علم تشريح النبات Plant anatomy

هو أحد فروع علوم الحياة Biology ويختص بدراسة التركيب الداخلي لجسم النبات عن طريق تشريح أعضائه المختلفة ودراسة مواقعها والأنسجة المكونة لها وتكيفها للقيام بوظائفها المختلفة . ويعتبر هذا العلم في واقع الأمر دراسة الشكل الداخلي للنبات Internal morphology .

يتكون الجسم النباتي في النباتات الراقية من أعضاء واضحة ومتميزة هي الجذر Root والساق Stem والأوراق Leaves والملحقات الأخرى كالأعضاء التكاثرية Reproductive organs ويبدأ ظهور الجسم النباتي بتكوين البيضة المخصبة Zygote التي تنقسم انقسامات متتالية فتنمو وتتكشف لتكوين الجنين Embryo والذي يمر بسلسلة من انقسامات الخلايا وما يصاحب ذلك من عمليات تخصص Specialization وتمييز Differentiation ، وعند أنبات البذرة التي فيها الجنين يتكشف Development إلى بادرة Seedling ومن ثم نبات بالغ Adult plant . يتألف الجنين من محور Axis مركزي الموقع ذي نهايتين تمثل أحدهما القمة النامية للساق Shoot Apex والأخرى القمة النامية للجذر Root Apex ، وفي الجنين زوائد جانبية ممثلة بفلقة واحدة أو أكثر ويدعى جزء المحور الواقع تحت الفلقة بالسويقة تحت الفلقية Hypocotyl ، أما الجزء فوق اتصال الفلق بالمحور فيدعى بالسويقة فوق الفلقية Epicotyl التي تنتهي بالرويشة plumule حيث تتحول إلى النظام الخضري Shoot system .

يتكشف الجنين النامي مكوناً نباتاً كاملاً بسبب امتلاكه القدرة الكامنة على النمو والمودعة في أنسجته المولدة Meristematic tissues ونتيجة لنشاط الخلايا المولدة تتخصص بعض الخلايا لتكون الأنسجة المستديمة Permanent tissue في حين تحتفظ الأخرى بخاصيتها المرستيمية أو المولدة ما دام النبات حياً . أما الخلايا التي تسير في طريق التخصص فيطلق عليها مصطلح المشتقات Derivatives حيث تعاني عمليات التمييز والتكيف لتتخصص لأداء وظائف معينة مكونة بذلك الأنسجة المستديمة .

وتعاني المشتقات سلسلة من التغيرات التركيبية والوظيفية خلال مرحلة انتقالها من الحالة المرستيمية إلى البالغة وتعرف مجموعة هذه التغيرات بالتمييز Differentiation وهذا التكيف للخلايا يؤدي بالنتيجة إلى التخصص Specialization وهو التغير الذي يحصل للخلية ويؤدي إلى تحديد وظائفها وقابليتها الكامنة وقدرتها على التكيف تحت الظروف المختلفة وقد يؤدي التخصص إلى زيادة الكفاءة .

في النبات هناك نوعان من النمو هو النمو الابتدائي Primary growth وهو النمو الذي يحصل في الجسم النباتي أو في أي جزء منه منذ فترة نشوء الجنين ولغاية اكتمال استطالته ويحصل هذا النمو بفعل المرستيمات القمية بشكل رئيسي وقد تسهم المرستيمات البينية Intercalary meristems في هذا النمو كما في النجيليات . والنمو الابتدائي موجود في الغالبية العظمى من نباتات ذوات الفلقة الواحدة والنباتات الحولية من ذوات الفلقتين وأغلب النباتات الوعائية الحولية البدائية Vascular cryptogams .

أما النوع الثاني من النمو هو النمو الثانوي Secondary growth وهذا يحصل في معظم نباتات ذوات الفلقتين وعارية البذور وبعضاً من ذوات الفلقة الواحدة التي تعاني تسمكاً في السيقان والجذور فيحصل

النمو الثانوي بعد اكتمال النمو الابتدائي وعادة يكون هذا النمو أصلب وأقوى وأكثر مقاومة وتعقيداً كما في الأشجار والشجيرات .

يتألف الجسم النباتي في النباتات الراقية من ملايين الخلايا تختلف عن بعضها البعض في أشكالها وتراكيبها ووظائفها ومواقعها . هذه الخلايا تتجمع لتظهر علاقات طوبوغرافية ووظيفية معينة لتكون الأنسجة Tissues والنسيج هو مجموعة من الخلايا المقترنة تركيبياً ووظيفياً وذات موقع خاص . وقد تتجمع في مجاميع كبرى هذه الأنسجة لتكوين وحدات كبرى يجمعها ببعضها استمرار طوبوغرافي Topographic continuity أو تشابه وظيفي Physiologic similarity أو كلتا الصفتين معاً يطلق عليها أسم الأنظمة النسيجية Tissue systems مثل النظام النسيجي الأساسي Fundamental والنظام النسيجي الوعائي Vascular tissue system والنظام النسيجي الضام Dermal .

لقد حاول علماء التشريح تصنيف أنواع الخلايا إلى مجاميع وأنسجة استناداً إلى واحد أو أكثر من الأسس :

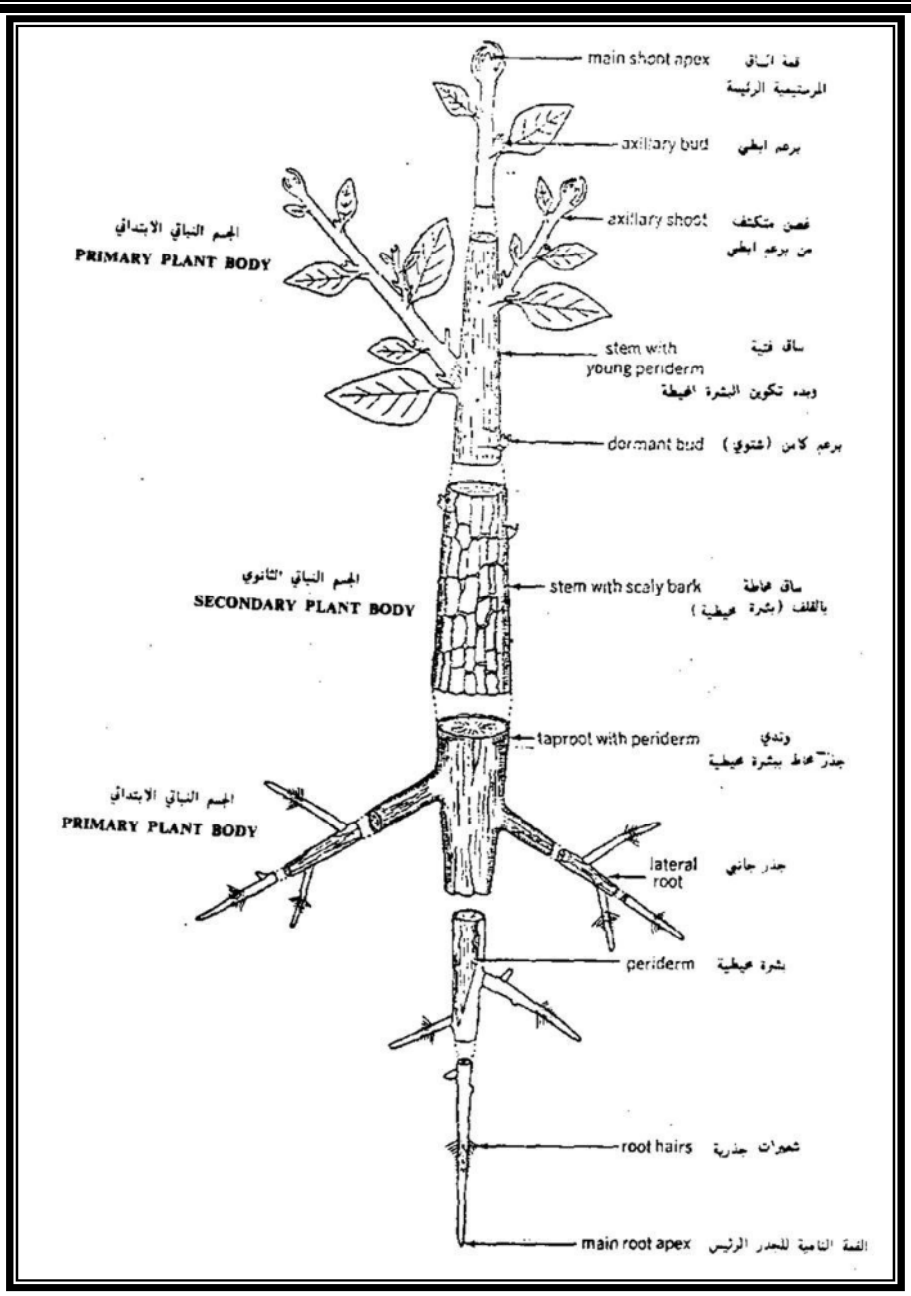
أ- موقع النسيج في الجسم النباتي .

ب-تركيب الوحدات التي يتألف منها النسيج .

ج-وظيفة النسيج .

د- أصل نشوء خلايا النسيج ومرحلة نمو هذه الخلايا .

فمثلاً قسمت الأنسجة النباتية استناداً إلى مرحلة نموها إلى الأنسجة المرستيمية أو المولدة والأنسجة البالغة أو الدائمة . كما قسمت مجاميع الخلايا المكونة للنسيج استناداً إلى مدى التباين بين خلاياها إلى أنسجة بسيطة Simple tissue والتي لا تظهر بين خلاياها فروق أساسية كالنسيج البرنكيمي وغيرها وإلى أنسجة معقدة Complex وهي التي تتألف من نوعين أو أكثر من الخلايا كاللحاء Phloem والخشب Xylem .



الشكل (١) : رسم تخطيطي يوضح الجسم النباتي الابتدائي والثانوي

أعضاء الجسم النباتي The organs of the plant body :

١- الجذر The Root :

يقوم الجذر بتثبيت النبتة في التربة وامتصاص الماء والأملاح وخزن المواد الغذائية في كثير من الأحيان ، حيث يبدو في الحالة الأخيرة متضخماً بأشكال مختلفة . يضمحل الجذر الناشئ من الجذير Radical في معظم ذوات الفلقة الواحدة وتنشأ بدله من قاعدة الساق مجموعة من الجذور العرضية Adventitious roots وقد تتفرع وتكون هذه الجذور ما يدعى بالمجموع أو النظام الجذري الليفي Fibrous root system الذي هو من خواص ذوات الفلقة الواحدة ، ويمكن ملاحظة ذلك بوضوح في الرز *Oryza sativa* مثلاً . أما في ذوات الفلقتين فيستمر نمو الجذير ويبقى هو الجذر الرئيسي الذي يمثل الجذر الابتدائي Primary root للنبات . وتتفرع من الجذر الابتدائي

فروع جانبية لا تلبث أن تتفرع هي الأخرى مرة أثر مرّة ويطلق عليها مجتمعة مصطلح الجذور الثانوية Secondary roots . ويدعى هذا النظام للجذر بالنظام الجذري الوتدي Tap root system المميز لنبات ذوات الفلقتين وعاريات البذور .

تبدأ تفرعات الجذر في منطقة النضوج Region of maturation ويتكون الجذر في هذه المنطقة من عدة طبقات هي ، ابتداءاً من الخارج نحو المركز ، طبقة البشرة Epidermis التي هي نسيج واقي مكون من طبقة واحدة من الخلايا المرصوفة والمتراصة وهي خالية من الكيوتكل Cuticale بغية تسهيل عملية الامتصاص . تلي البشرة منطقة كثيفة نوعاً ما تدعى بالقشرة Cortex مكونة من خلايا برنكيمية Parenchyma cells محدودة التميز وذات مسافات بينية واضحة ، علماً بأن الطبقة الأخيرة من خلايا القشرة غالباً ما تتميز بشكل صف منفرد من الخلايا تدعى القشرة الداخلية Endodermis . ومما تجدر الإشارة إليه أن قشرة الجذر تخلو من الخلايا الكولنكيمية Collenchyma cells كما تخلو من الخلايا الكلورنكيمية Chlorenchyma cells الحاوية على البلاستيدات الخضر .

يطلق على ما تبقى من أنسجة الجذر الواقعة داخل القشرة الداخلية مصطلح الأسطوانة المركزية Central cylinder . وتشمل الأخيرة الدائرة المحيطية Pericycle والأسطوانة الوعائية Vascular cylinder بما في ذلك اللب Pith في حالة وجوده . وتلعب الدائرة المحيطية دوراً مهماً في نشوء الجذور الجانبية الثانوية ، كما وينشأ منها جزء من الكمبيوم الوعائي Vascular Cylinder إضافة إلى الكمبيوم الفليني Cork cambium الذي ينشأ في الجذر من هذه الطبقة .

يظهر في النباتات التي يحصل فيها تسمك أو نمو ثانوي نسيج مرستيمي ثانوي بشكل أسطوانة متصلة في الغالب تحيط بالخشب يدعى الكمبيوم الوعائي Vascular cambium . ففي الوقت الذي يكون فيه المرستيم القمي مسؤولاً عن النمو والأتساع الطولي Linear growth للأعضاء النباتية ، يكون الكمبيوم الوعائي مسؤولاً عن النمو القطري Radial growth الذي يزيد في تسمك هذه الأعضاء ، وذلك عن طريق إضافة خشب ثانوي Secondary xylem إلى الداخل واللحاء الثانوي Secondary phloem إلى الخارج مما يسبب الزيادة القطرية في الجذور التي يحصل فيها نمو ثانوي ، أو الأعضاء الأخرى التي يحصل فيها مثل هذا النمو .

٢ – الساق :

تتميز السيقان بصورة عامة عن الجذور بوجود العقد Nodes والسلاميات Internodes والأوراق Leaves والبراعم Buds والملحقات الأخرى كالحراشف Scales . وتتباين السيقان في أشكالها وحجومها وغير ذلك بما يتلائم ووظائفها والبيئة التي تعيش فيها . فمن السيقان المحورة الأبصال Bulbs والدرنات Tubers والرايزومات Rhizomes والسيقان الغضة Succulent والسيقان الشوكية وغيرها . وكما تتميز السيقان في مظهرها الخارجي فإنها تتميز كذلك في تشريحها الداخلي .

تقوم الساق بحمل الأوراق وتعريضها لأشعة الشمس والهواء بالطريقة الملائمة لنوع النبات ومعيشته . تنتهي قمم الساق بالمرستيمات القمية الساقية التي تنقسم خلاياها معطية مشتقات تندفع نحو الأسفل وتندفع هي بالاتجاه المعاكس للجاذبية الأرضية عادة ، هذا وتقوم الساق بتوصيل الماء والمواد الذائبة فيه ، كذلك الغذاء من وإلى أعضاء النبات المختلفة . وتقوم بعض السيقان بخزن الغذاء كما في الكلم *Brassiea olearaceae var. gongyldes* ، وخزن الماء كما في الصبير أو التين الشوكي *Opuntia* . وتقوم السيقان الفتية بعملية التركيب الضوئي بسبب احتواء خلايا الطبقات الخارجية من قشرتها على بلاستيدات خضراء Chloroplasts بوفرة .

تتميز القمة النامية للساق بعدم انتظامها بسبب وجود الأصول أو البادئات الورقية Leaf primordia والبادئات البرعمية Bud primordia وهي لا تغلف بقلنسوة ، وغالباً ما تغلف هذه القمم عندما تكون في البراعم بأوراق حرشفية محورة أو شعيرات لحماية المرستيمات القمية . عند فحص قطاع مستعرض للساق على مسافة أسفل القمة النامية أو في منطقة النضوج يمكن تمييز الأنسجة التالية من الخارج نحو المركز . نسيج البشرة Epidermis المغطاة بالكيوتين Cutin التي هي مادة مقاومة جداً وذات طبيعة دهنية شمعية أما أن تتخلل جدران خلايا البشرة ، أو تكون بهيئة طبقة مستمرة يطلق عليها الأدمة Cuticle التي تشكل الطبقة السطحية الشمعية التي تغطي بشرة السيقان الفتية والأوراق . ويختلف سمك طبقة الأدمة باختلاف الظروف البيئية للنبات . وهذه الأدمة غير منفذة للماء والغازات لذا يتم تبادل الغازات وتبخر الماء عن طريق الثغور Stomata . وغالباً ما يعلو الكيوتكل مختلف أنواع الملحقات المشتقة من البشرة Indumentum . تلي البشرة إلى الداخل طبقة القشرة Cortex التي تضم أنواعاً مختلفة من الأنسجة تتباين في المواقع والوظائف أهمها النسيج البرنكيمي Parenchyma والكولنكيمي Collenchyma والسكلرنكيمي Sclerenchyma . يقوم النسيج البرنكيمي بعملية الخزن ، كما يقوم بعملية التركيب الضوئي Photosynthesis في حالة احتوائه على بلاستيدات خضر حيث يطلق عليه في الحالة الأخيرة النسيج الأخضر Chlorenchyma . أما النسيجان الكولنكيمي والسكلرنكيمي فيقومان بوظيفة دعامية Support بسبب تثخن جدران خلاياهما وذلك بطريقة تنسجم مع الوظيفة التي يؤديها كل منهما .

وتجد الإشارة إلى أن منطقة القشرة تكون في الساق أضيق منها في الجذر كما أنها تخلو عادة من القشرة الداخلية Endodermis وفي حالة تميز الطبقة الداخلية لقشرة الساق عن باقي الطبقات فيطلق عليها عندئذٍ مصطلح الغلاف النشوي Starch sheeth .

تقع الأسطوانة المركزية إلى الداخل من القشرة وتضم الأنسجة الوعائية ، وتكون الأنسجة الوعائية منتظمة بشكل عام بهيئة أشرطة Strands في الأجزاء الفتية للساق تدعى الحزم الوعائية Vascular bundles . تترتب الحزم الوعائية في سيقان ذوات الفلقتين في حلقة واحدة عادة تفصل بين القشرة واللب ، أما في ذوات الفلقة الواحدة فتنتشر الحزم بصورة عشوائية مما لا يتم معه تمييز

النظام النسيجي الأساسي هذا إلى قشرة ولب . وتتميز الحزم الوعائية في ذوات الفلقة الواحدة بكونها مغلقة Closed لخلوها من الكمبيوم الحزمي بينما تكون الحزم الوعائية في ذوات الفلقتين من النوع المفتوح Opened vascular bundle لاحتوائها على الكمبيوم الحزمي Fascicular cambium.

لدى حصول النمو الثانوي تتهشم البشرة فيعوض عنها بطبقة البشرة المحيطة Periderm التي تمثل النظام النسيجي الضام الثانوي . وتتألف البشرة المحيطة من ثلاث طبقات هي من الخارج إلى الداخل الفلين Phellem والكمبيوم الفليني Phellogen والقشرة الثانوية Phelloderm . وتتميز البشرة المحيطة بكونها خارجية المنشأ Exogenous في الساق لنشوئها من المناطق الخارجية للقشرة أو من البشرة بينما تكون داخلية المنشأ Endogenous في الجذر لكونها تنشأ في الأخير من الدائرة المحيطة Pericycle . وبسبب تكون طبقة الفلين غير المنفذة للسوائل والغازات فإن البشرة الثانوية تمتلك العديسات Lenticels لتقوم مقام الثغور في عملية التبادل الغازي .

٣- الورقة The leaf :

تتميز الورقة في النباتات الزهرية بوضوحها وأتساعها أو انبساطها عادة وكفاءتها في وظيفتها الرئيسية وهي التركيب الضوئي Photosynthesis . تحدث هذه العملية الحيوية المهمة جداً للنباتات وللحياة ككل داخل عضيات Orgaelles خلوية خاصة هي البلاستيدات الخضر Chloroplasts التي تحتوي على المادة الخضراء Chlorophyll . والورقة مكيفة تركيبياً ووظيفياً لهذه العملية ، فانبساط نصل الورقة Blade وترتيب الأوراق المعرضة للجو بنظام خاص ومواقع معينة ، ورقة النصل الورقي ووجود الثغور كل ذلك يسهل عملية تغلل الأشعة الشمسية إلى داخل جميع خلايا الورقة ، ويسهل عملية التبادل الغازي Gas exchange في عمليات التركيب الضوئي والتنفس Respiration والنتح Transpiration .

للورقة بشرتان عليا Upper epidermis وسفلى Lower epidermis تحيطان بنسيج برنكيمي متوسط Mesophyll تتخلله حزم وعائية بشكل عروق Veins ذات أنظمة خاصة في انتشارها وتفرعاتها في نصل الورقة . غالباً ما يميز للورقة حامل Petiole له أشكال وأبعاد مختلفة باختلاف الأنواع . وقد يلحق الورقة أذينات Stipules تتصل بحامل الورقة ، أما إذا امتدت من قاعدة النصل الورقي زوائد جانبية تسمى هذه الزوائد بالأذينات النصلية Auricles وتكون بأشكال وأبعاد مختلفة كذلك . لبشرة الورقة معقدات ثغرية Stomatal Complexes مختلفة الأشكال والأنظمة والمواقع والأعداد في الأنواع النباتية المختلفة ، وخلايا بشرية اعتيادية Ordinary epidermal cells . وتتحكم الخلايا الحارسة في فتح وغلق الثغور مما يترتب عليه التحكم في عملية النتح وعمليات التبادل الغازي الأخرى . تنتشر الثغور Stomata على بقية الأعضاء والأجزاء النباتية الفتية المعرضة للضوء وبأنظمة وأعداد وأشكال متغايرة حسب الموقع . فهي توجد على السيقان الفتية

وملحقاتها وعلى الأذينات وحوامل الأوراق والأزهار ومختلف الأعضاء الزهرية وملحقاتها أيضاً وعلى الأثمار الفتية كذلك .

يتألف النسيج المتوسط Mesophyll للورقة في ذوات الفلقتين من خلايا حشوية Parenchyma cells متطاولة متراصة عمودياً على خلايا البشرة وذات أعداد كبيرة من البلاستيدات الخضراء يطلق عليها الخلايا العمادية Palisade cells . أما بقية الخلايا البرنكيمية في النسيج المتوسط فهي خلايا ذات مسافات بينية واسعة وتكون غير منظمة الأشكال وذات بلاستيدات أقل كثافة عادة من الخلايا العمادية وتعرف بالخلايا الأسفنجية Spongy cells .

وقد توجد الخلايا العمادية تحت البشرة العليا فقط وهي الحالة الغالبة حيث تدعى الورقة Unifacial leaf أي ذات الوجه المنفرد ، أو أن توجد تحت البشرة العليا والسفلى وتدعى الورقة عندئذ ذات الوجهين Bifacial . تقوى الورقة أحياناً ببعض الخلايا السميكة الجدران والمتخشبة كالخلايا المتصلبة Sclereids في النسيج المتوسط كما في الأوراق المتصلبة Sclerophylls .

٤ – الزهرة The flower :

الزهرة هي غصن محور لانجاز وظيفة التكاثر الجنسي في مغطاة البذور Angiosperms أو النباتات الزهرية Anthophyta . وتنشأ الزهرة وتتكشف من برعم زهري وقد تتكشف من قمة ساقية خضرية Vegetative shoot apex بعد أن تعاني تغيرات معينة وتحت ظروف محددة . وتتألف الزهرة من أوراق غلافية عقيمة تتمثل بحلقة أو أكثر تدعى بالغلاف الزهري Perianth ، الخارجية منها تدعى بالأوراق الكاسية Sepals التي يطلق عليها مجتمعة مصطلح الكاس Calyx . وحلقة أو أكثر داخلية تدعى بالأوراق التويجية Petals التي تسمى مجتمعة التويج Coralla . وتكون الأوراق الكاسية خضراء اللون عادة أما الأوراق التويجية فتكون ملونة وجذابة في الغالب . وقد تلحق بالأوراق الغلافية للزهرة ملحقات Appendages مختلفة الأشكال والألوان والمواقع . قد لا تتميز الأوراق الغلافية بعضها عن البعض الأخر أي أن الحلقة الخارجية والحلقة الداخلية للغلاف الزهري تكون ذات وحدات متشابهة كما في العديد من أزهار ذوات الفلقة الواحدة ، ويطلق على مثل هذه الأوراق التي لا تتميز إلى أوراق كاسية ولا إلى أوراق تويجية مصطلح Tepals . تسمى الأوراق الغلافية المشابهة مجتمعة Perigone . للأوراق الغلافية ، سواءاً تميزت إلى أوراق كاسية وأوراق تويجية أو تشابهت ، تكون لها أهمية تصنيفية كبيرة في عزل مختلف المراتب التصنيفية خصوصاً العائلات Families والرتب Orders . ولا يفوتنا أن نذكر أن الغلاف الزهري قد يفقد كلياً من الزهرة فتسمى الزهرة حينئذ عارية Naked flower ، أو جزئياً ، كفقدان الحلقة الخارجية أو الحلقة الداخلية ، فتسمى الزهرة بناقصة Incomplete flower ، هذا وقد تتضاعف حلقات الغلاف الزهري فتصبح أكثر من حلقتين كما في جنس Jasminum الذي تعرف بعض أنواعه ياسمين ورازقي .

وللزهرة أوراق محورة أو تراكيب خصبة تمثل الأعضاء الزهرية التكاثرية تقع إلى الداخل من الغلاف الزهري الذي يحفظها ويحافظ عليها قبل تفتح الزهرة الخارجية منها تسمى الأسدية Stamens أو

جهاز التذكير Androecium والداخلية التي تحتل مركز الزهرة تمثل الكربلات Carpels أو جهاز التأنيث أو المتاع Gynoecium . فالزهرة الكاملة Perfect flower تمتلك الكأس والتويج والأسدية والكربلات ، وقد تغيب واحدة أو أكثر من الحلقات الزهرية فتوصف الزهرة بكونها غير كاملة Inperfect flower أي فقدان أي من الحلقات الخصبة .

تتألف السُداة النموذجية الحديثة من حامل رفيع عادة يدعى الخويط Filament يحمل تركيباً كيسياً منتفخاً تتكون فيه حبوب اللقاح يدعى المتك Anther . تقع الأسدية في الزهرة إلى الداخل من حلقة التويج ولها أعداد وأشكال وألوان مختلفة باختلاف أنواع الأزهار وتتألف من دائرة (حلقة) واحدة أو أكثر ، وقد تلحق الأسدية بملحقات مختلفة الأشكال والألوان والمواقع . قد يكون المتاع بسيطاً إذا تكون من كربلة واحدة ، والكربلة هي ورقة سبورية محورة واحدة كتلك التي تمتلكها زهرة البقوليات Legumes ، أما عندما يتألف المتاع من أكثر من كربلة واحدة فيدعى مركباً أن أتحدت هذه الكربلات وكونت مدقة Pistil مركبة واحدة في الزهرة المفردة ، أو أن تكون للزهرة الواحدة مجموعة كربلات بسيطة سائبة تتجمع في مركز الزهرة أي عدة مدقات بسيطة . للمدقة الحديثة سواءاً كانت بسيطة أو مركبة ثلاثة أجزاء عادة ، جزء قاعدة منتفخ يدعى بالمبيض Ovary تتكون فيه البيوض Ovules له ردهة Locule واحدة أو أكثر ، وللردهة الواحدة بيضة واحدة أو أكثر . يعلو المبيض تركيب نحيف أسطواني عادة يدعى بالقلم Style يمر من خلاله الأنبوب اللقاحي Pollen tube النامي بعد عملية التلقيح Pollination وأصلاً إلى بيوض المبيض ، وينتهي القلم بتركيب قمي متميز عادة يدعى الميسم Stigma له أشكال وألوان وتحورات مختلفة مهمة تصنيفياً . يقوم الميسم باستلام حبوب الطلع Pollen التي تتجانس مع سطحه وسائله فقط ، ويساعد السائل الميسمي Sigmatic fluid الذي يفرزه الميسم على التصاق هذه الحبوب ونموها عليه مرسلة الأنابيب اللقاحية الحاملة للأمشاج الذكرية Male gametes عبر القلم إلى المبيض ثم البيوض لتتم عملية الأخصاب Fertilization . أما عملية انتقال حبوب الطلع من المتك إلى الميسم فتدعى بالتلقيح Pollination . تتم العملية الأخيرة عن طريق الهواء أو الحيوانات أو بطرق أخرى . تتكون البيضة المخصبة Zygote بعد عملية الإخصاب وعند هذه المرحلة تبدأ الكربلات بالنمو وتكون الثمرة عند نضوج المبيض وتتحول البيوض إلى بذور .

بما أن الأوراق والأجزاء الزهرية العقيمة منها والخصبة هي تراكيب ورقية محورة ومتخصصة للزهرة فهي تتخذ نفس الأساس في تراكيبها النسيجية الداخلية فلكل ورقة زهرية محورة بشرتان خارجية وداخلية (تقابل العليا والسفلى في الورقة الخضرية) عدا الأجزاء الأسطوانية وشبه الأسطوانية من الزهرة كالخويط والقلم ، ونسيج متوسط تتخلله عروق أي حزم وعائية . أما تفاصيل بشرة الأجزاء الزهرية وأنسجتها الأخرى فتختلف بسبب طبيعة تحور هذه الأجزاء ووظائفها .

الخلية النباتية The plant cell

علم الخلية Cytology : هو أحد فروع علوم الحياة Biology والذي يختص بدراسة الخلية من حيث تركيبها وطبيعة مكوناتها وطرق انقسامها ومحتوياتها سواءاً أكانت حية protoplasmic أو غير حية Non-protoplasmic .

الخلية Cell : هي وحدة التركيب والوظيفة في الكائنات الحية .

س١ : هل أن جميع الكائنات الحية تتركب جسمها من خلايا ؟

ج : نعم ، عدا حالات خاصة كما في الطحالب لا يتركب جسمها من خلايا بل يتكون من قنوات متصلة على شكل مدمج خلوي Coenocyte تنتشر الانوية في السايتوبلازم دون وجود جدران أو حواجز داخلية . كما أن بعض النباتات الأولية يتركب جسمها من خلية واحدة تقوم بجميع الوظائف الحيوية .

س٢ : مم تتكون (تتركب) الخلية ؟

ج : تتركب الخلية (أي مكونة) من جزأين رئيسيين هما جدار الخلية والبروتوبلاست والجدار صلب غير حاوٍ على مادة السليلوز عادة صفة مميزة للخلايا النباتية بينما الخلايا الحيوانية تكون محاطة بغلاف أو غشاء بلازمي حي . كما ينعدم الجدار في السبورات المتحركة Motile spore في الطحالب والفطريات وخلايا الأمشاج Gametes [الكميتات] وكذلك الكائنات التي يكون فيها الجسم النباتي عبارة عن مدمج خلوي . يحتوي البروتوبلاست على مكونات حية وأخرى غير حية .

والمكونات الحية للخلية Living cell compounds هي :

١. السايتوبلازم Cytoplasm .
٢. النواة Nucleus .
٣. البلاستيدات Plastids .
٤. المايتوكوندريا Mitochondria .
٥. الشبكة الاندوبلازمية Endoplasmic reticulum .
٦. الرايبوسومات Ribosomes .
٧. الدكتيوسومات Dictyosomes أو أجسام كولجي Golgi bodies .

أما المكونات الغير الحية للخلية هي :

١. الجدار الخلوي Cell wall .
٢. الفجوات Vacuoles .
٣. حبيبات النشا Starch grains .
٤. الحبيبات البروتينية أو الأليرونية Auleurone grains .
٥. القطرات الزيتية Oil droplets .
٦. البلورات Crystals .

المكونات الغير الحية للخلية النباتية Non-living compounds of Plant cell :

١- جدار الخلية Cell Wall :

هو طبقة غير حية (ميتة) يحيط بالخلية يتميز بوجود مادة السليلوز التي تخلو منها الخلايا غير النباتية ويتكون جدار الخلية نتيجة لنشاط بروتوبلاست الخلية . ويمتاز بأنه يكون رقيقاً وقابلاً للتمدد نتيجة لازدياد حجم ونمو البروتوبلاست ويكون الجدار عند بدء تكوينه رقيقاً للغاية ولكن تحدث له بعد ذلك عدة تغيرات سواءاً في السمك أو التركيب الكيميائي ويظهر الجدار الخلوي مباشرة بعد الانقسام بشكل منطقة داكنة تتكون عند خط استواء المغزل Equator ويطلق عليها أسم فراكموبلاست أو الجسم البرميلي Phroagmoplast وخلال الفراكموبلاست يظهر الجدار بشكل صفيحة رقيقة تسمى بالصفيحة الخلوية Cell plate تتكون في البداية بوضع مركزي ثم تمتد تدريجياً نحو الخارج Centrifugal إلى أن تصل إلى جدار الخلية الأم . وتسمى حينئذ بالصفيحة الوسطى Middle lamella . بعدها يقوم البروتوبلاست بترسيب غشاءين رقيقين على جهتي الصفيحة الوسطى يكونان ما يسمى بالجدار الابتدائي Primary cell wall وعندما تصل الخلية إلى كامل نضجها قد يندمج الجدار الابتدائي بالصفيحة الوسطى فيطلق عليه أسم الصفيحة الوسطى المركبة Compound middle lamella وتكون ثلاثية الطبقة 3–layered .

في حالات كثيرة يحدث تغلظ آخر يضاف إلى الجدار وذلك بعد وصول الخلية إلى كامل نضجها ، هذا التغلظ يكون جداراً آخر فوق الجدار الابتدائي يعرف بالجدار الثانوي Secondary cell wall الذي يتكون في بعض الخلايا النباتية .

في بعض الأحيان يندمج الجدار الثاني بالجدار الابتدائي ولا يمكن تمييزه عندئذ يمكن أن يطلق أسم الصفيحة الوسطى المركبة وعلى الجدارين معاً إضافة إلى الصفيحة الوسطى وتصبح الصفيحة الوسطى المركبة في هذه الحالة خماسية الطبقة 5–layered .

طبقات الجدار Wall layers :

يتميز جدار الخلية النباتية إلى طبقات يختلف بعضها عن بعض في التركيب الكيميائي ونسبة الماء وبعض الصفات الفيزيائية كتأثير الضوء المستقطب عليها Polarized light وعليه يمكن تمييز الطبقات الآتية :

١. الصفيحة الوسطى Middle lamella :

ويطلق عليها بالمادة البينية أيضاً Intercellular substance ، التي تقوم بربط الجدارين الابتدائيين المتصلين بها . وتتركب الصفيحة الوسطى بشكل أساس من بكتات الكالسيوم والمغنيسيوم إلا أنها قد تحتوي على اللكنين كما في العناصر الناقلة في الخشب . وتوصف الصفيحة الوسطى بأنها غير فعالة ضوئياً Optically inactive أو متجانسة Isotropic .

٢. الجدار الابتدائي Primary cell wall :

يمثل أول جزء من الجدار يضاف من قبل البروتوبلاست على الصفيحة الوسطى وتحصل أضافته في المراحل التي تكون فيها الخلايا لا زالت في حالة نمو في السطح وفي الحجم ويتكون الجدار الابتدائي من مواد بكتينية Pectic substance وسليلوز ومواد غير سليلوزية متعددة السكريات Non – cellulosis Polysaccharides ومواد أخرى .

ويوصف الجدار بأنه فعال ضوئياً Optically active أو غير متجانس ضوئياً Anisotropic وذلك لوجود مادة السليلوز (بسبب وجود ألياف السليلوز مرتبة بشكل منسق مما يؤدي إلى انحراف الضوء المستقطب عند مروره خلالها) .

لقد أظهرت الدراسات بالمجهر الالكتروني أن السليلوز في الجدار يكون على هيئة حزم من ليفات يطلق عليها الليفات الكبيرة Macrofibrils وهذه تتكون بدورها من مجموعة من وحدات أصغر يطلق على كل منها ليفة دقيقة Microfibril وفي السليلوز المتبلور Crystalline cellulose تتكون الليفات الدقيقة متوازية مع بعضها غير أنها لا تكون كذلك في السليلوز غير المتبلور . وتتألف كل ليفة دقيقة من حزمة من الوحدات تمثل كل وحدة سلسلة من جزيئات السليلوز .

أن نسبة السليلوز المتبلور Crystalline cellulose في الجدار الابتدائي تكون قليلة مقارنة مع السليلوز غير المتبلور Amorphous cellulose لذا تكون طبيعته مرنة بينما تزداد نسبة السليلوز المتبلور في الجدار الثانوي حتى تصل إلى ٩٠ % من مجموع السليلوز .

وعلى نفس الأساس تعتبر الصفيحة الوسطى متجانسة أو غير متجانسة ضوئياً وذلك لكونها مكونة من مادة البكتات التي ليس لها صفات بلورية فلا يحصل انحراف للضوء المستقطب عند مروره خلالها .

يوجد الجدار الابتدائي في سائر الخلايا النباتية وقد يبقى هو الجدار الوحيد في الخلية كما في الخلايا المرستيمية Meristematic cell ومعظم الخلايا البرنكيمية Parenchyma cells والخلايا الكولنكيمية Collenchyma cells ومعظم خلايا البشرة Epidermis .

٣. الجدار الثانوي Secondary cell wall :

وهو الجدار الذي يضاف على الجدار الابتدائي في بعض أنواع الخلايا وذلك بعد اكتمال النمو السطحي والحجمي للخلية ، أي تكوين الجدار الثانوي يبدأ بعد وصول الخلية إلى حجمها النهائي والمواد التي تدخل في تركيب الجدار الثانوي تتكون من السليلوز الذي يؤلف في الغالب الجزء الأكبر من الجدار والسكريات المتعددة غير السليلوزية Noncellulosic polysaccharides فضلاً عن مواد أخرى مثل اللكنين Liginin والسوبرين Suberin ويتميز الجدار الثانوي بخلوه من المواد البكتينية الحقيقية True pectic substances .

غالباً ما يكون الجدار الثانوي مقترناً بخلايا تموت بعد تمام نضجها خلافاً مما عليه الحال في الجدار الابتدائي . ويتميز الجدار الثانوي في كثير من الأحيان إلى طبقات متميزة كيميائياً وفيزيائياً والجدار الثانوي وهكذا الجدار الابتدائي يتم تكوينهما والبروتوبلاست ما زال حياً .

أما إذا فقدت الخلية حيويتها فلا يمكن حدوث أية زيادة في سمك الجدار ولا تركيبه الكيميائي عادة . لذلك توصف التغيرات التي تحصل في الجدار الثانوي بكونها غير عكسية Irreverible ويقتصر وجود الجدار الثانوي على أنسجة وخلايا معينة وهي :

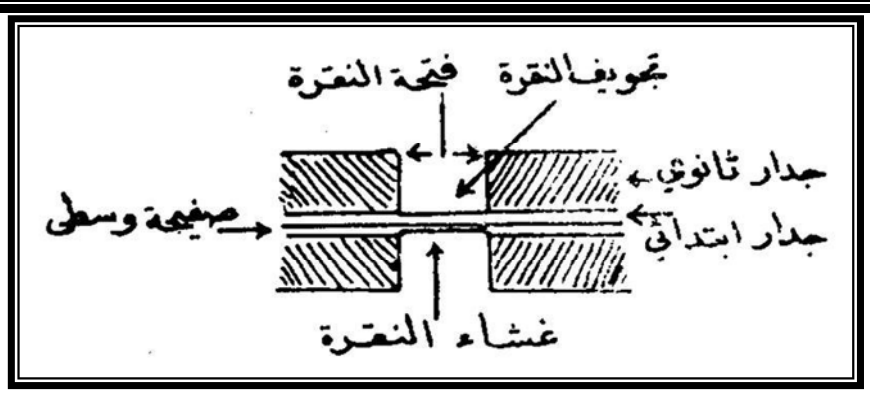
١. العناصر الناقلة في الخشب Tracheary elements كالأوعية Vessels والقصيبات Tracheids .
٢. النسيج السكلرنكـيمي Sclerenchyma كالألياف Fibers والخلايا الصخرية Stone cells .
٣. بعض الخلايا البرنكيمية كتلك التي في نسيج الخشب .
٤. النسيج الفليني Cork .
٥. في بعض طبقات البشرة كتلك التي في الصنوبريات والنباتات دائمة الخضرة وخلايا الفيلامين Velamen الموجودة في الاوركيدات Orchids والتي تمثل بشرة مركبة تحاط خلاياها بجدران ثانوية وهي موجودة في الجذور الهوائية لهذه النباتات .

النقر Pits :

تنشأ النقر في البداية على هيئة ما يسمى بحقول النقر الابتدائية Primary pit fields والتي تظهر بالجدار الابتدائي عند تمدده نتيجة نمو البروتوبلاست وزيادته في الحجم ويزداد وضوحاً بازدياد الجدار الابتدائي في السمك ، حيث تمثل هذه الحقول مناطق رقيقة في الجدار الابتدائي وعندما يتكون الجدار الثانوي تظهر النقر بشكل واضح على هيئة تجاويف أو انخفاضات وعادة تظهر هذه النقر متقابلة في الخلايا المتجاورة ويفصلها عن بعضها غشاء رقيق يسمى غشاء النقرة pit membrane يتألف من الصفيحة الوسطى .

تتألف النقرة من التراكيب الآتية :

١. غشاء النقرة pit membrane المكون من الصفيحة الوسطى وقسم رقيق من الجدار الابتدائي .
٢. تجويف النقرة pit cavity يقع بين الغشاء وتجويف الخلية .
٣. فتحة النقرة pit aperture وهي الفتحة الموجودة في نهاية تجويف النقرة عند التقاءه مع تجويف الخلية Cell lumen .



الشكل (٢): تركيب النقرة البسيطة

أنواع النقر Types of pits :

١. حقول النقر الابتدائية Primary pit fields :

وهذه تظهر في الجدار الابتدائي عند تمدده نتيجة نمو البروتوبلاست وزيادته في الحجم ويزداد ظهورها بازدياد سمك الجدار وتبدو حقول النقر الابتدائية في المنظر الجانبي بما يشبه المسبحة حيث يتكون الجدار الابتدائي من مناطق رقيقة تمثل حقول النقر الابتدائية ومناطق سميكة على التوالي وهذه الحقول تظهر بشكل واضح في الخلايا الحية التي لم تتغلظ بعد بجدار ثانوي وتتميز هذه الحقول بوجود روابط بلازمية Plasmodesmata تمر خلالها .

٢. النقر البسيطة Simple pits :

يعد وجودها مميزاً للجدران الثانوية فإن كانت هذه النقر ذات قطر متجانس تقريباً خلال الجدار أطلق عليها أسم النقر البسيطة وتوجد النقر البسيطة في بعض الخلايا البرنكيمية المحتوية على جدار ثانوي كما أنها موجودة في كثير من العناصر الناقلة في الخشب بالإضافة إلى وجودها في الألياف.

٣. النقر المضفوفة Bordered pits :

وهي التي ينفصل فيها الجدار الثانوي عن غشاء النقرة ويمتد إلى داخل الخلية متدرجاً في الرقة ومكوناً ما يعرف بالضفة Border ولا تلتقي حواف الضفة في الوسط بل تظل متباعدة لتكون فتحة مركزية هي فتحة النقرة . كما أن غشاء النقرة قد لا يظل رقيقاً بل يتغلظ في الوسط مكوناً ما يسمى بالتخت Torus ويتخلف ما بين الضفة وغشاء النقرة فراغ يعرف بغرفة النقرة pit chamber أو الردهة ويكون قطر التخت أكبر قليلاً من قطر فتحة النقرة . وباستثناء بعض الحالات الشاذة فإن وجود التخت في النقر المضفوفة يعتبر صفة مميزة للنباتات التالية :

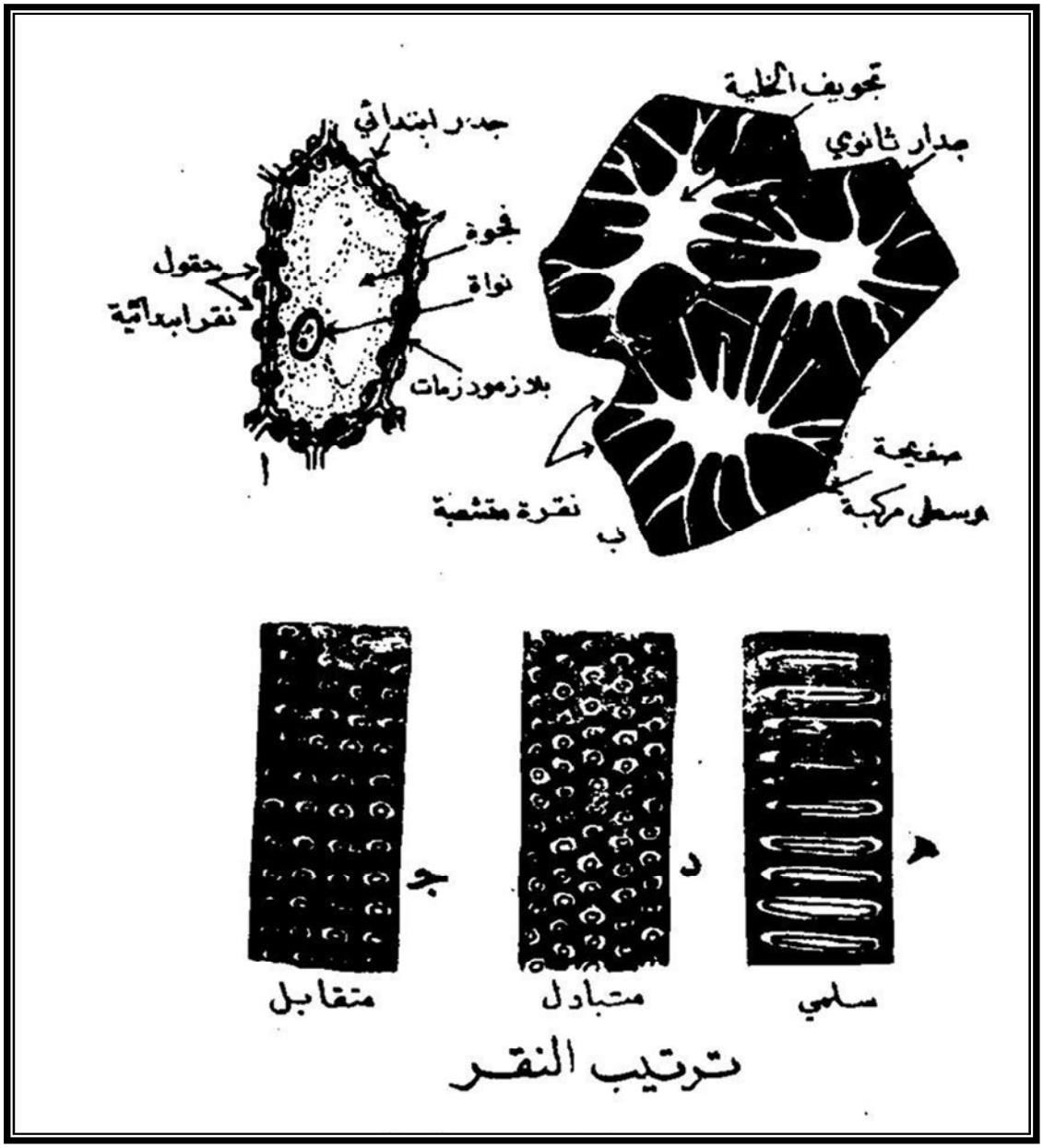
١. رتبة الصنوبريات Coniferales .
٢. رتبة العلديات Gentales .

٣. رتبة الجنكوالات Ginkgouales .

وجميعها من عاريات البذور ، أن وجود التخت في هذه الرتب يكون مفتقراً على النقر مضفوفة الوجهين Bordered pit pairs ولا وجود له في النقر نصف المضفوفة .

٤. النقر المتشبعة أو القنوية Ramiform or Branched pits .

تظهر هذه النقر عندما يزداد سمك الجدار زيادة كبيرة فإن النقر تصبح نحيفة وتتخذ شكل قنوات تصل ما بين تجويف الخلية وسطحها وكثيراً ما تكون هذه القنوات متشبعة ، كما في الخلايا الحجرية Branchysclereids stone cells الموجودة في ثمار العرموط .



الشكل(٣): بعض أنواع النقر وترتيبها .(أ) حقول النقر الابتدائية من بشرة ورقة حرشفية للبصل (ب) النقر المتشبعة في الخلايا الصخرية لثمار العرموط (جـ ، د، هـ) أنواع من ترتيب النقر .

اقتران النقر pit combination :

يطلق مصطلح الزوج النقري pit pair على النقرتين المقترنتين عندما تقترن النقر الموجودة على جانب من الجدار بواحدة أو أكثر من النقر المتماثلة أو المغايرة لها على الجانب الآخر .

١. المزدوج النقري البسيط Simple pit pairs : وفيه تقترن نقرة بسيطة على جانب من الجدار بأخرى مماثلة على الجانب الآخر كتلك الموجودة في الخلايا البرنكيمية ذات الجدران الثانوية .
٢. المزدوج النقري المضفوف Bordered pit pair : وفيه تقترن نقرة مضفوفة على جانب من الجدار بأخرى مماثلة على الجانب الآخر كما في النقر الموجودة في الجدران الفاصلة بين عنصرين ناقلين من عنصر الخشب .
٣. الزوج النقري نصف المضفوف (Semi) Half–bordered pit pairs : وفيه تقترن نقرة مضفوفة على جانب من الجدار بأخرى بسيطة على الجانب الآخر ، يلاحظ ذلك في الجدران الفاصلة بين عنصر ناقل من عناصر الخشب (قصيبة أو وعاء) وبين خلية برنكيمية حيث تكون النقر المضفوفة على جانب القصبة أو الوعاء والنقرة البسيطة على جانب الخلية البرنكيمية .
٤. التنقر مركب الجانب Unitterally compound pitting : وفيه تقترن نقرة واحدة من جانب من الجدار بأكثر من نقرة في الجانب الآخر .
٥. النقرة العمياء Blind pit : وفيها تكون النقرة الموجودة على جانب من الجدار غير مقترنة بأخرى في الجانب الآخر كما في النقر التي تقابلها مسافة بينية أو التي تتكون في الجدران الفاصلة بين القصيبات والألياف . إذ أن النقرة الموجودة على الجانب المواجه للتجويف خلية القصيبة لا تقابلها أية نقرة من جهة الجدار المواجه للخلية الليفية وذلك لاعتبارات وظيفية .

٢- الفجوات Vacuoles :

تتميز معظم الخلايا الحية في النبات بوجود فجوات تحتوي بداخلها على سائل يطلق عليه العصير الخلوي Cell sap ويفصلها عن السايتوبلازم غشاء يطلق عليه غشاء الفجوة Vacuoles (Tanaplast) membrane وهو ذو نفاذية تفاضلية[١] Differentially permeable حيث يسمح لبعض المواد بالمرور ولا يسمح لغيرها ويختلف عدد الفجوات باختلاف نوع الخلية وعمرها والمنطقة التي توجد بها والعضو الذي توجد به . وعلى العموم تكون الفجوات صغيرة جداً ومتعددة في المراحل المبكرة للنمو بينما يكبر حجمها ويقل عددها في الخلية الواحدة بمرور الزمن والفجوة أما أن تكون عديمة اللون أو تتخذ ألواناً معينة . ويعتبر الماء المكون الرئيسي للعصير الخلوي وكذلك الأملاح والسكريات والأحماض العضوية والأحماض الأمينية والأميدات ومركبات بروتينية ودهنية وقد توجد مواد دباغية Tannins وصبغات كالأنثوسيانين Anthocanine وتصف هذه المواد كلها

(١) يقصد به غشاء يفضل دخول بعض المركبات على الأخرى .

مع المواد غير الحية وهذه أما أن تكون مواد مختزنة يمكن استعمالها في الوقت المناسب في عمليات البناء أو أنها تمثل نواتج عرضية لبعض عمليات التحول الغذائي أو فضلات .

والعصير الخلوي لزج إلا أنه أقل لزوجه من السايتوبلازم وقد يكون قاعدياً أو حامضياً يمكن الكشف عليه باستعمال صبغة الأحمر المتعادل Neutral red تصل نسبة الماء في العصير الخلوي ٨٥ – ٩٥ %.

ويختلف التركيز في العصير الخلوي باختلاف الخلايا وقد يزداد عن حد معين وبذلك تترسب المواد الذائبة فيه على شكل بلورات مما يحدث عند فقد الخلايا لبعض مائها في الجذور الجافة التي تتخصص نسبة الماء فيها إلى ١٠% أو أقل وتلعب الفجوات :

١. تلعب دوراً هاماً في كثير من العمليات الحيوية خاصة فيما يتعلق بالعلاقة المائية بين النبات والمحيط الخارجي .
٢. تعزيز آلية نقل المواد المختلفة من منطقة إلى أخرى خلال جسم النبات .
٣. لكي تقوم الخلية النباتية بأنشطتها الحيوية لا بد أن تكون في حالة امتلاء Tirgidity وذلك يعتمد على الفجوة العصارية .
٤. الخلايا الممتلئة تقوم بدور هام في تقوية النبات من الناحية الميكانيكية ولاسيما في الأجزاء الفتية.

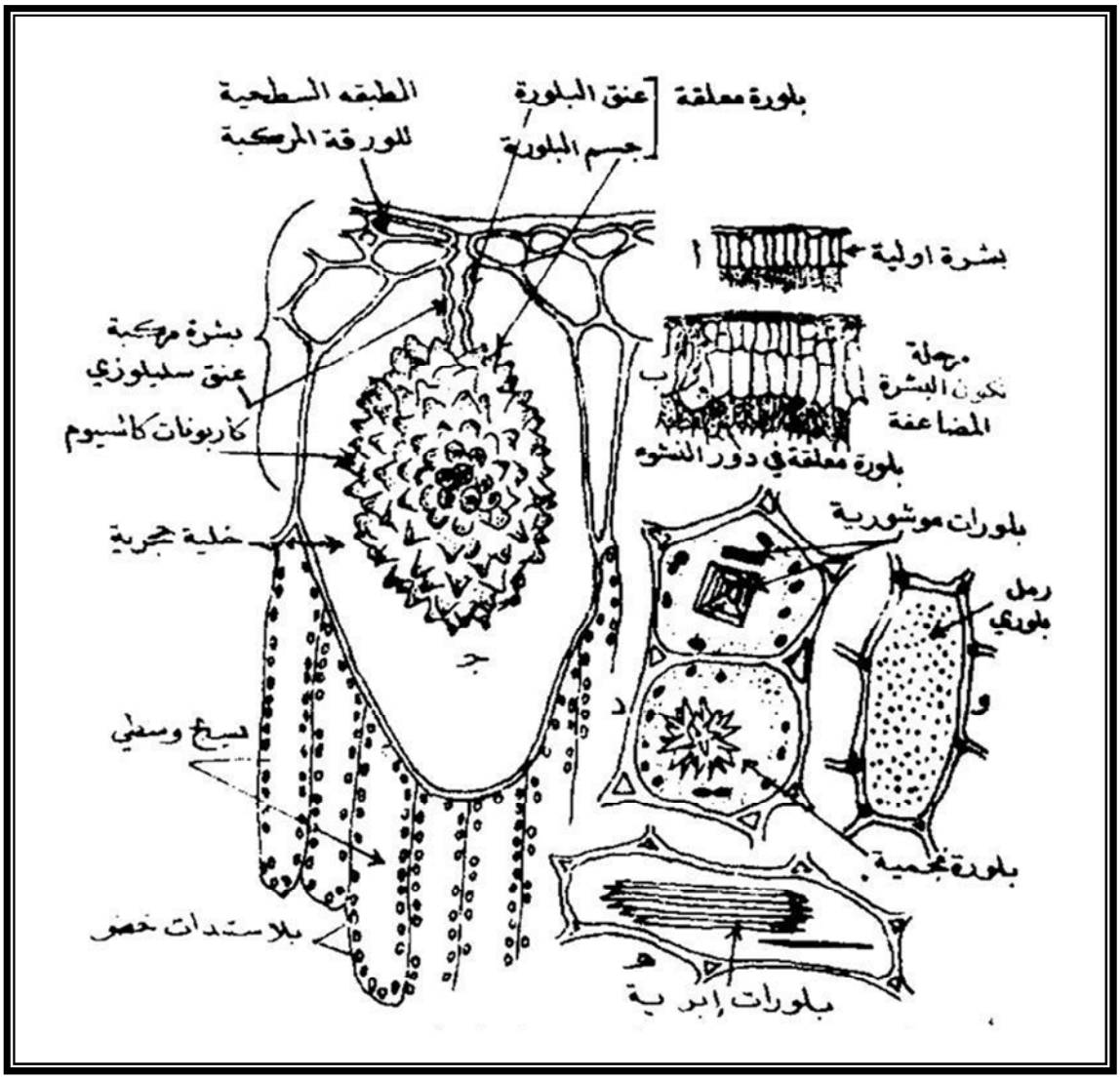
٣- البلورات Crystals :

البلورات من المكونات غير الحية للخلية تكون متباينة في أشكالها وتركيبها الكيميائي وأن كان معظم البلورات تتكون من أوكسالات الكالسيوم أو كاربونات الكالسيوم والنوع الأول من البلورات (أوكسالات الكالسيوم) لها أهميتها ومغزاها بالنسبة لحياة البروتوبلازم وحيويته حيث أن حامض الأوكساليك من الحوامض السامة لذلك تحوله الخلايا إلى مركبات غير ذائبة على هيئة بلورات تقلل إلى أكبر حد ممكن من تأثيره السام .

البلورات أما تكون بمفردها Solitary ، كما في البلورات الموشورية prismatic أو تتجمع بشكل كتل بلورية Crystal masses أما وردية Rosette أو نجمية Druses وقد تكون بشكل حزم من بلورات أبرية رفيعة تسمى رافيدات أو بلورات أبرية Raphides or Needle crystals من أنواع البلورات الأخرى البلورة المعلقة أو الحويصلة الحجرية Crystolith يكون فيها جسم البلورة مكوناً من كاربونات الكالسيوم ، أما العنق Stalk فهو مركب أساساً من مادة السليلوز ، يطلق على الخلية الحاوية على الحويصلة الحجرية مصطلح الخلية الحجرية Lithocyte وهذه موجودة في خلايا البشرة والخلايا البرنكيمية وفي بعض العائلات النباتية مثل Dcanthaceae والعائلة القرعية (القثائية) Cucurbitaceae والتوتية Moraceae .

