

Sitoloji (Hücre Bilimi): Hücrenin yapı, görev ve çoğalma gibi özelliklerini inceleyen bilim dalıdır.

Hücre: Canlılığın en küçük yapı görev ve işlev birimidir. Hücreden daha küçük canlı birim yoktur. Organeller, hücre zarı, çekirdek gibi yapılar tek başlarına canlılık meydana getiremezler.

Hücre bölünmesi; bir hücreden yeni hücrelerin meydana gelmesine imkân verir. İlkel birçok canlı organizma tek bir hücreden oluşmuşlardır. Tek hücreli canlılarda bir hücrenin ikiye bölünmesi, iki ayrı canlının meydana gelmesini sağlar. Gelişmiş organizmalar ise çok sayıda hücreden meydana gelmiştir. Çok hücreli canlılar, bir hücrenin çok fazla sayıda bölünmesi ve bölünen hücrelerin birbirinden ayrılmayarak organize olmasıyla oluşur. Çok hücreli canlılarda hücre bölünmesi sonucu ortaya çıkan hücre artışı genellikle büyümeyi meydana getirir.

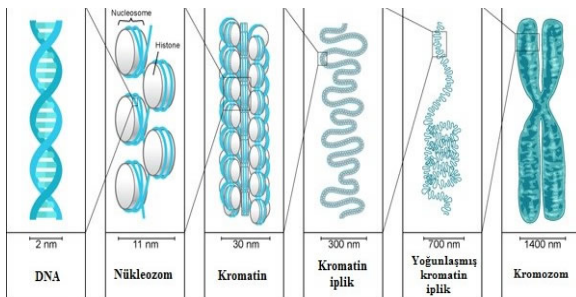
Bir hücrenin bölünmesi için genetik materyale sahip olması gerekir. Genetik materyale sahip olmayan hücreler bölünemezler. Genetik materyale sahip olan hücrelerin de büyük çoğunluğu bölünemezler. İnsan iskelet kasları, nöronlar, akyuvar hücreleri gibi hücreler genetik materyale sahip olmalarına rağmen bölünemez.

Prokaryot hücreler mitoz veya mayoz bölünme geçirmeksizin basit bir şekilde ikiye bölünürler. Ökaryot hücreler mitoz veya mayoz bölünme geçirebilir.

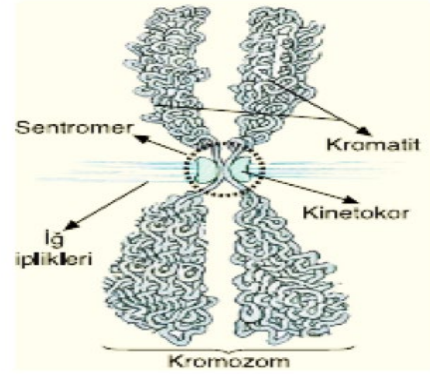
Bir hücrenin genetik bilgisini taşıyan DNA'ların tamamına genom adı verilir. Bakteri genomu, insan genomu gibi ifade edilir. DNA üzerinde canlıya ait bir özelliğin bilgisini taşıyan bölümlere gen adı verilir.

Kromozomlar; histon proteinlerine sarılmış DNA'ların oluşturduğu paketlenmiş yapılardır. Kromozomlar ökaryot hücrelerde bulunur. Prokaryot hücrelerde kromozom oluşumundan söz etmek pek mümkün değildir. Kromozomlar ökaryot hücrelerin bölüneceği zaman oluşur. Hücre bölünmesi tamamlandığında DNA'lar histon proteininden bir miktar ayrılır ve kromatin ipliklere dönüşür. Böylece kromozom yapısı ortadan kalkar. Kromozomlar üzerinde genlerin bulunduğu bölgelere **lokus** adı verilir.

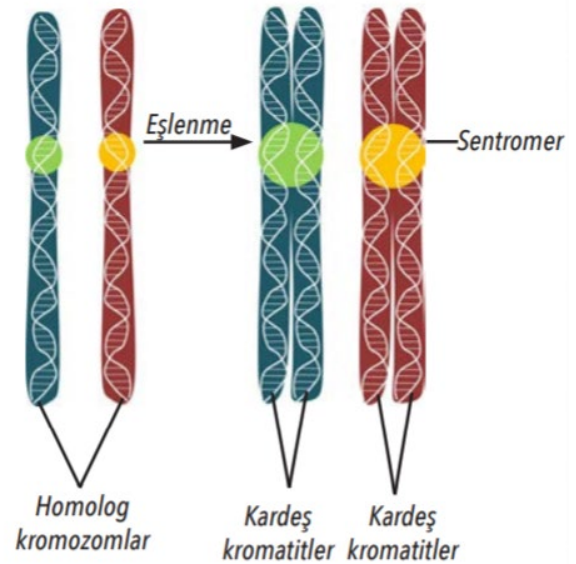
UYARI: Bir hücrede karyokinez evresi dışında kromozomlar kromatin iplikleri halinde bulunur. DNA'nın proteinlere basit sarılı hallerine **kromatin iplik** adı verilir. Kromatin ipliklerin kısalıp kalınlaşmasıyla **kromozomlar** oluşur.



Ökaryot hücre bölüneceği zaman DNA kendini eşler. Eş DNA'lar histon proteinlerine basitçe tutunur. Böylece eş kromatidler meydana gelir. Eş kromatidler sentromer proteini ile birbirine tutunurlar. Böylece eş kromatidlere sahip kromozom yapısı meydana gelir. Bu kromozomu oluşturan eş kromatidler katlanarak belirgin hale gelirler. Böylece hücre bölünmesinde kolay bölünebilir kromozomlar oluşur.



Aynı özelliğe etki eden genlerden her birine **alel** adı verilir. Genellikle canlıya ait aynı özelliklere etki eden alalleri taşıyan kromozomlara **homolog kromozomlar** adı verilir. Homolog kromozomları oluşturan kromozomların her biri atasal gametlerden gelir. Homolog kromozomları bulunduran hücrelere **diploid hücreler**, homolog kromozomları bulundurmeyen hücreler de **haploid hücreler** adı verilir.

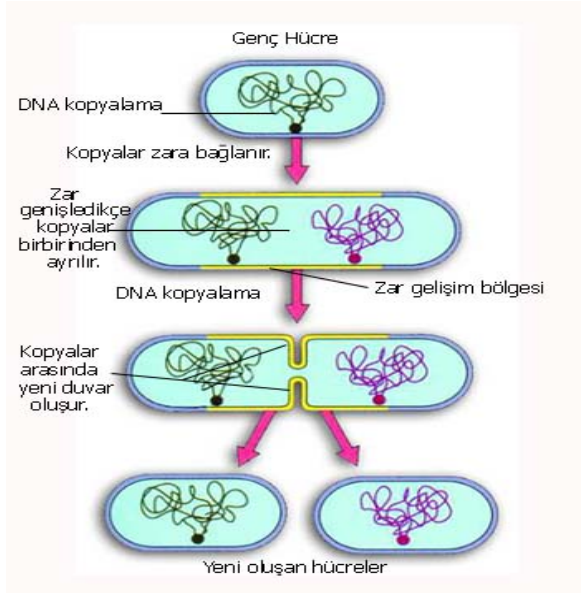


Barındırdığı genler bakımından vücut özellikleri üzerinde daha fazla etkiye sahip kromozomlara otozomal **kromozomlar** adı verilir. Barındırdığı genler bakımından cinsiyet özellikleri üzerinde daha fazla etkiye sahip kromozomlara **gonozomal kromozomlar** adı verilir. İnsan hücrelerinde bulunan 44 tane kromozom otozomal kromozom, 2 tane (XX veya XY) kromozom ise gonozomal kromozomdur.

PROKARYOTLARDA HÜCRE BÖLÜNMESİ

Prokaryot hücre, hücre organellerine ve çekirdeğe sahip olmayan hücreler olarak tanımlanır. Prokaryot hücrelerde DNA sitoplazmadaki nüklear bölge olarak tanımlanan bölgede bulunur. Nüklear bölgede bulunan DNA hücre zarı uzantılarına tutunmuş durumdadır. Prokaryotik canlılarda iğ ipliği oluşumları meydana gelmez. Halkasal yapıdaki DNA, replikasyondan sonra hücre zarı uzantılarına tutunmuş iki DNA oluşur. Replikasyondan sonra hücrenin boyuna uzamasıyla birlikte DNA, zıt yönlerde doğru hareket ettirilir. Prokaryot hücrelerde iğ ipliklerinin görevini hücre zarı uzantıları yerine getirir. Hücre orijinal büyüklüğünün iki katı boyutuna ulaştığında, hücre zarı içe doğru büyür. Bu büyüyen zarların dış tarafında hücre çeperleri meydana gelir. Böylece iki yeni hücre oluşur. Bu olaya ikiye bölünme (binari fizyon) adı verilmektedir.

Prokaryot hücreler ikiye bölünüp çoğalırken plazmid DNA'lar da kendini eşler. Plazmid DNA'lar da oluşan iki yeni hücreye aktarılır. Bazen hücre zarının orantılı olarak uzayamaması sonucu eşlenen plazmid DNA'lar birbirinden yeterince uzaklaşamaz ve oluşacak iki yeni hücreye aktarılamaz. Böyle bir durumun oluşması sonucunda oluşan iki prokaryot hücrede aynı plazmid DNA'lar bulunmayabilir. Bu durumun sonucunda plazmid DNA'sı eksik olan hücrenin bazı genleri eksik olacağından çevresel şartlara ve ilaçlara dayanıklılığı azalabilir. Kapsül gibi bazı yapıları sentezleyemeyebilir. Böyle bir durum oryaya çıktığında plazmid DNA'sı eksik olan bakteri diğer bakteriden konjugasyon yoluyla plazmid DNA alabilir. Böylece eksik olan plazmid DNA'larını tamamlar.



ÖKARYOTLARDA HÜCRE BÖLÜNMESİ

Ökaryot hücre; hücre organellerine ve hücre çekirdeğine sahip hücreler olarak tanımlanır. Ökaryot hücrede çekirdek ve hücre organelleri hücre yaşamının bir döneminde bulunması yeterlidir. Hücresel yaşamın başlangıç döneminde çekirdek ve organeller bulunup, hücre yaşamının

sonraki bir döneminde hücre organelleri ve çekirdek ortadan kalkabilir.

UYARI: Hücre çekirdeği ve hücre organelleri ortadan kalkmış ökaryot hücre prokaryot hücre olarak adlandırılmaz.

Çok hücreli canlılarda hücre bölünmeleri bölünen hücre sayısı sınırlı hale gelmiştir. Çok hücreli canlılarda hücrelerde özelleşme meydana gelip doku oluşumuna katılan hücreler genel olarak bölünmez hale gelirler. İnsan kas iskelet kası hücreleri, sinir hücreleri, kan hücreleri, bölünme yeteneklerini yitirmişlerdir. Kıkırdak doku, düz kas gibi dokulardaki hücreler ise çok sınırlı sayıda bölünme geçirebilir veya bölünmez hale gelmişlerdir.

Ökaryot bir hücrenin çekirdeği dış müdahalelerle çıkarılması durumunda hücrenin ölümü meydana gelir. Bölünme gerçekleştirebilen kök hücrenin sitoplazma artışı engellenirse hücre büyümesi durur.

Ökaryot hücrelerde hücre özelleşmesi arttıkça hücrenin bölünme yeteneği giderek azalmaktadır. Kök hücrelerde bölünme yeteneği yüksek iken doku hücrelerinde bölünme yeteneği azalmıştır.

Ökaryot hücre mitoz bölünme veya mayoz bölünme geçirebilirler.

MİTOZ BÖLÜNME

Mitoz Bölünmenin Genel Özellikleri

Bir hücreden iki yeni hücre oluşturulur. Bu esnada ana hücredeki kalıtım materyalleri eşit miktarda yavru hücrelere aktarılır.

Mitoz bölünme sonucu oluşan hücreler ana hücrenin bütün özelliklerini taşıması beklenir. Bu nedenle mitoz bölünme ile hücre sayısı artarken kromozom sayısı sabit kalır.

Mitoz bölünme kalıtsal genellekle çeşitlilik sağlamaz. Eğer mitoz bölünme evreleri devam ederken mutasyon meydana gelirse kalıtsal çeşitlilik sağlanabilir. *Drosophila*, *Aspergillus* gibi bazı canlıların hücreleri mitoz bölünme geçirirken cross over gerçekleştirdiği gözlenmiştir.

Haploit veya diploid hücre yapısı fark etmeksizin bölünme yeteneği olan her hücre arka arkaya çok sayıda mitoz bölünme geçirebilir.

Mitoz bölünme sonucu oluşan hücrelerin büyüklüğü, sitoplazma miktarı, organellerinin sayısı farklılık gösterebilir. Çok hücreli bir canlının hayat döngüsünde zigot oluşumu ile birlikte mitoz bölünme başlar ve canlının ölüme kadar devam eder.

