

# OTOMATA TEORİSİ

# HAFTALARA GÖRE İŞLENECEK KONULAR

## 2.HAFTA

- Genel tanımlar
- 3.HAFTA
- Düzenli İfadeler

## 4.HAFTA

- Düzenli Dillerin Özellikleri

## 5.HAFTA

- Düzenli Dillerin Karar Özellikleri

## 6.HAFTA

- Bağlamdan Bağımsız Gramerler ve Belirsizlik
- 7.HAFTA

# HAFTALARA GÖRE İŞLENECEK KONULAR

## 7.HAFTA

- İtmeli Otomatlar

## 8.HAFTA

- İtmeli Otomatlar ve Bağlamdan Bağımsız Gramerlerin Denkliği

## 9.HAFTA

- Bağlamdan Bağımsız Gramerler Üzerindeki İşlemler

## 10.HAFTA

- Bağlamdan Bağımsız Gramerlerin Kapalılık Özellikleri

## 11.HAFTA

- Turing Makinaları ve Karmaşıklık

## 12. HAFTA

- Farklı Turing Makine Modelleri

## 13. HAFTA

- Karar Verilen ve Verilemeyen Problemler

## 14. HAFTA

- NP-Tam Problemler

# Zihin ve Makine



**İnsanlar gibi düşünebilen bir makine yapılabilir mi?**

- Otomata teorisi, “**düşünebilen**” sistem fikrinin temelinde yatan **kural-tabanlı işlemeyi** inceler.
- Bir makine, belirli girdileri alıp **durum geçişleri** ile çıktılar üretir; karmaşık davranışlar bile **basit kuralların birleşimi** ile ortaya çıkabilir.
- “Düşünebilme” iddiası felsefidir; fakat **hesaplanabilir olanın sınırları** otomata teorisi ve Turing makineleriyle formel olarak tartışılır.

## Örneğin;

- Satranç motorları, dil modelleri, öneri sistemleri → hepsi **kural/öğrenilmiş kural + durum geçişleri** mantığında işler.

# Kurallar ve Özgürlük



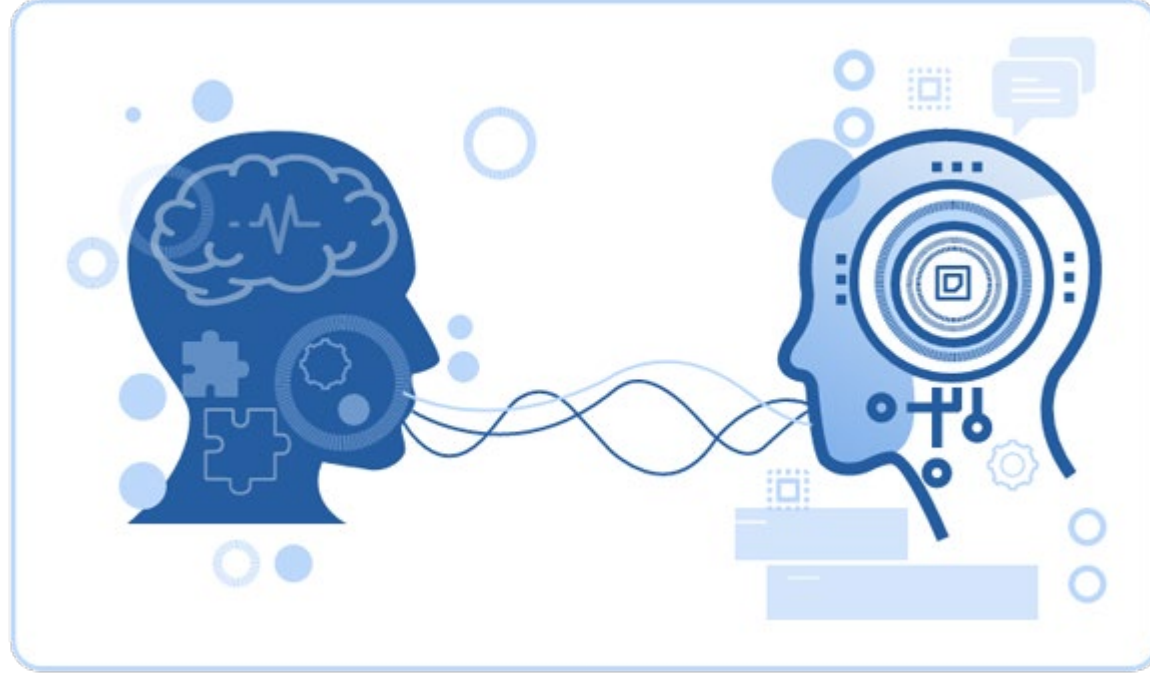
**Hayatımız tamamen kurallarla yönetiliyor olsaydı, seçim özgürlüğümüz olur muydu?**

- Otomatlar **katı kurallarla** çalışır ama buna rağmen **çok çeşitli** davranışlar üretebilir.
- **Deterministik** sistemlerde bile, farklı girdiler ve başlangıç durumları **farklı yollar** doğurur.
- Tasarımcının seçtiği **durumlar, geçişler ve girişler** aslında “özgürlük alanını” belirler.