وهناك نوع خاص من البلورات يسمى البلورات الكروية Sphaerocrystals وهذا يوجد في درنات بعض النباتات مثل الداليا *Dahlia* وهذه البلورات تكون من مادة الانيولين Inulin وهناك البلورات

الرملية Sand crystals حيث تكون أوكسالات الكالسيوم على شكل مسحوق يشبه الرمل كما في البطاطا *Salanum tuberolum* .



الشكل (٤): أنواع مختلفة من البلورات . (أ ، ب، جـ) مراحل نشوء البشرة المضاعفة والبلورة المعلقة (الحوصلة الحجرية) في خلايا بشرة نبات المطاط *Ficus* (د) خليتان من سويق ورقة بيكونيا تحويان بلورات موشورية ونجمية . (هـ) بلورات أبرية من نبات لآلة عباس *Mirabilis* (و) بلورات رملية في خلايا من جنس *Solanum*.

٤- الحبيبات النشوية Starch Grains :

النشا مادة كاربوهيدراتية متعددة السكريات تمثل سلسلة طويلة من جزيئات سكر الكلوكوز ويوجد على شكل حبيبات يطلق عليها الحبيبات النشوية وهذه تكون في البلاستيدات الخضر والبلاستيدات عديمة اللون وتختلف الصفات المظهرية لحبيبات النشا باختلاف النباتات ويرجع ذلك إلى :

١. موقع وشكل مركز تكوين الحبة والذي يسمى بالسرة Hilum .
٢. وجود أو عدم وجود طبقات .
٣. حجم وشكل الحبيبات النشوية .
٤. طبيعة هذه الحبيبات من حيث أنها بسيطة أو مركبة أو شبه مركبة .

يعتمد تكوين الحبيبات النشوية على الظروف الفسيولوجية المرتبطة بالبلاستيدات الخضر والبيض وكذلك كمية سكر الكلوكوز ودرجة الحموضة وعوامل أخرى كالضوء والحرارة وتوفر الإنزيمات . ويختلف شكل السرة فقد يكون دائرياً أو تأخذ أشكال أخرى فقد تكون متصدعة Cracked ، كما في البقوليات . أما بالنسبة للطبقات فقد تكون واضحة كما في البطاطا ولكنها قد لا تكون مميزة في نباتات أخرى .

بالنسبة لموضع السرة فقد يكون مركزياً Concentric ، كما في البزاليا أو غير مركزي Excentic ، كما في الموز . وقد تكون حبيبية النشا بسيطة Simple أذا ترتبت جميع الطبقات حول سرة واحدة أو شبه مركبة Semi–compound إذا كانت لها سرتان أو أكثر وتترتب الطبقات حول كل منها ثم تترتب بعد ذلك حولها معاً . أما الحبيبة المركبة Compound تحتوي على أكثر من سرة ولكن يوجد حاجز بين كل سرتين متجاورتين وتترتب الطبقات حول كل منهما بصورة مستقلة ولا تندمج مع بعضها . يمكن ملاحظة الأنواع الثلاثة في درنات البطاطا .

٥– الحبيبات الأليرونية Aleurone Grains :

توجد البروتينات في الخلايا النباتية بشكل مختزن ، غالباً ما يكون على شكل حبيبات تسمى الحبيبات الأليرونية Aleurone Grains التي يكثر وجودها في سائر الأجزاء النباتية خاصة سويداء البذور ، كما في الخروع والحنطة والذرة .

وحبيبة الأليرون قد تكون مستديرة أو بيضية في شكلها وتتكون الحبيبة في أندوديرم الخروع من جسم شبه بلوري يسمى Crystalloid يتكون من بروتين (ألبومين Albumin) وجسم كروي يسمى Globoid عبارة عن بروتين Globulin متحد مع ملح مزدوج من فوسفات الكالسيوم والمغنيسيوم ويحيط هذين الجسمين غلاف واحد هو غلاف الحبيبة ، أما في البقوليات تكون الحبيبات الأليرونية صغيرة غير متبلورة وغير متميز بها الجسم البلوري أو الجسم الكروي وتكون الحبيبات الأليرونية ممتزجة مع حبيبات النشا في نفس الخلايا . أما في حبة القمح فتوجد طبقة خاصة تقع تحت أغلفة الحبة مباشرة تسمى بالطبقة الأليرونية Aleurone layer تحتوي خلاياها على حبيبات أليرونية دقيقة تليها إلى الداخل الطبقات النشوية Starchy layer .

ومن المحتويات غير الحية في الخلية المواد الدباغية أو التانين Tannin وهي مجموعة متباينة من مشتقات الفينول يشبع أنشارها في الأنسجة النباتية . ومن المواد الأخرى الأيضية في الخلايا النباتية الدهون Fats والزيوت Oils والشموع Waxes وغيرها .

الروابط البلازمية Plasmodesmata :

هي خيوط بلازمية ترتبط ما بين بروتوبلاست خلية وبروتوبلاست خلية مجاورة . وهي تراكيب حية ذات طبيعة بروتوبلازمية والأدلة عليها .

١. وجودها في جدران الخلايا الحية فقط .

٢. تتشابه مع بقية السايتوبلازم من حيث ميلها للأصطباغ بالصبغات الخاصة بالسايتوبلازم .

٣. تعطي تفاعلات موجبة مع أنزيمات الأكسدة كما يفعل السايتوبلازم .

٤. عند تبلزم الخلية يبتعد السايتوبلازم عن الجدار إلا في مناطق معينة من الجدار .

٥. يبقى السايتوبلازم مرتبطاً به وتمثل المناطق موضع مرور الروابط البلازمية .

توجد الروابط البلازمية في معظم الخلايا مقترنة بالحقول الابتدائية للنقر في الجدار الابتدائي وقد وجدت هذه الروابط في النباتات الراقية كما وجدت في كثير من النباتات الواطئة كالسرخسيات Pteridophyta والحزازيات Bryophyta والطحالب الحمر (Red algae) Rhodophyta ، كما ثبت وجودها في جميع الخلايا الحية فقد لوحظت في الخلايا المرستيمية وفي الأنسجة الدائمة الحية . أما وظيفتها فقد وجد أنها تلعب دوراً هاماً في نقل الماء والمواد الأخرى من بروتوبلاست خلية إلى خلية أخرى . كما تقوم بنقل الحوافز Inpuise بين الخلايا المجاورة .

المحتويات الحية للخلية النباتية Living components of Plant cell

١- السايتوبلازم Cytoplasm :

يدل مصطلح السايتوبلازم على المادة الحية الموجودة بين النواة من جهة والغشاء البلازمي الخارجي من جهة أخرى والمحتوي على تراكيب حية أخرى كالبلاستيدات والمايتوكوندريا والرايبوسومات وغيرها . وبذلك يمثل السايتوبلازم الجزء الأمامي من البروتوبلاست .

يتميز في السايتوبلازم جزء يشكل أرضية السايتوبلازم وهي منطقة متجانسة نسبياً تسمى Ground cytoplasm وتوجد منها تراكيب وأغشية مختلفة الحجم والشكل . ويظهر السايتوبلازم تحت المجهر كمادة هلامية نصف سائلة شفافة أكثر كثافة ولزوجة من الماء ويكون الماء حوالي ٨٥ – ٩٠ % من الوزن الطري للخلايا وتقل هذه النسبة إلى ١٠ – ١٥ % من الوزن الطري في الأنسجة الكامنة كالحال في البذور الجافة ومواد أخرى عضوية وغير عضوية وأملاح ومواد سكرية فضلاً عن البروتينات والمواد الدهنية والكاربوهيدرات . وتعتبر الخاصية الغروية من أهم ما يساعد على قيام العمليات الحيوية داخل الخلية ولاسيما الإنزيمية منها .

وقد أظهرت الدراسات التي أجريت على السايتوبلازم بواسطة المجهر ذي الأشعة فوق البنفسجية Ultraviolet microscope والمجهر ذو الضوء المستقطب Polarized microscope والمجهر الالكتروني Electron microscope على أن السايتوبلازم هو شبكة بروتينية قابلة للتغيير باستمرار وتكون مطمورة في المحلول المائي للسايتوبلازم وهذه الشبكات هي سلاسل طويلة من نوع متعدد الببتيدات Polypeptides وارتباط هذه السلاسل تتكون الشبكة البروتينية والتي تسمى الشبكة الاندوبلازمية Endoplasmic reticulum .

٢- المايتوكوندريا Mitochondria :

هي تراكيب تظهر في السايتوبلازم كعصي صغيرة أو خيوط رقيقة طولها حوالي ١ – ٣ مايكروميتر موجودة في الخلايا النباتية والحيوانية وهي أكثر لزوجة وأعمق لوناً من السايتوبلازم ويمكن

ملاحظتها بوضوح في الخلايا الحية بعد صبغها بالصبغة أخضر يانس Janus green . وتتكون معظمها من بروتين ودهون ، كما أنها تحتوي على الحامض النووي الرايبوزي RNA وعدد من الأنزيمات التنفسية .

وعلى هذا الأساس فهي تمثل مراكز حدوث التفاعلات المنتجة للطاقة ، كما تحتوي المايتوكوندريا على الحامض النووي DNA . وقد أظهر المجهر الالكتروني أن سطح المايتوكوندريا يتكون من غشائيين رقيقين يكون الغشاء الداخلي ذا تجعدات داخلية عميقة تسمى الطيات المايتوكوندرية أو الأعراف Mitochondrial cristae وتعتبر أسطحها مجال حدوث تفاعلات التنفس حيث توجد عند هذه السطوح أنزيمات خاصة بدورة كربس Kerbs cycle وبعض الإنزيمات الخاصة ببناء الأدنيوسين ثلاثي الفوسفات ATP . لذا فإن المايتوكوندريا تمثل مراكز بناء المواد الغنية بالطاقة ومراكز لخزن الطاقة . كما توجد العديد من الأنزيمات مقترنة مع الغشاء الخارجي أو في أرضيته أو سدى Matrix هذه العضيات . وتحصل في المايتوكوندريا عملية الفسفرة حيث يجري بناء ATP من الأدنيوسين ثنائي الفوسفات ADP في عملية يطلق عليها مصطلح الفسفرة التأكسدية Oxidative phosphorylation وقد وجد مؤخراً أن الغشاء الخارجي ذو نفاذية انتخابية Selective شبيه بالغشاء البلازمي Oxidative metabolism .

٣- الرايبوسومات Ribosomes :

هي تراكيب على هيئة حبيبات غاية في الدقة يمكن رؤيتها بالمجهر الالكتروني وتتركب الرايبوسومات من الحامض النووي rRNA وبروتينات ، كما تحوي أنزيمات خاصة بعمليات البناء ولاسيما بناء البروتينات وغالباً ما تكون الرايبوسومات في خلايا حقيقية النواة مقترنة مع غشاء الشبكة الاندوبلازمية مكونة بذلك الشبكة الاندوبلازمية الخشنة Rough endoplasmic reticulum (RER) . وقد وجد بعضها الآخر منتشراً في السايتوبلازم دون أن يقترن بالشبكة الاندوبلازمية كما أنها قد تكون موجودة في بعض العضيات كالمايتوكوندريا والبلاستيدات الخضر ، وتمثل الرايبوسومات المراكز الرئيسية لصنع البروتينات Protein synthesis .

٤- النواة Nucleus :

موجودة في الخلية الحية للكائنات حقيقية النواة Eukaryotes وهي عبارة عن تركيب كروي الشكل موجود في السايتوبلازم . وتوجد النواة بشكل متكامل في الخلية الحية التي هي ليست في حالة انقسام فعلي (الطور البيني Interphase) وتكون النواة في الطور البيني كاملة التركيب يحدها من الخارج غلاف مزدوج Nuclear envelope وهو مؤلف من وحدتين غشائيتين تفصل بينهما مادة بينية ويفصل الغلاف النووي بين مكونات النواة مؤلفاً من كتلة جيلاتينية هي العصير النووي Nucleoplasm . تمتد بداخلها الخيوط الكروماتينية وهي تمثل الكروموسومات وبذلك فهي الجزء الذي يحمل المادة الوراثية . كما تضم النواة في الطور البيني نوية واحدة Nucleolus أو أكثر .

وتوجد النواة في الخلايا الحية لمعظم الأحياء حقيقية النواة إلا أن بعض الخلايا قد تفقد نواتها في المراحل البالغة للخلية كما في الوحدات المنخلية Sieve members في لحاء عاريات البذور ومغطاة البذور وكذلك في كريات الدم الحمر Erythrocytes في الإنسان واللبائن . كما تُفتقد النواة في الخلايا والأنسجة النباتية التي تموت عند النضج .

وفي الكائنات غير حقيقية النواة كالبكتريا والطحالب الخضر المزرقة لا توجد نواة نموذجية حيث تكون المادة النووية مفتقرة للغلاف النووي وللنوية وباقي المكونات الأخرى وتكون المادة الوراثية عادة ممثلة بحلقة كروموسومية واحدة موجودة في السايتوبلازم . وبذلك فإنها لا تكون معزولة عن السايتوبلازم بغلاف نووي لذا أطلق على مثل هذه الكائنات بدائية النواة Prokaryotes ويمتاز الغلاف النووي بأنه ذا صفة انتخابية Selective تسمح لبعض المواد من الدخول بينما تمنع مواد أخرى ، ويبدو أن دخول وخروج المواد عبر ثقوب الغلاف النووي يتضمن نوعين من الجزيئات العملاقة هما :

١. بروتينات مصنعة في السايتوبلازم : تدخل إلى النواة لتسهم في بناء الأجزاء أو المكونات داخل النواة أو تعمل كعوامل مساعدة في الفعاليات النووية .
٢. جزيئات من حامض RNA أو معقد بروتيني للحامض النووي الرايبوزي Protein – RNA complex تمر من النواة إلى السايتوبلازم .

وفي الخلايا النباتية الناضجة غالباً ما تتخذ النواة موقعاً محيطياً قريباً من الجدار . أما الخلايا الحيوانية فيكون موقع النواة مركزياً قي الغالب .

تحتوي النواة على واحد أو أكثر من الأجسام الكروية التي لا يفصلها عن باقي محتويات النواة أي غشاء ويطلق عليها مصطلح النويات Nucleoli وهي تنشأ من كروموسومات خاصة وذلك بواسطة تراكيب يطلق عليها منظمات النويات Nucleolar organizers والنوية غنية جداً بالبروتينات كما يوجد فيها الحامض النووي rRNA الذي يشكل حوالي ٥% من وزن النوية(*) . وبظهور الكروموسومات خلال عملية الانقسام الخيطي Mitosis يحدث اختفاء النوية وكذلك الغلاف النووي عند نهاية الطور التمهيدي Late prophase غير أنهما يعودان للظهور ثانية في الطور النهائي Telophase . والنويات أجسام أكثر كثافة من السائل النووي وكثيراً ما تحتوي بداخلها أجسام شبه بلورية . وقد ثبت دور النوية في صنع الحامض النووي الرايبوزي الذي يدخل في تركيب الرايبوسومات وهو rRNA .

٥- معقد كولجي Golgi complex :

في خلايا الكائنات حقيقية النواة Eukaryotic تتميز عضيات Organelles غشائية بهيئة حبوب مفلطحة أو أقراص يطلق عليها الصهاريج Cisternae يحدها غشاء رقيق وتتصل عند أطرافها

(*) **Nucleolus function : sites of protein synthesis .**

بحويصلات Vesicles تختلف في عددها وأشكالها تبعاً لنوع الخلية ونشاطها وقد سميت هذه التراكيب أجسام كولجي Golgi bodies نسبة للعالم والطبيب الايطالي الذي شاهدها لأول مرة في بعض الخلايا الحيوانية في القرن التاسع عشر . ويستخدم مصطلح معقد كولجي Golgi complex للدلالة على مجمل أجسام كولجي الموجودة في الخلية مجتمعة . وكان يعتقد سابقاً أن أجسام كولجي يقتصر وجودها على الخلايا الحيوانية فقط . غير أنه ثبت وجودها في الخلايا النباتية أيضاً . كما ثبت ارتباطها نشوئياً ووظيفياً بالشبكة الاندوبلازمية Endoplasmic reticulum ويتراوح عدد أجسام كولجي في بعض الخلايا الحيوانية بين ١٠ – ٢٠ ، بينما يصل عددها إلى بضع مئات في بعض الخلايا النباتية . وكثيراً ما يطلق عليها في الخلايا النباتية مصطلح الدكتيوسومات Dictyosomes . أن وجود هذه التراكيب بوفرة في الخلايا الحيوانية والنباتية ذات النشاط الإفرازي يشير إلى الدور الذي تلعبه هذه العضيات في الوظائف الإفرازية . وتجدر الإشارة إلى أن أجسام كولجي خالية من الرايبوسومات ، لذا فهي غير معنية بصنع البروتينات . مما يميزها تركيبياً ووظيفياً عن الشبكة الاندوبلازمية الخشنة . أن الدور المهم الذي يقوم به معقد كولجي في العديد من الفعاليات الإفرازية يجعل هذه العضيات الخلوية تراكيباً مهمة في تكوين الصفيحة الوسطى Cell plate وبالتالي تكوين الجدار في الخلايا النباتية ، وكذلك في نمو الغشاء البلازمي أثناء نمو الخلايا الحيوانية والنباتية . كما أنها تساعد في عزل بعض الأنزيمات من خلايا الكائنات حقيقية النواة ضمن حويصلات بهيئة لايسوسومات Lysosomes أو بيروكسيسومات Peroxisomes أو كلايوكسيسومات Glyoxisomes أو غيرها .

٦- البلاستيدات The plastids :

أجسام بروتوبلازمية ذات قابلية على الانقسام ، موجودة في السايتوبلازم وتفصلها عنه أغشية مزدوجة . وتعتبر البلاستيدات صفة مميزة للخلايا النباتية . فهي غير موجودة في الخلايا الحيوانية ، وفي الفطريات والبكتريا والطحالب الخضر المزرقة .

وفي الأنسجة النباتية المرستيمية تكون البلاستيدات موجودة بحالة بدائية يطلق عليها البلاستيدات الأولية Proplastids والأخيرة تمثل صبغة غير مميزة للبلاستيدات حيث تكون الأنظمة الغشائية الداخلية فيها غير مميزة في هذه المرحلة لكنها تتحول تدريجياً خلال عملية تميز الخلايا إلى بلاستيدات من نوع أو آخر .

وتختلف عدد البلاستيدات باختلاف الخلايا ونوع النبات فقد يصل عددها إلى بضع مئات في الخلايا التي تقوم بعملية التركيب الضوئي Photosynthesis في بعض النباتات الراقية وعلى العموم تكون البلاستيدات قليلة العدد كبيرة الحجم في النباتات الواطئة بينما تكون صغيرة الحجم كثيرة العدد في بعض النباتات الراقية وفي بعض الطحالب قد يقتصر عددها على واحدة فقط في طحلب الكلاميدوموناس Chlamydomonus وعلى الرغم من اختلاف البلاستيدات في ألوانها وأشكالها إلا

أن بعضها قادر على التحول من نوع إلى أخر كما يتضح عند نضج ثمار الطماطة إذ تتحول من عديمة اللون إلى خضراء ثم تصبح ملونة . ويمكن تصنيف البلاستيدات إلى ثلاثة أنواع رئيسية هي:

١- البلاستيدات الخضر Chloroplasts :

تتركب البلاستيدات الخضر من غشاء خارجي مزدوج تحيط بالمحتويات الباقية المؤلفة من أرضية سائلة أو شبه سائلة يطلق عليها السدى Stroma توجد بها تراكيب حبيبية يطلق عليها الحبيبات Grana التي تتصل بها الصبغات وعند دراستها بالمجهر الالكتروني يمكن ملاحظة أن الحبيبات مؤلفة من تراكيب غشائية معقدة مكونة أقراصاً غشائية Thylakoids تكون منضدة فوق بعضها البعض وتكون كل مجموعة بهذا الشكل أحدى حبيبات الكرانا وتمتد بين الحبيبات تراكيب غشائية مزدوجة بحيث تكون هناك اتصالات ما بينها ويطلق على تلك الامتدادات الغشائية مصطلح الأغشية ما بين الحبيبات Intergrana lamellae . في بعض النباتات الراقية توجد في البلاستيدات الخضر (٤) أنواع من الصبغات :

- كلوروفيل أ ($C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$) Chlorophyll A .
- كلوروفيل ب ($C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$) Chlorophyll B .
- كاروتين ($C_{40}H_{56}$) Carotene .
- زانثوفيل ($C_{40}H_{56}O_2$) Xanthophyll .

ويوجد كلوروفيل أ في جميع الأحياء حقيقية النواة التي تقوم بعملية التركيب الضوئي Photosynthestic eukaryotes إضافة إلى الطحالب الخضر المزرقة Cyanophyta . ويمثل كلوروفيل أ الصبغة الفعالة في عملية التركيب الضوئي بالنسبة لتلك المجاميع من الكائنات . كما أنه يشكل الجزء الأكبر من الصبغات الكلوروفيلية . حيث يؤلف من أوراق النباتات الخضر حوالي ثلاثة أرباع مجمل المحتوى الكلي للكلوروفيل .

أما كلوروفيل ب فيوجد مع كلوروفيل أ في النباتات الوعائية والحزازيات Bryophyta وفي الطحالب الخضر Chlorophyta والطحالب اليوغلينية Euglenophyta . وفي معظم الطحالب الأخرى يغيب كلوروفيل B ويستعاض عنه بنوع آخر من أنواع الكلوروفيلات إضافة إلى كلوروفيل A .

وتجدر الإشارة هنا إلى أنه في خلايا الكائنات حقيقية النواة التي تقوم بعملية التركيب الضوئي تستطيع صبغات فعالة من كلوروفيل A فقط من اقتناص الطاقة الضوئية وتحويلها إلى طاقة كيميائية . أما باقي الصبغات بما في ذلك كلوروفيل B و C و D و E والكاروتينات فكلها عبارة عن صبغات مساعدة تستطيع أقتناص الطاقة ، لكنها لا تستطيع تحويلها إلى طاقة كيميائية بل تنقلها فوراً إلى كلوروفيل A حيث تتمكن الصبغة الأخيرة من خزنها في جزيئات السكر المصنوعة .

ويدخل في تركيب البلاستيدات الخضر الدهون Lipids والبروتينات بنسبة متساوية تقريباً . كما لوحظت فيها الرايبوسومات فضلاً عن الحامض النووي DNA .

أن البلاستيدات الخضر قادرة على بناء ATP من ADP وذلك بعملية يطلق عليها الفسفرة الضوئية Photophosphorylation وكذلك تكوين $NADPH_2$.

٢- البلاستيدات الملونة Chromoplasts :

وهي بلاستيدات ذات ألوان مختلفة كالأحمر والأصفر والبرتقالي وغير ذلك ويعزى الاختلاف في اللون إلى نوعية الصبغات الملونة الموجودة في العضو النباتي ونسبتها وزيادة نسبة الكاروتين ينتج عنها تكون اللون الأحمر بينما ينتج عن زيادة الزانثوفيل اللون الأصفر وهكذا ، علماً بأن البلاستيدات الملونة يمكن أن توجد في أي جزء من أجزاء النبات إذ لا يشترط وجود الضوء لتكوينها ويمكن وجودها في بتلات الأزهار وفي الثمار وفي الجذور وغيرها وفائدة البلاستيدات الملونة للنبات فهي لجذب الحشرات في الأزهار وتساعد في عملية التلقيح . وأن وجود الصبغات الملونة يعمل على تخفيف التأثير الضار الناتج عن شدة الضوء الساقط على الأوراق عندما تكون شدته عالية . كما أنها تلعب دوراً مهماً في امتصاص الطاقة الضوئية وتحويلها إلى كلوروفيل A حيث يتم تحويلها بواسطة الأخير إلى طاقة مخزونة . أن الكاروتينات التي تنتجها النباتات تعتبر المصدر النباتي الأساسي لإنتاج فيتامين A بالنسبة للإنسان والحيوان .

٣- البلاستيدات عديمة اللون Leucoplasts :

توجد البلاستيدات عديمة اللون في خلايا الأجزاء النباتية غير المعرضة للضوء لهذا فهي موجودة في الجذور والبذور وفي الدرنات والأعضاء الأخرى التي تكون النشا وفي مثل هذه الأعضاء تتحول السكريات الذائبة المتكونة في الأجزاء الخضراء إلى حبيبات نشوية Starch grains داخل هذه البلاستيدات . وإذا تعرضت البلاستيدات عديمة اللون للضوء فإنها تتحول إلى بلاستيدات خضر Chloroplasts كما هو ملاحظ لدى تحول ثمار الطماطة غير الناضجة وكذلك في الأوراق الحرشفية الخارجية للبصل .

وقد تتحول البلاستيدات عديمة اللون إلى بلاستيدات ملونة بعد تحويلها إلى بلاستيدات خضر كما يحدث في الحمضيات والتمر والطماطة . كما يمكن أن يحصل العكس حيث يمكن أن تتحول البلاستيدات الخضر إلى عديمة اللون لدى حجب الضوء عنها .

ووظيفة البلاستيدات عديمة اللون هي تكوين النشا وتخزينه لذا يطلق عليها مصطلح بلاستيدات النشا Amyloplasts . وهناك نوع خاص من البلاستيدات عديمة اللون هو البلاستيدات الزيتية Elaioplasts التي تقوم بصنع وخزن الزيوت ويكثر وجود البلاستيدات الزيتية في الحزازيات وفي نباتات ذوات الفلقة الواحدة . وتشير أحدى الدراسات على نبات السوسن أن هذه البلاستيدات تقوم بتكوين النشا إضافة إلى الزيوت .

الأنسجة النباتية Plant Tissue

في النباتات الراقية يتكون جسم النبات من عدد هائل من الخلايا كل مجموعة تكيفت لأداء وظيفة معينة مكونة ما يسمى بالنسيج .

النسيج : عبارة عن مجموعة من الخلايا المقترنة تركيبياً والمكيفة لأداء وظيفة أو وظائف معينة .تتميز الأنسجة إلى نوعين رئيسيين هما :

١. **الأنسجة المرستيمية Meristematic Tissue** : هي الأنسجة التي لم تتكشف أو تتشكل بعد لتوم بوظيفة معينة فهي قادرة على الانقسام ثم النمو والتشكل حسب الوظيفة التي ستقوم بها .

٢. **الأنسجة المستديمة Permanent Tissue** : هي تلك الأنسجة المكونة من خلايا بالغة تامة النضج وتشكلت وتكيفت لأداء وظيفة معينة .

في بعض الأحيان تفقد الخلايا المكونة للنسيج الدائم حيويتها بعد تمام نضجها وتصبح خلايا ميتة . كما أن بعض خلايا النسيج الدائم تبقى حية بعد النضج وتستطيع عند توفر الظروف الملائمة من استفادة قدرتها على الانقسام والتحول إلى خلايا مرستيمية بصورة دائمة أو مؤقتة ويطلق على مثل هذه الخلايا مرستيمية كامنة Potentially meristematic ، حيث تستطيع مثل هذه الخلايا ممارسة ما يسمى فقدان التميز Dedifferentiation كما هو الحال عند تكوين الكمبيوم بين الحزمي Interfascicular cambium والكمبيوم الفليني Cork Cambium ، حيث تتحول الخلايا المستديمة ثانية إلى خلايا مرستيمية .

أولاً– الأنسجة المرستيمية أو الإنشائية Meristematic Tissue :

تتميز خلايا هذه الأنسجة بأنها صغيرة الحجم ، رقيقة الجدران ، ذات قدرة كبيرة على الانقسام ، وفيرة السايتوبلازم ، ذات نواة كبيرة ، كما أنها عديمة الفجوات العصارية ، وقد تحتوي على بلاستيدات لا لون لها أو بلاستيدات أولية Proplastids وتمتاز أيضاً بعدم وجود مسافات بينية فيما بينها . يمكن تقسيم الأنسجة المرستيمية بالطرق الآتية :

١. حسب موقعها في جسم النبات Position in plant body .
٢. حسب منشأها Origin .
٣. حسب نوع الخلايا الناشئة من الانقسام أي الوظيفة Function .

أولاً : تقسيم الأنسجة المرستيمية حسب موضعها وتقسم إلى :

١. أنسجة مرستيمية قمية Apical Meristems :

توجد في قمم السيقان والجذور وأحياناً الأوراق ويطلق عليها أحياناً أسم القمم النامية Growing points . ومن الأمثلة عليها المرستيم القمي للساق Shoot apex و المرستيم القمي للجذر Root apex و المرستيم القمي للورقة Leaf apex .

٢. أنسجة مرستيمية بينية Intercalary meristems :

توجد بين أنسجة بالغة مستديمة بعيداً عن القمم النامية كتلك الموجودة في قواعد الأوراق أو فوق العقد في سيقان ذوات الفلقة الواحدة . ويعزى النمو السريع والزيادة في الطول في سيقان النجيليات وغيرها من نباتات ذوات الفلقة الواحدة إلى نشاط هذا النوع من الأنسجة .

المرستيمات البينية تختلف عن المرستيمات القمية بكونها ذات نشاط مؤقت سرعان ما ينحسر ويتوقف بعد فترة عند وصول السلاميات إلى أقصى طول لها بينما يستمر نشاط المرستيمات القمية ما دامت القمة النامية حية .

٣. أنسجة مرستيمية جانبية Lateral Meristems :

وهذه توجد موازية للبشرة وتقسم لتنتج خلايا جديدة تضيف إلى سمك الساق أو الجذر مثل الكمبيوم الوعائي Vascular cambium والكمبيوم الفليني (Phellogen) Cok cambium .

ثانياً : تقسيم الأنسجة حسب منشئاها :

١. أنسجة مرستيمية ابتدائية Primary meristems :

وهي الأنسجة التي تقوم ببناء الأجزاء الابتدائية في جسم النبات باستثناء الكمبيوم الوعائي أو الحزمي) وتنشأ من النسيج المرستيمي الأولي Promeristem وتشمل القمة النامية للساق ، القمة النامية للجذر ، الخلايا المنشئة للأوراق .

٢. أنسجة مرستيمية ثانوية Secondary meristems :

وهي الأنسجة التي تقوم ببناء الأجزاء الثانوية من جسم النبات وتنشأ من خلايا مستديمة يعاودها النشاط والقدرة على الانقسام مثل الكمبيوم الفليني الذي ينشأ من خلايا برنكيمية مستديمة في القشرة Cortex أو الدائرة المحيطية Pericyle أو البشرة Epidermis .

ثالثاً – تقسيم الأنسجة المرستيمية تبعاً للوظيفة :

التقسيم يختلف باختلاف نوع النبات ، وقد وجد أن جميع النباتات تحتوي على نسيج مرستيمي يطلق عليه المرستيم الأول Promeristem أو Primordial Meristem وهذا النسيج يوجد في القمم النامية للجذور والسيقان والبراعم وينشأ من الخلايا المرستيمية الموجودة في الجنين ومنها تتميز باقي الأنسجة الموجودة في النبات .

١– القمة النامية في الساق Shoot Apex :

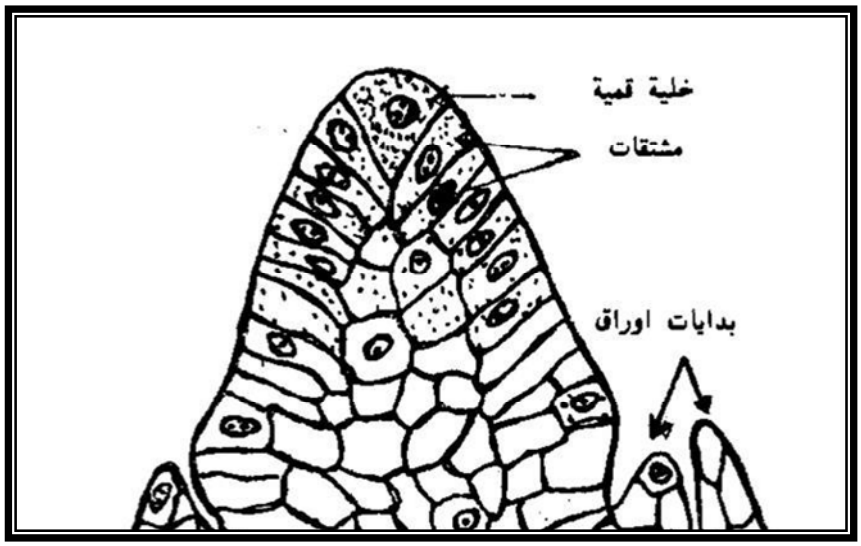
تختلف الخلايا المرستيمية التي بها في عددها وترتيبها وطريقة انقسامها . وقد نشأت فكرة المرستيم القمي للساق لأول مرة عندما قدمها وولف Wolff عام ١٧٥٩ ووصف هذه المنطقة بأنها عبارة عن منطقة غير متكشفة Undeveloped region واقعة في قمة الساق ينشأ منها فيما بعد جميع الأنسجة والأعضاء النباتية المحمولة على الساق ، وأهم هذه النظريات :

أ– نظرية الخلية القمية Apical Cell Theory :

قدمت هذه النظرية من قبل العالم نجيلي Negeli عام ١٨٧٨ ، تفترض هذه النظرية أن قمة الساق تحتوي على خلية واحدة تمثل الخلية الإنشائية الرئيسية والتي ينشأ عن انقسامها وانقسام

الخلايا الناتجة عنها جميع أنسجة وأعضاء النبات الموجودة بالساق وعلى هذا الأساس يمكن الرجوع بجميع الخلايا المشتقة Derivatives إلى خلية وحيدة تقع عند قمة الساق أو الفرع الذي توجد فيه وقد تكون الخلية القمية عدسية الشكل Lenticular كما في بعض الطحالب مثل دكتيوتا Dictyota أو هرمية الشكل Pyramidal كما في نبات ذنب الحصان .

وقد أمكن تطبيق هذه النظرية على نباتات بسيطة التركيب كالطحالب والحزازيات وبعض النباتات الوعائية الواطئة مثل التربيدات ولم يمكن تطبيقها على القمم النامية المعقدة الموجودة بالنباتات البذرية سواءاً كانت عارية البذور Gymnosperms أو مغطاة البذور Angiosperms .



الشكل ( ): الخلية القمية المفردة في قمة ساق نبات ذنب الحصان

ب–نظرية نشوء الأنسجة Histogen Theory :

قدمها هانشتاين Hanstein عام ١٨٨٨ – ١٨٧٠ وفيها تتميز القمة المرستيمية النامية للساق إلى مناطق معينة تكشفت لتقوم بتكوين طبقات أو مناطق إنشائية محدودة وتسمى هذه المناطق الإنشائية المميزة بمنشات الأنسجة Histogens وهي :

١. منشئ البشرة Dermatogen ويقوم بتكوين صف واحد من الخلايا هي طبقة البشرة .
٢. منشئ القشرة Periblem ويقوم بتكوين القشرة .
٣. منشئ الأسطوانة الوعائية Plerome ويقوم بتكوين الحزم الوعائية والنخاع (اللب) Pith أن وجد .
٤. منشئ القلنسوة Calyptrogen في الجذر الذي يكون قلنسوة الجذر Calyptra (Root cap) كما تنص النظرية على أن كل هذه المناطق ينشأ من خلية أو مجموعة خلايا أساسية خاصة منفصلة عن الخلايا الإنشائية للمناطق الأخرى .

وهذه النظرية تنطبق على بعض نباتات مغطاة البذور كما أنها تفسر النمو في القمة النامية للساق والجذر ولكن في عدد محدود من النباتات .

وقد انتقدت هذه النظرية للاعتبارات الآتية :

١. عدم الإمكان تمييز هذه الطبقات الإنشائية في بعض النباتات وخاصة في السيقان حيث لا يوجد حد فاصل واضح بين منشئ القشرة Periblem ومنشئ الأسطوانة الوعائية Plerome .
٢. قد تنشأ أكثر من طبقة من منشئ واحد فقد يحدث في بعض الجذور أن تنشأ البشرة (الطبقة الوبرية) والقشرة من منشأ واحد أو البشرة والقلنسوة .
٣. قد لا يقوم كل منشئ بالوظيفة المخصصة له تبعاً للنظرية . قد يكون منشئ الأسطوانة الوعائية النخاع فقط أو قد يكون الأسطوانة الوعائية بأكملها مضافاً إليها جزء من القشرة . كما أن منشئ القشرة قد يقوم بتكوين جزء من القشرة فقط أو القشرة وجزء من الأسطوانة الوعائية .
٤. أظهرت الدراسات على استخدام التشكيلات النسيجية (الكاميرات) Chimeras صحة هذه النظرية فيما يتعلق بمنشئ البشرة Dermatogen لكنها رفضت فيما يتعلق بمنشئ القشرة ومنشئ الأسطوانة الوعائية .

ج- نظرية المرستيم الأول Promeristem Theory :

تفترض هذه النظرية وجود منطقة في قمة الجذر والساق تكون على درجة واطئة جداً من التمييز يطلق عليها المرستيم الأول Promeristem وسرعان ما تتميز إلى ثلاثة مرستيمات ابتدائية بعد مسافة بسيطة من القمة .

١. البشرة الأولية Protoderm : وهذه تقوم بواسطة الانقسام المتعامد على السطح بتكوين البشرة في الساق أو الطبقة الوبرية Peliforous layar في الجذر كما أنها قد تنقسم انقساماً موازياً للسطح لتكوين بشرة عديدة الطبقات أو بشرة Epidermis وتحت بشرة Hypodermis .
٢. الكمبيوم الأولي Procambium : وهذا يظهر بشكل أشرطة مبعثرة في سويق ذوات الفلقة الواحدة أو أشرطة مرتبة في أسطوانة مجوفة في ذوات الفلقتين أما في الجذور فتكون على شكل عمود مركزي واحد وتكون هذه الخلايا مستطيلة موشورية الشكل وبتوالي انقسامها يتميز الخارجي فيها إلى عناصر اللحاء الابتدائي والداخلي إلى عناصر الخشب الابتدائي .
٣. المرستيم الأساسي أو مرستيم النسيج الأساسي Ground Meristem or Ground Tissue Meristem : يقوم هذا المرستيم الابتدائي بالانقسام في جميع الجهات وتتميز الخلايا بعد ذلك إلى خلايا النسيج الأساسي في الساق أو الجذر من قشرة ونخاع وأشعة نخاعية وسواها .

د- نظرية الغلاف والبدن Tunica – corpus Theory :

قدمت هذه النظرية من قبيل العالم شمت Schmidt عام ١٩٢٤ م . حيث يمكن تمييز منطقتين مختلفتين في المظهر والتركيب في القمة النامية للساق هما :

١. البدن Corpus : وهي منطقة تقع وسط المرستيم القمي وتمتاز بكبر حجم خلاياها وانقسامها في عدة اتجاهات وبذلك تزداد قمة الساق في الحجم وبتوالي انقسام خلاياها تتكون الاسطوانة الوعائية أو الأسطوانة الوعائية والقشرة معاً ، ومما يجدر ذكره أنه توجد للبدن منطقة إنشائية واحدة Single initial zone تنتظم بها الخلايا المرستيمية وينتج عن نشاط هذه المنطقة نمو حجمي يضاف إلى الأنسجة الداخلية للساق .

٢. الغلاف Tunica : طبقة خلايا صغيرة تنقسم في اتجاهات عمودية على السطح بحيث ينتج عنها زيادة في السطح أو المساحة . وقد تكون من طبقة واحدة وأكثر ، ويتراوح عدد طبقات الغلاف من ١ – ٣ في ذوات الفلقة الواحدة ومن ٢ – ٥ في ذوات الفلقتين .

وقد تبين أن نظرية الغلاف والبدن تنطبق على القمة النامية للساق فقط دون الجذر ، كما أنها تنطبق على كثير من القمم النامية للساق في غالبية نباتات مغطاة البذور Angiosperms ولا تنطبق على النباتات الواطئة حيث تكون الخلايا المنشئة طفاً واحداً دون تمييز إلى غلاف وبدن.

هـ-نظرية نمو المناطق Growth of Zones :

قدمت النظرية من قبل العالم فوستر Foster عام ١٩٣٨ ، أهم هذه المناطق :

١. المنطقة الإنشائية القمية Apical initial zone

مجموعة من خلايا مرستيمية واقعة في قمة الساق تحصل بها انقسامات عمودية تضاف مشتقاتها إلى الطبقة السطحية وانقسامات محيطية Periclinal (موازية للسطح) تضاف مشتقاتها إلى منطقة الخلايا الأم المركزية التي تقع تحتها مباشرة .

٢. منطقة الخلايا الأم المركزية Central Mother cells :

تقع تحت المنطقة الأولى وتنقسم خلاياها باتجاهات مختلفة فتغذي بذلك المناطق الجانبية والمنطقة السفلى بالخلايا المرستيمية .

٣. الطبقة المحيطية Peripheral layer : وهي المنطقة الخارجية التي تلعب دوراً في نشوء الأوراق والبشرة كما أنها تكون القشرة والنسيج الوعائي .

٤. المرستيم الضلعي Rib – meristem :يتضمن مجموعة من الخلايا المرستيمية واقعة تحت منطقة الخلايا الأم المركزية وينتج عن نشاط هذا المرستيم تكوين اللب Pith .

هذا الطراز من النمو يظهر في نبات الجنكو Ginkgo وفي المخروطيات Conifers حيث تتضح هذه المناطق بشكل تمييزي إلى حد كبير .

و- نظرية المرستيم الخامل Theory of the waiting Meristem :

يعتبر العالم الفرنسي Buvat وبعض الباحثين الفرنسيين من أشهر المنادين بها وقد قدمها Buvat عام ١٩٥٢ م حيث تفترض النظرية وجود منطقة خاملة عند القمة النامية تقع تحت المنطقة السطحية للقمة الخضرية للساق وخلايا هذه المنطقة تبقى خاملة ما دامت القمة النامية للساق في الحالة الخضرية (أي أن قمة الساق معنية بتكوين الأوراق والأجزاء الخضرية الأخرى في الساق) فإن نشاط المرستيم الخامل يبقى معدوماً وبمجرد بدء القمة النامية بالتحول من الحالة الخضرية إلى الحالة التكاثرية فإن نشاط المرستيم الخامل يبدأ بظهور وتصبح هذه المنطقة معنية بتكوين الأزهار أو النورات أن الدراسات النسيجية التي أجريت على العديد من النباتات مثل التفاح والعرموط وعنب الدب والداتورة وغيرها أوضحت بأن المنطقة الخاملة لا وجود لها في الواقع وأن الانقسامات الخلوية تحصل فيها وهذا لا يتف مع مضمون النظرية .

٢- القمة النامية في الجذر Root Apex :

يختلف المرستيم القمي في الجذر عنه في الساق في أنه لا ينتج أنسجة إلى الداخل فقط وإنما للخارج أيضاً وتبعاً لوجود القلنسوة فإن موقع المرستيم القمي للجذر لا يكون نهائياً بل تحت نهائي (شبه طرفي) Subterminal أي فوق القلنسوة . كما أنه لا يكون أعضاء جانبية كالفروع والأوراق .

يطلق على المرستيم القمي في الجذر بالمرستيم الأولي Promeristem كما في الساق . وبعد المنطقة المرستيمية في الجذر يبدو الأخير واضح التمييز إلى منطقتين هما الأسطوانة المركزية والقشرة وهما تمثلان منطقة الكمبيوم الأولي في المركز يحيطه المرستيم الأساس Ground meristem ويستعمل لفظ الكمبيوم الأولي في هذه الحالة على الأسطوانة المركزية بأكملها إذا كانت هذه الأسطوانة في النهاية تكون عموداً وعائياً مركزياً دون وجود نخاع . ويستعمل لفظ البشرة الأولية Protoderm على الطبقة السطحية في الجذر الحديث وعادة تتميز البشرة الأولية على بعد من قمة الجذر وذلك لاندماجها من حيث الأصل أما مع القشرة أو مع القلنسوة .

وقسمت القمم النامية في الجذور إلى نماذج على أساس العلاقة بلين المنطقة المنشئة والأنسجة الابتدائية المكونة منها .ففي النباتات الواطئة تنتج الأنسجة المختلفة من خلية قمية واحدة أو من مجموعة من الخلايا مرتبة في صف واحد وهنا تنهج القمة النامية للجذر نفس المنهج كما في الساق أما عارية البذور أو في مغطاة البذور فإن الأنسجة الابتدائية تخرج أما من طبقة مرستيمية واحدة Single initial zone غير واضحة التمييز أو أن بعض هذه الأنسجة يمكن تتبع نشأتها من خلايا إنشائية مستقلة وفي هذه الحالة الأخيرة قد تنتظم الخلايا الإنشائية في مجموعتين أو أكثر كما يلي :

١. في بعض عاريات البذور وبعض ذوات الفلقتين تنتظم الخلايا الإنشائية في مجموعتين أحدهما تكون الأسطوانة المركزية والأخرى تكون القشرة والقلنسوة وتتكون البشرة بعد ذلك من الطبقة الخارجية للقشرة .

٢. في بعض ذوات الفلقتين تنتظم الخلايا الإنشائية في مجموعتين أحدهما تكون الأسطوانة المركزية والجزء الداخلي من القشرة والأخرى تكون بقية القشرة والقلنسوة وتتكون البشرة من الطبقة الخارجية من القشرة .

٣. في بعض ذوات الفلقتين تظهر أيضاً الخلايا الإنشائية في مجموعتين أحدهما تعطي جميع أجزاء الجذر الواقعة بداخل البشرة والأخرى تعطي البشرة والقلنسوة وفي هذه الحالة تتميز البشرة عن القشرة من حيث المنشأ .

٤. في بعض ذوات الفلقتين تظهر الخلايا الإنشائية مميزة إلى ثلاثة مناطق Three initial Zones تعتبر أصل الأسطوانة المركزية ، القشرة والقلنسوة على التوالي .

أما في ذوات الفلقة الواحدة فيمكن تمييز أربعة نماذج تركيبية هي :

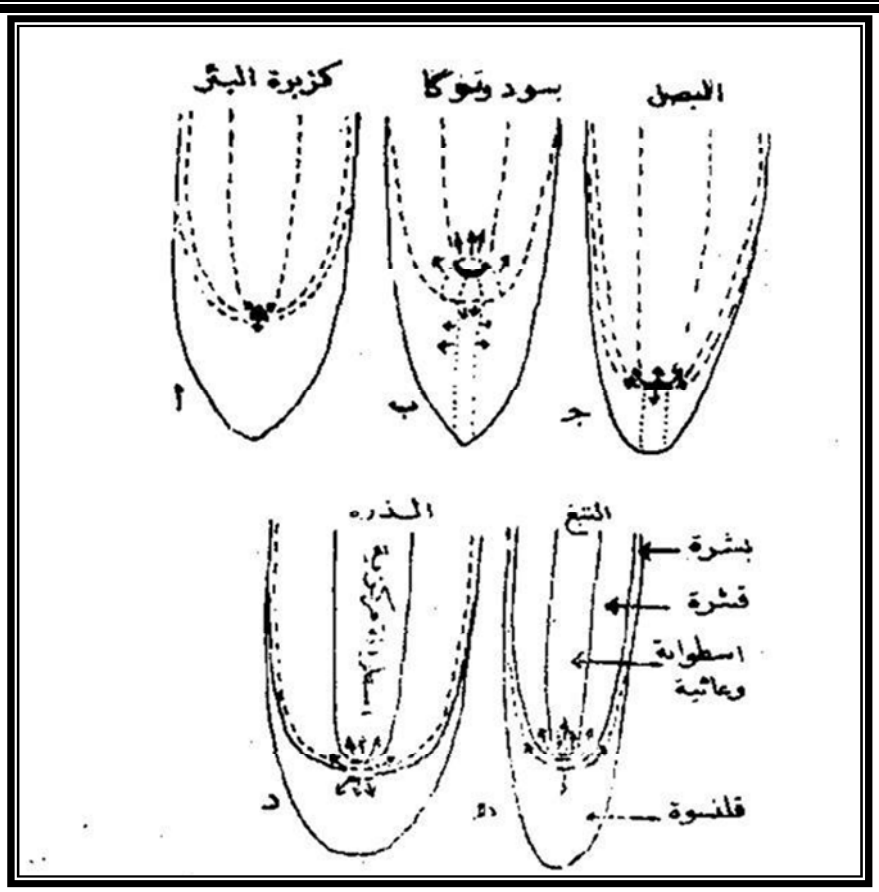
١- للأسطوانة المركزية أوليات مستقلة وللقشرة والقلنسوة أوليات مستقلة وتخرج البشرة كجزء من القلنسوة وهي قريبة من عاريات البذور وبعض ذوات الفلقتين .

٢- تستقل الأسطوانة المركزية والقشرة والقلنسوة كل عن الأخرى من حيث المنشأ وتكون البشرة الطبقة الخارجية من القشرة . وفي هذا الطراز توجد ثلاث مناطق إنشائية في قمة الجذر . كما في الذرة *Zea mays* .

٣- لكل من الأسطوانة المركزية والقشرة والبشرة والقلنسوة خلايا إنشائية منفصلة . أي أن هنالك أربع مناطق إنشائية مستقلة . يتماشى هذا الطراز مع نظرية نشوء الأنسجة Histogen theory .

٤- تخرج جميع أجزاء الجذر من منشأ واحد وهذا الطراز يشبه بعض ذوات الفلقتين وقد وجد في جذر البصل .

وبذلك يتضح أن طرازين من ذوات الفلقة الواحدة يتميزان بنشأة القلنسوة من منشأ مستقل وهذا المنشأ يسمى منشئ القلنسوة Calyptrogens أما إذا نشأت البشرة والقلنسوة من نفس المنشأ فيمكن أن يطلق عليه مصطلح منشئ البشرة والقلنسوة Calyptro-dermatogen .



شكل (٤-٥) نماذج مختلفة من طرز النمو في قمة الجذر

أ- خلية قمية مفردة في النباتات الوعائية الواطئة

ب- نمو المناطق في بعض عاريات البذور

ج- منطقة إنشائية واحدة .

د- ثلاث مناطق إنشائية ، تنشأ القشرة والبشرة من المنطقة الثانية .

هـ- ثلاث مناطق إنشائية ، تنشأ البشرة والقلنسوة معاً من المنطقة الإنشائية الثالثة .

ثانياً- الأنسجة المستديمة Permanent Tissue :

وهي أنسجة مكونة من خلايا توقف فيها الانقسام الفعال وأصبحت متميزة بطريقة تتلائم والتخصص الوظيفي المنوط بها . وتختلف درجات التميز في الأنسجة والخلايا المستديمة تبعاً لنوع النسيج . فقد يبقى النسيج حياً فتحتفظ خلاياه بمعظم مكوناتها البروتوبلازمية بما في ذلك النواة والسايتوبلازم . وفي هذه الأنسجة تبقى الخلايا قريبة من الخلايا المرستيمية . وغالباً ما تبقى محتفظة بقدرتها على الانقسام بصورة كامنة . أي أنها مرستيمية كامنة Potontially meristemal كما في خلايا النسيج البرنكيمي والنسيج الكولنكيمي وخلايا البشرة في بعض النباتات . وفي جميع هذه الأمثلة يمكن أن تكون معاً في الخلية ظاهرة فقدان التميز Dedifferentiation فتتحول إلى خلايا مرستيمية مرة أخرى ، كما يحدث في تكوين الكمبيوم بين الحزمي والكمبيوم الفليني وفي التئام الجروح Wound healing .

وفي بعض أنواع الأنسجة تموت الخلايا بعد النضج وتصبح خالية من النواة والسايتوبلازم . وفي مثل هذه الحالات تصبح الخلية مكونة من جدار يحيط بتجويف lumen خالٍ من البروتوبلاست ، كما في خلايا

الألياف Fibers والفلين Cork والقصيبات Tracheids . أن الخلايا التي تصبح ميتة بعد نضجها تفقد القابلية على الانقسام بطبيعة الحال .

تقسيمات الأنسجة المستديمة :

أولاً – تقسيم الأنسجة تبعاً لدرجة تعقدها Complexity : فإذا كان النسيج مؤلفاً من نوع واحد من الخلايا سمي النسيج بسيطاً Simple tissue ، كالنسيج البرنكيمي والنسيج الكولنكيمي والنسيج السكلرنكيمي والفلين . أما إذا كان النسيج مؤلفاً من أكثر من نوع واحد من الخلايا التي تختلف عن بعضها اختلافاً واضحاً فيسمى النسيج معقداً Complex tissue كما هي الحال في نسيجي الخشب واللحاء .

ثانياً – تقسيم الأنسجة تبعاً للمنشأ Origin : فيطلق على الأنسجة التي تنشأ من المرستيمات الابتدائية مصطلح الأنسجة الابتدائية Primary tissues كتلك التي تنشأ من البشرة الأولية Protoderm أو المرستيم الأساسي ground meristem أو الكمبيوم الأولي Procambium . أما الأنسجة المستديمة التي تنشأ من المرستيمات الثانوية فيطلق عليها الأنسجة الثانوية Secondary tissues كالخشب الثانوي Secondary xylem واللحاء الثانوي Secondary Phloem اللذين ينشأن من الكمبيوم الوعائي الذي يمثل – بصورة جزئية – مرستيماً ثانوياً . إن مما تجدر الإشارة إليه أن الكمبيوم الحزمي Fascicular cambium هو نسيج مرستيمي ابتدائي من حيث المنشأ لأنه بقية من الكمبيوم الأولي Procambium ولكن مع ذلك فإن الخشب واللحاء اللذين يكونهما يعتبران نسيجين ثانويين .

ثالثاً – تقسيم الأنسجة تبعاً للاستقرار الطوبوغرافي Topographic continuity :

وهو التقسيم الذي يميل به ساكس Sachs عام ١٨٧٥ م عندما صنف الأنسجة المكونة لجسم النبات إلى أنظمة نسيجية Tissue Systems يمثل كل منها موقعاً محدداً في الجسم النباتي . وعلى هذا الأساس يمكن تمييز ثلاثة أنواع من الأنظمة النسيجية في جسم النبات هي :

١– النظام النسيجي الضام Dermal tissue system : ويشمل جميع الأنسجة التي تحيط بجسم النبات ، وتمثل بالبشرة Epidermis بالنسبة للأعضاء ذات النمو الابتدائي وبالبريدرم Periderm بالنسبة لمعظم الأعضاء التي عانت تغلظاً ثانوياً كالسيقان والجذور المعمرة .

٢– النظام النسيجي الوعائي Vascular tissue system : ويشمل جميع أنسجة الخشب واللحاء الموجودة في جسم النبات سواءاً كان ذلك ابتدائياً أم ثانوياً .

٣– النظام النسيجي الأساسي Fundamental or Ground tissue system : وهو يشمل القشرة Cortex والنخاع pith والأشعة النخاعية medullary rays في السيقان والجذور والنسيج الأساسي Ground tissue في سيقان ذوات الفلقة الواحدة والنسيج الوسطي Mesophyll في الأوراق وما شاكل ذلك . ويمثل النسيج البرنكيمي Parenchyma أهم مكونات هذا النظام ، وكذلك النسيج الكولنكيمي Collenchyma والسكلرنكيمي Sclerenchyma .

رابعاً – تقسيم الأنسجة تبعاً للتشابه الوظيفي Physiologic similarity :

هذا التقسيم يعتمد الوظيفة كأساس لتصنيف الأنسجة وعلى ضوء التقسيم الوظيفي فإن أنسجة النبات تقسم إلى عدد من الأنظمة أو الأجهزة الوظيفية يرتبط كل منها بوظيفة معينة . وبموجب هذا التقسيم يمكن تصنيف الأنسجة النباتية إلى الأنظمة النسيجية التالية :

١- النظام النسيجي الضام (أو الوقائي) Dermal (or Protective) tissue system : ويشمل الأنسجة التي تحيط بجسم النبات بجميع أعضائه سواءاً كانت في مرحلة النمو الابتدائي أو الثانوي . ويضم هذا النسيج البشرة خلال مرحلة النمو الابتدائي والبريدرم في الأعضاء المسنة .

٢- النظام النسيجي الدعامي (أو الميكانيكي) Supporting (or mechanical) tissue system : ويضم جميع الأنسجة ذات الوظيفة الميكانيكية التي تكسب النبات متانة وقوة . وهو لذلك يشمل النسيج السكلرنكيمي والنسيج الكولنكيمي بصفة رئيسية كما يضم أنسجة وخلايا أخرى كالقصيبات Tracheids وبموجب هذا النوع من التقسيم فإن النسيج الكولنكيمي والنسيج السكلرنكيمي قد عوملا كنسيج واحد أطلق عليه مصطلح ستريوم Stereome وذلك بناءاً على التشابه الفسلجي بينهما على الرغم من الاختلافات الكبيرة الموجودة بين النسيجين وطبيعة البروتوبلاست والجدار في كل منهما . وكان العالم هابرلانت Haberlandt أول من أستخدم مصطلح الستيريوم ليشمل النسيجين الكولنكيمي والسكلرنكيمي على أساس وظيفي وذلك منذ عام ١٩١٨ م .

٣- النظام النسيجي الناقل (أو الوعائي) Conducting (or vascular) tissue system : ويضم جميع أنسجة الخشب واللحاء الموجودة في جسم النبات سواءاً في مرحلة النمو الابتدائي أو الثانوي .

