

الباب الرابع

انقسام الخلية النباتية

من الضروري لحدوث النمو والتكاثر فى الكائنات الحية أن تكون لخلاياها كلها أو بعضها القدرة على الانقسام . فى النباتات الراقية تتخصص بعض خلايا النبات لعملية الانقسام ، وتعرف هذه الخلايا بالخلايا المرستيمية meristematic cells . وأثناء عملية الانقسام يحدث إنتقال للعوامل الوراثية أى الجينات genes ، من الخلايا المنقسمة إلى الخلايا الناتجة عن الإنقسام . وتتكون الجينات من حمض دى أكسى ريبوز النووى (DNA) ، الذى يتميز بقدرته على تكرار نفسه .

تحمل الجينات على الكروموسومات chromosomes التى يتكون منها الشبكة الكروماتينية chromatin reticulum الموجودة فى نواة الخلية . ولكل نوع من النباتات عدد ثابت من الكروموسومات فى خلاياه المختلفة ما عدا الجاميطات فهى تحتوى على نصف العدد الثابت من الكروموسومات ، فمثلاً نجد أن الخلية الطبيعية لنبات القطن *Gossypium barbadense* تحتوى على 52 كروموسوما ، وكل من جاميطاته يحتوى على 26 كروموسوم . كما نجد أن الخلية العادية لنبات الذرة *Zea mays* تحتوى على عشرين كروموسوما فى حين أن كل من جاميطاته يحتوى على عشرة كروموسومات .

تعرف ثلاثة أنواع من الانقسام فى الخلية ، هى الانقسام المباشر ، والانقسام غير المباشر ، والانقسام الاختزالى .

الانقسام المباشر

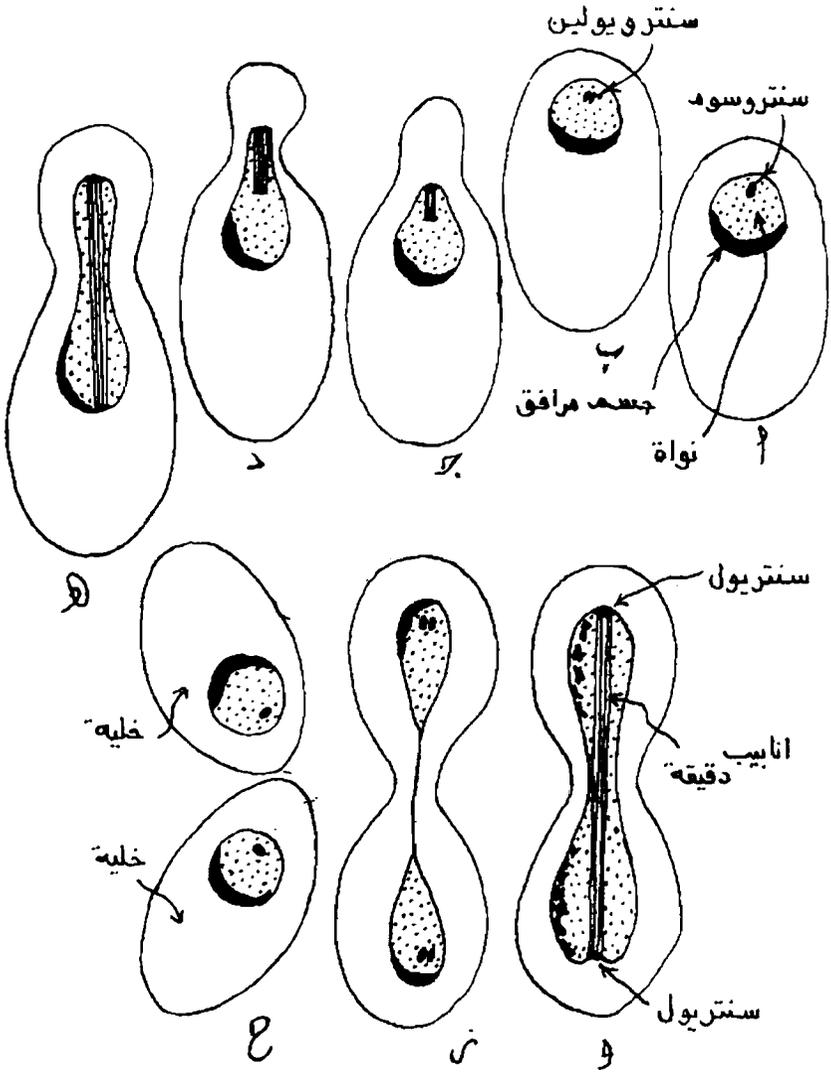
الانقسام المباشر amitosis يعرف أيضاً ، بالانقسام البسيط ، ويحدث عادة فى بعض النباتات الدنينة وحيدة الخلية كالبكتيريا والخمائر . وفى فطر الخميرة تتكون نواة الخلية من جزئين أحدهما كروى موجب لصبغة فولجين feulgen والآخر هلالى سالب لصبغة فولجين ويسمى بالجسم المرافق companion body . ويوجد بداخل النواة أو ملاصقاً لغلافها جسم مركزى centrosome . فى أثناء الإنقسام يستطيل الجزء الكروى ثم يضيق من الوسط ثم يفصل إلى جزئين متساويين يكونا النواتين الجديدتين . وفى هذه الأثناء يستطيل الجسم المرافق ويتجزأ إلى أجزاء صغيرة حبيبية الشكل تتوزع بالتساوى تقريباً بين النواتين الجديدتين . كما أن السنتروسوم ينقسم أثناء إنقسام الخلية إلى سنتروليون centrioles ويتجه كل سنتروليون إلى أحد طرفى النواة ويتحد بغلاف النواة ويصل بين السنتروليون أنابيبات سيتوبلازمية دقيقة microtubules تشابه خيوط المغزل (شكل 1/4) . يلاحظ أنه لا تتميز كروموسومات أثناء الإنقسام .

