



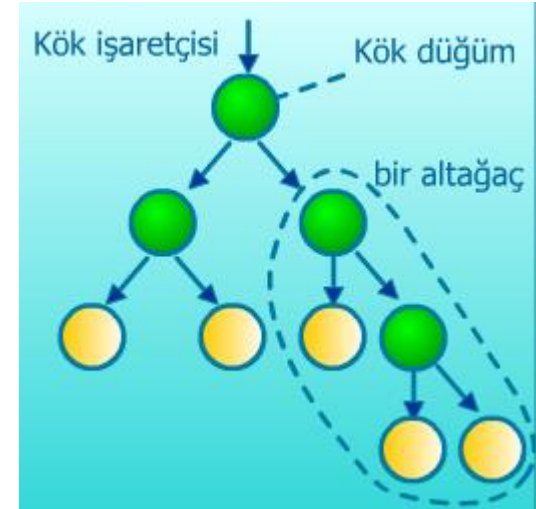
# AĞAÇ (TREE) Veri Modeli

# Ağaç Veri Modeli Temel Kavramları

- Ağaç, bir kök işaretçisi, sonlu sayıda düğümleri ve onları birbirine bağlayan dalları olan bir veri modelidir; aynı aile soyağacında olduğu gibi hiyerarşik bir yapısı vardır ve orada geçen birçok kavram buradaki ağaç veri modelinde de tanımlıdır.
- Örneğin çocuk, kardeş düğüm, aile, ata gibi birçok kavram ağaç veri modelinde de kullanılır. Genel olarak, veri, ağacın düğümlerinde tutulur; dallarda ise geçiş koşulları vardır denilebilir.
- Her biri değişik bir uygulamaya doğal çözüm olan ikili ağaç, kodlama ağacı, sözlük ağacı, kümeleme ağacı gibi çeşitli ağaç şekilleri vardır; üstelik uygulamaya yönelik özel ağaç şekilleri de çıkarılabilir.

# Ağaç Veri Modeli Temel Kavramları

- Bağlı listeler, yığınlar ve kuyruklar doğrusal (linear) veri yapılarıdır. Ağaçlar ise doğrusal olmayan belirli niteliklere sahip iki boyutlu veri yapılarıdır.
- Ağaçlar hiyerarşik ilişkileri göstermek için kullanılır.
- Her ağaç node'lar ve kenarlardan (edge) oluşur.
- Herbir node(düğüm) bir nesneyi gösterir.
- Herbir kenar (bağlantı) iki node arasındaki ilişkiyi gösterir.
- Arama işlemi bağlı dizilere göre çok hızlı yapılır.



# Ağaç Veri Modeli Temel Kavramları

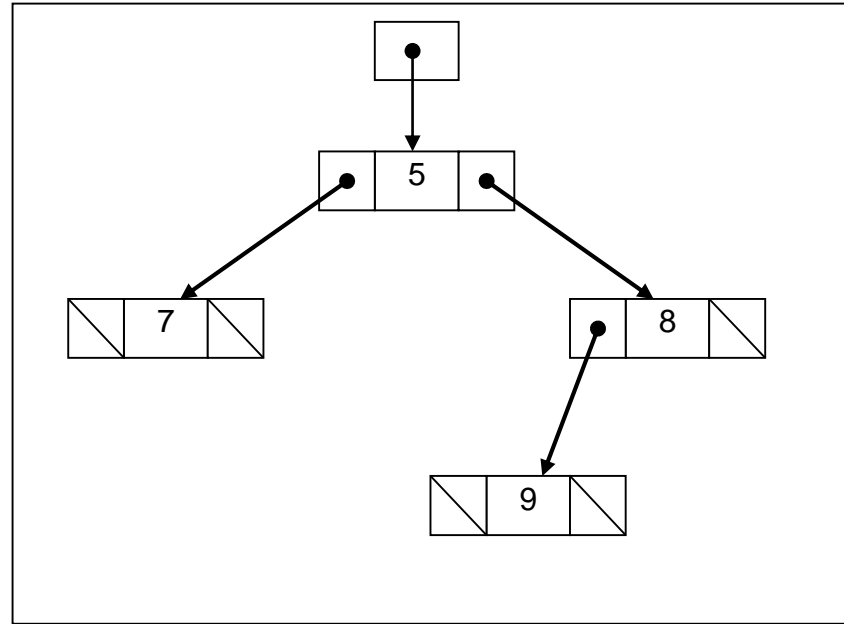
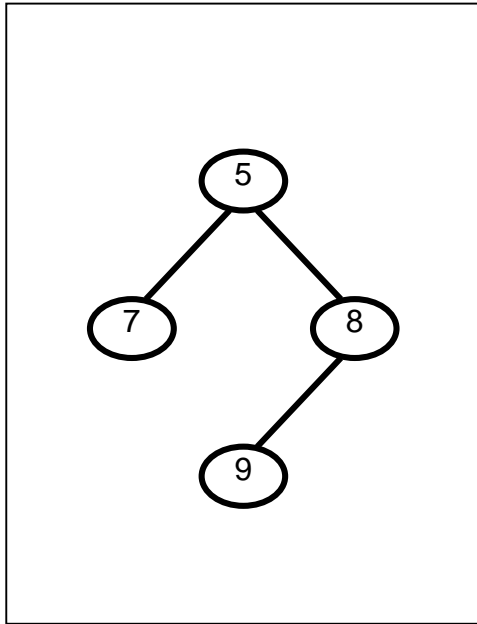
- Ağaçlardaki düğümlerden iki veya daha fazla bağ çıkabilir. İkili ağaçlar (binary trees), düğümlerinde en fazla iki bağ içeren (0,1 veya 2) ağaçlardır. Ağacın en üstteki düğüme kök (root) adı verilir.
- **Uygulamaları:**
  - Organizasyon şeması
  - Dosya sistemleri
  - Programlama ortamları

# Ağaç Veri Modeli Temel Kavramları

## Örnek ağaç yapısı



# Ağaç Veri Modeli Temel Kavramları

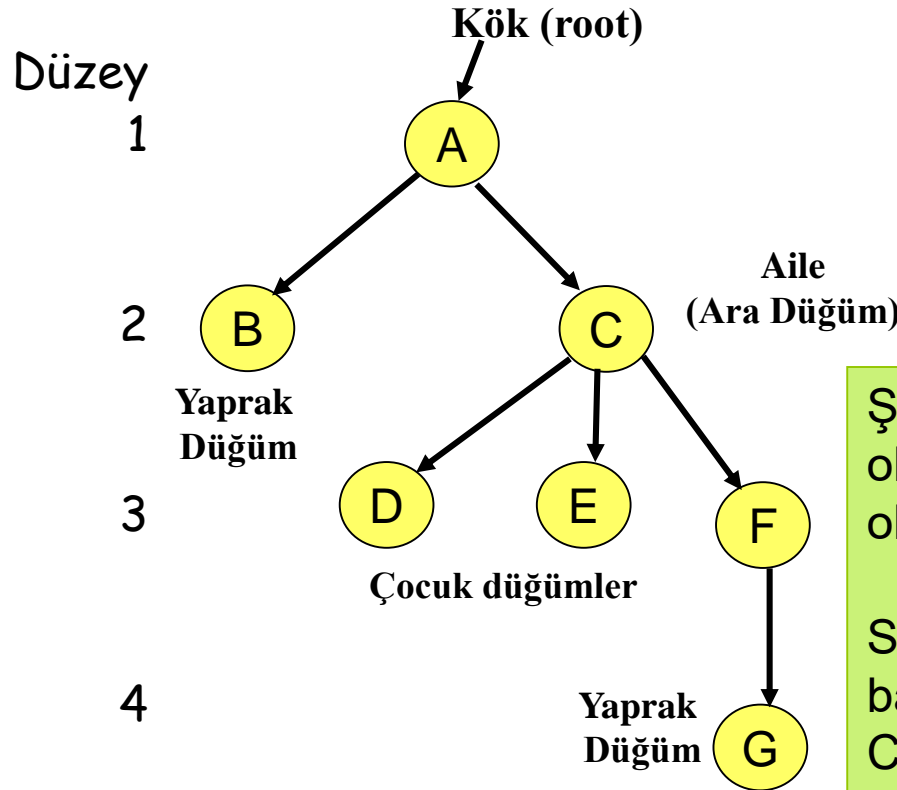


● Şekil 1: İkili ağacın grafiksel gösterimleri

# Ağaç Veri Modeli Temel Kavramları

- Şekil 1'de görülen ağacın düğümlerindeki bilgiler sayılardan oluşmuştur. Her düğümdeki sol ve sağ bağlar yardımı ile diğer düğümlere ulaşılır. Sol ve sağ bağlar boş ("NULL" = "/" = "\\") da olabilir.
- Düğüm yapıları değişik türlerde bilgiler içeren veya birden fazla bilgi içeren ağaçlar da olabilir.
- Doğadaki ağaçlar köklerinden gelişip göğe doğru yükselirken veri yapılarındaki ağaçlar kökü yukarıda yaprakları aşağıda olacak şekilde çizilirler.

# Ağaç Veri Modeli Temel Kavramları



● **Şekil :** Ağaçlarda düzeyler

Şekildeki ağaç, A düğümü kök olmak üzere 7 düğümden oluşmaktadır.

Sol alt ağaç B kökü ile başlamakta ve sağ alt ağaç da C kökü ile başlamaktadır.

A'dan solda B'ye giden ve sağda C'ye giden iki dal (branch) çıkmaktadır.



# Ağaç Veri Modeline İlişkin Tanımlar

- **Düğüm (Node)**

- Ağacın her bir elemanına düğüm adı verilir.

- **Kök Düğüm (Root)**

- Ağacın başlangıç düğümüdür.

- **Çocuk (Child)**

- Bir düğüme doğrudan bağlı olan düğümlere o çocukları denilir.

- **Kardeş Düğüm (Sibling)**

- Aynı düğüme bağlı düğümlere kardeş düğüm veya kısaca kardeş denir.

- **Aile (Parent)**

- Düğümlerin doğrudan bağlı oldukları düğüm aile olarak adlandırılır; diğer bir deyişle aile, kardeşlerin bağlı olduğu düğümdür.

- **Ata (Ancestor) ve Torun (Dedscendant)**

- Aile düğümünün daha üstünde kalan düğümlere ata denilir; torun, bir düğümün çocuğuna bağlı olan düğümlere denir.

# Ağaç Veri Modeline İlişkin Tanımlar

- **Derece (Degree)**

- Bir düğümden alt hiyerarşiye yapılan bağlantıların sayısıdır; yani çocuk veya alt ağaç sayısıdır.

- **Düzey (Level) ve Derinlik (Depth)**

- Düzey, iki düğüm arasındaki yolun üzerinde bulunan düğümlerin sayısıdır. Kök düğümün düzeyi 1, doğrudan köke bağlı düğümlerin düzeyi 2'dir. Bir düğümün köke olan uzaklığı ise derinliktir. Kök düğümün derinliği 1 dir.

- **Yaprak (Leaf)**

- Ağacın en altında bulunan ve çocukları olmayan düğümlerdir.

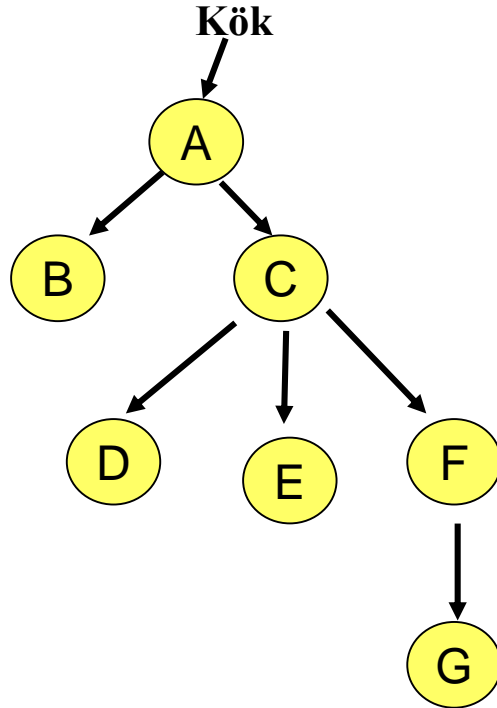
- **Yükseklik (Height)**

- Bir düğümün kendi silsilesinden en uzak yaprak düğüme olan uzaklığıdır.(iki düğüm arasındaki kenarların sayısı)

- **Yol(Path)**

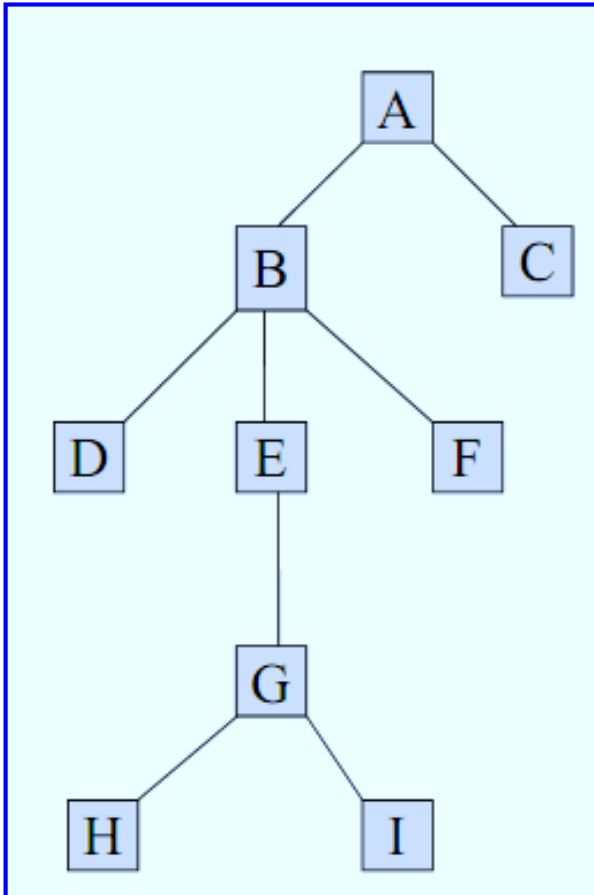
- Bir düğümün aşağıya doğru (çocukları üzerinden) bir başka düğüme gidebilmek için üzerinden geçilmesi gereken düğümlerin listesidir.