٤- النظام النسيجي التمثيلي Photosynthetic tissue system ويضم جميع الأنسجة التي تمارس عملية التركيب الضوئي ويشمل الأنسجة الحاوية على مادة الكلوروفيل الموجودة عادة في الأعضاء النباتية المعرضة للضوء . ويمثل النسيج الوسطي للورقة أهم مكونات هذا الجهاز .

٥- النظام النسيجي الإفرازي والإخراجي Secretory and Excetory Tissue system : ويضم جميع الأنسجة والخلايا والتراكيب التي تلعب دوراً في عمليات الإفراز أو الإخراج في النباتات أو في نقل مثل هذه المواد ضمن الجسم النباتي أو إلى خارجه .

بالإضافة إلى ما تقدم فإن هنالك أنظمة نسيجية أخرى يمكن أن يتضمنها التقسيم على الأساس الوظيفي كتلك التي ترتبط بوظيفة التخزين أو التهوية أو ما شاكلها .

ثالثاً- الأنسجة الضامة Dermal Tissues :

يحاط الجسم النباتي من الخارج بطبقة واقية تفصله عن محيطه الخارجي وتقيه من الأضرار الميكانيكية في فقد الماء أو التعرض لمهاجمة الآفات الخارجية . يطلق مصطلح الأنسجة الضامة على مجمل الأنسجة المحيطة بالجسم النباتي شاملاً جميع أعضائه سواءاً كانت هذه الأعضاء في مرحلة النمو

الابتدائي أو الثانوي . والأنسجة الضامة تتمثل بالبشرة Epidermis خلال فترة النمو الابتدائي وبالبريدرم Periderm في الأعضاء التي عانت تغلظاً ثانوياً .

١- البشرة Epidermis :

غالباً ما يستعمل مصطلح البشرة للدلالة على الطبقة الخارجية التي تغلف جسم النبات الابتدائي بما في ذلك الجذر والساق والأوراق والبذور والأزهار والثمار . ونظراً لوجود بعض الفوارق التركيبية والفسلجية والنشوئية في الغالب بين بشرة الجذر من جهة وبشرة الساق وغيره من الأجزاء الهوائية من جهة أخرى فقد أستعمل بعض الباحثين مصطلحات أخرى مثل Rhizodermis , Epiblem للدلالة على بشرة الجذر . لذا فإن مصطلح البشرة سيستعمل للدلالة على الطبقة الخارجية التي تغلف الجسم الابتدائي للنبات Primary plant body بجميع أعضائه . وخلايا البشرة البالغة حية واضحة النواة ذات سايتوبلازم رقيق وفجوات واسعة مملوءة بالعصير الخلوي .

العديد من ذوات الفلقة الواحدة التي على الرغم من عدم حصول تغلظ ثانوي فيها فإن البشرة تتصدع وتتساقط مع سقوط القلف bark وهنالك بعض الحالات قد تبقى البشرة سليمة لعدة سنوات على الرغم من حصول النمو الثانوي .

إلا أنه في معظم النباتات التي تتغلظ تغلظاً ثانوياً تبقى البشرة سليمة وتؤدي وظيفتها لفترة حوالي العالم الواحد . وسرعان ما تفقد وظيفتها وتحل محلها البريدرم بعد حصول النمو الثانوي .

❖ البشرة البسيطة والمضاعفة :

توصف البشرة بأنها بسيطة Simple أو وحيدة الطبقة Uniseriate عندما تكون مؤلفة من صف واحد من الخلايا ومضاعفة Double عندما تكون مؤلفة من صفين من الخلايا ومتضاعفة Multiple أو متعددة الطبقات Multiseriate عندما تتألف من عدة طبقات ومرحلة النمو والعضو النباتي . وتنشأ في البداية كطبقة واحدة . ثم تعانى خلاياها انقسامات موازية للسطح Periclinal مما يزيد من عدد طبقاتها تدريجياً لحين وصولها إلى العدد النهائي .

❖ وظائف البشرة :

يمكن تلخيص أهم الوظائف التي تقوم بها البشرة فيما يلي :

١- الوقاية Protection : وتشمل الوقاية من الأضرار الميكانيكية التي يتعرض لها النبات في محيطه الخارجي بفعل الرياح أو الأمطار أو الرمال أو غيرها ، والوقاية ضد الحشرات والآفات الأخرى ، إضافة إلى حفظ الأنسجة الداخلية للنبات من فقد الماء المفرط .

٢- تنظيم عملية تبادل الغازات Exchange of gases : تقوم الثغور الموجودة في البشرة بتنظيم تبادل الغازات بين الأنسجة الداخلية للنبات والمحيط الخارجي في عمليتي التنفس والتركيب الضوئي . هذا بالإضافة إلى تنظيم خروج الماء من النبات على هيئة بخار في عملية النتح Transpiration .

٣- تقوم البشرة في الجذر بوظيفة الامتصاص Absorption : حيث يتم عن طريق خلايا البشرة امتصاص الماء والأملاح المذابة فيه من التربة أو المحيط المائي الذي تتواجد فيه الجذور وتلعب الشعيرات الجذرية دوراً أساسياً في هذا الصدد .

٤- تحتوي البشرة في النباتات المائية ونباتات الظل والنباتات التريدية على بلاستيدات خضر Chloroplasts تمكنها من القيام بعملية التركيب الضوئي Photosynthesis .

٥- تكون خلايا البشرة حية وحاوية على نواة ، فإنها غالباً ما تحتفظ بخاصيتها المرستيمية بصورة كامنة Potentially meristematic لذا فإنها في حالات كثيرة تساهم في تكوين المرستيمات الثانوية Secondary meristem . حيث تعاني خلايا البشرة عملية فقدان التمييز Dedifferentiation وتتحول إلى خلايا مرستيمية هي الكمبيوم الفليني Phellogen (cork cambium) وذلك بعد حصول عملية التغلظ الثانوي .

❖ أنواع خلايا البشرة Epidermal Cell Types :

أولاً – الخلايا الاعتيادية للبشرة Ordinary epidermal cells : وتختلف أشكال وحجوم الخلايا الاعتيادية للبشرة باختلاف النباتات والأعضاء . وعلى العموم فإنها غالباً ما تميل للشكل متساوي الأبعاد Isodiametric أو أن تكون مستطيلة أو متعرجة عند فحصها سطحياً .

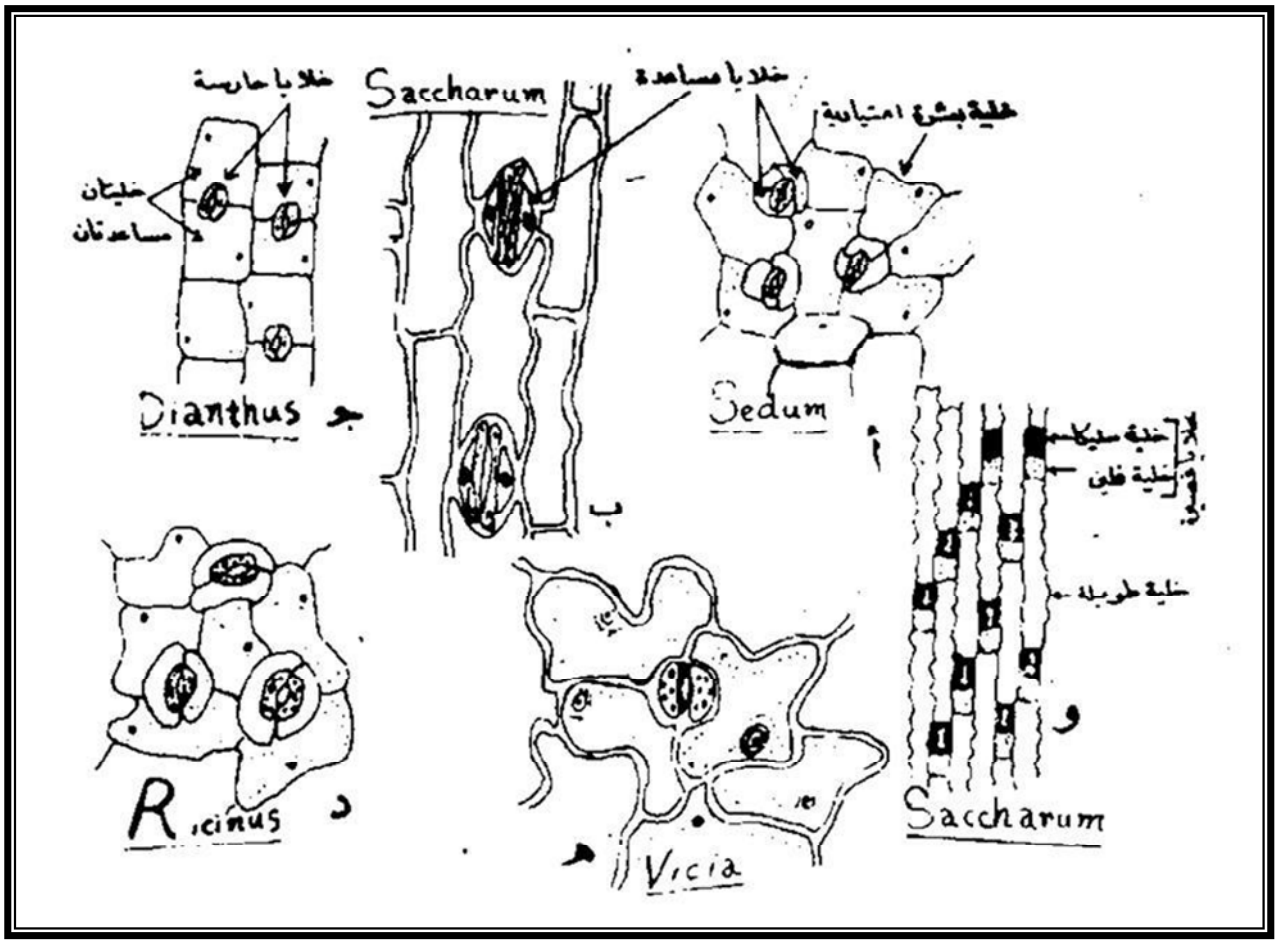
وتكون خلايا البشرة مستطيلة عادة في الأعضاء التي تميل للاستطالة مثل سويق الورقة Petiole والحامل الزهري Peduncle والساق كما تلاحظ الخلايا الطويلة أيضاً مصاحبة العروق في أوراق ذوات الفلقتين ومعظم ذوات الفلقة الواحدة . أما الشكل متساوي الأبعاد فهو مألوف في التراكيب التي لا تميل إلى الاستطالة .

وخلايا البشرة الاعتيادية تكون خالية من البلاستيدات الخضر عادة . إلا أن البلاستيدات تكون موجودة في نباتات الظل Shade plants وفي النباتات المائية Aquatic plants وكذلك في النباتات التريدية Pteridophytes ، وفي جميع الحالات فإن وجود البلاستيدات الخضر يكون مقتصراً على الأجزاء الهوائية للنبات . وكما سبق فإن خلايا البشرة الاعتيادية تكون خالية من المسافات البينية وتكون جدرانها الخارجية مغطاة بالأدمة في الأجزاء الهوائية.

ثانياً – الخلايا الحارسة Guard cells :

وهي الخلايا التي توجد على هيئة أزواج ضمن الأنواع الأخرى من خلايا البشرة وكل زوج من هذه الخلايا يحيط بفتحة ويطلق حينئذ على الفتحة والخليتين الحارستين أسم الثغر Stoma . ويفضل البعض استعمال مصطلح الجهاز الثغري Stametal apparatus بدلاً من الثغر غير أن مصطلح المعقد الثغري Stomatal Complex هو المصطلح الأكثر قبولاً في الوقت الحاضر ، ويستخدم للدلالة على الخليتين الحارستين والفتحة الموجودة بينهما إضافة إلى الخليتين المساعدتين والخلايا المساعدة في حالة وجود النوع الأخير من

الخلايا ، والخلايا الحارسة خلايا متخصصة غالباً ما تبدو في المظهر السطحي كلوية الشكل Kidney – shaped تقريباً وتتميز باحتوائها على البلاستيدات خضر .



(شكل ٥-١) بشرة منزوعة من الأوراق (أ إلى هـ) ومن الساق (و) توضح التشكيلات المختلفة للخلايا الحارسة والمساعدة وخلايا البشرة الاعتيادية .

أ- متباينة الخلايا المساعدة في نبات سيدوم .

ب- النوع النجيلي في نبات قصب السكر .

ج- متعامد الخلايا في القرنفل .

د- متوازي الخلايا في الخروع .

هـ- بشرة غير متجانسة في ساق قصب السكر تظهر الخلايا الطويلة والخلايا القصيرة .

وهي خلايا حية ذات سايتوبلازم ونواة وبها بروتوبلازم أكثر كثافة من خلايا البشرة الاعتيادية وتكون الجدران الجانبية رقيقة أما الجداران الخارجي والداخلي فسميكان وهذا الاختلاف في سمك جدار الخلايا الحارسة يلعب دوراً هاماً في قيام الخلايا الحارسة بمهمتها الرئيسية وهي فتح وغلق الثغور . ويلعب الضغط الأزموزي للخلايا الحارسة دوراً مهماً في آلية فتح وغلق الثغور إضافة إلى التسمك غير المنتظم في الجدران . فعندما تكون الخلايا الحارسة ممتلئة Turgid تنفتح الثغور أما إذا كانت في حالة انكماش Shrinkage نظراً

لفقدها الماء فإن الجدران الجانبية الرقيقة تصبح في حالة ارتخاء فتلتقي عند الفتحة ويغلق الثغر .

ويقتصر وجود الثغور عادة على بشرة الأجزاء الهوائية كالأوراق والسيقان الهوائية الفتية بينما تكون معدومة في الأجزاء التي تنمو تحت سطح التربة كالجذور . لكنها موجودة في السيقان الرايزومية Rhizomes ومن حيث التركيب يمكن تمييز ثلاثة أنواع للمعقد الثغري :

١- النوع العادي والأكثر شيوعاً ويطلق عليه أسم نوع ذوات الفلقة الواحدة والفلقتين Monocot-Dicot type ويوجد في جميع نباتات ذوات الفلقتين وفي جميع نباتات ذوات الفلقة الواحدة فيما عدا فصيلتين هما العائلة النجيلية Gramineae والعائلة السعدية Cyperaceae وفي هذا النوع تكون الخلايا الحارسة كلوية الشكل في المنظر السطحي أما في المقطع الرأسي فتبدو الخلايا الحارسة مزودة بجزء قرني الشكل horn – like في الجهة الخارجية فقط أو الجهتين الخارجية والداخلية من الثغر .

٢- النوع الثاني يوجد في العائلتين (النجيلية والسعدية) Gramineae - Cyperaceae type وفي هذا النوع من المعقد الثغري تكون الخلايا الحارسة صولجانية أو دمبلية الشكل Dumb-bell shaped في المنظر السطحي . وتبدو الخلية ضيقة من الوسط ومتسعة ومنتفخة من الطرفين .

٣- النوع الثالث من أنواع المعقد الثغري يوجد في النباتات المخروطية *Coniferales* ومنها الصنوبر *Pinus* . ويسمى هذا النوع باسم نوع عاريات البذور Gymnosperm type . والمعقدات الثغرية في هذه الحالة غائرة Sunken ومزودة بخلايا مساعدة Subsidiary cells . وتبدو الخلايا الحارسة في المقطع الرأسي في وضع مائل .

فلقد قسم المعقد الثغري إلى طرز مختلفة أهمها :

أ- الطراز الشاذ Anomocytic type : ويسمى أيضاً Ranunculaceous type وفيه لا تتميز في البشرة خلايا مساعدة كما في الباقلاء ، إذ تكون الخلايا الحارسة متصلة مباشرة بالخلايا الاعتيادية للبشرة .

ب-الطراز متباين الخلايا Anisocytic type : ويسمى أيضاً Cruciferous type ويتميز بوجود ثلاث خلايا مساعدة أو أكثر تكون أحداها صغيرة وتتدرج الأخريات في الحجم ، كما في الفجل *Raphanus* والمنثور *Matthiola* وكثير من نباتات العائلة الصليبية .

ج- الطراز متوازي الخلايا Paracytic type : ويسمى أيضاً Rubiaceous type وفيه تكون هناك خليتان مساعدتان موازيتان للخليتين الحارستين ولفتحة الثغر كما في أوراق نبات الخروع *Ricinus communis* وأنواع كثيرة من عائلة المديد Convolvulaceae والبقوليات Papilionaceae والبقمية Mimosaceae .

د- الطراز متعامد الخلايا Diacytic type : ويسمى أيضاً Caryophyllaceous type وفيه تكون هناك أيضاً خليتان مساعدتان تتعامد فيها الجدر المشتركة مع الخلايا الحارسة على اتجاه فتحة الثغر . كما في نبات القرنفل Dianthus وهو شائع أيضاً في بقية نباتات العائلة القرنفلية Caryophyllaceae .

هـ- الطراز شعاعي الخلايا Actinocytic type : وفي هذا الطراز يحاط الثغر بعدد من الخلايا المساعدة منتظمة بشكل نجمي أو شعاعي كما في ورد الجوري *Rosa* .

ثالثاً – شعيرات البشرة Epidermal Hairs أو الترايكومات Trichomes :

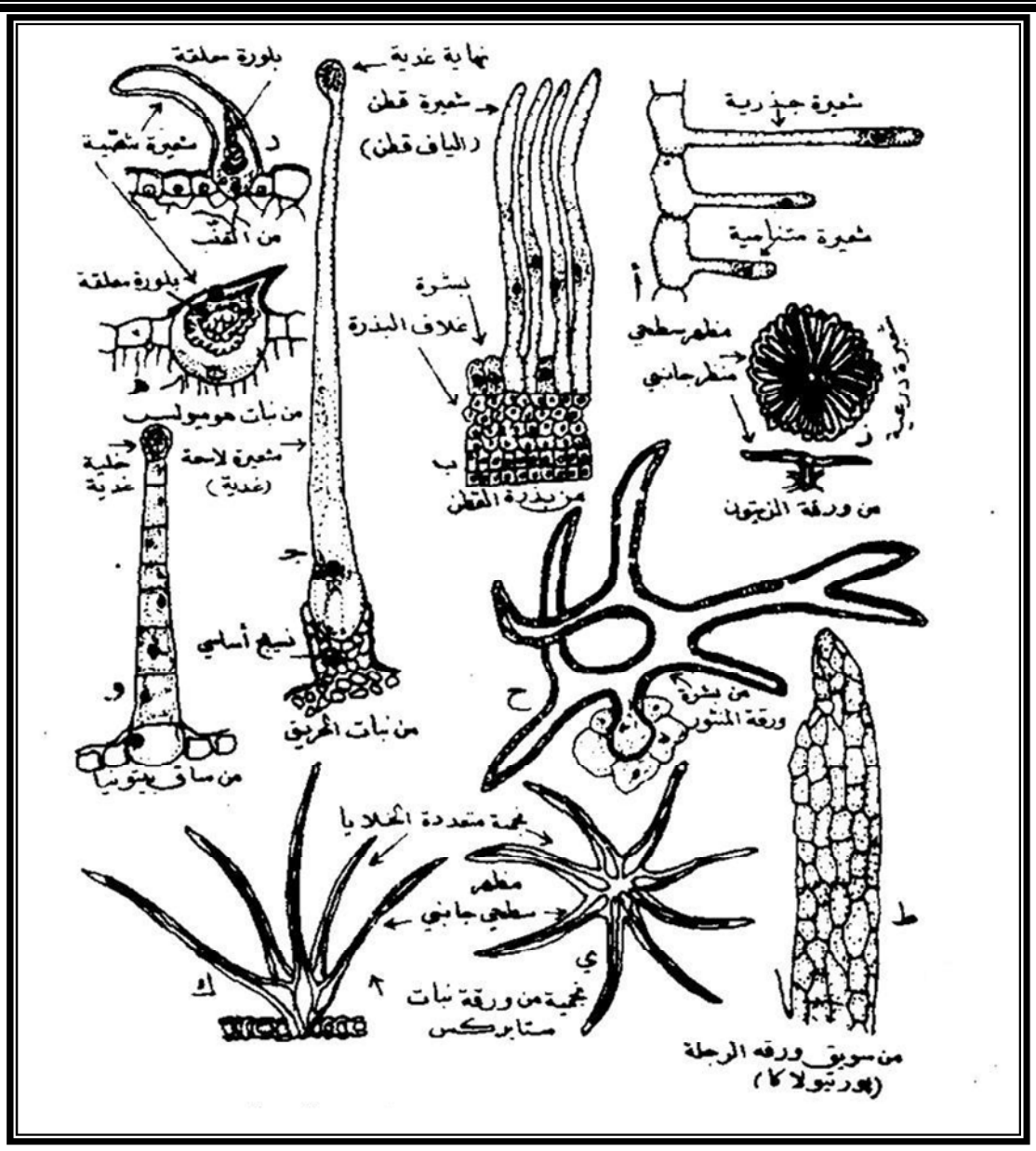
أما الزوائد الأكثر انتشاراً فهي تلك التي تمتد فيها خلايا البشرة لتكون شعيرات hairs تنتشر على الأعضاء المختلفة لجسم النبات أو أنها تقتصر على عضو دون سائر الأعضاء .

ومن حيث الشكل فقد تكون الشعيرة وحيدة الخلية بسيطة كما في نبات كيس الراعي *Capsella* وقد تكون وحيدة الخلية متفرعة كما في نبات المنشور ، والشعيرات عديدة الخلايا قد تكون بسيطة ومكونة من صف واحد من الخلايا Uniseriate كما في شعيرات القرع *Cucurbita* والداتورة *Datura* ، أو قد تكون من عدة صفوف من الخلايا Multiseriate كما في نبات البجونيا *Begonia* ، كما أنها قد تكون متفرعة كما في نبات أذان الدب *Verbascum* .

وقد تنتهي الشعيرات عديدة الخلايا بخلية غدية طرفية منتفخة كما في نبات الشمعدان أو بعدة خلايا مكونة رأساً غدية في نهاية الشعيرة كما في نبات العائلة الشفوية Labiatae وتسمى الشعيرات في هذه الحالة بالشعيرات الغدية Glandular hairs وهذه الخلية أو الخلايا الطرفية تقوم بوظيفة إفرازية . وقد تأخذ الشعيرة شكل قرص عديد الخلايا وهذا النوع من الشعيرات تتميز به أوراق الزيتون *Olea* (Olive) وتسمى الشعيرة في هذه الحالة بالشعيرة القرصية Peltate .

وهناك نباتات متسلقة تتخذ مثلاً شكل الشعرة Hook-like بغرض المساعدة في عملية التسلق كما هي الحال في نبات اللزيج *Galium* وتسمى الشعيرات في هذه الحالة شعيرات متسلقة Climbing hairs .

وتتخصص بعض الشعيرات في وقاية النبات من حيوانات الرعي وتسمى هذه الشعيرات بالشعيرات اللاسعة Stinging hairs كتلك الموجودة على سطح نبات الحكيك *Uritica* . وفي هذه الحالة ترتكز كل شعيرة على عنق عديد الخلايا يحيط بقاعدتها المنتفخة ، والتي تحتوي على سائل لاذع حاوٍ على الهستامين Histamine والأسيتيل كولين Acetylcholine .



الشكل (٥ – ٢) أنواع مختلفة من الشعيرات والزوائد البشرية .

رابعاً– الخلايا المساعدة Subsidiary cells :

كثيراً ما يشارك في المعقد الثغري خليتان أو أكثر مورفولوجياً عن باقي خلايا البشرة ، تتصل مباشرة بالخليتين الحارستين من جهة وبباقي خلايا البشرة الاعتيادية من جهة أخرى ، يطلق عليها الخلايا المساعدة Subsidiary cells . وقد تكون الخلايا المساعدة معدومة في المعقد الثغري كما في نبات الباقلاء *Vicia faba* ، إلا أنها كثيراً ما تكون موجودة في الكثير من مغطاة البذور وعاريات البذور . وكما سبق فإن وجود الخلايا المساعدة أو عدمه ، وعددها أن كانت موجودة وطريقة ترتيبها ، جعل بالإمكان تصنيف المعقد الثغري إلى طرز مختلفة . أما فيما يخص نشوء الخلايا المساعدة ، فغالباً ما يكون نشؤوها من خلايا من البشرة الأولية Protoderm .

خامساً– الخلايا المحركة (Bullifor cells (Motor cells :

خلايا واسعة الحجم ، رقيقة الجدران ، موجودة في العائلة النجيلية Gramineae وعدد من نباتات ذوات الفلقة الواحدة عدا مجموعة Helobiae ، وتتميز جدرانها الابتدائية الرقيقة بكثرة السليلوز والمواد البكتينية Pectic substances فيها . كما تتميز الخلايا بكونها حية ، واسعة الفجوات ، وخالية من البلاستيدات الخضر عادة . وغالباً ما تكون الخلايا المحركة على هيئة أشرطة متوازية Parallel Strips من المناطق الواقعة بين العروق لبشرة السطح العلوي للورقة (Abaxial (or upper surface ونادراً ما يكون وجودها على الحالة الغائبة . وفيما يخص الوظيفة أو الوظائف التي تقوم بها الخلايا المحركة ، هناك عدة آراء بهذا الشأن . فهنالك رأي يؤكد بأن أهمية هذه الخلايا ترتبط أساساً بالمساعدة على انبساط الأوراق خلال فقرة التكشف للأوراق عند تكونها في القمم النامية للساق ، أي انبساطها خلال فترة نمو الأوراق من براعمها Ontogeny . أما الرأي الثاني فيؤكد أهمية هذا النوع من الخلايا في بسط unpolding وكمي folding الأوراق خلال الطقس الرطب والجاف على التوالي . أن احتواء الخلايا المحركة على كميات كبيرة من الماء تجعلها تفقد الكثير من مائها عند الجفاف ، فيصغر حجمها ، وبالتالي تعمل على طي الورقة والتفافها مما يعمل على التقليل من سرعة النتح Transpiration . أما في حالة الجو الرطب ، فتكون ممتلئة Turgid . أو منتفخة مما يعمل على انبساط الأوراق وعودة عملية النتح إلى حالتها الطبيعية . أما الرأي الثالث فيرجع إلى الخلايا المحركة وظيفة خزن الماء . وبغض النظر عن ترجيح أي من هذه الوظائف المقترحة للخلايا المحركة ، فقد تكون جميع هذه الوظائف أو بعضها مقترن بهذا النوع من الخلايا .

سادساً- خلايا البلورات المعلقة Lithocytes :

خلايا متخصصة من خلايا البشرة ، تتميز بسعة حجمها ، واحتوائها على نوع خاص من البلورات يطلق عليه البلورة المعلقة Cystolith . وتتميز البلورة المعلقة بكونها مركبة من جسم البلورة Body المؤلف أساساً من كاربونات الكالسيوم $CaCO_3$ ، ومن عنق Stalk مؤلف من مادة السليلوز Cellulose حيث يجعل جسم البلورة معلقاً بالجدار الخارجي للخلية الحاوية عليها بواسطة العنق . وخلايا البلورات المعلقة هذه يطلق عليها أيضاً كيس البلورة المعلقة Lithocyst ، أن البلورات المعلقة مألوفة في العوائل النباتية التالية :

العائلة الأقنثية Acanthaceae ، والتوتية Moraceae ، والقُداحية (أو الحرُيقية) Urticaceae ، والقثائية Cucurbitaceae .

سابعاً- خلايا السليكا Silica cells وخلايا الفلين Cork cells :

هي خلايا طويلة Long cells ، وخلايا قصيرة Short cells . وتتميز الخلايا القصيرة بدورها إلى خلايا السليكا Silica cells التي تتميز بكونها غنية بمادة السليكا التي تكون

موجودة في داخل الخلايا على هيئة حبيبات صغيرة متجانسة ضوئياً Optically isotropic من مادة السليكا ، وخلايا الفلين Cork cells التي تتميز بكون جدرانها مشبعة بمادة السوبرين Suberin المميزة للخلايا الفلينية . كما أن خلايا الفلين هذه تتميز بكون العديد منها يكون حاوياً على أجسام عضوية صلبة بداخلها . أن الخلايا القصيرة قد تحمل أحياناً حليمات Papillae ، أو هُلب Setae أو أشواك Spines أو شعيرات Hairs .

ثامناً– ألياف البشرة Epidermal fibers :

في بعض السرخسيات Pteridophytes ، وبعض عاريات البذور Gymnosperms ، وفي عدة أجناس من العائلة النجيلية Gramineae وبعض ذوات الفلقتين Dicotyledons تتكون في البشرة خلايا شبيهة بالألياف Fiber - like cells تتكون نتيجة تصلب Sclerification خلايا البشرة نتيجة لحصول عملية التلكنن Lignification في جدرانها ، أو قد تضاف كذلك مادة الكيوتين للجدار .

تاسعاً– خلايا المايروسين Myrosin cells :

خلايا منعزلة idioblasts موجودة في البشرة ، غنية بأنزيم المايروسين Myrosin enzyme . وتتميز هذه الخلايا بكونها واسعة الحجم ، وذات طبيعة غدية ، غنية بإنزيم المايروسين ، أن خلايا المايروسين مألوفة في بشرة بعض نباتات العائلة الصليبية Cruciferae .

عاشراً– الخلايا الإفرازية Secretory cells :

خلايا متخصصة تقوم بإفراز مواد عضوية غالباً كالمواد الدباغية Tannins ، والهلام mucilage ، والصموغ Gums ، والرحيق Nectar وغيرها . وكثيراً ما تكون الخلايا الغدية glandular أو الإفرازية الموجودة في البشرة مقترنة مع الشعيرات الغدية ، أو أن تكون بهيئة خلايا منعزلة إفرازية Secretory idoblasts ، أو كسطوح غدية Glandular surfaces .

والخلايا الإفرازية تكون عادة غزيرة السايتوبلازم ، غنية بالمايتوكوندريا Rich in mitochondria والشبكة الاندوبلازمية ER ، ومعقد كولجي Golgi complex ، وحاوية من سايتوبلازمها على عدد من التراكيب الحوصلية Vescicular structure . والخلايا الإفرازية الموجودة في البشرة سواءاً أكانت بهيئة خلايا منعزلة أو بصيغ أخرى ، قد تكون موجودة في الأجزاء الزهرية ، أو في بشرة البذور أو الثمار أو الأوراق أو باقي الأجزاء الخضرية الأخرى للنبات .

أن للخلايا الإفرازية أهمية تصنيفية Taxonomic signification حيث أن وجود الخلايا أو التراكيب الإفرازية – في البشرة أو في غيرها من الأنسجة – وكذلك طبيعة المواد التي تكونها ، تعتبر ذات أهمية بالغة لكونها تشكل بعضاً من الصفات المميزة لبعض العوائل

النباتية أو المجموعات التصنيفية Taxons الأخرى . ولا يفوتنا أن نشير إلى الثغور المائية Hydathodes التي تقع ضمن خلايا البشرة الإفرازية التي يتم خلالها فقد الماء بهيئة محلول سائل ، بدلاً من فقده بهيئة بخار الماء كما يجري من المعقدات الثغرية الاعتيادية . ويطلق على عملية فقد الماء (مع بعض الأملاح المذابة فيه) بشكل سائل مصطلح الإدماع Guttation .

٢- البريدرم Periderm :

من أبرز النتائج المتسببة عن التغلظ الثانوي الناتج عن نشاط الكمبيوم الوعائي في سيقان وجذور عاريات البذور وكثير من ذوات الفلقتين هي الزيادة الملحوظة في سمك العضو النباتي الذي يحصل فيه التغلظ الثانوي ، مما يسلط ضغطاً كبيراً على البشرة والأجزاء الخارجية من القشرة . وكنتيجة حتمية لذلك فإن البشرة والجزء الخارجي من القشرة تتمزق في معظم النباتات ، وبالتالي فإن البشرة تفقد وظيفتها الوقائية كنسيج ضام . لذا يصبح من الضروري التعويض عن البشرة بنسيج ضام يقوم مقام البشرة الممزقة وهذا النسيج هو البشرة المحيطة .

فالبريدرم نسيج وقائي ثانوي المنشأ ، يحل محل البشرة في الأعضاء التي تعاني تغلظاً ثانوياً . وتعتبر سيقان وجذور عاريات البذور Gymnosperms وذوات الفلقتين الخشبية Woody Dictoyledons من أهم النماذج التي تتكون فيها البريدرم . أما في أوراق معظم النباتات فلا وجود للبريدرم .

تتكون البريدرم أيضاً في بعض ذوات الفلقتين العشبية خاصة في الأجزاء المسنة من الجذور والسيقان ، وكذلك في بعض نباتات ذوات الفلقة الواحدة . وإضافة لذلك فإن البريدرم تتكون أيضاً في مناطق انفصال الأعضاء النباتية Abscission zones كالأوراق والفروع والثمار ، وأسفل مناطق الجروح Wounds والأنسجة الميتة أو المناطق المصابة ببعض الحشرات أو غيرها من الآفات .

وبالنظر لكون الفلين غير منفذ للماء والغازات فإن الطبقات الواقعة خارج البريدرم تموت عادة ، وغالباً ما تسقط على شكل قلف bark بين فترة وأخرى . وقد تبقى هذه الطبقات لفترة طويلة على النبات .

وتتميز البريدرم عادة إلى طبقات ثلاثة هي من الخارج إلى الداخل الفلين Cork or Phellem ، الكمبيوم الفليني Cork cambium or Phellogen والقشرة الثانوية Phelloderm . وتتكون الطبقة الخارجية (الفلين) والطبقة الداخلية (القشرة الداخلية) بفعل نشاط الطبقة الوسطى (الكمبيوم الفليني) .

❖ الكمبيوم الفليني Phellogen or Cork Cambium

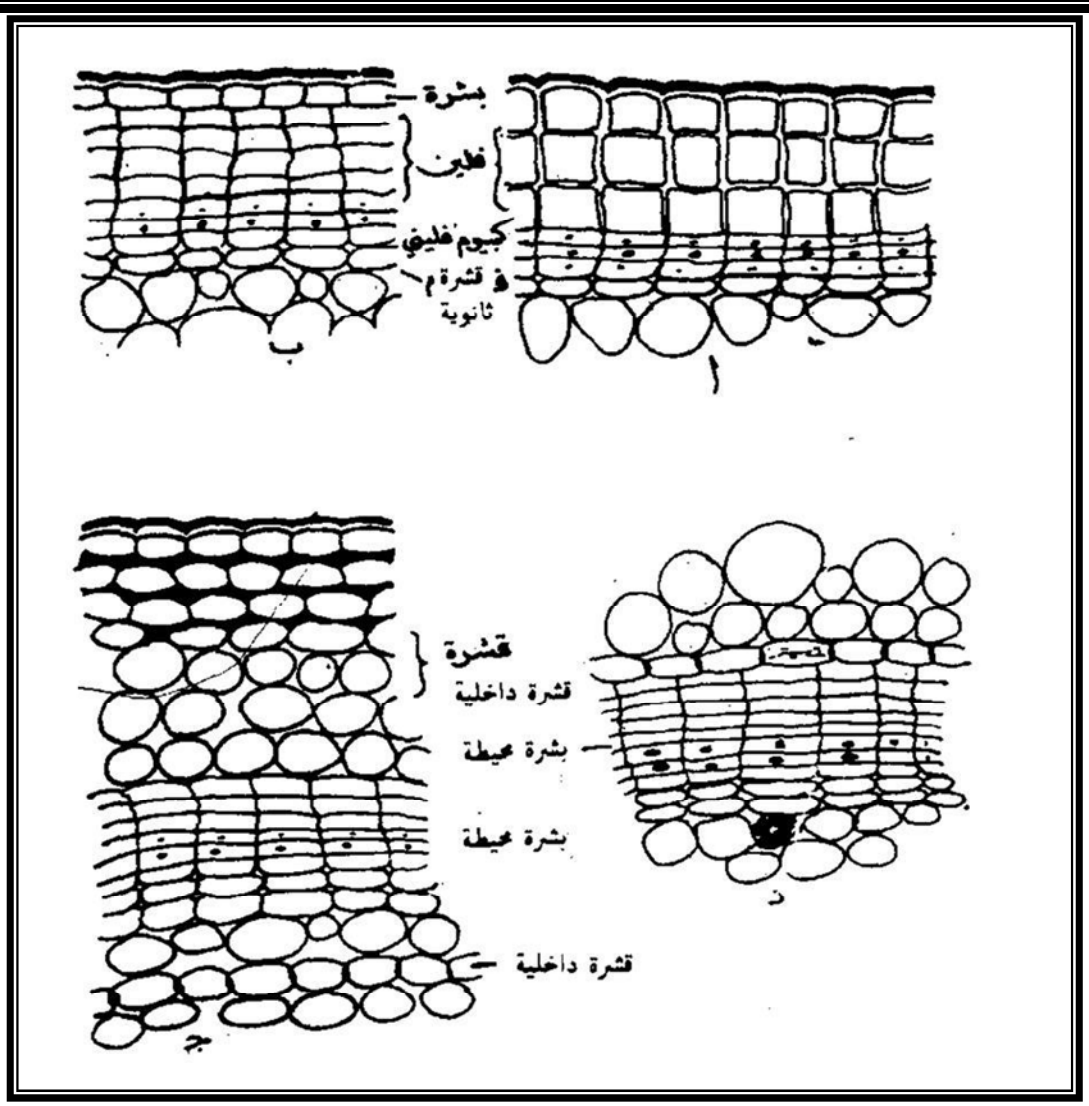
تقوم طبقة الكمبيوم الفليني بتكوين الفلين كم أنها تقوم بتجديده باستمرار كلما تهتك جزء منه . ويعتبر الكمبيوم الفليني مرستيماً ثانوياً Secondary meristem نموذجياً إذ أنه يتكون نتيجة

تحول خلايا مستديمة خلال عملية فقدان التميز Dedifferentiation . كما أنه يمثل مرستيماً جانبياً Lateral meristem إذ أنه يقع موازياً لسطح الساق أو الجذر وينقسم باتجاه مماسي Tangential عاملاً على زيادة جسم النبات في السمك بنفس الطريقة التي يتبعها الكمبيوم الوعائي .

ويوصف الكمبيوم الفليني بكونه خارجي المنشأ Endogenous في الساق عادة ، وداخلي المنشأ Exogenous في الجذر . فقد ينشأ أول كمبيوم فليني في الساق من المناطق الخارجية من القشرة كما هي الحال في معظم النباتات ، أو أن ينشأ من البشرة ذاتها كما في سيقان الدفلة *Nerium* والصفصاف والبلوط . وتجدر الإشارة إلى أن الكمبيوم الفليني قد ينشأ في بعض السيقان من طبقة تحت البشرة Hypodermis كما في ساق الشمعدان وساق الغرب . وقد ينشأ من طبقات القشرة الخارجية كما في جنس *Ulmus* والكستناء والجوز. وفي كثير من النباتات الخشبية ينشأ الكمبيوم الفليني من الطبقات الداخلية من القشرة كما في نبات البربري *Berberis*.

أما في الجذر فإن نشوء أول كمبيوم فليني يكون عادة داخلياً Endogenous حيث يتم نشؤوه في جذور معظم النباتات المعمرة من ذوات الفلقتين وعاريات البذور من البريكيل أو الدائرة المحيطة Pericycle كما في جذر التين البنغالي والصبير إلا أنه قد ينشأ من الطبقات الداخلية من القشرة كما في جذر القطن .

ويعد الكمبيوم الفليني مرستيم جانبي Lateral meristem ذي منشأ ثانوي – كما سبق – وهو أبسط نسبياً من حيث التركيب مقارنة بالكمبيوم الوعائي الذي يتميز فيه نوعان من الخلايا هما الأصول الشعاعية Ray Initials والأصول المغزلية Fusiform initials في حين يتكون الكمبيوم الفليني من خلايا متشابهة من حيث الشكل .



شكل (٥ – ٤) منشأ الكمبيوم الفليني والبشرة المحيطة

أ- من البشرة في ساق الدفلة .

ب- من تحت البشرة في ساق الشمعدان .

ج- من الطبقات الداخلية من البشرة .

د- من الدائرة المحيطية في الجذر الهوائي للتين البنغالي .

رابعاً- القشرة الثانوية Phelloderm

تعتبر خلايا القشرة الثانوية خلايا برنكيمية حية تحتفظ بجميع محتوياتها البروتوبلازمية وتكون محاطة بجدار ابتدائي مؤلف من مادة السليلوز بصورة رئيسية . وتحتفظ خلايا القشرة الثانوية بحيويتها بخلاف خلايا الفلين التي تفقد حيويتها بمجرد تمام نضجها . ولا تختلف طبقة الفلودرم من حيث تركيبها عن خلايا الفلين وفي العادة تتكون الفلودرم من عدد قليل من الطبقات إلا أنها قد تتألف من صف واحد من الخلايا أو قد تكون معدومة تماماً .

وقد تحتوي خلايا الفلودرم في بعض السيقان على بلاستيدات خضر وبذلك تساهم في عملية التركيب الضوئي Photosynthesis كما أنها تقوم بوظيفة اختزانية عن طريق احتفاظها بكمية من النشا كمادة غذائية مختزنة .

❖ الفلين Cork or Phellem :

يمثل الفلين نسيجاً مستديماً بسيطاً مكوناً من خلايا متراصة ، خالية من المسافات البينية ، وذات جدران ثانوية مسوبرة Suberized خالية من النقر عادة . والخلايا موشورية الشكل Prismatic تموت عند النضج بعد اكتمال تكوين الجدران الثانوية . فتصبح الخلية عندئذ الفلين . وترجع الوظيفة الوقائية للفلين إلى وجود مادة السوبرين Suberin الدهنية في جدرانها مما يجعلها غير منفذة للهواء والسوائل .

وفي خلايا الفلين سميكة الجدران تضاف على طبقة السوبرين ناحية الداخل طبقة سميكة من السليلوز المشبع بمادة اللكنين . وتجرى عملية التسوبر Suberization في الصفائح الوسطية أولاً ثم تنتقل تدريجياً باتجاه مركز الخلية . وقد تبقى بعض الخلايا في منطقة الفلين دون أن تتكون في جدرانها مادة السوبرين فيطلق عليها مصطلح الخلايا شبه الفلينية Phelloids . وقد تظهر جدرانها تسمكاً ملحوظاً ، وفي هذه الحالة غالباً ما تتميز الخلايا شبه الفلينية إلى خلايا متصلة أو سكلريدات Sclereids كما في سيقان رودودندرون *Rododendron maximum* .

وبالإضافة إلى تسوبر خلايا الفلين فإن جدرانها تكون شديدة أو محكمة التماسك ببعضها بدون مسافات بينية . ولهاتين الصفتين الأساسيتين وهما تسوبر الخلايا وشدة تماسك جدرانها ببعضها ترجع كفاءة طبقة الفلين في حفظ الأنسجة الداخلية من أن تفقد ماءها .

ويقوم الفلين بعدة وظائف حيوية بالنسبة للنبات . وفي مقدمة هذه الوظائف وأهمها منع النبات من فقد كمية كبيرة من الماء عن طريق النتح الشديد بعد تهتك طبقة البشرة وتعري الخلايا الداخلية . كما أن جدران خلايا الفلين تكون ذات قوة فائقة نتيجة لتسوبرها ولذلك فهي بمثابة غلاف واقٍ حول النبات . وفي أغلب الأحيان تحتوي خلايا الفلين على هواء تستطيع بواسطته أن تكون طبقة عازلة تقي النبات ولاسيما الأنسجة الداخلية من الحرارة والبرودة الزائدة . وقد تحتفظ خلايا الفلين بداخلها ببعض المواد الواقية كالمواد الدباغية لها القدرة على مقاومة الطفيليات عند غزوها لأنسجة النبات .

ومما تجدر الإشارة إليه أن هنالك نوعاً خاصاً من أنواع البريدرم يحصل في الجذور والسيقان الترابية يطلق عليه البوليدرم Polyderm هذا النوع من أنواع البريدرم مألوف في بعض الفصائل النباتية مثل العائلة الوردية Rosaceae وعائلة الياس Myrtaceae . أما مصطلح ريتيدوم Rhytidome فيطلق على الطبقات الميتة المتراكمة نتيجة تكوين البريدرم مرة بعد الأخرى في الجذور وسيقان النباتات المعمرة الشجرية وبقاء تلك الطبقات على العضو النباتي . أما في الشجيرات فغالباً ما تتساقط الطبقات الميتة من البريدرم بصورة مبكرة ولا تتراكم . فلا تتكون طبقة الريتيدوم في مثل هذه الحالات .

١ – النسيج البرنكيمي Parenchyma :

النسيج البرنكيمي هو ذلك النسيج الخضري البسيط الذي يكون الجزء الأكبر من أجسام النباتات البدائية والأجزاء غير المتخصصة في أجسام النباتات الراقية وهو لذلك يعتبر النسيج البدائي الذي عن طريق التخصص تنشأ عنه الأنسجة الأخرى في النباتات الراقية . وهو نسيج مستديم يمثل أكثر الأنسجة شيوعاً في النظام النسيجي الأساسي Ground tissue system ، كما أنه موجود كذلك ضمن النظام النسيجي الوعائي كما يوجد في النظام النسيجي الضام ممثلاً بالقشرة الثانوية التي تمثل الطبقة الداخلية من طبقات النظام النسيجي الضام الثانوي Vascular system كأحد مكونات الخشب Xylem واللحاء Phloem .

وخلايا هذا النسيج حية تحتفظ بالنواة والسايتوبلازم لفترة طويلة بعد نضجها . ويؤلف السايتوبلازم طبقة رقيقة تبطن الجدار في الخلايا الناضجة نظراً لوجود فجوة عصارية كبيرة . بينما تحتل النواة أما موقعاً مركزياً وتتصل بطبقة السايتوبلازم الخارجية عن طريق خيوط سايتوبلازمية أو موقعاً جانبياً . وتتميز الخلايا البرنكيمية باحتوائها على فجوات واسعة كما أنها تكون محاطة عادة بجدار ابتدائي Primary wall ويكون الجدار حاوياً على حقول النقر الابتدائية Primary pit fields التي تتخللها البلازمودزمات أو على نقر بسيطة .

وفي حالات قليلة قد يضاف جدار ثانوي على الجدار الابتدائي كما يحصل في بعض الخلايا البرنكيمية الملكننة المقترنة بنسيج الخشب ، خاصة الخشب الثانوي ، حيث تكون الجدران الثانوية مشبعة بمادة اللكنين Lignin ، وكذلك في خلايا اللب أو النخاع (pith) لبعض النباتات كالسيسبان (elder) *Sambucus* . وتتميز جدران الخلايا البرنكيمية بكونها رقيقة عادة . وفي حالات نادرة قد يكون الجدار سميكاً خازناً كما في خلايا النسيج الأسفنجي Spongy tissue ، أو ذات طيات *doctylifera* والأبنوس *Diospyrus* . وقد تحتوي الخلية البرنكيمية على مواد غذائية كالحبيبات النشوية أو على بلاستيدات خضر أو ملونة أو عديمة اللون ويتخلل النسيج البرنكيمي عادة مسافات بينية واسعة . (شكل ٥ – ٤) .

وتوجد الخلايا البرنكيمية في جميع الأعضاء النباتية كالجذر والساق والثمار والبذور . وتشغل كل أو معظم القشرة والنخاع أو اللب في السيقان والجذور وتكون النسيج المتوسط في الأوراق كما تكون معظم النسيج النباتي في الأعضاء الزهرية والثمار والبذور حيث تتواجد بشكل نسيج مستمر . وقد تنتظم بشكل صفوف عمودية أو أشرطة تمتد قطريا كما يحصل في النسيج الوعائي .

وبالنظر لبقاء الخلايا البرنكيمية حية بعد النضج ، فإنها تحتفظ بقابليتها المرستيمية بصورة كامنة ، لذا فإنها أحياناً تعاني ظاهرة فقدان التميز Dedifferentiation والتحول إلى خلايا مرستيمية ، كما يحصل في عملية تكوين الكمبيوم بين الحزمي Interfascicular Cambium والكمبيوم الفليني Phellogen وفي عملية التئام الجروح Wound healing وما شاكلها . وقد تحتوي الخلايا البرنكيمية على بلاستيدات خضر فيطلق على النسيج عندئذ النسيج الكلورنكيمي Chlorenchyma . وتختلف خلايا النسيج البرنكيمي في الشكل ، وهي غالباً ما تميل إلى الشكل متساوي الأبعاد Isodiametric متعدد الأوجه Polyhedral حيث

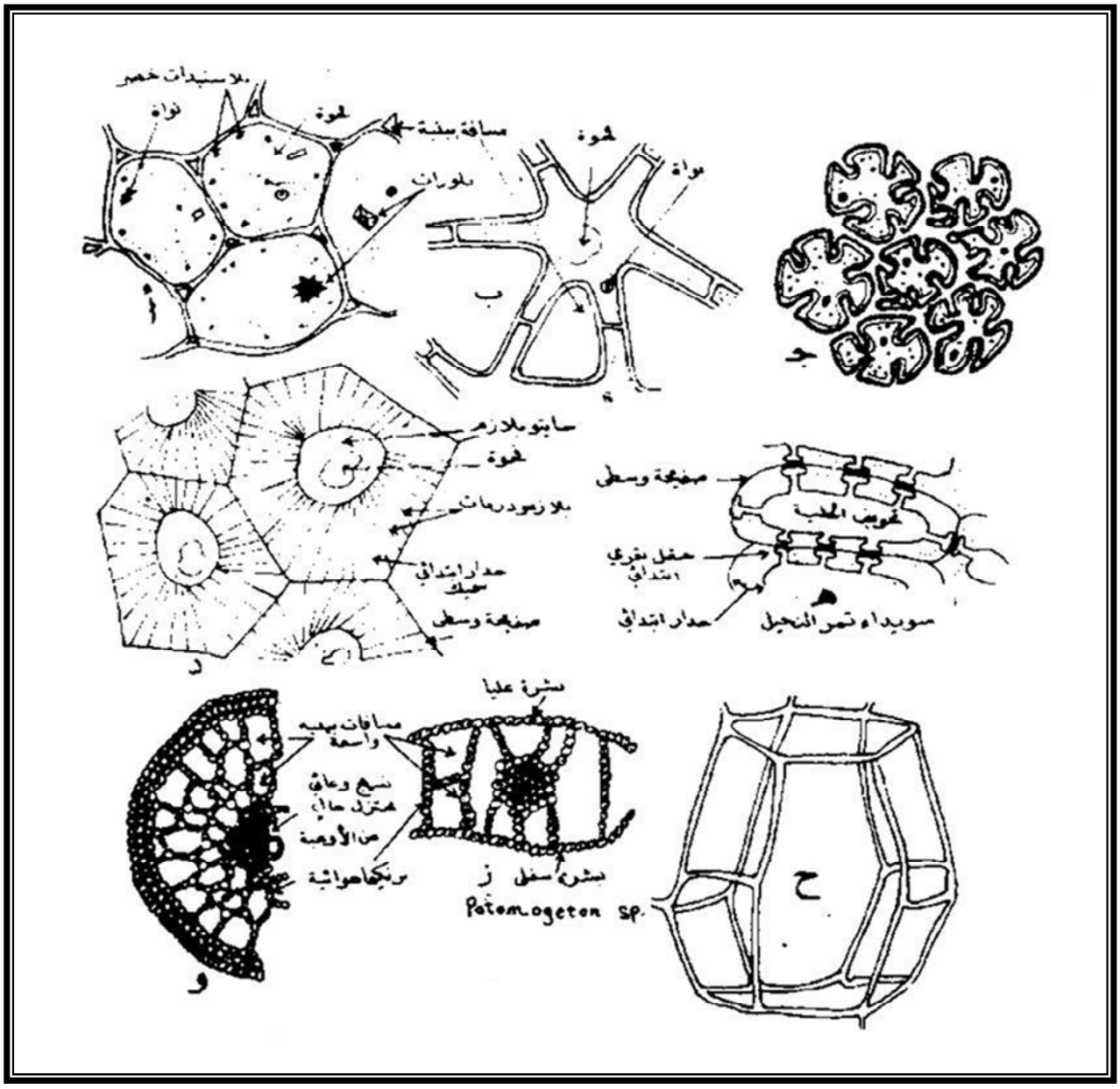
يسود فيها الشكل ذو الأربعة عشر وجها Tetrakaidecahedron وتبدو الخلايا في المقطع المستعرض مضلعة أو تميل إلى الشكل الدائري بينما يميل شكلها للاستطالة في المقطع الطولي ، وتظهر بعض الخلايا البرنكيمية أشكالا أخرى ، قد تكون عمودية Columnar ، كما في النسيج العمادي للورقة Palisade tissue أو نجمية Stellate كما في نبات الموز الفحل *Canna Indica* أو مفصصة loded كما في خلايا النسيج الأسفنجي Spongy tissue ، أو ذات طيات folded كما في النسيج الوسطي لأوراق الصنوبر . وتتميز بعض الخلايا البرنكيمية الموجودة في النسيج الوعائي بكونها مستدقة النهايات يطلق عليها الخلايا البروزنكيمية Prosenchyma . (شكل ٥ – ٤) .

وقد تكون الخلايا البرنكيمية ابتدائية من حيث المنشأ Primary in origin كتلك التي تكون من أي من المرستيمات الابتدائية كالمرستيم الأساسي Ground meristem أو الكمبيوم الأولي Procambium وذلك خلال فترة النمو الابتدائي ، أو أن تكون ثانوية المنشأ Secondary in origin عندما تنشأ من المرستيمات الثانوية كالكمبيوم الفليني والكمبيوم الوعائي خلال مرحلة النمو الثانوي .

وعلى الرغم من أن النسيج البرنكيمي يعتبر بسيطاً Simple من الناحية المورفولوجية إلا أن خلاياه بتنوعها وانتشارها في جميع أجزاء النبات تؤدي عدة وظائف هامة وبذلك فإنها تلعب دوراً مهماً في حياة النبات في كثير من الجوانب الفسلجية . فقد تقوم بوظيفة دعامية عند امتلائها بالعصير الخلوي وذلك في أعضاء النبات الرخوة كالأوراق والسيقان الحديثة بالرغم من رقة جدرها . كذلك قد تقوم بوظيفتي الخزن Storage والإفراز Secretion ، كما وتقوم بعض الخلايا البرنكيمية بوظيفة النقل لمسافات قصيرة كما يحصل في خلايا الأشعة الوعائية Vascular rays . وتقوم الخلايا البرنكيمية الحاوية على البلاستيدات الخضر بعملية التركيب الضوئي Photosynthesis ولا يفوتنا الإشارة إلى الدور الذي تلعبه بعض الخلايا البرنكيمية والمستند إلى قدرتها على فقدان التميز Dedifferentiation والتحول إلى خلايا مرستيمية كما هو ملاحظ في عملية تكوين الكمبيوم بين الحزمي Interfascicular cambium والكمبيوم الفليني Phellogen والتئام الجروح Wound healing التي سبقت الإشارة إليها . وكذلك في عملية تكوين الجذور العرضية Adventitious root والأغصان العرضية Adventitious branches والتعويض عن الأجزاء المفقودة Regeneration والتئام الطعم Scion مع الأصل Stalk في عمليات التكثير الخضري وكذلك عمليات تكوين نسيج الكالس Callus في بعض الأجزاء النباتية أو في المزارع النسيجية Tissue cultures التي تنمى فيها الخلايا البرنكيمية على مزارع صناعية . وتستطيع بعض الخلايا البرنكيمية أن تعاني عملية أعادة التميز Redifferentiation فتتحول إلى أنسجة أكثر تميزاً كأن تتحول إلى خلايا صلبة Sclereids خلال عملية التصلب Sclerification التي تحصل في الخلايا البرنكيمية فتتحول إلى خلايا سكلريدية مشبعة جدرانها بمادة اللكنين ، أو تحول بعض الخلايا البرنكيمية إلى خلايا ناقلة في الخشب أو اللحاء أو ما شاكلها . ويمكن تقسيم الأنسجة البرنكيمية تبعاً لشكل الخلايا والوظيفة التي تؤديها إلى ما يأتي :

١– النسيج البرنكيمي العادي Ordinary Parenchyma :

يتكون هذا النسيج من خلايا برنكيمية عادية لم تخصص لوظيفة معينة وتنطبق عليها الصفات العامة للخلايا البرنكيمية من حيث الشكل العام للخلية ورقة جدرانها وامتلائها بالعصير الخلوي واحتوائها فيما بينها على مسافات بينية (شكل ٥-٤ أ) وينتشر هذا النوع العادي من الخلايا البرنكيمية في القشرة والنخاع في سيقان وجذور ذوات الفلقتين وفي جذور ذوات الفلقة الواحدة وفي النسيج الأساسي لسيقان ذوات الفلقة الواحدة .



شكل (٥-٤) أنواع من الخلايا البرنكيمية

أ- برنكيما عادية من ساق نبات البيكونيا .

ب- برنكيما لحمية من سويق ورقة نبات كانا .

ج- برنكيما مطوية من النسيج المتوسط لأوراق الصنوبر .

د- برنكيما متسمكة الجدران الابتدائية التي تتخللها البلازمودزمات في خلايا أندوسبرم دابوبيروس .

هـ- برنكيما سميكة الجدران الابتدائية تظهر بها حقول النقر الابتدائية التي تتخللها البلازمودزمات .

و- برنكيما هوائية في ساق نبات أيلوديا .

ز- برنكيما هوائية من ورقة نبات لسان الطير .

ح- خلية برنكيمية ذات أثنى عشر وجها من منطقة لب ساق بيكونيا .

٢- النسيج الكلورنكيمي والمتوسط Chlorenchyma and Mesophyll tissue :

وهو النسيج الخاص بالبناء الضوئي ويوجد في الأعضاء النباتية الخضر المعرضة للضوء . وتمتاز الخلايا باحتوائها على كمية وافرة من البلاستيدات الخضر . ويوجد النسيج الكلورنكيمي في السيقان العشبية والأطراف الغضة من السيقان الخشبية في الجزء الخارجي من منطقة القشرة . والنسيج المتوسط Mesophyll الذي يوجد في الأوراق يعتبر نوعاً خاصاً من الأنسجة الكلورنكيمية تحور من حيث الشكل ليصبح أكثر ملائمة لوظيفة البناء الضوئي .

