- 740 KHz
- 12 V

Kaynak <http://www.intel.com>

www.akademi.itu.edu.tr/buzluca  
www.buzluca.info    2005 - 2020 Feza BUZLUCA 1.24

Bilgisayar Mimarisi

**x86 Ailesinin ilk elemanı:**  
Intel 8086

- 1978
- 16 bit veri işleme
- 29000 transistör
- 3-10 MHz (1 Mega =  $10^6$  = 1000<sup>2</sup>)
- Adreslenebilir bellek: 1 MiByte (1 MebiByte =  $2^{20}$  = 1024<sup>2</sup>) (Yansılar 1.36-1.38)
- 5 V



Bu resim Wikipedia'dan alınmıştır.

www.akademi.itu.edu.tr/buzluca  
www.buzluca.info

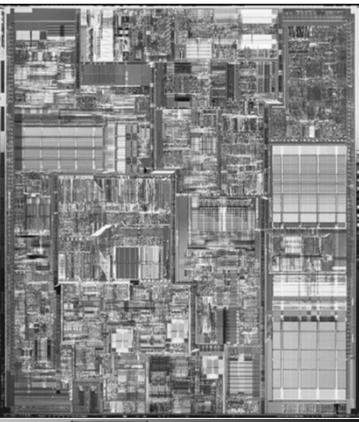
2005 - 2020 Feza BUZLUCA 1.25

Bilgisayar Mimarisi

**Cok iplikli işlemciler:**  
*Multithreading*  
*(Hyper-threading)*

**Intel Pentium4 + HT**

- 2003
- 32/64 bit veri
- 55 milyon transistör
- Adreslenebilir bellek: 64 GiByte (Gibibyte)
- 3.4 GHz (Gigahertz)
- 1.2 V



www.akademi.itu.edu.tr/buzluca  
www.buzluca.info

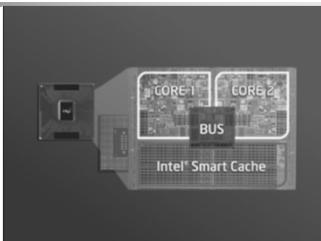
2005 - 2020 Feza BUZLUCA 1.26

Bilgisayar Mimarisi

**Çok çekirdekli işlemciler:**  
*(Multicore Processors)*

**Intel® Core™ Duo**

- 2006
- 64 bit veri
- 100 milyon transistör
- 2.66 GHz
- 1.5 V



**Intel® Core™ i9 - 9900**

- 2019
- 3.10 GHz (Base), 5.00 GHz (Max Turbo)
- 8 adet çekirdek (core)
- 64 bit veri
- 128 GiB bellek adresleme
- Cep Bellek (Cache): 512 KiB L1, 2 MiB L2, 16 MiB L3



www.akademi.itu.edu.tr/buzluca  
www.buzluca.info

2005 - 2020 Feza BUZLUCA 1.27

Bilgisayar Mimarisi

**Bilgisayar Organizasyonu ve Mimarisindeki Gelişmeler**

İşlemcilerin performanslarını artırmak için üç yaklaşım bulunmaktadır:

1. İşlemcilerin donanım hızlarını artırmak (Saat işaretçi hızı) (Problemler!)
2. Cep belleklerin (cache memories) boyutlarını ve hızlarını artırmak
3. Bilgisayar organizasyonu ve mimarisinde yapısal iyileştirmeler yaparak programların daha verimli ve hızlı yürütülmesini sağlamak.

Intel mikroişlemcilerinin performans gelişimi sonraki yansır gösterilmiştir.

Saat işaretinin hızının ve sayısal devrelerin yoğunluğunu artması sorunlara neden olmaktadır (yukarıdaki madde 1).

**Güç:** Yüksek hızlarda çalışan, yoğun devrelerde yüksek ısı üretilir ve bu ışıyı uzaklaştırılmak zor olur (Güç engeli (*The power wall*) bkz. 1.29).

**RC gecikmesi:** Bir devrede transistörler arasında hareket eden elektronların hızları, metal bağlantıların dirençleri ve kapasitif etkileri ile sınırlanmaktadır. Yoğun devrelerde bağlantılar incelmekte bu da direnci artırmaktadır. Bağlantıların yaklaşması ise aralarındaki kapasitif etkisi güçlendirmektedir.