# Ağaç Veri Modeline İlişkin Tanımlar



Tanım	Kök	B	D
Çocuk/Derece	2	0	0
Kardeş	1	2	3
Düzey	1	2	3
Aile	yok	kök	C
Ata	yok	yok	Kök
Yol	A	A, B	A,C,D
Derinlik	1	2	3
Yükseklik	3	2	1

# Ağaç Veri Modeline İlişkin Tanımlar



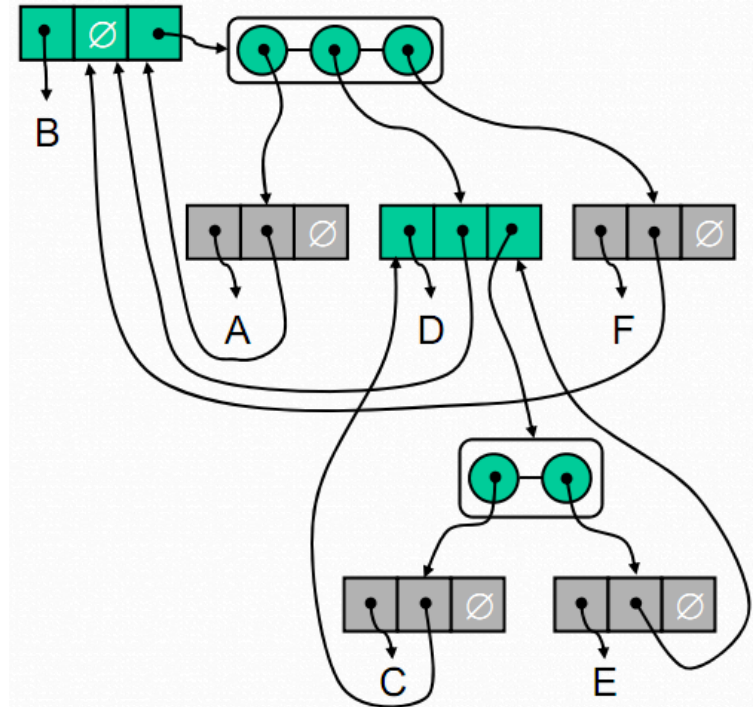
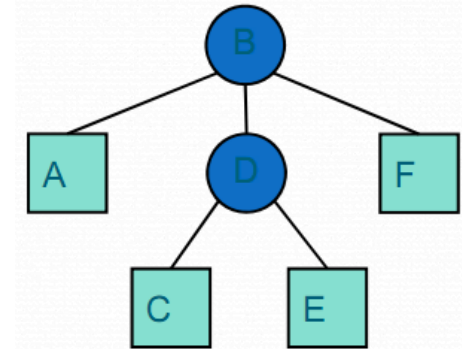
Tanım	Değer
Düğüm sayısı:	9
Yükseklik:	4
Kök düğüm:	A
Yapraklar:	C, D, F, H, I
Düzey sayısı:	5
H'nin ataları:	E, B, A
B'nin torunları:	G, H, I
E'nin kardeşleri:	D, F
Sağ alt ağaç:	Yok
Sol alt ağaç:	B

# Ağaçların Bağlı Yapısı

- Bir düğüm çeşitli bilgiler ile ifade edilen bir nesnedir. Her bir bağlantı için birer bağlantı bilgisi tutulur.
  - Nesne/Değer (Element)
  - Ana düğüm (Parent node)
  - Çocuk düğümlerin listesi
- **Problem:** Bir sonraki elemanın çocuk sayısını bilmiyoruz.
- **Daha iyisi: Çocuk/Kardeş Gösterimi**
  - Her düğümde iki bağlantı bilgisi tutularak hem çocuk hem de yandaki kardeş tutulabilir.
  - İstenildiği kadar çocuk/kardeş olabilir.

```

JAVA Declaration
class AgacDugumu {
    int eleman;
    AgacDugumu ilkCocuk;
    AgacDugumu kardes; }
  
```



# Ağaç İşlemleri

- Genel Yöntemler:
  - integer size()
  - boolean isEmpty()
  - elements()
  - positions()
- Erişim yöntemleri:
  - root()
  - parent(p)
  - children(p)
- Sorgu (Query) Yöntemleri:
  - boolean isInternal(p)
  - boolean isRoot(p)
  - boolean isExternal(p)
  - Güncelleme (Update) Yöntemi:
    - object replace (p, o)
- Ek yöntemler de tanımlanabilir

# Ağaç Türleri

- En çok bilinen ağaç türleri ikili arama ağacı olup kodlama ağacı, sözlük ağacı, kümeleme ağacı gibi birçok ağaç uygulaması vardır.
- **İkili Arama Ağacı (Binary Search Tree):**
  - İkili arama ağacında bir düğüm en fazla iki tane çocuğa sahip olabilir ve alt/çocuk bağlantıları belirli bir sırada yapılır.
- **Kodlama Ağacı (Coding Tree):**
  - Bir kümedeki karakterlere kod ataması için kurulan ağaç şeklidir. Bu tür ağaçlarda kökten başlayıp yapraklara kadar olan yol üzerindeki bağlantı değerleri kodu verir.
- **Sözlük Ağacı(Dictionary Tree):**
  - Bir sözlükte bulunan sözcüklerin tutulması için kurulan bir ağaç şeklidir. Amaç arama işlemini en performanslı bir şekilde yapılması ve belleğin optimum kullanılmasıdır.
- **Kümeleme Ağacı (Heap Tree):**
  - Bir çeşit sıralama ağacıdır. Çocuk düğümler her zaman aile düğümlerinden daha küçük değerlere sahip olur.

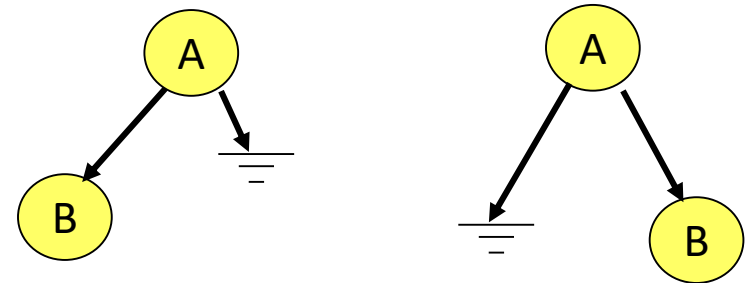
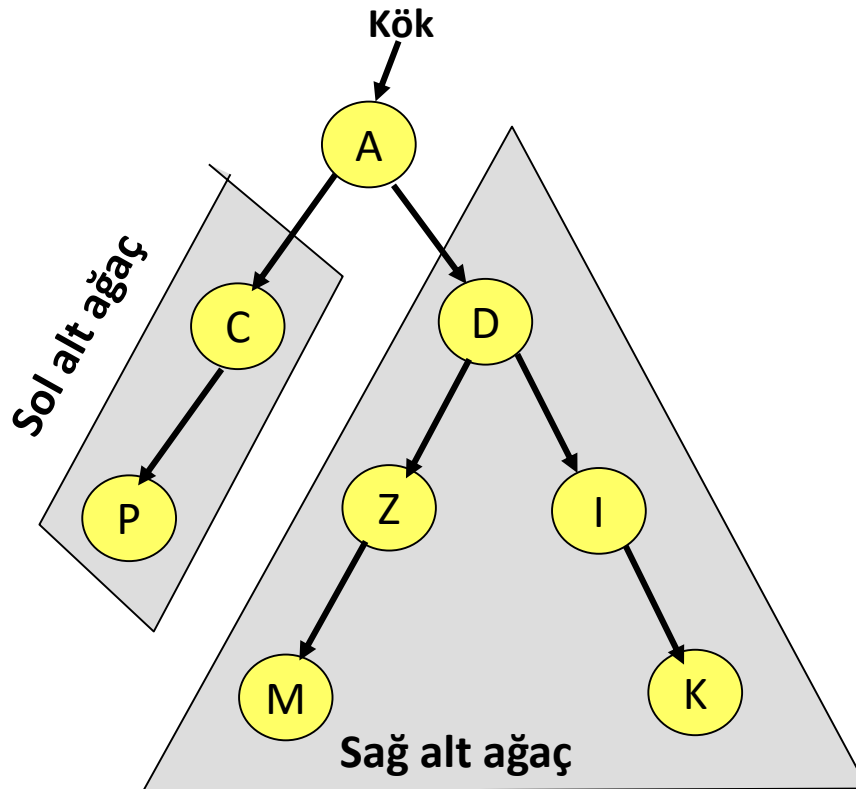
## İkili Ağaç (Binary Tree) :

- Sonlu düğümler kümesidir. Bu küme boş bir küme olabilir (empty tree). Boş değilse şu kurallara uyar.
  - Kök olarak adlandırılan özel bir düğüm vardır.
  - Her düğüm en fazla iki düğüme bağlıdır.
    - Left child : Bir node'un sol işaretçisine bağlıdır.
    - Right child : Bir node'un sağ işaretçisine bağlıdır.
  - Kök hariç her düğüm bir daldan gelmektedir.
  - Tüm düğümlerden yukarı doğru çıkıldıkça sonuçta köke ulaşılır.



## İkili Ağaç (Binary Tree) :

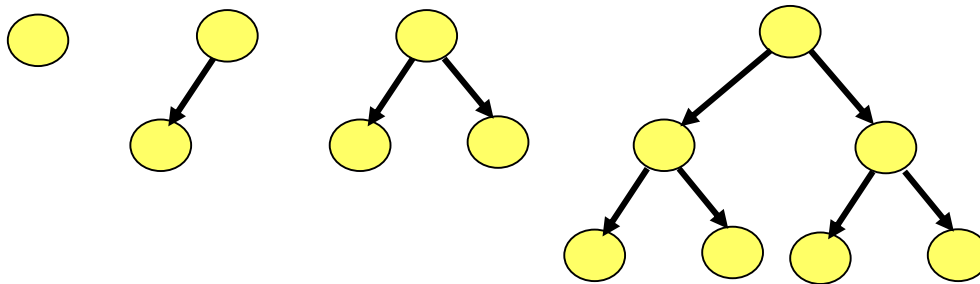
- Bilgisayar bilimlerinde en yaygın ağaçtır.



İki farklı ikili ağaç

## İkili Ağaç (Binary Tree)

- $n$  tane düğüm veriliyor, İkili ağacın minimum derinliği nedir.



**Derinlik 1:**  $n = 1$ , 1 düğüm  $2^1 - 1$

**Derinlik 2:**  $n = 3$ , 3 düğüm,  $2^2 - 1$  düğüm

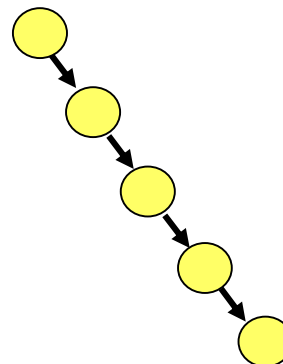
Herhangi bir  $d$  derinliğinde,  $n = ?$

**Derinlik  $d$ :**  $n = 2^d - 1$  düğüm (tam bir ikili ağaç)

**En küçük derinlik:**  $\Theta(\log n)$

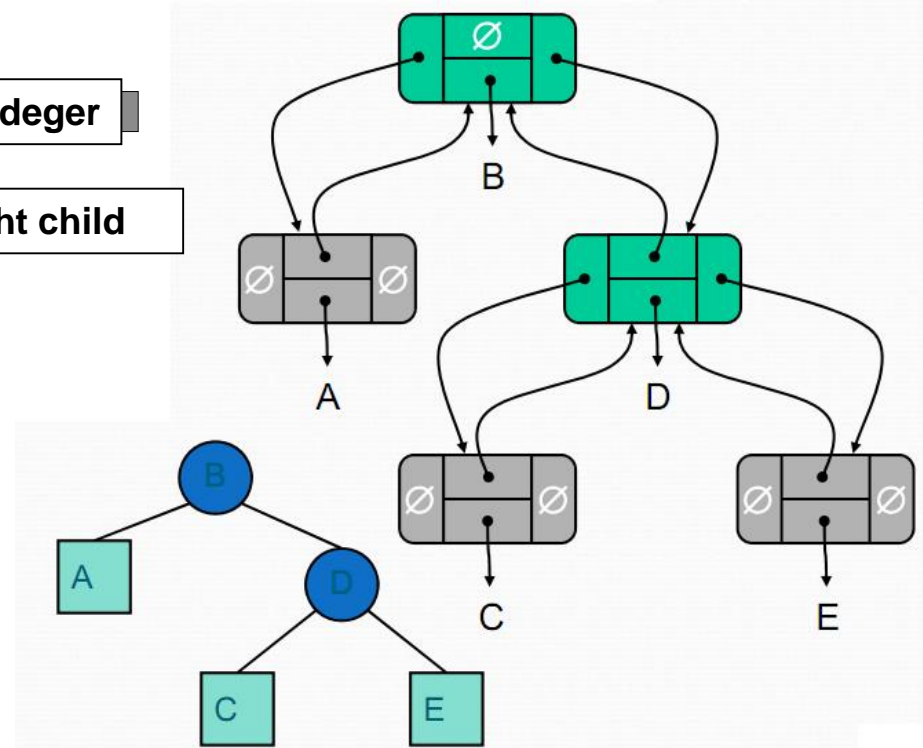
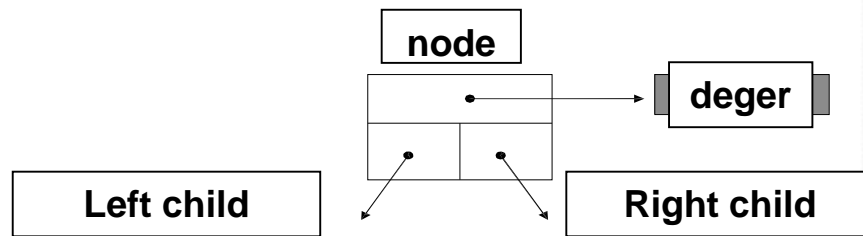
# İkili Ağaç

- $n$  düğümlü ikili ağacın minimum derinliği:  $\Theta(\log n)$
- İkili ağacın maksimum derinliği ne kadardır?
  - Dengesiz ağaç: Ağaç bir bağlantılı liste olursa!
  - Maksimum derinlik =  $n$
- Amaç: Arama gibi operasyonlarda bağlantılı listeden daha iyi performans sağlamak için derinliğin  $\log n$  de tutulması gerekmektedir.

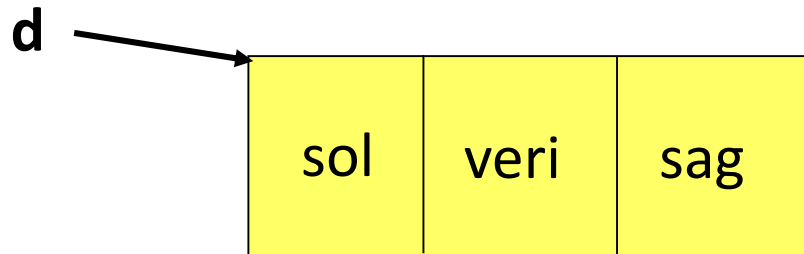


- Bağlantılı liste
- Derinlik =  $n$

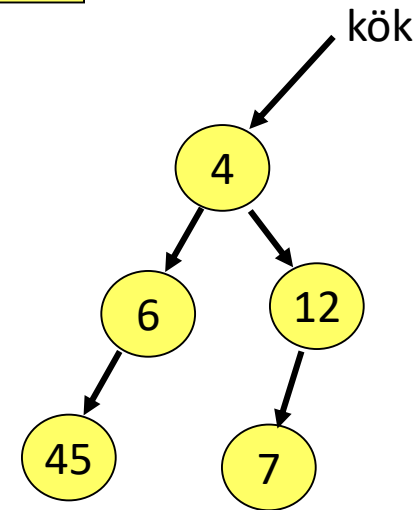
# İkili Ağaç Bağlı Liste Yapısı



# İkili Ağaç Gerçekleştirimi



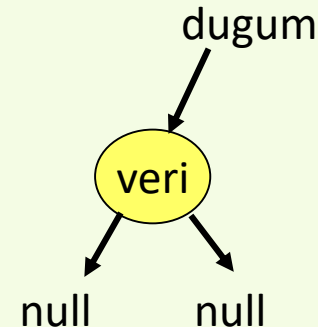
```
public class İkiliAgacDugumu {  
    public İkiliAgacDugumu sol;  
    public int veri;  
    public İkiliAgacDugumu sag;  
}
```



## İkili Ağaç Gerçekleştirimi

- İkili ağaç için düğüm oluşturma. Her defasında sol ve sağ boş olan bir düğüm oluşturulur.

