

## Yapay Zeka ile Problem Çözümü

Zeka nedir? Bu kavramın tanımı uzun süre filozofları, matematikçileri ve en sonunda yazılım bilim adamlarını uğraştırdı.

Yapay Zeka olgusu, uzun bir değişim ve ne olduğunu tam bilmeyen bir süreçten geçerek bu günlere geldi. En sonunda üzerinde mutabakat kurulan tanım, yapay zekayı iki kategoriye ayırdı.

### Genel Zeka

#### Temel Zeka

Genel zeka altında, insanların bütün zihni güçlerini ve özelliklerini birgün bilgisayar ile kopyalama, yapabilme çabası var. Tabii ki bu arayış uzun bir zaman alacak.

Öteki dal temel zeka adı altında "sadece belli problemler için özel" algoritmalar yaratarak, problem çözebilen bir zeka türü peşinde koşmaktadır. Yani zeki bir vekil yaratıp onu problemin üzerine atmak, ya da ufak bir temsilcimizi, bize benzeyen ufak bir kısmımızı yaratıp, onu problem çözmek ile görevlendirmek diye nitelendirilebileceğimiz bir zeka türüdür aranan.

Teknik olarak detaya inersek, gerçek zamanda, sürekli girdi bilgisi işleyerek hareket etmek zorunda olan zeka şeklini temel zeka altında inceliyoruz. Karar verme olgusu bu vekil zeka için çok önemlidir, özellikle belirsizlik altında bile karar verebilmek, vekil sistemler hayati önem taşır.

### Örnek Problem

Araştırmacılar, yapay zeka kodlarını denemek için bir deney ortamı ararken, şunu düşündüler. Eğer hayat bir problemler dizisi, çözüm bekleyen sorunlar, takip etmemiz gereken kurallar, ve plan gerektiren çözümler içeriyorsa, bu ortamı benzetimlemenin en rahat yolu nedir?

Şans oyunları! Öyle ya, bir oyun hayatın ufak bir kopyası gibidir, kurallar içerir, bir amaç vardır, plan gerektirir. Yapay zeka araştırmalarının oyun oynamak üzerinde bu kadar durmasının sebebi budur.

### 8 Taş Oyunu

5	4	
6	1	8
7	3	2

Start State

1	2	3
8		4
7	6	5

Goal State

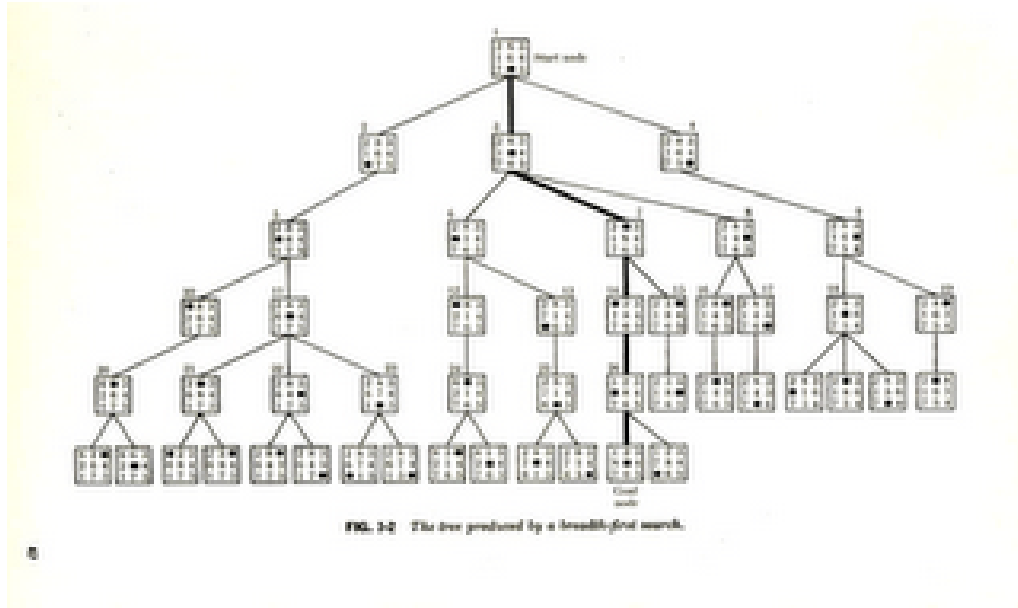
Yukarıdaki 8 taş oyununu, bilgisayara şöyle tanımlayabiliriz. Başlangıç durumu olan taşları (solda) sonuç durumuna (sağa) dönüştürmek için gerekli olan taş hareketleri

bul ve raporla kullanıcıya bildir. Bilgisayar bu sonuca birkaç değişik algoritma takip ederek ulaşabilir.

### Kör Arama

Kör, ya da mekanik, bir şekilde arama algoritmaları, başlangıç tahta durumu üzerinde yapılabilecek bütün taş hareketlerini işletir ve sonuç tahtasını kayıt eder. Mesela, başlangıç tahtasında 8 yukarı çıkabilir, 4 sağa gidebilir. (Not: Kodlama açısından daha rahat olması için her taşın hareketini değil, boşluğun hareketini baz almak daha rahat olur. Sonuç aynı, ama kodlama daha rahat. Yani, boşluk sola gidebilir, aşağı inebilir). Bu iki mübah işlemten sonuç olarak iki yeni tahta çıkacak. Onların da üzerinde olası bütün işlemleri yaparsak, daha da fazla tahtalar çıkacak, vs. Bunu yaparken bir yandan sonuç tahtasına gelip gelmediğimizi kontrol edersek, kör bir arama algoritması yazmış olacağız.

Bu işlemlerin sonuçlarını bir ağaç veri yapısı olarak temsil etmek uygun olacak. Yani resimde görülen soldaki tahta üst düğüm, iki harekettten çıkan olası yeni tahtalar o üst düğümün iki çocuğu olarak gösterilebilir. Böyle giderek elimize bir ağaç yapısı çıkacak. Örneğini aşağıda bulabilirsiniz. (resmi büyütebilirsiniz, esası daha çok detay içeriyor).



Ağaç yapısı, birazdan göreceğimiz bütün arama algoritmalarının temelini oluşturacak. Ama, bu ağacı yaratmanın değişik yolları var. Mesela, ağacın her katını mı önce oluşturmak istersiniz, yoksa bir dalı sonuna kadar derinliğine takip etmek, yoksa geri dönüp başka bir dalı mı tekrar derinliğine aramak istersiniz.

### LISP'e Giriş

Bu iki yolu, LISP örnek kodu ile derinliğine inceleyelim. LISP en eski 2. bilgisayar dilidir, ve Yapay Zeka araştırmaları için yaratılmıştır. LISP, işlev (function) bile dinamik olarak yaratıp bildirgeç olarak işlemlere verebilen bir dildir. Bu esnek yapısı yapay zeka araştırmacılarının çok işine yaramıştır.

LISP dilinde temel veri yapısı "listedir". Mesela, yukarıdaki başlangıç tahtasını LISP'de şöyle tanımlanabiliriz.

```
(setf tahta-baslangic '((5 4 nil)(6 1 8)(7 3 2)))
```

Bu kullanımda dikkat ederseniz, bir listenin listesini tanımladık. Yani, liste içeren bir liste. LISP referans kaynaklarından rahatça öğrenilebilir, böylece LISP'in çoğu işleminin liste yapısı üzerinde tanımlanan işlemler için olduğunu göreceksiniz. Zaten LISP'in ismi bile buradan gelir, LIST Processing, türkçesi "liste işlemek".

Örnek diğer bazı liste işlemleri: (car liste) komutu listenin başındaki değeri, (cdr liste) listenin geri kalan kısmını verir. (nth 2 liste) listenin baştan 3. değerini getirir, (setf liste (append 'a liste)) liste değişkenine 'a harfini ekler, vs..

Ağac yapısındaki her düğümün, arama algoritması için, üst düğümünü hatırlaması gerekiyor. Ayrıca hangi taş kaydırma ile o tahta durumuna geldiğini de hatırlaması gerekiyor. Çünkü sonuca geldiğimizde, oradan tekrar başlangıca dönerek (üstü izleyerek) kaydırma işlemlerini ekrana basarak göstereceğiz. Algoritmanın da amacı bu değil mi? Bilgisayarın sonuca nasıl geldiğini bize göstermesi!

Bu sebeple, yeni büyütülmüş liste (listenin listesi) şu hale geldi. Örnek olarak boşluğu aşağı kaydırarak, geldiğimiz bir tahtayı şöyle gösterelim.

```
;; listenin icine bakabilen islemler
(defun Durum (dugum) (first dugum))
(defun Kaydir (dugum) (second dugum))
(defun Ust (dugum) (third dugum))

;; ornek bir tahta
(setq baslangic (((1 3 2)(5 4 6)(7 8 nil))
  'asagi (((1 3 2)(5 4 nil)(7 8 6)))))

;; tahtayi ve islemleri kullanarak dugum hakkında bazi raporlar
(print "kaydir_islemi")
(kaydir baslangic)

(print "ust_dugum")
(ust baslangic)

(print "tahta_durumu")
(durum baslangic)
```

"Üst" düğümün, çocuk düğümü içine nasıl konduğunu görüyoruz. Ağaçta daha derine indikçe, liste içinde liste, onun içinde liste, onun da içinde liste gibi bu yapı daha da derinleşecektir. C ya da Java gibi dillerinde imleç (pointer) kullanarak aynı şey yapılabilir. Ama LISP bu ağaç yapısı için bile liste kullanıyor. Merak etmeyin, imleç kullanımı kadar da etkili oluyor.

Önce Genişliğine ve Önce Derinliğine Arama

Ağaç yapısını tanımladıktan sonra, algoritmaya gelelim. Kat kat arama algoritmasında, çocuk düğümleri yarattıktan sonra onları "işlenmek üzere beklettiğimiz" bir listeye koyarız. (gene mi liste?) :)

Evet. Bu yapı üzerine ekleme yaparken, ya sonra, ya başa ekleme yapmak mümkün. Eğer sona koyarsak, çocuklar en son girdiği yerden en son çıkacak, eğer başa koyarsak girdiği gibi hemen çıkacaktır. Bu şekilde kullanımın birincisi, listeyi kuyruk (queue) olarak, ikincisi yığıt (stack) olarak kullanmak anlamına gelir. Yazılım biliminde bu iki olgu çok temeldir. Her algoritma kitabında kuyruklar ve yığıtlar hakkında bilgi alabilirsiniz. Sonuçta, çocukları yığıt üzerinde bekletmişsek, arama önce genişliğine arama olur, kuyruk olarak bekletmişsek arama "önce derinliğine" arama olur.

Bu iki arama şeklinin farkı niçin önemlidir? Burada esas sormamız gereken şu olacak. Hangi arama şekli daha başarılıdır?

Bu sorunun cevabı algoritmik analiz ile verilebilir, fakat özet olarak belirtmek gerekir ki, önce genişliğine aramak istatistiki olarak daha başarılı oluyor. Derinliğine arama, ek başka algoritmalar ile destekli olarak da başarılı olabiliyor.

Gereken Kodlar ve Programlar

Ekteki dosyalar LISP derleyicisi/yorumlayıcısı ve örnek kodlar içeriyor.

Önce genişliğine aramayı, derinliğine aramaya çevirmek için tek yapmanız gereken yığıtı, kuyruğa çevirmektir.

Bir önceki yapay zeka yazısı, akıllı bilgisayarlar hakkında hayal kırıklığı yaratmış olabilir. Sonuçta gösterdiğimiz algoritma, derinliğine ya da önce genişliğine arasa bile, "bütün" sonuçları deniyor! Yani insan ile yarışmak için aslında hafıza genişliğinden ve hesap hızından yararlanıyor. Peki nerede zeka?

Bunu düşündüyseniz haklısınız. Hakikaten de, bu ilk bahsettiğimiz algoritmalar "kaba-kuvvet algoritmaları" diye anılır. Direk ileri giderler, ve gayet mekanik şekilde sonuca ulaşmaya uğraşırlar.

Fakat, bir insan olarak biliyoruz ki, akıllı olmanın bir özelliği de öğrenmektir. Yani, bazı kısa yollar bulmak, bir takım dersler çıkartarak sonuca daha hızlı ulaşmayı sağlamak insanların gayet doğal yaptığı şeylerdir. Eğer bunlar kodlanmamışsa, oyun oynayan algoritmamız kaba kuvvetten daha ileri gidemeyecek. Üstelik büyük problemler için o üstün hızı bile yetiştirebilir!

Pekala. Hadi o zaman şu programa biraz akıl verelim.

İzlenen Yolun Fiyatı

Algoritmamızın "arama" algoritmasını olarak isimlendirilmesinin sebebi, mümkün olan birçok seçenek arasından kısa olanı bulmak için "arama" yapmasıdır. Bilgisayarın önünde olan birçok seçeneğin her birinin fiyatı, yani uzunluğu, birbirinden farklıdır. Akıllı bir programa lazım olan, bu yollardan en kısa olanını bulmaktır. İnsanlar da, kendi düşüncelerini hızlandırmak için birtakım yan algoritmalar geliştirirler ve çabuk sonuca ulaşmaya uğraşırlar.

