

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 Matematiksel 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
 - 3.1 Söz dizimi kuralları
 - 3.2 Basit Veri Tipleri
 - 3.3 Fonksiyonlar
 - 3.4 Fonksiyonların İleri Seviye Kullanımı
 - 3.5 Temel Veri Tipleri
 - 3.6 Kod Organizasyonu
- 4.Bölüm : Fonksiyonel Programlama
 - Desen Eşleştirme (Pattern Matching)
 - Küme Teorisi ve F# Tipleri
 - Değişkenler Grubu (Tuple)
 - Ayırışık Bileşim (Discriminated Union)

- Kayıt (Record)
 - Gevşek Değerleme (Lazy Evaluation)
 - Sekanslar (Sequences)
 - Sorgu 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 Özyenilemeli 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 Uygulama : Kredi Puanı Hesaplayıcı
 - UrhoSharp ile 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 matematiksel anlamda fonksiyonları ve fonksiyonların bazı ilginç özelliklerini ele alıp fonksiyonel programlamanın tanımı ile bölümü tamamlayacağız.

1.1 F# ile Tanışma

Programlama dili kitapları ekrana "Merhaba Dünya!" yazdırmak için kullanılan kod ile başlar. Bu klasik kod parçası öğrenmek üzere olduğunuz dil hakkında hızlıca bir fikir edinmenizi sağlar. Biz de kitabımıza bu klasik ile başlıyoruz.

```
printfn "Merhaba Dünya!"
```

F# özelinde,yukarıda da gördüğünüz gibi, bu işlemi yapan kod parçası kısa ve sadedir.

Şimdi gelin biraz daha ayrıntılı kod örnekleri ile günlük F# kodlamanızda ağırlıklı olarak kullanacağız yapıları tanıyalım. Yapılan işlemlerin karmaşıklığı ve ayrıntısı artsa bile F#'ın sadeliğinden ödün vermediğini ve kodun oldukça şık görüldüğünü söyleyebiliriz.

Kodun şıklığı estetik uyumla birlikte kolay okunan, kolay anlaşılan ve nihayetinde kolay yönetilebilen kodu simgeler.

```
// 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 ççşşğğüüöôİı = "Türkçe'ye özel karakterler"

// ===== Listeler =====
// Köşeli parantez ile liste tanımlanır
// liste elemanlarını da ; ile ayırırız
let pozitifSayılar = [1;2;3;4;5]

// :: operatörü varolan listenin başına 0 değerini ekleyerek yeni bir liste oluşturur
// doğalSayılar listesi [0;1;2;3;4;5] şeklinde olacaktır
let doğalSayılar = 0 :: pozitifSayılar

// @ operatörü iki listeyi birleştirip yeni bir liste oluşturur
```

```
// tamSayılar listesi [-5;-4;-3;-2;-1;0;1;2;3;4;5] şeklinde olacaktır
let tamSayılar = [-5;-4;-3;-2;-1] @ doğalSayılar

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

// ===== Fonksiyonlar =====
// "let" anahtar kelimesi ile aynı zamanda ismi olan fonksiyonlar da tanımlanır

// Fonksiyon tanımında parantez, süslü parantez veya noktalı virgül kullanılmıyor
let küp x = x * x * x

// Fonksiyonu çalıştıralım, girdi parametrelerini tanımlarken de parantez kullanmıyoruz
küp 3

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

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

// Fonksiyonu çalıştır
çiftSayılar pozitifSayılar

// Parantezleri işlem önceliğini belirtmek için kullanabilirsiniz. Aşağıdaki örnekte
// 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

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

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

// Fonksiyonların içinde yerel fonksiyonlar tanımlayabiliriz
let birArttır x =
    // Yerel fonksiyon. Kabuk fonksiyonun parametrelerine erişir
    let birArttırİçFonksiyon() =
        x + 1

    // Yerel fonksiyonu kabuk fonksiyon içinden çağır
    birArttırİçFonksiyon()

// Fonksiyonu çağır
birArttır 2

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

// 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"

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

// Ekrana "Girdi değer belirtilmemiş" basılacak
optionKullanarakEşleme geçersizDeğer

// ===== 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 öğrenci1 = {Ad="Arda"; Soyad="Özgür";Numara=124}

// Bileşimler (union) birden fazla seçenek tanımlamamızı sağlar.
// Bunlara ayrışmış bileşimler (discriminated union) de denir
// Bileşimlerin seçenekleri dikine çizgi (|) simgesi ile birbirinden ayrışır
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 "Bir int %i, bir float %f ve bir bool %b" 42 3.14 true
```



```
printfn "Metin %s ve tipi ile ilgilenemiyorum : %A" "Merhaba Dünya" [1;2;3;4;5]

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

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

1.3 Kısa F# Tarihçesi

F#, Türkçe **efsharp** olarak telafuz edilen yabancı kaynaklarda da **FSharp** veya **F Sharp** olarak 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 çağırırsa da kitapta bu anlamlarda kullanılmamıştır. "Fonksiyonel programlama" programlama dilleri tasarımında matematikteki fonksiyonları ve özelliklerini temel alan yaklaşımı ifade eder.

F#, Microsoft tarafından tasarlanıp geliştirilen açık kaynak kodlu bir dilidir. F#'ın geliştirmesindeki temel motivasyon Microsoft'un en önemli platformlarından biri olan .NET Framework'ün temel tasarım amacına kadar uzanır. .NET Framework diller, derleyiciler, standard bir kütüphane ve sanal çalışma ortamı gibi bileşenleri içeren bir çatı olarak kurgulanmıştır. .NET'i destekleyen programlama dilleri ile geliştirilmiş programlar dillerin kendilerine özel derleyicileri tarafında derlenir. Derleme sonrasında MSIL (Microsoft Intermediate Language) isimli ara bir dile dönüştürülen programlar CLR (Common Language Runtime) adı verilen ortak dil çalışma ortamında

çalıştırılabilir.

BİLGİ

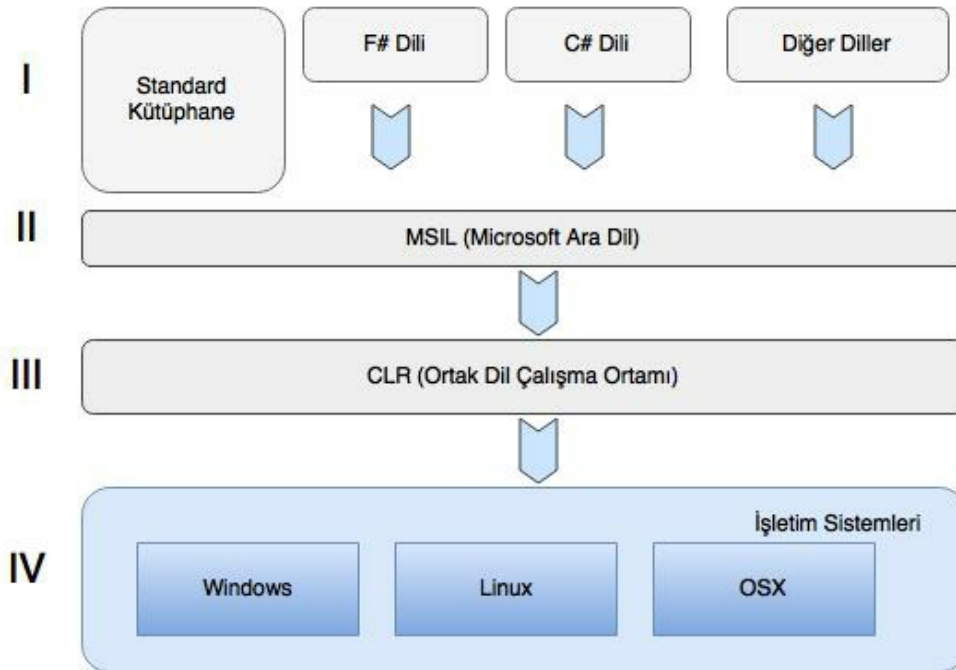
MSIL, işletim sistemi ve mimari bağımsız bir dildir ve .NET Framework'ü hedefleyen programlama dillerinin (C#, VB.NET ve F#) derleyicileri tarafından üretilir, elle kodlanmaz.

.NET Framework'ü hedefleyen herhangi bir dilde geliştirilen ve MSIL'e derlenen programlar .NET'in desteklediği Windows, Linux ve OSX işletim sistemlerinde çalıştırılabilir.

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 itibariyle Microsoft Mono'ya kod katkısı sağlamaya başlamıştır. Microsoft aynı zamanda Windows, Linux ve OSX'de çalışan .NET Core isimli işletim sistemi bağımsız bir .NET Framework versiyonu geliştirmektedir.

Microsoft .NET Framework



F#'ın yaratıcısı olan Don Syme F#'ın nasıl ortaya çıktığını 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 olduktan sonra, Project 7 kod adlı projeyi başlatan James Plamondon bizimle irtibata geçti. Project 7, yedi adet akademik ve yedi adet de genel amaçlı programlama dilinin .NET'i desteklemesini hedefleyen bir projeydi. Project 7 ile farklı programlama dillerini destekleyebilmek için .NET'in sağlaması gereken mekanizmalar ve esneklikler araştırılacak ve uygulanmaya başlanacaktı.

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

Don Syme ve ekibi o dönemin (2000'li yılların başı) en popüler ML varyantı olan OCaml'ı .NET'e taşıma çabalarına yoğunlaştılar ve sonuç olarak temelinde OCaml olan F#'ın ilk versiyonu 2005 yılında yayınlandı.

İki dilin benzerliğini görmek için aşağıdaki F# faktöriyel hesaplama kodunu OCaml yorumlayıcısında çalıştırabilirsiniz.

