समसूत्री विभाजन एवं अर्धसूत्री विभाजन

जीवन की निरंतरता और विकास का मूल आधार कोशिका विभाजन है। प्रत्येक जीवित प्राणी, चाहे वह एककोशिकीय हो या बहुकोशिकीय, अपने अस्तित्व और वृद्धि के लिए कोशिका विभाजन पर निर्भर रहता है। यह प्रक्रिया न केवल शरीर की वृद्धि और विकास में सहायक है, बल्कि क्षतिग्रस्त ऊतकों की मरम्मत और प्रजनन में भी महत्वपूर्ण भूमिका निभाती है।

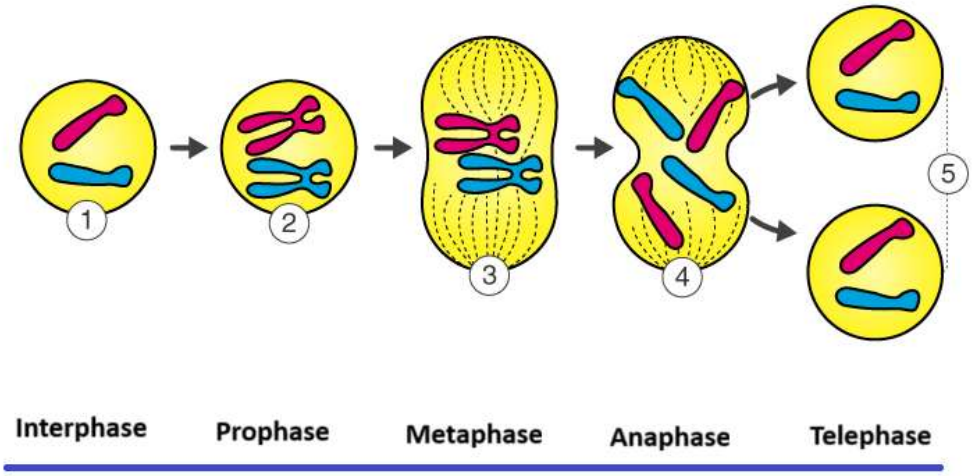
कोशिका विभाजन मुख्यतः दो प्रकार का होता है – **समसूत्री विभाजन (Mitosis)** और **अर्धसूत्री विभाजन (Meiosis)**। इन दोनों प्रक्रियाओं की अपनी विशिष्ट भूमिका और महत्व है। जहाँ समसूत्री विभाजन शरीर की सामान्य कोशिकाओं में होता है और वृद्धि का आधार है, वहीं अर्धसूत्री विभाजन जनन कोशिकाओं (युग्मक) के निर्माण में होता है और आनुवंशिक विविधता का स्रोत है।

समसूत्री विभाजन (Mitosis)

समसूत्री विभाजन वह प्रक्रिया है जिसमें एक मातृ कोशिका विभाजित होकर दो समान संतति कोशिकाएँ बनाती है। इस विभाजन में गुणसूत्रों (chromosomes) की संख्या स्थिर रहती है, अर्थात् यदि मातृ कोशिका में 46 गुणसूत्र हैं तो दोनों संतति कोशिकाओं में भी 46-46 गुणसूत्र होंगे। यह विभाजन द्विगुणित (diploid) कोशिकाओं में होता है और इसे 'समान विभाजन' भी कहा जाता है क्योंकि यहाँ आनुवंशिक पदार्थ का समान वितरण होता है।

समसूत्री विभाजन के चरण

समसूत्री विभाजन एक सतत प्रक्रिया है जिसे समझने की सुविधा के लिए पाँच चरणों में विभाजित किया जाता है:



प्रोफेज़ (Prophase): यह विभाजन का सबसे लंबा चरण है। इस दौरान क्रोमैटिन तंतु संघनित होकर स्पष्ट गुणसूत्रों में बदल जाते हैं। प्रत्येक गुणसूत्र दो क्रोमैटिड से बना होता है जो सेंट्रोमियर द्वारा जुड़े रहते हैं। केंद्रक झिल्ली और केंद्रिका धीरे-धीरे विलुप्त हो जाती है। कोशिका के दोनों ध्रुवों पर तारककाय (aster) बनने लगते हैं।

मेटाफेज़ (Metaphase): इस चरण में सभी गुणसूत्र कोशिका के मध्य भाग में एक काल्पनिक तल पर व्यवस्थित हो जाते हैं, जिसे मेटाफेज़ प्लेट कहते हैं। तर्कु तंतु (spindle fibers) पूरी तरह विकसित हो जाते हैं और गुणसूत्रों के सेंट्रोमियर से जुड़ जाते हैं। यह चरण गुणसूत्रों के अध्ययन के लिए सबसे उपयुक्त माना जाता है।

एनाफेज़ (Anaphase): यह सबसे छोटा लेकिन महत्वपूर्ण चरण है। सेंट्रोमियर विभाजित हो जाते हैं और दोनों क्रोमैटिड अलग होकर विपरीत ध्रुवों की ओर खिंचने लगते हैं। अब इन्हें पुत्री गुणसूत्र कहा जाता है। तर्कु तंतुओं के संकुचन से यह गति संभव होती है।

टीलोफेज़ (Telophase): इस चरण में गुणसूत्र दोनों ध्रुवों पर पहुँच जाते हैं और पुनः विसंघनित होकर क्रोमैटिन तंतुओं में बदल जाते हैं। केंद्रक झिल्ली और केंद्रिका पुनः प्रकट हो जाती है। तर्कु तंतु विलुप्त हो जाते हैं। अंततः दो पुत्री केंद्रक बन जाते हैं।

साइटोकाइनेसिस (Cytokinesis): यह वास्तविक कोशिका विभाजन है जिसमें कोशिकाद्रव्य का विभाजन होता है। जंतु कोशिकाओं में कोशिका के मध्य से एक खाँच बनती है जो गहरी होकर कोशिका को दो भागों में विभाजित कर देती है। पादप कोशिकाओं में कोशिका प्लेट का निर्माण होता है जो बाद में कोशिका भित्ति बन जाती है।

समसूत्री विभाजन का महत्व

समसूत्री विभाजन जीवधारियों में कई महत्वपूर्ण कार्य करता है। सबसे पहले, यह बहुकोशिकीय जीवों में वृद्धि और विकास का आधार है। एक निषेचित अंडाणु (zygote) से पूरे जीव का निर्माण समसूत्री विभाजन द्वारा ही होता है। दूसरे, यह क्षतिग्रस्त या मृत कोशिकाओं की मरम्मत और पुनर्स्थापन में सहायक है। जब हमारी त्वचा कट जाती है तो समसूत्री विभाजन द्वारा ही नई कोशिकाएँ बनती हैं। तीसरे, अनेक जीवों में यह अलैंगिक प्रजनन का माध्यम है। अमीबा, यीस्ट, हाइड्रा जैसे जीव समसूत्री विभाजन द्वारा ही प्रजनन करते हैं।

अर्धसूत्री विभाजन (Meiosis)

अर्धसूत्री विभाजन एक विशेष प्रकार का कोशिका विभाजन है जो केवल जनन कोशिकाओं में होता है। इस प्रक्रिया में एक द्विगुणित (diploid) मातृ कोशिका से चार अगुणित (haploid) संतति कोशिकाएँ बनती हैं। अर्थात् यदि मातृ कोशिका में 46 गुणसूत्र हैं तो प्रत्येक संतति कोशिका में केवल 23 गुणसूत्र होंगे। यह विभाजन युग्मक (gametes) – शुक्राणु और अंडाणु – के निर्माण के लिए आवश्यक है।

