

Büyük O Notasyonu (Big O Notation)

Algoritma Analizi Nedir

- Yazdığımız bir algoritmanın doğru çalıştığından emin olmakla birlikte bu algoritmayı, daha önce yazılmış ve aynı sonucu veren başka algoritmalarla karşılaştırmak isteyebilirsiniz.
- Burada teknik olarak değerlendirilecek başlıca iki başlık söz konusudur.
- Birincisi algoritmaların bellek kullanım miktarı, ikincisi ise algoritmaların hesaplama yapmak için harcadığı süredir.
- Mesela bir algoritma aynı işi yapan diğer bir algoritmadan daha hızlı çalışmasına rağmen çoğu bilgisayar için bellek aşımı gerçekleştiriyorsa bu pek uygun olmayacaktır.

Algoritma Analizi Nedir

- Elbette diğer algoritmalarla karşılaştırma yapmak yerine, bir algoritmanın tek başına analizi de yapılabilir.
- Bunun için algoritmalar tek tek çalıştırılıp üzerinde hız ve bellek testi yapılabilir.
- Ama bu işlem hem zaman açısından sıkıntı yaratır hem de elde edilen veriler donanımsal ve sistemsel değişikliklerden dolayı bilimsel olmaz.(Bu gibi işlemleri performans testi olarak da düşünebiliriz) .

Algoritma Analizi Nedir

- Bu durumda matematiksel olarak ifade edebileceğimiz, donanımsal ve sistemsel bağımlılığı olmayan bir yöntemle ihtiyacımız olacaktır.
- Bu yöntemle algoritmamıza girdi olarak verilen verilerin miktarına bağlı olarak sonuçlar üretiriz.
- İşte elde edilen bu sonuçlar ilgili algoritmanın *karmaşıklığı* olarak tanımlanır.
- Bir algoritmanın karmaşıklığı performansını etkiler ama karmaşıklık ile performans farklı kavramlardır.

Büyük O Notasyonu

- O notasyonu ilk olarak 1894 yılında Alman matematikçi Bachmann tarafından kullanılmış ve Landau tarafından da yaygınlaştırılmıştır.
- Bu yüzden adına Landau notasyonu veya Bachmann–Landau notasyonu da denmektedir.
- Algoritmanın en kötü durum analizini yapmak için kullanılan notasyondur. Matematiksel olarak şöyle tanımlanır:

Büyük O Notasyonu

$f(x)$ ve $g(x)$ reel sayılarda tanımlı iki fonksiyon olmak üzere, $x > k$ olacak şekilde bir k vardır öyle ki,

$|f(x)| < C * |g(x)|$ dir ve $f(x) \in O(g(x))$ şeklinde gösterilir. Burada C ve k sabit sayılardır ve x 'ten bağımsızdırlar.

Büyük O Notasyonu

$$\begin{aligned} |5x^3 - 2x^2 + 3| &\leq 5x^3 + |2x^2| + 3 \\ &\leq 5x^3 + 2x^3 + 3x^3 \\ &\leq 10x^3 \\ &\leq 10|x^3| \end{aligned}$$

Burada $k = 1$ (x 'in 1'den büyük olduğu tüm durumlarda) ve $C = 10$ olarak alınmıştır.

Büyük O Notasyonu

- Sabit zamanlı ifadeler $O(1)$ ile gösterilirler. Örnek, atama işlemleri.
- if - else ifadelerinde, ifadenin if veya else bloğundaki hangi ifade karmaşıklık olarak daha büyükse O fonksiyonu o değeri döndürür. (Çünkü biliyorsunuz ki O fonksiyonu her zaman en kötü durumu analiz eder) Yani bunu şöyle ifade edebiliriz:

Maks (*if ifadesinin çalışma zamanı, else ifadesinin çalışma zamanı*)

Örneğin if bloğu içi $O(1)$ else bloğunun içi $O(n)$ ise if – else bloğu $O(n)$ olarak ele alınır.

Büyük O Notasyonu

//aşağıdaki if-else ifadesi $O(n)$ 'dir

if (ifade)

{

 //birinci ifade $O(1)$ olsun

}

else

{

 //ikinci ifade $O(n)$ olsun

}

Büyük O Notasyonu

- Bir döngü ifadesinin içindeki bir ifade, döngünün dönme sayısı kadar çalışacağı için, eğer döngü N kez dönüyorsa ve döngü içindeki ifadenin çalışma zamanı C ise, toplam çalışma zamanı $N \cdot C$ 'dir.

