

# F# ile Fonksiyonel Programlama

---

## İçindekiler

---

- 1.Bölüm : Giriş
  - 1.1 F# ile Tanışma
  - 1.2 F# Sözdizimine Hızlı Bakış
  - 1.3 Kısa F# Tarihçesi
  - 1.4 Neden F#?
  - 1.5 Fonksiyonlara Matematiskel Bakış
  - 1.6 Fonksiyonların İlginç Özellikleri
  - 1.7 Fonksiyonel Programlama Nedir?
- 2.Bölüm : Kurulum ve Hazırlık
  - F# Geliştirme Platformu Temel Bileşenleri
  - Windows ve Visual Studio
  - OSX ve Visual Studio for Mac
  - Linux ve Visual Studio Code
  - Merhaba Dünya!
- 3.Bölüm : F# Temelleri
  - Söz dizimi kuralları
  - Basit Veri Tipleri
  - Fonksiyonlar
  - Temel Veri Tipleri
  - Kod Organizasyonu
- 4.Bölüm : Fonksiyonel Programlama
  - Desen Eşleştirme (Pattern Matching)
  - Küme Teorisi ve F# Tipleri
    - Değişkenler Grubu (Tuple)
    - Ayrışık Bileşim (Discriminated Union)
    - Kayıt (Record)
  - Gevşek Değerleme (Lazy Evaluation)

- Sekanslar (Sequences)
- Sorğu İfadeleri (Query Expressions)
- 5.Bölüm : Genel Amaçlı Programlama
  - Değişken ve Değişmeyen Kavramları (Immutability and Mutability)
  - .NET Bellek Yönetimi
  - Değişken İçeriğini Değiştirme
  - Diziler
  - .NET Yığın Yapıları Kullanımı
  - Döngü Yapıları (For ve While)
  - Koşullu Dallanma Yapıları (If/Else)
  - İstisna Yönetimi (Exceptions)
- 6.Bölüm : Nesne Tabanlı Programlama ve Sınıflar
  - Fonksiyonel Bir Dilde Neden Nesne Tabanlı Programlama Desteği Var?
  - Sınıf Tanımlama
  - Sınıf Özellik ve Üyeleri
  - Sınıflar Arası Kalıtım
  - Ara Birim Kullanımı (Interfaces)
- 7.Bölüm : İleri Seviye Fonksiyonel Programlama Yöntemleri
  - Aktif Desenler (Active Patterns)
  - Liste Modülü
  - Kuyruk Özlenilemeli Fonksiyonlar
  - Fonksiyonlar ile Programlama
  - Fonksiyonel Programlama Desenleri
- 8.Bölüm : Asenkron ve Paralel Programlama
  - İşletim Sistemi İplikleri ile Çalışma (Thread)
  - Asenkron Programlama
  - Asenkron Programlama Kütüphanesi
  - Paralel Programlama
  - Paralel Programlama Kütüphanesi
- 9.Bölüm : Örnek Uygulamalar
  - Veritabanı Uygulaması
  - Veri Ayıklama ve Analiz Uygulaması

- Web Programlama Uygulaması
- Finansal Uygulalma : Kredi Puanı Hesaplayıcı
- UrhoSharp İle Örnek Oyun

# 1. Bölüm : Giriş

---

Bu bölümün ilk kısmında F#'ın kısa tarihçesini aktarıp "Neden F#?" ve "F# programlama dili neye benzer?" sorularının cevaplarını arayacağız. Bölümün ikinci kısmında ise fonksiyonel programlamanın tanımını yaparak matematiksel anlamda fonksiyonları ve fonksiyonların bazı ilginç özelliklerini ele alacağız.

## 1.1 F# ile Tanışma

Programlama dili kitapları ve kaynakları ekrana "Merhaba Dünya!" yazdırmak için kullanılan kod parçası ile başlar. Biz de kitabımiza bu klasik ile başlıyoruz.

```
// tek satırlık yorumlar için // kullanılır
(*
    Birden fazla satırlı yorumlar için (* *) çifti
    kullanılır
*)

// "let" anahtar kelimesi ile değeri değiştirilemeyen
// (immutable) değer ifadeleri tanımlanır
let sayı = 5
let ondalıkSayı = 3.14
let metin = "Merhaba Dünya!"

// Değer ifadelerini `` `` arasında yazarak F#
// anahtar kelimelerini de değer ifadesi adı olarak
// kullanabilirsiniz
let ``let``= "F# ile Fonksiyonel Programlama"
```

```

// `` `` kullanarak boşluk içeren değer ifadesi
isimleri oluşturabilirsiniz.
// Bu kullanım özellikle birim test (unit test)
yazıyorsanız oldukça faydalı olacaktır
let ``Cümle gibi değer`` = "Cümle gibi değer ifadesinin
değeri"

// F# değer ifadelerinin ismi olarak UTF-8
karakterleri kullanılmasına izin verir
let çÇşŞğÜÜöÖİı = "Türkçe'ye özel karakterler"

// ===== Listeler =====
let pozitifSayilar = [1;2;3;4;5]           // Köşeli
parantez ile liste tanımlanır
                                         // liste
elemanlarını da ; ile ayırırırs
let doğalSayilar = 0 :: pozitifSayilar // :::
operatörü varolan listenin başına 0 değerini
ekleyerek yeni bir liste oluşturur
// doğalSayilar listesi [0;1;2;3;4;5] şeklinde
olacaktır

let tamSayilar = [-5;-4;-3;-2;-1] @ doğalSayilar // 
@ operatörü iki listeyi birleştirip yeni bir liste
oluşturur
// tamSayilar listesi [-5;-4;-3;-2;-1;0;1;2;3;4;5]
şeklinde olacaktır

// DİKKAT: liste ve dizilerin elemanlarını
tanımlarken virgül yerine noktalı virgül kullanılır

// ===== Fonksiyonlar =====
// "let" anahtar kelimesi ile aynı zamanda ismi olan
fonksiyonlar da tanımlanır
let küp x = x * x * x      // Fonksiyon tanımında
parantez, süslü parantez veya noktalı virgül
kullanılmıyor
küp 3                      // Fonksiyonu

```

çalıştırıralım, girdi parametrelerini tanımlarken de parantez kullanmıyoruz

```
let ekle x y = x + y          // ekle fonksiyonunu
çağırigerken ekle (1,2) şeklinde girdi parametreleri
için parantez kullanmayın
                                // (1,2) 1 ve 2
parametrelerini girdi olarak vermek anlamına gelmez
ekle 2 3                      // (1,2) şeklindeki
ifade ile değer grubu (tuple) tanımlanır
```

```
// Birden fazla satıra yayılmış bir fonksiyon
tanımlamak için girintiler (indent) kullanılır. Kod
satırlarının bitişini belirtmek için ; kullanılmaz
let çiftSayılar liste =
    let çiftMi x = x%2 = 0      // çiftMi fonksiyonunu
iç fonksiyon olarak tanımla
    List.filter çiftMi liste    // List.filter
standard List modülünde yer alan hazır bir fonksiyon
                                // List.filter girdi
olarak bir fonksiyon parametresi ve bu fonksiyonu
çalıştıracağı listeyi alır

çiftSayılar pozitifSayılar      // Fonksiyonu çalıştır
```

```
// Parantezleri işlem önceliğini belirtmek için
kullanabilirsiniz. Aşağıdakiörnekte
// önce List.map işleminin yapılmasını sonra da
List.sum işleminin yapılmasını belirtiyoruz
// Parantezler kullanmasaydık "List.map" fonksiyonu
"List.sum" fonksiyonuna birinci girdi parametresi
olarak geçilecekti
let küplerinToplamı =
    List.sum ( List.map küp [1..100] )
```

// Bir fonksiyonun çıktısını sonraki fonksiyona "|>" operatörü ile aktarabilirsiniz  
// Küplerin toplamı fonksiyonun |> kullanan yeni hali aşağıdaki gibidir

```

let küplerinToplamı2 =
    [1..100] |> List.map küp |> List.sum // 1 ile 100
arasındaki değer listesini List.map fonksiyonuna
                                            // ikinci
girdi parametresi olacak şekilde aktar
                                            // List.map
fonksyonunun birinci girdi parametresi ise küp
fonksiyonudur
                                            // List.map
sonucunu List.sum fonksiyonuna girdi parametresi
olarak aktar

// "fun" anahtar kelimesini kullanarak adsız (anonim)
fonksiyonlar tanımlayabilirsiniz
let küplerinToplamı3 =
    [1..100] |> List.map (fun x->x*x*x) |> List.sum //
fun x -> x * x * x anonim bir fonksiyon tanımıdır

// Öz yinelemeli fonksiyon tanımlamak için "rec"
anahtar kelimesi kullanılır
// Aşağıdaki fonksiyon öz yinelemeli olarak
faktöriyel hesabı yapar
let rec fact x =
    if x <= 1 then 1 else x * fact (x - 1)

// F#'da fonksiyonların dönüş değerleri dolayılı
olarak belirlenir bu nedenle "return" benzeri bir
anahtar kelimeye ihtiyaç yoktur
// Bir fonksiyon bloğundaki son ifade her zaman dönüş
değerini oluşturur

// ===== Desen Eşleme (Pattern Matching) =====
// Desen eşleştirme için Match..with.. yapısı
kullanılır
let basitDesenEşleme =
    let x = 1
    match x with
        | 1 -> printfn "x'in değer 1"
        | 2 -> printfn "x'in değeri 2"

```

```
| _ -> printfn "x'in değeri 1 veya 2 değil" //  
_ simgesi herhangi bir değeri eşlemek için yer tutucu  
olarak kullanılır
```

```
// Some(..) ve None C benzeri dillerde null veya  
// Pascal benzeri dillerde nil olarak ifade edilen  
değeri de alabilen değer ifadelerini  
// tanımlamak için kullanılır. F#'da Some/None dil  
yapısına option (opsiyon) denir  
let geçerliDeğer = Some(42)  
let geçersizDeğer = None
```

```
// In this example, match..with matches the "Some"  
and the "None",
```

```
// and also unpacks the value in the "Some" at the  
same time.
```

```
let optionKullanarakEşleme girdi =  
    match girdi with  
        | Some i -> printfn "Girdi değeri = %d" i  
        | None -> printfn "Girdi değer belirtilmemiş"
```

```
optionKullanarakEşleme geçerliDeğer // Ekrana "Girdi  
değeri = 42" basılacak
```

```
optionKullanarakEşleme geçersizDeğer // Ekrana "Girdi  
değer belirtilmemiş" basılacak
```

```
// ===== Karmaşık Veri Tipleri =====
```

```
// Değer grupları (tuple) farklı tiplerde değer  
barındırabilen tiplerdir. Değer grubu tanımlanırken  
virgül kullanılır
```

```
let ikili = 1,2  
let üçlü = "a",2,true
```

```
// Kayıt tiplerinin alanları vardır ve alanları  
ayırmak için noktalı virgül kullanılır
```

```
type Öğrenci = {Ad:string; Soyad:string; Numara:int}  
let öğrencil = {Ad="Arda"; Soyad="Özgür";Numara=124}
```

```

// Bileşimler (union) birden fazla seçenek
tanımlamamızı sağlar. Bunlara ayrışıklı bileşimler
(discriminated union) de denir
// Bileşimlerin seçenekleri dikine çizgi () simgesi
ile birbirinden ayrışırlar
type Derece =
    | C of float
    | F of float
let dereceSantigrad = C 20.0
let dereceFahrenheit = F 68.0

type Kişi = {Ad:string;Soyad:string}
// Tipler öz yinelemeli olarak karmaşık yapılar
(örneğin ağaç yapısı) oluşturacak şekilde
tanımlanabilir
// Aşağıdaki örnekte İşçi ve Yönetici'den oluşan ve
Yönetici olarak öz yinelemeli bir şekilde Çalışan
listesi kullanan
// basit bir ağaç tanımı yapılıyor
type Çalışan =
    | İşçi of Kişi
    | Yönetici of Çalışan list

let kişi = {Kişi.Ad="Ali";Soyad="Özgür"}
let işçi = İşçi kişi

// ===== Ekrana çıktı gönderme =====
// F# standard kütüphanesindeki printf/printfn
fonksiyonları ekrana metin basmak için kullanılır
printfn "Ekrana bir int %i, bir float %f ve bir bool
%b gönderiyorum" 42 3.14 true
printfn "Ekrana bir metin %s ve tipi ile
ilgilenmediğim jenerik bir %A gönderiyorum" "Merhaba
Dünya" [1;2;3;4;5]

// F# tüm karmaşık tipleri ekrana düzgün
formatlayarak basar
printfn "ikili=%A,\nisi=%A,\nişçi=%A" ikili kişi
işçi

```

```
// Formatlanmış metni çıktı olarak döndürürmek için
// F# standard kütüphanesindeki sprintf fonksiyonun
// kullanabilirsiniz
let çıktı1 = sprintf "Ekrana bir int %i, bir float %f
ve bir bool %b gönderiyorum" 42 3.14 true
let çıktı2 = sprintf "Ekrana bir metin %s ve tipi ile
ilgilenmediğim jenerik bir %A gönderiyorum" "Merhaba
Dünya" [1;2;3;4;5]
let çıktı3 = sprintf "ikili=%A,\nkişi=%A,\nnişçi=%A"
ikili kişi işçi
```

## 1.3 Kısa F# Tarihçesi

F#, Türkçe **efsharp** olarak telafuz edilen yabancı kaynaklarda da **FSharp** veya **F Sharp** olarak da rastlayabileceğiniz yordamsal (imperative) ve bildirimsel (declarative) yaklaşımlarının her ikisini de (multi-paradigm) destekleyen fonksiyonel bir programlama dilidir.

### DİKKAT

"Fonksiyonel programlama dili" ifadesindeki **fonksiyonel** ibaresi ilk etapta "çok faydalı", "işe yarayan" benzeri anlamlar çağrıştırırsa da kitapta bu anlamlarda kullanılmamıştır. "Fonksiyonel programlama" ifadesi programlama dilleri tasarımda matematikteki fonksiyonları ve özelliklerini temel alan bir yaklaşımı ifade eder. Bölümün sonunda bu tanım ayrıntılı olarak ele alınmaktadır.

F# programlama dili Microsoft tarafından tasarlanıp geliştirilen açık kaynak kodlu fonksiyonel bir programlama dilidir. Microsoft'un F# gibi bir dili geliştirmesinin altındaki temel motivasyon Microsoft'un geliştirdiği bir platformu olan .NET Framework'ün 90'lı yılların sonundaki temel tasarım amacına kadar uzanır. Microsoft'un .NET Framework'ünü Java'nın sanal ortamına (JVM) benzetebilirsiniz. .NET Framework farklı

programlama dilleri ile geliştirilmiş programların MSIL (Microsoft Intermediate Language) adı verilen ara bir dile derlenmesi sonrasında üretilen kodu çalıştırın sanal bir ortam sunar.

## BİLGİ

MSIL, işletim sistemi ve bilgisayar mimarisi bağımsız bir dildir ve .NET Framework'ü hedefleyen programlama dillerinin (C#, VB.NET ve F#) derleyicileri tarafından üretilir, elle kodlama yapılmaz.

.NET Framework'ü hedefleyen herhangi bir dilde geliştirilen ve MSIL'e derlenen programlar .NET Framework'ün desteklediği Windows, Linux veya OSX işletim sistemlerinde çalıştırılabilir. F# da .NET Framework'ü destekleyen dillerden birisidir.

## BİLGİ

.NET Framework ilk çıktığında sadece Windows işletim sistemini destekliyordu. Kısa bir süre sonra bağımsız bir grup yazılımcı Linux ve OSX'de de çalışabilen Mono isimli açık kaynak bir .NET Framework geliştirdi. 2015 yılı itibarıyle Microsoft Mono'ya kod katkısı sağlamaya başlayarak diğer yandan da Windows, Linux ve OSX'de çalışan .NET Core isimli işletim sistemi bağımsız bir .NET Framework versiyonu geliştirmektedir.

F#'ın Microsoft içindeki yaratıcısı olarak adlandırılan Don Syme F#'ın ortaya çıkışını kendi sözleri ile şöyle anlatmaktadır

.NET platformunun vizyonunda başlangıçtan itibaren birden fazla programlama dilinin desteklenmesi önemli bir hedef olarak yer alıyordu. 1998 yılında, programlama dilleri ile ilgili araştırma grubumdan 10 kişi ile birlikte Microsoft'a dahil olduğumuz zaman, Project 7 kod adlı projeyi başlatan James Plamondon isimli birisi bizimle irtibata geçti. Project 7, yedi adet akademik ve yedi adet de yazılım sektöründe kullanılan genel amaçlı programlama dilinin .NET'i desteklemesinin sağlanması hedefleyen bir projeydi.

Project 7 ile Microsoft .NET'in gelecekte farklı programlama dillerini destekleyebilmek için hangi alanlarda ne tür esneklikler sağlama gereğini erken safhada anlamasını sağlayacaktı.