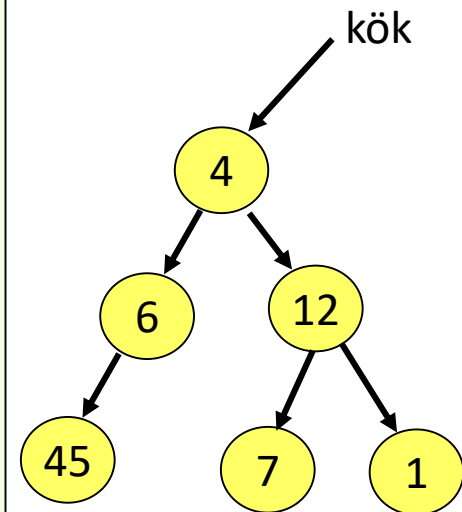
```
/* İkili ağaç düğümü oluşturur. */  
İkiliAgacDugumu DugumOlustur(int veri) {  
    İkiliAgacDugumu dugum = new İkiliAgacDugumu();  
    dugum.veri = veri;  
    dugum.sol = null;  
    dugum.sag = null;  
    return dugum;  
}
```



## İkili Ağaç Gerçekleştirimi

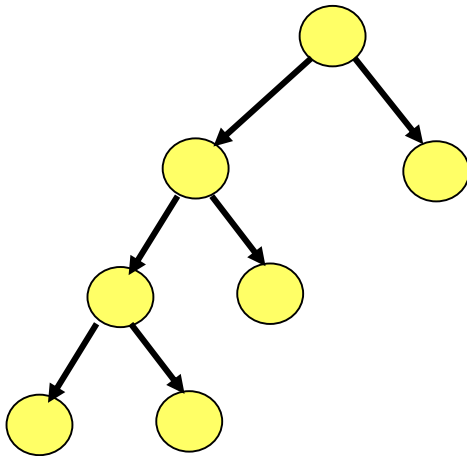
- İteratif düğüm oluşturma ve ağaca ekleme.

```
İkiliAgacDugumu dugum = null;  
  
public static void main main(){  
    kok = DugumOlustur(4);  
  
    kok.sol = DugumOlustur(6);  
    kok.sag = DugumOlustur(12);  
    kok.sol.sol = DugumOlustur(45);  
    kok.sag.sol = DugumOlustur(7);  
    kok.sag.sag = DugumOlustur(1);  
} /* main */
```

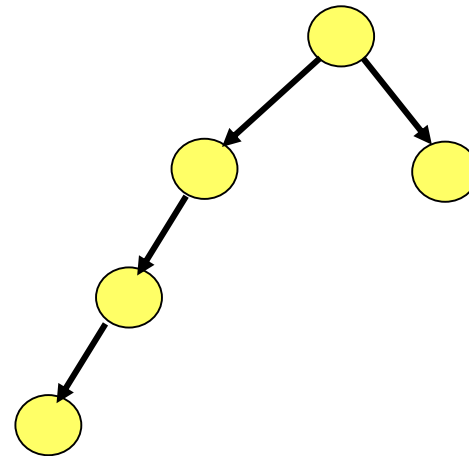


## Proper (düzgün) Binary Trees

- Yaprak olmayan düğümlerin tümünün iki çocuğu olan T ağacı proper(düzgün) binary tree olarak adlandırılır.



Proper Tree

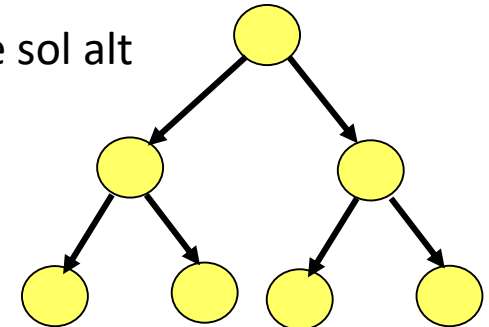


ImProper Tree



# Full Binary Tree

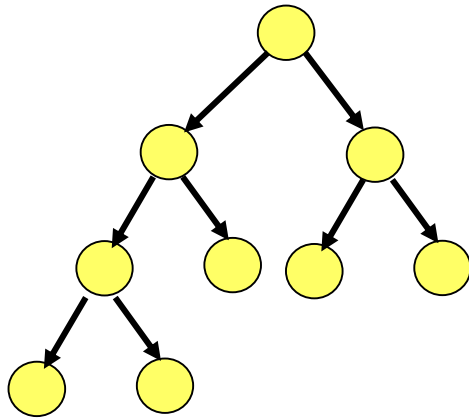
- Full binary tree:
  - **1**- Her yaprağı aynı derinlikte olan
  - **2**- Yaprak olmayan düğümlerin tümünün iki çocuğu olan ağaç **Full Binary Tree**'dir.
- Bir full binary tree'de **m** tane yaprak varsa bu ağaçta toplam  **$n=2m-1$**  düğüm vardır. Başka bir şekilde ifade edilirse,
  - Eğer **T** ağacı boş ise, **T** yüksekliği **0** olan bir full binary ağaçtır.
  - **T** ağacının yüksekliği **h** ise ve yüksekliği **h**'den küçük olan tüm node'lar iki child node'a sahipse, **T full binary tree**'dir.
  - Full binary tree'de her node aynı yüksekliğe eşit sağ ve sol alt ağaçlara sahiptir. En iyi bilinen proper tree ağacıdır.



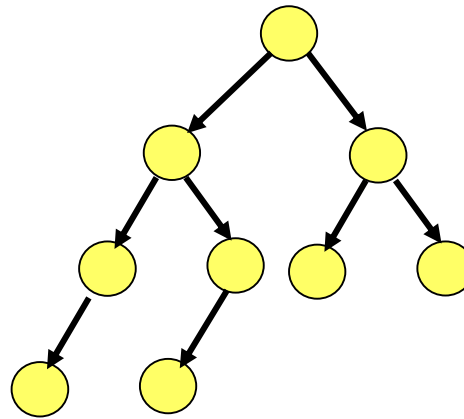
# Complete Binary Tree

- Full Binary Tree'de, yeni bir derinliğe soldan sağa doğru düğümler eklendiğinde oluşan ağaçlara **Complete Binary Tree** denilir.
- Böyle bir ağaçta bazı yapraklar diğerlerinden daha derindir. Bu nedenle Full Binary Tree olmayabilirler. En derin düzeyde düğümler olabildiğince soldadır.
- - **T**, **n** yükseklikte Complete Binary Tree ise, tüm yaprak node'ları **n** veya **n-1** derinliğindedir ve yeni bir derinliğe soldan sağa doğru ekleme başlanır.
  - Her node iki tane child node'a sahip olmayabilir.

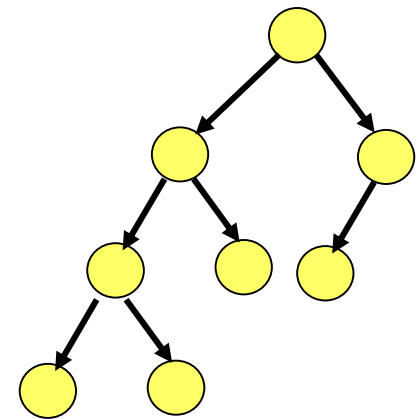
# Complete Binary Tree



○ Complete

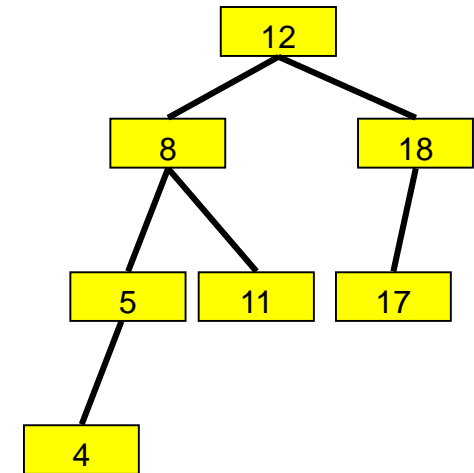


incomplete



# Balanced Binary Trees

- Yüksekliği ayarlanmış ağaçlardır.
- Bütün düğümler için sol altağacın yüksekliği ile sağ altağacın yüksekliği arasında en fazla bir fark varsa balanced binary tree olarak adlandırılır.
- Complete binary tree'ler aynı zamanda balanced binary tree'dir.
- Her balanced binary tree, complete binary tree olmayabilir. (Neden?)

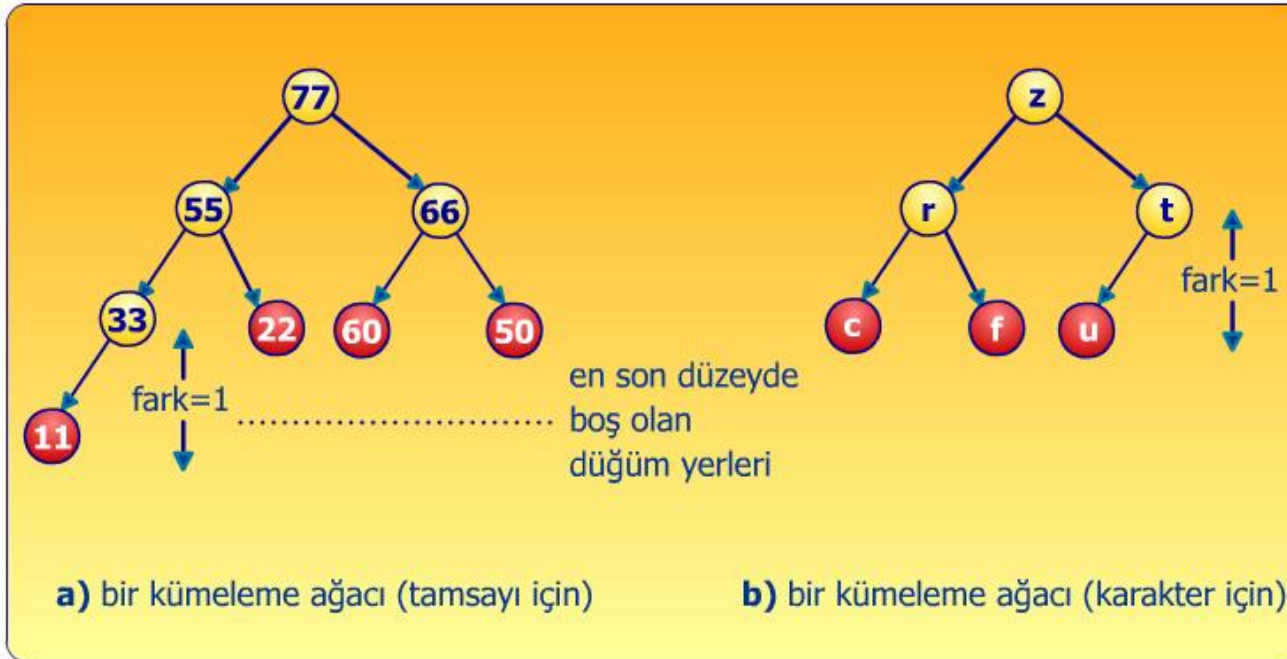


## Heap Tree (Kümele Ağacı)

- Kümeleme ağacı, ağaç oluşturulurken değerleri daha büyük olan düğümlerin yukarıya, küçük olanların da aşağıya eklenmesine dayanan tamamlanmış bir ağaçtır.
- Böylece 0. düzeyde, kökte, en büyük değer bulunurken yaprakların olduğu  $k$ . düzeyde en küçük değerler olur. Yani büyükten küçüğe doğru bir kümeleme vardır; veya tersi olarak küçükten büyüğe kümeleme de yapılabilir.
- Aksi belirtilmediği sürece kümeleme ağacı, sayısal veriler için büyükten küçüğe, sözcükler için alfabetik sıralamaya göre yapılır.
- Kümeleme ağacı bilgisayar biliminde bazı problemlerin çözümü için çok uygundur; hatta birebir uyuşmaktadır denilebilir. Üstelik, hem bellek alanı hem de yürütme zamanı açısından getirisi olur.

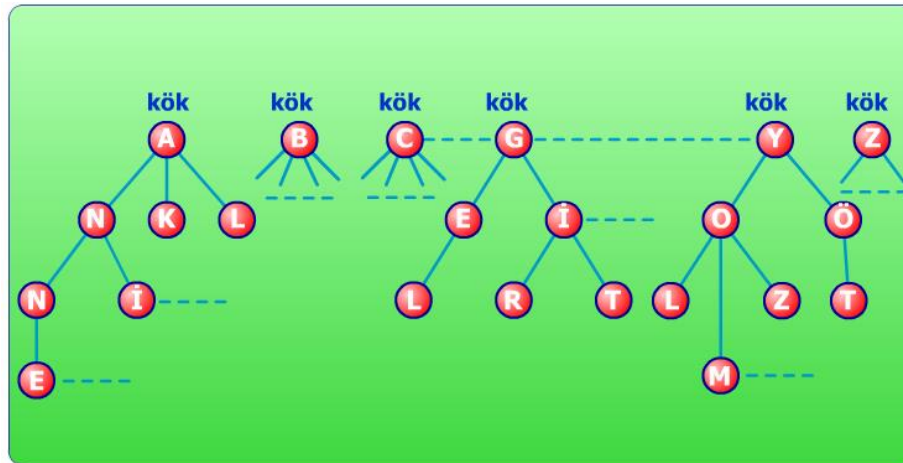
# Heap Tree (Kümele Ağacı)

- Bir düğüm her zaman için çocuklarından daha büyük değere sahiptir.
- Yaprak düğümlerin herhangi ikisi arasındaki fark en fazla 1 dir.
- En son düzey hariç tüm düzeyler düğümlerle doludur.
- En son düzeyde oluşan boşluklar sadece sağ taraftadır
- Sıralama işlemlerinde kullanılır.



# Trie Ağacı/Sözlük Ağacı

- Sözlük ağacı, bir sözlükte bulunan sözcükleri tutmak ve hızlı arama yapabilmek amacıyla düşünülmüştür; bellek gereksinimi arttırmadan, belki de azaltarak, onbinlerce, yüzbinlerce sözcük bulunan bir sözlükte 10-15 çevrim yapılarak aranan sözcüğün bulunması veya belirli bir karakter kadar uyuşanının bulunması için kullanılmaktadır.
- Sözlük ağacı, sıkıştırma, kodlama gibi sözlük kurulmasına dayalı algoritmalarda ve bir dilin sözlüğünü oluşturmada kullanılmaktadır.



# Ödev

- Aşağıda verilen ağaç yapılarını araştırınız. Bu ağaçlara ait bilgileri Word ve Powerpoint ortamında hazırlayıp getiriniz.
  - Sözlük Ağaçları
  - Kodlama Ağaçları
  - Sıkıştırma Ağaçları
  - Bağintı Ağaçları
  - Küme Ağacı



# Geçiş İşlemleri

## İkili Ağaçlar Üzerindeki Geçiş İşlemleri

- **Geçiş (traverse)**, ağaç üzerindeki tüm düğümlere uğrayarak gerçekleştirilir. Ağaçlar üzerindeki geçiş işlemleri, ağaçtaki tüm bilgilerin listelenmesi veya başka amaçlarla yapılır.
- Doğrusal veri yapılarında baştan sona doğru dolaşmak kolaydır. Ağaçlar ise düğümleri doğrusal olmayan veri yapılarıdır. Bu nedenle farklı algoritmalar uygulanır.

