حافظه ۲

معماری کامپیوتر

۱۳۵۱۱-۱۱-۱۳

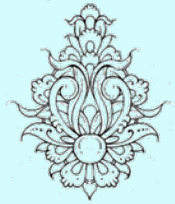
جلسه‌ی بیستم

دانشگاه شهید بهشتی
دانشکده‌ی مهندسی برق و کامپیوتر
بهار ۱۳۹۲

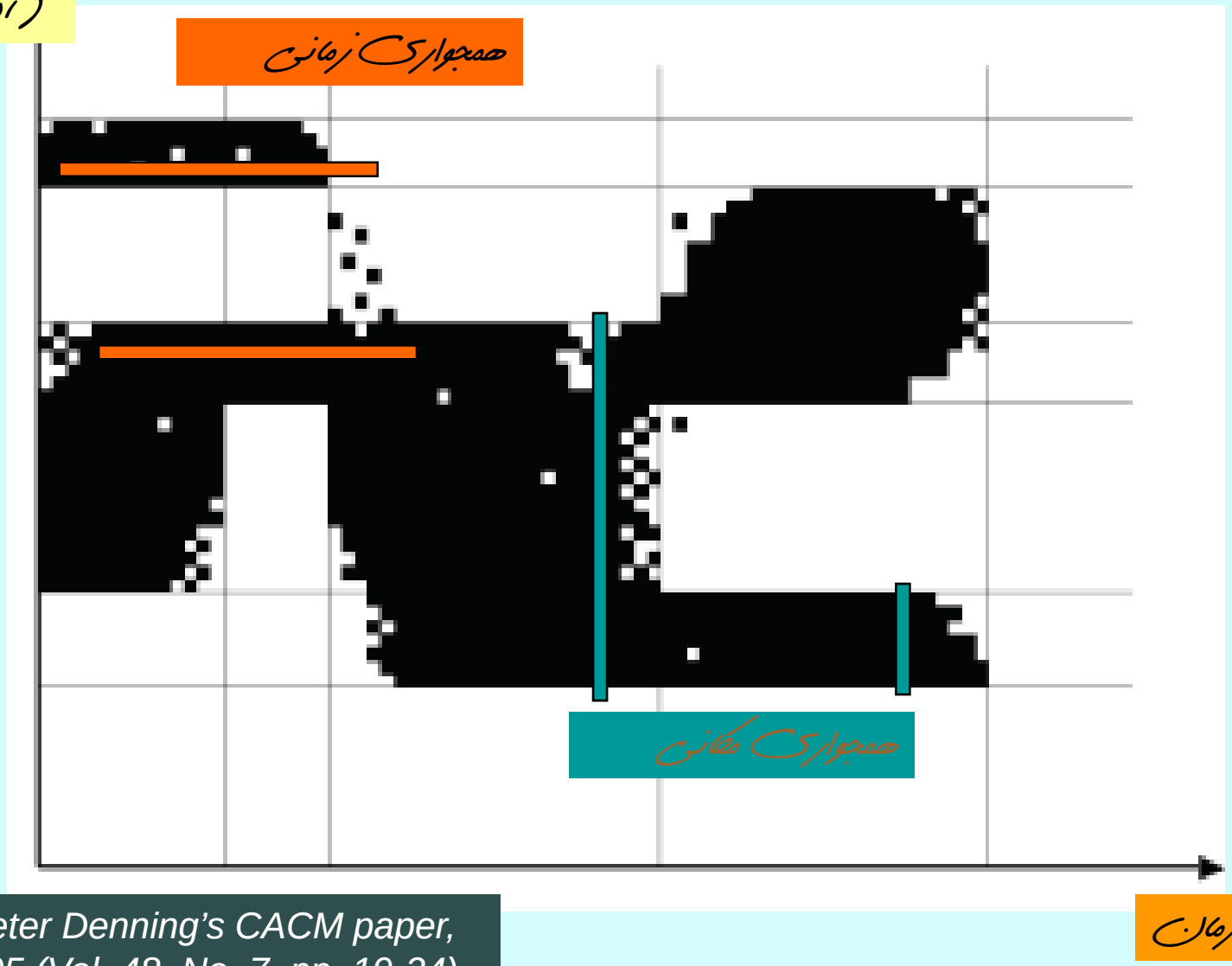
احمد محمودی ازناوه

فهرست مطالب

- سلسله‌مراتب در حافظه



همجواری (ادامه...)

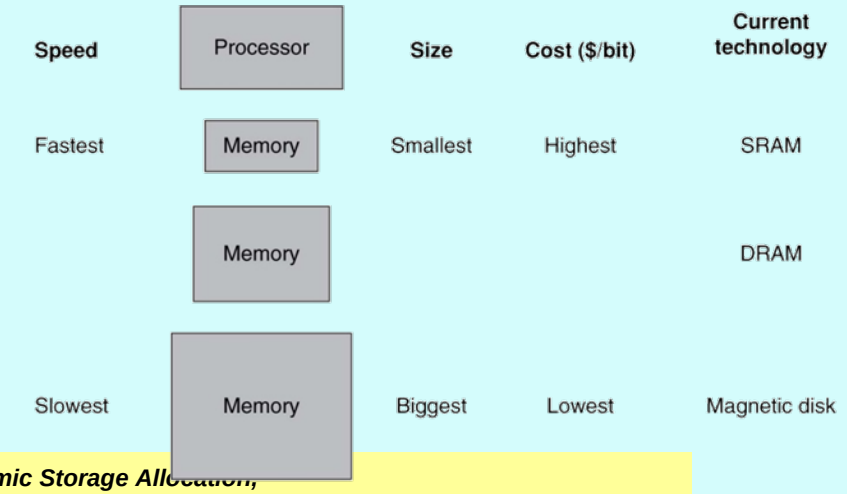


From Peter Denning's CACM paper, July 2005 (Vol. 48, No. 7, pp. 19-24)

همجواری (ادامه...)