٣- النسيج البرنكيمي المختزن Storage Parenchyma :

يقوم النبات باستهلاك جزء من غذائه في عملية البناء وجزء أخر لإنتاج الطاقة اللازمة للقيام بسائر وظائفه الحيوية . ويختزن ما يتبقى بعد ذلك على هيئة مواد كاربوهيدراتية أو بروتينية أو دهنية . وتختزن هذه المواد في معظم الأحوال في أعضاء خاصة تسمى بأعضاء الاختزان Storage organs . وفي جميع الحالات يحدث الاختزان في أنسجة برنكيمية خاصة تمتلئ بتلك المواد .

كما أن هناك بعض النباتات وعلى الأخص نباتات الجفاف Xerophytes تختزن الماء في أنسجتها ويعتبر النسيج البرنكيمي أنسب نسيج لاختزان الماء وهو في هذه الحالة ينكون من خلايا كبيرة الحجم رقيقة الجدران قليلة السايتوبلازم غنية بالعصير الخلوي . وهذا العصير قد يكون هلامياً بعض الشيء حتى يمكنه الاحتفاظ بالماء تحت الظروف السيئة . وقد يكون النسيج المختزن للماء خارجي الموقع كما في حالة ورق تين المطاط *Ficus elastica* أو داخلي الموقع كما في حالة ورقة نبات الصبار *Aloe sp.* .

٤- النسيج البرنكيمي الخاص بالتهوية Aerenchyma :

تتميز خلايا هذا النسيج بصغر حجم ورقة جدرانها وبوجود فراغات هوائية واسعة بينها وتتصل هذه الفراغات ببعضها لتكون جهازاً للتهوية أو لاختزان الهواء . ولذلك يشيع هذا النسيج بين النباتات المائية التي يتعذر عليها الاتصال المباشر بالهواء الجوي . وتختزن هذه الفراغات الأوكسجين وثنائي أوكسيد الكاربون لاستعمالهما في عمليتي التنفس والتركيب الضوئي على التوالي . ومن النباتات المائية التي يوجد فيها نسيج برنكيمي خاص بالتهوية نبات الوديا *Elodea* ونبات الشحبالان *Ceratophyllum* . ومن النباتات غير المائية نبات البردي *Cyperus papyrus* الذي يعيش في المستنقعات ونبات نخيل التمر .

٢- النسيج الكولنكيمي Collenchyma :

يكون النسيج الكولنكيمي مع النسيج السكلرنكيمي النظام النسيجي الميكانيكي أو الدعامي في الأعضاء المختلفة لجسم النبات وهو النظام الذي يقوم بحماية النبات وتقويته ضد عوامل الضغط أو الشد أو الانثناء ولاسيما في الأعضاء الحديثة التي لا تستطيع فيها عنصر الخشب وحدها القيام بالوظيفة الدعامية .

والنسيج الكولنكيمي نسيج مستديم بسيط تبقى خلاياه حية بعد النضج ، حاوية على نواة وسايتوبلازم وفجوة عصارية واسعة . وتحاط خلايا النسيج الكولنكيمي بجدران ابتدائية تميز بتسمكها بصورة غير منتظمة Unevenly thickened واحتوائها على نسبة عالية من المواد البكتينية Pectic substances مما يترتب عليه وجود نسبة عالية من الماء في جدرانها نظراً لألفة المواد البكتية للماء Hydrophilic .

وتتصف الخلايا الكولنكيمية بمعظم الصفات التي تتصف بها الخلايا البرنكيمية بحيث يعتبرها البعض نسيجاً برنكيمياً محوراً . وقد تحتوي الخلايا الكولنكيمية على بلاستيدات خضر ، كما أنها – تبعاً لبقائها حية – تحتفظ بقابليتها المرستيمية بصورة كامنة Potentially meristematic مما يمكنها من ممارسة ظاهرة فقدان التميز Dedifferentiation والتحول إلى خلايا مرستيمية كما هو ملاحظ في تكوين الكمبيوم الفليني في سيقان بعض النباتات مثل البيلسان (elder) *Sambucus* .

ويتميز النسيج الكولنكيمي عن النسيج البرنكيمي في جوانب معينة أهمها تسمك الجدران الابتدائية لخلاياه بصورة غير منظمة ، واقتصار وجوده على الأجزاء الفتية الهوائية لنبات ، وخلو النسيج الكولنكيمي من المسافات البينية ، وإن وجدت فتكون صغيرة عادة . والخلايا الكولنكيمية غالباً ما تكون أكثر طولاً ونحافة مقارنة بالخلايا البرنكيمية فقد يصل طول الخلية إلى ٢ مم ، وغالباً ما تندمج الصفيحة الوسطى بجدران الخلايا الكولنكيمية مع الجدار الابتدائي مكونة صفيحة وسطى مركبة Compound middle lamella وتعتبر جدران الخلايا الكولنكيمية ابتدائية على الرغم من تسمكها في بعض المناطق وذلك نظراً لطبيعة المواد الداخلة في تركيب الجدار من جهة ولكون المواد المضافة للجدران تتم أضافتها خلال الفترة التي لا تزال فيها الخلايا مستمرة في الزيادة في الحجم والجدار ما يزال مستمراً في الزيادة السطحية ، مما يؤكد الصفة الابتدائية للجدران . وتتميز جدران الخلايا الكولنكيمية بالمرونة Plasticity وهذه الصفة تجعل من النسيج الكولنكيمي نسيجاً ملائماً جداً كنسيج ميكانيكي للأعضاء الفتية التي تتميز عادة باضطراد النمو في الطول ، وبالتالي فإن مرونة النسيج الكولنكيمي لا تسبب مقاومة لتلك الأعضاء عند استطالتها . وتتميز جدران الخلايا الكولنكيمية بتكوينها أساساً من السليلوز وخلوها من مادة اللكنين مما يميزها عن خلايا النسيج السكلرنكيمي الذي تكون جدرانه ملكننة عادة ، كما سيرد شرحه لاحقاً في هذا الفصل . ومما تجدر الإشارة إليه أن تعرض بعض الأعضاء النباتية إلى تأثيرات ميكانيكية – كالرياح – يحفز حصول التسمك في جدران الخلايا الكولنكيمية بصورة مبكرة مقارنة مع النباتات التي لا تتعرض لمثل هذه الظواهر .

وتوجد الأنسجة الكولنكيمية على وجه الخصوص في الأعضاء الحديثة النامية التي تحتاج إلى نسيج دعامي قابل للانحناء أو التمدد أثناء النمو ويقتصر وجودها على الأجزاء الهوائية Aerial parts الفتية كالسيقان والأوراق وبعض الأجزاء الزهرية وأعناق الأوراق Petioles وسيقان النباتات العشبية والعروق الوسطى بالأوراق الحديثة . غير أنها تكون معدومة في الأعضاء الأرضية عادة كالجذور والأجزاء الترابية الأخرى .

وفي حالات نادرة كالرايزومات Rhizomes قد يتواجد النسيج الكولنكيمي ، كما أنها توجد أيضاً في حالة الجذور الهوائية Aerial roots . وقد يشكل النسيج الكولنكيمي طبقة مستمرة ومتصلة على هيئة أسطوانة أو

أن يكون على هيئة أشرطة تمتد طوليا بمحاذاة المحور الطولي للعضو الذي تتواجد فيه . وهي على العموم تكون موجودة تحت البشرة مباشرة أو تفصلها عنها طبقة أو طبقتين من الخلايا البرنكيمية ، كما قد توجد أيضاً في الأركان كما أنها قد تكون مقترنة مع النسيج الوعائي كما في أعناق الأوراق ونصولها للعديد من النباتات أو أن تتواجد خارج النسيج الوعائي . ولكنها لا توجد في سيقان وأوراق ذوات الفلقة الواحدة حيث تتكون الأنسجة السكلرنكيمية مبكراً . وتبعاً لطريق التسمك الحاصل في الجدار الابتدائي يمكن تقسيم النسيج الكولنكيمي إلى ثلاثة أنواع (شكل ٥ – ٥) هي :

١- الكولنكيما الزاوية Angular Collenchyma :

وفيها يحصل التسمك في الجدران الابتدائية في الأركان أي في المناطق المناظرة لمناطق المسافات البينية في الخلايا البرنكيمية الاعتيادية . ونتيجة لذلك فإن الخلايا الكولنكيمية الزاوية تكون جدرانها متسمكة الزوايا ، كما في ساق نبات القرع *Cucurbita* وفي أعناب أوراق الكرفس (celery) *Apium graveolens* وفي العنب (grape) *Vitis* والتين *Ficus* . ويمثل هذا النوع من النسيج الكولنكيمي أكثر الأنواع شيوعاً.

٢- الكولنكيما الصفائحية Lamellar Collenchyma :

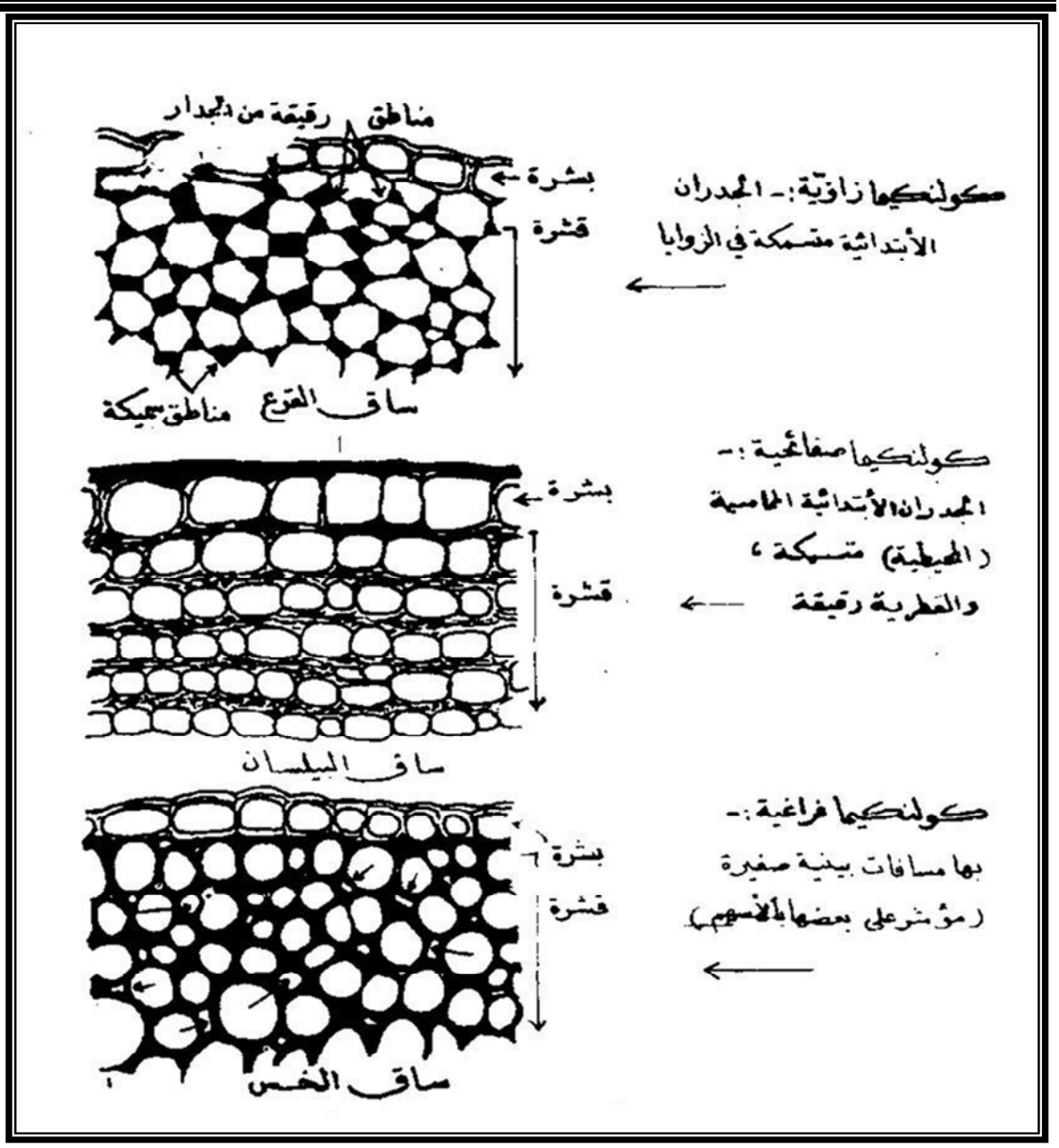
وفيها يقتصر تسمك الجدار الابتدائي على الجدران المماسية Tangential walls الداخلية والخارجية ، بينما تبقى الجدران القطرية Radial walls رقيقة . وتحصل هذه التسمكات على هيئة طبقات أو صفائح متراكبة منضدة فوق بعضها البعض كما في ساق نبات البيلسان (elder) *Sambucus* وعباد الشمس *Helianthus annuus* . وتعتبر الكولنكيما الصفائحية أقل شيوعاً في النباتات من النوع الزاوي . وفي كلا النوعين السابقين تتلاشى المسافات البينية تماماً .

٣- الكولنكيما الفراغية أو الأنبوبية Lacunar or Tubular Collenchyma :

وتتميز بوجود فراغات بينية بين الخلايا ويتركز التسمك على أجزاء الجدر المواجهة لهذه الفراغات . وهذا النوع من الأنسجة الكولنكيمية أقل الأنواع شيوعاً ويمكن ملاحظته في بعض النباتات كالخس (lettuce) *Lactuce* وورد المرجان *Salvia* .

وفي المقطع الطولي تتبين الخلية الكولنكيمية بتغلظها غير المستمر إذ تبدو الجدران كأجزاء رقيقة وأجزاء سميكة على خلاف ما يوجد بالألياف كما تكون الجدر العرقية عادة مائلة .

وقد تحتوى خلايا هذا النسيج على بلاستيدات خضر مما يمكنه من القيام بعملية التركيب الضوئي وذلك على الرغم من أن الوظيفة الرئيسية للنسيج الكولنكيمي هي التدعيم وخاصة بالنسبة للأعضاء الهوائية الفتية . هذا إضافة إلى كثير من الفعاليات الحيوية الأخرى التي تستطيع خلايا هذا النسيج ممارستها تبعاً لطبيعتها الحية بما في ذلك قدرتها على فقدان التميز Dedifferentiation .



شكل (٥-٥) أنواع النسيج الكولنكيمي كما تبدو في المقطع المستعرض

٣- النسيج السكلرنكيمي Sclerenchyma :

نسيج مستديم تموت خلاياه عند النضج عادة ، حيث تصبح الخلية مكونة من مجرد جدار خلوي يحيط بتجويف الخلية Cell lumen الخالي من البروتوبلاست . وتتميز خلايا النسيج السكلرنكيمي بوجد جدار ثانوي مشبع بمادة اللكنين Lignin . وتتم إضافة الجدار الثانوي من قبل البروتوبلاست بعد أن تكون الخلية قد وصلت حجمها النهائي . ومن ثم يموت البروتوبلاست عادة بعد اكتمال إضافة الجدار الثانوي . وبالنظر لعدم وجود اختلافات أساسية بين خلايا النسيج السكلرنكيمي فإنه يعتبر نسيجاً بسيطاً Simple tissue . والوظيفة الرئيسية لهذا النسيج هي التدعيم Support حيث يكسب الأجزاء التي يوجد فيها دعامة ميكانيكية . وبالنظر للتشابه الوظيفي بين النسيج السكلرنكيمي والكولنكيمي فقد أستعمل البعض مصطلح ستريوم Stereome للدلالة على النسيجين معاً . غير أن هناك من الفروق الرئيسية بين خلايا النسيجين ما يبرر

معاملتهما كنسيجين منفصلين . فخلو الخلايا السكلرنكيمية الناضجة من البروتوبلاست وأحاطتها بجدران ثانوية ملكننة عادة ووجودها في الأجزاء الهوائية والأرضية تميزها عن النسيج الكولنكيمي الذي تكون خلاياه حية عند النضج ، ومحاطة بجدار ابتدائي خال من اللكنين ومكون أساساً من السليلوز واقتصار وجودها على الأجزاء الهوائية الحديثة عادة . وإضافة لذلك فإن الخلايا السكلرنكيمية تتميز بتغلظ جدرانها بصورة منتظمة نوعاً ما وبصفة مطاطية Elasticity بينما يكون تسمك جدران الخلايا الكولنكيمية غير منتظم Unevenly thickened وتتميز بصفة بلاستيكية Plasticity تكسبها مرونة . ومما تجدر الإشارة إليه أنه في بعض الحالات قد يكون الجدار الثانوي للخلايا السكلرنكيمية مكوناً أساساً من السليلوز ، كما أنه في حالات نادرة قد تبقى الخلايا السكلرنكيمية حية لفترة طويلة كما في خلايا الألياف المحجرة أو المقسمة Septate fibers (شكل ٥-٦) التي تنقسم فيها الخلية الأصلية بجدران مستعرضة بضع مرات متحولة إلى تركيب متعدد الخلايا . وغالباً ما تكون الصفيحة الوسطى في الخلايا السكلرنكيمية غير متميزة عما يجاورها من طبقات الجدار فتمثل صفيحة وسطى مركبة Compound middle lamella حيث قد يشترك فيها – إضافة إلى الصفيحة الوسطى البسيطة – الجداران الابتدائيان على الجانبين ، أو الجداران الابتدائيان مضافاً إليهما جزء من الجدار الثانوي على كلا الجانبين ، فتصبح في الحالة الأخيرة تركيبا خماسي الطبقة . وغالباً ما يتميز الجدار الثانوي ذاته إلى طبقات يمكن ملاحظتها عند فحص خلايا النسيج السكلرنكيمي في المقطع المستعرض تحت المجهر الاعتيادي . وتكون الجدران خالية من البكتات الحقيقية True pectic substances وهي ظاهرة مميزة للجدران الثانوية بصورة عامة .

ويوجد النسيج السكلرنكيمي في جميع الأجزاء النباتية سواءاً كانت أرضية Subterranean أو هوائية ولذا فهو يوجد في الجذور والسيقان والأوراق والثمار والبذور وغيرها . كما أنه قد يوجد ضمن النظام النسيجي الأساسي Ground tissue system أو الوعائي Vascular tissue system أو الضام Dermal tissue system . وفي الحالة الأخيرة قد يغطى النسيج السكلرنكيمي بعض الأجزاء النباتية كالبذور كما هي الحال في بعض نباتات العائلة القرنية Leguminosae والأوراق الحرشفية في بعض الأبصال .

أما فيما يتعلق بطريقة نشوء خلايا النسيج السكلرنكيمي فقد تنشأ بصورة مباشرة من الأنسجة المرستيمية كالكمبيوم الأولي Procambium والكمبيوم الوعائي Vascular cambium أو أن تنشأ عن طريق تحول خلايا بالغة أخرى – كالخلايا البرنكيمية – إلى خلايا سكلرنكيمية عن طريق تلكنن Lignification جدران الخلايا البرنكيمية وتغلظ جدرانها ، ومن ثم يموت البروتوبلاست وتتحول إلى خلية سكلرنكيمية . ويطلق على العملية التي تتحول فيها الخلايا المستديمة إلى نوع أخر أكثر تميزا مصطلح أعادة التمييز Redifferentiation .

وتصنف الخلايا السكلرنكيمية تبعاً لأشكالها إلى نوعين رئيسيين هما الألياف Fibers التي تكون ممعنة في الطول عادة والسكلريدات أو الخلايا المتصلبة Sclereids التي تتخذ أشكالاً مختلفة ولا تكون طويلة عادة (شكل ٥-٦) .

١- الألياف Fibers : خلايا طويلة نحيفة Slender ذات نهايات مستدقة غير متفرعة تتصف جدرانها بخاصية Elasticity والتي تجعل الخلايا قادرة على استرجاع شكلها وطولها الأصليين بعد مطها أو شدها مما يجعلها عناصر ميكانيكية ملائمة للأعضاء المسنة . وتتداخل النهايات المستدقة لخلايا الألياف مع بعضها بأحكام فتكسب الأجزاء التي توجد فيها قوة ومتانة . وتبدو الألياف في المقطع المستعرض على شكل مضلع خماسي أو سداسي في الغالب غير أن شكلها يميل للاستدارة عندما تكون جدرانها سميكة جداً . والألياف ذات تجويف ضيق (شكل ٥-٦ و،ح) أما النقر فهي قليلة نسبياً ، وتصبح عديمة الوظيفة بعد اكتمال نضج الألياف وموتها ، كما أنها تكون من نوع النقر البسيطة عادة ، كثيراً ما تكون مختزلة . وفي أنواع خاصة من ألياف الخشب والتي يطلق عليها الألياف القصيبية Fiber tracheids توجد في الجدران نقر مضفوفة ذات صفوف ضعيفة . أما في الألياف العادية للحاء libriform fibers فتكون النقر بسيطة لكنها كثيراً ما تكون فتحتها المواجهة لتجويف الخلية منضغطة مكونة تركيباً شبيها بالشق Slit-like aperture وتكون النقر في الألياف سميكة الجدران على شكل قناة تخترق الجدار يطلق عليها قناة النقرة Pit canal وتتميز فيها فتحتان ، أحدهما داخلية Inner aperture تواجه تجويف الخلية ، والأخرى خارجية Outer aperture تحاذي الصفيحة الوسطى .

وتوجد الألياف أما على شكل طبقة مستمرة أو على شكل حزم أو أشرطة منفصلة مرتبة بشكل خاص بحيث توفر لعضو النبات أقصى دعامة ممكنة كما أنها قد تكون على شكل خلايا منفردة أو مجموعات صغيرة من الخلايا مبعثرة هنا وهناك . وتحصل عملية التغلظ في جدران الألياف بطرق مختلفة . ففي الألياف غير الممعنة في الطول كألياف قنب مانيلا *Manila hemp* وألياف جنس *Agave* التي لا يتعدى طولها بضعة مليمترات يحدث التغلظ في جميع أنحاء الجدار في آن واحد . أما في الألياف الطويلة كألياف نبات الكتان (flax) *Linum ustatissimum* والقنب (hemp) *Cannabis stativa* فيحصل التغلظ في الجدار في المناطق الوسطية أولا بينما تستمر النهايات بالنمو الانحشاري أو الاقتحامي Intrusive growth حيث تسلك نهايات خلايا الألياف طريقها ما بين الخلايا الأخرى . وقد يتم ذلك عن طريق شطر شقي الجدار للخلايا المفصولة بطريقة لا تزال مجهولة .

وتصنف الألياف تبعاً لموقعها بطرق مختلفة . ومن الطرق المعروفة في تصنيف الألياف تقسيمها إلى ألياف خشب Xylem or wood fibers وتقع ضمن نسيج الخشب ، وألياف خارج الخشب bast or Extraxylary fibers وتشمل ألياف اللحاء Phloem fibers وألياف الدائرة المحيطة Hericyclic fibers وألياف القشرة . ويشمل النوعان الأخيران من الألياف تلك التي تقع خارج اللحاء الابتدائي – في سيقان ذوات الفلقتين – والتي تنشأ من المرستيم الأساسي . وكذلك الألياف الواقعة تحت البشرة Hypodehmal fibers في سيقان بعض نباتات ذوات الفلقة الواحدة ، كالذرة (maize) *Zea mays* .

وتمثل الألياف الموجودة على هيئة أشرطة أو حزم – وبخاصة تلك التي تقترن باللحاء – المصدر الرئيسي للألياف التجارية Commercial fibers وتعزل هذه الألياف عما يجاورها من أنسجة في الصناعة بطريقة

تعرف بعملية التعطين Retting نظراً لتعريضها لتأثير البكتريا . وبالنظر للأهمية الاقتصادية لألياف اللحاء Bast fibers فسوف نعالج هذا الموضوع بشيء من التفصيل . ففي نبات الكتان يوجد مقابل كل حزمة وعائية خارج اللحاء مباشرة حزمة من الألياف (شكل ٥-٦ ح) وتكون ذات منشأ مشترك مع اللحاء الذي تقترن به (وهو الكمبيوم الأولي) غير أن هذه الألياف لا تتميز وتتضح إلا بعد فترة من الزمن عندما يتوقف اللحاء عن أداء وظيفته . وعلى هذا الأساس تمثل هذه الألياف جزءاً من اللحاء الابتدائي ويكون سمكها من عدة طبقات . أما في نبات البيلسان (elder) *Sambucus* والزيزفون (basswood) *Tilia* والعنب (Grape vine) *Vitis* وكثير غيرها فإن الألياف لا تقتصر على ألياف اللحاء الابتدائي بل تتعدى ذلك لتشمل الألياف الواقعة في منطقة اللحاء الثانوي Secondary phloem fibers وقد توجد الألياف في اللحاء الثانوي لبعض نباتات عاريات البذور كما في بعض النباتات التي تنتمي إلى رتبة الصنوبريات Coniferales .

الألياف الاقتصادية Economic Fibers :

تمثل ألياف اللحاء Phloem fibers or bast fibers لذوات الفلقتين المصدر الرئيسي للألياف المستعملة في الصناعة مثل ألياف الكتان (Flax) والقنب (Hemp) والجوت (Tate) . إلا أن هنالك الكثير من أنواع (الألياف) التي يطلق عليها في الصناعة والتجارة أليافاً لكنها لا تمثل أليافاً حقيقية بالمعنى النباتي الدقيق ومن الأمثلة على ذلك ألياف القطن Cotton fibers التي هي في حقيقة الأمر عبارة عن شعيرات بشرة بذرة القطن ، والأشرطة الكولنكيمية في الكرفس *Apium graveolens* (celery) والحزم الوعائية بما يحيطها من أغمدة ليفية سميكة كما في أوراق ذوات الفلقة الواحدة وغيرها .

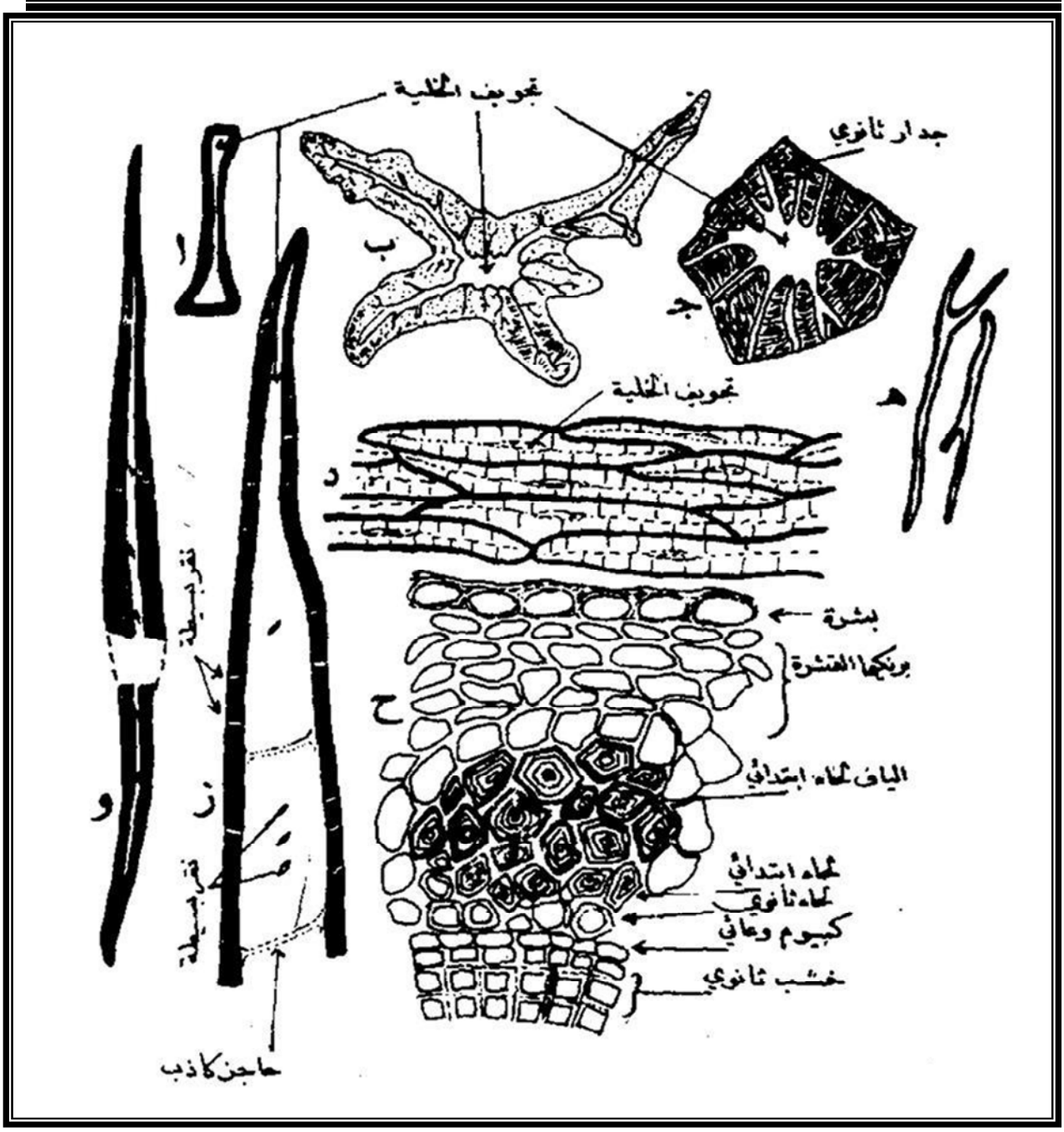
ومن المواصفات الجيدة في الألياف الصناعية زيادة طول الليفة وامتلاكها لقوة شد عالية High tensile strength وانتظام سمكها ونحافتها ومرونتها Plestieity وما إلى ذلك .

وتصنف الألياف في الصناعة بطرق مختلفة إلا أنها تصنف على أساس الأصل والتركيب إلى ثلاثة أنواع هي الألياف السطحية Surface fibers وتسمى أيضا بالألياف القصيرة Short fibers ، والألياف الناعمة Soft fibers والألياف الصلبة Hard fibers .

والألياف السطحية هي تلك التي توجد على أسطح السيقان والأوراق والبذور وأهمها جميعاً ألياف بذرة القطن وتعتبر من أهم المصادر للألياف المستعملة في الصناعة ومن أقدمها استعمالاً من قبل الإنسان حيث يرجع استعمال القطن في صنع الأقمشة إلى ما بين ١٨٠٠ – ١٥٠٠ سنة قبل الميلاد حيث أستعمله المصريون والهنود . كما أنه نقل إلى أوربا عن طريق الفتح العربي الإسلامي . ومما تجدر الإشارة إليه أن كلمة Cotton الانكليزية هي مشتقة من الكلمة العربية " قطن " . وألياف القطن هي عبارة عن شعيرات بشرية Epidermal hairs لبذور عدة أنواع من جنس نبات القطن *Gossypium* وتسمى عملية فصل الشعيرات عن البذور في الصناعة بعملية الحليج Ginning . ومن أهم الأنواع التجارية المعروفة هي *G. hairsutum* , *G. barbadense* , *G. herbaceum* , *G. arboreum* . وقد ازدهرت زراعة القطن في العراق في الأعوام الأخيرة وازدهرت بالتالي صناعة الأنسجة القطنية .

أما الألياف الناعمة Soft fibers فتشمل ألياف اللحاء وألياف البريسيكل وألياف القشرة في سيقان ذوات الفلقتين وتمثل أهم الألياف المستعملة صناعياً في صنع الأنسجة والخيوط الناعمة ومن أهم النباتات التي تعتبر مصدراً لهذه الألياف هي نباتات الكتان *Linum usitatissium* (flax) والقنب *Cannabis sativa* (hemp) والجوت *C. olitorius* , *Corchours capsulairs* (jute) والرامي *Boehmeria nivea* (ramie) أما الألياف الصلبة Hard fibers فهي ألياف غير نقية مختلطة مع أنسجة أخرى تتكون أساساً مما كان يسمى قبلا بالحزم الوعائية الليفية Fibrovascular bundies والتي توجد في سيقان وأوراق بعض نباتات ذوات الفلقة الواحدة وبخاصة العديد من النباتات الأستوائية tropical monocots وتستعمل هذه الألياف في صناعة الأقمشة الخشنة coarse textiles والحبال Cordage ومن أمثلتها قنب مانيلا *Musa textilis* (Manila hemp) والأكاف أو السيسال sisal *Agave sisalana* وتعرف أليافها باسم ألياف سيسال sisal fibers .

ويختلف طول الألياف باختلاف مصدرها فبالنسبة للألياف الناعمة يتراوح طول ألياف الجوت ما بين ٠.٨ إلى ٦ ملليمترات ، والقنب ما بين ٥ – ٥٥ مليمتر والكتان ما بين ٩–٧٠ مليمتر ، والرامي ما بين ٥٠–٢٥٠ مليمتر . أما بالنسبة للألياف الصلبة فيتراوح طولها في السيسال ما بين ٠.٨ – ٨ مليمترات وفي قنب وتر القوس Bow string hemp بين ١–٧ مليمترات . أما بالنسبة للألياف السطحية فيتراوح طول ليفة القطن باختلاف الصنف وقد تصل إلى ٤٥ مليمتر في بعض الأصناف طويلة التيلة .



شكل (٥-٦) : أ إلى د أنواع السكلريدات

أ- العظمية في ورقة نبات المطاط .

ب- النجمية في سويق نبات كاميليا (*Camillia*) .

ج- الصخرية في ثمار العرموط .

د- الكبيرة من بشرة بصلة الثوم .

هـ- الخيطية في ورقة الزيتون .

و- نهايتي ليفة مستدقة من خشب البلوط

ز- جزء من ليفة محجزة من خشب نبات العنب .

ح- ألياف لحاء من مقطع مستعرض لساق نبات الكتان .

٢- السكلريدات Sclereids :

تمثل السكلريدات النوع الثاني من الخلايا السكلرنكيمية وتضم أنواعاً مختلفة من الخلايا التي تتباين أشكالها بين متساوية الأبعاد Isodiametric إلى الأشكال التي تميل للاستطالة أو تظهر على شكل خيوط رفيعة ومتفرعة . وتتميز السكلريدات بوجود جدار ثانوي سميك ملكنن به نقر بسيطة عادة . وقد توجد في مختلف الأعضاء النباتية كالسيقان والأوراق والبذور والثمار . وهي أما أن توجد على هيئة خلايا منعزلة Gdioblasts أو أن تكون على شكل مجموعات منفصلة أو طبقات متصلة . كما أنها قد تكون مقترنة بالنسيج الوعائي أو أن تكون ضمن النظام النسيجي الأساسي أو كجزء من النظام النسيجي الضام حيث تدخل السكلريدات في تركيب البشرة في كثير من البذور ، كما أنها قد تتعدى ذلك لتشمل طبقة أو طبقات تحت بشرية .

ويتميز النمو في أنواع الخلايا السكلريدية التي تميل للاستطالة أو التي تظهر تفرعاً ملحوظاً بحصول ما يسمى بالنمو الاقتحامي أو الانحشاري gntrusive growth حيث تنمو النهايات أو الأفرع قمياً سالكة طريقها بين الخلايا المجاورة أو المسافات البينية .

ويمكن تقسيم الخلايا السكلريدية تبعاً لأشكالها إلى الأنواع الرئيسية التالية :

١- الخلايا القزمية أو الحجرية Brachysclereids or stone cells :

وهي شبيهة إلى حد كبير بالخلايا البرنكيمية غير أنها تختلف عنها بجدرانها الثانوية السميكة الملكننة (شكل ٥-٦ حـ) ويتميز هذا النوع من السكلريدات بكونها تميل إلى الشكل متساوي الأبعاد Isodiametric وبوجود النقر المتشعبة Branching or Ramiform pits حيث تبدو فيها النقر على هيئة قنوات متشعبة Branched canals . وغالباً ما يكون شكل السكلريدات من هذا النوع مشابهاً للخلايا البرنكيمية المجاورة مما يؤيد نشوئها عن طريق تصلب Sclerification جدران الخلايا البرنكيمية وتكون جدرانه ثانوية ملكننة .

ومن الأمثلة على النباتات التي يوجد بها هذا النوع من السكلريدات نبات الشمع (wax plant) *Hoya* حيث توجد في قشرة الساق . وكذلك في ثمار نبات الكمثرى (pear) *Pyrus communis* حيث توجد الخلايا الحجرية بشكل مجموعات تتخلل الخلايا البرنكيمية المكونة للجزء الطري للثمرة fruit flesh ، وكذلك في ثمار الحيوة *Cydonia* (guince) حيث توجد الخلايا الحجرية بصورة مفردة أو في مجموعات .

٢- السكلريدات العصوية (أو الكبيرة) Macrosclereids :

وتتميز بشكلها الأسطواني الشبيه بالخلايا العمادية (شكل ٥-٦ د) كما في الخلايا التي تشكل غلاف البذرة في بذور بعض النباتات كالفاصوليا (kidney bean) *Phaseolus vulgaris* والبزاليا (pea) *Pisum sativum* وفول الصويا (soy bean) *Glycine max* .

٣- السكلريدات العظمية Osteosclereids or bone-shaped sclereids :

وهي تشبه السكلريدات العصوية غير أنها تتميز عنها بأتساع نهايتها مما يكسبها شكلاً شبيهاً بالعظام (شكل ٥-٦ أ) . ومن الأمثلة عليها تلك التي توجد في الطبقة الواقعة تحت البشرة في بذور نباتات

الفاصوليا والبزاليا وفول الصويا حيث تكون البشرة فيها مكونة من سكلريدات عصوية تليها مباشرة خلايا سكلريدية عظمية . وتوجد السكلريدات العظمية أيضاً في النسيج المتوسط لأوراق هاكيا Hakea وكذلك في ثمار نخيل التمر حيث تشكل هذه السكلريدات بضع طبقات في منطقة الميزوكارب الخارجية تفصلها عن خلايا البشرة بضع طبقات من الخلايا البرنكيمية .

٤- السكلريدات الخيطية Trichosclereids of filiform sclereids :

وهي خلايا نحيفة وقد تكون متفرعة فتبدو على شكل حرف Y أو حرف L كتلك التي تلاحظ في النسيج المتوسط لأوراق نبات الزيتون (Olive) *Olea europeae* (شكل ٥ – ٦ هـ) وعندما تكون هذه الخلايا غير متفرعة تبدو شبيهة بالألياف إلا أنها لا تكون مستدقة الأطراف كالألياف الحقيقية .

٥- السكلريدات النجمية Astrosclereids or star-shaped sclereids :

ويتميز هذا النوع بخلايا كثيرة التشعب (شكل ٥ – ٦ ب) وتوجد بشكل مثالي في أعناق وأنصال أوراق نبات زنبق الماء *Nympheae* (water lily) وفي قشرة ساق نبات تروكودندرون *Trochodendron* وأوراق نبات الشاي وأوراق بعض المخروطيات مثل سودوتسوكا *Pseudotsuga taxifoita* .

خامساً- الخشب Xylem :

نسيج معقد وظيفته الرئيسية نقل الماء والأملاح المعدنية الممتصة من التربة خلال الجذر فالساق فالأوراق حيث يتم صنع الغذاء . ويقترن نسيج الخشب عادة مع نسيج اللحاء Phloem – المعني بنقل الغذاء – فيكون النسيجان معاً ما يسمى النسيج الوعائي Vascular tissue أو النظام النسيجي الوعائي Vascular tissue system الذي يشكل شبكة متأصلة تمر عبر الأعضاء النباتية المختلفة وتفرعاتها . وتقسم النباتات على أساس وجود النسيج الوعائي أو عدمه إلى نباتات وعائية (Tracheophyta) Vascular plants ونباتات غير وعائية (Atracheophyte) Non-vacular Plants . ويقوم نسيج الخشب إلى جانب وظيفة النقل بوظيفة ميكانيكية حيث يكسب الأعضاء دعامة وقوة نظراً لوجود عناصر ميكانيكية صرفة ضمن هذا النسيج (كالألياف) وللطبيعة القاسية لجدران العناصر الناقلة فيه (القصيبات والأوعية) .أن الطبيعة الشكلية البارزة لنسيج الخشب ، وكونه يحتفظ بكيانه التركيبي لفترة طويلة من الزمن ، وبقاءه على الجسم النباتي بصورة مستمرة يجعل هذا النسيج مهماً ليس فقط بالنسبة لتشخيص الأعضاء أو المجاميع النباتية الحاضرة . بل يتعدى ذلك ليشمل النباتات المنقرضة Extinet plants حيث يحتفظ هذا النسيج بكيانه في متحجرات الكثير من تلك النباتات مما ساعد على ألقاء الضوء على العديد من المشكلات المتعلقة بالعلاقات التطورية للنباتات Phylogenic relationship ، والتناظر التركيبي Homology لبعض الأعضاء النباتية ، وما إلى ذلك .يتركب نسيج الخشب في معظم مغطاة البذور Angiosperms من قصيبات Tracheids وأوعية Vessels وألياف Fibers وخلايا برنكيمية Parenchyma cells . وقد توجد في هذا النسيج إضافة لذلك بعض الخلايا الإفرازية أو السكلريدات Sclereids أو غيرها .

١- القصيبات Tracheids :

تمثل كل قصيبة خلية مستقلة ذات جدار ثانوي خال من الثقوب لكنه حاوٍ على نقر Pits . والقصيبات خلايا مستطيلة تموت عند النضج وضيفتها الرئيسية مرتبطة بنقل الماء والأملاح المعدنية الذائبة فيه كما أنها تقوم بوظيفة التدعيم . وتتميز نهايتا القصيبة بكونهما مدببتين نوعاً ما ، لكنهما ليستا مستدقتين بصورة كبيرة ومنتظمة ، بل يقتصر ذلك على اتجاه واحد أو مستو واحد . وتكون الجدران النهائية للقصيبات مائلة عادة وحاوية على نقر . وتبدو القصيبات مضلعة في المقطع المستعرض ، غير أنها قد تميل أحياناً إلى الاستدارة . وتختلف طريقة توزيع النقر – وهي من النوع المضفوف غالباً – باختلاف جدران القصيبة ، حيث تكون وفيرة عادة في الجدران النهائية Radial Walls بينما تقل نسبياً أو تنعدم في الجدران المماسية Tangential walls وينم انتقال الماء والمواد المذابة فيه من قصيبة لأخرى عن طريق النقر الموجودة في الجدران الفاصلة بينها . وعندما تكون النقر مضفوفة وحاوية على تخت Torus فإن مرور الماء يتم عن طريق الجزء الرقيق من غشاء النقرة الذي يقع خارج التخت وفي حالة النقر المرتشقة Aspirated pits يندفع التخت جانبياً مما يؤدي إلى غلق فتحة النقرة المضفوفة ، وبذلك تفقد الأخيرة وظيفتها في نقل المواد وفي بعض النباتات يكون غشاء النقرة المضفوفة مثقباً كما في بعض الصنوبريات مثل لاركس *Larix* وسيكويا *Sequoia* .

وتتغلظ جدران القصيبات بصورة مختلفة كالتغلظ الحلقي Annular والحلزوني (Spiral (helical ، والشبكي Reticular والسلمي Scalariform ، هذا إضافة إلى النوع النقري Pitted الذي ينشأ عن وجود النقر المضفوفة أو البسيطة (شكل ٥ – ٧) .ومما تجدر الإشارة إليه أنه في خشب عاريات البذور Gymnosperms تمثل القصيبات العناصر الناقلة الوحيدة في الخشب عادة ، وكذا الحال بالنسبة للنباتات الوعائية الواطئة Lower vascular plants .

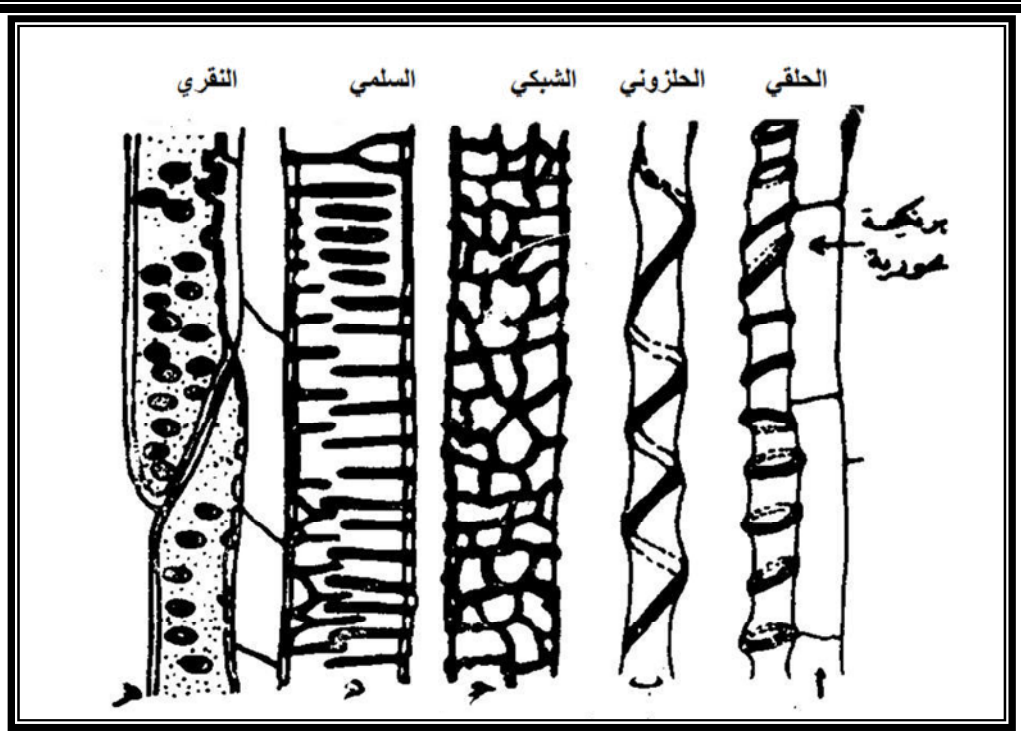
٢– أوعية الخشب Vessels :

يمثل الوعاء تركيباً أنبوبياً متعدد الخلايا ، ينشأ من سلسلة من الخلايا تتصل مع بعضها البعض عند نهاياتها ، ويطلق على كل خلية منها وحدة الوعاء Vessel element or Vessel member وضمن الوعاء الواحد تكون الجدران النهائية (المستعرضة) لوحدات الأوعية مثقبة Perforated أو ذائبة بصورة كلية ، وتتعين نهاية الوعاء بالجدار النهائي الخالي من الثقوب والحاوي على نقر فقط . وكالحال في القصيبات فإن وحدات الوعاء تموت عند النضج وتكون حاوية على العصارة Sap المؤلفة من الماء والأملاح المعدنية المذابة فيه . كما أن جدرانها الثانوية الملكننة قد تكون هي الأخرى منقرة Pitted أو حاوية على تغلظات مختلفة كالحلقي والحلزوني والشبكي والسلمي . وبالنظر لوجود الثقوب في الجدران النهائية لوحدات الأوعية فإن العصارة تمر خلالها بحرية ضمن الوعاء الواحد ، بينهما يقتصر مرور العصارة خلال الجدران الفاصلة بين وعاء وأخر على النقر الموجودة في تلك الجدران .يطلق على الجدران النهائية – أو المستعرضة – الحاوية على ثقوب مصطلح الصفائح المثقبة perforation plates . وتوصف هذه الصفائح بأنها بسيطة Simple perforation plate (شكل هـ–٧ و ، ز) عندما تكون حاوية على ثقب واحد ، ومركبة Compound

perforation plate عندما يوجد بها أكثر من ثقب واحد . وتبعا لأشكال الثقوب وطريقة ترتيبها في الصفائح المثقبة المركبة فإنها تصنف إلى سلمية Scalariform (شكل ٥-٧ أ ، ب ، جـ) أو شبكية Reticulate (شكل ٥ – ٧ د) كما أنها قد تكون شبه علندية Foraminate or Ephedronal في حالات نادرة كما في نبات العلندة *Ephedra* (شكل ٥-٧ هـ) (وهو من عاريات البذور الحاوية على أوعية في نسيج الخشب) . وتتكون الثقوب خلال فترة نشوء أوعية الخشب بفعل أنزيمات يفرزها البروتوبلاست مما يعمل على إذابة الجدار الابتدائي والصفيحة الوسطى في المواقع من الجدار التي لم يضف عليها جدار ثانوي . وبذلك فإنه تبعاً لطريقة توزيع المناطق الذائبة يتعين نوع الصفيحة المثقبة . ومن ثم يموت البروتوبلاست وتنحل مكوناته .

ومما تجدر الإشارة إليه آن الوحدات الوعائية القصيرة الواسعة تمثل حالة أكثر رقياً من الناحية التطورية من الوحدات الطويلة الضيقة ، كما أن الصفائح المثقبة البسيطة تمثل حالة أكثر رقياً من الصفائح المثقبة المركبة ، ويمثل النوع البسيط أكثر الأنواع شيوعاً ، يليه النوع السلمي فالشبكي فالدائري . وغالباً ما يقترن الثقب البسيط بالصفائح الناشئة من جدران مستعرضة عمودية على المحور الطولي للوعاء ، بينما تتواجد الصفائح المركبة في الجدران النهائية المائلة .

وبالنظر للتشابه الوظيفي للقصيبات والأوعية فإنه يطلق على التركيبين مما مصطلح العناصر القصبية (أو العناصر الناقلة للخشب) Tracheary elements . ويعتبر وجود الأوعية في الخشب صفة مميزة للنباتات مغطاة البذور ، أما في الغالبية العظمى من عاريات البذور والنباتات الوعائية الواطئة فإن العناصر الناقلة في الخشب فيها مقتصرة على القصيبات عادة ، ولا وجود للأوعية في خشبها . يشذ عن ذلك بعض المجاميع الراقية جداً من عاريات البذور – كما في رتبة النيتلات Gnetales حيث توجد في خشبها الأوعية ، وفي حالات نادرة جداً في النباتات الوعائية الواطئة كما في نبات تريديوم Pteridium وهو من النباتات السرخسية التي يحتوي الخشب فيها على أوعية .



شكل (٥-٧): أنواع التغلظ الثانوي في جدران العناصر الناقلة في الخشب

ومما تجدر الإشارة إليه أن الأوعية تعتبر أكثر رقياً من الناحية التطورية من القصيبات ، كما أن التسلسل في تسمك جدران العناصر الناقلة في الخشب من الحلقي فالحلزوني فالسلمي فالشبكي ثم المنقر يمثل هو الأخر تسلسلا تطورياً يمثل التغلظ النقري أرقى أنواعه . ومما تجدر أضافته أيضاً إمكان وجود أكثر من نوع واحد من أنواع التسمك في الجدران في نفس العنصر الناقل الواحد . ويسمى مثل هذا النوع ، النوع المختلط Uasa mixia .

٣- ألياف الخشب Xylem fibers

وهي ألياف مقترنة بنسيج الخشب وظيفتها ميكانيكية ، جدرانها ملكننة وأكثر سمكاً من جدران القصيبات . وهناك ثلاثة أنواع رئيسية من الألياف التي قد تتواجد في نسيج الخشب هي الألياف العادية Common fibers والألياف القصب Fiber-tracheids والألياف الجيلاتينية Gelatinous fibers وقد يوجد أكثر من نوع واحد من هذه الألياف في نفس الخشب . كما توجد ألياف عالية التخصص hibriform fibers .

تتميز القصيبات الليفية بكونها أقل طولاً وأرق جدراناً مقارنة بالألياف العادية لنفس الخشب ، كما أنها ذات نقر مضفوفة من نوع خاص ، حيث أن الإضافات الثانوية للجدار تستمر فوق ضفاف النقرة ، فتكون بذلك قناة ذات فتحتين . وتكون الفتحة الموجودة عند ضفاف النقرة دائرية الشكل وصغيرة نسبياً ويطلق عليها الفتحة الخارجية Outer aperture ، أما الفتحة الداخلية Inner aperture فتقع عند التقاء القناة بتجويف الخلية . وتتخذ الأخيرة شكلاً قمعياً مسطحاً flattend funnel لذا فهي تبدو في المظهر السطحي على هيئة شق متقاطع . وتتميز القصيبات الليفية عن القصيبات الاعتيادية بكون الأولى أكثر طولاً وأسمك جدراناً ، كما أن ردهات النقر المضفوفة Pit chambers فيها تكون مختزلة نسبياً مقارنة مع نظيراتها في

القصيبات . وفي بعض القصيبات الليفية قد يبقى البروتوبلاست حياً لفترة من الزمن بعد نضج الجدار الثانوي قد تصل لعدة سنوات كما في العنب Vitis . وقد تنقسم الخلية الأم للقصيبات الليفية أو الألياف العادية (المستدقة) بجدران مستعرضة فتتكون سلسلة من الخلايا ضمن جدار الخلية الأم . وتكون كل خلية حاوية على نواة وسايتوبلازم ومفصولة عن التي تليها بجدار مستعرض رقيق يمثل جداراً ابتدائياً خالياً من التغلظات الثانوية ، وخالياً من اللكنين . ويطلق على هذا النوع من الألياف مصطلح الألياف المقسمة (أو المحجزة) Septate fibers . وتوجد القصيبات الليفية في كثير من النباتات خاصة ذوات الفلقتين ، وهي مألوفة في الكروم – كالعنب – وفي كثير من الأشجار الاستوائية . وبالنظر للطبيعة الحية للألياف المقسمة فإنها تقوم بوظيفة الخزن إضافة إلى وظيفتها الأصلية وهي التدعيم .

أما الألياف الجيلاتينية gelatinous fibers فتتميز بجدرانها الثانوية التي ينعدم فيها اللكنين أو الحاوية على كميات قليلة من هذه المادة ، بينما تزداد في جدرانها نسبة السليلوز . وسميت هذه الألياف بهذا الاسم لكونها ذات مظهر جيلاتيني . وهي موجودة في الخشب الفعال لبعض نباتات ذوات الفلقتين .

أما الألياف عالية التخصص للخشب librilform fibres فتكون هي الأخرى حاوية على نقر تتميز بها قناة ، وتكون الفتحة المواجهة للتجويف ذات شكل قمعي مفلطح ، إلا أنم النقر هنا بسيطة خالية من الردهة Chamber وهي تبدو في المظهر السطحي شقية slit-like أو متقاطعة .

٤– برنكيما الخشب Xylem parenchyma

خلايا برنكيمية مقترنة بنسيج الخشب ، وظيفتها الرئيسية هي الخزن ، ويقوم بعضها أيضاً بالنقل لمسافات قصيرة خاصة بالاتجاه الشعاعي . وتختلف طبيعة المواد المخزونة في الخلايا البرنكيمية للخشب ، كما أنها تختلف أحياناً في طبيعة الجدار . فبالإضافة إلى الماء قد تختزن الخلايا النشاء أو الزيوت أو غير ذلك من المواد الأيضية ، كما أن المواد الدباغية tanniferous compounds والبلورات تعتبر من المحتويات المألوفة في برنكيما الخشب . وقد تتغلظ جدران الخلايا البرنكيمية بجدران ثانوية ملكننة خاصة في الخشب الثانوي ، وعندها تكون الجدران حاوية على نقر بسيطة أو مضفوفة أو شبه مضفوفة . وقد تنقسم الخلية بحواجز مستعرضة أو طولية إلى ردهات تحوي كل منها بداخلها بلورة واحدة عادة . ويكون وجود الخلايا البرنكيمية بنسبة أوفر في الخشب الابتدائي منها في الخشب الثانوي ، كما أنها تكون في الأخير متواجدة بمجموعات منسقة في نظامين مميزين هما النظام المحوري (أو العمودي) Axial or vertical system والنظام الشعاعي (أو الأفقي) radial or horizontal system كما سيرد ذكره فيما بعد عند بحث الخشب الثانوي .

