

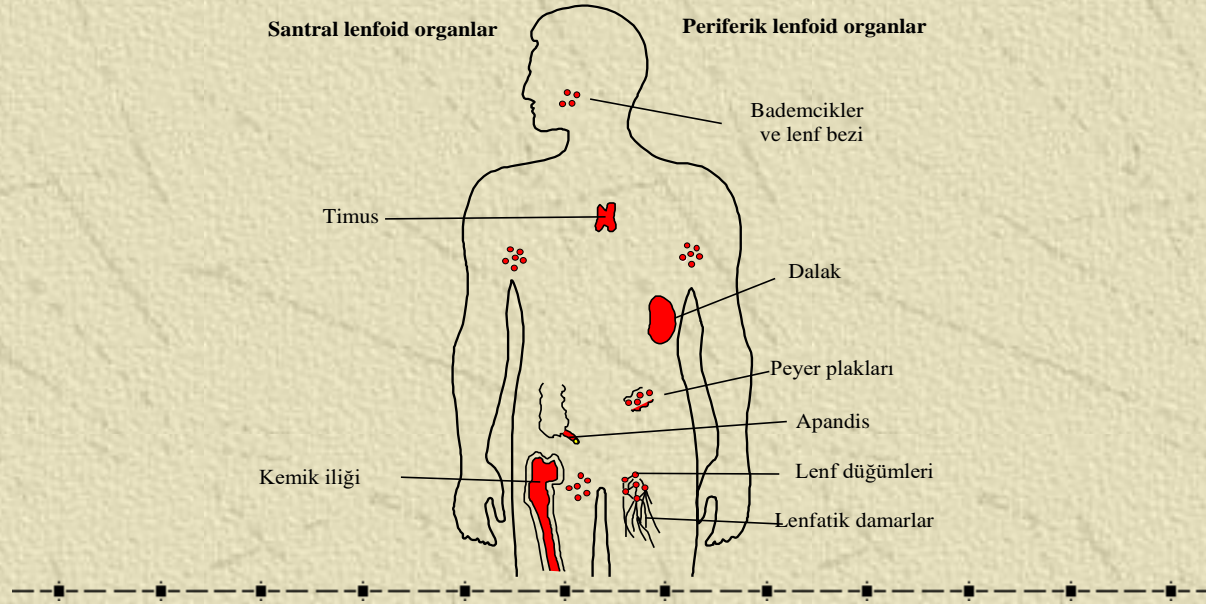
Optimizasyon Teknikleri

Prof. Dr. Bilal ALATAŞ

Yapay Bağışıklık Sistemleri

Ders Notları - 10

Yapay Bağışıklık Sistemleri



Mühendislik Problemleri

✧ Kombinatoriyel optimizasyon problemleri

- ◆ NP-Zor

✧ 1) Sayısal yöntemler

- ◆ Kesme düzlemi

- ◆ Dal-sınır

- ◆ Dinamik programlama gibi.

✧ 2) Sezgisel yöntemler:

- a) Klasik sezgisel yöntemler

- b) Genel amaçlı-sezgisel yöntemler

- ◆ **Biyolojik tabanlı** (Genetik algoritma, kültürel algoritma, membran hesaplama, karınca kolonileri, yapay sinir ağları, DNA hesaplama, böcek zekası ve yapay bağışıklık sistemleri)

- ◆ Fizik tabanlı (Tavlama benzetimi)

- ◆ Sosyal tabanlı (Tabu araştırmaları)

Anahat

- ✦ Bağışıklık Sistemi
- ✦ Yapay Bağışıklık Sistemleri (YBS)
- ✦ YBS Uygulama Alanları
- ✦ Bir YBS Uygulaması

Bağıışıklık Sistemi

- ✧ Teklik: Her bireyin özel hassaslığı ve yetenekleri olan kendi bağışıklık sistemi vardır.
- ✧ Yabancıları tanıma: Vücutta doğuştan olmayan zararlı moleküller tanınır ve bağışıklık sistemi tarafından elimine edilir.
- ✧ Anomali tespiti: Bağışıklık sistemi vücudun daha önce hiç karşılaşmadığı patojenleri tespit edebilir ve tepki gösterebilir.
- ✧ Dağıtık tespit: Sistemin hücreleri tüm vücuda dağılmıştır ve daha da önemlisi herhangi bir merkezi kontrole bağlı değildir.
- ✧ Eksik tespit (gürültü bağışıklığı): Patojenlerin kesin tanınmaları gerekmez dolayısıyla sistem esnektir.
- ✧ Takviyeli öğrenme ve hafıza: Sistem patojenlerin yapısını “öğrenebilir” böylece, aynı patojenlere ileriki tepkiler daha hızlı ve güçlü olur.

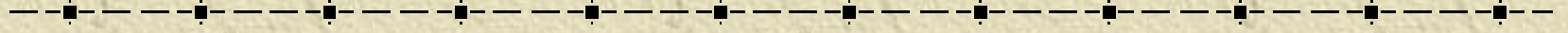
Bağıışıklık Sistemi

- ✧ Örüntü tanıma
- ✧ Eşsizlik
- ✧ Öz kimlik
- ✧ Çeşitlilik
- ✧ Kullanıldıktan sonra atılabilme
- ✧ Özerklik
- ✧ Çok katmanlılık
- ✧ Güvenlik katmanı yok
- ✧ Anomali tespiti

- Dağıtıklılık
- Gürültü toleransı
- Esneklik dirençlilik
- Hata toleransı
- Sağlamlılık
- Bağıışık öğrenme ve hafıza
- Cevabın av-avcı örüntüsü
- Kendi kendine organizasyon
- Diğer sistemlerle entegre

Yapay Bağışıklık Sistemleri (YBS)

-
- ✦ YBS, teorik bağışıklık ve kompleks problem domenlerine uygulanan gözlemlenmiş bağışık fonksiyonlar, ilkeler ve modellerden esinlenmiş hesapsal sistemlerdir (de Castro & Timmis, 2001)



Bölüm I – Temel İmmünoloji

Bağıışıklık Sistemin Rolü

✱ Vücudumuzu enfeksiyonlara karşı koruma

✱ Birincil bağıışık yanıt

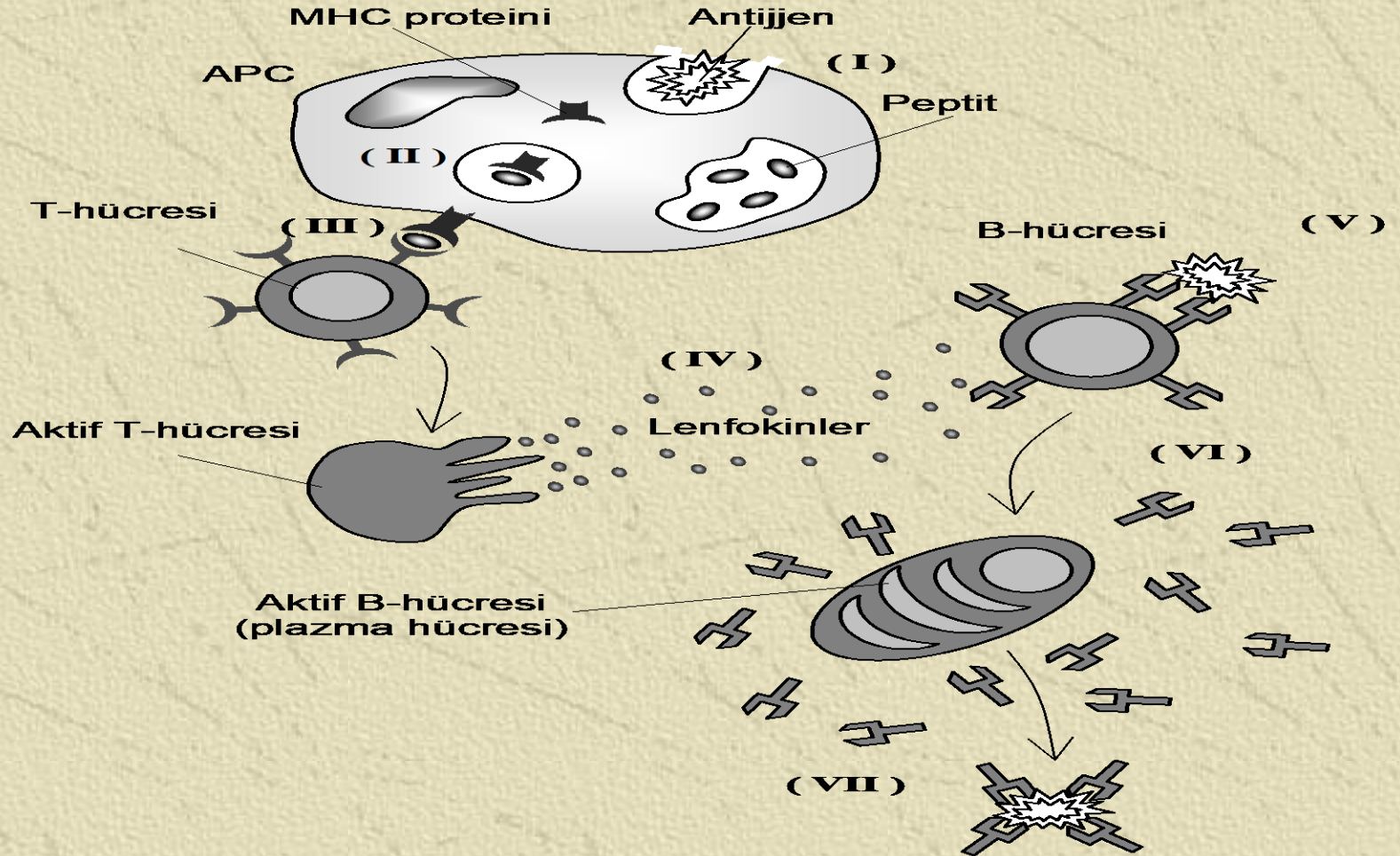
- ◆ Saldıran patojenlere bir cevap başlatır