Bu fiyatı iki türlü ölçebiliriz. Birincisi, karar ağacında çözümü ararken o an üzerinde bulunduğumuz düğüme gelmek için ödediğimiz fiyat (katedilen yol), öteki de önümüzde katedeceğimiz geri kalan yoldur.

Katedilen yolun seçimde (arayışta) ne yararı var diye düşünebilirsiniz. Ekleme gerekir ki, özellikle önce-derinliğine arama algoritması bazen aynı düğüme değişik yollardan ulaşabiliyor. Bu gibi durumlarda tuttuğumuz kayıtlarda aynı düğümü bulursak, ve bu düğümün içerdiği yol daha pahalı ise, eskiyi listeden atıp, yerine yeni düğümü koymamız gerekiyor.

Nihayet akıllı bir "seçim" yaptık.

Fakat hala geriye bakıyoruz. İleriye bakarak, bilgili bir tahminde hala bulunmadık. İleriye dönük bir tahmin işlevini nasıl bilgisayar kodlarız? 8'li Bulmaca oyununu düşünürsek; oyunun herhangi bir seviyesinde tahtaya bakarak, en iyi yapılacak hareketi nasıl bulabiliriz?

#### Akıllı Tahmin

Öyle bir işlev bulalım ki, elimizde olan düğümden yarattığımız çocuk düğümler arasında hangisini takip edeceğimizi bize söylesin. Sözde program şöyle olabilir.

- Düğümü al
- Düğümün bütün olası çocuklarını yarat
- Her çocuk için, sonuç tahtasına olan tahmini bir uzaklık değeri hesapla
- Bu çocuk düğümler arasında sonuca en yakın olanı seç

Pekala, nedir bu uzaklık değeri? İşte akıl devreye burada giriyor.

Her tahta durumunun sonuca uzaklığı, tahmini olarak şöyle hesaplanabilir. Mesela, başlangıçtaki her taşı, sonuç tahtasına bakarak bulalım. Eğer sonuç tahtasındaki taş, başlangıçtaki aynı yerde değil ise, ne kadar uzakta olduğunu bulalım.

5	4	
6	1	8
7	3	2

Start State

1	2	3
8		4
7	6	5

Goal State

Üstteki iki tahta arasında, bu uzaklık değeri "5" taşı için "4" olacaktır. Çünkü 1,1 eksen konumundan 3,3 konumuna gitmiştir. Ve aradaki fark 2 aşağı 2 sağa gittiğimiz için 4'tür. Bu tür uzaklık hesabına Manhattan uzaklığı deniyor, çünkü hepsi eşit bloklar arasında yürüyerek giderken ölçülen türden bir hesap çeşididir.

Bu uzaklık hesabı, bir nevi şunu beyan etmektir. Bu tahtayı, sonuç tahtasına çevirmek için bu kadar hamle yapmak gerekiyor. Tabii ki bu hesap kesin bir hesap değildir. Tam doğru da değildir, ama, olması da gerekmez. Yeteri kadar doğru, ve en önemlisi, hiç bir zaman fazla keseden atmayan bir hesap doğru seçim için yeterlidir. Çünkü, aynı şekilde "tam doğru olmayan hesapları" öteki seçenekler için de

yapıyoruz! Yani, birbirine olan izafi bir doğruluk, sayının tamamen doğru olması etkisi yapar.

LISP kodu

Ekteki kodlarda göreceğiniz gibi, LISP kodu için 2 tane işlem tanımlamak gerekti. G-güncel değişkeni 'geriye bakan' türden olan fiyatı-sabit-arama algoritması için zaten gerekiyordu. Ekte olmayan, ama konu hakkında görebileceğiniz bir algoritma sırf tahmine dayanarak seçim yapmaya uğraşır, yani sadece t-güncel değerini kullanır. En güçlü olan yöntem, g-güncel ve t-güncel'in 'toplamına' dayanarak seçim yapmaktır. Böylece hem o ana kadar gözlediğimiz ölçümü, hem de ileriye bakarak yaptığımız tahmini aynı anda gözönüne almış oluyoruz.

İki hesabın birleşimine dayanarak seçim yapan arama algoritmasına  $A^*$  (a yıldız) algoritması denir. Bu kodu da a-yıldız-arama.lisp altında bulabilirsiniz.

Ayrıca, ödev olarak (yapay zeka dersi için) bizim kodladığımız,  $A^*$ 'ı kendi akıl işlevi ile genişletip, kendi t-güncel kodunu yazmamız gerekiyordu.

Bu yeni  $A^*$  t-güncel hesabı, hem taş uzaklığına dayanıyor, fakat bir toplam daha ekliyor. Eğer iki taşı değiş tokuş yaptırmamız gerekiyorsa, bu normal uzaklıktan çok daha pahalı bir işlemdir, ve 2 sayılması gerekir! Bu şekilde yapılan toplamın, ve akabinde t-güncel değerinin, algoritmayı daha geliştirdiğini göreceksiniz.

Yani biraz daha akıl kullanarak, işimizi kolaylaştırmış oluyoruz.

Listing 1: ortak.lisp

```
(defvar s0)
(defvar s1)
(defvar hata-bulma-seansi nil)
(defvar kaydir-sayisi 0)

(defun Durum (dugum) (first dugum))
(defun Kaydir (dugum) (second dugum))
(defun Ust (dugum) (third dugum))
(defun nx (durum) (nth 0 (nth 4 durum)) )
(defun ny (durum) (nth 1 (nth 4 durum)) )

(defun nil-yerini-guncellestir (dugum x y)
  (setf dugum (remove (list (nx dugum) (ny dugum))
                      dugum :test #'equal ))
  (setf dugum (append dugum (list (list x y))))
  )

;;
;; X ve Y eksen degerlerine bore liste uzerinde degis tokus
;; yap. Boylece LISP'de cok kullanilan bir suru car ve cdr
;; kullanmaya gerek kalmiyor.
;;
(defun degis-tokus-xy (matris x1 y1 x2 y2)
  (let ((gecici (nth y1 (nth x1 matris))))
    (setf (nth y1 (nth x1 matris)) (nth y2 (nth x2 matris)))
    (setf (nth y2 (nth x2 matris)) gecici))
  )
```

```

    matris
  ))

;;
;; Eger verilen noktada MIL var ise, geriye T (dogru) cevabi gonder.
(defun null-xy(matris x y)
  (null (nth y (nth x matris))))

;;
;; cocuklari toplayan (yaratan) islem.
;;
(defun cocuklari-getiren-islem (dugum)
  (let ( (result-son-dugums nil) (son-durum nil) (durum (first dugum)) )

    (setf son-durum (kaydir-yukari durum))
    (setf result-son-dugums (list (list son-durum 'yukari dugum)))

    (setf son-durum (kaydir-asagi durum))
    (setf result-son-dugums
      (append result-son-dugums (list (list son-durum 'asagi dugum)))))

    (setf son-durum (kaydir-saga durum))
    (setf result-son-dugums
      (append result-son-dugums (list (list son-durum 'saga dugum)))))

    (setf son-durum (kaydir-sola durum))
    (setf result-son-dugums
      (append result-son-dugums (list (list son-durum 'sola dugum)))))

    (setq kaydir-sayisi (+ kaydir-sayisi (length result-son-dugums)))

    result-son-dugums)) ;;and that's it Son-dugums is returned
                        ;;by the function

;;
;; copy wan't provided in my version of lisp.
;;
(defun copy (obj)
  (cond ( (null obj) nil)
        ( (listp obj) (cons (copy (first obj)) (copy (rest obj))))
        ( t obj) ) )

;;
;; My lisp has not defined this macro
;;
(defun caadddr (x)
  (car(car(cdr(cdr(cdr x))))))

;;
;; the yukari kaydir
(defun kaydir-yukari (Ust-durum)
  (let ((durum (copy Ust-durum)))
    (cond
      ((eql (nx durum) 0) nil)

```

```

    (t
      (degis-tokus-xy durum
        (- (nx durum) 1)
        (ny durum)
        (nx durum)
        (ny durum))
      (setf durum (nil-yerini-guncellestir durum (- (nx durum) 1)
        (ny durum)))
    )
  )
durum))

;;
;; the asagi kaydir
(defun kaydir-asagi (Ust-durum)
  (let ((durum (copy Ust-durum)))
    (cond
      ((eql (nx durum) 3) nil)
      (t
        (degis-tokus-xy durum
          (+ 1 (nx durum))
          (ny durum)
          (nx durum)
          (ny durum))
        (setf durum (nil-yerini-guncellestir
          durum (+ (nx durum) 1) (ny durum))))))
    durum))

;;
;; the saga kaydir
(defun kaydir-saga (Ust-durum)
  (let ((durum (copy Ust-durum)))
    (cond
      ((eql (ny durum) 3) nil)
      (t
        (degis-tokus-xy durum
          (nx durum)
          (+ 1 (ny durum))
          (nx durum)
          (ny durum))
        (setf durum (nil-yerini-guncellestir
          durum (nx durum) (+ 1 (ny durum))))))
    durum))

;;
;; the sola kaydir
(defun kaydir-sola (Ust-durum)
  (let ((durum (copy Ust-durum)))
    (cond
      ((eql (ny durum) 0) nil)
      (t
        (degis-tokus-xy durum
          (nx durum)
          (- (ny durum) 1)

```



```

                (nx durum)
                (ny durum))
    (setf durum (nil-yerini-guncellestir
                durum (nx durum) (- (ny durum) 1) ))))
durum))

;;
;; Trace
(defun sonuc-izini-bul (dugum)
  (cond ((null dugum) (print "Cozumun_Baslangici") nil)
        (t
         (sonuc-izini-bul (Ust dugum))
         (print (Kaydir dugum)))))

;;
;; funds the difference between two sets
(defun diff (x y)
  (cond ((null x) nil)
        ((not (member (first x) y :test #'equal ))
         (cons (first x)
                (diff (rest x) y)))
        (t (diff (rest x) y))))

;;
;; show # of elements in lists and number of dugums generated.
(defun sonuc-raporu-ver (acik tamamlanan baslangic)
  (print "ACIK_listesindeki_dugum_sayisi")
  (print (length acik))
  (print "TAMAMLANAN_listesindeki_dugum_sayisi")
  (print (length tamamlanan))
  (print "Toplam_Yaratilan_Dugum_Sayisi")
  (print kaydir-sayisi)
  )

;;
;; show # of elements depending on the debug flag status
(defun kac-dugum-yarattik()
  (when (eql hata-bulma-seansi T)
    (print "Su_anda_hafizada_bu_kadar_dugum_var")
    (print kaydir-sayisi))
  )

;;
;; test evaluator function
(defun test (isim exp sonuc)
  (cond
    ((equal exp sonuc) t)
    (t (print isim) (error "HATA!_Birim_test_calismadi!_"))
  ))

;;
;; tests
;;
(setq s0 '((1 3 3 1) (2 6 4 1) (5 8 2 1)))
(test "copy" (copy s0) '((1 3 3 1) (2 6 4 1) (5 8 2 1)))