Bireyin yaşına göre ve dokularının çeşidine göre mitoz bölünme hızı değişir. Embriyonik dönemde ve genç bireylerde mitoz bölünme hızlı iken, yaşlanmaya bağlı olarak

mitoz bölünme hızı azalır. Bu nedenle yaşlı bireylerde doku onarımı ve yaraların iyileşmesi uzun sürer.

Mitoz bölünme tek hücreli canlılarda üremeyi sağlarken, çok hücreli canlılarda büyüme ve onarımı sağlar.

Mitoz bölünmenin gerçekleşebilmesi için iç ipliklerinin oluşması gerekmektedir.

Erişkin hayvanların bazı hücrelerinde mitoz bölünme durmuştur. Hücre bölünmesi duran hücrelere çizgili kas, sperm, yumurta, sinir, göz retina gibi hücreler örnek verilebilir. Karaciğer gibi bazı iç organların hücreleri yaranma, hücre ölümü gibi durumlarda kaybedilen hücrelerin yeniden yapılması gerektiğinde mitoz bölünme geçirirler.

UYARI: Haploit (n), diploit (2n) ve triploit (3n) hücreler mitoz bölünme geçirebilir.

Hücreyi Bölünmeye İten Faktörler

1. Hacim/yüzey oranının artması;
 - Hücre sitoplazmasının hücreye sığmaması,
 - Çekirdeğin hücreyi yönetmekte zorlanması,
 - Hücre zarının madde alışverişinde yetersiz kalması,
2. Hormonsal uyarılar. (STH, Tiroksin, Testosteron ...)
3. Dokularda meydana gelen tahribatlar ve yaralar
4. Çekirdekteki DNA'nın eşlenmesi sonucu hücre çekirdeğinin bölünme emrini vermesi.

UYARI: Çekirdek DNA'sının eşlenmesi her zaman mitoz bölünme ile sonuçlanmaz. Birden fazla çekirdekli hücreler ortaya çıkabilir. Çok çekirdekli hücrelere civık mantarlar, paramazyum gibi canlıların hücreleri örnek gösterilebilir. Ayrıca kalp kası hücrelerinin çekirdek DNA'ları eşlenmiş durumdadır.

Sitoplazma ve Çekirdeğin Hücre Bölünmesine Etkisi

Kontrol Grubu

Amiye işlem uygulanmadan normal koşullarda büyümesi gözlenmiş ve deney süresince defalarca doğal olarak bölündüğü gözlemlenmiştir.

1. Deney

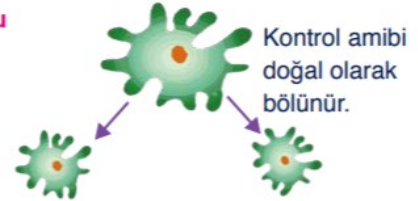
Amip bölünme büyüklüğüne gelmeden sitoplazması bir miktar kesilir, kesilen sitoplazma parçası ölür. Çekirdekli kısım, eksilen sitoplazma parçasını tamamlayarak büyümeye devam eder. Amip bölünme büyüklüğüne ulaşmadan tekrar kesilerek sitoplazması azaltılır. İşlem birkaç kez tekrarlanır. Amip bölünme büyüklüğüne ulaşmadan her defasında sitoplazması kesilerek hacmi azaltıldığı için

hacim yüzey oranı bozulmaz. Böylece çekirdek bölünme emri vermez ve hücre bölünmez.

2. Deney

Amip bölünme büyüklüğüne ulaştıktan sonra sitoplazması bir miktar kesilir. Çekirdeksiz sitoplazma parçası ölür. Çekirdekli sitoplazma büyür ve bölünür. İki yeni amip hücresi oluşur. Sitoplazmanın kesilerek hücre hacminin azaltılması bölünmeyi durdurmaz. Bunun sebebi amip hücresi bölünme büyüklüğüne ulaşmış ve çekirdek hücreye bölünme emrini vermiştir.

Kontrol grubu



1. Deney grubu

Bölünme büyüklüğüne ulaşmamış amibin sitoplazmasının bir kısmı kesilir.

Çekirdeksiz kısım ölür.

2. Deney grubu

Bölünme büyüklüğüne ulaşmış amibin sitoplazmasının bir kısmı kesilir.

Çekirdeksiz kısım ölür.

Çekirdekli kısım sitoplazmayı onarır.

Çekirdekli sitoplazma bölünür ve iki amip oluşur.

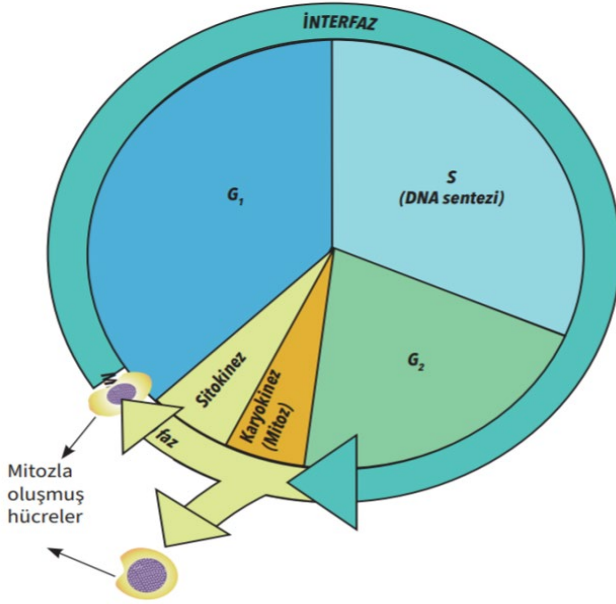
HÜCRE DÖNGÜSÜ

Bir hücrenin bölünmeye başlamasından itibaren takip eden diğer hücre bölünmesine kadar geçen zamana **hücre döngüsü** adı verilir.

Hücre döngüsünün süresi hücre tipine göre farklılık gösterir. Embriyonik hücrelerde çok hızlı, yaşlı bireylerin dokularında çok yavaştır.

Hücre döngüsünün tamamlanma süresi sıcaklık, hücre tipi, beslenme ve canlının fizyolojik durumuna göre farklılıklar gösterebilir.

Hücre döngüsü **interfaz** ve **mitotik faz** olmak üzere iki ana evreden meydana gelir. Hücre bölünmesi hücre döngüsünün bir parçasıdır.



HÜCRE DÖNGÜSÜNÜN EVRELERİ

A. İNTERFAZ

İki mitoz bölünme arasındaki gelişme safhasıdır. Hücreler yaşamlarının yaklaşık %95 gibi büyük bir kısmını bu evrede geçirirler. Örneğin insan deri hücresinde bölünme 24 saat sürer. Bu sürenin yaklaşık 22 saati interfaz evresinde geçer.

UYARI: İnterfaz evresindeki bir hücre dinlenme durumunda değildir. Hücrenin yaşamsal faaliyetlerini sürdürdüğü evredir.

İnsan vücudunda hücrelerin metabolik faaliyetlerinin azalması ilgili hücrelerin ölümüyle sonuçlanabilir.

Hücreye bölünmesi için gereken uyarı verilirse; interfaz evresinde DNA eşlenmesi başlar. Normal durumlarda DNA eşlenmesi gerçekleşmez.

Embriyonik hücrelerde, hücre döngüsünün interfazında DNA eşlenmesi görülürken, hücre büyümesi gözlenmeden hızlı bir şekilde mitotik faz'a geçilir. Böylece embriyonik hücreler kısa sürede ve hızla çoğalırlar.

İnterfaz hücre bölünme safhası olmayıp hücrenin yaşam safhasıdır. İlgili hücreye bölünme uyarısı verildiğinde interfaz'ın G₁, S ve G₂ safhaları gözlenir hale gelir. İlgili hücreye bölünme uyarısı verilmezse hücrede interfaz safhaları belirgin olarak gözlenmez veya G₁ safhası gözlenir denilebilir.

1. G₁ Evresi

Organel sayıları artırılır. Sitoplazma miktarı artar. Böylece hücre hacminde artış meydana gelir. Fakat hacim artışı yüzey alanı artışından fazla olur. Bu artışların sonucunda hücre zarındaki madde geçişleri sitoplazmanın ihtiyacını karşılayamaz hale gelir.

RNA sentezi hızlanır. Böylece protein sentezi de hızlanır.

Metabolizma hızlanır. Hızlanan metabolizmanın kontrol edilmesi için enzimler sentezlenir. Metabolizma hızı en yüksek düzeye ulaşır.

ATP sentezi ve tüketimi hızlanır.

Nükleotid sentezi yapılır. Sentezlenen nükleotitler çekirdek sıvısına geçerler.

G₁ evresinin sonunda, bu evresinin eksiksiz tamamlanıp tamamlanmadığını kontrolü yapılır. Bu kontrole G₁ kontrolü adı verilir. G₁ kontrolü sonunda hücredeki sentezler eksiksiz ise S evresine geçilir. Eksikler varsa tamamlanması için hücre bekletilir.

2. S Evresi

Çekirdek DNA'sı kendini eşler. Hücredeki eş DNA miktarı iki katına çıkar. Eş DNA'lar daha sonra histon proteinlerine sarılarak kromatin iplikleri oluşturur. Oluşan eş kromatin iplikler sentromer proteinleri ile birbirine tutunur. Böylece eş kromatidler meydana gelir.

Eğer hücre sentrozoma sahip bir hücreyse sentrioller kendini eşleyerek sentrozomları oluştururlar

3. G₂ Evresi

Bu evrede G₂ kontrolü olarak adlandırılan hücresel kontrol yapılır. Bu kontrolde özellikle DNA eşlenmesinde hata olup olmadığı kontrol edilir. Hata varsa düzeltilmesi sağlanır. Hata yoksa mitotik evreye geçişe izin verilir.

En kısa süren evredir. RNA ve protein sentezi devam eder.

ATP sentezi devam eder.

UYARI: Embriyonik hücrelerde normal hücrelerden farklı olarak interfaz evresinde S evresi görülürken G₁ ve G₂ evreleri görülmez. Bundan dolayı embriyonik hücreler büyümeden kısa sürede hızla çoğalır. Embriyonik hücrelerin boyutu sürekli küçülür.

Bazı hücreler (karaciğer hücresi gibi) normalde bölünmeyip, ancak yaralanma veya hücre ölümü sonucunda kaybedilen hücrenin yenilenmesi gerektiğinde bölünür. Bu bölünmenin gerçekleşebilmesi için dış uyarıcılara ihtiyaç vardır.

B. MİTOTİK FAZ

Mitotik faz; mitoz bölünme ve sitokinez evrelerinden oluşur. Mitoz bölünme; hücredeki kromozomların belirgin olarak gözlemlendiği aşamadır. Normal şartlarda hücrelerde kromozomlar bulunmaz. DNA'lar basitçe histon proteinlerine tutunmuş durumdadır.

Sitokinez; mitoz bölünmeyle paralel ilerler. Mitoz bölünme bittikten çok kısa bir süre sonra sitokinez tamamlanır. Böylece iki yeni hücre oluşmuş olur.

1. MİTOZ

1.1. Profaz

Kromatin iplikler katlanarak yoğunlaşır. Böylece kısalıp kalınlaşan kromatin iplikler kromozomları oluşturur.

Her kromozom iki kromatitten oluşur. Bir kromozomu oluşturan bu kromatitlere eş kromatit adı verilir. Eş kromatitler sentromer bölgesinden birbirine bağlanırlar.

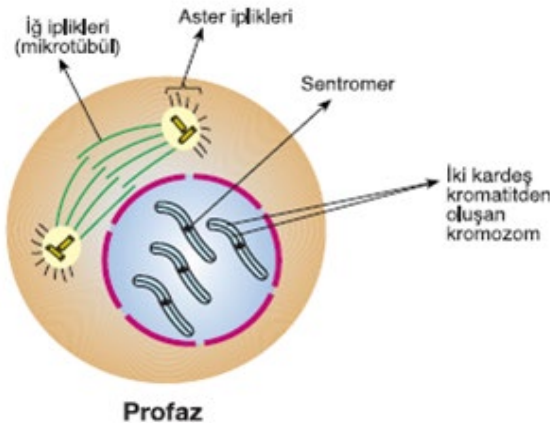
Hücrede varsa, interfazda eşlenen sentrioller hücrenin zıt kutuplarına hareket ederler.

Çekirdek zarını oluşturan endoplazmik retikulum hücre zarına doğru çekilir. Böylece çekirdek zarı görünmez olur. Çekirdekçik yapısı da görünmez olur.

Profaz evresinde hücrede bulunan organeller faaliyetlerini sürdürürler. Sadece endoplazmik retikulum hücre zarının iç tarafına çekildiğinden endoplazmik retikulum faaliyetlerinde bir azalma söz konusu olur.

UYARI: Hayvan hücrelerinde iç ipliklerini sentrozom oluştururken, bitki hücrelerinde kümelenmiş mikrotübüller oluşturur. Burada mikrotübül organizasyon merkezi (MTOC) bulunur.