✱ İkincil bağıışık yanıt

- ◆ Geçmiş karşılaşmaları tanır

- ◆ İkinci kez daha hızlı yanıt verir

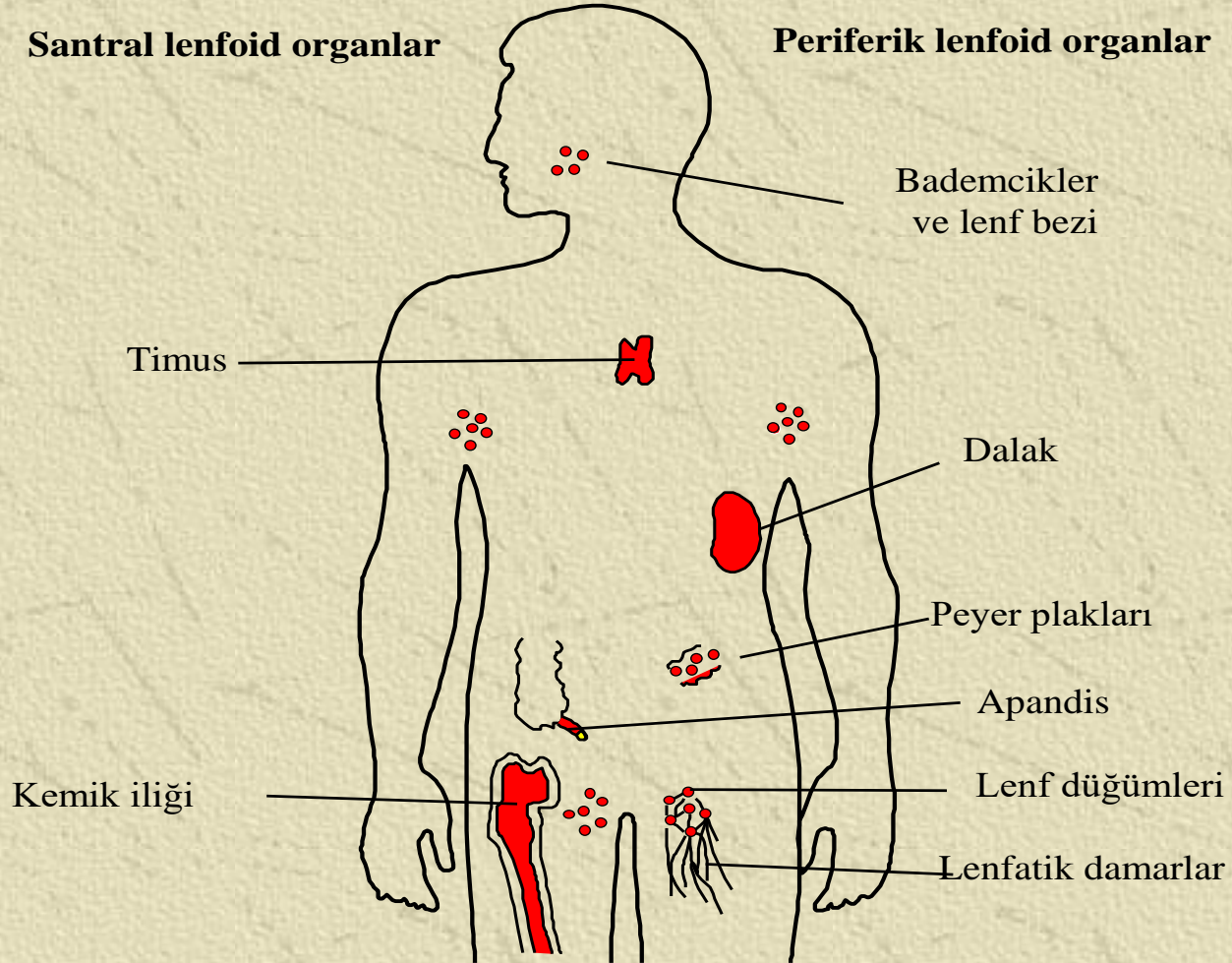
Nasıl Çalışır



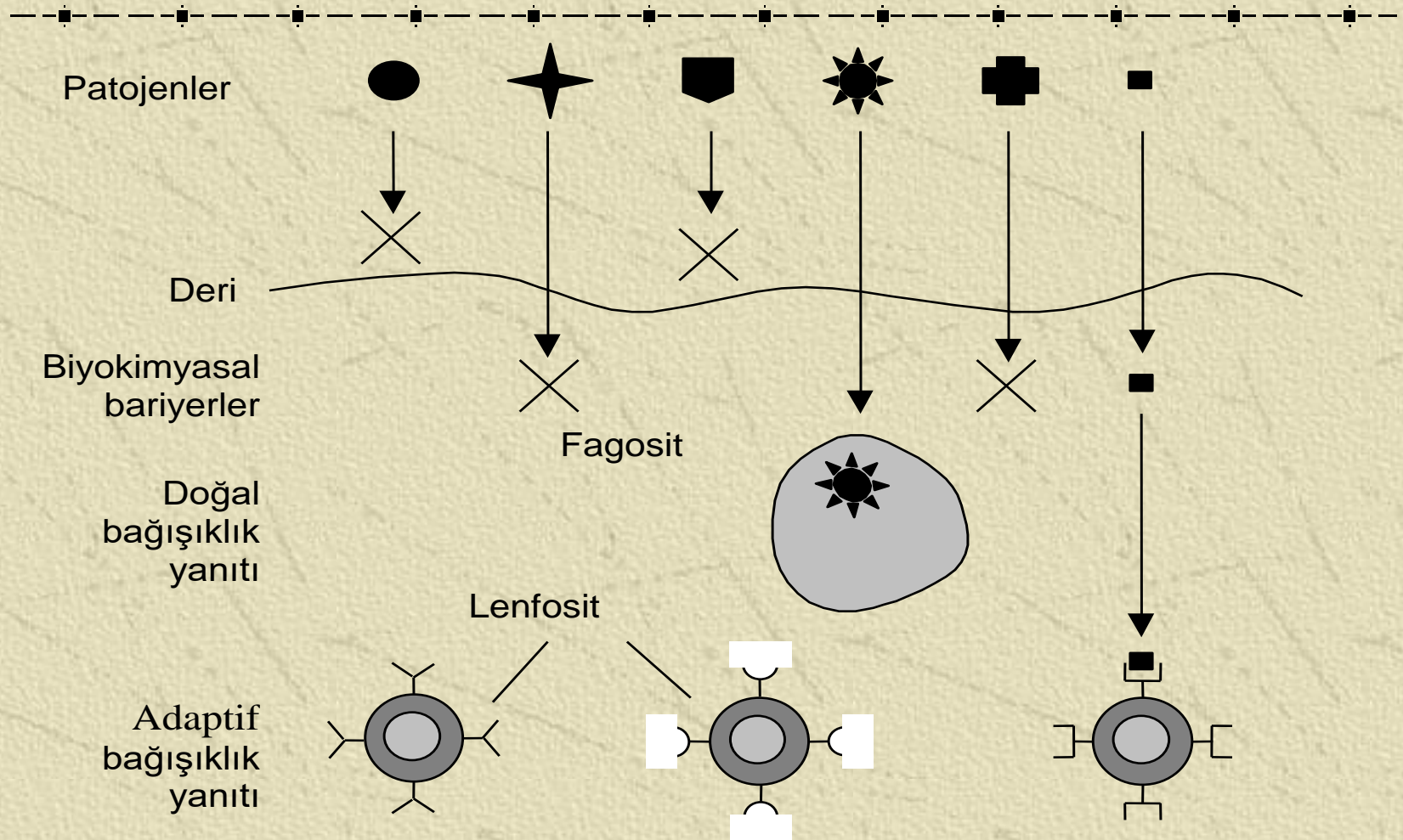
Nerede?