```

```

(setq s0 '((1 3 3) (2 6 4) (5 8 nil)(2 2)))
(test "degis-tokus_xy_1" (degis-tokus-xy s0 2 2 1 2)
      '((1 3 3) (2 6 NIL) (5 8 4)(2 2)))

(setq s0 '((1 3 3) (2 6 4) (5 8 nil)(2 2)))
(test "null_xy" (null-xy s0 2 2) t)

(setq s0 '((1 3 3 1) (2 6 4 1) (5 8 nil 1)(1 1 1 1)(2 2)))
(test "yukari_kaydir_1_test" (kaydir-yukari s0)
      '((1 3 3 1)(2 6 nil 1)(5 8 4 1)(1 1 1 1)(1 2)))

(setq s0 '((1 3 3 1) (2 6 4 1) (5 nil 4 1)(1 1 1 1)(2 1)))
(test "yukari_kaydir_2_test" (kaydir-yukari s0)
      '((1 3 3 1)(2 nil 4 1)(5 6 4 1)(1 1 1 1)(1 1)))

(setq s0 '((1 3 nil 1) (2 6 4 1) (5 8 4 1)(1 1 1 1)(0 2)))
(test "asagi_kaydir_1_test" (kaydir-asagi s0)
      '((1 3 4 1)(2 6 nil 1)(5 8 4 1)(1 1 1 1)(1 2)))

(setq s0 '((1 3 3 1)(2 6 4 1)(5 8 nil 1)(1 1 1 1)(2 2)))
(test "degis-tokus_xy_2" (degis-tokus-xy s0 1 1 2 1)
      '((1 3 3 1)(2 8 4 1)(5 6 nil 1)(1 1 1 1)(2 2)))

(setq s0 '((1 3 3 1) (2 nil 4 1) (5 5 4 1)(1 1 1 1)(1 1)))
(test "asagi_kaydir_2_test" (kaydir-asagi s0)
      '((1 3 3 1)(2 5 4 1)(5 nil 4 1)(1 1 1 1)(2 1)))

(setq s0 '((1 nil 3 1) (2 3 4 1) (5 5 4 1)(1 1 1 1)(0 1)))
(test "saga_kaydir_1_test" (kaydir-saga s0)
      '((1 3 nil 1)(2 3 4 1)(5 5 4 1)(1 1 1 1)(0 2)))

(setq s0 '((1 3 3 1) (2 nil 4 1) (5 5 4 1)(1 1 1 1)(1 1)))
(test "saga_kaydir_2_test" (kaydir-saga s0)
      '((1 3 3 1)(2 4 nil 1)(5 5 4 1)(1 1 1 1)(1 2)))

(setq s0 '((1 nil 3 1) (2 3 4 1) (5 5 4 1)(1 1 1 1)(0 1)))
(test "sola_kaydir_1_test" (kaydir-sola s0)
      '((nil 1 3 1)(2 3 4 1)(5 5 4 1)(1 1 1 1)(0 0)))

(setq s0 '((1 3 3 1) (2 nil 4 1)(5 5 4 1)(1 1 1 1)(1 1)))
(test "sola_kaydir_2_test" (kaydir-sola s0)
      '((1 3 3 1)(nil 2 4 1)(5 5 4 1)(1 1 1 1)(1 0)))

(setq s0 '((1 3 3) (2 nil 4) (5 5 4)))
(setq s0 (append s0 '((2 3 4))))
(test "ekleme_testi" s0 '((1 3 3) (2 nil 4) (5 5 4)(2 3 4)) )

(setq s0 '((1 3 3 1) (2 nil 4 1) (5 5 4 1)(1 1 1 1)(1 1)))
(setq s0 (list s0 nil nil))
(setq s1 '((((1 NIL 3 1) (2 3 4 1) (5 5 4 1) (1 1 1 1) (0 1)) YUKARI
              (((1 3 3 1) (2 NIL 4 1) (5 5 4 1) (1 1 1 1) (1 1)) NIL NIL))
          (((1 3 3 1) (2 5 4 1) (5 NIL 4 1) (1 1 1 1) (2 1)) ASAGI
            (((1 3 3 1) (2 NIL 4 1) (5 5 4 1) (1 1 1 1) (1 1)) NIL NIL))
          (((1 3 3 1) (2 4 NIL 1) (5 5 4 1) (1 1 1 1) (1 2)) SAGA

```

```

                (((1 3 3 1) (2 NIL 4 1) (5 5 4 1) (1 1 1 1) (1 1)) NIL NIL))
                (((1 3 3 1) (NIL 2 4 1) (5 5 4 1) (1 1 1 1) (1 0)) SOLA
                (((1 3 3 1) (2 NIL 4 1) (5 5 4 1) (1 1 1 1) (1 1)) NIL NIL))))
(test "cocuk_dugum_bulucu_islemi_test" (cocuklari-getiren-islem s0) s1)

(setq s0 '(((1 NIL 3 1) (2 3 4 1) (5 5 4 1)(1 1 1 1)(0 1)))
(setq s1 '(((1 NIL 3 1) (2 3 4 1) (5 5 4 1)(1 1 1 1)(0 1)))
(test "durum_equality" (equal s0 s1) t)

(setq s0 '(((1 NIL 3 1) (2 3 4 1) (5 5 4 1)(1 1 1 1))
            YUKARI (((1 3 3 1) (2 NIL 4 1) (5 5 4 1)(1 1 1 1)) NIL NIL)))
(test "durum_test" (equal (durum s0)
                          '(((1 NIL 3 1) (2 3 4 1) (5 5 4 1)(1 1 1 1))) t)

(setf s0 '((((1 3 3 1) (2 NIL 4 1) (5 5 4 1)(1 1 1 1))(1 1)) NIL NIL)
        (((1 3 3 1) (2 3 4 1) (5 5 4 1)(1 1 1 1)(1 1)) NIL NIL)
        (((1 3 3 1) (2 5 4 1) (5 5 4 1)(1 1 1 1)(1 1)) NIL NIL)))
(setq s1 '((((1 3 3 1) (2 NIL 4 1) (5 5 4 1)(1 1 1 1)(1 1)) NIL NIL)
        (((1 3 3 1) (2 5 4 1) (6 6 6 1)(1 1 1 1)(1 1)) NIL NIL)) )
(test "diff_test" (diff s1 s0)
                '((((1 3 3 1) (2 5 4 1) (6 6 6 1)(1 1 1 1)(1 1)) NIL NIL)) )

(print "OLDU._Ortak_Birim_Testler_Basari_Ile_Calisti")

```

Listing 2: kat-kat-ara.lisp

```

(load "ortak.lisp")

;;
;; her kati arayip, bitince sonraki katta arama yapmak.
(defun kat-kat-ara (d0 ds cocuklar)

    ;; dikkat edin, icerideki liste bir dugum
    (let ( ( acik (list (list d0 nil nil) ) )
          ( tamamlanmis nil )
          ( n nil )
          ( kizlar nil ))
      (setq kaydir-sayisi 0)
      (loop
        (if (null acik) (return 'hata)) ;;hata var, geri rapor ver

        (setf n (pop acik)) ;; ilk dugumu cikart

        ;; tamamlanmis listesine n dugumunu koy, cunku birazdan onu
        ;; isleyecegiz
        (push n tamamlanmis)

        ;; sonuc dugumune geldik mi? (bulduk mu?)
        (when (equal (durum n) ds)
          (print "Sonuc_bulundu._Nasil_buldugumuz_asagida")
          (sonuc-raporu-ver acik tamamlanmis d0)
          (return (sonuc-izini-bul n))
          )

        ;; iste burada yeni cocuk dugumler cikartiyoruz

```

```

(setf kizlar (apply cocuklar (list n)))

;; hata ayıklama icin lazim olabilir
(kac-dugum-yarattik)

;; iki kere tekrar eden dugumleri cikar. (DIFF=fark demektir, iki
;; liste arasindaki benzerleri cikartir, farki getirir.
(setf kizlar
  (DIFF kizlar (append acik tamamlanmis)))

;; dikkat: yeni dugumleri listenin SONUNA koyuyoruz yazilim
;; bilimde buna 'kuyruk' veri yapisi denir. Yani, kuyruğa son
;; giren, son cikar. Yukarida 'pop (cikart)' deyince su anda
;; koydugumuz deger gelmeyecek. (liste dolu ise). Eger bu noktada
;; kuyruk yapisi kullaniliyorsa, bu algoritmayı kat-kat arama
;; haline cevirecek.
(setf acik (append acik kizlar))

)))

;;
;; testler
;;
(setq d0 '((1 NIL 3 1) (2 3 4 1) (5 5 4 1)(1 1 1 1)(0 1)))
(setq ds '((1 3 4 1) (2 3 NIL 1) (5 5 4 1)(1 1 1 1)(1 2)))
(test "basit_kat-kat-ara"
  (not (eql (kat-kat-ara d0 ds #'cocuklari-getiren-islem) 'hata)) t )

(print "OLDU._KAT-KAT-ARA_Testleri_Calisti")

```

Listing 3: kat-engelli-da.lisp

```

(load "ortak.lisp")

(defun kat-engelli-da (node goal succesors depth)

  ;;Hmmm...where did Open, Closed and N go?
  (block
    DBDFS (let ((daughters nil) )

      (if (equal (durum node) goal)
        (return-from DBDFS (sonuc-izini-bul node)))

      ;;bottomed out in the search space
      (if (= depth 1) (return-from DBDFS nil))
      ;;without finding a goal down this path

      ;;presumably we have a LIST of derived
      (setf daughters (cocuklari-getiren-islem node))
      ;;here we generate new derived durums

      ;; debugging
      (kac-dugum-yarattik)

      (loop ;;so we iterate down them looking for
        ;;a solution path...this could easily

```

```

;;be changed to a do form...

;;failed to find a solution
(if (null daughters) (return-from DBDFS nil))

(if (kat-engelli-da ;;recursive call with
    (pop daughters) ;;the first of daughters& daughters updated
    goal ;;same old goal durum
    daughters ;;same old set of operators
    (- depth 1)) ;;but a shallower depth!

    ;;here we did find a solution so we leave happy
    (return-from DBDFS t)

    ) ;;;;end if
  ) ;;;;ends loop
) ;;;ends let
) ;;;ends defun {otherwise known as "]" :) }

;;
;; outside method
;;
(defun kat-kat-arama (d0 ds cocuklar derinlik-limiti)
  (setf kaydir-sayisi 0)
  (kat-engelli-da (list d0 nil nil) ds cocuklar derinlik-limiti)
  (print "kac_dugum_yaratildi")
  (print kaydir-sayisi)
)

;;
;; outside method for iterative deepening
;;
(defun gitgide-icin-kka (d0 dg cocuklar derinlik-limiti)
  (kat-engelli-da (list d0 nil nil) ds cocuklar derinlik-limiti)
)

;;
;; tests
;;
(setq s0 '((1 NIL 3 1) (2 3 4 1) (5 5 4 1)(1 1 1 1)(0 1)))
(setq s1 '((1 3 4 1) (2 3 NIL 1) (5 5 4 1)(1 1 1 1)(1 2)))
(test "kka_derinlik_limiti" (not (eql (kat-kat-arama s0 s1 nil 3) 'fail))) t )

(print "OLDU._Kat_Engelli_Kat-Kat_Arama_Basari_Ile_Gecti")

```

Listing 4: iki-yonlu-arama.lisp

```

(load "ortak.lisp")

(defun iki-yonlu-ara (di ds ileriden-cocuklar geriden-cocuklar)
  (let ( ( acik-i (list (list di nil nil) ) ) ;;dikkat ic liste bir
        ( acik-g (list (list ds nil nil) ) ) ;;dugum

```

```

;;tamamlanan listesine ihtiyac yok
( nf      nil )
( nb      nil )
( kizlar-i nil )
( kizlar-g nil )
( ortak-dugum nil ))

(setq kaydir-sayisi 0)

(loop
  (cond
    ((or (null acik-i) (null acik-g)) ;;arama uzayini bitirdik mi?
      (print "Sorry, _the_problem_posed_is_insoluable")
      (return nil)))

    ;;Evet. İlk dugumu cikart ve Acik listeyi guncellestir
    (setf nf (pop acik-i))

    ;;agaclar icin tamamlanan listesine ihtiyac yok
    (setf ortak-dugum (member nf acik-g :test #'durum-karsilastirici))
    (when ortak-dugum
      ;; bu dugumu, geri gelen tarafta bulduk mu?
      (print "Harika._Sonuc_Bulundu:")
      (sonuc-izini-bul nf)
      (sonuc-izini-bul-geri (first ortak-dugum))
      (sonuc-raporu-ver acik-i acik-g nil nil)
      (return ortak-dugum))

    ;; burada yeni dugumler cikartiyoruz
    (setf kizlar-i (apply ileriden-cocuklar (list nf)))

    ;; hata bulmak icin rapor
    (kac-dugum-yarattik)

    ;; acik liste kuyruk olarak kullaniliyor, o yuzden algoritma
    ;; esasen kat-kat arama.
    (setf acik-i (append acik-i kizlar-i))

    ;;Tamam, ilk dugumu cikar, acik listeyi guncellestir
    (setf nb (pop acik-g))

    (setf ortak-dugum (member nb acik-i :test #'durum-karsilastirici))
    (when ortak-dugum
      ;; durum, ileri giden kisimda bulundu mu?
      (print "Harika._Sonuc_Bulundu:")
      (sonuc-izini-bul nb)
      (sonuc-izini-bul-geri (first ortak-dugum))
      (sonuc-raporu-ver acik-i acik-g nil nil)
      (return ortak-dugum))

    ;;burada yeni cocuklar yaratiyoruz
    (setf kizlar-g (apply geriden-cocuklar (list nb)))

    ;; hata bulmak icin rapor
    (kac-dugum-yarattik)

```

```

;; acik kuyruk olarak kullaniliyor , o yuzden kat-kat arama yapmis
;; oluyoruz
(setf acik-g (append acik-g kizlar-g))

) ;; closes loop
) ;; closes let
) ;; closes defun

;;
;; geri giden algorithmanin izini buluyor
;;
(defun sonuc-izini-bul-geri (dugum)
  (cond ((null dugum) (print "Geri_giden_sonucu_izliyoruz") nil)
        (t
         (if (equal 'north (Kaydir dugum)) (print 'asagi))
         (if (equal 'east (Kaydir dugum)) (print 'sola))
         (if (equal 'west (Kaydir dugum)) (print 'saga))
         (if (equal 'south (Kaydir dugum)) (print 'yukari))
         (sonuc-izini-bul-geri (Ust dugum))
         )))

;;
;; iki dugumun 'icine bakarak' durumlarini karsilastiriyor
;;
(defun durum-karsilastirici (a b)
  (if (equal (durum a)(durum b)) b))

;;
;; iki yonlu arama icin bu islemi tekrar tanımlamak gerekti..
;;
(defun sonuc-raporu-ver (acik-i acik-g start end)
  (print "#_of_items_in_OPEN_FORWARD")
  (print (length acik-i))
  (print "#_of_items_in_OPEN_BACKWARD")
  (print (length acik-g))
  (print "#_of_items_in_TOTAL_nodes")
  (print kaydir-sayisi)
  )

;;
;; testler
;;
(setq d0 '((1 2 3 4) (5 6 0 8) (9 10 7 11) (13 14 15 12) (1 2)))
(setq ds '((1 2 3 4) (5 6 7 8) (9 10 11 12) (13 14 15 0) (3 3)))
(test "bi-directional"
      (not (eql (iki-yonlu-ara d0
                               ds
                               'cocuklari-getiren-islem
                               'cocuklari-getiren-islem) 'hata)) t )

(print "Oldu..Iki_Yonlu_Arama_Testleri_Gecti")

