



**SAKARYA**  
ÜNİVERSİTESİ

# BSM 310 YAPAY ZEKA

CEMİL ÖZ, İSMAİL ÖZTEL

~ OYUNLAR ~

# KONULAR

- Oyunlarda zeka
- Oyun teorisi
- Minimaks yöntemi
- $\alpha - \beta$  budama

## Oyunlarda zeka

- Bilgisayarların oyun oynama kabiliyetlerinin yükseltilmesi, yapay zekanın katkıda bulunduğu bir alandır.
- Bir oyununda, sanal karakterlerin zeki özellikler göstermesi, oynayan insan için daha uzun süre oyundan zevk alması anlamına gelir.
- Özellikle satranç oyununun yapay zekada özel bir yeri vardır. Yapay zekanın ilk yıllarından beri, bilgisayarların usta derecesinde satranç oynaması hedeflenmiştir.

# Oyunlarda zeka

- Satranç oyununun özellikle seçilmesinin nedenleri:
  - zeka gösterimi için uygun olması
  - insan zekası için güzel bir örnek teşkil etmesi
  - her gün karşılaşılan problemlerin aksine, açıkça formüle edilmiş kurallar içeren kısıtlı bir alan olması ve bu sebeple bilgisayarda gerçekleştirilmesinin nispeten kolay olmasıydı.
- Bilgisayarın satranç oynama kabiliyeti, ilerleyen yıllarda oldukça artmıştır.
- 1997 yılında IBM firmasının Derin Mavi isimli bilgisayarı, dünya satranç şampiyonu Garry Kasparov'u yenerek büyük yankı uyandırmıştır.

## Oyunlarda zeka

- Bilgisayarların satranç, dama gibi oyunları oynayabilmeleri için, oyunda gerçekleşebilecek tüm olası durumları gösteren bir ağaç yapısı oluşturulur.
- Bu ağaç yapısı üzerinde en elverişli duruma giden yol seçilerek hareketini yapar. Bu ağaca arama ağacı denir.
- Yapay zeka araştırmacılarının, algoritmalarından daha ziyade sezgisellikle (heuristik) ilgilenmesi, yapay zekayı alan olarak özgün kılan bir kriterdir.

# Oyunlarda zeka

- Genel anlamı ile algoritma, genel bir problem için belirsiz olmayan ve problemin her örneği için sonlanan, kesin, doğru sonuçlar veren bir yordam ya da akış dizgeleri topluluğudur.
- Bir sezgiselin, bir algoritma olarak görülememesin en önemli sebepleri şunlardır:
  - Sezgisel, problemin herhangi bir örneği için sonlanmayabilir
  - veya sezgiseldeki bazı sorunlardan dolayı ve/veya problemin tam tanımlanamamasından dolayı, sezgiselin, problemin tüm örnekleri için doğru olduğu kanıtlanamayabilir.

## Oyunlarda zeka

- Herhangi bir arama yordamı, sonsuz ve içinde çözüm olmayan bir alan problemi için, sonsuza kadar çalışır.
- Pratikte, yapay zeka programları, önceden belirlenmiş zaman, yer, veya iş hacmine ulaştıkları zaman sonlanırlar.
- Program, bu sonlanma noktaları, çözüm içeren noktaya ne kadar yakın olsa bile, herhangi bir çözüm bulunamadığını rapor ederek sonlanır.

## Oyunlarda zeka

- Bazı oyunların bilgisayar tarafından en iyi şekilde oynanabilmesi için farklı kuruluşlar tarafından ödüller belirlenir.
- Örneğin Japonya GO oyunu oynayabilen program için \$1.000.000 ödül vadetmişti.
- Kuralları basit olsa da durum uzayı çok büyük olduğu için en güçlü GO programın 2050'li yıllarda tasarlanabileceği bile öne sürülmüştür.
- Oyunun başlangıcında 361 hamle varken, ortalarında 200 hamle vardır. (satrançta ortalama 50'dir.)



# Oyunlarda zeka



## Oyunlarda zeka

- Yapay zeka barındıran oyunlarda sezgisel fonksiyonun belirlenmesi çok önemlidir.
- Sezgiselliğin önemli olmasının yanı sıra iyi bir değerlendirme için durum uzayının çok büyük bir kısmının taranması gerekebilir.
- Bu durum iyi bir programcı olmakla beraber matematik ve oyun teorisi bilgisi de gerektirir.
- Oyunlar genellikle üç sınıfa ayrılır: rastgele sonuçlu oyunlar, ustalık gerektiren oyunlar, stratejik oyunlar.

# Oyunlarda zeka

- rastgele sonuçlu oyunlar
  - Tavla, iskambil, ...
- ustalık gerektiren oyunlar
  - Güreş, futbol, golf, ...
- stratejik oyunlar
  - Dama, tic-tac-toe, satranç, ...

# Oyun teorisi

- Oyun teorisinin temeli 1928 yılında minimaks teoreminin John Von Neumann tarafından ispatlanması ile atılmıştır.
- 1943 yılında oyun teorisinin ekonomi ile ilgili uygulamalarının bulunduğu kitap yayımlandı ve yazarlardan biri Neumann'du.
- Kitabın büyük çoğunluğu sıfır toplamli iki kişilik oyunlar ile ilgiliydi.
- İki kişiden fazla oyuncuların bulunduğu oyunlara kitapta yer verilmesine rağmen bu tür oyunların çözümünün olduğu kanıtlanmamıştı.

# Oyun teorisi

- 1950 yılında John Forbes Nash, Neumann'ın yaklaşımını genelleştirerek çok sayıda oyuncunun bulunduğu oyunlarda denge teoremini ispat etti.
- Bugün Nash dengesi olarak bilinen bu yaklaşım ekonomi, askeri, siyasi gibi farklı alanlarda kendine yer bulabilen önemli bir kavramdır.
- Günümüzde bilinen oyun teorisi temelde iki teoreme dayanır:
  - Neumann'ın minimum-maksimum teoremi
  - Nash'in denge teoremi

## Oyun teorisi – kazanç matrisi

- Bir çok ekonomik, sosyal, siyasi problemlerde karşılıklı çatışma ve rekabet vardır.
- Çelişkili durumları içeren bu ve benzeri problemlerde çözüm için oyun teorisi başvurulan yöntemlerden biridir.
- Bu yaklaşım sayesinde taraflar kendi kazançlarını maksimum seviyeye getirmek için bilgi edinirler.


## Oyun teorisi – kazanç matrisi

- İki kişilik stratejik oyunlarda bir tarafın kazanması diğer tarafın kaybetmesine eşittir.
- Bu oyunlara "sıfır toplamli iki taraflı" oyunlar denir.
- İki kişilik oyunlara örnek olarak aşağıdakiler verilebilir:
  - Kart açmaca
  - Para atmaca
  - Parmak açmaca
  - Tek-çift oyunu
  - Uçaksavar problemi
  - ...

## Oyun teorisi – kazanç matrisi – kartların açılması

- A oyuncusunda üzerine bir yazılmış beyaz ve siyah iki kart 

1	1
---	---
- B oyuncusunda üzerinde bir yazan siyah ve üzerinde sıfır yazan iki beyaz kart vardır. 

