



BİLGİSAYAR MİMARİSİ 1

2021-2022

1. HAFTA

Dr. Öğr. Üyesi Ümit ŞENTÜRK

DERS İÇERİĞİ

1

BİLGİSAYAR MİMARİSİNE GİRİŞ

2

BUYRUK KÜMESİ MİMARİSİ

3

İŞLEMCİ TASARIMI

4

BORU HATTI

5

DALLANMA TAHMİNİ

6

BELLEK

7

ÖNBELLEK, SANAL BELLEK

8

ÇOK ÇEKİRDEKLİ İŞLEMCİLER

9

GİRİŞ ÇIKIŞ AYGITLARI

Okuma Listesi

Gerekli

- Computer Organization and Design: The Hardware Software Interface [RISC-V Edition] David A. Patterson, John L. Hennessy
 - 1. Bölüm
- TOBB üniversitesi, Prof Dr. Oğuz ERGİN, Bilgisayar Mimarisi ve Organizasyonu dersi ders sunumları
- Padmanabhan Pillai and Kang G. Shin. 2001. *Real-time dynamic voltage scaling for low-power embedded operating systems*. SOSPP '01. (<http://www.sosp.org/2001/papers/pillai.pdf>)
 - 3. bölüme (3. SIMULATIONS) kadar
 - Piazza "Resources" sekmesinde "Ek Kaynaklar" altında.

DERS İÇERİĞİ



BİLGİSAYAR MİMARİSİ

NEDEN BİLGİSAYAR MİMARİSİ ?

ASKERİ ALAN

ENDÜSTRİYEL ALAN

TEKNOLOJİK GELİŞMELER



BİLGİSAYAR TÜRLERİ

Bilgisayar türleri nelerdir?

Feature	Personal mobile device (PMD)	Desktop	Server	Clusters/warehouse-scale computer	Embedded
Price of system	\$100–\$1000	\$300–\$2500	\$5000–\$10,000,000	\$100,000–\$200,000,000	\$10–\$100,000
Price of micro-processor	\$10–\$100	\$50–\$500	\$200–\$2000	\$50–\$250	\$0.01–\$100
Critical system design issues	Cost, energy, media performance, responsiveness	Price-performance, energy, graphics performance	Throughput, availability, scalability, energy	Price-performance, throughput, energy proportionality	Price, energy, application-specific performance

- Hennessy, and David Goldberg. Computer Architecture: A Quantitative Approach. San Mateo, Calif: Morgan Kaufman Publishers, 1990. Print.

BİLGİSAYAR TÜRLERİ

Bilgisayar türleri nelerdir?

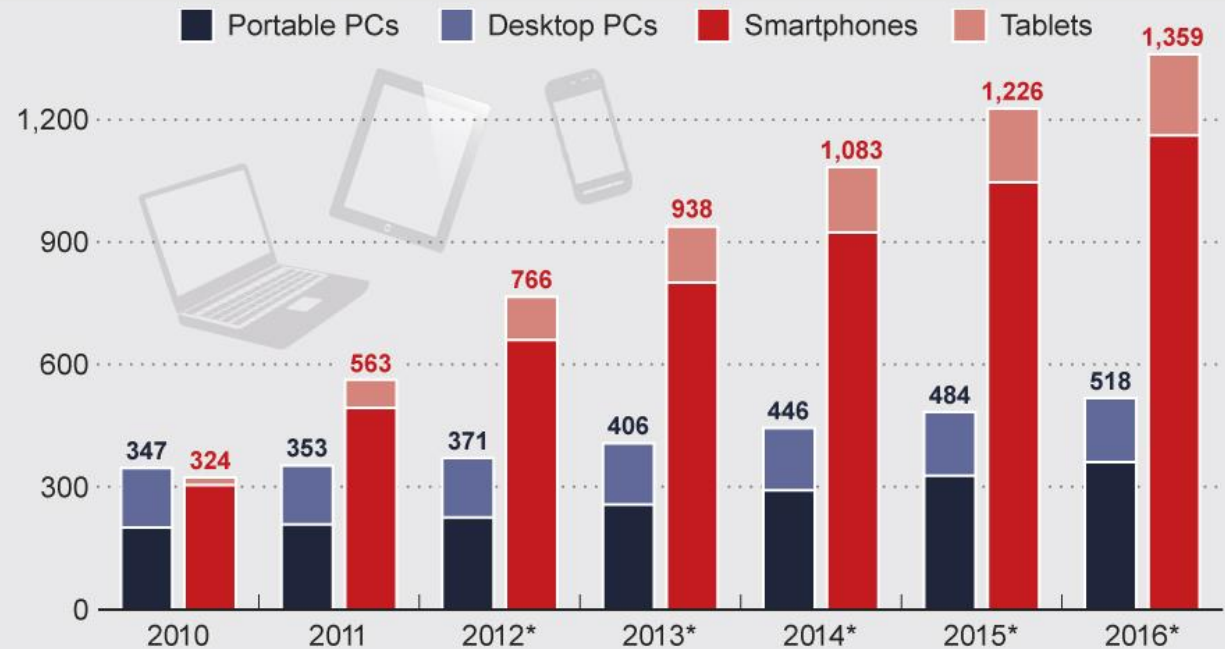
1. Kişisel Bilgisayarlar (PMD Personal Mobile Devices)
2. Masaüstü Bilgisayarlar (Desktop)
3. Sunucu (Server)
4. Büyük ölçekli depolama alanları (Warehouse-Scale Computers WSC)
5. Gömülü bilgisayarlar (Embedded)

BİLGİSAYAR DONANIMI

Decimal term	Abbreviation	Value	Binary term	Abbreviation	Value	% Larger
kilobyte	KB	10^3	kibibyte	KiB	2^{10}	2%
megabyte	MB	10^6	mebibyte	MiB	2^{20}	5%
gigabyte	GB	10^9	gibibyte	GiB	2^{30}	7%
terabyte	TB	10^{12}	tebibyte	TiB	2^{40}	10%
petabyte	PB	10^{15}	pebibyte	PiB	2^{50}	13%
exabyte	EB	10^{18}	exbibyte	EiB	2^{60}	15%
zettabyte	ZB	10^{21}	zebibyte	ZiB	2^{70}	18%
yottabyte	YB	10^{24}	yobibyte	YiB	2^{80}	21%

The Post-PC Era Has Arrived

Global smartphone, tablet and PC shipments (in millions)