```

Listing 5: git-gide-derin-kka.lisp

```

(load "ortak.lisp")
(load "kat-engelli-da.lisp")

;;
;; Bu sekilde kat-kat arama, kat-engelli-kka islemini cagiriyor. Bu
;; cagirmayi yaparken, her seferinde yeni bir derinlik limiti veriyor.
;; Yani, kat engeli 1 ile cagiriyoruz, sonuc bulursak guzel.
;; Bulamazsak, kat engeli 2 ile.. vs, vs.
(defun gitgide-derinlesen-kka (s0 sg sons depth ARTIS-OLCUSU)

  (block B
    (if (gitgide-icin-kka s0 sg sons depth) ;call dfs directly to depth
        (return-from B t)) ;solution found if dfs is true, so return t

    (gitgide-derinlesen-kka      ;else, try again but more deeply!
      s0                        ;the same initial state
      sg                        ;the same old goal state
      sons                      ;the same old set of operators
      (+ depth ARTIS-OLCUSU)    ;but now a deeper search!
      ARTIS-OLCUSU)            ;and increment again later if you don't succeed

    ) ;; ends block

  ) ;ends defun

(defun gitgide-derinlesen-kka-disyuz (s0 sg sons depth ARTIS-OLCUSU)
  (setf kaydir-sayisi 0)
  (gitgide-derinlesen-kka s0 sg sons depth ARTIS-OLCUSU)
  (print "#_of_nodes")
  (print kaydir-sayisi)
)

;;
;; tests
;;
(setq s0 '((1 NIL 3 1) (2 3 4 1) (5 5 4 1)(1 1 1 1)(0 1)))
(setq s1 '((1 3 4 1) (2 3 NIL 1) (5 5 4 1)(1 1 1 1)(1 2)))
(test "dfs_iterative_deepening"
      (not (eql (gitgide-derinlesen-kka-disyuz s0 s1 nil 1 1) 'fail)) t )

(print "OK._Gitgide_Derinlesen_DA_Testleri_Isliyor")

```

Listing 6: fiyati-sabit-arama.lisp

```

(load "ortak.lisp")

;; Fiyati sabit arama islemi, baslangictan sonuca giden en kisa yolu
;; bulmaya ugrasir. En kisa derken, bahsettigimiz, algoritmanin daldan
;; dala atlarken (dugumleri takip ederken) her dal fiyatinin 1 degeri
;; tasidigi algoritmadan bahsediyoruz. Bu '1' degerleri her atlayista
;; toplanir, ve, ayni dugume degisik bir yoldan gelinecek olursa, eski
;; deger (ve eski dugumun) atilip, en kisa dugumun, yani yolun,

```



```

;; kullanilmasi gerekir. Katedilen yol miktarı, G-Guncel
;; degiskeninde, her dugum icinde saklanir.

;; Dugum temsil seklini
;; (Durum Kaydir-Ismi G-Guncel Ust-Dugum)
;; olarak degistirmemiz gerekiyor.

;; bu yuzden yeni erisim islemlerini tanimlayalim.
(Defun Durum (node) (first node))
(Defun Kaydir (node) (second node))
(Defun G-guncel (node) (third node))
(Defun Ust (node) (fourth node))

;;
;; Fiyati sabit arama sirasinda her dugumun fiyati, ust dugum
;; fiyati + 1 olarak hesaplanir. Burada sadece 1 degeri geri veriyoruz.
(defun FIYAT (ust cocuk) 1)

;;
;; Unutmayalim; cocuklari-yaratan islemi de degistirmemiz gerekecek.
;; Cunku artik FIYAT degeri, problem cozumunun bir parcasi oldu.
;;

(defun fiyati-sabit-arama (d0 ds cocuklar)
  (let ( ( acik      ;; ic-liste aslinda bir dugum
          (list (list s0 nil 0 nil)))
        ;;g-guncel burada 0
        ( tamamlanan nil )
        ( n          nil )
        ( kizlar nil ))

    (setq kaydir-sayisi 0)
    (loop
      (if (null acik) (return 'hata))

      (setf n (pop acik)) ;; Oldu. Ilk dugumu cikart.

      ;; acik listesini guncellestir
      (push n tamamlanan) ;; n dugumunu tamamlanan listesine ekle

      ;; Dikkat ederseniz, acik ve tamamlanan listelerini tutmamizin
      ;; sebebi, ayni dugumlere tekrar tekrar gelmeyi engellemek. Bu
      ;; listelerde kaydedilmis dugumleri bir daha islemiyoruz.
      (if (equal (durum n) ds) ;;have we found our goal state?
          (let ()
            (print "Sonuc_Bulundu._Iste_Asagida:")
            (return (sonuc-izini-bul n))))

      ;; yeni cocuk dugumler yaratiyoruz
      (setf kizlar (apply cocuklar (list n)))

      ;; rapor verme kısmi
      (kac-dugum-yarattik)

      (setf kizlar

```

```

(DIFF kizlar tamamlanan)) ;; Tekrar eden dugumleri cikart.

;; Unutmayin, ayni dugume tekrar geldiysek, bu yeni yol
;; mutlaka eskisinden daha uzun olacaktir. Boylece, tek yapmamiz
;; gereken bu dugumu acik listesinden cikartmak.

(setf acik (UPDATE kizlar acik))

;; Acik listesini her dugumun G-guncel degerine gore
;; siraya diz. En azdan, en coga gore.
(setf acik
  (sort acik #'(lambda(dugum1 dugum2)
    (< (g-guncel dugum1) (g-guncel dugum2))))))

;; Boylece ilk dugumu aldigimizda, bu dugumun fiyati en az
;; olan dugum oldugu garanti.

) ;; loop sonu
) ;; let sonu
) ;; defun sonu

(defun UPDATE (kizlar acik)

  (let ((m nil) (bulunmus-eski-m nil))

    (loop

      ;; hepsini islediysek, isimiz bitti..
      (if (null kizlar) (return acik))

      (setf m (pop kizlar)) ;; ilk dugum uzerinde islem yapalim

      (setf bulunmus-eski-m
        (MEMBER-DURUM (durum m) acik)) ;; acikta bulduk mu?

      ;; oyle ise, bulunmus-eski-m degeri acik listesinin bir
      ;; alt-listesi olacak.
      (if bulunmus-eski-m ;; eski m acik listede bulundu ise
        ;; durum degeri ayni olan dugumu al
        (let ((old-m (first bulunmus-eski-m)))
          ;; yeni cocuk degeri g-guncel degeri
          (if (< (g-guncel m) (g-guncel old-m))
            ;; daha ucuz ise yeni dugumu tutmak lazim
            ;; eski dugumu ise yaramaz haline cevir
            ;; yeni cocuk m ile degistir
            ;; Dikkat edelim, bu sonuc ACIK listesine
            ;; kalici bir degisiklik yapacak.
            (setf (first bulunmus-eski-m) m))
          ;; yoksa ayni degerde eski dugum bulamadik
          (push m acik)
        )

      ;; o zaman m dugumunu acik listeye ekle.

```

```

    ) ;; loop sonu, sonraki dugumu dene
  ) ;; let sonu
) ;; defun sonu

;;
;; Bu islem, sadece icinde dugum bulunan alt-listeyi geri getiriyor.
;; Yani bu listenin icindeki 'durum' bildirgec olarak verilen durum
;; ile ayni ise geri veriliyor
(Defun MEMBER-DURUM (durum dugum-listesi)
  (if (null dugum-listesi) ;; if exhausted then
      nil ;; return nil
      (if (equal durum (first dugum-listesi)) ;; else if we find one
          dugum-listesi ;; return where we found it
          ;; else keep looking recursively
          (MEMBER-DURUM durum (rest dugum-listesi))))))

(defun cocuklari-getiren-islem (dugum)
  (let ( (butun-cocuk-dugumler nil)
        (cocuk-dugumler nil)
        (cocuk-durumlar nil)
        (durum (first dugum)) )

    ;; Dikkat: Yeni ogul dugumun G-guncel degeri nasil degistiriliyor.
    ;; Ust dugumun g-guncel degeri, arti oglan dugume gelmenin fiyati
    ;; Bu FIYAT formulu her algoritmaya gore degisik
    ;; olabilir. Fiyati-sabit-arama icin tanim boyledir.

    ;; yukari
    ;; apply problem dependent operator 1
    (setf cocuk-durumlar (kaydir-yukari durum))

    (setf cocuk-dugumler (list (list
                                cocuk-durumlar 'north
                                (+ (g-guncel dugum)
                                   (FIYAT (durum dugum) cocuk-durumlar))
                                dugum)))

    (setf butun-cocuk-dugumler (append butun-cocuk-dugumler cocuk-dugumler))

    ;; south
    ;; apply problem dependent operator 1
    (setf cocuk-durumlar (kaydir-asagi durum))

    (setf cocuk-dugumler (list (list
                                cocuk-durumlar 'south
                                (+ (g-guncel dugum)
                                   (FIYAT (durum dugum) cocuk-durumlar))
                                dugum)))

    (setf butun-cocuk-dugumler
      (append butun-cocuk-dugumler cocuk-dugumler))

```

```

;; east
;; apply problem dependent operator 1
(setf cocuk-durumlar (kaydir-saga durum))

(setf cocuk-dugumler (list (list
                             cocuk-durumlar 'east
                             (+ (g-guncel dugum)
                                (FIYAT (durum dugum) cocuk-durumlar))
                             dugum)))

(setf butun-cocuk-dugumler (append butun-cocuk-dugumler cocuk-dugumler))

;; west
;; apply problem dependent operator 1
(setf cocuk-durumlar (kaydir-sola durum))

(setf cocuk-dugumler (list (list
                             cocuk-durumlar 'west
                             (+ (g-guncel dugum)
                                (FIYAT (durum dugum) cocuk-durumlar))
                             dugum)))

(setf butun-cocuk-dugumler
  (append butun-cocuk-dugumler cocuk-dugumler))

(setq kaydir-sayisi
  (+ kaydir-sayisi (length butun-cocuk-dugumler)))

;; and that's it. cocuk-dugumler is returned by the function
butun-cocuk-dugumler))

;;
;; tests
;;
(setq s0 '((1 NIL 3 1) (2 3 4 1) (5 5 4 1)(1 1 1 1)(0 1)))
(setq s1 '((1 3 4 1) (2 3 NIL 1) (5 5 4 1)(1 1 1 1)(1 2)))
(test "uniform_cost_search"
  (not (eql (fiyati-sabit-arama s0 s1 #'cocuklari-getiren-islem) 'fail)) t)

(print "OK._Uniform_Cost_Tests_Passed")

```

Listing 7: a-yildiz-arama.lisp

```

(load "ortak.lisp")

(Defun Durum (dugum) (first dugum))
(Defun Kaydir (dugum) (second dugum))
(Defun G-guncel (dugum) (third dugum))
;; tguncel 'tahmin guncel' den
;; geliyor.
(Defun t-guncel (dugum) (fourth dugum))
(Defun Ust (dugum) (fifth dugum))

(defun FIYAT (ust cocuk) 1)

```

```

;;
;; sinifta tanimlanan tahmin islevi (function). baslangic
;; tahtasindaki her tas icin, ayni tasin sonuc tahtasindaki
;; pozisyonuna olan uzakliklari toplayan bir islev.
;;
(defun tguncel-hesapla (su-anki-durum sonuc-durumu)
  (let ((i 0)(j 0)(toplam 0)(su-anki nil)(uzaklik 0))
    (loop
      (setq i 0)
      (loop
        (setf su-anki (nth i (nth j su-anki-durum)))

        (cond ((member su-anki (first sonuc-durumu))
          (setf
            uzaklik
            (+ (abs (- 0 j))
              (abs (- i (position su-anki
                                   (first sonuc-durumu)))))))

          ((member su-anki (second sonuc-durumu))
            (setf
              uzaklik
              (+ (abs (- 1 j))
                (abs (- i (position su-anki
                                   (second sonuc-durumu)))))))

          ((member su-anki (third sonuc-durumu))
            (setf
              uzaklik
              (+ (abs (- 2 j))
                (abs (- i (position su-anki
                                   (third sonuc-durumu)))))))

          ((member su-anki (fourth sonuc-durumu))
            (setf
              uzaklik
              (+ (abs (- 3 j))
                (abs (- i (position su-anki
                                   (fourth sonuc-durumu)))))))

          )

        (setf toplam (+ toplam uzaklik))

        (setq i (incf i)) ;; increment
        (if (eql i 4) (return)))
      (setq j (incf j))
      (if (eql j 4) (return))
    ) toplam)
)

;; bu algoritma, fiyati-sabit-arama islevi temel alinarak yazilmistir.
;; yani, algoritma asagi yukari aynidir. Tek fark, FIYAT islevinin
;; hesaplanmasi.
(defun a-yildiz-arama (s0 sg sons)
  (let ( ( acik (list (list s0 nil 0 0 nil) ) ) )