**Bu nedenle işlemcilerin saat hızlarını artırmak mümkün olmamaktadır.**

**Bellek gecikmesi:** Ayrıca belleklerin hızları işlemcilerin hızlarından daha düşüktür. Bu durum işlemcilerin daha hızlı çalışmasını engellemektedir.

www.akademi.itu.edu.tr/buzluca  
www.buzluca.info

2005 - 2020 Feza BUZLUCA 1.28

Bilgisayar Mimarisi

**İşlemci performansının sınırlaması:**

**Güç Engeli (The Power Wall) :**

Transistor başına düşen dinamik güç (P), çalışma frekansı (f) ile çalışma geriliminin (V) karesinin çarpımı ile orantılıdır. ( $P \sim V^2 f$ ).

Güç azaltmak için gerilim düşürülebilir ancak bu düşüş transistörlerin çalışma gerilimlerinin eşik değerlerine sınırlıdır.

N aynı anda çalışan transistör sayısını göstermek üzere, bir tümleşik devrede oluşan toplam dinamik güç  $P \sim Nf$  orantısı ile ifade edilebilir.

Moore yasasına uygun olarak transistör sayısı ve aynı anda çalışma frekansı arttırlırsa tümleşik devrelerde **güç engeli (power wall)** adı verilen bir ıslı sınıra ulaşılır.

2003 yılında, işlemcilerdeki güç tüketimi tümleşik devre başına 200 W'ı geçmiştir. Bu güç tüketimi, kişisel bilgisayarlar için artık karşılanamayacak kadar pahalı olan soğutma teknolojilerini gerektirmeye başlamıştır.

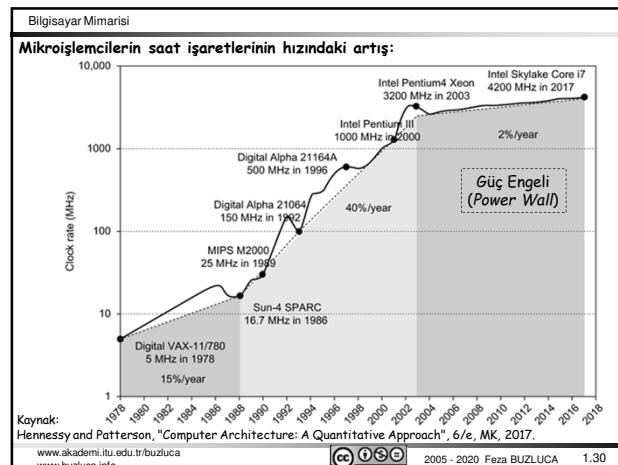
Sektörde bir karar aşamasına gelinmiştir; mikroişlemcilerdeki transistör sayısındaki artışı azaltmak veya çalışma frekansındaki artışı azaltmak.