BİLGİSAYAR MİMARİSİNDE 8 BÜYÜK FİKİR



Moore Tasarım Yasası



Soyutlama



Yaygın Olguyu
Hızlandırma



Paralellik



İşhattı



Kestirim

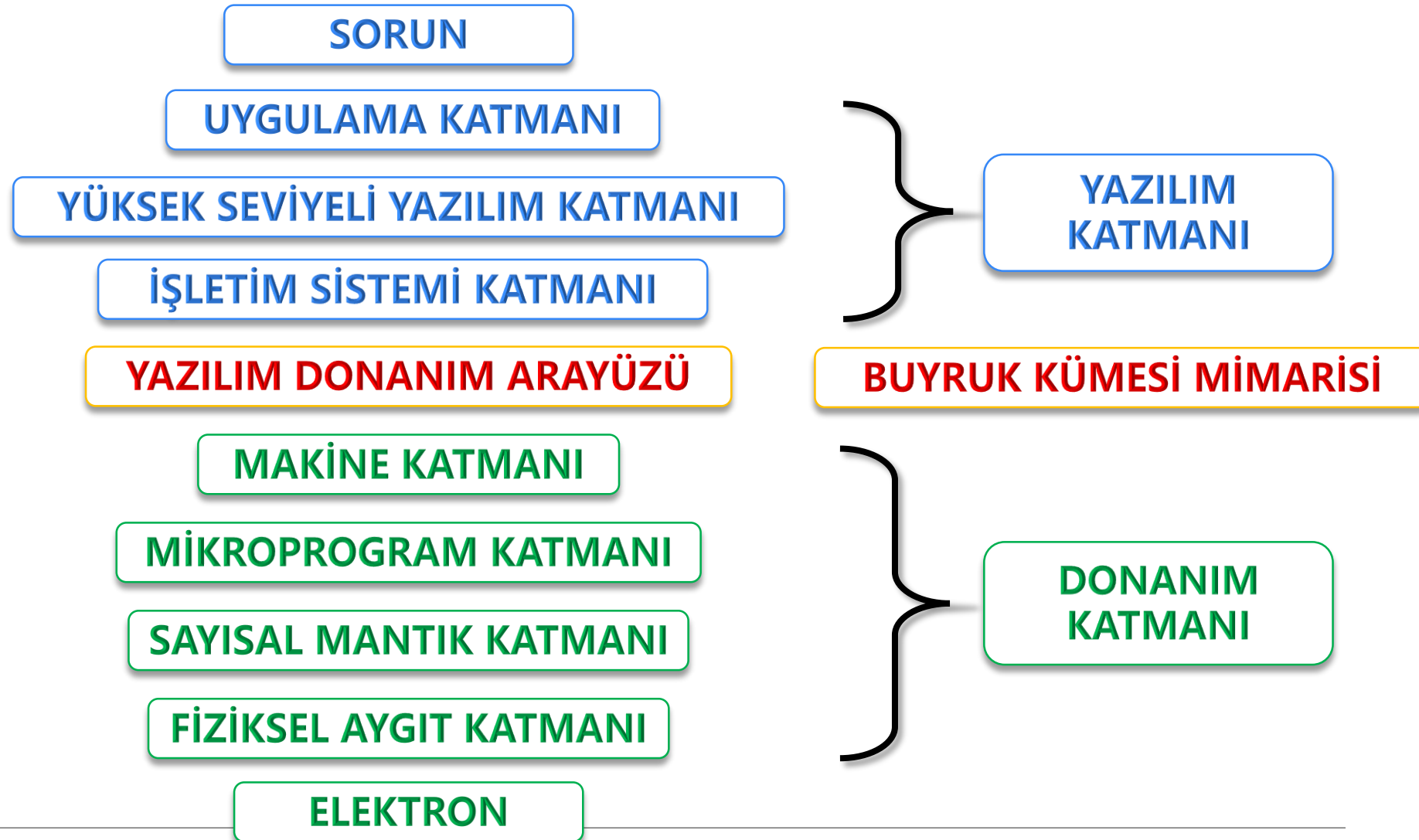


Hiyerarşi



Güvenirlilik

BİLGİSAYAR MİMARİSİ



BİLGİSAYAR MİMARİSİ



BİLGİSAYAR MİMARİSİ

BUYRUK KÜMESİ MİMARİSİ

MAKİNE KATMANI

MİKROPROGRAM KATMANI

SAYISAL MANTIK KATMANI

FİZİKSEL AYGIT KATMANI

ELEKTRON



BUYRUK KÜMESİ MİMARİSİ

ISA (Instruction Set Architecture) ARM, MIPS, RISC-V, x86
KOMUT KÜMELERİ



MİKROİŞLEMCİ MİMARİSİ

BUYRUKLARIN DONANIMDA GERÇEKLEŞMESİ



MANTIKSAL DEVRE

MANTIKSAL KAPI, FLIP-FLOP, MUX DEVRELERİ

PROGRAMLARIN ÇALIŞTIRILMASI

Üst düzey yazılım dili
(C)

```
swap(int v[], int k)
{int temp;
  temp = v[k];
  v[k] = v[k+1];
  v[k+1] = temp;
}
```

Çevirici (Assembly)
program dili
(RISC-V için)

```
swap:
  slli x6, x11, 3
  add x6, x10, x6
  ld x5, 0(x6)
  ld x7, 8(x6)
  sd x7, 0(x6)
  sd x5, 8(x6)
  jalr x0, 0(x1)
```

Makine dili Binary
(RISC-V için)

```
000000000001101011001001100010011
00000000011001010000001100110011
000000000000000110011001010000011
000000001000001100110011110000011
00000000011100110011000000100011
00000000010100110011010000100011
0000000000000000100000001100111
```



**DERLEYİCİ
(COMPILER)**



**ÇEVİRİCİ
(ASSEMBLER)**

ÜST DÜZEY YAZILIM DİLİNİN AVANTAJLARI

1. Programcılara doğal dil ile düşünüp program oluşturmaya izin verir.
2. Zamandan ve koddan tasarruf
3. Geliştirildikleri bilgisayardan bağımsız olmaları

BİLGİSAYAR DONANIMI

Bilgisayar donanımının basit fonksiyonları

1. Veri girişi



Veri giriş cihazları

Kalvye, mikrofon

2. Veri çıkışı



Veri çıkış cihazları

Hoparlör, LED ekran

3. Veri işleme



Mikroişlemci

4. Veri saklama



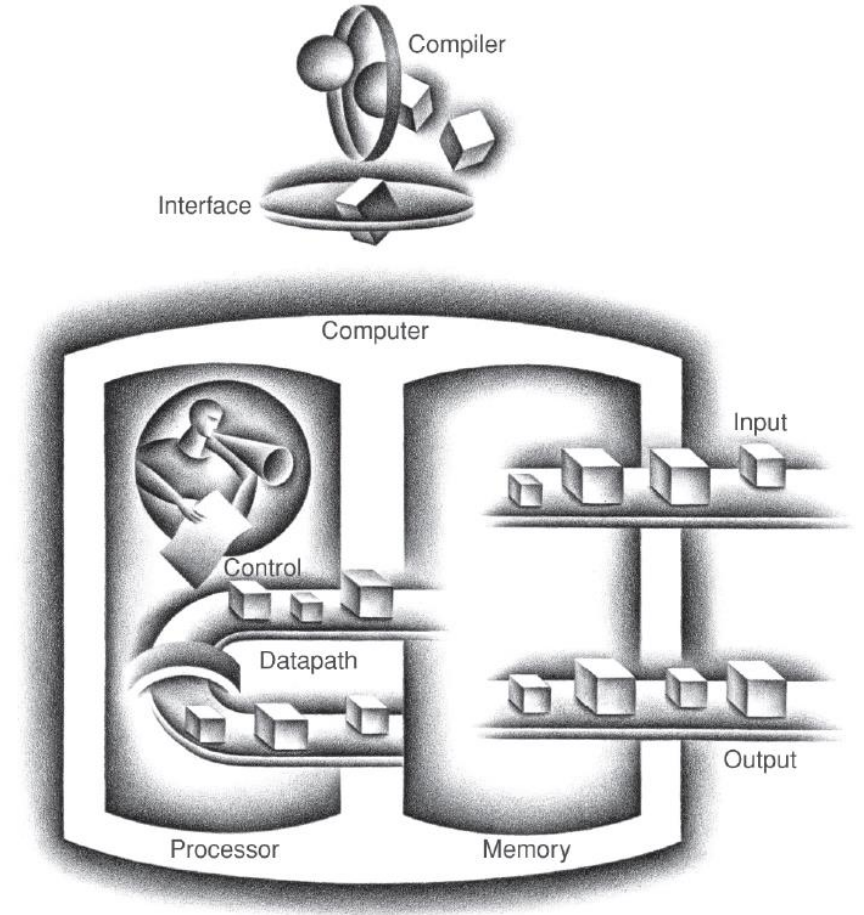
Bellek

BİLGİSAYAR DONANIMI

Bilgisayarın Ana Bileşenleri

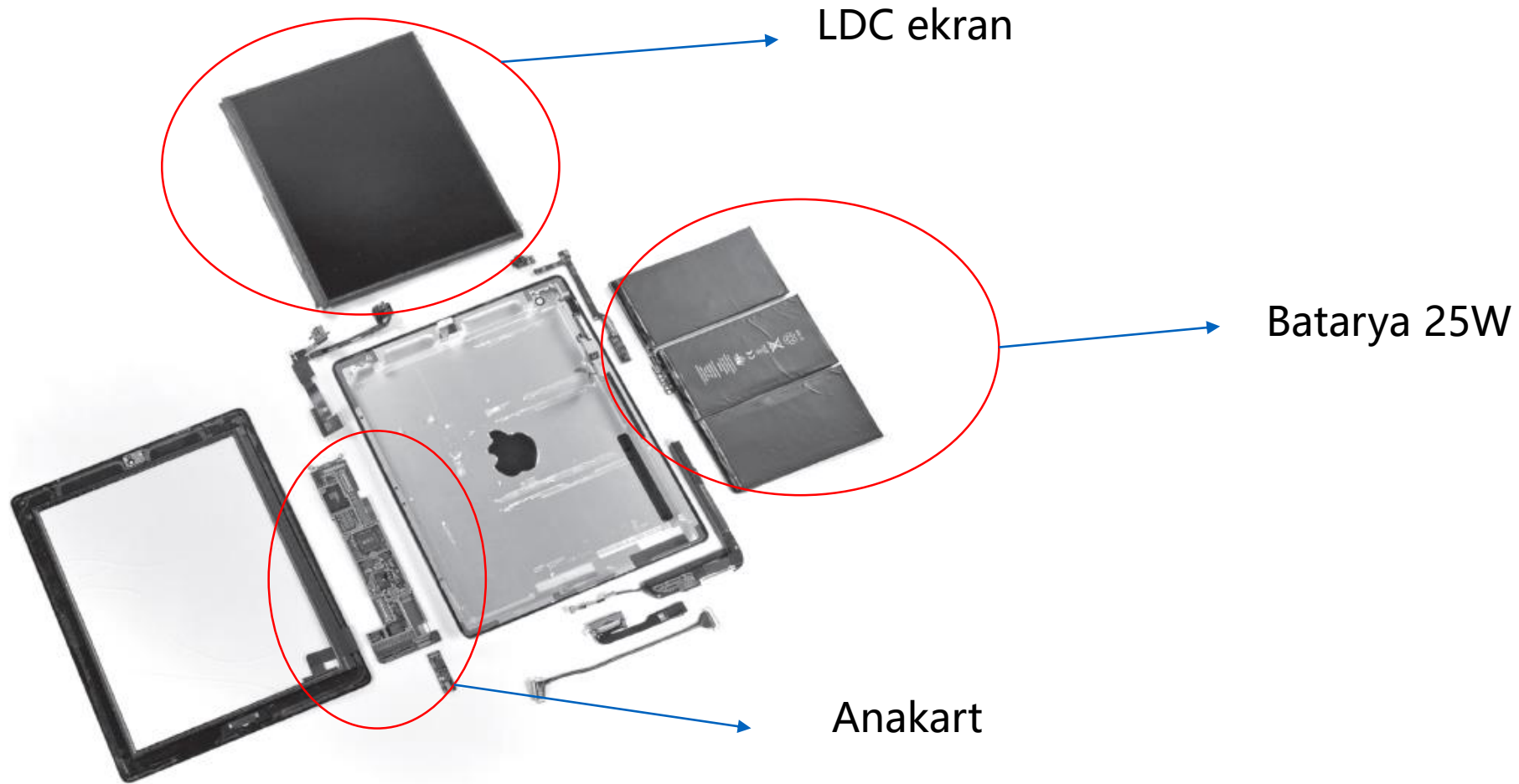
1. Giriş
2. Çıkış
3. Bellek
4. Veri Yolu
5. Denetim

