

# HÜCRE BÖLÜNMESİ

Hücre bölünmesi, tek hücreli canlıların çoğalması, çok hücreli canlıların büyümesi, erkek ve dişi eşey hücrelerinin meydana gelmesi için gerekli biyolojik olaydır.

Bir hücrenin bölünebilmesi için belirli bir büyüklüğe ulaşması ve nükleik asitlere sahip olması gerekmektedir.

- Canlılar dünyasında,

1- Amitoz (Amitozis).

2- Mitoz (Mitozis)

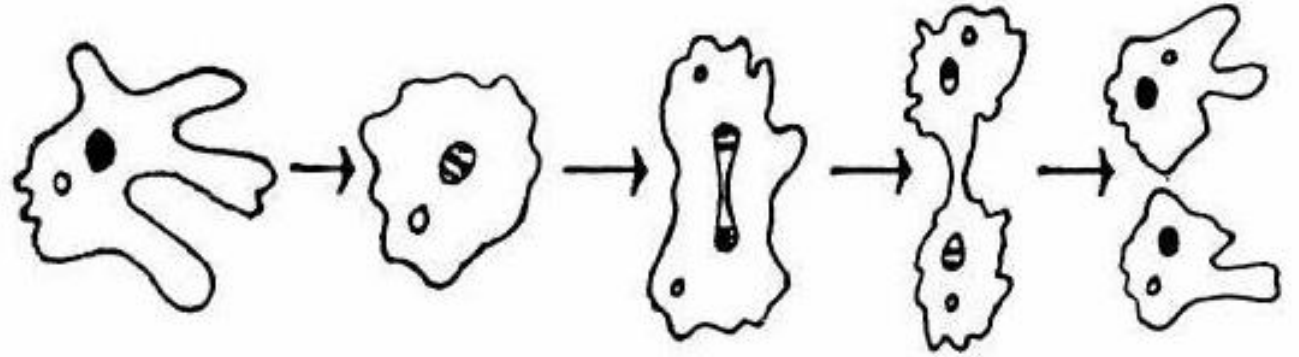
3- Mayoz (Meiosis)

olmak üzere üç farklı tip bölünme vardır.

- Tek hücreli canlılarda bölünme genellikle amitoz, çok hücrelilerde ise mitoz ve mayoz ile görülür.

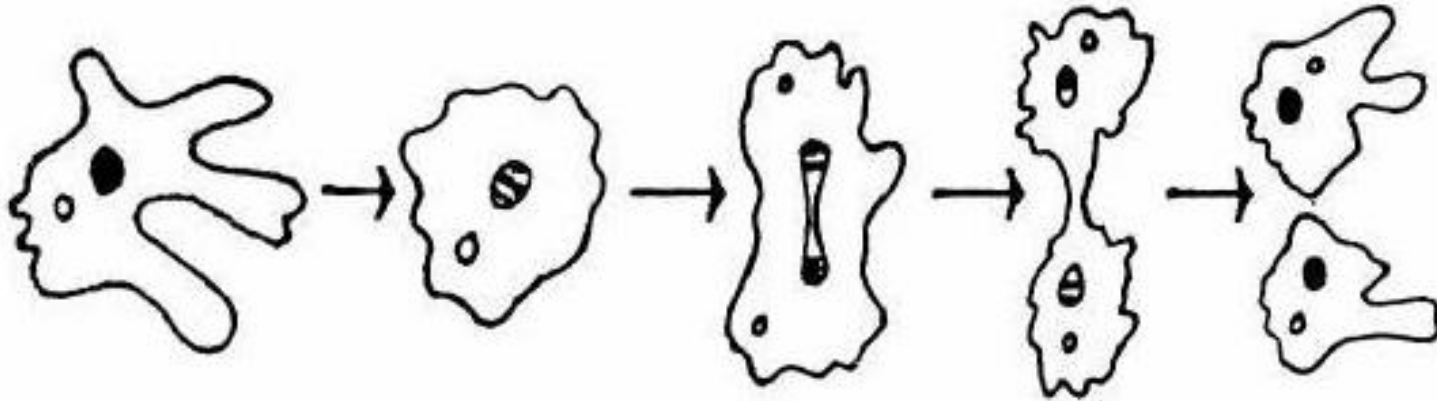
# Amitoz Bölünme

Genellikle tek hücrelilerde görülen bu bölünmeyle o türe ait birey sayısı artar. Amitoz bölünme yapan hücrelerin önce çekirdeği uzar, çekirdeğin uzamasıyla çekirdekçik de uzayıp boğumlanarak ikiye ayrılır.



# Amitoz Bölünme

Bunu sitoplazma bölünmesi takip ederek, bir hücreden iki yeni yavru oluşacak şekilde bölünme gerçekleşir.



# Amitoz Bölünme

Amitozda çekirdek zarı kaybolmaz, kromozomlar belirmez, sentriyoller iç iplikleri oluşmaz.

Tek hücreliler dışında bazı özel hallerde yüksek yapılı organizma hücrelerinde de amitoz görülebilir.

Bu durumda çoğu kez hücreler ölüme mahkum olur, çünkü tekrar mitoz bölünme yapamazlar.

# Mitoz Bölünme

Zigot oluştuktan sonra başlayan mitoz bölünme, organizma belli bir büyüklüğe erişinceye kadar çoğu soma (= vücut) hücrelerinde (örneğin sinir hücrelerinde bölünme yoktur) ve bazı hücrelerde (kemik iliği vb.) hayat boyu devam eder.

# Mitoz Bölünme

Mitozda her hücrenin çekirdeğinde kromozomlar kendini eşler.

Eş kromozomlar, ana hücrenin bölünmesiyle oluşan iki yavru hücreye verilir.

Böylece ana hücreye benzeyen, diploid sayıda (2n) kromozomlu iki yavru hücre meydana gelir.

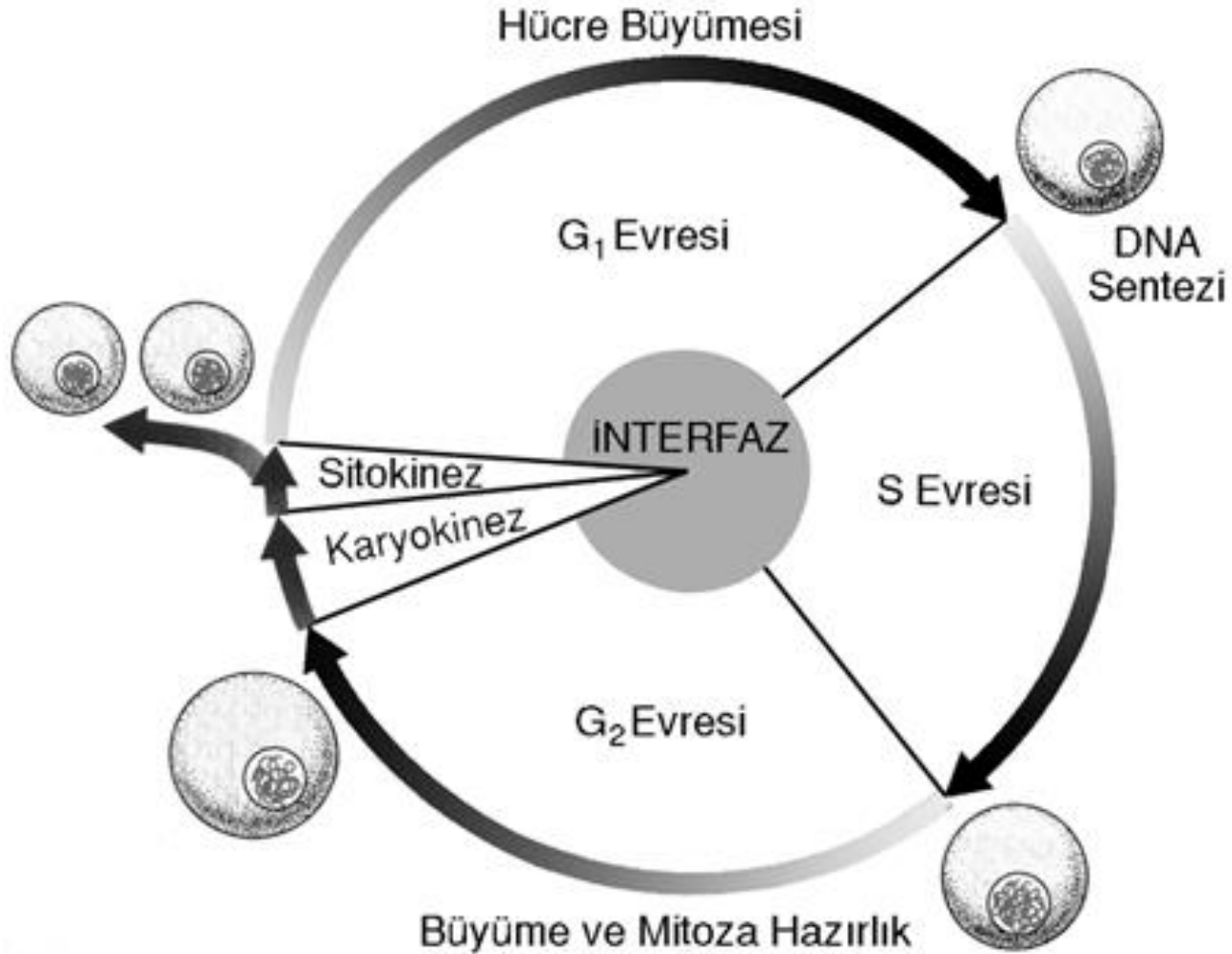
# Mitoz Bölünme

Mitoz bölünmenin başlangıcını saptamak olanaksızdır.

Fakat hücrede bazı değişiklikler olur; hücre içeriği jel haline geçer, metabolizma durur, çekirdeğin hacmi hızla büyür.



# Mitoz Bölünme



# Mitoz Bölünme

**Kromatid iplikleri belirginleşir ve boyanmaya başlar.**

**G2 evresinin tamamlanması, kromozomların türlere özgü şekil ve sayıyı kazanmasıyla mitoz bölünmeye geçilir.**

# Mitoz Bölünme

Mitozda çekirdek bölünmesi *karyokinez*, sitoplazma bölünmesi *sitokinez* olarak tanımlanır.

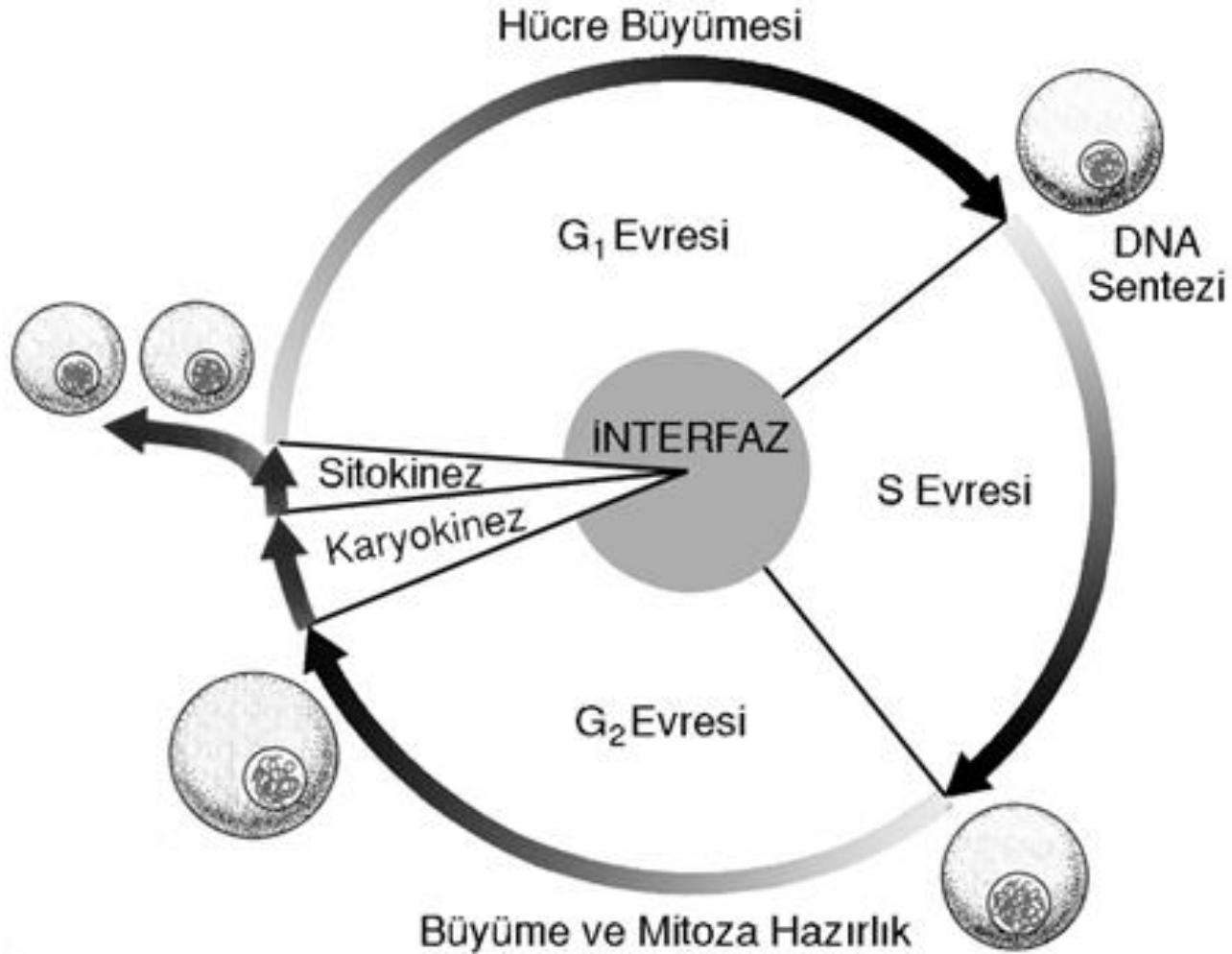
Karyokinez başlangıçta *interfaz* ve sonrasında gerçek bölünme evreleri olan *profaz*, *metafaz*, *anafaz* ve *telofaz* olarak görülür.