//aşağıdaki for döngüsü $O(C \cdot N)$ 'dir.

```
for (int i = 0; i < N; i++)
```

```
{
```

```
    //buradaki ifade  $C$  zamanda çalışsın
```

```
}
```

Büyük O Notasyonu

- İç içe döngülerde içteki döngü N kez, dıştaki döngü ise K kez dönüyorsa ve iç döngünün içindeki ifadenin çalışma zamanı C ise, toplam çalışma zamanı $N \cdot K \cdot C$ 'dir.

//aşağıdaki for döngüsü $O(C \cdot N \cdot K)$ 'dir.

```
for (int i = 0; i < N; i++)  
{  
    for (int j = 0; j < K; j++)  
    {  
        //buradaki ifade C zamanda çalışsın  
    }  
}
```

Büyük O Notasyonu

Notasyon	İsim	Açıklama
$O(1)$	Sabit	Algoritmadaki icra sayısı belliyse sabit bir değerle gösterilir. Örneğin, bir sayının tek mi çift mi olduğunun bulunması.

Büyük O Notasyonu

$O(\log n)$	Logaritmik	<p>n değerinin büyüyen değerlerine karşın algoritmanız çok daha az yavaşlıyorsa logaritmik bir durum söz konusudur. Örneğin, binary search ile sıralı bir dizide değer aramak.</p>
$O(n)$	Lineer	<p>n değerinin büyümesine karşılık algoritmanın lineer bir şekilde yavaşlaması söz konusudur. Örnek, sırasız bir listeden bir değeri bulmak.</p>

Büyük O Notasyonu

$O(n \log n)$	Loglineer	Bir problemi alt problemlere bölüp bağımsız olarak çözen, daha sonra bu sonuçları birleştiren algoritmalarda görülür. Örnek, birleştirmeli sıralama (merge sort) algoritması.
$O(n^2)$	Karesel	İç-içe döngüler ile verileri ikiyeşerli şekilde inceleyen algoritmalarda görülür. Örnek, seçmeli sıralama (selection sort)
$O(2^n)$	Üstel	Girilen veriye göre iki kat yavaşlama görülen bu algoritmalar hiç pratik değildir. Örnek, seyyar satıcı problemi.

Büyük O Notasyonu

n	$\log n$	n	$n \log n$	n^2	2^n	$n!$
10	$3 \times 10^{-9} \text{ s}$	10^{-8} s	$3 \times 10^{-8} \text{ s}$	10^{-7} s	10^{-6} s	$3 \times 10^{-3} \text{ s}$
10^2	$7 \times 10^{-9} \text{ s}$	10^{-7} s	$7 \times 10^{-7} \text{ s}$	10^{-5} s	$4 \times 10^{13} \text{ yr}$	*
10^3	$10 \times 10^{-8} \text{ s}$	10^{-6} s	$1 \times 10^{-5} \text{ s}$	10^{-3} s	*	*
10^4	$13 \times 10^{-8} \text{ s}$	10^{-5} s	$1 \times 10^{-4} \text{ s}$	10^{-1} s	*	*
10^5	$17 \times 10^{-8} \text{ s}$	10^{-4} s	$2 \times 10^{-3} \text{ s}$	10 s	*	*
10^6	$2 \times 10^{-8} \text{ s}$	10^{-3} s	$2 \times 10^{-2} \text{ s}$	17 min	*	*

n boyutlu problemin
çeşitli algoritmalarla
çözüm hızı

Büyük O Notasyonu

Dizideki sayıların toplamını bulma

```
int Topla(int A[], int N)
{
    int toplama = 0;

    for (i=0; i < N; i++){
        toplama += A[i];
    } //Bitti-for

    return toplama;
} //Bitti-Topla
```