# İkili Ağaçlar Üzerindeki Geçiş İşlemleri

- **Preorder (depth-first order) Dolaşma (Traversal) (Önce Kök)**
  - Köke uğra (visit)
  - Sol alt ağacı preorder olarak dolaş.
  - Sağ alt ağacı preorder olarak dolaş.
- **Inorder (Symmetric order) Dolaşma(Ortada Kök)**
  - Sol alt ağacı inorder'a göre dolaş
  - Köke uğra (visit)
  - Sağ alt ağacı inorder'a göre dolaş.
- **Postorder Dolaşma (Sonra Kök)**
  - Sol alt ağacı postorder'a göre dolaş
  - Sağ alt ağacı postorder'a göre dolaş.
  - Köke uğra (visit)
- **Level order Dolaşma (Genişliğine dolaşma)**
  - Köke uğra
  - Soldan sağa ağacı dolaş

## Preorder Geçişi

- Preorder geçişte, bir düğüm onun neslinden önce ziyaret edilir.
- Uygulama: yapılandırılmış bir belgenin yazdırılması

```
Algorithm preOrder(v)  
    visit(v)  
    for each child w of v  
        preorder (w)
```

```
OnceKok(IkiliAgacDugumu kok)  
{  
    if (kok == null) return;  
    System.out.print(kok.veri+" ");  
    OnceKok(kok.sol);  
    OnceKok(kok.sag);  
}
```

## Postorder Geçişi

- Postorder geçişte, bir düğüm onun neslinden sonra ziyaret edilir.
- Uygulama: Bir klasör ve onun alt klasörlerindeki dosyaların kullandıkları alanın hesaplanması.

```
Algorithm postOrder(v)  
  for each child w of v  
    postOrder (w)  
  visit(v)
```

```
SonraKok(IkiliAgacDugumu kok)  
{  
  if (kok == null) return;  
  SonraKok(kok.sol);  
  SonraKok(kok.sag);  
  System.out.print(kok.veri+" ");  
}
```

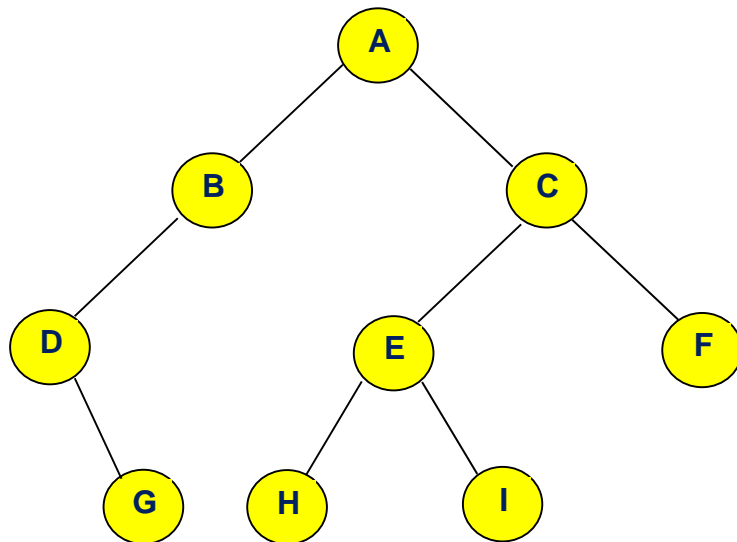
## Inorder Geçişi

- Inorder geçişte, bir düğüm sol alt ağaçtan sonra ve sağ alt ağaçtan önce ziyaret edilir.
- Uygulama: ikili ağaç çizmek
- $x(v) = v$  düğümünün inorder sıralaması (rank)
- $y(v) = v$ 'nin derinliği

```
Algorithm inOrder(v)
    if hasLeft (v)
        inOrder (left (v))
    visit(v)
    if hasRight (v)
        inOrder (right (v))
```

```
OrtadaKok (IkiliAgacDugumu kok)
{
    if (kok == null) return;
    OrtadaKok(kok.sol);
    System.out.print(kok.veri+" ");
    OrtadaKok(kok.sag);
}
```

## İkili Ağaçlar Üzerindeki Geçiş İşlemleri



**PreOrder** : A B D G C E H I F

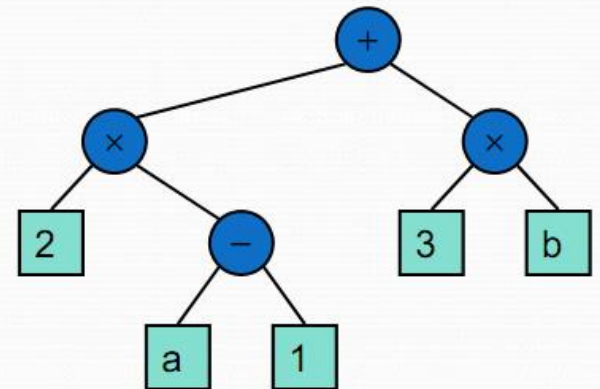
**InOrder** : D G B A H E I C F

**PostOrder** : G D B H I E F C A

**LevelOrder**: A B C D E F G H I

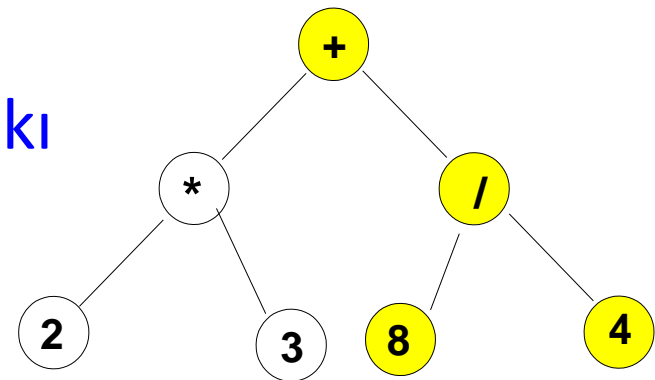
## Bağıntı (İfade) Ağaçları (Expression Tree)

- Bağıntı ağaçları bir matematiksel bağıntının ağaç şeklinde tutulması için tanımlanmıştır. Bir aritmetik ifade ile ilişkili ikili ağaçtır.
- Ağacın genel yapısı:
  - Yaprak düğüm = değişken/sabit değer
  - Kök veya ara düğümler = operatörler
  - Birçok derleyicide kullanılır. Parantez gereksinimi yoktur.
- Örnek:  $(2 \times (a - 1) + (3 \times b))$  aritmetik ifadesi için ağaç yapısı



# Bağıntı Ağaçlarında Geçiş

- preOrder, (prefix)- **Ön-takı**
  - $+ * 2 3 / 8 4$
- inOrder, (infix)- **İç-takı**
  - $2 * 3 + 8 / 4$
- postOrder, (postfix) **Son-takı**
  - $2 3 * 8 4 / +$
- levelOrder,
  - $+ * / 2 3 8 4$



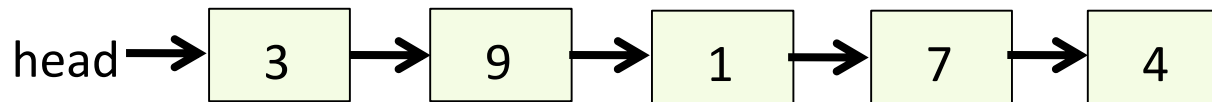
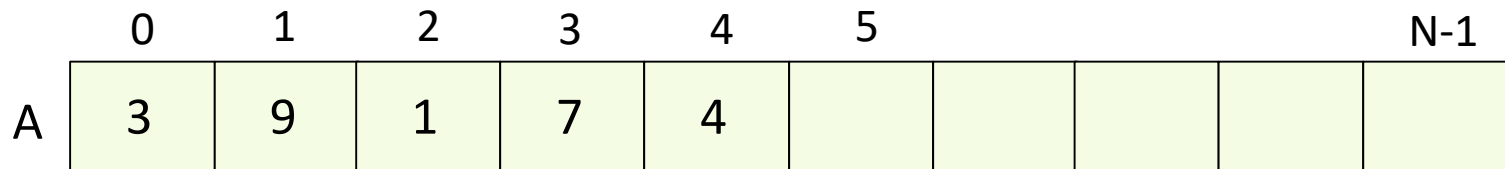


# Arama Ağaçları

- Bir veri yapısı içerisinde çok sayıda (anahtar, değer) çiftleri saklamak istediğimizi varsayalım.
- Aşağıdaki işlemleri etkili bir şekilde yerine getirebilecek bir veri yapısına ihtiyacımız var.
  - Ekle(anahtar, değer)
  - Sil(anahtar, değer)
  - Bul(anahtar)
  - Min()
  - Max()
- Alternatif veri yapıları?
  - Dizi kullanmak
  - Bağlantılı liste kullanmak

# Arama Ağaçları

Örnek: Yandaki değerleri saklayalım: 3, 9, 1, 7, 4



Operasyon	Sırasız Dizi	Sıralı Dizi	Sırasız Liste	Sıralı List
Bul (Arama)	$O(N)$	$O(\log N)$	$O(N)$	$O(N)$
Ekle	$O(1)$	$O(N)$	$O(1)$	$O(N)$
Sil	$O(1)$	$O(N)$	$O(1)$	$O(1)$

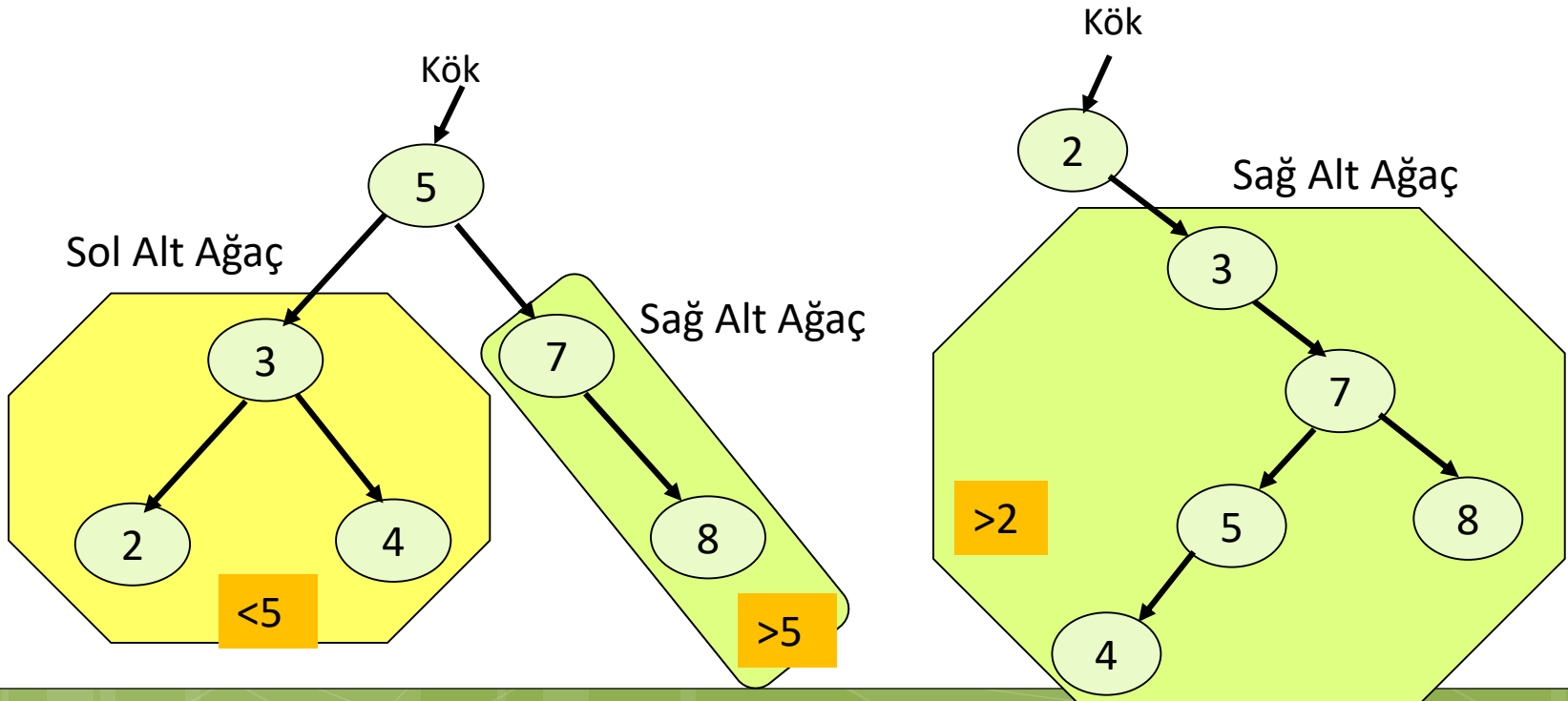
Bul/Ekle/Sil işlemlerinin hepsini  $O(\log N)$  de yapabilir miyiz?

# Kullanılan Verimli Arama Ağaçları

- **Fikir:** Verileri arama ağacı yapısına göre düzenlersek arama işlemi daha verimli olacaktır.
  - İkili Arama Ağacı (**B**inary **S**earch **T**ree (**BST**))
  - AVL Ağacı
  - Splay Ağacı
  - 2-3-4 Ağacı
  - Red-Black Ağacı
  - B Ağacı ve B+ Ağacı

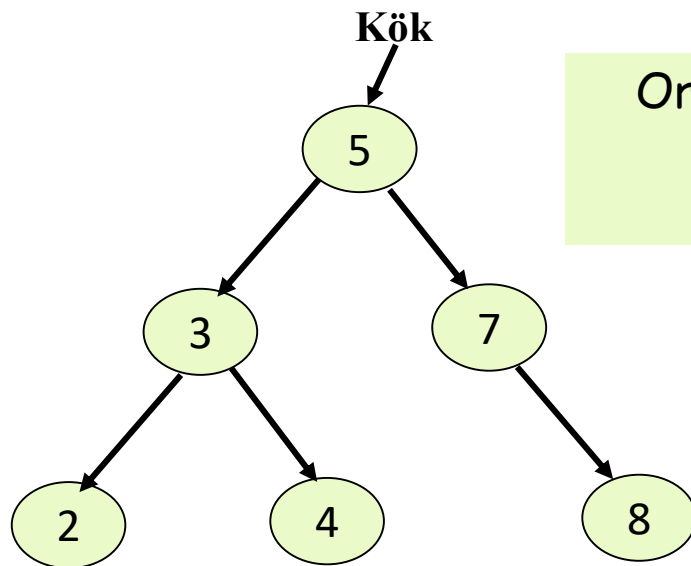
## İkili Arama Ağacı (Binary Search Tree)

- **İkili Arama Ağacı** her bir düğümdeki değerlere göre düzenlenir:
  - Sol alt ağaçtaki tüm değerler kök düğümünden küçüktür.
  - Sağ alt ağaçtaki tüm değerler kök düğümünden büyüktür.



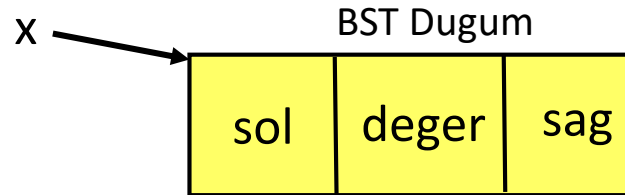
# İkili Arama Ağacında Sıralama

- İkili arama ağacı önemli özelliklerinden birisi Ortada-kök (Inorder) dolaşma algoritması ile düğümlere sıralı bir şekilde ulaşılmasını sağlar.