# İnterfaz

Bir bölünme kademesi olmayıp, iki mitoz arasındaki hazırlık safhasıdır.

İnterfazda genç hücre beslenme, büyüme, protein sentezi gibi biyolojik olayları gerçekleştirir.

# Mitoz Bölünme



# İnterfaz

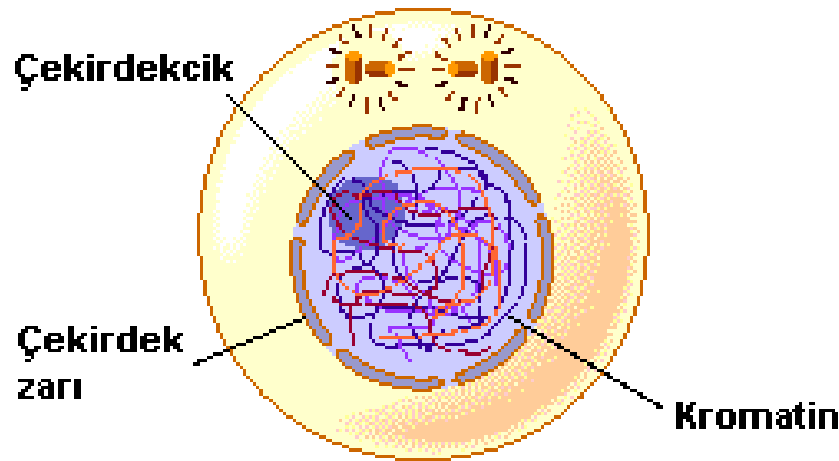
Fakat hücre bölünme emri aldığı andan itibaren bölünme hazırlıkları yapılır.

Bu hazırlıklardan itibaren interfaz biter ve bölünme başlar.

# İnterfaz

Bölünme hazırlıklarının en önemlisi kromatin ipliklerinin ve **DNA'nın kendini eşlemesidir (replikasyon)**.

Hayvansal hücrelerde sentrozom da kendini eşler.



# İnterfaz

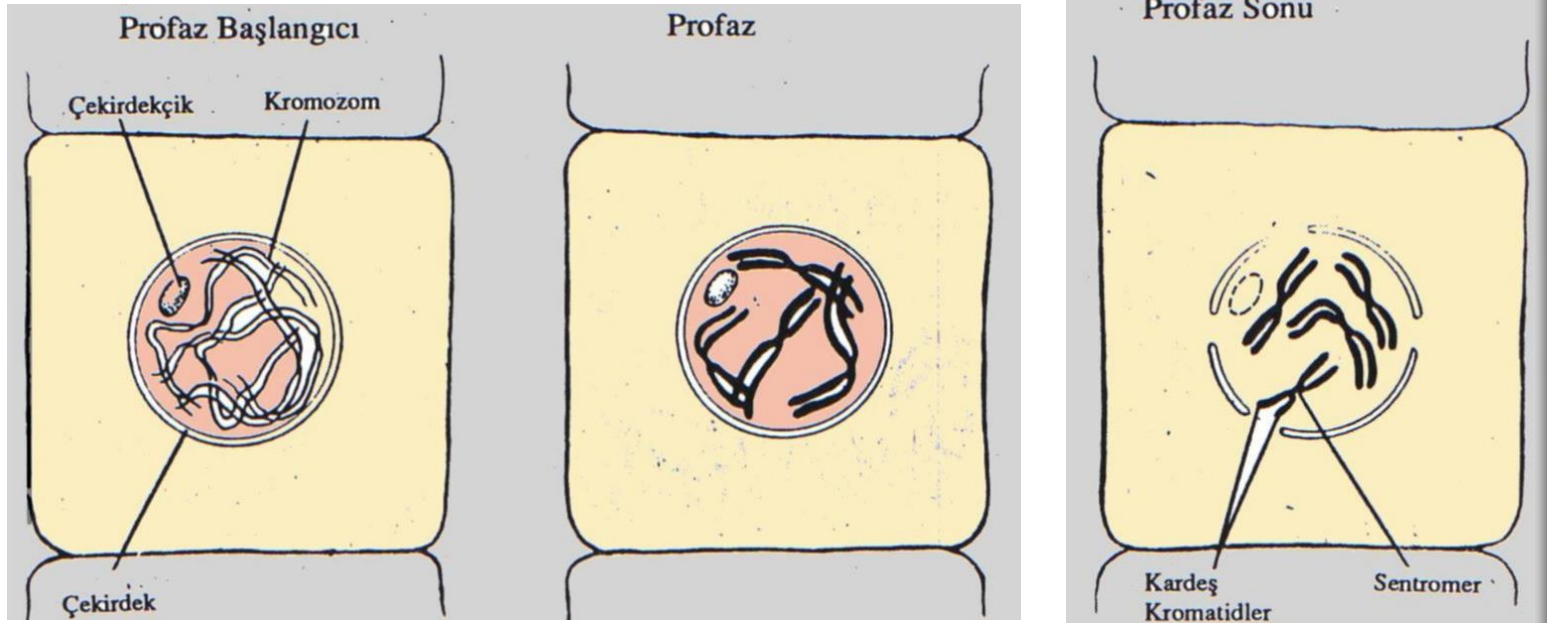
Hücreyi ağ gibi kuşatmış bulunan endoplazmik retikulum yıkıldığında bölünme kolaylaşır.

Son olarak hücrenin diğer hayatsal fonksiyonları minimuma indirilir.



# Profaz

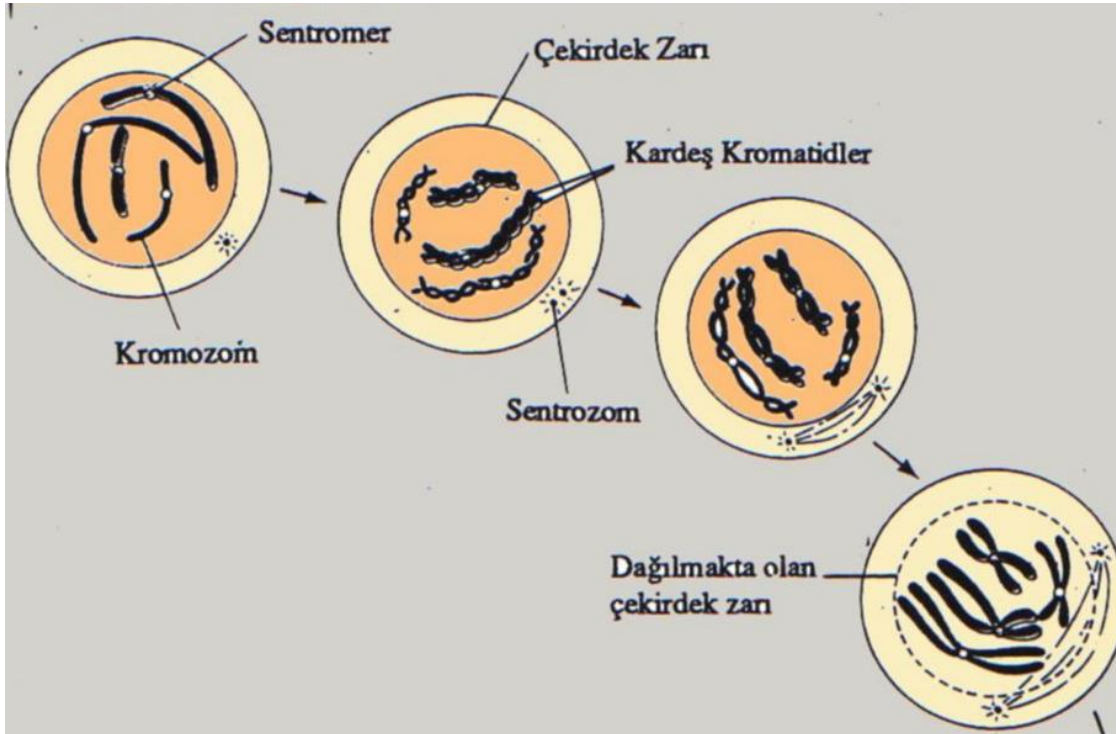
Başlangıcında çekirdek içinde ince uzun kromatid iplikleri halinde görünen kromozomlar, yavaş yavaş helezon şeklinde kıvrılarak kalınlaşmaya başlar ve görülebilir duruma geçer.



# Profaz

Kalınlaşma ve kısalma anafaza kadar devam edebilir.

Bu arada eş kromozomlar birbirlerinden ayırtelemeyecek kadar sıkıca bağlıdırlar.



# Profaz

- Bu evrede birbirine sentromerlerle bağlanmış olarak duran kromozomların her birine **kromatid** denir.

# Profaz

- Hayvan hücresinde sentrozomlar ayrılarak her biri bir kutba gitmeye başlar ve aralarında iğ iplikleri oluşur.

# Profaz

- Bitki hücrelerinde iğ ipliklerini sitoplazma hazırlarken hayvan hücrelerinde bunu sentrozomlar yapar.

# Profaz

Profazın sonuna doğru iğ iplikleri ile kromozomlar arasında bağlantı kurulurken, sentrozomlardan hücre zarına uzanan iğ iplikleri de oluşur ve çekirdek zarı eriyerek kaybolur, kromozomlar sitoplazma içerisine dağılır.

# Metafaz

Kromozomlar çok kere bir çember gibi, bazen de karışık olarak ekvatorial düzlem üzerinde dizilirler.

Genellikle küçük kromozomlar merkezde, büyükler çevrededir.

# Metafaz

Diziliş türlerine özgü bir özellik gösterir.

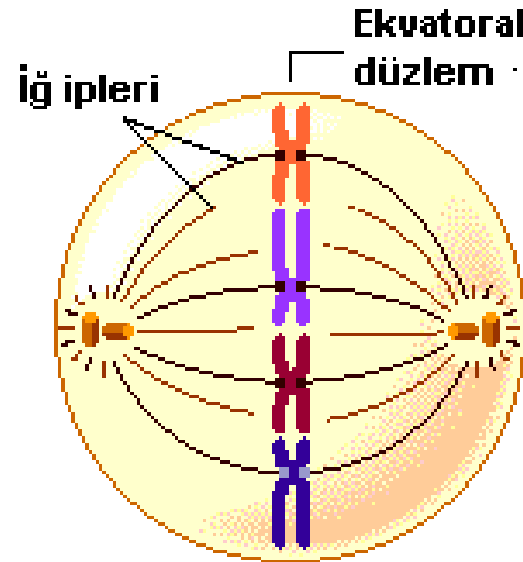
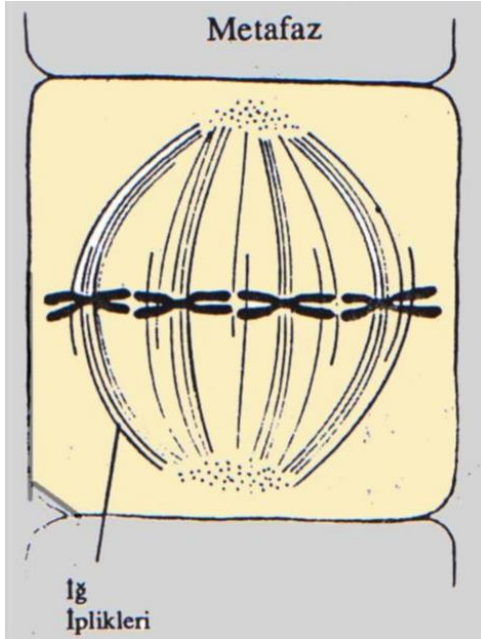
Kromozomlar eşit olarak kutuplara çekileceğinden, ortada belirli bir denge kurulana kadar beklenilir.