## Örneğin;

- ATM, asansör, oyun menüsü: Hepsi **sonlu durum makinesi**; özgürlük, **izin verilen geçişlerin çeşitliliği** kadardır.

# Dil ve Anlam



**Bir bilgisayar dili gerçekten ‘anlayabilir’ mi, yoksa sadece sembolleri işler mi?**



- Otomata teorisi, dilleri **biçimsel** olarak ele alır: alfabe, kelime, dil, **kabul edici**.
- Makine, anlamdan ziyade **yapıyı** kontrol eder (ör. düzenli diller için DFA).
- “Anlam” felsefi ve anlambilimsel bir mesele; fakat **hangi yapıları tanıyabileceğimizi** otomata sınıfları net biçimde sınırlar.

## Örneğin;

- Yazım denetimi/regex arama → **sonlu otomat**; parantez dengeleme → **yığıtlı otomat**; genel hesaplama → **Turing makinesi**.

# Giriş

## Otomata Teorisinin Tanımı ve Kapsamı

Otomata Teorisi, hesaplama makinelerinin (otomataların) **davranışlarını** ve bu makinelerin **hangi tür problemleri çözebileceğini** inceleyen matematiksel bir alandır. Temel olarak, otomatalar aracılığıyla çeşitli dil türleri ve bu dillerin tanımlanabilirliği araştırılır.

**Otomata:** Belirli kurallara göre giriş alıp, bu girişlere karşılık çıktılar üreten soyut makineler. En yaygın otomata türleri arasında Sonlu Otomatlar (DFA ve NFA), Yığıtlı Otomatlar (PDA) ve Turing Makineleri bulunmaktadır.

## Otomata Türleri

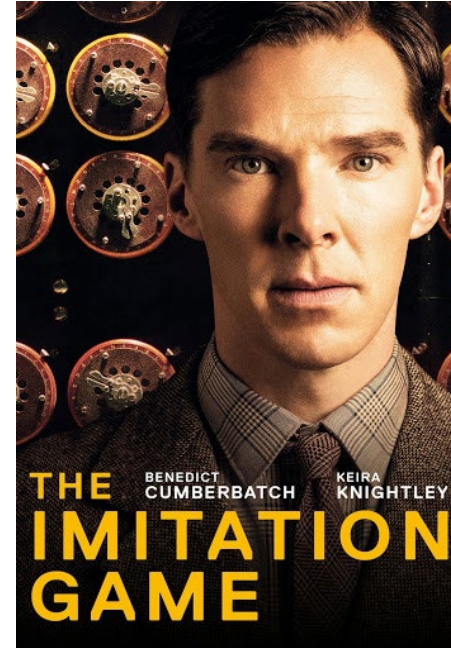
- Sonlu Otomatlar (Finite Automata):** Sınırlı bellek kapasitesine sahip otomata olup, düzenli dilleri tanımlarlar. Deterministik (DFA) ve Deterministik Olmayan (NFA) olmak üzere iki çeşidi bulunur.
- Yığıtlı Otomatlar (Pushdown Automata):** Ekstra bir yığın belleğe sahip olup, bağlamdan bağımsız dilleri tanırlar.
- Turing Makineleri:** Daha güçlü otomata olup, herhangi bir hesaplanabilir problemi çözebilirler. Hesaplanabilirlik ve karar verilebilirlik konularında temel rol oynarlar.

## **Otomata Teorisinin Modern Uygulama Alanları**

Bugün, otomata teorisi bilgisayar bilimlerinde çok geniş bir kullanım alanına sahiptir:

- Derleyici Tasarımı:** Otomatalar, programlama dillerinin yapılarının tanınmasında ve analiz edilmesinde kullanılır.
- Doğal Dil İşleme:** Otomata teorisi, doğal dilin formel yapılarının analiz edilmesi ve işlenmesinde rol oynar.
- Veritabanı Arama:** Düzenli ifadeler ve sonlu otomatalar, metin arama ve veri işleme işlemlerinde sıkça kullanılır.

# İkinci Dünya Savaşı ve Alan Turing



# TEMEL KAVRAMLAR

➤ ALFABE(Alphabet)

➤ KELİME(Word)

➤ DİL(Language)

# TEMEL KAVRAMLAR

➤ ALFABE(Alphabet)



➤ KELİME(Word)

➤ DİL(Language)

# TEMEL KAVRAMLAR

## ➤ ALFABE(Alphabet)



Kelimelerin üretiminde kullanılan birimlerin sonlu kümesine alfabe denir. Alfabenin elemanları genelde "sembol" veya "harf" olarak adlandırılmaktadır. Alfabe genelde  $\Sigma$  sembolü ile gösterilmektedir

$\Sigma = \{a,b,c,\dots,z,A,B,C,\dots,Z\}$  ile gösterilen alfabe Türkçe kelimelerin oluşturulması için gereken sembolleri içeren örnek bir alfabadır.