- سلسله مراتب در در حافظه:
  - همه چیز را در دیسک سخت ذخیره کن
  - یک نسخه از موارد نیاز را در DRAM بنویس *Main memory*
  - یک نسخه از موارد مورد نیاز که اخیرا به کار گرفته شده‌اند را در SRAM ذخیره کن.

Cache memory attached to CPU

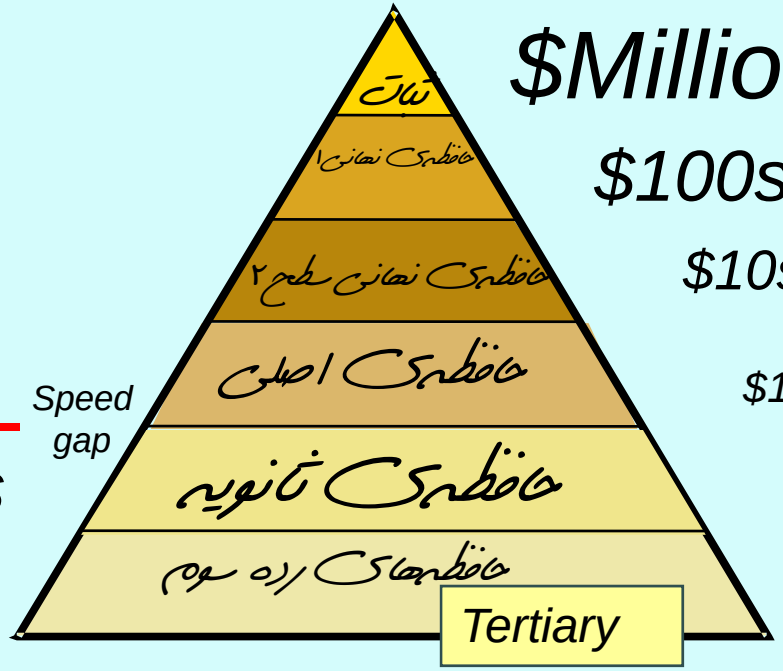


M. V. Wilkes, "Slave Memories and Dynamic Storage Allocation," IEEE Transactions on Electronic Computers, vol. EC-14, no. 2, pp. 270-271, April 1965.

سطوح مختلف حافظه

گنجایش	زمان دستیابی	قیمت هر GB
100s B	ns	$Millions
10s KB	a few ns	$100s Ks
MBs	10s ns	$10s Ks
100s MB	100s ns	$1000s
10s GB	10s ms	$10s
TBs	min+	$1s

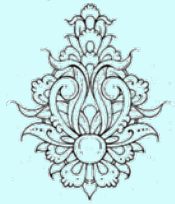
Speed gap



سلسله‌مراتب در حافظه

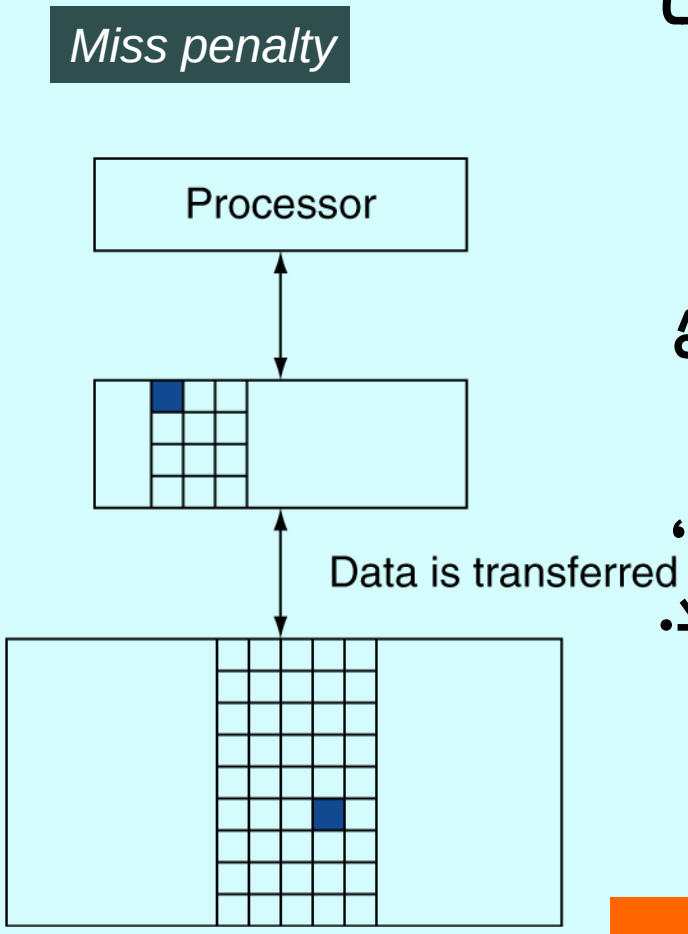
- کوچک‌ترین واحد حافظه در حافظه‌ی نهان که وجود یا عدم وجود آن قابل بررسی است، «سطر» یا «بلوک» نامیده می‌شود.
- در صورتی که داده در سطوح بالا وجود داشت، دستیابی موفق بوده است و hit شده است!

$$\text{Hit ratio} = \frac{\#\text{Hits}}{\#\text{Accesses}}$$



سلسله‌مراتب در حافظه (ادامه...)