Mikroişlemci



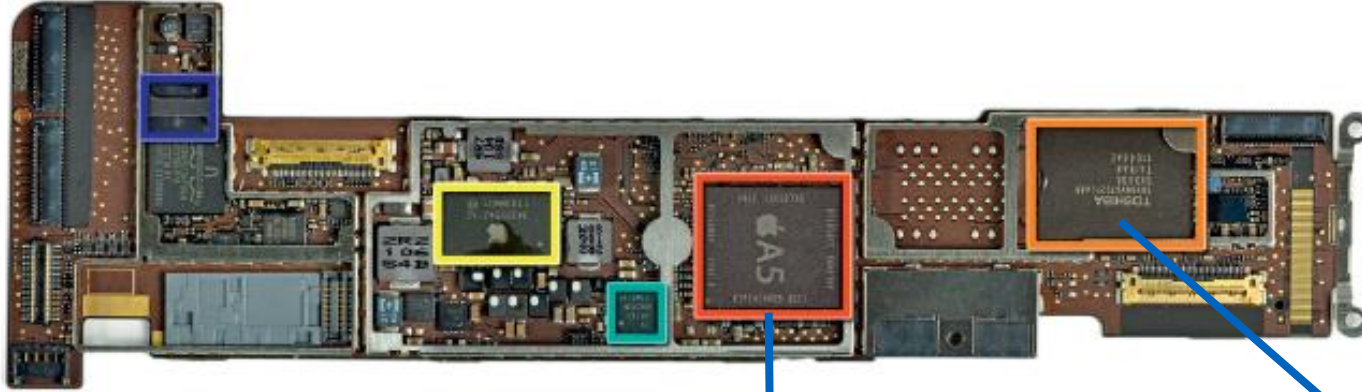
BİLGİSAYAR DONANIMI

Apple iPad 2



BİLGİSAYAR DONANIMI

Apple iPad 2 Anakartı



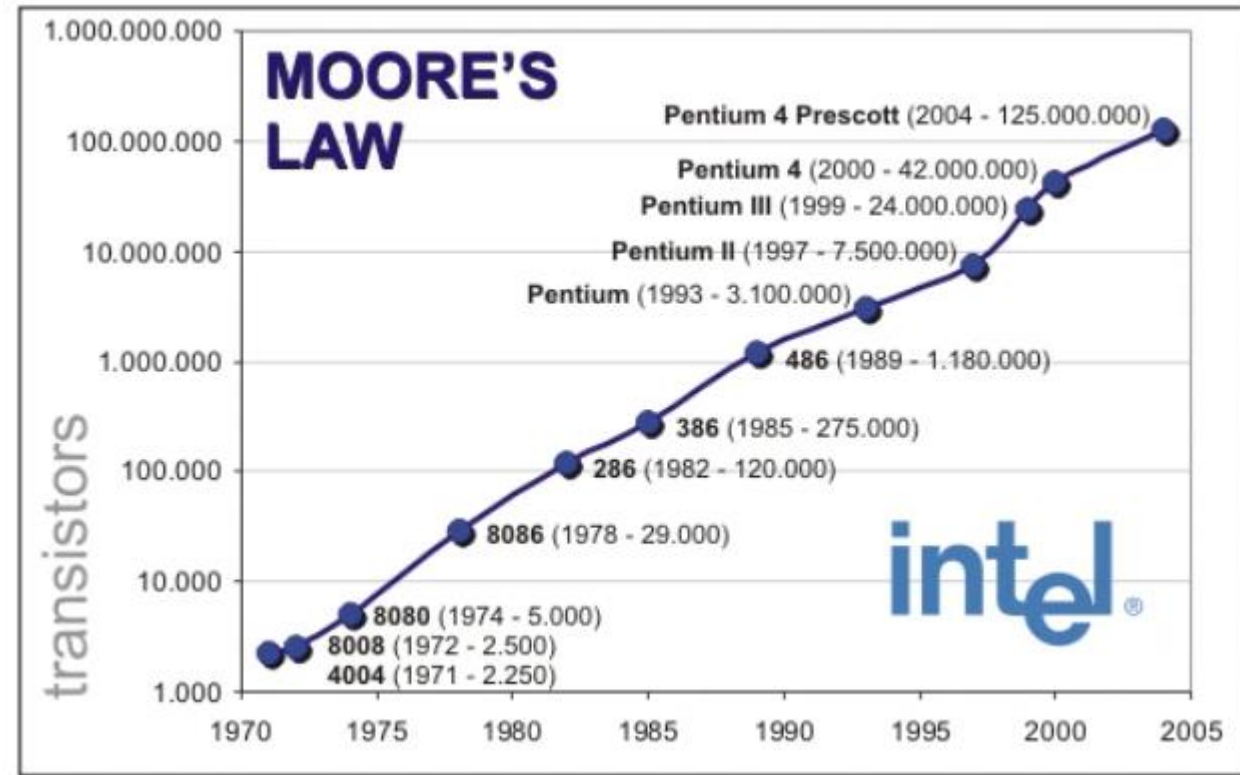
Apple A5 ARM işlemci
1GHz frekansı
512 MB ana bellek

32 GB Flash bellek

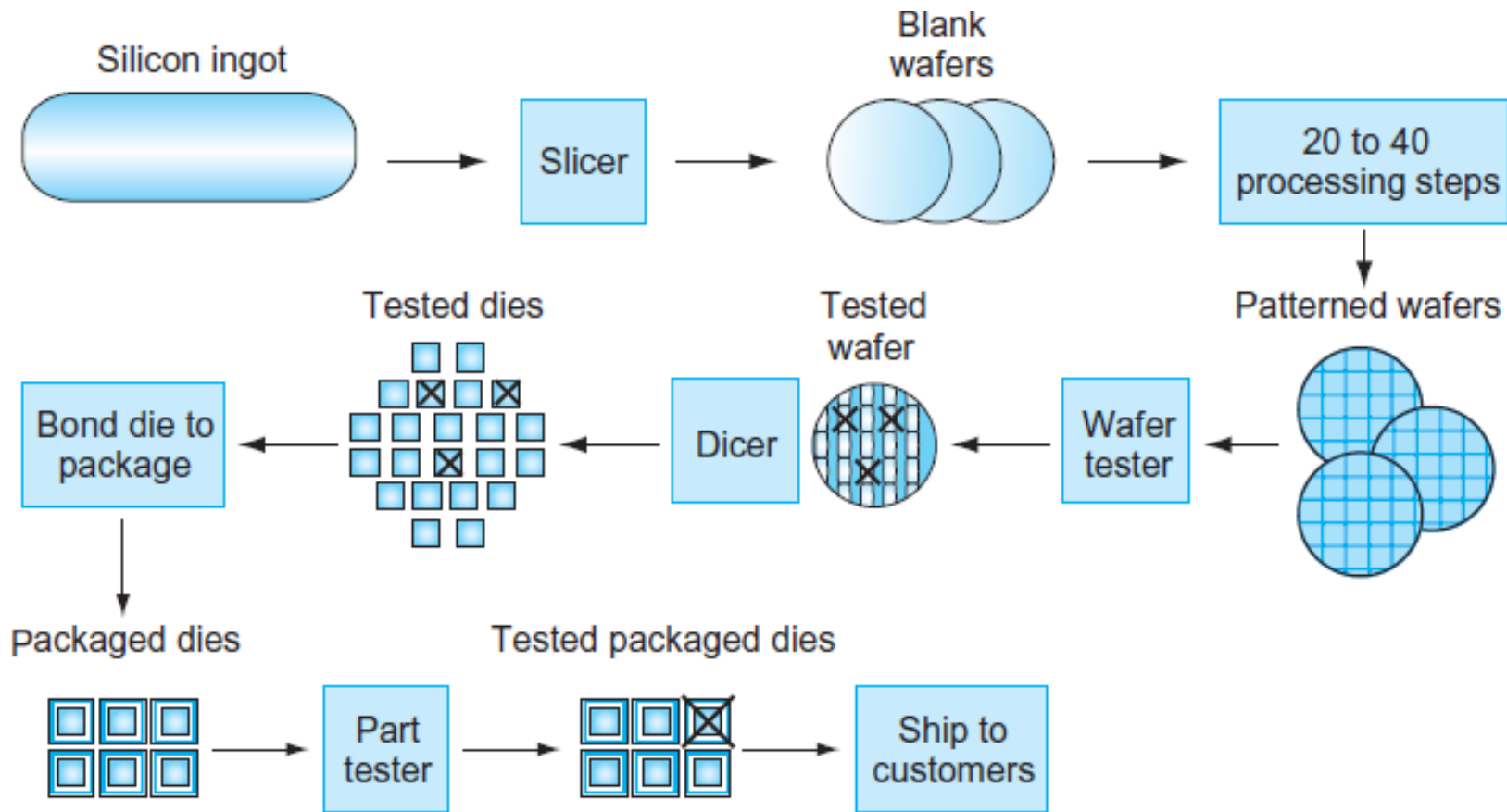
NEREYE GİDİYOR BU TEKNOLOJİ?