```

```

;;g-guncel set to 0
( tamamlanan nil )
( n nil )
( kizlar nil ))
(setq kaydir-count 0)
(loop
  (if (null acik) (return 'hata))

  (setf n (pop acik))

  (push n tamamlanan)

  (if (equal (durum n) sg)

    (let ()
      (print "Great..I_found_a_solution..Here_it_is:")
      (sonuc-raporu-ver acik tamamlanan s0)
      (return (sonuc-izini-bul n))))

  (setf kizlar (cocuklari-getiren-islem n))

  (kac-dugum-yarattik)

  (setf kizlar
    (DIFF kizlar tamamlanan))

  (setf acik (UPDATE kizlar acik))
  (setf acik
    (sort acik #'(lambda(dugum1 dugum2)
      (< (+ (g-guncel dugum1) (t-guncel dugum1))
        (+ (g-guncel dugum2) (t-guncel dugum2))
        ))))

)
)
)

(defun UPDATE (kizlar acik)

  (let ( ( m nil ) (bulunan-eski-d nil) )

    (loop

      (if (null kizlar) (return acik))

      (setf m (pop kizlar))

      (setf bulunan-eski-d (MEMBER-DURUM (durum m) acik))

      (if bulunan-eski-d
        (let ((eski-d (first bulunan-eski-d)))

          (if (< (g-guncel m) (g-guncel eski-d))

```

```

        (setf (first bulunan-eski-d) m) ))

    (push m acik)
  )

)
)
)

(defun MEMBER-DURUM (durum list-of-nodes)
  (if (null list-of-nodes)
      nil
      (if (equal durum (first list-of-nodes))
          list-of-nodes
          (MEMBER-DURUM durum (rest list-of-nodes)))))

(defun cocuklari-getiren-islem (dugum)
  (let ( (butun-cocuklar nil)
        (cocuk-dugumler nil)
        (ogul-dugumler nil)
        (durum (first dugum)) )

    (setf ogul-dugumler (kaydir-yukari durum))
    (setf cocuk-dugumler (list (list
                                ogul-dugumler
                                'yukari
                                (+ (g-guncel dugum)
                                   (FIYAT (durum dugum) ogul-dugumler))
                                (tguncel-hesapla (durum dugum) sg )
                                dugum)))

    (setf butun-cocuklar (append butun-cocuklar cocuk-dugumler))

    (setf ogul-dugumler (kaydir-asagi durum))

    (setf cocuk-dugumler (list (list
                                ogul-dugumler
                                'asagi
                                (+ (g-guncel dugum)
                                   (FIYAT (durum dugum) ogul-dugumler))
                                (tguncel-hesapla (durum dugum) sg)
                                dugum)))

    (setf butun-cocuklar (append butun-cocuklar cocuk-dugumler))

    (setf ogul-dugumler (kaydir-saga durum))

    (setf cocuk-dugumler (list (list
                                ogul-dugumler
                                'saga
                                (+ (g-guncel dugum)
                                   (FIYAT (durum dugum) ogul-dugumler))
                                (tguncel-hesapla (durum dugum) sg)
                                dugum)))

```

```

(setf butun-cocuklar (append butun-cocuklar cocuk-dugumler))

(setf ogul-dugumler (kaydir-sola durum))

(setf cocuk-dugumler (list (list
                             ogul-dugumler
                             'sola
                             (+ (g-guncel dugum)
                                (FIYAT (durum dugum) ogul-dugumler))
                             (tguncel-hesapla (durum dugum) sg)
                             dugum)))

(setf butun-cocuklar (append butun-cocuklar cocuk-dugumler))

(setq kaydir-count (+ kaydir-count (length butun-cocuklar)))

butun-cocuklar))

(setq s0 '((1 2 3 4) (5 6 0 8) (9 10 7 11) (13 14 15 12) (1 2)))
(setq sg '((1 2 3 4) (5 6 7 8) (9 10 11 12) (13 15 14 0) (3 3)))
(test "calc_hhat_test_A*" (tguncel-hesapla s0 sg) 8)

(setq s0 '((1 2 3 4) (5 6 0 8) (9 10 7 11) (13 14 15 12) (1 2)))
(setq sg '((1 2 3 4) (5 6 7 8) (9 10 11 12) (13 14 15 0) (3 3)))
(test "A*_Search_test"
  (not (eq (a-yildiz-arama s0 sg nil) 'hata)) t )

(print "OK. A*_ Tests_Passed")

```

## Yapay Zeka ve Musabaka

Bilgisayarlar bir problemi yapay zeka kullanarak çözerken, kullandıkları teknikler; Karar ağacı, akıllı tahmin yeteneği ve o ana kadar geçilen yolu hatırlamaktır.

Karar ağacı kullanırken, seçeceğimiz yolun doğru yol mu olup olmadığı tahmin etmek için değerlendirme işlevine sorarız. Bu işlev gerçek bir tahmin mantığına ne kadar yakın ise, (yani uzman bir insana) arama da o kadar başarılı olur.

Bu örnekten yola çıkarsak, karşılıklı müsabakalar da bir arama problemi gibi görülebilir. Bir başlangıç noktası vardır, belli seçenekler vardır, bu seçenekleri takip etmek için karar ağacı tekniği uygulanabilir.

Tek bir değişiklik ile: Artık kararların hepsi bize ait değil.

## Altüst (Minimax) Algoritması

Mesela müsabaka, bir dama oyunu olsun. Oyun sırasında sıra bir bilgisayara, bir karşı tarafa geçer. Bu yüzden iyi bir yapay zeka algoritması, hem kendi hareketlerinin arasında "değerlendirme işlevinin" en iyi bulduğunu seçmeli, hem de, aynı zamanda rakibi için en kötü olacak yolu takip etmelidir.



Bu iki seçeneğe göre karar arama yapan algoritmaya altüst algoritması diyoruz. Çünkü rakip için an alt değer ile, bilgisayar için en üst değeri aynı anda arıyoruz.

Normal tek kişili arama algoritmalarında sadece "bir" ileriye bakarak değerlendirme yapmış, ve en fazla olan seçeneği takip etmiştik. Altüst için arama yaparken derinliğine ineceğiz, ve bu derinliği hafızamızın elverdiği kadar yapabileceğiz. Çünkü, hamleye karşı hamle, ona karşı hamle derken en iyi seçeneği bulabilmek için bazen oldukça derinlere inmek gerekebilir. 10 seviye altta çok iyi gözüken bir birleşim olabilir, ama belki de 11. seviyede maçı kaybediyoruz! Tabii dallanma seviyesi fazla olan oyunlarda (mesela satranç) bu şekilde derinlik birçok bilgisayarı donanım olarak zorlayacaktır. Bu yüzden Kasparov gibi bir ustayı ancak IBM'in satranç için özel yapılmış makinesi zorlayabiliyor.

Oyun: İtalyan Daması

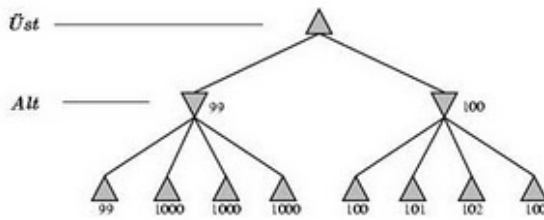
Altüst algoritmasını dallanma faktörünün fazla olmadığı bir oyun üzerinde göreceğiz. Bu oyunun ismi italyan daması. Bildiğimiz dama oyununa çok benziyor, sadece taşlar düz olarak ileri, geri, sağa, sola gitmek yerine çapraz hareket ediyorlar. Aynen damada olduğu gibi, en sona ulaşan taş kral oluyor ve uzun sıçramalar yapabiliyor.

Ekte verilen LISP kodu üzerinde göreceğimiz gibi, programı temel hareketler, değerlendirme işlevi, algoritma ve ekrandan giriş yaparak oynanabilen kısımlara ayırdık.

Altüst algoritması, özyineli olarak çalışan bir algoritmadır. Altüst, önce derinliğine bir sekilde müsaade edildiği kadar (programcı tarafından) derinliğe iner, ve vardığı en uç noktalardaki tahtaları değerlendirir. Geri dönerken, bu değerlerden bazen "en az" olanı bazen "en fazla" olanı seçer. En az/en fazla kıstası her seviyede bir değişir. Rakip hareketlerini gösteren seviyede bulunuyorsak, enalt, kendi seviyemizde bulunuyorsak enüst seçimi yaparız.

Üzerinde karşılaştırma yaptığımız sayı, değerlendirme işlevinin tahta hakkında biçtiği değerden başkası değildir. Bu tür değerlendirme işlevini A\* algoritması altında görmüştük.

Tahta değerlerinin arasındaki seçimi özyineden geriye "dönerken" yaptığımıza özellikle dikkat edin. Yani, 10. seviyeye indiysek ve bütün önce-derinliğine olarak bir dalı açmış isek, ancak ondan sonra değerleri birbirleri ile karşılaştırarak ve seçerek döndürmeye başlıyoruz. Değerlendirme işleminin kendisi, derinliğin en sonundaki tahtalar üzerinde yapılıyor. "Ara tahtaların" üzerinde değerlendirme yapmıyoruz. (Bkz. tahta-değerlendir fonksiyonu).



Örnekteki resimde 2. seviyeye 99 ve 100'ün dönmüş olduğunu görüyoruz. 1. seviye de sırasıyla önce 99, sonra 100'ün dönmesi gerekir, ve bunlardan 100 değeri 99'un üzerine çıkacaktır. Çünkü 1. seviye 'üst' seviyesidir. Alt seviyesi olsa idi, 99 seçilecekti.

Ayrıca, seviyeye göre bazen alt, bazen üst değerler aradığımız için, hangi seviyede olduğumuza bağlı olarak <> işleçlerini kullanmak yerine, hep aynı işleci (>) kullansak, ve karşılaştırma yaptığımız değeri sonraki seviyeye aktarmadan önce eksi (-) ile çarpsak kod daha temiz olacak. Bunu ufak bir algoritma numarası olarak görebilirsiniz. Değeri eksiye dönen bir değer üzerinde uygulanan büyüktür/küçüktür karşılaştırmalarının sonucu otomatikman tersine döner (basit aritmetik). Eksiyi eksi ile çarpınca sayı tekrar artıya döndüğü için özyineli olarak bu çarpımı tekrar tekrar yapmamız mümkün olabiliyor. Ne güzel. Böylece iki tane if (ya da LISP cond) ifadesi yazmaktan kurtulmuş olduk. Kod daha temiz hale geldi. Bahsedilen çağırım şekli dama-alg.lisp dosyasındaki aşağıdaki satırda.

```
(setf dene (eniyi-hareket (tas-oynat
  (first hareket-listesi) konumn)
  (- derinlik 1)
  (* onun-eniyi -1) ;; eksi carpimina dikkat
  (* enyuksek-deger -1))) ;; ;; eksi carpimina dikkat
```

Bir başka ilginç bir nokta da şudur: Rakibimizin tahtalarını ve kendi tahtalarına değer biçerken hep aynı işlevi kullanıyoruz. (Kod üzerinde tahta-degeri(tahta) LISP işlevi). Bunun Türkçesi şu demektir: Kendi oyun bilgimize dayanarak rakibimizin ne yapacağını tahmin etmeye uğraşıyoruz. Yani zihnen, sanal bir alemde "rakibimizin yerine" hamle yapıyoruz ve bu sanal hamleye kendimize göre bir cevap veriyoruz. Hakikaten de satranç, dama, kağıt oynarken yaptığımız da bu değil midir?

## Eniyileştirme

Gördüğümüz gibi, altüst'ün temeli oldukça basit. Bundan sonrası, altüst'ü hız ve hafıza bakımından eniyileştirme için yapılmıştır. Alfa-beta budaması denen altüst uzantısı bu çerçevede düşünülmüştür.

Dama tahtaları arasında alt/üst irdelemesi yaparken, şunu düşünebiliriz: Ağacın herhangi yerindeki oyuncunun varabileceği bir yer olarak bir n adlı bir düğüm olduğunu düşünün; Eğer oyuncunun n'in bir üstü ya da daha tepesinde (dallanma olarak) m adında daha iyi seçeneği var ise, n düğümü oyun sırasında asla erişilmeyecektir. Bu yüzden n hakkında yeteri kadar bilgiye sahip olduğumuzda (cocuklarından birkaçına bakarak), bu düğümü tümünden budayabiliriz.