# Metafaz

Profaz 30-60 dakika sürmesine karşılık, metafaz ancak 2-6 dakika sürer.

Her bir kromozomun sentromeri belirgin olarak ikiye bölünür ve kromatidler tam olarak birbirinden ayrılır.



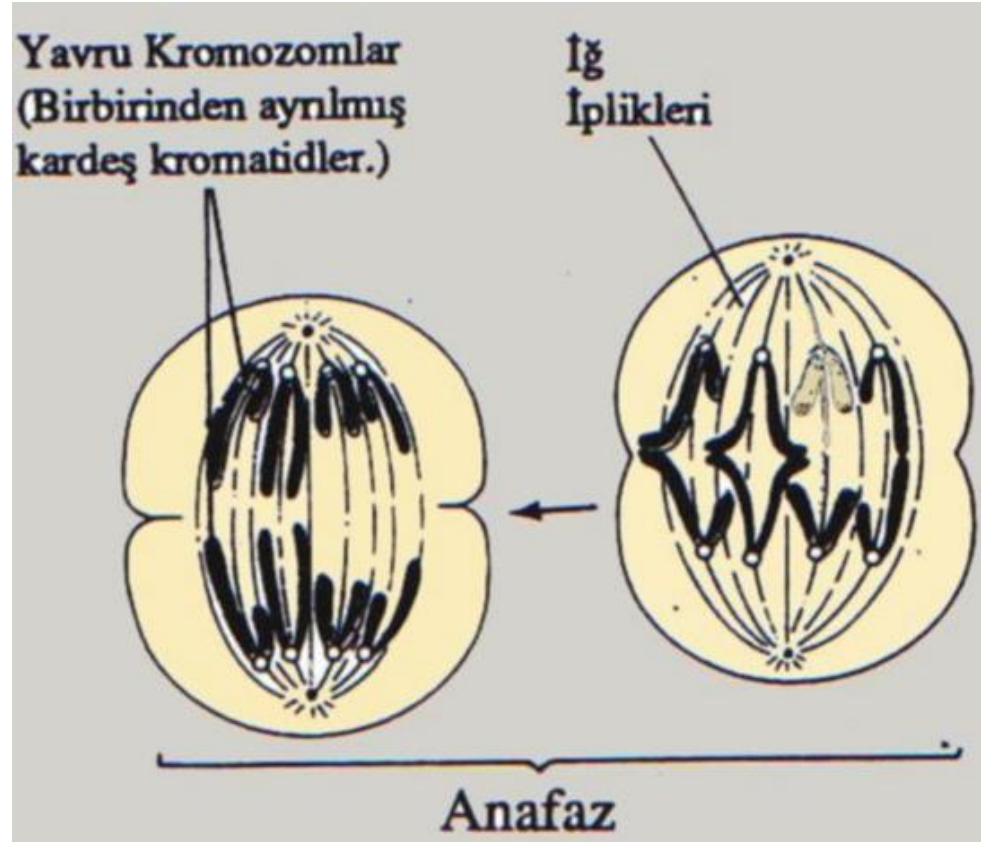
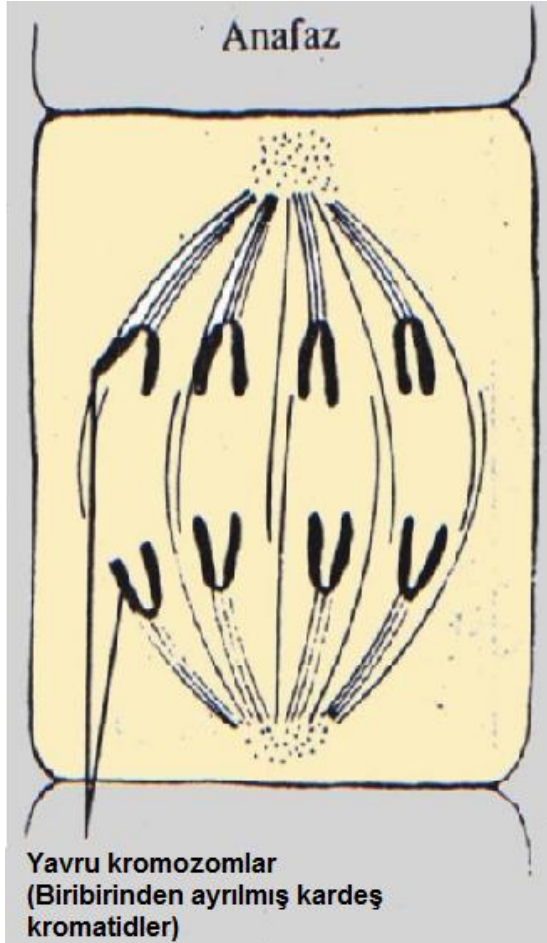
# Anafaz

Ekvatorial düzlemdeki kardeş kromozomlar kutuplara bu evrede taşınırlar.

Kasılma özelliği olan iğ iplikleri sayesinde kromozomların yarısı bir kutba, diğer yarısı öbür kutba gider.

# Anafaz

Kromozomların kutuplara ulaşmasıyla bu evre sona erer.



# Anafaz

Bitki hücrelerinde sentrozom bulunmadığı için kromozomların taşınması sitoplazma hareketleriyle ve sitoplazma kökenli iğ ipliklerinin yardımıyla olur.

Bu evre de yaklaşık olarak 3-15 dakika sürer.

# Telofaz

- Kromozomlar daha az boyanmaya başlar.
- Çekirdek zarı yavaş yavaş oluşur.
- Kromozomlar uzayıp incelmeye başlar.

# Telofaz

Bölünme açısından çekirdek dinlenmeye geçerken, hücre metabolizması aktif hale geçer.

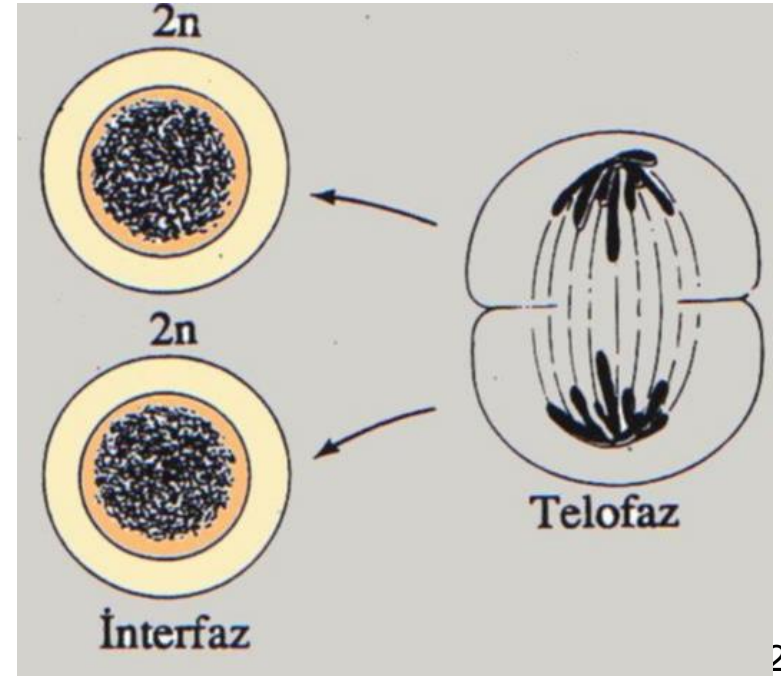
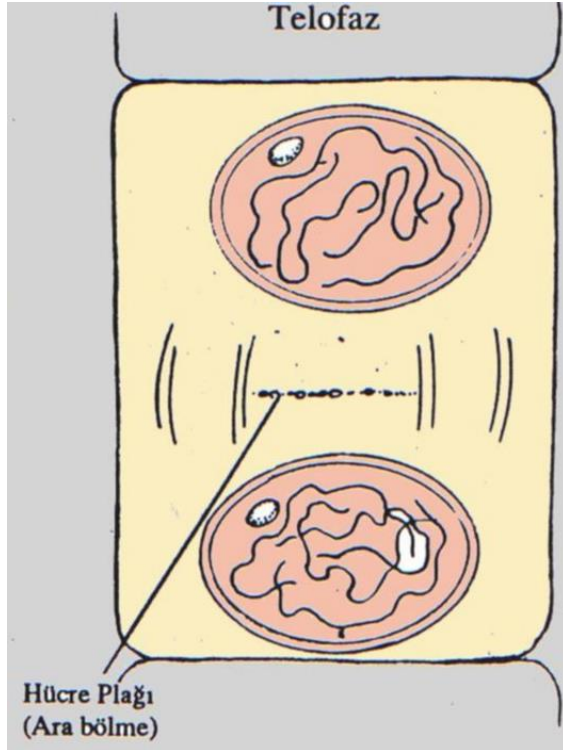
Bu evrenin oluşumu sürerken bir yandan da sitoplazma boğum yapmaya başlar.

# Telofaz

İğ ipliklerine dik olarak boğumlanan sitoplazmanın o bölgede jel hale geçerek iki oğul hücrenin sitoplazmasını ayırdığını ileri süren görüşler de vardır.

# Telofaz

Sitoplazmanın boğumlanarak ayrılması sürecine **sitokinez** denir.

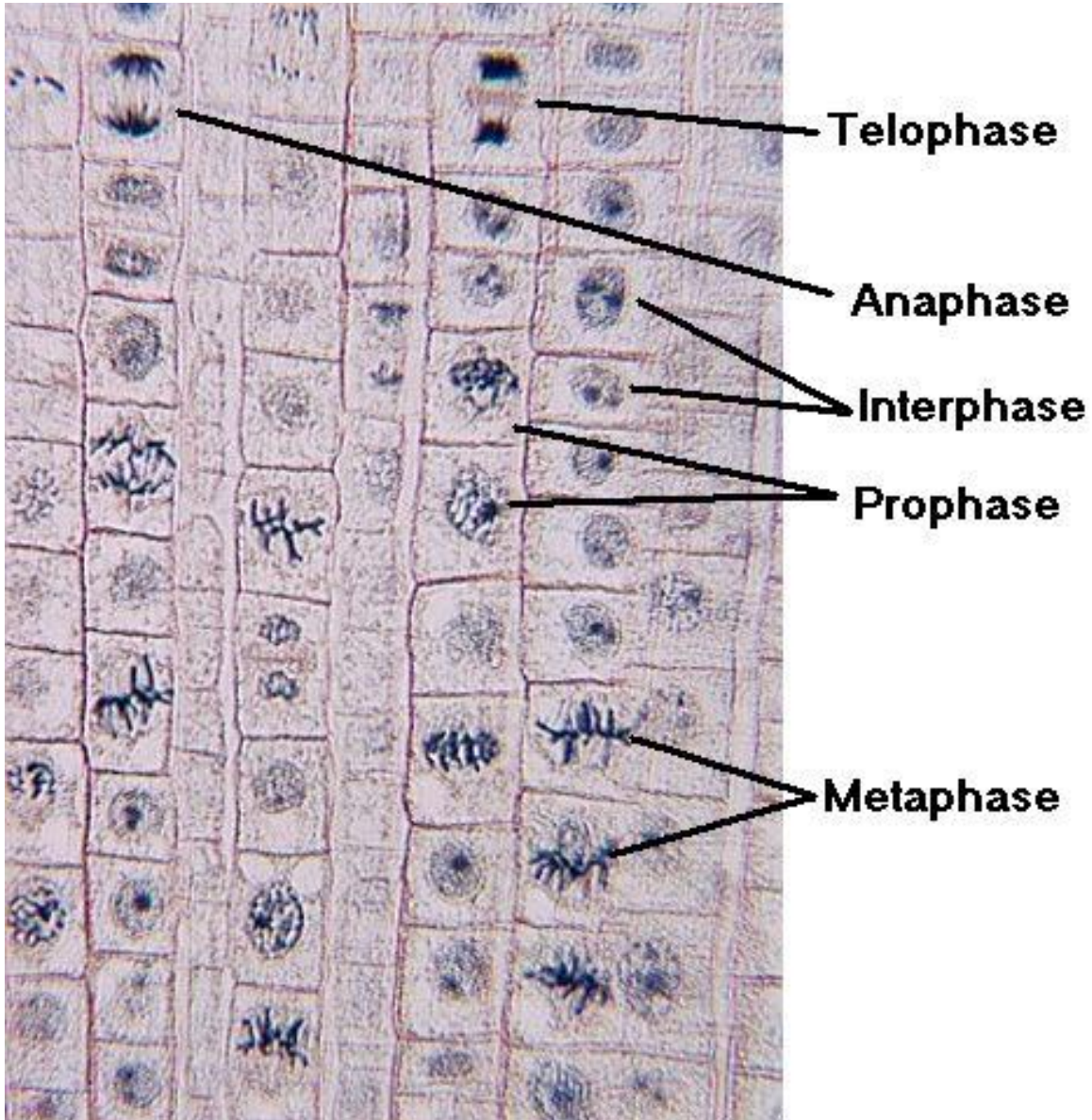




# Telofaz

Telofazın başlangıcından iki yeni hücrenin oluştuğu ana kadar geçen süre 30-60 dakikadır.