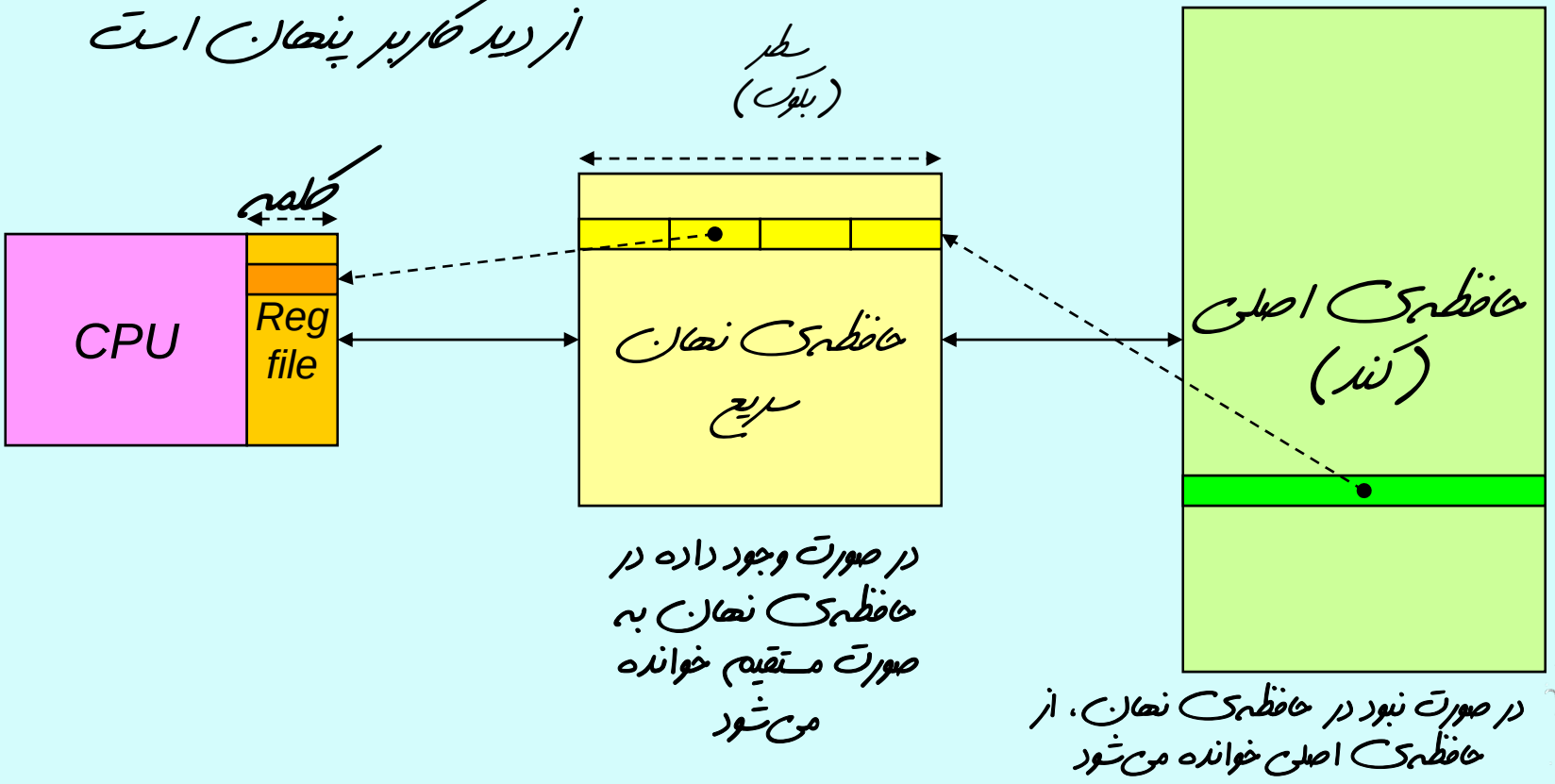
- در غیر این صورت درخواست، با پاسخی موفقیت‌آمیز روبرو نمی‌شود و miss می‌شود!
  - در این حالت باید داده از سطوح پایین‌تر منتقل شود.
  - زمانی که صرف انتقال می‌شود، جریمه‌ی فقدان نامیده می‌شود.



$$\text{Miss ratio} = \frac{\#\text{Miss}}{\#\text{Accesses}} = 1 - \text{Hit ratio}$$

حافظه‌ی نهان (ادامه...)