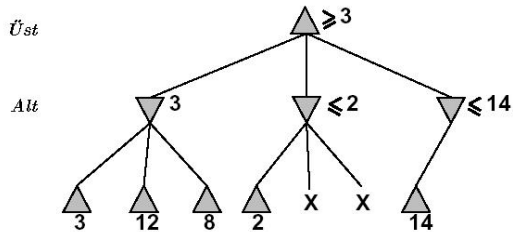
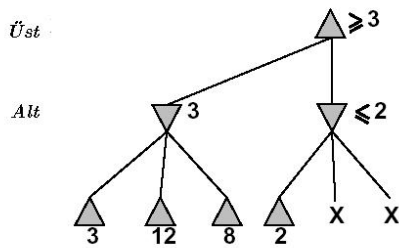
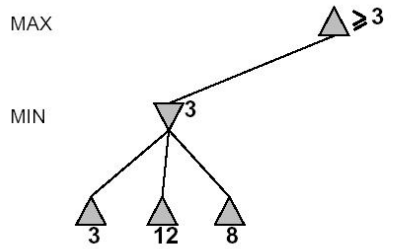
Daha detaylı (ve matematiksel) bir örnekte göstermemiz gerekirse:

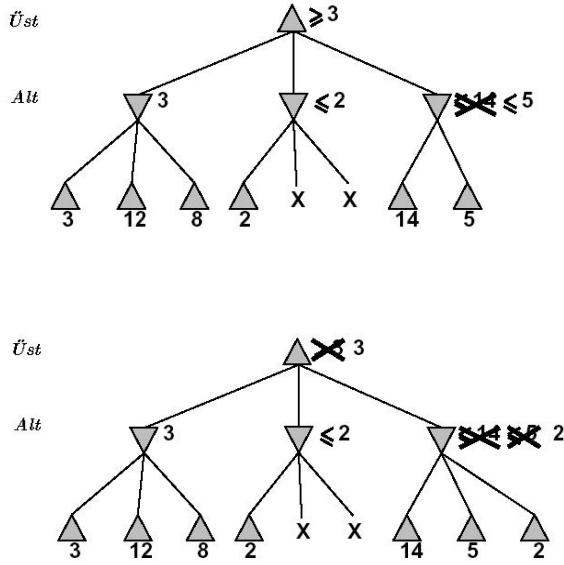
```
altust-degeri(en tepe) =
  üst ( alt(3, 12, 8), alt(2, x, y), alt(14, 5, 2) )
altust-degeri(en tepe) =
  üst ( 3, alt(2, x, y), 2)
altust-degeri(en tepe) =
  üst ( 3, z, 2)
altust-degeri(en tepe) = 3
```

Alt (2, x, y) işlevinin değeri Z'ye eşitlendi (ve atıldı), x ve y'nin ne olduğuna bile bakılmadan. Çünkü alt(2, x, y) dediğimiz zaman aynı anda şunu söylemiş oluyoruz: "alt (2, x, y) en fazla 2 olabilir". Değil mi? Çünkü alt işlevinin gereği olarak zaten en aşağı olan değeri seçeceğiz. X ya da y daha az olsa, onları seçerdik, daha fazla olsalar 2'yi seçeceğiz. Fakat, elimizde KESİN bir 2 değeri "zaten" var ise, alt(2, x, y)'yi bir tarafa atabiliriz, çünkü nasıl olsa alt(2, x, y)'nin sonucu 2'den daha iyi olamazdı. DAHA İYİ'den kastımız üst işlevi bakımından daha iyi demektir, çünkü alt() işlevlerinin sonucu üst() işlevine gidiyor, biliyorsunuz.

Sonuçta, soyut olarak düşünerek alt(2, x, y)'nin üzerinde 2 yönlü bir traşlama yapıyoruz denebilir. X ve Y'nin 2'den fazla olmasını fonksiyonun kendisi traşlıyor. Daha az olabilme ihtimallerini'de, elimizde zaten olan 2 değeri traşlıyor, çünkü bu iki değerinin ne yaparsak yapalım üstüne çıkamayacağız. Alt değerleri, üstte toplandığı için...

Alfa beta budaması, ismini, ağaçta gezinirken o ana kadar en üst bulunmuş olan değeri alfa değişkeninde, ve en alt bulunmuş değeri beta değişkeninde sürekli olarak yanında gezdirmesinden gelir. En alt ve en üst değerler aranırken, sürekli alfa ve beta'ya karşılaştırma yapılır. Alfa/beta penceresinin içine düşmeyen seçenekler, ve onların alt-ağaçları tamamen budanır. Bu şekilde yer ve zamandan oldukça istifade etmemiz mümkündür.





Listing 8: dama-alg.lisp

```
(load "dama-temel.lisp")

;;
;; Cok basit bir degerlendirme fonksiyonu. Degerlendirme islemleri
;; tahtaya bakarak bu tahtanin bilgisayar icin ne kadar iyi durdugunu
;; (oldugunu) bir rakam ile rapor ederler. *enust-renk* bilgisayarın
;; hangi oyuncuyu oynadigini gosterir. Burada kullanılan degerlendirme
;; cok basit, "daha zoru" degerlendirme icin ozel olan dosyada olacak.
;; Bu islevin raporladigi rakam, zaten tahtanin en sonunda tutulmakta.
(defun tahta-degeri(tahta)
  (cond ((equal *enust-renk* *beyaz*)
        (caadr tahta))
        (t (cadadr tahta)))
  ))

;;
;; disardan cagirilan islev
(defun altust-arama(dugum)
  (setf benim-eniyi -999999)
  (setf onun-eniyi +999999)
  (eniyi-hareket (copy-tree dugum) 10 benim-eniyi onun-eniyi)
  )

;; Simdi, altust (minimax) algoritmasinin alfa-beta seklini gosteriyoruz.
(defun eniyi-hareket(konumn derinlik benim-eniyi onun-eniyi)

  ;; Dikkat ederseniz normal altust algoritmasina iki yeni
  ;; bildirgec ekledik. Baslarken Benim-Eniyi -sonsuz'a (eksi sonsuz)
  ;; esitlenmeli. Onun-eniyi ise +sonsuz'a esitlenmeli.
  (let ((hareket-listesi nil)(enyuksek-deger nil)
        (eniyim nil)(dene nil)(denenen-deger nil))

    ;; Bu kontrol, ozyineli cagirimi karar agacin sonuna geldigimizde
```

```

;; bitirebilmek icindir. Iki elemanli bir liste geriye
;; getiriyoruz.
(if (eql derinlik 0)
    (return-from eniyi-hareket (list (tahta-degeri konumn) nil)))

;; Oyun kurallarına göre uygun olan, tahta'nin o anki konumuna
;; göre olan bütün muhtemel hareketleri buluyoruz.
(setq hareket-listesi (hareket-listesi-hesapla *enust-renk* konumn))

(setq enyuksek-deger benim-eniyi)
(setq eniyim nil)

;; Artik hareket-listesi'ni taramaya hazırız. En iyi
;; hareketi bu listeden seçeceğiz. Enyuksek-deger ve eniyim
;; değerlerini nasıl yukledigimize dikkat edin.

(do () ((equal hareket-listesi nil))

    ;; Burası ana ozyineli çağırımın yapıldığı yer. Bu çağırı ile
    ;; sıradaki hareketin arama alanını 'acıyoruz'. İki yeni
    ;; bildirgeci gectigimize dikkat edin.
    (setf dene (eniyi-hareket (tas-oynat (first hareket-listesi) konumn)
                              (- derinlik 1)
                              (* onun-eniyi -1)
                              (* enyuksek-deger -1)))

    ;; eniyi-hareket iki değer geri getirir, unutmayın..
    (setq denenen-deger (first dene))

    ;; Şimdi, elimizdeki hareketin otekilere daha iyi olup olmadığina
    ;; karar verelim. Elimizdeki hareketi 'su ana kadar en iyi' olarak
    ;; seçip seçmeyeceğimiz buna bağlı.

    (if (> denenen-deger enyuksek-deger)
        (progn
            (setq enyuksek-deger denenen-deger)
            (setq eniyim (first hareket-listesi))
        ))

    ;; İste 'kesit' işlemi alfa-beta algoritması için burada
    ;; yapılır. Eğer iyi bir hareket bulamadıysak, arayışı burada
    ;; durduruyoruz. Return fonksiyonu, donguyu yarıda kesiyor
    ;; ve bir önceki ozyine seviyesine donuyor.

    (if (> enyuksek-deger onun-eniyi)
        (return-from eniyi-hareket (list enyuksek-deger eniyim)))

    ;; Listede taramaya devam ediyoruz, bakalım elimizdekinden daha
    ;; iyi bir hareket bulabilecekmiyiz
    (setq hareket-listesi (cdr hareket-listesi))

)

;; Butun hareket-liste'sini aradıktan sonra, en iyi
;; hareketi bulmuş bulunuyoruz. Geriye cevap olarak

```

```

;; bu hareketi bildireceğiz.
(return-from eniyi-hareket (list enyukse-eger eniyim))

) ;; let sonu

) ;; defun sonu

;;
;; testler

(oyuna-basla *beyaz*)
(test "degerlendir_testi" (tahta-degeri *tahta*) 12)

(oyuna-basla *beyaz*)
(test "altust_basit_test" (altust-arama *tahta*) '(12 ((1 5) (0 4))))

(setq *enust-renk* "b")
(setf hic-siyah-kalmadi
'(((nil ("b" nil) nil ("b" nil) nil ("b" nil) nil ("b" nil) )
  ("b" nil) nil ("b" nil) nil ("b" nil) nil ("b" nil) nil)
  (nil ("b" nil) nil ("b" nil) nil ("b" nil) nil ("b" nil) )
  (nil nil nil nil nil nil nil nil)(nil nil nil nil nil nil nil nil)
  (nil nil nil nil nil nil nil nil)(nil nil nil nil nil nil nil nil )
  (nil nil nil nil nil nil nil nil)) (12 0)))
(test "basit_degerlendir_1" (tahta-degeri hic-siyah-kalmadi) 12)

(setq *enust-renk* "s")
(setf hic-siyah-kalmadi
'(((nil ("b" nil) nil ("b" nil) nil ("b" nil) nil ("b" nil) )
  ("b" nil) nil ("b" nil) nil ("b" nil) nil ("b" nil) nil)
  (nil ("b" nil) nil ("b" nil) nil ("b" nil) nil ("b" nil) )
  (nil nil nil nil nil nil nil nil)(nil nil nil nil nil nil nil nil)
  (nil nil nil nil nil nil nil nil)(nil nil nil nil nil nil nil nil )
  (nil nil nil nil nil nil nil nil)) (12 0)))
(test "basit_degerlendir_2" (tahta-degeri hic-siyah-kalmadi) 0)

(oyuna-basla *beyaz*)
(setq tahta-kopyasi (copy-tree *tahta*))
(altust-arama *tahta*)
(test "tahta_degismemesi_gerekir_testi" (equal tahta-kopyasi *tahta*) t)

(print "Tamam. _Algoritma_Birim_Testleri_Gecti")

```

Listing 9: dama-deger.lisp

```

(load "dama-alg.lisp")

;; Bu islev, atak oyun halinde mi, yoksa defans oyun halinde mi
;; oldugumuzu hesaplar. Eger defans agirlikli oynuyorsak, ki program
;; bunu oyunun basinda yapmak uzere yazildi, her tahtanın degeri
;; hesaplanirken agirliklar defansif olculere gore secilir.
;; Atak oyununda bu agirliklar degisiyor.
;; Defans/Atak karari su ana kadar kac hamle yapildigina
;; gore veriliyor; Belli bir tetik degerinden sonra, (7 hamle)
;; bilgisayar atak oynamaya basliyor.