الانقسام غير المباشر

يعرف هذا الإنقسام أيضاً بالانقسام العادى أو الإنقسام الميتوزى mitosis . ويحدث هذا الإنقسام فى الخلايا المرستيمية غير المختصة بالتزاوج . وفى الإنقسام غير المباشر يحدث أولاً إنقسام للنواة إلى قسمين متساويين تماماً . وتسمى مرحلة إنقسام النواة karyokinesis ، ويعقب عادة ، إنقسام النواة مباشرة إنقسام السيتوبلازم cytokinesis لتتكون بذلك خليتان مشابھتان تماماً لخلية الأم .

وأحياناً يحدث إنقسام النواة ولا يعقبه إنقسام السيتوبلازم ، فينتج عن ذلك خلية ذات نواتين ، إذا تكرر ذلك ينتج خلية عديدة النوايات ، وتعرف مثل هذه الخلية بالخلية السينوسيتية coenocyte ، كما فى بعض الأنابيب اللبنية وبعض الفطريات والطحالب .

يحدث الإنقسام غير المباشر على خطوات خمسة متتابعة (شكل 3/4) كما يلى :

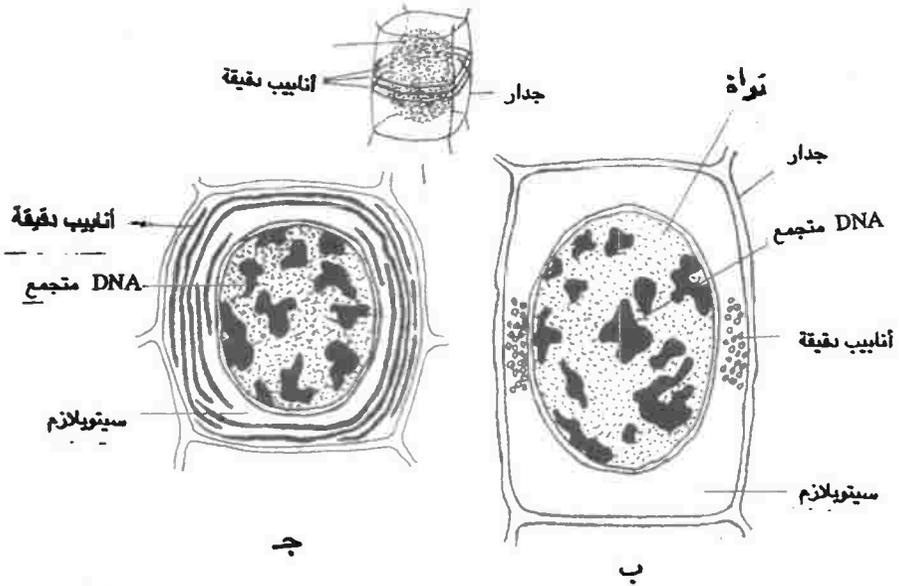


(شكل 1/4) : الانقسام المباشر
 خطوات الإنقسام المباشر في الخميرة

(أ) الطور الوسطى (البيني) Interphase

خلال هذا الطور تنشط الخلية حيويًا لتوفير كميات المواد المكونة للسيتوبلازم والمادة الكروماتينية بالنواة التي تلزم لتكوين خليتين جديدتين ، ولهذا فإنه إذا بدأت الخطوات التالية في الإنقسام فإن الإنقسام لن يتأثر مطلقاً بالتغيرات البينية التي قد تقلل من وصول متطلبات النمو والإنقسام إلى الخلية .

