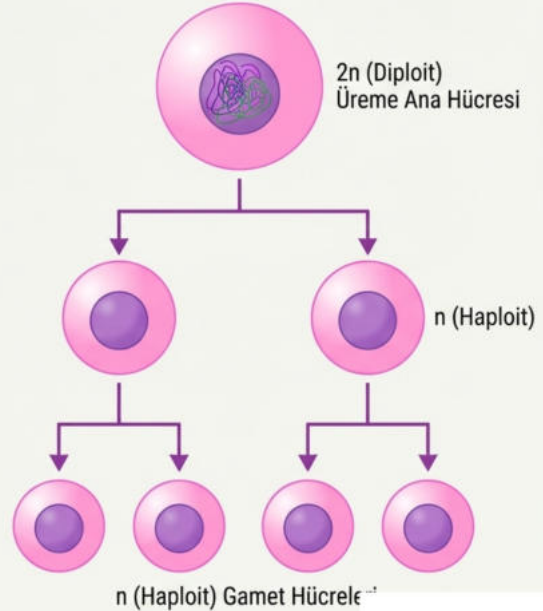


Mayoz Bölünme: Tanım ve Genel Özellikler

- Eşeyli üreyen canlılarda gametlerin (sperm ve yumurta) oluşumunu sağlayan özel bölünme şeklidir.
- Sadece $2n$ (diploit) kromozomlu üreme ana hücrelerinde gerçekleşir.
- Bölünme sonucunda kromozom sayısı yarıya inmiş (n), kalıtsal özellikleri birbirinden farklı 4 yeni hücre oluşur.
- Mayoz bölünme ve döllenme, tür içi kromozom sayısının nesiller boyu sabit kalmasını sağlar.
- Tohumuz bitkilerde ve bazı mantarlarda spor oluşumunu sağlar.
- Birbirini takip eden iki aşamadan (Mayoz I ve Mayoz II) oluşur.

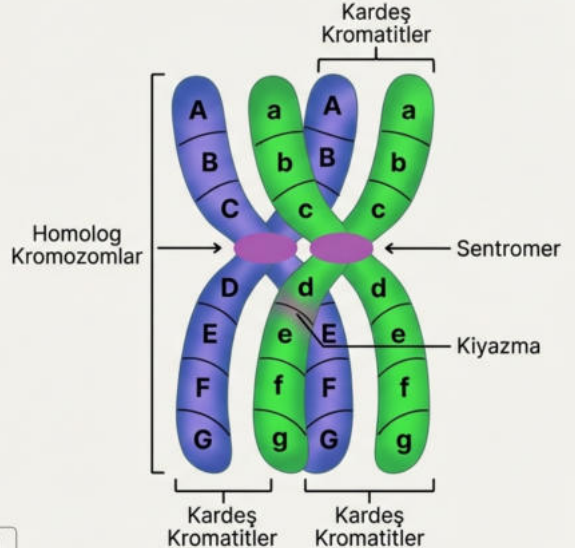
[DİKKAT KUTUSU]: Erkek arılarda sperm mitoz ile oluşur, mayoz görülmez. Tohumlu bitkilerde ise mayozdan sonra mitoz gerçekleşerek gametler oluşur.



Temel Kavramlar ve Terminoloji

- **Diploit (2n):** Biri anneden diğeri babadan gelen iki takım kromozoma sahip hücrelerdir (Örn: Üreme ana hücreleri).
- **Haploit (n):** Bir takım kromozom taşıyan hücrelerdir (Örn: Gametler).
- **Homolog Kromozom:** Biri anneden diğeri babadan gelen, şekil ve yapı bakımından benzeyen kromozom çiftleridir.
- **Tetrat:** Homolog kromozomların yan yana gelerek oluşturduğu 4 kromatitli yapıdır. (Tetrat sayısı = Haploit kromozom sayısı).
- **Sinapsis:** Homolog kromozomların yan yana gelip fiziksel olarak birbirine geçici bağlanmasıdır.
- **Kiyazma:** Sinapsis sırasında homolog kromozomların kardeş olmayan kromatitlerinin temas ettiği çapraz bölgelerdir.

[DİKKAT KUTUSU]: Tetrat ve sinapsis olayları sadece Mayoz I evresinde görülür. Mitozda bu yapılar oluşmaz.