UYARI: Sentrozom mikrotübüllerin kümelenmiş halidir. Bir hücrede mikrotübüller kümelenmeyebilir. Mikrotübüller kümelenmeyince iç iplikleri oluşmaz diye bir durum söz konusu değildir. Sentrozom tohumlu bitki hücrelerinde bulunmaz.



1.2. Prometafaz

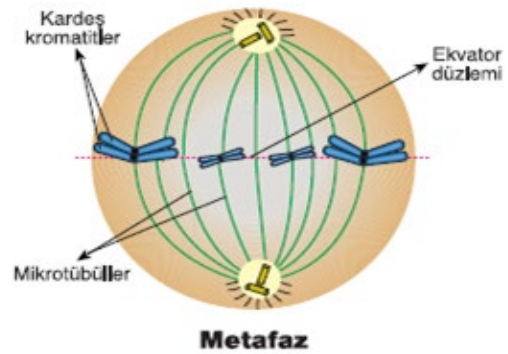
İç ipliklerinin sentrozomlar tarafından veya sitoplazmadaki kümelenmiş mikrotübüller tarafından oluşturularak eş kromatitlerin kinetokor bölgesine bağlanması gerçekleşir. Kromozomlar iç iplikleri vasıtasıyla metafaz plağına (orta düzleme) doğru hareket eder.

1.3. Metafaz

Kinetokorlarından iç ipliklerine tutunmuş kromozomlar hücrenin orta düzlemine tek sıra halinde dizilirler. Diploid canlılarda homolog kromozomlar tek sıra halinde dizilir. Karşılıklı dizilme meydana gelmez. Tetralar halinde dizilme mayoz bölünmede meydana gelir.

Kromozomların en iyi izlendiği ve kromozom hasarları varsa tespit edildiği evredir. Bu evrede kromozomların fotoğrafları çekilebilir. Kromozomların karyotip analizleri yapılır. Bu evrede kromozomlar incelenerek down, patau, Edward sendromu gibi kromozomal anormallikler kolay tespit edilebilir.

Metafaz evresinde kromozomların her birinin kinetokorlarına karşılıklı iç iplikleri bağlanmış mı kontrol edilir. Bu kontrol M kontrol olarak adlandırılır. Böylece anafaz evresine geçildiğinde kromozomların eş kromatitlerinin ayrılması garantilenmiş olur.



1.4. Anafaz

Kromozomların sentromerleri ikiye bölünür.

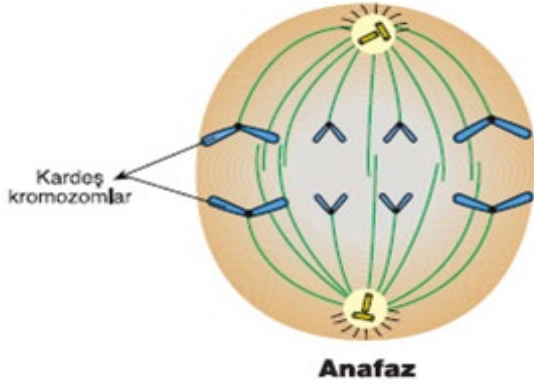
Eş kromatitler iç iplikleri yardımıyla birbirinden ayrılarak farklı kutuplara çekilir.

Birbirinden ayrılmış olan eş kromatitler enzimler yardımıyla bağımsız kromozomlara dönüşürler. Böylece eş kromatitler birbirinden ayrıldıktan sonra hücredeki kromozom sayısı iki katına çıkar.

Kinetokorlara bağlı olmayan iç iplikleri hücrenin zıt kutuplarına doğru uzayarak hücrenin boyca uzamasını sağlar. Böylece kromozomlar birbirinden daha kolay ayrılmış olur. Ayrıca kromozomların hareketine katkı sağlar.

Zıt kutuplara doğru uzayan iç iplikleri hücrenin boyca uzamasını sağlayarak sitokineze katkı sağlar.

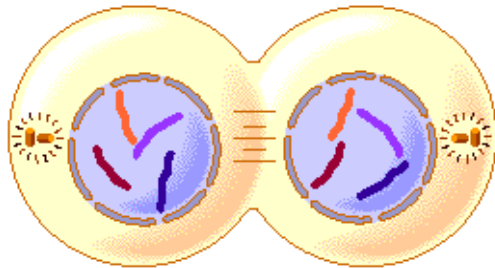
Anafaz evresinin sonunda hücrenin her iki kutbunda aynı kromozomlardan birer tane kromozom takımı bulunur.



1.5. Telofaz

Kromozomlar uzayarak kromatin iplik haline dönüşür. İğ iplikleri kaybolur.

Endoplazmik retikulumlar yakın oldukları taraftaki kromatin ipliklerin etrafına doğru uzanarak yeniden çekirdek zarını oluştururlar. Böylece iki çekirdekli hale gelir. Çekirdek zarı oluşuktan sonra çekirdekçik yeniden görünür hale gelir. Bu evrede hücredeki kromozom normal kromozom sayısının iki katı durumundadır.

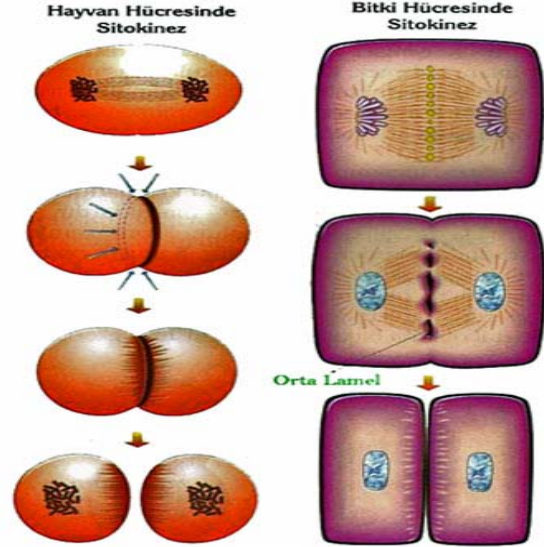


2. SİTOKİNEZ (SİTOPLAZMA BÖLÜNMESİ)

Hayvansal hücrelerde ve birçok protista alemindeki canlıların hücrelerinde sitoplazma dıştan içe doğru mikrofamentler yardımıyla boğumlanma yaparak ikiye ayrılır. Böylece iki yeni hücre oluşturulur.

Hayvansal hücrelerde ve birçok protista alemindeki canlıların hücrelerinde sitokinez olayı; ekvatorial bölgede çok derin olmayan bir oluğun oluşumu ile başlar. Bu oluğun sitoplazmaya bakan tarafında mikrofamentlerin oluşturduğu kasılabilen bir halka bulunur. Bu halka sitoplazmayı ikiye bölecek şekilde kasılarak daralır ve hücre boğumlanarak ikiye bölünür.

Bitki hücrelerinde hücre çeperi bulunduğu için sitoplazma boğumlanması görülmez. Golgi aygıtı tarafından oluşturulan kesecikler hücrenin ortasında ara lamel (hücre plağı) oluştururlar. Ara lamel oluşumu hücrenin ortasında başlar ve hücre zarına gelinceye kadar devam eder. İki yeni hücre oluşmuş olur.



UYARI: Hayvansal hücrelerde ve birçok protista alemindeki canlıların hücrelerinde sitokinez evresi mitoz bölünmenin anafaz evresiyle başlar. Mitoz bölünmenin telofaz evresiyle birlikte sitokinez evresi de eş zamanlı olarak sonlanır.

Bitkisel hücrelerde ve alglerde sitokinez evresi mitoz bölünmenin telofaz ile başlar ve telofaz ile eş zamanlı olarak sonlanır.

Kısaca ifade etmek gerekirse mitoz bölünmenin bir kısmı ile sitokinezin bir kısmı eş zamanlı ilerler. Mitoz bölünme tamamlandığında sitokinez de tamamlanmış olur.

HÜCRE DÖNGÜSÜNÜN KONTROLÜ

Hücre döngüsü, genlerin kontrolünde gerçekleşen biyokimyasal reaksiyonlar dizisidir. Hücre döngüsünün temel kontrol noktaları G₁, G₂ ve M kontrol noktalarıdır. Bu kontrol noktalarında “dur” veya “devam et” sinyalleri döngüyü düzenler. Kontrol noktaları, hücre döngüsü sırasında bir önceki evrelerde gerçekleşmesi gereken biyokimyasal reaksiyonların gerçekleşmeden bir sonraki evreye geçilmesini engeller. Böylece hücredeki biyokimyasal reaksiyonlar eksiksiz olarak tamamlanıp yeni hücre oluşumuna olanak sağlanır.

G₁ Kontrol Noktası

İnterfaz G₁ evresinin sonunda ve S evresine başlamadan önce G₁ kontrol noktası görev yapar.

Hücre yeterli büyüklüğe ulaşmışsa, ortamda yeterli besin ve büyüme faktörü varsa, DNA da herhangi bir bozukluk bulunmuyorsa “devam et” sinyali ile hücre bir sonraki evreye başlar.

G₂ Kontrol Noktası

İnterfazın G₂ evresinde görev yapar. DNA hasarı ve hücrenin büyüklüğü kontrol edilir. Eğer DNA da bir bozukluk varsa bu durum düzeltilinceye kadar hücre döngüsü

durdurulur. Böylece karyokinez evrelerine geçilmesini engeller.

M Kontrol Noktası

Karyokinezin metafaz evresinde görev yapar. İğ ipliklerinin kromozomların kinetokor bölgesine bağlanması kontrol edilir. Kinetokorlar iğ ipliklerine düzenli ve eksiksiz tutunmazsa bir sonraki evre olan anafaz evresine geçilmesini engeller.

Hücre Bölünmesinin Kontrolünün Mekanizması

Hücre döngüsünün düzgün işleyebilmesi için kontrol noktalarında **siklin** ve **siklin bağımlı kinazlar** molekülleri bulunur.

Siklinler ve siklin bağımlı kinazların miktarındaki ve aktivitelerindeki düzenli değişimler hücre döngüsünün ardışık olaylarının akışını belirler. Büyümekte olan bir hücrede siklin bağımlı kinazlar sabit bir derişimde bulunur. Ancak bu moleküller hücrede çoğu zaman inaktif haldedir.

İnaktif siklin bağımlı kinazın aktif hale gelebilmesi için bir sikline bağlanması gerekir. Bu moleküllerin aktif hale geçmesiyle oluşan sinyallerle hücre döngüsünün başlaması ve devam ettirilmesi sağlanır.

Büyüme faktörü, hücrenin bölünmesini uyarmak üzere salınan bir faktördür. Büyüme faktörü etkisi ile uyarılan hücreler bölünür. Normal bir doku hücresinde bölünme belirli bir hücre sayısına ulaşıncaya kadar durur. Eğer bölünme durdurulmayıp sürekli devam etseydi vücut organlarında orantısız ve anormal büyümeler meydana gelirdi. Hücrelerde bulunan bazı proteinler bölünmeyi kontrol altında tutarak bu durumun oluşmasına izin vermezler.

Bazen büyüme faktörü yeterli düzeyde olmasa bile hücreler "dur" sinyaline cevap vermezler ve sürekli bölünebilirler. Bu durumda hücreler kontrolsüz olarak çoğalırlar. Sinyallere cevap vermeyip sürekli bölünen hücreler kansere sebep olur.

Kontrolsüz Hücre Bölünmesi (Kanserleşme)

Normal vücut hücresinde hücre döngüsü belirli genler tarafından düzenlenir. Bazı mutasyonlar bu genlerin etkinliğini değiştirerek kansere yol açabilir.

Bu mutasyonlar rastgele oluşabileceği gibi virüsler, bazı kimyasal maddeler, X ışınları, radyasyon gibi birtakım faktörler yoluyla meydana gelebilir.

Laboratuvar ortamında normal memeli hücresi kültüründe hücrelerin tümü ancak 20-50 kez bölünebilirken, kültürde üretilen kanser hücreleri yeterli besin sağlandığında sonsuz sayıda bölünebilir.

He La hücreleri kontrolsüz hücre bölünmelerine örnektir.

Normal bir hücrenin bölünme programının bozulmasıyla anormal bölünen kanser hücreleri meydana gelir.