وخلال هذا الطور يحدث تضاعف للأحماض النووية DNA المكونة لكروموسومات الخلية ، وكذلك تتضاعف الأحماض النووية RNA والبروتينات التي تدخل في تركيب الكروموسومات . وفي نهاية هذا الطور تكون نواة الخلية



(شكل 2/4) : أنابيب دقيقة في بداية انقسام الخلية

(ب) قطاع طولى فى خلية

(أ) خلية فى بداية الانقسام
(ج) قطاع عرضى فى خلية

أكبر حجماً من نواة الخلايا غير المنقسمة كما أن المسائل النووي يكون حبيبي دقيق (شكل 3/4 أ) .

ويعتقد أن الأنابيب الدقيقة microtubules هي التي تحدد مكان الإنقسام للخلية حيث تتجمع وتحيط بالنواة في هذا المكان وتكون موازية للصفحة الخلوية التي ستكون بعد إنقسام الخلية (شكل 2/4) .

(ب) الطور التمهيدي Prophase

في بداية هذا الطور تنفصل الشبكة الكروماتينية إلى الكروموسومات التي تتكون منها ، ويظهر كل كروموسوم كخيطين رفيعين يلتفان حول بعضهما ويلتقيان معاً في منطقة ثابتة بالنسبة لكل كروموسوم ، وتعرف هذه المنطقة بالسنترومير centromere ، كما يعرف كل خيط من الكروموسوم بالكروماتيد chromatid . تقصر الكروموسومات وتسمك كما تغلف بمادة شديدة القابلية للصبغ تعرف باسم ماتركس matrix . أثناء ذلك تصفو منطقة بيضاوية حول النواة بأن تنتقل منها البلاستيدات والميتوكوندريات والأجزاء الكبيرة الأخرى . وتحدد هذه المنطقة الأقطاب ومستوى الإنقسام . وفي نهاية هذا الطور يختفي الغلاف النووي والنويات (شكل 3/4 ب ، ج) .

(ج) الطور الاستوائي Metaphase

في بداية هذا الطور تكون الكروموسومات متصلة بالميتوبلازم مباشرة ، ثم تتكون خيوط دقيقة تشع من نقطتين في طرفي الخلية يعرفان بالقطبين poles ، وتتقابل الخيوط الدقيقة التي تعرف بخيوط المغزل spindle عند خط استواء الخلية . هذه الخيوط عبارة عن أنابيب دقيقة تتكون من الميتوبلازم . تتحرك الكروموسومات إلى نقطة تقابل خيوط المغزل ، فتتصل المسترميرات ببعض خيوط المغزل ، وتسمى خيوط المغزل المتصلة بالسنتروميرات بالأنابيب الدقيقة الكروموسومية chromosomal microtubules ، وتسمى خيوط المغزل الأخرى بالأنابيب الدقيقة المعتمدة continuous microtubules (شكل 3/4 د) .