IC teknolojisi

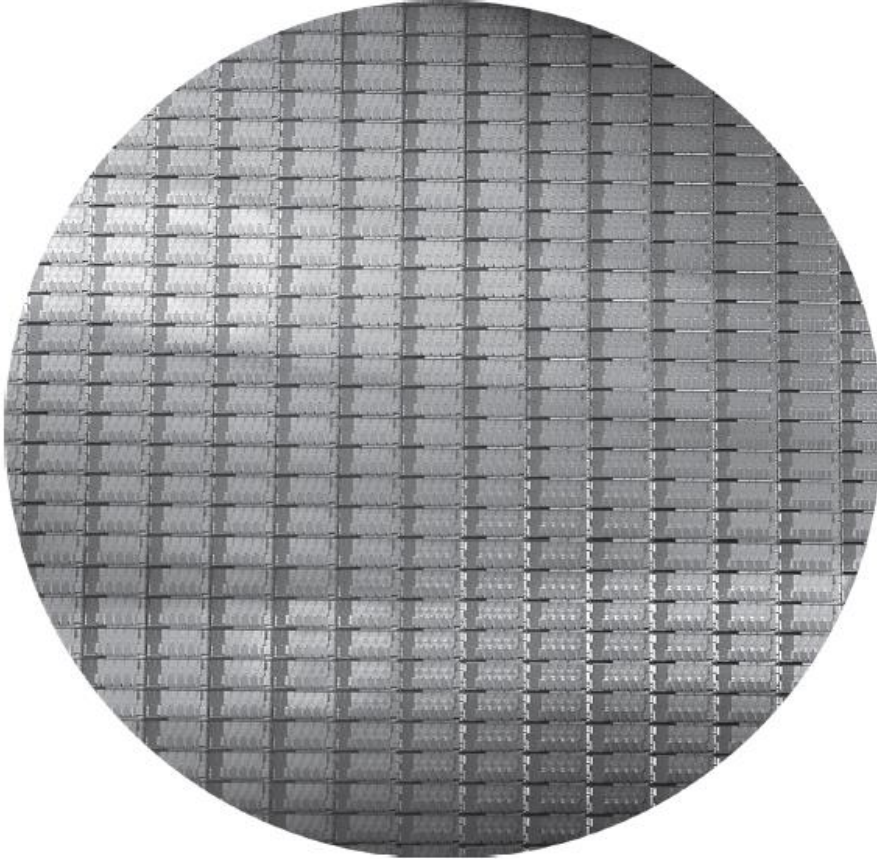
- İşlemci içindeki transistör sayısı her geçen gün artmaktadır.
- Moore Yasası : 18-24 ayda işlemci içindeki transistör sayısı 2 katına çıkmaktadır.



Mikroişlemci İmalatı



- 8-12 inç çapında silikon
- 0,1 inç kalınlığında
- 1 katman transistör
- 2-10 katman bağlantı hattı
- Yalıtım katmanı



- Silikon atomu 0,2 nm
- 300 mm levha
- Intel 10 nm 10.th nesil
- Apple 5nm ARM A15
- Işıkla çalışan bilgisayar?
Lamda/pi

BİR BİLGİSAYARIN NASIL OLMASINI İSTERİZ?

- ✓ Fiyat ?
- ✓ En/boy ?
- ✓ Bellek veya disk alanı ?
- ✓ Güç gereksinimi (= ısınma) ?
- ✓ Performans
- ✓ Kolayca sanallaştırma
- ✓ Giriş/çıkışları (I/O)
- ✓ Teknik özellikleri
- ✓ Komu seti (ISA)
- ✓ Güvenilirlik
- ✓

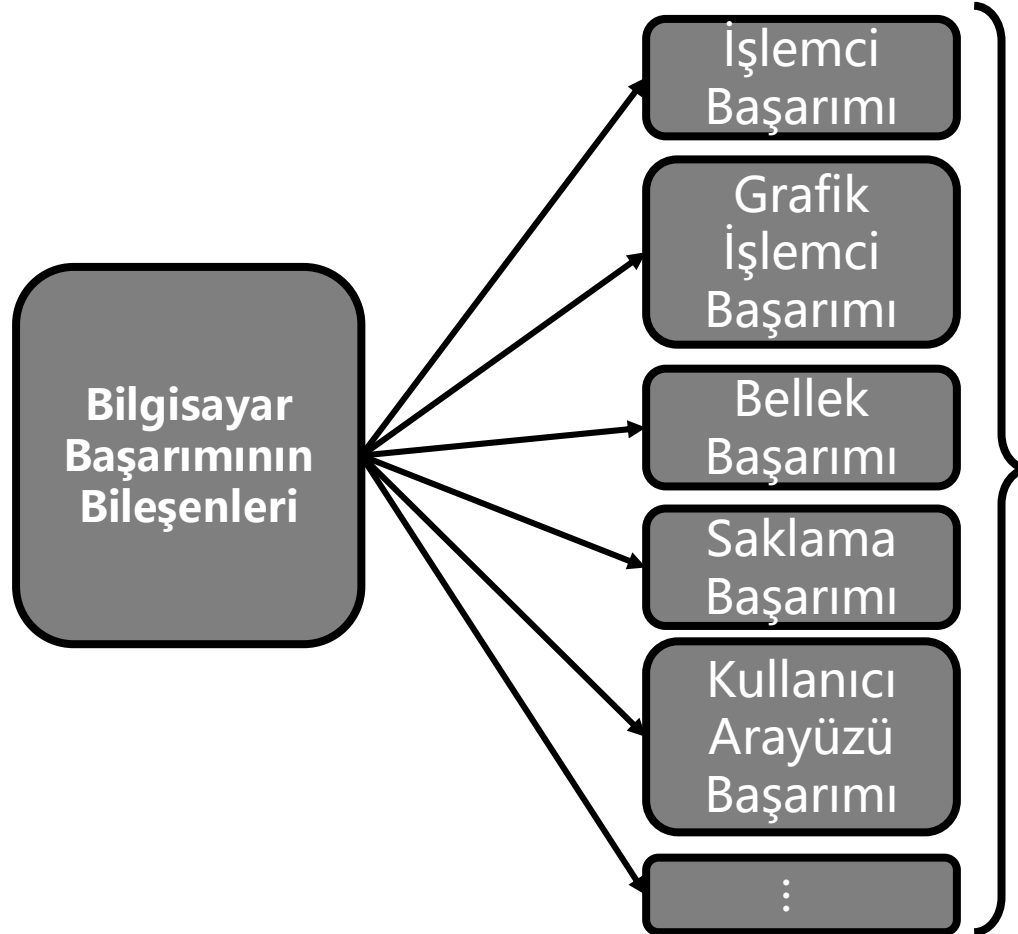
Başarım Nedir?

Başarım (-ing. performance)

a 4. Herhangi bir eseri, oyunu, işi vb.ni ortaya koyarken gösterilen başarı.

"Benim bilgisayarım senin bilgisayarından daha **iyi!**"

(başarımı daha yüksek)



Bilgisayar başarımını bu bileşenlerin bir fonksiyonu belirler.

Başarım Nedir?



Uçak	Yolcu Kapasitesi	Uçuş Menzili (Mil)	Uçuş Hızı (Mil/Saat)	Yolcu Çıktısı (yolcu * Mil/Saat)
Boeing 777	375	4630	610	228.750
Boeing 747	470	4150	610	286.700
BAC/Sud Concorde	132	4000	1350	178.200
Douglas DC-8-50	146	8720	544	79.424
F-16	1	2622	1500	1500

Hangi uçağın başarımı en iyi?

- Yolcu Kapasitesi: Boeing 747
- Uçuş Menzili: Douglas DC-8-50
- Uçuş Hızı: F-16
- Yolcu Çıktısı (birim zamanda taşınan yolcu): Boeing 747

Yolcu: "En hızlı uçak en iyidir."

Havayolu Şirketi: "Masraf/yolcu oranı düşük olan uçak en iyidir."

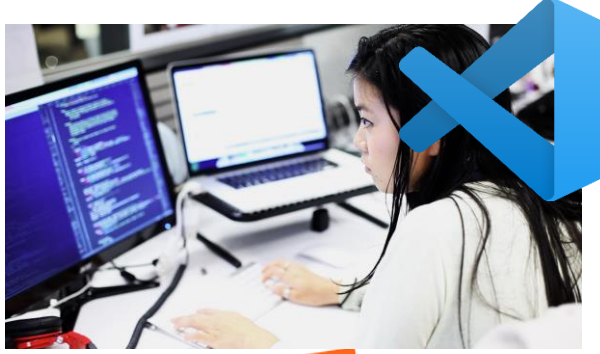
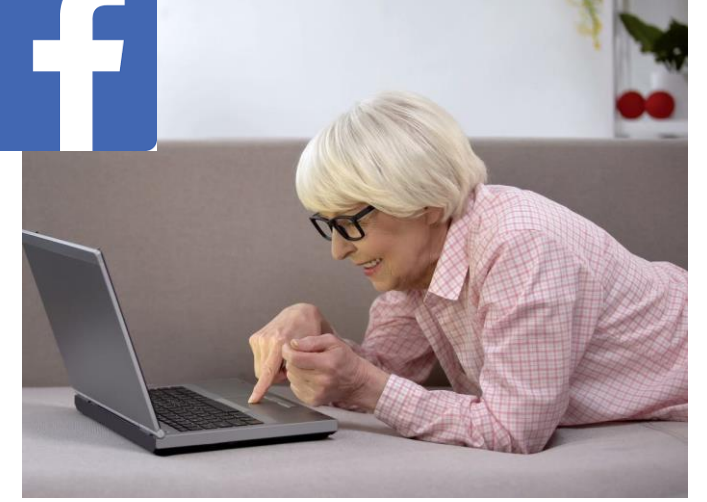
Başarımın tek bir ölçütü yoktur.