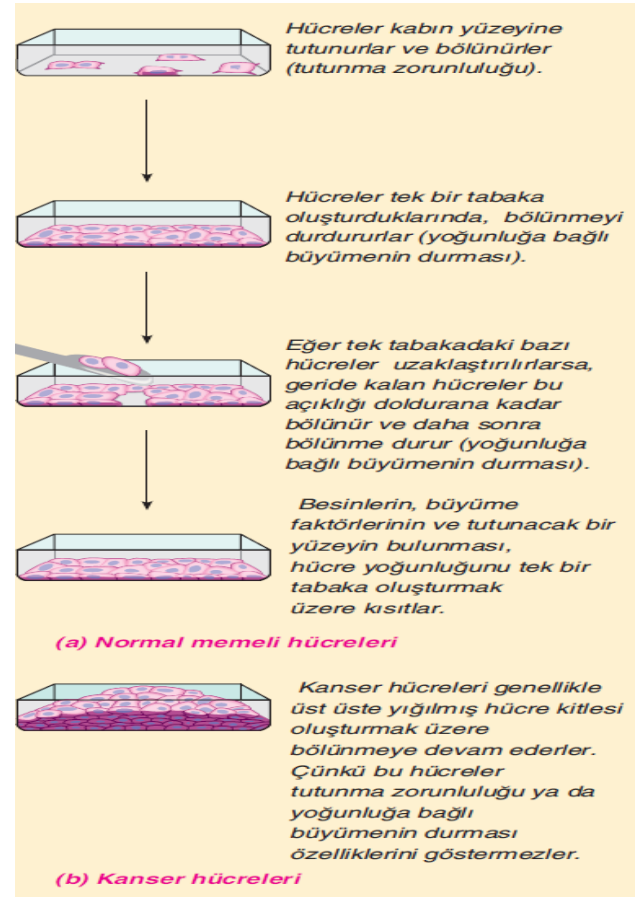
Kanserli hücrelerin normal hücrelere göre yapı ve fonksiyonlarında değişimler gözlenir. Bu hücrelerin çekirdekleri büyüktür. Kromozomlarında sayıca farklılıklar ve bozulmalar görülür. Ayrıca DNA ve RNA oranında da düzensizlikler meydana gelir. Sonuç olarak hücrelerde anormal bölünme, beslenme ve fonksiyon bozuklukları ortaya çıkar.

Vücudun bağışıklık sistemi kanserli hücreleri genellikle ortadan kaldırır. Ancak vücut bağışıklık sistemi ile ortadan kaldırılamayan kanser hücrelerinin bölünerek oluşturduğu hücre kitlesine tümör adı verilir.

Sürekli olduğu dokuda kalan ve etrafa yayılmayan tümörlere iyi huylu tümör adı verilir. İyi huylu tümörlerin çoğu önemli sorunlara neden olmazlar. Bu tümörler ameliyatla vücuttan tamamen alınabilirler.

Oluştığı dokudan kan ve lenf yoluyla vücuttaki farklı bölgelere yayılan gelişen tümörlere ise kötü huylu tümör adı verilir. Kötü huylu tümörlerin başlangıç bölgesinden ayrılarak farklı doku ve organlara yayılmasına **metastaz** denir.

Kanserli hücreler anormal beslendikleri için oluştukları dokunun fonksiyonunu bozarlar. Kanserleşen hücrelerin dokunun yapısını bozmasından dolayı doku görevini yapamaz ya da yetersiz yapar. Erken teşhis ve tedavinin yapılamaması durumunda ise dokulardaki bu fonksiyon bozukluğu canlının ölümüne yol açabilir.



EŞEYSİZ ÜREME

Bir bireyden başka bir canlıya gereksinim olmaksızın yavru bireylerin oluşmasıdır. Eşeysiz üreme; mitoz bölünmelerle, amitoz bölünmelerle veya binari fisyon gibi bölünmelerle yeni bireylerin oluşturulması sağlanır.

Eşeysel organlarına gerek duyulmaz. Tek bir birey üreme için yeterlidir. Oluşan yeni bireyler ata bireyleriyle genellikle aynı kalıtsal özelliktedir.

Eşeysiz üreme olayı canlıya ait üstün özelliklerin değişmeden yeni bireylere aktarılmasını olanak sağlar. Bu nedenle üstün özelliğin korunmasını sağlar. Özellikle tarımsal üretimde üstün özellikli bitkilerin ilgili üstün özelliklerini yitirmemeleri için eşeysiz olarak çoğaltılması sağlanır.

Eşeysiz üremede gamet oluşumu, döllenme ve zigot oluşumu görülmez. Eşeysiz üreme canlılara hızlı üreme olanakları sağlar. Böylece uygun ortam bulduklarında hızlı üremelerini sağlamış olurlar.

Eşeysiz üremede oluşacak başlangıç hücreleri mitoz bölünme veya mayoz bölünmeyle oluşmuş olabilir. Başlangıç hücreleri mayoz bölünmeyle oluşan ve eşeysiz üreyen aynı tür canlıların kalıtsal özellikleri birbirinden farklı olur. Erkek arılar buna örnek verilebilir. Erkek arıların kalıtsal özellikleri birbirinden farklıdır.

UYARI: Eşeysiz üreyen aynı tür canlıların aynı kalıtsal özellikleri göstermesi her zaman beklenemez.

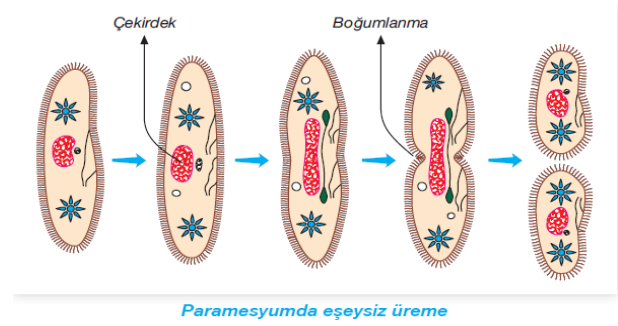
EŞEYSİZ ÜREME ÇEŞİTLERİ

1. Bölünerek Üreme

Tek hücreli canlılarda görülen en basit üreme şeklidir.

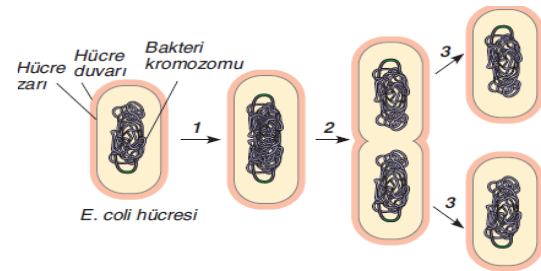
Mitoz bölünme, amitoz bölünme ve doğrudan ikiye bölünme (binari fisyon) esasına dayanır. İkiye bölünerek üreme prokaryot hücreli canlılardan bakteri ve arkelerde gözlenir. Ökaryotik hücre yapısına sahip olan amip, paramesyum ve öglena gibi canlılarda ikiye bölünerek üreyebilirler. İkiye bölünme paramesyumda hücrenin enine bölünmesiyle, öglenada hücrenin boyuna bölünmesiyle, amipte ise hücrenin herhangi bir yönden bölünmesiyle gerçekleşir.

UYARI: Bakterilerde görülen ikiye bölünmeyle üreme olayı mitoz bölünmeyle sağlanmaz. Bakterilerde doğrudan ikiye bölünme olayı gözlenir. Bakterilerdeki ikiye bölünme olayına binari fisyon adı verilir. Bakteriler ve arkeler mitoz bölünme geçiremezler.



Paramesyumda eşeysiz üreme

Bölünerek çoğalma en hızlı üreme şekilleri arasında sayılır. E. coli bakterisi sıcaklık ve besin bakımından uygun koşullar altında 20 dakikada bir bölünebilir. Böylece bir E. coli bir saatlik zaman diliminde 8 bakteriye ulaşabilir.



Bir bakterinin eşeysiz üremesinde, bakteri hücresinin halkasal DNA'sı belirli bir noktadan başlayarak eşlenir. Hücre boyca uzar. DNA moleküllerinden her biri hücrenin zıt kutuplarına doğru hareket eder. DNA'yı zıt kutuplara doğru hareket ettiren hücre zarı uzantılarıdır. Bakterilerde iğ ipliği bulunmaz. Bakteri hücresinin zarı içeri doğru boğumlanma yapar. Bu boğumlanma hücre zarı uzantılarıyla sağlanır. Bakteri hücrelerinde mikrofamentler bulunmaz. Hücre zarı boğumlanmasını takip eder şekilde hücre duvarlarının oluşmasıyla iki yeni bakteri oluşur. Oluşan yeni bakteriler genetik olarak genellikle aynı olurlar. Oluşan yeni bakteriler genetik olarak kesinlikle aynıdır diyemeyiz.

2. Tomurcuklanarak Üreme

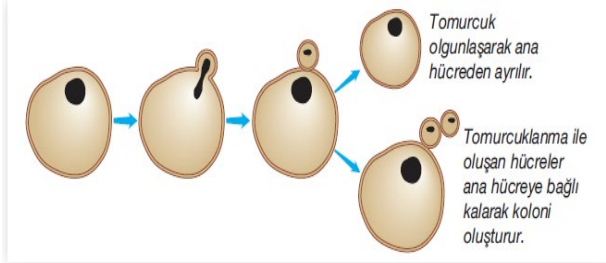
Ana canlının bir bölgesinde meydana gelen ve tomurcuk adı verilen yapılardan yeni bireylerin meydana gelmesine tomurcuklanma ile üreme adı verilir.

Tomurcuklanmada ana canlının vücudundan dışarıya doğru bir çıkıntı oluşur. Oluşan bu çıkıntıya tomurcuk adı verilir. Tomurcuk büyüyerek yeni canlıyı meydana getirir. Oluşan tomurcuk bağımsız olarak yaşayabildiği gibi ana canlıya bağlı olarak da yaşayabilir. Tomurcuklar ana canlıya bağlı olarak yaşarsa koloni adı verilen topluluklar oluşur.

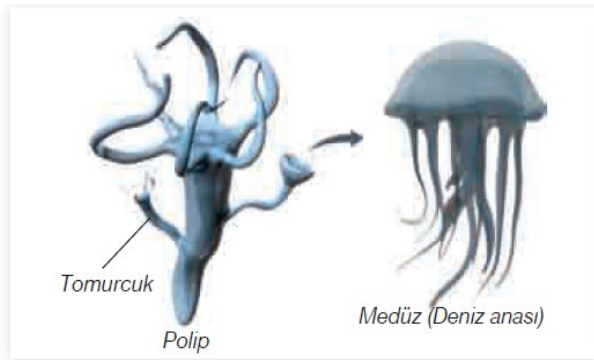
Sölenterler sınıfında incelenen canlılarda tomurcuklanma görülür. Bu canlıların hayat evresinde polip ve medüz olmak üzere iki evre bulunur. Ana canlıya bağlı kalan ya da zemine tutunarak yaşayan canlıya polip adı verilir. Polipler koloni oluşturabilir. Bu kolonideki poliplerden eşeysiz üremeyle çoğalıp ayrılarak, yaşamını serbest olarak

sürdüren bireylere ise medüz adı verilir. Medüzlerde tomurcuklanma görülmez.

Tomurcuklanma maya mantarlarında, hidra ve mercan gibi canlılarda görülür.



Bira mayasında tomurcuklanma



Hidrada koloni oluşturan polip ve bağımsız yaşayan deniz anası

3. Sporla Üreme

Bu tip üreme bazı bir hücreli canlılarda, mantarlarda ve tohumuz bitkilerde görülür.

Bu canlılar spor adı verilen özel hücreler meydana getirirler. Sporlar olumsuz ortam koşullarına dayanıklı, kalın bir çeperle örtülü olan özelleşmiş hücrelerdir. Oluşan spordan yeni bir bireyin meydana gelmesine sporla üreme adı verilir.

Bitkilerdeki yaşam döngüsünde $2n$ kromozomlu çok hücreli evrenin n kromozomlu çok hücreli evreyi takip etmesi olayı olan **metagenez** görülür. Metagenezde genellikle sporlar mayoz bölünmeyle, gametler mitoz bölünmeyle oluşturulur.

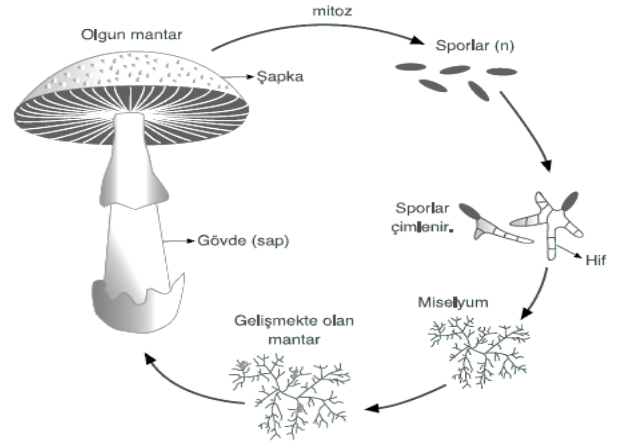
NOT: Metagenez bitkilerin üremesinde ortak bir özelliktir.

a. Mantarlarda Sporla Üreme

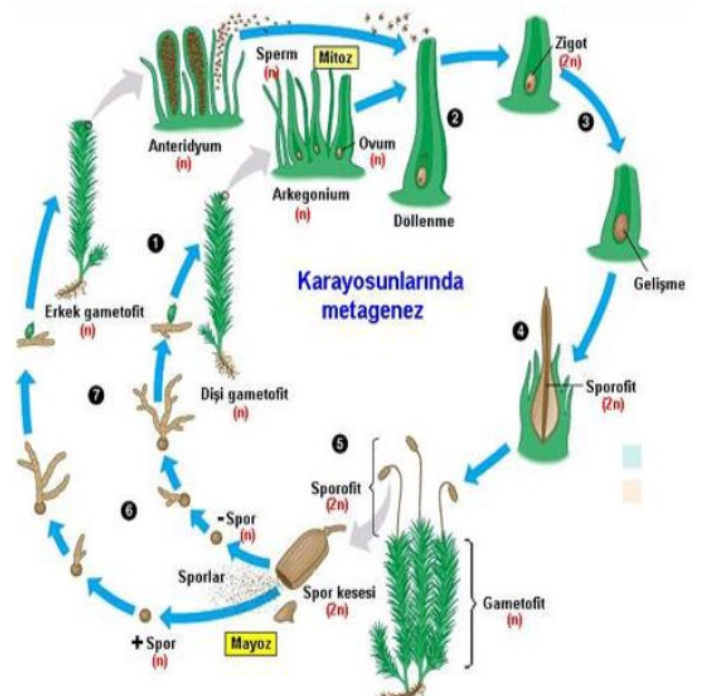
Mantarlar eşeli veya eşeysiz üreme yoluyla oluşan sporlarla çoğalır. Mantarların besin kaynağına ulaşabilmesi için çok sayıda sporun ortama yayılması gerekir.