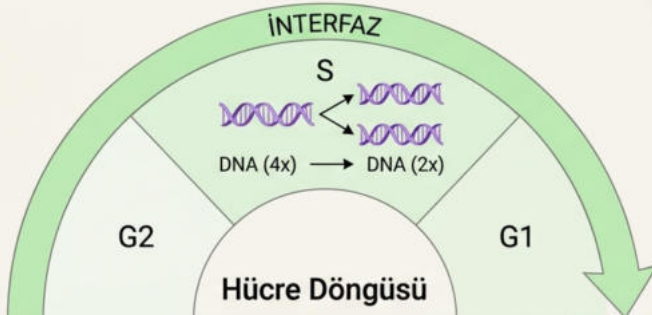


İnterfaz: Bölünmeye Hazırlık Evresi

- Hücrenin mayozla başlamadan önce geçirdiği hazırlık sürecidir.
- **G1 Evresi:** Büyüme, protein ve ATP sentezi hızlanır. Metabolizma hızı artar.
- **S Evresi:** DNA kendini eşler (Replikasyon) ve DNA miktarı iki katına çıkar ($2x \rightarrow 4x$).
- **G2 Evresi:** Hazırlıklar tamamlanır. Hayvan hücrelerinde sentrozomlar (sentrionlar) eşlenir.
- Mitotik hücre döngüsünün interfazı ile aynı özellikleri taşır.

[DİKKAT KUTUSU]

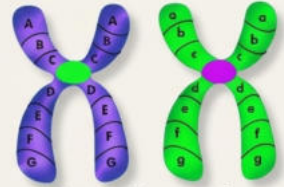
İnterfaz evresi sadece Mayoz I'in başında gerçekleşir. Mayoz I ve Mayoz II arasında tekrar DNA eşlenmesi (Replikasyon) olmaz.



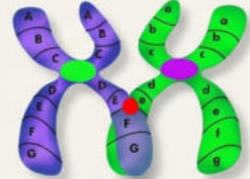
Mayoz I: Profaz I (En Karmaşık Evre)

- Mayozun en uzun süren evresidir.
- Kromatin iplikler kısalıp kalınlaşarak belirgin kromozom halini alır.
- Çekirdek zarı parçalanır, çekirdekçik ve endoplazmik retikulum kaybolur.
- Hayvan hücrelerinde sentrioller zıt kutuplara hareket eder ve iğ iplikleri oluşur.
- Crossing Over (Parça Değişimi):
 - Homolog kromozomların kardeş olmayan kromatitleri arasında kiyazma bölgelerinde gen alışverişi olur.
 - Genlerin yapısı değişmez, kromozom üzerindeki dizilimi değişir (Rekombinasyon).
 - Gamet çeşitliliğini artıran en önemli faktörlerden biridir.

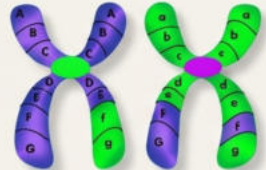
[DİKKAT KUTUSU]: Her mayozda tetrad ve sinapsis kesinlikle oluşur, ancak Crossing Over her zaman gerçekleşmeyebilir. Bir kromozomdaki genler arası mesafe arttıkça crossing over ihtimali artar.



Homolog Kromozomlar



Sinapsis

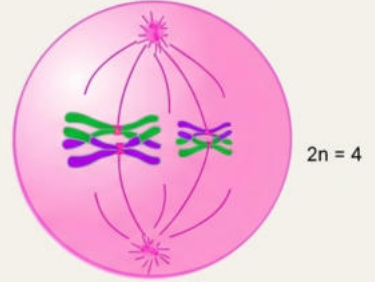


Sonuç (Rekombi)

Mayoz I: Metafaz I ve Anafaz I

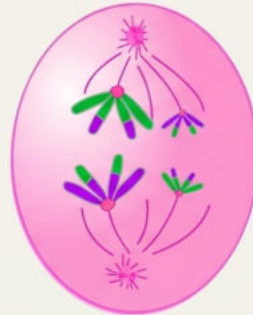
Metafaz I:

- Homolog kromozomlar (tetratlar halinde) hücrenin ekvatorial düzlemine karşılıklı çiftler halinde dizilir.
- Kromozomların bu dizilimi tamamen rastgeledir.
- İğ iplikleri kinetokorlara bağlanır.



Anafaz I:

- İğ ipliklerinin kısalmasıyla Homolog Kromozomlar birbirinden ayrılarak zıt kutuplara çekilir.
- Sentromer bölünmesi olmaz; kromozomlar iki kromatitli halde kutuplara gider.



[DİKKAT KUTUSU]:

Anafaz I'de homolog kromozomların rastgele (bağımsız) kutuplara gitmesi, kalıtsal çeşitliliğin temel nedenlerinde ...