# Bitki hücrelerinde mitoz safhaları

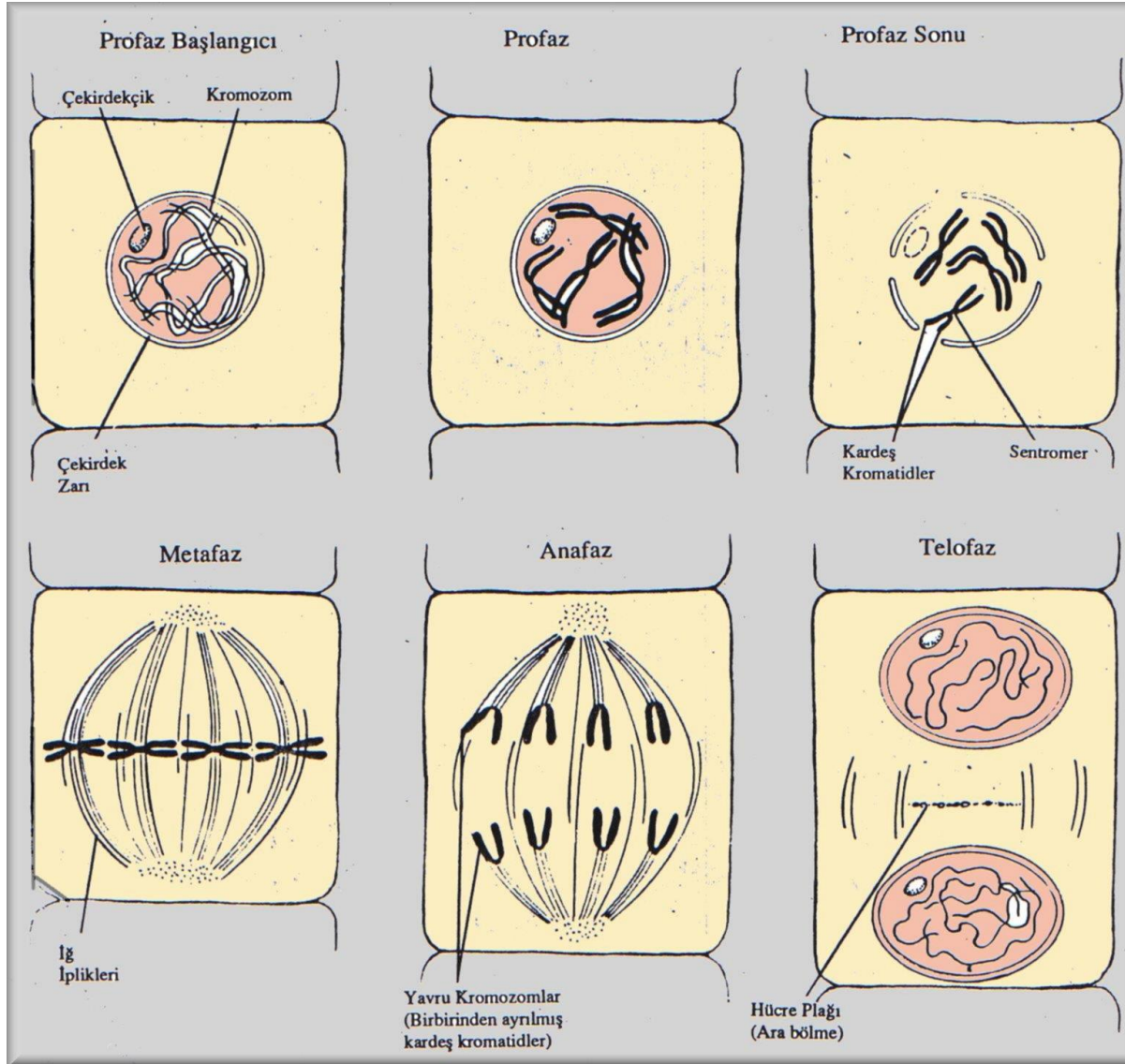


# Bitki hücrelerinde mitoz safhaları

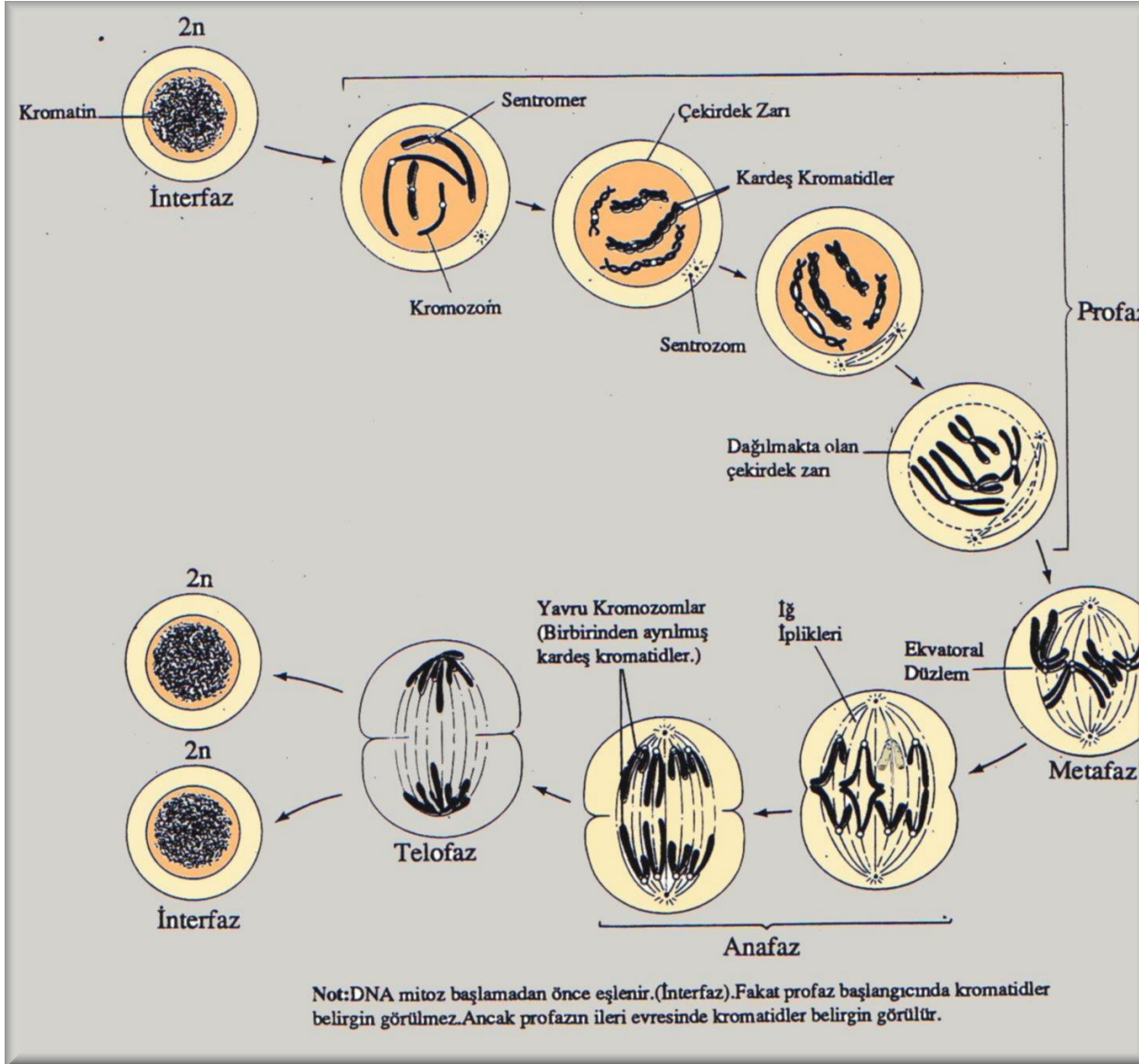


Sitokinez, yani sitoplazma bölünmesi hayvansal hücrelerde ekvatorial bölgedeki bir boğum sonucu, bitkisel hücrelerde ise ***fragmoplast ve hücre levhasının*** oluşumu ile meydana gelir.