.NET'in Generic'leri üzerinde çalışırken elde ettiğim tecrübe ML benzeri bir fonksiyonel programlama dilinin .NET'i destekleyip desteklemeyeceğini araştırmak için ".NET için Haskell" üzerinde çalışmaya başladım. Bu çalışmada önemli gelişmeler sağlamamıza rağmen Haskell ile .NET'in yapısı arasındaki ciddi uyumsuzluklar nedeni ile bu çalışmayı sonlandırdı.

Don Syme ve ekibi yukarıda da aktardığımız Project 7 kapsamında Haskell ve ML'in de aralarında bulunduğu bazı fonksiyonel dilleri .NET'e taşıma çalışmalarına başladılar. Çalışma yapılan diller arasında ML basitliği ve .NET ile olan uyumu ile ön plana çıkmaktaydı. Caml ve OCaml dilleri de ML'in varyantları olarak ML'in sadeliğini ve basitliğini bir üst seviyeye taşıyan yapıları barındırmaktaydı. Don Syme ve ekibi o dönem için en popüler ML varyantı olan OCaml'ı .NET'e taşıma çabalarına yoğunlaştılar ve 2005 yılında temelinde OCaml olan F# dilinin ilk versiyonu yayınlandı. Aşağıdaki örnekte F# için verilen faktöriyel hesaplama kodu OCaml ile birebir aynıdır.

```
(* 01_1_01.fsx *)  
  
let rec fact x = if x <= 1 then 1 else x * fact (x - 1);;  
fact 5
```

## BİLGİ

OCaml kodunu online olarak <https://try.ocamlpro.com> adresinden deneyebilirsiniz. Deneme yaparken her bir satırın sonuna `;;` eklemeyi unutmayın

2017 yılı itibariyle F# 4.1 versiyonuna ulaşmış arkasında Microsoft gibi dev bir firmanın bulunduğu açık kaynak kodlu fonksiyonel bir programlama dili olarak varlığını sürdürmektedir. .NET Framework'ün çalıştığı platformların çeşitliliği arttıkça F# dilinin ulaştığı kitleler ve farklı alanlardaki popülerliği de artmaktadır.

2017 yılı itibariyle F# versiyon tarihçesini ve dieğer ayrıntıları aşağıdaki çizelgede inceleybilirsiniz.

Versiyon	Tarih	Platform Desteği	.NET Versiyonu	Geliştirme Araçları
F# 1.x	2005 - Mayıs	Windows	.NET 1.0 - 3.5	Visual Studio 2015, Emacs
F# 2.0	2010 - Nisan	Windows, Linux, OSX	.NET 2.0 - 4.0, Mono	Visual Studio 2010, Emacs
F# 3.0	2012 - Ağustos	Windows, Linux, OSX, JavaScript, GPU	.NET 2.0 - 4.5, Mono	Visual Studio 2012, Emacs, WebSharper
F# 3.1	2013 - Ekim	Windows, Linux, OSX, JavaScript, GPU	.NET 2.0 - 4.5, Mono	Visual Studio 2013, Emacs, WebSharper, MonoDevelop, Xamarin Studio, CloudSharper
F# 4.0	2015 - Temmuz	Windows, Linux, OSX, JavaScript, GPU	.NET 2.0 - 4.5, Mono	Visual Studio 2013, Emacs, WebSharper, MonoDevelop, Xamarin Studio, CloudSharper
F# 4.1	2017 - Mart	Windows, Linux, OSX, JavaScript, GPU	.NET 3.5 - 4.6.2, .NET Core, Mono	Visual Studio 2017, Ionide, Visual Studio Code, Atom, Rider, Web Sharper, Visual Studio for Mac

## BİLGİ

F# ile ilgili daha ayrıntılı bilgilere İngilizce olan <http://fsharp.org> sitesinden erişebilirsiniz.

F# kaynak kodunu incelemek isterseniz

<https://github.com/fsharp/fsharp> adresinden GitHub deposuna göz atabilirsiniz.

## 1.4 Neden F#?

Yeni bir programlama dili öğrenmeye başladığınızda, eğer ortada profesyonel bir zorunluluk yoksa, bu dilin zaten bildiğiniz diğer diller ile karşılaşıldığında kodlama yaklaşımınıza ne tür pozitif katkılar yapacağını veya ne tür zorluklar barındırdığını açık ve seçik olarak mümkün olduğu kadar erken deneyimlemelisiniz. İlk defa bir

programlama dilini ayrıntıları ile öğrenmeye çalışıyorsanız da yaptığınız dil tercihinin size uygun ve doğru tercih olup olmadığına büyük bir sabırsılıkla bir an önce karar vermek isteyeceksiniz.

Bu bölümde F# programlama dilini öğrenmeniz için sizi motive edeceğini umduğum bazı dil özelliklerini kod örnekleri ile ele alıyoruz. Göreceğiniz F# kodlarını bu aşamada tam olarak anlamayabilirsiniz, bu nedenle kodları anlamaya değil kodlardaki zerafet ve şıklığa odaklanmanızı öneriyorum.

## Az Seremonili Söz Dizimi

F# sade ve seremonisi az olan bir söz dizimine (syntax) sahiptir. F#'da süslü parantezlere ({}), noktalı virgüllere ve normal parantezlere çok az sayıdaki bildirimde ihtiyaç duyulur. Kod blokları her bir satırda bırakılan girinti (indentation) miktarı ile belirtilir ve buna bağlı olarak okuması keyifli ve sık görünen programlar üretilebilir.

Aşağıdaki kodörneğinde // simgesi ile belirtilen yorum satırlarının hemen altındaki kod satırlarında bahsettiğimiz özellikleri tek tek görebilirsiniz

```
(* 01_1_02.fsx *)  
  
// Süslü parantez, parantez veya noktalı virgüle  
ihtiyacınız yok  
// Kare fonksiyonu tanımı  
let kare x = x * x  
  
// Liste tanımlamak çok basit ve tek satır  
// 1 ile 10 arasındaki sayıları barındıran liste  
let sayılar = [1..10]  
  
// Tek satırda listedeki sayıların karesini alıp yeni  
bir liste üretebilirsiniz  
let kareler = sayılar |> List.map kare
```

```

// Girintiler ile belirlenen kod blokları
let tekMiÇiftMi x = // Fonksiyon tanımı başlangıcı
    // Fonksiyonun içi
    match x with
    | a when a <= 0 -> failwith "Değer sıfırdan büyük
olmalı"
    | a when a % 2 = 0 -> true
    | _ -> false
    // Fonksiyonun sonu

// Yeni bir kodbloğu
tekMiÇiftMi 12

```

## Sade ve Şık Tip Tanımları

Yazılım geliştirme aktivitelerinden en önemlisi yazdığınız kodun çözmesi gereken problemin modellenmesi aşamasıdır. Modelleme aşamasında problemi oluşturan parçaların büyük bir kısmı için onları daha net tanımlamamızı sağlayan özel tipler oluşturmamız gereklidir.

Programınızdaki akış ve kontrol koduna ilave olarak tip tanımları için yazılan kodun miktarı harcanan zamanı ve programın içinde oluşabilecek olası hataların sayısını doğrudan etkiler.

F#'da bu gereksinimin karşılanması için oldukça sade ve şık tip tanımı yapıları vardır. Değer grupları (tuple), kayıt (record) ve ayrışık bileşimler (discriminated union) F#'daki temel tip tanımlama yapılarıdır.

```
(* 01_1_03.fsx *)
```

```

// Farklı tipte birden fazla değer barındırabilen
basit tipler (tuple)
let çocuk = ("Arda", "Özgür", 10)
let ad, soyad, yaş = çocuk // değerleri çözümleme

```

```

// Daha yapısal tipler (record)
type Kişi = {Ad:string;Soyad:string}

// Yeni kişi kaydı oluşturma
let arda = {Ad="Arda";Soyad="Özgür"}
let kuzey = {Ad="Kuzey";Soyad="..."}

// Daha karmaşık tip tanımları (discriminated union)
type Kullanıcı =
    | Öğrenci of Kişi
    | Yönetici of Kullanıcı list

// Öğrenci ve yönetici oluşturma
let öğrenci1 = Öğrenci arda
let öğrenci2 = Öğrenci kuzey
let yönetici = [öğrenci1;öğrenci2]

```

## Güçlü Tip Sistemi

Programlama dilleri sınıflandırmasında dinamik tipli diller ve statik tipli diller şeklinde bir ayırm yapılmaktadır. Static tipli dillerde değişkenler, metod girdi parametreleri ve metodun dönüş değerinin tip tanımı yapılması zorunludur ve tip uyumu derleyici tarafından derleme sırasında sıkı bir şekilde kontrol edilir. Dinamik tipli dillerde ise herhangi bir tip tanımı yapılmasına gerek kalmadan değişken veya metodlar tanımlanabilir ve tip kontrolü derleme sırasında değil çalışma sırasında yapılır. Her iki yaklaşımın da avantajları ve dezavantajları var ancak kitabımızda bunlara yer vermeyeceğiz.

F# derleyici seviyesinde statik tipli diller gibi davranışırken kod yazımı sırasında dinamik tipli diller gibi davranışır. Bunun anlamı kodunuzu yazarken değer ifadeler ve fonksiyon tanımlarında parametre tiplerinizi çoğunlukla belirtmek zorunda olmasanız da (dinamik dillerdeki gibi) derleme sırasında derleyici biraz akıllı davranışarak tip uyumluluğunu (statik dillerdeki gibi) sizin için kontrol edecek ve hata durumunda sizi

bilgilendirecektir. F#'ın kullandığı bu mekanizmaya **tip çıkarsama (type inference)** denir.

Tip çıkarsama yöntemi sayesinde çoğunlukla tip bildirimlerine ihtiyaç duymadan daha kısa ve okunaklı kod yazaral aynı zamanda da kodunuzun tip uyumluluğu anlamında güvenli olması sağlanır.

```
(* 01_1_04.fsx *)

let tamSayı = 1 // int
let metin = "Neden F#" // string
let pi = 3.14 // float
let evetHayır = true // bool

// Kare alma fonksiyonu. Girdi parametresi ve
// çıktıının int olduğu çıkarsanır
let kare x = x * x
let sonuç1 = kare 12
//let sonuç2 = kare 3.14 // Hata girdi parametresi
//int değil

// Ondalık basamaklı sayılar için kare fonksiyonu.
// Girdi parametresi ve çıktıı olarak float olacağını
// belirttik
let kare2 (x:float) : float = x * x
let sonuç3 = kare2 3.14
//let sonuç4 = kare2 3 // Hata girdi parametresi
//float değil

// Kişi ve Çalışan tipinde kayıt tanımları
type Çalışan = {Ad:string;Soyad:string}
type Kişi = {Ad:string;Soyad:string}

// arda ve ali değer ifadelerinin tipini belirtmedik
// buna rağmen tipinin Kişi olduğu çıkarsanır
```

```
let arda = {Ad="Arda";Soyad="Özgür"}  
let ali = {Ad="Ali";Soyad="Özgür"}  
  
// seniha değer ifadesinin Çalışan tipinden olduğunu  
// biz ifade ettik  
let seniha = {Çalışan.Ad="Seniha";Soyad="Özgür"}
```

Tip çıkarsama yaklaşımı her zaman tutarlı sonuç üretse bile bazen sizin ne ifade etmek istediğiniz net olarak belirtmemeniz nedeni ile varsayımlar yaparak sizi memnun etmeyecek tip çıkarsamaları da yapabilir. Yukarıdaki örnekte yer alan **let seniha = {Çalışan.Ad="Seniha",Soyad="Özgür"}** ifadesini **let seniha = {Ad="Seniha",Soyad="Özgür"}** şeklinde yazsaydık **Kişi** tip tanımı kodumuzun içinde **Çalışan** tip tanımından sonra geldiği için *seniha* değer ifadesinin tipinin *Kişi* olduğu çıkarsanacaktır. Bunu engellemek için *seniha* değer ifadesinin değerini oluştururken alanlardan herhangi birinin önüne kayıt tipini **Çalışan.Ad="Seniha"** şeklinde yapılması yeterlidir. Böylece F# derleyicisine bir ipucu vererek tip çıkarsama işleminin istenmeyen bir varsayımdan yapması engellenir.

## Sade ve Yetenekli Veri Yapıları

Çok genel bir tanıma göre yazılım programları akış kontrolü ve veri alma, verme ve işleme kabiliyeti olan akıllı görünümlü otomasyon sistemleri olarak tanımlanır. Bu basit tanıma istinaden programlarımızı geliştirmek için yazdığımız kodun önemli bir miktarının fonksiyonlar arasında, tipler arasında, modüller arasında veya diğer yazılımlar ile veri alış verişini sağlayan ifadelerden oluştuğunu rahatlıkla söyleyebiliriz. Daha kapsayıcı, formel ve gelişmiş yazılım programı tanımları da var ancak kitabımızın kapsamı dışında olduğu için bunları ele almayacağız.

F#, programlarımızın önemli bir kısmını oluşturan veri alma, verme ve işleme işlemleri için hem dil seviyesinde hem de standard kütüphanelerde çok verimli ve kullanımı kolay yapılar sunar.

Aşağıdaki örnekte F#'da yer alan temel veri yapılarından olan liste, dizi ve sekans (silsile) tipleri için örnekler verilmiştir.

```
(* 01_1_05.fsx *)
open System

// 1 ile 5 arasındaki sayıları barındıran liste
let list1 = [1;2;3;4;5]

// 6 ile 10 arasındaki sayıları barındıran liste
let liste2 = [6..10]

// 12 ile 20 arasındaki çift sayıları barındıran liste
let liste3 = [12..2..20]

// 1 ile 5 arasındaki sayıları barındıran dizi
let dizi1 = [|1;2;3;4;5|]

// 6 ile 10 arasındaki sayıları barındıran dizi
let dizi2 = [|6..10|]

// 12 ile 20 arasındaki çift sayıları barındıran dizi
let dizi3 = [|12..2..20|]

// 1 ile int tipinin en büyük değeri arasındaki sayıları barındıran sekans/silsile
let sayılar4 = seq{1..System.Int32.MaxValue}
```

## NOT

**seq** (sekans veya silsile) veri tipi fiziksel belleğin izin verdiği ölçüde sınırsız sayıda elemanı barındırabilir. **seq** veri tipi büyük veri işlemlerinde kullanabileceğiniz en optimum performansa sahip veri yapısıdır.

Sade ve yetenekli veri yapılarına ilave olarak F#'ın standard kütüphanesinde yer alan **List**, **Seq** ve **Array** modülleri içinde bu veri yapıları üzerinde kolay bir şekilde işlem yapmanızı sağlayan onlarsa hatta yüzlerce fonksiyon yer alır.

Aşağıdaki kod örneğinde **List** modülü içinde yer alan birkaç fonksiyonun kullanımını görebilirsiniz.

```
(* 01_1_06.fsx *)

// 1 ile 100 arasındaki değerleri barındıran liste
let liste = [1..100]

// List.map
// Listedeki değerlerin ondalık değerlere çevirip ve
// yeni bir liste oluştur
let ondalikSayiListesi = liste |> List.map (fun x ->
float(x))

// List.average
// Listedeki değerlerin ortalaması
let ortalama = ondalikSayiListesi |> List.average

// List.choose
// Listedeki 50'den büyük değerler seçilir
let büyükSayilar = liste |> List.choose (fun x -> if
x > 50 then Some x else None)

// List.chunkBySize
// Listeyi üçlü gruplar halinde sayıları barındıran
// listeye çevir
let üçlüGruplarListesi = liste |> List.chunkBySize 3

// List.filter
// Listedeki 50'den küçük sayıları filtrele ve yeni
// bir liste oluştur
let küçükSayilar = liste |> List.filter (fun x -> x
```

<=50)

```
// @ iki listeyi ekleme operatörü
// :: listenin başına eleman ekleme operatörü
// 200 ile 300 arasındaki sayıları barındıran liste
let liste2 = [200..300]

// liste ve liste2'yi birleştir ve yeni bir liste
// oluştur
let liste3 = liste @ liste2

// liste3'ün başına 0 değerini ekle
let liste4 = 0 :: liste3

// liste4'ün sonuna 301 ekle
let liste5 = liste4 @ [301]

// List.iter ve List.iteri
// liste5'in elemanları üzerinde tek tek ilerle ve
// her bir elemanı kullanarak değerini ekrana bas
liste5 |> List.iter (fun x -> printfn "Değer = %d" x)

// liste5'in elemanları üzerinde tek tek ilerle ve
// her bir eleman ve elemanın indeksini kullanarak
// pozisyonunu ve değerini ekrana bas
liste5 |> List.iteri (fun i x -> printfn "Değer %d = %d" i x)
```

## BİLGİ

|> operatörü **pipe forward (ileri aktarım)** olarak adlandırılan ve  
**let (|>) x f = f x** şeklinde tanımlanan özel bir ikili (unary)  
operatördür. Bu tanımdaki (|>) ikili operatör fonksiyonunun adı, x  
normal bir değer parametresi, f de bir fonksiyon parametresidir.  
Bu operatör ikili bir operatör olduğu için **f x** şeklindeki fonksiyon

çağırlısını `x |> f` şeklinde yapmanızı sağlar.