```
(* 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 [OCaml Pro](#) adresinden deneyebilirsiniz. Deneme yaparken her bir satırın sonuna ;; eklemeyi unutmayın

F#, 2017 yılı itibarıyla 4.1 versiyonuna ulaşmış arkasında Microsoft gibi dev bir şirketin 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.

F# versiyon tarihçesini ve diğer ayrıntıları aşağıdaki çizelgeden inceleyebilirsiniz.

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 <http://fsharp.org> adresinden erişebilirsiniz.

F# kaynak kodunu incelemek için <https://github.com/fsharp/fsharp> adresindeki GitHub deposuna başvurabilirsiniz.

1.4 Neden F#?

Yeni bir programlama dili öğrenmeye başladığınızda, eğer ortada profesyonel bir zorunluluk yoksa, bu dili zaten bildiğiniz diğer diller ile karşılaştıracaksınız. İlk defa bir programlama dili öğreniyorsanız da yaptığınız dil tercihinin size uygun olup olmadığına 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 odaklanarak dilin size sağlayacağı katkılara veya karşılaşacağınız zorluklara 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 nadiren ihtiyaç duyulur. Kod alanlar (global alan, modül içi, fonksiyon içi vs) girintiler (indentation) kullanılarak tanımlanır.

Aşağıdaki kod örneğinde // simgesi ile belirtilen yorum satırlarının hemen altındaki kod satırlarında bahsettiğimiz özellikleri 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 kod alanı başlangıcı
    match x with
    | a when a <= 0 -> failwith "Değer sıfırdan büyük olmalı"
    | a when a % 2 = 0 -> true
    | _ -> false
    // Fonksiyonun kod alanı sonu

// Global alanda fonksiyon çağırısı
tekMiÇiftMi 12
```

Sade ve Şık Tip Tanımları

En öncemli yazılım geliştirme aktivitelerinden biri problemin modellenmesi aşamasıdır. Modelleme aktivitesi UML dili ve araçları ile yapılabileceği gibi sadece kod yazılarak da yapılabilir. Kod yazarak yapacağınız modelleme bir taşla iki kuş vurmanızı sağlar.

- Hem problemi oluşturan parçaların probleme özel tipler ile tanımlarsınız
- Hem de değerli zamanınızı sadece model olarak kullanılabilecek bir çıktı için değil aynı zamanda çalıştırabilir kod üretmek için harcamış olursunuz

Teoride tüm programlama dilleri modelleme için kullanılabilir. Ancak kullandığınız dilin sağladığı yapılar yukarıda bahsettiğimiz avantajlar için katlanabileceğinizden daha karmaşık veya hantal olabilir. F# bu karmaşa ve hantallıktan uzak bir dildir, çünkü sunduğu tip tanımlama yapıları sadelik ve şıklık konusunda oldukça iddialıdır.

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 genel bir ayırım yapılır. Static tipli dillerde değişkenler, metod girdi parametreleri ve metodun dönüş değeri için tip tanımı yapılması zorunludur. Tip uyumu derleyici tarafından derleme anında sıkı bir şekilde kontrol edilir. Dinamik tipli dillerde ise herhangi bir tip tanımı yapılmasına gerek kalmadan değişken veya metodlar tanımlanabilir. Tip kontrolü derleme anında değil çalışma anında yapılır.

Her iki yaklaşımın da seveni olduğu kadar nefret edeni de fazladır. Bu iki yaklaşımın sağladığı avantajları ve dezavantajlar kitabımızın kapsamı dışında olduğu için ayrıntılara yer vermiyoruz. Ancak, benim size tavsiyem bu konudaki fanatik tartışmalardan uzak durarak her zaman elinizdeki problemi en iyi şekilde çözeceğini düşündüğünüz yaklaşıma göre tasarlanmış dilleri kullanmanızdır.

F# derleyici seviyesinde statik tipli diller gibi davranırken kod yazımı sırasında dinamik tipli diller gibi davranır. Bunun iki anlamı vardır

1. Kod yazarken değer ifadeler ve fonksiyon tanımlarında parametre tiplerinizi çoğunlukla belirtmek zorunda değilsiniz (dinamik dillerdeki gibi)
2. Derleme sırasında derleyici biraz akıllı davranarak tip uyumluluğunu sizin için kontrol edip hataları yakalar.

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

çıkarsama yöntemi sayesinde tip bildirimlerine ihtiyaç duymadan daha kısa ve okunaklı kod yazabilirsiniz. Buna ilave olarak yazılan kodun tip uyumluluğu anlamında güvenli olması derleyici tarafından garantilenir.

```
(* 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 çıktının 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 çıktı 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 üretir. Bazen de programcının ne ifade etmek istediğini net olarak belirtmemesi nedeni ile varsayımlar yapar. Bu varsayımlar nedeni ile sizi memnun etmeyen hatalı tipler de çıkarsayabilir.

Yukarıdaki örnekte yer alan

```
let seniha = {Çalışan.Ad="Seniha",Soyad="Özgür"}
```

ifadesini

```
let seniha = {Ad="Seniha",Soyad="Özgür"}
```

şeklinde yazsaydık **Kişi** tipi **Çalışan** tipi tanımından sonra yapıldığı için *seniha* değer ifadesinin tipinin *Kişi* olduğu çıkarsanır. Bu durum *seniha* değerini tanımlarken alanlardan ilkinin önüne hangi tipe ait olduğunu **Çalışan.Ad="Seniha"** şeklinde belirterek engellenebilir. Bu yöntem ile F# derleyicisine bir ipucu verilerek tip çıkarsama sırasında istenmeyen bir varsayım yapması engellenir.