İşlem

sayısı

→ 1

→ N

→ N

→ 1

Toplam: $1 + N + N + 1 = 2N + 2$

- Çalışma zamanı: $T(N) = 2N + 2$
 - N dizideki sayı sayısı

Büyük O Notasyonu

- Bilgisayar bilimlerinde bir algoritmanın incelenmesi sırasında sıkça kullanılan bu terim çalışmakta olan algoritmanın en kötü ihtimalle ne kadar başarılı olacağını incelemeye yarar.
- Bilindiği üzere bilgisayar bilimlerinde yargılamalar kesin ve net olmak zorundadır.
- Tahmini ve belirsiz karar verilmesi istenmeyen bir durumdur.
- Bir algoritmanın ne kadar başarılı olacağının belirlenmesi de bu kararların daha kesin olmasını sağlar.
- Algoritmanın başarısını ise çalıştığı en iyi duruma göre ölçmek yanıltıcı olabilir çünkü her zaman en iyi durumla karşılaşılmaz.

Büyük O Notasyonu

- Algoritma analizinde kullanılan en önemli iki ölçü hafıza ve zaman kavramlarıdır.
- Yani bir algoritmanın ne kadar hızlı çalıştığı ve çalışırken ne kadar hafıza ihtiyacı olduğu, bu algoritmanın performansını belirleyen iki farklı boyuttur.
- En iyi algoritma en hızlı ve en az hafıza ihtiyacı ile çalışan algoritmadır. İşte en kötü durum analizi olayın bu iki boyutu için de kullanılabilir.
- Yani en kötü durumdaki hafıza ihtiyacı ve en kötü durumdaki hızı şeklinde algoritma analiz edilebilir.

Büyük O Notasyonu

- Limit teorisindeki master teoremden büyük O ile gösterilen (big-oh) değer de bu en kötü durumu analiz etmektedir.
- Bu yüzden en kötü durum analizine, büyük O gösterimi (Big-O notation) veya algoritmanın sonsuza giderken nasıl değiştiğini anlatmak amacıyla büyüme oranı (growth rate) isimleri verilmektedir.

Büyük O Notasyonu

- Bir çok terimli fonksiyonun (polynomial function) big-o değerini hesaplamaya çalışalım.
- Örnek olarak fonksiyonumuz aşağıdaki şekilde olsun:

$$f(x) = 3x^4 + 2x^2 + 5$$

Büyük O Notasyonu

- Fonksiyonun üst asimtotik sınırı (asymptotic upper bound), her zaman için fonksiyona eşit veya daha yüksek değer veren ikinci bir fonksiyondur.