Santral lenfoid organlar

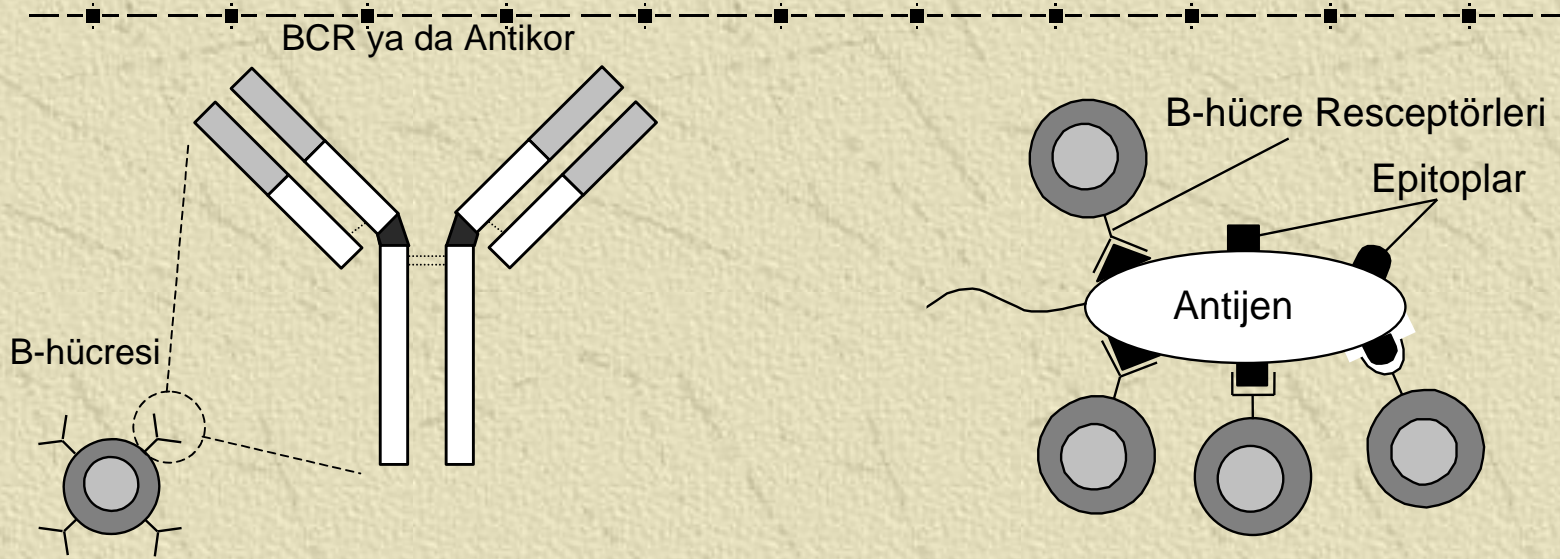
Periferik lenfoid organlar



Bağıışıklık sisteminin oklu katmanları

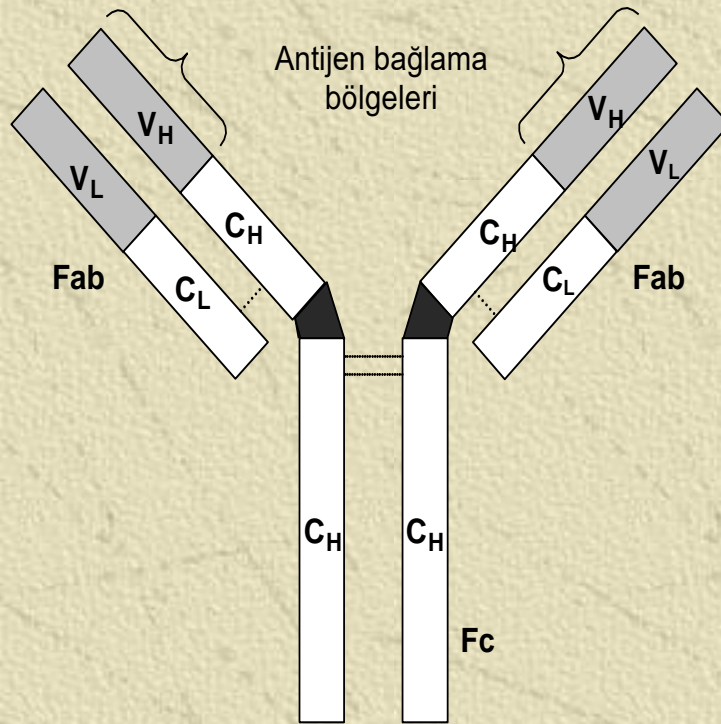


Bağışık Örüntü Tanıma

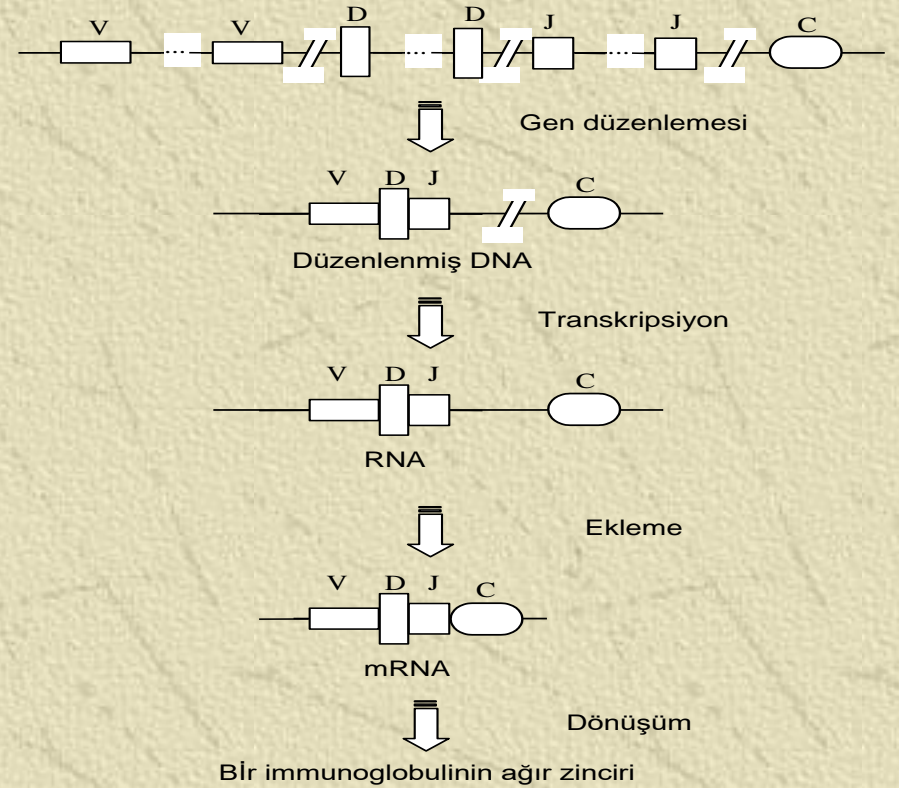


- ✦ Bağışık tanıma reseptörün bağlanma bölgesi ve antijenin *epitop* bölgesi arasındaki *tümlemeye* bağlıdır.
- ✦ Antikorlar tek tip bir reseptör sunar, antijenler birkaç epitop sunabilir.
 - ◆ Bu farklı antikorların tek bir antijeni tanıyabileceği anlamına gelir

Antikorlar

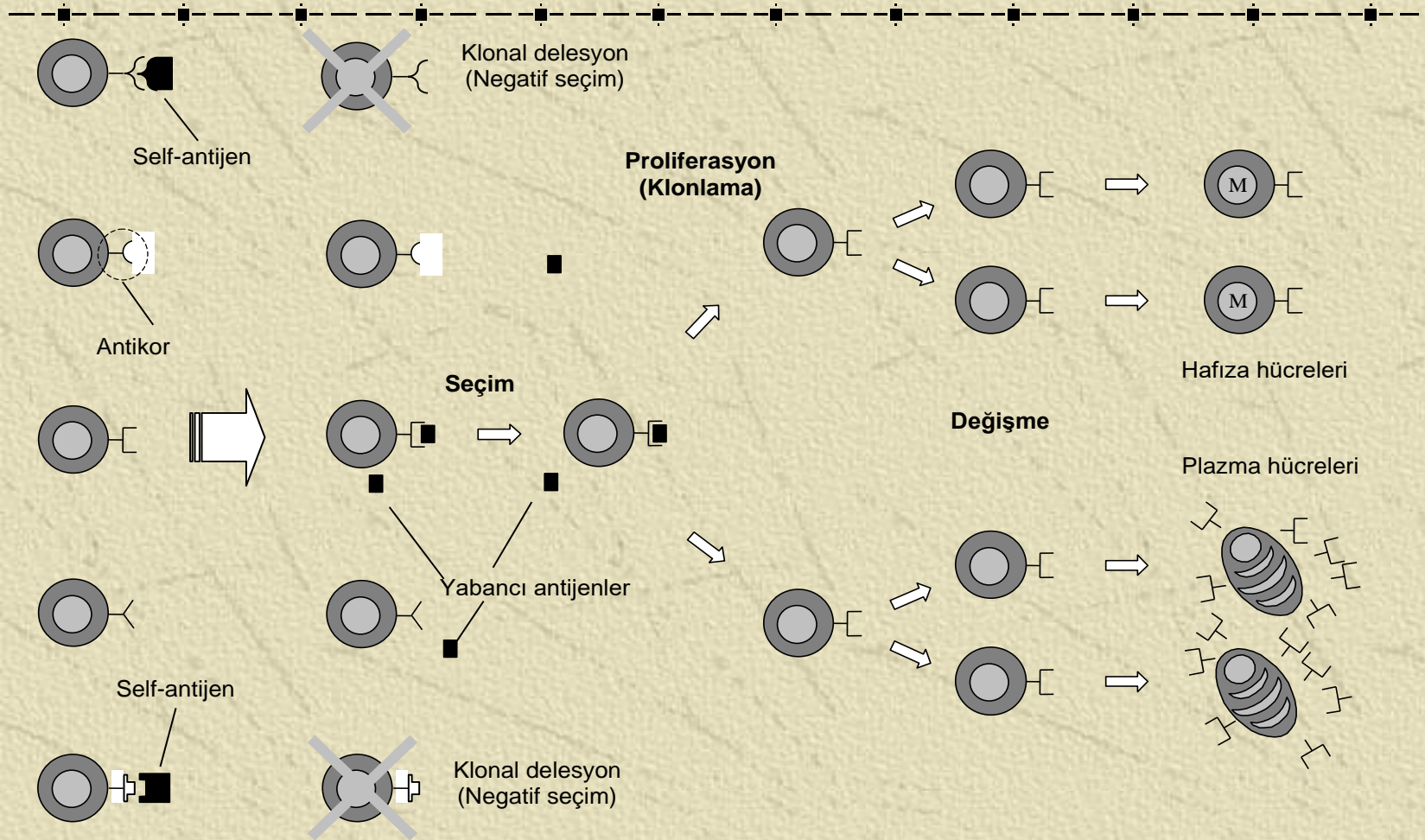


Antikor Molekülü



Antikor Üretimi

Klonal Seçim



Klonal Seçimin Temel Özellikleri (Burnet, 1978)