1	0	0
---	---	---
- Tüm kartların arka yüzeyleri ise mavidir. 
- İki oyuncu da aynı zamanda kartlarından birini açıyor.
- Renkler aynı ise A oyuncusu açılan sayıların farkı kadar puan kazanır.
- Kartlar farklı renkte ise açılan sayıların farkı kadar puanı B kazanır.



## Oyun teorisi – kazanç matrisi – kartların açılması

- Bu ve benzeri oyunları stratejik bir şekilde oynayabilmek için kazanç matrisinin oluşturulması lazım.
- Bu matris üzerinde oyun, A oyuncusu için incelenmektedir ( $a_{ij} = -b_{ij}$ ).
- Matrisin negatif değeri B oyuncusunun kazancını belirleyecektir.

A/B	$B_s$	$B_B$
$A_s$	0	-1
$A_B$	0	1

## Oyun teorisi – kazanç matrisi – para atmaca

- A ve B oyuncularını ellerindeki madeni parayı havaya atıyorlar.
- Yere düşen paraların yüzleri aynı ise A, farklı ise B 2 puan alır.

A/B	$B_T$	$B_Y$
$A_T$	2	-2
$A_Y$	-2	2

## Oyun teorisi – kazanç matrisi – parmak açmaca

- A ve B oyuncularını aynı zamanda yumruk halindeki ellerinden bir ya da iki parmak açıyorlar.
- Açılan parmakların toplamı 2 veya 4 olursa, toplam kadar puanı A alır.
- Toplam 3 parmak açılmış ise B 3 puan alır.

A/B	$B_1$	$B_2$
$A_1$	2	-3
$A_2$	-3	4

## Oyun teorisi – kazanç matrisi – tek-çift oyunu

- A oyuncusu avucunda 1,2,3 veya 4 tane taş gizler.
- B oyuncusu ise tek ya da çift olma olasılıklarını tahmin eder.
- B oyuncusu doğru tahmin ettiğinde eldeki taş sayısı kadar puan alır, aksi durumda puanı A alır.

B/A	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$
$B_T$	-1	2	-3	4
$B_Ç$	1	-2	3	-4

## Oyun teorisi – kazanç matrisi – kartların açılması

A/B	$B_S$	$B_B$
$A_S$	0	-1
$A_B$	0	1

- A siyah kart açarsa ya 0 puan kazanır ya da 1 puan kaybeder; Beyaz kart açarsa ya sıfır ya da 1 puan kazanır.
- A için B'nin hamlesinden bağımsız olarak beyaz kart açmak her zaman avantajlıdır.
- B için ise siyah kart seçeneği A'dan bağımsız olarak kaybını minimuma indirir.
- İki oyuncu da bu stratejiden sapmadığı sürece kazanan da kaybeden de olmayacaktır.

## Oyun teorisi – kazanç matrisi – kartların açılması

A/B	$B_s$	$B_B$
$A_s$	0	-1
$A_B$	0	1

- Bu oyun "kesin belirlenmiş oyunlar" sınıfına bir örnektir, genel özellikleri:
  - Her oyuncunun kısıtlı bir gidişi vardır
  - Oyun bir süre sonra ilginçliğini kaybeder

## Oyun teorisi – kazanç matrisi – kartların açılması

- Kazanç matrisinin ilginç bir özelliği satırında minimum olan eleman, keşişsen sütunda maksimum ise bu eleman kazanç matrisinin minimax noktasıdır.
- Kazanç matrisinde minimax noktası olan oyunlara "kesin belirlenmiş oyunlar" denir.
- Bu değer oyunun değerini ifade eder ve satırlarda oynayan ortalama olarak bu değeri kazanır.
- minimaks değeri 0 olan oyunlar dürüst oyunlardır.

A/B	$B_S$	$B_B$
$A_S$	0	-1
$A_B$	0	1

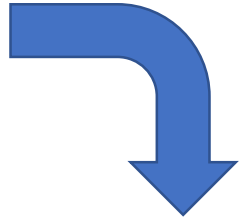
## Oyun teorisi – kazanç matrisi – uçaksavar problemi

- Yalnızca birini kullanılabileceğimiz üç farklı uçaksavar vardır:  $A_1, A_2, A_3$
- Rakibin yalnızca birini kullanabileceği üç farklı uçak vardır:  $B_1, B_2, B_3$
- Amacımız düşman uçağını düşürmek, rakibin amacı ise uçağın hasar almamasıdır.
- $A_1$  kullanıldığı taktirde  $B_1, B_2, B_3$  uçaklarının düşme ihtimalleri sırasıyla 0.9, 0.4, 0.2
- $A_2$  kullanıldığı taktirde  $B_1, B_2, B_3$  uçaklarının düşme ihtimalleri sırasıyla 0.3, 0.6, 0.8
- $A_3$  kullanıldığı taktirde  $B_1, B_2, B_3$  uçaklarının düşme ihtimalleri sırasıyla 0.5, 0.7, 0.2



# Oyun teorisi – kazanç matrisi – uçaksavar problemi

B/A	$B_1$	$B_2$	$B_3$
$A_1$	0.9	0.4	0.2
$A_2$	0.3	0.6	0.8
$A_3$	0.5	0.7	0.2



B/A	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$\alpha_i$
$A_1$	0.9	0.4	0.2	0.2
$A_2$	0.3	0.6	0.8	<b>0.3</b>
$A_3$	0.5	0.7	0.2	0.2
$\theta_j$	0.9	<b>0.7</b>	0.8	

Bizim en iyi stratejimizde garantilenmiş minimum kazancımız

Rakibin en iyi oyununda elde edeceğimiz maksimum kazanç

## Oyun teorisi – kazanç matrisi – kartların açılması

- $\alpha$  ve  $\beta$  eşit ise bu değer "oyunun değeri" dir ve  $v$  ile gösterilir.
- Bulunduğu satırın en küçük, sütunun ise en büyük sayısı olan minimaks noktası kazanç matrisi için "eyer noktası" dır.
- Minimaks noktasının bulunduğu satır ve sütun rakiplerin optimum stratejilerini belirlemiş olur.
- Bu yaklaşımlardan sapma olduğunda kayıp kaçınılmazdır.

## Oyun teorisi – kazanç matrisi


- Bir oyuncunun kendi hamlesinden önceki hamleyi bilebildiği oyunlara "tam bilgili" oyunlar denir. Ör: dama, satranç, vb.
- Satranç oyununun bir eyer noktası vardır ve her iki taraf için de optimum stratejiler için bir çözüm olmalıdır.
- Satrançtaki devasa durum uzayı ve olası hamle sayılarının büyüklüğü sebebiyle kazanç matrisi oluşturmak ve eyer noktasını bulmak teorik olarak mümkünse de pratikte imkansızdır.
- Şimdiye kadar verilen örneklerde kartların açılması oyunu hariç hangi stratejinin seçileceği çok da açık değildir çünkü minimaks noktası içermemektedirler.