## Eş zamanlı ve paralel çalışma yapıları

Bulut teknolojilerinin gelişmesi ve özellikle büyük veri işleme uygulamalarında standard platformlar hale gelmeye başlamaları ile birlikte makul zamanda ve kullanılabilir tüm kaynakları en verimli şekilde kullanabilmek için eş zamanlı ve paralel veri işleme ve işlem yapma kabiliyetleri modern programlama dillerinde büyük önem kazanmaya başlamıştır.

F#'da eş zamanlı (asenkron) ve paralel işlem yapmak için kullanımı oldukça basit dil yapıları ve standard kütüphane içinde yine kullanımı oldukça kolay olan bir kuyruk mekanizması vardır.

```
(* 01_1_07.1.fsx *)
(*
    async kullanarak değerleri eş zamanlı olarak
    ekrana basma
*)
open System
open System.Net
open Microsoft.FSharp.Control.CommonExtensions

// Değeri ekrana basan fonksiyon
let ekranaBas değer =
    async {
        printfn "Değer %d" değer
    }

// Basılacak değerler listesi
let sites = [0..10]

sites
|> List.map ekranaBas // Eş zamanlı görevleri
oluştur
|> Async.Parallel      // Eş zamanlı görevleri
```

```
paralel çalışacak şekilde ayarla  
|> Async.RunSynchronously // Görevleri başlat
```

F#'da herhangi bir fonksiyonu asenkron hale getirmek için **async{}** dil yapısının (Örneğimizdeki **indir** fonksiyonu) kullanılması yeterlidir.

```
(* 01_1_08.fsx *)  
(*  
    Fibonacci sayılarının paralel olarak hesaplanması  
*)  
  
// Fibonacci sayısını hesaplayan fonksiyon  
let rec fib n =  
    match n with  
    | n when n=0 -> 0  
    | n when n=1 -> 1  
    | n -> fib(n - 1) + fib(n - 2)  
  
// Paralel çalışacak görevleri oluştur  
let işlemeler = Async.Parallel [ for i in 0..10 ->  
    async { return fib i } ]  
  
işlemeler  
|> Async.RunSynchronously // Görevleri çalıştır  
|> Array.iteri ( fun i x -> printfn "fib(%d) = %d" i  
    x) // Sonuçları ekrana yazdır
```

F# standard kütüphanesinin Async modülü içindeki **Async.Parallel**, **Async.RunSynchronously** gibi fonksiyonlar kullanarak paralel çalışacak görevler oluşturulup bu görevler eş zamanlı olarak çalıştırılır.

## BİLGİ

**Async.RunSynchronously** fonksiyonun adından görevleri senkron

yani ardı ardına çalıştırılacakmış gibi bir izlenim oluşabilir. Ancak bu fonksiyon其实在事实上是平行执行的，因为它的实现是通过启动一个线程来完成所有任务的。也就是说，它会同时执行所有任务，直到所有任务都完成。所以，程序的执行流会一直等到所有任务都完成。这与同步操作不同，同步操作是逐个执行任务的。所以，如果想要让程序的执行流在所有任务完成之前继续执行，那么可以在调用 `MailboxProcessor.Start` 时使用 `StartImmediate` 方式。

Bu iki yapıya ilave olarak F# standard kütüphanesi ile hazır gelen **MailboxProcessor** modülü kullanılarak programlarımızın içinde asenkron kuyruk (queue) kullanımını gerektiren işlevleri kodlayabiliriz.

```
(* 01_1_09.1.fsx *)
(*
    MailboxProcessor modülü ile kuyruk örneği
*)

// Kuyruğu oluştur
let kuyruk = MailboxProcessor.Start(fun gelenKutusu -
> async{
    let! msg = gelenKutusu.Receive()
    printfn "Gelen Mesaj: %s" msg
})

// Kuyruğa mesaj koy
kuyruk.Post "F# ile Fonksiyonel Programlama"
```

## Fonksiyonel Olmayan Yöntem Desteği

F# temelinde ve ağırlıklı olarak fonksiyonel bir dildir. Ancak, .NET Framework üzerinde çalışan ve fonksiyonel olmayan diğer diller ile kütüphane seviyesinde ortak kullanımı mümkün kılmak için fonksiyonel

yaklaşımı ters düşen ve daha çok prosedürel ve nesne tabanlı yaklaşımıları andıran özellikler de F# tarafından dil seviyesinde desteklenmektedir.

```
(* 01_1_10.fsx *)
open System

// Saf fonksiyonel yaklaşımı aykırı olan değeri
// değiştirilebilir değer ifadeleri.
let mutable sayı = 42
sayı <- 43

let dizi = [|1..100|]
// Prosedürel programlama dillerindeki for döngü
// yapısı ve koşullu if yapısı
for i in dizi do
    if i % 2 = 0 then
        printfn "Çift Sayı = %d" i
    else
        printfn "Tek Sayı = %d" i

// printfn saf olmayan bir fonksiyon çünkü yan etki
// olarak ekrana bir çıktı verir
printfn "Sayının değeri = %d" sayı

// System.Int32 F#'ın değil .NET'in sağladı tam sayı
// tipidir
// Aşağıdaki ifade ile System.Int32 tipi için ÇiftMi
// isimli yeni bir uzantı metodu tanımlanır
type System.Int32 with
    member this.ÇiftMi = this % 2 = 0

// System.Int32 tipinden iki sayı oluşturalım
let çiftSayı:System.Int32 = 12
let tekSayı:System.Int32 = 11

// Uzantı metodu ile sayıların çift olup olmadığını
```

```
kontrol edelim  
çiftSayı.ÇiftMi  
tekSayı.ÇiftMi  
  
// Nesne tabanlı programlama dillerindeki gibi sınıf  
tanımları  
type Şekil =  
    abstract member Renk : string  
    abstract AlanHesapla : unit -> float
```

Bu çoklu yaklaşım (multi-paradigm) sayesinde fonksiyonel olmayan diller ile tecrübesi olan yazılım geliştiriciler tarzlarını çok fazla değiştirmeden olabildiğince hızlı bir şekilde F# kullanmaya başlayabilirler. Ancak bu yaklaşım sürdürülebilir değildir ve uzun vadede F#'ın sağladığı fonksiyonel yapılara adapte olunması tavsiye edilir.

## Geniş Uygulama Yelpazesi

F# uzun bir geçmişe sahip fonksiyonel bir programlama dilidir. <http://fsharp.org/testimonials/> adresindeki başarı hikayelerine bakıldığından enerji, sağlık, finans, sigortacılık, DNA araştırmaları, akademik araştırmalar, genel amaçlı web ve mobil uygulamaları, orta katman uygulamaları, veri analizi ve görselleştirme, kara para aklama tespit uygulamaları, analistik uygulamalar gibi bir çok sektörde kullanım alanı bulduğunu görebiliyoruz. Şimdi sıra sizde! Siz de F#'ı öğrenerek kendi sektörünüzde başarılı uygulamalar geliştirebilir ve başarı hikayeleri sayfasında kendinize yer bulabilirsiniz.

## Aktif Geliştirici Topluluğu

F#, Microsoft tarafından geliştirilen bir dil olmasına rağmen açık kaynak olarak yayınlanmıştır. Microsoft dilin geliştirilmesine sadece tam zamanlı iş gücü katkısı yapara, bunun dışında dilin tasarıımı ve yol haritası ile ilgili kararlar F# geliştiricileri ve kullanıcılarının oluşturduğu topluluk tarafından demokratik bir şekilde alınır ve uygulanır. Microsoft çalışanı

olan bir F# geliştiricisi ile bağımsız bir F# geliştiricisinin dile katkı yapma fırsatları eşittir.

Siz de F#'ın GitHub deposuna (<https://github.com/fsharp/fsharp>) erişerek kod katkısı, dokümantasyon katkısı yapabilir yeni özellik taleplerinizi F# topluluğunun tartışmasına ve değerlendirmesine sunabilirsiniz.

## Hazır Paketler

F# bir .NET dili olduğu için .NET için geliştirilmiş tüm paket kütüphanelerini Microsoft'un resmi paket yayınılama platformu olan NuGet (<https://www.nuget.org>) üzerinden indirerek kendi programlarınızda kullanabilirsiniz.

### İPUCU

NuGet'e alternatif olarak açık kaynak kodlu olarak yayınlanmış Paket (<https://github.com/fsprojects/Paket>) uygulaması ile de paket kütüphanelerini indirebilirisiniz.

## 1.5 Fonksiyonlara Matematiksel Bakış

Fonksiyonel programmanın temeli matematiksel fonksiyonlar ve fonksiyonların bazı özellikleri üzerine inşa edilmiştir. Matematiksel açıdan **fonksiyon** tanımlarından bir tanesi aşağıdaki gibi yapılır

X ve Y iki küme,  $f \subset X \times Y$  bir bağıntı olsun. Aşağıdaki koşullar sağlanırsa f bağıntısına bir fonksiyon denir:

1.  $\forall x \in X, \exists y \in Y : (x, y) \in f,$
2.  $(x, y), (x, y') \in f \Rightarrow y = y'$

Burada X'e tanım kümesi, Y'ye ise değer kümesi denir. Tanımından da anlaşılacağı gibi fonksiyon, tanım kümesindeki her elemanı, değer kümesindeki tek bir elemanla eşleştiren bir bağıntıdır. Bu yüzden fonksiyonlarda  $xfy$  veya  $(x, y) \in f$  gösterimi yerine  $y = f(x)$

gösterimi kullanılır. Bir fonksiyona bazen dönüşüm de denir. Eğer  $f$ ,  $X$ 'den  $Y$ 'ye bir fonksiyon ise bu durum  $f:X \rightarrow Y$  ile ya da  $X \rightarrow fY$  ile gösterilir.

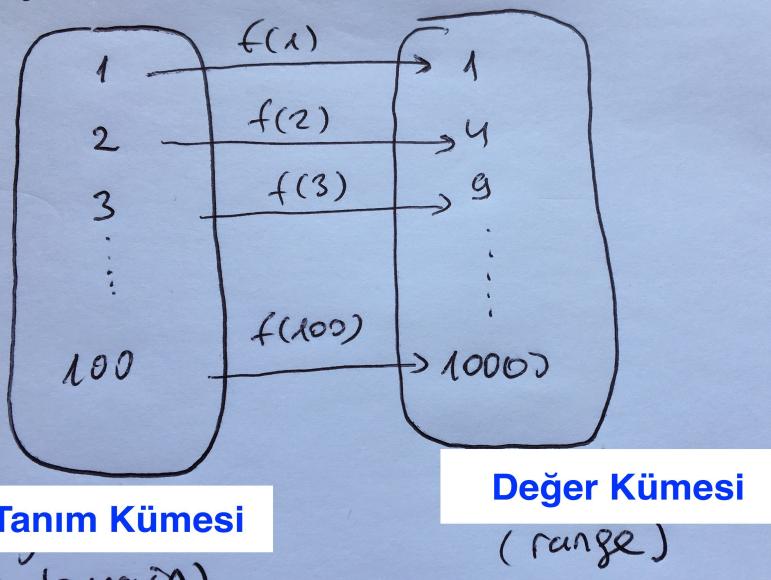
Yukarıdaki tanımda belirtilen 1. koşuldaki  $\forall x \in X$  ifadesini "X kümesinin elemanı olan tüm x değerleri",  $\exists y \in Y$  ifadesini ise "Y kümesinin elemanı olan bir y değeri" şeklinde okuyabilirsiniz.  $\forall$  ve  $\exists$  sembollerini matematikte nicelik/miktar belirten sembollerdir,  $\forall$  sembolü **tüm** ve  $\exists$  sembolü de **bir** anlamında miktar belirtir. Bu tanımda yer alan diğer iki sembolden  $\in$  sembolü bir değerin bir kümenin elemanı olduğunu ifade eder,  $\subset$  sembolü ise **alt küme** anlamına gelir ve tanımda  $(x,y)$  değer çiftinin  $f$  fonksiyonunun üreteceği sonuç kümesinin bir alt kümesi olduğu anlamını taşır.

Tanımın ikinci koşulu olan " $(x,y), (x,y') \in f \Rightarrow y = y'$ " ifadesini ise şöyle yorumlarız;  $f$  fonksiyonu,  $X$  değer kümesinin bir  $x$  elemanını  $Y$  kümesinin  $y$  ve  $y'$  şeklinde iki elemanı ile eşleştiriyorsa  $y$  ve  $y'$  değerleri birbirine eşittir. Başka bir deyişle,  $f$  fonksiyonu  $X$  değer kümesinin elemanı olan bir  $x$  değerini her zaman  $Y$  kümesinin bir elemanı olan aynı  $y$  değeri ile eşleştirir.

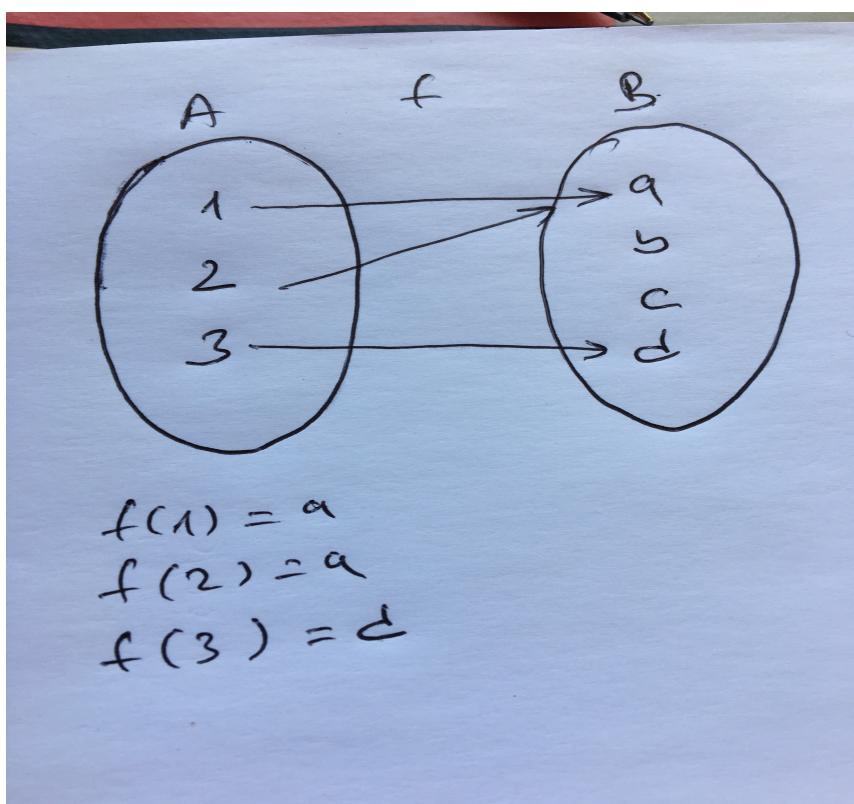
Şimdi gelin bu fonksiyon tanımını görselleştirerek basit bir örnek ile somutlaştıralım.

$f(x) = x * x$  şeklinde bir fonksiyon tanımı olsun. Bu fonksiyon girdi olarak verilen  $x$  değerinin karesini hesaplar. Daha matematsel bir şekilde ifade edecek olursak; bu fonksiyon doğal sayılar kümesinin elemanı olan tüm  $x$  değerlerini yine doğal sayılar kümesinin elemanı olan bir  $xx^*$  değeri ile eşleştirmektedir.

Doğal sayılar



Yukarıdaki şekilde yer alan **tanım kümesi** ve **değer kümesi** kavramları önemlidir, zira fonksiyonları tanımlı kümesindeki elemanları değer kümesindeki elemanlar ile eşleştiren birer dönüşüm olarak da ifade edebiliriz.



Yukarıdaki örnekte

- Tanım Kümesi A : A{1,2,3}
- Değer Kümesi B : B{a,b,c,d}
- Görüntü Kümesi : f(A) = {a,d}

f fonksiyonunu da  $f(A) = \{(1,a),(2,a),(3,d)\}$  şeklindeki eşleştirmelerin kümesi olarak tanımlarız.

## 1.6 Fonksiyonların İlginç Özellikleri

Matematiksel fonksiyonların fonksiyonel programlama dillerinin yapısını yakından etkileyen belirleyici iki önemli özelliğinden bahsedebiliriz, bunlar

- Fonksiyonlar tanım kümesindeki bir elemanı her zaman değer kümesindeki aynı eleman ile eşleştirir
- Fonksiyonların yan etkileri yoktur

$f(x) = x * x$  şeklindeki fonksiyon tanımını örnek olarak ele alırsak, bu fonksiyonun tanım kümesindeki 2 değerini değer kümesindeki 4 değeri ile ( $f(2)=4$ ), 3 değerini de 9 değeri ile eşleştirdiğini ( $f(3) = 9$ ) söyleriz. Bu fonksiyonun  $f(2) \neq 4$  veya  $f(3) \neq 9$  şeklinde bir eşleştirme yapması asla mümkün değildir. Programcı terimleri ile ifade edecek olursak fonksiyonlar **girdi parametresi olarak kullanılan bir değer için her zaman aynı çıktıyı üretir**.