$\Sigma = \{0,1,2,\dots,9\}$  ile gösterilen alfabe çeşitli tamsayılar oluşturmak amacıyla kullanılabilecek bir alfabadır.

## ➤ KELİME(Word)

## ➤ DİL(Language)

# TEMEL KAVRAMLAR

## ➤ ALFABE(Alphabet)



Kelimelerin üretiminde kullanılan birimlerin sonlu kümesine alfabe denir. Alfabenin elemanları genelde "sembol" veya "harf" olarak adlandırılmaktadır. Alfabe genelde  $\Sigma$  sembolü ile gösterilmektedir

$\Sigma = \{a,b,c,\dots,z,A,B,C,\dots,Z\}$  ile gösterilen alfabe Türkçe kelimelerin oluşturulması için gereken sembolleri içeren örnek bir alfabadir.

$\Sigma = \{0,1,2,\dots,9\}$  ile gösterilen alfabe çeşitli tamsayılar oluşturmak amacıyla kullanılabilecek bir alfabadir.

## ➤ KELİME(Word)



## ➤ DİL(Language)



# TEMEL KAVRAMLAR

## ➤ ALFABE(Alphabet)



Kelimelerin üretiminde kullanılan birimlerin sonlu kümesine alfabe denir. Alfabenin elemanları genelde "sembol" veya "harf" olarak adlandırılmaktadır. Alfabe genelde  $\Sigma$  sembolü ile gösterilmektedir

$\Sigma = \{a,b,c,\dots,z,A,B,C,\dots,Z\}$  ile gösterilen alfabe Türkçe kelimelerin oluşturulması için gereken sembolleri içeren örnek bir alfabedir.

$\Sigma = \{0,1,2,\dots,9\}$  ile gösterilen alfabe çeşitli tamsayılar oluşturmak amacıyla kullanılabilecek bir alfabedir.

## ➤ KELİME(Word)



Kelime,  $\Sigma$  alfabesinden seçilen sonlu sayıdaki sembolün bir araya gelmesinden oluşmaktadır.

## ➤ DİL(Language)

# TEMEL KAVRAMLAR

## ➤ ALFABE(Alphabet)



Kelimelerin üretiminde kullanılan birimlerin sonlu kümesine alfabe denir. Alfabenin elemanları genelde "sembol" veya "harf" olarak adlandırılmaktadır. Alfabe genelde  $\Sigma$  sembolü ile gösterilmektedir

$\Sigma = \{a,b,c,\dots,z,A,B,C,\dots,Z\}$  ile gösterilen alfabe Türkçe kelimelerin oluşturulması için gereken sembolleri içeren örnek bir alfabadır.

$\Sigma = \{0,1,2,\dots,9\}$  ile gösterilen alfabe çeşitli tamsayılar oluşturmak amacıyla kullanılabilir.

## ➤ KELİME(Word)



Kelime,  $\Sigma$  alfabesinden seçilen sonlu sayıdaki sembolün bir araya gelmesinden oluşmaktadır.

### Örnek Kelimeler

$\Sigma = \{a,b,c,\dots,z,A,B,C,\dots,Z\}$  alfabesinden üretilen kelimeler: Ahmed, mehmed, fatih, aaaG,

$\Sigma = \{0,1,2,\dots,9\}$  alfabesinden üretilen kelimeler:  
1234,0945,345102, 670, 0,9

**Boş kelime (empty word)**, her alfabe üzerinden geçerli olan bir kelimedir ve  $\Lambda$  sembolü ile gösterilmektedir. Buradaki önemli nokta,  $\Lambda$  sembolünün alfabenin elemanı olmamasıdır:  $\Lambda \notin \Sigma$

## ➤ DİL(Language)

# TEMEL KAVRAMLAR

## ➤ ALFABE(Alphabet)



Kelimelerin üretiminde kullanılan birimlerin sonlu kümesine alfabe denir. Alfabenin elemanları genelde "sembol" veya "harf" olarak adlandırılmaktadır. Alfabe genelde  $\Sigma$  sembolü ile gösterilmektedir

$\Sigma = \{a,b,c,\dots,z,A,B,C,\dots,Z\}$  ile gösterilen alfabe Türkçe kelimelerin oluşturulması için gereken sembolleri içeren örnek bir alfabadır.

$\Sigma = \{0,1,2,\dots,9\}$  ile gösterilen alfabe çeşitli tamsayılar oluşturmak amacıyla kullanılabilir bir alfabadır.