## Oyun teorisi – örnek problem

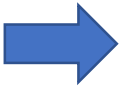
- Aşağıdaki kazanç matrisine göre üstünlük kimdedir?

	B1	B2	B3	B4	B5
A1	-7	16	56	-7	10
A2	1	8	5	-5	-3
A3	-5	74	43	-6	36
A4	-6	25	81	-5	24
A5	-5	-2	9	1	25

# Oyun teorisi – örnek problem



	B1	B2	B3	B4	B5
A1	-7	16	56	-7	10
A2	1	8	5	-5	-3
A3	-5	74	43	-6	36
A4	-6	25	81	-5	24
A5	-5	-2	9	1	25



	B1	B4
A1	-7	-7
A2	1	-5
A3	-5	-6
A4	-6	-5
A5	-5	1



	B1	B4
A2	1	-5
A5	-5	1

## Stratejiler

- Zeka oyunlarında insanlar, karşı tarafın kendisinden sonra ne tür bir hamle yapacağını bilmeden kararlar verirler.
- Burada kendi tecrübesine ve tahminlerine göre hamle yapar:
  - Eğer mümkün olan hamleler içinden bu hamleyi yaparsam rakibim bu veya şu hamleyi yapabilir... Bu durumlar içinde benim için en yararlı olan hamle budur.
- Mümkün olduğunca tüm durumlar değerlendirilir ve en iyisi olduğu düşünülen hamle yapılır.
- Bu mantıksal kurgu bilgisayar oyunları için de geçerlidir.
- Oyun için tasarlanan ağaç sayesinde bu işlemler yapılabilir.

## Stratejiler

- Örneğin tic-tac-toe oyununda  $9! = 362.880$  durum vardır.
- Simetrik durumlar çıkarıldığında bu sayı 60.000 civarı olur.
- Satrançta başlangıç hamlesi için 20 farklı gidiş yapılabilir. İlerleyen aşamalarda 400 durum...
- Bir satranç oyununda 5 gidiş sonra incelenmesi gereken dal sayısı  $40^5 = 102.400.000$

## Stratejiler

- Yapılan hesaplamalara göre saniyede 10 düğüm değerlendirebilen bir bilgisayar 4.6 milyar yıl önce çalışmaya başlasaydı (güneş sisteminin oluşumu)  $40^{12}$  durum bu güne kadar incelenmiş olabilirdi.
- Yine yapılan başka bir araştırmaya göre her durum incelemesi için 1/3 nanosaniye zaman harcayan bir bilgisayarın dama oyununda tüm durumları değerlendirebilmesi için  $10^{21}$  yüzyıl gerekir
- Bu ve benzeri problemler için bilgisayar uygulamalarında sezgisel yöntemlere başvurulmalıdır.



## Minimaks yöntemi

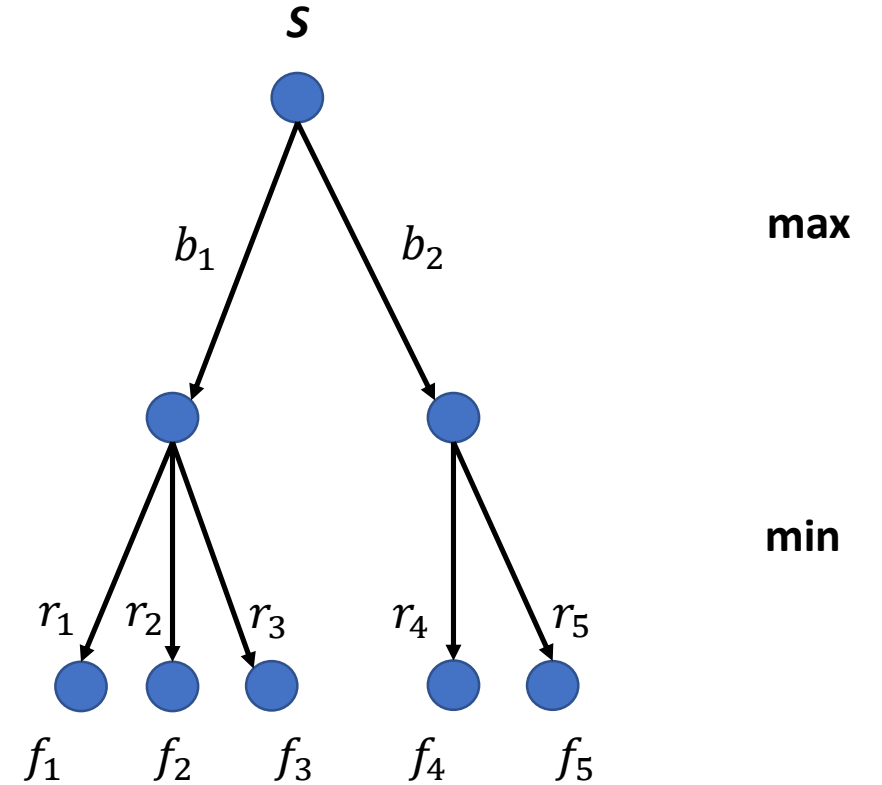
- Durum sayısı her seviyede hızlı bir şekilde artış gösteren bu tarz oyunlarda oluşturulan ağacın küçük bir kısmı incelenebilmektedir.
- Ağaç belirli bir seviyeye kadar araştırılır, sezgisel fonksiyon değerleri hesaplanır ve köke doğru hareketlenilir.
- Program, kesinleşen bu düğüm değerlerine göre en iyi hamleyi gerçekleştirir.
- Derinlik seviyesi arttıkça bilgisayarın kararları o seviyede akıllılık gösterecektir.