$f(x) = x * x$  fonksiyonunun F# ile matematiksel tanımına uygun olarak basit bir eşleştirme dönüşümü olarak aşağıdaki gibi ifade edebiliriz.

```
(* 01_2_01.fsx *)
```

```
let f (x) =
    match x with
    | 1 -> 1
    | 2 -> 4
```

```
| 3 -> 9  
| _ -> -1 //Diğer olası tüm değerler
```

Dikkat ederseniz fonksiyonları bu noktaya kadar hep *eşleştirme yapan birer dönüşüm* olarak tanımlamaya özen gösterdik. Eğer fonksiyonel olmayan programlama dilleri ile tecrübeiniz varsa fonksiyonların veya metodların hesaplama yapmak için kullanıldığını düşünüyor olabilirsiniz. Ancak yukarıdaki  $f(x) = x * x$ örneğinde de görebileceğiniz gibi fonksiyonlar aslında herhangi bir hesaplama yapmazlar, fonksiyonlar basitçe iki kümenin elemanlarını birbirleri ile eşleştirirler. Bu nedenle fonksiyonları programcı bakış açısından herhangi bir hesaplama yapmayan basit birer switch/case (C,C++, Java, C#, JavaScript gibi dillerin hepsinde olan koşullu dallanma yapısı) kod bloğu olarak düşünebilirsiniz.

Ancak, switch/case benzeri yapılar yazım açısından zahmetli olup genellemeye uygun değildir. Tanım kumesinin tüm elemanlarının switch/case ile değer kumesinden bir eleman ile eşleştirilmesi pratik olarak mümkün değildir. Bu nedenle fonksiyonları, bir hesaplama yaptığı izlenimine kapılmamıza da neden olan, aşağıdaki şekilde yazarak genelleştirilebilir.

```
(* 01_2_02.fsx *)
```

```
let f (x) = x * x
```

Fonksiyonların ikinci ilginç özelliği ise yan etkilerinin olmamasıdır. **Yan etki** fonksiyonun eşleştirme dönüşümünü yaparken giridi olarak verilen tanım kumesindeki değerin de değişmesi anlamına gelir. Bu durumda fonksiyon sadece tanım kumesindeki değeri değer kumesi ile eşleştirmiş olmaz yan etki olarak tanım kumesindeki değeri de değiştirmiştir olur.

Örneğin  $f(x) = x * x$  fonksiyonuna girdi olarak verilen değer kumesindeki

$x = 5$  değerinin  $y = f(5)$  ifadesi ile yapılan dönüşüm işlemi sonrasında hala 5'e eşit olması  $f(x)$  fonksiyonunun yan etkisi olmadığını gösterir.

```
(* 01_2_03.fsx *)  
  
let f(x) = x * x    // fonksiyon tanımı  
  
let x = 5           // Tanım kümesinden 5 değeri  
let y = f 5         // y = f(5)  
  
printfn "x = %d" x // x değeri değişmiş mi kontrolü  
printfn "y = %d" y // y = f(5) dönüşümü yapılmış mı  
kontrolü
```

Bu iki özelliği sağlayan fonksiyonları matematikçiler ve fonksiyonel programcılar **saf fonksiyonlar** olarak adlandırır. Saf fonksiyonlar aynı girdi değerleri için her zaman aynı çıktıyı üretir ve bu işlem sonsuza dek farklı değerler ile tekrarlansa bile fonksiyonun davranışı değişmez, ikinci olarak ise saf fonksiyonlar hiç bir zaman girdinin değerini değiştirmez.

Saf fonksiyonlar fonksiyonel programlama çerçevesinde aşağıdaki yöntemlerin uygulanmasını mümkün kılar

- Örneğin 100 çekirdekli bir işlemciniz varsa 1 ile 100 arasındaki sayıların karelerini aynı anda her bir çekirdekte tanım kümesinden bir elemanı değer kümesinden bir elemana eşlestirecek şekilde **paralel** olarak programlayabilirsiniz. Bu fonksiyonların birinci özelliği sayesinde mümkün olur
- Bir fonksiyonu çıktısına ihtiyaç duyduğunuz anda gevşek olarak (lazy) değerlerebilirsiniz. Fonksiyonel olmayan programlama dillerinde program akışı bir methoda veya fonksiyona geldiği anda o method veya fonksiyon hemen çalıştırılır ve sonuç alanının bir bellek konumunda saklamانız gereklidir. Fonksiyonel programlama

dillerinde program akışı bir fonksiyona geldiğinde eğer fonksiyonun sonucuna hemen ihtiyacınız yoksa bu fonksiyonun değerlendirmesini geciktirebilirsiniz. Buna **gevşek değerlendirme**(lazy evaluation) denir. Gevşek değerlendirme de fonksiyonların birinci özelliği sayesinde mümkündür, çünkü bir fonksiyonu ne zaman değerlerseniz değerlendirebilirsiniz. Tanım kümesindeki aynı değeri her zaman değer kümesindeki aynı eleman ile eşleştirir (aynı girdi için her zaman aynı çıktıyı üretir)

- Yine fonksiyonların birinci özelliği sayesinde bir fonksiyonun tanım kümesindeki bir değerin eşleştirildiği değer kümesindeki değeri daha sonra tekrar kullanılmak üzere bellemesini sağlayabilirsiniz. Fonksiyonel programlama dillerinde bu özelliğe **belleme**(memoization) denir. Belleme davranışını doğrudan fonksiyon tanımında ifade edilebilir ve fonksiyon eğer daha önce bellediği bir eşleştirme işlemini yapacaksa bu işlemi gerçekten yapmadan sonucunu hazır olarak bellekten okuyarak döndürebilir.
- Fonksiyonların ikinci özelliği sayesinde (yan etkisinin olmaması) birden fazla fonksiyonu istediğiniz sıra ile değerlayabiliriz (evaluate). Fonksiyonlar değerlendirildiğinde tanım kümesindeki girdi değeri değişmediği için (girdi değeri bozulmadığı için) değer kümesindeki eşleşen değer de değişmez.

## Değerleme Sırası Önemli Mi Değil Mi?

Fonksiyonların ikinci özelliğine istinaden fonksiyonları istediğimiz sırada değerlayabileceğimizi ve sonucun değişmeyeceğini söylemiştık. Ancak matematiksel olarak  $f(g(x)) = g(f(x))$  önermesi her zaman doğru değildir. Bu önerme sadece bazı özel  $f$  ve  $g$  fonksiyonları için doğru olabilir (örneğin birim fonksiyon), bu özel fonksiyonlar dışındaki fonksiyonlar için  $f(g(x)) \neq g(f(x))$  önermesi geçerlidir.

Fonksiyonların çalışma sırasını önemli olduğunu aşağıdaki örnek programımızda da hızlıca görebiliriz. Sıralama değiştirildiğinde sonuç da

kaçınılmaz olarak değişimektedir.

```
(* 01_2_04.fsx *)
let f(x) = x + 1 // bir artırma fonksiyonu tanımı
let g(x) = x * x // kare alma fonksiyonu tanımı

printfn "Sonuç 1 = %d" (f(g(1))) // Sonuç 1 = 2
printfn "Sonuç 2 = %d" (g(f(1))) // Sonuç 2 = 4
```

Ancak fonksiyonel programlama açısından değerlendirme (evaluate) ve çalıştırma (execute) aynı kavramlar değildir. Değerleme sırası kavramı daha çok derleyici seviyesinde geçerli olan bir kavramdır ve yazdığınız kodun çalıştırılma sırası ile doğrudan bir ilişkisi yoktur. Bu nedenle matematiksel ve programatik olarak yukarıdaki örnekteki **f(g(x))** ve **g(f(x))** çağrıları eş çağrıları değildirler. Bu nedenle fonksiyonel programlamada değerlendirme sırası önemli olmamakla birlikte çalıştırma sırası diğer tüm programlama yaklaşımlarında olduğu gibi önemlidir.

Şimdi gelelim derleyici açısından değerlendirme sırasının neden önemli olmadığını. Yine yukarıdaki örneğimizdeki f ve g fonksiyonlarını örnek olarak kullanalım.  $f(g(1))$  ifadesi için iki farklı şekilde değerlendirme yapılabilir. İlk değerlendirme (Normal Sıralı Değerleme – Normal Order Evaluation) yaklaşımı şöyle olacaktır

```
// Normal Değerleme

f(g(1))
= g(1)+1 // f(x) = x + 1 olduğu için f(x) g(1) + 1
olarak değerlendirildi
= (1*1)+1 // g(1) -> 1*1 olarak değerlendirildi
= 1 + 1 // g(1) = 1 olduğu için ifade 1 + 1 olarak
değerlendirildi
= 2
```

İkinci değerlendirme yaklaşımı (Uygun Sıralı Değerleme – Applicative Order Evaluation) ise şöyle olacaktır

```
f(g(1))
= f(1*1) // önce g(1) ifadesi değerlendirildi -> 1*1
= f(1)   // sonuç f(1)
= 1+1    // sonra da f(1) ifadesi değerlendirildi -> 1 + 1
= 2      // sonuç
```

Hangi değerlendirme yaklaşımı uygulanırsa uygulansın **f(g(1))** ifadesinin sonucu değişmez ve 2'ye eşittir.

## BİLGİ

**Normal Sıralı Değerleme (Normal Order)** yapılırken bir fonksiyonun en soldaki görünümü öncelikli olarak değerlendirilir.  $f(g(1))$  ifadesinde en solda  $f$  fonksiyonu var ve  $f(x) = x + 1$  olduğu için  $f(g(1))$  ifadesi açılarak  $g(1) + 1$  olarak yazılır. Programlama terminolojisinde buna *isimle çağrıma (call by name)* de denir

**Uygun Sıralı Değerleme (Applicative Order)** yapılırken en içteki fonksiyonun görünümü öncelikli olarak değerlendirilir.  $f(g(1))$  ifadesinde en içteki fonksiyon  $g$  fonksiyonu olduğu için  $g(1)$  ifadesi değerlendirildi ( $1 * 1 = 1$ ) ve  $f(g(1))$  ifadesi  $f(1*1)$  olarak yazıldı. Programlama terminolojisinde buna *değerle çağrıma (call by value)* de denir

Kullandığınız fonksiyonel programlama dilinin derleyicisi her zaman yukarıdaki değerlendirme yöntemlerinden birini kullanabileceği gibi yazdığınız ifadelere veya derleyicinin çalıştırıldığı donanımın yeteneklerine göre iki değerlendirme yöntemini de değişimli olarak duruma göre kullanabilir.

Fonksiyonların ilginç iki özelliğine ilave olarak pek de ilginç olmayan iki özelliğinden daha bahsedebiliriz. Bunlar

- Fonksiyonların girdisi olan tanım kümesinden bir elemanını değeri ve çıktısı olan değer kümesindeki bir elemanın değeri değiştirilemez. Buna **değerin değişmezliği (immutability)** denir.
- İkinci olarak fonksiyonların tek bir girdi değerinin ve tek bir çıktı değerinin olmasıdır.

Bu iki özellik ilk başta çok önemli değilmiş hatta biraz da kısıtlayıcı olmuş gibi görünebilir. Ancak, bu özellikler fonksiyonel programlama dillerinin tasarımını doğrudan etkiler. Örneğin F# (ef şarp – F sharp) programlama dilinde derleyici yazdığınız tüm fonksiyonları tek bir giriş parametresi alan ve tek bir çıktı üreten birer fonksiyon olarak değerler, benzer şekilde F# programlama dilinde varsayılan davranış tanımladığınız değişkenlerin tanımlandığı andaki değerlerinin daha sonra değiştirilmesine izin verilmemesi şeklindedir.

## BİLGİ

F# programlama dilinde aslında **değişken (variable)** terimi yerine **değer ifadesi (value expression)** terimi kullanılır. Örneğin aşağıdaki a,b ve pi değer ifadeleri değişken değildir çünkü değerlerini bir defa tanımlandıktan sonra değiştirememiz (*değişmezlik – immutability*)

```
(* 01_2_05.fsx *)

let a = 42
a = 43 // Hata

let b = "F# ile Fonksiyonel Programlama"
b = "F# ile fonksiyonel programlama" // Hata

let pi = 3.14
pi = 3.0 // Hata
```

Ancak F# dilinde dilin yaklaşımı nedeni (multi paradigm bir dil) ile

değeri değiştirilebilen (mutable) değer ifadeleri tanımlamak da mümkünündür

```
(* 01_2_06.fsx *)
let mutable a = 42
printfn "a = %d" a

a <- 43 // Değer ifadesinin değerini değiştir
printfn "a = %d" a

let mutable b = "F# ile Fonksiyonel Programlama"
printfn "b = %s" b

b <- "F# ile fonksiyonel programlama" // Değer
ifadesinin değerini değiştir
printfn "b = %s" b

let mutable pi = 3.14
printfn "pi = %f" pi
pi <- 3.0 // Değer ifadesinin değerini değiştir
printfn "pi = %f" pi
```

## 1.7 Fonksiyonel Programlama Nedir?

Fonksiyonel programlama, saf fonksiyonları (pure functions) ve değeri sonradan değiştirilemeyen değer ifadelerini (value expressions) kullanarak paylaşılan program durumuna (shared program state) ve yan etkilere (side effect) mahal vermeden yapılan kodlama faaliyetidir. Bazı kaynaklar fonksiyonel programlamayı fonksiyonların birinci sınıf vatandaş (first class citizen) olarak kabul edildiği kodlama faaliyeti olarak da tanımlamaktadır. Fonksiyonel programlama bir araç veya dile bağlı değildir ve bir paradigma (yaklaşım) olarak değerlendirilir. Fonksiyonel olmayan programlama dilleri ile de (eğer dilin yapısı müsait ise) fonksiyonel programlama yaklaşımına ve ilkelerine uygun kod yazmak mümkün olabilir.

Fonksiyonel programlama yaklaşımına göre tasarlanmış programlama dilleri **bildirimsel (declarative)** diller sınıfında yer alır. Bildirimsel dilleri sınıfının karşıtı olarak ise C, C++, Java, Pascal ve C# gibi **yordamsal (imperative)** diller yer alır.

## NOT

Programlama dilleri sınıflandırılırken bakış açısına bağlı olarak farklı yöntemler uygulamak ve farklı sınıflandırmalar yapmak mümkündür. Bildirimsel ve yordamsal şeklindeki sınıflandırma bunlardan en genel geçer sınıflandırmayı temsil eder. Bunun dışında prosedürel diller, makina dilli, üst seviye diller, görsel diller, domain spesifik diller vs gibi sınıflandırmalar da yapılabilmektedir.

Şimdi gelin basit bir F# kod parçası ile fonksiyonel programlama dili ile geliştirilen kodun neye benzediğini hızlıca deneyimleyelim

```
(* 01_2_07.fsx *)  
  
let liste = [1..10] // 1 ile 10 arasındaki sayıları  
barındıran liste  
let kare x = x * x // Bir sayının karesini alan  
fonksiyon tanımı  
  
let sonuc = List.map kare liste // List modülü  
içindeki map fonksiyonu  
printfn "Sonuç = %A" sonuc  
// val sonuc : int list = [1; 4; 9; 16; 25; 36; 49;  
64; 81; 100]
```

Yukarıdaki kod parçasında **list** isimli bir değer ifadesi ve **kare** isimli bir fonksiyon tanımı yapılmaktadır. **List.map kare liste** ifadesi ile de **List** modülü içindeki **map** isimli **yüksek mertebelili** fonksiyon birinci parametresi **kare** fonksiyonu ikinci parametresi de **liste** olacak şekilde

çalıştırılmaktadır.

Şimdi gelin bu örnek kod parçasındaki bazı satırların fonksiyonel programlama yöntemine uygunluğunu değerlendirelim. Şöyled ki

- **kare** fonksiyonu saf bir fonksiyondur çünkü tanım kümesindeki her bir değer için sonuç olarak her zaman aynı çıktıları üretir. İlave olarak fonksiyon girdi veya çıktıının değerini değiştirmez
- **liste** değer ifadesinin değeri 1 ile 10 arasındaki sayılardır ve liste değer ifadesinin içeriği tanımlandığı andan sonra değiştirilemez
- **List.map** fonksiyonu yüksek mertebeli bir fonksiyondur çünkü **kare** fonksiyonunu parametre olarak kabul eder

## BİLGİ

Yüksek mertebeli fonksiyonlar başka bir fonksiyonu girdi parametresi olarak kabul eden fonksiyonlardır. Yukarıdaki örnekte kullanılan **List.map** fonksiyonu **kare** fonksiyonunu parametre olarak alabildiği için **yüksek mertebeli (higher order)** bir fonksiyondur.