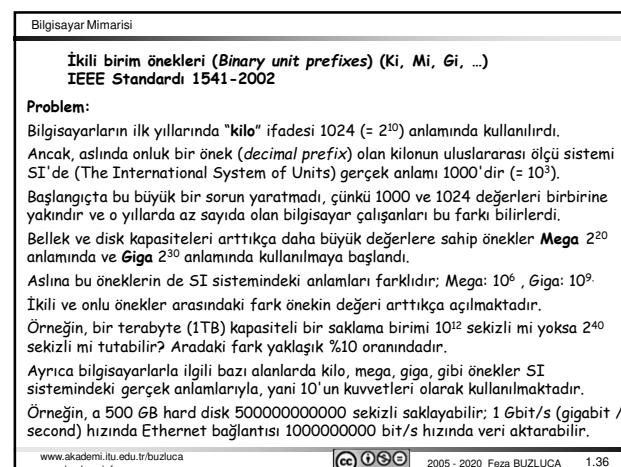
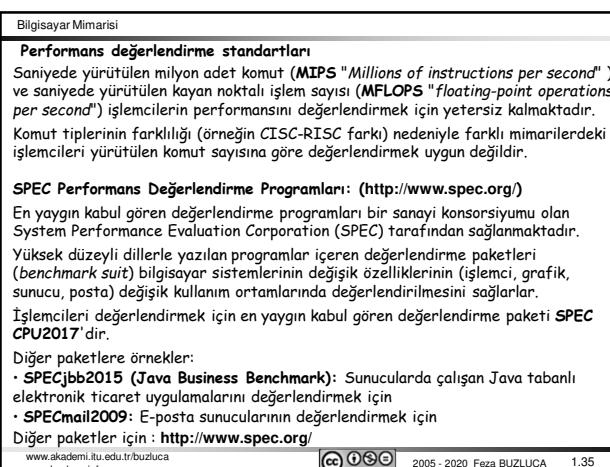
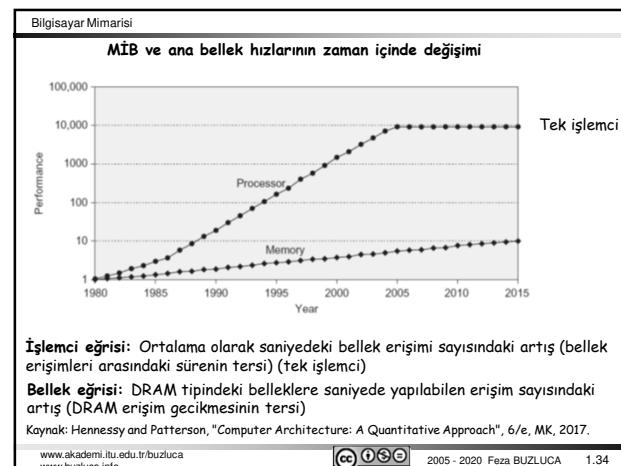
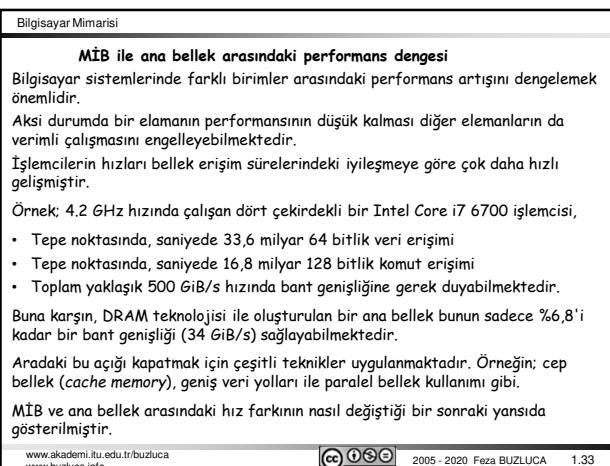
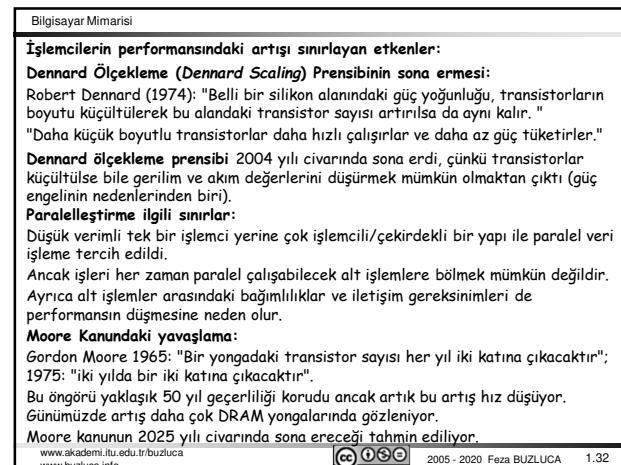
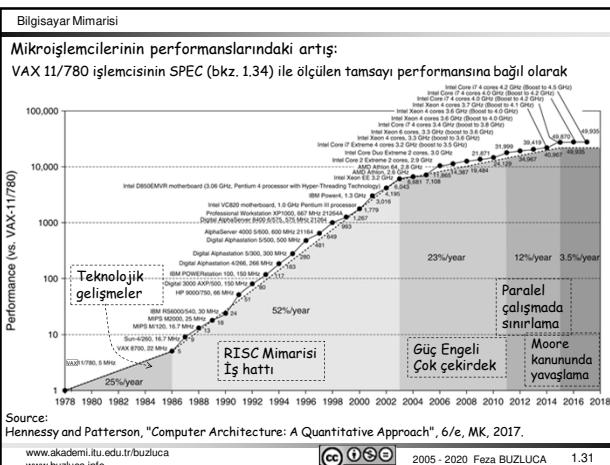
İkinci seçenek kabul edilmiştir; Moore yasası sürdürür müs umaya saat işaretindeki artıştan vaz geçilmiştir.