دسترسی به حافظه نهان
از دید کاربر پنهان است



در صورت وجود داده در
حافظه‌ی نهان به
صورت مستقیم خوانده
می‌شود

در صورت نبود در حافظه‌ی نهان، از
حافظه‌ی اصلی خوانده می‌شود

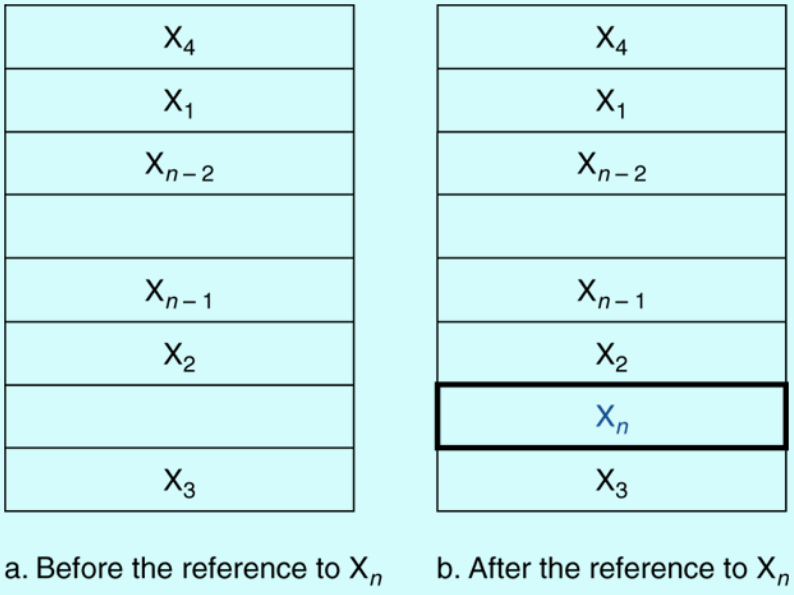
در صورت در اختیار داشتن یک سطح حافظه‌ی نهان با **hit ratio** برابر با **h**

$$Ceff = hCfast + (1 - h)(Cslow + Cfast) = Cfast + (1 - h)Cslow$$

حافظه‌ی نهان

- **حافظه‌ی نهان:**
  - در سلسله مراتب حافظه، نزدیک‌ترین واحد به پردازشگر مرکزی است.
  - فرض می‌کنیم به خانه‌های حافظه با آدرس‌های زیر مراجعه می‌شود:

X1, …, Xn–1, Xn

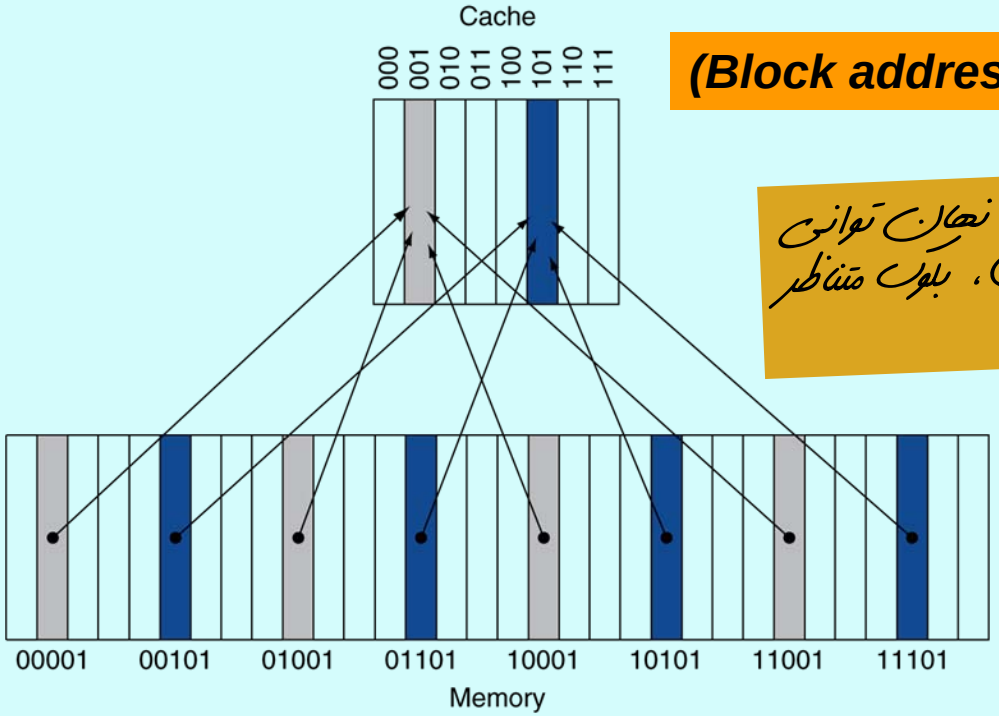


a. Before the reference to X_n b. After the reference to X_n

- از کجا بدانیم که داده در حافظه‌ی نهان وجود دارد؟
- در صورت موجود بودن، چگونه جای آن را بیابیم؟