## Bildirimsel ve Yordamsal Programlama Yaklaşımıları

F#, OCaml, Scala, Haskell gibi fonksiyonel programlama dilleri bildirimsel (declarative) diller sınıfında yer alan dillerdir. C,C#, Java, Pascal ve Cobol gibi diller ise ana yaklaşımları nedeni ile yordamsal (imperative) diller sınıfında yer alır. Ancak programlama dillerinin bu iki yaklaşıma göre hangi sınıfta yer aldığıının belirlenmesi için çok net kriterler yoktur. Bazı diller (örneğin JavaScript, C# veya Java 8) destekledikleri programlama yapılarına göre her iki sınıfta da yer alabilmektedir. Tüm bu kriter belirsizliği ve karmaşasına rağmen bir programcı olarak bu iki sınıf arasındaki temel farkları bilmeniz hem F# öğrenirken hem de diğer diller ile çalışırken sizin için oldukça faydalı olacaktır.

Şimdi gelin her iki yaklaşımın tanımını yaparak aralarındaki farkları ortaya koyalım.

Yordamsal programlama dillerinde yazdığınız kod bir işlemin **nasıl (how)** yapılacağını tarif eder. Bu yüzden bu tür dillerin temel yapı taşıları **tümcelerdir (sentence)**. Bu tümceler ile adım adım programın hangi işlemi **nasıl** yapması gerekiği tarif edilir ve bilgisayar bu adımları takip ederek programı çalıştırır. Bu sınıfındaki dillere prosedürel diller de denir. Bu tür dillerde adım adım bir tarif söz konusu olduğu için genellikle akış kontrolü için **while** ve **for** gibi döngü yapıları, koşullu dallanma için **if/else** ve **switch** yapıları ve her bir adım sonrasında ulaşılan durumun takip edilmesi ve kayıt altına alınması için de **değişkenler** kullanılır.

Bildirimsel programlama dillerinde ise yazdığınız kod bir işlemin nasıl yapılacağına değil işlem sonucunun **ne olacağına(what)** odaklanmıştır. Bu sınıfındaki dillere fonksiyonel diller de denir. Bu tür dillerin temel yapı taşı **değer ifadeleridir (expression)** ve bilgisayar programınızdaki bu değer ifadelerini çalıştırarak sonucun üretilmesini sağlar. Bildirimsel dillerde akış kontrolü için **öz yinelemeli (recursive) fonksiyonlar**, koşullu dallanma için **yüksek mertebeli fonksiyonlar (higher order functions)** ve **match** benzeri yapılar kullanılır. Bildirimsel dillerde işlem sonucuna odaklanılır ve önceki adımlarda ulaşılan durumun takip edilmesi için değişkenlere ihtiyaç duyulmaz. Bu nedenle daha önce de deyindigimiz gibi bu dillerde doğrudan değişken tanımı yapılmasına izin verilmez.

F# ağırlıklı olarak fonksiyonel (bildirimsel) bir dil olmakla birlikte yordamsal yapıları da desteklediği için gelin şimdi örnekler ile her iki yaklaşım için yazmamız gereken kodun nasıl görüneceğine bakalım

```
(* 01_2_08.1.fsx *)
(* Yordamsal (fonksiyonel olmayan) yaklaşım *)
let liste = [1..10]

let mutable ikiyeBölünenler = []
let mutable ikiyeBölünmeyecekler = []

for d in liste do
```

```

if d % 2 = 0 then
    ikiyeBöülünenler <- ikiyeBöülünenler @ [d]
else
    ikiyeBölünmeyenler <- ikiyeBölünmeyenler @
[d]
printfn "İkiye bölüneneler = %A" ikiyeBöülünenler
printfn "İkiye bölümeyenler = %A" ikiyeBölünmeyenler

```

```

(* 01_2_08.1.fsx *)
(* Bildirimsel (fonksiyonel) yaklaşım *)
let liste = [1..10]
let ikiyeBolünebilirMi x = x % 2 = 0

let ikiyeBöülünenler = liste |> List.filter
ikkiyeBolünebilirMi
printfn "İkiye bölüneneler = %A" ikiyeBöülünenler

let ikiyeBölünmeyenler = liste |> List.filter
(ikkiyeBolünebilirMi >> not)
printfn "İkiye bölümeyenler = %A" ikiyeBölünmeyenler

```

Yukarıdaki kod örneklerini de göz önünde bulundurarak her iki yaklaşım arasındaki temel farkları şöyle ifade edebiliriz

- İki yaklaşımın kodalama stilleri birbirinden farklıdır. Yordamsal dillerde yapılacak her işlem adım adım belirtilmek durumunda olduğu için genelde yazılması gereken kod miktarı fazla olur. Yukarıdaki örnek kodlarda da göreceğiniz gibi fonksiyonel yaklaşım ile en basit bir programda bile %40 (10 satırı karşılık 6 satır) seviyesinde daha az kod yazılması mümkün
- Yordamsal dillerde çalıştırılan adımlar sonrasında varılan durumun takip edilmesi için değişkenler kullanılır ve bu değişkenlerin değerleri herhangi bir aşamada değiştirilebilir. Ancak fonksiyonel

dillerde değişken kavramı yoktur bunun yerine değer ifadeleri (value expression) kullanılır ve bu ifadelerin değerleri ilk atandıkları andan sonra değiştirilemez.

- Çalıştırma sırasında yordamsal dillerde önemlidir çünkü durum takibi değişkenler ile yapılır ve her adım çalıştırıldıkten sonra bu değişkenlerin değeri değişimdir. Bu nedenle yordamsal dillerde kodun çalışma sırası önemlidir. Ancak, fonksiyonel dillerde değer ifadelerinin değerleri atandıktan sonra değiştirilemediği için ve fonksiyonel programlar durumsuz oldukları için çalışma sırası önemli değildir. Daha önceki bölümlerde bu sıralamanın derleyici seviyesinde de esnek olarak ayarlandığından örnekler ile bahsetmiştik
- Fonksiyonel dillerde fonksiyonlar birinci sınıf vatandaşlardır ve bir fonksiyon başka bir fonksiyonu girdi parametresi olarak alıp çıktı olarak geri döndürebilir. Yordamsal dillerin bir kısmında da bu mümkün ancak genel olarak fonksiyonları girdi ve çıktı olarak kullanmak daha fazla kod yazılmasını ve hata kontrollerinin düzgün yapılmasını gerektirir.
- Yordamsal dillerde akış kontrolü için döngü (for/while), koşullu dallanma (if/else, switch) ve metod tanımları kullanılır, programcılar bu yapıları kullanarak program akışını kontrol altında tutarlar. Fonksiyonel dillerde ise akış kontrolü için genel olarak fonksiyonlar ve öz yinelemeli (recursive) fonksiyonlar kullanılır, bu dillerde akış kontrolü alt seviyede derleyici tarafından en optimum şekilde otomatik oluşturulur.
- Yordamsal dillerde kullanılan temel veri yapıları değişkenler ve diziler (array) gibi içeriği değiştirebilen yapılarıdır. Fonksiyonel diller ise genel olarak fonksiyonları ve veri yapıları olarak yiğinları (collection) kullanırlar.

## BİLGİ

Diziler(array) ve yiğinlar(collection) arasındaki temel fark dizilerin boyunun sabit ve değiştirilemez olması buna karşın yiğinların

boyutunun fiziksel kapasitenin izin verdiği sınırlara kadar büyüyebilmesidir. Diziler ve yiğinlar hem yordamsal dillerde hem de fonksiyonel dillerde yer alan veri yapılarıdır, ancak fonksiyonel dillerde yiğin kullanımı tavsiye edilen pratiklerden birisidir.

Yordamsal diller bir çok sektörde yoğun olarak kullanılan ana dillerdir bu nedenle fonksiyonel dillere oranla popülerliği ve üretilen kod miktarı daha fazladır. Ancak, bulut tabanlı sistemlerin ve büyük veri odaklı veri işleme uygulamalarının popüler hale gelmesi ile birlikte F#, Clojure ve Haskell gibi fonksiyonel programlama dilleri de geliştiricilerin ilgisini çekmeye başlamış ve kullanımını gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Değer ifadelerinin değerlerinin atandıktan sonra değiştirilememesi(immutability) ve fonksiyonların prensip olarak yan etkisinin (side effect) olmaması gibi temel yapısal özellikler bu dillerin paralel ve eş zamanlı işleme kabiliyeti gerektiren büyük veri projelerinde her geçen gün daha fazla tercih edilmesini sağlamaktadır.

Sizler de bulut tabanlı büyük veri işleme uygulamaları veya benzer uygulamalar geliştirmek istiyorsanız F# veya farklı bir fonksiyonel programlama dilini öğrenerek kariyerinize pozitif bir katkı yapabilir, farklı mücadele ve fırsatlara açılan kapıları aralayabilirsiniz.

#### NOT

Nesne tabanlı (object oriented) diller de günümüzde yordamsal (imperative) ve bildirimsel (declarative,fonksiyonel) dillerden daha fazla popüler olan üçüncü yaklaşımı temsil etmektedir.

## 3.Bölüm : F# Temelleri

---

Bu bölümde önce F#'ın söz dizimi kurallarına formel olarak inceliyoruz. Daha sonra da basit (int,string,bool gibi) ve temel veri (değer grubu, unit, listeler, diziler gibi) tiplerini ele alıp F#'ın temel yapı taşları olan fonksiyonların ayrıntılarını inceliyoruz. Son olarak kod organizasyonu ile

İlgili ipuçları ile de bölümü tamamlıyoruz.

- Söz dizimi kuralları
- Basit Veri Tipleri
- Karşılaştırma ve Eşitlik
- Fonksiyonlar
- Temel Veri Tipleri
- Kod Organizasyonu

### 3.1 Söz dizimi kuralları

F#'ın göze hoş gelen, okuması kolay ve kodunuzun çalışmasına doğrudan etkisi olmayan fazlalıklardan arındırılmış bir söz dizimine sahiptir. F# söz dizimi sade olmakla birlikte oldukça şiktir ve farklı dil yapılarını güzel bir şekilde ifade etmenizi sağlar. Gelin şimdi F# söz diziminin temelini oluşturan kavram ve kuralları inceleyelim

#### Girinti Kullanımı (Indentation)

F#'da kod blokları, ya da daha doğru tabirle kod alanları (scope), girintiler (indentation) ile birbirinden ayrılır. Girintilerin her zaman 4 boşluk karakteri uzunluğunda olmalı. Girintileri oluşturmak için TAB özel karakteri kullanılmaz ancak tüm kod editörleri TAB tuşuna basınca TAB karakteri yerine belirli sayıda boşluk karakteri basacak şekilde ayarlanabilir bu nedenle pratikte TAB tuşunu kullanmanızın önünde bir engel yoktur.

C,C++,C#,Java ve JavaScript gibi dillerde kod alanlarını belirlemek için süslü parantez olarak adlanırlılan {} karakter çifti kullanılırken F#'da özel bir karakter veya karakter çifti kullanımına gerek yoktur. Girintiler kod lanlarını belirlediği için değer ifadelerinin bitişini belirtmek için noktalı virgül (逗号) benzeri karakterlerin kullanım ihtiyacı da dolaylı olarak ortadan kalkar.

```

(* 03_1_01.0.fsx*)

let sayı = 42

// Modül tanımı
module Modül1 =
    // Aşağıdaki satırlar girinti verildiği için
    // Modül1 alanına aittir
    let sayı' = 43
    let kırkÜçEkle x = sayı' + x

    // Aşağıdaki satırda girinti yok o nedenle Modül1 ile
    // aynı alana yani Global alana ait
    let sayı'' = 44

    // Modül1 alan adı ekleyerek kırkÜçEkle fonksiyonunu
    // Global kod alanında kullanabiliriz
    Modül1.kırkÜçEkle 44

    // Global kod alanında fonksiyon tanımı
    let birArttırVeKaresiniAl x =
        // Aşağıdaki satırlar girinti verildiği için
        // birArttırVeKaresiniAl alanına aittir
        let t = x + 1
        t * t

    // sayı'' değeri birArttırVeKaresiniAl fonksiyonu ile
    // aynı yani Global kod alanında
    // birArttırVeKaresiniAl sayı'''

    // Global kod alanında fonksiyon tanımı
    let çiftMiTekMi x =
        // Fonksiyonun kod alanı içinde tanımlı kod
        if x % 2 = 0 then
            // If koşulu kod alanı
            true
        else
            // Else koşulu kod alanı

```

```
false

// Yeni bir modül tanımı
module Modül2 =
    // Modül alanı başlangıcı
    let çiftMiTekMi x =
        // Fonksiyon alanı başlangıcı
        match x with
        // match alanı başlangıcı
        | a when a % 2 = 0 ->
            // Koşul kod alanı
            "Çift"
        | _ ->
            // Koşul kod alanı
            "Tek"
```

```
// Müdül2 kod alanındaki çiftMiTekMi fonksiyon
çağırısı
Modül2.çiftMiTekMi 12
```

```
// Global kod alanındaki çiftMiTekMi fonksiyon
çağırısı
çiftMiTekMi 12
```

F#'da modül alan adları **ModüleAdı**. şeklinde kullanılarak modül içindeki değerler veya fonksiyonlara erişilebilir. İlave olarak aynı kod alanına ait değer ifadeleri kendi yerel kod alanlarından bir üst seviyedeki kod alanından değer ifadelerini kullanabilir.

```
(* 03_1_01.1fsx *)
// Global alanda tanımlı değer
let kırkİki = 42

// Global alanda tanımlı fonksiyon
```

```

let kırkıkiEkle x =
    // Global alandaki kırkıki değerini fonksiyon
    // içinden kullanabiliriz
    kırkıki + x

// Modül tanımı
module Modül1 =
    // bir değeri Modül1 kod alanında
    let bir = 1

// Modül1 alan adında yer alan bir değerine
Modül1.bir şeklinde erişebiliriz
kırkıkiEkle Modül1.bir

```

## "let" Anahtar Kelimesi

F#'da fonksiyonel bir dil olması nedeniyle **değişken, değişken tanımlama ve değişkenin değerini değiştirme** gibi kavramlar kullanılmaz. Kitabın ilk bölümünde de bahsettiğimiz gibi F#'ın temelinde **değer ifadesi**(expression) dediğimiz kavram vardır. Değer ifadelerinin değerleri değişkenlerde olduğu gibi program akışı sırasında değiştirilemez.

**"let"** anahtar kelimesi F#'da isimlendirilmiş değer ifadelerinin ve fonksiyonların (ki onlar da birer değer ifadesidir) tanımlanması için kullanılır. Genel yapısı şöyledir

```

// Basit değer ifadesi (tek satır)
let değerAdı = değer

// Basit değer ifadesi (çoklu satır)
let değerAdı =
    değer

```

```
// Fonksiyon (tek satır)
let fonksiyonAdı girdi1 .... girdiN = fonksiyon kodu

// Fonksiyon (çoklu satır)
let fonksiyonAdı girdi1 .... girdiN =
    fonksiyon kodu
```

Şimdi gelin yukarıdaki kurallara göre **let** kullanarak bazı değer ifadeleri tanımlayalım

```
(* 03_1_01.fsx *)

// Basit değer ifadesi tanımlama
let sayı = 12
let metin = "F# ile fonksiyonel programlama"
let pi = 3.14
let cevap = true

// Tek satırda birden fazla değer ifadesi tanımlama
let a,b,c = 1,2,3

// Daha karmaşık değer grubu tipinden değerler de
// tanımlanabilir
let x,y,z = (42,"F# ile Fonksiyonel Programlama",
3.14)

// Fonksiyon tanımlama
let küp x = x * x * x

// Öz yinelemeli fonksiyon tanımlama
let rec fib n = if n <= 1 then n else fib(n - 1) +
fib(n - 2)
```

"let" anahtar kelimesi bir değer ifadesine değerinin bağlanması (binding) sağlar, bu nedenle diğer dillerdeki gibi klasik anlamda bir atama imkanı sağlamaz. Basit değer ifadelerinde bağlanan değer genelde int, string, bool gibi basit veri tipleri olurken fonksiyonlar için bağlanan değerler fonksiyonun çalıştığında yürütüceğİ işlemleri tanımlayan kod ifadeleridir.