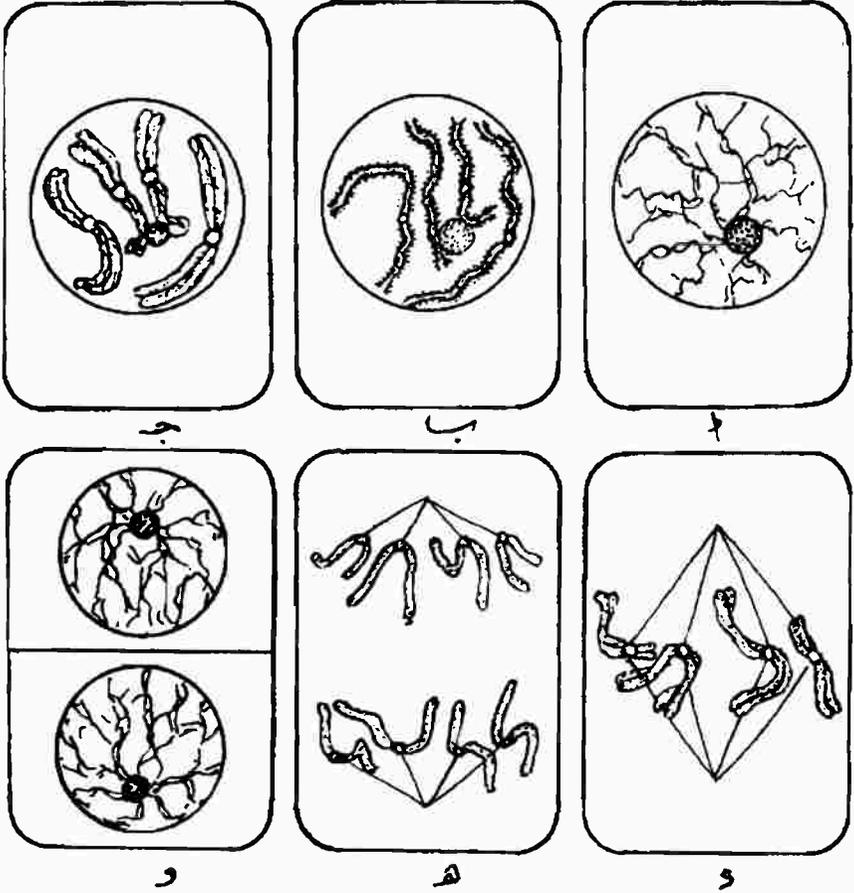
(د) الطور الانفصالي Anaphase

فى بداية هذا الطور تنشق السنتروميترات وبذلك ينفصل كروماتيدى كل كروموسومين ويصبحان كروموسومين متشابهين ، وبذلك يصبح فى الخلية ضعف العدد العادى من الكروموسومات ، يتحرك كل من الكروموسومين المتشابهين الناتجين عن إنشقاق السنترمير ، فى إتجاهين متضادين نحو قطبى المغزل ، وبذلك يتجمع عند كل قطب عدد من الكروموسومات مساو للعدد الأصىلى من الكروموسومات ومشابه له (شكل 3/4 هـ) .

ميكانيكية حركة الكروموسومات تجاه الأقطاب غير معروفة بالضبط ، إلا أنه من المعروف أن الأنايب الدقيقة الكروموسومية تقصر بينما الأنايب الدقيقة المستمرة تتمدد أثناء حركة الكروموسومات نحو الأقطاب . ويفترض أن مركب أدينوسين ثلاثى الفوسفات الذى يرمز له بالرمز ATP هو مصدر الطاقة فى هذه العملية .

(هـ) الطور النهائى Telophase

يحدث فى هذا الطور تغييرات عكسية بالنسبة لما حدث فى الطور التمهيدى ، فتتلاشى مادة الماتركس المغلفة للكروموسومات ، وتقل قابلية الكروموسومات للصبغ ، وتصبح الكروموسومات أطول وأرفع . تظهر النوية أو النويات ، ودائماً تتصل النوية بكروموسوم ثابت فى كل مجموعة كروموسومية ، وفى موضع ثابت منه ، تتشابك الكروموسومات مكونة الشبكة الكروماتيدية . يتكون الغلاف النووى من الشبكة الأندوبلازمية ، وبذلك يتم تكوين نواتين داخل الخلية . تستمر خيوط المغزل بين النواتين الجديدتين . يتكون عند خط إستواء المغزل حويصلات ناتجة من جهاز جولجى ، تتجمع وتلتحم مكونة الصفيحة الخلوية وغشاءان بلازميان على جانبي الصفيحة الخلوية والتي تتحول فيما بعد إلى الصفيحة الوسطى ، التى يترسب على كل من جانبيها جدار ابتدائى ، وبذلك ينتهى هذا الطور بتكوين خليتين جديدتين تحتوى كل منهما على العدد الأصىلى من الكروموسومات (شكل 3/4 و) .



(شكل 3/4) : خطوات الانقسام غير المباشر

ب ، جـ) الطور التمهيدي
هـ) الطور الانفصالي

ا) الطور الوسطي
د) الطور الاستوائي
و) الطور النهائي

الانقسام الاختزالي

يعرف الانقسام الاختزالي ، أيضاً ، بالانقسام الميوزى meiosis ، ويحدث هذا الانقسام فى النباتات الراقية عند تكوين الجاميطات ، وتحتوى الجاميطات الناتجة عن الانقسام على نصف عدد الكروموسومات الموجودة فى الخلية الأم المنقسمة . وتختلف عادة كروموسومات كل جاميطة من الجاميطات الناتجة من خلية أم واحدة فى نوع الجينات المحددة للصفات المختلفة . وعند حدوث التزاوج بين نواة الجاميط المذكر مع نواة الجاميطة المؤنثة ينتج الزيغوت الذى يحتوى على نفس عدد الكروموسومات الأصلية فى الخلايا العادية لنباتات الأبوين ، وتكون العوامل الوراثية فى الزيغوت بعضها ناتج عن الجاميط الأب والبعض ناتج عن الجاميطة الأم .