Sade ve Yetenekli Veri Yapıları

Çok genel bir tanıma göre yazılım programları akış kontrolü, veri alma, veri verme ve işleme kabiliyeti olan akıllı görünümlü otomasyon sistemleridir. Bu basit tanıma göre programlarımızı geliştirmek için yazdığımız kodun önemli bir miktarının fonksiyonlar arasında, tipler arasında, modüller arasında veya diğer yazılımlar ile veri alış verişi sağlayan ifadelerden oluştuğunu söyleyebiliriz.

BİLGİ

Literatürde daha kapsayıcı ve formel yazılım programı tanımları da vardır. Ancak bu tanımlar kitabımızın kapsamı dışında olduğu için ele alınmamıştır.

F#, bu basit tanımda yer verilen işlemler için hem dil seviyesinde hem de standard kütüphanesinde çok verimli ve kullanımı kolay yapılar sunar. Aşağıdaki örneğimizde

F#'da yer alan temel veri yapılarından olan liste, dizi ve sekans (silisile) 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/silisile
let sayilar4 = seq{1..System.Int32.MaxValue}
```

NOT

seq (sekans veya silisile) fiziksel belleğin izin verdiği ölçüde sınırsız sayıda elemanı barındırabilen standard bir F# tipidir. **seq** büyük veri işlemlerinde kullanabileceğiniz en yüksek performanslı tiplerden birisidir.

Sade ve şık veri yapılarına ilave olarak standard F# kütüphanesindeki **List**, **Seq** ve

Array modülleri veri işleme için kullanabileceğiniz onlarca fonksiyonu hazır olarak kullanımınıza sunar.

Kod örneğimizde **List** modülü içinde yer alan birkaç fonksiyonun kullanımı gösterilmektedir.

```
(* 01_1_06.fsx *)

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

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

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

// List.choose
// Listedeki 50'den büyük değerler seçilir
let büyükSayılar = 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 küçükSayılar = 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 (binary) operatördür. Bu tanımdaki (|>) ifadesi ikili operatör fonksiyonunun adı, x normal değer parametresi, f de bir fonksiyon parametresidir. Bu operatörü kullanarak normalde **f x** şeklindeki yapmanız gereken fonksiyon çağırılarını **x |> f** şeklinde de yapabilirsiniz.

Eş zamanlı ve paralel çalıştırma yapıları

Sahip olunan kaynakları en verimli şekilde kullanıp makul sürede sonuç üretebilmek bulut ekonomisinin en önemli gelişim alanlarından birini oluşturmaktadır.

Programlama dillerinin sunduğu eş zamanlı ve paralel işlem yapıları birim zamanda

işlenen veriyi ve kurulan bağlantı miktarını arttırdığı için önemli ilerlemelerin ve keşiflerin kapılarını açar. Özellikle sosyal platformlar ve IoT (nesnelerin interneti) tarafından üretilen büyük verinin düşük birim maliyetler ile işlenebilmesi yapay öğrenme ve davranış analitiği alanında geniş bir yelpazede farklı uygulamaları mümkün kılmaya devam edecektir.

F#, eş zamanlı (asenkron) ve paralel işlemler için kullanımı basit dil yapılarının yanı sıra hazır bir kuyruk mekanizması sunar.

```
(* 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 yapısı

kullanılır. Örneğimizdeki **ekranaBas** fonksiyonu asenkron bir fonksiyondur.

```
(* 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 işlemler = Async.Parallel [ for i in 0..10 -> async { return fib i } ]

işlemler
|> Async.RunSynchronously // Görevleri çalıştır
|> Array.iteri ( fun i x -> printfn "fib(%d) = %d" i x) // Sonuçları ekrana yazdır
```

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

BİLGİ

Async.RunSynchronously fonksiyonun adında bakıldığında görevleri senkron yani ardı ardına çalıştıracakmış gibi bir izlenim oluşabilir. Ancak bu fonksiyon paralel çalışacak tüm görevleri eş zamanlı olarak başlatıp hepsi tamamlanana kadar program akışını bekletir. Paralel tüm görevler tamamlanana kadar bir sonraki satıra işletilmez. Eğer görevlerin hepsinin tamamlanmasını beklemeden akışın devam etmesi istenirse **Async.StartImmediate** kullanılmalıdır.

Bu iki yapıya ilave olarak F# standard kütüphanesi ile hazır gelen **MailboxProcessor**

modülü ile 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"
```

BİLGİ

let! ifadesi asenkron fonksiyon çağırılarının sonuçlarını değer ifadelerine atamak için kullanılır. **let!** kullanıldığında asenkron çağrı tamamlanana kadar kod akışı bir sonraki satırdan devam etmez. Asenkron fonksiyon çağırılarda sadece **let** kullanıldığında ise fonksiyon çalıştırılmaz bunun yerine asenkron bir görev oluşturulur. Bu asenkron görev daha sonra **Async.RunSynchronously** veya **Async.StartImmediate** ile çalıştırılmalıdır.