- ✧ Öz-antijenlerin eliminasyonu
- ✧ Olgun lenfositlerle antijenlerin temasında proliferasyon ve değişme
- ✧ Bir örüntünün bir değişmiş hücreye sınırlaması ve bu örüntünün klonal torunları tarafından tutulması;
- ✧ Yeni rassal genetik değişimlerin üretimi (sonradan hızlandırılmış bir somatik mutasyon formu tarafından ters antikör örüntüleri olarak açıklanır)

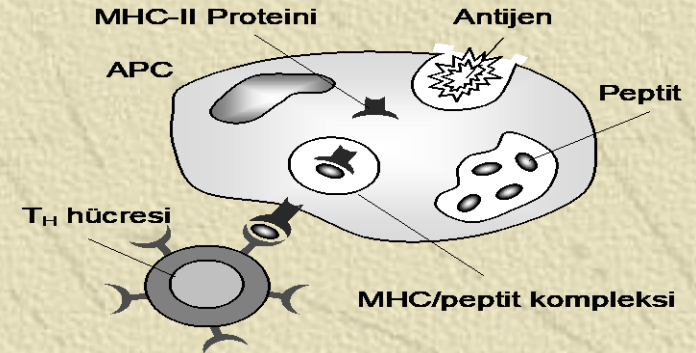
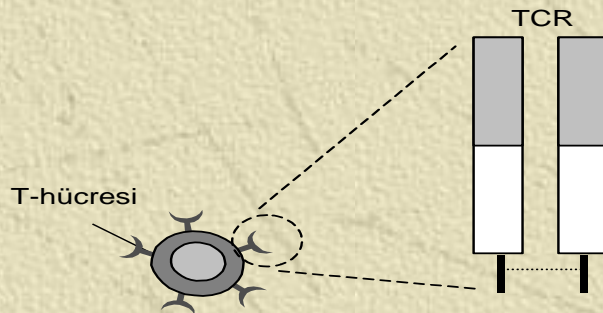
T-hücreleri

✧ Diğer hücrelerin regülasyonu

✧ Bağışık cevapta aktiftir

◆ Yardımcı T-hücreleri

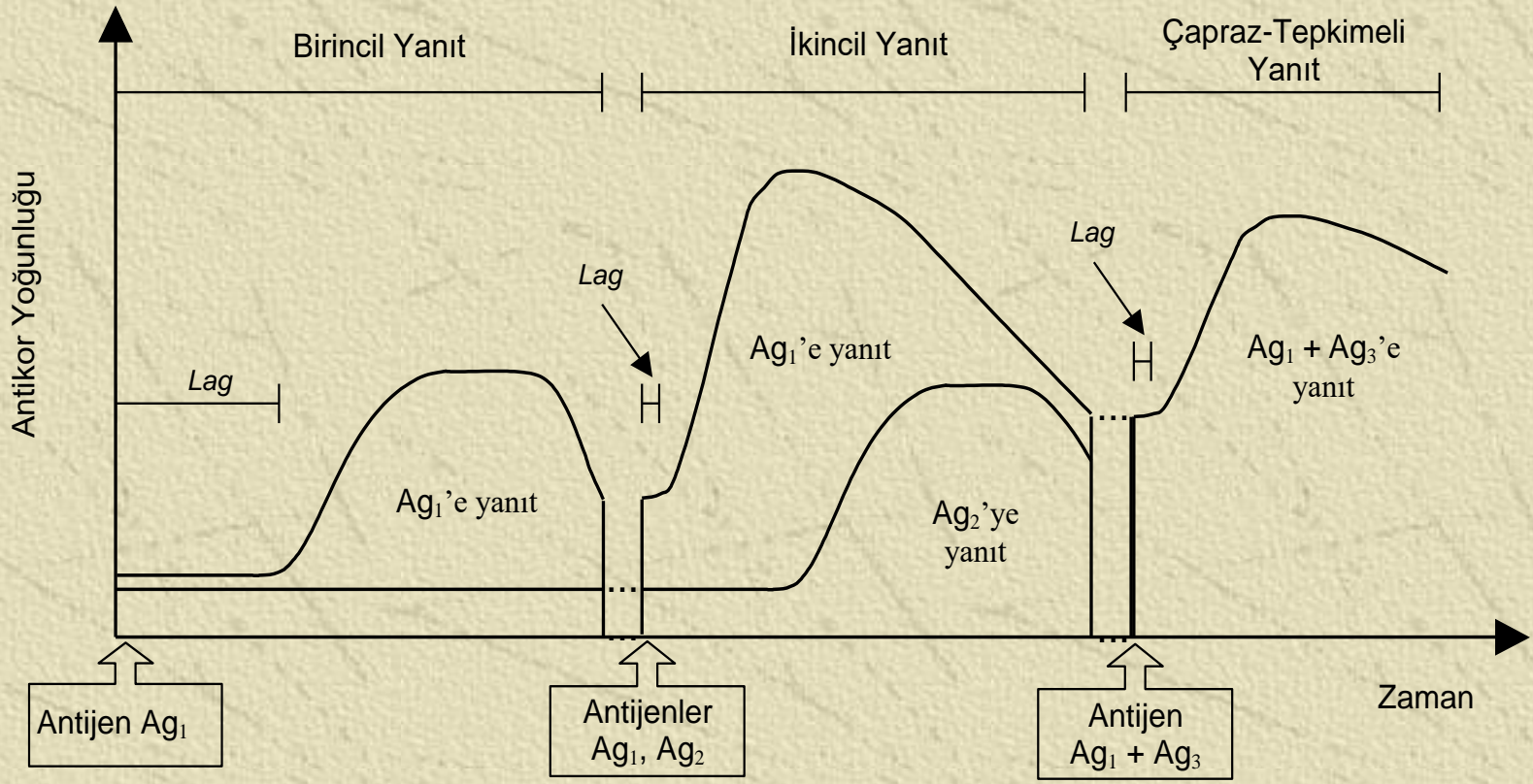
◆ Öldürücü T-hücreleri



Takviyeli Öğrenme ve Bağışık Hafıza

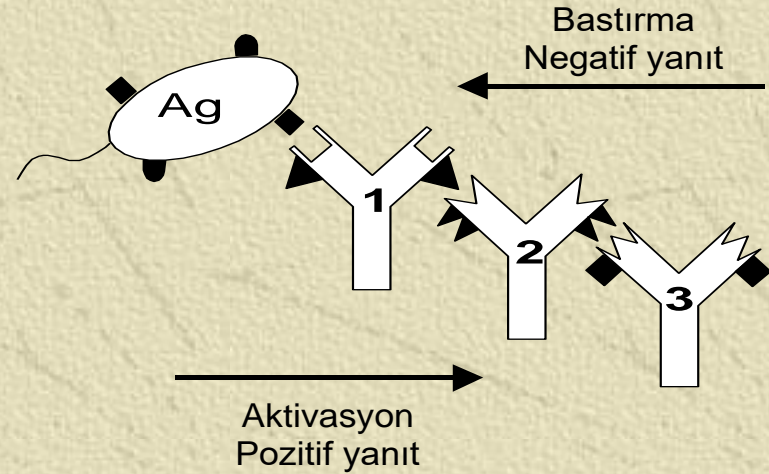
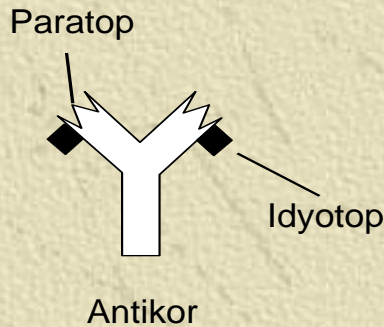
- ✧ Bir yaşam boyunca bir antijene tekrar eden şekilde maruz kalma
- ✧ Birincil, ikincil bağışık cevaplar
- ✧ Karşılaşmaları hatırlar
 - ◆ Başlangıçtan itibaren olan işlemlere gerek yok
 - ◆ Hafıza hücreleri
- ✧ Birleşmeli (Associative) hafıza

Öğrenme (2)