Mayoz I Sonu: Telofaz I ve Sitokinez I

• Telofaz I:

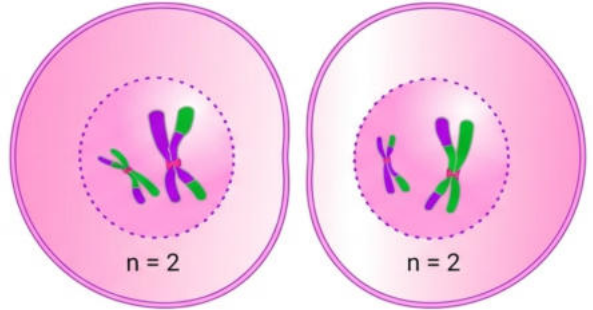
- Zıt kutuplara çekilen kromozomların etrafında çekirdek zarı yeniden oluşabilir (türe özgü).
- İğ iplikleri kaybolur.
- Hücre bu aşamada haploit (n) kromozomludur ancak her kromozom hala iki kromatitlidir.

• Sitokinez I (Sitoplazma Bölünmesi):

- Hayvanlarda boğumlanma, bitkilerde ara lamel oluşumu ile gerçekleşir.
- Sonuçta genetik yapısı birbirinden farklı, n kromozomlu 2 hücre oluşur.

[DİKKAT KUTUSU]

Mayoz I sonucunda oluşan hücrelerin kromozom sayısı ana hücrenin yarısı kadardır ($2n \rightarrow n$). Bu hücreler Mayoz II'ye girmeden önce DNA eşlenmesi yapmazlar.

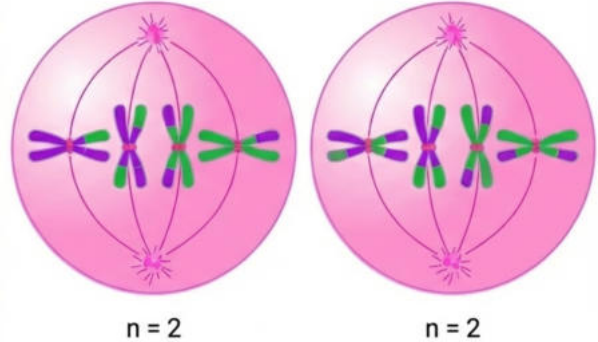


Mayoz II: Profaz II ve Metafaz II

- Mayoz I sonunda oluşan haploit (n) hücreler, DNA eşlenmesi (İnterfaz) geçirmeden Mayoz II'ye başlar.
- Mekanizma olarak Mitoz bölünmeye benzer.
- **Profaz II:** Çekirdek zarı erir, iğ iplikleri yeniden oluşur. Profaz I'e göre çok kısa sürer.
- **Metafaz II:**
 - Kromozomlar, hücrenin ekvatorial düzlemine tek sıra halinde (kardeş kromatitleri karşılıklı gelecek şekilde) dizilir.
 - Mayoz I'de crossing over olmuşsa, kardeş kromatitler genetik olarak birbirinin aynısı değildir.

[DİKKAT KUTUSU]

Metafaz I'de homologlar çift sıra (tetrad), Metafaz II'de ise kromozomlar tek sıra halinde dizilir. Bu, evreleri ayırt etmede kritik bir farktır.

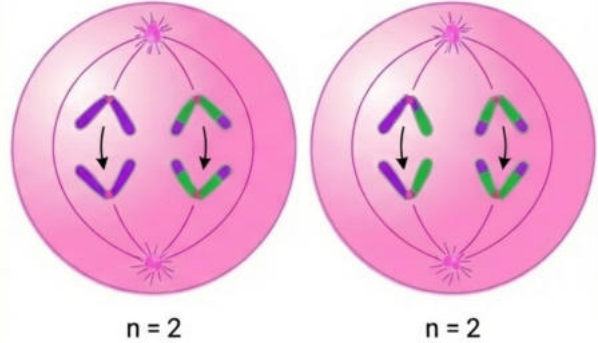


Mayoz II: Anafaz II (Kardeş Kromatit Ayrılması)

- Sentromer bölgesindeki proteinlerin çözülmesiyle Kardeş Kromatitler birbirinden ayrılır.
- İğ iplikleri sayesinde zıt kutuplara çekilen her bir kromatit, artık bağımsız bir 'Kromozom' olarak kabul edilir.
- Bu olay, hücredeki kromozom sayısının geçici olarak iki katına çıkmasına neden olur.

[DİKKAT KUTUSU]

Mayoz I Anafaz evresinde Homolog Kromozomlar ayrılırken, Mayoz II Anafaz evresinde Kardeş Kromatitler ayrılır. Bu ayrım sınav sorularında sıkça sorulur.