# Bitki hücresinde mitoz bölünme



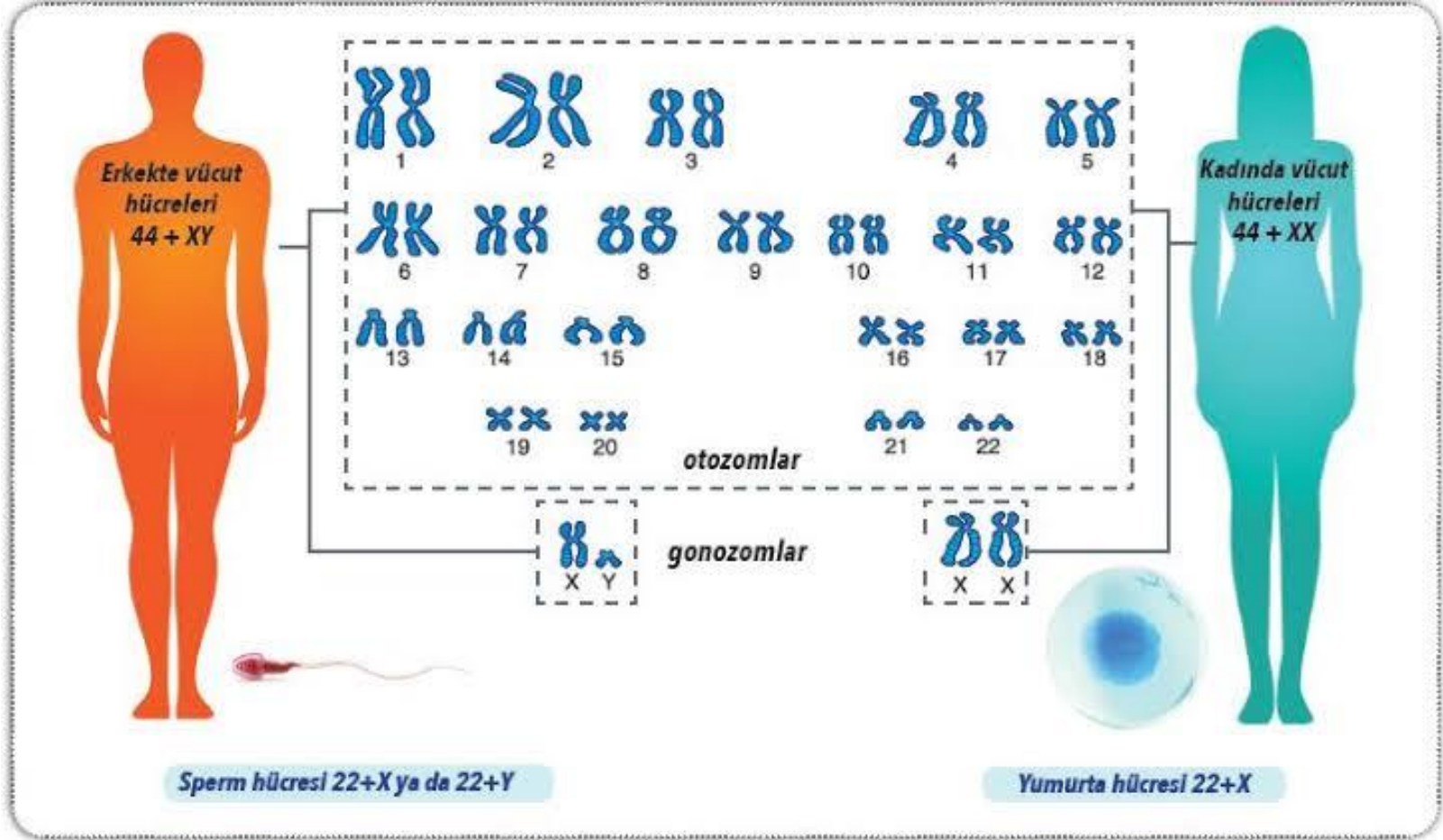
# Hayvan hücresinde mitoz bölünme



# Mayoz Bölünme

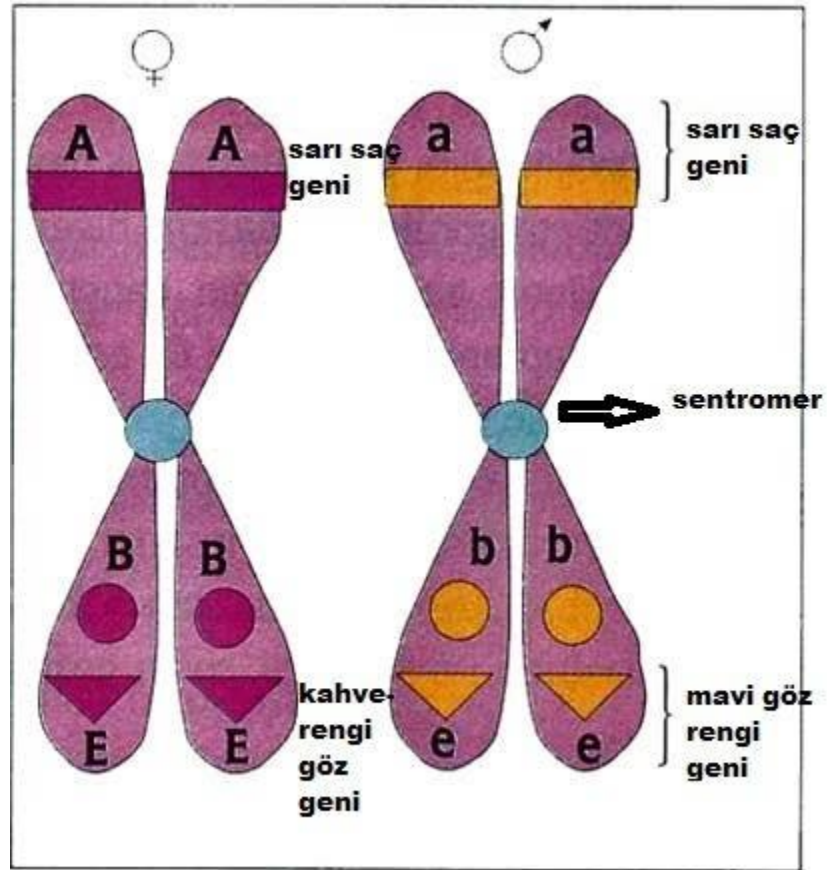
Mayoz Bölünme bir diploit ökaryotik hücrenin genelde gamet olarak adlandırılan haploit hücrelere bölündüğü hücresel bir süreçtir.

# Homolog Kromozomlar





# Homolog Kromozomlar



# Mayoz Bölünme

Gamet hücrelerinde kromozom sayısının azalmasıyla sonuçlanan "mayoz", Yunanca'da "küçültmek" anlamına gelen "*meioun*" kelimesinden gelmektedir.

# Mayoz Bölünme

Mayoz Bölünme eşeyli üreme için gereklidir ve bu yüzden eşeyli üreyen tek hücreli organizmalar da dahil tüm ökaryot hücrelerde görülür.

# Mayoz Bölünme

Mayoz eşeysiz mitotik bölünmeyle üreyen arkealarda ya da prokaryotlarda meydana gelmez.

# Mayoz Bölünme

Mayoz sırasında kromozom içinde paketlenmiş olan uzun DNA segmentlerinden oluşan diploit üreme hücrelerinin genomu DNA replikasyonundan sonra iki bölünme geçirerek gamet olarak adlandırılan haploit hücreleri oluşturur.

# Mayoz Bölünme

Her gamet kromozomların bir setini ya da orijinal hücrenin genetik içeriğinin yarısını içerir.

## Mayoz Bölünme

Mayozda da mitozda olduğu gibi profaz, metafaz, anafaz ve telofaz olarak adlandırılan dört evre vardır.

Bu evreler arada interfaz olmaksızın peş peşe iki kez gerçekleşir ve sonuçta dört yavru hücre meydana gelir.

## Mayoz Bölünme

Mayoz bölünme iki aşamada gerçekleşir. Bu aşamalar, Mayoz-1 ve Mayoz-2 olarak adlandırılır.

Mayoz bölünme ile mitoz bölünme arasındaki en büyük farka profazda rastlanır.



## MAYOZ - I

### Profaz I

DNA ipliklerinin kısalıp kalınlaşmaya başlaması ile başlar.

Bu evre sınırları kesin olmayan 5 evreye ayrılıp incelenir.

Bu evreler;

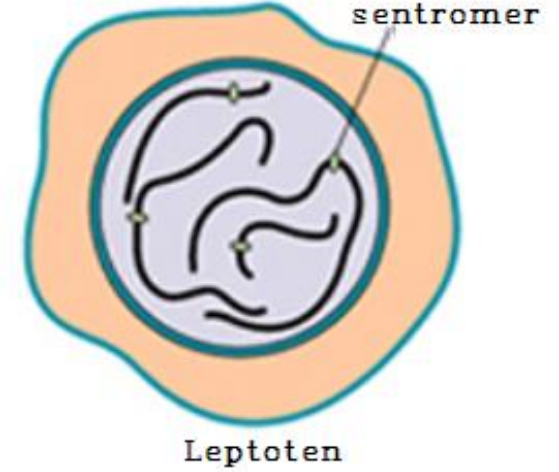
# Profaz I

## Leptoten

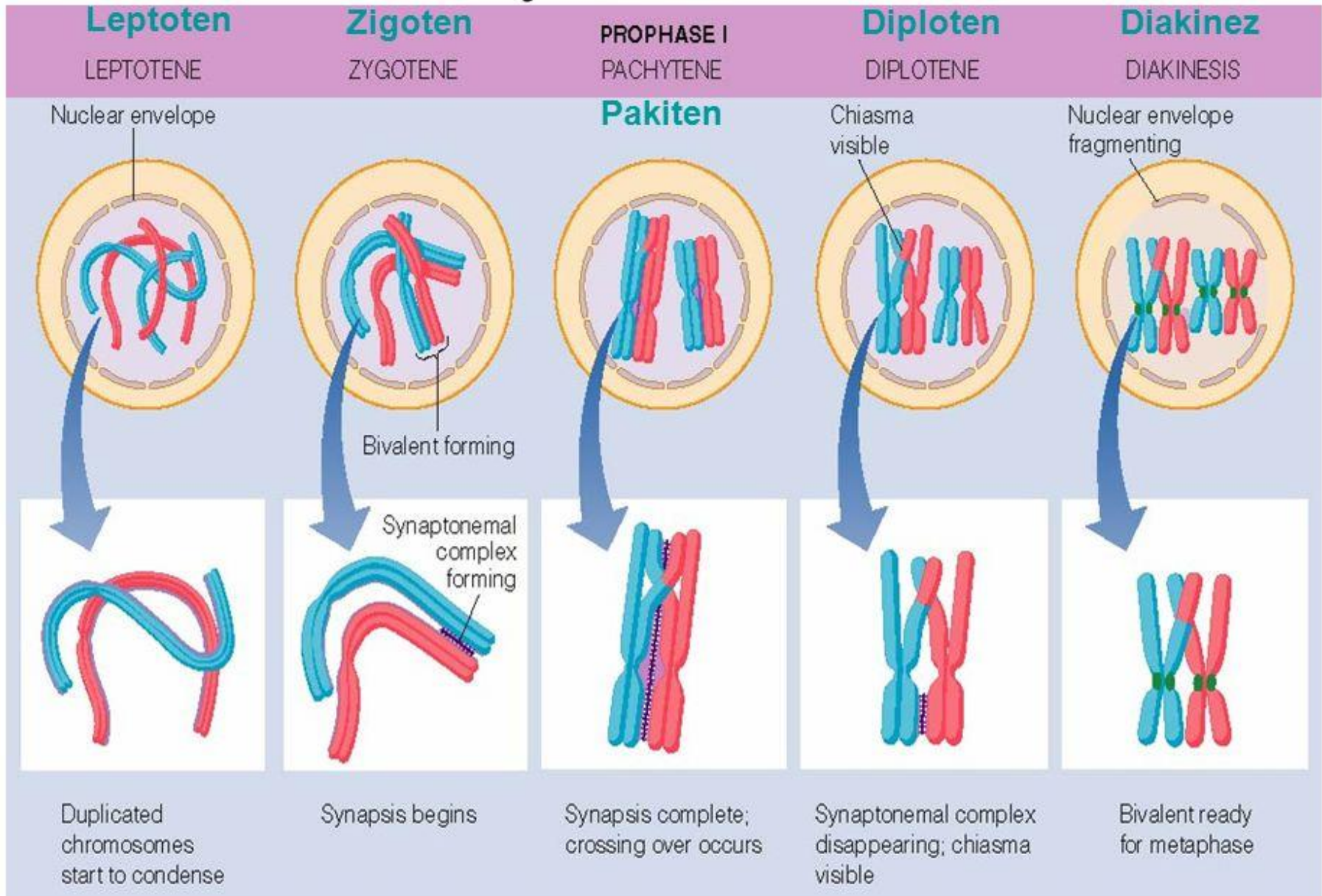
Kromozomların mikroskopla seçilebildikleri andan itibaren başlar.

İki eş kromatit birbirine sarılı halde bulunur.

Ayrıca kromatinler üzerinde kromomer denilen ve koyu boyanan bölgeler fark edilir.



# Mayotik Profaz I



# Profaz I

## Zigoten

Biri anneden diğeri babadan gelen ve birbirlerine benzeyen homolog kromozomlar yan yana gelerek eşleşmeye başlarlar.

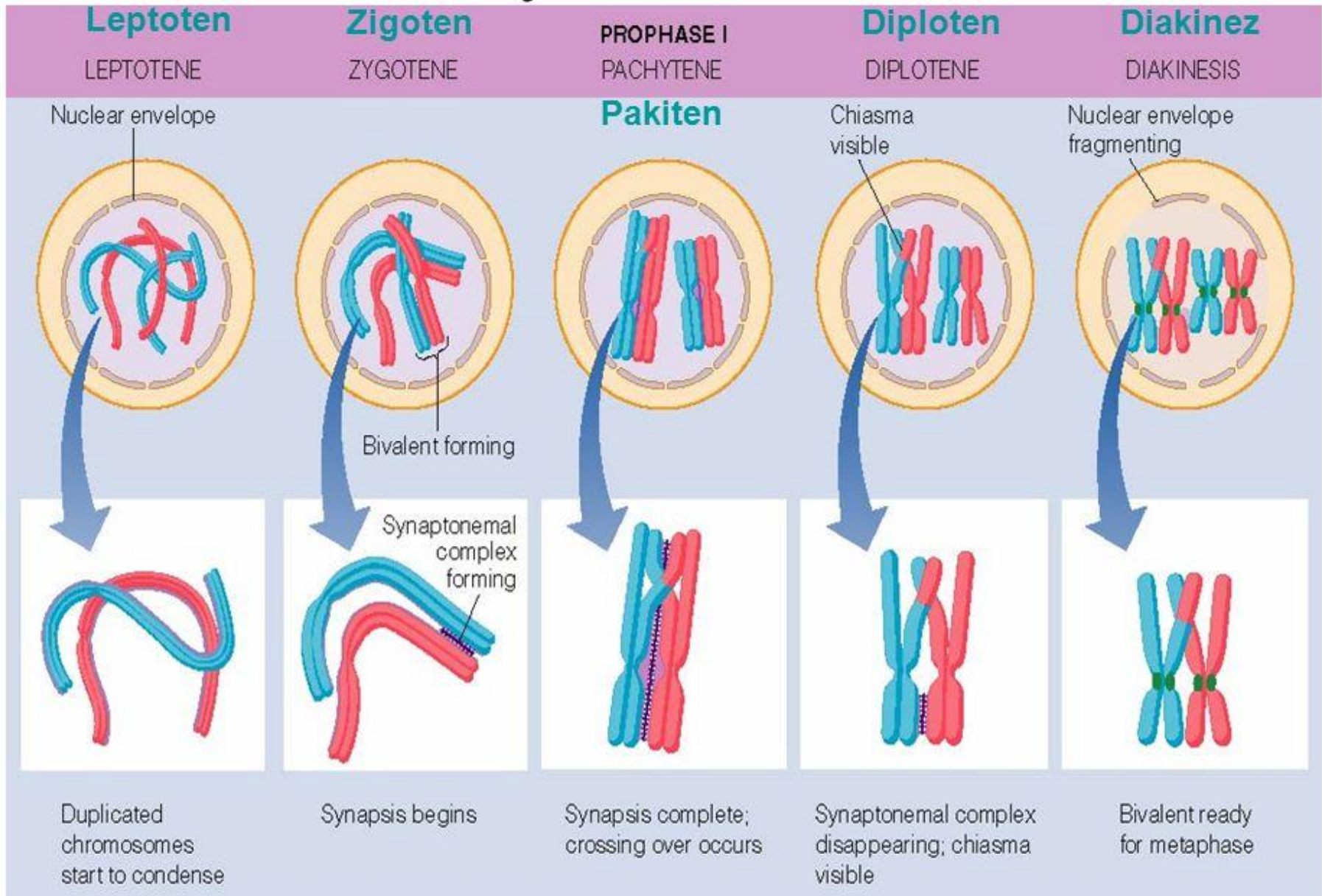
# Zigoten

Bu eşleşme bir uçtan diğer uca doğru devam eder.