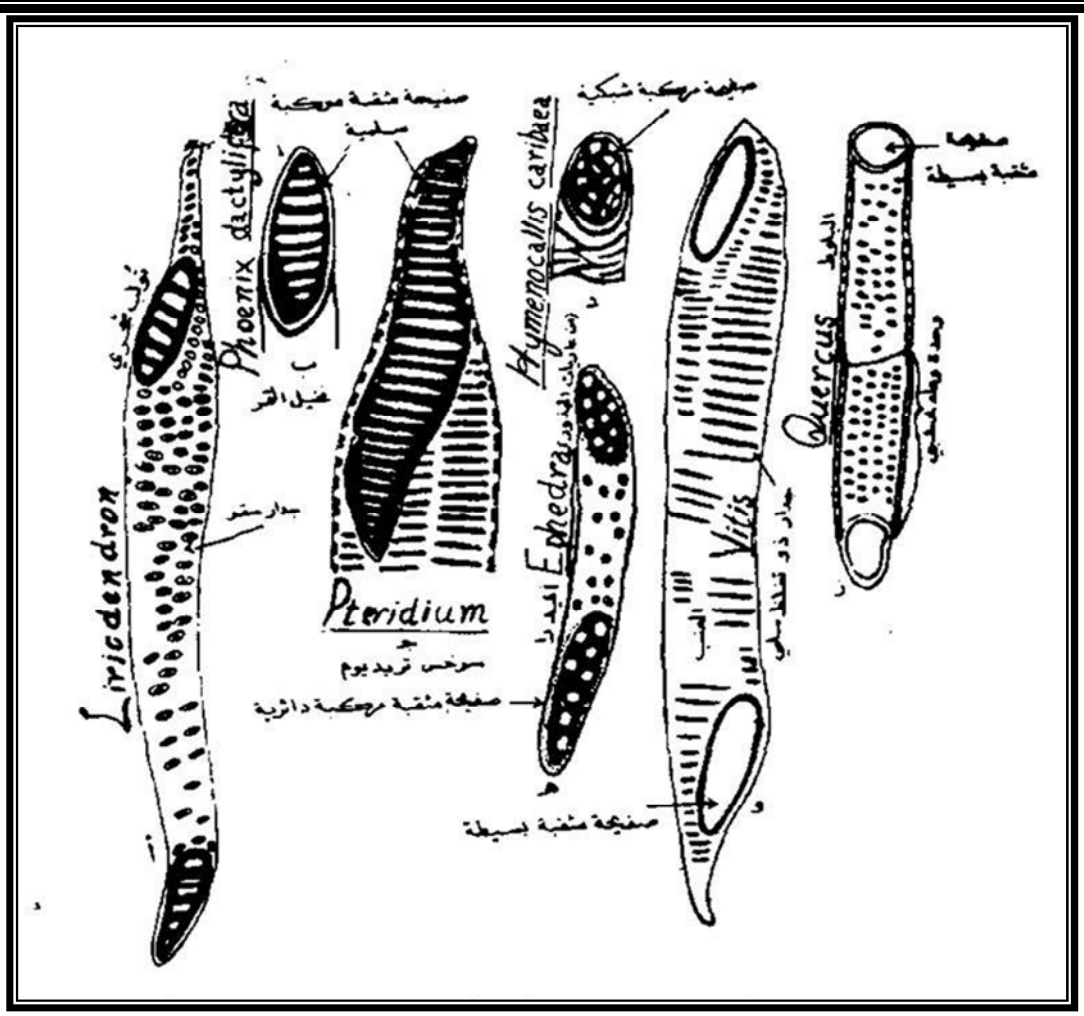
الخشب الابتدائي والثانوي Primary and Secondary xylem

يتميز الخشب تبعاً لنشوئه إلى نوعين رئيسيين هما الخشب الابتدائي والخشب الثانوي . ويتميز الخشب الابتدائي بنشوئه من الكمبيوم الأولي Procambium وذلك خلال فترة النمو الابتدائي للأعضاء النباتية بينما ينشأ الخشب الثانوي خلال فترة النمو الثانوي حيث تنشأ عناصره المختلفة من الكمبيوم الوعائي Vascular cambium . يتألف الخشب الابتدائي في سائر مغطاة البذور من نفس العناصر العامة للخشب

وهي الأوعية Vessels والقصيبات Tracheids والبرنكيميا Parenchyma والألياف Fibers ، غير أن الألياف قد تكون معدومة . وتكون العناصر المختلفة للخشب بما في ذلك البرنكيما غير منسقة في كثير من الأحيان ، خلافاً لما هي عليه الحال في الخشب الثانوي ، الذي تكون مكوناته أكثر تنسيقاً . وغالباً ما لا تنتظم الخلايا البرنكيمية في الخشب الابتدائي من الخشب الابتدائي على هيئة أشعة منتظمة ، وفي حالة وجودها بمثل هذه الصورة في هذا الجزء من الخشب يطلق عليها مصطلح الأشعة الكاذبة False rays تمييزاً لها عن الأشعة الحقيقية التي يتميز بها الخشب الثانوي . ويتميز الخشب الابتدائي إلى خشب أول Protoxylem يتم تكوينه في الفترة التي يكون فيها العضو النباتي لا يزال في حالة تمدد أو نمو طولي ، وخشب تال Metaxylem يتم تمييزه من الكمبيوم الأولي في وقت متأخر ، ولا يتم نضج عناصره بصورة كاملة إلا بعد اكتمال استطالة العضو النباتي . ويترتب على ذلك أن بعض عناصر الخشب الأول – وخاصة الملكننة منها – تفشل في مواكبة التمدد الحاصل في الأنسجة المجاورة مما يؤدي في كثير من الأحيان إلى تمزقها . وتحصل هذه الظاهرة بصورة خاصة في السيقان الفتية ، أما في الجذور فلا يتمزق الخشب الأول في الغالب لكونه لا ينضج بصورة كاملة إلا بعد انتهاء مرحلة التمدد السريع في الجذر . أما الخشب التالي فيبقى عادة محتفظا بكيانه التركيبي ومؤدياً لوظيفة النقل لفترة أطول في معظم الأعضاء النباتية . وفي النباتات التي لا تعاني تغلظاً ثانوياً ، يبقى الخشب التالي هو الجزء الوحيد الذي يؤدي وظيفة نقل الماء والأملاح المعدنية طيلة حياة النبات . ويخلو الخشب الأول عادة من الألياف بينما قد يحتوي الخشب التالي على بعض الألياف .

ومن المميزات التي يختلف فيها الخشب الأول عن التالي طبيعة التغلظ الحاصل في عناصره الناقلة Tracheary elements (شكل ٥-٧) حيث تسود في الأول العناصر ذات التغلظ الحلقي Annular والحلزوني Spiral التي لا تقاوم كثيراً قوة الشد الناتجة عن التمدد السريع للعضو النباتي ، بينما تظهر العناصر الناقلة في الخشب التالي تغلظات من النوع الحلزوني Spiral or helical والسلمي Scalariform والشبكي Reticulate والمنقر Pitted على التوالي وقد توجد هذه الأنواع المختلفة من العناصر الناقلة للخشب بأية نسبة ، كما قد يوجد نوع واحد منها أو أكثر .

ومما تجدر الإشارة إليه أن أكثر من نوع واحد من التغلظ يمكن أن يلاحظ في نفس الوعاء أو القصيبة . كما أن تسلسل ظهور العناصر الناقلة في الخشب من الحلقي ، فالحلزوني ، فالسلمي ، فالشبكي ، ثم المنقر الذي يلاحظ في الفترات المتعاقبة من نمو الأعضاء النباتية ، يمثل نفس التسلسل التطوري الذي عانته تلك العناصر خلال الأحقاب السالفة من نشوء النباتات الوعائية . وبعبارة أخرى التغلظ الحلقي يعتبر أبسط أنواع التغلظ وأكثرها بدائية ، بينما يمثل التغلظ المنقر أكثر رقياً من الناحية التطورية .



شكل (٥–٧): وحدات أوعية خشبية أو أجزاء منها توضح أنواع الصفائح المثقبة أ– هـ مركبة ، و – ز بسيطة

سادساً– نسيج اللحاء Phloem :

نسيج معقد وظيفته الرئيسة نقل المواد الغذائية في النباتات الوعائية بشكل ذائب . ويقترن نسيج اللحاء عادة مع نسيج الخشب في سائر الأعضاء النباتية فيكونان معاً – كما سبق – النسيج الوعائي Vascular tissue أو النظام النسيجي الوعائي vascular tissue system يتألف اللحاء في مغطاة البذور Angiosperms من أنابيب منخلية Sieve tubes وخلايا مرافقة Companion cells وخلايا برنكيمية Parenchyma cells وألياف Fibers ، أما في عاريات البذور Gymnosperms فيفتقر اللحاء للأنابيب المنخلية ، وتوجد بدلاً عنها خلايا منخلية Sieve cells تمثل كل منها خلية مفردة ، كما أن الخلايا المرافقة تكون معدومة ، بينما يقتصر لحاء النباتات الوعائية الواطئة على الخلايا المنخلية والخلايا البرنكيمية .

وكالحال في نسيج الخشب فإن نسيج اللحاء يصنف هو الآخر من حيث نشوئه إلى لحاء ابتدائي Primary phloem ينشأ من الكمبيوم الأولي ، ولحاء ثانوي Secondary phloem ينشأ من الكمبيوم الوعائي . وكما سيرد شرحه عند بحث التغلظ الثانوي . فإن اللحاء الثانوي يكون منسقاً في نظام محوري أو عمودي Axial or Vertical system ونظام أفقي أو شعاعي Horizontal or Radial system على نحو ما هو ملاحظ في الخشب الثانوي . تستمر الأشعة اللحائية Phloem rays خلال الأصول الشعاعية للكمبيوم

التي كونتها مع نظيرتها في الخشب مكونة سلسلة شعاعية من الخلايا يطلق عليها مجتمعة مصطلح الأشعة الوعائية Vascular rays ، التي تعتبر من الصفات المميزة للخشب واللحاء الثانويين .

وبالنظر للطبيعة غير المتصلبة للعناصر التي تدخل في تركيب اللحاء – فيما عدا الألياف والسكلريدات أن وجدت – ولكون هذا النسيج لا يستديم على النبات نظراً لتساقطه بين حين وأخر ، لذا فإن نسيج اللحاء يكون أقل وضوحاً من الناحية الشكلية مقارنة بالخشب ، كما أنه لا يركن عليه كثيراً في تقدير عمر النبات أو في دراسة المتحجرات النباتية ، خلافاً لما هي عليه الحال في نسيج الخشب الذي يحتفظ بخصائصه الشكلية ويستديم في النبات عبر السنين ، ويحتفظ بكيانه التركيبي في المتحجرات النباتية بدرجة تفوق كثيراً ما يلاحظ في نسيج اللحاء نظراً لكثرة العناصر المتصلبة فيه والمشبعة جدرانها بمادة اللكنين .

وكالحال في الخشب الابتدائي ، فإن اللحاء الابتدائي يصنف هو الأخر إلى لحاء أول Peotophloem تتميز عناصره – بعد نشأتها من الكمبيوم الأولي – في مرحلة مبكرة وذلك قبل اكتمال استطالة العضو النباتي . وعلى ذلك فإن عناصره كثيراً ما تتمزق وتفقد وظيفتها بعد فترة قصيرة ، ولحاء تال Metaphloem لا يحصل تميز عناصره – بعد نشوئها من الكمبيوم الأولي – إلا في مرحلة متأخرة ، وذلك بعد أكتمال تمدد العضو النباتي الذي يتكون فيه . ويبقى اللحاء التالي مؤديا وظيفته لفترة أطول نسبياً ، كما أنه يمثل في النباتات التي لا تعاني تغلظاً ثانوياً الجزء الوحيد من اللحاء الوظيفي طيلة حياة النبات . أما في النباتات المعمرة التي يحصل فيها تغلظ ثانوي ، فيحل محله اللحاء الثانوي Secondary phloem حال تكون الأخير بفعل نشاط الكمبيوم الوعائي . وفيما يلي شرح موجز لأهم العناصر الموجودة في لحاء مغطاة البذور (شكل ٥–٨) :

١– الأنابيب المنخلية Sieve tubes :

تتكون الأنبوبة المنخلية من سلسلة من الخلايا تنتظم في صف متصل على هيئة أنبوب . وتلتقي الخلايا المكونة للأنبوبة المنخلية مع بعضها عند نهاياتها ، ويطلق عليها وحدات الأنبوبة المنخلية Sieve-tube elements وتحاط وحدات الأنابيب المنخلية بجدار ابتدائي رقيق عادة مكون أساساً من مادة السليلوز Cellulose ، ويخلو من مادة اللكنين Lignin . وفي بداية تكوين وحدة الأنبوبة المنخلية تكون حاوية على نواة وسايتوبلازم ومحتويات أخرى كالبروتينات ، وقد تحتوي أيضاً على بلاستيدات . وعند النضج تنحل النواة بينما يبقى السايتوبلازم . وتتكون في السايتوبلازم أجسام صغيرة يطلق عليها الأجسام الهلامية Slime bodies التي لا تلبث أن تنتقل إلى العصير الخلوي عندما تمتزج محتويات السايتوبلازم والعصير الخلوي لوحدات الأنابيب المنخلية مع بعضها بعد زوال الغشاء الفجوي . وفي المستحضرات المستديمة Permanent trepanations المصبوغة لنسيج اللحاء تبدو المادة الهلامية متجمعة عند الصفائح المنخلية مكونة ما يسمى السداد المخاطي Sleine plug . وتتميز الأنابيب المنخلية بوجود صفائح منخلية Sieve plates في جدرانها النهائية (المستعرضة) للوحدات المكونة لها . وتكون الصفائح المنخلية بوضع أفقي

متعامد مع المحور الطولي للأنبوبة المنخلية ، أو قد تكون بوضع مائل شكل ٥-٨ أ،ب) . ويعتبر النوع المائل أقل رقياً من الناحية التطورية من النوع الأفقي . وتتميز الصفائح المنخلية بوجود ثقوب Pores فيها تخترقها خيوط بروتوبلازمية سميكة تشبه البلازمودزمات ، إلا أنها تتميز عن الأخيرة بزيادة سمك قطرها وبإحاطتها بمادة الكالوس Callose في المنطقة التي تخترق فيها هذه الخيوط للصفيحة المنخلية . ويطلق على هذه الخيوط البروتوبلازمية الأشرطة الرابطة Connecting strands لكونها تربط بين سايتوبلازم الوحدتين المتتاليتين في الأنبوبة المنخلية . أما الكالوس فهو تركيب يتألف من مادة كاربوهيدراتية متعددة السكريات يطلق عليها الكالوز Callose وتنتج المادة الأخيرة عند تحللها جزيئات من سكر العنب Glucose كما أنها تتميز باصطباغها باللون الأزرق عند معاملتها بأزرق الأنيلين Aniline blue أو أزرق الريئورسين Reorcin blue وبمرور الزمن يزداد سمك أسطوانة الكالوز المحيطة بالخيوط الرابطة على حساب هذه الخيوط نفسها مما يؤدي إلى أن تصبح الأخيرة أكثر نحافة بالتدريج حتى تتلاشى تماماً ، وعندما تفقد الأنبوبة المنخلية وظيفتها الناقلة شكل (٥-٨) . وعند موت وحدات الأنبوبة المنخلية تختفي مادة الكالوز تماماً ، وتصبح الصفائح المنخلية ذات ثقوب ظاهرة ، لكنها تصبح خالية من الخيوط الرابطة . وفي حالات نادرة قد تستطيع الأنابيب المنخلية أستعادة نشاطها عن طريق تحلل بعض من مادة الكالوس وإستعادة نشاط الخيوط الرابطة بعد تكوينها ثانية في فصل الربيع التالي (شكل ٥-٨ ب) .

أن الطبيعة الحية لوحدات الأنابيب المنخلية لوحدات الأنابيب المنخلية تسندها قابليتها على تكوين الكالوز ، وقدرتها على إذابته أحياناً ، وكذلك قدرتها على تكوين خيوط رابطة في بعض الأحيان ، مما يعزز الطبيعة الحية لها على الرغم من إنحلال النواة فيها عند النضج .

وتكون الصفائح المنخلية أما بسيطة simple sieve plates عندما تكون الثقوب منتشرة في الصفيحة دونما تتميز ، أو مركبة compound sieve plates عندما تتجمع الثقوب في مناطق منفصلة يطلق على كل منها مصطلح المساحة المنخلية sieve area ، أي أن الصفيحة المركبة تكون حاوية على أكثر من مساحة منخلية واحدة . وقد توجد المساحات المنخلية في الجدران الجانبية لوحدات الأنابيب المنخلية غير أنها في هذه الحالة تكون ذات ثقوب ضيقة جداً مقارنة مع نظيراتها في الصفائح المنخلية . وعند وجود المساحات المنخلية في الجدران الجانبية الفاصلة بين وحدات الأنابيب المنخلية وبين الخلايا البرنكيمية ، يقابلها عند ذلك حقول نقر ابتدائية Primary pit fields في الشق من الجدار العائد للخلية البرنكيمية . وتعتبر الصفيحة المنخلية البسيطة أكثر رقياً من الناحية التطورية من المركبة . أن نوع الصفائح المنخلية ليس واحداً ضمن أجناس العائلة الواحدة ، كما قد يختلف في الأنواع التي تنتمي إلى جنس واحد أحياناً . وعلى العموم فإن وجود الصفائح المنخلية البسيطة مألوف في العوائل النباتية المتقدمة تطورياً مثل عائلة البيلسان Caprifoliaceae بينما توجد الصفائح المنخلية المركبة في الأعشاب والكروم . غير أن ما تجدر إضافته أن جميع الأنواع من الصفائح يمكن أن تلاحظ في النباتات الخشبية والعشبية . أن وجود الأنابيب المنخلية يعتبر صفة مميزة للحاء نباتات مغطاة البذور . أما في عاريات البذور والنباتات الوعائية الواطئة فتوجد بدلاً من الأنابيب المنخلية خلايا منخلية sieve cells التي تمثل كل منها خلية مفردة . ولا تتحد الخلايا المنخلية

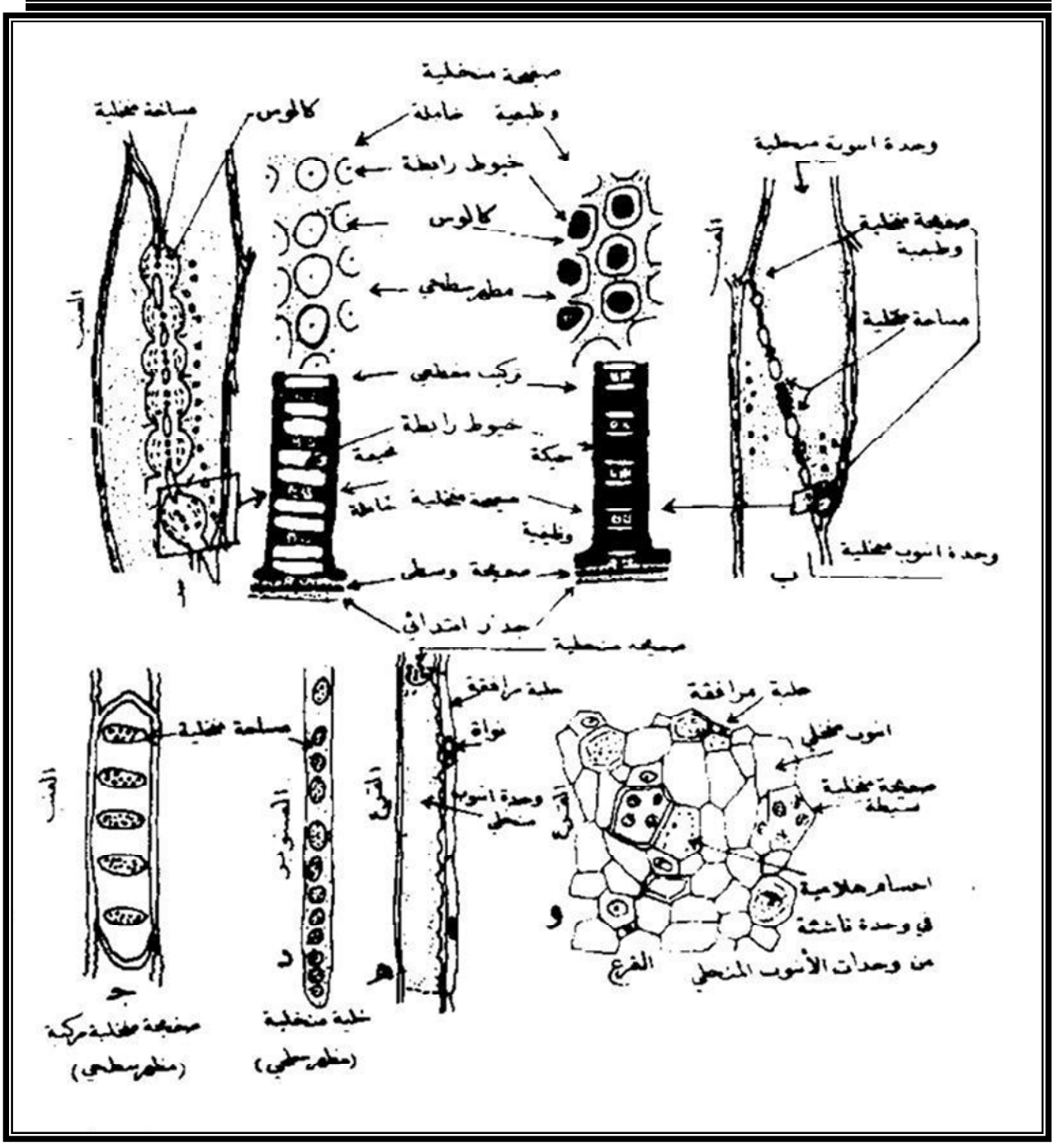
لتكون أنبوبة متعددة الخلايا ، بل تبقى كل منها مستقلة ، ويقتصر اتصالها مع بعضها على الأشرطة البلازمية الموجودة في المساحات المنخلية Sieve area والتي تشبه البلازمودزمات إلا أنها تمثل حالة أكثر تخصصاً من البلازمودزمات العادية (شكل ٥-٨ د) . وفي بعض نباتات عاريات البذور توجد جدران ثانوية في الخلايا المنخلية .

ومما تجدر الإشارة إليه أن مجموعة النيتيلات Gnetales من عاريات البذور تشذ عن باقي نباتات هذه المجموعة باحتواء لحائها على أنابيب منخلية . وتعتبر الأنابيب المنخلية تطورياً أكثر رقياً من الخلايا المنخلية . وبالنظر للتشابه الوظيفي الموجود بين وحدات الأنابيب المنخلية والخلايا المنخلية فإن مصطلح العناصر المنخلية Sieve elements يستعمل للدلالة على المجموعتين من العناصر الناقلة في اللحاء .

أن فقد النواة في الوحدات المنخلية يجعل عمرها الوظيفي قصيراً ينتهي غالباً في موسم واحد أو موسمين . غير أن الخلايا المنخلية في عاريات البذور قد تبقى فعالة لفترة أطول تصل أحياناً إلى عدة سنوات . وتتميز العناصر المنخلية لبعض السرخسيات وكذلك في بعض النباتات المعمرة من ذوات الفلقة الواحدة – كالنخيل – بطول عمرها الفسلجي وتمثل وحدات الأنابيب المنخلية القصيرة ذات القطر الواسع حالة كذلك أكثر تقدماً من الوحدات الطويلة الضيقة .

٢- الخلايا المرافقة Companion cells :

خلايا برنكيمية متخصصة ذات بروتوبلاست فعال يحتوي على سايتوبلازم كثيف ونواة وغير ذلك من المحتويات (شكل ٥-٨ هـ ، و) . وترتبط الخلايا المرافقة مع وحدات الأنبوبة المنخلية ارتباطاً وثيقاً في الموقع والمنشأ والوظيفة . إذ تقترن بكل وحدة من وحدات الأنبوبة المنخلية خلية مرافقة واحدة أو أكثر تمتد بمحاذاتها ، وتنشأ من نفس الخلايا المرستيمية التي نشأت منها وحدة الأنبوبة المنخلية تلك . أن الارتباط الوثيق بين الخلايا المرافقة – الحاوية على نواة – وبين وحدة الأنبوبة المنخلية – الخالية من النواة – التي تقترن بها ، يشير إلى وجود ارتباط وظيفي بينهما . ويعزز ذلك أن موت الخلايا المرافقة في اللحاء يؤدي إلى فقدان الأخير لوظيفته . والخلايا المرافقة ذات جدران ابتدائية رقيقة حاوية حقول نقر ابتدائية تقترن مع وحدات الأنبوبة المنخلية المقابلة لها بمناطق منخلية في شق الجدار المحيط بوحدة الأنبوبة المنخلية .



الشكل (٥–٨): بعض العناصر والتراكيب الموجودة في نسيج اللحاء ، (أ،ب،جـ)– من ساق العنب

أ– صفيحة منخلية مركبة من مقطع جانبي والى يمينها منطقة مكبرة (للأسفل) ومنظر سطحي (للأعلى) . لاحظ أختزال الخيوط الرابطة

ب– مقطع شبيه مما موجود في (أ) ولكن في وحدات فعالة

ج– مظهر سطحي للصفيحة الوسطى المركبة .

د– خلية منخلية .

هـ– رسم تخطيطي يوضح بعض عناصر لحاء القرع في المقطع الطولي .

و– في المقطع المستعرض .

وتنشأ الخلية المرافقة من نفس الخلية المرستيمية التي تنشأ منها وحدة الأنبوبة المنخلية المقترنة بها ، وذلك نتيجة لحصول انقسامات مماسية Tangential أو محيطية Periclinal في الخلية الأمية المكونة لهما . ويكون هذا الانقسام غير متكافئ حيث تكون إحدى الخليتين الناتجتين أكبر من الأخرى ، فتتميز الكبيرة

منهما إلى وحدة أنبوبة منخلية ، بينما تتحول الصغيرة إلى خلية مرافقة . وقد تعاني الخلية الصغيرة انقساماً مستعرضاً مرة أو أكثر فتتكون بذلك خليتان مرافقتان أو أكثر لكل وحدة من وحدات الأنابيب المنخلية .

أن وجود الخلايا المرافقة يعتبر من الصفات المميزة للحاء مغطاة البذور ، حيث أنها معدومة في عاريات البذور وفي النباتات الوعائية الواطئة أيضاً . وتوجد في لحاء بعض المخروطيات Coniferales – وهي من عاريات البذور – خلايا شبيهة بالخلايا المرافقة يطلق عليها الخلايا الزلالية (خلايا الألبومين) albuminous cells . وتختلف الخلايا الأخيرة عن الخلايا المرافقة في عدة وجوه . فبينما تنشأ أي وحدة من وحدات الأنبوبة المنخلية مع الخلية المرافقة لها من نفس الخلية المرستيمية – كما سبق – نلاحظ أن الخلايا المنخلية في عاريات البذور لها منشأ مختلف تماماً عن منشأ خلايا الألبومين . وإضافة لذلك فإن خلايا الألبومين تقع ضمن النظام الشعاعي Redial system للحاء ، بينما تقع الخلايا المرافقة ضمن النظام المحوري Axial system كما أن خلايا الألبومين تحتوي على نسبة عالية من الزلال .

٣- برنكيما اللحاء Phloem parenchyma :

توجد الخلايا البرنكيمية كأحد مكونات نسيج اللحاء سواءاً كان ابتدائياً أو ثانوياً . وفي اللحاء الابتدائي تكون الخلايا البرنكيمية موجودة في اللحاء بصورة مفردة ، أو على هيئة مجموعات . أما في اللحاء الثانوي فتنتظم بصورة منسقة في نظام شعاعي Radial system ونظام محوري Axial system كما سيرد تفصيله عند بحث اللحاء الثانوي في الباب الرابع . والخلايا البرنكيمية للحاء تميل إلى الاستطالة ، وقد تتكون في جدرانها أحياناً مادة اللكنين ، كما أن بعضها قد يكون مقسماً بحواجز مستعرضة إل ردهات ، وقد تحتوي كل ردهة على بلورة منفردة .

أن وظيفة الخلايا البرنكيمية في اللحاء هي الخزن ، حيث تخزن الماء وبعض المواد الغذائية كالنشا والدهون والمواد الدباغية والمواد الراتنجية ، كما قد توجد فيها البلورات كما سبق . وفي فترات الركود تمتلئ الخلايا البرنكيمية بالنشا أو الزيت . وبع موت اللحاء أما أن تبقى الخلايا البرنكيمية على جدرانها السليلوزية الرقيقة أو أن تتغلظ تلك الجدران وتتصلب نتيجة لإضافة جدران ثانوية عليها ، بذلك تتحول إلى سكلريدات Sclereids ذات جدران ملكننة في الغالب .

٤- ألياف اللحاء Phloem fibers :

تمثل الألياف أحد المكونات المألوفة في لحاء مغطاة البذور سواءاً كان ذلك بالنسبة للحاء الابتدائي أو الثانوي ، غير أنها قد تكون معدومة في بعض عاريات البذور . أما في النباتات الوعائية الواطئة الموجودة في الوقت الحاضر فيخلو اللحاء من الخلايا السكلرنكيمية . وقد توجد الخلايا السكلريدية Sclereids جنباً إل جنب مع الألياف في نسيج اللحاء ، أو أن تكون موجودة لوحدها في حالات نادرة . وفي اللحاء الابتدائي تكون الألياف موجودة في اللحاء الثانوي موزعة بطرق مختلفة ضمن العناصر الأخرى للحاء كما سيرد شرحه عند دراسة اللحاء الثانوي في الباب الرابع .

وتتميز ألياف اللحاء عن نظيراتها في الخشب في كون الأولى تتكون جدرانها ذات نقر بسيطة دائماً ، وتكون فوهة النقرة صغيرة تميل للاستدارة أو تستطيل قليلاً . وألياف اللحاء تكون ملكننة عادة ، وتتداخل نهاياتها المستدقة مع بعضها في المراحل المبكرة من تكوينها مكونة أشرطة من الألياف تكسب الأعضاء متانة وقوة . والوظيفة الرئيسية لألياف اللحاء ميكانيكية تتعلق بالتدعيم ، كما أنهلا تقوم بوظيفة وقائية للأنسجة الغضة الواقعة تحتها بما في ذلك الكمبيوم الأولي أو الوعائي ، فتحتفظ تلك الأنسجة من العوامل الخارجية . وكما سبق فإن ألياف اللحاء في نباتات ذوات الفلقتين تعتبر المصدر الرئيس للألياف في التجارة والصناعة . كما مر ذكره عند بحث الألياف في الفصل الثاني من الباب الثاني .

وتتكون السكلريدات في لحاء بعض النباتات نتيجة لحصول عملية التصلب Sclerification في بعض الخلايا البرنكيمية الموجودة في هذا النسيج ، ويحصل ذلك في المناطق القديمة من اللحاء نتيجة لتكوين جدران ثانوية فيها ، والتي كثيراً ما تكون ملكننة .

اللحاء الأول واللحاء التالي Protophloem and Metaphloem :

على الرغم من عدم وضوح تميز اللحاء الابتدائي إلى لحاء أول ولحاء تالٍ بنفس الدرجة التي عليها نظيريهما في الخشب ، إلا أن هنالك بعض الصفات التي يمكن بها التمييز بين هذين النوعين من اللحاء . فاللحاء الأول يمثل ذلك الجزء من اللحاء الابتدائي الذي يتميز من الكمبيوم الأول في مرحلة مبكرة ، وذلك قبل اكتمال استطالة العضو النباتي ، كما أنه يحتل موقعاً خارجياً في الحزمة الوعائية في سيقان العديد من النباتات . وتتميز العناصر المنخلية في اللحاء الأول بكونها أكثر نحافة وأقل وضوحاً مقارنة مع نظيراتها في اللحاء التالي ، غير أن النوى فيها تنحل أيضاً عند النضج ، كما أنها قد تكون مقترنة بخلايا مرافقة ، أو أن تكون الأخيرة معدومة . وقد تكون وحدات الأنابيب المنخلية هذه موجودة بهيئة مجاميع في اللحاء الأول أو أن تكون بصورة مفردة ضمن الخلايا البرنكيمية أو غيرها من الخلايا الحية الأخرى . وفي العديد من النباتات ذوات الفلقتين تتواجد العناصر المنخلية ضمن خلايا طويلة حية غالباً ما تمثل بادئات الألياف Fiber primordia التي تتميز فيما بعد إلى ألياف بعد تهشم وحدات الأنابيب المنخلية وفقدان اللحاء الأول .

أما اللحاء التالي فينشأ من الكمبيوم الأولي في فترة متأخرة ويمثل موقعاً محدداً في الحزمة الوعائية ، كما أنه يتميز بكون وحدات الأنابيب المنخلية فيه تكون واسعة ومقترنة بالخلايا المرافقة بصورة عادية . أما الألياف فتكون معدومة عادة . غير أن بعض الخلايا البرنكيمية في اللحاء التالي قد تعاني تصلباً في جدرانها متحولة إلى خلايا سكلريدية وذلك بعد أن يفقد هذا الجزء من اللحاء وظيفته كنسيج ناقل . وكما سبق ذكره فإنه عندما يتهشم اللحاء الأول بعد فترة قصيرة من تكوينه فإن اللحاء التالي يبقى مؤدياً لوظيفته لفترة أطول . نظراً لكون تميزه لا يستكمل إلا بعد اكتمال استطالة العضو النباتي . وفي النباتات التي لا يحصل فيها نمو ثانوي يكون اللحاء التالي هو الجزء الوحيد الذي يستمر على أداء وظيفة نقل الغذاء في الأعضاء البالغة للنبات طيلة حياته . أما اللحاء الثانوي ينشأ من الكمبيوم الوعائي فسيرد شرحه بصورة مفصلة عند بحث التغلظ الثانوي .

سابعاً– الخلايا والأنسجة الإفرازية Secretory cells and tissues :

تضم الخلايا والأنسجة الإفرازية أحياناً على أساس وظيفي في نظام واحد يسمى بالنظام النسيجي الإفرازي secretory tissue system أسوة بضم الأنسجة التوصيلية أو الأنسجة الدعامية في نظام نسيجي واحد . ولكن الوضع بالنسبة للخلايا والأنسجة الإفرازية قد يختلف وذلك من حيث أن هذه الخلايا وهذه الأنسجة لا تربطها رابطة أساسية لا من الناحية الشكلية ولا من ناحية المنشأ كما هي الحال في النظم النسيجية الأخرى . فالخلايا الإفرازية قد تتجمع لتكون نسيجاً إفرازياً كما هي الحال في الغدد الإفرازية Secretory glands وحينئذ يمكن أطلاق لفظ النسيج بمعناه الصحيح ، وفي حالات أخرى توجد هذه الخلايا فرادى مبعثرة خلال القشرة أو اللحاء أو الخشب أو النخاع . وعلاوة على ذلك فالأنسجة الإفرازية المنتشرة في جسم النبات الواحد قد لا ترتبط فيما بينها بأية علاقة تجعلها تنتمي إلى جهاز نسيجي واحد . وقد يفرق أحيانا بين عمليتي الإخراج Excretion والإفراز Secretion وذلك باعتبار أن الإخراج يحدث عندما تطرد المادة الناتجة إلى المسافات البينية أو إلى الخارج في حين يحدث الإفراز عندما تبقى المادة المنتجة داخل الخلية التي أنتجتها . وتتميز الخلية الإخراجية بغزارة السايتوبلازم وكبر حجم النواة فيها أما الخلية الإفرازية فتتميز بكبر حجم الخلية ذاتها وحجم فراغها الذي يكون عادة ممتلئاً بالمادة المفرزة . ومن الخلايا والأنسجة الإخراجية الشعيرات الغدية Glandular hairs والقنوات الراتنجية resin ducts والقنوات الزيتية Oil ducts والقنوات الحليبية laticiferous ducts وغيرها . بينما تتمثل الخلايا الإفرازية في تلك الخلايا التي تفرز الزيوت الطيارة ethereal oils والمواد الهلامية mucilage والمواد الدباغية tannins وغير ذلك . على أن من المتفق عليه بوجه عام بالنسبة للنباتات الراقية هو استعمال لفظ الإفراز ليشمل كل حالات الإفراز والإخراج معاً .

منشأ الخلايا الإفرازية Origin of Secretory :

قد تنشأ الخلايا الإفرازية من طبقة البشرة الأولية Protoderm وبذلك تنتمي في هذه الحالة من الناحية المظهرية إلى البشرة . مثال ذلك الشعيرات الغدية والغدد الرحيقية . وقد تنشأ من المرستيم الأساسي وحينئذ توجد في القشرة والدائرة المحيطية والأشعة النخاعية والنخاع كما هي الحال في الخلايا الدباغية Tannin cells . وفي حالات قليلة تنشأ هذه الخلايا من الكمبيوم الأولي Procambium أو من الكمبيوم الوعائي Vascular cambium وعندئذ تظهر خلال الخشب أو اللحاء بين الخلايا البرنكيمية مثال ذلك القنوات الراتنجية resin ducts في الصنوبريات .

ويمكن تصنيف الخلايا والأنسجة الإفرازية إلى الأنواع الآتية :

١- الثغور المائية Hydathodes .

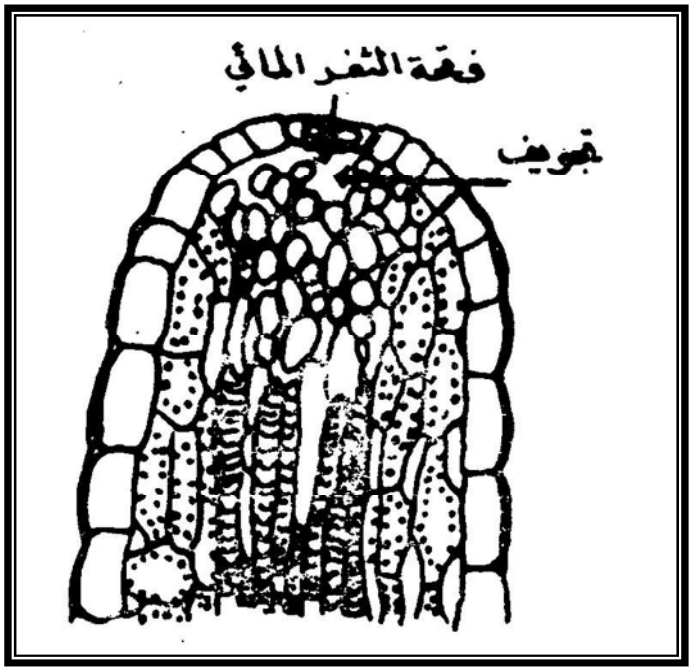
٢- الغدد الخارجية أو البشرية External or Dermal glands .

٣- الغدد الداخلية (أو الكروية) Internal (or Globular) glands .

٤- القنوات الإفرازية (الأنبوبية) Secretory canals (Tubular type) .

الثغور المائية Water Stomata or Hydathodes

تتميز نباتات عديدة باحتوائها على تراكيب خاصة تسمى بالثغور المائية تقوم بإفراز الماء بحالته السائلة وتستوطن هذه النباتات عادة المناطق الاستوائية الرطبة . ويحدث إفراز الماء عندئذ تحت ظروف انخفاض معدل النتح رغم توفر نسبة عالية من الرطوبة في التربة . يحدث ذلك على سبيل المثال في الليالي الباردة الرطبة عندما يقل النتح بالرغم من استمرار امتصاص الماء بمعدل عالٍ . وتعرف عملية خروج الماء بصورته السائلة من الثغور المائية باسم الإدماع Guttation . وينجم عن حدوث هذه العملية ظهور الماء على هيئة قطرات سائلة مذاباً بها القليل من الأملاح في أماكن تواجد الثغور المائية وذلك في الصباح الباكر . وتنتشر الثغور المائية عند قمم أوراق النجيليات وحواف الأوراق بصفة عامة وعند نهايات العروق الرئيسية في الأوراق القرصية مثل أوراق نبات أو خنجر Tropaeolum وعلى أسنان الأوراق في نباتات كثيرة . وهي مألوفة في نباتات العائلة الخيمية Umbelliferae وكذلك في العائلة المركبة Compositae . وللثغور المائية فتحات مائية Water pores دقيقة تشبه إلى حد كبير الثغور الحقيقية فيما عدا أنها تظل مفتوحة بصورة دائمة ، وذلك لانتظام سمك جدران الخلايا المحيطة بالثغر المائي كما أن الخلايا الحارسة في هذه الحالة تكون أكبر حجماً من تلك الموجودة بالثغور الحقيقية true stomata (شكل ٥-٩) . وتبدو القمة التي تحتوي على الثغر المائي عادة منتفخة وتقع عند نهاية حزمة وعائية مكونة من بضع قصيبات أو من قصيبة نهائية مفردة فقط . وخلايا الثغر المائي صغيرة الحجم ذات أنوية ظاهرة وسايتوبلازم غزير وتسمى في مجموعها باسم النسيج الطلائي Epithelium وتحتوي فيما بينها على مسافات بينية واسعة يمر خلالها الماء تحت الضغط المائي من القصيبات حتى الفراغ الواقع تحت فتحة الثغر مباشرة وقد يحتوي الثغر المائي الواحد على فتحة مائية Water pores واحدة أو أكثر من فتحة كما في بعض أفراد العائلة الخيمية والمركبة.



الشكل (٥-٩): الثغور المائية في ورقة زهرة الربيع *Primula*

الغدد الخارجية أو البشرية External or Dermal glands

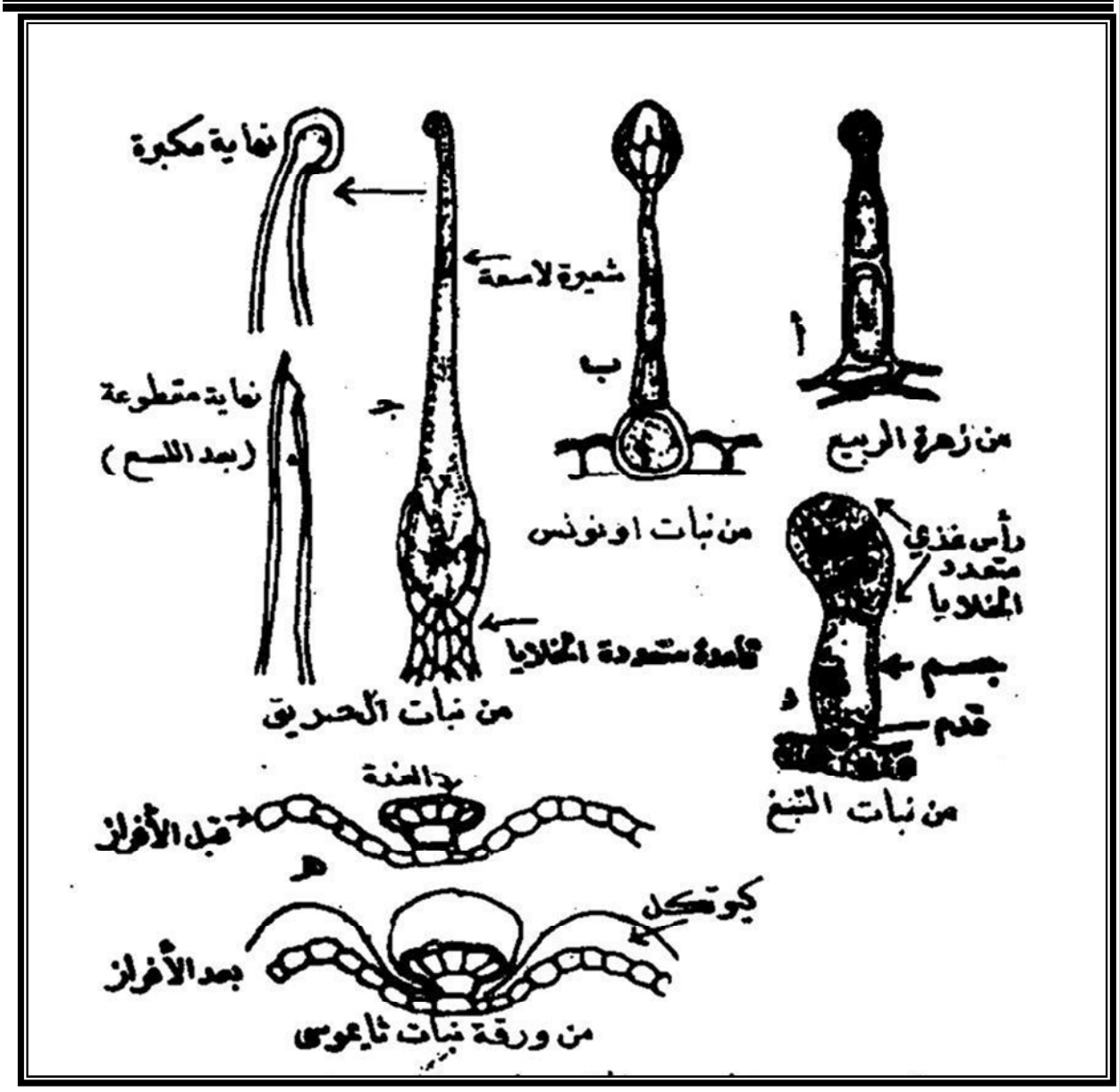
تقوم هذه الغدد بإفراز مختلف المواد مثل محاليل ملحية ومحاليل سكرية أو رحيقية Nectar solutions ومواد تربينية Terpenes وأصباغ Gums وغيرها . وتضم هذه الغدد الشعيرات الغدية Glandular hairs or trichames (شكل ٥-١٠) والغدد الرحيقية Nectaries or nectar glands والغدد الهاضمة Digestive glands في النباتات آكلة الحشرات Insectivorous وآكلات اللحوم Carnivorous plants.

الشعيرات الغدية Glandular hairs :

تنشأ هذه الشعيرات عن طريق انقسام خلايا البشرة الأولية فينتج عن ذلك تكوين شعيرة عديدة الخلايا . تتضخم الخلية أو الخلايا القمية فيها لتكون غدة عند قمتها . وبذلك تتكون الشعيرة الغدية الكاملة من جزأين واضحين هما العنق Stalk ويتكون من خلية أو عدد من الخلايا ، ورأس Head مختلف الأشكال متصل بطرف العنق يمثل التركيب الإفرازي الحقيقي . والرأس قد يكون وحيد الخلية كما في نبات الشروان والبلعويا من جنس بلاركونيوم Pelargonium أو عديدة الخلايا كما في نبات السكران . كما يمكن اعتبار الشعيرات اللاسعة Stinging hairs في نبات الحكيكة Urtica من الشعيرات الغدية .

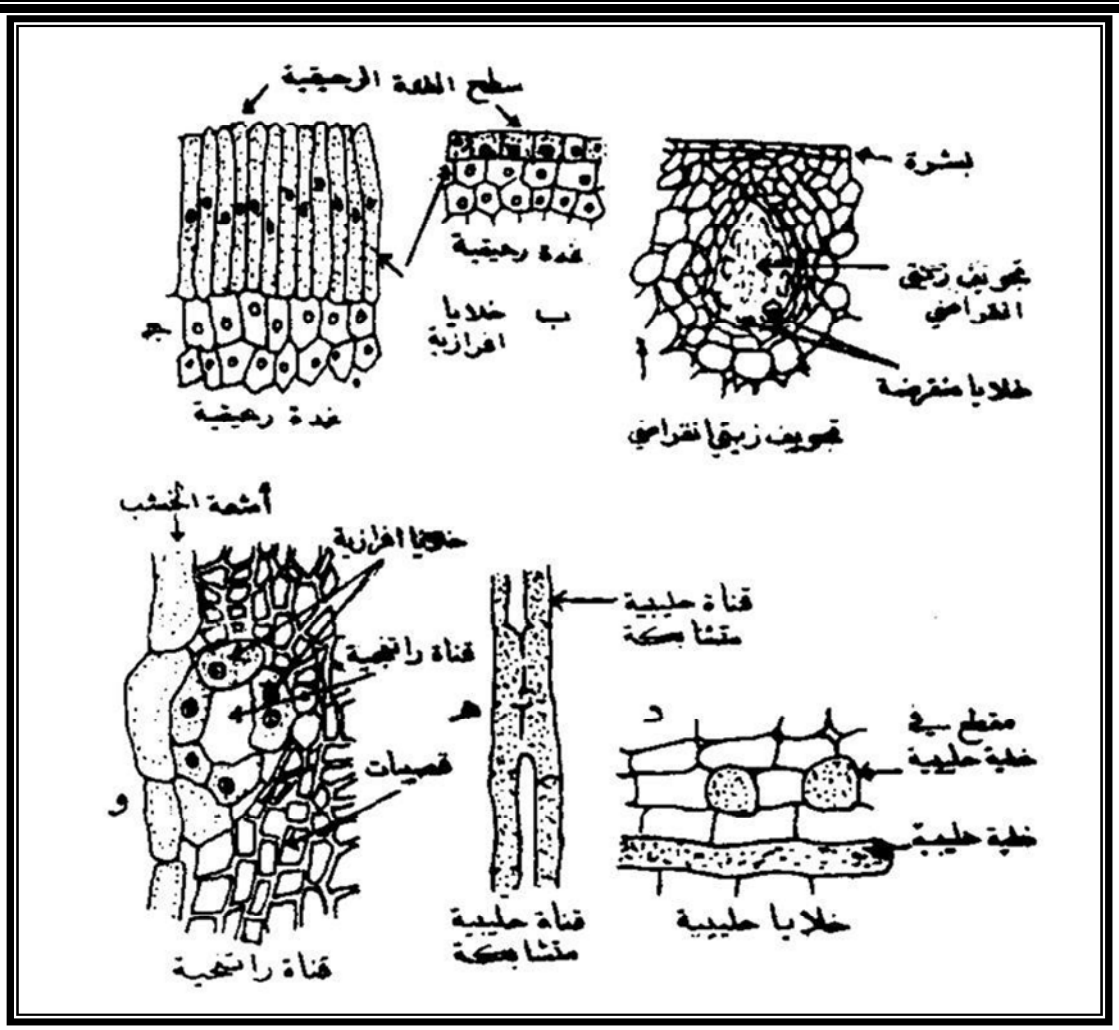
الغدد الرحيقية Nectaries :

توجد الغدد الرحيقية عادة في النباتات التي يحدث فيها التلقيح عن طريق الحشرات . عند ذلك تحتوي الأجزاء الزهرية على خلايا قادرة على إفراز مادة جاذبة للحشرات تسمى الرحيق Nectar . وقد يفرز الرحيق – وذلك في أبسط الحالات – من عدد محدود من الخلايا المتخصصة (شكل ٥-١١ ب،جـ) التي تغطى بعض مناطق من الأجزاء الزهرية ، أو من أعضاء خاصة تسمى بالغدد الرحيقية Nectary glands or Nectaries تأخذ في أغلب الأحوال أشكالاً مختلفة . وتوجد هذه الغدد عادة على الأجزاء الزهرية ذاتها . إلا أنها قد توجد على تراكيب خارجية مثل القنابات كما هي الحال في العائلة السوسبية Euphorbiaceae .



الشكل (٥-١٠) : نماذج من الشعيرات الغدية

والخلايا المفرزة للرحيق تكون عادة سطحية وفي معظم النباتات تشبه إلى حد كبير الخلايا البشرية الأخرى باستثناء رقة الأدمة Cuticle بها . وزفي بعض الأحيان تتميز هذه الخلايا بشكل واضح عن بقية خلايا البشرة وذلك عن طريق شكلها العمادي كما تتميز الخلايا البرنكيمية التي توجد تحتها برقة الجدران والمظهر الإفرازي .



الشكل (٥-١١): شكل يوضح بعض التراكيب الإفرازية أ- غلاف ثمرة البرتقال ب- زهرة التفاح جـ- زهرة بنت القنصل (من العائلة السوسبية) د- قشرة السوسب هـ - جنس تراكابوكون (طريش الأذن) و- الصنوبر.

الغدد الهاضمة Digestive glands :

تقتصر هذه الغدد على النباتات آكلة الحشرات حيث تقوم غدد خاصة بإفراز الأنزيمات الهاضمة للبروتينات ، ثم تقوم هذه الإنزيمات بدورها بتحليل المواد البروتينية المعقدة إلى مواد بسيطة يقوم النبات بعد ذلك بامتصاصها . مثل هذه الغدد توجد في نبات دروزيرا (أو ورد الشمس) Drosera وفي نبات حشيشة الدهن (butterwort) Pinguicula ففي نبات دروزيرا تكون الأوراق طويلة الأعناق ذات أنصال دائرية أو بيضية تخرج من حوافها وسطحها العلوي أذرع إفرازية Secretory tentacles عديدة ذات نهايات منتفخة ومغطاة بإفراز لزج . ويحدث أن تنجذب الحشرات لتلك الأذرع فتهبط على سطح الورقة وتلتصق به بتأثير الإفراز اللزج ، وعندئذ تنحني الأذرع تدريجياً إلى الداخل حتى تقبض بإحكام على الحشرة . ويحدث بعد ذلك أن تقوم خلايا الأذرع بإفراز عصارات هاضمة تهاجم حسم الحشرة محولة الأجزاء اللينة فيه إلى مواد ذائبة قابلة للامتصاص أما الأجزاء الصلبة فيتخلص منها النبات عندما تنفرج الأذرع وتعود بعد ذلك إلى وضعها الأصلي . أما في حالة حشيشة الدهن Pinguicula فإن الأوراق تكون صفراء جذرية Radical وتحمل على سطوحها العليا نوعين من الغدد : غدد جالسة مكونة من خلية واحدة قاعدية وعنق قصير ثم رأس

قرصي الشكل مكون عادة من ثمان خلايا ، وغدد طويلة معنقة برؤوس مظلية الشكل تفرز مواد هلامية تلتصق بها الحشرات . وتعتبر الغدد الجالسة هي الغدد الهاضمة الحقيقية ، ويبقى سطح هذه الغدد جافاً تماماً حتى تثار الخلايا الإفرازية السطحية بتلامسها أو احتكاكها بحشرة ميتة حيث تقوم عندها بإفراز المواد اللازمة لهضمها وامتصاصها . كما توجد على السطح السفلي للأوراق غدد شبيهة بالغدد الجالسة الموجودة على السطح العلوي إلا أن هذه الغدد تقوم أساساً بإخراج الماء .

الغدد الداخلية أو الكروية Internal or Globular glands :

تنشأ هذه الغدد أو التراكيب الإفرازية أما من المرستيم الأساسي Ground meristems فتوجد في القشرة أو النخاع أو من الكمبيوم الأولي Procambium فتظهر عندئذ في الأنسجة الوعائية بين الخلايا البرنكيمية وتتكون هذه الغدد عادة من مجموعة من الخلايا التي تنشأ عن طريق انقسام خلية أو مجموعة خلايا مرستيمية . وتوجد أما تحت البشرة مباشرة أو خلال الأنسجة الداخلية . وتكون هذه الغدد كروية الشكل دائرية في المقطع المستعرض كما أنها كثيراً ما تتخذ هيئة بقع شفافة يمكن رؤيتها بالعين المجردة . وتتكون الغدة من طبقة واحدة أو عدة طبقات من الخلايا ، تحيط بتجويف مركزي يحتوي على إفراز زيتي . ويعزى وجود رائحة خاصة لأي نبات عادة إلى هذا الإفراز الزيتي ومن الأمثلة البارزة لهذا النوع من الغدد تلك الموجودة في البراعم الزهرية للقرنفل *Eugenia caryophyllata* والغدد الموجودة بقشر ثمار الحمضيات كالبرتقال والليمون . ويتكون التجويف سواءاً في هذا النوع الكروي من الغدد أو النوع الأنبوبي الذي سيأتي الحديث عنه بإحدى الطرق الثلاث الآتية :

١- الانفصال التدريجي للخلايا الإفرازية . وعند ذلك يمكن التعرف بسهولة على التجويف عند اكتمال تكوينه بوجود نسيج إفرازي أو طلائي Epithellium واضح الحدود يحيط به . هذا النوع من التجويف يعرف بالتجويف الانفصالي أو الانشطاري Schizogenous cavity ويتكون النسيج الإفرازي للغدة الانفصالية عادة من طبقة واحدة من الخلايا التي يسهل تمييزها عن بقية الخلايا المجاورة بواسطة صغر حجمها وغزارة محتوياتها . مثال ذلك الغدد الداخلية في *Myrtus zeylanica* والقنوات الراتنجية في الصنوبر (شكل ٥-١١ و) .

٢- تحلل الخلايا الإفرازية بعد عملية الإفراز وبذلك يبدو التجويف حاطاً ببقايا الجدر الخلوية التي لم تتحلل بصورة كلية وبقيت ملتصقة بالخلايا المجاورة . هذا النوع يسمى بالتجويف الأنقراضي Lysigenous cavity . مثال ذلك الغدد الزيتية في ثمار الحمضيات (شكل ٥-١١ أ)

٣- قد يحدث أحياناً أن تتكون هذه التجاويف بالطريقتين مما أي انفصال للخلايا الإفرازية وتحلل بعضها وتسمى في هذه الحالة تجاويف انفصالية أنقراضية Schizo-lysigenous cavities .

القنوات الإفرازية (الأنبوبية) Secretory canals or ducts (Tubular type) :

في عاريات البذور وفي كثير من مغطاة البذور يحدث الإفراز خلال أنابيب خاصة تختلف من حيث منشئها وطريقة تكوينها والمواد المفرزة باختلاف النباتات . ومن بين هذه الأنابيب الإفرازية القنوات الراتنيجية والزيتية والصمغية والحليبية وغيرها .

القنوات الراتنجية Resin duets :

تعتبر القنوات الراتنجية من مميزات المخروطيات Conifers وتوجد بصورة طبيعية في الأنسجة الابتدائية (شكل ٥-١١ و) ولكنها في الأنسجة الثانوية قد توجد كذلك بصورتها الطبيعية كما في حالة الصنوبر *Pinus* وجنس الكركر *Plcea* ولاركس *Larex* أو قد توجد فقط نتيجة تأثر بالجروح أو بأي نوع أخر من الأذى كما في حالة التنوب *Ables* والأرز *Cedrus* وتسوكا *Tsuga* وغيرها .

والقنوات الراتنجية عبارة عن تركيب أنبوبي مكون من خلايا تحيط بفراغ مركزي ويحاط الفراغ عادة من خلايا ذات جدران رقيقة غير ملكننة تدعى الخلايا الطلائية Epithelial cells . وإلى الخارج من هذه الطبقة توجد طبقة أو أكثر من خلايا مغلظة الجدران وغير ملكننة تدعى الخلايا الغمدية Sheath cells وتبدو هذه الجدران غنية بالمواد البكتينية . وقد تضم الخلايا الغمدية فيما بينها خلايا ميتة مكونة أسطوانة تحيط بالخلايا الطلائية وهذه الخلايا الميتة تبطن جدرانها من الداخل صفيح رقيقة من السوبرين .