```

```

(defun atak-oyun? ()
  (cond ((> bilgisayar-hamle-sayisi 7) t)
        (t nil)))

;; Alttaki degerlendirme islevini goruyoruz. Bu islev oyunun
;; akillica secim yapmasina yardim edecek.
(defun tahta-degeri(tahta)
  (let (
    (y-sayac 0) (x-sayac 0)
    ;; sayac degiskenler
    (benim-tas-sayim (caadr tahta))(rakibin-tas-sayisi (cadadr tahta))
    (benim-kral-sayim 0)(rakibin-kral-sayisi 0)
    (mevcut-hamlelerim 0)(rakibin-mevcut-hamleleri 0)
    ;; agirliklar
    (kralin-agirligi nil)(mevcut-hamle-agirligi nil)
    (benim-kalan-tas-agirligim nil)(rakibin-kalan-tas-agirligi nil)
    ;; sonuc
    (degerlendirme-toplami 0)
  )

    ;; Atak/defans halimize gore agirlik degerlerini
    ;; degistir
    (cond ((equal (atak-oyun?) nil)
      (progn
        (setq kralin-agirligi 50)
        (setq mevcut-hamle-agirligi 60)
        (setq benim-kalan-tas-agirligim 70)
        (setq rakibin-kalan-tas-agirligi 30)
      ))
      (t
        (progn
          (setq kralin-agirligi 100)
          (setq mevcut-hamle-agirligi 60)
          (setq benim-kalan-tas-agirligim 20)
          (setq rakibin-kalan-tas-agirligi 70)
        )
      ))

    ;; butun tahtayi tararken..
    (dotimes (x-sayac 8)
      (dotimes (y-sayac 8)
        (setq konum-degeri (tas-degeri-ver (list x-sayac y-sayac) tahta))
        (if (not (equal konum-degeri nil))
          (progn
            ;; tas degeri ve kral gosterge degerine eris
            (setq renk (car konum-degeri))
            (setq kral-mi (cadr konum-degeri))

            ;; saymaya basla

            ;; krallari say
            (if (and (equal *enust-renk* renk)
                    (equal kral-mi t))
              (setq benim-kral-sayim (+ 1 benim-kral-sayim)))
          )
        )
      )
    )
  )

```

```

                (if (and (equal *enalt-renk* renk)
                        (equal kral-mi t))
                    (setq rakibin-kral-sayisi (+ rakibin-kral-sayisi 1)))

                ;; mevcut hareketleri say (hareket sahamiz ne kadar genis?)
                (setq mevcut-hamlelerim
                    (length (hareket-listesi-hesapla *enust-renk* tahta)))
                (setq rakibin-mevcut-hamleleri
                    (length (hareket-listesi-hesapla *enalt-renk* tahta)))
            ))
    ))

    ;; hepsini topla
    (setf degerlendirme-toplami
        (+ degerlendirme-toplami
            (* benim-tas-sayim benim-kalan-tas-agirligim)))
    (setq degerlendirme-toplami
        (+ degerlendirme-toplami
            (* rakibin-tas-sayisi rakibin-kalan-tas-agirligi)))
    (setq degerlendirme-toplami
        (+ degerlendirme-toplami
            (* benim-kral-sayim kralin-agirligi)))
    (setq degerlendirme-toplami
        (+ degerlendirme-toplami
            (* mevcut-hamlelerim mevcut-hamle-agirligi)))

    ;; sonuc degeri geri bildir
    degerlendirme-toplami)
)

;;
;; testler
(setq bilgisayar-hamle-sayisi 0)
(test "atak_mi_defans_mi?_1" (atak-oyun?) nil)

(setq bilgisayar-hamle-sayisi 10)
(test "atak_mi_defans_mi?_2" (atak-oyun?) t)

(oyuna-basla *beyaz*)
(test "atak_mi_defans_mi?_3" (atak-oyun?) nil)

(oyuna-basla *beyaz*)
(test "tahta_degerlendir" (tahta-degeri *tahta*) 1620)

(print "Tamam. _Degerlendirme_Birim_Testleri_Gecti")

```

Listing 10: dama-oyna.lisp

```

(load "dama-deger.lisp")

(oyuna-basla *beyaz*)

(loop
  (goster *tahta*)
  (print "Hamlenizi_giriniz")
  (setq insan-hamlesi (eval (read))))

```



```

(cond ((equal (hamle-kurallara-uygunmu insan-hamlesi *tahta* "b") t)
  (progn
    (tas-oynat insan-hamlesi *tahta*)
    (print "su_hareketi_yaptiniz")
    (print insan-hamlesi)
    (goster *tahta*)
    (setq bilgisayar-hamlesi (cadr (altust-arama *tahta*)))
    (print "bilgisayar_hareketi")
    (print bilgisayar-hamlesi)
    (tas-oynat bilgisayar-hamlesi *tahta*)
    (setf bilgisayar-hamle-sayisi (+ bilgisayar-hamle-sayisi 1))
  ))
(t (print "HATALI_HAREKET"))
)

```

Listing 11: dama-temel.lisp

```

;; Oyun tahtasi liste icinde liste olarak temsil edildi. Her tahta
;; konumu, eger uzerinde bir tas var ise, bir liste nesnesi
;; tasir. Eger bu tas normal bir tas ise, bu liste ("b" nil) gibi
;; olur. Eger bu tas kral tasi ise, ("b" T) olarak temsil
;; edilecektir. Yani, ikinci T ya da NIL degeri krallik
;; gosterGESIDIR. Eger konum uzerinde hic tas yok ise, liste nesnesi
;; yerine NIL bulacaksiniz, dikkat edin (nil nil) degil. Listenin en
;; sonundaki iki rakam, tahta uzerinde o anda her renkten kac tas
;; kaldigini gosterir. Birinci rakam beyaz, ikincisi siyah icin. Bunu
;; yapmamizin sebebi algoritmayi hizlandirmak icin, Boylece ikidebir
;; tahtayi bastan sona taramak gerekmiyor.

(setq *beyaz* "b")
(setq *siyah* "s")
(setq *enust-renk* nil)
(setq *enalt-renk* nil)
(setq *tahta* nil)

(setq bilgisayar-hamle-sayisi 0)

;;
;; test isleten islev
(defun test (isim deyim sonuc)
  (cond
    ((equal deyim sonuc) t)
    (t (print isim) (error "HATA! _Birim_test_bir_yanlis_buldu!_"))
  ))

;;
;; Tahta silbastan baslayinca, enust-renk bilgisayara aittir.
(defun oyuna-basla (renk)
  (setq bilgisayar-hamle-sayisi 0)
  (setq *tahta* (copy-tree (tahtayi-hazirla)))
  (cond
    ((equal renk *beyaz*)
      (progn (setq *enust-renk* "b")
              (setq *enalt-renk* "s")))
    (t (progn (setq *enust-renk* "s")
               (setq *enalt-renk* "b"))
  ))

```

```

    )
  )
)

;;
;; tahtayi sifirla
(defun tahtayi-hazirla ()
  '(((nil ("b" nil) nil ("b" nil) nil ("b" nil) nil ("b" nil) )
    ((("b" nil) nil ("b" nil) nil ("b" nil) nil ("b" nil) nil)
      (nil ("b" nil) nil ("b" nil) nil ("b" nil) nil ("b" nil) )
      (nil nil nil nil nil nil nil nil nil)
      (nil nil nil nil nil nil nil nil nil)
      ((("s" nil) nil ("s" nil) nil ("s" nil) nil ("s" nil) nil)
        (nil ("s" nil) nil ("s" nil) nil ("s" nil) nil ("s" nil) )
        ((("s" nil) nil ("s" nil) nil ("s" nil) nil ("s" nil) nil)
          ) (12 12))
    )
  )

;;
;; tahtanın o anki durumunu ekrana metin olarak bas (hata bulmak
;; için çok yararlı oldu)
(defun goster (tahta)
  (terpri)
  (write-line "+0==1==2==3==4==5==6==7+")
  (let ((y-sayici 8))
    (dotimes (y-ozyine 8)
      (princ (- y-sayici 1))
      (let ((x-sayici 7))
        (dolist (kon (nth (- 7 (- y-sayici 1)) (car tahta)))
          (princ "_")
          (cond
            ((equal kon nil) (princ "_"))
            ((and (equal (car kon) "b") (null (cadr kon))) (princ "b"))
            ((and (equal (car kon) "b") (cadr kon)) (princ "B"))
            ((and (equal (car kon) "s") (null (cadr kon))) (princ "s"))
            ((and (equal (car kon) "s") (cadr kon)) (princ "S"))
          )
          (princ "_")
          (if (null (equal x-sayici 0)) (princ "|"))
          (setq x-sayici (- x-sayici 1))
        )
      )
      (write-line "|")
      (if (null (equal y-sayici 1))
        (write-line "||====||"))
      (setq y-sayici (- y-sayici 1))
    )
  )
  (write-line "+0==1==2==3==4==5==6==7+")
  nil
)

;;
;; her hamle şu şekilde temsil edilir , mesela '((0 2)(1 2))

```

```

;; Yani, hamle X=1, Y=2 konumundan X=1, Y=2 konumuna yapılacaktır.
(defun tas-oynat (hamle tahta)

  (setq gecici-tas1 (tas-degeri-ver (car hamle) tahta))
  (setq gecici-tas2 (tas-degeri-ver (cadr hamle) tahta))

  ;; hamle
  (setq tahta
    (tas-degeri-degis (cadr hamle)
      (tas-cikart (car hamle) tahta) gecici-tas1))

  (setq atlanan-konum
    (atlayarak-gidilen-konumlar (car hamle) (cadr hamle)))

  ;; eger gerekiyorsa krala cevir
  (cond
    ((and (equal (car gecici-tas1) "s") (equal 7 (cadadr hamle)))
      (setf (cadr gecici-tas1) t))
    ((and (equal (car gecici-tas1) "b") (equal 0 (cadadr hamle)))
      (setf (cadr gecici-tas1) t))
    )

  (cond
    (atlanan-konum ;; hareket atlama ise
      (progn
        (if (equal (car (tas-degeri-ver atlanan-konum tahta)) "b")
          (setf (caadr tahta) (- (caadr tahta) 1))
          (setf (cadadr tahta) (- (cadadr tahta) 1)))
        (setq tahta (tas-cikart atlanan-konum tahta))
        (cond
          ((caddr hamle) ;; birkac atlama var ise, ozyineli olarak cagir
            (progn
              (tas-oynat (cdr hamle) tahta)
            )
          )
          (t
            tahta ))
        )
      )
    (t ;; atlama degil
      tahta
    )
  )

  )

;;
;; tas degerini geri getir
(defun tas-degeri-ver (kon tahta)
  (nth (car kon) (nth (- 7 (cadr kon)) (car tahta)))
)

;;
;; tasın degerini tahtaya koy
(defun tas-degeri-degis (kon tahta eleman)
  (setf (nth (car kon) (nth (- 7 (cadr kon)) (car tahta))) eleman)
  tahta
)

```

```

)

;;
;; tasi tahtadan al
(defun tas-cikart (kon tahta)
  (setf (nth (car kon) (nth (- 7 (cadr kon)) (car tahta))) nil)
  tahta
)

;;
;;
(defun atlayarak-gidilen-konumlar (kon_a kon_b)
  (setq x (car kon_a))
  (setq y (cadr kon_a))
  (cond
    ((equal kon_b (list (+ x 1) (+ y 1))) nil)
    ((equal kon_b (list (+ x 1) (- y 1))) nil)
    ((equal kon_b (list (- x 1) (+ y 1))) nil)
    ((equal kon_b (list (- x 1) (- y 1))) nil)
    ;; ya da ortada kalan taslarin kordinatlarini getir
    (t
     (cond
       ((< x (car kon_b)) (setq gecici_x (+ 1 x)))
       (t (setq gecici_x (- x 1)))
      )
     (cond
       ((< y (cadr kon_b)) (setq gecici_y (+ 1 y)))
       (t (setq gecici_y (- y 1)))
      )
     (list gecici_x gecici_y)
    )
  )
)

(defun hamle-kurallara-uygunmu (hareket tahta renk)
  ;; hareket menzilin disinda ise, bu kural disi bir hareket
  (cond
    ((null (menzildemi (cadr hareket)))
     nil
    )
    ;; gitmeye ugrastigimiz yerde zaten bir tas var ise,
    ;; bu da kural disi bir harekettir
    ((tas-degeri-ver (cadr hareket) tahta)
     nil
    )
    (t
     (let (
       (eleman (tas-degeri-ver (car hareket) tahta))
       (baslax (caar hareket))
       (baslay (cadar hareket))
       (bitisx (caadr hareket))
       (bitisy (cadadr hareket)))

      (cond
        ;; eger hareket ziplama hareketi ise

```



```

(defun menzildemi (kon)
  (let ((x (car kon)) (y (cadr kon)))
    (cond
      ((and (< x 8) (< y 8) (> x -1) (> y -1)) t)
      (t nil)
    )
  )
)

(defun renk-degistir (color)
  (cond
    ((equal "b" color) "r")
    (t "b")
  )
)

;;
;; girilen renk ve tahtaya gore, oyuncunun yapabilecegi
;; butun hareketleri geri getir
(defun hareket-listesi-hesapla (renk tahta)
  (setq tas-konumlari (tas-yerlerini-ver renk tahta))
  (let ((muhtemel-hareketler nil) (mumkun-atlamalar nil))
    (dolist (kon tas-konumlari)
      (setq mumkun-atlamalar
        (append mumkun-atlamalar
          (mecburi-hareketleri-ver kon tahta renk)))
      (if (null mumkun-atlamalar)
        (progn
          (if (hamle-kurallara-uygunmu
              (list kon (list (- (car kon) 1)
                                (- (cadr kon) 1))) tahta renk)
            (setq muhtemel-hareketler
              (append
                muhtemel-hareketler
                (list (list kon (list (- (car kon) 1)
                                      (- (cadr kon) 1)))))))
          (if (hamle-kurallara-uygunmu
              (list kon (list (- (car kon) 1)
                                (+ (cadr kon) 1))) tahta renk)
            (setq muhtemel-hareketler
              (append
                muhtemel-hareketler
                (list (list kon (list (- (car kon) 1)
                                      (+ (cadr kon) 1)))))))
          (if (hamle-kurallara-uygunmu
              (list kon (list (+ (car kon) 1)
                                (- (cadr kon) 1))) tahta renk)
            (setq muhtemel-hareketler
              (append
                muhtemel-hareketler
                (list (list kon (list (+ (car kon) 1)
                                      (- (cadr kon) 1)))))))
          (if (hamle-kurallara-uygunmu
              (list kon (list (+ (car kon) 1)
                                (+ (cadr kon) 1))) tahta renk)
            (list kon (list (+ (car kon) 1)
                              (+ (cadr kon) 1)))
          )
        )
      )
    )
  )
)