## Minimaks yöntemi

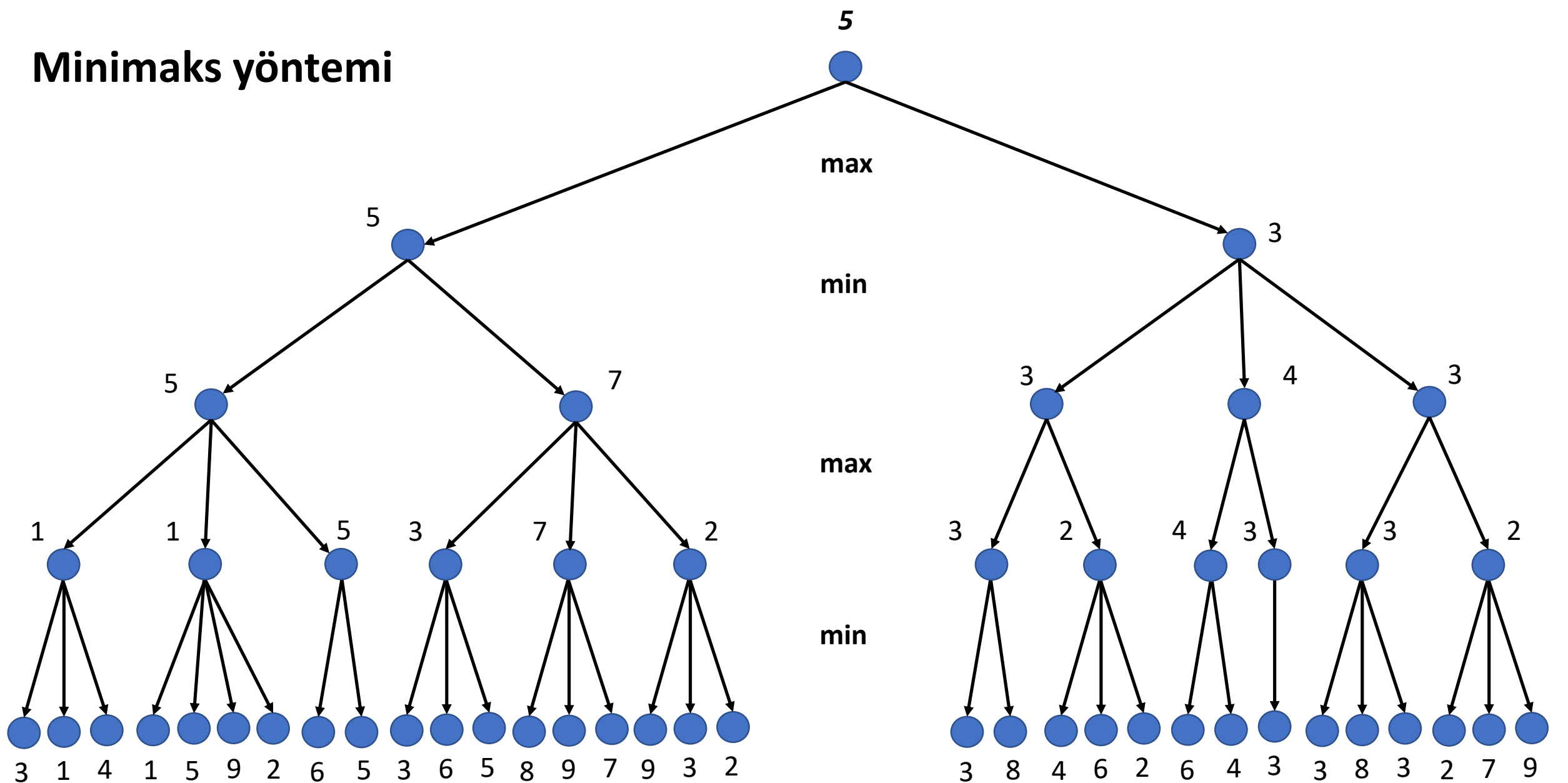
- Oyundaki taraflardan biri sezgisel fonksiyonun değerini maksimum yapmaya çalışırken, rakip ise bu değeri minimuma çekmeye çalışır.
- Burada değer fonksiyonunun önemi çok büyüktür.
- Oyundaki taraflardan biri başarılı bir şekilde karakterize edilen fonksiyonun maksimum değerlerini, diğeri ise minimum değerlerini takip ettiği için bu yönteme "minimaks" adı verilir.

# Minimaks yöntemi

- $b$  bizim hamle seçeneklerimiz,  $r$  rakibin seçenekleri
- $b$  gidişi max üzerinden olursa,  $r$  gidişleri min'e karşılık gelecektir.
- Bu durumda  $r, f$  için minimum değeri seçecektir.
- $S = \max( \min(f_1, f_2, f_3), \min(f_4, f_5) )$