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

```
(* 01_1_10.fsx *)

open System

// Saf fonksiyonel yaklaşıma 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 bakıldığında 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, analitik uygulamalar gibi bir çok sektörde kullanım alanı bulunduğunu 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 tasarımı 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 yayınlama 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 indirebilirsiniz.

1.5 Fonksiyonlara Matematiksel Bakış

Fonksiyonel programlamanın 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 $x \mapsto y$ 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 $X \rightarrow Y$ ile gösterilir.

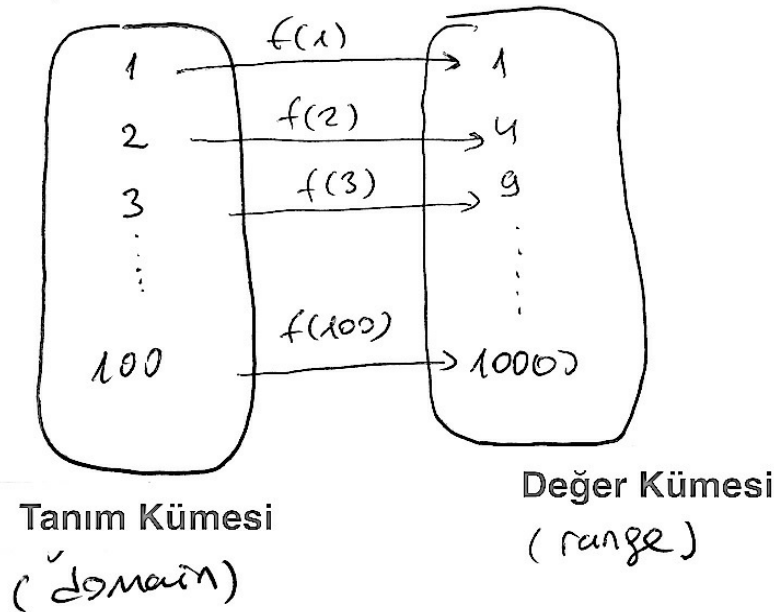
Yukarıdaki tanımda belirtilen 1. koşuldaki $\forall x \in X$ ifadesini "X kümesinin elemanı olan tüm x değerleri", $\exists y \in Y$ ifadesini ise "Y kümesinin elemanı olan bir y değeri" şeklinde okuyabilirsiniz. \forall ve \exists sembolleri matematikte nicelik/miktar belirten sembollerdir, \forall sembolü **tüm** ve \exists sembolü de **bir** anlamında miktar belirtir. Bu tanımda yer alan diğer iki sembolden \in sembolü bir değer 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.

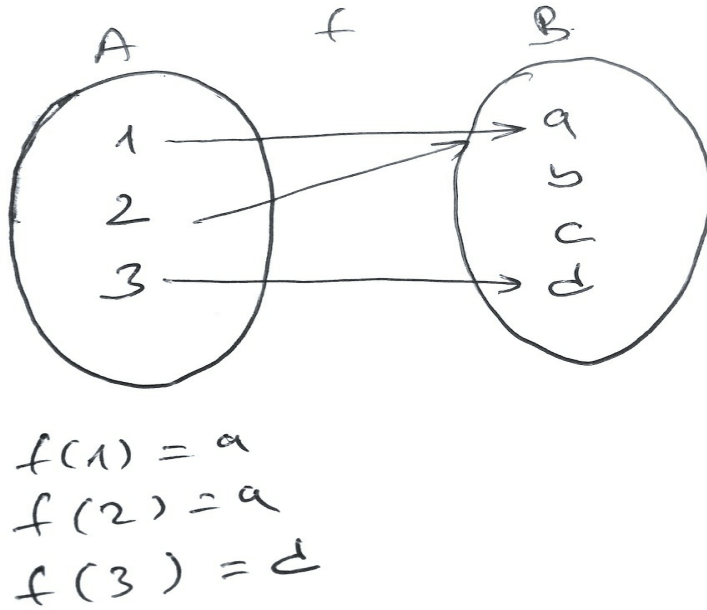
Şimdi gelin bu fonksiyon tanımını görselleştirerek basit bir örnek ile somutlaştıralım.

$f(x) = x * x$ şeklinde bir fonksiyon tanımı olsun. Bu fonksiyon girdi olarak verilen x değerinin karesini hesaplar. Daha matematiksel 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 tanım 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 tecrübeniz 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 açısıyla 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 değildirler. Tanım kümesinin tüm elemanlarının switch/case ile değer kümesinden 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 girdi olarak verilen tanım kümesindeki değerin de değişmesi anlamına gelir. Bu durumda fonksiyon sadece tanım kümesindeki değeri değer kümesi ile eşleştirmiş olmaz yan etki olarak tanım kümesindeki değeri de değiştirmiş olur.

Örneğin $f(x) = x * x$ fonksiyonuna girdi olarak verilen değer kümesindeki $x = 5$ 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 tekrarlanırsa 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 eşleştirecek şekilde **paralel** olarak programlayabilirsiniz. Bu fonksiyonların birinci özelliği sayesinde mümkün olur
- Bir fonksiyonu çıktısına ihtiyaç duyduğunuz anda gevşek olarak (lazy) değerleyebilirsiniz. Fonksiyonel olmayan programlama dillerinde program akışı bir methoda veya fonksiyona geldiği anda o method veya fonksiyon hemen çalıştırılır ve sonuç alanının bir bellek konumunda saklamanız gerekir. Fonksiyonel programlama dillerinde program akışı bir fonksiyona geldiğinde eğer fonksiyonun sonucuna hemen ihtiyacınız yoksa bu fonksiyonun değerlendirilmesini geciktirebilirsiniz. Buna **gevşek değerlendirme**(lazy evaluation) denir. Gevşek değerlendirme de fonksiyonların birinci özelliği sayesinde mümkündür, çünkü bir fonksiyonu ne zaman değerlerseniz değerleyin 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 değer eşleştirildiği değer kümesindeki değeri daha sonra tekrar kullanılmak üzere bellekmesini sağlayabilirsiniz. Fonksiyonel programlama dillerinde bu özelliğe **belleme**(memoization) denir. Belleme davranışı 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 değerleyebiliriz (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 değerleyebileceğimizi ve sonucun değişmeyeceğini söylemiştik. 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 çalıştırma sırasını önemli olduğunu aşağıdaki örnek programımızda da hızlıca görebiliriz. Sıralama değiştirildiğinde sonuç da kaçınılmaz olarak değişebilmektedir.

```
(* 01_2_04.fsx *)  
  
let f(x) = x + 1 // bir arttırma 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 $g(f(x))$ çağırıları eş çağırılar 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 olmadığına. Yime

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 çağırma (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 çağırma (call by value)* de denir

Kullandığınız fonksiyonel programlama dilinin derleyicisi her zaman yukarıdaki değerlendirme yöntemlerinden birini kullanabileceği gibi yazdığınız ifadeler 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 elemanının 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 kısıtlayıcıymış 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 değerlendirir, 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 π değer ifadeleri değişken değildir çünkü değerlerini bir defa tanımlandıktan sonra değiştiremeyiz (*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 mümkündür

```
(* 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
```

Fonksiyonların Parametre Sayısı

Fonksiyonları matematiksel olarak tanımlarken tanım kümesindeki bir değeri değer

kümesindeki bir değer ile eşleştiren dönüşümler olarak tanımlamıştık. Bu tanıma göre fonksiyonlar her zaman tanım kümesindeki tek bir değeri girdi olarak alıp değer kümesindeki tek bir değer ile eşleştirirler. Ancak matematikte birden fazla girdi alan ve girdiyi birden fazla değer ile eşleştiren çok boyutlu onksiyonlar da tanımlanabilir.

```
// Tek girdi tek çıktı
f(x) = y

// Birden fazla girdi, birden fazla çıktı
f(u,v) = (u2-v, v2+u)

//Tek girdi birden fazla çıktı
f(t) = (cost(t), sin(t))
```

Matematiksel olarak çok parametrelili ve çıktılı fonksiyonlar söz konusu olduğunda artık birden fazla boyutlu uzay ve bu uzayda noktaları tanımlayan tanım ve değer kümeleri ile düşünmeye başlamanız lazım. Ancak fonksiyonel programlama dillerinin modellenmesinde her zaman bir girdi ve bir çıktılı **tek boyutlu fonksiyonlar** model olarak alınır, çünkü çok boyutlu uzaydaki noktalar da ikililer veya üçlüler olarak gruplanıp bu gruplardan oluşan tanım ve değer kümeleri oluşturulabilir. Bu durumda tüm fonksiyonları ilk tanımımıza uygun hale getirmiş oluruz.

F# derleyicisi fonksiyonları her zaman tek girdi ve tek çıktılı dönüşümler olarak işler. Bu durumda F#'da birden fazla girdiyi parametre olarak alan fonksiyon tanımlamak mümkün değil midir? Sorunun cevabı "Mümkündür" ancak bunun nasıl mümkün olduğunu ilerleyen bölümlerinde ayrıntıları ile bulacaksınız.

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. Şöyle 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 çıktının 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 Yaklaşımları

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 aldığı 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 taşları **tümcelerdir (sentence)**. Bu tümceler ile adım adım programın hangi işlemi **nasıl** yapması gerektiği tarif edilir ve bilgisayar bu adımları takip ederek programı çalıştırır. Bu sınıftaki 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 sınıftaki 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 değindiğimiz gibi bu dillerde doğrudan değişken tanımlamasına 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 ikiyeBölünmeyenler = []  
  
for d in liste do  
    if d % 2 = 0 then
```

```
ikiyeBölünenler <- ikiyeBölünenler @ [d]

else

    ikiyeBölünmeyenler <- ikiyeBölünmeyenler @ [d]

printfn "İkiye bölüneneler = %A" ikiyeBölünenler
printfn "İkiye bölünmeyenler = %A" ikiyeBölünmeyenler
```

```
(* 01_2_08.1.fsx *)

(* Bildirimsel (fonksiyonel) yaklaşım *)

let liste = [1..10]

let ikiyeBolünebilirMi x = x % 2 = 0

let ikiyeBölünenler = liste |> List.filter ikiyeBolünebilirMi
printfn "İkiye bölüneneler = %A" ikiyeBölünenler

let ikiyeBölünmeyenler = liste |> List.filter (ikiyeBolünebilirMi >> not)
printfn "İkiye bölünmeyenler = %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 satıra 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 sırası yordamsal dillerde önemlidir çünkü durum takibi değişkenler ile yapılır ve her adım çalıştırıldıktan sonra bu değişkenlerin değeri değişebilir. 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 mümkündür 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 değiştirilebilen yapılarıdır. Fonksiyonel diller ise genel olarak fonksiyonları ve veri yapıları olarak yığınlar (collection) kullanırlar.