## ➤ KELİME(Word)



Kelime,  $\Sigma$  alfabesinden seçilen sonlu sayıdaki sembolün bir araya gelmesinden oluşmaktadır.

### Örnek Kelimeler

$\Sigma = \{a,b,c,\dots,z,A,B,C,\dots,Z\}$  alfabesinden üretilen kelimeler: Ahmed, mehmed, fatih, aaaG,

$\Sigma = \{0,1,2,\dots,9\}$  alfabesinden üretilen kelimeler:  
1234,0945,345102, 670, 0,9

**Boş kelime (empty word)**, her alfabe üzerinden geçerli olan bir kelimedir ve  $\Lambda$  sembolü ile gösterilmektedir. Buradaki önemli nokta,  $\Lambda$  sembolünün alfabenin elemanı olmamasıdır:  $\Lambda \notin \Sigma$

## ➤ DİL(Language)



# TEMEL KAVRAMLAR

## ➤ ALFABE(Alphabet)

Kelimelerin üretiminde kullanılan birimlerin sonlu kümesine alfabe denir. Alfabenin elemanları genelde "sembol" veya "harf" olarak adlandırılmaktadır. Alfabe genelde  $\Sigma$  sembolü ile gösterilmektedir

$\Sigma = \{a,b,c,\dots,z,A,B,C,\dots,Z\}$  ile gösterilen alfabe Türkçe kelimelerin oluşturulması için gereken sembolleri içeren örnek bir alfabadır.

$\Sigma = \{0,1,2,\dots,9\}$  ile gösterilen alfabe çeşitli tamsayılar oluşturmak amacıyla kullanılabilecek bir alfabadır.

## ➤ KELİME(Word)

Kelime,  $\Sigma$  alfabesinden seçilen sonlu sayıdaki sembolün bir araya gelmesinden oluşmaktadır.

Örnek Kelimeler

$\Sigma = \{a,b,c,\dots,z,A,B,C,\dots,Z\}$  alfabesinden üretilen kelimeler: Ahmed, mehmed, fatih, aaaG,

$\Sigma = \{0,1,2,\dots,9\}$  alfabesinden üretilen kelimeler:  
1234,0945,345102, 670, 0,9

**Boş kelime (empty word)**, her alfabe üzerinden geçerli olan bir kelimedir ve  $\Lambda$  sembolü ile gösterilmektedir. Buradaki önemli nokta,  $\Lambda$  sembolünün alfabenin elemanı olmamasıdır:  $\Lambda \notin \Sigma$

## ➤ DİL(Language)

Bir alfabe üzerinden üretilmiş olan kelimelerin kümesi dildir.

Dile ait olan kelimelerin nasıl üretileceğinin kuralları tanımlanmış ise söz konusu dil biçimsel (formal) dil olarak adlandırılmaktadır

Bir dili tanımlamak için iki bileşenin tanımı gerekmektedir:

1. Bir alfabe tanımlanması.
2. Hangi kelimelerin dildeki geçerli kelimeler olduğunu belirten kuralların tanımlanması.

# TEMEL KAVRAMLAR

## ➤ ALFABE(Alphabet)

Kelimelerin üretiminde kullanılan birimlerin sonlu kümesine alfabe denir. Alfabenin elemanları genelde "sembol" veya "harf" olarak adlandırılmaktadır. Alfabe genelde  $\Sigma$  sembolü ile gösterilmektedir

$\Sigma = \{a,b,c,\dots,z,A,B,C,\dots,Z\}$  ile gösterilen alfabe Türkçe kelimelerin oluşturulması için gereken sembolleri içeren örnek bir alfabedir.

$\Sigma = \{0,1,2,\dots,9\}$  ile gösterilen alfabe çeşitli tamsayılar oluşturmak amacıyla kullanılabilecek bir alfabedir.

## ➤ KELİME(Word)

Kelime,  $\Sigma$  alfabesinden seçilen sonlu sayıdaki sembolün bir araya gelmesinden oluşmaktadır.

Örnek Kelimeler

$\Sigma = \{a,b,c,\dots,z,A,B,C,\dots,Z\}$  alfabesinden üretilen kelimeler: Ahmed, mehmed, fatih, aaaG,

$\Sigma = \{0,1,2,\dots,9\}$  alfabesinden üretilen kelimeler:  
1234,0945,345102, 670, 0,9

**Boş kelime (empty word)**, her alfabe üzerinden geçerli olan bir kelimedir ve  $\Lambda$  sembolü ile gösterilmektedir. Buradaki önemli nokta,  $\Lambda$  sembolünün alfabenin elemanı olmamasıdır:  $\Lambda \notin \Sigma$

## ➤ DİL(Language)

Bir alfabe üzerinden üretilmiş olan kelimelerin kümesi dildir.