فى بعض النباتات لا يرتبط الانقسام الاختزالي ارتباطاً مباشراً بتكوين الخلايا الجنسية ، فنجد أن الخلايا الناتجة عن الانقسام الاختزالي تنقسم عدة مرات قبل تكوين الخلايا الجنسية . فكثير من الطحالب الخضراء والفطريات والحزازيات تحتوى نواياتها على العدد الأحادى من الكروموسومات ، أى نصف العدد الأصىلى من الكروموسومات ، ويستمر ذلك معظم دورة الحياة ويسمى هذا الطور من دورة الحياة بالطور الجاميطة gametophyte . وأن العدد الثنائى من الكروموسومات لا يشاهد إلا فى فترة قصيرة من دورة حياة الكائن الحى والتي تسمى بالطور الجرثومى sporophyte .

والانقسام الاختزالي فى معظم النباتات يتكون من انقسامين متتاليين ، وينتج عنهما تكوين أربع جاميطات من كل خلية أم . فى الانقسام الاختزالي الأول meiosis I يختزل عدد الكروموسومات إلى النصف ، وفى الانقسام الاختزالي الثانى meiosis II يبقى عدد الكروموسومات كما هو لأنه انقسام غير مباشر (شكل 4/4) .

ويحدث الانقسام الاختزالي فى خطوات متتابعة كما يأتى :

أولاً : الانقسام الاختزالي الأول

(أ) الطور التمهيدي الأول Prophase I

في بداية هذا الطور تحتوى نواة الخلية على عدد ثنائي من الكروموسومات ينتج عن وجود مجموعتين متماثلتين من الكروموسومات . تتجمع خلال هذا الطور الكروموسومات المتماثلة في أزواج ثم تتنافر . تقصر الكروموسومات وتزداد في السمك ، وفي نهاية الطور تكون النوية أو النويات والغلاف النووي قد تلاشت ، ويمكن تقسيم هذا الطور إلى خمس مراحل كما يأتي

(1) المرحلة القلادية **Leptotene** : تظهر الكروموسومات كخيوط طويلة ورفيعة ملتوية ، تظهر عليها انتفاخات حبيبية مختلفة الحجم ، تقبل الصيغات بشدة وتسمى كروموميرات chromomeres . عدد الكروموميرات وأحجامها ومواضعها على كل كروموسوم ثابتة لكل كائن حي (شكل 4/4 أ) .

(2) المرحلة التزاوجية **Zygotene** : تقترب الكروموسومات المتماثلة من بعضها ، ويلتصق كل زوج منها في عدة مواضع متماثلة على طول الكروموسومين (شكل 4/4 ب) .

(3) المرحلة الضامة **Pachytene** : ينشق كل كروموسوم طويلاً إلى كروماتيدين يلتقيان معاً في السنتروميير . ويلتف كل كروموسوم مع الكروموسوم المماثل له ، وبذلك تكون الكروماتيدات موجودة في مجاميع رباعية chromatid tetrads وينتهى هذا الطور بزوال قوى الجذب الموجودة بين كل كروموسومين متماثلين . يبدأ كل كروموسوم في الابتعاد عن مثيله (شكل 4/4 ج) .

(4) المرحلة الانفراجية **Diplotene** : عند ابتعاد كل كروموسوم عن مثيله فإنه لا يفصل عنه تماماً ، حيث أن الكروماتيدة الداخلة من كل كروموسوم تتصل بمثيلاتها في الكروموسوم المماثل ، وتسمى منطقة الاتصال لكل كروماتيدين باسم كيازما chiasma ، وقد يكون الاتصال في أكثر من كيازما . ويكون عدد الكيازما في كروماتيدات الكروموسومات الطويلة أكثر من عددها في كروماتيدات

الكروموسومات القصيرة . وعند زيادة ابتعاد كروموسمى كل زوج قد يحدث كسر فى مواضع الكيازمات يعقبه التحام بالتبادل بين جزئى الكروماتيدى المنكسرين ، ويؤدى هذا إلى حدوث العبور الوراثى crossing over (شكل 4/4 د) .