القنوات الصمغية Gum Canals or Ducts :

تنتج الظاهرة المسماة بالتصمغ Gummosis أساساً من تحور في مواد جدران الخلايا من وجودها على هيئة جدران إلى مواد غير متبلورة تتخذ شكل الصمغ . وقد يؤدي التصمغ في الحالات الشديدة إلى تكوين تجاويف أو قنوات صمغية ذات منشأ انقراضي وذلك أما في أنسجة معينة أو في الأنسجة العادية . ففي تحت العويلة الأجاجية Prunoideae يكون الكمبيوم مجموعات خاصة من خلايا برنكيمية بدلا من عناصر الخشب العادية ويبدأ التصمغ مباشرة في هذه المجموعات من المركز وينتشر للخارج تدريجياً ، كما يبدأ التحلل الجداري من الجدار الابتدائي حتى يصل إلى أخر طبقة من الطبقات الداخلية للجدار الثانوي المحاذية لتجويف الخلية . ينتج عن ذلك فراغ بالوسط يمتلئ في هذه الحالة يتكون نتيجة تحلل صفائح الجدار الثانوي . ومن الأمر الشائعة حدوث التصمغ في القلف Barl إذ يتكون الصمغ العربي Gum Arabic المعروف والذي يفرز بوفرة في أشجار السنط السنغالي *Acacia senegal* وأنواع أخرى من السنط من القلف . وقد يحدث التصمغ كظاهرة مرضية كما هي الحال في أشجار الموالح كما أنه قد يحدث نتيجة فعل الحشرات أو التضرر من مؤثرات ميكانيكية أو اضطرابات فسيولوجية .

التراكيب أو القنوات الحليبية Lacticifers or Laticiterous canals :

التراكيب الحليبية هي تراكيب إفرازية (شكل ٥-١١ د ، هـ) وتقوم بإفراز مادة خاصة تسمى بالحليب النباتي latex وهو معلق لزج يحتوي على العديد من الدقائق الصغيرة يوجد في كثير من مغطاة البذور تضمها حوالي عشرون عائلة معظمها ينتمي إلى ذوات الفلقتين ومن أمثالها العائلة التوتية Moraceae والسوسبية Euphorbiaceae والدفلية Apocynaceae والخشخاشية Papaveraceae والعشارية

Asclepiadaceae . والقليل منها ينتمي لذوات الفلقة الواحدة مثل الفصيلة الموزية Musaceae وتنتمي هذه العوائل النباتية أية رابطة إلى مجموعات تصنيفية متباينة . وقد يكون الحليب النباتي معلقاً أو مستحلباً في بعض الأحيان إلا أن تركيبه يختلف في الأنواع المختلفة من النباتات ومن بين الحبيبات العالقة حبيبات مطاط Rubber وشموع Waxes وراتنجات Resins وبروتينات وزيوت طيارة Ethereal oils ومواد مخاطية Mucilage وفي بعض الأحيان حبيبات نشوية . كما قد يحتوي الحليب النباتي على مواد ذائبة بإعتباره عصيراً خلوياً – مثل الأحماض العضوية – وفي بعض النباتات يوجد علاوة على ذلك مواد أخرى كالمواد السكرية في بعض نباتات الفصيلة المركبة Compositae والمواد الدابغة Tannins كما في الموز *Musa* وقلويدات alkaloids كما في نبات الخشخاش المنوم *Papaver somniferum* ويختلف لون الحليب النباتي في مختلف النباتات فقد يكون أبيض حليبي كما في السوسب *Euphorbia* والخس *Lactuca* والعشار *Asclepias* وقد يكون قهوائياً مصفراً كما في القنب *Cannabis* أو برتقالياً كما في الخشخاش *Papaver* وقد يكون عديم اللون كما في التوت *Morus* .

أما وظيفة اللبن النباتي بالنسبة للنبات فغير واضحة فقد يكون ذا قيمة غذائية في بعض النباتات وقد يعتبر مواداً مدخرة في نباتات أخرى إلا أن وجود بعض المواد كالمطاط والتي لا تتأثر بأية أنزيمات نباتية يغير الحال مع النشا مثلاً يجعل هذا الاعتبار غير مقبول ولكن الاعتقاد الأكثر قبولاً هو أن الحليب النباتي ما هو إلا منتجات ثانوية للتحولات الغذائية وبذلك تكون القنوات الحليبية ما هي إلا قنوات إبرازية تستقبل ما تنتهي إليه هذه التحولات . ويوجد الحليب النباتي داخل القنوات الحليبية تحت ضغط وهذا يعلل اندفاعه للخارج بقوة عند حدوث قطع بجسم النبات الحاوي على هذه القنوات .

والجدار الخلوي للقنوات الحليبية ابتدائي رغم أنه قد يكون سميكاً وبرجة أكبر من الخلايا البرنكيمية المجاورة في بعض الأحيان . وتحتوي الجدران المغلظة على سليلوز ونسبة عالية من البكتات وأنصاف السليلوز Hemicellulose . ولهذه الجدران قابلية مطاطية بدرجة كبيرة ولا تحتوي إلا نادراً على حقول نقرية ابتدائية.

أنواع القنوات الحليبية

تتميز القنوات الحليبية عادة إلى نوعين أساسيين هما القنوات الحليبية غير المفصلية Non-Articulated laticifers والقنوات الحليبية المفصلية .

القنوات الحليبية غير المفصلية أو الخلايا الحليبيةNon-ariculated laicifers or lacticiferous cells:

تنشأ هذه القنوات من خلية واحدة تتمدد بدرجة كبيرة مع نمو النبات (شكل ٥-١١ د) لذلك فهي تسمى أيضاً بالخلايا الحليبية laticiferous cells وقد تكون بسيطة كما في نبات عين البزون Vinca (Apocynaceae) والحريق (الحكيكة) *Urtica* (Urticaceae) والقنب *Cannabis* (Moraceae) كما أنها قد لا تكون متشبعة كما السوسب *Euphorbia* (Euphorbiaceae) والدفلة *Nerium* (Apocynaceae) والتين *Ficus* (Moraceae) والعشار *Asclepias* (Asclepiadaceae) ورغم تشعب الخلايا الحليبية فلا يحدث بين الشعب أي تشابك (Anastomosis) على الإطلاق . وفي بعض الحالات تنشأ هذه الخلايا مرة واحدة وبعدد محدود داخل الجنين ثم تمتد بعد ذلك خلال جسم النبات . وفي حالات

أخرى تنشأ الخلايا الحليبية مراراً إلا أنها تظل محصورة في السلامية الواحدة أو في الورقة والفرع المتصل بها ويوجد هذا النوع في نبات الونكا (عين البزون) ونبات الحكيكة .

القنوات الحليبية المفصلية أو الأوعية الحليبية Articulated Laticifers or lacticiferous vessels :

تتكون القنوات الحليبية المفصلية من عدد من الخلايا تتصل بنهاياتها بطريقة تشبه طريقة الأوعية الخشبية (شكل ٥-١١) وقد تبقى الجدران الطرفية كاملة أو مثقبة أو قد تتلاشى تماماً . ولذلك تسمى هذه القنوات بالأوعية الحبيبية . وتتميز هذه القنوات بعض أنواع تنتمي إلى العوائل المركبة Compositeae والعليقية Convolvulaceae والخشخاشية Papaveraceae والسوسبية Euphorbiaceae والزنبقية Liliaceae والموزية Musaceae . وقد تكون بسيطة غير متفرعة كما في الموز والبصل *Allium* والعليق *Convolvulus* وورد التلفون *Ipomaea* ولكنها قد تتفرع مع استمرار مرورها داخل أنسجة النبات مكونة نظاماً معقداً قد تتشابك فيه الفروع باتصالات مستعرضة كما هي الحال في نبات الخشخاش *Papaver* والموز وشجرة المطاط البرازيلية *Hevea brasillensis* والمرير *Sonchus* والخس *Lactuca* والشيكوريا (طريش الأذن) *Cichorium* وتراكوبوكون *Tragopogon* . وتوجد هذه القنوات في كثير من النباتات في اللحاء أو الدائرة المحيطية في الساق أو الجذر كما توجد أيضاً في النسيج المتوسط بالأوراق . وفي نبات الخشخاش يمتد التركيب الحليبي خلال النبات كله إلا أنه يكون أكثر غزارة في المبيض ويكون بذلك شبكة تمر فروعها الرئيسية موازية للحزم الوعائية وتتصل فيما بينها عن طريق التشابك .

أما في نبات المطاط البرازيلي *Hevea barsileinsis* فإن التراكيب الحليبية تظهر أساساً في القلف إذ أنها قد توجد أيضاً في النخاع وفي الأوراق . وتعتبر تلك التي تظهر في القلف الداخلي المصدر الرئيسي للمطاط . وهذه تنشأ من الكمبيوم وتنتظم في حلقات موازية تتصل ببعضها داخل الحلقة الواحدة بتشابكات (Anastomses) مماسية . أما في الموز فتقترن الأوعية الحليبية غير المتفرعة بالأنسجة الوعائية على خلاف ما هو مشاهد في البصل حيث لا ترتبط القنوات الحليبية بالأنسجة الوعائية بأي شكل من الأشكال وإنما توجد في النسيج المتوسط للحراشيف .

أما النباتات التي تنتج الحليب النباتي بكميات تسمح باستخراج المطاط الطبيعي على نطاق واسع فقليلة يأتي في مقدمتها نبات المطاط البرازيلي *Hevea brasiliensis* من العائلة السوسبية وهذا النبات موطنه الأصلي في البرازيل ولكنه أدخل إلى الشرق الأقصى وأصبح يزرع على نطاق واسع في الملايو وسوماطرا وجاوا وشرق الهند وذلك لإنتاج المطاط .

التركيب الداخلي للنبات Internal structure of plant

تمهيد :

أن مكونات الأنظمة النسيجية المختلفة تنتظم في الجسم النباتي بطريقة تتلائم والوظيفة المناطة بكل عضو من الأعضاء النباتية . وتختلف الأعضاء النباتية بعضها عن البعض الآخر بالنسبة لطريقة توزيع النظام النسيجي الوعائي Vascular tissue system ضمن النظام النسيجي الأساسي Ground tissue system ، بينما يحيط النظام الوقائي أو الضام Dermal tissue system بالأعضاء النباتية من الخارج ، ممثلاً بالبشرة Epidermis خلال مرحلة النمو الابتدائي ، وبالبريدرم Periderm بعد مرحلة التغلظ الثانوي في الأعضاء التي تعاني مثل هذا التغلظ .

أن الطريقة الخاصة التي تنتظم بها الأنظمة النسيجية وعلاقتها مع بعضها تمكن الباحث من تشخيص العضو النباتي عند دراسة مقاطع فيه ، وتلقى ضوء كذلك على المجموعة النباتية ، والتكيفات الموجودة في العضو أو النبات تحت الدراسة .

التركيب الداخلي للجذر Internal structure of Root :

يمكن تمييز الجذور في النباتات البذرية إلى نوعين رئيسيين هما الجذور الوتدية Tap roots المألوفة في نباتات ذوات الفلقتين وعاريات البذور والجذور الليفية Fibrous roots والتي تسود بين ذوات الفلقة الواحدة . وتتميز الجذور الوتدية بوجود جذر رئيسي يتعمق في التربة في حين يتلاشى الجذر الرئيسي في الجذور الليفية لتحل محله جذور عرضية Adventitious roots تنتشر في التربة على مستوى أفقي . ويقوم النوعان من الجذور بالوظائف الرئيسية وهي التثبيت والامتصاص والنقل . إلا أن هناك بعض الجذور تتخصص لأداء وظائف معينة أخرى كالتخزين كما في حالة الجذور الدرنية Tuberous roots للبطاطا الحلوة *Ipomoea batatus* أو التدعيم كما في الجذور المساعدة Prop roots للذرة . وتتباين الجذور من حيث تركيبها الداخلي تبايناً محدوداً . إلا أنها تتفق في المميزات الرئيسية التي تميز الجذور عن السيقان . ويعتبر التركيب الداخلي للجذور أبسط إلى حد كبير من التركيب الداخلي للساق وذلك يرجع أساساً إلى بساطة التركيب الخارجي في الجذر إذ لا يحمل أوراقاً أو زوائد كالتي توجد في السيقان كما أن الجذر لا ينقسم إلى عقد وسلاميات مما يجعل انتظام الأنسجة خاصة الناقلة منها وترتيبها داخل الجذور يكاد يكون ثابتاً في المستويات المختلفة خلافاً لما هو ملاحظ في الساق . وعلاوة على ما تقدم فإن الجذر يتميز بوجود تركيب خاص يغطي القمة ويدعى القلنسوة Calyptra (or root cap) . وتوجد القلنسوة في جميع الجذور تقريباً عدا حالات قليلة منها جذور النباتات المتطفلة وجذور النباتات ذات التراكيب الجذر فطرية Mycorrhiza . وفي الجذور الهوائية Aerial roots تنعدم القلنسوة أيضاً غير أنها سرعان ما تتكون بمجرد دخول مثل هذه الجذور التربة وتحولها إلى جذور دعامية Pillar roots كما في التين البنغالي *Ficus benghalensis* والتين الهندي *F. indica* . كما أنها توجد بحالة أثرية في بعض النباتات المائية . والقلنسوة بوجه عام تقوم أساساً بمهمة وقائية للجذر أثناء تقدمه وتعمقه داخل التربة . وتتكون القلنسوة من

خلايا برنكيمية متجانسة لكنها تتجدد باستمرار كلما أستهلك جزء منها نتيجة احتكاكها بحبيبات التربة وذلك أما عن طريق نشاط مرستيم مستقل هو منشئ القلنسوة Calyptrogen أو من مرستيم مشترك ينتج عن نشاطه تكوين القلنسوة والبشرة معاً . ويجعل وجود القلنسوة موقع المرستيم القمي للجذر تحت نهائي Subterminal مما يميزه عن الساق الذي يكون موقع المرستيم القمي فيها نهائياً Terminal بسبب عدم وجود القلنسوة .

أما بالنسبة لتوزيع الأنسجة فمن أبرز ما يميز الجذر عن الساق وجود الطبقة الوبرية في بعض مناطقه وأتساع منطقة القشرة وتمركز الأنسجة الدعامية بما في ذلك عناصر الخشب . ويتميز الجذر علاوة على ذلك في النباتات الوعائية الراقية باتجاه نسيج الخشب بحيث يكون الخشب الأول للخارج Exarch بعكس الساق حيث الخشب الأول إلى الداخل Endarch والخشب التالي إلى الخارج . كذلك تترتب الأنسجة الوعائية في الجذر ترتيباً قطرياً أي أن الخشب واللحاء يقعان على أنصاف أقطار مختلفة في حين ينتظم الخشب واللحاء في السوق في حزم جانبية أو مركزية أي على أنصاف أقطار واحدة .

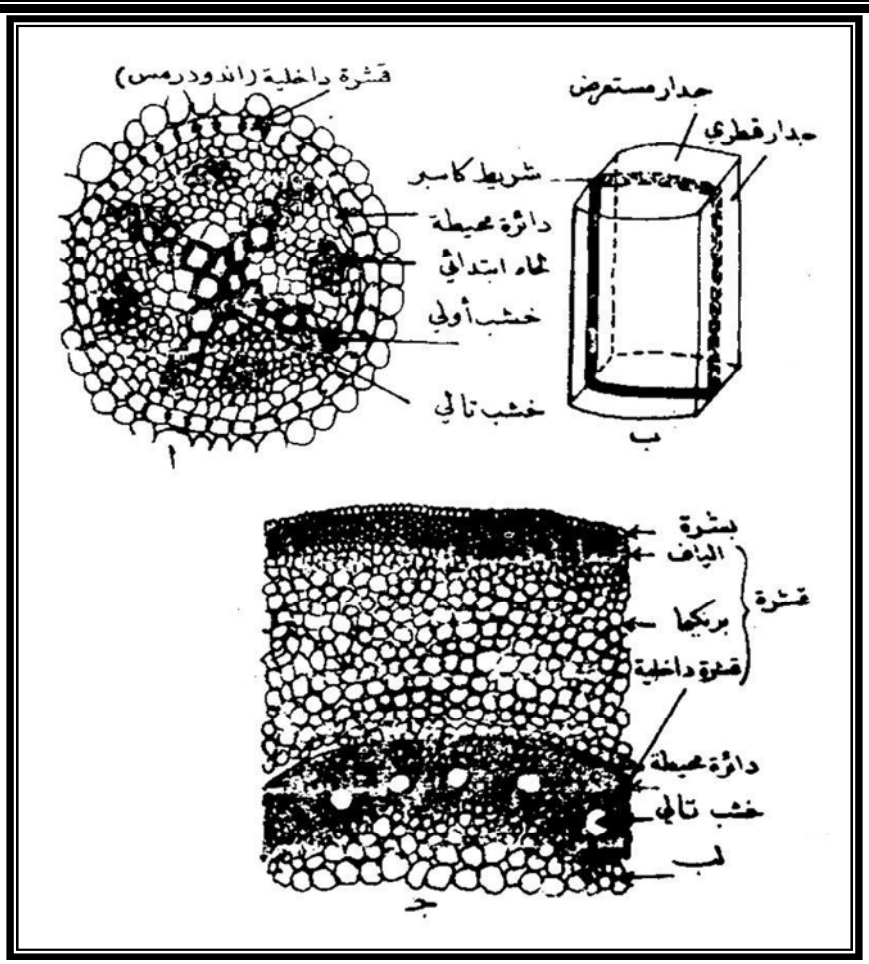
ويمكن تتبع المناطق والأنسجة المختلفة التي يتكون منها الجذر بدراسة قطاع مستعرض لجذر حديث (شكل ٦-١) وسوف يتضح ارتباط هذه الأنسجة بالأجهزة النسيجية الرئيسية الثلاثة وهي الضامة والأساسية والوعائية وذلك في منطقة الشعيرات الجذرية كما يلي :

١- البشرة Epidermis :

تتميز البشرة في الجذور عادة بعدم وجود طبقة الأدمة Cuticle التي توجد ببشرة السيقان والأوراق كما أن جدر الخلايا لا تكون مُكيتنة وذلك لقيام الجذر في جزء منه بمهمة امتصاص الماء والأملاح من التربة عن طريق الشعيرات الجذرية وهذه الشعيرات تظهر في منطقة تدعى منطقة الشعيرات الجذرية . وتقع هذه المنطقة خلف منطقة الاستطالة مباشرة . وتقوم معظم خلايا البشرة في هذه المنطقة بتكوين شعيرات دقيقة يكتمل نضجها حيث يكتمل نضج الخشب ورغم أن مهمة الامتصاص يقع عبؤها على الشعيرات الجذرية – ذلك لان السطح الممتص يزداد كثيراً مع تكوين الشعيرات – إلا أنه قد ثبت أن خلايا البشرة ذاتها قد تقوم هي أيضاً بالامتصاص . وتسمى طبقة البشرة نظراً لوجود هذه الشعيرات باسم الطبقة الوبرية Piliferous layer أو طبقة الشعيرات الجذرية . ومما يجدر ذكره أن الشعيرات الجذرية موجودة في جذور معظم النباتات الأرضية ، بينما الغالبية العظمى من النباتات المائية تكون خالية من الشعيرات الجذرية . غير أنه لو تركت جذور نبات بري – كالذرة – لتنمو في بيئة مائية فإن الجذور المتكونة عندئذ تكون خالية من الشعيرات الجذرية . وعلى العكس من ذلك فإنه لو نقل نبات مائي مثل إيلوديا *Elodea Canadensis* وترك لينمو في بيئة طينية فإن ذلك يؤدي إلى تحفيز الجذور على تكوين الشعيرات في هذا النبات المائي الذي تخلو جذوره من الشعيرات عند نموه في البيئة المائية .

وتنشأ الشعيرات الجذرية عن طريق تمدد الجدار الخارجي لخلية البشرة مكوناً أنبوباً ضيقاً ذا جدار خلوي رقيق جداً يمتد إليه البروتوبلازم ليبطن الجدار بطبقة رقيقة أيضاً كما تتجه النواة إلى وسط الأنبوب أو طرفه . ويتألف جدار الجزء الأنبوبي من المواد البكتية Pectic substances ومادة الكالوس Callose – وهي مادة كاربوهيدراتية متعددة السكر Polysaccharides إضافة إلى السليلوز Cellulose . ويصبح للشعيرة فجوة كبيرة نسبياً . وتقوم الشعيرة الجذرية بوظيفتها لوقت قصير عادة بعده تتمزق ثم تسقط أو تتحلل لحل محلها شعيرات أخرى حديثة في مقدمة الجذر بجوار منطقة الاستطالة وذلك أثناء استمرار الجذر في النمو وبذلك تتدرج الشعيرات من حيث العمر بحيث تكون الشعيرات الحديثة أقرب إلى قمة الجذر . وتبعاً لذلك تواجه منطقة الشعيرات تربة جديدة باستمرار . أما المنطقة التي تذوى بها الشعيرات فقد تتسوبر فيها خلايا البشرة وفي حالات كهذه تستطيع طبقة البشرة أن تصمد لفترة طويلة متحولة هي ذاتها إلى طبقة القشرة الخارجية Exodermis كما هي الحال في جذور بعض النباتات التي لا تمارس التغلظ الثانوي . ولكن ما يحدث في معظم الأحيان هو أن تتمزق خلايا البشرة وتتسوبر خلايا الطبقة التي تحتها لتكون طبقة القشرة الخارجية .

وفي بعض السحلبيات الاستوائية Tropical Orchids التي تعيش فوق أشجار Epiphytes والتي لها جذور هوائية تحتوي تلك الجذور على منطقة خارجية تقع خارج طبقة القشرة الخارجية مباشرة تسمى البرقع velamen وتمثل بشرة عديدة الطبقات Multiseriate or multiple epidermis إذ أنها تنشأ من البشرة الأولية عن طريق انقسامات محيطية periclinal divisions متتالية ، وبذلك يمكن اعتبار هذه المنطقة من حيث نشوئها مماثلة لطبقة البشرة في الجذور العادية . ونسيج الفيلامين يتكون من طبقة واحدة إلى عدة طبقات من الخلايا ، وتحدها من الداخل طبقة القشرة الخارجية . والخلايا محكمة التركيب غير حية ذات جدر ثانوية مغلظة من الداخل بتغلظ حلزوني أو شبكي وخلايا الطبقة الخارجية منها تحتوي جدرها الخارجية على نقر دقيقة . وتمتلئ هذه الخلايا بالهواء في وقت الجفاف أما مع وجود الرطوبة سواء عن طريق المطر أو الندى فإن خلايا البرقع تمتلئ بالماء ولذلك كان يعتقد أن البرقع وظيفة امتصاصية كتلك التي لطبقة الشعيرات الجذرية في الجذور العادية إلا أن البحوث الحديثة أثبتت بأن خلايا البرقع بالإضافة إلى خلايا الاكسودرمس تكاد تكون غير منفذة للماء وبعض الأملاح مما يحمل على الاعتقاد بأن لطبقة البرقع وظيفة وقائية فهي بتغلظ جدرها وتسوبرها تصبح قادرة على حماية الجدار الهوائي من فقدان مائه خلال أنسجة القشرة ولاسيما مع وجود طبقة القشرة الخارجية ذات الجدر المسوبرة أيضاً .



الشكل (٦-١): (أ) مقطع مستعرض في الجزء المركزي من جذر الشقيق وهو من ذوات الفلقتين ، (ب) خلية من خلايا القشرة الداخلية توضح امتداد شريط كاسبر (جـ) جزء من مقطع مستعرض في جذر الذرة .

٢- القشرة Cortex :

تتسم القشرة في الجذور عادة بأتساعها إذا ما قورنت بقشرة السيقان ويرجع هذا أساساً إلى تمركز الأنسجة الدعامية بما في ذلك أنسجة الخشب في وسط الجذر ليصبح الجذر قادراً على مقاومة عوامل الشد التي يتعرض لها . ولذلك تتميز السيقان الأرضية كالرايزومات وغفيرها بسعة القشرة لتعرضها لنفس المؤثرات الميكانيكية التي تتعرض لها الجذور . كما أن الجذور التي تتعرض لعوامل الضغط كتلك التي تتعرض لها السيقان بصفة عادية تتميز بتواجد الأنسجة الدعامية للخارج كما هو الحال في السيقان . وحينئذ تكون ذات نخاع واسع مثل الجذور الدعامية في التين البنغالي .

ونظراً لأتساع القشرة في الجذور بشكل عام فإنها قد تقوم بوظيفة الادخار ويختزن بها بعض المواد كالنشا . هذا فضلاً عن تلك الجذور التي تقوم بعملية التخزين كمهمة أساسية حيث تكون القشرة فيها لحمية ، ويبلغ سمكها عدة أمثال سمك العمود الوعائي .

وفي الجذر الحديث تبدو القشرة كمنطقة واسعة ذات خلايا كبيرة ومستديرة أو متساوية الأبعاد بحيث تضم فيما بينها مسافات بينية واسعة ذات أهمية خاصة بالنسبة لعملية التنفس . وفي النباتات المائية تتسع المسافات البينية في الجزء الداخلي من القشرة بحيث يتكون في ذلك الجزء نسيج كامل

للتهوية . وعند وجود الشعيرات الجذرية تتكون القشرة كلية من خلايا برنكيمية أما بعد ذبول طبقة الشعيرات فتتسوبر عادة خلايا الطبقة الخارجية من القشرة لتكون طبقة القشرة الخارجية .وقد تتسوبر بالإضافة إلى الطبقة الخارجية عدة طبقات أخرى بحيث تصبح الاكسودرمس عديدة الطبقات قادرة على القيام بحماية الجذر . وتتميز خلايا القشرة الخارجية المسوبرة عن خلايا الفلين باحتواء جدرانها على نقر غير موجودة بجدران خلايا الفلين . وتخلو القشرة في الجذور من الخلايا الكولنكيمية إلا أنها قد تحتوي على الألياف كنسيج دعامي . وفي كثير من الأحيان يلي الاكسودرمس من الداخل منطقة مستمرة أو مجموعات من الخلايا السكلرنكيمية Sclerenchyma . والقشرة تدوم لفترة طويلة في جذور الفلقة الواحدة والتريديات والنباتات العشبية من ذوات الفلقتين أما في ذوات الفلقتين الخشبية وعاريات البذور حيث يحدث تغلظ ثانوي فالقشرة سرعان ما تتمزق نتيجة هذا التغلظ وتقوم طبقة البريدرم بعد ذلك بمهمة وقاية الجذر .

وتعتبر طبقة القشرة الخارجية التي تتكون نتيجة سوبرة الطبقة تحت البشرة بعد تهتك الشعيرات الجذرية الطبقة الأولى للقشرة وهي تشبه طبقة القشرة الداخلية Endodermis إلى حد كبير من حيث التركيب ومن حيث الوظيفة .

فقد تتغلظ جدرها القطرية فقط أو قد تتغلظ الجدر القطرية والجدر المماسية أيضاً وحينئذ يمكن تمييز نوعين من الخلايا : خلايا مستطيلة نوعاً ما مسوبرة الجدر . وخلايا قصيرة قليلة العدد غير مسوبرة الجدر تعتبر أحياناً خلايا مرور Passage cells ، وينتشر وجود طبقة الاكسودرمس في عاريات النذور ومغطاة البذور ولكنها تكاد لا توجد في النباتات الوعائية الواطئة كما أنها تكاد تكون موجودة بصفة مستمرة في ذوات الفلقة الواحدة .

ويحد القشرة من الداخل طبقة القشرة الداخلية Endodermis التي تعتبر آخر طبقة للقشرة من الداخل تليها الدائرة المحيطية مباشرة . والقشرة الداخلية واضحة عادة بالجذور خلافاً لما عليه الحال بالساق ، وتكاد تختفي تماماً بحصول التغلظ الثانوي . وتبدو أهمية هذه الطبقة في الجذر الابتدائي في منطقة الامتصاص حيث يحتوي الجدار الثانوي على مادة يعتقد أنها سوبرين أو كيوتين أو ما شابه ذلك بشكل شريط يمتد حول الخلية داخل الجدر القطرية Radial wall والمستعرضة ويطلق على هذا الشريط مصطلح شريط كاسبر Casparian strip وهو جزء من الجدار الابتدائي وليس مجرد تغلظ للجدار إذ أن السوبرين Suberin يتخلل الصفيحة الوسطى ذاتها . ويكون البروتوبلاست ملتصقاً بشريط كاسبر بحيث لا يصبح المرور خلال القشرة الداخلية ممكناً إلا عن طريق السايتوبلازم فقط . وهناك نوعان من القشرة الداخلية : نوع رقيق الجدار تمتد فيه الأشرطة الكاسبرية حول الجدر القطرية والمستعرضة أو الطرفية ويسمى هذا النوع الابتدائي وهو الأكثر شيوعاً ويوجد بين التريديات وبعض ذوات الفلقتين . أما النوع الآخر من القشرة الداخلية فسميك الجدار حيث تتغلظ فيه الجدر المماسية الداخلية Inner Tangential Walls بالإضافة إلى الجدر القطرية وفي هذه الحالة يترسب السوبرين على الجدار الابتدائي بما في ذلك الأشرطة الكاسبرية وهذا النوع يسمى

القشرة الداخلية الثانوية Secondary endodermis . وفي بعض الأحيان تتغلظ جميع جدر الخلية وقد يصل التغلظ في بعض الحالات إلى درجة بحيث يضيق الفراغ الخلوي إلى حد كبير . وفي حالة وجود القشرة الداخلية الثانوية كثيراً ما تبقى بعض الخلايا المنفردة رقيقة الجدر ويطلق عليها في هذه الحالة مصطلح خلايا المرور Passage cells ، وهذه الخلايا تقع عادة مقابل عناصر الخشب الأول ، ويظهر بها التنقر بصورة غزيرة على جدرها القطرية والمماسية ويشيع وجود القشرة الداخلية الثانوية في جذور ذوات الفلقة الواحدة .

٣- الاسطوانة الوعائية Vascular cylinder :

يحد الأسطوانة الوعائية من الخارج الدائرة المحيطية Pericycle التي تعتبر الطبقة الخارجية من الأسطوانة الوعائية تليها مباشرة إلى الداخل الأنسجة الوعائية .

وتتميز الدائرة المحيطية في الجذر بأنها أضيق نسبياً تتكون عادة من طبقة واحدة أو طبقتين من الخلايا البرنكيمية ويندر أن تكون من عدة طبقات كما في جذر نبات الصبير Opuntia . الدائرة المحيطية تكون عادة مستمرة إلا أنها قد تصبح غير متصلة عندما تتاخم الأذرع الخشبية مباشرة طبقة الاندودرمس . وكثيراً ما تتعرض بعض خلايا هذه الطبقة إلى فقدان التميز إذ سرعان ما تستعيد قدرتها على الانقسام وتصبح منشئة لتراكيب جديدة نتيجة تكوينها لمرستيمات ثانوية ، فمنها تنشأ الجذور الجانبية ومنها يتكون الكمبيوم الفليني Phellogen or Cork cambium الذي تنتج عنه بعد ذلك طبقة البريدرم ، كما أن جزء من الكمبيوم الوعائي ينشأ منها .

وخلايا الدائرة المحيطية البرنكيمية قد تقوم بوظيفة الخزن كسائر الخلايا البرنكيمية كما أنها قد تدخر بخلايا أو قنوات إفرازية كما في جذور نباتات العائلة الخيمية Umbelliferae . وفي الجذور المسننة قد تتغلظ خلايا البريسيكل بمادة اللكنين أو السوبرين كما هي الحال في جذور نبات السمار *Juncus* .

٤- الأنسجة الوعائية Vascular tissue :

ينتظم الخشب واللحاء في الجذر الابتدائي انتظاماً قطرياً بمعنى أن الخشب واللحاء يقعان على أنصاف أقطار متبادلة وذلك بالإضافة إلى أن عناصر الخشب الأول تتجه للخارج أما الخشب التالي فيتجه للداخل أي أن الخشب بكون حينئذ خارجي الخشب الأول Exarch . وفي جذور ذوات الفلقتين يحتل نسيج الخشب في أغلب الأحوال مركز الجذر أو قد يفسح المجال لنخاع ضيق وتتخذ عناصر الخشب عندئذ هيئة عمود مركزي يتجه بحواف بارزة نحو الدائرة المحيطة تحتضن فيما بينها مجموعات اللحاء في حين يفصل بين اللحاء والخشب نسيج برنكيمي . أما في جذور ذوات الفلقة الواحدة فيوجد عادة نخاع واسع نسبياً ولاسيما في النباتات العشبية منها .

ويختلف عدد الأنواع الخشبية اختلافاً كبيراً في المجموعات المختلفة من النباتات . ففي جذور ذوات الفلقتين يكون العدد صغيراً إذ يتراوح ما بين ذراعين وثمانية أذرع . ويندر أن يصل العدد إلى

١١ أو ١٢ ذراعاً كما هي الحال في الجذور الهوائية لنبات التين البنغالي . أما في جذور ذوات الفلقة الواحدة فقد يصل عدد الأذرع الخشبية إلى ١٥ أو ٢٠ مع وجود بعض الحالات التي يظهر بها عدد محدود من الأذرع الخشبية كجذر نخلة التمر Date plam . ولقد تبين أن عدد الأذرع الخشبية بالجذر قد يكون ثابتاً في بعض الأنواع وقد يتغير في أنواع أخرى . كما أن هذا التغيير قد يكون محدوداً بمعنى أن تظهر الجذور ثنائية الأذرع Diarch أو رباعية الأذرع Tetrarch في بعض الأنواع ، وثلاثية Triarch أو سداسية Hexarch في أنواع أخرى . ولذلك يوصف الجذر بأنه ثنائي الأذرع مثل جذر البنجر *Beta vulgaris* وجذر الفجل *Raphanus* أو ثلاثي الأذرع مثل جذر البزاليا *Pisum* أو رباعي الأذرع مثل جذر الباقلاء *Vicia faba* وجذر الشقيق *Ranunculus* وجذر القطن . أو خماسي الأذرع مثل جذر العنب *Vitis* أو عديد الأذرع Polyarch مثل جذر التين البنغالي . كما تبين أنه نتيجة لقلة الأذرع الخشبية بذوات الفلقتين فإن عدد العناصر الخشبية في الذراع الواحدة يكون كبيراً إذا ما قورن بعددها في الأذرع الخشبية بجذور ذوات الفلقة الواحدة . وفي عاريات البذور والتريديات تحتوي الجذور على عدد قليل من الأذرع الخشبية .

وفي الذراع الخشبي الواحد توجد العناصر الوعائية الضيقة للخارج هي تمثل الخشب الأول Protoxylum الذي تنضج عناصره بصورة مبكرة ، أما الداخلية فتكون الخشب التالي Metaxylem الذي تنضج عناصره بصورة لاحقة . ويتكون الخشب الأول من عناصر حلزونية Spiral أو حلقية Annular أو سلمية Scalariform قادرة على التمدد والاستطالة أثناء نمو الجذر في حين يتكون الخشب التالي من عناصر شبكية أو منقرة أقل قابلية على التمدد وتزداد أتساعاً باقترابها من المركز وقد تحتوي جدرها الثانوية على نقر مضفوفة . وينضج اللحاء بنفس طريقة الخشب بحيث تتواجد عناصر اللحاء الأول Protophloem للخارج وعناصر اللحاء التالي Metaphloem للداخل .

أما الخلايا الواقعة بين الخشب واللحاء والتي تكون عادة ذات طبيعة برنكيمية فتقوم – في الجذور التي يحدث بها تغلظ ثانوي – باستعادة قدرتها على الانقسام وتكوين كمبيوم وعائي ينتج عن نشاطه ظهور الأنسجة الثانوية Secondary tissues . أما في الجذور التي لا يحدث بها مثل هذا التغلظ فإن هذه الخلايا قد تبقى برنكيمية دائمة أو تتحول إلى خلايا سكلرنكيمية Sclerenchyma .

التركيب الداخلي للساق Internal structure of stem :

يعتبر التركيب الداخلي للسيقان بوجه عام معقداً إلى حد ما إذا ما قورن بالتركيب الداخلي للجذور نظراً لان الساق تحمل الأوراق والفروع بالإضافة إلى الأعضاء التكاثرية . وهي لذلك تنقسم إلى عقد وسلاميات وإن لم يكن ذلك بشكل واضح في بعض الأحيان . ورغم ذلك يمكن اعتبار التركيب العام متشابهاً في الحالتين نظراً لوجود الأنظمة النسيجية الرئيسية الثلاثة وهي الضام والأساسي والوعائي في كل من الجذر والساق على السواء . على أن توزيع هذه الأنظمة النسيجية يختلف بصورة رئيسية في الجذور عنه في الساق

ولاسيما بالنسبة للأنسجة الوعائية . ففي السيقان بوجع عام يوجد الخشب واللحاء الابتدائيان على أنصاف أقطار واحدة ، ويكون الخشب الابتدائي داخلي الخشب الأول Endarch على العكس مما هو شائع بالجذور حيث يكون الخشب الابتدائي خارجياً والخشب الأول Exarch ، ويمكن مقارنة التركيب الداخلي للسيقان الحديثة بين المجموعات المختلفة من النباتات على أساس توزيع الأنسجة الأساسية والأنسجة الوعائية . ففي الصنوبريات وذوات الفلقتين تبدو الأنسجة الوعائية عادة بشكل أسطوانة يحدها من الخارج منطقة القشرة ومن الداخل منطقة النخاع ، كما تبدو الاسطوانة الوعائية مجزأة إلى حزم متقاربة ومرتبة في حلقة تفصلها عن بعضها الأشعة النخاعية Pith rays . وهي نسيج برنكيمي ينتمي إلى النسيج الأساسي . أما في معظم ذوات الفلقة الواحدة Monocolylecons وفي كثير من السراخس ferns وفي بعض النباتات العشبية من ذوات الفلقتين Some herbaceous Dicots فلا تبدو الحزم الوعائية في المقطع العرضي منتظمة في حلقة واحدة وإنما في عدة حلقات أو أن تكون مبعثرة دون انتظام خلال النسيج الأساسي Ground tissue بشكل واضح إلى قشرة Cortex ونخاع Pith وأشعة نخاعية Pith rays .

ويمكن تتبع الأنسجة المختلفة التي تتكون منها ساق حديثة من الخارج إلى الداخل كما يلي :

١- البشرة Epidermis :

تتكون البشرة عادة من طبقة واحدة مستمرة من الخلايا لا تخترقها سوى فتحات الثغور stomata التي تقوم بوظيفة تبادل الغازات بين الأنسجة الداخلية للنبات والوسط الخارجي . وهي تقوم أساساً بمهمة حماية النبات ضد الفقدان الزائد للماء وضد التضرر من المؤثرات الخارجية .

وتتغلظ الجدر الخارجية لخلايا البشرة بطبقة الكيوتكل Cuticle أو الأدمة فتصبح أقدر على القيام بوظيفتها ، كما أنها قد تحمل أنواعاً مختلفة من الزوائد أو الشعيرات نتيجة لامتداد خلاياها على هذه الصورة . وخلايا البشرة خلايا حية قادرة على استعادة قدرتها على الانقسام لتساير زيادة الساق في الطول أو في السمك وذلك عن طريق الانقسامات القطرية . يبدو هذا أكثر وضوحاً وأهمية في تلك السيقان التي يحدث بها تكوين البشرة المحيطة (البريدرم) من البشرة في وقت متأخر .

٢- القشرة Cortex :

تكون القشرة في السيقان ضيقة عادة إذا ما قورنت بقشرة الجذور في السيقان الخضر باحتوائها على نسيج كلورنكيمي قد يمتد كمنطقة مستمرة تحت البشرة مباشرة أو يتواجد في مناطق محددة يتبادل فيها مع مجموعات من الخلايا الكولنكيمية كما في ساق الينسون *Pimpinella anisum* وغيره من نباتات الفصيلة الخيمية Umbelliferae أو السكلرنكيمية كما في ساق الذرة وغيرها من النجيليات Grasses . والنسيج الكلورنكيمي قد يكون من خلايا برنكيمية عادية من حيث الشكل كما في ساق السفندر *Ruscus sp.* إلا أن بعض السيقان تحتوي على خلايا عمادية حقيقية وذلك عندما تقوم هذه السيقان بعملية التمثيل الضوئي Photosynthesis .

بصورة رئيسية نتيجة لضمور الأوراق أو لعدم وجودها في سيقان كازورينا *Casuarina* وستاتيس *Statice sp.* . أما النسيج الكولنكيمي في القشرة فقد يتخذ شكل طبقة مستمرة كما في ساق عباد الشمس *Helianthus annuns* والزينيا *Zinnia* وغيرها . ولكنه غالباً ما يتركز في الأركان أو الزوايا أو ذلك في السيقان المضلعة مثل ساق الباقلاء *Vicia faba* والليف *Luffa sp.* والقرع *Cucurbita sp.* وغيرها .

ويعتبر النسيج الكولنكيمي النسيج الدعامي الأساسي والملائم في كثير من السيقان الحديثة ولاسيما العشبية منها حيث تتعرض هذه السيقان لعوامل الدفع فبفضل هذا النسيج الدعامي ذي القدرة على مقاومة الانثناء تستطيع الساق أن تستعيد وضعها القائم مباشرة بمجرد زوال هذه العوامل . إلا أنه في حالات كثيرة ولاسيما في النجيليات يقوم بالوظيفة الدعامية نسيج سكلرنكيمي يقع في المنطقة الخارجية من قشرة الساق .

ونظراً لعدم وجود طبقة القشرة الداخلية endodermis بصورة متميزة في سيقان معظم النباتات الراقية ، فإنه من الصعب في أكثر الأحيان تحديد الطبقة الداخلية للقشرة ، خلافاً لما هو ملاحظ في الجذر حيث توجد القشرة الداخلية نموذجية حاوية على أشرطة كاسبر Casparian strips . وفي بعض النباتات العشبية تكون الطبقة الداخلية للقشرة متميزة عما يجاورها وذلك باحتوائها على حبيبات نشوية ، وفي حالات كهذه يطلق على مثل هذه الطبقة مصطلح الغمد النشوي Starch sheath كما في ساق نبات منقار الطير *Delphinium sp.* وتكون الخلايا عندئذ رقيقة الجدر وفي بعض سيقان ذوات الفلقتين توجد طبقة قشرة داخلية حقيقية تظهر بها أشرطة كاسبرية واضحة يمكن مشاهدتها على سبيل المثال في ساق عباد الشمس وساق اللايتني (أبو خنجر) *Tropaeolum sp.* . وقد يعثر أيضاً على طبقة قشرة داخلية حقيقية بين النباتات الوعائية الواطئة مثل سرخس بوليبوديوم *Polypodium* وذيل الحصان *Equisetum sp.* . وكذلك في بعض النباتات المائية حيث يحدث الامتصاص خلال السيقان والجذور معاً . وقد أصبح من المفضل عدم استعمال مصطلح القشرة الداخلية إلا في الحالات التي تتميز فيها الطبقة الداخلية من القشرة بتغلظات جدارية خاصة ممثلة بأشرطة كاسبر Casparian strips .

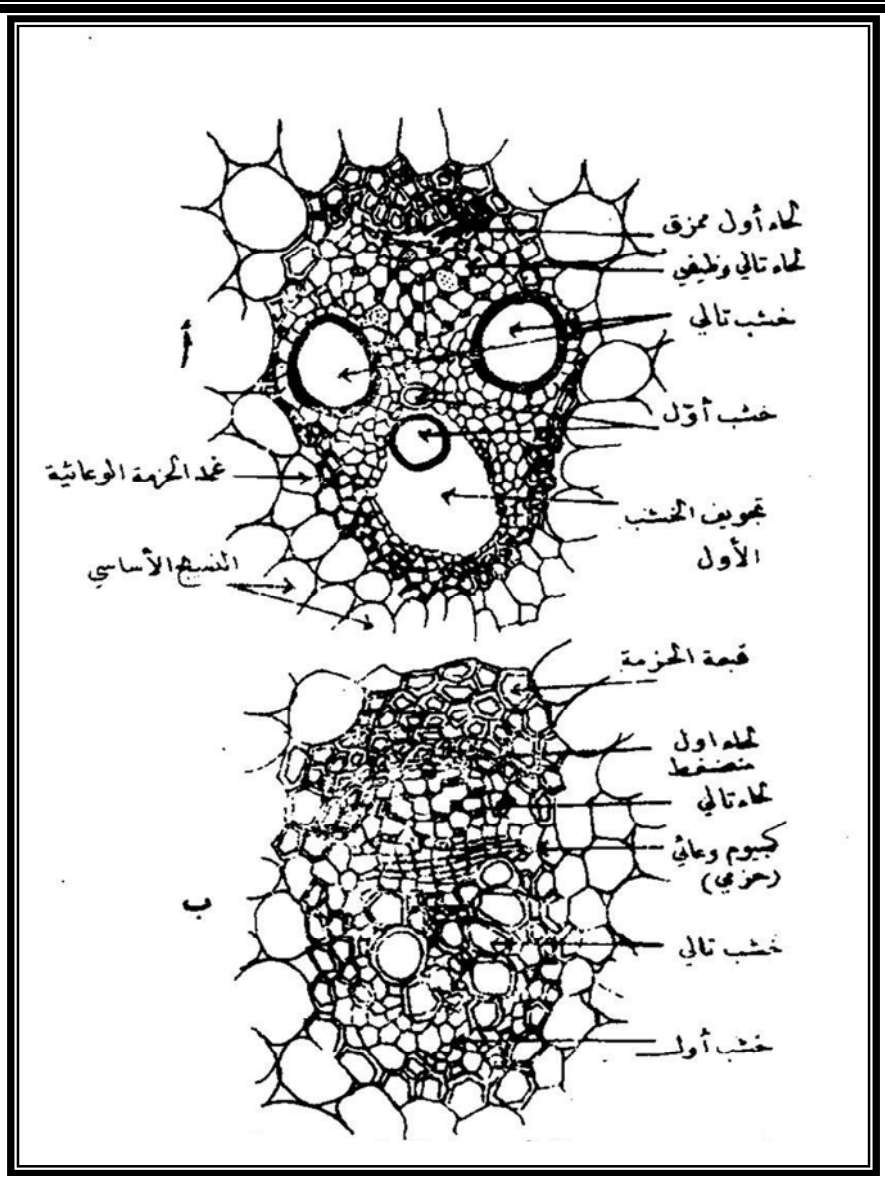
٣- الأسطوانة الوعائية Vascular Cylinder :

يحد الاسطوانة الوعائية من الخارج طبقة الدائرة المحيطية أو البريسيكل Pericycle وتكون هذه الطبقة واضحة ومحددة إذا كانت منطقة القشرة محددة من الداخل بطبقة أندودرمس واضحة وفيما عدا ذلك يتعذر تحديد طبقة البريسيكل إذ تمتزج مع القشرة كما هي الحال في كثير من عاريات البذور Gymnosperms ومغطاة البذور Angiosperms . وتتكون طبقة البريسيكل عادة وذلك في حالة تميزها من عدة طبقات من خلايا برنكيمية أو سكلرنكيمية أو كلتيهما وذلك على هيئة حلقات مستمرة أو على شكل مجموعات تنتظم مع الحزم الوعائية . وفي بعض الحالات مثل بعض النباتات المائية والنباتات الوعائية الواطئة يتكون البريسيكل من طبقة واحدة أو طبقتين فقط . كما أن

عناصر اللحاء قد تمتد إلى الاندودرمس وحينئذ تصبح طبقة البريسيكل متقطعة . وقد تقوم طبقة البريسيكل البرنكيمية بوظيفة اختزانية كسائر الأنسجة البرنكيمية العادية كما أنها قد تضم خلايا أو قنوات إفرازية .

أما الأنسجة الوعائية Vascular tissues فتظهر في ذوات الفلقتين عادة على شكل أسطوانة بين القشرة والنخاع وقد تكون هذه الاسطوانة مستمرة في المقطع المستعرض إلا أنها في معظم الأحيان تبدو متقطعة عن طريق الأشعة النخاعية إلى وحدات تسمى عادة الحزم الوعائية Vascular bundles . وقد تبين أن الأسطوانات المستمرة أنما هي في حقيقة الأمر مكونة من حزم وعائية متقاربة . وفي بعض النباتات مثل البرسيم *Trifolium sp.* توجد الأنسجة الوعائية في الجزء السفلي من الساق على هيئة أسطوانة مستمرة في حين توجد في الجزء العلوي على هيئة حزم منفصلة . أما في ذوات الفلقة الواحدة فقد تترتب الحزم الوعائية في حلقة غير منتظمة . غير أن الحالة الأكثر شيوعاً هي وجودها مبعثرة داخل الأسطوانة أو خلال النسيج الأساسي للساق بصورة شاملة . كما أن الكثير من ذوات الفلقة الواحدة تتحدد في سيقانها منطقة قشرية واضحة محددة من الداخل بغمد نشوي مؤلف من طبقة واحدة . أما الحزم الوعائية فتنتشر بلا نظام في الجزء الداخلي والذي يمثل الاسطوانة الوعائية . وفي بعض النباتات الأخرى من ذوات الفلقة الواحدة كالنجيليات لا تتميز في سيقانها قشرة وأسطوانة وعائية بل توجد الحزم الوعائية مبعثرة خلال الجزء الأكبر من الساق .

وبخلاف ما هو شائع بين الجذور يوجد الخشب واللحاء في الساق عادة على أنصاف أقطار واحدة مع وجود الخشب للداخل واللحاء للخارج . ويسمى هذا الترتيب للأنسجة الوعائية باسم حزم وعائية جانبية Collateral vascular bundles (شكل ٧-١) . وفي هذه الحزم يكون الخشب دائماً داخلي الخشب الأول Endarch . وفي بعض أنواع عوائل معينة كالباذنجانية Solanaceae والقرعية Cucurbitaceae يوجد بالإضافة إلى اللحاء الخارجي لحاء أخر داخلي إلى الداخل من الخشب وحينئذ يطلق على الحزمة أسم حزمة وعائية ذات جانبين Bicollateral vascular bundle . وفي الحزم الوعائية الجانبية بوجه عام يمكن ملاحظة انتظام أوعية الخشب في سيقان ذوات الفلقتين على شكل صفوف في حين تترتب على شكل حرف Y أو حرف V في معظم ذوات الفلقة الواحدة ولاسيما سيقان النجيليات حيث يحتل وعاء الخشب التالي الواسعان موضع ذراعي الحرف أما الخشب الأول Protoxylem فيمثل ساق الحرف Y وغالباً ما ينحل تاركاً قناة أو تجويفاً يدعى تجويف قناة الخشب الأول Protoxylem lacuna . كما توجد بالإضافة إلى ذلك قبعة من الألياف تحيط بلحاء الحزمة من الخارج وقد تمتد لتحيط بالحزمة كلها مكونة غمداً يطلق عليه غمد الحزمة Bundle sheath كما هي الحال في معظم ذوات الفلقة الواحدة Monocotyledons .



الشكل (٧–١): (أ) حزمة وعائية مغلقة من ساق نبات الذرة ، (ب) حزمة مفتوحة جانبية من ساق نبات الشقيق – وهو من ذوات الفلقتين .

وقد تنتظم الأنسجة الوعائية في حزم وعائية من النوع المركزي Concentric (شكل ٧–١ جـ) حيث يحيط اللحاء بالخشب وتسمى حينئذ مركزية الخشب Amphicribral كما في سيقان السرخسيات Pteridophyta وبعض النباتات المائية Hydrophytes (Water Plants) أو يحيط الخشب باللحاء وتسمى حينئذ مركزية اللحاء Amphivasal كما في رايزومات بعض ذوات الفلقة مثل نبات السعد *Cyperus* وساق دراسينا *Dracaens* .

والى الداخل من الأنسجة الوعائية يوجد بقية النسيج الأساسي على شكل نخاع برنكيمي يبدو أحياناً التغلظ باللكنين والتنقر في بعض خلاياه . ونظراً لتبعثر الحزم الوعائية بلا نظام في كثير من سيقان ذوات الفلقة الواحدة لذلك يصعب التمييز بين القشرة والنخاع والأشعة النخاعية ويطلق على الجميع لفظ النسيج الأساسي Ground tissue .

التركيب الداخلي للورقة Internal structure of leaf :

الورقة في أبسط تعريف لها هي جزء منبسط من جسم النبات ينشأ عند العقدة ويحمل في أبطه برعماً ومتكيف في الحالات النموذجية شكلاً وتركيباً للقيام بوظيفتي التمثيل الضوئي والنتح . وتعتبر الورقة في النباتات الراقية العضو المتخصص لهاتين العمليتين . ففي بعض النباتات الواطئة الحاوية على الكلوروفيل كالطحالب يقوم الجزء الأكبر من جسم النبات بعملية التمثيل الضوئي نظراً لعدم وجود أعضاء متخصصة لذلك . وفي بعض النباتات الخضر الراقية – كالنباتات العشبية – تزود الساق أيضاً بأنسجة خضراء ، وبذلك تشترك مع الأوراق في عملية التمثيل الضوئي . كما أن هناك نباتات راقية تعيش في بيئات خاصة تضمر أوراقها وتتحور سيقانها لتقوم هي ذاتها بهذه العملية كما في السفندر *Ruscus* . أما في النباتات المعمرة فتتخصص الأوراق لعملية التمثيل الضوئي بالإضافة إلى عملية النتح . وفي هذه الحالة تكون الورقة مكيفة تركيبياً للقيام بهاتين الوظيفتين .

ورغم أن الورقة تشترك مع الساق في احتوائها إلى حد كبير على نفس الأجهزة النسيجية الرئيسية وهي الضام Dermal tissue system والوعائي Vascular tissue system والأساسي Ground tissue system إلا أنهما تختلفان من حيث التوزيع النسبي لهذه الأنسجة ، ويرجع هذا الاختلاف إلى طبيعة وظيفة كل منهما . فالوضع الرأسي للأنسجة الوعائية ووفرة الأنسجة الدعامية في الساق هما من مستلزمات وظيفتي التوصيل والتدعيم المناطة بهما ، في حين تتميز الورقة بوفرة النسيج الأخضر وأتساع السطح وامتداد أنسجة التهوية داخلها كمستلزمات لعمليات التمثيل والتبادل الغازي .

❖ نشأة الورقة Leaf development :

تنشأ الورقة من المرستيم القمي للساق Shoot apex كنتوء صغير يطلق عليه مصطلح المسند الورقي leaf buttress ، فيتحول إلى الورقة الأولية أو البداية الورقية Leaf primordium وتتميز أول معالم نشوء الورقة في النباتات الراقية بحصول انقسامات محيطية Periclinal dividions في الطبقة المغلفة تحت السطحية غالباً .وينتج عن ذلك تكوين المسند الورقي Leaf buttress يتحول تدريجياً إلى البداية الورقية Leaf primordium (شكل ٣-٤ ب) ، ويكون الانقسام في بادئ الأمر قمياً Apical ولكنه سرعان ما يستمر قمياً وحافياً Harginal إلى أن تصل الورقة إلى كامل حجمها .

وفي عاريات البذور ومغطاة البذور تصل الورقة إلى كامل نضجها بعد فترة قصيرة ، إلا أنها في السرخسيات قد تستمر في نموها القمي بعض الوقت رغم وصول قاعدتها إلى تمام نضجها . وفي معظم النباتات تنمو الأوراق من البراعم إلى ما بعد القمة النامية وتغطيها وتقوم بحمايتها . وفي حالة البراعم الشتوية Winter buds تتحور الأوراق الخارجية إلى حراشيف برعمية Bud scales تحتفظ البرعم حتى الربيع التالي . وحينئذ تتفتح البراعم وتنمو الأوراق إلى كامل حجمها . وخلال تكشف البدايات الورقية تتميز منطقتان : منطقة تمثل جزءاً قاعدياً ومنطقة تمثل مبدأ النصل الورقي

. والجزء القاعدي قد يصبح سميكاً ولحمياً ليكون ما يسمى الوسادة Pulvinus ، أو قد يكون غمداً ورقياً Leaf sheath كما في النجيليات ، أو قد يكون أذينات Stipules وذلك بالنسبة للأوراق المؤذنة Stipualte leaves في حين ينمو الجزء القمي إلى تركيب منبسط تمتد خلاله العروق ويتحول إلى نصل الورقة Leaf blade or Lamina وفي الأوراق المعنقة يتكون العنق Petiole ما بين النصل والقاعدة .