Dile ait olan kelimelerin nasıl üretileceğinin kuralları tanımlanmış ise söz konusu dil biçimsel (formal) dil olarak adlandırılmaktadır

Bir dili tanımlamak için iki bileşenin tanımı gerekmektedir:

1. Bir alfabe tanımlanması.
2. Hangi kelimelerin dildeki geçerli kelimeler olduğunu belirten kuralların tanımlanması.

$\Sigma = \{x\}$  ve  $L_1 = \{x^n, n=1,2,3,\dots\}$

Örnek kelimeler?

# TEMEL KAVRAMLAR

## ➤ ALFABE(Alphabet)

Kelimelerin üretiminde kullanılan birimlerin sonlu kümesine alfabe denir. Alfabenin elemanları genelde "sembol" veya "harf" olarak adlandırılmaktadır. Alfabe genelde  $\Sigma$  sembolü ile gösterilmektedir

$\Sigma = \{a,b,c,\dots,z,A,B,C,\dots,Z\}$  ile gösterilen alfabe Türkçe kelimelerin oluşturulması için gereken sembolleri içeren örnek bir alfabadır.

$\Sigma = \{0,1,2,\dots,9\}$  ile gösterilen alfabe çeşitli tamsayılar oluşturmak amacıyla kullanılabilecek bir alfabadır.

## ➤ KELİME(Word)

Kelime,  $\Sigma$  alfabesinden seçilen sonlu sayıdaki sembolün bir araya gelmesinden oluşmaktadır.

Örnek Kelimeler

$\Sigma = \{a,b,c,\dots,z,A,B,C,\dots,Z\}$  alfabesinden üretilen kelimeler: Ahmed, mehmed, fatih, aaaG,

$\Sigma = \{0,1,2,\dots,9\}$  alfabesinden üretilen kelimeler:  
1234,0945,345102, 670, 0,9

**Boş kelime (empty word)**, her alfabe üzerinden geçerli olan bir kelimedir ve  $\Lambda$  sembolü ile gösterilmektedir. Buradaki önemli nokta,  $\Lambda$  sembolünün alfabenin elemanı olmamasıdır:  $\Lambda \notin \Sigma$

## ➤ DİL(Language)

Bir alfabe üzerinden üretilmiş olan kelimelerin kümesi dildir.

Dile ait olan kelimelerin nasıl üretileceğinin kuralları tanımlanmış ise söz konusu dil biçimsel (formal) dil olarak adlandırılmaktadır

Bir dili tanımlamak için iki bileşenin tanımı gerekmektedir:

1. Bir alfabe tanımlanması.
2. Hangi kelimelerin dildeki geçerli kelimeler olduğunu belirten kuralların tanımlanması.

$\Sigma = \{x\}$  ve  $L_1 = \{x^n, n=1,2,3,\dots\}$

Örnek kelimeler?

$\Sigma = \{x,y\}$  ve  $L_1 = \{x^n y^n, n=1,2,3,\dots\}$

Örnek kelimeler?

# TEMEL KAVRAMLAR

## KELİME İŞLEMLERİ

➤ Birleştirme (Concatenation)

➤ Ters (Reverse) Fonksiyonu

➤ Uzunluk (Length) Fonksiyonu

➤ Alt Kelime (Subword)

➤ Önek (Prefix)

➤ Sonek (Suffix)

# TEMEL KAVRAMLAR

## KELİME İŞLEMLERİ

### ➤ Birleştirme (Concatenation)

$\Sigma$  alfabesi üzerinde tanımlı  $w_1$  ve  $w_2$  gibi iki kelime olduğu varsayıldığında,  $w_1$  kelimesinin  $w_2$  kelimesi ile birleştirilmesi (concatenation),  $w_2$  kelimesinin  $w_1$  kelimesinin sonuna eklenmesi ile oluşmakta ve  $w_1w_2$  olarak gösterilmektedir.

İki boş kelimenin birleştirilmesi boş kelimedir:  $\Lambda \Lambda = \Lambda$ .

$w\Lambda = \Lambda w$  yazılabilecektir

Örnekler:

$K1=aabba$ ,  $K2=abab$

$K1K2=aabbaabab$

- $L_1=\{x,xx,xxx,xxxx,\dots\}$  dili için birleştirme işlemi geçerlidir. Örneğin,  $xx \in L_1$  ve  $xxx \in L_1$  olmak üzere, bu iki kelimenin birleştirilmesi ile oluşan  $xxxxx$  kelimesi  $L_1$  dilinin elemanıdır.



# TEMEL KAVRAMLAR

## KELİME İŞLEMLERİ

### ➤ Birleştirme (Concatenation)

$\Sigma$  alfabesi üzerinde tanımlı  $w_1$  ve  $w_2$  gibi iki kelime olduğu varsayıldığında,  $w_1$  kelimesinin  $w_2$  kelimesi ile birleştirilmesi (concatenation),  $w_2$  kelimesinin  $w_1$  kelimesinin sonuna eklenmesi ile oluşmakta ve  $w_1w_2$  olarak gösterilmektedir.