(5) المرحلة التشثتية Diaknesis : يصل التنافر بين كل كروموسومين متماثلين إلى ذروته ، وتقصّر الكروموسومات ، وتزداد فى السمك ، ويصعب مشاهدة الكروماتيدات فى كثير من الأحوال وتختفى النوية أو النويات والغلاف النووى (شكل 4/4 هـ) .

(ب) الطور الاستوائى الأول Metaphase I

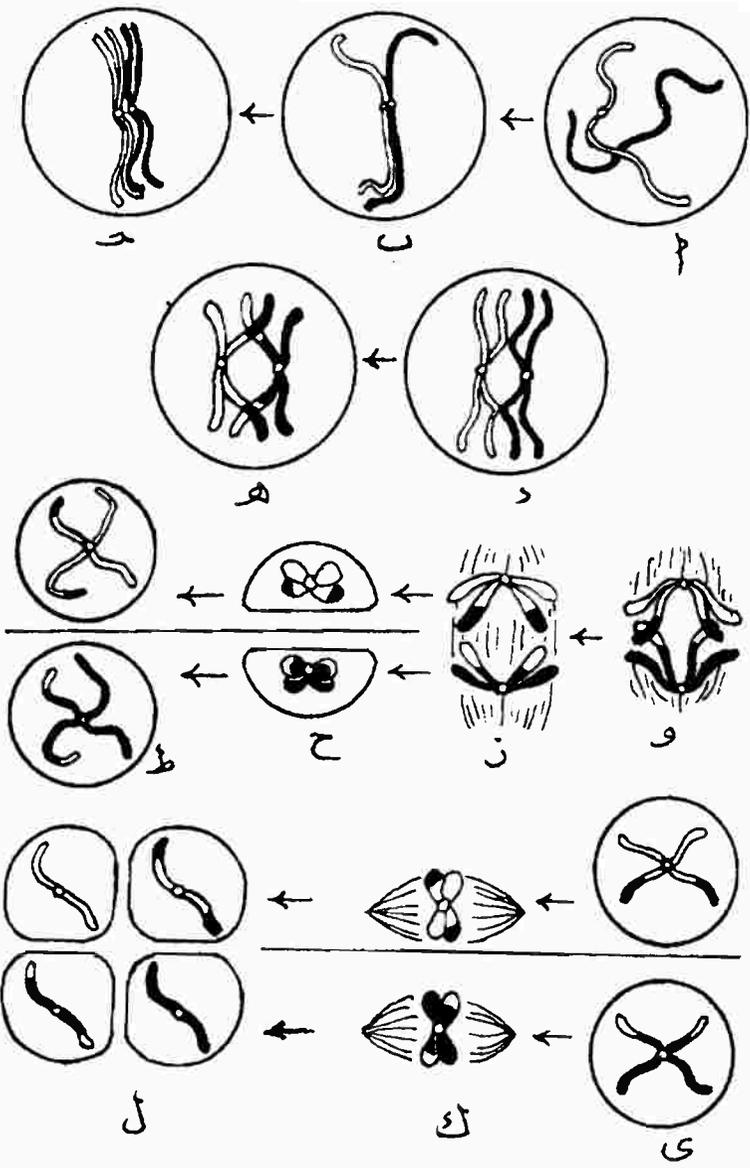
يتكون القطبان وخيوط المغزل ، ثم تتحرك الكروموسومات وتصطف عند خط استواء خيوط المغزل متصلة بها عند السنتروميرات ، تتجاوز الكروموسومات المتماثلة فى أزواج (شكل 4/4 و) .

(ج) الطور الانفصالى الأول Anapase

يتجه كروموسوم من كل زوج نحو أحد أقطاب المغزل بينما يتجه الكروموسوم الآخر نحو القطب المقابل ، وبذلك يجتمع عند كل قطب نصف عدد الكروموسومات الموجودة فى الخلية الأصلية (شكل 4/4 ز) .