Mantar sporları uygun bir ortama ulaştığında yapışkan bir madde olan musilaj salgılayarak tutunurlar. Burada gelişerek hifleri ve miselleri oluştururlar.

Mantarlarda spor oluşumu mayoz bölünme veya mitoz bölünme ile gerçekleşebilmektedir.



b. Karayosunlarında Sporla Üreme



Spor keselerinde mayoz bölünmeyle haploit (n) kromozomlu sporlar oluşur.

Spor keselerinin patlaması sonucu serbest kalan sporların çimlenmesi sonucu dişi ve erkek gametofit bitkiler meydana gelir.

Dişi gametofit mitoz bölünmeyle yumurtayı oluştururken, erkek gametofit de mitoz bölünmeyle spermleri oluşturur.

Gametlerin döllenmesiyle dişi gametofit üzerinde zigot meydana gelir.

Zigot gelişip büyüyerek sporofiti oluşturur.

Karayosunlarının yaşam döngüsünde haploit evre çok uzun diploid evre çok kısadır.

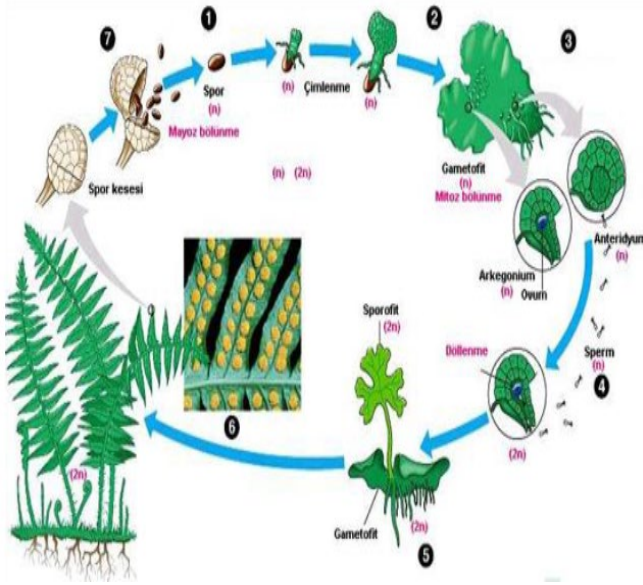
c. Eğrelti Otlarında Sporla Üreme

Sporfit bitkilerde bulunan spor keselerinde mayoz bölünmeyle haploit (n) kromozumlu sporlar oluşur.

Sporlar uygun ortama düştüklerinde çimlenerek gametofitleri oluştururlar. Gametofit bitki rizoit adı verilen kökçüklerle toprağa tutunur.

Herbir gametofitin alt yüzeyinde erkek üreme organı (anteridyum) ve dişi üreme organı (arkegonyum) meydana gelir.

Gametofit bitki üzerinde mitoz bölünmeyle dişi üreme organından yumurta hücresi, erkek üreme organından kamçı sperm hücreleri oluşur.



Spermin yumurtayı dölemesi sonucu gametofit bitki üzerinde zigot meydana gelir.

Zigot dişi üreme organı içinde mitoz bölünmelerle gelişerek yeni bir sporfit oluşturur. Sporfit bitki dişi üreme organından dışa doğru büyürken, gametofit bitki iyice küçülür. Böylece yaşam döngüsü tamamlanmış olur.

Eğrelti otlarında sporofit bitki (2n) evre hakimdir. Gametofit (n) evre daha kısadır.

d. Plazmodyumun Sporla Üremesi

Anofel cinsi sivrisineğin dışısının tükürük bezlerinde yaşayan plazmodyum anofelin kan emmesiyle insanlara geçer. Kan dolaşımı yoluyla karaciğer, dalak ve kırmızı kemik iliğine ulaşır.

Karaciğer, dalak ve kemik iliğinde çoğaldıktan sonra tekrar kana dönerek alyuvarlara girer.

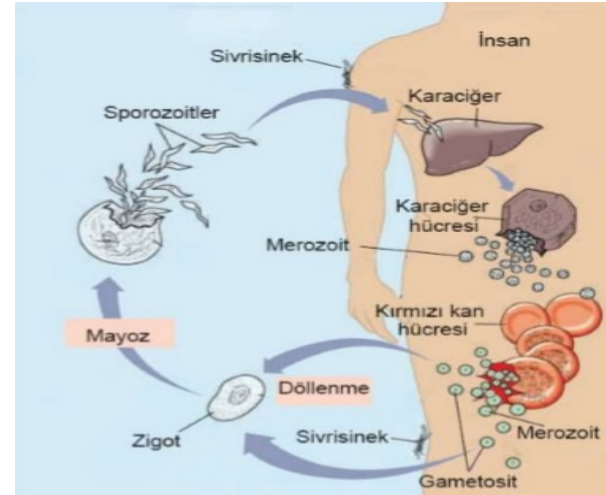
Alyuvar içinde büyüyen plazmodyum sporları amip şeklini alır. Buna şizont adı verilir.

Alyuvar içinde şizont endomitozla çok sayıda çekirdek oluşturur. Bu çekirdeklerin etrafında bir miktar sitoplazma toplanarak merozoitleri oluşturur.

Artan merozoitler alyuvarları patlatır. Bu olay sürekli tekrarlanabilir. Bunun sonunda insanda üşüme ve ateş şeklinde sıtma nöbetleri baş gösterir. Tekrarlanan bu olaylar sırasında bazı merozoitler dişi ve erkek gamet halini alır. Böylece plazmodyumun insandaki eşeysiz yaşam döngüsü tamamlanmış olur.

Eğer bu hastayı yeniden sivrisinek ısırırsa gametler sivrisineğin sindirim borusuna (mide) geçerek döllenir. Oluşan zigot bağırsak epiteline yerleşir. Zigot burada mayoz bölünmeyle sporları oluşturur. Oluşan sporlar hemolenf sıvısı ile sivrisineğin tükürük bezine taşınır. Sivrisineğin kan emmesi ile bu sporlar tekrar insana geçer.

Plazmodyumun insan kanındaki eşeysiz üremesine **şizogoni**, sivrisineğin bağırsak epitelindeki eşeyli üremesine de **sporogoni** adı verilir.

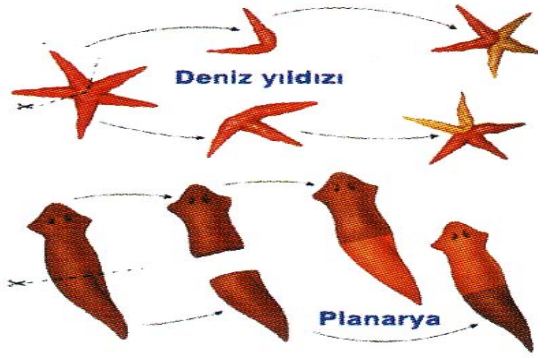


4. Rejenerasyonla Üreme

Canlıların çeşitli nedenlerle zarar gören veya kopan kısımlarının yenilenmesi olayıdır. Rejenerasyon olayında asıl amaç üreme değil, eksilen ya da zarar gören vücut kısımlarının tamamlanmasıdır. Canlılarda rejenerasyon kabiliyeti canlıların gelişmişlik düzeyi ters orantılıdır. Canlıların gelişmişlik düzeyi arttıkça rejenerasyon kabiliyeti azalır.

Rejenerasyonla üreyen canlılar normal şartlarda eşeyli üremeyle de çoğalabilirler. Planarya, toprak solucanı ve denizyıldızı gibi canlılarda rejenerasyon ile üreme görülür.

UYARI: Kertenkelenin kopan kuyruğunun yenilenmesi bir rejenerasyondur. Fakat üreme değildir.

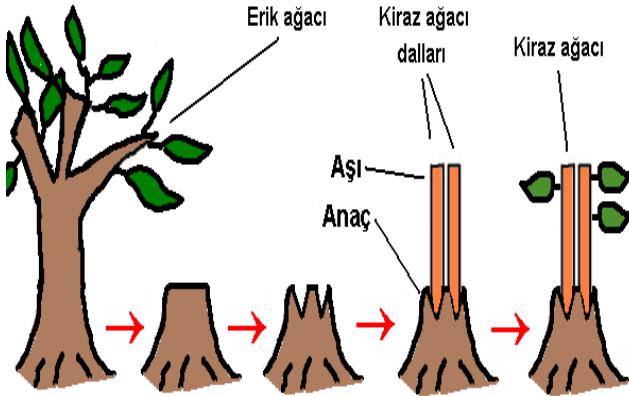


5. Vejetatif Üreme

Bitkilerde görülen yenilenmeye bağlı üreme şeklidir. Ata bitkiden alınan bir parçadan yeni bir bireyin meydana getirilmesidir.

Vejetatif üreme; çelikle üreme, sürüncü gövde ile üreme, soğan ile üreme, yumru ile üreme, doku kültürü yöntemiyle üreme, aşılama, daldırma gibi çeşitleri vardır.

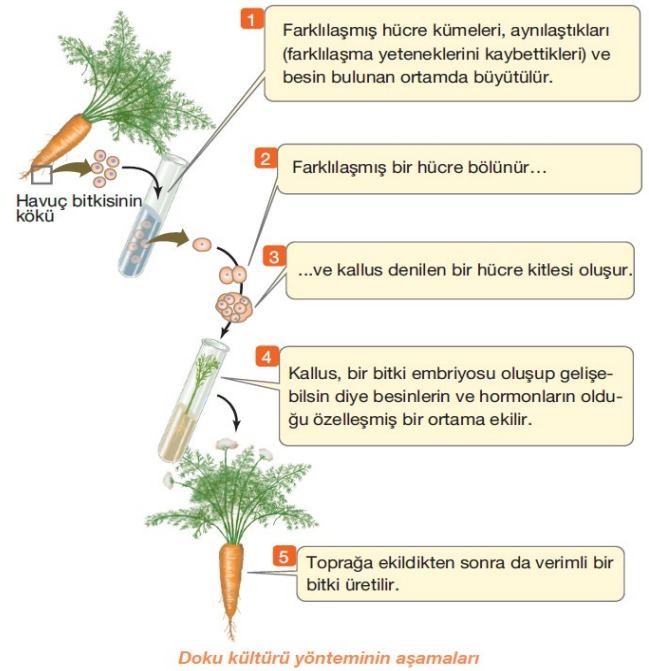
UYARI: Aşılama ile vejetatif üreme sonucu ortaya çıkan bitkide iki farklı genetik özellikte hücreler bulunur. Bitkinin kök kısmı farklı genetik özellikte, sürgün kısmı farklı genetik özelliktedir.



Doku Kültürü Yöntemiyle Vejetatif Üreme

Biyoteknolojinin gelişmesiyle birlikte biyoteknolojiden yararlanılarak bitkilerin vejetatif üreyebilme özelliği kullanılarak doku kültürü yöntemiyle bitkiler çoğaltılabilmektedir. Bu yöntem kaybolmakta olan türlerin korunması, üretilmesi zor olan türlerin çoğaltılması ve ticari önemi olan bitkilerin çok sayıda elde edilmesi gibi amaçlarla kullanılır.

Doku kültürü yöntemi; steril şartlarda yapay bir besin ortamında bitkinin hücre, doku veya organ gibi kısımlarından yeni doku, bitki ya da bitkisel ürün üretilmesidir. Doku kültürü yöntemi ile istenilen özelliklere sahip bitkilerin çok fazla sayıda kopyası oluşturulabilir. Bu yöntemden mısır, buğday, pirinç, soya fasülyesi gibi bitkilerin ıslah çalışmalarında faydalanılmaktadır. Ayrıca hibrit orkide, manolya, gül, zambak gibi değerli süs bitkilerinin hızlı çoğaltılmasında da doku kültürü yöntemi kullanılmaktadır.