Bu evrede her biri iki kromatit taşıyan iki kromozomun yan yana durmasıyla sanki canlı **n sayıda** kromozom taşıyormuş görülür.

Görülen bu yapıya "tetrad" denir.

# Mayotik Profaz I



# Pakiten

Homolog kromozomların eşleşmesi tamamlanır ancak kromozomlar kısaltmaya devam eder.

Ayrıca bu evrede mitozdan farklı olarak **tetratlar** arasında genetik madde alışverişi olur.

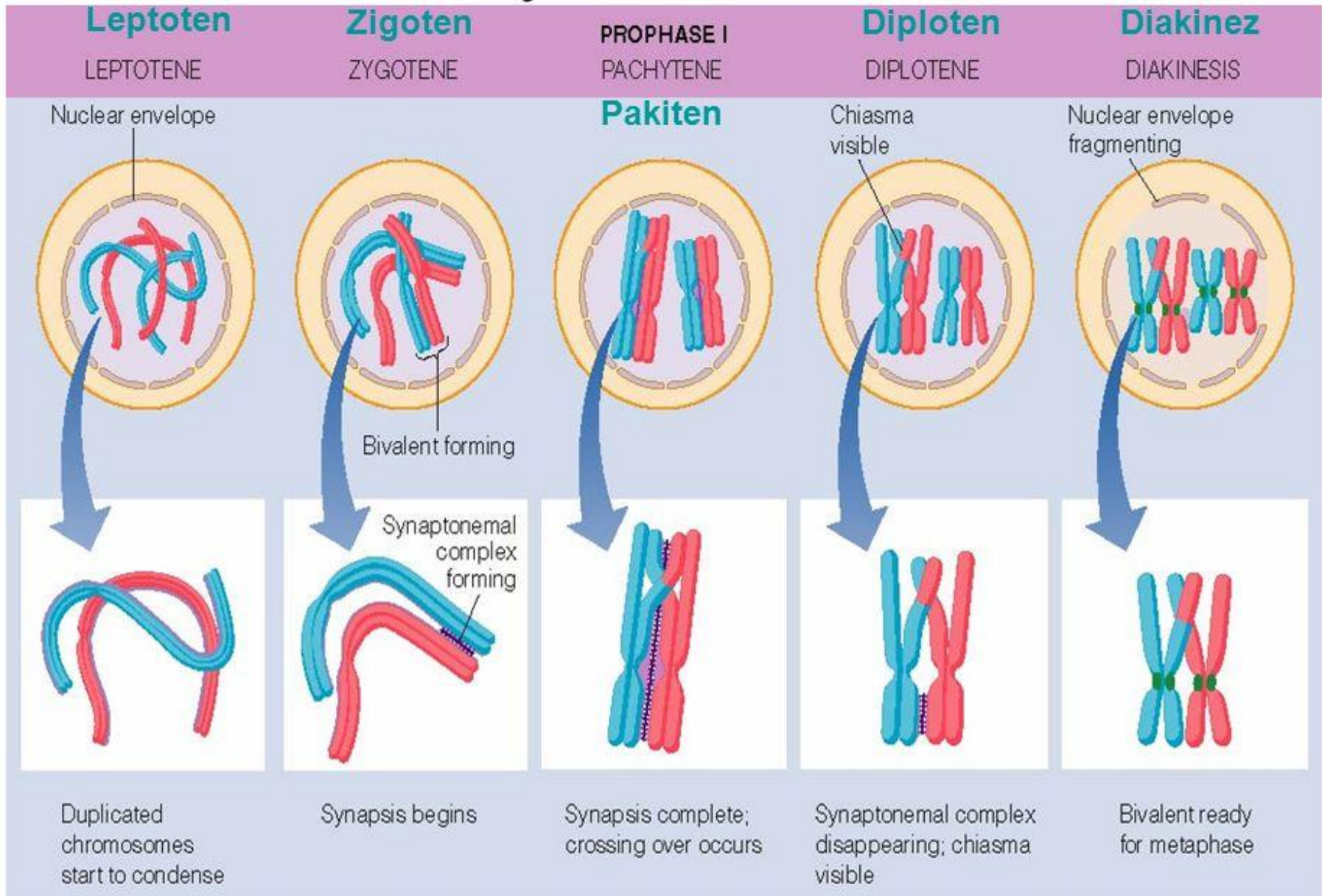
Buna **krossing-over** denir.

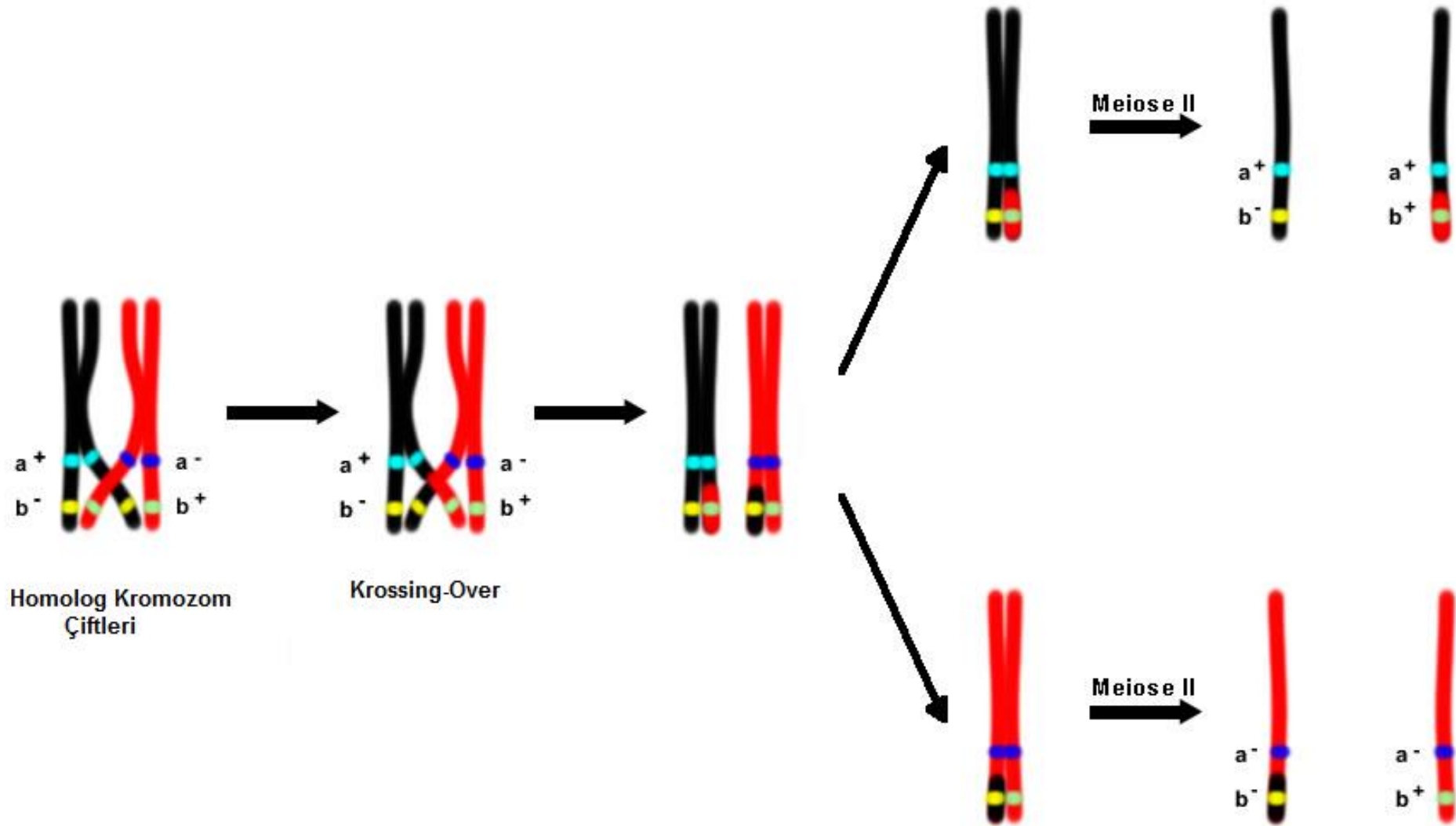
## Pakiten

Bu olay homolog kromozomların birbiri üzerine çakışan (kiyazma "chiasma") kısmında gerçekleşir.



# Mayotik Profaz I





# Diploten

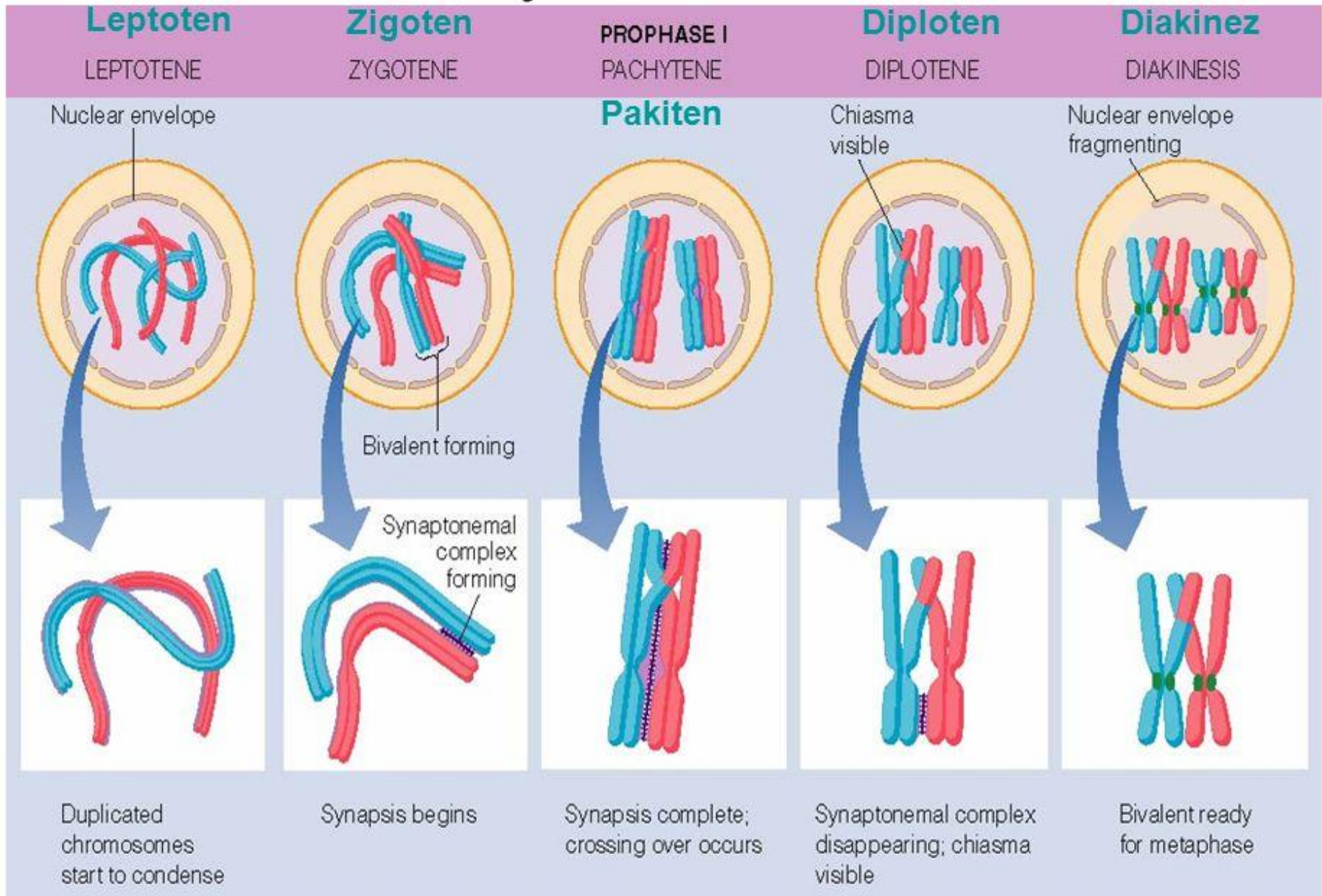
Kromozomların sentromerleri ayrılmamıştır.