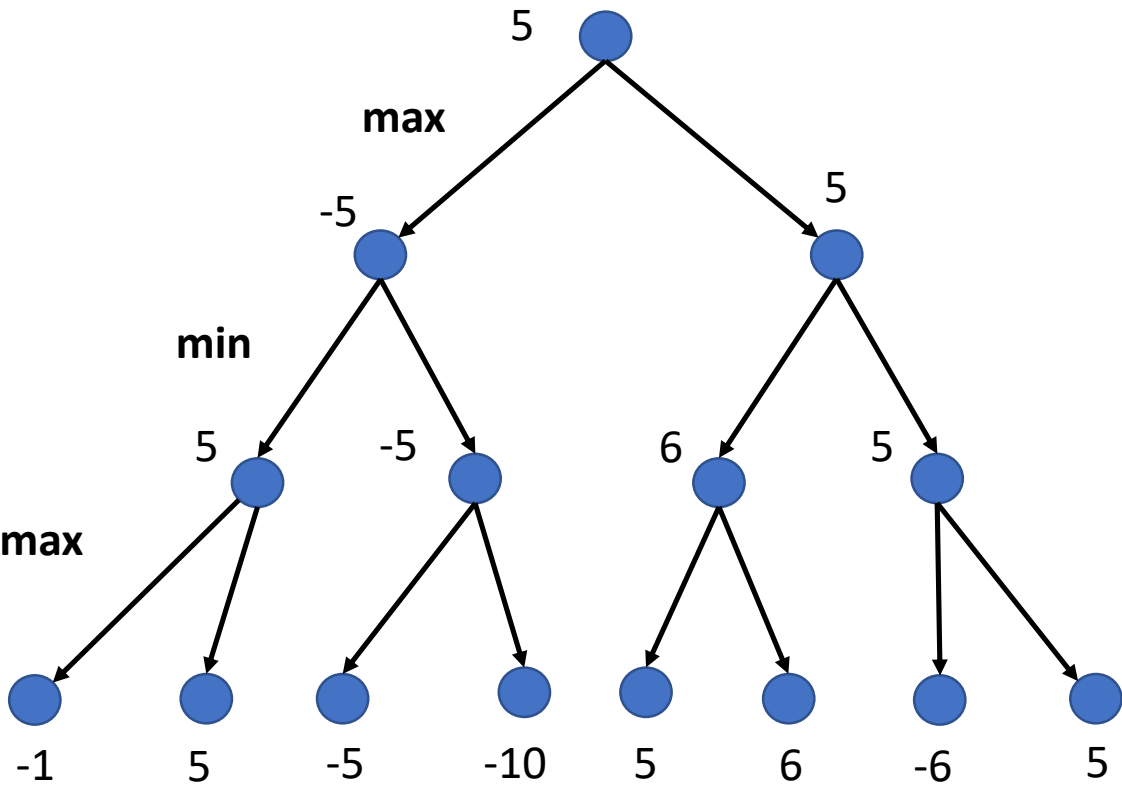
# Minimaks yöntemi



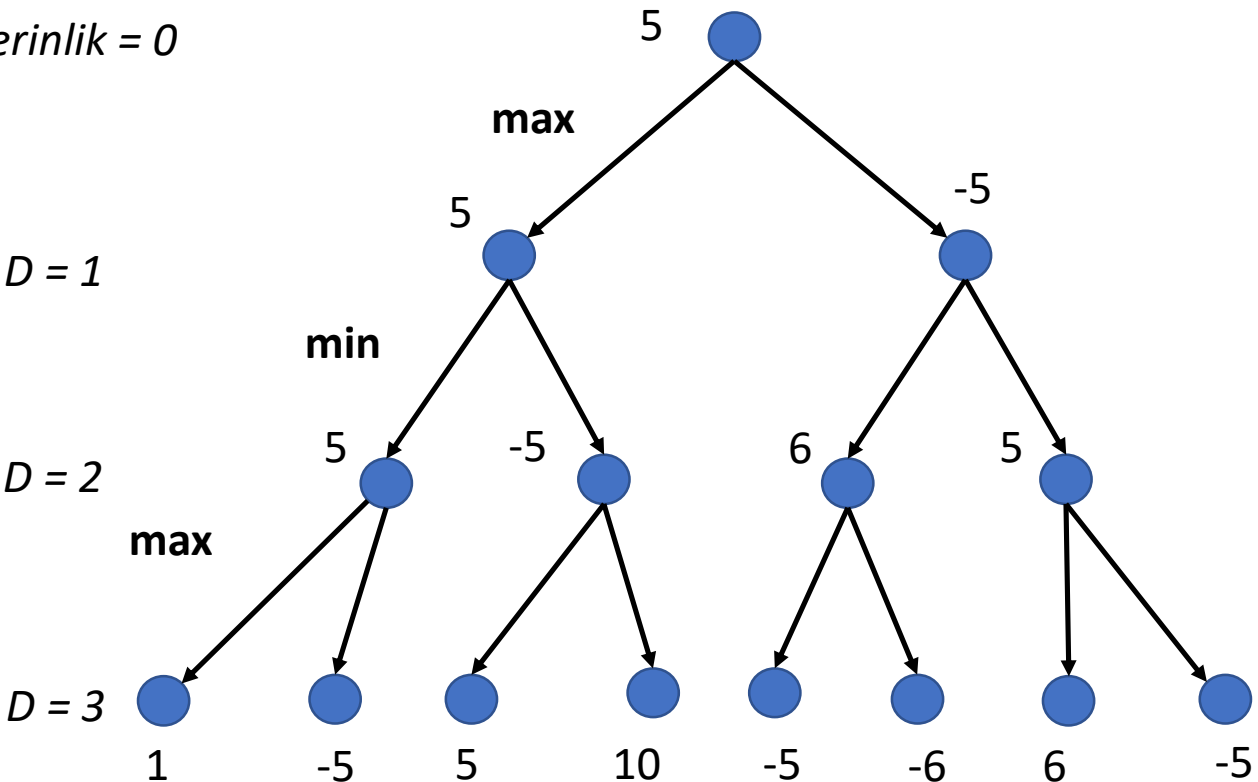
# Minimaks yöntemi

- Minimaks algoritması derinine arama yöntemi ile gerçekleştirilebilir.
- Ağaç üzerindeki bir seviyede maksimum değer seçilirken, bu seviyenin bir altında ve bir üstünde minimum değer seçilecektir.
- Bu küçük karmaşayı ortadan kaldırmak için seçilen minimum puanın negatifi alınarak değer ataması yapılır.
- Bu şekilde her seviyede minimum değer seçilmesi sağlanabilir.
- Bu sebeple minimaks algoritması "negamaks" olarak da bilinir.

# Minimaks yöntemi - negamaks



*Derinlik = 0*



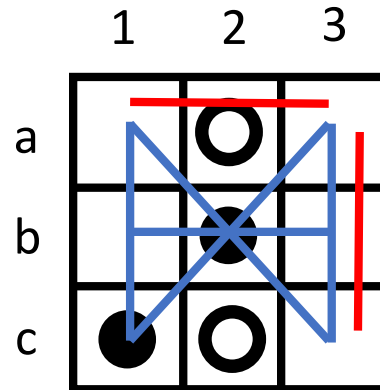
## Minimaks yöntemi – tic tac toe

- 3x3'lük alan üzerinde üçer taştan oluşan iki farklı taş grubu yerleştirilir.
- Sonraki aşamada ise oyuncular sırası ile kendi taşlarını yatay / dikey / köşegen üzerinde olmak üzere bir doğru boyunca yerleştirmeye çalışır.