विभाजन की प्रक्रिया

अर्धसूत्री विभाजन दो क्रमिक विभाजनों में पूर्ण होता है –

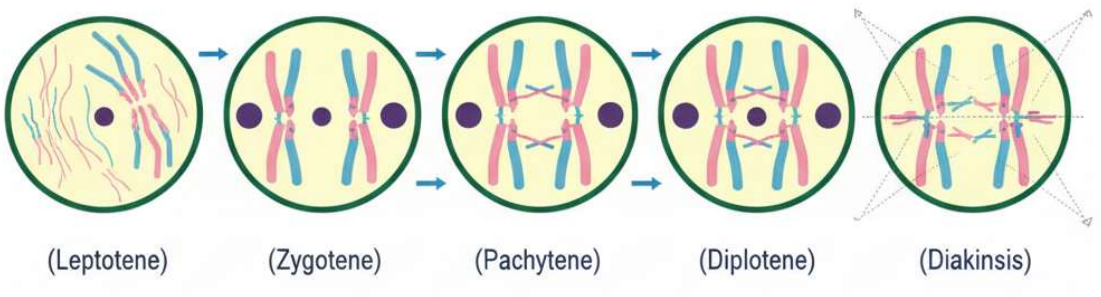
- **अर्धसूत्री विभाजन I**
- **अर्धसूत्री विभाजन II**

अर्धसूत्री विभाजन I (न्यूनकारी विभाजन):

इसे न्यूनकारी विभाजन कहते हैं क्योंकि इसमें गुणसूत्रों की संख्या आधी हो जाती है। इसके भी पाँच चरण होते हैं:

1. **प्रोफेज़ I:** यह सबसे जटिल और लंबा चरण है। इसमें समजात गुणसूत्र (homologous chromosomes) जोड़े बनाते हैं, इस प्रक्रिया को सिनैप्सिस कहते हैं। चार क्रोमैटिड का समूह टेट्राड या बाइवैलेंट कहलाता है। इस दौरान क्रॉसिंग ओवर की महत्वपूर्ण घटना होती है जिसमें गुणसूत्रों के बीच आनुवंशिक पदार्थ का आदान-प्रदान होता है।

   अर्धसूत्रीविभाजन I की पूर्वावस्था-I (Prophase I) को पाँच उप-अवस्थाओं में विभाजित किया गया है। ये उप-अवस्थाएँ इस प्रकार हैं:



   a) **लेप्टोटीन (Leptotene):** इस अवस्था में गुणसूत्र संघनित (condense) होना शुरू होते हैं और पतले धागे जैसी संरचनाओं के रूप में दिखाई देते हैं।

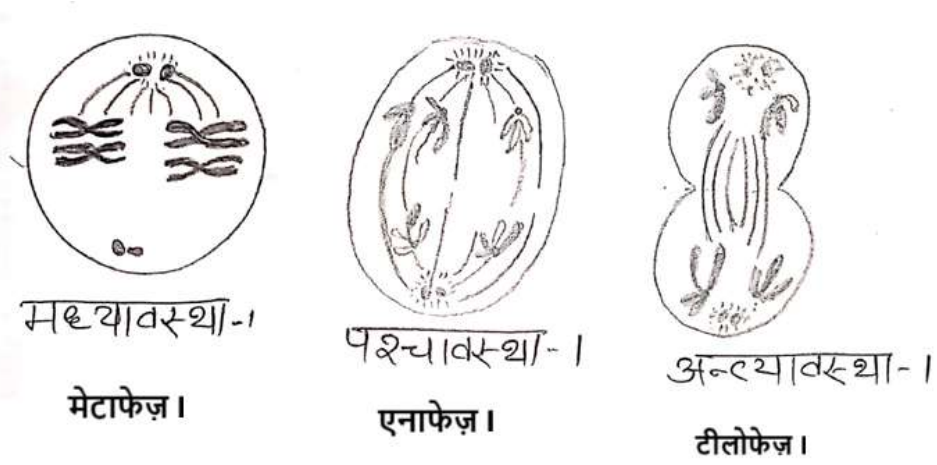
   b) **ज़ाइगोटीन (Zygotene):** इस अवस्था में समजात गुणसूत्र (homologous chromosomes) एक-दूसरे के साथ युग्मन (pairing) करना शुरू करते हैं, जिसे सूत्रयुग्मन (synapsis) कहते हैं। इस युग्मन से बनी संरचना को द्विसंयोजी (bivalent) या चतुष्क (tetrad) कहते हैं।