```

```

(+ (cadr kon) 1))) tahta renk)
  (setq muhtemel-hareketler
    (append
      muhtemel-hareketler
      (list (list kon (list (+ (car kon) 1)
                             (+ (cadr kon) 1)))))))
    ) ;; progn sonu
  ) ;; if sonu
)
(if mumkun-atlamalar mumkun-atlamalar muhtemel-hareketler)
)

(defun tas-yerlerini-ver (renk tahta)
  (setq konumlar nil)

  (if (equal renk (car (tas-degeri-ver '(0 0) tahta)))
    (setq konumlar (append konumlar '((0 0)))))
    (if (equal renk (car (tas-degeri-ver '(0 1) tahta)))
      (setq konumlar (append konumlar '((0 1)))))
      (if (equal renk (car (tas-degeri-ver '(0 2) tahta)))
        (setq konumlar (append konumlar '((0 2)))))
        (if (equal renk (car (tas-degeri-ver '(0 3) tahta)))
          (setq konumlar (append konumlar '((0 3)))))
          (if (equal renk (car (tas-degeri-ver '(0 4) tahta)))
            (setq konumlar (append konumlar '((0 4)))))
            (if (equal renk (car (tas-degeri-ver '(0 5) tahta)))
              (setq konumlar (append konumlar '((0 5)))))
              (if (equal renk (car (tas-degeri-ver '(0 6) tahta)))
                (setq konumlar (append konumlar '((0 6)))))
                (if (equal renk (car (tas-degeri-ver '(0 7) tahta)))
                  (setq konumlar (append konumlar '((0 7)))))

                  (if (equal renk (car (tas-degeri-ver '(1 0) tahta)))
                    (setq konumlar (append konumlar '((1 0)))))
                    (if (equal renk (car (tas-degeri-ver '(1 1) tahta)))
                      (setq konumlar (append konumlar '((1 1)))))
                      (if (equal renk (car (tas-degeri-ver '(1 2) tahta)))
                        (setq konumlar (append konumlar '((1 2)))))
                        (if (equal renk (car (tas-degeri-ver '(1 3) tahta)))
                          (setq konumlar (append konumlar '((1 3)))))
                          (if (equal renk (car (tas-degeri-ver '(1 4) tahta)))
                            (setq konumlar (append konumlar '((1 4)))))
                            (if (equal renk (car (tas-degeri-ver '(1 5) tahta)))
                              (setq konumlar (append konumlar '((1 5)))))
                              (if (equal renk (car (tas-degeri-ver '(1 6) tahta)))
                                (setq konumlar (append konumlar '((1 6)))))
                                (if (equal renk (car (tas-degeri-ver '(1 7) tahta)))
                                  (setq konumlar (append konumlar '((1 7)))))

                                  (if (equal renk (car (tas-degeri-ver '(2 0) tahta)))
                                    (setq konumlar (append konumlar '((2 0)))))
                                    (if (equal renk (car (tas-degeri-ver '(2 1) tahta)))
                                      (setq konumlar (append konumlar '((2 1)))))
                                      (if (equal renk (car (tas-degeri-ver '(2 2) tahta)))
                                        (setq konumlar (append konumlar '((2 2)))))

```





```

      (setq konumlar (append konumlar '((5 4)))))
    (if (equal renk (car (tas-degeri-ver '(5 5) tahta)))
      (setq konumlar (append konumlar '((5 5)))))
    (if (equal renk (car (tas-degeri-ver '(5 6) tahta)))
      (setq konumlar (append konumlar '((5 6)))))
    (if (equal renk (car (tas-degeri-ver '(5 7) tahta)))
      (setq konumlar (append konumlar '((5 7)))))

    (if (equal renk (car (tas-degeri-ver '(6 0) tahta)))
      (setq konumlar (append konumlar '((6 0)))))
    (if (equal renk (car (tas-degeri-ver '(6 1) tahta)))
      (setq konumlar (append konumlar '((6 1)))))
    (if (equal renk (car (tas-degeri-ver '(6 2) tahta)))
      (setq konumlar (append konumlar '((6 2)))))
    (if (equal renk (car (tas-degeri-ver '(6 3) tahta)))
      (setq konumlar (append konumlar '((6 3)))))
    (if (equal renk (car (tas-degeri-ver '(6 4) tahta)))
      (setq konumlar (append konumlar '((6 4)))))
    (if (equal renk (car (tas-degeri-ver '(6 5) tahta)))
      (setq konumlar (append konumlar '((6 5)))))
    (if (equal renk (car (tas-degeri-ver '(6 6) tahta)))
      (setq konumlar (append konumlar '((6 6)))))
    (if (equal renk (car (tas-degeri-ver '(6 7) tahta)))
      (setq konumlar (append konumlar '((6 7)))))

    (if (equal renk (car (tas-degeri-ver '(7 0) tahta)))
      (setq konumlar (append konumlar '((7 0)))))
    (if (equal renk (car (tas-degeri-ver '(7 1) tahta)))
      (setq konumlar (append konumlar '((7 1)))))
    (if (equal renk (car (tas-degeri-ver '(7 2) tahta)))
      (setq konumlar (append konumlar '((7 2)))))
    (if (equal renk (car (tas-degeri-ver '(7 3) tahta)))
      (setq konumlar (append konumlar '((7 3)))))
    (if (equal renk (car (tas-degeri-ver '(7 4) tahta)))
      (setq konumlar (append konumlar '((7 4)))))
    (if (equal renk (car (tas-degeri-ver '(7 5) tahta)))
      (setq konumlar (append konumlar '((7 5)))))
    (if (equal renk (car (tas-degeri-ver '(7 6) tahta)))
      (setq konumlar (append konumlar '((7 6)))))
    (if (equal renk (car (tas-degeri-ver '(7 7) tahta)))
      (setq konumlar (append konumlar '((7 7)))))

    konumlar
  )

(defun mecburi-hareketleri-ver (kon tahta renk)
  (let ((muhtemel-hareketler nil) (eleman (tas-degeri-ver kon tahta)))
    (if (cadr eleman)
      ;;
      ;; KRALLAR
      ;;
      (progn
        (setq muhtemel-hareketler
          (atlamalari-bul

```

```

        (copy-tree tahta) kon (+ (car kon) 2)
        (+ (cadr kon) 2) renk muhtemel-hareketler))
(setq muhtemel-hareketler
      (atlamalari-bul
        (copy-tree tahta) kon (+ (car kon) 2)
        (- (cadr kon) 2) renk muhtemel-hareketler))
(setq muhtemel-hareketler
      (atlamalari-bul
        (copy-tree tahta) kon (- (car kon) 2)
        (+ (cadr kon) 2) renk muhtemel-hareketler))
(setq muhtemel-hareketler
      (atlamalari-bul
        (copy-tree tahta) kon (- (car kon) 2)
        (- (cadr kon) 2) renk muhtemel-hareketler))
)
;;
;; NORMAL
;;
(progn
  (if (equal renk "b")
    (progn
      ;;
      ;; BEYAZ :: Bu demektir ki normal parcalar icin + kullan
      ;;
      (setq muhtemel-hareketler
            (atlamalari-bul
              (copy-tree tahta) kon (+ (car kon) 2)
              (- (cadr kon) 2) renk muhtemel-hareketler))
      (setq muhtemel-hareketler
            (atlamalari-bul
              (copy-tree tahta) kon (- (car kon) 2)
              (- (cadr kon) 2) renk muhtemel-hareketler))
      )
    (progn
      ;;
      ;; SIYAH :: Buna gore normal parcalar icin '- kullan
      ;;
      (setq muhtemel-hareketler
            (atlamalari-bul
              (copy-tree tahta) kon (+ (car kon) 2)
              (+ (cadr kon) 2) renk muhtemel-hareketler))
      (setq muhtemel-hareketler
            (atlamalari-bul
              (copy-tree tahta) kon (- (car kon) 2)
              (+ (cadr kon) 2) renk muhtemel-hareketler))
      )
    )
  )
)
muhtemel-hareketler
)
)
;;
;;

```

```

(defun atlamalari-bul (gecici_tahta kon yenix yeni renk m-hareketler)
  (let ((muhtemel-hareketler nil))
    (if (hamle-kurallara-uygunmu
        (list kon (list yenix yeni)) gecici_tahta renk)
        (progn
          (setq gecici_tahta
                (tas-oynat (list kon (list yenix yeni)) gecici_tahta))
          (setq gecici
                (mecburi-hareketleri-ver
                 (list yenix yeni) gecici_tahta renk))
          (if gecici
              (dolist (b gecici)
                (setq a (list kon (list yenix yeni)))
                (if muhtemel-hareketler
                    (setq muhtemel-hareketler
                          (append
                           muhtemel-hareketler
                           (list (append a (cdr b)))))
                    (setq muhtemel-hareketler
                          (list (append muhtemel-hareketler a (cdr b)))))
                )
              (setq muhtemel-hareketler (list (list kon (list yenix yeni)))))
          ))
        (if muhtemel-hareketler
            (append m-hareketler muhtemel-hareketler) m-hareketler)
        )
    )

;; Oyunun bitip bitmedigine karar veren islev budur. Cagirmak icin
;; bir renk ve tahtanın durumu bildirilir, eger renk icin hic bir
;; hareket kalmadi ise, bu oyuncu icin oyun bitmis demektir.
;; Bu oyuncunun belki taslarinin onu kapanmistir, ya da hic
;; tasi kalmamistir. Her iki halde de hareket-listesi-hesapla
;; hic hareket listesi geri getirmez.
(defun oyun-bitti-mi?(renk tahta)
  (cond
    ((equal (hareket-listesi-hesapla renk tahta) nil) t)
    (t nil))
  )

;; -----
;;
;; testler

(oyuna-basla *beyaz*)
(setf sonuc (tas-oynat '((0 2)(1 2)) *tahta*))
(setf beklenen-sonuc
  '(((nil ("b" nil) nil ("b" nil) nil ("b" nil) nil ("b" nil))
      ("b" nil) nil ("b" nil) nil ("b" nil) nil ("b" nil) nil)
    (nil ("b" nil) nil ("b" nil) nil ("b" nil) nil ("b" nil))
    (nil nil nil nil nil nil nil nil) (nil nil nil nil nil nil nil nil)
    (nil ("s" nil) ("s" nil) nil ("s" nil) nil ("s" nil) nil)
  ))

```

```

        (nil nil nil ("s" nil) nil ("s" nil) nil ("s" nil))
        ((("s" nil) nil ("s" nil) nil ("s" nil) nil ("s" nil) nil))
        (12 11)) )
(test "tek_hareket_yap" (equal beklenen-sonuc sonuc) t)

(oyuna-basla *beyaz*)
(test "yanlis_hareket_yap"
      (hamle-kurallara-uygunmu '((0 2)(1 2)) *tahta* *beyaz*) nil)

(oyuna-basla *beyaz*)
(test "dogru_hamle_yap"
      (hamle-kurallara-uygunmu '((0 2)(1 3)) *tahta* 'USER::BLACK) T)

(oyuna-basla *beyaz*)
(setf beklenen-hareket-listesi
  '(((1 5) (0 4)) ((1 5) (2 4)) ((3 5) (2 4))
    ((3 5) (4 4)) ((5 5) (4 4)) ((5 5) (6 4)) ((7 5) (6 4))))
(setf sonuc (hareket-listesi-hesapla "b" *tahta*))
(test "oyuna_uygun_hareket" (equal sonuc beklenen-hareket-listesi ) t)

(oyuna-basla *beyaz*)
(setf gecici-sonuc (tas-oyinat '((0 2)(2 7)) *tahta*))
(setf beklenen-tahta
  '(((nil ("b" nil) ("s" T) ("b" nil) nil ("b" nil) nil ("b" nil))
    ("b" nil) nil ("b" nil) nil ("b" nil) nil ("b" nil) nil)
    (nil ("b" nil) nil ("b" nil) nil ("b" nil) nil ("b" nil))
    (nil nil nil nil nil nil nil nil)
    (nil nil nil nil nil nil nil nil)
    (nil nil ("s" nil) nil ("s" nil) nil ("s" nil) nil)
    (nil ("s" nil) nil ("s" nil) nil ("s" nil) nil ("s" nil))
    (("s" nil) nil ("s" nil) nil ("s" nil) nil ("s" nil) nil))
    (12 11)))
(test "kral_yap" (equal gecici-sonuc beklenen-tahta) t)

(setf hic-siyah-tassiz-tahta
  '(((nil ("b" nil) nil ("b" nil) nil ("b" nil) nil ("b" nil) )
    ("b" nil) nil ("b" nil) nil ("b" nil) nil ("b" nil) nil)
    (nil ("b" nil) nil ("b" nil) nil ("b" nil) nil ("b" nil) )
    (nil nil nil nil nil nil nil nil)(nil nil nil nil nil nil nil nil)
    (nil nil nil nil nil nil nil nil)(nil nil nil nil nil nil nil nil )
    (nil nil nil nil nil nil nil nil)) (12 0)))
(test "siyah_icin_oyun_bitti"
      (oyun-bitti-mi? *siyah* hic-siyah-tassiz-tahta) t)

(print "Tamam. _Temel_Birim_Testler_Gecti")

```