Başarım hedefleri kişiden kişiye değişir.

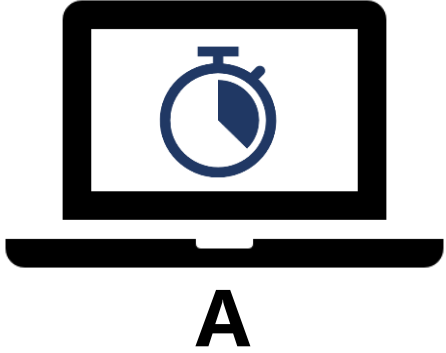
Başarım Nedir?

Bilgisayar başarıımı nasıl ölçülür?

- Duruma göre değişir.



Sistem Başarımı Ölçümü

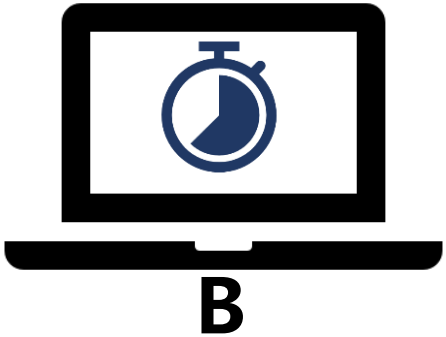


Yürütme Zamanı: (*ing. execution time*) bir işi başlangıcı ile bitişi arasında geçen süreye denir.

$$Başarım_A \sim \frac{1}{Yürütme\ Zamanı_A}$$

Başarım karşılaştırmalı ölçülür.

$$\frac{Başarım_A}{Başarım_B} = n$$

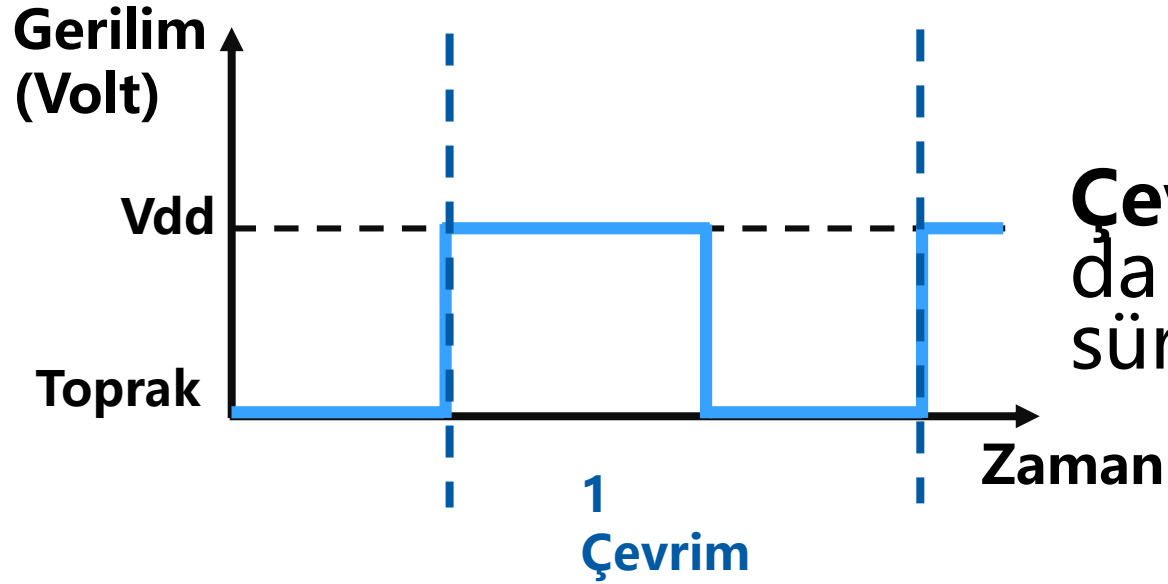


$$Yürütme\ Zamanı_B > Yürütme\ Zamanı_A$$

$$\Rightarrow \frac{1}{Yürütme\ Zamanı_A} > \frac{1}{Yürütme\ Zamanı_B}$$

$$\Rightarrow Başarım_A > Başarım_B$$

Saat Vuruş Sıklığı ve Çevrim Zamanı



Çevrim Zamanı: Saatin iki yükselen ya da iki düşen darbesi arasında geçen süreye denir.

Saat Vuruş Sıklığı: 1 saniyelik zaman aralığındaki çevrim sayısına denir.

$$\text{Saat vuruş sıklığı} = \frac{1}{\text{Çevrim Zamanı}}$$

Programların Çalıştırılması

```
void swap(int[] array, int index)
{
    int temp = array[index];
    array[index] = array[index+1];
    array[index+1] = temp;
}
```

Üst düzey yazılım dilinde
(Java) yazılmış program

Derleyici

swap:
slli x6, x11, 3
add x6, x10, x6
ld x5, 0(x6)
ld x7, 8(x6)
sd x7, 0(x6)
sd x5, 8(x6)
jalr x0, 0(x1)

Çevirici dil
programı
(RISC-V için)

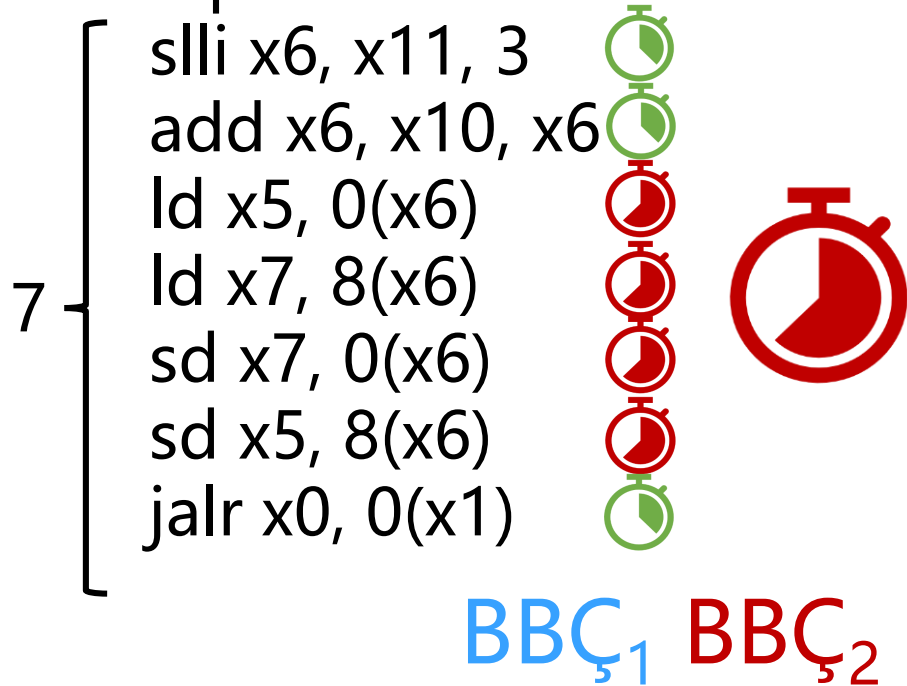
Çevirici

```
00000000001101011001001100010011
00000000011001010000001100110011
000000000000000110011001010000011
00000000100000110011001110000011
00000000010100110011010000100011
0000000000000000100000001100111
```

Makine dili program
(RISC-V için)

Buyruk Başına Çevrim (BBÇ)

swap:



$$\text{BBÇ} = \frac{\text{Çevrim Sayısı (program için)}}{\text{Buyruk Sayısı}}$$

Her buyruk eşit sürede tamamlanmaz.

Yürütme Zamanı

$$\begin{array}{ccccccc} \text{Yürütme Zamanı} & = & \text{Buyruk Sayısı} & \times & \text{BBÇ} & \times & \text{Çevrim Zamanı} \\ \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\ \text{Saniye} & & \frac{\text{Buyruk Sayısı}}{\text{Program}} & & \frac{\text{Çevrim Sayısı}}{\text{Buyruk Sayısı}} & & \frac{\text{Saniye}}{\text{Çevrim Sayısı}} \end{array}$$

Yürütme zamanı eşitliğine göre başarımı artırmak (yürütme zamanını azaltmak) için neler yapılabilir?

- Programın içerdiği buyruk sayısını **azaltmak**.
- Birim buyruk başına geçen çevrim sayısını **azaltmak**.
- İşlemcinin saat vuruş sıklığını **artırmak (ya da çevrim zamanını azaltmak)**

Örnek

Buyruk Türü	A	B	C
BBÇ	1	2	3

Buyruk Sayısı			
Buyruk Türü	A	B	C
Program 1	2	1	2
Program 2	4	1	1

- Hangi program daha fazla buyruk yürütüyor?
- Hangisi daha hızlı çalışır?
- Programların BBÇ değerleri nedir?