	1	2	3
a		○	
b		●	
c	●	○	

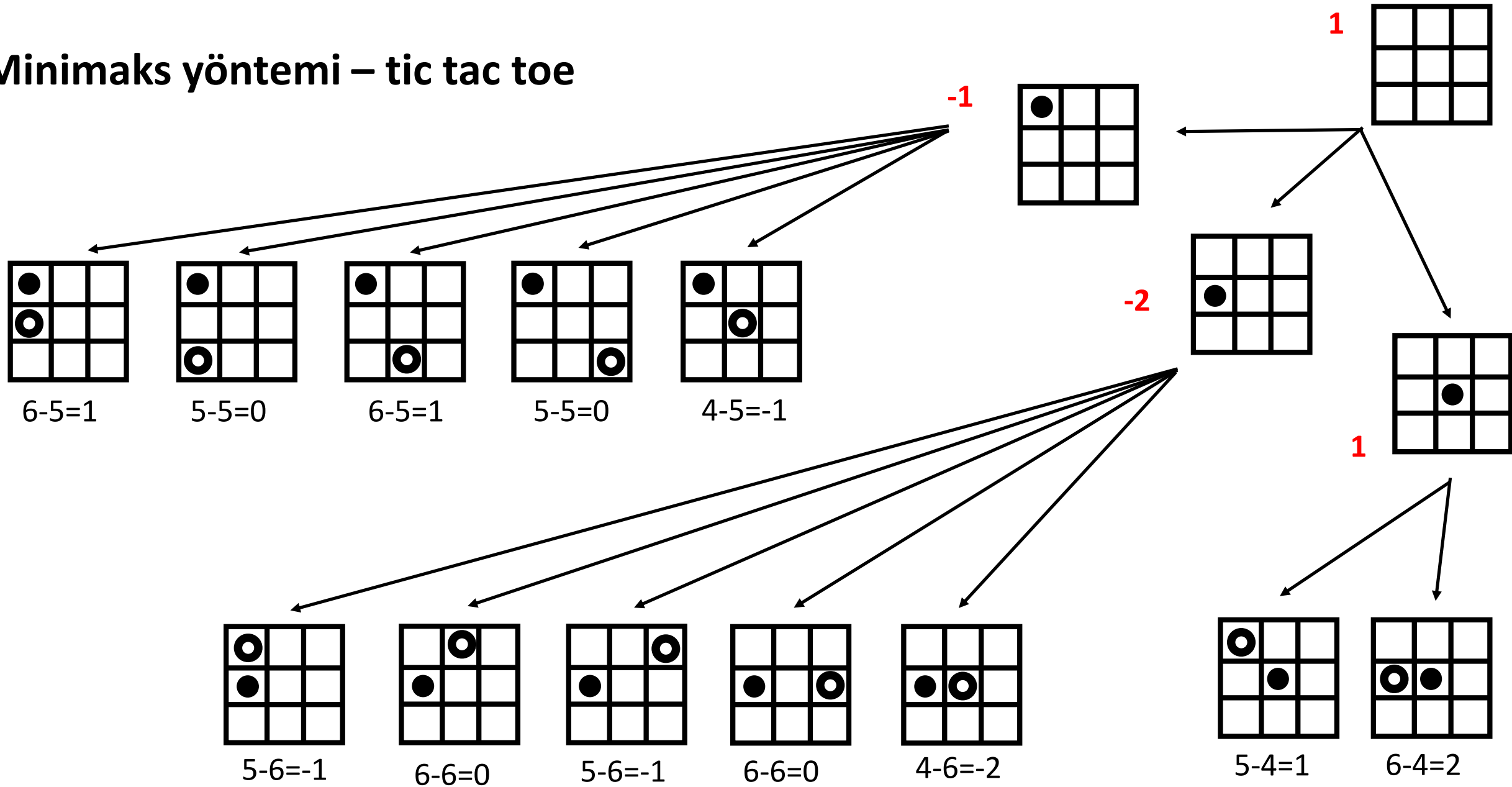
## Minimaks yöntemi – tic tac toe

- Değer fonksiyonu: her oyuncu için doğrular boyunca mümkün gidişlerin farkı
- Siyah taşlar bilgisayar, beyaz taşlar rakip
- $S = 5 - 2 = 3$





# Minimaks yöntemi – tic tac toe



## $\alpha - \beta$ budama

- Minimaks algoritmasında çözüm ağacının oluşturulması durum değerlendirmelerinden yoksundur.
- Ağaç oluşturulur ve terminal düğümler değerlendirilir.
- Ağacın büyüklüğü arttıkça durum değerlendirmeleri ve en iyi hamle için yapılan hesaplamalar için gereken zaman da artmaktadır.
- Örneğin satranç oyunu için dallanma faktörü ortalama 35 olsa, minimaks ile 6 derinliğe  $1.892.332.261 (=35^0 + 35^1 + 35^2 + 35^3 + 35^4 + 35^5 + 35^6)$  durum değerlendirmesi yapılmalıdır.

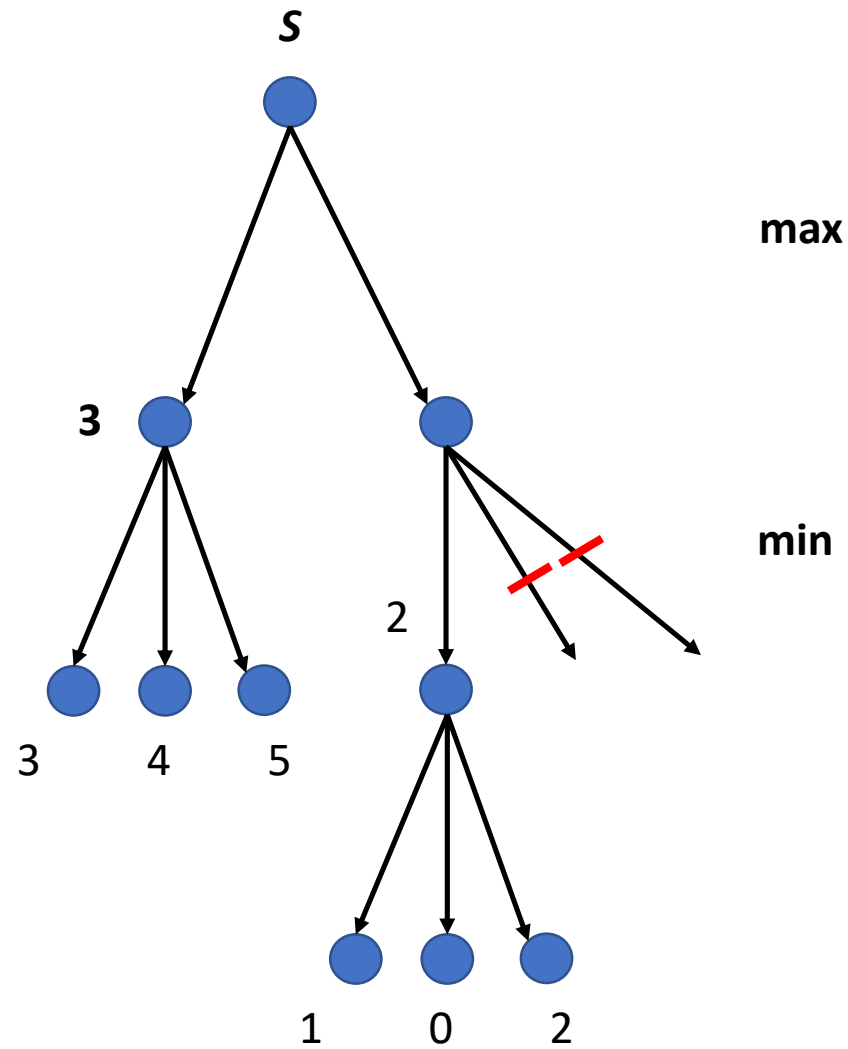
## $\alpha - \beta$ budama

- Arama ağacında bir çok durum değerlendirme dışı bırakılabilir.
- Ağaç oluşturulurken yeni sınırlamalar ile durum değerlendirmesi yapılarak minmaks algoritması daha etkin bir hale getirilebilir.
- Bunun için J. McCarty'nin önerdiği  $\alpha - \beta$  değişkenli yaklaşım kullanılmaktadır.
- $\alpha - \beta$  yönteminde amaç değeri en iyi olan gidişin bulunması değil, kötü olmayan gidişin bulunmasıdır.
- Burada  $\alpha$  MAX oyuncusu için garantilenmiş en küçük değerdir.
- $\beta$  ise MAX'ın alabileceği değerlerin en büyüğüdür.