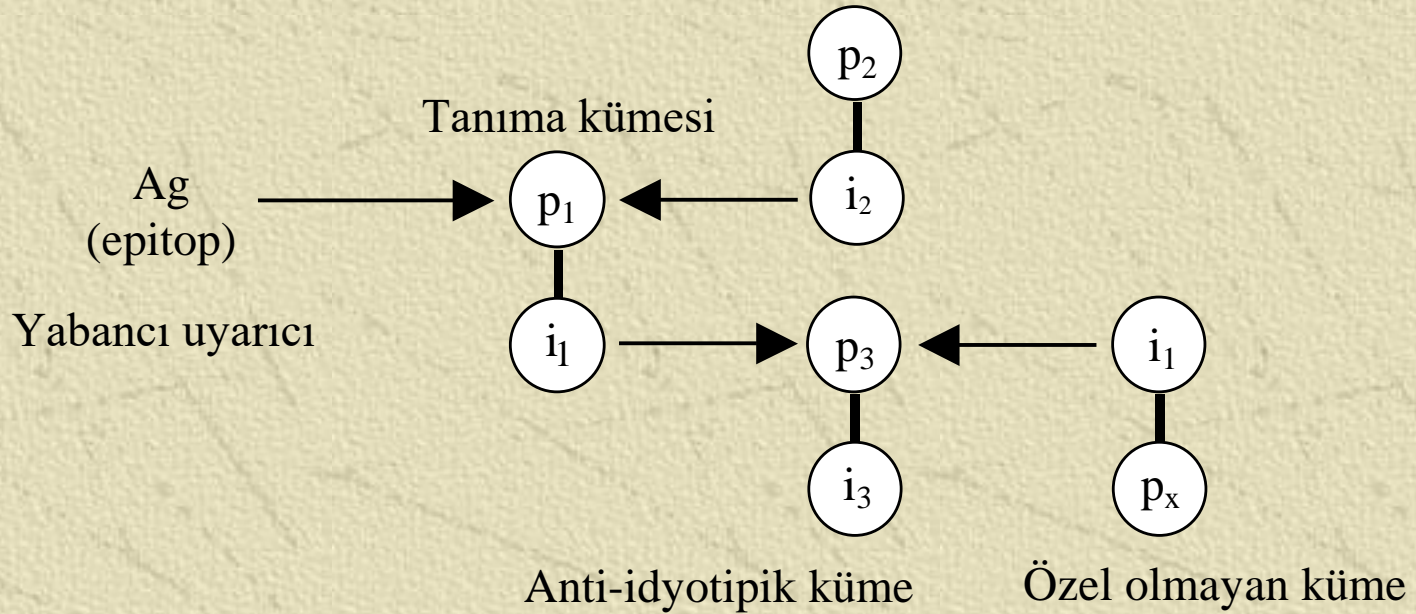
Bağışık Ağ Teorisi

- ✧ İdyotipik ağ (Jerne, 1974)
- ✧ B hücreleri birbirlerini birlikte-uyarır
 - ✧ Birbirlerine biraz antijen olarak davranır
- ✧ Bağışıksal bir hafıza oluşturur



Bağıışık Ağ Teorisi

Bağıışıklık sisteminde moleküler etkileşimler

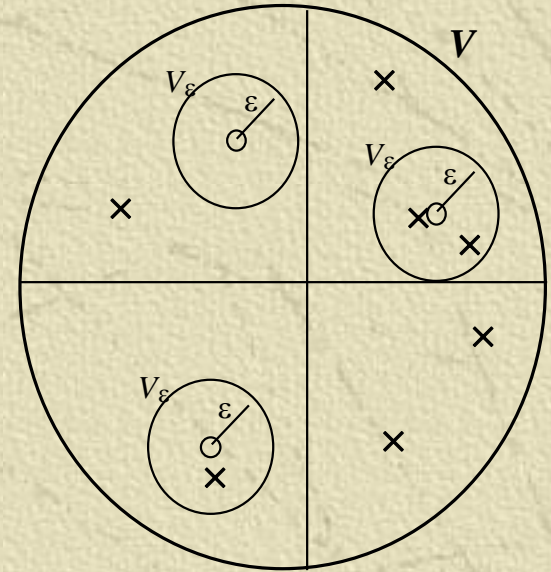


Biçim Uzayı Formalizmi

✧ Bağışıklık sisteminin
repertuarı tamdır
(Perelson, 1989)

✧ Geniş *tümleme*
bölgeleri

✧ Bazı tanıma eşikleri

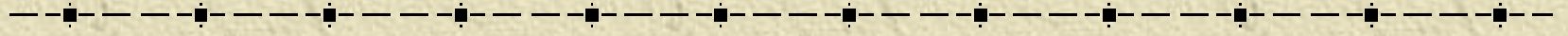


Özü/Öz-olmayanı Tanıma

- ✦ Bağışıklık sistemin öz ve öz olmayan hücreleri ayırt edebilmesi gerekmektedir
- ✦ Antijenik karşılaşmalar hücre ölümüyle sonuçlanabilir, bu yüzden
 - ◆ Bir çeşit *pozitif seçim*
 - ◆ Bir çeşit *negatif seçim*

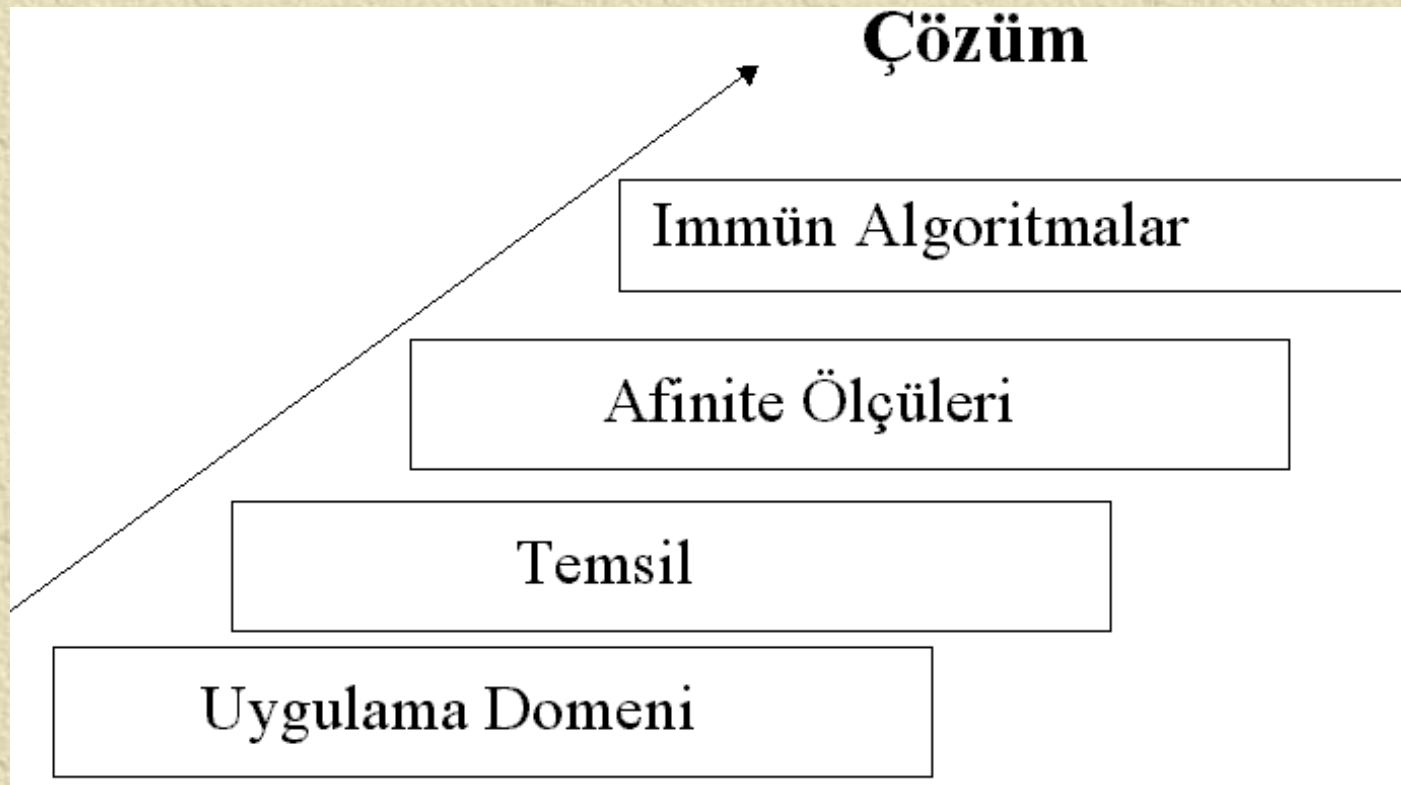
Kısaca

- ✦ Bağışıklık sistemi bazı dikkate değer özelliklere sahiptir
- ✦ Örüntü tanıma
- ✦ Öğrenme
- ✦ Hafıza



Bölüm II –Yapay Bağışıklık Sistemleri

Katmanlı Çatı



Bağışık Hücre, Molekül ve bunların etkileşiminin soyut modelleri

- ✦ Bir antijenin tanınabilmesi için moleküllerin (antijen ya da antikör) yüzeylerindeki belli bölgelerde birbirleriyle komplementer bağlanmaları gerekmektedir. Bu yüzden moleküller arasında geniş komplementer bölgelerine ihtiyaç vardır.

Temsil

✧ Vektörler

$$\mathbf{Ab} = \langle Ab_1, Ab_2, \dots, Ab_L \rangle$$

$$\mathbf{Ag} = \langle Ag_1, Ag_2, \dots, Ag_L \rangle$$

✧ Gerçek değerli şekil uzayı,

✧ Tam sayı şekil uzayı,

✧ Hamming şekil uzayı

✧ Sembolik şekil uzayı

Etkileşimler

✧ Afinite

✧ Afinite çeşitli uzaklık ölçülerine bağlıdır.