İki boş kelimenin birleştirilmesi boş kelimedir:  $\Lambda \Lambda = \Lambda$ .

$w\Lambda = \Lambda w$  yazılabilecektir

Örnekler:

$K1=aabba$ ,  $K2=abab$

$K1K2=aabbaabab$

- $L_1=\{x,xx,xxx,xxxx,\dots\}$  dili için birleştirme işlemi geçerlidir. Örneğin,  $xx \in L_1$  ve  $xxx \in L_1$  olmak üzere, bu iki kelimenin birleştirilmesi ile oluşan  $xxxxx$  kelimesi  $L_1$  dilinin elemanıdır.

- Soru:**  $L_2=\{x^{2n+1}, n=0,1,2,3,\dots\}$  için birleştirme işlemi geçerli midir?

# TEMEL KAVRAMLAR

## KELİME İŞLEMLERİ

### ➤ Ters (Reverse) Fonksiyonu

w kelimesi bir dile ilişkin kelime olmak üzere, w kelimesindeki sembollerin sondan başa doğru yazılması ile oluşan yeni kelime denir.  $\text{ters}(w)$  veya  $w^R$  olarak gösterilmektedir.

Örneğin,

$w=\text{abba}$   $\text{ters}(w)=\text{abba}$

$w=\text{aaab}$   $\text{ters}(w)=\text{baaa}$

$w=145$   $\text{ters}(w)=541$ 'dir.

# TEMEL KAVRAMLAR

## KELİME İŞLEMLERİ

### ➤ Ters (Reverse) Fonksiyonu

w kelimesi bir dile ilişkin kelime olmak üzere, w kelimesindeki sembollerin sondan başa doğru yazılması ile oluşan yeni kelime denir.  $\text{ters}(w)$  veya  $w^R$  olarak gösterilmektedir.

Örneğin,

$w=\text{abba}$   $\text{ters}(w)=\text{abba}$

$w=\text{aaab}$   $\text{ters}(w)=\text{baaa}$

$w=145$   $\text{ters}(w)=541$ 'dir.

**Soru:** Ters fonksiyonu sonucunda elde edilen kelimenin dilin elemanı olmama olasılığı varmıdır?

# TEMEL KAVRAMLAR

## KELİME İŞLEMLERİ

### ➤ Uzunluk (Length) Fonksiyonu

Bir dile ait  $w_1$  kelimesinin uzunluğu, o kelimedeki sembol sayısına eşittir ve  $|w_1|$  olarak gösterilmektedir.

Örneğin,

$w=abba$   $|w|=4$

$w=aaaba$   $|w|=5$

$w=010101$   $|w|=6$

$w= \Lambda aaaba$   $|w|=?$

$w= aaa\Lambda ba$   $|w|=?$

$|\Lambda|=?$

# TEMEL KAVRAMLAR

## KELİME İŞLEMLERİ

### ➤ Uzunluk (Length) Fonksiyonu

Bir dile ait  $w_1$  kelimesinin uzunluğu, o kelimedeki sembol sayısına eşittir ve  $|w_1|$  olarak gösterilmektedir.

Örneğin,

$w=abba \quad |w|=4$

$w=aaaba \quad |w|=5$

$w=010101 \quad |w|=6$

$w= \Lambda aaaba \quad |w|=5$

$w= aaa\Lambda ba \quad |w|=5$

$|\Lambda|=0$

# TEMEL KAVRAMLAR

## KELİME İŞLEMLERİ

### ➤ Alt Kelime (Subword)

Eğer  $t$  ve  $z$  bir alfabe üzerinden tanımlı kelimeler ise ve  $tw_1z=w_2$  geçerli ise  $w_1$  kelimesi  $w_2$  kelimesinin alt kelimesidir (subword).

Türkçe dilinden örnek verilecek olursa, “afyonkarahisar” kelimesi, “afyon”, “kara” ve “hisar” şeklinde parçalanabilecektir.

"substring" kelimesinin alt kelimesi "string" ,olabilir

Örneğin,

"apple kelimesinin alt kelimeleri

"apple", "appl", "pple", "app", "ppl", "ple", "ap", "pp", "pl", "le", "a", "p", "l", "e",  
""

# TEMEL KAVRAMLAR

## KELİME İŞLEMLERİ

### ➤ Önek (Prefix)

- Eğer  $z$ ,  $\Sigma$  üzerinde tanımlı bir kelime ise ve  $w_1z=w_2$  ise  $w_1$  kelimesi  $w_2$  kelimesinin öneki (prefix) olarak adlandırılmaktadır.
- Boş kelime  $\Lambda$  her kelimenin önekidir

Örneğin,

İngilizce dilindeki, “disagree” kelimesinde ön ek “dis” kelimesidir.