Program1=2+1+2=5 Buyruk

Program2=4+1+1=6 Buyruk

Çalışma Süresi 1=(2x1)+(1x2)+(2x3)=10

Çalışma Süresi 2=(4x1)+(1x2)+(1x3)=9

BBÇ1=((2x1)+(1x2)+(2x3))/5=10/5=2

BBÇ2=((4x1)+(1x2)+(1x3))/6=9/6=1.5

Örnek

100 buyruktan oluşan bir programın kullandığı buyruk türleri ve bu buyruk türlerinin program içindeki oranları verilmiştir. Bu program işlemcisi 500MHz olan bir bilgisayarda kaç saniyede yürütülür?

Buyruk türü	Kullanım yüzdesi	Yürütülmesi için Gereken Çevrim Sayısı
K	%40	1
L	%15	3
M	%35	4
N	%10	5

$$BBÇ = \frac{\sum_{i=1}^n (Çevrim_i \times S_i)}{Toplam\ buyruk\ sayısı} = \frac{40 \times 1 + 15 \times 3 + 35 \times 4 + 10 \times 5}{100} = 2,75$$

$$Yürütme\ Zamanı = \frac{Buyruk\ Sayısı \times BBÇ}{Saat\ Sıklığı} = \frac{100 \times 2,75}{200 \times 10^6\ sn} = 1,37\ \mu sn$$

Örnek

Bir programı saat vuruş sıklığı 2 GHz olan A bilgisayarı 10 saniyede yürütüyor. Bu program A bilgisayarında N sayıda çevrim sürerken B bilgisayarında 1,2 N sayıda çevrimde tamamlanıyor. B bilgisayarında bu programın 6 saniyede tamamlanmasını istersek B bilgisayarının saat vuruş sıklığı ne olmalıdır?

Bilgisayar	Programın Yürütme Süresi	Programın Çevrim Sayısı	Saat Vuruş Sıklığı
A	10 saniye	N	2 GHz
B	6 saniye	1,2 N	?

$$10 = N \times \frac{1}{2} \times 10^{-9}$$

$$6 = 1,2N \cdot \frac{1}{X}$$

$$X = 4 \text{ GHz}$$

Saniye Başına İşlenen Milyon Buyruk (SBMB) (*-ing. MIPS*)

Saniye Başına İşlenen Milyon Buyruk (SBMB) (*-ing. MIPS*) bazı şirketler tarafından başarımlık ölçütü olarak kullanılmaktadır.

$$SBMB = \frac{\text{Buyruk Sayısı}}{\text{Yürütme Zamanı}} \times 10^{-6}$$

Saniye Başına İşlenen Milyon Buyruk (SBMB)

SBMB başarımı ölçmede yanıltıcı olabilir

Ayşegül			Demre		
Buyruk türü	Buyruk sayısı (milyon)	BBC	Buyruk türü	Buyruk sayısı (milyon)	BBC
K	8	2	K	10	2
L	4	3	L	8	3
M	2	8	M	2	8
N	4	4	N	4	4

Ayşegül ve Demre aynı işlemcilerde (saat vuruş sıklığı 200MHz) iki farklı program çalıştırıyorlar.

$$Yürütme\ zamanı_{ayşegül} = \frac{60 * 10^6}{200 * 10^6} = 0,3\ sn$$

$$Yürütme\ zamanı_D = \frac{76 * 10^6}{200 * 10^6} = 0,38\ sn$$

$$Yürütme\ zamanı_{ayşegül} < Yürütme\ zamanı_{demre}$$

$$SBMB_{ayşegül} = \frac{18 * 10^6}{0,3} * 10^{-6} = 60,0$$

$$SBMB_{demre} = \frac{24 * 10^6}{0,38} * 10^{-6} = 63,1$$

$$SBMB_{ayşegül} < SBMB_{demre}$$

Saniye Başına İşlenen Kayan Virgöl Buyruğu (SBKVB) (-ing. FLOPS)

$$SBKVB = \frac{\text{Programdaki Kayan Virgöl İşlemlerinin Sayısı}}{\text{Yürütme Zamanı}} \times 10^{-6}$$

SBKVB de benzer bir şekilde gerçek bir başarımlık ölçütü değildir.

SPEC – Yapay Sinama Programı

Gerçek son kullanıcı programlarına benzer davranış sergileyen, sistemlerin başarımını ölçmek için kullanılan programlar.

SPEC → Standard Performance Evaluation Corporation

www.spec.org

Program	Yazıldığı Dil	Açıklama
perlbench	C	PERL programlama dili
bzip2	C	Veri sıkıştırma
gcc	C	C derleyicisi
mcf	C	Tümleşik iyileştirme
gobmk	C	Yapay zeka; "Go" oyunu oynar
hmmer	C	Gen haritası çıkarma
sjeng	C	Yapay zeka; satranç oynar
libquantum	C	Quantum fiziği hesaplamaları
h264ref	C	Video sıkıştırma
omnetpp	C++	Ayrık olay benzetimi
astar	C++	Yol bulma algoritmalarını çalıştırır
xalancbmk	C++	XML işleme

SpecInt2006 Sınama Programları

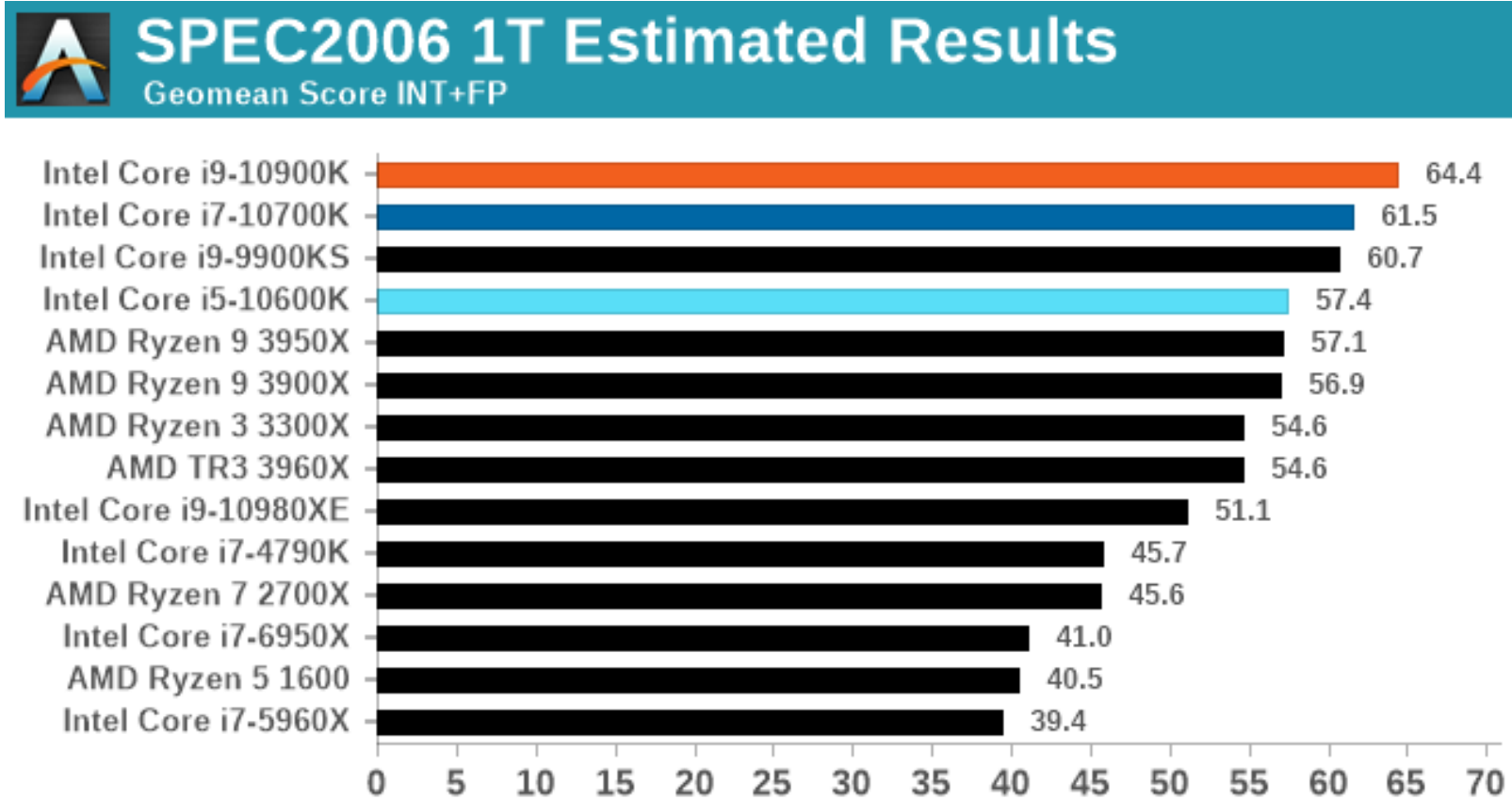
SPEC – Yapay Sınama Programı

Program	Yazıldığı Dil	Açıklama
bwaves	Fortran	Akışkanlar dinamiği
gamess	Fortran	Kuantum kimyası
milc	C	Fizik; Kuantum parçacık dinamiği
zeusmp	Fortran	Fizik/CFD
gromacs	C/Fortran	Biyokimya/Moleküler dinamik
cactusADM	C/Fortran	Fizik; Genel görelilik
Leslie3d	Fortran	Akışkanlar dinamiği
namd	C++	Biyoloji/Moleküler dinamik
dealII	C++	Sonlu eleman analizi
soplex	C++	Doğrusal programlama, iyileştirme
povray	C++	Resim ışın tanıma
calculix	C/Fortran	Yapısal mekanik
GemsFDTD	Fortran	Hesaplanabilir elektromanyetik
tonto	Fortran	Kuantum kimyası
lbm	C	Akışkanlar dinamiği
wrf	C/Fortran	Hava tahmini
sphinx3	C	Konuşma tanıma