Doku kültürü yönteminin aşamaları

Vejetatif Üremenin Tarımsal Üretimdeki Önemi

Vejetatif üreme, tarımsal üretimde büyük avantajlar sağlar. Tohum ile üretilmesi mümkün olmayan muz, çekirdeksiz üzüm, kavak, söğüt gibi bitkiler vejetatif üreme yoluyla üretilir.

Vejetatif üreme tohumla üremeye göre daha kısa sürede gerçekleşir. Ayrıca genetik yapısı nedeniyle belirli bir çevreye uyum sağlamış bireylerin, genetik yapılarında değişme olmadan daha hızlı yayılması sağlanır. Pek çok bitki türü yaprak, kök ve gövde parçaları kullanarak seralarda ve fidanlıklarda vejetatif yolla üretilmektedir. Kültür bitkilerini, meyve ağaçlarını ve süs bitkilerini vejetatif yolla üretmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir.

6. Partenogenez

Bazı hayvan türlerinde döllenmemiş yumurtadan yeni bir bireyin meydana gelmesidir.

Genellikle eklem bacaklılardan arılarda, su pirelerinde, bazı kelebek türlerinde, yaprak bitlerinde ve karıncalarda görülür. Eklem bacaklıların dışında bazı balık türlerinde, kurbağalarda, sürüngenlerde ve bazı kuşlarda partenogenezle üreme görülebilir.

Partenogenez; haploid partenogenez, diploid partenogenez ve deneysel partenogenez gibi çeşitleri vardır. Biz buradaki konu anlatımımızda haploid partenogenez çeşidi olan arılardaki partenogenezle inceleyeceğiz.

Bal Arılarda Partenogenez

Kraliçe arının mayoz bölünmeye meydana getirdiği yumurtanın döllenme olmaksızın mitoz bölünmelerle gelişmesi sonucu erkek arılar meydana gelir. Bu erkek arıların meydana gelmesi olayı partenogenezle üretilir.

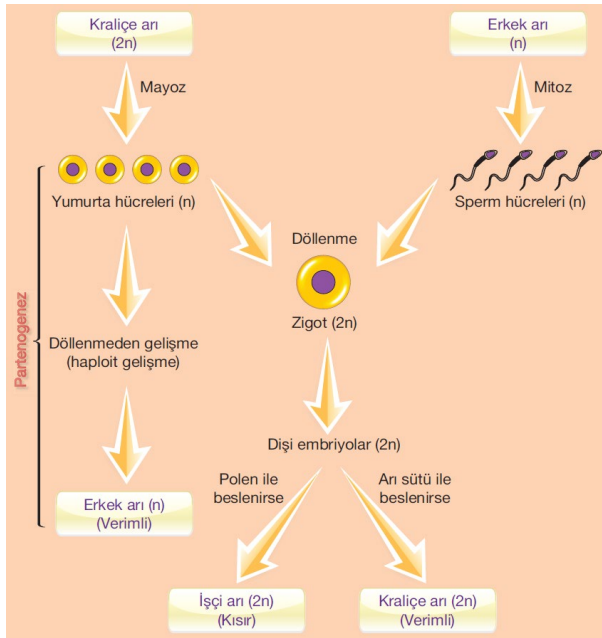
Erkek arılar mayoz bölünme sonucu oluşan yumurtaların mitoz bölünmesi sonucu geliştiklerinden, erkek arıların kalıtsal yapıları farklılık gösterir.

Oluşan yumurtalar kraliçe arının yumurta kanalında döllenirse zigot meydana gelir. Bu zigot arı sütü içinde beslenerek gelişimini tamamlarsa kraliçe arıyı, polen ile beslenerek gelişimini tamamlarsa işçi arıyı oluşturur.

İşçi arı ve kraliçe arının cinsiyetleri dişidir. Fakat işçi arılar kısırdır. Kraliçe arılar ise doğurgandır.

İşçi arı ve kraliçe arının beslenme farkından doğan farklılıkları bir modifikasyon örneğidir.

Erkek arılar mitoz bölünmeyle sperm üretirler. Haploit kromozom yapısına sahiptirler.



Diploid Partenogenez

Bazı balıklar, iki yaşamlı canlılar ve sürüngenlerde görülen partenogenezde ise diploit (2n kromozomlu) bireyler oluşur. Örneğin kamçı kuyruklu kertenkelelerde erkek birey yoktur sadece dişi bireyler vardır. Dişi bireyin mayoz bölünmeyle ürettiği yumurta kutup hücresiyle kaynaşarak kromozom sayılarını iki katına çıkarak diploit hücre oluşturur. Diploit hücre, mitozla gelişerek yeni bireyi meydana getirir.



Deneysel Partenogenez

Bazı canlı türlerinin yumurtaları spermle döllenme olmaksızın gelişim başlatılması için laboratuvar ortamında yapay olarak uyarılabilir. Bu duruma yapay partenogenez adı verilir. Yapay partenogenezde çoğunlukla embriyo anomali gösterdiği için gelişim gösteremez ve ölür.

MAYOZ BÖLÜNME VE EŞEYLİ ÜREME

Mayoz bölünme, diploit kromozomlu hücrelerde kromozom sayısını yarıya indirerek haploit kromozom sayısına sahip gametler oluşturan bir hücre bölünmesidir. Diploit (2n) kromozomlu hücrelerden haploit (n) kromozomlu hücreler oluşur. Mayoz bölünme, eşeyli üreme yapan canlılarda gamet oluşumunda etkili olan özel bir bölünme şeklidir.

İnsanlarda oogonium ve spermatogonium hücreleri mayoz bölünme geçirebilir. Somatik hücreler diploit hücre tipinde olmalarına rağmen mayoz bölünme geçiremezler.

Mayoz bölünme sonucu oluşan gametlerin döllenme ile birleşmesi sonucu oluşan zigotun kromozom yapısı 2n'dir. Dolayısıyla mayoz bölünme ve döllenme olayları eşeyli üreme yapan canlılarda tür içinde kromozom sayısının sabit kalmasını sağlar.

Mayoz bölünme ve döllenme olayları tür içi çeşitliliğin (kalıtsal varyasyon) oluşmasında etkilidir.

MAYOZ BÖLÜNME

Mayoz Bölünmenin Genel Özellikleri

Mayoz bölünme canlıların üreme ana hücrelerinde meydana gelir.

Mayoz bölünme sonucu oluşan hücreler haploit olduklarından ana canlıya ait kromozom çiftlerinden sadece bir tanesini bulundurlar.

Mayoz bölünme canlılarda kalıtsal çeşitliliğe neden olan olayları içerdiğinden, mayoz bölünme sonucunda oluşan hücreler birbirinden ve ana canlıdan farklı özelliklere sahip olabilirler.

Mayoz bölünme canlıların üreme döneminde görülür. Hayat boyu devam eden bir bölünme tipi değildir.

Mayoz bölünme birbirini takip eden iki aşamadan meydana gelir. (mayoz-I ve mayoz-II)

Mayoz bölünme sonucu oluşan bir hücre tekrar mayoz bölünme geçiremez. Fakat mitoz bölünme geçirebilir.

Mayoz bölünmede bir defa interfaz evresi meydana gelir.

Mayoz bölünme sonucunda erkek bireylerde dört haploit hücre, dişi bireylerde haploit bir hücre oluşur. Hayvanlarda erkek bireylerin mayoz bölünme sonucu oluşturduğu haploit hücrelere sperm adı verilir. Dişi bireylerin

mayoz bölünme sonucu oluşturduğu hücrelere yumurta adı verilir. Dişi bireyler mayoz bölünme sonucunda bir yumurta hücresi oluştururlar.

HÜCRE DÖNGÜSÜ

A. İNTERFAZ

İnterfaz bölünme safhası olmayıp hücrenin yaşam safhasıdır. İlgili hücreye bölünmesi için uyarı verilmediği sürece hücre bu safhada kalmaya devam eder. Mayoz bölünmeye katılacak hücreler hormonal uyarı verildiğinde interfazın G₁ evresinde metabolizma faaliyetleri hızlanır. Ardından S ve G₂ safhalarına hızla geçilir. Hormonal uyarı verilmediğinde hücre interfazın G₁ evresinde rutin yaşamına devam eder. Kısaca özetlemek gerekirse interfaz; G₁, S ve G₂ olmak üzere üç evreden oluştuğu görülür.

UYARI: İnsan dişi bireylerinde mayoz bölünme geçirecek olan hücreler, hücre döngüsünün interfaz safhasına ait metabolik olaylar doğum öncesi 5-6 aylarda gerçekleşir. İnterfazı tamamlayan bu hücreler mayoz bölünmeye başlarlar. Mayoz bölünmenin profaz I evresinde bekletilir. Ergenlikten sonra FSH hormonu etkisiyle uyarılan bu profaz I evresindeki hücrelerden bir kısmı mayoz bölünme reaksiyonlarına devam eder.

1. G₁ Evresi

G₁ evresi hücrenin rutin yaşam evresidir. Özellikle hormonların etkisiye ilgili hücre uyarılır. Uyarılan hücrede metabolik faaliyetler hızlanır. Metabolik faaliyetlerin hızlanmasına bağlı olarak hücrede organel sayılarında artış meydana gelir. Ayrıca metabolik faaliyetlerin artışına bağlı olarak organik madde (protein, nükleoit, enzim...) sentezi artar. Sitoplazma miktarında artış meydana gelir. Sitoplazma miktarındaki artışa bağlı olarak hücre hacminde artış meydana gelir. Hücredeki hacim artışı hücre zarı artışından fazla olur. Bu artışların sonucunda hücre zarındaki madde geçişleri sitoplazmanın ihtiyacını karşılayamaz hale gelir. Bu durum hücreyi bölünmeye zorlayan bir etken olarak düşünülebilir.

RNA sentezi hızlanır. Böylece protein sentezi de hızlanır.

Metabolizma hızlanır. Hızlanan metabolizmanın kontrol edilmesi için enzimler sentezlenir. Metabolizma hızı en yüksek düzeye ulaşır. Buna bağlı olarak ATP sentezi ve tüketimi hızlanır.

Nükleotid sentezi yapılır. Sentezlenen nükleotitler çekirdek sıvısına geçerler.

G₁ evresinin sonunda, sentezlenen organik maddelerin yeterli olup olmadığı kontrol edilir. Bu kontrole G₁ kontrolü adı verilir. G₁ kontrolü sonunda hücredeki sentezlenmiş organik maddeler yeterli ve eksiksiz ise S evresine geçilir. Eksiklikler varsa tamamlanması için hücre S evresine geçirilmez bekletilir. Bu bekletme eksikliklerin tamamlanmasına kadar sürer.

S Evresi

Çekirdek DNA'sı kendini eşler. Hücredeki eş DNA miktarı iki katına çıkar. Eş DNA'lar daha sonra histon proteinlerine sarılarak kromatin iplikleri oluşturur. Oluşan eş kromatin iplikler sentromer proteinleri ile birbirine tutunur. Böylece eş kromatidler meydana gelir.

Eğer hücre sentrozoma sahip bir hücreyse, mikrotübüller kümelenecek sentriolleri oluştururlar. Sentrioller de bir araya gelerek sentrozomları oluşturur.

G₂ Evresi

Bu evrede G₂ kontrolü olarak adlandırılan hücresel kontrol yapılır. Bu kontrolde özellikle DNA eşlenmesinde hata olup olmadığı kontrol edilir. Hata varsa düzeltilmesi sağlanır. Hata yoksa mayoz'a geçişe müsaade edilir.

En kısa süren evredir. RNA ve protein sentezi devam eder.

ATP sentezi devam eder.

B. MAYOZ I

1. Profaz I

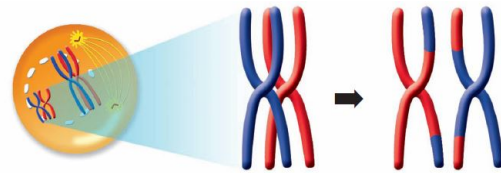
Profaz I çok uzun süren karmaşık bir evredir. Kromatitler katlanıp yoğunlaşarak kromozomlar oluşur. Oluşan kromozomlar kendi homologlarıyla çift oluştururlar.

Çekirdek zarını oluşturan endoplazmik retikulum hücre zarına doğru çekilir. Böylece çekirdek zarı görünmez olur. Çekirdekçik yapısı da görünmez olur.

Homolog kromozom çiftleri yan yana gelerek dördü kromatitli demetleri oluştururlar. Bu yapıları **tetrad** adı verilir. Tetrad sayısı canlının kromozom sayısının yarısı kadardır.

Homolog kromozomların eş olmayan kromatitleri birbirine sarılır. Bu olaya **sinapsis** adı verilir. Homolog kromozomların eş olmayan kromatitlerinin temas noktasına da **kiyazma** adı verilir. Kiyazmalar homolog kromozom çiftlerini metafaz I evresine kadar bir arada tutar.