«banana» ön eki «ban»

# TEMEL KAVRAMLAR

## KELİME İŞLEMLERİ

### ➤ Sonek (Suffix)

- Eğer  $z$ ,  $\Sigma$  üzerinde tanımlı bir kelime ise ve  $zw_1=w_2$  ise  $w_1$  kelimesi  $w_2$  kelimesinin soneki (suffix) olarak adlandırılmaktadır.
- Örneğin,  $w_1=\text{ing}$   $w_2=\text{playing}$  ve  $z=\text{play}$  ise  $w_1$  kelimesi olan “ing”  $w_2$  kelimesi olan “playing” ’in sonekidir.



# TEMEL KAVRAMLAR

## KELİME İŞLEMLERİ

### ➤ Örnekler

- For example, let  $w = abaa$  be a string over  $\Sigma = \{a, b\}$ .

Its prefixes, suffixes and substrings are as follows:

- Prefixes:  $\Lambda, a, ab, aba, abaa$ .
- Suffixes:  $\Lambda, a, aa, baa, abaa$ .
- Substrings:  $\Lambda, a, b, ab, a, ba, aba, a, aa, baa, abaa$ .

# TEMEL KAVRAMLAR

## KELİME İŞLEMLERİ

### ➤ Örnekler

- For example, let  $w = abaa$  be a string over  $\Sigma = \{a, b\}$ .

Its prefixes, suffixes and substrings are as follows:

- Prefixes:  $\Lambda, a, ab, aba, abaa$ .
- Suffixes:  $\Lambda, a, aa, baa, abaa$ .
- Substrings:  $\Lambda, a, b, ab, a, ba, aba, a, aa, baa, abaa$ .

- **X=through** kelimesi için tüm önek, sonek ve alt kelimeleri yazınız?
- **Önekler:**
- **Sonekler:**
- **Alt Kelimeler:**

# TEMEL KAVRAMLAR

## KELİME İŞLEMLERİ

### ➤ Örnekler

- For example, let  $w = abaa$  be a string over  $\Sigma = \{a, b\}$ .

Its prefixes, suffixes and substrings are as follows:

- Prefixes:  $\Lambda, a, ab, aba, abaa$ .
- Suffixes:  $\Lambda, a, aa, baa, abaa$ .
- Substrings:  $\Lambda, a, b, ab, a, ba, aba, a, aa, baa, abaa$ .

- **X=through** kelimesi için tüm önek, sonek ve alt kelimeleri yazınız?
- **Önekler:**  $\Lambda, t, th, thr, thro, throu, throug, through$
- **Sonekler:**  $\Lambda, h, gh, ough, rough, hrough, through$
- **Alt Kelimeler:**  
 $\Lambda, t, h, r, o, u, g, th, hr, ro, ou, ug, gh, thr, hro, rou, ugh, thro, hrou, roug, ough, throu, hroug, rough, throug, hrough, through$

# TEMEL KAVRAMLAR

## Alfabenin derecesi ve Kleene Star

$\Sigma = \{0,1\}$  ise,

$\Sigma^0 = \{ \Lambda \}$

$\Sigma^1 = \{0,1\}$

$\Sigma^2 = \{00, 01, 10, 11\}$

$\Sigma^3 = \{000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111\}$  şeklindeki kümeler alfabenin kuvvetleri olarak adlandırılmaktadır.

- $\Sigma^*$  sonsuz bir kümedir.  $\Sigma^*$ , aynı zamanda "Kleene Star" olarak da adlandırılmaktadır.
- Diğer bir gösterimle,  $\Sigma^* = \Sigma^0 \cup \Sigma^1 \cup \Sigma^2 \cup \dots$  şeklinde gösterilebilecektir.
- Örneğin,  $\Sigma = \{0,1\}$  ise  
 $\Sigma^* = \{\lambda, 0, 1, 00, 01, 10, 11, 000, 001, 010, 011, \dots\}$  olacaktır.

- $\Sigma$  alfabesi üzerinden tanımlanabilecek tüm kelimelerin dili alfabenin kapalılığı olarak adlandırılmakta ve  $\Sigma^*$  olarak gösterilmektedir.

# TEMEL KAVRAMLAR

## Alfabenin derecesi ve Kleene Star

$\Sigma = \{0,1\}$  ise,

$\Sigma^0 = \{ \Lambda \}$

$\Sigma^1 = \{0,1\}$

$\Sigma^2 = \{00, 01, 10, 11\}$

$\Sigma^3 = \{000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111\}$  şeklindeki kümeler alfabenin kuvvetleri olarak adlandırılmaktadır.

- $\Sigma^*$  sonsuz bir kümedir.  $\Sigma^*$ , aynı zamanda "Kleene Star" olarak da adlandırılmaktadır.
- Diğer bir gösterimle,  $\Sigma^* = \Sigma^0 \cup \Sigma^1 \cup \Sigma^2 \cup \dots$  şeklinde gösterilebilecektir.
- Örneğin,  $\Sigma = \{0,1\}$  ise  
 $\Sigma^* = \{\lambda, 0, 1, 00, 01, 10, 11, 000, 001, 010, 011, \dots\}$  olacaktır.