(شكل 4/4) : خطوات الانقسام الاختزالى

أ- هـ) الطور التمهيدى الأول	أ) المرحلة القلادية	ب) المرحلة التزاوجية
ب) المرحلة الضامة	د) المرحلة الانفراجية	هـ) المرحلة التشثتية
و) الطور الاستوائى الأول	ز) الطور الانفصالى الأول	ح) الطور النهائى الأول
ط) الطور الوسطى	ى) الطور التمهيدى الثانى	ك) الطور الاستوائى الثانى
ل) الطور النهائى الثانى		



(د) الطور النهائي الأول Telophase I

يختفى المغزل ، وترفع وتستطيل الكروموسومات ، وتظهر النوية أو النويات وتتشابك الكروموسومات مكونة الشبكة الكروماتينية ، ويتكون الغلاف النووي ، وبذلك تحتوى الخلية الناتجة على نواتين أحاديتي العدد الكروموسومى يتكون الجدار الذى يفصل ما بين النواتين . وفى كثير من الأحيان لا يتكون جدار عرضى يفصل النواتين الأحاديتي الكروموسومات ، بل تواصل كلاً من النواتين الانقسام الإختزالى الثانى لتكوين أربع نويات بالخلية ثم تتكون الجدر الفاصلة (شكل 4/4 ح) .

(هـ) الطور الوسطى Interphase

تستطيل الكروموسومات ، فى هذا الطور ، وتصبح أقل قابلية للصبغ ، وهذا الطور قد يكون طويلاً حسب نوع النبات (شكل 4/4 ط) . وفى بعض النباتات لا يوجد الطور الوسطى حيث يبدأ الطور التمهيدى للإنقسام الإختزالى الثانى عقب الطور النهائي للإنقسام الإختزالى الأول مباشرة دون تغيير فى مظهر الكروموسومات .

ثانياً : الانقسام الإختزالى الثانى

جميع خطوات هذا الإنقسام تشبه خطوات الانقسام غير المباشر إلا أنها تتم فى خلايا ذات عدد أحادى من الكروموسومات (شكل 4/4 ي - ل) ، وخطواتها كالآتى :

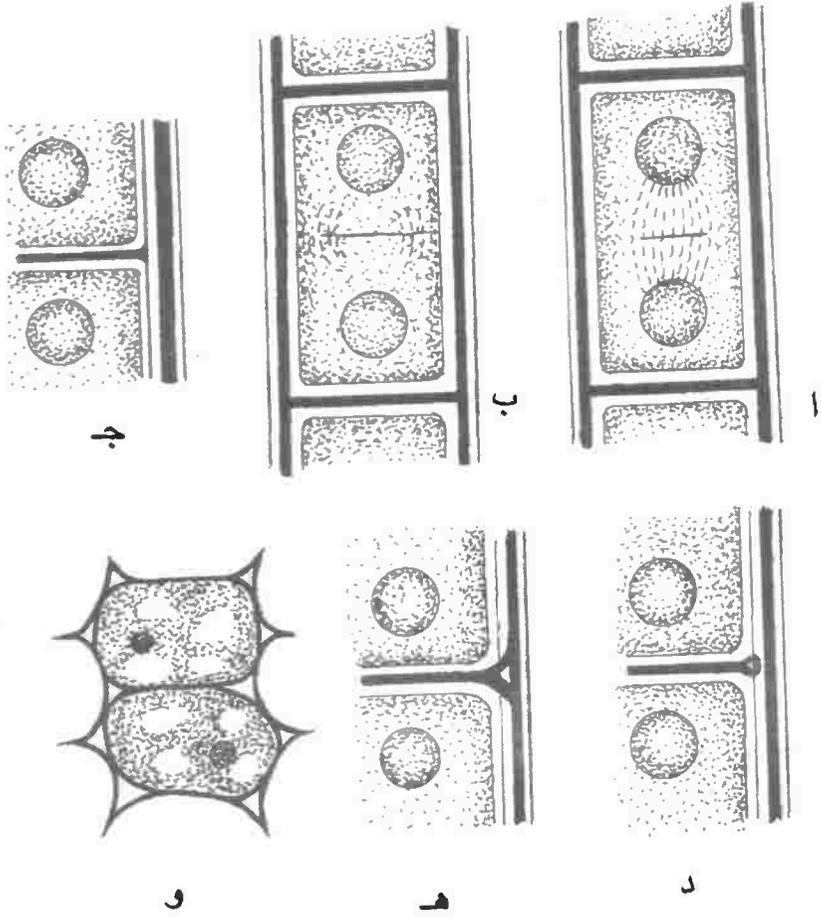
Prophase II	(أ) الطور التمهيدى الثانى
Metaphase II	(ب) الطور الاستوائى الثانى
Anaphase II	(ج) الطور الانقسالى الثانى
Telophase II	(د) الطور النهائي الثانى

وبذلك ينتج عن الإنقسام الاختزالي بمرحلتيه أربع خلايا تحتوى كل منها على العدد الأحادى من الكروموسومات haploid ، وذلك من إنقسام خلية أم ذات عدد ثنائى من الكروموسومات diploid .