   c) **पैकीटीन (Pachytene):** यह अवस्था लंबी होती है। इस दौरान सूत्रयुग्मन पूरा हो जाता है और समजात गुणसूत्रों के अलिंगी अर्धगुणसूत्रों (non-sister chromatids) के बीच आनुवंशिक पदार्थ का विनिमय (exchange) होता है, जिसे क्रॉसिंग ओवर (crossing over) कहते हैं। यह आनुवंशिक विविधता के लिए महत्वपूर्ण है।

   d) **डिप्लोटीन (Diplotene):** इस अवस्था में समजात गुणसूत्र एक-दूसरे से अलग होना शुरू करते हैं, लेकिन कुछ बिंदुओं पर जुड़े रहते हैं। ये जुड़े हुए बिंदु काएज्मेटा (chiasmata) कहलाते हैं, जो क्रॉसिंग ओवर के स्थल होते हैं।

e) **डायकाइनेसिस (Diakinesis):** इस अंतिम उप-अवस्था में गुणसूत्र पूरी तरह से संघनित हो जाते हैं और छोटे हो जाते हैं। परमाणु झिल्ली (nuclear membrane) और केंद्रिका (nucleolus) गायब होने लगते हैं, और तर्कु तंतु (spindle fibers) बनने लगते हैं।

2. **मेटाफेज़ I:** बाइवैलेंट कोशिका के मध्य में व्यवस्थित हो जाते हैं।
3. **एनाफेज़ I:** समजात गुणसूत्र अलग होकर विपरीत ध्रुवों की ओर चले जाते हैं। यहाँ क्रोमैटिड अलग नहीं होते।
4. **टीलोफेज़ I और साइटोकाइनेसिस:** दो अगुणित कोशिकाएँ बन जाती हैं।



अर्धसूत्री विभाजन II (समसूत्री के समान):

यह विभाजन समसूत्री विभाजन के समान होता है। इसमें क्रोमैटिड अलग होते हैं और अंततः चार अगुणित कोशिकाएँ बनती हैं।

अर्धसूत्री विभाजन का जैविक महत्व

अर्धसूत्री विभाजन का सबसे बड़ा महत्व यह है कि यह गुणसूत्रों की संख्या को स्थिर बनाए रखता है। यदि यह विभाजन न हो तो प्रत्येक पीढ़ी में गुणसूत्रों की संख्या दोगुनी होती जाएगी। दूसरा महत्वपूर्ण योगदान आनुवंशिक विविधता का सृजन है। क्रॉसिंग ओवर और गुणसूत्रों के स्वतंत्र अपव्यूहन (independent assortment) से नए संयोजन बनते हैं, जो विकास की प्रक्रिया के लिए आवश्यक है।

समसूत्री और अर्धसूत्री विभाजन में प्रमुख अंतर

दोनों विभाजनों में कई मौलिक अंतर हैं। समसूत्री विभाजन शरीर की सभी कायिक कोशिकाओं में होता है जबकि अर्धसूत्री विभाजन केवल जनन कोशिकाओं में। समसूत्री में संतति कोशिकाओं में गुणसूत्रों की संख्या मातृ कोशिका के समान रहती है, परंतु अर्धसूत्री में आधी हो जाती है।