Mayoz Sonu: Telofaz II ve Sitokinez II

- **Telofaz II:**

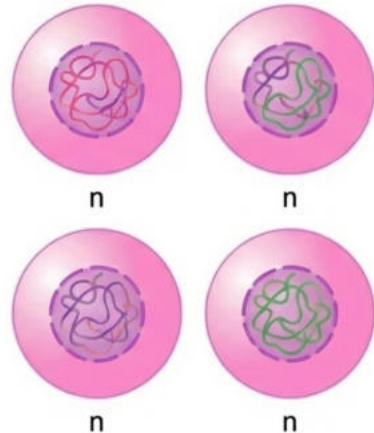
- Kromozomlar tekrar kromatin iplik haline döner.
- Çekirdek zarı, çekirdekçik ve endoplazmik retikulum yeniden oluşur.

- **Sitokinez II:**

- Sitoplazma bölünmesi tamamlanır.
 - Sonuç: Ana hücreden genetik yapısı farklı, haploit (n) kromozomlu toplam 4 yeni hücre oluşur.
- Oluşan hücrelerin sitoplazma miktarları ve organel sayıları farklılık gösterebilir ancak kromozom sayıları eşittir.

[DİKKAT KUTUSU]

Mayoz II sonucunda oluşan hücrelerin DNA miktarı, başlangıçtaki ana hücrenin (G1 evresindeki) yarısı kadardır.



Mayozda Genetik Çeşitliliği (Varyasyon) Sağlayan Faktörler

1. Crossing Over (Profaz I)



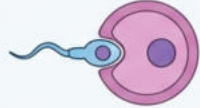
Homolog kromozomlar arasında gen değişimi ile yeni gen kombinasyonları oluşması.

2. Bağımsız Dağılım (Anafaz I)



Homolog kromozom çiftlerinin Metafaz I'de rastgele dizilmesi ve Anafaz I'de rastgele kutuplara gitmesi. (Çeşitliliğin temel nedenidir).

3. Döllenme (Süreç Dışı)



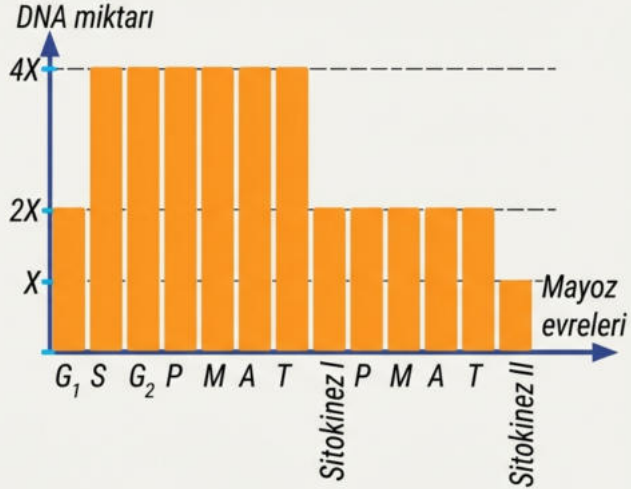
Mayoz sonucu oluşan farklı gametlerin şansa bağlı birleşmesi de tür içi çeşitliliği artırır.

[DİKKAT KUTUSU]: Mutasyonlar da çeşitlilik yaratır ancak bu mayozun olağan mekanizması dışındadır. Crossing over gerçekleşmese bile, homologların bağımsız dağılımı kesinlikle çeşitlilik sağlar.

Grafik İncelemesi: DNA Miktarı Değişimi

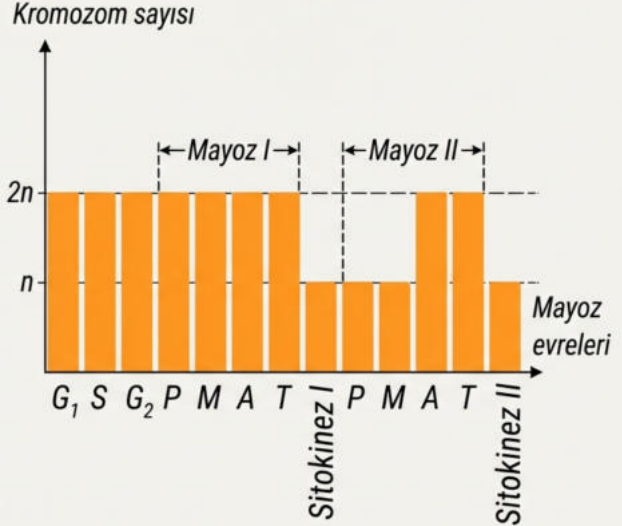
- Hücrenin **başlangıçtaki DNA miktarı**: $2x$
- **İnterfaz (S Evresi)**: Replikasyon ile DNA miktarı $4x$ olur.
- **Mayoz I**: Homologlar ayrılır ve sitokinez I gerçekleşir. DNA miktarı yarıya iner ($2x$).
- **Mayoz II**: Kardeş kromatitler ayrılır ve sitokinez II gerçekleşir. DNA miktarı tekrar yarıya iner (x).
- **Sonuç**: Oluşan hücrelerin DNA miktarı, bölünmeye başlayan hücrenin yarısı kadardır.