Homolog kromozomların kiyazma noktalarında gen değişimi yapmalarına **cross over** adı verilir. Cross over yeni gen kombinasyonlarının ortaya çıkmasına aracılık eder. Böylece kromozomlardaki DNA'lar rekombinant (değişime uğramış) DNA haline gelir.



Cross over olayı sonunda hem anneden hem de babadan gelen genleri bir arada taşıyan rekombinant DNA'ya sahip kromozomlar oluşur. Bu durum tür içi çeşitliliği artırır.



2. Prometafaz I

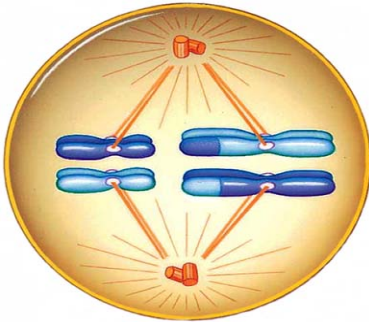
İğ ipliklerinin sentrozomlar tarafından veya sitoplazmadaki kümelenmiş mikrotübüller tarafından oluşturularak eş kromatitlerin kinetokor bölgesine bağlanması gerçekleşir. Kromozomlar iğ iplikleri vasıtasıyla metafaz plağına (orta düzleme) doğru hareket eder.

3. Metafaz I

Kinetokorlarından iğ ipliklerine tutunmuş kromozomlar hücrenin orta düzlemine homolog kromozomlar (tetradlar) halinde dizilirler. Homolog kromozomların dizilişindeki konum kalıtsal çeşitliliğin oluşmasına aracılık eder.

Kromozomların en iyi izlendiği evredir. Bu evrede kromozomların fotoğrafları çekilebilir.

Kromozomların karyotip analizleri yapılır. Bu evrede kromozomal bir hasarın varlığı tespit edilir.

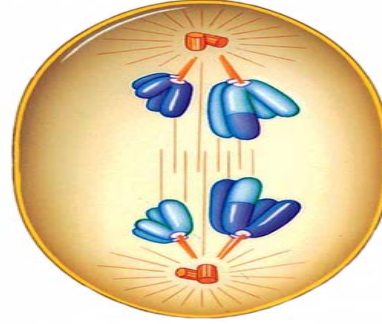


5. Anafaz I

Homolog kromozomlar iğ iplikleri yardımıyla birbirinden ayrılarak zıt kutuplara çekilir. Bu farklı kutuplara çekilme olayı rastgele gerçekleşir. Bu sayede kalıtsal çeşitlilik sağlayacak şekilde homolog kromozomlar birbirinden ayrılmış olur.

Eş kromatitleri bir arada tutan senromerler bölünmesi meydana gelmez. Eş kromatitler bir arada bulunur. Eş kromatitler bir arada bulunduğundan kromozom sayısı değişmez.

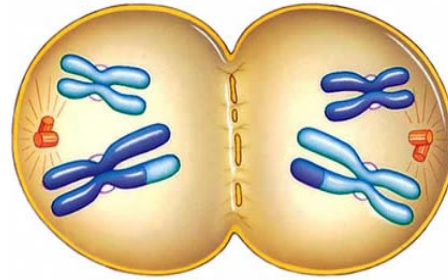
Kinetokorlara bağlı olmayan iğ iplikleri hücrenin zıt kutuplarına doğru uzayarak hücrenin boyca uzamasını sağlar. Ayrıca kromozomların hareketine katkı sağlar. Hücrenin boyca uzaması hayvan hücrelerinde sitokinezin başlama- sına yol açar.



4. Telofaz I

Kromozomlar uzayarak kromatin iplik haline dönüşür. İğ iplikleri kaybolur.

Endoplazmik retikulumlar yakın oldukları taraftaki kromatin ipliklerin etrafına doğru uzanarak yeniden çekirdek zarını oluştururlar. Böylece hücre iki çekirdekli hale gelir. Çekirdek zarı oluşuktan sonra çekirdekçik yeniden görünür hale gelir. Hücre haploit kromozom taşıyan iki çekirdekli hale gelir.



C. SİTOKİNEZ I (SİTOPLAZMA BÖLÜNMESİ)

Haploit kromozoma sahip iki yeni hücre oluşur. Böylece kromozom sayısı yarıya iner.

Hayvan hücrelerinde sitoplazma dıştan içe doğru boğumlanma yaparak hücreyi ikiye ayırır.

Sitoplazma boğumlanması sırasında aktin proteinlerinden oluşan mikrofamentler görev alır.

Sitokinez ekvatorial bölgede çok derin olmayan bir oluğun oluşumu ile başlar. Bu oluğun sitoplazmaya bakan tarafında mikrofamentlerin oluşturduğu kasılabilen bir halka bulunur. Bu halka sitoplazmayı ikiye bölecek şekilde kasılarak daralır ve hücre boğumlanarak ikiye bölünür.

Bitki hücrelerinde hücre çeperi bulunduğundan dolayı sitoplazma boğumlanması görülmez.

Golgi aygıtı tarafından oluşturulan kesecikler hücrenin ortasında ara lamel (hücre plağı) oluştururlar.

Ara lamel oluşumu hücrenin ortasında başlar ve hücre zarına gelinceye kadar devam eder. İki yeni haploid hücre oluşmuş olur.

UYARI: Hayvansal hücrelerde sitokinez evresi anafaz evresiyle başlar. Telofaz evresiyle birlikte sitokinez evresi eş zamanlı olarak sonlanır.

Bitkisel hücrelerde sitokinez evresi telofaz ile başlar ve telofaz ile eş zamanlı olarak sonlanır.

Kısaca ifade etmek gerekirse mitoz bölünmenin bir kısmı ile sitokinezin bir kısmı eş zamanlı ilerler. Mitoz bölünme tamamlandığında sitokinez de tamamlanmış olur.

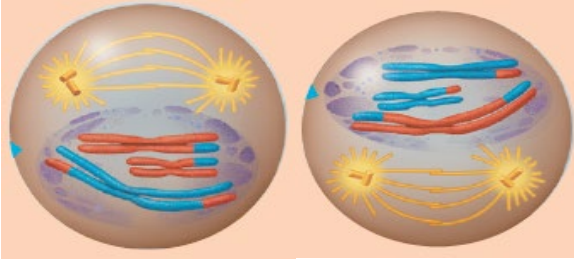
D. MAYOZ II

Mayoz II ana hatlarıyla mitoz bölünmeye benzerlik gösterir. Fakat profaz I evresinde cross over meydana geldiğinden eş kromatitlerdeki DNA niteliklerinde farklılıklar ortaya çıkar. Bundan dolayı **kromatitler eş olma özelliğini yitirirler**. Kromatitleri oluşturan DNA niteliklerinde farklılıklar olduğundan mayoz II bölünmesi sonucunda oluşan hücreler kalıtsal olarak farklı olabilir.

1. Profaz II

Kromatin iplikler katlanarak yoğunlaşır. Böylece kısalıp kalınlaşan kromatin iplikler tekrar kromozomları oluşturur. Hücrede sentrozom varsa sentriollere ayrılır ve hücrenin zıt kutuplarına hareket ederler. Çekirdek zarını oluşturan endoplazmik retikulum hücre zarına doğru çekilir. Böylece çekirdek zarı görünmez olur.

UYARI: Hayvan hücrelerinde iğ ipliklerini sentrozom oluştururken, bitki hücrelerinde kümelenmiş mikrotübüller oluşturur.

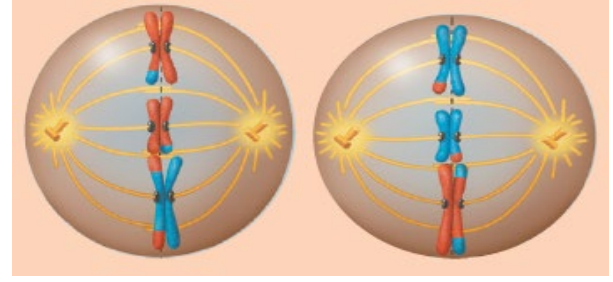


2. Prometafaz II

İğ ipliklerinin sentrozomlar tarafından veya sitoplazmadaki kümelenmiş mikrotübüller tarafından oluşturularak eş kromatitlerin kinetokor bölgesine bağlanması gerçekleşir. Kromozomlar iğ iplikleri vasıtasıyla metafaz plağına (orta düzleme) doğru hareket eder.

3. Metafaz II

Kinetokorlarından iğ ipliklerine tutunmuş haploit kromozomlar hücrenin orta düzlemine tek sıra halinde dizilirler. Kromozomların diziliş konumu kalıtsal çeşitlilik sağlanmasında etkili olmaktadır. Bunu sebebi mayoz I'in profaz I evresinde gerçekleşen cross-over'dan kaynaklanmaktadır.



4. Anafaz II

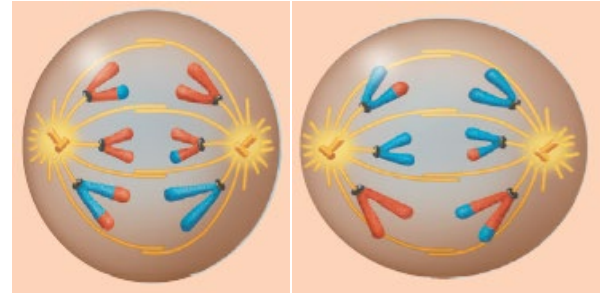
Kromozomların sentromerleri ikiye bölünür.

Eş özelliğini mayoz I profaz I'deki cross over ile yitirmiş olan kromatitler iğ iplikleri yardımıyla birbirinden ayrılarak farklı kutuplara çekilir. Bu kromatit ayrılması kalıtsal çeşitliliğin artırılmasında etkili olmaktadır.

Birbirinden ayrılmış olan kromatitler enzimler yardımıyla bağımsız kromozomlara dönüşürler. Böylece kromatitler birbirinden ayrıldıktan sonra hücredeki kromozom sayısı iki katına çıkar. Buradaki kromozom sayısının iki katına çıkması sayısal artıştır. Hücrenin diploit hale gelmesi değildir. Hücrenin diploit hale gelmesi her kromozomun homologuyla birlikte aynı hücrede bulunmasıyla sağlanır.

Kinetokorlara bağlı olmayan iğ iplikleri hücrenin zıt kutuplarına doğru uzayarak hücrenin boyca uzamasını sağlar. Böylece kromozomlar birbirinden daha kolay ayrılmış olur. Ayrıca kromozomların hareketine katkı sağlar. Hücrenin boyca uzaması hayvan hücrelerinde sitokinezin başlamasına neden olur.

Anafaz evresinin sonunda hücrenin her iki kutbunda benzer kromozomlardan birer tane kromozom bulunur.



5. Telofaz II

Kromozomlar uzayarak kromatin iplik haline dönüşür. İğ iplikleri kaybolur.

Endoplazmik retikulumlar yakın oldukları taraftaki kromatin ipliklerin etrafına doğru uzanarak yeniden çekirdek zarını oluştururlar. Böylece hücre iki çekirdekli hale gelir. Çekirdek zarı oluştuktan sonra çekirdekçik yeniden görünür hale gelir. Bu evrede hücredeki kromozom normal kromozom sayısının iki katı durumundadır.

E. SİTOKİNEZ II

Sitokinez evresinde hücre ikiye bölünür. Böylece kromozom sayısı yarıya iner. Burada kromozom sayısının yarıya inmesi anafaz II evresinde iki katına çıkan kromozom sayısının yarıya inmesidir.

UYARI: Hayvansal hücrelerde sitokinez evresi anafaz evresiyle başlar. Telifaz evresiyle birlikte sitokinez evresi eş zamanlı olarak sonlanır.

Bitkisel hücrelerde sitokinez evresi telifaz ile başlar ve telifaz ile eş zamanlı olarak sonlanır.

Kısaca ifade etmek gerekirse mayoz bölünmenin bir kısmı ile sitokinezin bir kısmı eş zamanlı ilerler. Mayoz bölünme tamamlandığında sitokinez de tamamlanmış olur.

Mayoz II sonucunda dört tane haploit hücre meydana gelir.

UYARI: Mayoz bölünmede profaz I'deki cross over, metafaz I'deki homolog kromozomların diziliş pozisyonları, anafaz I'deki homolog kromozomların rastgele dağılması ve metafaz II'deki kromozomların diziliş pozisyonu, anafaz II'deki kromatitlerin rastgele dağılması kalıtsal çeşitlilik sağlanmasında etkilidir.

Her mayoz bölünmede cross over olayı sonucunda kalıtsal çeşitlilik oluşmayabilir. Bunun sebebi cross over olayı ile homolog kromozomlar arasında değiştirilen alellerin aynı nitelikte olmasından kaynaklanır.