Ortada-kök sonucu  
2 3 4 5 7 8

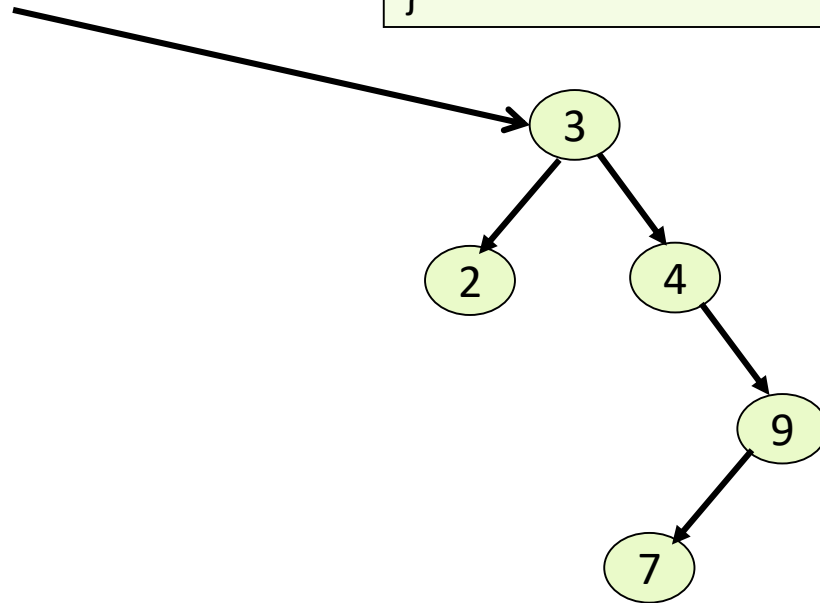
# BST İşlemleri- Tanımlama



```
public class BSTDugum
{
    public BSTDugum sol;
    public int deger;
    public BSTDugum sag;
}
```

```
/* İKİLİ ARAMA AĞACI */
public class BST {
    Private BSTDugum kok;

    public BST() {kok=null;}
    public void Ekle(int deger);
    public void Sil(int deger);
    public BSTNode Bul(int key);
    public BSTNode Min();
    public BSTNode Max();
};
```



# BST İşlemleri-Arama

- Bir  $k$  anahtarını aramak için, kök düğümünden başlayarak aşağı doğru bir yol izlenir.
- Bir sonraki ziyaret edilecek düğüm,  $k$  anahtar değerinin geçerli düğümün anahtar değeriyle karşılaştırılması sonucuna bağlıdır.
- Eğer yaprağa ulaşıldıysa anahtar bulunamamıştır ve null değer geri döndürülür.
- Örnek: Bul(4)

Algorithm *TreeSearch*( $k, v$ )

if *T.isExternal* ( $v$ )

return  $v$

if  $k < \text{key}(v)$

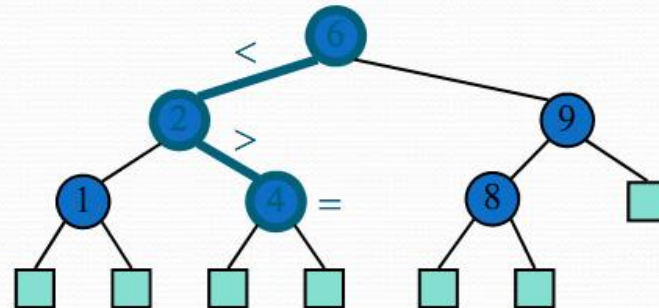
return *TreeSearch*( $k, T.\text{left}(v)$ )

else if  $k = \text{key}(v)$

return  $v$

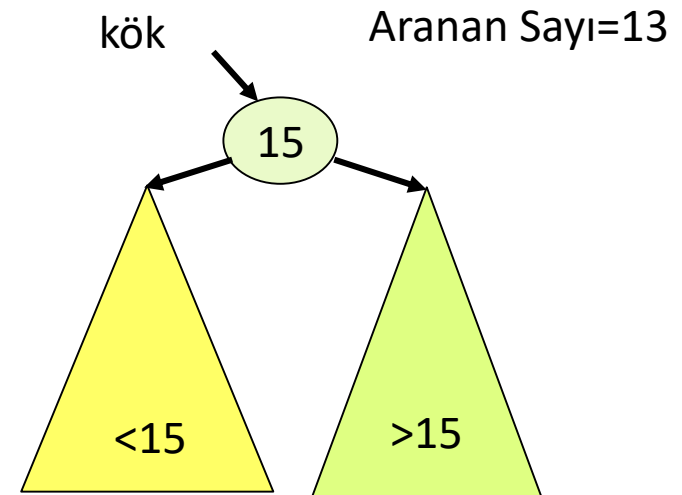
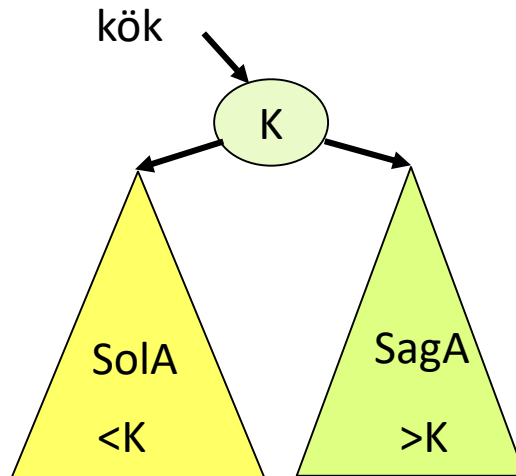
else {  $k > \text{key}(v)$  }

return *TreeSearch*( $k, T.\text{right}(v)$ )



## BST İşlemleri- Arama

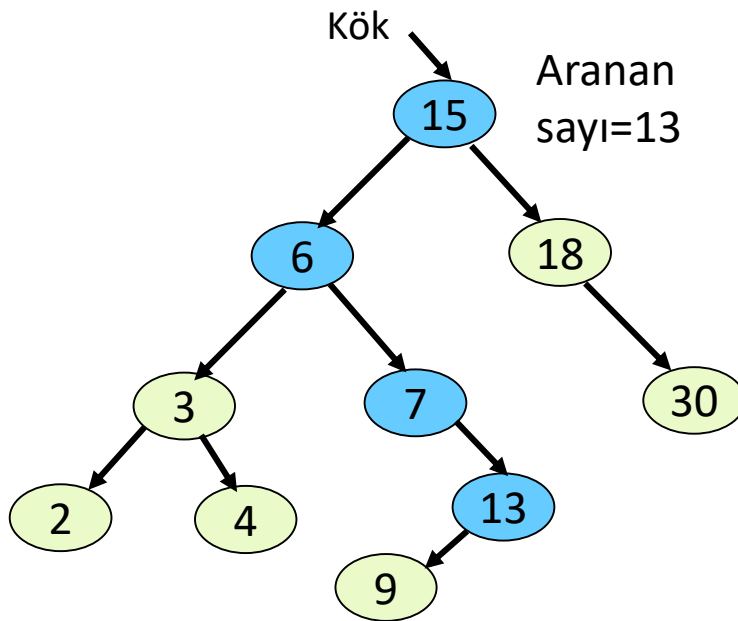
- Değeri içeren düğümü bul ve bu düğümü geri döndür.



1. Arama işlemine kökten başla
2. `if (aranaDeger == kok.deger)` `return kok;`
3. `if (aranaDeger < kok.deger)` **Ara SolAltAğaç**
4. `else` **Ara SagAltAğaç**



# BST İşlemleri- Arama



```
public BSTDugum Bul(int deger)
{ return Bul2(kok, deger); }
```

```
public BSTDugum Bul2(BSTDugum kok, int deger)
{
    if (kok == null) return null;
    if (deger == kok.deger)
        return kok;
    else if (deger < kok.deger)
        return Bul2(kok.sol, deger);
    else /* deger > kok.deger */
        return Bul2(kok.sag, deger);
}
```

Mavi renkli düğümler arama sırasında ziyaret edilen düğümlerdir. Algoritmanın çalışma karmaşıklığı  $O(d)$ 'dir. ( $d$  = ağacın derinliği)

## BST İşlemleri-Arama

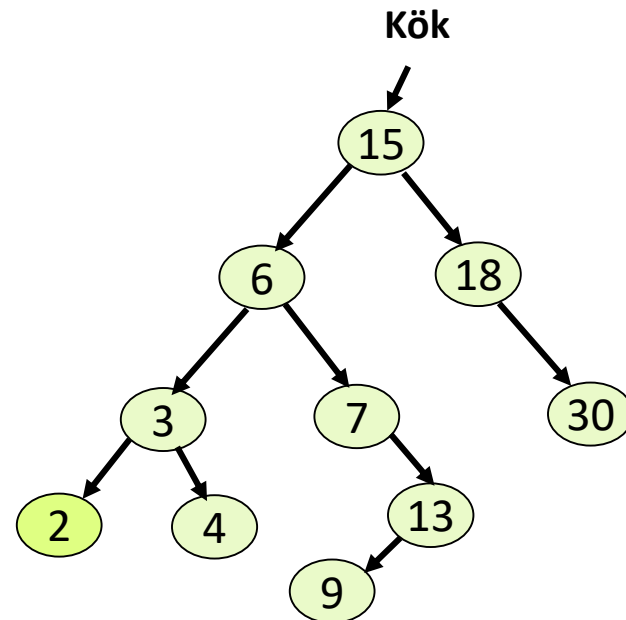
- Aynı algoritma while döngüsü yardımıyla yinelemeli şekilde yazılabilir. Yinelemeli versiyon özyinelemeli versiyona göre daha verimli çalışır.

```
public BSTDugum Bul(int deger){  
    BSTDugum p = kok;  
    while (p){  
        if (deger == p.deger)    return p;  
        else if (deger < p.deger) p = p.sol;  
        else /* deger > p.deger */ p = p.sag;  
    } /* while-bitti */  
    return null;  
} //bul-Bitti
```

## BST İşlemleri- Min

- Ağaçtaki en küçük elemanı içeren düğümü bulur ve geri döndürür.
- En küçük elemanı içeren düğüm en soldaki düğümde bulunur.
- Kökten başlayarak devamlı sola gidilerek bulunur.

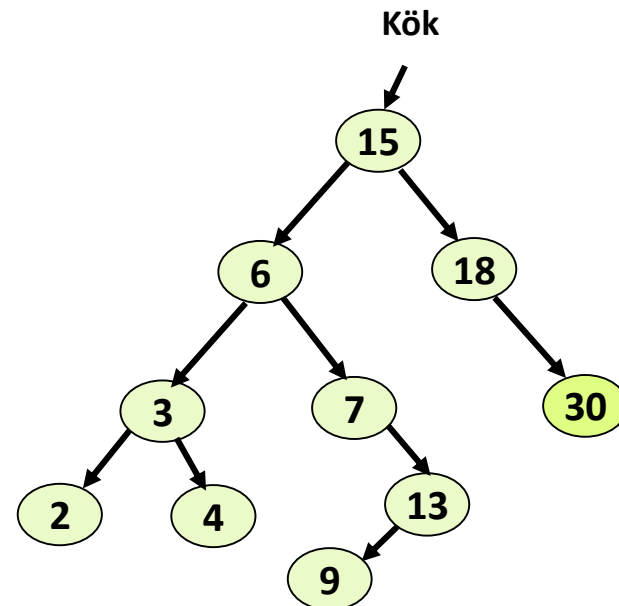
```
public BSTDugum Min()  
{  
    if (kok == null)  
        return null;  
    BSTDugum p = kok;  
    while (p.sol != null){  
        p = p.sol;  
    }  
    return p;  
}
```



## BST İşlemleri-Max

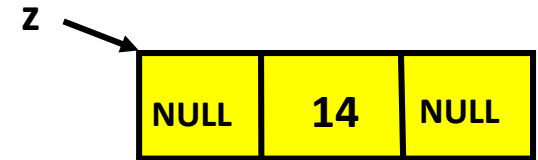
- Ağaçtaki en büyük elemanı içeren düğümü bulur ve geri döndürür.
- En büyük elemanı içeren düğüm en sağdaki düğümde bulunur.
- Kökten başlayarak devamlı sağa gidilerek bulunur.

```
public BSTDugum Max(){  
    if (kok == null)  
        return null;  
  
    BSTDugum p = kok;  
    while (p.sag != null){  
        p = p.sag;  
    }  
  
    return p;  
}
```

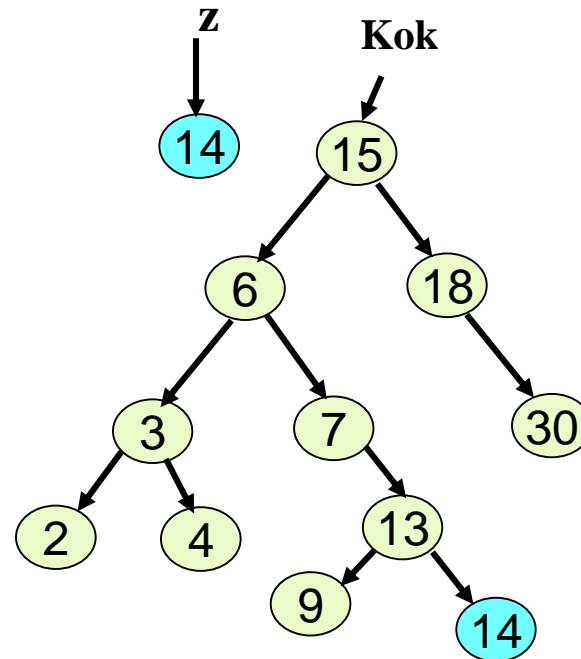


## BST İşlemleri– Ekle(int deger)

- Eklenecek değeri içeren “z” isimli yeni bir düğüm oluştur.
- Ö.g.: Ekle 14
- Kökten başlayarak ağaç üzerinde eklenecek sayıyı arıyormuş gibi aşağıya doğru ilerle.
- Yeni düğüm aramanın bittiği düğümün çocuğu olmalıdır.