Dört kromatit için iki sentromer vardır.

Tetrat' taki homolog kromozomlar birbirinden ayrılmaya başlar.

Ancak kiyazma bölgelerinde ayrılma olmaz ve kiyazmalar uca doğru kaymaya başlar.

# Mayotik Profaz I

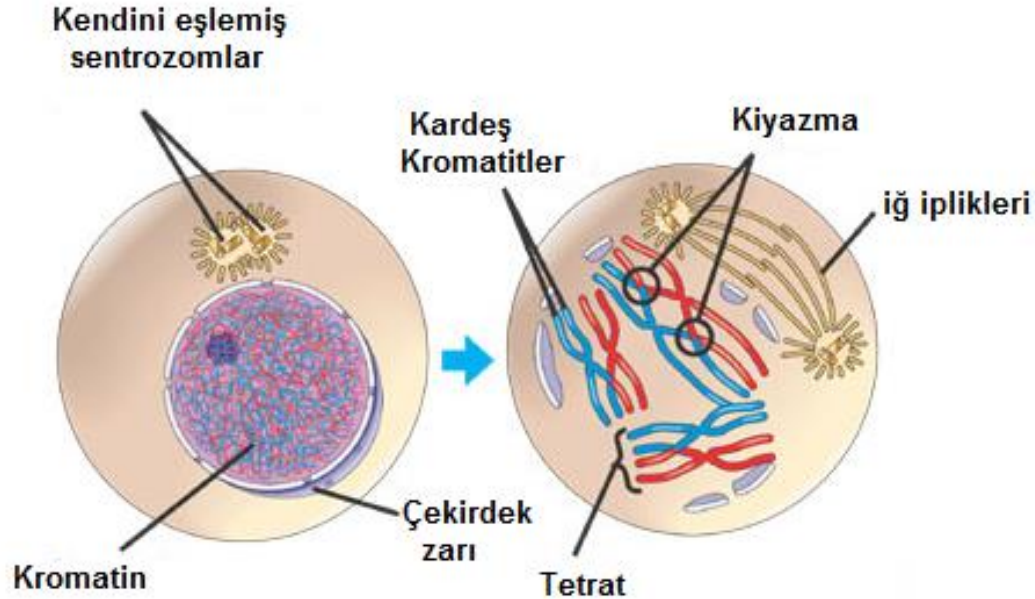


# Diakinez

Kromozomlar son halini alır.

Çekirdekçik kaybolur.

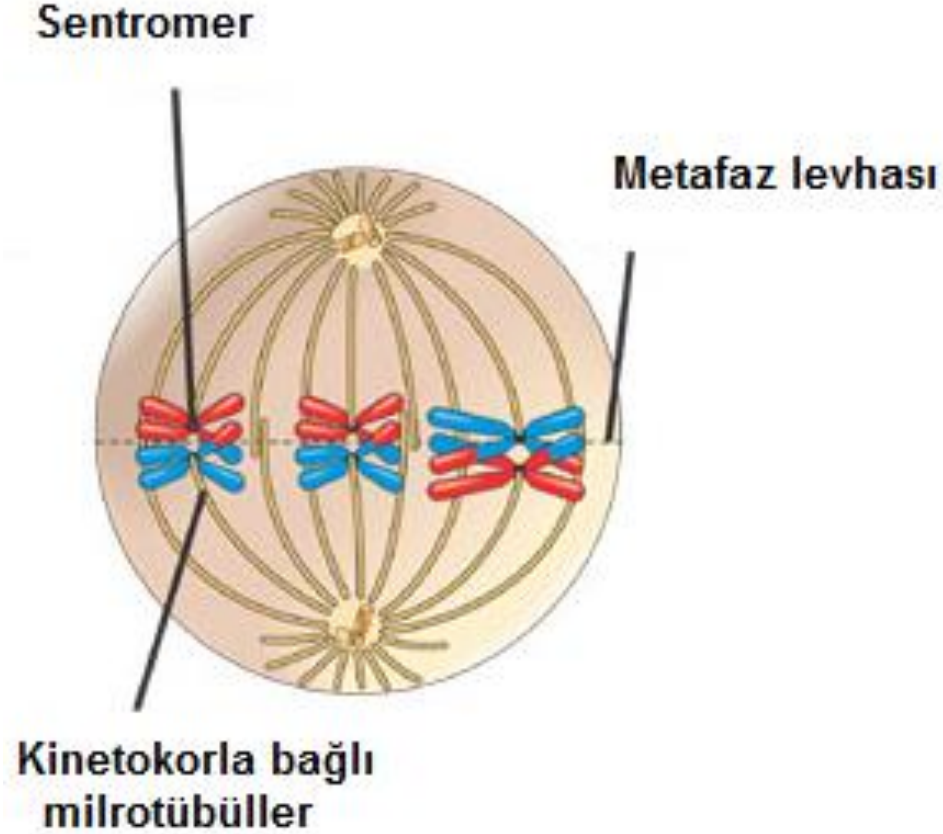
Çekirdek zarı parçalanır.



# Metafaz I

Mitozda bir çift ikiz kromatid ihtiva eden kromozomun hücrenin ekvator tablasına hareket etmesine karşılık, mayoz bölünmede ekvator tablasında yer alan kromozomlar her biri bir **çift ikiz kromatid içeren homolog** kromozom çifti halindedir.

Her birinde **ikişer hibrid kromatid** bulunmaktadır.



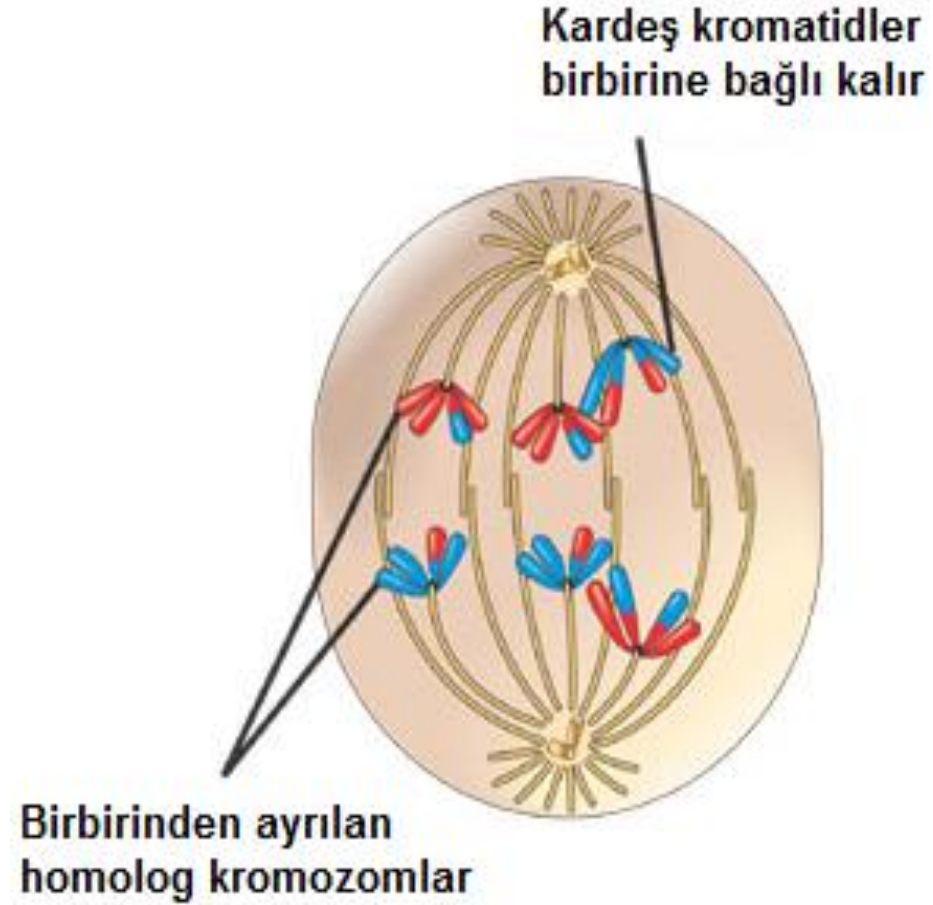
## Anafaz I

Bu evrede tetratlar ikiye ayrılarak kutuplara giderler.

Anne ve babadan gelen kromozomlar rastgele olarak birbirlerinden ayrılırlar (özelliklerin bazılarının anadan bazılarının babadan gelmesinin nedeni).

# Anafaz I

Bu evrede kromozom sayısı indirgendiğinden kutuplara taşınan, yani yavru hücrelere geçecek olan kromozom sayısı vücut hücrelerinin kromozom sayısının yarısı kadardır.





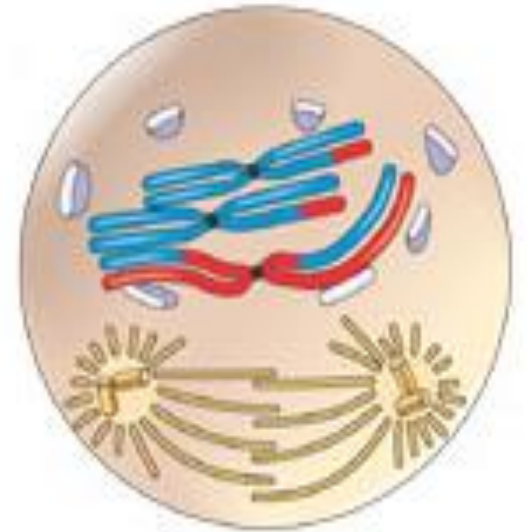
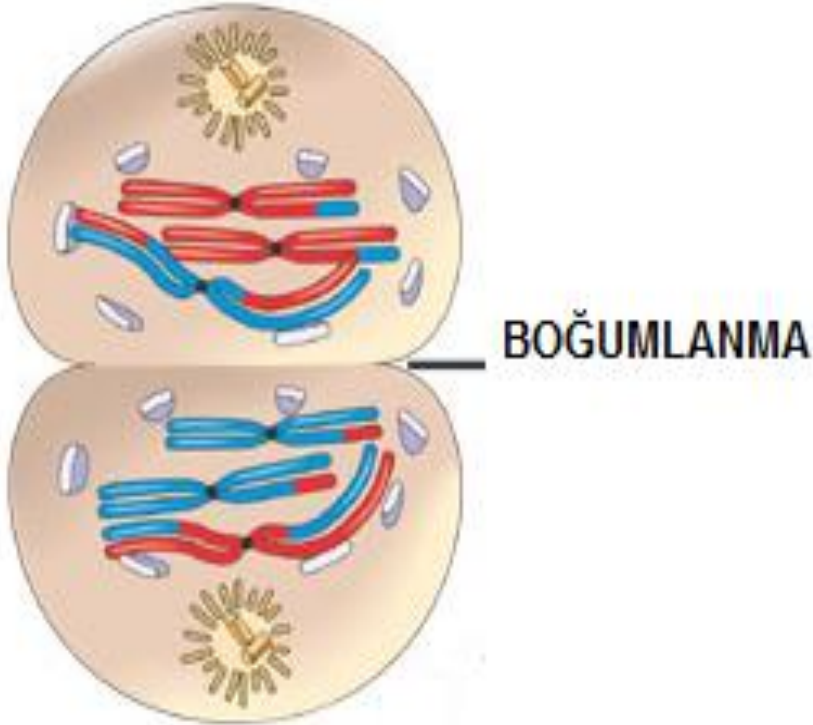
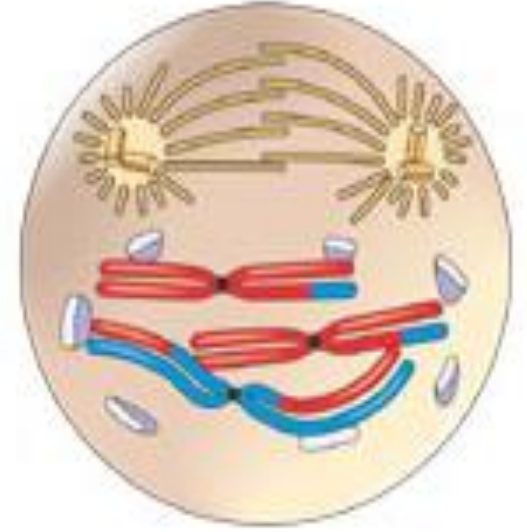
# Telofaz I

Hücrenin iki kutbunda bulunan kromozomlar uzayıp incelmeye başlar.

Etraflarında çekirdek zarı oluşur.