"let" ile tanımlanan basit veya fonksiyon değer ifadelerine mutlaka ama mutlaka bir değer bağlanmalıdır.

```
// Hata! Herhangi bir değer bağlanmamış
let sayı

//Doğru
let sayı = 42

// Hata! Herhangi bir fonksiyon ifadesi bağlanmamış
let fonksiyon girdi

// Doğru
let fonksiyon girdi = girdi + 1
```

"let" anahtar kelimesi modül seviyesinde, sınıf seviyesinde veya fonksiyon tanımı içinde kullanılabilir. Değer ifadelerine tanımlandıkları satırдан sonra aynı alan (scope) içinden (modül, sınıf veya fonksiyon tanımı içinden) erişilip kullanılabilir.

```
(* 03_1_02.fsx *)

// Global alanda (Program) let ile değer tanımlama
let globalSayı = 42

// Global alanda (Program) let ile fonksiyon
tanımlama
```

```
let kare x = x * x

// Modül tanımı
module Modül1 =
    // Modül alanı içinde basit değer tanımlama
    let modülSayısı = 43

    // Modül alanı içinde fonksiyon tanımlama
    let kök x = (kare x) * x

// Fonksiyon alanında yerel değer ifadeleri tanımlama
let yerDeğiştir x y =
    let ix = y
    let iy = x
    (ix,iy) // Değer grubu tipinden fonksiyon çıktısı

(* --- Kurgumuzu test edelim --- *)

kare globalSayı

// modülSayısı global alandan erişilebilir değil
//kare modülSayısı

// modülSayısı değerine Modül1 alan adı eklenerek
// erişebiliriz
kare Modül1.modülSayısı

// Modül1 içindeki kök fonksiyonuna Modül1 alan adı
// eklenerek global alandan erişebiliriz
Modül1.kök 12

// yerDeğiştir fonksiyonu çağrıısı
yerDeğiştir 1 2

// Hata! yerDeğiştir yerel alanında tanımlı ix ve iy
// sadece fonksiyon içinde erişebilir
//let tx, ty = ix,iy
```

## "do" anahtar kelimesi

"do" anahtar kelimesi kullanılarak değer ifadesi veya fonksiyon tanımı olmasına ihtiyaç duyulmadan kod çalıştırılabilir. Program başlangıcında, modül tanımı başında veya sınıf tanımınız içinde otomatik olarak çalışmasını istediğiniz kod blokları varsa "do" anahtar kelimesini kullanabilirsiniz.

```
(* 03_1_03.fsx *)  
  
do printfn "Program çalışmaya başladı"  
  
// .... Program kodunuz  
let kare x = x * x  
printfn "2'nin karesi = %d" (kare 2)  
  
  
module Modül1 =  
    printfn "Modül çalışmaya başladı"  
    let kare x = x * x  
    printfn "Modül çalışması tamamlandı"  
  
do printfn "Program sonlandı"
```

Bahsettiğimiz kullanım senaryosuna ihtiyaç duyduğunuz yerlerde "do" kullanımı opsyoneldir. Yukarıdaki örnek kod parçasında Modül1 içinde "do" kullanılmadan yazılan printfn ifadeleri de çalıştırılır.

"do" kullanımı ile ilgili en önemli kısıtlama "do" sonrasında yazılan ifadenin dönüş değerinin **unit** tipinden olmasıdır. **unit** tipi F#'da özel bir tiptir ve **hiç birşey** anlamına gelmektedir.

### BİLGİ

**unit** tipini C,C++,Java ve C# dillerindeki **void** tipi ile aynı olduğunu düşünebilirsiniz.

```
(* 03_1_04.fsx *)  
  
// Hatalı kullanım  
// 1 + 1 ifadesinin sonucu tam sayı tipinde ve 2  
do 1 + 1  
  
// Doğru kullanım.  
// 1+1 sonucu olan 2 değeri ignore fonksiyonuna  
iletilir ve ignore unit tipinde çıktı verir  
do (1 + 1) |> ignore
```

## BİLGİ

**ignore** fonksiyonu F# standard kütüphanesi ile gelen bir fonksiyondur. Girid parametresi olarak tek bir parametre alır ve parametrenin tipi ne olursa olsun her zaman **unit** tipinden bir çıktı üretir.

## Yorum Satırları

Kodunuza iki şekilde yorum satırı ekleyebilirsiniz

- Tek satırlık yorumlarınız için // karakterlerini kullanabilirsiniz
- Birden fazla satırlık yorumlarınız için ise (\* \*) çiftini kullanabilirsiniz

// karakterleri sonrasında ve (\*) arasında yer alan ifadeler F# derleyicisi tarafından derlenmez ve dolayısıyla programınızın bir parçası olarak çalıştırılmaz

```
(* 03_1_05.fsx *)
```

```
// Tek satırlık yorum
```

```
// let x = 12

(*
    Çok satırlı
    yorum
*)

(*
    let kare x
        x * x
*)
```

## Koşullu Derleme

Platforma, işletim sistemine veya çalışma ortamına bağlı olarak aynı işlevi farklı yapılar kullanarak kodlama ihtiyacı duyabilirsiniz. Bu duruma genelde

- Mobil ve masaüstü işletim sistemi uygulamalarının
- Aynı işletim sisteminin farklı versiyonlarını desteklemek

ortak kod havuzundan derlenmesi gibi gerekçeler ile ihtiyaç duyulur.

Bu tür durumlarda F#'da **#if #else #endif** derleyici makroları kullanılır.

```
(* 03_1_06.fsx *)

//----- ÖRNEK 1 -----/
#if v1
// v1 koşulunda çalışması istenen kod parçası
let kare x = x * x

#else
// v1 koşulu haricinde çalışması istenen kod parçası
let kare x = sprintf "Kare %d" x
```

```

#endif

// v1 ortam değişkeni tanımlı olmadığı için çıktı
// "Kare 4" olacaktır
kare 2

//----- ÖRNEK 2 -----//

let osx = true
#if osx
// osx koşulunda çalışması istenen kod parçası
let ortam() = "OSX"

#else
// osx koşulu haricinde çalışması istenen kod parçası
let ortam() = "OSX DEĞİL"

#endif

// osx değeri tanımlı ancak yine de çıktı "OSX DEĞİL"
olacaktır
// Ortam değişkenlerini kodunuz içinde
tanımlayamazsınız!
ortam()

```

Koşullu dallanma durumunu kontrol eden değişkenler **ortam değişkenleridir** ve bunların değeri derleyiciye parametre olarak geçilmelidir. Koşullu derleme derleyici seviyesinde devreye giren bir mekanizmadı, dolayısıyla koşul değişkenlerinize kodunuzun içinde değer ataması yapamazsınız.

F# derleyicisi ve F# interaktif için ortam değişkenlerini **--define** seçeneği ile aşağıdaki gibi tanımlayabilirsiniz.

- **fsharpc --define v1**
- **fsharpi --define osx**

Visual Studio gibi F# destekleyen editörlerde doğrudan derleyici veya interaktif araçlarına erişiminiz olmadığı için ortam değişkenlerinizi editör seçenek ekranlarını kullanarak tanımlayabilirsiniz.

## Tanımlayıcı ve Anahtar Kelimeler

Değer ifadeleri tanımlarken kullandığımız ifade isimlerini **tanımlayıcılar**, F#'in dili içinde tanımlı özel tanımlayıcılara da **anahtar kelimeler** diyoruz.

```
(* 03_1_07.fsx *)  
  
// sayı bir tanımlayıcı  
// let ise anahtar bir kelime  
let sayı = 42
```

F#'da anahtar kelimeler dışında kalan tanımlayıcıları kullanırken aşağıdaki kurallara uymak gereklidir:

- Sadece herhangi bir harf veya \_ ile başlayabilir
- 0 ve 9 arasında sayısal karakterler ile başlayamaz
- Harfler, sayılar, \_, ' karakterleri kullanılabilir
- Boşluk ve - karakterini içeremez. Bu karakterleri kullanabilmek tanımlayıcı (iki ters kesme simgesi çifti) arasında yazılmalıdır
- kullanımı durumunda tanımlayıcı adında TAB, satır başı veya `` karakterleri yer alamaz
- Tip isimleri, bileşim etiketleri, modül isimleri veya kod alanı isimlerinde '.', '+', '\$', '&', '[', ']', '/', '\', '\*', "", `` karakterleri kullanılamaz
- F# dilinin anahtar kelimeleri yöntemi haricinde tanımlayıcı olarak kullanılamaz

```

(* 03_1_08.fsx *)

// Doğru kullanım
let sayı = 42
//let -sayı = 42 // Hatalı

let _sayı = 42
//let 42sayısı = 42 // Hatalı

let mucize_sayı = 42
//let mucize-sayı = 42 // Hatalı

let kare x = x * x
//let -kare x = x * x // Hatalı

let _kare x = x * x
//let 42çarpıKare x = 42 * (x * x) // Hatalı

let kare_fonk x = x * x
//let kare-alma x = x * x // Hatalı

// Anahtar kelimenin tanımlayıcı olarak kullanımı
let ``let``= "Let ifadesi"
//let let = "Let ifadesi" // Hatalı

// Boşluklu tanımlayıcı ismi
let ``iki ile topla`` x = x + 2
//let iki ile topla x = x + 2 // Hatalı

//UTF-8 karakterlerin kullanımı
let çırılcılaşanSayı = 42
let π = 3.14
let cliché = "Klişe"

// f fonksiyonu
let f (x:float) = 2.0 * x + 4.0

// f' fonksiyonu, f fonksiyonun tersi

```

```
let f' (x:float) = 0.5 * x - 2.0
```

## DİKKAT

F# derleyicisi kod dosyalarının karakter kodlamasının (encoding) UTF-8 olduğunu varsayar.

### Anahtar Kelimeler (4.1 versiyonu itibariyle)

abstract and as assert base begin class default delegate do done downcastownto elif else end exception extern false finally for fun function global if in inherit inline interface internal lazy let match member module mutable namespace new null of open or override private public rec return sig static struct then to true try type upcast use val void when while with yield

### Rezerve Edilmiş Anahtar Kelimeler

*Gelecekte kullanılmak üzere aşağıdaki anahtar kelimeler rezerve edilmiştir.*

atomic break checked component const constraint constructor continue eager fixed fori functor include measure method mixin object parallel params process protected pure recursive sealed tailcall trait virtual volatile

Tüm F# anahtar kelimelerini ve sembollerinin "Ek-1: Anahtar Kelimeler" ve "Ek-2 : Semboller" altında bulabilirsiniz

## Shebang

F# kaynak kodu veya script dosyalarınızın başında #! ile başlayan ve **shebang (okunuşu şibank)** olarak adlandırılan özel bir karakter kombinasyonu kullanılabilir. Bu kombinasyon Unix konvansiyonu ile uyumluluk için kullanılır ve scriptin yorumlayıcı program yolunun tanımlanılmasını sağlar.

Örneğin F# script dosyanızın başına aşağıdaki shebang komutunu eklerseniz Unix,Linux ve OSX işletim sistemlerinde dosyanızı komut satırına yazar yazmaz belirttiğiniz yoldaki F# yorumlayıcısı **fsharpi** dosyanızın içindeki kodu çalıştıracaktır

```
#!/bin/usr/env fsharpi --exec  
  
(* 03_1_09.fsx *)  
printfn "Merhaba Dünya!"
```

```
# Komut satırı  
$ 03_1_09.fsx
```

## 3.2 Basit Veri Tipleri

Tüm programlama dillerinde herhangi bir verinin mutlaka bir tipi vardır. Sayı, metin, karakter ve evet/hayır şeklinde değer barındıran tiplere basit tipler denir. Programlama dilleri tasarımda tipler daha çok kavramsal büyüklükler olarak ele alınır ve asıl amaçları programlarımızdaki hataları derleme anında veya çalışma anında engellemektir. Tipler, program versinin program akışı sırasında doğru bir şekilde kullanılmasını ve fonksiyonlar arasında veri aktarımının güvenli bir şekilde yapılmasını sağlar. Özette tipler ile ilgili tüm kaygı kavramsal seviyede veri dönüşümün tutarlılığına odaklanmıştır.

F#'da basit tipler olarak adlandırdığımız 16 veri tipi vardır. F# bir .NET dili olduğu için tiplerden 15 tanesi doğrudan .NET tip sistemi tarafından tanımlanır, yani F# standard kütüphanesinde bu 15 tip için ayrı bir tanım yoktur.

Gelin şimdi bu tipleri bir çizelge olarak görelim

F# tipi	Açıklama	.NET Tipi	Bellek Miktarı	Değer Aralığı	Örnek
<b>sbyte</b>	8-bit işaretli tam sayı	System.SByte	1 byte	-128 ile 127 aralığında	42y, -11y
<b>byte</b>	8-bit işaretsiz tam sayı	System.Byte	1 byte	0 ile 255 aralığında	42uy, 200uy
<b>int16</b>	16-bit işaretli tam sayı	System.Int16	2 byte	-32768 ile 32767 aralığında	42s, -1s
<b>uint16</b>	16-bit işaretsiz tam sayı	System.UInt16	2 byte	0 ile 65,535 aralığında	42us, 200us
<b>int/int32</b>	32-bit işaretli tam sayı	System.Int32	4 byte	-2,147,483,648 ile 2,147,483,647 aralığında	42, -11
<b>uint32</b>	32-bit işaretsiz tam sayı	System.UInt32	4 byte	0 ile 4,294,967,295 aralığında	42u, 200u
<b>int64</b>	64-bit işaretli tam sayı	System.Int64	8 byte	-9,223,372,036,854,775,808 ile 9,223,372,036,854,775,807 aralığında	42L, -11L
<b>uint64</b>	64-bit işaretsiz tam sayı	System.UInt64	8 byte	0 ile 18,446,744,073,709,551,615 aralığında	42UL, 200UL
<b>bigint</b>	Rastgele uzunlukta tam sayı	System.Numerics.BigInteger	En az 4 byte	Herhangi bir tamsayı	42l, 149999999999999999999999999999999
<b>float32</b>	32-bit işaretli ondalık sayı (ondalık kısım 7 basamağa kadar)	System.Single	4 byte	±1.5e-45 ile ±3.4e38 aralığında	42.0F, -11.0F
<b>float</b>	64-bit işaretli ondalık sayı (ondalık kısım 15-16 basamağa kadar)	System.Double	8 byte	±5.0e-324 ile ±1.7e308 aralığında	42.0, -11.0
<b>decimal</b>	128-bit işaretli ondalık sayı (ondalık kısım 28-29 basamağa kadar)	System.Decimal	16 byte	±1.0e-28 ile ±7.9e28 arasında	42.0M, -11.0M
<b>BigRational</b>	Rastgele uzunlukta rasyonel sayı. Kullanmak için FSharp.PowerPack.dll referans verilmesi	Microsoft.FSharp.Math.BigRational	En az 4 byte	Herhangi bir rasyonel sayı.	42N, -11N
<b>char</b>	Unicode karakter	System.Char	2 byte	U+0000 ile U+ffff arasında	'x', '\t'
<b>string</b>	Unicode metin	System.String	20 + (2 * metnin uzunluğu) byte	0'den 2 miliyar adet karaktere kadar	"Merhaba Dünya!", "F# ile fonksiyonel programlama"
<b>bool</b>	Lojik 1 ve 0	System.Boolean	1 byte	Sadece iki olası değer, true veya false	true, false

F#'da "let" ile basit değer ifadesi tanımlama formatı şöyledir

```
let <değer adı>:<değer tipi> = <değer>
```

```
let sayı:int = 42
let metin:string = "42"
```

Değer ifadelerinde tip kullanımı opsiyoneldir. Yukarıdaki ifadeler aşağıdaki gibi de yazılabılır, bu durumda **F# tip çıkarsama (type inference)** mekanizması sayesinde değer ifadesine verdığınız değerin tipini otomatik olarak değer ifadesinin tipi olarak çıkarsar

```
let sayı = 42 // sayı değer ifadesinin tipi int  
olarak çıkarılır
```

```
let metin = "42" // metin değer ifadesini tipi string olarak çıkarsanır
```

Fonksiyon tanımlarında da hem girdi parametreleri hem de fonksiyonun sonucunun değer tipini aşağıdaki formata uygun olarak belirtebilirsiniz.

```
let <fonksiyon adı> (girdi1:girdi tipi) (girdi2:girdi tipi): <sonuç tipi> = <kodunuz>
```

```
let topla (x:int) (y:int): string =
    sprintf "%d + %d = %d" x y (x+y)

topla 42 0
```

Fonskiyon girdi parametreleri ve çıktı tanımında da değer tipi kullanımı opsiyoneldir. Tipler kullanılmadan yukarıdaki örneği aşağıdaki gibi de yazabilirdik, bu durumda F# tip çıkarsama ile doğru tipleri çıkarsayacaktır.

```
let topla x y =
    sprintf "%d + %d = %d" x y (x+y)

let topla' (x:int) y =
    sprintf "%d + %d = %d" x y (x+y)

let topla'' x (y:int) =
    sprintf "%d + %d = %d" x y (x+y)

let topla''' x y : string =
    sprintf "%d + %d = %d" x y (x+y)

topla 42 0
```

```
topla' 42 0  
topla'' 42 0  
topla''' 42 0
```

## DİKKAT

Fonksiyon girdi parametrelerinde değer tiplerini kullanmak isterseniz parametre ifadesini örneklerde de görebileceğiniz gibi () içine almalısınız aksi durumda F# kodunuzu farklı yorumlayabilir veya hata verebilir.