✧ Öklit

$$D = \sqrt{\sum_{i=1}^L (Ab_i - Ag_i)^2}$$

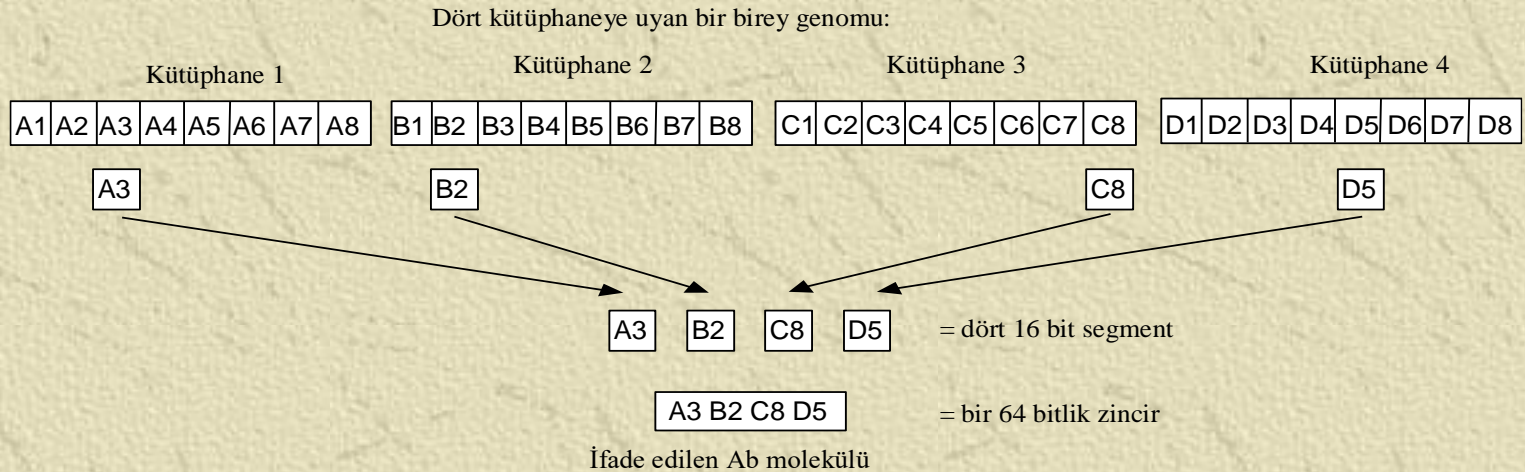
- Diğer uzaklık ölçüleri olarak Hamming, Manhattan vb. uzaklıklar kullanılabilir.
- Afinite eşiği

ALGORİTMALAR VE İŞLEMLER

-
- ✧ 1. **Kemik iliği modeli:** hücreler ve moleküllerin repertuarını üretmede kullanılır
 - ✧ 2. **Timus modeli:** self/nonself ayrımı yapmaya yetenekli hücre ve moleküllerin repertuarını üretmede kullanılır.
 - ✧ 3. **Klonal seçim algoritmaları:** bağışıklık sisteminin bileşenlerinin harici çevre ve antijenlerle nasıl etkileşim yaptığını kontrol etmede kullanılır
 - 4. **Bağışık ağ modelleri:** yapılarını, dinamiğini ve metadinamiğini de içeren bağışık ağları simüle etmede kullanılır.

Kemik İliği Modelleri

- ✦ Gen kütüphanesi kemik iliğinden antikorları üretmek için kullanılır. Bu fikri reseptörleri temsil eden nitelik dizgelerini üretmek için kullanırız.
- ✦ Antikorlar gen kütüphanelerinden gelişigüzel birbirine bağlanma ile oluşur.
- ✦ Basit ya da kompleks kütüphaneler



Timus Modelleri

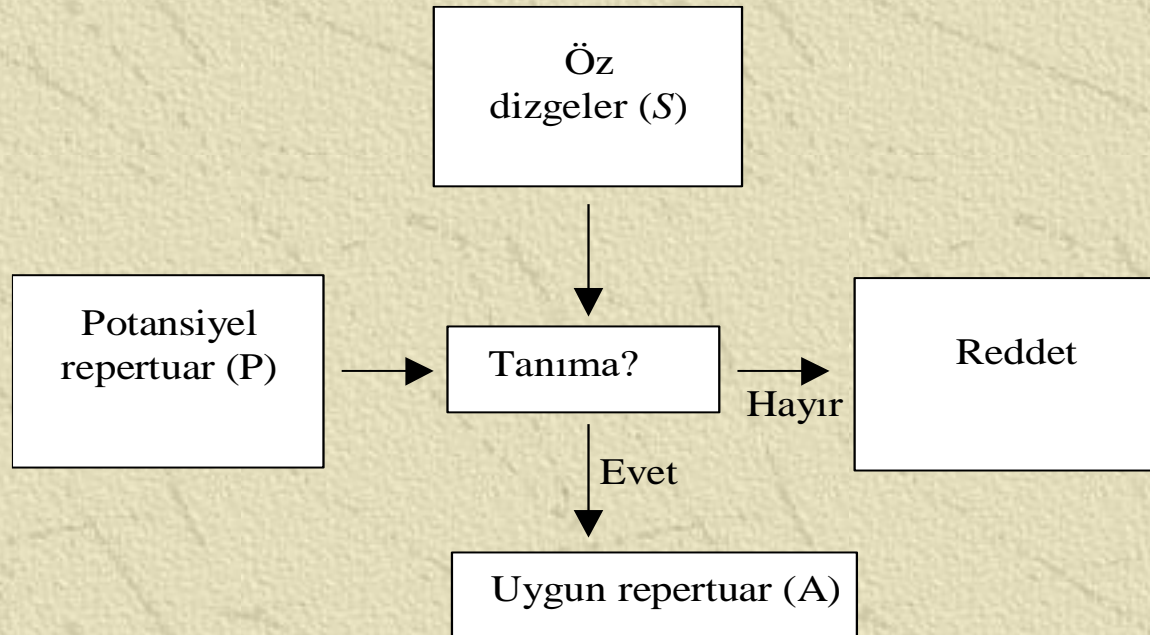
✧ T hücreleri kemik iliğinde üretilir ve timusa göçer ve orada immünokompetent hücrelere farklılaşır (pozitif seçim) ve diğerleri öz peptit/MHC kompleksleriyle güçlü bir tanıma yaptığından repertuardan temizlenir (negatif seçim). Bu timik pozitif ve negatif seçim timustan ayrılan ve perifere giden T hücre popülasyonunun öz-peptitleri tanıyan hücreleri ihtiva etmediğini ve aynı zamanda bir öz MHC molekülü tarafından sunulan bir peptit ile uyarılmaya hazır olduğunu garanti eder.

✧ Pozitif ve Negatif Seçim Algoritmaları

Pozitif Seçim Algoritması

1. **Başlangıç:** Olgunlaşmamış T hücrelerinin potansiyel repertuarını, P, üret. Tüm molekülleri (reseptör ve MHCler) aynı uzunluklu, L, ikili dizgeler ile temsil edildiğini varsayıldığında 2^L ayrı hücre üretilir.
2. **Afinite değerlendirmesi:** P'deki tüm elemanların self hücre kümesi S'deki tüm elemanlar ile afinitelerini belirle.
3. **Uygun repertuarın üretimi:** P'nin bir elemanı ile MHC'nin en az bir elemanı arasındaki afinite verilen çapraz reaktif eşiği e 'den büyükse ya da buna eşitse o zaman T hücresi bu MHC'yi tanır ve pozitif olarak seçilir ve sisteme tanıtılır (uygun repertuar A'ya); değilse T hücresi elimine edilir.

Pozitif Seçim Algoritması



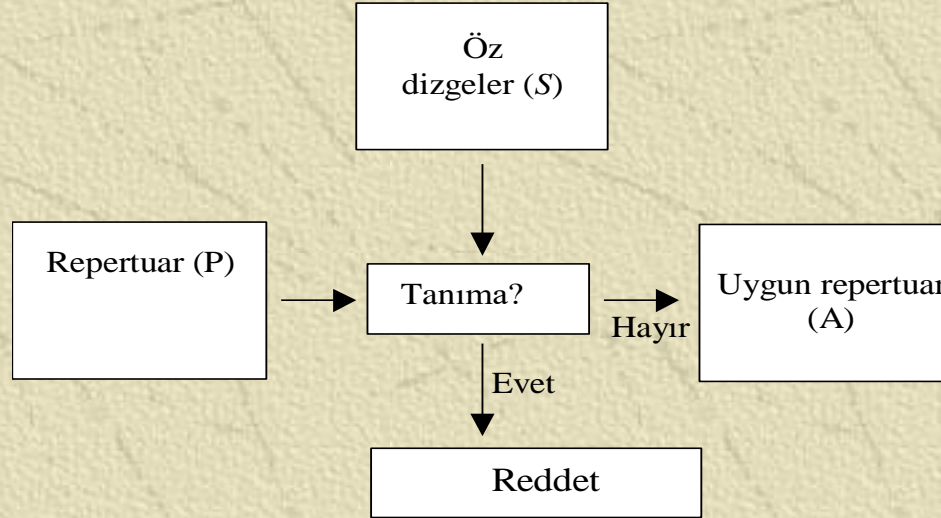
Negatif Seçim Algoritması

- ✧ T hücrelerinin negatif seçimi reseptörleri öz MHC tarafından sunulan öz peptitlere bağlanma kabiliyeti olan T hücrelerinin eliminasyonundan sorumludur. Bu işlem timustan ayrılan T hücrelerinin herhangi bir öz hücreyi ya da molekülü tanımayacağını garanti eder.
- ✧ İlk olarak bilgisayar ve ağ güvenliğinde kullanılmıştır. Ayrıca zaman serileri tahmini, şekil denetimi ve kesimlemesi, ve donatım hatası toleransı gibi anormallik belirleme problemleri
- ✧ İki aşamadan oluşur:
 - ◆ Algılama
 - ◆ Gözetleme

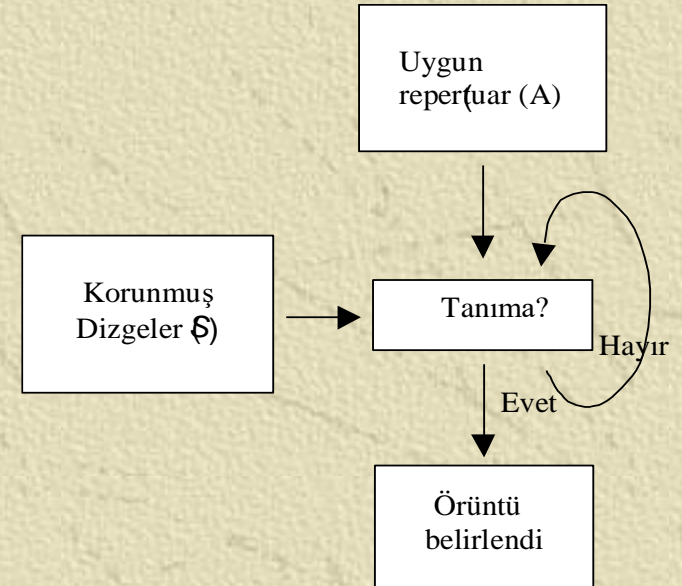
Negatif Seçim Algoritması

- ✧ 1. **Başlangıç:** Gelişigüzel dizgeler üret ve bunları olgunlaşmamış T hücrelerinin bir P kümesine yerleştir. Tüm moleküllerin (reseptör ve öz peptitler) aynı uzunlukta, L, ikili dizgeler olarak temsil edildiğini varsay.
- ✧ 2. **Afinite değerlendirmesi:** P'deki tüm T hücrelerinin S'deki tüm elemanlarla afinitesini belirle.
- ✧ 3. **Uygun repertuarın üretimi:** Olgunlaşmamış bir T hücrelerinin (P nin elemanı) en az bir öz peptitle afinitesi verilen çapraz reaktif eşikten, ϵ , büyükse ya da buna eşitse o zaman T hücresi bu öz peptidi tanır ve elimine edilmelidir (negatif seçim); değilse T hücresi uygun repertuar A'ya tanıtılır.