نگاشت مستقیم

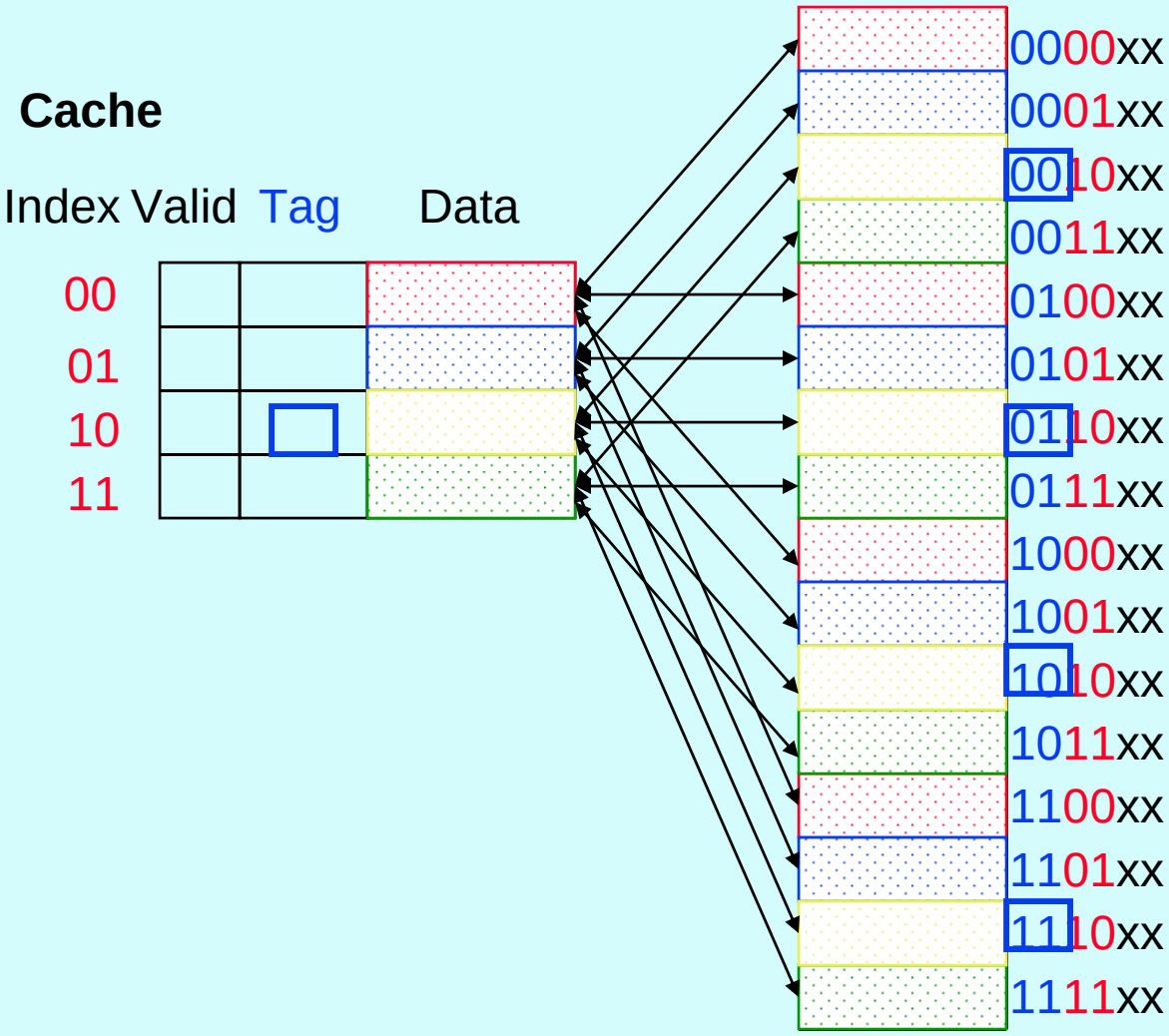
- ساده‌ترین راه، اختصاص یک بلوک از حافظه‌ی نهان برای هر بلوک در حافظه‌ی اصلی است.
- برای محاسبه‌ی آدرس چنین بلوکی از رابطه‌ی زیر استفاده می‌شود.



(Block address) modulo (#Blocks in cache)

در صورتی که تعداد بلوک‌های حافظه‌ی نهان توانی از دو باشد، بیت‌های کم ارزش آدرس، بلوک متناظر با حافظه را نشان خواهد داد

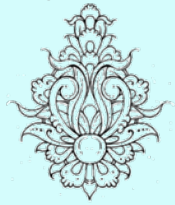
نگاشت مستقیم (ادامه...)



(block address) modulo (# of blocks in the cache)

نگاشت مستقیم

- از کجا بدانیم کدام بلوک حافظه در حافظه‌ی نهان قرار گرفته است؟
  - بیت‌های پرارزش بلوک نیز باید ذخیره شوند.
  - این بیت‌ها برچسب (tag) نامیده می‌شود. در واقع با کمک tag مشخص می‌شود کدامین بلوک از بین بلوک‌هایی که مجاز به حضور در یک بلوک حافظه‌ی نهان هستند، در آن‌جا قرار دارند؟
- چگونه می‌توان فهمید که بلوکی از حافظه‌ی نهان خالی است، یا داده‌ی موجود در آن معتبر نمی‌باشد؟
  - به ازای هر بلوک یک بیت به نام بیت اعتبار (valid bit) اختصاص داده می‌شود.



مثالی از حافظه‌ی نهان

- 8-blocks, 1 word/block, direct mapped

Index	V	Tag	Data
000	N		
001	N		
010	N		
011	N		
100	N		
101	N		
110	N		
111	N		

حالت اولیه

Word addr	Binary addr	Cache block
22	10 110	110

miss

مثالی از حافظه‌ی نهان (ادامه...)

Word addr	Binary addr	Hit/miss	Cache block
22	10 110	Miss	110

Index	V	Tag	Data
000	N		
001	N		
010	N		
011	N		
100	N		
101	N		
110	**Y**	**10**	**Mem[10110]**
111	N		

Word addr	Binary addr	Cache block
26	11 010	010

miss

مثالی از حافظه‌ی نهان (ادامه...)

Word addr	Binary addr	Hit/miss	Cache block
26	11 010	Miss	010

Index	V	Tag	Data
000	N		
001	N		
010	**Y**	**11**	**Mem[11010]**
011	N		
100	N		
101	N		
110	Y	10	Mem[10110]
111	N		

Word addr	Binary addr	Cache block	
22	10 110	110	hit
26	11 010	010	hit

مثالی از حافظه‌ی نهان (ادامه...)

Word addr	Binary addr	Hit/miss	Cache block
22	10 110	Hit	110
26	11 010	Hit	010

Index	V	Tag	Data
000	N		
001	N		
010	Y	11	Mem[11010]
011	N		
100	N		
101	N		
110	Y	10	Mem[10110]
111	N		

Word addr	Binary addr	Cache block
16	10 000	000
3	00 011	011
16	10 000	000

miss

miss

hit

مثالی از حافظه‌ی نهان (ادامه...)