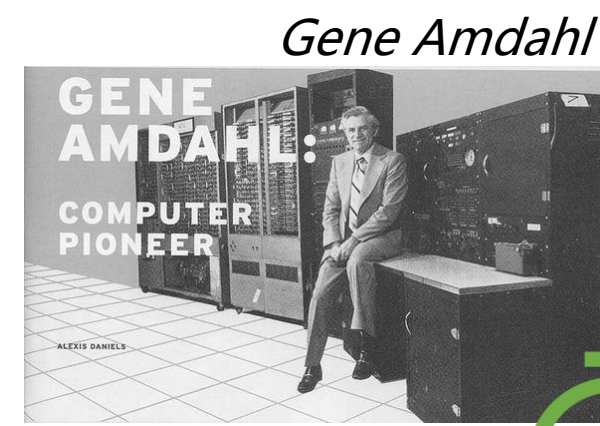
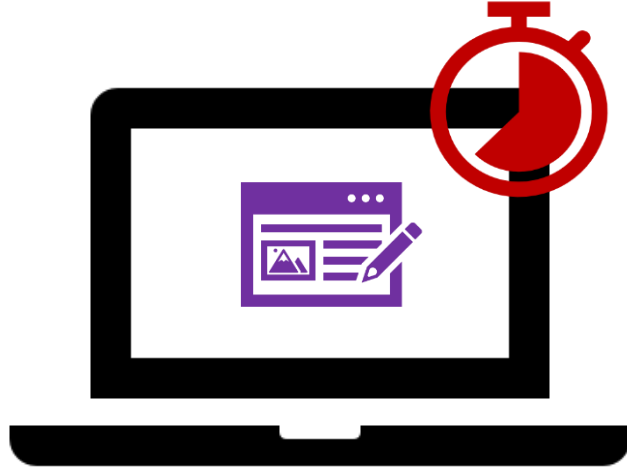
SpecFP2006 Sınama Programları

SPEC – Yapay Sinama Programı

İşlemci SPEC2006 sonuçları – 2020



Amdahl Yasası

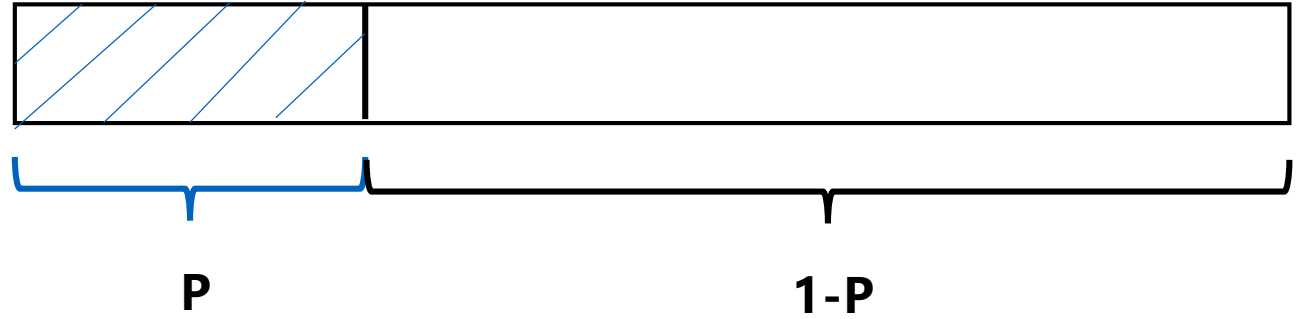


Gene Amdahl



Hızlanma hesaplanabilir mi?

$$\text{Hızlanma} = \frac{\text{Başarım (Geliştirmeden sonra)}}{\text{Başarım (Geliştirmeden önce)}} = \frac{\text{Yürütme zamanı (Geliştirmeden önce)}}{\text{Yürütme zamanı (Geliştirmeden sonra)}}$$



P oranında bir parçayı H kat hızlandırırsak yürütme zamanı ne olur?

Yeni Yürütme Zamanı = $((1-P) + P/H) \times \text{Eski Yürütme Zamanı}$

Örnek

Bir programın yürütme zamanının **%60'** ı ondalıklı sayılarla işlemlere harcanmaktadır. Bu programın üzerinde çalışacağı bilgisayarın ondalıklı sayılarla işlemleri **3 kat** hızlandırılırsa bu programın yürütme zamanı ne olur?

$$\text{Hızlanma} = \frac{1}{(1 - P) + P/H} = \frac{1}{(1 - 0,6) + 0,6/3} = \frac{1}{0,6} = 1, \bar{6}$$

Örnek

Ondalık sayıların **5 kat** hızlandırılması ile bir programın **3 kat** hızlanması için ondalık sayı işlemlerinin tüm program içerisindeki yüzdesinin ne olması gerekir?

$$\text{Hızlanma} = \frac{1}{(1 - P) + P/H} = 3$$
$$\frac{1}{(1 - P) + P/5} = 3$$

$$\Rightarrow 3 - 3P + \frac{3P}{5} = 1 \Rightarrow 2 = \frac{12P}{5}$$

$$\Rightarrow P = \frac{10}{12} = 0,8\bar{3}$$

Güç Tüketimi

Birim zamanda harcanan enerji

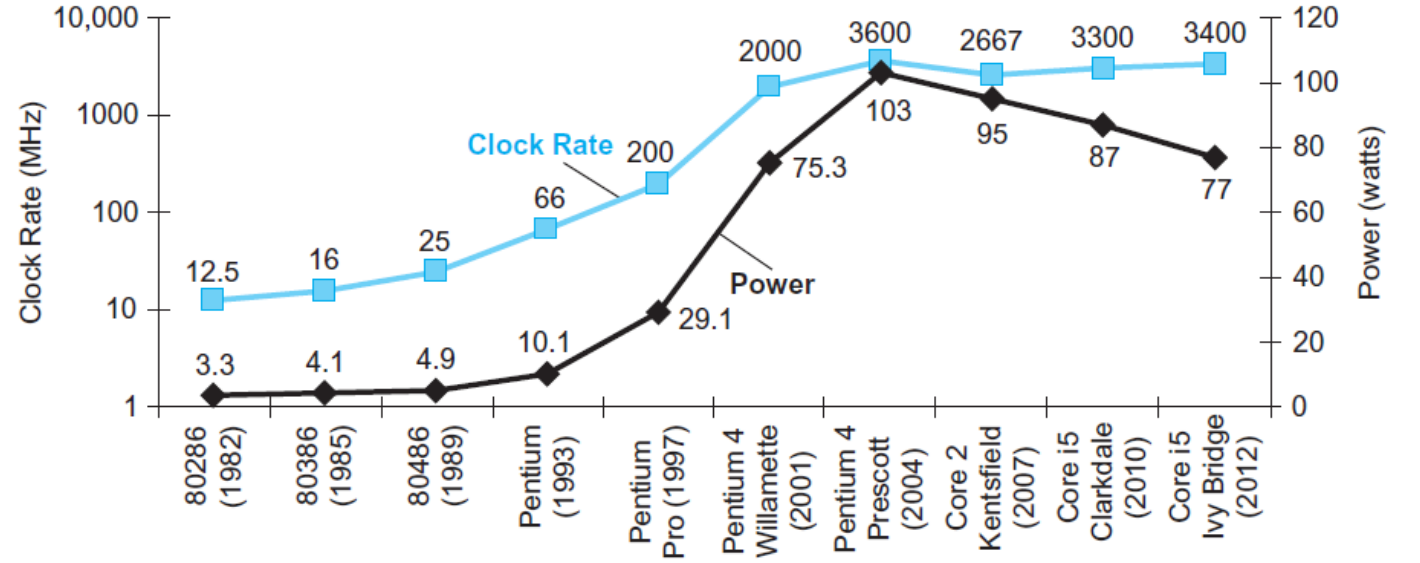
Güç tüketimini ne artırır?