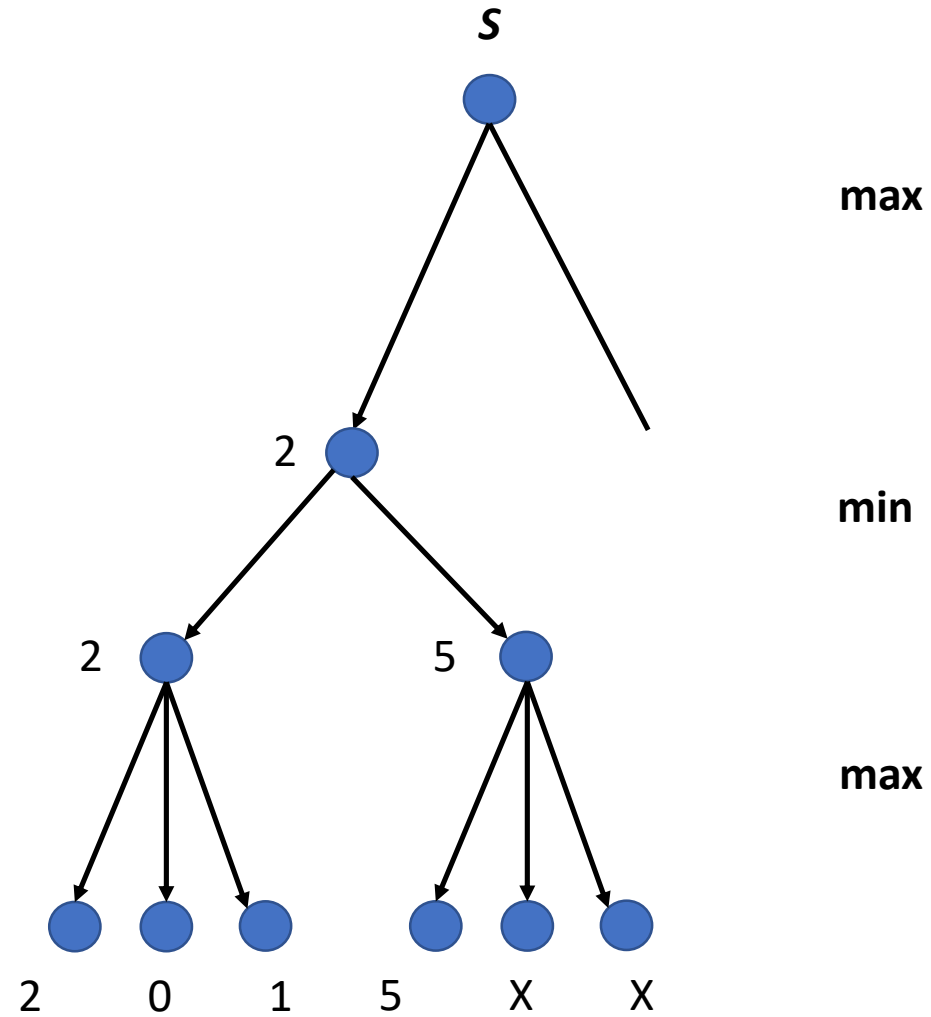
## $\alpha - \beta$ budama

- Bu şekilde oyunda aranan fonksiyon değerleri  $(\alpha, \beta)$  aralığında olur.
- Bir durum bu aralığın dışına çıkarsa değerlendirmeye katılmayabilir.
- Çözüm sırasında  $\alpha$  ve  $\beta$  değerleri değişkendir.
- Çözüm ağacında  $(\alpha, \beta)$  aralığına göre bazı dalların değerlendirmeye alınmaması budama (pruning) olarak isimlendirilir.
- Derinlik arttıkça algoritmanın etkinliği de artar.