Word addr	Binary addr	Hit/miss	Cache block
16	10 000	Miss	000
3	00 011	Miss	011
16	10 000	Hit	000

Index	V	Tag	Data
000	**Y**	**10**	**Mem[10000]**
001	N		
010	Y	11	Mem[11010]
011	**Y**	**00**	**Mem[00011]**
100	N		
101	N		
110	Y	10	Mem[10110]
111	N		

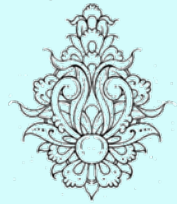
Word addr	Binary addr	Cache block
18	10 010	010

miss

مثالی از حافظه‌ی نهان (ادامه...)

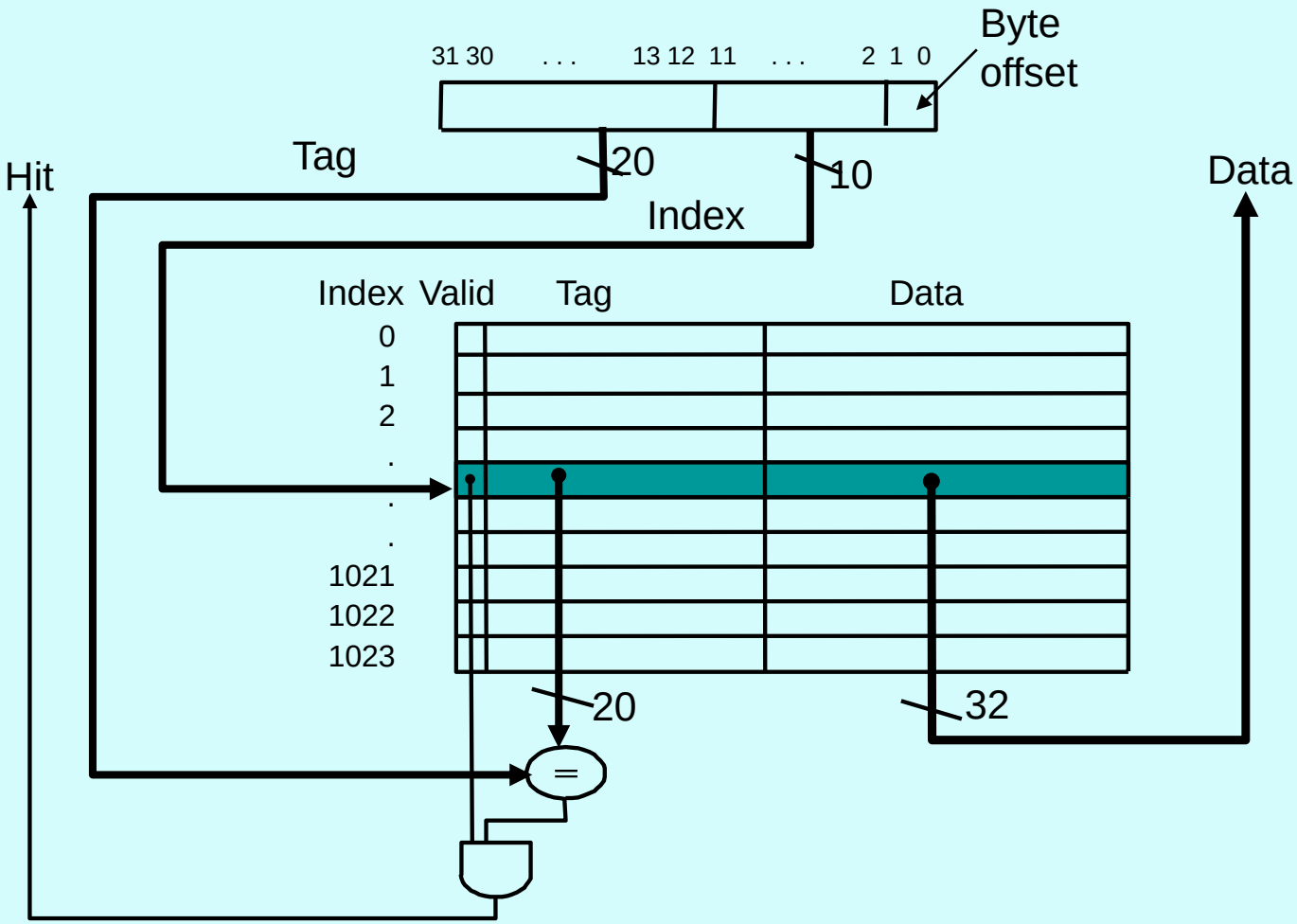
Word addr	Binary addr	Hit/miss	Cache block
18	10 010	Miss	010

Index	V	Tag	Data
000	Y	10	Mem[10000]
001	N		
010	**Y**	**10**	**Mem[10010]**
011	Y	00	Mem[00011]
100	N		
101	N		
110	Y	10	Mem[10110]
111	N		