BİLGİ

Diziler(array) ve yığınlar(collection) arasındaki temel fark dizilerin boyunun sabit ve değiştirilemez olması buna karşın yığınların boyutunun fiziksel kapasitenin izin verdiği sınırlara kadar büyüebilmesidir. Diziler ve yığınlar hem yordamsal dillerde hem de fonksiyonel dillerde yer alan veri yapılarıdır, ancak fonksiyonel dillerde yığın 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 kullanımı 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 ilgili 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 şıktır 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 adlandırılan {} karakter çifti kullanılırken F#'da özel bir karakter veya karakter çifti kullanımına gerek yoktur. Girintiler kod alanlarını belirlediği için değer ifadelerinin bitişini belirtmek için noktalı virgül (;) 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 alanından 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"

// Müdü12 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 kırkİkiEkle x =
    // Global alandaki kırkİki değeri fonksiyon içinden kullanabiliriz
    kırkİki + x

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

// Modül1 alan adında yer alan bir değerine Modül1.bir şeklinde erişebiliriz
kırkİkiEkle 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 bağlanmasını (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 yürüteceği 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 satırdan 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 çağırısı
yerDeğiştir 1 2

// Hata! yerDeğiştir yerel alanında tanımlı ix ve iy sadece fonksiyon içinde erişilebilir
//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 opsiyoneldir. 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 mekanizmadır, 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 gerekir

- 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 yazılmalı
- 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 çağırAçanSayı = 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 downcast downto 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 tanımlanabilmesini sağlar.

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

```
#!/bin/usr/env fsharp --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 tasarımında 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. Özetle tipler ile ilgili tüm kaygı kavramsal seviyede veri

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

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

let metin = "42" // metin değer ifadesinin 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
```

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

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

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

```
// 2'lik (binary) ifade formatı  
let değer_ifadesi = 0b[0 veya 1]  
  
// 8'lik (octal) ifade formatı  
let değer_ifadesi = 0o[0..7]  
  
// 16'lık (hexadecimal) ifade formatı  
let değer_ifadesi_adı = 0x[0..1 A..F]
```

```
(* 03_2_02.fsx *)

// 2'lik (binary) olarak 29
let ikilik = 0b11101

// 8'lik (octal) olarak 29
let değer_ifadesi = 0o35

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

Arithmetik İşlemler

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

Arithmetik operatörler ile işlem yapılırken varsayılan olarak değer aşımaları F# tarafından kontrol edilmez ve herhangi bir hata almazsınız. Değer aşımı durumunu şöyle tanımlayabiliriz, örneğin 127'ye değerine sahip 8-bit işaretli bir tam sayıya 1'yi 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 aritmetik işlemler için de geçerlidir.

Bu durum sayıların 2'li sayı sistemindeki temsilinden ve basit 2'li sayı sistemi aritmetiğinin bir sonucudur. Şöyle 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 aritmetiğinde    1 + 1 = 2  -> 0 elde var 1
10'lu sayı sistemi aritmetiğinde  1 + 9 = 10 -> 0 elde var 1

## Pozitif yönde aşım
127y = 01111111
1y   = 00000001
+ -----
      10000000 -> -128

## Negatif yönde aşım
-128y = 10000000
-1y   = 11111111
+ -----
      01111111 -> 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
abs	Sayının mutlak değerini alma	abs -42.0	42.0
ceil	Yukarı doğru en büyük tam sayıya yuvarlama	ceil 42.001	43.0
exp	e'nin kuvveti	exp 1	2.7183
floor	Aşağı doğru en küçük tam sayıya yuvarlama	floor 42.999	42.0
log	Doğal logaritma (ln). 10 tabanında log10	log 2.71828	1.0
sqrt	Karekök	sqrt 4.0	2.0
cos	kosinüs	cos 0.0	1
sin	Sinüs	sin 0.0	0
tan	Tanjant	tan 1	1.557
pown	Sayının n. kuvvetini alma	pown 2 3	8

İPUCU

Daha gelişkin matematiksel 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 değer 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 verdiğimiz 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 aşımalarının F# tarafından kontrol edilmesini ve aşım durumunda hata üretilmesini istiyorsanız F# standard kütüphanesinde yer alan **Checked** modülünü kullanmalısınız. Bu modülü kullanmak için kaynak kodu dosyanızın başında **open Checked** ifadesini yazmanız yeterlidir. Bu satırdan 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 karşılaştırabilirsiniz. Karşılaştırma operatörlerinin işlem sonucu her zaman **true** veya **false** mantıksal değerine eşittir, **compare** fonksiyonun dönüş değeri 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
compare	Karşılaştır	compare 1 2	-1

Bit Manipülasyonu

Operatör	Açıklama	Örnek	Sonuç
&&&	Lojik VE	0b1111 &&& 0b0011	0b0011
	Lojik VEYA	0xFF00 0x00FF	0xFFFF
^^^	XOR veya dışlamalı yada	0b0011 ^^^ 0b0101	0b0110
<<<	Sola kaydırma	0b0001 <<< 3	0b1000
>>>	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
&&	VE operatörü	true && false	false
&	VEYA operatörü	true false	true
not	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 (' ') arasına 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 kitabın 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 işaretsiz 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 bulabiliriz.

Metinler

F#'da metin değerlerini ifade etmek için çift tırnak çiftini (" ") kullanırız ve bu değerlerin tipi **string** olarak tanımlanır veya çıkarsanız. Çift tırnak çifti arasına 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 bölü \ karakterini koymalısınız. Bu durumda \ koyduğunuz satırdan sonra boşluk karakterleri göz ardı edilerek birden fazla satıra yayılmış olan metin değerinizi 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 bölü karakterlerini \ kullanmadan doğrudan metninizin içine yazabilir ve kontrol karakterlerine metninizde yer verebilirsiniz (\n yeni satır kontrol karakteri olarak 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>) : <çıkı 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 çağıran 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
```

Peki 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 olacaktır? 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 kaldırsak 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 çağırısı 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 parametrelili fonksiyon
let kare x = sprintf "Karesi %f" (x**2.0)

// Çok parametrelili 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, sağda yer alan diğer tipler ise girdi parametrelerini ifade eder.

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

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

şeklinde bir fonksiyon imzası ile karşılaşacaksınız. 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 gruplanarak gösterilir.

İPUCU

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

Değer Tipi Olarak Fonksiyonlar

F#'da ve diğer tüm fonksiyonel programlama dillerinde fonksiyonlar birinci sınıf vatandaşlar 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_kümesi> -> <değer_kümesi> = <>
```

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 fonksiyonunun 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 değinmediğimiz tek konu '**a**' ve '**b**' şeklindeki ifadeler. Şimdilik 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 çıktısının 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 gerekir. Programlama dillerinin çoğunda girdi parametresi almayan bir fonksiyon tanımlarken basitçe parametrelerin olmaması yeterlidir. Ancak F#'da parametresiz fonksiyonları tanımlarken **unit** tipinden en az bir girdi parametresi belirtmeniz gerekir. Benzer şekilde parametresiz fonksiyonları **fonksiyon_adi()** formatına uygun olarak unit tipinin değeri olan boş çift parantez ile çağırmanız gerekir.

Aşağıdaki kod örneğinde **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 çalıştırdığımızda 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 değer 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 çağırısı
```

Bu ifadeleri FSI'da çalıştırdığımızda 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 çağırma deneyelim

```
ikininKaresiniAl
```

Yukarıdaki çağırma 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 değer 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** fonksiyonunun bellekteki adresini simgeleyen otomatik üretilmiş bir yer tutucu değerdir.