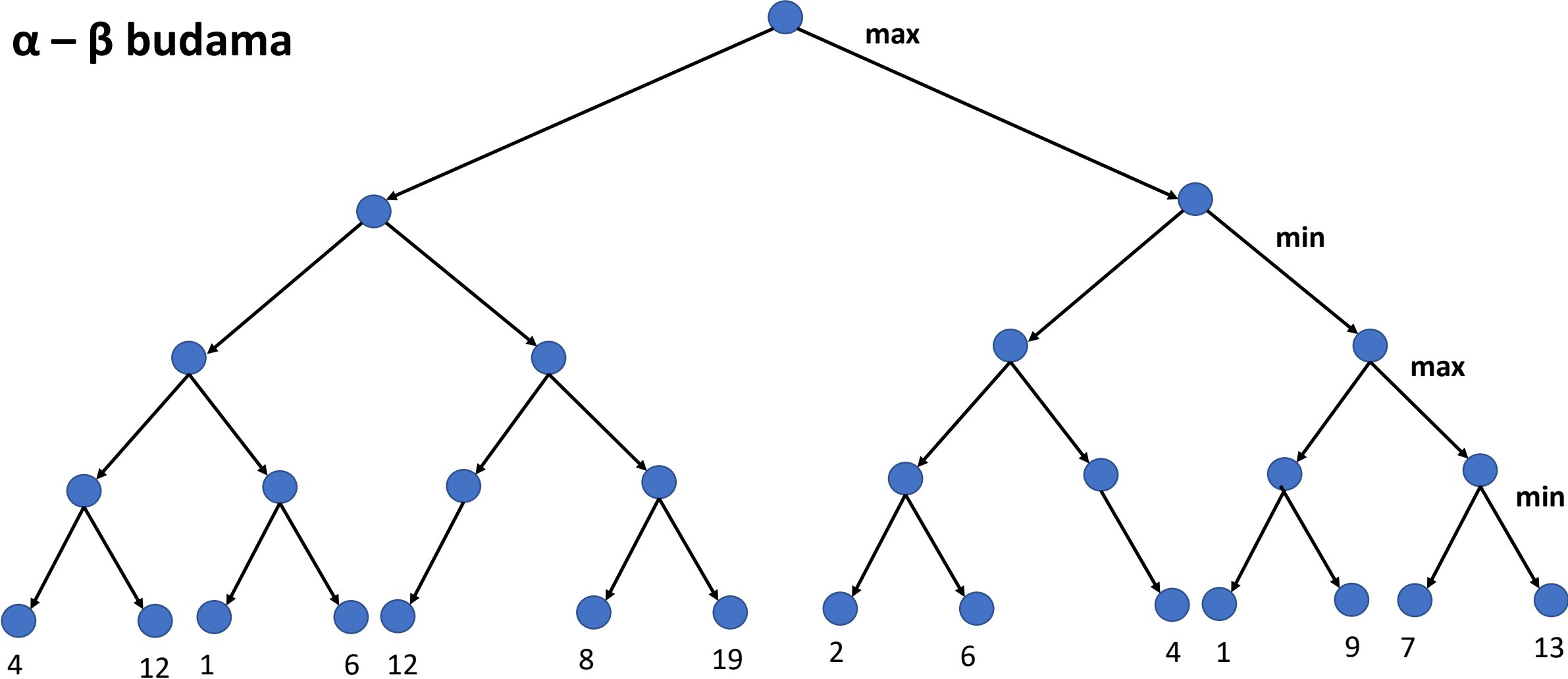
# $\alpha - \beta$ budama



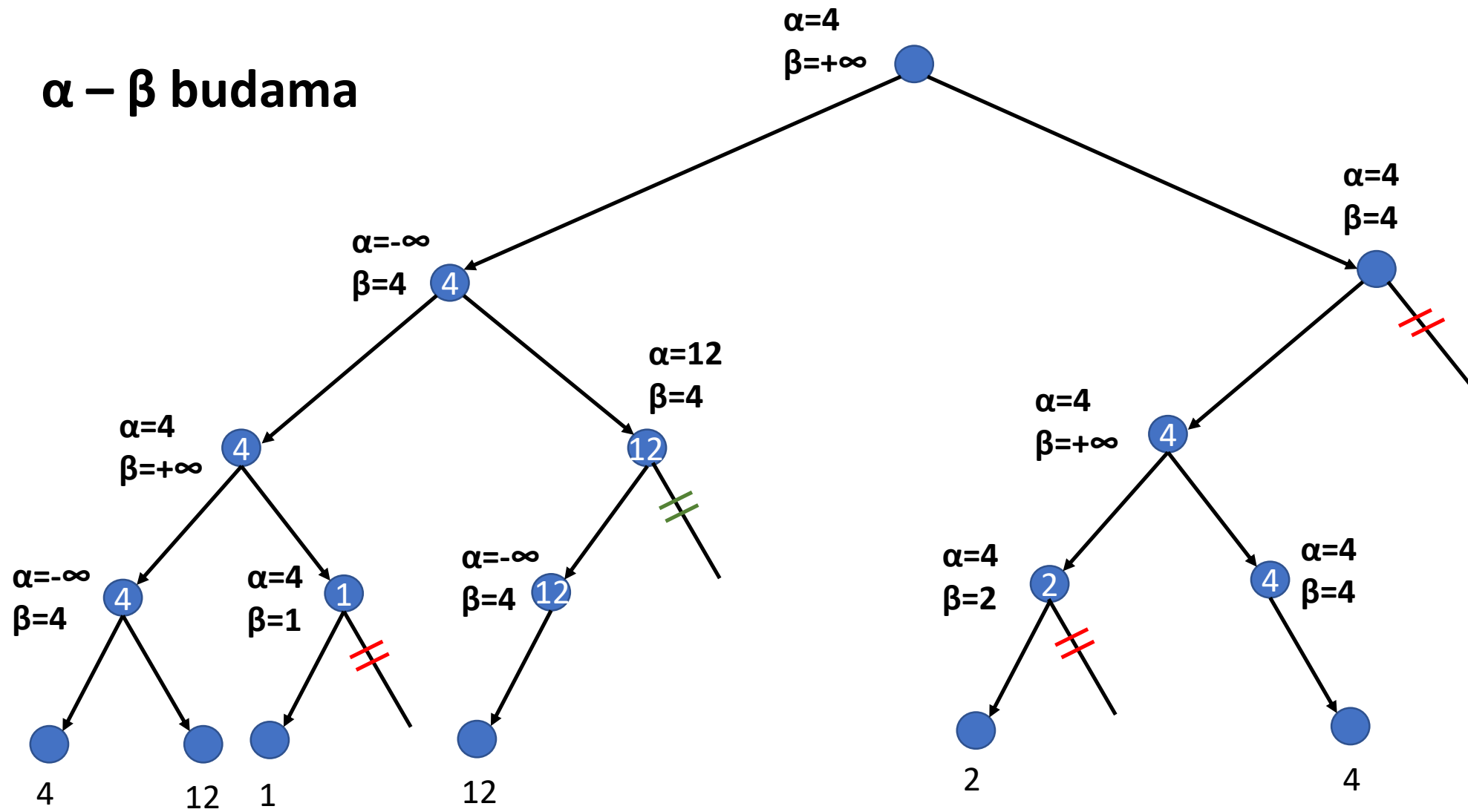
# $\alpha - \beta$ budama



$\alpha - \beta$  budama



## $\alpha - \beta$ budama

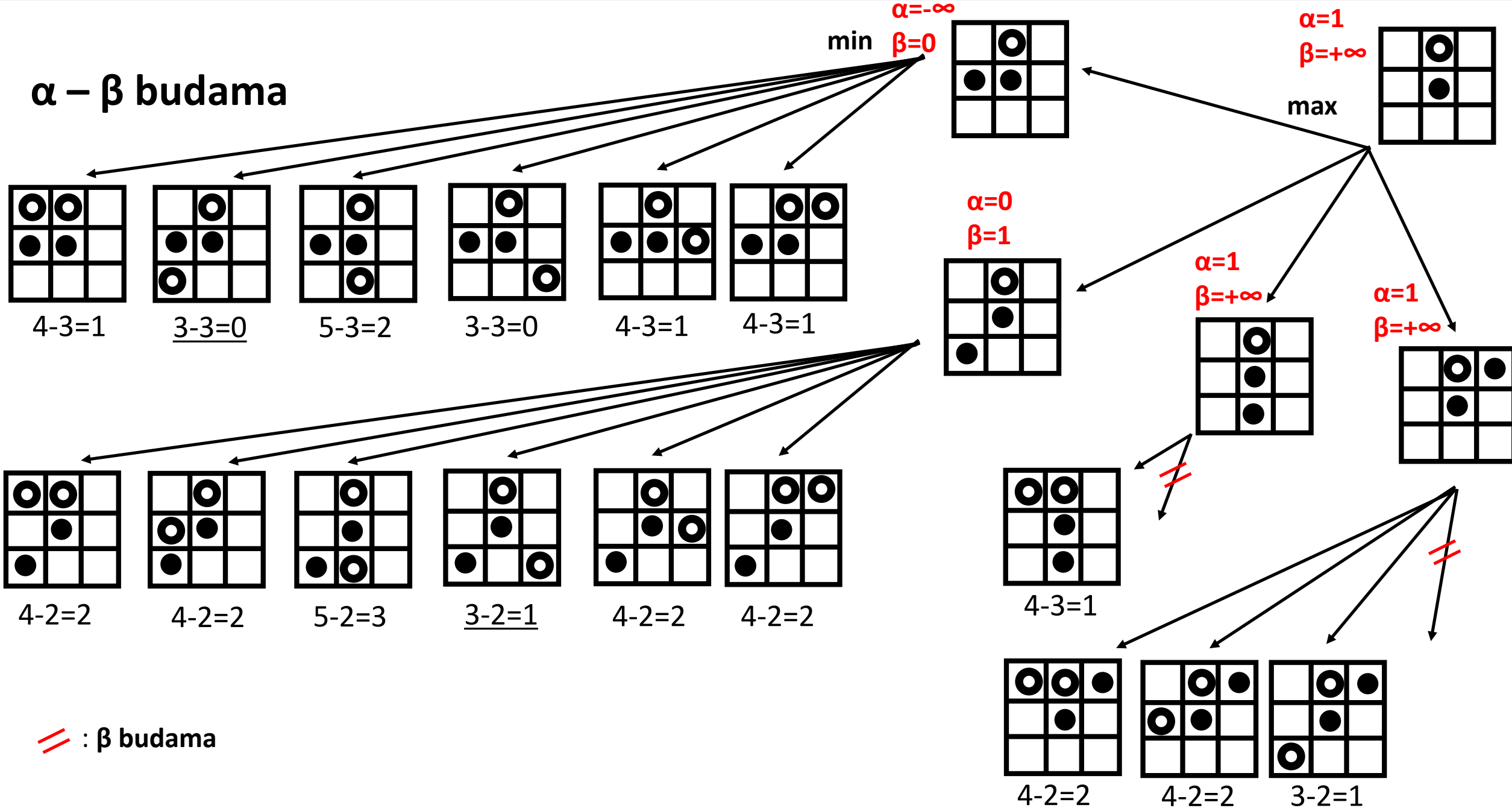


**≡ : α budama**

**β budama**



# $\alpha - \beta$ budama



// :  $\beta$  budama

# Karmaşıklığına göre oyunların sınıflandırılması

Oyun ismi	Oyun ağacı karmaşıklığı
Dama (checkers)	$10^{31}$
4*4*4 tic-tac-toe	$10^{34}$
Dama (draughts)	$10^{54}$
Othello	$10^{58}$
Satranç	$10^{123}$
Çin daması	$10^{150}$
Go	$10^{360}$