Eklenecek “z” düğümü.  
z.deger = 14



Eklemeden sonra

## BST İşlemleri- Ekle(int deger)

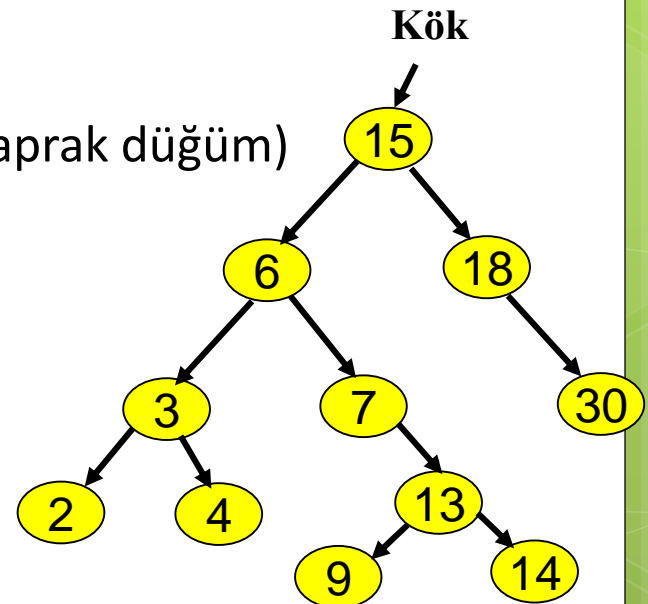
```
public void Ekle(int deger) {  
    BSTDugum pp = null; /* pp p'nin ailesi */  
    BSTDugum p = kok; /* Kökten başla ve aşağıya doğru ilerle */  
    while (p) {  
        pp = p;  
        if (deger == p.deger) return; /* Zaten var */  
        else if (deger < p.deger) p = p.sol;  
        else /* deger > p.deger */ p = p.sag;  
    }  
    /* Yeni değeri kaydedeceğimiz düğüm */  
    BSTDugum z = new BSTDugum();  
    z.deger = deger; z.sol = z.sag = null;  
    if (kok == null) kok = z; /* Boş ağaca ekleme */  
    else if (deger < pp.deger) pp.sol = z;  
    else pp.sag = z;  
} // ekleme işlemi bitti.
```

## BST-Silme Kaba Kod

- while(silinecek düğümün ve ailesinin adresini bulana kadar) {
- q <- silinecek düğümün, qa<- ailesinin adresi;
- if(silinmek istenen bulunamadı ise)
  - yapacak bir şey yok dön;
- if(silinecek düğümüm iki alt çocuğu da varsa)
  - sol alt ağacın en büyük değerli düğümünü bul;
  - (veya denge bozulmuş ise sağ alt ağacın en küçük değerli düğümünü bul)
  - bu düğümdeki bilgiyi silinmek istenen düğüme aktar;
  - bu aşamada en fazla bir çocuğu olan düğümü sil;
- silinen düğümün işgal ettiği bellek alanını serbest bırak;  
}

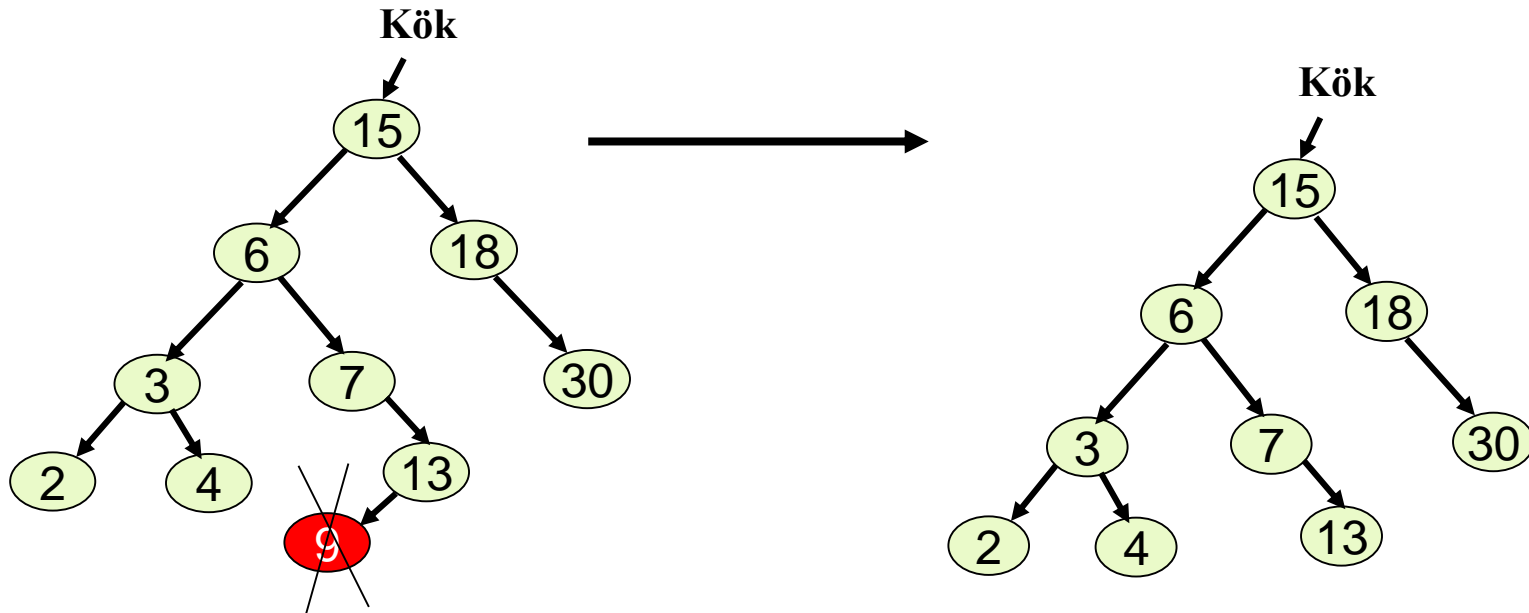
## BST İşlemleri- Sil(int deger)

- Silme işlemi biraz karmaşıktır.
- 3 durum var:
  - 1) Silinecek düğümün hiç çocuğu yoksa (yaprak düğüm)
    - Sil 9
  - 2) Silinecek düğümün 1 çocuğu varsa
    - Sil 7
  - 3) Silinecek düğümün 2 çocuğu varsa
    - Sil 6





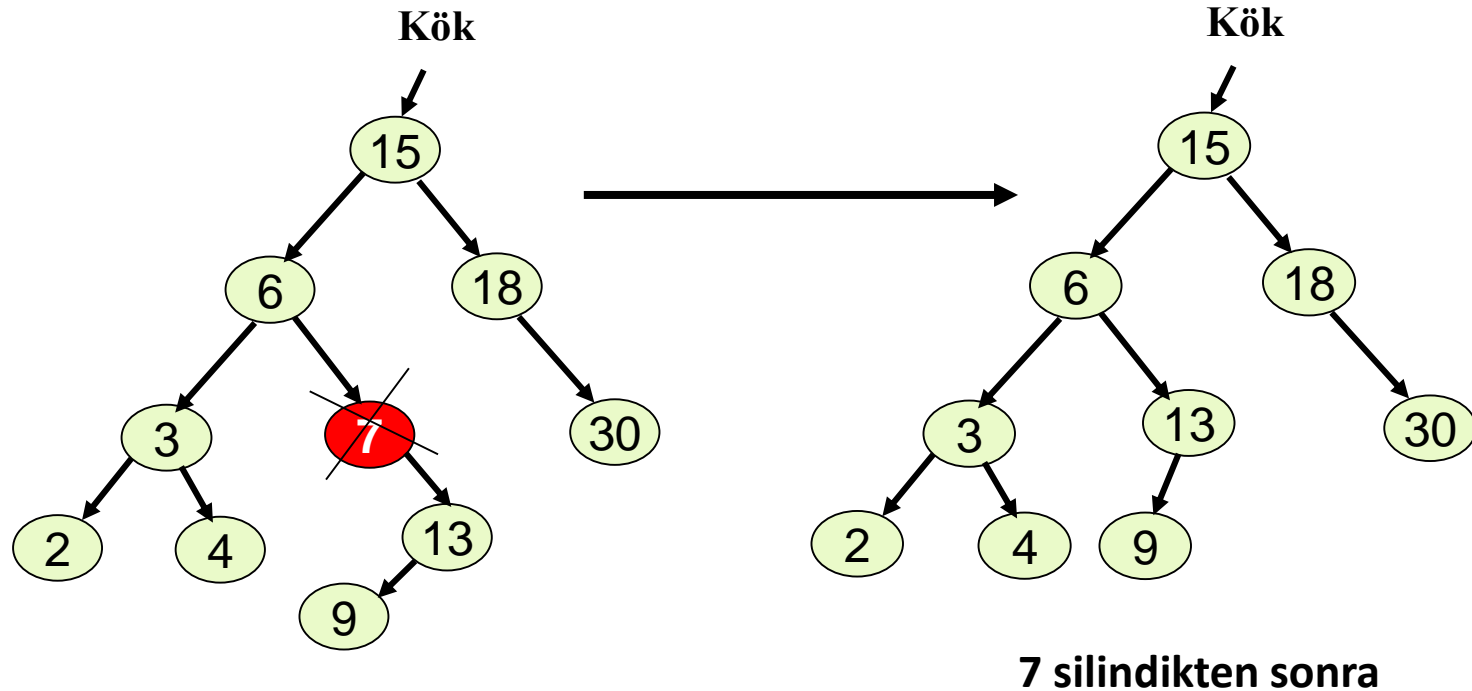
## Silme: Durum 1 – Yaprak Düğümü Silme



Sil 9: Düğümü kaldırın ve bağlantı kısmını güncelleyin

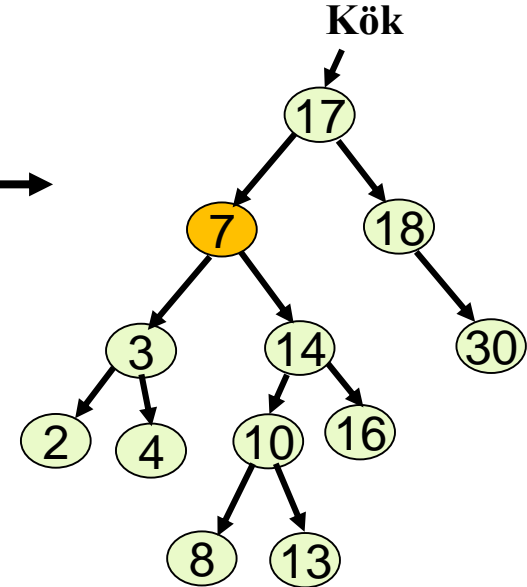
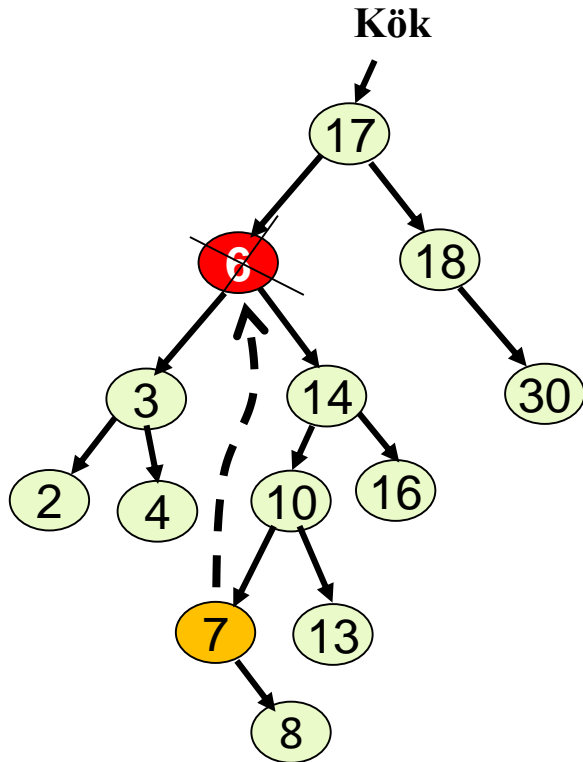
9 silindikten sonra

## Silme: Durum 2 – 1 Çocuklu Düğüm



**Sil 7: Silinecek düğümün ailesi ve çocuğu arasında bağ kurulur**

## Silme: Durum 3 – 2 Çocuklu Düğüm



6 silindikten sonra

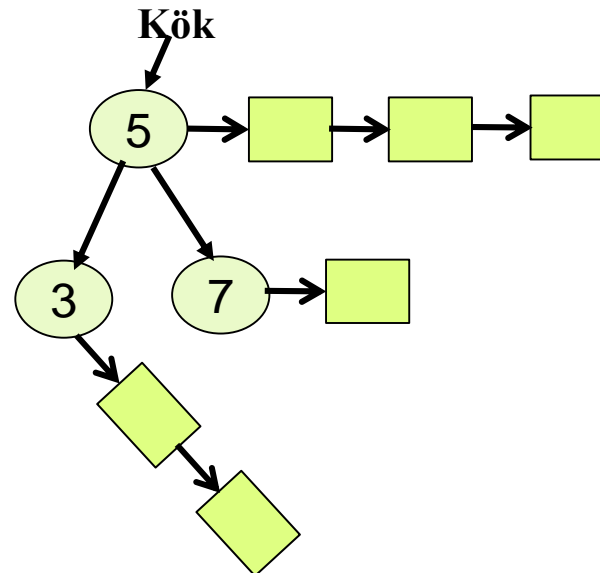
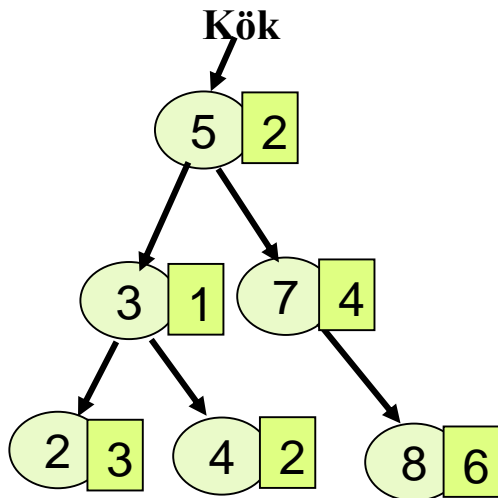
Sil 6:

- 1) Sağ alt ağaçtaki en küçük eleman bulunur.(7)
- 2) Bu elemanın sol çocuğu olmayacaktır.
- 3) 6 ve 7 içeren düğümlerin içeriklerini değiştirin
- 4) 6 nolu eleman 1 çocuğu varmış gibi silinir.

**Not:** Sağ alt ağaçtaki en küçük eleman yerine sol alt ağaçtaki en büyük eleman bulunarak aynı işlemler yapılabilir.

## BST-Aynı Sayılarla Başa Çıkma

- Ağaç içerisindeki aynı sayılarla aşağıda verilen iki şekilde başa çıkılabilir:
  - Düğümde saklanan bir sayaç değişkeni ile
  - veya
  - Düğümde kullanılan bağlantılı liste ile

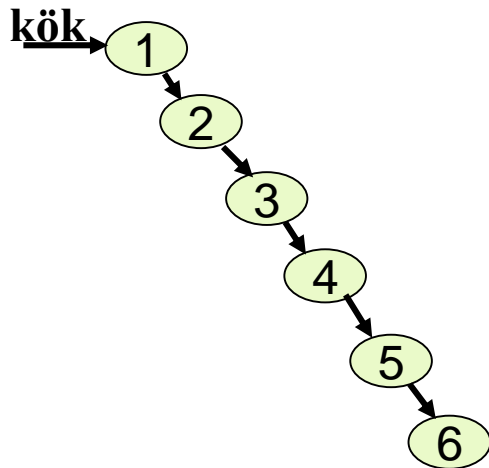


## İkili Arama Ağacı Uygulamaları

- İkili arama ağacı harita, sözlük gibi birçok uygulamada kullanılır.
- İkili arama ağacı (**anahtar**, **değer**) çifti şeklinde kullanılacak sistemler için uygundur.
  - Ö.g.: Şehir Bilgi Sistemi
    - Posta kodu veriliyor , şehir ismi döndürülüyor. (**posta kodu/ Şehir ismi**)
  - Ö.g.: telefon rehberi
    - İsim veriliyor telefon numarası veya adres döndürülüyor. (**isim, Adres/Telefon**)
  - Ö.g.: Sözlük
    - Kelime veriliyor anlamı döndürülüyor. (**kelime, anlam**)

# İkili Arama Ağacı

- Bul, Min, Max, Ekle, Sil işlemlerinin karmaşıklığı  $O(d)$
- $d$  ağacın derinliğine bağlı.
- Örnek: 1,2,3,4,5,6 sayılarını sıralı bir şekilde ekleyelim.
- Ortaya çıkan ağaç bağlantılı listeye benzemektedir. Dolayısıyla karmaşıklık  $O(n)$  şeklinde olacaktır.