- $\Sigma$  alfabesi üzerinden tanımlanabilecek tüm kelimelerin dili alfabenin kapalılığı olarak adlandırılmakta ve  $\Sigma^*$  olarak gösterilmektedir.

SORU

$\Sigma$  ile  $\Sigma^1$  birbirine eşit mi?

# TEMEL KAVRAMLAR

## Alfabenin derecesi ve Kleene Star

$\Sigma = \{0,1\}$  ise,

$\Sigma^0 = \{ \Lambda \}$

$\Sigma^1 = \{0,1\}$

$\Sigma^2 = \{00, 01, 10, 11\}$

$\Sigma^3 = \{000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111\}$  şeklindeki kümeler alfabenin kuvvetleri olarak adlandırılmaktadır.

- $\Sigma^*$  sonsuz bir kümedir.  $\Sigma^*$ , aynı zamanda "Kleene Star" olarak da adlandırılmaktadır.
- Diğer bir gösterimle,  $\Sigma^* = \Sigma^0 \cup \Sigma^1 \cup \Sigma^2 \cup \dots$  şeklinde gösterilebilecektir.
- Örneğin,  $\Sigma = \{0,1\}$  ise  
 $\Sigma^* = \{\lambda, 0, 1, 00, 01, 10, 11, 000, 001, 010, 011, \dots\}$  olacaktır.

- $\Sigma$  alfabeti üzerinden tanımlanabilecek tüm kelimelerin dili alfabenin kapalılığı olarak adlandırılmakta ve  $\Sigma^*$  olarak gösterilmektedir.

### SORU

$\Sigma$  ile  $\Sigma^1$  birbirine eşit mi?

1.  $\Sigma$  is an alphabet; its members 0 and 1 are symbols
2.  $\Sigma^1$  is a set of strings; its members are strings (each one of length 1)

# TEMEL KAVRAMLAR

## Kelimelerin Birleştirilmesi

$S$  bir kelimeler kümesi olmak üzere,  $S$  kümesinden seçilen kelimelerin birleştirilmesi ile oluşan kelimelerin kümesi  $S^*$  olarak gösterilmektedir.

Örneğin,  $S=\{aa, b\}$  ise

$S^*=\{\lambda, \text{ ve } aa \text{ ile } b \text{ kelimelerinin faktörlerinden oluşan kelimeler}\}$  veya

$S^*=\{\lambda, b, aa, bb, aab, baa, bbb, \dots\}$  olarak tanımlanabilecektir.

Bir kelimenin  $S^*$  içinde olduğunu göstermek için  $S$  kümesindeki semboller cinsinden faktörlere ayrılması gerekmektedir.

- Örnek-1:

$S=\{a, ab\}$

$S^*=\{\lambda, a, aa, ab, aaa, aab, \dots\}$

$abaab \rightarrow (ab)(a)(ab)$  tekil (unique) faktörlere ayırma.

# TEMEL KAVRAMLAR

## Kelimelerin Birleştirilmesi

- Örnek-2:

$$S=\{xx, xxx\}$$

$$S^*=\{\lambda, xx, xxx, xxxxx, xxxxxxx, \dots\}$$

$$xxxxxxx \rightarrow (xx) (xx) (xxx) \text{ veya } (xx) (xxx) (xx) \text{ veya } (xxx) (xx) (xx)$$

- Örnek-3:

$$S=\{W1, W2, W3\}$$

$S^+$  : Null ( $\lambda$ ) kelime dışındaki  $S^*$  kümesidir.

$$S^+=\{W1, W2, W3, W1W1, W1W2, W1W3, W2W1, W2W2, W2W3, W3W1, W3W2, W3W3, W1W1W1, W1W1W2, \dots\}$$



# TEMEL KAVRAMLAR

## Kelimelerin Birleştirilmesi

soru:

$S = \{a, bb, bab, abaab\}$  ise  $S^*$  nedir?

abbabaabab kelimesi  $S^*$  kümesinin elemanı mıdır?

Toplam b'lerin sayısı tek olan herhangi bir kelime  $S^*$  kümesinde varmıdır?

# Kaynaklar

- [http://erkanulker.bayebilisim.com/dersler/2019\\_2020/Outomata\\_Theory/Outomata\\_Theory.htm](http://erkanulker.bayebilisim.com/dersler/2019_2020/Outomata_Theory/Outomata_Theory.htm)
- <https://en.wikipedia.org/wiki/Substring>
- <http://www.m-hikari.com/ams/ams-2014/ams-125-128-2014/singhAMS125-128-2014.pdf>
- <https://www.univ-orleans.fr/lifo/Members/Mirian.Halfeld/Cours/TLComp/TLComp-introTL.pdf>