ويصاحب التميز الخارجي للورقة أثناء نشوئها تميز داخلي في أنسجتها فالطبقات السطحية على جهتي الورقة تتكشف نتيجة للانقسام المستمر إلى البشرة العليا Upper epidermis والبشرة السفلى Lower epidermis ، في حين تتكشف الأنسجة إلى الداخل من البشرة إلى النسيج المتوسط Mesophyll . وهذا النسيج قد يكون متجانساً ومكونا من نوع واحد من الخلايا كما هي الحال في أوراق النجيليات Gramineae أو قد يتميز إلى نسيج عمادي Palisade tissue ونسيج أسفنجي Spongy tissue كما هي الحال في نباتات البيئة المتوسطة mesophytes . ويتكشف الجزء المركزي من الورقة إلى الأنسجة الوعائية . وبذلك تتميز الورقة عند تمام نضجها داخلياً إلى البشرتين : البشرة العليا Upper epidermis والسفلى Lower epidermis والنسيج المتوسط Mesophyll والأنسجة الوعائية Vascular tissue ويمكن تتبع هذه الأنسجة بالتفصيل كما يلي :

١- البشرة Epidermis :

تحتوي البشرة في الورقة عادة على أكثر من نوع واحد من الخلايا . فقد تضم بالإضافة إلى الخلايا الاعتيادية للبشرة الخلايا الحارسة Guard cells ، والخلايا المساعدة Subsidiary cells والتي كثيراً ما تصاحب الخلايا الحارسة في العديد من النباتات والشعيرات البشرية Epidermal hairs . كما أن النجيليات (الحشائش) قد تحتوي علاوة على هذه الخلايا والتراكيب خلايا أخرى مثل الخلايا الفلينية Cork cells والخلايا السليلكية Sillica cells . وفي بعض ذوات الفلقة الواحدة توجد أيضاً خلايا خاصة تسمى الخلايا الحركية Motor cells تؤثر على انطواء الورقة وانبساطها تبعاً لتغير درجة الرطوبة في الجو المحيط بالنبات . كما ويوجد في بشرة بعض النباتات مثل التين المطاط *Ficus elastica* خلايا خاصة يطلق عليها خلايا البلورات المعلقة Lithocytes تتميز بوجود بلورات من نوع خاص تسمى البلورات المعلقة Cystolith . وتتميز الورقة بوجود الثغور بها على السطح السفلي فقط أو على السطح العلوي فقط أو السطحين السفلي والعلوي معاً حينئذ تكون أكثر انتشاراً عادة على السطح السفلي . إلا أن توزيعها قد يكون في بعض الحالات متساوياً على السطحين كما في الأوراق العمودية التي توجد في كثير من ذوات الفلقة الواحدة . وفي النباتات الأرضية Terrestrial plants تكون خلايا البشرة الاعتيادية خالية من الكلوروفيل عادة . أما في النباتات المائية Hydrophytes وفي بعض النباتات الوعائية الواطئة مثل كزبرة البئر *Adiantum* وبوليبوديوم *Polypodium* وكذلك في نباتات الظل Shade plants فتحتوي خلايا البشرة على كلوروفيل بدرجة ربما أكثر مما تحتها من أنسجة . أما بالنسبة للوظيفة

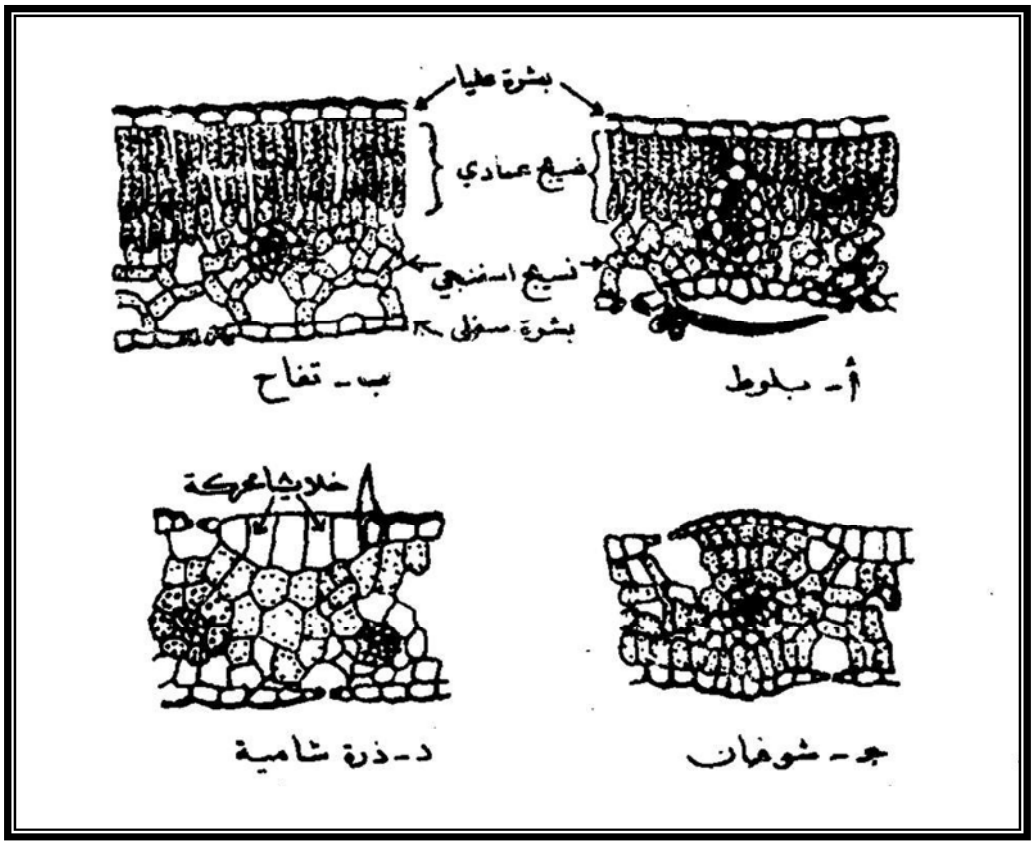
فالبشرة تكون طبقة واقية مستمرة فيما عدا فتحات الثغور وتقوم بصفة خاصة بصيانة الورقة ضد الفقدان المفرط للماء كما أنها تقوم أيضاً بمهمتها الدعامية كنسيج ضام له أهميته من هذه الناحية.

٢- النسيج المتوسط Mesophyll tissue :

يطلق لفظ النسيج المتوسط في الورقة على النسيج الأساسي الواقع بين بشرتي الورقة العليا والسفلى والذي يقوم بعد تكشفه بوظيفة معينة هي التمثيل الضوئي . يتكون هذا النسيج بصورة نموذجية من نسيج برنكيمي رقيق الجدران غزير البلاستيدات الخضر ويضم فيما بين خلاياه مسافات بينية واسعة (شكل ٨-١) . وفي كثير من النباتات – وبوجه خاص نباتات البيئة المتوسطة Mesophytes من ذوات الفلقتين – يتميز النسيج المتوسط عادة إلى نوعين من الخلايا البرنكيمية: برنكيمية عمادية Palisade parenchyma وبرنكيمية أسفنجية Spongy parenchyma وقد أطلق لفظ النسيج العمادي على النوع الأول من الخلايا نتيجة لكونها مستطيلة الشكل ومتراصة بصورة متوازية بجدر بعضها عموديا على سطح الورقة . أما الخلايا الأخرى فسميت بالنسيج الأسفنجي نتيجة لكونها غير منتظمة الشكل وتضم فيما بينها مسافات بينية بوفرة . ويوجد النسيج العمادي عادة في الجهة العليا من الورقة فقط إلا أنه قد يوجد في الجهتين العليا والسفلى كما في ورقة تين المطاط *Ficus elastica* والكسوب *Centaurea* مع وجود قدر قليل من النسيج الأسفنجي بينما وتوصف الورقة في هذه الحالة بأنها ذات وجهين Bifacial أما في حالة وجود الخلايا العمادية تحت سطح واحد فقط فتسمى أحادية الوجه Monofacial وبهذه الخاصية قيمة تصنيفية . وقد تنتظم الخلايا العمادية في صنف واحد أو أكثر . وفي الحالة الأخيرة قد تكون الخلايا متساوية في الطول في الصفوف المختلفة أو تصغر كلما اتجهت إلى الداخل . كما أن هناك بعض الحالات القليلة مثل ورقة *Thymelaea hirsuta* يوجد النسيج العمادي في الجهة السفلية فقط . وفي بعض ذوات الفلقتين مثل نبات الكافور *Eucalyptus* والعبل أو الرغل *Atriplex* يتكون النسيج المتوسط من نسيج عمادي فقط كما أن بعض الأوراق الأسطوانية مثل ورقة نبات هاكيا *Hakea* تحتوي أيضاً على نسيج عمادي فقط يحيط بالورقة كلها ويقع تحت البشرة . أما في ذوات الفلقة الواحدة – وعلى الأخص في النجيليات – فلا يتميز النسيج المتوسط بشكل واضح إلى نسيج عمادي ونسيج أسفنجي بل يكون هناك نوع واحد من الخلايا البرنكيمية غزيرة البلاستيدات وذات مسافات بينية واسعة . وخلايا النسيج العمادي بصورة عامة أسطوانية الشكل أو مستطيلة محكمة الانتظام بجوار بعضها بشكل يجعلها أكثر كفاءة للقيام بوظيفة التمثيل الضوئي إذ تنتظم البلاستيدات بفعل تأثير الضوء تحت الجدار مباشرة بصورة تجعلها تستفيد من الضوء الساقط على الورقة أقصى استفادة ممكنة . وقد تترتب الخلايا العمادية في طبقة أو طبقتين تتواجد مباشرة داخل البشرة أو طبقة تحت البشرة Hypodermis وتتخذ وضعها بحيث يكون محور الخلايا متعامداً مع سطح الورقة . وفي بعض الحالات قد تكون الخلايا موازية للمحور الرئيسي للورقة كما في ورقة نبات الوديا

Elodea . كما أنها في أحيان أخرى قد تكون الخلايا موازية لسطح الورقة ومتعامدة في نفس الوقت على المحور الرئيسي للورقة كما في نبات الكولونية *Freezia* والسوسن *Iris* وكلاديولس *Gladiolus* وقد تكون خلايا النسيج العمادي قمعية الشكل ومرتبة باتجاه فتحة القمع إلى السطح العلوي كما في أوراق الزنبق Lily . وفي أوراق الصنوبر Pinus وبعض المخروطيات لا يتميز النسيج المتوسط إلى عمادي وأسفنجي أنما تتخذ خلاياه شكلاً خاصاً إذ تنثني جدر الخلايا إلى الداخل على صورة بروزات تتراص عندها البلاستيدات وتصبح أيسر اتصالا بالهواء الموجود في المسافات البينية ويطلق على هذا النوع من النسيج العمادي أسم النسيج العمادي ذي الأذرع Armed palisade tissue . ويستحوذ النسيج العمادي على القسط الأكبر من الكلوروفيل ولذلك يبدو السطح العلوي عادة أكثر اخضراراً من السطح السفلي .

أما النسيج الأسفنجي فتتخذ خلاياه أشكالا مختلفة فقد تكون متساوية الأقطار Isodiametric أو مستطيلة Elongated ولكنها عادة غير منتظمة Irregular ذات أذرع ممتدة ومتصلة بحيث تكون شبكة من النسيج الأخضر الغني بالمسافات البينية يتعرض الجزء الأكبر من سطحه للغازات الموجودة بهذه المسافات البينية .



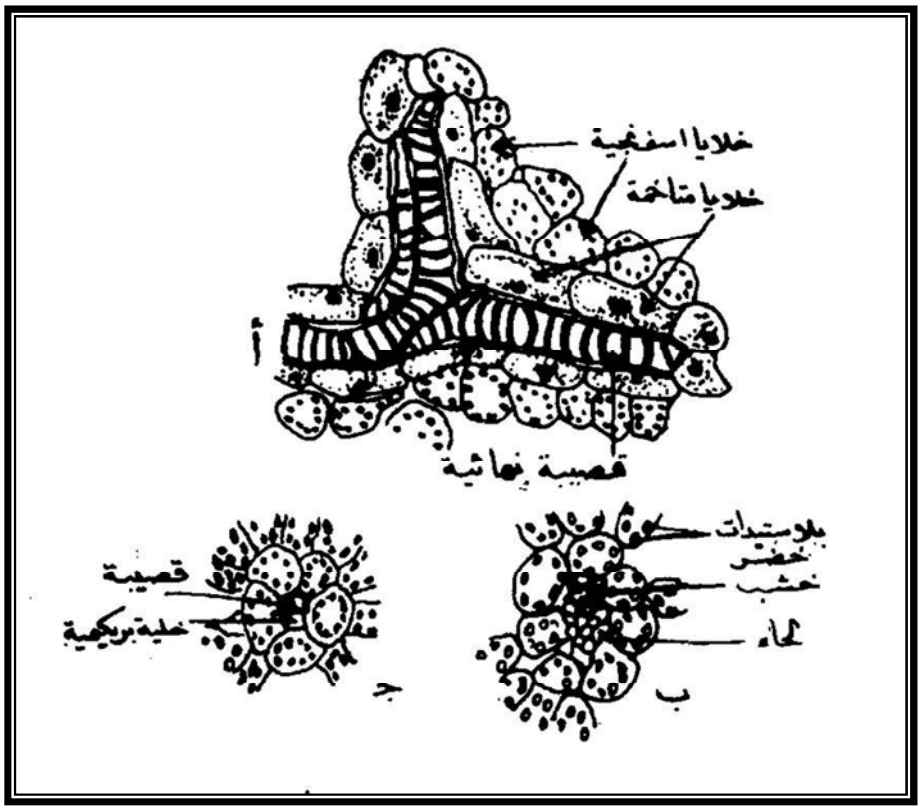
الشكل (٨-١) : مقاطع عمودية على النصل في أوراق بعض النباتات (أ ، ب) – من ذوات الفلقتين – يتميز النسيج الوسطي إلى نسيج عمادي ونسيج أسفنجي . (جـ ، ب) – من ذوات الفلقة الواحدة – حيث النسيج المتوسط غير متميز إلى خلايا عمادية وأسفنجية .

وفي حالات كثيرة كما في ورقة المطاط *Ficus elastica* والدفلة *Nerium* توجد مجموعات من الخلايا العمادية تلتقي أطرافها بخلية واحدة من النسيج الأسفنجي متصلة مباشرة بنسيج اللحاء وتسمي هذه الخلايا بالخلايا المجتمعة Collecting cells ويعتقد أنها تقوم بجمع الغذاء المتكون في النسيج العمادي ونقله إلى نسيج اللحاء .

٣- الأنسجة الوعائية بالورقة Vascular tissue of the leaf :

تتوزع الأنسجة الوعائية بالورقة بطريقة يعبر عنها بالتعرق Venation المشتقة من كلمة عرق vein . والعرق في الورقة قد يتكون من حزمة وعائية واحدة أو مجموعة من الحزم الوعائية . وقد تحتوي الورقة على عرق واحد فقط كما في الصنوبريات ، أما في مغطاة البذور فيوجد نوعان من التعرق : تعرق شبكي Reticulate venation وهو شائع بين ذوات الفلقتين وتعرق متوازي Parallel venation شائع بين ذوات الفلقة الواحدة . وفي التعرق الشبكي تتفرع وتتشابك العروق الرئيسية إلى أن تصل إلى تلك العروق الدقيقة المسماة بنهايات الحزم Bundle ends ، أما في التعرق المتوازي فتنتظم العروق الرئيسية بطريقة متوازية وتتصل ببعضها عن طريق العروق الصغيرة . ويمكن تمييز التعرق الشبكي في أوراق ذوات الفلقتين إلى نوعين هما تعرق شبكي ريشي Pinnately reticulate وتعرق شبكي راحي Palmetely reticulate ففي التعرق الشبكي الريشي يوجد عرق رئيسي كبير في الوسط يكون ما يسمى بالعرق الوسطي Midrib وتتفرع العروق الصغيرة من العرق الوسطي . أما في التعرق الشبكي الراحي فتوجد عدة عروق رئيسية تنشأ مباشرة من نهاية عنق الورقة ، وهي في حقيقة الأمر استمرار لمسار الأجهزة الوعائية Leaf traces الذي يمتد من الجذر إلى الساق وينتهي أخيراً بالورقة . وتوجد العروق الصغيرة أو الحزم الوعائية المنفردة بوجه عام داخل النسيج الأسفنجي أما العروق الكبيرة فتحتل حيزاً كبيراً من نصل الورقة وقد تمتد ما بين البشرة العليا والبشرة السفلى . وحيث أن الشريط الوعائي يمتد من الساق إلى عنق الورقة ثم إلى نصلها فإن الأنسجة الوعائية تحتفظ بوضعها فيبقى الخشب – في حالة الحزم الوعائية الجانبية على سبيل المثال – متجها نحو السطح العلوي للورقة واللحاء نحو السطح السفلي ، كما أن الأنسجة الوعائية الموجودة بالورقة لا تختلف في طبيعتها عن تلك الموجودة في بقية أجزاء النبات . فيتكون الخشب في العروق الكبيرة من أوعية Vessels وقصيبات Tracheids وألياف Fibers وبرنكيما خشب ، وكلما صغرت العروق تقل كمية العناصر تدريجياً حتى تصبح في النهاية مكونة من قصيبة واحدة شبكية أو حلزونية ، وذلك فيما يسمى بنهايات الحزم Bundle ends (شكل ٨-٢) . ويتكون اللحاء في العروق الكبيرة من أنابيب منخلية Sieve tubes وخلايا مرافقة Companion cells بالإضافة إلى برنكيما اللحاء في أوراق ذوات الفلقتين ، أما في العروق الصغيرة فإن نسيج اللحاء يقل تدريجياً حتى يصل إلى مجرد مجموعة صغيرة من الخلايا البرنكيمية مكونة مع القصيبة الوحيدة نهاية الحزمة .

والحزم الوعائية الكبيرة تحاط عادة بغلاف برنكيمي تحتوي خلاياه على القليل من الكلوروفيل ويعرف في بعض الأحيان باسم غلاف الحزمة bundle sheath . والخلايا المكونة لغلاف الحزمة تكون عادة رقيقة الجدر وممتدة طولياً موازية لمحور العرق . ونظراً لندرة الكلوروفيل بها فهي سهلة التمييز عن بقية خلايا النسيج المتوسط المحيط بها . وفي بعض الحالات القليلة كما في بعض نباتات العائلة الوردية Rosaceae تحتوي خلايا غلاف الحزمة على أشرطة كاسبرية Casparian strips وحينئذ تماثل طبقة القشرة الداخلية النموذجية ، وقد تحتوي في حالات أخرى على حبيبات نشوية وحينئذ تعتبر غلافاً نشوياً . كما أن هناك ما يثبت أن لهذه الخلايا أهمية خاصة بالنسبة للتوصيل وبالنسبة لاختزان المواد الغذائية .

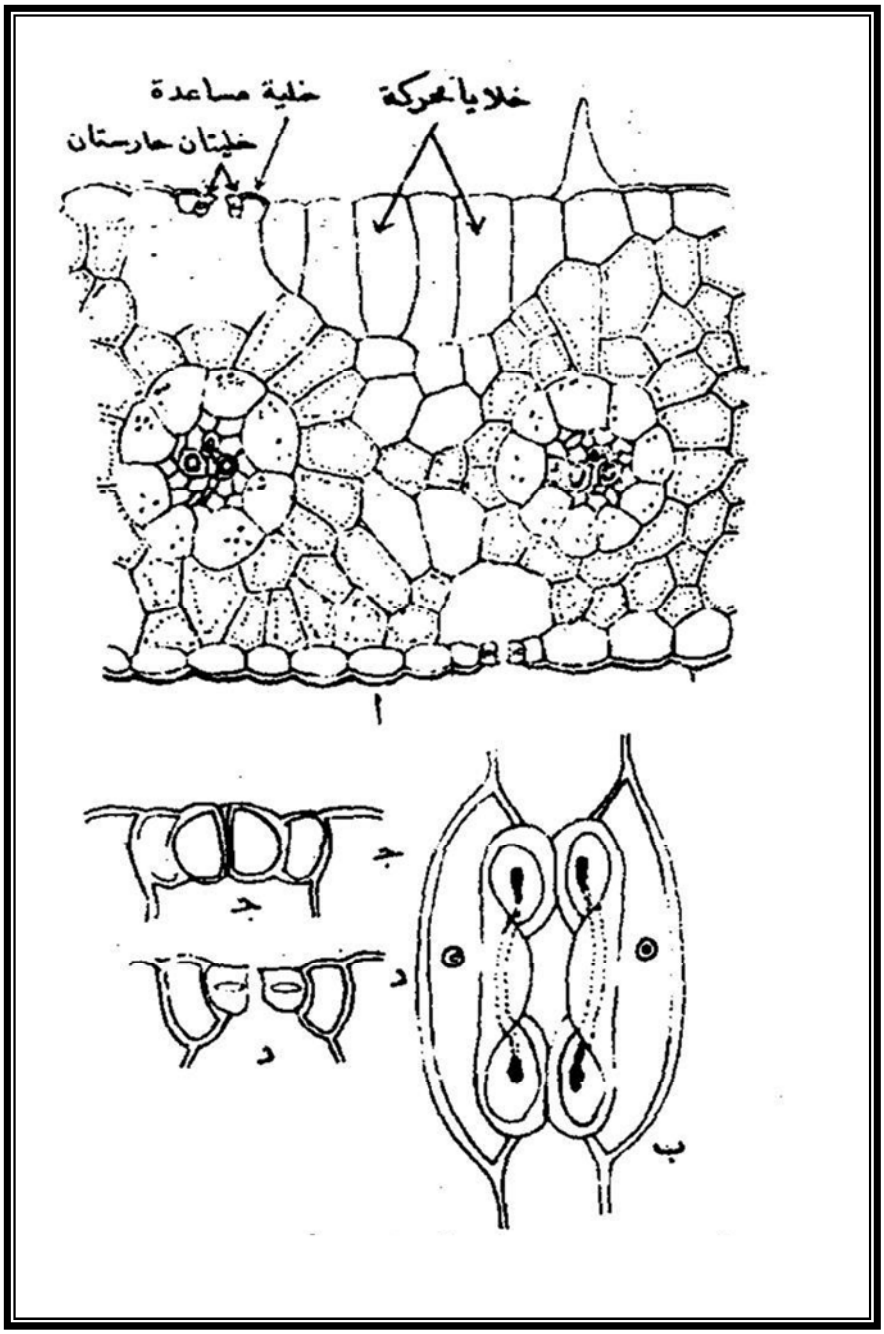


الشكل (٨-٢): نهاية الحزمة الوعائية في الورقة (أ) مظهر عام يوضح نهاية الحزمة وبعض الخلايا المجاورة (ب) مقطع في حزمة بعيداً عن النهائية بها خشب ولحاء (جـ) حزمة تقتصر على قصيبة واحدة وخلية برنكيمية (ب،جـ) من ورقة نبات التفاح .

❖ ورقة النجيليات Grass Leaf :

ينطبق ما سبقت دراسته في واقع الأمر على أوراق ذوات الفلقتين وبعض ذوات الفلقة الواحدة إلا أوراق النجيليات Gramineae تنفرد بتركيب خاص يميزها عن ذوات الفلقتين وحتى عن بقية ذوات الفلقة الواحدة وذلك من حيث تكون أنسجة الورقة المختلفة من بشرة ونسيج متوسط وأنسجة وعائية (شكل ٨-٣) فخلايا البشرة تمتد على طول الورقة بشكل صفوف منتظمة وهي مستطيلة في المنظر السطحي إلا أنها مربعة في المقطع المستعرض ، وتكون مغلظة الجدار صغيرة الحجم

فوق الحزم الوعائية ، وتعترض الخلايا الاعتيادية من البشرة على أبعاد منتظمة خلايا خاصة تسمى بالخلايا الحركية Motor cells – Bulliform cells تتميز بكبر حجم ورقة جدرانها وتعتبر هذه الخلايا مسؤولة عن انطواء وانبساط الورقة لدى تغير نسبة الرطوبة في الجو المحيط بالورقة . وتتميز أوراق النجيليات بصفة خاصة وذلك بالإضافة إلى ما سبق بنوع الثغور الموجودة بها والذي يسمى بالطراز النجيلي السعدي من الثغور Gramineae – Cyperaceae type .



الشكل(٨-٣): ورقة النجيليات (أ) مقطع مستعرض (ب) مظهر سطح للثغر (جـ ، د) مقطعين في الثغر في مستوين مختلفين .

أما في النسيج المتوسط Palisade tissue فهو عادة غير متميز إلى عمادي وأسفنجي كما هي الحال في أوراق ذوات الفلقتين . وأحياناً قد تتميز طبقة من الجهتين تحت البشرة مباشرة وذلك

عن طريق أحكام ترتيب خلاياها في حين يوجد بقية النسيج المتوسط على هيئة خلايا غير منتظمة الشكل . وفي حالات قليلة كما في أوراق السعد Cyperus تتواجد الأنسجة الخضراء حول الحزم بشكل أغلفة حزمية Bundle Sheaths تتميز بغزارة الكلوروفيل بها عن بقية النسيج المتوسط . أما الحزم الوعائية فتمتد طولياً بشكل متواز خلال الورقة يفصلها عن بعضها النسيج المتوسط كما وتكاد تحتفظ الحزمة بحجمها خلال مسارها بالورقة . وتوجد عادة حزمة وعائية مركزية كبيرة تصاحب العرق الوسطي . وهذه الحزمة تشبه إلى حد كبير نظيراتها بالساق أما الحزم الأخرى فتنتظم في صفين أو ثلاثة مرتبة داخل نصل الورقة وتتكون من كمية أصغر من الأنسجة الوعائية ومن الأنسجة الدعامية كذلك . ويصاحب الحزم الوعائية عادة في أوراق النجيليات نسيج سكلرنكيمي ويوجد بشكل عام على هيئة أشرطة ليفية Fibrous strands على الجوانب العليا والسفلى للحزمة ويطلق عليه أحياناً أسم امتداد الغلاف الحزمي Bundle sheath extension . وقد تمتد هذه الأشرطة مع الحزم الوعائية فيما بين البشرة العليا والسفلى وبذلك تساهم بشكل فعال في تقوية الورقة . وفي نجيليات البيئة الجافة يكون النسيج السكلرنكيمي جزءاً كبيراً من نسيج الورقة كما يتضح ذلك في ورقة نبات *Ammophila arenaria* على سبيل المثال . وتحاط الحزمة الوعائية عادة بغمد حزمي من طبقتين من الخلايا : الداخلية منها غليظة الجدران محاكية بذلك طبقة القشرة الداخلية أو مغلظة بصورة عادية ذات طبيعة ميكانيكية ، أما الخارجية فتكون من خلايا برنكيمية عادية رقيقة الجدران تفتقر عادة إلى الكلوروفيل ولذلك فهي سهلة التمييز عما يحيطها من نسيج متوسط وقد تحتوي على كلوروفيل ولكن بكمية أقل مما تحتويه الخلايا المجاورة .

❖ التركيب الداخلي لعنق الورقة Internal Structure of Petiole :

قد يتخذ عنق الورقة في بعض الأحيان في المقطع المستعرض شكلاً دائرياً كاملاً ولكن الحالة الأكثر شيوعاً هي أن يكون المقطع على هيئة دائرة غير كاملة ، منبسطاً أو مقعراً من الجهة العليا مع وجود حافتين بارزتين بدرجات متفاوتة تختلف باختلاف النباتات . أما الأشرطة الوعائية والمسارات الورقية فتختلف في طريقة انتظامها وتركيبها تبعاً لذلك . ففي الأعناق المستديرة تتخذ الأشرطة الوعائية نفس الوضع والتركيب الموجودين في الساق التي امتدت منها هذه الأشرطة كما هي الحال في عنق ورقة نبات أكاليفا *Acalypha* أو تكون أسطوانة جوفاء كما في عنق ورقة نبات الخروع *Ricinus communis* . أما في الأعناق ذات السطح العلوي المنبسط أو المقعر فقد تتخذ الحزم الوعائية شكل حدوة الحصان كما في عنق ورقة نبات بوذية *Buddleia* وفي حالات أخرى قد تنحرف الأشرطة الوعائية عن مسارها بالإضافة إلى أنها أيضاً تتجزأ بحيث تصبح مرتبة في أكثر من حلقة واحدة كما في عنق ورقة نبات خف الجمل *Bauhinia* . أما النسيج الأساسي فيكون الخارجي منه مكوناً عادة من خلايا مغلظة الجدران وتكون هذه الخلايا على هيئة نسيج كولنكيمي Collenchyma في أعناق أوراق ذوات الفلقتين وعلى هيئة نسيج سكلرنكيمي Sclerenchyma

في ذوات الفلقة الواحدة ، أما بقية النسيج فيتكون من خلايا برنكيمية رقيقة الجدران تتسع تدريجياً كلما أتجت نحو المركز .

التغلظ الثانوي Secondary Thickening

هو الزيادة في سمك النبات والتي تحدث بعيداً عن القمم النامية نتيجة تكوين أنسجة ثانوية . وتمثل هذه الأنسجة في مجموعها الجسم الثانوي للنبات . ومع تقدم التغلظ الثانوي يصبح المحور الرئيسي للنبات المسن.

وهذا التغلظ النباتي يحدث بصورة اعتيادية ومتميزة في نباتات عاريات البذور وفي معظم ذوات الفلقتين . وقد يحدث في بعض ذوات الفلقة الواحدة نتيجة نشاط كمبيومي ناشئ عن مرستيم ثانوي إلا أن هذا الكمبيوم يختلف في طبيعته اختلافاً كبيراً عن كمبيوم ذوات الفلقتين . وقد تعاني بعض نباتات ذوات الفلقة الواحدة مثل النخيل *Phoenix dactytica* زيادة كبيرة في الحجم إلا أن هذه الزيادة تعزى أساساً إلى نشاط مرستيمات ابتدائية والأنسجة الثانوية التي تكون جسم النبات الثانوي – والتي يعزى إليها التغلظ الثانوي– تتكون نتيجة نشاط نوعين من الأنسجة المرستيمية هما الكمبيوم الوعائي Vascular cambium الذي يكون الأنسجة الوعائية الثانوية والكمبيوم الفليني Phellogen or cork cambium الذي يكون أنسجة القشرة المحيطية .

❖ الكمبيوم الوعائي Vascular cambium :

يعد الكمبيوم الوعائي مرستيماً جانبياً Lateral meristem ينشأ عن نشاطه الأنسجة الوعائية الثانوية وهو يكون أما على شكل أشرطة منفصلة أو على هيئة أسطوانة جوفاء ، وقد يكون أثرياً أو غير موجود في العديد من النباتات العشبية التي لا يحدث فيها تغلظ ثانوي حيث يتميز جميع خلايا الكمبيوم الأولي إلى خشب ولحاء ابتدائيين . ولا يبقى بينهما كمبيوم كما في بعض أنواع جنس لسان الطير .

ويحدث الشيء ذاته في ذوات الفلقة الواحدة أما في معظم ذوات الفلقين وكذلك في عاريات البذور يتميز القسم الأكبر من الكمبيوم الأولي إلى لحاء وخشب ابتدائيين ويبقى قسم غير متميز بين الأنسجة الدائمة من الخشب واللحاء حتى بعد تمام نضجها ويصير بعد ذلك كمبيوم الجسم الثانوي للنبات ، ويقوم حينئذ بمهمة تكوين الأنسجة الثانوية . ويطلق أسم الكمبيوم الحزمي Fascicular cambium على ذلك الجزء من الكمبيوم الوعائي والذي داخل الحزمة الوعائية الأصلية ، وقد تبقى أشرطة الكمبيوم الحزمي منفصلة عن بعضها بواسطة برنكيما النسيج الأساسي ، كما هي الحال في بعض النباتات العشبية كجنس الشقيق إلا أنها في أغلب الحالات تتصل عن طريق أشرطة كمبيومية أخرى تتكون بواسطة انقسام الخلايا البرنكيمية الواقعة بين الحزم الوعائية وهي خلايا الأشعة النخاعية بطريقة فقدان التميز Dedifferentiation وتحولها إلى خلايا مرستيمية ، ويطلق على هذا الجزء من الكمبيوم مصطلح الكمبيوم ما بين الحزم Interfascicular cambium وتتصل بذلك أشرطة الكمبيوم الحزمي بأشرطة الكمبيوم بين الحزمي لتكون أسطوانة كمبيومية كاملة تتصل بدورها بأسطوانات كمبيومية داخل الأفرع وداخل الجذور وفروعها ويصبح الكمبيوم داخل جسم النبات على هيئة تركيب أنبوبي أجوف . وتقع الأسطوانة الكمبيومية في الغالبية العظمى

من نباتات ذوات الفلقين وفي عاريات البذور بين الخشب واللحاء بحيث تضاف من خلال نشاطها المرستيمي لحاءاً ثانوياً للخارج وخشباً ثانوياً للداخل . ويتكون الكمبيوم عادة من نوعين من الخلايا (شكل ٩-١) :

١- خلايا كمبيومية (أو أصول) مغزلية Fusiform initials : وهي خلايا مستطيلة ذات أطراف مدببة .

٢- خلايا كمبيومية (أو أصول) شعاعية Ray initials : وهذه خلايا صغيرة متساوية الأبعاد تقريباً .

وتنشأ من الأصول المغزلية العناصر الطويلة رأسياً مثل الألياف . والقصيبات والأوعية وبعض خلايا برنكيما الخشب وبرنكيما اللحاء وهي الخلايا التي تغلف مجتمعة ما يطلق عليه النظام المحوري أو العمودي Axial or Vertical system في الخشب واللحاء الثانويين . في حين تتكون خلايا الأشعة البرنكيمية والتي تكون عادة ممتدة أفقياً أو عرضياً من الأصول الشعاعية . ويطلق على الأشعة الوعائية أو غيرها من العناصر مصطلح النظام الشعاعي (أو الأفقي) Radial or Horizontal system وذلك في الخشب واللحاء الثانويين أيضاً .

❖ منطقة الكمبيوم Cambial Zone :

خلال فترة النمو تنقسم خلايا الكمبيوم الأصلية بحيث تظهر هذه الخلايا مرتبة مع الخلايا التي تنتج عنها في صفوف قطرية Radial rows . ويطلق على خلايا الكمبيوم والخلايا الناتجة عنها المشتقات Derivatives والملاصقة لها مباشرة أسم منطقة الكمبيوم Cambial zone وهي المنطقة التي تبدو فيها الخلايا متراصة في صفوف قطرية . وفي حدود المعنى الدقيق يقتصر استعمال لفظ الكمبيوم على شريط الخلايا الكمبيومية الأصلية التي تمثل استمراراً للكمبيوم الأولي ، ويمكن تمييز نوعين من الكمبيوم وذلك على أساس ترتيب وانتظام الخلايا المغزلية في المقطع المماسي Tangential section :

١- كمبيوم منضد (مصفف) Storied or stratified cambium :

وفيه تنتظم خلايا الكمبيوم المغزلية في صفوف أفقية بحيث تكاد تصبح أطرافها في مستوى واحد كما هي الحال في نباتي Robinia والطرفة Tamarix وتكون الخلايا المغزلية في هذه الحالة من النوع القصير .

٢- كمبيوم غير منضد (غير مصفف) Non-storied or non-stratified cambium :

وفي هذه الحالة تتراكب الخلايا المغزلية جزئياً ولا تنتظم في صفوف أفقية . وتكون الخلايا في الكمبيوم غير المنضد عادة أطول من خلايا الكمبيوم المنضد وأكثرها شيوعاً بين النباتات ومما تجدر الإشارة إليه أن الكمبيوم المنضد يعتبر أرقى تطوريا من النوع غير المنضد ، كما أن الأصول المغزلية القصيرة للكمبيوم هي الأخرى أرقى تطوريا من الأصول الطويلة .

❖ النشاط الكمبيومي Cambial activity :

يتأثر الشكل العام للنمو القطري بدرجة كبيرة بمعدل النشاط الكمبيومي فإذا زاد معدل انقسام خلايا الكمبيوم على معدل تميز الخلايا الناتجة عن هذا الانقسام فعندئذ يتسع نطاق منطقة الكمبيوم Cambial zone . أما في حالة تساوي معدل انقسام خلايا الكمبيوم مع سرعة تميز الخلايا الناتجة إلى عنصر الخشب

أو عناصر اللحاء فإن منطقة الكمبيوم تظل ضيقة وواضحة الحدود . ففي نباتات المناطق الاستوائية Tropical zones والمناطق المعتدلة الدافئة Warm Temperate يستمر نشاط الكمبيوم طول فترة حياة النبات أي أن خلاياه تظل تمارس انقسامها بصورة مستمرة وتتميز الخلايا الناتجة تدريجياً إلى خشب ولحاء ثانويين وغيرها من الأنسجة . أما في المناطق التي يتميز مناخها بتعاقب موسمي فيكون النشاط الكمبيومي في فصل الربيع ثم يتناقص في فصل الصيف ويتوقف تماماً في الخريف والشتاء وعندما يستأنف نشاطهُ في الربيع التالي يمر في مرحلتين :

١. المرحلة الأولى هي استطالة خلايا الكمبيوم قطرياً وقد تحدث عملية القلف Bark .
٢. المرحلة الثانية تتضمن ممارسة عملية الانقسام الاعتيادية .

❖ دوام الكمبيوم Duration of the cambium :

قد يبقى الكمبيوم حياً وقائماً بنشاطه طيلة فترة حياة النبات كلها وذلك في المحور الرئيسي للنباتات الخشبية المعمرة Perennial wooly flants . أما في الأوراق والنورات Inflorescences وغيرها من الأعضاء ذات العمر القصير فيدوم الكمبيوم لفترة قصيرة تصل إلى بضعة أيام في بعض الحالات . وفي هذه الأعضاء يتحول الكمبيوم بأكمله إلى نسيج وعائي ويتلاشى وجوده تماماً داخل الحزم الوعائية . ويحدث الشيء ذاته في سيقان معظم النباتات الحولية Annual Plants . وفي بعض النباتات العشبية من ذوات الفلقتين يقوم الكمبيوم بنشاطه لفترة قصيرة مكوناً القليل من الأنسجة الوعائية الثانوية .

❖ تأثير النشاط الكمبيومي على جسم النبات الابتدائي :

نتيجة لقيام الكمبيوم الوعائي بنشاطه في تكوين الأنسجة الثانوية Secondary tissues . أما الأنسجة الابتدائية الواقعة خارج الكمبيوم فلا تستطيع حتى في حالات استمرارها في النمو البطيء أن تواكب الأتساع المستمر الناتج عن تكوين الأنسجة الثانوية ، فخلايا اللحاء الابتدائي قد تتفلطح في الاتجاه المماسي وبعضها يتمزق أو قد يفقد تماماً ويبدو النسيج كله كشريط ضيق . أما القشرة الثانوية فقد تتمدد خلاياها أيضاً في نفس الاتجاه ولكنها بعد ذلك تتلاشى . أما خلايا القشرة Cortex وخلايا الدائرة المحيطة فقد تصمد بعض الوقت نتيجة لقدرتها على النمو البطيء إلا أنها قد تتعرض لعوامل أخرى كالجفاف وانقطاع الغذاء وانعزالها عن الأنسجة الداخلية للنبات عن طريق تكوين طبقات الفلين Cork من الداخل . وفي نهاية الأمر تسقط هذه الأجزاء أن أجلا أو عاجلا ليحاط جسم النبات الثانوية بنسيج البشرة المحيطة . إلا أنه في حالات خاصة قد تصمد بعض هذه الأنسجة لفترة طويلة فقد تبقى القشرة لعدة سنوات في بعض النباتات الخشبية Woody Plants . إلا أن النباتات العشبية Herbaceous Plants تختلف كثيراً عن النباتات الخشبية وذلك لان الأنسجة الثانوية والأنسجة الابتدائية قد تتواجد معاً لفترة طويلة وذلك نتيجة لقدرة الأنسجة الابتدائية الخارجية في هذه النباتات على مجاراة الزيادة في السمك أثناء النمو الثانوي مما يؤدي إلى عدم تأثرها بالنشاط الكمبيومي بنفس الدرجة التي تحدث في النباتات الخشبية .

الخشب الثانوي Secondary xylem :

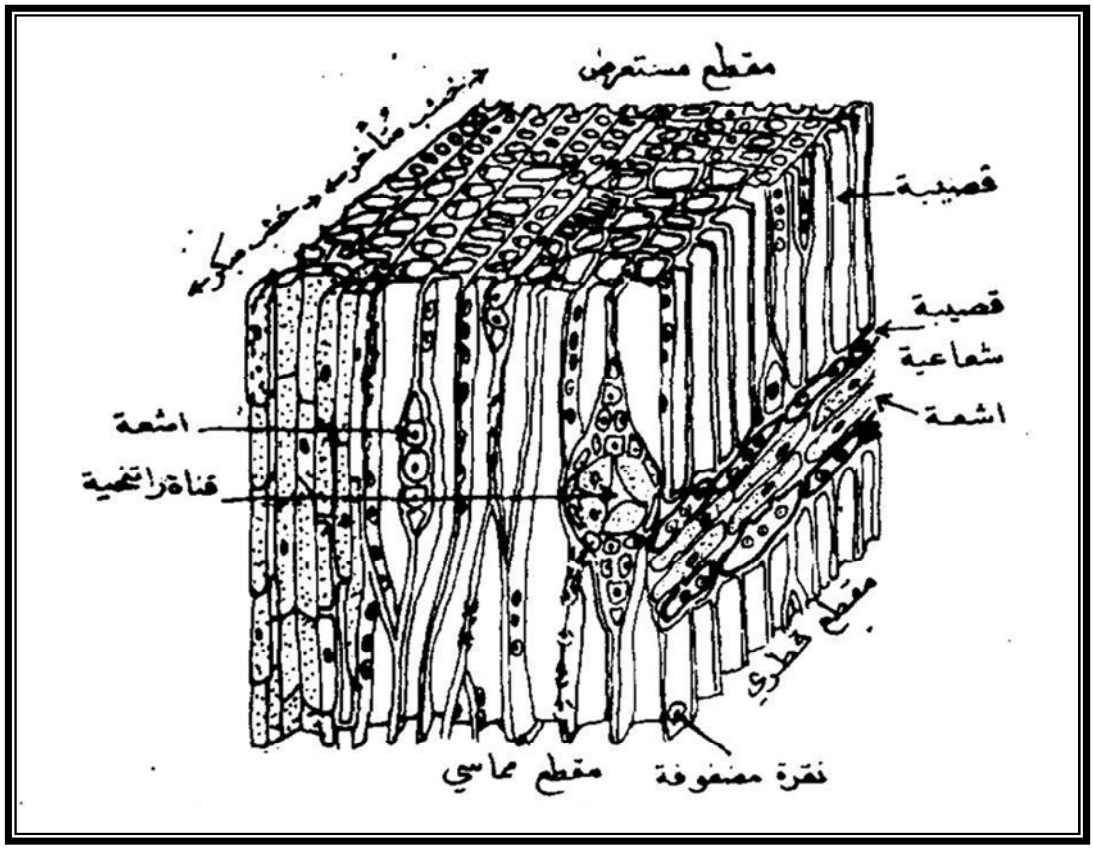
ينتج عن نشاط الكمبيوم الوعائي إضافة الخشب الثانوي إلى الجسم النباتي وخاصة الخشب الثانوي من عناصر عديدة تضم القصبيات Tracheids والأوعية Vessels والألياف Fibers وبرنكيما الأشعة Ray parenchyma . وتختلف النباتات فيما بينها . أن كمية وحجم وترتيب العناصر مهمة من الناحية التصنيفية في التمييز بين الأجناس وحتى الأنواع .

❖ تركيب الخشب الثانوي :

يتركب الخشب الثانوي أساساً من نظامين من العناصر نظام عمودي أو محوري Vertical system or Axial System تمتد عناصره بمحاذاة المحور الرئيسي للعضو النباتي ونظام أفقي أو قطري Horizontal or Radial system تمتد عناصره متعامدة مع عناصر النظام المحوري وتتكون عناصر النظام المحوري من عناصر وعائية هي قصيبات والأوعية بالإضافة إلى الألياف والخلايا البرنكيمية في حين تتكون عناصر النظام الأفقي من أشعة الخشب Xylem rays التي تتكون أساساً من خلايا برنكيمية إلا أنه في الصنوبريات Conifers والقصيبات الشعاعية Ray tracheids .

❖ برنكيما الخشب Xylem parenchyma :

تتضمن برنكيما الخشب الثانوي نوعين متميزين من الأنسجة هما البرنكيما المحورية Axial parenchyma والبرنكيما الشعاعية Ray parenchyma . وتنتج البرنكيما المحورية عن أصول كمبيومية مغزلية في حين تنتج البرنكيما الشعاعية من الأصول الشعاعية التي قد تكون قصيرة نسبياً . بينما البرنكيما المحورية طويلة . وظيفة برنكيما الخشب هي الخزن للمواد كالنشا والدهون وقد تحتوي بعض خلاياه على مواد دباغية Tannins أو بلورات Crystals وغيرها .



الشكل (١٠-١): يوضح تركيب الخشب الثانوي لنبات الصنوبر كما يبدو في مقطع مستعرض وطولي قطري ومماسي .

❖ التيلوزات Tyloses :

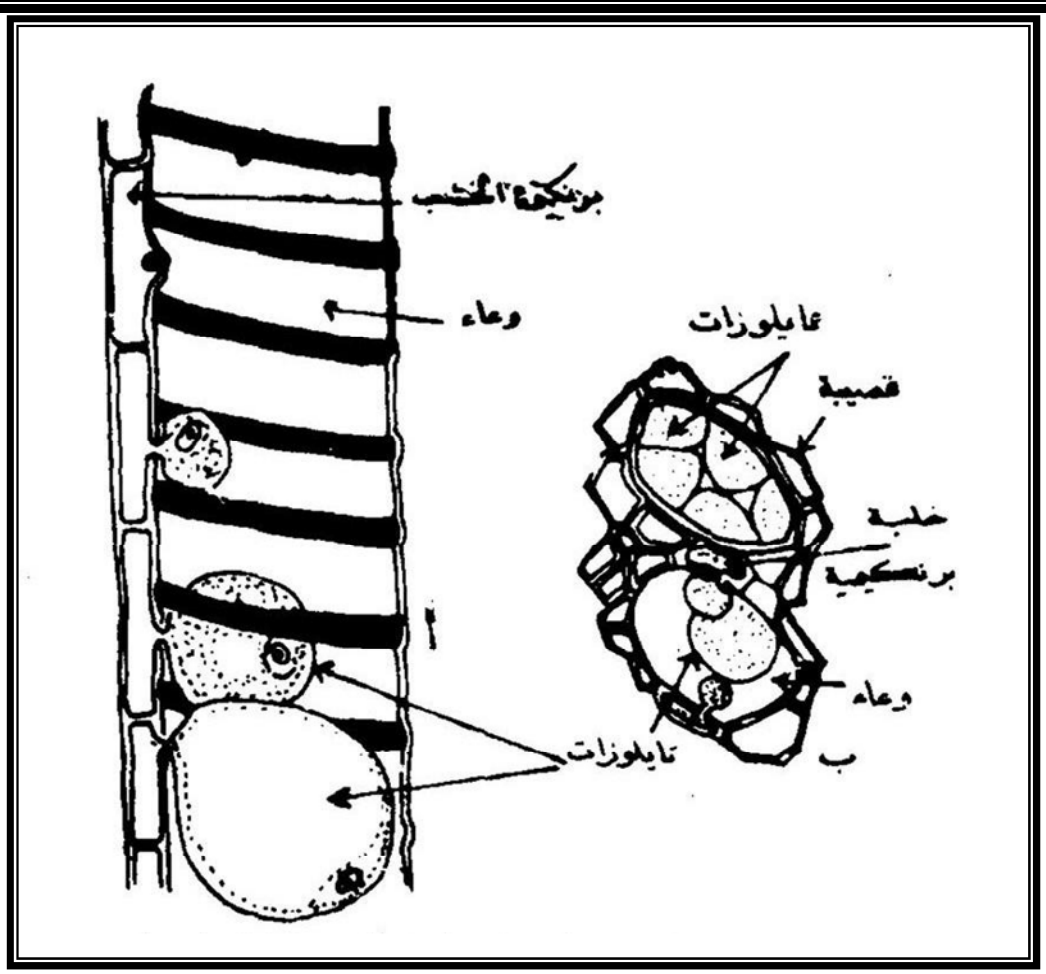
التيلوزات عبارة عن تراكيب مثانية الشكل تظهر داخل الأوعية والقصيبات في الخشب الابتدائي إلا أنها أكثر شيوعاً في الخشب الثانوي ولاسيما في مغطاة البذور بينما هي قليلة في خشب عاريات البذور . وتتكون التيلوزات نتيجة انتفاخ الجدار الثانوي لخلية برنكيما الخشب أو برنكيما شعاعية مجاورة أو لقصيبة من خلال النقرة إلى فراغ ذلك الوعاء أو تلك القصيبة حيث يتمدد غشاء النقرة الرقيق ويمتد داخل الفراغ ، قد يحدث ذلك بصورة طبيعية عندما يصبح الخشب خاملاً أو عند أصابته بضرر .

وفي التيلوزات الناضجة قد تظهر حبيبات نشوية أو بلورات أو مواد راتنجية . والتيلوزات قد تكون صغيرة أو كبيرة كما في الغرب أو في شجر البلوط .

❖ الحلقات السنوية Annual Rings :

في المناطق المعتدلة حيث التغيرات المناخية الكبيرة أو التي تعيش في المناطق الاستوائية حيث يحدث تبادل منتظم بين المواسم المطيرة والمواسم الجافة . وعند ذلك يكون أيضاً للكمبيوم مواسم نشاط ومواسمك خمول تبعاً للتغيرات المناخية . فتكون النتيجة لذلك حلقات متوالية Sucessive rings من الخشب متميزة يمكن رؤيتها أحياناً بالعين المجردة في المقاطع المستعرضة ، ويطلق على هذه الحلقات أسم الحلقات السنوية Annual rings أو حلقات النمو Growth rings . في هذه النباتات تكون عناصر الخشب المتكونة في موسم الربيع وفي مستهل موسم الصيف واسعة رقيقة الجدران نسبياً ومعظمها على هيئة أوعية ، أما عناصر الخشب المتكونة في أواخر موسم الصيف فيكون معظمها بصورة ألياف . أما الأوعية فتكون قليلة ضيقة وسميكة الجدران . وتسمى هذه العناصر على التوالي الخشب الربيعي Spring wood أو الخشب المبكر Early wood والخشب الصيفي Summar wood أو الخشب المتأخر Late wood وتكون المنطقتان معاً حلقة سنوية Annal rings واحدة . ويكاد يتوقف النشاط الكمبيومي تماماً خلال فصلي الخريف والشتاء .

ويعزى الاختلاف في تكوين هذه العناصر إلى اختلاف حاجة النبات مع تغير الموسم ، إذ تزداد الحاجة في الربيع إلى عناصر خشبية واسعة لتزيد من كفاءة النبات لنقل الماء والأملاح تساعد في تكوين الأوراق والفروع الجديدة . أما في الصيف فتزداد الحاجة إلى عناصر خشبية تساعد على تدعيم جسم النبات . فالحلقة السنوية تمثل الخشب الناتج خلال عام واحد وعلى هذا الأساس يمكن تقدير عمر النبات ولو تقديراً تقريبياً .



الشكل (١٠-٢): التيلوزات أ- مراحل تكون التيلوزات في وعاء خشبي من الخلايا البرنكيمية المجاورة كما تبدو في المقطع الطولي ب- التيلوزات كما تبدو في المقطع المستعرض .

إلا أنه قد يحدث أحياناً أن تتكون حلقات سنوية كاذبة False annual rings ينتج عنها أن يفوق عدد الحلقات السنوية العمر الحقيقي للنبات . يحدث ذلك مثلاً عند اضطراب النمو الموسمي في حال تمرض النبات مثلاً لظروف مناخية سيئة أو إصابة النبات بمرض أو أية عوامل أخرى ينتج عنها انخفاض سرعة نمو النبات أو توقف هذا النمو لفترة ما خلال موسم الربيع .

❖ الخشب منتشر المسام والخشب حلقي المسام Diffuse and Ring porus wood :

تنتظم الأوعية خلال الخشب الثانوي في ذوات الفلقتين بطريقة خاصة يتميز بها النوع ، فقد تكون الأوعية متساوية الأقطار تقريباً وموزعة داخل الخشب توزيعاً منتظماً على مدى الحلقة السنوية وحينئذ يقال للخشب أنه منتشر المسام Diffuse – porous wood كما في الأسفندان والغرب الأبيض والزيتون والكافور ، أما إذا احتوى الخشب على أوعية متباينة الأقطار بحيث تظهر الأوعية المتكونة في مستهل الموسم أكبر بصورة واضحة عن تلك المتكونة في الخشب المتأخر فحينئذ يقال للخشب أنه حلقي المسام Ring-porous wood ومن أمثلة هذا النوع نبات لسان الطير والبلوط .

أن خشب عاريات البذور يوصف بكونه لا مسامي Non-porous wood لغياب الأوعية فيه . في حين أن خشب مغطاة البذور يوصف بكونه مسامياً Porus لوجود الأوعية .

❖ الخشب الصميمي والخشب الرخو Heart wood and Sapwood :

تحدث للخشب تغيرات كثيرة كلما مر به الزمن ولاسيما الخشب الموجود بالمركز والذي يصبح ذا قيمة ميكانيكية دعامية فقط بينما يفقد وظيفته في التوصيل . ويسمى هذا الخشب المركزي الخشب الصميمي Heart wood في حين يدعى الخشب الحديث والذي ما يزال يؤدي وظيفة النقل مصطلح الخشب الرخو Sapwood والخشب الأخير يحتفظ بجميع وظائفه سواءاً كانت التوصيلية أو الدعامية أو التخزينية . والتغيرات التي تطرأ على الخشب الصميمي تتضمن فقدان العناصر الحية لحيويتها وتزداد جدران عناصره بوجه عام في السمك نتيجة ترسب مادة اللكنين ، كما تقل نسبة الماء فيها بدرجة كبيرة . وتتشبع الخلايا عن طريق ترسب مواد مختلفة بداخلها من بينها الزيوت Oils والاصماغ Gums والمواد الراتنجية Resins والمواد الدباغية Tannins وبعض المواد الصبغية الملونة التي تضفي على الخشب الصميمي اللون الداكن . ويعتبر ترسب هذه المواد من العوامل التي ترفع من قيمة الخشب من الناحية الأقتصادية فهي تزيده متانة وقوة احتمال ومقاومة للتأثر بالحشرات والفطريات . كما في خشب الأبنوس والصاج .

ويعتبر الخشب الصميمي أقوى بكثير من الخشب الرخو وأصلح للاستعمال في الأغراض الصناعية ولاسيما في عمل الأثاث . أما الخشب الرخو فيمثل الخشب الثانوي المتكون مؤخراً . ويتميز بلونه الفاتح نسبياً ووقوعه خارج الخشب الصميمي ، كما أن عناصره الحية (البرنكيما) تكون لا زالت محتفظة بحيويتها . كما أنه يمثل الخشب الوظيفي بالنسبة لعملية النقل إضافة إلى وظيفته الميكانيكية التي يشترك فيها مع الخشب الصميمي .

❖ الخشب الثانوي في عاريات البذور Secondary xylem in Gymnosperms :

يعتبر الخشب الثانوي في عاريات البذور أبسط تركيباً وأكثر تجانساً من الخشب الثانوي في مغطاة البذور وتكمن الفروق الرئيسية بينهما في عدم وجود أوعية في عاريات البذور باستثناء رتبة Gnetales بالإضافة إلى وجود كمية قليلة من برنكيما الخشب ولاسيما بالنسبة للبرنكيما المحورية . وفي معظم عاريات البذور تمثل القصيبات العناصر الوعائية الوحيدة في النظام المحوري إلا ألأن الخشب المتأثر قد تكون قصيباته سميكة الجدران ذات نقر ضيقة الردهات ، طويلة القناة وتسمى حينئذ بالقصيبات الليفية Fiber-trcheides . أما الألياف (المستدقة) Libriform fibers فلا توجد في خشب عاريات البذور .

كما يتميز خشب عاريات البذور وذلك في بعض الحالات فقط بوجود زوائد جدارية Trabeculae تمتد ما بين الجدران المماسية في بعض القصيبات عبر التجويف الخلوي وترتبط هذه الجدران ببعضها .

كما قد تشاهد تغلظات حلزونية على الأسطح الداخلية للقصيبات المنقرة ، أما الأشعة فقد تكون مقتصرة على خلايا برنكيمية وتسمى أشعة متجانسة Homocellulary rays أو تتكون من خلايا برنكيمية وقصيبات وحينئذ تسمى بأشعة متباينة الخلايا Heterocellular rays . وتتميز القصيبة الشعاعية Ray tracheid عن الخلايا البرنكيمية الشعاعية Ray Parenchyma أساساً بوجود النقر المضفوفة في القصيبة وكذلك خلوها منم البروتوبلاست . أما في الخشب الصميمي فتحتوي على مواد راتنجية قاتمة . أما القصيبات

الشعاعية فجدرانها جميعها ثانوية ملكننة . وفي معظم عاريات البذور تكون الأشعة وحيدة الصف Uniseriate .

❖ القنوات الراتنجية Resin ducts :

تتكون القنوات الراتنجية (أو الراتينية) في النظامين المحوري والأفقي لخشب العديد من عاريات البذور وتنشأ القناة الراتنجية بالطريقة الأنفصالية Schizogenously بين الخلايا البرنكيمية المنتجة للراتنج Resin والتي تكون بعد ذلك الخلايا الطلائية للقناة . وفي بعض الأحيان تتمدد الخلايا الطلائية داخل فراغ القناة الراتنجية مسببة أنسدادها ومكونة ما يسمى بأشباه التيلوزات Tylosoids . وتتكون القنوات الراتنجية في الخشب الانوي للمخورطيات نتيجة لضرر من جرح أو ضغط أو صقيع كما أنها قد تتكون بصورة طبيعية في بعضها مثل الصنوبر *Pinus* وبيسيا *Picea* ولاركس *Larex* . الا أنها قد لا تتكون أطلاقاً في بعض المخروطيات كما في حالة العرعر *Cupressus* .

اللحاء الثانوي Secondary phloem :

تنتظم عناصر اللحاء الثانوي انتظاماً مشابهاً لانتظام عناصر الخشب الثانوي وذلك في نظامين واضحين هما النظام المحوري أو العمودي Axial system والنظام القطري أو الأفقي Radial system . ويضم النظام المحوري للحاء العناصر المنخلية Sieve elements وبرنكيما اللحاء Phloem parenchyma وألياف اللحاء Phloem fibers في حين يضم النظام الأفقي برنكيما أشعة اللحاء Phloem ray parenchyma . وفي كثير من أشجار ذوات الفلقتين يمكن ملاحظة وجود حلقات نمو Growth rings في نسيج اللحاء الثانوي إلا أنها تكون أقل وضوحاً . ويرجع ظهور حلقات النمو في اللحاء إلى اختلاف الخلايا الناتجة في أول موسم النشاط عن تلك الناتجة في نهايته . وبعد مرور بضع سنوات يتضاءل وضوح حلقات النمو نتيجة لاندثار العناصر المنخلية تدريجياً لعد أدائها لوظيفتها وذلك بالإضافة إلى التغيرات التي تطرأ على العناصر الأخرى كتضخم الخلايا البرنكيمية .

وتقوم الأصول الشعاعية في الكمبيوم بإنتاج خلايا في الاتجاهين أي نحو اللحاء ونحو الخشب وبذلك تمتد أشعة اللحاء مقابل أشعة الخشب وتكون مساوية لأشعة الخشب في الحجم بالقرب من الكمبيوم .