## İPUCU

İlyaç duymadığınız sürece, özellikler basit değer ve fonksiyon tanımları için, değer tiplerini kullanmamanız tavsiye edilir.

F# bu basit tiplere ilave olarak değer ifadelerinizi 2'lük (binary), 8'lük (octal) ve 16'lük (hexadecimal) düzenlerde de tanımlamanıza izin verir

```
// 2'lük (binary) ifade formatı  
let değer_ifades = 0b[0 veya 1]  
  
// 8'lük (ocatl) ifade formatı  
let değer_ifades = 0o[0..7]  
  
// 16'lük (hexadecimal) ifade formatı  
let değer_ifadesi_adı = 0x[0..1 A..F]
```

```
(* 03_2_02.fsx *)
```

```
// 2'lük (binary) olarak 29  
let ikilik = 0b11101  
  
// 8'lük (ocatl) olarak 29
```

```

let değer_ifades = 0o35
// 16'lık (hexadecimal) olarak 29
let değer_ifadesi_adı = 0x1D

```

## Artimetik İşlemler

F#'da kullanılan 16 basit veri tipinden 9'u sayısal değerleri tarif etmek için kullanılan tiplerdir. Bu sayısal veri tiplerini ve aşağıdaki arimetik operatörleri kullanarak F# ile arimetik işlemler yapabilirsiniz

Operatör	Açıklama	Örnek	Sonuç
+	Toplama	1 + 2	3
-	Çıkarma	2-1	1
*	Çarpma	3 * 4	12
/	Bölme	4 / 2	2
**	Kare	2.0 ** 3.0	8
%	Mod	4 % 3	1

Arimetik operatörler ile işlem yapılırken varsayılan olarak değer aşımları F# tarafından kontrol edilmez ve herhangi bir hata almazsınız. Değer aşımı durumunu şöyle tanımlayabiliriz, örneğin 127y değerine sahip 8-bit işaretli bir tam sayıya 1y eklediğinizde 8-bit işaretli tam sayılar aralığında pozitif üst limit 127 olduğu için sonuç 128y olamaz. Bu nedenle, üst limit aşımında sonuç negatif olacak alt limit aşımında da sonuç pozitif olacaktır. Bu durum sadece toplama ve çıkarma işlemleri için diğer arimetik işlemler için de geçerlidir.

Bu durum sayıların 2'li sayı sistemindeki temsilinden ve basit 2'li sayı sistemi aritmetiğinin bir sonucudur. Şöyled ki; 8-bit işaretli tam sayılar 2'li sayı sisteminde 8 bit ile temsil edilirler. Ancak bu 8 bit'den en soldaki 1. bit işaret bitidir. Pozitif sayılar için bu işaret bitinin değeri 0, negatif

sayılar için de 1 olur. Buna göre

- $127y = 01111111$ , soldan ilk bit 0
- $-127y = 10000000$ , soldan ilk bit 1

Aşağıda bu sonucun nasıl oluştuğunu basit aritmetik adımları olarak görebilirsiniz

2'li sayı sistemi aritmetığında       $1 + 1 = 2 \rightarrow 0$   
elde var 1

10'lu sayı sistemi aritmetığında       $1 + 9 = 10 \rightarrow 0$   
elde var 1

## Pozitif yönde aşım

$$\begin{array}{r} 127y = 01111111 \\ 1y = 00000001 \\ + \hline 10000000 \end{array} \rightarrow -128$$

## Negatif yönde aşım

$$\begin{array}{r} -128y = 10000000 \\ -1y = 11111111 \\ + \hline 01111111 \end{array} \rightarrow 127$$

(\* 03\_2\_03.fsx \*)

```
// 8-bit işaretli tam sayı -128 ile 127 aralığında  
değer alabilir  
let sonuç1 = 127y + 1y // Sonuç -128y  
let sonuç2 = -128y - 1y // Sonuç 127y
```

```
// 32 bit işaretli tam sayı -32768 ile 32767
```

```

aralığında değer alabilir
let sonuç3 = 32767s + 1s // Sonuç -32768s
let sonuç4 = -32768s - 1s // Sonuç 32767s

// Çarpma işleminde aşım
let sonuç5 = -128y * 3y // Sonuç -128y

// 2'li sayı düzeninde ifadeler ve aşım
let a = 0b01111111y // 127y
let b = 0b00000001y // 1y
let sonuç6 = a + b // -128y

let a' = 0b10000000y // -128y
let b' = 0b11111111y // -1y
let sonuç7 = a' + b' // 127y

```

Toplama, çıkarma, çarpma, bölme, kare alma ve mod alma operatörlerine ilave olarak F# standard kütüphanesinde matematiksel işlemlerde kullanabileceğiniz aşağıdaki fonksiyonlar da yer alır

Fonksiyon	Açıklama	Örnek	Sonuç
<b>abs</b>	Sayıının mutlak değerini alma	abs -42.0	42.0
<b>ceil</b>	Yukarı doğru en büyük tam sayıya yuvarlama	ceil 42.001	43.0
<b>exp</b>	e'nin kuvveti	exp 1	2.7183
<b>floor</b>	Aşağı doğru en küçük tam sayıya yuvarlama	floor 42.999	42.0
<b>log</b>	Doğal logaritma (ln). 10 tabanında log10	log 2.71828	1.0
<b>sqrt</b>	Karekök	sqrt 4.0	2.0
<b>cos</b>	Kosinüs	cos 0.0	1
<b>sin</b>	Sinüs	sin 0.0	0
<b>tan</b>	Tanjant	tan 1	1.557
<b>pown</b>	Sayıının n. kuvvetini alma	pown 2 3	8

## İPUCU

Daha gelişkin matemtiksel fonksiyonlara ihtiyacınız varsa .NET platformu için açık kaynaklı olarak geliştirilen ve F# içinden de kullanabileceğiniz [Math.NET](#) kütüphanesine göz atabilirsiniz.

## Tipler Arası Dönüşüm

F# güvenli tipli (safe type) bir programlama dilidir, bunun bir sonucu olarak

- Her değerin doğrudan veya tip çıkarsama ile tipinin derleme anından bilinmeli
- Tipler arasındaki dönüşümler açık açık belirtilmeli

Diğer bazı dillerde olduğu gibi F# derleyicisi, formel olarak bazı koşullarda yapabilecek olsa bile, derleme anında basit veri tipleri arasında otomatik dönüşüm yapmaz. Örneğin 32 bit işaretli bir tam sayıyı girdi olarak alan bir fonksiyona 8 bit işaretli bir tam sayıyı girdi olarak doğrudan göndermezsiniz.

```
(* 03_2_04.fsx *)  
  
let kare x = x * x  
let sayı = 2y  
  
// Aşağıdaki kullanım hatalı  
// F# tip çıkarsama mekanizması kare fonksiyonun  
girdi olarak 32 bit  
// işaretli tam sayı beklediğini çıkarsadı  
//let sonuç = kare sayı  
  
// Doğru kullanım  
let doğruSayı = 2 // Tip çıkarsama doğruSayı  
değerinin tipini int olarak çıkarsadı  
let sonuç = kare doğruSayı  
  
// Fonksiyon girdi parametresinin tipini doğrudan
```

```
tanımlayarak alternatif yaklaşım  
let kare' (x:sbyte) = x * x  
let sonuç' = kare' sayı  
  
// 8 bit işaretli sayısı 32 bit işaretli sayıya  
çevirerek kullanım  
let sonuç'' = kare (int sayı)
```

```
// 64 bit işaretli tam sayı  
let büyükSayı = System.Int64.MaxValue - 1L //  
9223372036854775806L
```

```
// 32 bit işaretli tam sayıya çevirmek istediğimizde  
değer aşımı meydana gelir  
let intSayı = int büyükSayı // -2
```

F# basit veri tipleri arasındaki dönüşüm işlemlerini sizin kodlamanızı bekler. Bu nedenle tip dönüşümü yaparken, özellikle sayısal tipler için, bölümün başında verdığımız tablodaki değer aralıklarını kontrol etmenizde fayda olacaktır. Bu aralıklara uygun olmayan tip dönüşümlerinde değer aşımı durumu ortaya çıkar ve F# varsayılan olarak değer aşımı için hata üretmez.

### İPUCU

Değer aşımlarının F# tarafından kontrol edilmesini ve aşım durumunda hata üretilemesini istiyorsanız F# standard kütüphanesinde yer alan **Checked** modülünü kullanmalısınız. Bu modülü kullanmak için kaynak kodu dosyanızın başında **open Checked** ifadesini yazmanız yeterlidir. Bu satırдан sonraki kod satırlarınız için F# **Checked** modülü içindeki aritmetik operatör tip dönüşüm fonksiyonlarını kullanacaktır

## Karşılaştırma ve Eşitlik

Sayısal değerleri eşittir, eşit değildir, büyüktür, küçüktür, büyük eşittir ve küçük eşittir operatörleri ve **compare** standard kütüphane fonksiyonu ile karşılaşabilirsiniz. Karşılaştırma operatörlerinin işlem sonucu her zaman **true** veya **false** mantıksal değerine eşittir, **compare** fonksiyonun dönüş değerleri ise eşitlik durumunda 0, ilk girdi parametresi ikinciden küçük ise -1, ilk girdi parametresi ikinciden büyük ise 1 olur.

Operatör	Açıklama	Örnek	Sonuç
=	Eşittir	1 = 2	false
<>	Eşit değildir	1 <> 2	true
>=	Büyük eşittir	2 >= 2	true
>	Büyüktür	2 > 2	false
<=	Küçük eşittir	2 <= 2	true
<	Küçüktür	2 < 2	false
<b>compare</b>	Karşılaştır	compare 1 2	-1

## Bit Manipülasyonu

Operatör	Açıklama	Örnek	Sonuç
<b>&amp;&amp;&amp;</b>	Lojik VE	0b1111 &&& 0b0011	0b0011
<b>   </b>	Lojik VEYA	0xFF00     0x00FF	0xFFFF
<b>^^^</b>	XOR veya dışlamalı yada	0b0011 ^^^ 0b0101	0b0110
<b>&lt;&lt;&lt;</b>	Sola kaydırma	0b0001 <<< 3	0b1000
<b>&gt;&gt;&gt;</b>	Sağa kaydırma	0b1000 >>> 3	0b0001

## Mantıksal/Lojik Değerler

F#'da mantıksal 1 ve 0 değerlerini tanımlamak için **bool** tipi kullanılır.

Bool tipi **true** veya **false** şeklinde 1 bitlik iki değerden birini alabilir. Mantıksal **bool** tipindeki değerler ile VE, VEYA ve DEĞİL operatörleri kullanılarak **Bool Cebri** işlemleri yapılabilir.

Operatör	Açıklama	Örnek	Sonuç
<b>&amp;&amp;</b>	VE operatörü	true && false	false
<b>  &amp;</b>	VEYA operatörü	true    false	true
<b>not</b>	DEĞİL operatörü	not false	true

## POLEMİK

Bir teoriye göre evrendeki tüm karmaşık sistemler sadece lojik VE, VEYA ve DEĞİL basit devreleri kombine edilerek oluşturulabilir.

## Karakterler

F# karakter veri tipi desteği için .NET'in sağladığı imkanları kullanır. Karakterlerin tipi **char** olarak tanımlanır veya çıkarsanır. .NET'de karakterler 2 byte'lık unicode değerler olarak UTF-16 adı verilen formatta ifade edilir. Karakter değeri tanımlamak için basılabilir herhangi bir karakter tek tırnak çifti (' ') arasında yazmanız yeterli olur. Bu kullanıma ilave olarak tek tırnak çifti içine yazmak istediğiniz karakterin unicode kodunu da yazabilirsiniz.

## İPUCU

Karakterlerin unicode ifadeleri ve UTF-8, UTF-16 ve UTF-32 gibi kodlama yöntemleri kitabıń kapsamı dışında olduğu için ayrıntılarına girilmemiştir. Ancak isterseniz unicode karakter kodlarını <https://unicode-table.com> adresinden inceleyebilirsiniz.

(\* 03\_2\_05.fsx \*)

```

let üHarfi = 'ü'
let sesliHarfler = ['a';'e';'ı';'i';'o';'ö';'u';'ü']

let üHarfiUnicode = '\u00FC'
let sesliHarflerUnicode =
['\u0061';'\u0065';'\u0131';'\u0069';'\u006F';'\u00F6
';'\u0075';'\u00FC']

```

Alfabetik karakterler ilave olarak ASCII kod tablosunda kontrol karakteri olarak tanımlanan tab, yeni satır, satır başı gibi özel karakterler ile tek tırnak ('), çift tırnak ("') ve geri bölü () gibi F# dilinde özel anlamı olan karakterleri başlarına geri bölü () karakteri koyarak kullanabilirsiniz.

```

(* 03_2_06.fsx *)
let tekTırnak = '\''
let çiftTırnak = '\"'
let geriBölü = '\\'
let tab = '\t'
let yeniSatır = '\n'
let satırBaşı = '\r'

printfn "tek tırnak %c, çift tırnak %c" tekTırnak
çiftTırnak

// 'a' karakterinin sayısal unicode değeri
let a = int 'a'

// 'a' karakterinin 8 bitlik işaretetsiz sayı olarak
karşılığı
let bitmap = 'a'B

```

## İPUCU

Bir karakterin sayısal karşılığını görmek için tip dönüşüm

fonksiyonları kullanılabilir. Örneğin **let a = int 'a'** ifadesi ile "a" harfinin unicode kod tablosundaki sayısal karşılığını bulunur. Benzer şekilde **let a = 'a'B** ifadesindeki gibi karakterin sonuna "B" tip tanımlayıcısını ekleyerek "a" harfinin 8 bit işaretsiz tam sayı karşılığı olan değeri bulabiliyoruz.

## Metinler

F#'da metin değerlerini ifade etmek için çift tırnak çiftini (" ") kullanırız ve bu değerlerin tipi **string** olarak tanımlanır veya çıkarsanız. Çift tırnak çifti arasında yazılan tüm karakterler bir metin oluşturur. .NET metinler için unicode kodlamalarından UTF-16 kullandığı için F#'da da otomatik olarak bu destek yer alır. Metin değerlerinde Karakterler bölümünde bahsettiğimiz tüm alfabetik karakterleri ve kontrol karakterlerini kullanabilirsiniz.

(\* 03\_2\_07 \*)

```
let metin = "F# ile fonksiyonel programlama"
let metin' = "ali özg\u00fcr"
let metin'' = "\'Kitap Adı\' F# ile Fonksiyonel
Programlama\n \"Yazar\" Ali Özgür"
```

Çift tırnak çiftine ilave olarak F#'da çift tırnak üçlüsü çifti (""" "") de metin değerleri tanımlamak için kullanılabilir. Bu alternatif kullanımın çift tırnak çiftine göre faydası metin değerinin içinde çift tırnak ("") ve tek tırnak ('') karakterlerini geri bölü ile yazmak zorunda olmamanızdır.

(\* 03\_2\_07 \*)

```
let metin = """ "Kitap Adı" F# ile fonksiyonel
programlama, 'Yazar' Ali Özgür """
//Çıktı " "Kitap Adı" F# ile fonksiyonel
```

programlama, 'Yazar' Ali Özgür " olur

Çok uzun metin değerlerini tek satıra yazmak yerine birden fazla satır kullanarak da tanımlayabilirsiniz. Bunun için ifadenizi normal olarak çift tırnak ikilisi veya çift tırnak üçlüleri arasına yazıp her satırın sonuna geri bölümü \ karakterini koymalısınız. Bu durumda \ koyduğunuz satırдан sonra boşluk karakterleri göz ardı edilerek birden fazla satıra yayılmış olan metin değeriniz tek satırda birleştirilir.

```
(* 03_2_07.fsx *)
```

```
let çokSatırlıMetin = " 1, \
                      2, \
                      3, "
```

// Çıktı "1,2,3" olur

Diğer bir alternatif metin tanımlama yöntemi verbatim metinlerdir ve @ simgesi kullanılarak metin değeri tanımlanır. Bunun için metnin başlangıcını ifade eden çift tırnak çiftinin önüne @ karakteri konulur. Bu sayede geri bölümü karakterlerini \ kullanmadan doğrudan metninizin içine yazabilir ve kontrol karakterlerine metninizde yer verebilirsiniz (\n yeni satır kontrol karakteri olarak olara algılanmaz doğrudan \n olarak algılanır).

```
(* 03_2_07.fsx *)
```

```
let metin = @"Yazar \ Ali Özgür. Kontrol
karakterlerimiz şunlar \r \n \t \\"
// Çıktı "Yazar \ Ali Özgür. Kontrol karakterlerimiz
şunlar \r \n \t \\" olur
```

### 3.3 Fonksiyonlar

Fonksiyonlar F#'in temelini olan dil yapılarıdır. Fonksiyonların bir adı, girdi parametreleri, gövdesi ve çıktısı vardır. F#'da fonksiyonlar fonksiyonel programlamaya özgü olan değer olarak kullanma, isimsiz fonksiyonlar oluşturma, girdi değerlerinin kısmi uygulanması ve fonksiyon kompozisyonu gibi işlemleri de destekler.