Negatif Seçim Algoritması



Korunmuş dizgeler kümesi, S^* uygun repertuar A'nın elemanları ile karşılaştırılır. S^* kümesi S'in kendisi olabilir ya da tamamen yeni bir küme olabilir ya da, S'nin elemanlarından oluşmuş olabilir. Bir tanıma olursa o zaman bir öz olmayan örüntü (dizge) tespit edilmiştir



Klonal Seçim Algoritmaları

- ✦ Klonal seçim prensibi önceden de değinildiği gibi bağışıklık sisteminin bir antijenik uyarıma karşı bağışıklık cevabının temel özelliklerini tanımlamak amacıyla kullanılır. Bu prensip sadece antijenleri tanıyan hücrelerin çoğaldığı yani tanımayanlara göre seçildiği fikrini vurgular. Bu seçilmiş hücreler, afinite olgunlaşma işlemine mazur kalırlar ve bu işlem seçilmiş hücrelerin antijenlere benzerliğini geliştirir

Klonal Seçim Algoritmaları

Charles Darwin'in evrim teorisinin üç temel fonksiyonu olan farklılaştırma, çeşitlendirme ve doğal seçim mekanizmalarını kullanır.

- ✧ Dağarcıktan fonksiyonel olarak ayırt edilmiş olan hafıza hücrelerinin varlığının sağlanması
- ✧ En fazla uyarılmış hücrelerin seçimi ve klonlaşması
- ✧ Uyarılmamış hücrelerin ölümü
- ✧ Daha yüksek afiniteli klonların afinite olgunlaşması ve tekrar seçimi
- ✧ Farklılaşmanın üretilmesi ve sağlanması
- ✧ Hücre afinitesi ile orantılı olarak hipermutasyon işleminin uygulanması

Klonal Seçim Algoritmaları

Gelişigüzel bir populasyon (P) üret

For Ag'deki her örüntü için

Her P'ye afiniteyi belirle

P'den en yüksek n afiniteliyi seç

Ag afinitesi ile doğru orantılı olarak klonlama ve mutasyon yap

P'ye yeni mutantlar ekle

endFor

M nin bölümünü oluşturmak için en yüksek afiniteli P'yi seç

n tanesini yeni oluşturulmuşlarla yer değiştir

Sonlandırma kriterine kadar

Bağışık Ağ Modelleri

✧ Diferansiyel denklemler temelli sürekli ağ modelleri başarılı bir şekilde özerk hareket, optimizasyon ve otomatik kontrol gibi kompleks problemlere uygulanmıştır. Bunlar aynı zamanda fark denklemleri temelli ayrık ağ modellerine de ilham olmuştur.

✧ Farmer ve arkadaşları

$$m_{ij} = \sum_k G\left(\left(\sum e_i(n+k) \wedge p_j(n)\right) - \varepsilon + 1\right)$$

$$G(x) = \begin{cases} x & x > 0 \\ 0 & \text{diger durum} \end{cases}$$

✧ Antikor konsantrasyonunun değişim oranı

$$\frac{dc_i}{dt} = k_1 \left[\sum_{j=1}^N m_{j,i} c_i c_j - k_2 \sum_{j=1}^N m_{i,j} c_i c_j + \sum_{j=1}^n m_{j,i} c_i y_j \right] - k_3 c_i$$

Bağışık Ağ Modelleri

$$\begin{bmatrix} \textit{Populasyon} \\ \textit{çeşitlilik} \\ \textit{oranı} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \textit{Ağ} \\ \textit{uyarımı} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \textit{Ağ} \\ \textit{bastırımı} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \textit{Yeni} \\ \textit{elemanların} \\ \textit{eklenmesi} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \textit{Uyarılmamış} \\ \textit{elemanların} \\ \textit{ölümü} \end{bmatrix}$$

Bağışık Ağ Modelleri (AINE)

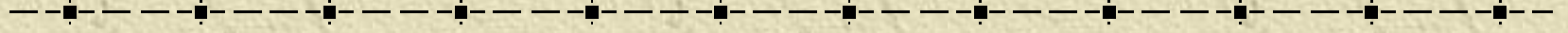
1. Başlangıç: antijenlerin alt bölümü dışında bir başlangıç ağı oluştur;
2. Antijenik temsil: her antijenik örüntü için, do:
 - 2.1. Klonal seleksiyon ve ağ etkileşimleri: her ağ hücresi için, bunun uyarı seviyesini belirle
 - 2.2. Metadinamik: kaynak yerleştirme mekanizmasıyla düşük uyarılı hücreleri elimine et
 - 2.3. Klonal genişletme: en çok uyarılmış hücreleri seç ve bunları uyarılarıyla orantılı olarak tekrar üret
 - 2.4. Somatik mutasyon: uyarı seviyesiyle ters orantılı olarak her klona mutasyon uygula
 - 2.5. Ağ yapımı: mutasyona uğramış klonları ağa katılmak üzere seç
3. İkinci aşamayı durdurma kriterine kadar tekrarla

Bağışık Ağ Modelleri-Castro ve Zuben (2000)

-
1. Başlangıç: ağ antikorlarının gelişigüzel bir başlangıç popülasyonunu üret
 2. Antijenik temsil: her antijenik örüntü için do:
 - 2.1. Klonal seleksiyon ve genişletme: her ağ elemanı için sunulan antijen için afiniteyi hesapla. Yüksek afiniteli birkaç elemanı seç ve afiniteleri ile doğru orantılı olarak bunları tekrar üret (klonla)
 - 2.2. Afinite olgunlaşması: afinitelerle ters orantılı olarak her klona mutasyon uygula. En iyi afiniteli birkaç klonu tekrar seç ve bunları klonal bellek setine yerleştir
 - 2.3. Metadinamik: antijenle afinitesi verilen eşikten düşük olan hafıza klonlarını elimine et
 - 2.4. Klonal etkileşim: klonal hafıza setinin tüm elemanları arasında ağ etkileşimini (afinite) belirle
 - 2.5. Klonal baskı: birbirleriyle afinitesi verilen eşikten az olan hafıza klonlarını elime et
 - 2.6. Ağ yapımı: kalan klonal hafızanın klonlarını tüm ağ antikorları ile dahil et
 3. Ağ etkileşimi: her ağ antikor çifti arasındaki benzerliği belirle
 4. Ağ baskılama: afinitesi verilen eşikten az olan ağ antikorlarını elimine et
 5. Çeşitlilik: ağa yeni gelişigüzel üretilmiş antikorlar ilave et
 6. Çevrim: İkiden beşinciye kadarki aşamaları verilen iterasyon sayısına kadar tekrar et.

Yaklaşımların Karşılaştırılması

	YBS	YSA	EA
Bileşenler	S'te nitelik dizgesi	Yapay nöronlar	Kromozomları temsil eden dizgeler
Bileşenlerin yerleşimi	Dinamik yerleşimler	Önceden tanımlı /dinamik (deterministik) yerleşimler	Dinamik yerleşimler
Yapı	Ayrık ya da ağ elemanları	Ağ nöronları	Ayrık elemanlar
Bilgi depolama	Nitelik dizgileri/ ağ bağlantıları	Bağlantı güçlülüğü	Kromozomsal dizgeler
Dinamik	Öğrenme/evrim	Öğrenme	Evrin
Metadinamik	Bileşenlerin eliminasyonu/düzelmesi	Yapıcı/budayıcı algoritmalar	Bileşenlerin eliminasyonu/düzelmesi
Diğer bileşenlerle etkileşim	Nitelik dizgilerinin ya da ağ bağlantıları boyunca	Ağ bağlantıları boyunca	Rekombinasyon operatörleri ve/veya uygunluk fonksiyonu boyunca
Çevre ile etkileşim	Giriş örüntüsünün tanınması ya da amaç fonk. değ.	Giriş birimleri çevresel uyarı alır	Bir amaç fonk. değ.
Eşik	Elemanların afinitesini etkiler	Nöron aktivitesini etkiler	Genetik varyasyonları etkiler
Sağlamlık	Bireylerin popülasyonu/ağı	Bireylerin ağı	Bireylerin popülasyonu
Durum	Konsantr ve afinite	Çıkış nöronlarının aktivasyonu	Kromozomlarda genetik bilgi
Kontrol	İmmün ilke teori ve işlem	Öğrenme algoritması	Evrimsel algoritma
Genelleştirme	Çapraz reaktivite	Ağ ekstrapolasyonu	Genel şemaların tespiti
Non-lineerlik	Aktivasyon fonk. Bağlanma	Nöronsal aktivasyon fonk.	Açık değil
Karakterize	Evrimsel ve/veya bağlantılı	Öğrenme algoritmasına bağlı	Evrimsel