# Telofaz I

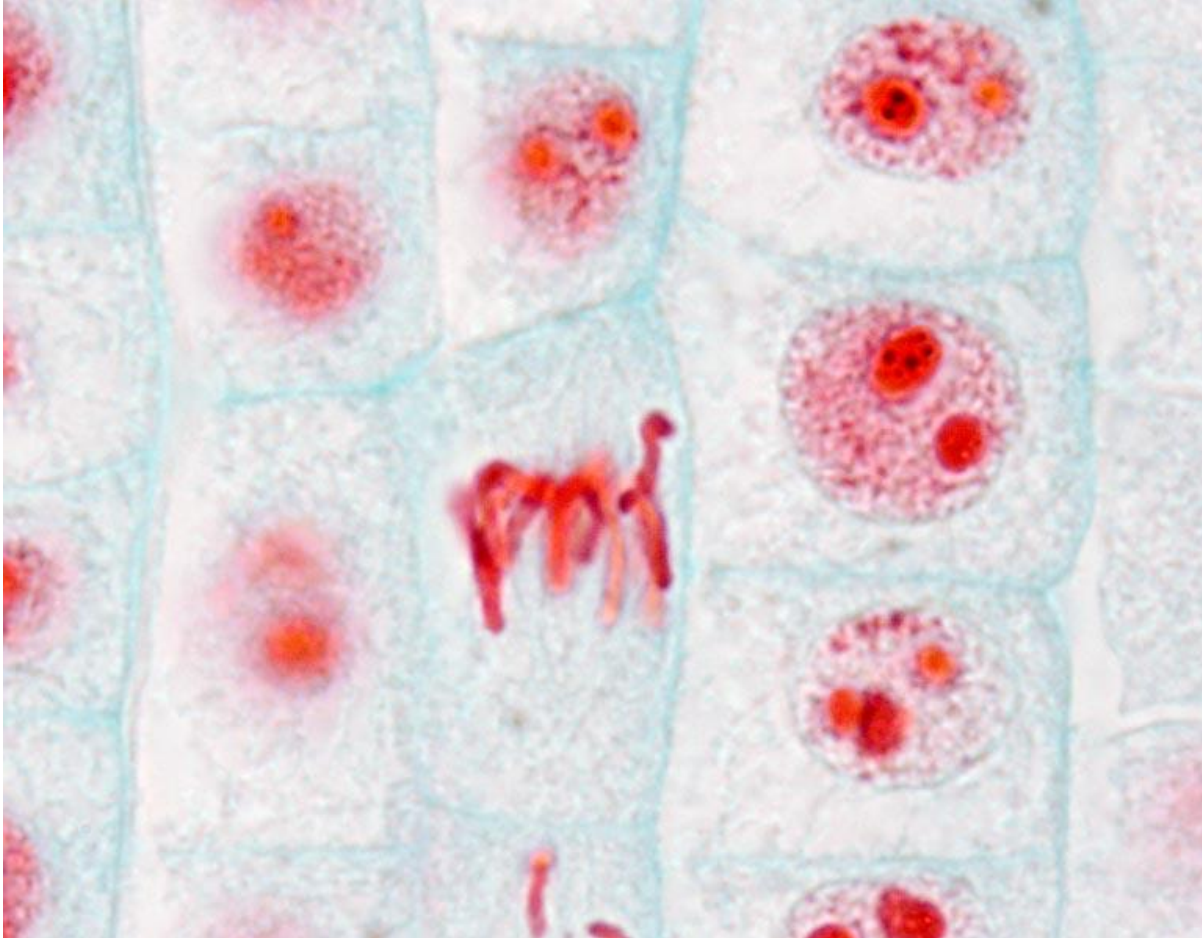
Sitoplazmanın boğumlanmasıyla da haploid sayıda kromozoma sahip iki yavru hücre oluşur.



## Mayoz Bölünme

**Bitkisel hücrelerde:** Oluşmuş olan iki çekirdekli hücrenin ortasında bir orta **lamel** (**ara lamel**) oluşur ve **hücre duvarına** kadar ulaşır.

Dolayısıyla birbirine bitişik iki hücre oluşur.



## Mayoz Bölünme

Hayvansal hücrelerde: Çekirdek bölünmesi

tamamlandıktan sonra sitoplazma ortadan boğumlanarak ikiye bölünür ve iki ayrı hücre oluşmuş olur.

## Mayoz Bölünme

Buraya kadar geçen olaylar mayoz-I olarak adlandırılır.

Bundan sonra mitozdaki aksine arada interfaz evresi olmaksızın profaz-II'nin başlamasıyla mayoz-II başlar.

## Mayoz Bölünme

Mayoz-II mitoz bölünmenin hemen hemen aynısıdır.

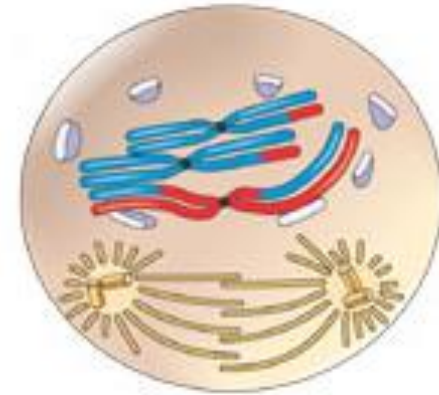
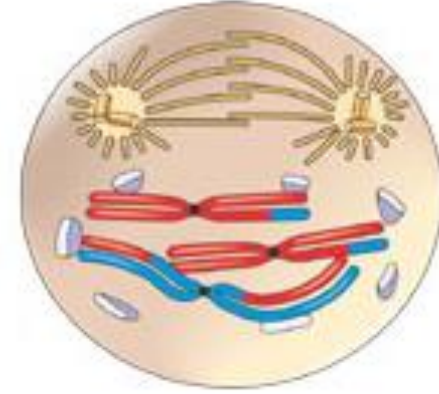
Hücrelerdeki haploid kromozom sayısı korunarak profaz-II, metafaz-II, anafaz-II ve telofaz-II gerçekleşerek mayoz bölünmenin sonunda  $n$  kromozom sayısına sahip 4 yavru hücre meydana gelir.

# MAYOZ - II

## Profaz II

Birinci bölünmenin telofazı ile ikinci bölünmenin arasında bir dinlenme devresi olmadan çekirdek zarı parçalanır.

Birinci **ığ** iplikçiklerinin doğrultusuna dik yeni **ığ** iplikçikleri oluşur.

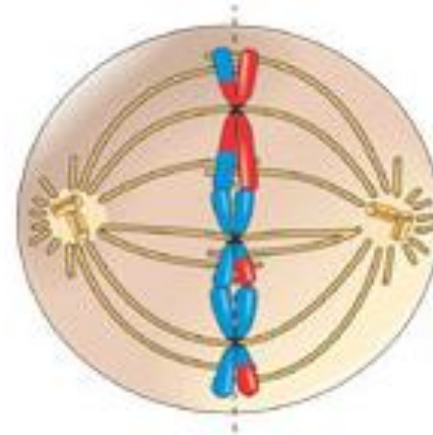
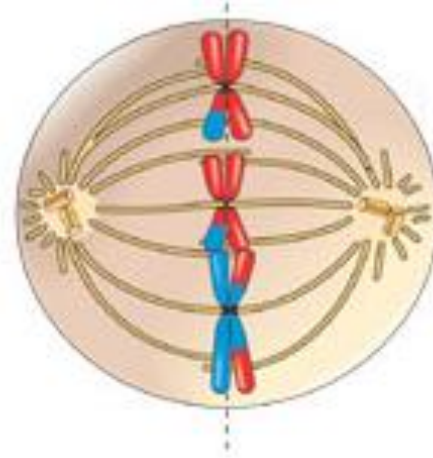


# MAYOZ - II

## Metafaz II

Her yavru hücrenin haploid (n) kromozomu ekvatorial düzlem üzerinde dizilir.

Bu evrede kromozomlar ikili görülür.



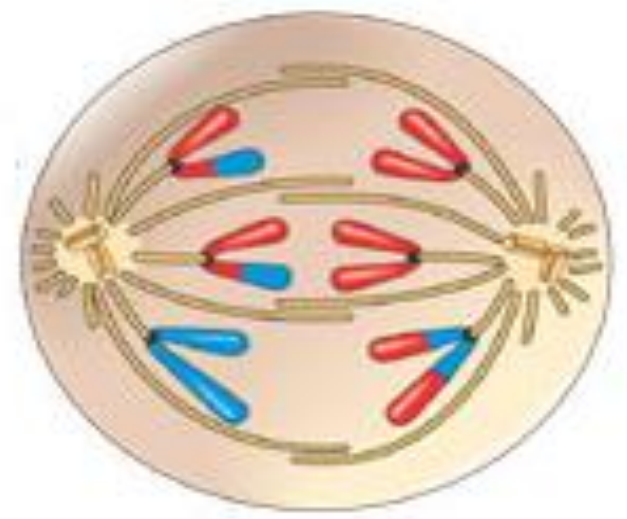


# MAYOZ - II

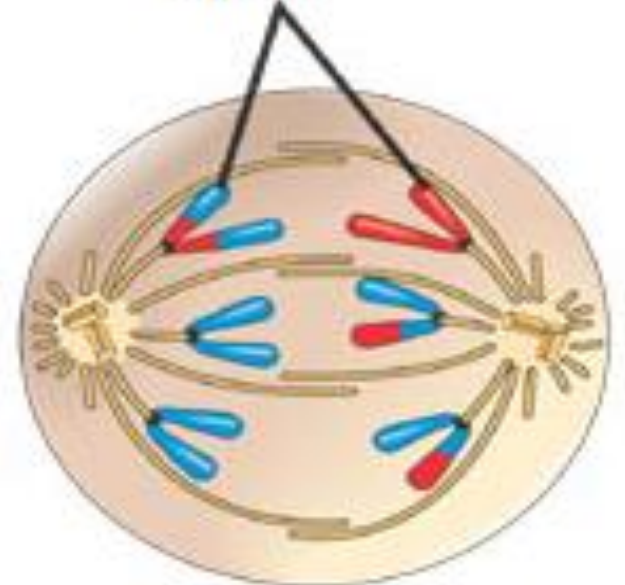
## Anafaz II

İğ ipliklerinin itme ve çekme hareketi ile sentromerler parçalanır.

Birbirinden ayrılan kardeş kromatidler zıt kutuplara gider



**Kardeş kromatidler ayrılır**



# MAYOZ - II

## Telofaz II

Kromozomların helezonları açılır, dolayısıyla görünmez olurlar.

Çekirdek zarları oluşur sitoplazma bölünür.

Böylece bir hücreden 4 tane haploid hücre meydana gelir



Haploid kardeş hücreler



# Karşılaştırma

MİTOZ BÖLÜNME	MAYOZ BÖLÜNME
Mitoz bölünme tek hücrelilerde üremeyi sağlar.	Mayoz bölünme tek hücrelilerde görülmez.
Mitoz bölünme çok hücrelilerde büyüme, gelişme ve yaraların onarımını sağlar.	Mayoz bölünme çok hücrelilerde üreme hücresi (polen, sperm, yumurta) oluşumunu sağlar.
Mitoz bölünme vücut hücrelerinde, görülür. (olgun alyuvar, sinir ve kas hücreleri hariç)	Mayoz bölünme sadece üreme ana hücrelerinde görülür.
Mitoz bölünme zigot oluşumunu ile görülmeye başlar, canlının ölümüne dek sürer.	Mayoz bölünme ergenlikte başlar canlının üreme dönemi (menapoz, andropoz) bitene kadar devam eder.
Mitoz bölünme tek aşamalıdır, 1 kez çekirdek ve 1 kez sitoplazma bölünür.	Mayoz bölünme iki aşamalıdır. Çekirdek ve sitoplazma 2'şer kez bölünür.
Mitoz bölünme sonucu 2 yeni hücre oluşur.	Mayoz bölünme sonucu 4 yeni hücre oluşur.
Mitoz bölünmede parça değişimi olmaz. Bu yüzden oluşan hücreler birbirinin tıpatıp aynıdır.	Mayoz bölünmenin ilk aşamasında homolog kromozomlar arası parça değişimi olur. Buda kalıtsal çeşitlilik sağlar. Oluşan hücrelerin hepsi birbirinden farklıdır.
Mitoz bölünmede kromozom sayısı değişmez. Oluşan hücrelerin hepsi ata hücre ile aynı sayıda kromozom taşır.	Mayoz bölünmede kromozom sayısı yarıya iner. Bu da tür içinde kromozom sayısının sabit kalmasını sağlar.
Mitoz bölünmede sentriyoller kromozomu oluşturan kardeş kromatitleri ayırır.	Mayoz bölünmede ise ilk aşamada homolog kromozomlar ayrılır, ikinci aşamada kromatitler ayrılır.