Gördüğümüz 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 kaybedebilirsiniz. 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 çağırırken 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 Fonksiyonların İleri Seviye Kullanımı

Fonksiyon İçinde Fonksiyon Tanımı

F# fonksiyonlarınızın içinde yerel fonksiyonlar tanımlamanıza izin verir. Bu tür fonksiyon tanımlarına **iç içe fonksiyon** (nested function) denir. İç içe tanımlanan fonksiyonlar doğrudan kabuk fonksiyonun girdi parametrelerine ve kabuk fonksiyon içinde tanımlı yerel değer ifadelerine erişebilirler.

Bir fonksiyon içinde tekrar eden ve sadece o fonksiyona özgü kodu fonksiyon içinde yerel bir fonksiyon tanımlayarak farklı noktalardan çağırabilirsiniz. F# dil seviyesinde bize sunduğu bu imkanı aslında arka planda derleyici seviyesinde kendisi de otomatik olarak kullanır. Şöyle ki; F#'da derleyici seviyesinde tüm fonksiyonlar tek parametrelili fonksiyonlar olarak yeniden düzenlenir, bu durumda bizim kodumuzun içinden tanımladığımız birden fazla parametrelili fonksiyonlar derleyici tarafından tek parametrelili kabuk bir fonksiyon ve bunun içinde yer alan birden fazla yerel fonksiyon olarak yeniden organize edilip o şekilde derlenir. Bu reorganizasyon yeteneği mümkün kılan ise iç fonksiyonun kabuk fonksiyonun tüm parametre ve yerel değerlerine erişebiliyor olmasıdır.

```
(* 03_3_04.fsx *)

// küp fonksiyonu ana fonksiyonumuz
let küp x =
    // küp içinde kare isimli yerel bir fonksiyon tanımlıyoruz
    let kare x =
        printfn "Yerel fonksiyon : Kare hesaplanıyor"
        x * x
    printfn "Ana fonksiyon : Küp hesaplanıyor"
    // yerel küp fonksiyonunu ana fonksiyon içinden çağırıyoruz
    x * (kare x)

küp 2

//Hatalı kullanım, kare fonksiyonu küp içindeki yerel bir fonksiyon
//kare 2
```

Yukarıdaki örneğimizde **küp** fonksiyonu içinde **kare** isimli bir fonksiyon tanımlayıp **küp** içinden bunu kullanıyoruz. Yerel bir fonksiyon olan **kare** fonksiyonunu ana fonksiyon olan **küp** dışındaki bir kod alanında kullanamayız.

Currying

Currying teriminin malesef tam olarak Türkçe bir karşılığı yok, çünkü bu terim fonksiyonel programlama dillerinin ortaya çıkmasına ve gelişmesine önemli katkıları olan ünlü matematikçi **Haskell Curry**'nin anısına ortaya atılmış bir terimdir.

Currying denilen yöntem istisnasız tüm fonksiyonel programlama dilleri tarafından hem dil hem de derleyici/yorumlayıcı seviyesinde uygulanan bir yöntemdir. Bu yöntemin temelinde

1. Çok parametrelili fonksiyonların tek parametrelili ana bir fonksiyon ve iç içe geçmiş tek parametrelili fonksiyonlara otomatik olarak dönüştürülmesi
2. Fonksiyonel programlama dillerinde fonksiyonların birinci sınıf vatandaş olması nedeni ile başka fonksiyonlara girdi parametresi olarak geçilip çıktı olarak geri döndürülmesi
3. Yerel fonksiyonlar ana fonksiyonun parametrelerine erişebilir
4. Ana fonksiyonun çıktısı tek parametre alan yerel bir fonksiyondur

olarak tanımlayabileceğimiz prensipler vardır.

Şimdi gelin iki parametrelili bir fonksiyonu Currying yöntemi ile nasıl ifade edebileceğimizi görelim

```
(* 03_3_05.fsx *)

// İki parametrelili fonksiyon tanımı
let ikiDeğeriEkranadaGöster x y =
    printfn "Değerler x=%d, y=%d" x y

// Test
ikiDeğeriEkranadaGöster 1 2

// Tek parametrelili fonksiyon olarak tanımlama
let tekDeğeriEkranadaGöster x =
```

```
// Yerel fonksiyon
let _ikiDeğeriEkranadaGöster y =
    printfn "Değerler x=%d, y=%d" x y

// Yerel fonksiyon ana fonksiyonun çıktısı
_ikiDeğeriEkranadaGöster

// Test

// Aşağıdaki ifadenin sonucu (int->unit) imzalı bir fonksiyon
// 1 parametresi tekDeğeriEkranadaGöster çıktısı olan fonksiyona gömülür
let ikiDeğeriEkranadaGöster' = tekDeğeriEkranadaGöster 1

// ikiDeğeriEkranadaGöster' tek parametre alan bir fonksiyon
// 2 parametresi ile çağırırsak sonuç ikiDeğeriEkranadaGöster ile aynı olur
ikiDeğeriEkranadaGöster' 2
```

Yukarıdaki kod parçasında önce **ikiDeğeriEkranadaGöster** isimli iki parametrelili normal bir fonksiyon tanımlanır. Daha sonra da normal fonksiyonun yaptığı işlemi tek parametrelili fonksiyonlar ile nasıl yapılacağını gösteren **tekDeğeriEkranadaGöster** ana fonksiyonu ve **ikiDeğeriEkranadaGöster'** fonksiyon değeri tanımlanıyor.

- **tekDeğeriEkranadaGöster** isimli tek girdi parametrelili bir fonksiyondur
- **tekDeğeriEkranadaGöster** içinde **_ikiDeğeriEkranadaGöster** isimli yine tek parametre alan yerel bir fonksiyon tanımlanır
- **_ikiDeğeriEkranadaGöster** yerel fonksiyonu ana fonksiyonun **x** parametresine doğrudan erişebilir. Bu nedenle asıl basma işlemi bu fonksiyona yaptırıyoruz.
- Ana fonksiyonun dönüş değeri **_ikiDeğeriEkranadaGöster** fonksiyonu olarak tanımlanır
- **ikiDeğeriEkranadaGöster'** isimli bir değer ifadesi tanımlanır. Bu değer ifadesi **tekDeğeriEkranadaGöster 1** çağırısının sonucu olan fonksiyon değerini tutar. Dikkat ederseniz bu çağırısı **tekDeğeriEkranadaGöster** yerel fonksiyonunu

çalıştırmaz onu çıktı olarak döndürür

- `ikiDeğeriEkranadaGöster` fonksiyonu 2 parametresi ile tekrar çağırılır. Bu durumda yerel **`tekDeğeriEkranadaGöster`** fonksiyonu 2 parametresi ile çalıştırılır ve ekrana görmek istediğimiz ifade çıkar