Bölüm III–YBS Uygulama Alanları

Tarih

- ✧ 1980'lerin ortalarında teorik immünoloji alanından keşfedilmiştir
- ✧ 1990 – Bersini ilk olarak bağışık algoritmaları problemleri çözmek için kullandı
- ✧ Forrest ve ark. – Bilgisayar Güvenliği 1990'ların ortaları
- ✧ Hunt ark. 1990'ların ortaları – Makine Öğrenmesi

YBS'nin Kapsamı

✧ Örüntü Tanıma

- ◆ Spektrum tanıma
- ◆ Bulaşıcı hastalıkların gözetlenmesi
- ◆ Tıbbi veri analizi
- ◆ Ayrık kural keşfi

✧ Hesapsal Güvenlik

- ◆ Virüs tespiti ve eliminesi
- ◆ Ağa izinsiz girmelerin tespiti

✧ Anomali tespiti

- ◆ Görüntü denetimi
- ◆ Görüntü segmentasyonu
- ◆ Zaman serileri analizi

YBS'nin Kapsamı

✧ Optimizasyon

- ◆ Sayısal fonksiyon optimizasyonu
- ◆ Sınırlı optimizasyon
- ◆ Envanter optimizasyonu
- ◆ Kombinasyonel optimizasyon (n-GSP)
- ◆ Zaman bağımlı optimizasyon

✧ Makine Öğrenmesi

- ◆ Takviyeli öğrenme
- ◆ Denetimsiz öğrenme
- ◆ Çift plastisite
- ◆ Kavram öğrenme
- ◆ Karmaşıklık
- ◆ Baldwin etkisi

YBS'nin Kapsamı

✧ Robotik

- ◆ Kollektif davranışın belirmesi
- ◆ Yürüyen robotlar

✧ Kontrol

- ◆ Tanımlama, sentez ve adaptif kontrol
- ◆ Ardışıl kontrol
- ◆ Geri beslemeli kontrol

✧ Çizelgeleme (Scheduling)

- ◆ Adaptif programlama
- ◆ Hesaplama sistemlerinde programlama

YBS'nin Kapsamı

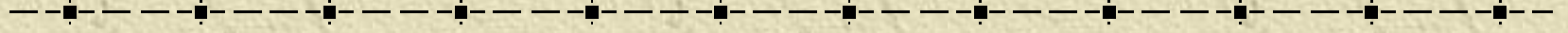
✧ Hata teşhisi

- ✧ Sensör ağı
- ✧ Hata propagasyonunun önlenmesi
- ✧ Donanım hata toleransı
- ✧ Yazılım hata toleransı

✧ Birleşmeli hafıza

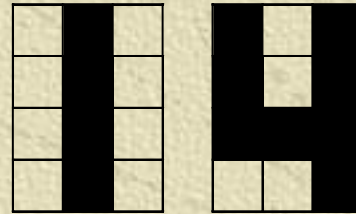
✧ Ekoloji

✧ Diğer (Üretim sistemleri, akıllı evler, adaptif gürültü nötralizesi, indüktif problem çözümü, açık web sunucu koordinasyonu, çeşitlilikte benzetimli tavlama, protein yapısı tahmini)



Bölüm IV - Bir YBS Uygulaması

Örüntü Tanıma için Basit Bir Örnek



- **Adım a. Problem tanımı**
- **Adım b. Bağışık ilkelere karar verme**
 - Negatif seçim algoritması
 - Klonal seçim algoritması

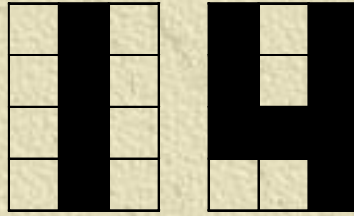
✦ Adım c1. Bağışıklık bileşenlerini tanımlama

✦ *DURUM 1: Negatif Seçim Algoritması*

✦ *DURUM 2: Klonal Seçim Algoritması*

✦ Adım c2. Matematiksel temsil

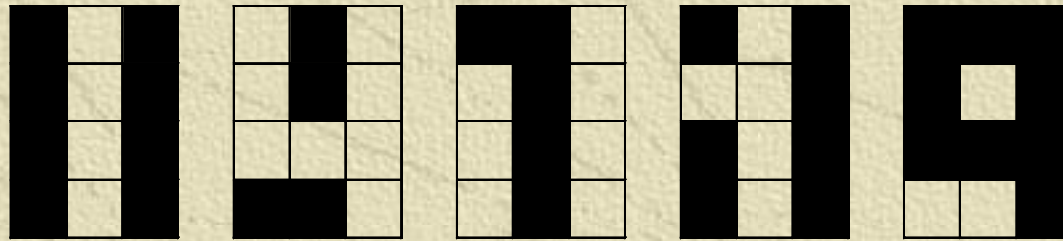
$$S = \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \begin{matrix} & & & & & & & & \\ 0 & 1 & 0'0 & 1 & 0'0 & 1 & 0'0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1'1 & 0 & 1'1 & 1 & 1'0 & 0 & 1 \\ & & & & & & & & \end{matrix} \end{bmatrix}$$



✦ Adım c3. Bağışıklık ilkelerini uygulama

✦ $D=L-\varepsilon \quad \varepsilon=1$

$$\begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ p_4 \\ p_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad M = \begin{bmatrix} 12 & 2 & 1 & 11 & 9 \\ 2 & 12 & 9 & 3 & 1 \end{bmatrix}$$

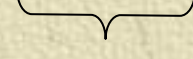
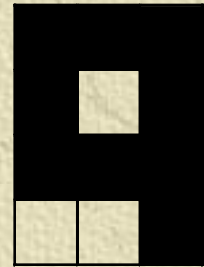
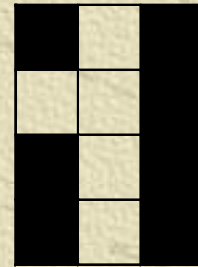
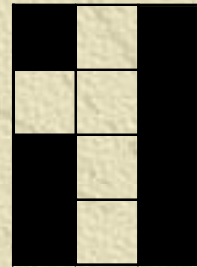
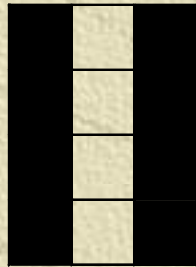
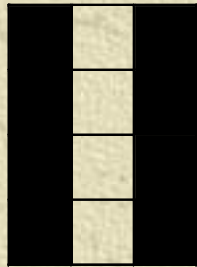
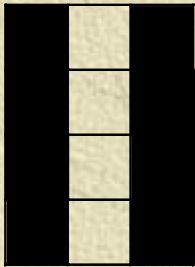
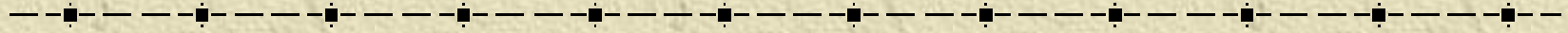


✧ *DURUM 1: Negatif Seçim Algoritması*

- ✧ p_1 ve p_4 elemanları s_1 dizgesini tanır ve böylece reddedilirler, ve p_2 elemanı s_2 dizgesini tanıdığından bu da reddedilir. Böylece uygun repertuar A , sadece p_3 ve p_5 elemanlarından oluşur.

✧ *DURUM 2: Klonal Seçim Algoritması*

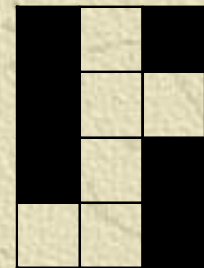
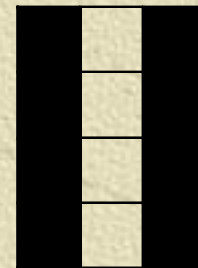
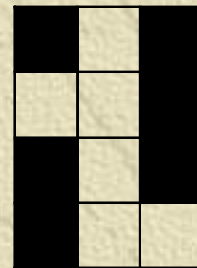
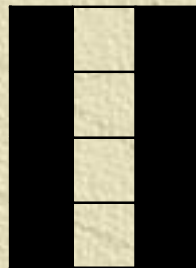
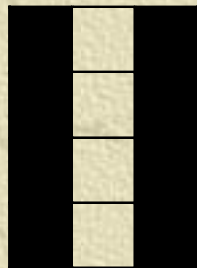
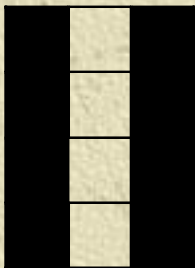
- ✧ $n_1=3$ ve $n_2=1$



Klon 1

Klon 2

Klon 3



✦ **Adım c4. Metadinamikler**

✦ **Adım d. Geriye haritalama**

SONUÇ

- ✧ Geleneksel hesaplama yöntemleri ile çözülemeyen veya çözümü çok uzun zaman alan ya da oldukça karmaşık olup tam modelleri tanımlanamayan mühendislik problemlerinin birçoğunda, biyolojik sistemlerden esinlenerek yapılan çalışmalar çoğu durumlarda etkili sonuçlar vermiştir.
- ✧ Bu seminer, bağışıklık hücrelerini modellemek için bir formalizm ve bağışıklık fenomeninin mühendislik ve hesaplama aracı olarak nasıl kullanılabileceğinin örneklerini sunmaktadır.

Sorular???