- Daha iyisi yapılabilir mi?
- Ağacımızı dengeli yaparsak evet
  1. AVL-ağaçları
  2. Splay ağaçları
  3. 2-3-4 Ağaçları
  4. Red-Black ağaçları
  5. B ağaçları, B+ ağaçları

# Ödev

- **1-**İkili arama ağacını Oluşturma-Arama-Ekleme-Silme olaylarını bir bütün olarak gerçekleştiriniz. (Önerilen Ders kitabından yararlanabilirsiniz)
- **2-** İkili binary ağacında minimum ve maksimum değer in bulunduğu düğümün atasını ve kardeşlerini bulan metotları yazınız.
- **3-** İkili binary ağacını level-order dolaşmayı sağlayan metodu yazınız.
- **4-** İkili binary ağacında her düğümün sol ve sağ ağaçları arasındaki denge farklarını bularak bu farkın en çok olduğu düğümü bulunuz.



# Örnek Programlar



# İkili arama Ağacı–Java

- class TreeNode // Düğüm Sınıfı
- {
- public int data;
- public TreeNode leftChild;
- public TreeNode rightChild;
- public void displayNode() { System.out.print(" "+data+" "); }
- }
- 
- // Ağaç Sınıfı
- class Tree
- {
- private TreeNode root;
- public Tree() { root = null; }
- 
- public TreeNode getRoot() { return root; }

# İkili arama Ağacı–Java

```
○ // Ağacın preOrder Dolaşılması
○ public void preOrder(TreeNode localRoot)
○ {
○     if(localRoot!=null) {
○         localRoot.displayNode();
○         preOrder(localRoot.leftChild);
○         preOrder(localRoot.rightChild);
○     }
○ }

○ // Ağacın inOrder Dolaşılması
○ public void inOrder(TreeNode localRoot)
○ {
○     if(localRoot!=null)
○     {
○         inOrder(localRoot.leftChild);
○         localRoot.displayNode();
○         inOrder(localRoot.rightChild);
○     }
○ }
```

# İkili arama Ağacı–Java

- **// Ağacın postOrder Dolaşılması**
- `public void postOrder(TreeNode localRoot)`
- `{`
- `if(localRoot!=null)`
- `{`
- `postOrder(localRoot.leftChild);`
- `postOrder(localRoot.rightChild);`
- `localRoot.displayNode();`
- `}`
- `}`
- **// Ağaca bir düğüm eklemeyi sağlayan metot**
- `public void insert(int newdata)`
- `{`
- `TreeNode newNode = new TreeNode();`
- `newNode.data = newdata;`
- 
- `if(root==null)`
- `root = newNode;`

# İkili arama Ağacı–Java

```

○   else {
○       TreeNode current = root;   TreeNode parent;
○       while(true) {
○           parent = current;
○           if(newdata<current.data)
○           { current = current.leftChild;
○             if(current==null)
○             {
○                 parent.leftChild=newNode;
○                 return;
○             }
○           } else
○           {
○               current = current.rightChild;
○               if(current==null)
○               {
○                   parent.rightChild=newNode;   return;   }
○               }
○           } // end while
○       } // end else not root
○   } // end insert()
○ } // class Tree

```

# İkili arama Ağacı–Java

```

○ // BinTree Test sınıfı
○ class BinTree
○ {
○     public static void main(String args[])
○     {
○         Tree theTree = new Tree();

○         // Ağaca 10 tane sayı yerleştirilmesi
○         System.out.println("Sayılar : ");
○         for (int i=0;i<10;++i) {
○             int sayi = (int) (Math.random()*100);
○             System.out.print(sayi+" ");
○             theTree.insert(sayi);
○         };

○         System.out.print("\nAğacın InOrder Dolaşılması : ");
○         theTree.inOrder(theTree.getRoot());
○         System.out.print("\nAğacın PreOrder Dolaşılması : ");
○         theTree.preOrder(theTree.getRoot());
○         System.out.print("\nAğacın PostOrder Dolaşılması : ");
○         theTree.postOrder(theTree.getRoot());
○     }
○ }
○

```

# İkili arama Ağacı– C++

- `#include <stdio.h>`
- `#include <stdlib.h>`
- `#include <conio.h>`
- `/* Ağaca ait düğüm yapısı tanımlanıyor */`
- `struct agacdugum {`
- `struct agacdugum *soldal;`
- `int data;`
- `struct agacdugum *sagdal;`
- `};`
- `// Düğüm yapısı için değişken tanımlarının yapıldığı kısım`
- `typedef struct agacdugum AGACDUGUM;`
- `typedef struct agacdugum * AGACDUGUMPTR;`

# İkili arama Ağacı– C++

```

○ // Ağaca düğüm eklemeyi sağlayan fonksiyon yapisi
○ AGACDUGUMPTR dugumekle(AGACDUGUMPTR agacptr, int veri) {
○ /* her defasında tek dallı ağaç oluşturuluyor. Daha sonra ikili arama
○ ağacındaki kurala göre sol veya sağ dala yerleştiriliyor. */
○
○ if(agacptr==NULL)
○ {
○ /*eger ağaç işaretçisi boş ise ağaca eklenecek yeni düğüm için hafızada
○ yer ayrılıyor*/
○
○ agacptr =(agacdugum *) malloc(sizeof(agacdugum));
○ if (agacptr!=NULL)
○ {
○ // Düğümler tek hücre, sağ ve sol dalları boş olarak oluşturuluyor
○ // printf("Ağaca veri eklendi\n ");
○ agacptr->data = veri;
○ agacptr->soldal = NULL;
○ agacptr->sagdal= NULL;
○ }
○ else printf("%d eklenemedi. Bellek yetersiz.\n",veri);
○ }
○
○

```

# İkili arama Ağacı– C++

- `/*Gelen veri değeri daha önce girilen değerler ile karşılaştırılıp uygun düğümün sol veya sağ dalına yerleştiriliyor.*/`
- `else`
- `if(veri<agacptr->data){ printf("Ağacın soluna veri eklendi\n ");`
- `agacptr->soldal = dugumekle(agacptr->soldal,veri);}`
- `else`
- `if(veri>agacptr->data){printf("Ağacın sağına veri eklendi\n ");`
- `agacptr->sagdal = dugumekle(agacptr->sagdal,veri);}`
- `// eğer girilen değer ler daha önce var ise alınmıyor.`
- `else printf("Eşit olduğu için alınmadı\n ");`
- `return agacptr;`
- `}`



# İkili arama Ağacı– C++

```

○      /* Ağacın inorder dolaşılması */
○      void inorder(AGACDUGUMPTR agacptr) {
○          if (agacptr != NULL) {
○              inorder(agacptr->soldal);
○              printf("%3d",agacptr->data);
○              inorder(agacptr->sagdal); }          }
○      /* Ağacın preorder dolaşılması */
○      void preorder(AGACDUGUMPTR agacptr) {
○          if (agacptr != NULL) {
○              printf("%3d",agacptr->data);
○              preorder(agacptr->soldal);
○              preorder(agacptr->sagdal); }          }
○      /* Ağacın postorder dolaşılması */
○      void postorder(AGACDUGUMPTR agacptr) {
○          if (agacptr != NULL) {
○              postorder(agacptr->soldal);
○              postorder(agacptr->sagdal);
○              printf("%3d",agacptr->data); }          }

```

# İkili arama Ağacı– C++

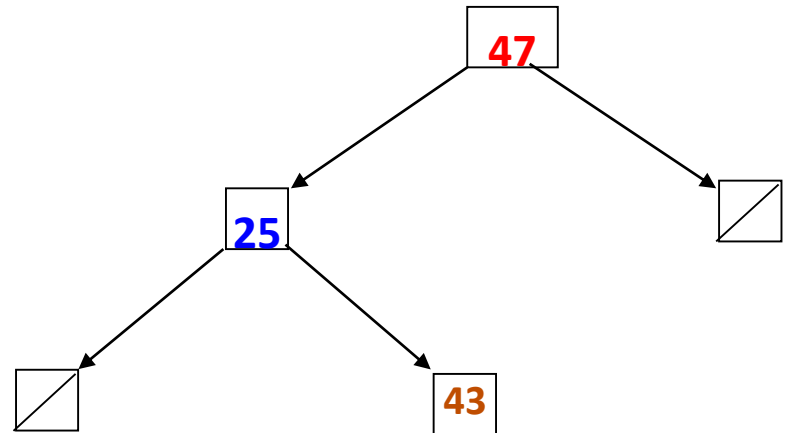
```

○ void main() {
○     int i, dugum;
○     AGACDUGUMPTR agacptr = NULL;
○     for(i=0; i<12; ++i)
○     { /* Ağaca yerleştirilecek sayılar */
○         scanf("%d",&dugum); printf("\n");
○         // girilen değeri düğüm ekleme fonksiyonuna gönderiyoruz.
○         agacptr = dugumekle(agacptr, dugum);
○     } printf("\n");
○
○     printf("Ağacın preorder dolaşılması :\n");
○     preorder(agacptr); printf("\n");
○
○     printf("Ağacın inorder dolaşılması :\n");
○     inorder(agacptr); printf("\n");
○
○     printf("Ağacın postorder dolaşılması :\n");
○     postorder(agacptr); printf("\n");
○ }

```

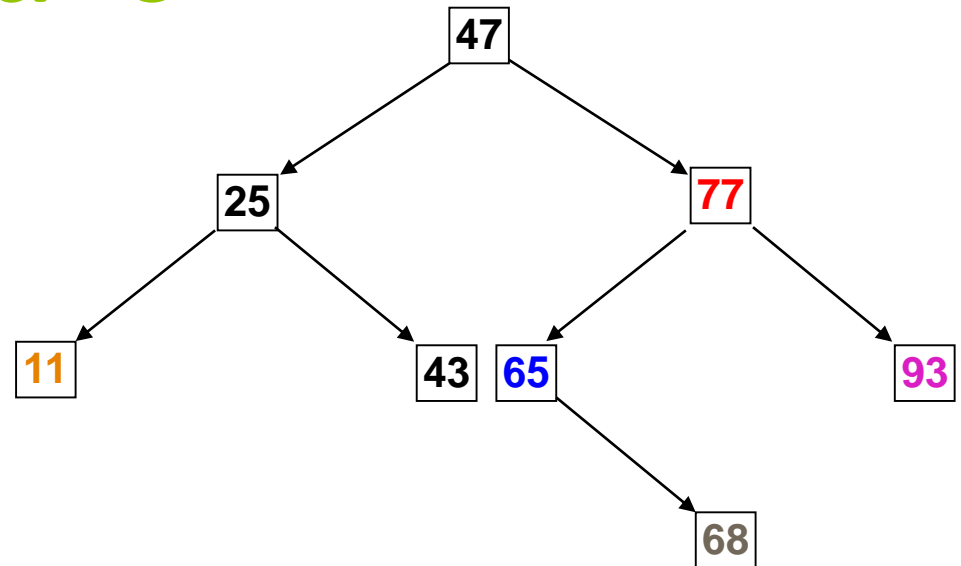
# İkili arama Ağacı– C++

- 47
- 25
- Ağacın soluna veri eklendi
- 43
- Ağacın soluna veri eklendi
- Ağacın sağına veri eklendi



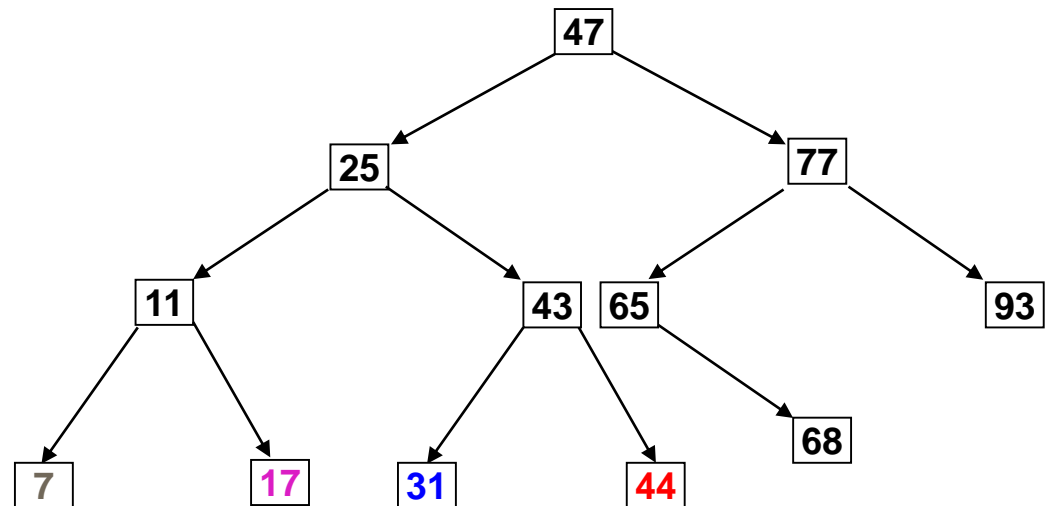
# İkili arama Ağacı– C++

- 77
- Ağacın sağına veri eklendi
- 65
- Ağacın sağına veri eklendi
- Ağacın soluna veri eklendi
- 68
- Ağacın sağına veri eklendi
- Ağacın soluna veri eklendi
- Ağacın sağına veri eklendi
- 93
- Ağacın sağına veri eklendi
- Ağacın sağına veri eklendi
- 11
- Ağacın soluna veri eklendi
- Ağacın soluna veri eklendi



# İkili arama Ağacı– C++

- 17
- Ağacın soluna veri eklendi
- Ağacın soluna veri eklendi
- Ağacın sağına veri eklendi
- 44
- Ağacın soluna veri eklendi
- Ağacın sağına veri eklendi
- Ağacın sağına veri eklendi
- 31
- Ağacın soluna veri eklendi
- Ağacın sağına veri eklendi
- Ağacın soluna veri eklendi
- 7



# İkili arama Ağacı– C++, Ekleme, Silme, Dolaşma

```

○ #include <stdio.h>
○ #include <stdlib.h>
○ struct tnode {
○     int data;
○     struct tnode *lchild, *rchild; };
○ /* Dugum degeri verilen dugumun kok pointer degerini elde eden bir foksiyondur*/
○ struct tnode *getptr(struct tnode *p, int key, struct tnode **y) {
○     printf("kok pointer\n");//silme anında devreye giriyor
○     struct tnode *temp;
○     if( p == NULL)    return(NULL);
○     temp = p;    *y = NULL;
○     while( temp != NULL)    {
○         if(temp->data == key)    return(temp);
○         else    {
○             *y = temp; /* bu pointer root (kok) olarak depolanir */
○             if(temp->data > key)
○                 temp = temp->lchild;
○             else
○                 temp = temp->rchild;    }    }
○     return(NULL); }

```

# İkili arama Ağacı– C++, Ekleme, Silme, Dolaşma

- `/* Veri degeri verilen dugumu silmek icin bir fonksiyon */`
- `struct tnode *delete1(struct tnode *p,int val) {`
- `struct tnode *x, *y, *temp;`
- `x = getptr(p,val,&y);`
- `if( x == NULL) { printf("Dugum mevcut degil\n"); return(p); }`
- `else`
- `{`
- `/* bu kod kok (root) dugumu silmek icindir*/`
- `if( x == p) {`
- `printf("kok dugum siliniyor\n");`
- `temp = x->lchild;`
- `y = x->rchild;`
- `p = temp;`
- `while(temp->rchild != NULL) temp = temp->rchild;`
- `temp->rchild=y;`
- `free(x);`
- `return(p);`
- `}`