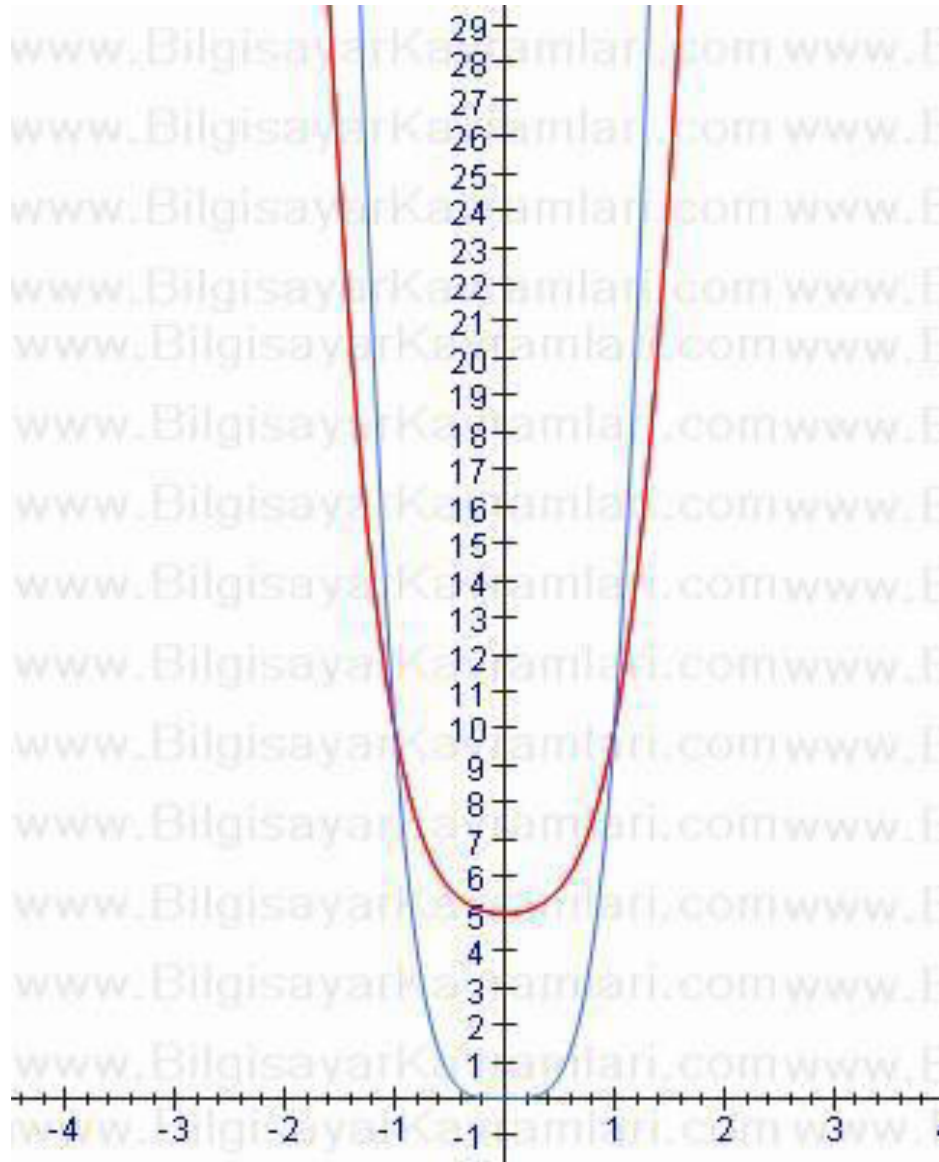
Bu durumda, yukarıdaki $f(x)$ fonksiyonu için $O(x^4)$ denilmesinin anlamlı, herhangi bir sayı ile x^4 değerinin çarpımının, $f(x)$ fonksiyonuna eşit veya daha yüksek üreteceğidir. Bu durum aşağıdaki şekilde gösterilebilir:

$$f(x) \leq cx^4$$

Büyük O Notasyonu

- Gerçekten de bu değer denenirse, $c=4$ için aşağıdaki çizim elde edilebilir:

Büyük O Notasyonu



Büyük O Notasyonu

Yukarıdaki mavi renkte görülen fonksiyon $4x^4$ ve kırmızı renkte görülen fonksiyon da $f(x)$ fonksiyonudur. Görüldüğü üzere $x > 1$ için $4x^4$ fonksiyonu, $f(x)$ fonksiyonundan büyüktür.

Dolayısıyla tanımımıza $x > 1$ koşulu eklenebilir.

Kısaca $f(x) = O(g(x))$

tanımı, $f(x) \leq c \cdot g(x)$

şeklinde yorumlanabilir. Buradaki c değeri herhangi sabit bir sayıdır ve sonuçta elde edilen değer eşit veya daha büyüktür.

Büyük O Notasyonu

- Büyük-O (Big-O) gösterimi ile kardeş olan bir gösterim de küçük-o (small-o) gösterimidir.
- Bu iki gösterim arasındaki temel fark küçük-o gösteriminde asimptotik üst sınır (asymptotic upper bound) fonksiyonunun tamamından büyük olmasıdır.
- Yani büyük-O gösterimindeki eşitlik durumu yoktur.
- $f(x) = o(g(x))$ için