Gelin şimdi bu yöntemi 3 parametrelili bir fonksiyonu tek parametrelili fonksiyonlar şeklide nasıl ifade edebileceğimize bakalım

```
(* 03_3_06.fsx *)

// Ana fonksiyon
let üçSayıyıÇarp x =
    // Ana fonksiyon içinde yerel fonksiyon
    let çarp' y =
        // Yerel fonksiyon içinde yerel fonksiyon
        let çarp'' z = x * y * z
        // Yerel fonksiyon kendi içindeki yerel fonksiyonu döndürür
        çarp''
    // Ana fonksiyon kendi içindeki yerel fonksiyonu döndürür
    çarp'

// İlk çağırısı, val çarp' : (int -> int -> int) imzalı
// fonksiyon döndürür. çarp' 3 değerini içinde barındırır
let çarp' = üçSayıyıÇarp 3

// İkinci çağırısı. val çarp'' : (int -> int) imzalı
// fonksiyon döndürür. çarp'' hem 3 hem de 4 değerini içinde barındırır
let çarp'' = çarp' 4

// Son çağırısı. çarp'' 3 ve 4 değerini içinde barındırıyor
// 5 değeri de verilince sonuç olarak 120 hesaplanıyor
çarp'' 5

// Üç parametrelili normal bir fonksiyon tanımı
let üçSayıyıÇarp' x y z = x * y * z
```

Curried fonksiyonların imzası

Üç sayının çarpımı örneğinde **üçSayıyıÇarp** fonksiyonun imzası FSI tarafından şu şekilde ifade edilir

```
val üçSayıyıÇarp : x:int -> (int -> int -> int)
```

Bu imza **üçSayıyıÇarp** fonksiyonunun **int** tipinden tek girdi parametresi olan ve çıktı olarak da **(int -> int -> int)** imzasına istinaden

- İki tane **int** parametre alan ve
- Çıktı olarak **int** döndüren bir fonksiyon

döndürdüğünü ifade eder.

Örneğimizdeki **üçSayıyıÇarp**' isimli 3 parametrelili normal fonksiyon tanımını FSI'da çalıştırdığımızda ise şöyle bir fonksiyon imzası görürüz

```
val üçSayıyıÇarp' : x:int -> y:int -> z:int -> int
```

Bu imzanın **üçSayıyıÇarp** imzasından tek farkı () ile gruplanmış 3 parametrelilik bir ifadenin varlığıdır. Pratikte parantezlerin olması ile olmaması arasında önemli bir fark yoktur. Ancak, kod yazarken hatalı kullanıma mahal vermemek için () ile gruplanmış ifadelerin girdinizin veya çıktınızın basit tipli bir değer değil fonksiyon değeri olduğunu belirttiğini unutmayın.

DİKKAT

Çok parametrelili fonksiyonları eksik parametre ile çağırmanız durumunda F# derleyicisi derleme anında hata vermeyez. Ancak programınız çalışma anında eksik parametrelili çağırılmanız nedeni ile hata durumuna düşebilir. Bu nedenle çok parametrelili fonksiyon çağırılarınızı kodlarken dikkatli olmalısınız.

Bu bölümde gördüğümüz üzere çok parametrelili fonksiyonları eksik parametre ile çağırıldığında sonuç olarak basit bir değer değil bir fonksiyon değeri döndürülür.

```
(* 03_3_07.fsx *)

(* Eksik parametrelili fonksiyon çağırılmasına DİKKAT *)

// Fonksiyon tanımı
let sayılarıEkrandaGöster x y z = printfn " x = %d, y=%d, z=%d" x y z

// Fonksiyonu eksik iki parametre ile çağırdık.
// 2 sayısı ekranda gösterilmez bunun yerine FSI aşağıdaki gibi bir çıktı üretir
// val it : (int -> int -> unit)
// Bu çıktıya göre "sayılarıEkrandaGöster 2" çağırısı iki int girdi
// parametresi alıp int tipinden bir sonuç döndüren bir fonksiyon döndürür
// Ekrana hiç birşey basılmaz
sayılarıEkrandaGöster 2
```

Fonksiyonlarda Kısmi Uygulama Yönetimi

F#, fonksiyonel programlama dillerin hepsinde olduğu gibi, bir fonksiyonun bazı parametrelerini sabitleyip yeni bir fonksiyon oluşturmak için **kısmi uygulama** (partial application) desteği sunar. Kısmi uygulama önceki başlıkta ele aldığımız Currying sayesinde mümkün olan bir yöntemdir.

```
(* 03_3_08.fsx *)

let ekle x y = x + y

// İmzası val birEkle : (int -> int) olur
// int çıktı veren ve tek int girdi alan bir fonksiyon
let birEkle = ekle 1
birEkle 42

let çarp x y = x * y
// İmzası val ikiİleÇarp : (int -> int) olur
```

```
// int çıktı veren ve tek int girdi alan bir fonksiyon
let ikiİleÇarp = çarp 2
ikiİleÇarp 42
```

Örneğimizdeki **birEkle** değeri **ekle** fonksiyonuna **1** değerinin parametre olarak geçilerek sabitlenmesi ancak ikinci parametrenin belirtilmemesi sonucunda (**int -> int**) imzalı bir fonksiyon değeri olarak tanımlanır.

Kısmi uygulama ile basit tipli fonksiyon parametrelerini sabitleyebildiğimiz gibi fonksiyon tipinde parametreleri de sabitleyebilirsiniz.

```
(* 03_3_09.fsx *)

// Basit bir "kare" fonksiyonu
let kare x = x * x

// List.map fonksiyonun ilk parametresi "kare" fonksiyonu
// ikinci parametresi olan liste verilmemiş

// kareleriniAl imzası şöyle olur
// "val kareleriniAl : (int list -> int list)"
// kareleriniAl girdi olarak int değer listesi alıp çıktı olarak
// int değer listesi döndüren bir fonksiyondur
let kareleriniAl = List.map kare

// "kareleriniAl" [1..10] listesi parametresi ile çağırılır
kareleriniAl [1..10]
```

Bu örneğimizde önce **kare** isimli basit bir fonksiyon tanımladık. Daha sonra da **List.map** fonksiyonun ilk parametresi olarak bu **kare** fonksiyonunu geçerek sabitledik, List.map'in beklediği ikinci parametreyi vermedik. Sonuçta **kareleriniAl**

isimli girdi olarak int listesi alıp çıktı olarak da int listesi döndüren bir fonksiyon değeri oluşturduk. **karelerini**Al fonksiyon değerini de bir listeyi girdi parametresi vererek çalıştırdık.

Kısmi Uygulama Uyumlu Fonksiyon Tasarımı

Kısmi uygulama yönteminin alameti farikası bazı girdi parametrelerinin değerlerinin sabtilenmesi geri kalanının ise hiç belirtilmemesidir. Kısmi uygulama ile varolan fonksiyonlarımızdan daha özelleşmiş yeni fonksiyonlar oluştururuz.

Esnek kullanımı hedefleyen fonksiyonlar kodlarken aşağıdaki iki soruya odaklanıp kodumuzu bu soruları cevaplayacak şekilde yazmalıyız. Şöyle ki;

1. Bu fonksiyonun kendi başına yaptığı çok önemli iş nedir
2. Bu fonksiyonun bu çok önemli işi yapması için dışarıdan hangi veri ve fonksiyonlara ihtiyaç duyar

Örneğin F# standard kütüphanesindeki **List** modülünü bir fonksiyonu olan **.map** fonksiyonu için bu iki sorunun cevabını şöyle verebiliriz

1. Kendi başına yaptığı önemli iş bir liste üzerinde her bir elemanı sırasıyla ziyaret ederek bu elemanları parametre olarak alan bir fonksiyon çalıştırmaktır
2. Bu önemli işi yaparken de üzerinde döneceği bir liste ve bu liste üzerinde dönerken çalıştıracığı bir fonksiyona ihtiyaç duyar

Fonksiyonunuzun esnekliğini sağlayan kısım 2. sorunun cevabının sonucu olarak tanımlayacağınız girdi parametreleridir. Bu parametrelerinin ne olduğu kadar sıralaması da önemlidir, çünkü kısmi uygulama yönteminde sabitlenen parametreler fonksiyonunuzun soldan sağa ilk parametreleridir geveşek bırakılan parametreler ise fonksiyonun son parametreleridir. Pekiyi bu kısıtlama çerçevesinde hangi parametrelerin başta hangilerinin sonda geleceğini neye göre belirleyeceksiniz?