समसूत्री विभाजन में एक कोशिका से दो कोशिकाएँ बनती हैं जबकि अर्धसूत्री में चार। समसूत्री में क्रॉसिंग ओवर नहीं होता, इसलिए संतति कोशिकाएँ आनुवंशिक रूप से समान होती हैं। अर्धसूत्री में क्रॉसिंग ओवर के कारण प्रत्येक युग्मक आनुवंशिक रूप से भिन्न होता है। समसूत्री विभाजन में एक चक्र होता है जबकि अर्धसूत्री में दो क्रमिक चक्र।

विषय	समसूत्री विभाजन (Mitosis)	अर्धसूत्री विभाजन (Meiosis)
उद्देश्य	शरीर की सामान्य कोशिकाओं का विभाजन	लैंगिक प्रजनन के लिए जनन कोशिकाओं का निर्माण
कोशिका विभाजन की संख्या	एक बार विभाजन	दो बार विभाजन
संतति कोशिकाओं की संख्या	दो समान पुत्री कोशिकाएँ	चार असमान (हैप्लॉइड) कोशिकाएँ
गुणसूत्रों की संख्या	समान (मूल कोशिका के बराबर)	आधी (मूल कोशिका की आधी संख्या)
युग्मक (Crossing over)	नहीं होता	होता है (पूर्वावस्था I में)
कोशिका प्रकार	दोहरे गुणसूत्र वाली कोशिकाएँ (डिप्लॉइड)	हैप्लॉइड (आधे गुणसूत्र वाली) कोशिकाएँ
विभाजन समय	कम समय में पूरा होता है	अधिक समय लेता है, दो चरणों में होता है

विषय	समसूत्री विभाजन (Mitosis)	अर्धसूत्री विभाजन (Meiosis)
भूमिका	शरीर के विकास, मरम्मत और पुनर्निर्माण के लिए	लैंगिक प्रजनन में जीन विविधता प्रदान करने के लिए
सेंट्रोमियर का व्यवहार	विभाजित होता है	प्रथम विभाजन में सेंट्रोमियर विभाजित नहीं होता, द्वितीय में विभाजित होता है

जैव विकास और चिकित्सा में प्रासंगिकता

इन विभाजनों की समझ जैव विकास को समझने के लिए अनिवार्य है। अर्धसूत्री विभाजन में होने वाला आनुवंशिक पुनर्संयोजन प्राकृतिक चयन के लिए आवश्यक विविधता प्रदान करता है। चिकित्सा विज्ञान में कैंसर जैसी बीमारियाँ असामान्य कोशिका विभाजन का परिणाम हैं। जब कोशिका विभाजन अनियंत्रित हो जाता है तो ट्यूमर बनते हैं। आधुनिक कैंसर चिकित्सा का उद्देश्य इस अनियंत्रित विभाजन को रोकना है।

स्टेम सेल अनुसंधान भी समसूत्री विभाजन की समझ पर आधारित है। बंध्यता उपचार में अर्धसूत्री विभाजन की प्रक्रिया को समझना महत्वपूर्ण है। गुणसूत्र विपथन (chromosomal aberrations) जैसे डाउन सिंड्रोम, टर्नर सिंड्रोम आदि अर्धसूत्री विभाजन में गड़बड़ी के कारण होते हैं।

निष्कर्ष

कोशिका विभाजन जीवन की सबसे मूलभूत और महत्वपूर्ण प्रक्रियाओं में से एक है। समसूत्री विभाजन वृद्धि, विकास और पुनर्स्थापन का आधार है तो अर्धसूत्री विभाजन जैविक विविधता और प्रजनन की कुंजी। दोनों प्रक्रियाएँ अत्यंत नियंत्रित और संतुलित हैं। इनमें किसी भी प्रकार की गड़बड़ी गंभीर विकार उत्पन्न कर सकती है। आधुनिक जैव प्रौद्योगिकी और चिकित्सा विज्ञान इन प्रक्रियाओं की गहन समझ पर आधारित है।