إنقسام السيتوبلازم وتكوين الجدار الخلوى والمسافات البينية

فى الطور النهائى من إنقسام الخلية تتكون من الخلية الواحدة نواتان ، وتصل خيوط المغزل بين النواتين مكونة شكل برمبلى يسمى فراجموبلاست phragmoplast . تتجمع على خط إستواء الفراجموبلاست حويصلات تحتوى على مركبات بكتينية وبعض المكونات الأخرى التى تنشأ من أجسام جولجى المنتشرة فى السيتوبلازم ، وينتج عن ذلك تكوين الصفيحة الخلوية cell plate . كما يتكون من جدران الحويصلات غشاءان بلازميان للخليتين الجديدتين وذلك على جانبي الصفيحة الخلوية . وأثناء ذلك تخفى خيوط الفراجموبلاست من المنطقة الوسطية وتزداد جانبياً حتى تصل إلى الجدر الجانبية ويتم تكوين الصفيحة الخلوية (شكل 5/4 أ ، ب) . تحدث بعد ذلك تغييرات فى الصفيحة الخلوية ، وتتحول تدريجياً إلى الصفيحة الوسطى middle lamella (شكل 5/4 ج) . يعقب ذلك ترسيب مواد الجدار الابتدائى على كل من جانبي الصفيحة الوسطى وذلك بواسطة محتويات الحويصلات الناتجة من جهاز جولجى التى تنتج بكميات كبيرة فى هذه الأثناء (راجع وظيفة جهاز جولجى) . ويلاحظ أن الصفيحة الوسطى للجدار الجديد لا تلامس الصفائح الوسطى للجدر الجانبية للخلية الأصلية ، بل تلامس من جوانبها الجدر الابتدائية للجدر الجانبية للخلية الأصلية .

فى فترة لاحقة يتم اتصال الصفيحة الوسطى للجدار الجديد بالصفائح الوسطى الجانبية للخلية الأم بإحدى طريقتين :



(شكل 5/4) : خطوات تكوين الجدار الخلوي

جـ) تكوين الصفيحة الوسطى
و) تشكل الخلايا المنقسمة

أ ، ب) تكوين الصفيحة الخلوية
د ، هـ) تكوين مسافة بينية

فى الطريقة الأولى تكبر الخليتان الجديدتان فى الحجم وتضغطان على جدر الخلية الأم ، فتتمدد ثم تتمزق فى مناطق تقابل الجدار الجديد مع الجدر القديمة وينتج عن ذلك اتصال الصفيحة الوسطى للخليتين الناتجتين بالصفائح الوسطى لجدر الخلية الأم .

وفى الطريقة الثانية تظهر فجوة صغيرة تتكون عند كل نقطة من نقط اتصال الصفيحة الوسطى للجدار الجديد بالجدر القديمة ، ثم تكبر هذه الفجوة وبذلك تتصل الصفيحة الوسطى للجدار بالصفائح الوسطى للجدر القديمة ، وتتكون المسافات البينية التى تظهر فى القطاع العرضى بشكل مثلث وتكون مغلقة بالصفائح الوسطى للجدر الملاصقة (شكل 5/4 د ، هـ ، و) . ويعتقد البعض أن الصفيحة الوسطى لجدار خلية تتكون من طبقتين ، ولهذا فإنه عند استدارة الخلية تتكون المسافات بين طبقتى الصفائح الوسطى . ويعتقد البعض الآخر أن الصفيحة الوسطى تذوب جزئياً فى المسافات البينية ولذلك تبقى المسافات مبطنة ببقايا الصفائح الوسطى . ويعتقد أن ذوبان الصفائح الوسطى الجزئى راجع إلى تحللها بواسطة الأنزيمات المحللة للبكتين التى تفرزها الخلايا .

من الممكن أن تزداد المسافات البينية نتيجة لتجمع أكثر من مسافة بينية ، أو نتيجة لانكماش بعض الخلايا أو تحللها أو نتيجة لاختلاف سرعة النمو فى الأنسجة المختلفة .



الطور الإستوائى



الطور التمهيدى



الطور النهائى



الإنقسام السيتوبلازمى



الطور الانفصالى

خطوات إنقسام غير مباشر فى جذر البصل