[DİKKAT KUTUSU]: Grafikteki ani düşüşler Sitokinez (hücre bölünmesi) anlarını temsil eder. Mayoz I ile Mayoz II arasında DNA artışı olmaz.



Grafik İncelemesi: Kromozom Sayısı Değişimi

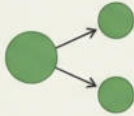
- Hücrenin başlangıç kromozom sayısı: $2n$
- **İnterfaz** ve **Mayoz I**: Kromozom sayısı $2n$ olarak kalır. (Replikasyon sayısı değiştirmez).
- **Sitokinez I**: Hücre bölününce kromozom sayısı yarıya iner (n).
- **Mayoz II (Anafaz II)**: Kardeş kromatitler ayrılınca kromozom sayısı geçici olarak iki katına çıkar ($2n$).
- **Sitokinez II**: Hücre tekrar bölününce kromozom sayısı n olarak sabitlenir.



[DİKKAT KUTUSU] Kromozom sayısı DNA eşlenmesinde (S evresi) artmaz! Sadece DNA miktarı artar. Kromozom sayısı sadece Anafaz II'de (sentromer bölünmesiyle) geçici artış gösterir.

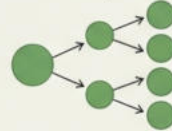
Karşılaştırma: Mitoz ve Mayoz (Temel Farklar)

Mitoz



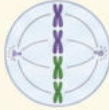


- **Gerçekleştiği Yer:** Vücut hücreleri ve bazı üreme ana hücreleri.
- **Sonuç:** 2 hücre oluşur. Kromozom sayısı değişmez.
- **Genetik Yapı:** Kopya hücreler oluşur (Mutasyon yoksa çeşitlilik yok).
- **Süreklilik:** Zigot oluşumundan ölüme kadar devam eder.

Mayoz



- **Gerçekleştiği Yer:** Sadece üreme ana hücreleri ($2n$).
- **Sonuç:** 4 hücre oluşur. Kromozom sayısı yarıya iner.
- **Genetik Yapı:** Kalıtsal çeşitlilik (Varyasyon) oluşur.
- **Süreklilik:** Ergenlikte başlar, üreme dönemi bitince sonlanır.

Karşılaştırma: Mitoz ve Mayoz (Mekanik Farklar)

Özellik	Mitoz	Mayoz
Homolog Kromozomlar	Yan yana gelmez, sinapsis/tetrad oluşmaz.	Profaz I'de tetrad/sinapsis yapar.
Metafaz Dizilimi	Kromozomlar tek sıra dizilir. 	Metafaz I'de çift sıra, Metafaz II'de tek sıra dizilir.   Metafaz I Metafaz II
Ayrılma	Anafazda kardeş kromatitler ayrılır. 	Anafaz I'de homolog kromozomlar, Anafaz II'de kardeş kromatitler ayrılır.   Anafaz I Anafaz II
Krossing Over	Görülmez.	Profaz I'de görülebilir.

Özet ve Biyolojik Önem

- Mayoz bölünme, eşeyli üreyen canlılarda nesiller arası kromozom sayısının korunmasını sağlayan **mekanizmanın ilk yarısıdır** (Diğer yarısı döllenmedir).
- Crossing over ve bağımsız dağılım mekanizmaları sayesinde oluşan genetik varyasyon, değişen çevre koşullarına uyum yeteneğini (adaptasyon) artırır.
- Mayoz sonucu oluşan hücreler (gametler) tekrar bölünme geçiremez, döllenmeye katılır.
- Bitkilerde mayoz sonucu sporlar oluşur, bu sporlar mitoz geçirerek gametofitleri oluşturabilir.

[DİKKAT KUTUSU]: Bir hücrenin mayoz geçirebilmesi için kesinlikle diploit ($2n$) olması gerekir. Haploit (n) hücreler mayoz geçiremez.