Büyük O Notasyonu

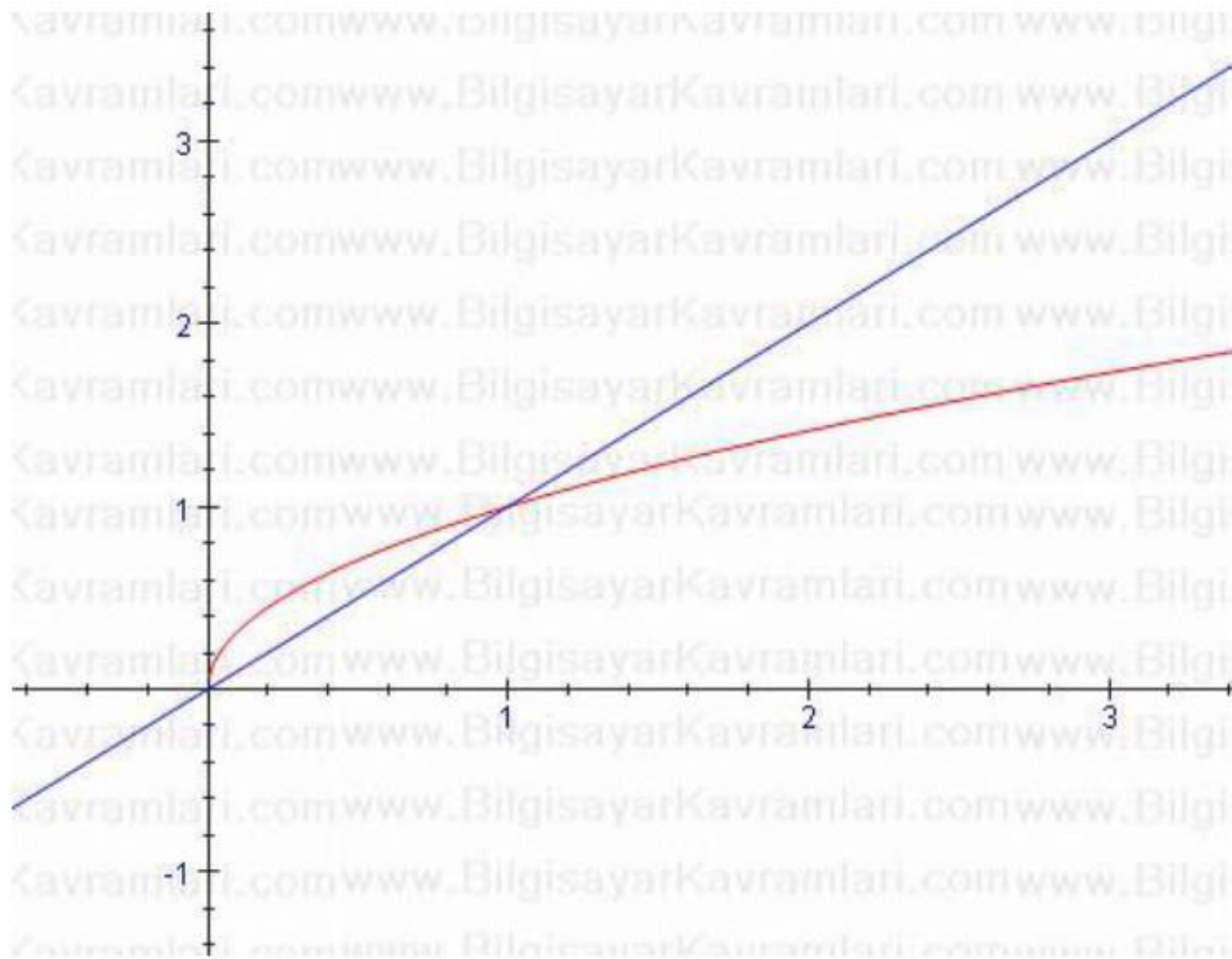
$f(x) < c g(x)$ şartı sağlanmalıdır.

Dolayısıyla $f(x) = O(f(x))$ tanımı doğru olurken $f(x) = o(f(x))$ tanımı hatalıdır.

Bazı örnekler aşağıda verilmiştir:

$$\sqrt{x} = o(x)$$

Büyük O Notasyonu

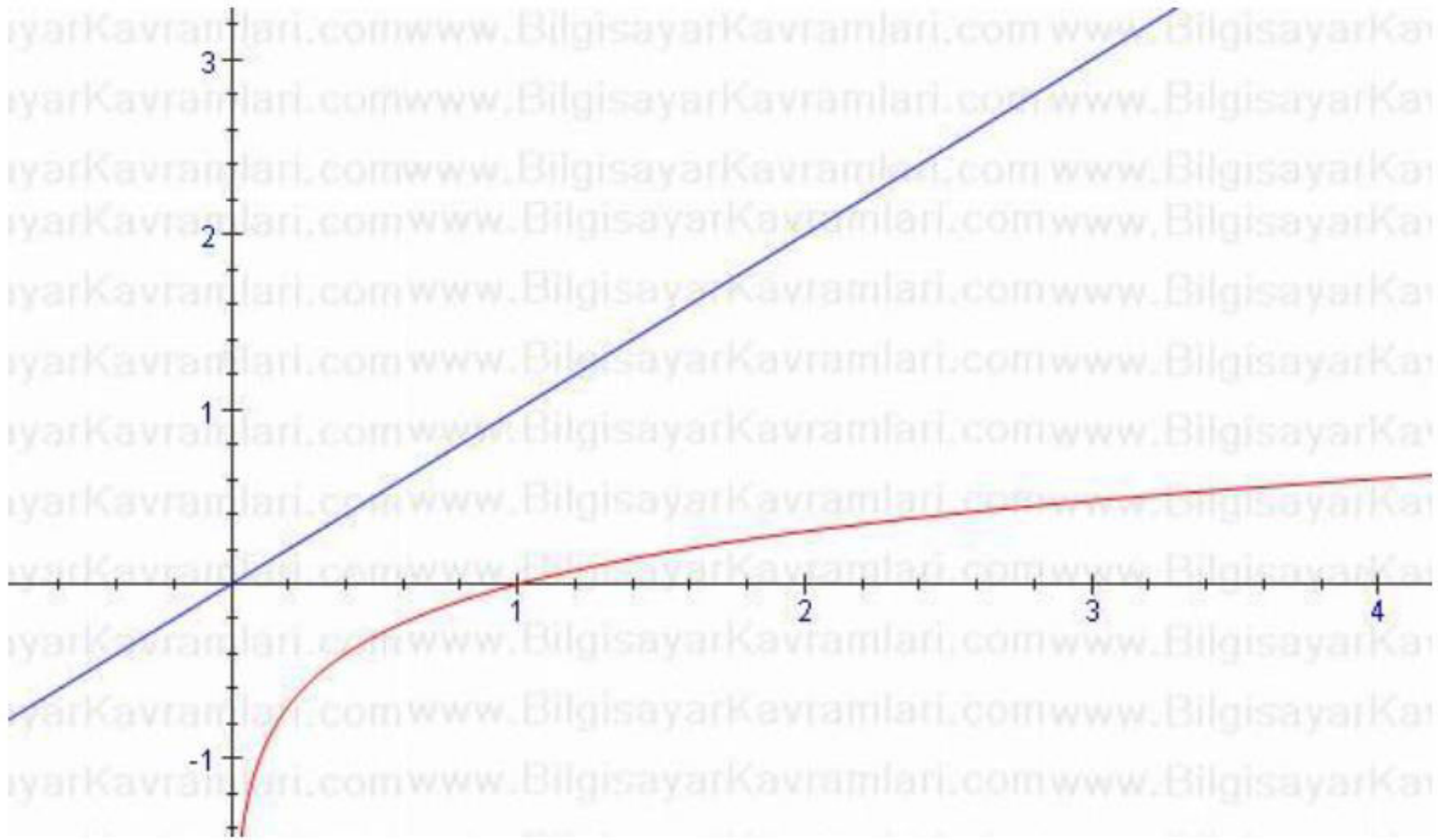


Büyük O Notasyonu

Yukarıda görüldüğü üzere $x > 1$ için $\sqrt{x} = o(x)$ doğrudur. Ancak $x \geq 1$ durumunda $\sqrt{x} = O(x)$ yazılmalıdır.

$$\log(x) = o(x)$$

Büyük O Notasyonu



Büyük O Notasyonu

- Yukarıdaki şekillerde kırmızı ile gösterilen $f(x)$ fonksiyonlarının small-o fonksiyonları mavi renk ile çizilmiştir.

Büyük O Notasyonu

Soru: $H(n) = 1 + 1/2 + \dots + 1/n$ ifadesinin algoritma karmaşıklığı nedir?

Cevap: bottom up approach kullanalım ve base line ile başlayalım:

$$H(1) = 1$$

$$H(2) = 1 + 1/2$$

$$H(2) = H(1) + 1/2$$

$$H(3) = 1 + 1/2 + 1/3$$

$$H(3) = H(2) + 1/3$$

demek ki $H(n) = H(n-1) + 1/n$