حافظه‌ی نهان با نگاشت مستقیم

- حافظه‌ی نهان با حجم 1KW(4KB)، با بلوک‌های یک کلمه‌ای

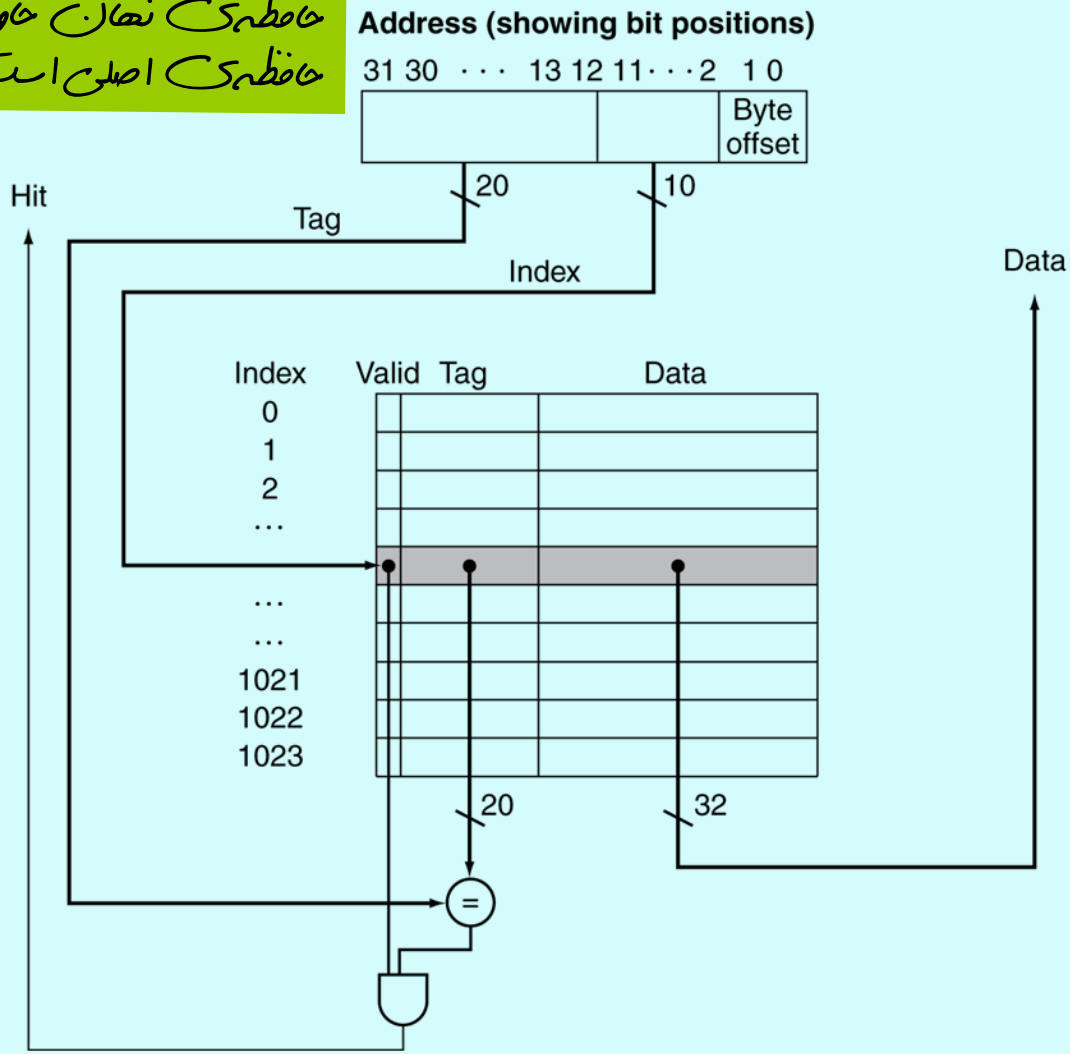


- در این جا نوع همجواری در نظر گرفته شده است؟

زیر بخش مربوط به آدرس

شاخص (index) : بخش کم ارزش آدرس بلوک که بین حافظه‌ی اصلی و حافظه‌ی نهان مشترک است.

برچسب (tag) : مشخص می‌کند هر بلوک حافظه‌ی نهان حاوی کدامین بلوک از حافظه‌ی اصلی است



مثال

- یک سیستم با مشخصات زیر را در نظر بگیرید:
  - سی‌ودو بیت آدرس
  - حافظه‌ی نهان با نگاشت مستقیم
  - حافظه‌ی نهان با 2^n بلوک؛ شاخص با n بیت
  - اندازه‌ی هر بلوک 2^m کلمه

پرسش: اندازه‌ی بخش برچسب چند بیت خواهد بود؟

پاسخ: $32-(n+m+2)$

پرسش: تعداد کل بیت‌های حافظه‌ی مورد نیاز برای حافظه‌ی نهان را حساب کنید؟

پاسخ:

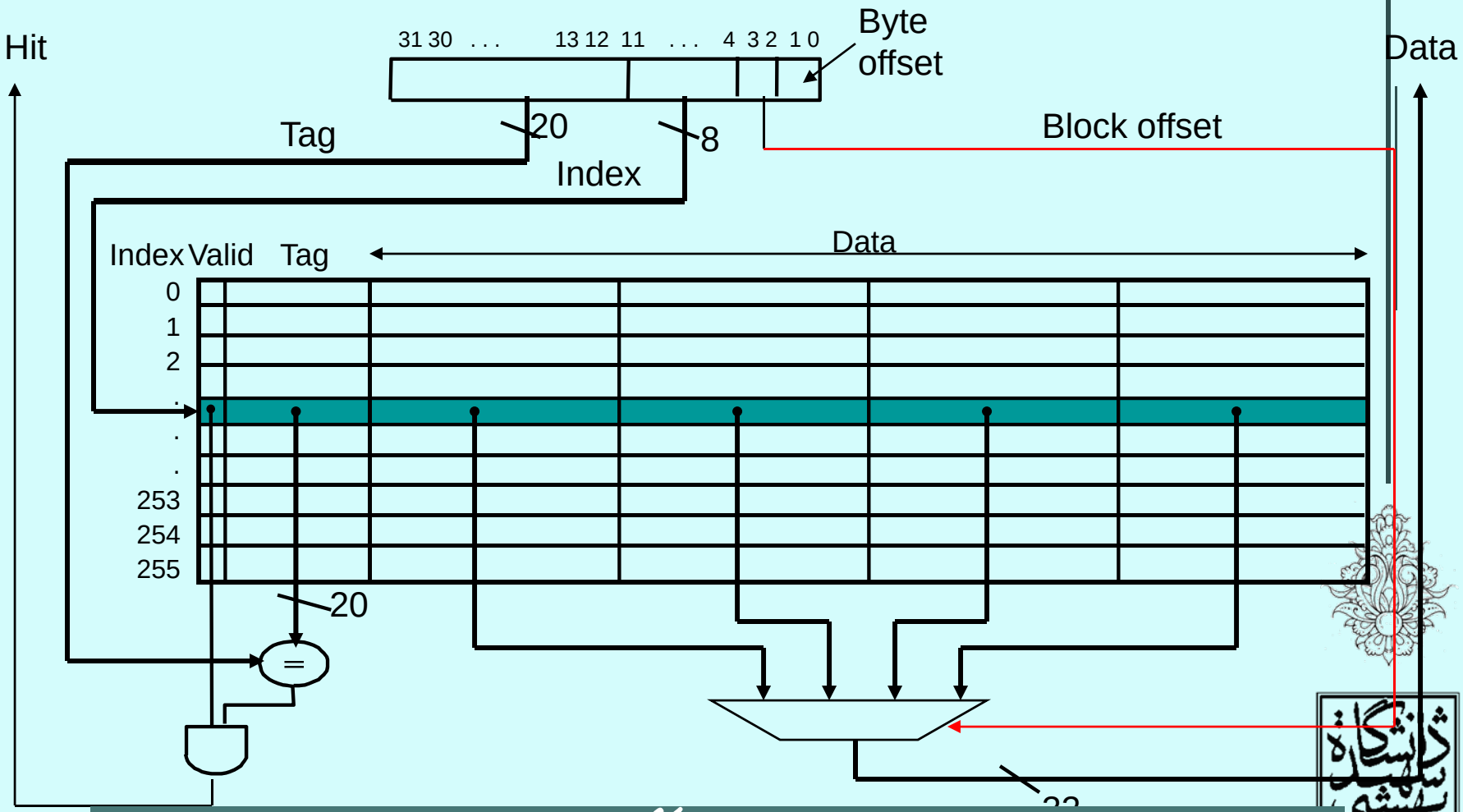
$$2^n \times (\text{block size} + \text{tag size} + \text{valid field size})$$

$$= 2^n \times (2^m \times 32 + (32-n-m-2) + 1) = 2^n \times (2^m \times 32 + 31 - n - m)$$

البته باید توجه داشت، معمولا حجم داده قابل ذخیره سازی به عنوان گنجایش ذکر می‌شود

حافظه‌ی نهان با نگاشت مستقیم (ادامه...)

- حافظه‌ی نهان با حجم 1KW(4KB)، با بلوک‌های چهار کلمه‌ای



- در این جا نوع همجواری در نظر گرفته شده است؟

مثالی دیگر

- برای یک حافظه‌ی نهان با شیوه‌ی نگاشت مستقیم با گنجایش 16KB و بلوک‌های چهار کلمه‌ای چند بیت حافظه نیاز داریم؟ (۳۲ بیت خط آدرس وجود دارد)

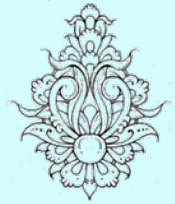
$16KB \rightarrow 2^{12}\ word$

$16KB \rightarrow 2^{10}\ Block$

$1\ Block \rightarrow 4\ word\ (2^2)$

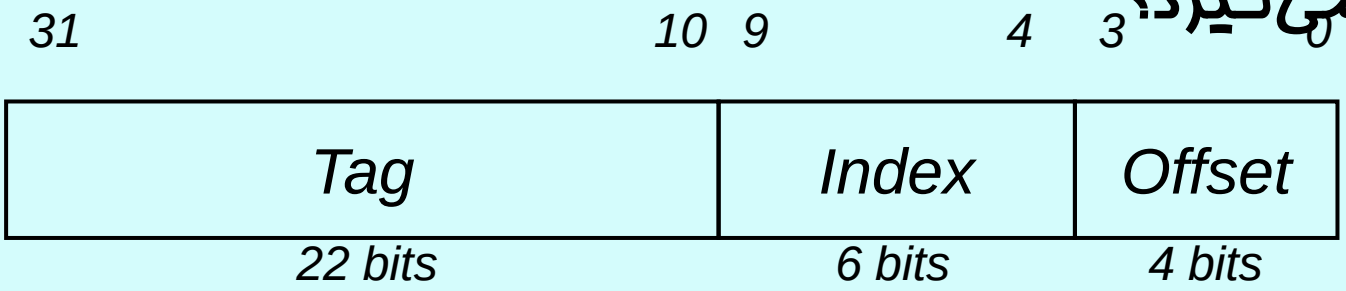
$32-(10+2+2)=18$ bit for tag + 1 bit for valid bit

$2^{10} \times [4 \times 32 + 18 + 1] = 147Kbits$ پاسخ



باز هم مثال

- یک حافظه‌ی نهان با 64بلوک، هر یک به اندازه‌ی ۱۶ بایت مفروض است. آدرس 1200 حافظه‌ی اصلی در کدامین بلوک حافظه‌ی نهان قرار می‌گیرد؟



Block address = ⌊1200/16⌋ = 75

Block number = 75 modulo 64 = 11

پاسخ