Profaz I de meydana gelen cross over olayında alellerin nükleotit dizilimi değişmez. Sadece kromozomun nükleotit dizilimi değişir.

Mayoz bölünme sonucunda oluşan hücrelerin hepsi işlevsel olmayabilir. Örneğin yumurta oluşumunda bir tane işlevsel hücre oluşur.

MİTOZ VE MAYOZ BÖLÜNMENİN KARŞILAŞTIRILMASI

Mitoz Bölünme	Mayoz Bölünme
Bölünme sonucu iki yeni hücre oluşur.	Bölünme sonucu dört veya bir hücre oluşabilir.
Oluşan hücrelerin genetik özellikleri benzerdir. Tür içi varyasyona neden olmaz.	Oluşan hücrelerin genetik özellikleri farklıdır. Tür içi kalıtsal varyasyona neden olur.
Oluşan hücrelerin kromozom sayısı ana hücre ile aynıdır.	Oluşan hücrelerin kromozom sayısı ana hücrenin kromozom sayısının yarısı kadardır.
Tek hücreli canlılarda üremeyi, çok hücreli canlılarda büyüme, gelişme ve doku onarımını sağlar.	Eşeyli üreyen canlılarda gamet oluşumunu sağlar.
Sinaps, tetrad ve krossing over olayları genellikle görülmez.	Sinaps, tetrad ve krossing over olayları görülür.

Karyokinez sırasında eş kromatitler ayrılır.	Mayoz I'de homolog kromozomlar, mayoz II'de kromatitler ayrılır.
Tek bir DNA eşlenmesinden sonra bir kez bölünme gerçekleşir. Bu nedenle oluşan her bir DNA miktarı ana hücre ile yaklaşık aynı olur.	Tek bir DNA eşlenmesinden sonra iki kez bölünme gerçekleşir. Bu nedenle oluşan her bir hücrenin DNA miktarı ana hücre yarısı kadar olur.
Karyokinez ve sitokinez birer kez gerçekleşir.	Karyokinez ve sitokinez üçer kez gerçekleşir.
Eşeyli üremenin temel olayıdır.	Döllenme ile beraber eşeyli üremenin temel olayıdır.
İnsanlarda zigotun oluşumu ile başlar ve canlılığın ölümüne kadar devam eder.	Dişilerde embriyonik dönemde, erkeklerde ise ergenlik döneminde başlar. Üreme dönemi boyunca devam eder.

EŞEYLİ ÜREME

İki ata bireyin ya da tek bir ata bireyin oluşturduğu farklı özelliklerdeki gametlerinin döllenme olayı sonucunda birleşerek zigotu meydana getirir. Böylece zigotun mitoz bölünmelerle çoğalması sonucu yeni bireyler meydana gelir. Bu şekilde meydana gelen üremeye eşeyli üreme adı verilir.

Uyarı: Eşeyli üremede gametler mayoz bölünmeyle oluşmak zorunda değildir.

Eşeyli üreme sonucu oluşan bireyler birbirlerinden ve ata bireylerden farklı kalıtsal yapıya sahip olurlar.

Eşeyli üreme sonucu meydana gelen kalıtsal çeşitlilik sayesinde adaptasyon yeteneği yüksek olan bireyler seçilir. Adaptasyon yeteneği düşük olan bireyler ölür ve yok olurlar. Böylece ortama adaptasyon yeteneği yüksek olan canlıların yayılmasını sağlar. Bu nedenle eşeyli üreme eşeysiz üremeye göre daha üstün bir üreme şekli olarak değerlendirilir.

Eşeyli üremede gamet oluşumu ve döllenme olmak üzere iki temel olay vardır. Bu olayları gelişme süreci takip eder ve yeni bireyler oluşur.

Gamet Oluşumu

Üreme hücreleri olan gametler genellikle mayoz bölünme sonucu oluşurlar ve haploit kromozomludur.

Canlılarda gamet oluşumuna gametogenez adı verilir. Gametler ata bireylere ait genlerin bir kısmını veya tamamını taşıyabilirler.

İnsanlarda erkek bireylerin sperm oluşum sürecine **spermatogenez**, dişi bireylerde yumurta oluşum sürecine **oogenez** adı verilir.

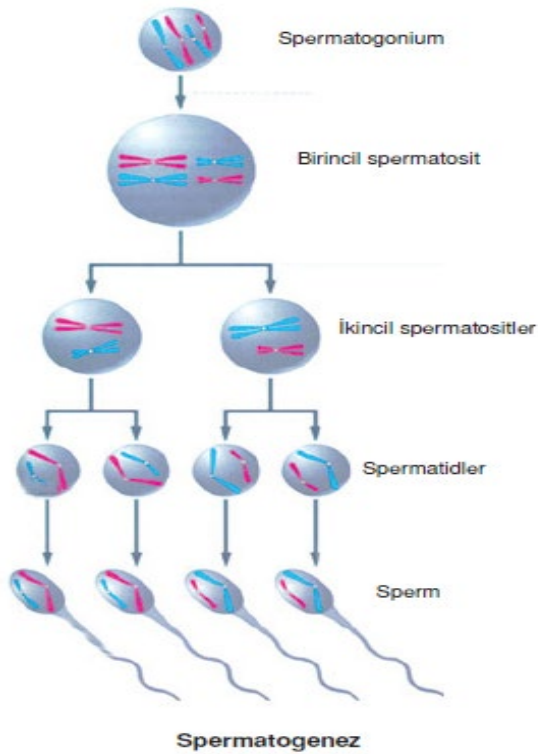
Spermatogenez sonucu aktif dört tane sperm oluşabilir. Oogenez sonucu ise bir ana hücreden bir tane aktif yumurta oluşur. Oogenezde bir tane yumurta oluşumunun

en önemli sebebi bölünme sırasında sitoplazma bölünmelerinin eşit olmamasıdır.

Oogeneze oluşan ve kutup hücreleri adı verilen hücrelerin küçük olması yumurtayı oluşturacak olan tek hücrenin daha büyük olmasına ve içinde daha fazla besin bulundurmasına imkân sağlar.

SPERMATOGENEZ

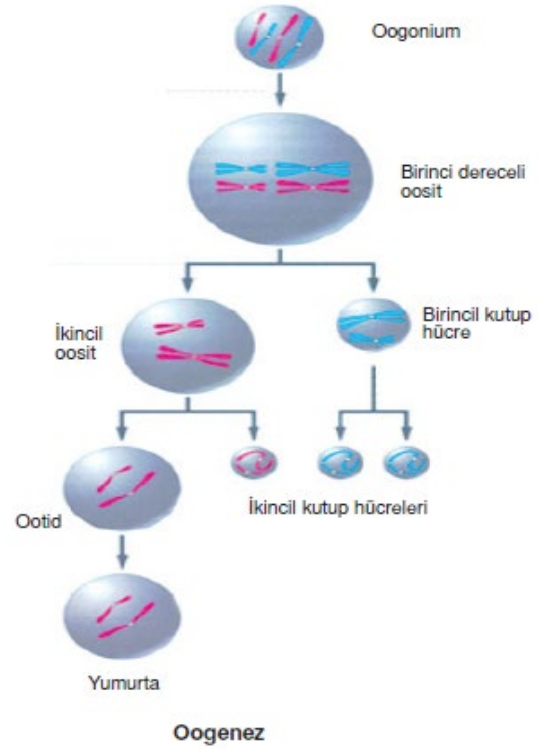
Spermatogenez insanların testislerindeki seminifer tübüllerinde FSH hormonu etkisiyle meydana gelir. Spermilerin üretilmesi erkek bireylerde ergenlikle başlar ve andropoz evresine kadar sürer.



OOGENEZ

Oogenez insanların yumurtalıklarındaki folikül keselelerinde FSH hormonu etkisiyle meydana gelir. Yumurtanın üretilmesi dişi bireylerde ergenlikle başlar ve menapoz evresine kadar sürer.

Her ay FSH hormonu etkisiyle yumurtalıklarda 15-20 primer oosit (mayoz I, profaz I evresine gelmiş hücre) mayoz bölünmeyete tekrar başlar ve bunun sonunda genellikle bir yumurta oluşur. Diğer hücreler parçalanarak yok olur.



Döllenme

Sperm ve yumurta hücrelerinin çekirdeklerinin kaynaşması olayına döllenme adı verilir.

Döllenme olayı iki ata bireye ait kromozomların veya tek bir ata bireye ait kromozomların zigotun yapısına katılmasından dolayı kalıtsal çeşitlilik sağlar.

Döllenmiş yumurtaya zigot adı verilir. Zigot, diploit kromozom yapısına sahip olup mitoz bölünmelerle yeni yavru canlıyı oluşturur.

FARKLI CANLILARDA EŞEYLİ ÜREME

Eşeyli üreme omurgalı hayvanlarda, omurgasız hayvanların büyük çoğunluğunda, bitkilerde, bazı protista ve bazı mantar türlerinde görülür.

Çiçekli Bitkilerde Eşeyli Üreme

Çiçekli bitkiler genellikle eşeyli üremeyle çoğalırlar. Çiçekli bitkilerde erkek organlarda polen, dişi organlarda ise yumurta oluşur. Yumurta ve spermin oluşumu mayoz bölünmeler ve mayoz bölünmeleri takip eden mitoz bölünmelerle oluşturulur.

Tozlaşma olayı ile polenler dişi organa ulaştıktan sonra bir dizi endomitoz geçirir. Daha sonra sitokine olayı sonucu hücreler birbirinden ayrılır.

Embriyo kesesindeki yumurta ve polar çekirdekler döllenir. Zigot 2n kromozomlu embriyoyu oluştururken, döllenmiş olan polar çekirdekler 3n kromozomlu endospermeyi oluştururlar.

Açık tohumlu bitkilerde sadece yumurta döllenir. Bundan dolayı embriyo 2n kromozomlu, endosperma n kromozomlu halde bulunur.

İnsanlarda Eşeyli Üreme

Kadınlarda yumurta oluşumu için mayoz bölünmeye giren hücreler primer oositlerdir. Primer oositler mayoz I Profaz I evresinde durdurulmuşlardır. Profaz I' e kadarki oluşum evreleri ilgili kişinin doğumdan önceki 5-6. aylarına rastlar. Yani bir insanın yumurta sayısı ve doğurganlık durumları doğumdan önceki gelişme döneminde şekillenir.

İnsanda FSH etkisiyle primer oositlerin mayoz bölünmeye devam etmesi sağlanır.

Kadınlarda primer oositler eşeyssel olgunlukla beraber her ay 15-20 tanesi mayoz bölünmeye devam ederek sekonder oositi oluşturur. Sekonder oosit mayoz II metafaz II evresine kadar bölünme evrelerini sürdürür. Kadınlardaki sekonder oositin etrafında zona pellusuda yapısı gelişir.

Zona pellusuda ile çevrili sekonder oosit LH hormonu etkisiyle folikül kesesini yırtar ve follopi tüpüne geçer.

Follopi tüpüne geçen sekonder oosite yaklaşık bir gün kadar canlı kalır. Follopi tüpündeki sekonder oositin içine sperm girerse sekonder oosit uyarılır. Sekonder oosit mayoz II bölünmesini tamamlayarak yumurtayı oluşturur. Oluşan yumurta çekirdeği ile sperm çekirdeği hızla kaynaşır ve zigot oluşur.

Zona pellusuda sekonder oosite birkaç sperm girdikten sonra sertleşerek daha fazla spermin sekonder oosite girişini engeller.

Follopi tüpündeki sekonder oosite sperm girmez ise yumurta oluşmaz. Sekonder oosit ölür. Ölü sekonder oositfollopi tüpündeki siller yardımıyla rahime doğru itilir. Yaklaşık 14 gün sonra ölü ve bozulmuş sekonder oosit rahim içine düşer. Progesteron hormonunun da azalmasına bağlı olarak rahimdeki endometrium tabası parçalanır. Parçalanmış endometrium ve bozulmuş sekonder oosit bir miktar kanla beraber dışarı atılır.

Kadınlarda normal şartlarda yumurta oluşmaz. Erkeğin spermi follopi tüpüne ulaşıp sekonder oosite girdikten sonra sekonder oosit mayoz II bölünmesini tamamlar. Kısaca ifade etmek gerekirse kadınlarda mayoz II'nin tamamlanması follopi tüpünde spermin sekonder oosite girmesiyle tamamlanabilir.

Erkeklerde sperm üretimi spermatogenez olarak adlandırılan mayoz bölünmeler yoluyla meydana getirilir. Spermatogenez sonucunda oluşan hücrelere spermatit adı verilir. Spermatitlerin kamçıları bulunmaz. Daha sonra testislerdeki epididimis olarak adlandırılan bölümde kamçılı hale gelirler.

Erkeklerde spermatogenez sonucunda dört tane aktif spermin oluşması beklenir.

Spermatogenez sonucu oluşan spermatitler epididimiste kamçılı hale geldikten sonra spermilere enerji kaynağı olarak früktoz aktarılır. Spermilerin enerji kaynağı olan besin früktozdur.