# İkili arama Ağacı– C++, Ekleme, Silme, Dolaşma

- `/* bu kod dugumun sahip oldugu cocukları silmek icindir.*/`
- `if( x->lchild != NULL && x->rchild != NULL) {`
- `if(y->lchild == x) {`
- `temp = x->lchild;`
- `y->lchild = x->lchild;`
- `while(temp->rchild != NULL) temp = temp->rchild;`
- `temp->rchild=x->rchild;`
- `x->lchild=NULL;`
- `x->rchild=NULL;`
- `}`
- `else {`
- `temp = x->rchild;`
- `y->rchild = x->rchild;`
- `while(temp->lchild != NULL)`
- `temp = temp->lchild;`
- `temp->lchild=x->lchild;`
- `x->lchild=NULL;`
- `x->rchild=NULL;`
- `}`
- `free(x);`
- `return(p); }`



# İkili arama Ağacı– C++, Ekleme, Silme, Dolaşma

```

○ /* bu kod çocukları ile birlikte bir dugum siliyor*/
○ if(x->lchild == NULL && x->rchild !=NULL)
○ {
○     if(y->lchild == x)
○     y->lchild = x->rchild;
○     else
○         y->rchild = x->rchild;
○     x->rchild=NULL;
○     free(x);
○     return(p);
○ }
○ if( x->lchild != NULL && x->rchild == NULL)
○ {
○     if(y->lchild == x)
○         y->lchild = x->lchild ;
○     else
○         y->rchild = x->lchild;
○     x->lchild = NULL;
○     free(x);
○     return(p);
○ }

```

# İkili arama Ağacı– C++, Ekleme, Silme, Dolaşma

```
○ /* bu kod çocukları olmadan bir dugumu siliyor*/  
○ if(x->lchild == NULL && x->rchild == NULL)  
○ {  
○     if(y->lchild == x)  
○         y->lchild = NULL ;  
○     else  
○         y->rchild = NULL;  
○     free(x);  
○     return(p);  
○ }  
○ }  
○ }
```

# İkili arama Ağacı– C++, Ekleme, Silme, Dolaşma

```

○ /*inorder binary agacını tekrarlamalı olarak yazdıran bir fonksiyon*/
○ void inorder1(struct tnode *p) {
○   struct tnode *stack[100]; //yigin
○   int top;
○   top = -1;
○   if(p != NULL) {
○     top++;
○     stack[top] = p;
○     p = p->lchild;
○     while(top >= 0) {
○       while ( p!= NULL)/* sol cocuk yigindan (stack dizisinden) cikariliyor*/
○       {   top++;
○         stack[top] =p;
○         p = p->lchild; }
○     p = stack[top];
○     top--;
○     printf("%d\t",p->data);
○     p = p->rchild;
○     if ( p != NULL) /* sag cocuk cikariliyor*/
○     {   top++;
○       stack[top] = p;
○       p = p->lchild; } } } }

```

# İkili arama Ağacı– C++, Ekleme, Silme, Dolaşma

- /\* Oluşturulan ağaca yeni bir düğüm ilave etmek için oluşturulan bir fonksiyon\*/
- struct tnode \*insert(struct tnode \*p,int val) {
- printf("Ağaca eklendi\n");
- struct tnode \*temp1,\*temp2;
- if(p == NULL) {
- p = (struct tnode \*) malloc(sizeof(struct tnode)); /\* koke bir düğüm ilave ediliyor\*/
- if(p == NULL) {
- printf("Erisim izni yok\n");
- exit(0); }
- p->data = val;
- p->lchild=p->rchild=NULL; }
- else
- {
- temp1 = p;
- /\* child (cocuk) olacak düğümün pointer(gostergesini) almak için ağacda dolasma\*/
- while(temp1 != NULL)
- {
- temp2 = temp1;
- if( temp1 ->data > val) temp1 = temp1->lchild;
- else temp1 = temp1->rchild;
- }

# İkili arama Ağacı– C++, Ekleme, Silme, Dolaşma

- if( temp2->data > val) {
- temp2->lchild = (struct tnode\*)malloc(sizeof(struct tnode));/\*Sol cocuk (left child) olarak yeni olusturulan dugumu ekler\*/
- temp2 = temp2->lchild;
- if(temp2 == NULL) {
- printf("Erisim izni yok\n");
- exit(0);     }
- temp2->data = val;
- temp2->lchild=temp2->rchild = NULL; }
- else {
- temp2->rchild = (struct tnode\*)malloc(sizeof(struct tnode));/\*Sag cocuk (right child) olarak yeni olusturulan dugumu ekler\*/
- temp2 = temp2->rchild;
- if(temp2 == NULL) {
- printf("Erisim izni yok\n");
- exit(0);     }
- temp2->data = val;
- temp2->lchild=temp2->rchild = NULL; } }
- return(p);
- }

# İkili arama Ağacı– C++, Ekleme, Silme, Dolaşma

- void main()
- {
- struct tnode \*root = NULL;
- int n,x;
- printf("Ağaçtaki düğümlerin sayisini giriniz\n");
- scanf("%d",&n);
- while( n-->0)
- {
- printf("Degerleri giriniz\n");
- scanf("%d",&x);
- root = insert(root,x);
- }
- printf("Olusturulan agac :\n");
- inorder1(root);
- printf("\n Silinencek dugumun degeri giriniz\n");
- scanf("%d",&n);
- root=delete1(root,n);
- printf("Dugum agactan silindikten sonra \n");
- inorder1(root);
- }

```
(Inactive C:\TCWIN\BIN\NONAME00.EXE)
Ağaçtaki düğümlerin sayisini giriniz
4
Degerleri giriniz
5
Agaca eklendi
Degerleri giriniz
6
Agaca eklendi
Degerleri giriniz
1
Agaca eklendi
Degerleri giriniz
2
Agaca eklendi
Olusturulan agac :
1      2      5      6
  Silinencek dugumun degeri giriniz
1
kok pointer
Dugum agactan silindikten sonra
2      5      6
```

# İkili arama Ağacı– C# (1. Örnek)

- **İkilik Arama Ağacı Oluşturmak**
- `class bstNodeC`
- `{`
- `public int sayi;`
- `public bstNodeC leftNode, rightNode;`
- `public bstNodeC(int sayi, bstNodeC leftNode, bstNodeC rightNode)`
- `{`
- `this.sayi = sayi;`
- `this.leftNode = leftNode;`
- `this.rightNode = rightNode;`
- `}`
- `}`

# İkili arama Ağacı– C# (1. Örnek)

- `private void preOrder(bstNodeC node)`
- `{`
- `listBox1.Items.Add(node.sayi);`
- `if (node.leftNode != null) preOrder(node.leftNode);`
- `if (node.rightNode != null) preOrder(node.rightNode);`
- `}`
- `private void inOrder(bstNodeC node)`
- `{`
- `if (node.leftNode != null) inOrder(node.leftNode);`
- `listBox1.Items.Add(node.sayi);`
- `if (node.rightNode != null) inOrder(node.rightNode);`
- `}`
- `private void postOrder(bstNodeC node)`
- `{`
- `if (node.leftNode != null) postOrder(node.leftNode);`
- `if (node.rightNode != null) postOrder(node.rightNode);`
- `listBox1.Items.Add(node.sayi);`
- `}`



# İkili arama Ağacı– C# (1. Örnek)

- `//Boşaltma (makeEmpty)`
- `private void makeEmpty(bstNodeC node)`
- `{`
- `if (node.leftNode != null) makeEmpty(node.leftNode );`
- `if (node.rightNode != null) makeEmpty(node.rightNode);`
- `node = null;`
- `}`
- `//Arama (find)`
- `private void find(int sayi, bstNodeC node)`
- `{`
- `if (node.sayi == 0) textBox2.Text = "Boş ağaç";`
- `else if ((sayi < node.sayi)&&(node.leftNode!=null))`
- `find(sayi, node.leftNode);`
- `else if ((sayi > node.sayi)&&(node.rightNode!=null))`
- `find(sayi, node.rightNode);`
- `else if (sayi == node.sayi) textBox2.Text = "Sayı bulundu";`
- `else textBox2.Text = "Sayı yok";`
- `}`

# İkili arama Ağacı– C# (1. Örnek)

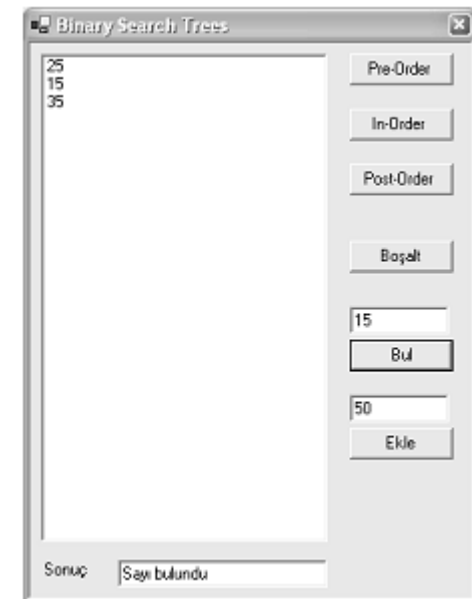
- `//Ekleme (append)`
- `private void append(int sayi, bstNodeC node) {`
- `bstNodeC yeniNode = new bstNodeC(sayi, null, null);`
- `if (node.sayi == 0) node.sayi = sayi;`
- `else {`
- `bstNodeC current = node; bstNodeC parent;`
- `while(true)`
- `{ parent = current;`
- `if(sayi < current.sayi)`
- `{ current = current.leftNode;`
- `if(current == null) {parent.leftNode = yeniNode;break; }`
- `}`
- `else`
- `{ current = current.rightNode;`
- `if(current==null) { parent.rightNode = yeniNode; return; }`
- `}`
- `}`
- `}`
- `}`

# İkili arama Ağacı– C# (1. Örnek)

```

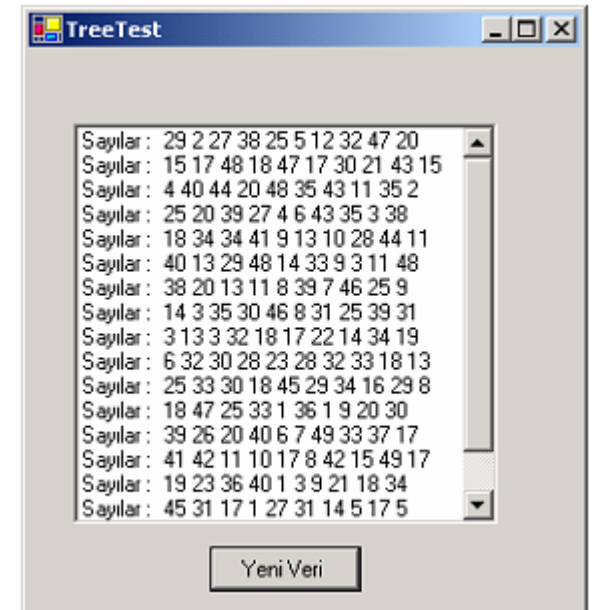
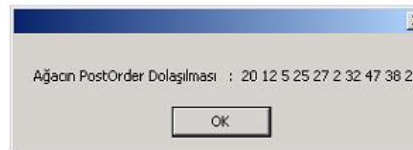
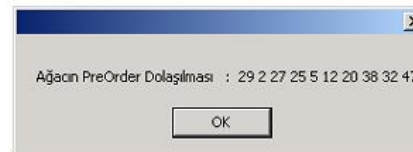
○ //Ekleme (append)
○ private void append(int sayi, bstNodeC node) {
○     bstNodeC yeniNode = new bstNodeC(sayi, null, null);
○     if (node.sayi == 0) node.sayi = sayi;
○     else {
○         bstNodeC current = node; bstNodeC parent;
○         while(true)
○         { parent = current;
○         if(sayi < current.sayi)
○         { current = current.leftNode;
○         if(current == null) {parent.leftNode = yeniNode;break; }
○         }
○         else
○         { current = current.rightNode;
○         if(current==null) { parent.rightNode = yeniNode; return; }
○         }
○         }
○     }
○ }

```



## İkili arama Ağacı– C# (2. Örnek)

- “TreeTest” adlı programın formu üzerinde 1 adet liste kutusu ve 1 adet düğme bulunmaktadır. “Yeni Veri” düğmesine basıldıkça, 1 ile 50 arasında 10 tane rastgele sayı üretmektedir ve arka arkaya gelen üç mesaj penceresi ile, InOrder, PreOrder ve PostOrder dolaşmalarda ikili ağaç üzerinde hangi düğüm sırasının izleneceğini göstermektedir.



## İkili arama Ağacı– C# (2. Örnek)

```

○      public class GLOBAL {   public static string tempStr; }
○      class TreeNode
○      { public int data;   public TreeNode leftChild;   public TreeNode rightChild;
○        public void displayNode()   { GLOBAL.tempStr += (" "+data); }
○      }
○      // Ağaç Sınıfı
○      class Tree
○      { private TreeNode root;
○        public Tree()   { root = null; }
○        public TreeNode getRoot()   { return root; }
○      // Ağacın preOrder Dolaşılması
○      public void preOrder(TreeNode localRoot)
○      {
○        if(localRoot!=null)
○        {
○          localRoot.displayNode();
○          preOrder(localRoot.leftChild);
○          preOrder(localRoot.rightChild);
○        }
○      }

```

## İkili arama Ağacı– C# (2. Örnek)

```
○ // Ağacın inOrder Dolaşılması
○ public void inOrder(TreeNode localRoot)
○ {
○     if(localRoot!=null)
○     {
○         inOrder(localRoot.leftChild);
○         localRoot.displayNode();
○         inOrder(localRoot.rightChild);
○     }
○ }
○ // Ağacın postOrder Dolaşılması
○ public void postOrder(TreeNode localRoot)
○ {
○     if(localRoot!=null)
○     {
○         postOrder(localRoot.leftChild);
○         postOrder(localRoot.rightChild);
○         localRoot.displayNode();
○     }
○ }
```

## İkili arama Ağacı– C# (2. Örnek)

```
○ // Ağaca bir düğüm eklemeyi sağlayan metot
○ public void insert (int newdata)
○ {
○     TreeNode newNode = new TreeNode();
○     newNode.data = newdata;
○     if(root==null)    root = newNode;
○     else
○     {
○         TreeNode current = root;
○         TreeNode parent;
○         while(true)
○         {
○             parent = current;
○             if(newdata<current.data)
○             {
○                 current = current.leftChild;
○                 if(current==null)
```

## İkili arama Ağacı– C# (2. Örnek)

```
○      {    parent.leftChild=newNode;
○          return;
○      }
○      }
○      else
○      {
○          current = current.rightChild;
○          if(current==null)
○          {
○              parent.rightChild=newNode;
○              return;
○          }
○      }
○      } // end while
○      } // end else not root
○      } // end insert()
○      } // class Tree
```



## İkili arama Ağacı– C# (2. Örnek)

```

○ private void dugme1_Click(object sender, System.EventArgs e) {
○     Random r = new Random();           Tree theTree = new Tree();
○     // Ağaca 10 tane sayı yerleştirilmesi
○     string str = "";    str += "Sayılar : ";
○     for (int i=0;i<10;++i)
○     {
○         int sayi = (int) (r.Next(1,50));    str += (" "+sayi);    theTree.insert(sayi);
○     }
○     listBox1.Items.Add(str);    GLOBAL.tempStr = "";
○     theTree.inOrder(theTree.getRoot());
○     MessageBox.Show("\nAğacın InOrder Dolaşılması : "+GLOBAL.tempStr);

○     GLOBAL.tempStr = "";    theTree.preOrder(theTree.getRoot());
○     MessageBox.Show("\nAğacın PreOrder Dolaşılması : "+GLOBAL.tempStr);
○
○     GLOBAL.tempStr = "";    theTree.postOrder(theTree.getRoot());
○     MessageBox.Show("\nAğacın PostOrder Dolaşılması : "+GLOBAL.tempStr);
○ }

```