- Saatin vuruş sıklığı
- Sığa
- Gerilim

$$\left. \begin{array}{l} \text{Saatin vuruş sıklığı} \\ \text{Sığa} \\ \text{Gerilim} \end{array} \right\} P = f \times C \times v^2$$

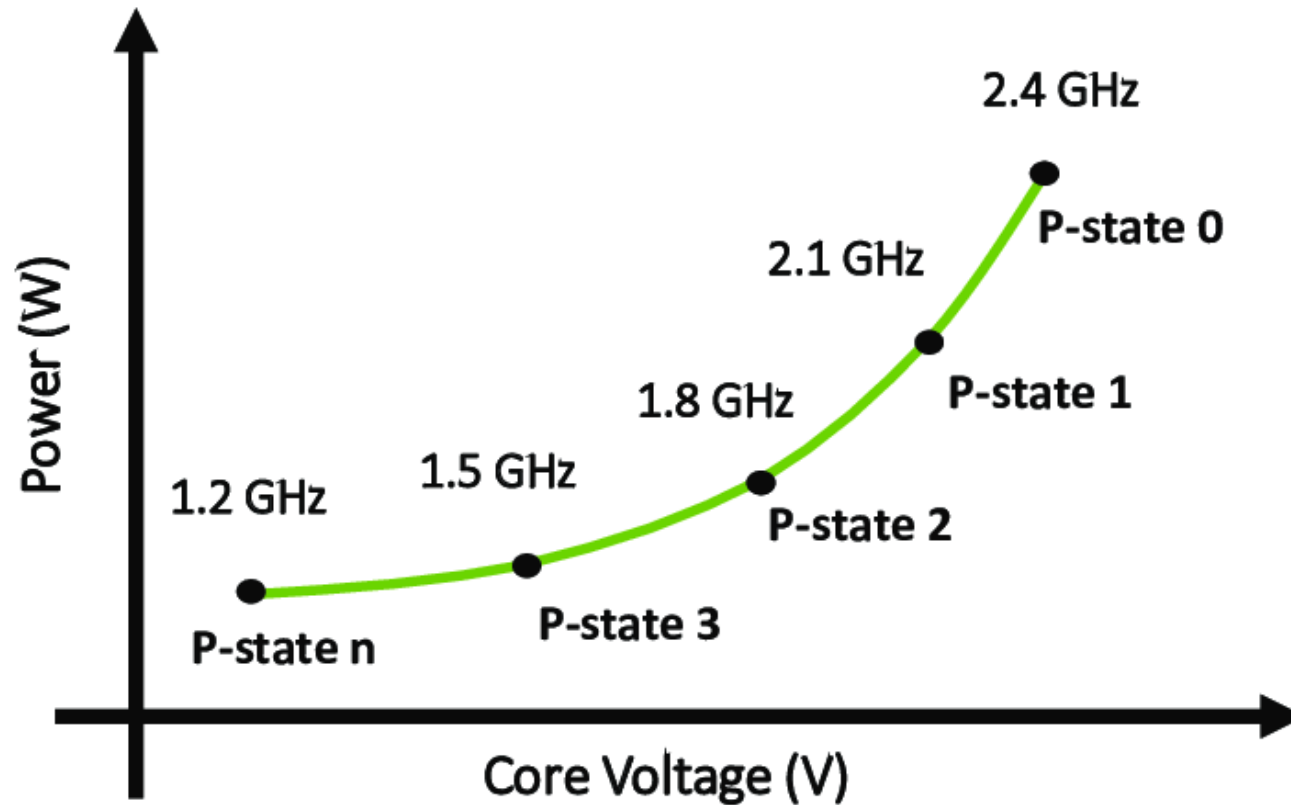
Güç Duvarı

- Birim alan sığan transistör sayısı
- Enerji tüketimi
- Soğutma ihtiyacı



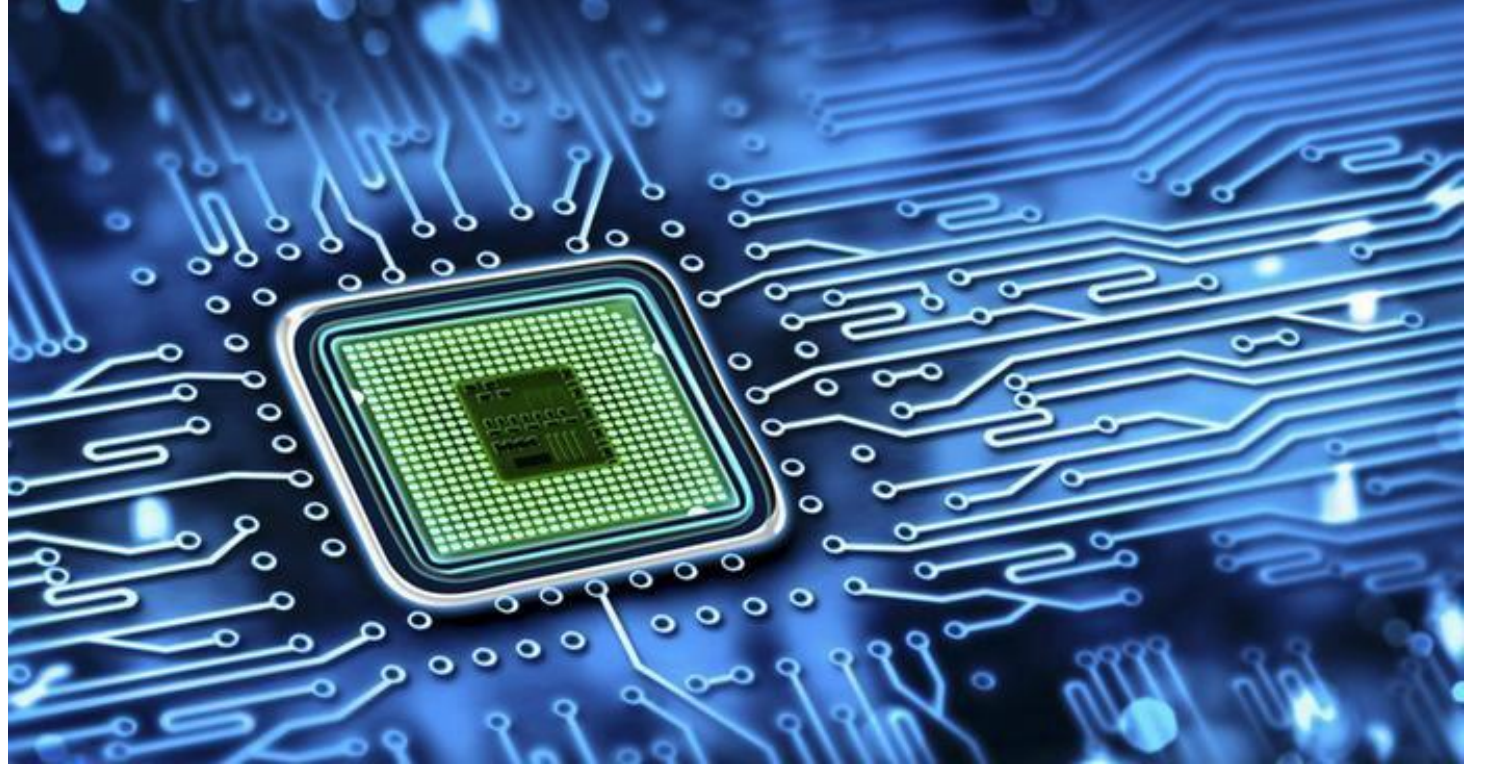
Değişken Gerilim ve Saat Vuruş Sıklığı

$$P = f \times C \times v^2$$



Soru- Cevap Bölümü

- Konu hakkındaki sorularınız.



2019-2020 Güz - Ödev 1

100.000.000 tane A ve 200.000.000 tane B buyruğundan oluşan bir program Kardelen ve Papatya işlemcilerinde çalıştırılıyor.

Kardelen işlemcisinin saat frekansı 200 MHz, Papatya'nın ise 400 MHz'dir. Bu program Kardelen işlemcisinde 5, Papatya işlemcisinde 4 saniyede sonlandığına göre:

A) Papatya Kardelen'den kaç kat **daha** hızlıdır?

B) Kadelen'in hızı Papatya'nın hızının kaç katıdır?

2019-2020 Güz - Ödev 1

100.000.000 tane A ve 200.000.000 tane B buyruğundan oluşan bir program Kardelen ve Papatya işlemcilerinde çalıştırılıyor.

Kardelen işlemcisinin saat frekansı 200 MHz, Papatya'nın ise 400 MHz'dir. Bu program Kardelen işlemcisinde 5, Papatya işlemcisinde 4 saniyede sonlandığına göre:

C) Programların iki işlemcide de ortalama BBÇ'si kaçtır?

2019-2020 Güz - Ödev 1

100.000.000 tane A ve 200.000.000 tane B buyruğundan oluşan bir program Kardelen ve Papatya işlemcilerinde çalıştırılıyor.

Kardelen işlemcisinin saat frekansı 200 MHz, Papatya'nın ise 400 MHz'dir. Bu program Kardelen işlemcisinde 5, Papatya işlemcisinde 4 saniyede sonlandığına göre:

Buyruk Tipi	$BB\bar{C}_{Kardelen}$	$BB\bar{C}_{Papatya}$
A	X	Y
B	2X	3Y

D) Tabloya göre A tipi buyrukların iki işlemcideki BBÇlerinin oranı nedir?

2019-2020 Güz - Ödev 1

100.000.000 tane A ve 200.000.000 tane B buyruğundan oluşan bir program Kardelen ve Papatya işlemcilerinde çalıştırılıyor.

Kardelen işlemcisinin saat frekansı 200 MHz, Papatya'nın ise 400 MHz'dir. Bu program Kardelen işlemcisinde 5, Papatya işlemcisinde 4 saniyede sonlandığına göre:

E) Programdan 50.000.000 tane A buyruğu ve 50.000.000 tane B buyruğu çıkarılarak yerine 50.000.000 tane C buyruğu yerleştiriliyor. C buyruğunun BBÇsi 1.5 olduğuna göre bu programın yeni hali iki işlemcide kaç saniyede sonlanır?

Sonraki Ders

- Buyruk Kümesi Mimarisi