\*Kaynak: T. M. Conte, E. P. DeBenedictis, P. A. Gargini, and E. Track, "Rebooting Computing: The Road Ahead," Computer, vol. 50, no. 1, pp. 20-29, Jan. 2017.

www.akademi.itu.edu.tr/buzluca  
www.buzluca.info

2005 - 2020 Feza BUZLUCA 1.29





**İkili birim önekleri (Ki, Mi, Gi, ...) IEEE Standardı 1541-2002 (devamı)****Çözüm:**

Aynı önekin farklı anlamlarda kullanılması karışıklığa neden olmuştur.

1998 yılından başlayarak, the International Electrotechnical Commission (IEC) ve diğer bazı kuruluşlar bu karışıklığı gidermek için standartlar ve öneriler yayımlamışlardır.

The International System of Units (SI) SI Broşürü:

"SI önekleri kesinlikle 10' un kuvvetlerini ifade etmektedir. Bu önekler 2' nin kuvvetlerini ifade etmek için kullanılamazlar (örneğin, bir kilobit, 1000 bit anlamına gelir, 1024 bit değil)." "İkinin kuvvetlerini ifade eden önekler ve isimleri aşağıdaki şekilde önerilmiştir:"

kibi (kilobinary) Ki: $2^{10}$	tebi (terabinary) Ti: $2^{40}$
mebi (megabinary) Mi: $2^{20}$	pebi (petabinary) Pi: $2^{50}$
gibi (gigabinary) Gi: $2^{30}$	exbi (exabinary) Ei: $2^{60}$

**Onluk SI önekleri:**

kilo K: $10^3$	mega M: $10^6$	giga G: $10^9$	tera T: $10^{12}$
peta T: $10^{15}$	exa E: $10^{18}$	zetta Z: $10^{21}$	yotta Y: $10^{24}$

[www.akademi.itu.edu.tr/buzluca](http://www.akademi.itu.edu.tr/buzluca)

[www.buzluca.info](http://www.buzluca.info)



2005 - 2020 Feza BUZLUCA 1.37

**İkili birim önekleri (Ki, Mi, Gi, ...) IEEE Standardı 1541-2002 (devamı)**

1998 yılında IEC 2' nin kuvvetlerini ifade etmek üzere bir önekler kümesi tanımladı. Bu küme daha sonra IEEE tarafından 1541-2002 standarı haline getirildi.

2005'te, 1541-2002 - IEEE Standard for Prefixes for Binary Multiples standarı yayımlandı.

**Onlu ve ikili öneklerin kullanımı:**

10' un kuvvetleri ile çalışmak daha kolay olduğundan, üzerinde çalışan büyütülük eğer 2' nin kuvvetleri değilse onluk önekleri kullanmak daha uygun olur.

Eğer üzerinde çalışılan büyütülük 2' nin kuvvetleri ise bu durumda ikili önekleri kullanmak uygun olur.

Önek	Sembol	Değer
kibi-	Ki	$1024^1 = 2^{10}$
mebi-	Mi	$1024^2 = 2^{20}$
gibi-	Gi	$1024^3 = 2^{30}$
tebi-	Ti	$1024^4 = 2^{40}$
pebi-	Pi	$1024^5 = 2^{50}$
exbi-	Ei	$1024^6 = 2^{60}$
zebi-	Zi	$1024^7 = 2^{70}$
yobi-	Yi	$1024^8 = 2^{80}$

**Onlu Önekler (Decimal prefixes):**

- Dosya boyu (sekizli) örnek MB, GB
- Disk boyut (sekizli)
- Aktarım hızı (bit/saniye)
- İşlemci hızı (hertz)

**İkili Önekler (Binary prefixes):**

- RAM (sekizli) örnek MiB, GiB
- Cep bellek (Cache) (sekizli)

**Bu ders notlarında, bellek boyutu (RAM veya cep) ile ilgili tüm önekler 2' nin kuvvetlerini ifade etmektedir. Örneğin, 1 GB bellek = 1 GiB bellek =  $2^{30}$  Sekizli**

[www.akademi.itu.edu.tr/buzluca](http://www.akademi.itu.edu.tr/buzluca)

[www.buzluca.info](http://www.buzluca.info)



2005 - 2020 Feza BUZLUCA 1.38