F#'da fonksiyon tanımları da basit değer ifadeleri gibi "let" anahtar sözcüğü kullanılarak aşağıdaki formata uygun yapılır

```
let <fonksiyon adı> <girdi1> <girdi2> ... <girdi N> =  
    <fonksiyon gövdesi/kodu>  
  
// Örnek fonksiyon tanımı  
let topla x y =  
    x + y
```

Yukarıdaki fonksiyon tanımında fonksiyonun girdi parametrelerinin ve çıktısının tipini tanımlamadık çünkü F# **tip çıkarsama** mekanizması sayesinde bu tipleri otomatik olarak çıkarsayabilir. Ancak tipleri kullanmak istenirse fonksiyon tanımlama formatı aşağıdaki şekilde yapılmalıdır.

```
let <fonksiyon adı> (<girdi1:tip>) (<girdi2:tip>) ...  
    (<girdi N:tip>) : <çıktı tipi> =  
        <fonksiyon gövdesi/kodu>  
  
// Örnek fonksiyon tanımı  
let topla (x:int) (y:int) : string =  
    sprintf "x + y = %d" (x+y)
```

Her iki yaklaşım da aynı anda tek bir fonksiyon tanımı için kullanılabilir. Örneğin girdi parametrelerinden sadece birkaçının tipi tanımlanabilir veya girdi parametre tipleri tanımlanmaz sadece çıktı değerinin tipi tanımlanabilir.

```
let topla (x:int) y : string =  
    sprintf "x + y = %d" (x+y)  
  
let topla' x y : string =  
    sprintf "x + y = %d" (x+y)
```

F#'da bir fonksiyonun çıktısını çağrıran kod bloğuna döndürmek için diğer bazı dillerde olduğu gibi **return** benzeri bir anahtar kelime kullanımına ihtiyaç duyulmaz. Fonksiyonların çıktısı her zaman fonksiyon gövdesindeki son değer ifadesinin değeridir.

```
let toplaVeÜçEkle x y =  
    let yerel_değer = 3  
    x + y + yerel_değer // Fonksiyon çıktısı,  
fonksiyon gövdesindeki son ifade
```

Pekiyi fonksiyonların çıktısı her zaman fonksiyon gövdesindeki son ifade ise herhangi bir çıktısı olmayan ve sadece yan etkisi için tasarladığımız fonksiyonların çıktısı ve çıktı tipi ne olcaktır? Bunun için F#'da **unit** adı verilen özel bir tip kullanılır. Bu tipi C,C++,C# ve Java gibi dillerdeki **void** tipi ile aynı olduğunu düşünebilirsiniz.

**unit** tipinden bir değer ifade etmek için boş çift parantez () kullanılır.

```
let toplaVeSadeceBas x y =  
    let toplam = x + y  
    printfn " İşlem sonucu x + y = %d" toplam
```

( )

Yukarıdaki fonksiyon gövdesinde son ifade () olduğu için fonksiyonun çıktısı unit tipinden olacaktır. Aslında () ifadesini kaldırırsak bile **printfn** ifadesi de unit tipinden bir değer döndürdüğü için dolaylı olarak fonksiyonumuzun dönüş tipi de unit olacaktır.

Fonksiyon gövdenizdeki son ifade her zaman unit döndürmeyebilir veya fonksiyon gövdenizi unit döndürmek istediğiniz için her zaman () değerini kullanmak istemeyebilirsiniz. Bu gibi durumlarda F# standard kütüphanesi içinde gelen **ignore** fonksiyonunu kullanabilirsiniz.

```
let topla x y =
    x + y |> ignore
```

Yukarıdaki örnekte **x + y** ifadesi hesaplanmasına ve int tipinde çıktı vermesine rağmen sonuç |> operatörü ile **ignore** fonksiyonuna aktarılır. Bu durumda fonksiyon gövdenizdeki son ifade **ignore** fonksiyonu çağrıları olur ve bu fonksiyon her zaman **unit** döndürecektir.

## Fonksiyonların İmzası

Bir fonksiyonun imzası fonksiyonun girdi parametrelerinin ve çıktısının tiplerini tanımlamak için kullanılır. F#'da -> simgesi fonksiyonları matematiksel açıdan ele aldığımız bölümde tanımını yaptığımız **Tanım Kümesi**'nden **Değer Kümesi**'ne olan dönüşümü simgelemek için kullanılır. F# derleyicisinin veya etkileşimli yorumlayıcısını (FSI) çıktılarında fonksiyon imzaları aşağıdaki formata uygun olarak gösterilir.

**val fonksiyonAdı : tanım\_kümesi -> değer\_kümesi**

```
// Tek parametreli fonksiyon
let kare x = sprintf "Karesi %f" (x**2.0)
```

```
// Çok parametreli fonksiyon  
let topla x y = sprintf "Karesi %f" (x + y)
```

Yukarıdaki kod örneğinde ilk fonksiyon tanımını seçip Alt+ENTER kombinasyonu ile FSI'ya gönderdiğinizde

**val kare : x:float -> string** şeklinde bir çıktı alacaksınız.

Bu çıktı şu şekilde okunur; **kare** fonksiyonu **x** isimli **float** tipinden bir girdi parametresi alıp **string** tipinden bir çıktı üretir. İkinci fonksiyon tanımı için ise

**val topla : x:float -> y:float -> string** şeklinde bir çıktı üretilir. Dikkat ederseniz girdi parametre sayısının artması çok fazla bir değişikliğe neden olmadı, sadece ifadenin solunda ilave bir parametre tanımı yer alıyor.

## KURAL

Bu iki örneği genelleştirecek olursak; fonksiyon imzalarının sağındaki en son tip fonksiyonun çıktısının tipini ifade eder, sağada yer alan diğer tipler ise girdi parametrelerini ifade eder.

Şimdi gelin biraz daha karmaşık bir fonksiyon imzası örneği olarak **List.map** ifadesini FSI'da çalıştırıldıktan sonra ürettiği çıktıyı inceleyelim. Çıktı olarak

**val it : (('a -> 'b) -> 'a list -> 'b list)**

şeklinde bir fonksiyon imzası ile karşılaşırınsız. Bu imzayı önce sağdan sola şöyle okuyalım; **List.map** öyle bir fonksiyondur ki

- En sondaki **'b list** ifadesine istinaden; çıktı olarak **'b** tipinden elemanlar içeren bir liste döndürür
- **('a -> 'b)** ifadesine istinaden; ilk girdi parametresi olarak **'a**

tipinden girdi alıp 'b tipinden çıktı üreten bir fonksiyon tipinde değer

- 'a list ifadesine istinaden; ikinci girdi parametresi olarak ise 'a tipinden değerler içeren bir liste alır

Fonksiyon imzalarında fonksiyon tipinden parametreler çift parantez ile grüplanarak gösterilir.

### İPUCU

Bir fonksiyonun girdi parametre sayısı imza ifadesindeki -> simgesi sayısı kadardır. -> simgeleri sayılırken () ile grüplanmış fonksiyon tipi ifadelerindeki -> simgeleri sayılmaz.

## Değer Tipi Olarak Fonksiyonlar

F#'da ve diğer tüm fonksiyonel programlama dillerinde fonksiyonlar birinci sınıf vatandaşları ve diğer basit ve karmaşık tipler gibi değer ifadelerinde tip olarak kullanılıp fonksiyonların girdisi veya çıktısı olarak tanımlanabilirler.

Fonksiyon tipli bir değer ifadesi tanımlamak için bir önceki başlıkta ayrıntılı bir şekilde ele aldığımız fonksiyon imzalarının formatına çok benzeyen aşağıdaki format kullanılır.

```
let <değer_adı> : <tanım_kümlesi> -> <değer_kümlesi> =  
<>
```

Aşağıdaki örnek kod parçasında **birArttır** isimli bir fonksiyon tanımlıyoruz. Bu fonksiyonun ilk parametresi string tipinden girdi alan ve hiçbirşey (unit) döndüren bir fonksiyon (string -> unit tanımına istinaden) ikinci parametresi de x isimli int tipinden bir değer.

Fonksiyonun gövdesinde toplama işlemine başlamadan önce ve toplama yapıldıktan sonra **loglayıcı** parametresi ile geçilen fonksiyon çalıştırılarak

loglama işlemi yapılır.

```
(* 03_3_02.fsx *)
let birArttır (loglayıcı: string->unit) x =
    loglayıcı "İşleme başladım"
    let s = x + 1
    loglayıcı "İşlem tamam"
    s
let ekranaLogla (x:string)  =
    printfn "Log : %s" x

let dosyayaLogla (x:string) =
    // Dosyaya loglama kodu
    ()
birArttır ekranaLogla 42
birArttır dosyayaLogla 42
// sonuç değeri 3 olur
```

**birArttır** fonksiyonun **loglayıcı** fonksiyonunu parametre olarak almasındaki tasarımsal amaç fonksiyon kodunu değiştirmeden farklı loglama mekanizmalarının parametre olarak geçilebilen fonksiyonlar ile desteklenebilmesinin sağlanması. Bu amaca uygun olarak **ekranaLogla** ve **dosyayaLogla** isimli iki fonksiyon tanımlanıyor. Bu fonksiyonların imzası (aslında tipi de denilebilir) **string -> unit** şeklinde ve **birArttır** fonksiyonun ilk parametresi olarak kullanılmaya uygundur. Örnek kodda her iki loglama fonksiyonun parametrik olarak kullanımı son iki satırda grebilirsiniz.

Fonksiyon tiplerinin nasıl tanımlandığını ve kullanıldığını öğrendiğimize göre standard kütüphanedeki List modülü içinde bulunan **map** fonksiyonunu kendimiz oluşturmayı deneyelim. List.map fonksiyonun imzası şöyledir

```
val it : ('a -> 'b) -> 'a list -> 'b list)
```

Bu imzaya göre `List.map` fonksiyonu sonuç olarak da yeni bir liste döndürür ve ilk parametre olarak da bir fonksiyon alır. Bu imzada henüz dephinmediğimiz tek konu '`a`' ve '`b`' şeklindeki ifadeler. Simdilik bu ifadelerin **herhangi bir tip** veya **jenerik bir tip** anlamına geldiğini bilmeniz yeterli olacaktır.

```
(* 03_3_03.fsx *)  
  
let map (f:'a->'b) (liste : 'a list) : 'b list =  
    let sonuç = seq{for x in liste -> (f x)}  
    sonuç |> List.ofSeq  
  
[1..10] |> map (fun x -> x * x)
```

Yukarıdaki örnek `map` kodumuzda `map` fonksiyonu '`a->b`' imzasına sahip ve `f` isimli bir fonksiyonu ilk parametre olarak alır, ikinci parametre ise `liste` isimli ve tipi '`a list`' (`a` herhangi bir tipte değer barındıran liste). Fonksiyonumuzun çıktısı '`b list`' tipinde olacaktır. Fonksiyon gövdesinde ise `liste` içindeki tüm değerler için girdi olarak verilen `f` fonksiyonunu çalıştırıp sonuçta `f` fonksiyonun çıkışının tipinde ('`b`) elemanlar değerler barındıran yeni bir liste döndürüyoruz.

## İPUCU

Kitabımızın online Git deposundaki `03_3_03.fsx` dosyası içinde `map` fonksiyonun öz yinelemeli fonksiyonlar kullanılarak daha fonksiyonel bir tarzda yazılmış halini inceleyebilirsiniz.

## Parametresiz Fonksiyon Tanımları

F#'da hiç bir girdi parametresi almayan fonksiyonları tanımlarken çok dikkatli olmanız gereklidir. Programlama dillerinin çoğu girdi parametresi almayan bir fonksiyon tanımlarken basitçe parametrelerin olmaması yeterlidir. Ancak F#'da parametresiz fonksiyonları tanımlarken

**unit** tipinden en az bir girdi parametresi belirtmeniz gereklidir. Benzer şekilde parametresiz fonksiyonları **fonksiyon\_adı()** formatına uygun olarak unit tipinin değeri olan boş çift parantez ile çağrırmalısınız.

Aşağıdaki kodörneğinde **kare** ve **ikininKaresiniAl** isimli iki fonksiyon tanımlamaya çalıştığımızı düşünelim.

```
let kare x = x * x  
let ikininKaresiniAl = kare 2
```

Yukarıdaki örnek kod parçasındaki iki satırı Alt+Enter ile FSI'da seçip çalıştırıldığımızda aşağıdaki gibi bir çıktı göreceğiz

```
val kare : x:int -> int
```

```
val ikininKaresiniAl : int = 4
```

İlk ifade açıkça bir fonksiyon imzası ve daha önce gördüğümüz formata uygun. Ancak, ikinci ifade bir fonksiyon ifadesi değil. İkinci ifade bir değerin imzasıdır. Değer imzaları formatı **val değer\_ifadesi\_adı : değer\_tipi = değer** formatındadır. Değer ifadelerinde fonksiyonel manada tanım ve değer kümeleri arasında bir dönüşüm yapılmadığı için **->** sembolü yer almaz.

Gelin şimdi hatalı olan **ikininKaresiniAl** fonksiyonunu **unit** değerini kullanarak doğru bir şekilde tanımlayalım.

```
let kare x = x * x  
let ikininKaresiniAl() = kare 2  
ikininKaresiniAl() // Fonksiyon çağrıısı
```

Bu ifadeleri FSI'da çalıştırıldığımızda niyetimize uygun olarak aşağıdaki çıktıyı alırız

```
val kare : x:int -> int
```

```
val ikininKaresiniAl : unit -> int
```

```
val it : int = 4
```

`ikininKaresiniAl` fonksiyonunu `unit` değeri () kullanmadan FSI kullanarak çağrırmayı deneyelim

```
ikininKaresiniAl
```

Yukarıdaki çağrıı sonrasında FSI aşağıdaki çıktıyı üretir

```
val it : (unit -> int) = fun:it@11-6
```

Bu çıktı fonksiyon imzasına benziyor ama aynı zamanda değer ifadesi imzasını da andırıyor değil mi? Gerçekte bu ifade bir fonksiyon değerinin ifadesidir, çünkü F#'da fonksiyonlar da birer değer ifadesi olarak kullanılabilir yani dilin birinci sınıf vatandaşlarıdır. Bu ifadede `it` otomatik üretilen ve varsayılan bir değerin adını ifade eder, `(unit -> int)` ifadesi değer tipinin girdi olarak `unit` alan çıktı olarak da `int` döndüren bir fonksiyon tipi olduğunu belirtir, [fun:it@11-6](#) ifadesi ise `ikininKaresiniAl` fonksiyonun bellekteki adresini simgeleyen otomatik üretilmiş bir yer tutucu değerdir.

Gördüğünüz gibi F#'da hiç bir girdi parametresi almayan fonksiyonları hem tanımlarken hem de kullanırken çok dikkatli olmalısınız. Aksi durumda derleyicinin veya FSI'in verdiği kriptik hata mesajlarını çözümlemeye çalışarak zaman kaybedebilirsınız. Daha da kötüsü derleyici veya FSI herhangi bir hata mesajı vermeyeceği için hatalı çalışan kod yazmış olabilirsiniz.

## İsimsiz/Anonim Fonksiyonlar (Lambda ifadeleri)

Girdi parametresi olarak başka bir fonksiyonu alabilen yüksek dereceli

fonksiyonları çağrıırken basit hesaplamaları için isimsiz fonksiyon ifadelerini parametre olarak kullanabilirsiniz. Bu tür isimsiz fonksiyonlara **anonomi** fonksiyonlar denir.

Anonim fonksiyonlar aşağıdaki formata uygun oluşturulur

```
fun <girdi1> <girdi2> ... <girdiN> -> <fonksiyon  
gövdesi>
```

Anonim fonksiyonlarda girdi değerleri ve çıktı değerinin tiplerinin kullanılması ile ilgili kurallar isimli fonksiyonlar ile aynıdır.

```
(* 03_3_01.fsx *)  
  
// 1.0 ile 10.0 arasındaki sayıların listesi  
let list = [1.0..10.0]  
  
// Kare fonksiyonu  
let kare x = x**2.0  
  
// Kare fonksiyonu kullanarak listedeki elemanların  
// karesini alma  
list |> List.map kare  
  
// Anonim fonksiyon kullanarak listedeki elemanların  
// karesini alma  
list |> List.map (fun x -> x**2.0)
```

List modülündeki **map** fonksiyonu yüksek dereceli bir fonksiyondur çünkü ilk girdi parametresi olarak başka bir fonksiyon alır ve ikinci girdi parametresi olarak verilen listedeki tüm elemanları için ilk girdi parametresi olan fonksiyonu çalıştırır.

3.4 Temel Veri Tipleri

3.5 Kod Organizasyonu