- Static parametreler, yani değeri değişmeyen parametreler başta
- Özelleşmiş veri tipleri veya liste gibi birden çok eleman barındıran dinamik tipli parametreler de bunlardan sonra

gelecek şekilde fonksiyon tanımı yapılmalıdır. Bu iki kuralı aklınızda tutamazsanız kısa yol olarak şöyle basit bir yaklaşım uygulayabilirsiniz; `|>` (ileri aktarım) operatörünün solunda olmasını istediğiniz fonksiyon parametreleri her zaman fonksiyon tanımınızda son parametre olarak yer almalıdır.

Gelin şimdi **List.map** fonksiyonun tanımına ve bu fonksiyonun kısmi uygulama uyumlu olduğunu gösteren kod örneklerimize bakalım

```
(* 03_3_10.fsx *)

(*
    List.map fonksiyonun imzası şöyledir;
    val it : ('a -> 'b) -> 'a list -> 'b list)

    Bu fonksiyon ilk parametre olarak bir fonksiyon ikinci parametre olarak
    ise bir liste alır
*)

// "küp" fonksiyonumuz
let küp x = x * x * x

// test listemiz 1 ile 10 arasındaki değerleri barındırır
let liste = [1..10]

// List.map fonksiyonun normal kullanımı
List.map küp liste

// List.map fonksiyonun ileri aktarım operatörü ile kullanımı
liste |> List.map küp

// List.map fonksiyonundan faydalanan hepsininKüpünüAl isimli
// yeni bir fonksiyonu List.map'i kısmi uygulayarak oluşturuyoruz
// Kısmi uygulamada List.map fonksiyonu için ilk parametreyi "küp"
// fonksiyonu olacak şekilde sabitledik ikinci parametre belirtilmedi

let hepsininKüpünüAl = List.map küp
```



```
//Türettiğimiz hepsininKüpünüAl fonksiyonun imzası şöyledir
// "val hepsininKüpünüAl : (int list -> int list)"

// Bu yeni fonksiyon bir int listesi alır ve
// sonuç olarak bir int listesi döner
hepsininKüpünüAl liste

// İleri aktarım operatörü ile çağırıyoruz
liste |> hepsininKüpünüAl
```

Şimdi gelin kendi geliştireceğimiz iki adet **map** fonksiyonu ile kısmi uygulama uyumluluğunun neden önemli olduğunu inceleyelim.

```
let küp x = x * x * x
let liste = [1..10]

//----- KISMİ UYGULAMA UYUMLU OLMAYAN YAKLAŞIM -----//
// Parametreleri kısmi uygulama için uygun sıralanmamış
// map' fonksiyonu tanımı
// İlk parametre int değerler tutan liste
// Son parametre bir fonksiyon
let map' (liste : 'a list) (f:'a->'b) : 'b list =
    let sonuç = seq{for x in liste -> (f x)}
    sonuç |> List.ofSeq

// map' fonksiyonunu kullanarak bir listenin tüm değerlerinin
// küpünü alacak şekilde yeni bir fonksiyonu aşağıdaki gibi türetemiyoruz
// let hepsininKüpünüAl = map' küp

// map' fonksiyonun kullanarak ancak aşağıdaki gibi bir
// hepsininKüpünüAl fonksiyonu oluşturabiliriz
let hepsininKüpünüAl liste = map' liste küp
```

```
hepsininKüpünüAl liste
liste |> hepsininKüpünüAl

//----- KİSMİ UYGULAMA UYUMLU YAKLAŞIM -----//

// Parametreleri kısmi uygulama için uygun sıralanmış
// map'' fonksiyonu tanımı.
// İlk parametre bir fonksiyon
// Son parametre int değerler tutan liste
let map'' (f:'a->'b) (liste : 'a list) : 'b list =
    let sonuç = seq{for x in liste -> (f x)}
    sonuç |> List.ofSeq

// map'' fonksiyonunu kullanarak bir listenin tüm değerlerinin
// küpünü alacak şekilde yeni bir fonksiyonu aşağıdaki gibi
// türetebiliriz
let hepsininKüpünüAl' = map'' küp

hepsininKüpünüAl' liste
liste |> hepsininKüpünüAl'
```

İPUCU

Kısmi uygulama F# ile kodlama yaparken çok farklı senaryolar için daha şık ve esnek kod yazmanızı sağlar. Özellikle F# ile kütüphaneler geliştiriyorsanız, kütüphane fonksiyonlarınızın loglama gibi genel geçer işlemler için mantıklı varsayılan yöntemler ile hazır sunmanız oldukça basitleşmektedir. Bununla birlikte alana özgü diller (domain specific languages) geliştiriyorsanız kısmi uygulama yöntemi vazgeçemeyeceğiniz bir araç olacaktır.

Öz Yinelemeli Fonksiyonlar

3.5 Temel Veri Tipleri

3.6 Kod Organizasyonu

Terimler Sözlüğü

- **array** -> dizi
- **async** -> asenkron
- **applicative** -> uygun
- **applicative order** -> uygun sıralı
- **application** -> uygulama
- **binary operator** -> iki operand ile çalışan operatör
- **bitwise operators** -> bit bit işlem yapan operatörler
- **class** -> sınıf
- **comment** -> yorum
- **community** -> topluluk
- **compiler** -> derleyici
- **concurrent** -> eş zamanlı
- **declarative** -> bildirimsel
- **discriminated union** -> ayrışık bilişim
- **evaluate** -> değerlendirme
- **evaluation order** -> değerlendirme sırası
- **execute** -> çalıştırmak
- **flow** -> akış
- **function** -> fonksiyon
- **heap** -> alt yığın
- **higher order function** -> yüksek mertebeli fonksiyon
- **imperative** -> prosedürel
- **indentation** -> girinti
- **input** -> girdi
- **interactive** -> etkileşimli
- **interpreter** -> yorumlayıcı
- **keyword** -> anahtar kelime
- **operator** -> operatör
- **lazy evaluation** -> gevşek değerlendirme

- **library** -> kütüphane
- **memoization** -> belleme
- **multi** -> çoklu
- **nested function** -> iç içe fonksiyonlar
- **paradigm** -> paradigma, yaklaşım
- **partial application** kısmi uygulama
- **recursive** -> öz yinelemeli
- **REPL** -> oku-değerle-yazdır döngüsü
- **object oriented** -> nesne tabanlı, nesne yönelimli
- **open source** -> açık kaynak
- **output** -> çıktı
- **overflow** -> aşım
- **parameter** -> parametre
- **pipe forward** -> ileri aktarım
- **pure function** -> saf fonksiyon
- **queue** -> kuyruk
- **record** -> kayıt
- **repository** -> depo
- **safely typed** -> güvenli tipli
- **sentence** -> tümce
- **sequence** -> sekans, silsile, gevşek dizi
- **scope** -> alan, kod alanı
- **side effect** -> yan etki
- **stack** -> yığın
- **sync** -> senkron
- **syntax** -> söz dizimi
- **tail recursion** -> kuyruk öz yinelemeli
- **tuple** -> değer grubu
- **type** -> tip
- **type safety** -> tip güvenliği
- **type inference** -> tip çıkarsama

- **unary operator** -> tek operand ile çalışan operatör
- **value** -> değer ifadesi
- **VM virtual machine** -> sanal ortam, sanal makine