❖ اللحاء الثانوي في عاريات البذور Secondary Phloem in Gymnosperms

اللحاء الثانوي في عاريات البذور بسيط التركيب كما هي الحال بالنسبة للخشب الثانوي . فيتكون النظام المحوري أو العمودي من خلايا منخلية Sieve Cells وخلايا برنكيمية بما في ذلك الخلايا الزلالية Albuminous cells بالإضافة إلى الألياف Fibers في بعض النباتات .

أما أشعة اللحاء Phloem rays فتكون عادة وحيدة الصف Uniseriate وتتكون عادة من خلايا برنكيمية فقط إلا أنها قد تضم أحياناً خلايا زلالية Albuminous cells . وتحتفظ عناصر اللحاء بانتظامها القطري حتى في المناطق الناضجة وذلك لأنها لا تعاني تغيراً كبيراً في شكلها إثناء تميزها . وتنتظم الخلايا المنخلية بحيث تتراكب نهاياتها ، وحيث يحدث التراكب تزداد الباحات المنخلية Sieve areas في العدد .

وتختزن الخلايا البرنكيمية المحورية Axial parenchyma النشا في بعض فصول السنة . كما أن الكثير من هذه الخلايا والتي قد تحتوي على مواد راتنجية Resinous أو دباغية Tannif crous أو بلورات Crystals .

وقد توجد قنوات راتنجية (أو دباغية) في اللحاء الثانوي لبعض المخروطيات Coniferales . وقد ينتج في بعض الحالات عن وجود هذه القنوات ظهور إفرازات على سطح الشجرة كما يحدث في حالة التنوب البلسمي *Abies balsamea* والذي ينتج المادة الراتنجية المعروفة باسم بلسم كندا والذي يستخدم في التحضيرات المجهرية لأن معامله الأنكساري مساو تقريباً لمعامل انكسار الزجاج بالإضافة إلى كونه شفافاً .

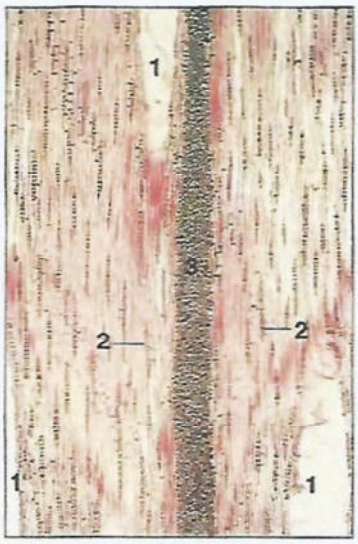
❖ اللحاء الثانوي لمغطاة البذور Secondary phloem of Angiosperms :

اللحاء الثانوي في مغطاة البذور – على عكس عاريات البذور – يكون معقد التركيب نسبياً فبالرغم من أنه ينتظم أيضاً في نظامين إلا أنه يحتوي على عدد أكبر من العناصر اللحائية فالنظام المحوري يضم وحدات الأنابيب المنخلية Sieve tube members والخلايا المرافقة Campanion cells وبعض الخلايا البرنكيمية المحورية Axial parenchyma وألياف اللحاء Fibers phloem ، في حين يتكون النظام الأفقي أو القطري من أشعة مختلفة الأحجام ما بين وحدة الصف Uniseriate إلى عديدة الصفوف Multiseriate إلا أنها تحتوي على خلايا برنكيمية فقط .

وبالإضافة إلى ذلك فقد يضم النظامان خلايا متصلبة وتراكيب إفرازية أو أنقراضية Lyseginous secretory structure أو تراكيب حليبية Laticifers وغير ذلك .

وتنتظم ألياف اللحاء الثانوي في النباتات المختلفة بطرق مختلفة . أما الخلايا المتصلبة Sclereids فقد توجد في اللحاء الفعال وغير الفعال وهذه الخلايا تنشأ من الخلايا البرنكيمية عن طريق إعادة التمييز Redifferentiation وقد توجد السكلريدات وحدها أو مختلطة مع الألياف إلا أن الشائع أن توجد الألياف بكثرة في اللحاء الوظيفي في حين توجد السكلريدات باللحاء غير الفعال ، ويختلف انتظام الأنابيب المنخلية Sieve tubes مع برنكيما اللحاء في النباتات المختلفة .

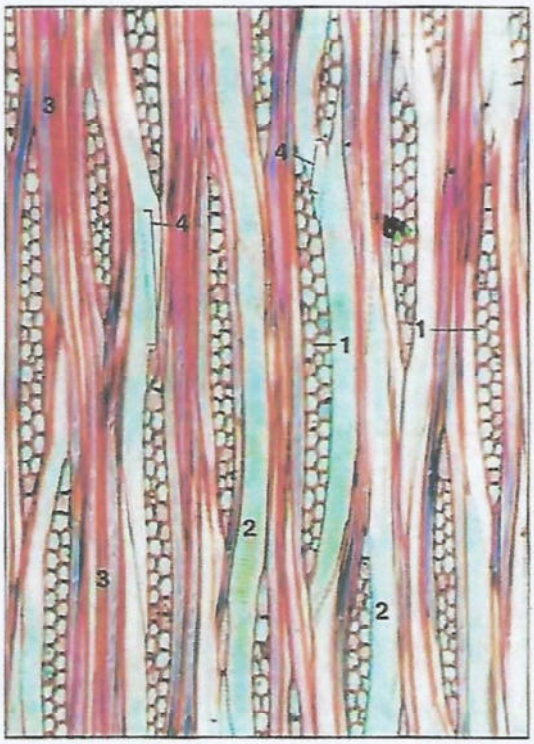
3.63



3.63 TLS of the secondary xylem of the dicotyledon *Quercus alba* (oak). Note the several wide-diametered vessels (1) containing tyloses and the numerous short uniseriate rays (2). These contrast greatly with the very wide multiseriate rays (3). Axial parenchyma bands are also present amongst the narrow-diametered tracheary elements and fibres. (LM x 25.)

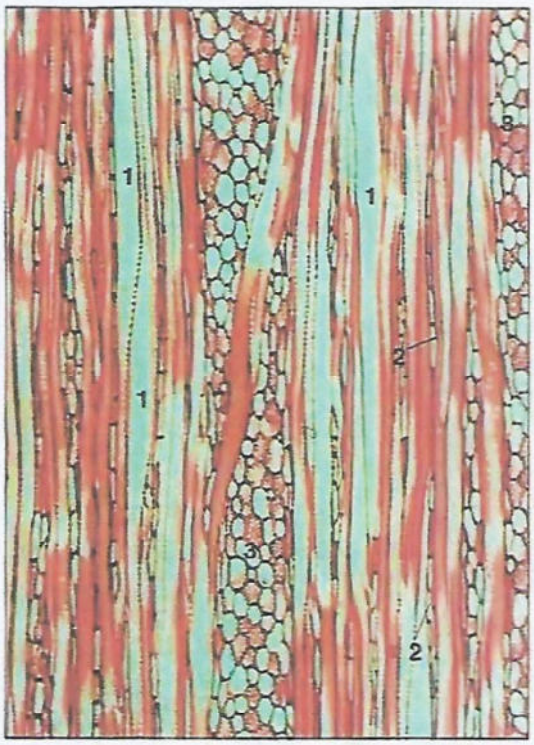
1 Vessels
2 Uniseriate rays
3 Wide multiseriate ray

3.64



3.64 TLS of the secondary xylem of the dicotyledon *Magnolia grandiflora* (cf., 3.14). Abundant multiseriate rays (1) occur between the uniformly diametered vessels (2) and narrower fibres (3). Scalariform perforation plate (4). (LM x 85.)

1 Multiseriate rays
2 Vessels
3 Fibres
4 Scalariform perforation plate



3.65 TLS of the secondary xylem of the dicotyledon *Drimys winteri*. This primitive angiosperm does not develop vessels (cf., 3.66) but abundant tracheids (1) occur in the xylem. Both uniseriate (2) and multiseriate (3) rays are present in the wood. (LM x 85.)

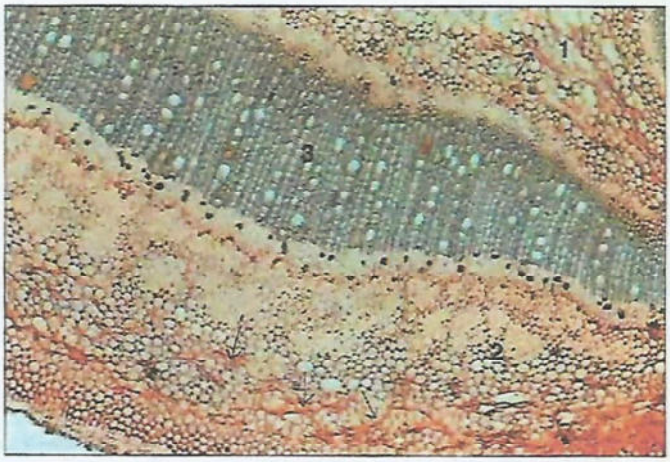
1 Tracheids
2 Uniseriate rays
3 Multiseriate rays

82

الشكل يمثل الخشب الصميمي والخشب الرخو

3.36 TS of the young stem of *Nerium oleander*. Note the laticifers (arrows) which permeate the pith (1) and cortex (2) and also occur in the xylem (3). (LM x 75.)

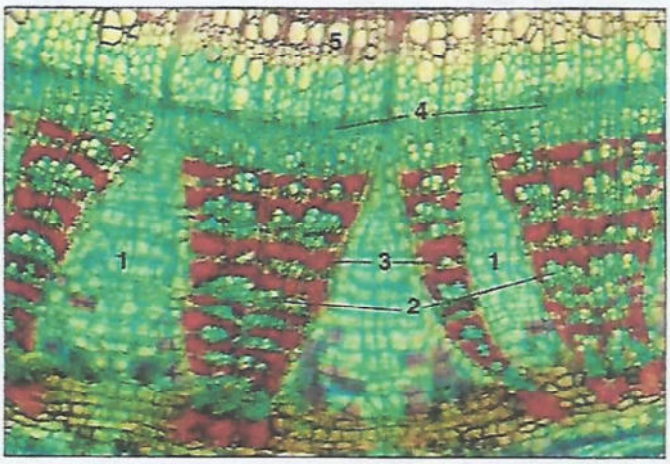
1 Pith
2 Cortex
3 Xylem



3.36

3.37 TS of a young twig of the dicotyledon *Tilia cordata* (lime) showing the secondary phloem. This is a complex tissue with wide flares of ray parenchyma cells (1) which divide tangentially to accommodate the increasing circumference of the stem as secondary thickening progresses. The conductive phloem elements (2) function over several seasons and they are interspersed with tangential bands of thick-walled fibres (3). Vascular cambium (4), secondary xylem (5). (LM x 70.)

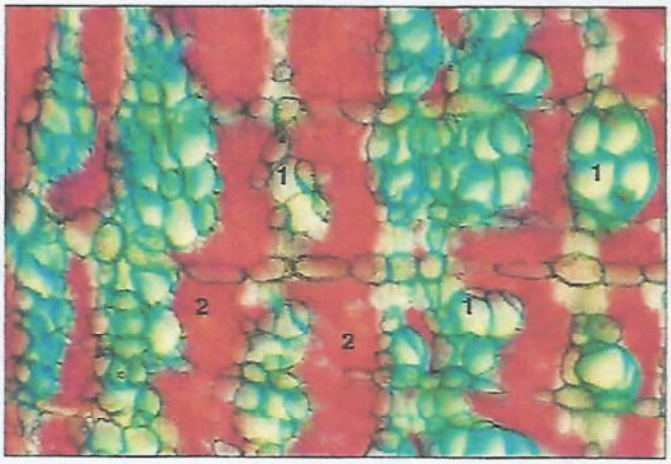
1 Ray parenchyma
2 Phloem elements
3 Fibres
4 Vascular cambium
5 Secondary xylem



3.37

3.38 TS of the dicotyledon *Tilia cordata* (lime) stem showing detail of the phloem (cf., 3.37). The wide sieve tubes (1) (cf., 3.37) are sandwiched between tangential bands of very thick-walled fibres (2). (LM x 285.)

1 Sieve tubes
2 Fibres



3.38

73

الشكل يمثل مقاطع الخشب واللحاء في السيقان

البشرة المحيطة The Periderm :

تنشأ البشرة المحيطة كطبقة واقية لتحل محل البشرة في السيقان والجذور التي تمر بمرحلة التغلظ الثانوي والذي ينتج عنه تدريجياً تمزق نسيج البشرة عادة . فقبل أن تتعرض الطبقات الداخلية للجفاف تتكون طبقة قادرة على التجدد المستمر مع استمرار زيادة العضو في السمك ولذلك فالبشرة المحيطة تتكون أيضاً في حالات أخرى تتعرض لها الأنسجة الداخلية للعوامل الخارجية مثل ذلك سقوط الأوراق والفروع وكذلك عند حدوث جروح سواءاً كانت هذه الجروح ناتجة عن تأثيرات ميكانيكية خارجية أو بفعل الحشرات أو أي طفيليات أخرى .

وتتميز البشرة المحيطة Periderm عن البشرة Epidermis في كون البشرة المحيطة تمثل النظام النسيجي الضام الثانوي Secondary dermal tissue system في حين تمثل البشرة نظاماً نسيجياً ابتدائياً Primary alermal tissue system ، كما أن البشرة المحيطة تكون مؤلفة من عدد من الطبقات المتباينة ، حيث تكون الوسطى منها – وهي طبقة الكمبيوم الفليني Cork cambium – مرستيمية ، تقوم بتكوين خلايا الطبقة الخارجية (الفلين) Cork ، والداخلية (القشرة الثانوية) Phelloderm .

والكمبيوم الفليني يمثل نسيجاً مرستيمياً ثانوياً Secondary meristems ينتج عن نشاطه تكوين الفلين نحو الخارج والقشرة الثانوية Phelloderm نحو الداخل . ويمثل الفلين نسيجاً ميتاً ذا جدران مسوبرة Suberized ، ويقوم بوظيفة وقائية . وينتج عن تكوين الفلين أن تنعزل الأنسجة الخارجية عن الأنسجة الداخلية الحية وبالتالي تتعرض للجفاف والموت . علماً بأن الأنسجة الخارجية الميتة المعزولة تسقط على هيئة قشور سميكة أو رقيقة تسمى القلف Bark .

❖ القلف Bark :

تبقى البشرة الثانوية Periderm المتكون لأول مرة في بعض النباتات لعدة سنوات وتستمر في إضافة طبقات جديدة من الفلين كل عام وفي هذه الحال يمكن مشاهدة حلقات سنوية بالفلين المتكون شبيهة إلى حد ما بالحلقات السنوية التي تظهر بالخشب الثانوي . مثال ذلك ما يحدث في نباتات بلوط الفلين (*Quercus suber*) Cork oak وهو المصدر الرئيسي للفلين التجاري . ولكن في معظم النباتات الخشبية يتوقف الكمبيوم الفليني في وقت مبكر عن الانقسام وتكوين فلين وتتحول خلاياه ذاتها إلى خلايا فلين وعندئذ ينشأ كمبيوم فليني جديد من المنطقة الداخلية من القشرة وينشط مباشرة لتكوين طبق بشرة محيطية جديدة . وسرعان ما تفقد هذه الطبقة الجديدة أيضاً نشاطها وتحل محلها طبقة كمبيومية أخرى هكذا . ونتيجة لذلك تحرم الأنسجة الخارجية من الماء والغذاء وتجف وتموت . ومع استمرار زيادة الساق في السمك لا تستطيع هذه الأنسجة الميتة مسايرة هذه الزيادة فتنفصل وتسقط . وتسمى جميع الأنسجة الميتة الواقعة خارج الكمبيوم الفليني الفعال ، والتي تتكون من طبقات متبادلة من الفلين وخلايا القشرة واللحاء الميتة بالقلف Bark أو الريتدوم Rhytidome . تعزى قيمة الفلين التجارية إلى عدم نفاذيتهِ وخفتهِ وقابليته للضغط والأنثناء .

❖ القلف الحلقي والقلف الحرشفي Ring Bark and Scaly Bank :

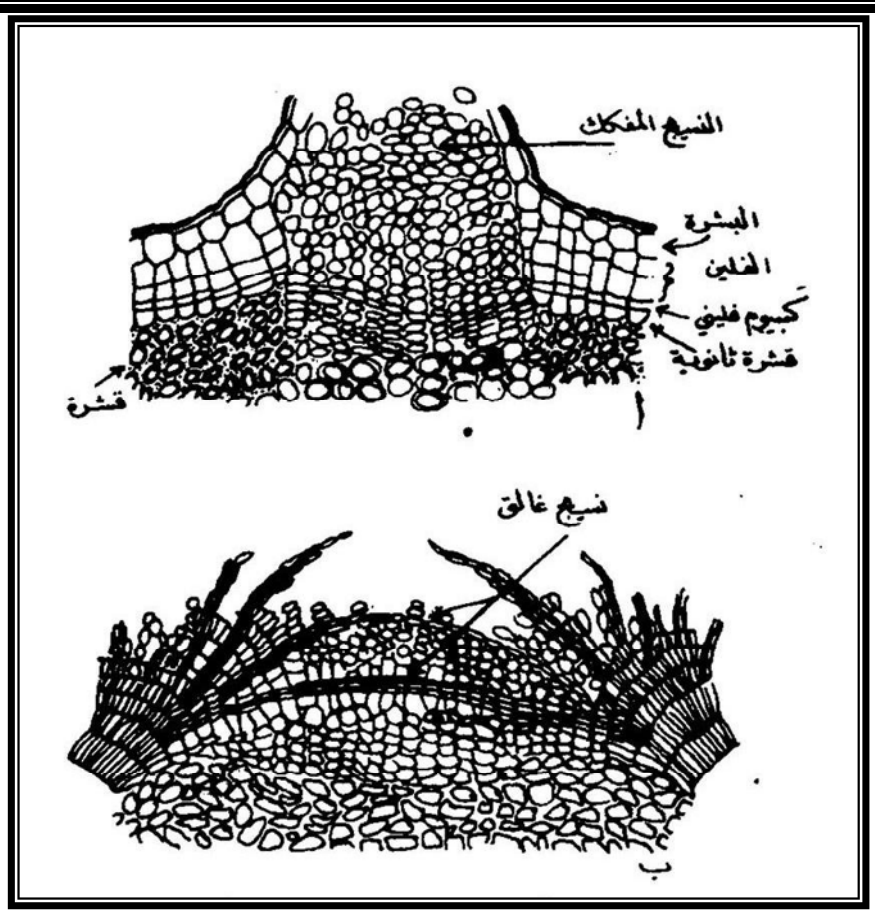
بتوالي زيادة الساق في السمك يزداد التوتر على أنسجة القلف الخارجية فتنفصل وتبدأ في التساقط تدريجياً . ويتبع شكل القلف المتساقط طريقة تكوين الكمبيوم الفليني فإذا كان تكوينها على هيئة طبقات أسطوانية تساقط القلف بشكل حلقات كاملة ويعرف حينئذ باسم القلف الحلقي Ring bark ومن أمثلته قلف شجر التامول Betula والعنب Vitis . أما إذا كان تكوينها نتيجة صافئح كمبيومية متجاورة ومتراكبة فإن القلف في هذه الحالة وهي الأكثر شيوعاً يتساقط على هيئة قشور أو حراشيف ويسمى القلف الحرشفي Scaly bark ومن أمثلته قلف شجر الصنوبر *Pinus* والبلوط *Quercus suber* والكافور *Eucalyptus*.

❖ العديسات Lenticels :

تتكون العديسات عادة مع تكوين البريدرم لكي تحل محل الثغور Stometa وتقوم بوظائفها ، إذ أن وجود طبقة الفليني Cork المحيطة بالساق أو الجذور تمنع تبادل الغازات بين الهواء الجوي والأنسجة الداخلية . وهذه العديسات تخترق طبقة الفلين وتسمح بالتبادل الغازي .

وتوجد العديسات على السيقان كما توجد على الجذور . ويندر أن تتكون العديسات في بعض السيقان كما هي الحال في العنب *Vitis* والتكوما *Tecoma* . ويختلف حجم العديسة بين تلك التي لا ترى بالعين المجردة والكبيرة التي قد تصل إلى ١ سم أو أكثر في الطول . كما أنها قد تكون عمودية أو أفقية أي طولية أو مستعرضة وذلك تبعاً لنوع النبات .

وتبدأ العديسات في الظهور تحت الثغور غالباً (شكل ١٢–١أ) وذلك قبل تكوين البشرة المحيطة مباشرة . إذ تنشط الخلايا التي تحت الثغر وتتحول إلى خلايا مرستيمية تنقسم في جميع الاتجاهات لتكون كتلة من الخلايا يظهر في الجزء الداخلي منها شريط من الكمبيوم الفليني Cambium or Phellogen تنقسم خلاياه انقسامات محيطية Periclinal لتعطى للخارج نسيجاً مفككاً يسمى Complementary tissue (شكل ١٢ – ١ب) وتكون خلاياه حية رقيقة الجدران غير مسوبرة وغير متماسكة ، كما أنها تستدير تدريجياً بحيث تظهر فيما بينها مسافات بينية واسعة تسمح بتبادل الغازات Gas exchange بين الهواء الخارجي والأنسجة الداخلية . باستمرار تكوين النسيج المفكك يحدث ضغط على طبقة البشرة في منطقة الثغر غالباً فيسبب تمزقها . ويصبح التبادل الغازي بين الجو الخارجي والأنسجة الداخلية عن طريق النسيج المفكك . وعند بدء فصل الخمول يقوم الكمبيوم الفليني في العديسة بتكوين نسيج أخر جهة الخارج مكون من طبقة واحدة أو طبقتين من خلايا مسوبرة متماسكة يغلق بها العديسة ويسمى النسيج المتكون النسيج الغالق Closing tissue . وهذا النسيج يقوم بحفظ أنسجة النبات الداخلية في فترة الخمول من النتح الشديد أو تأثير العوامل الخارجية . وعند بدء فصل الربيع أي فصل النشاط يقوم الكمبيوم الفليني ثانية بتكوين نسيج مفكك من عدة طبقات وتكون خلاياه متراصة مع خلايا الكمبيوم الفليني في صفوف قطرية Radial rows وبتوالي تكوينها تضغط على خلايا النسيج الغالق فتمزقه وتنفتح العديسة لتستأنف وظيفتها في السماح بتبادل الغازات . ويتعاقب فصول الخمول والنشاط فتصبح العديسة مكونة من طبقات متعاقبة من نسيج مفكك ونسج غالق متمزق وقد يصبح من الممكن بواسطة عد هذه الطبقات تكوين فكرة تقريبية عن عمر النبات .



الشكل (١٢-١): تكوين العديسات وتركيب أجزائها أ- عديسة حديثة من ساق نبات البيلسان ب- عديسة قديمة من ساق احد أنواع جنس المشمش *Prunus* .

❖ فلين الجروح Wound Cork :

يتكون فلين الجروح في الأماكن التي تتعرض فيها الأنسجة الحية للعوامل الخارجية نتيجة لجرح . ويحدث عادة أن تنفصل الخلايا الحية الداخلية عن الخلايا الخارجية المتضررة بواسطة تكوين طبقة من الخلايا المسوبرة Suberized cells . قد تتكون طبقة بشرة محيطة بالطريقة العادية وذلك عن طريق كمبيوم فلينمي . حيث تقوم طبقة البريدرم المتكونة بحماية منطقة الجرح ليس فقط ضد التعرض للجفاف نتيجة فقدان الماء خلاله وإنما أيضاً ضد هجوم الفطريات وبالبكتريا وغيرها من الآفات الضارة .

يحتمل تكوين فلين الجروح في أي مكان على سطح النبات حيث يصاب بجروح سواءاً كان في الساق أو الجذر أو الورقة أو الثمرة . فيتكون في النباتات الخشبية بدرجة أسهل من النباتات العشبية وفي ذوات الفلقتين عنه في ذوات الفلقة الواحدة كما أن انخفاض درجة الحرارة أو درجة الرطوبة يعيق تكوين فلين الجروح حتى في الأماكن التي يتكون فيها بسهولة عادة .

في بعض ذوات الفلقة الواحدة Monocolyledons يتكون نوع من البشرة المحيطة لا يمكن تمييزه عن ذلك الذي يتكون بصفة عادية في ذوات الفلقتين Dicotyledons كما في نبات (دارسينا) *Dracaena* والصبار *Aloe* ويوكا *Yucca* . إلا أن معظم ذوات الفلقة الواحدة تكون نوعا من النسيج

الواقي بطريقة خاصة تختلف عن طريقة تكوين البشرة المحيطة العادية إذ تنقسم خلايا القشرة البرنكيمية بالتتابع من الخارج إلى الداخل بانقسامات موازية للسطح Periclinal لتكون نسيجاً تنتظم فيه الخلايا في صفوف قطرية لا تلبث أن تتسوبر بعد ذلك مكونة ما يسمى بالفلين المصفف أو المنضد Storied cork وتتراوح عدد الطبقات المتكونة في كل مرة ما بين ٣ – ٨ طبقات . ويختلف النسيج المرستيمي المتكون بهذه الطريقة عن الكمبيوم الفليني الذي يتكون في حالة البريدرم العادي في أنه لا يكون حلقات منتظمة إنما أشرطة مماسية أو محيطية غير مرتبة تضم فيما بينها خلايا كبيرة غير منقسمة لكنها مسوبرة كذلك . وقد تصل هذه الأشرطة من الفلين المصفف قطرياً ومماسياً ببعضها وتحصر فيما بينها مجموعات من الخلايا المسوبرة وتتبادل معها .

التغلظ الثانوي في السيقان والجذور Secondary thichening in stems and roots :

١– التغلظ الثانوي في السيقان Secondary thichening in stems :

أن الكمبيوم الأولي Procambium الذي يظل مرستيمياً ، ولكنه لا يمارس نشاطه الانقسامي إلا عند بدء التغلظ الثانوي ، حيث يتحول عادة إلى الكمبيوم الحزمي Fasicular cambium .

وعندما يبدأ التغلظ الثانوي تنقسم خلايا الكمبيوم الوعائي انقسامات مماسية موازية للسطح وينتج عن كل خلية كمبيومية خليتان متشابهتان ظاهرياً تتميز أحداهما إلى خلية من خلايا الخشب أو من خلايا اللحاء وتظل الأخرى مرستيمية ، بحيث يكون الخشب الثانوي باستمرار إلى الداخل واللحاء الثانوي إلى الخارج . وبتوالي الانقسام تضاف خلايا جديدة إلى الخشب وهذه تتميز بعد ذلك إلى عناصر الخشب الثانوي Secondary xylem كما تضاف خلايا جديدة إلى اللحاء وهذه بدورها تتميز إلى عناصر اللحاء الثانوي Secondary phloem . ويحدث في بعض المناطق حيث توجد أصول الكمبيوم الشعاعية Ray initials أن تنقسم هذه الأصول لتعطي خلايا مستطيلة في الاتجاه القطري وهذه تكون أشعة اللحاء Phloem rays جهة الخارج وأشعة الخشب Xylem rays جهة الداخل .

وفي بعض النباتات يظهر الكمبيوم داخل الحزم الوعائية فقط ويتخذ شكل أشرطة منفصلة ، وبناءاً على ذلك يقتصر التغلظ الثانوي على النشاط الكمبيومي داخل الحزم الوعائية ويكون حينئذ محدوداً إلى درجة كبيرة وذلك ما يحدث في بعض النباتات العشبية من ذوات الفلقتين مثل الشقيق Ranunculus . أما في النباتات الأخرى والتي يتقدم فيها التغلظ الثانوي إلى مدى بعيد كما هي الحال في النباتات المعمرة . وفي الكثير من النباتات العشبية تظهر أشرطة من الكمبيوم بين الحزم الوعائية من الخلايا البرنكيمية المكونة للأشعة النخاعية وتتصل هذه الأشرطة فيما بعد بالأشرطة الكمبيومية الموجودة داخل الحزم بحيث تتكون بذلك حلقة كاملة من الكمبيوم . ويسمى الكمبيوم الموجود داخل الحزم بالكمبيوم الحزمي Fascicular cambium ، أما الكمبيوم الجديد والذي يظهر بين الحزم فيسمى بالكمبيوم ما بين الحزم Interfascicular cambium وعندما تكتمل حلقة الكمبيوم تنقسم بنشاط لتعطي عناصر خشب للداخل وعناصر لحاء للخارج كما تعطي في نفس الوقت أشعة برنكيمية . وتسمى الأشعة النخاعية الموجودة أصلاً بالساق بالأشعة النخاعية الابتدائية Primary medullary rays وتسمى الأشعة التي تتكون بعد ذلك بالأشعة الثانوية

Secondary rays . فإذا تكونت داخل الخشب سميت بأشعة الخشب الثانوي Secondary phloem rays وإذا تكونت داخل اللحاء سميت بأشعة اللحاء الثانوي Secondary xylem rays .

وعلى أساس انتظام الحزم الوعائية في الساق الابتدائية ونشاط حلقة الكمبيوم بعد ذلك أمكن تمييز عدة أنواع من التغلظ الثانوي أهمها ما يأتي :

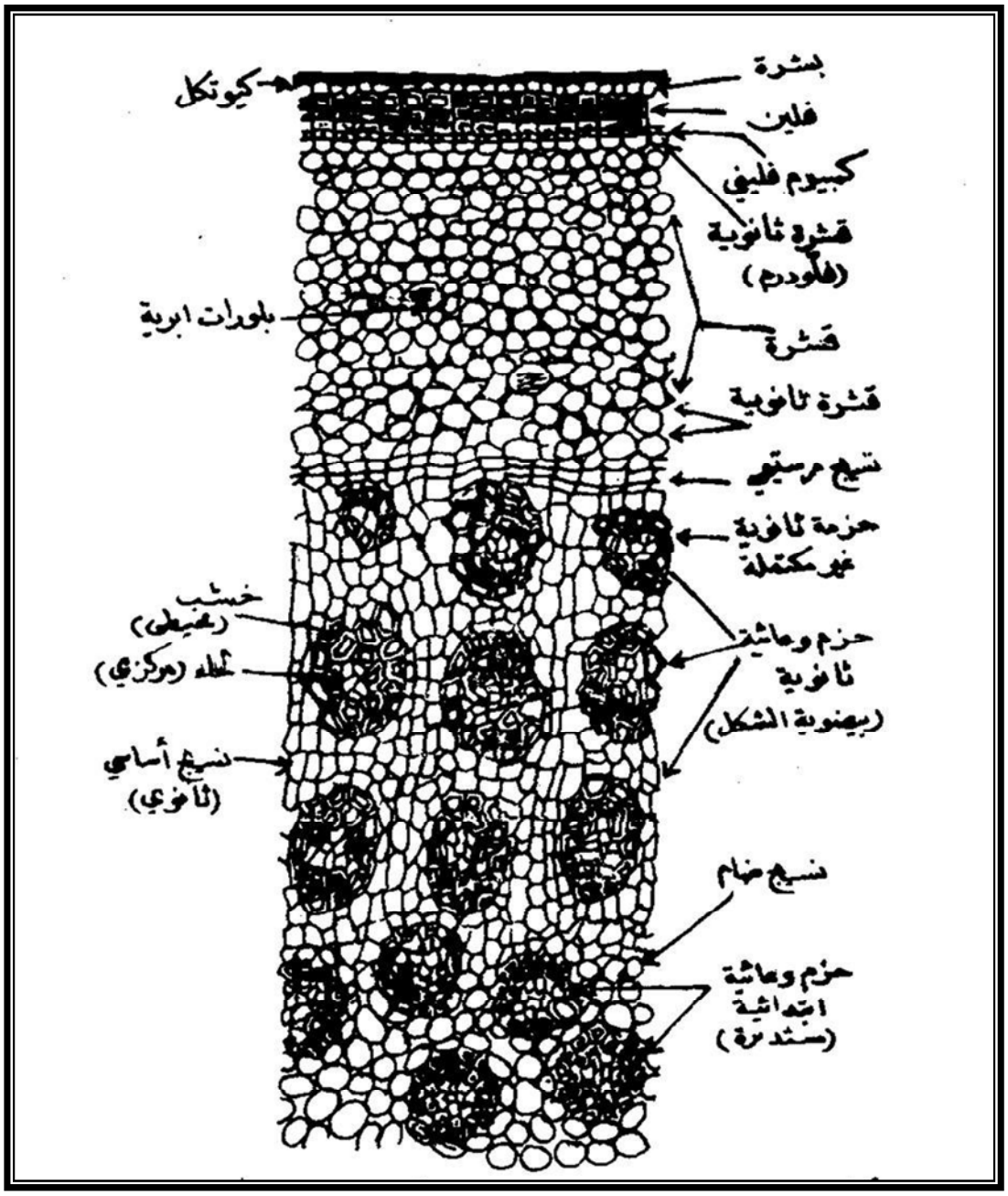
١- في هذا النوع تنتظم الحزم الوعائية أصلاً في حلقة من الأشرطة المنفصلة ويقوم الكمبيوم بين الحزمي بتكوين أشعة برنكيمية فقط . ولذلك تظهر الأنسجة الوعائية الثانوية مجزأة أيضاً إلى أشرطة منفصلة وذلك كما في ساق العنب *Vitis vinifera* .

٢- تنتظم في هذه الحالة الحزم الوعائية الابتدائية على هيئة أشرطة منفصلة ولكن تبعاً لنشاط حلقة الكمبيوم تظهر الأنسجة الوعائية الثانوية على هيئة أسطوانة كاملة كما في حالة ساق الصفصاف *Salix* والمشمش *Prunus* .

٣- تظهر الحزم الوعائية الابتدائية أصلاً متلاصقة إلى حد كبير وعندما يتم التغلظ الثانوي تتخذ الأنسجة الوعائية الثانوية هيئة أسطوانة كاملة . كما في حالة ساق الزيزفون *Tilia* وساق عين البزون *Vinca* .

❖ التغلظ الثانوي في سيقان ذوات الفلقة الواحدة Secondary thickening in Monocots :

لا يحدث في نباتات ذوات الفلقة الواحدة بوجه عام أي تغلظ ثانوي عادي . لكن هناك بعض النباتات الخشبية وقليل من النباتات العشبية من العائلة الزنبقية Liliaceae مثل دارسينا *Dracaena* (شكل ١٣-٥) والصبار *Aloe* ويوكا *Yucca* وآجاف *Agaye* يحدث فيها نوع خاص من التغلظ الثانوي . ففي نبات دارسينا يبدأ حدوث التغلظ الثانوي بتكوين حلقة كمبيومية تظهر في الجزء الداخلي من القشرة ويتكون هذا الجزء أصلاً من خلايا برنكيمية رقيقة الجدران متراصة إلى حد ما في صفوف قطرية عن طريق عملية فقدان التميز Dedifferentiation . وهنا الكمبيوم الوعائي يعطى إلى الداخل حزماً وعائية كاملة مقفلة مركزية محاطة بغمد ليفي ومتقاربة ، كما يعطي أيضاً خلايا برنكيمية تنتظم في صفوف قطرية تمتد مابين الحزم وتتغلظ جدرانها بالتدريج بمادة اللكنين . وتتركب الحزمة الوعائية الثانوية من بضعة عناصر من اللحاء تحتل مركز الحزمة يحيط بها الخشب الذي يتكون معظمه من قصيبات Tracheids . كما تعطى حلقة الكمبيوم إلى الخارج كمية محدودة من الخلايا البرنكيمية تكون طبقة ضيقة من القشرة الثانوية Phelloderm . وتبقى هذه الخلايا عادة رقيقة الجدران وفي نبات زانثورويا Xanthoroea تفرز بعض هذه الخلايا مادة راتنجية بكمية وافرة مكونة ما يسمى بغد راتنجي Resin sheath حول الساق . وقد يحدث في بعض الأحيان أن تتسوبر جدران الخلايا البرنكيمية للمنطقة الخارجية من القشرة غير أنه في غالب الأحيان تتكون طبقة بريدرم كاملة عن طريق ظهور كمبيوم فليني Phellogen في هذه المنطق بالإضافة إلى تسوبر هذه الخلايا . وقد يستمر هذا النوع من التغلظ الثانوي في بعض السيقان حتى يصل قطر الساق في بعض الأحيان إلى ثلاثة أمتار أو أكثر .



الشكل (١٣-٥): جزء من مقطع مستعرض في ساق الدارسينا يوضح النمو في ذوات الفلقتين

٢- التغلظ الثانوي في الجذر Secondary thickening in Roots :

يحدث التغلظ الثانوي في الجذر في نفس الوقت الذي يجري حدوثه في الساق وذلك لان حاجة النبات إلى كفاءة متزايدة بالنسبة لنقل الماء والمواد والتدعيم لابد وأن تستوفي في الساق والجذر معاً . ولكن طريقة بدء التغلظ الثانوي في الجذر تختلف اختلافاً كبيراً عنها في الساق .

ففي الجذر الحديث تنتظم عناصر اللحاء على شكل أشرطة تتوزع في المنطقة الخارجية للأسطوانة الوعائية داخل الدائرة المحيطة مباشرة وتتبادل مع أذرع الخشب xylem arms . وتتخذ عناصر الخشب أما محوراً مركزياً يمتد جهة الخارج مابين أشرطة اللحاء أو تتخذ شكل أشرطة منفصلة تتبادل مع أشرطة اللحاء

مع وجود نخاع برنكيمي في الوسط . وفي جميع الحالات لا يوجد هناك أي كمبيوم إذ يتحول شريط الكمبيوم الأولي Procambial strand عادة بصورة كلية إلى عناصر مستديمة من خشب ولحاء ابتدائيين .

وعندما يبدأ التغلظ الثانوي Secondary thickening في الظهور يظهر الكمبيوم كأشرطة إلى الداخل من أشرطة اللحاء عن طريق استعادة الخلايا البرنكيمية الموجودة في هذه المناطق قدرتها على الانقسام بفقدان التميز Dedifferentiation وتحولها إلى خلايا مرستيمية ثانوية Secondary meristem . تمارس هذه الخلايا نشاطها في الانقسام لتعطي عناصر وعائية ثانوية من خشب ولحاء وتكون عناصر الخشب جهة الداخل وعناصر اللحاء جهة الخارج .

ونظراً لأن الأشرطة الكمبيومية الناشئة داخل اللحاء تكون أكثر نشاطاً من تلك المتكونة من الدائرة المحيطة فإن عناصر الخشب الثانوي تدفع إلى الخارج الأجزاء من الحلقة الكمبيومية المنبعجة للداخل وينتج عن ذلك أن تنتظم الحلقة الكمبيومية بعد ذلك في أسطوانة منتظمة بصورة تدريجية بعد أن كانت متموجة .

ويحدث بعد ذلك أن تنشط الأسطوانة كلها مكونة خشباً ثانوياً Secondary xylem إلى الداخل ولحاء ثانوياً Secondary phloem إلى الخارج فيما عدا الأجزاء من الكمبيوم التي نشأت من الدائرة المحيطة والتي تقع مقابل الخشب الأول فإنها تكون أشعة وعائية vascular rays واسعة وبذلك يظهر في الجزء المسن نوعان من الأشعة : الأشعة الوعائية الواسعة التي تظهر مقابل الخشب الأول وتسمى الأشعة الوعائية الرئيسية Principal vascular rays والأشعة الوعائية التي تظهر بين الخشب واللحاء وتسمى بالأشعة الوعائية الثانوية Secondary vascular rays والتي تتميز إلى أشعة خشب Xylem rays وأشعة لحاء Phloem rays وكثيراً ما يتكون أيضاً في الجذر المسن بشرة محيطة Periderm وهذه الطبقة تنشأ غالباً من الدائرة المحيطة فيحصل Pericycle نتيجة تكوينها سقوط البشرة الخارجية بأكملها ، ولكنها قد تنشأ من طبقات القشرة الداخلية في بعض النباتات .

التركيب الداخلي للنبات وعلاقته بالبيئة
Internal structure of plants in relation to environment

النباتات التي تعيش تحت تأثير ظروف بيئة معينة تتحور من حيث تركيبها الداخلي وشكلها الخارجي معاً بحيث تستطيع التكيف لهذه الظروف والتغلب على صعوباتها . ومن العوامل البيئية المؤثرة في ها المجال كمية الماء المتوفرة والضوء والحرارة وغيرها . إلا أن الماء هو أكثر هذه العوامل تأثيراً على الإطلاق . ويطلق على النباتات التي تعيش في بيئة معتدلة من حيث توفر الماء ودرجة الحرارة ، نباتات البيئة المتوسطة أو النباتات الوسطية Mesophytes . أما النباتات التي تعيش في البيئة الصحراوية أو القاحلة والتي تتعرض إلى ندرة الماء فتسمى نباتات البيئة الجافة أو نباتات الجفاف Xerophytes .

أما النباتات التي تعيش في البيئة المائية سواءاً كانت نباتات مغمورة Submerged أم طافية Floating أم بازغة Emerged يطلق عليها مصطلح النباتات المائية Hydrophytes . وإذا كانت البيئة الملائمة لنمو النباتات بيئة رطبة سميت النباتات عندئذ نباتات رطوبية أو نباتات البيئة الرطبة Hygrophytes ، في حين يطلق على النباتات القادرة على العيش في بيئات ملحية مصطلح النباتات الملحية أو نباتات البيئة المالحة Halophytes .

نباتات الجفاف Xerophytes :

نباتات الجفاف الحقيقية هي تلك التي تستطيع العيش تحت ظروف الجفاف وتتحملها عن طريق تحورات خاصة في تركيبها الداخلي والخارجي . ومما يجدر أخذه في الاعتبار أنه بجانب المناطق البيئية ذات الجفاف الحقيقي توجد أنواع من البيئة تولد ظروف جفافية من الناحية الفسيولوجية كالمستنقعات المالحة Salt Marshes or Swamps أو التربة شديدة القلوية حيث يتعذر على النبات الحصول على حاجته الكاملة من الماء . وفي بيئات أخرى قد يتعذر على النبات امتصاص الماء في فترة معينة من السنة وذلك لانخفاض الشديد في درجة الحرارة في هذه الفترة . تحت هذه الظروف كلها يتعذر على النبات امتصاص الماء فيتطلب ذلك داخلياً وخارجياً وجود تلك التحورات التي تظهر على نباتات الجفاف الحقيقية . ويمكن تلخيص هذه التحورات فيما يأتي :

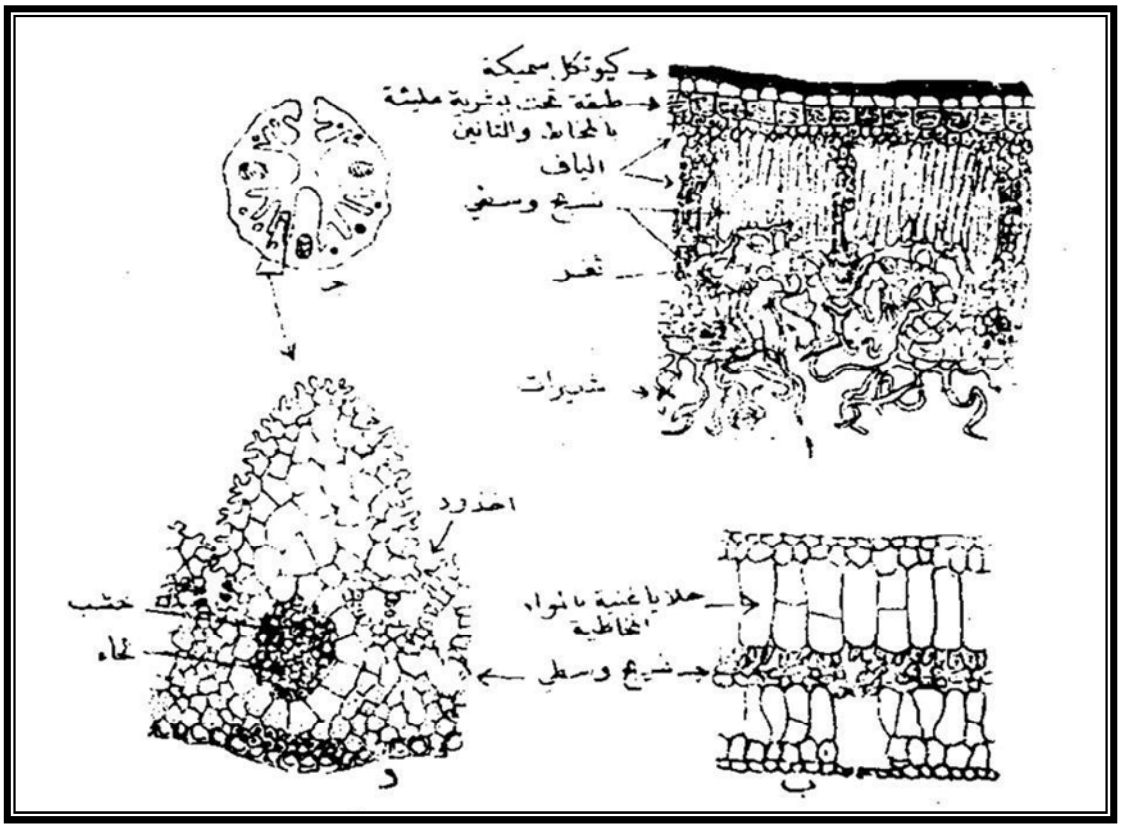
أولاً – تقوية البشرة :

في معظم نباتات الجفاف تغلف البشرة بطبقة سميكة من الأدمة Cuticle وذلك بجانب تغلظ جدران خلاياها وأحياناً خلايا الطبقة التي تليها بمادة الكيوتين Cutin . وبالإضافة إلى تكوين جدر تكتين Cutinixation البشرة والطبقة التي تليها قد تتغلظ هذه الجدران علاوة على ذلك بمادة اللكنين . وفي حالات أخرى تتغطى البشرة بطبقات شمعية سميكة أمعانا في الإقلال من فقدان الماء الى أقل قدر ممكن .

ثانياً – تكوين كميات وفيرة من النسيج السكلرنكيمي :

تتميز نباتات الجفاف بوجود نسب كبيرة من الخلايا السكلرنكيمية ولاسيما في الأوراق مقارنة بما يوجد عادة في أوراق النباتات الوسطية وتوجد هذه الخلايا عادة بشكل طبقة أو طبقتين تقع بين البشرة والنسيج المتوسط .

وفي حالات أخرى تتواجد الخلايا السكلرنكيمية على شكل أشرطة أو صفائح سميكة من الألياف تمتد طولياً تحت البشرة في حين يمتد النسيج التمثيلي مابين هذه الأشرطة متصلاً بالخارج عن طريق الثغور . وبذلك تقوم الصفائح أو الأشرطة السكلرنكيمية بمنع فقدان الماء من ناحية وكدعامة ميكانيكية عند تعرض النبات للجفاف من ناحية أخرى . وتسمى نباتات الجفاف التي تتكيف لهذه الظروف عن طريق توفر الأنسجة السكلرنكيمية بأوراقها نباتات الجفاف متصلبة الأوراق Hard leaves Xerophytes .



الشكل (١٤-١): مقاطع مستعرضة في أوراق بعض نباتات الجفاف أ- جنس بانكسيا *Banksia* ب- جنس بيكونيا *Begonia* ، الأوراق عميرية جـ – ورقة في حالة ألتفاف جنس سبارتينا *Spartina* . د- جزء مكبر من ورقة سبارتينا لاحظ الثغور الموجودة في الأخاديد .

ثالثاً – وفرة الشعيرات :

تكون كثير من نباتات الجفاف شعيرات Hairs or Trichomes كثيرة على السطوح السفلية للأوراق أو على الثغور فتتكون بذلك عن طريق الشعيرات شبكة متماسكة تستطيع أن تحتفظ بالهواء المحيط بالثغور بدرجة عالية من الرطوبة . وبهذه الطريقة تقل حركة الهواء المتاخم لسطح الورقة

وبالتالي يختزل النتح الثغري Stomatal transpiration . وتسمى النباتات التي تستخدم الشعيرات في مقاومة ظروف الجفاف بنباتات الجفاف شعيرة الأوراق Trichophyllous xerphytes . ومن أمثلتها ورقة نبات الدفلة *Nerlum Olender* وورقة نبات قصب الرمال وورقة نبات بانكسيا .

رابعاً – انطواء الأوراق :

في بعض نباتات الجفاف ولاسيما النجيليات منها تستطيع الأوراق أن تقوم بعملية الانطواء بصورة محكمة وذلك عندما يشتد الجفاف . وفي هذه الحالات توجد الثغور على السطح العلوي فقط وعندما تنطوي الورقة تنعزل الثغور عن الجو الخارجي الجاف وعن التيارات الهوائية وذلك كما في ورقة قصب الرمال وورقة سبارتينا . وتعود قدرة الأوراق على الانطواء في الجفاف والانبساط في الظروف العادية أو الرطوبة إلى وجود تنوعات من الخلايا . تتميز هذه الخلايا بكبر حجمها ورقة جدرها وتأثرها السريع بالرطوبة والجفاف فعندما يجف الهواء المجاور للورقة تفقد هذه الخلايا بعض مائها وتتكمش وبذلك تنطوي الورقة وينعزل سطحها العلوي تماماً عن الجو الخارجي ، وعندما تعود الرطوبة إلى الارتفاع تمتص هذه الخلايا الماء وتنتفخ وعندئذ تنبسط الورقة وتسمى هذه الخلايا بالخلايا الحركية Motor cells or Bulliform كما تسمى أيضاً الخلايا المفصلية Hinge cells .

خامساً – الثغور من حيث تركيبها وموضعها :

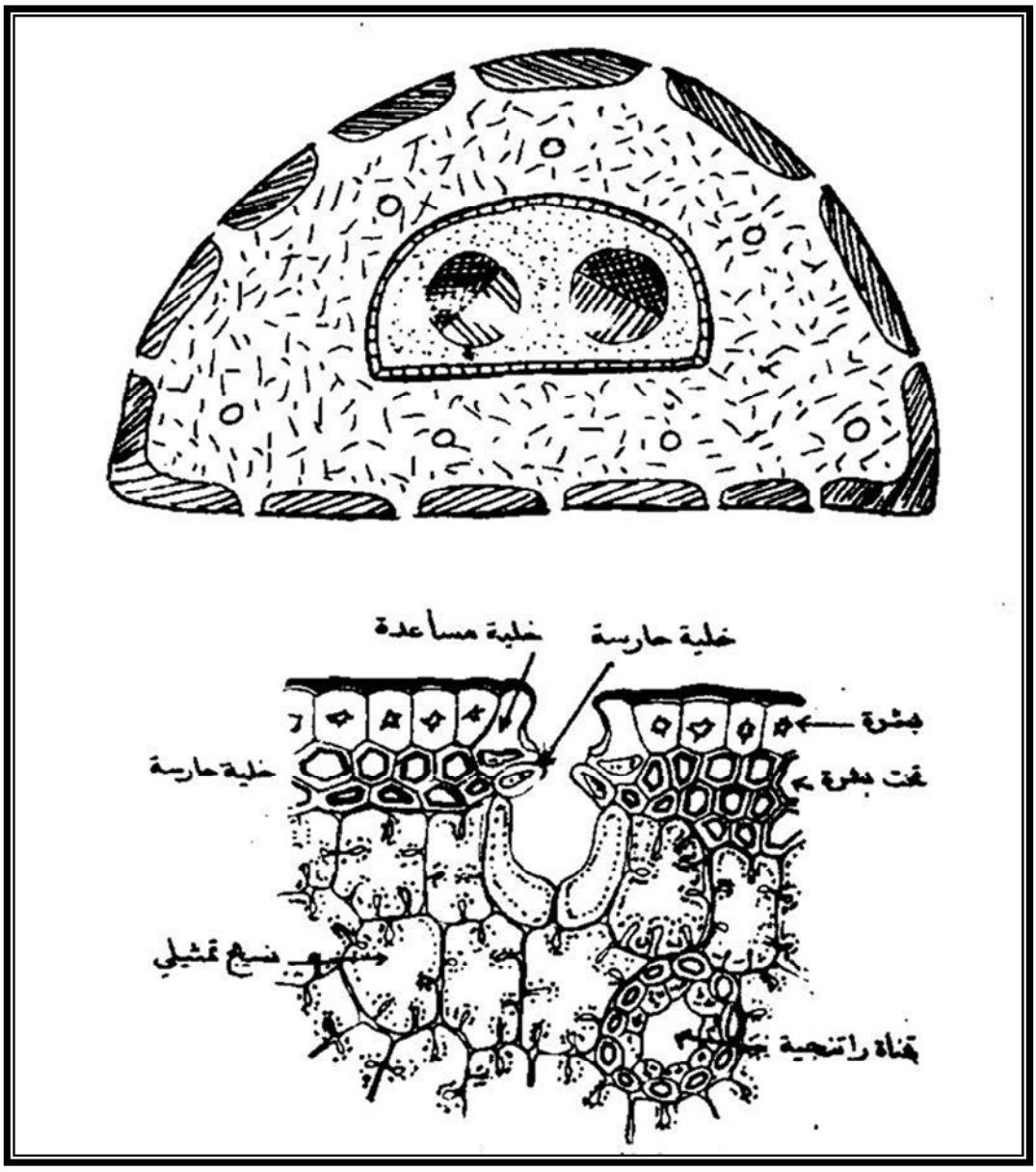
تمثل الفتحات الثغرية Stomata الموجودة ضمن المعقد الثغري Stomatal complex الممر الرئيسي لخروج الماء من داخل جسم النبات ولذلك فإن زيادة عددها يصاحبه عادة فقدان زائد للمحتوى المائي خلال عملية النتح الثغري Stomatal transpiration وعكس ذلك ما يكتسبه النبات من احتفاظه بكمية كبيرة من الماء عند وجود قلة من الثغور على سطحه أو إذا كانت الثغور مصانة بطريقة أو بأخرى من التعرض المباشر للجو الخارجي . ففي نباتات البيئة المتوسطة Xerophytes مثلاً توجد الثغور على مستوى خلايا البشرة في حين تكون في بعض نباتات الجفاف على مستوى منخفض أي غائرة Sunken تحت تجويف خاص يسمى بالغرفة الهوائية الخارجية External air chamber . هذه التجاويف أو المنخفضات يظل الهواء الجوي فيها محتفظاً بدرجة عالية من الرطوبة مما يعمل على خفض معدل النتح من الثغور كما في ورقة هاكيا . وقد تتكون هذه المنخفضات في نباتات المناطق الحارة التي تتعرض لنتح مفرط نتيجة سقوط أشعة الشمس الشديدة الحرارة على الأوراق كما في تين المطاط .

سادساً – اختزال سطح الورقة :

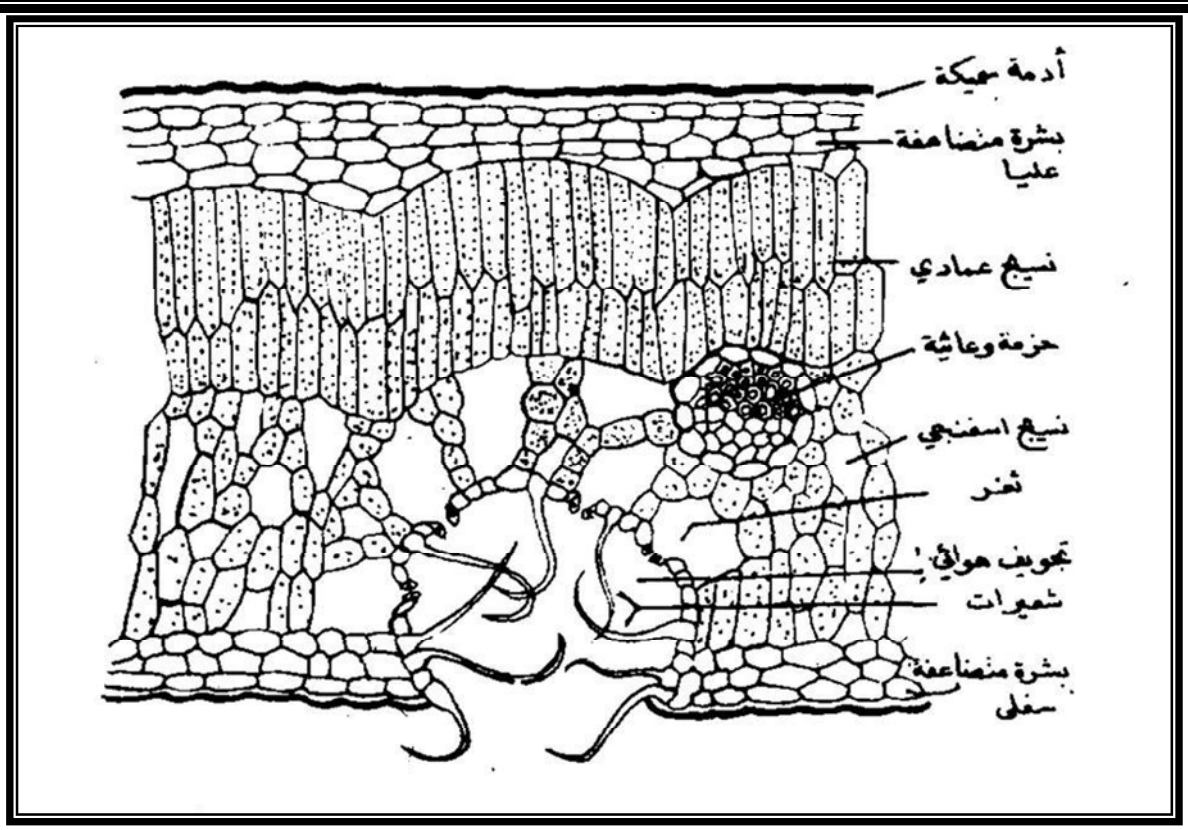
تلجأ بعض نباتات الجفاف إلى تخفيض معدل النتح Transpiration بها عن طريق تقليل السطح الناتج وذلك بحملها لأوراق صغيرة وتسمى هذه النباتات نباتات الجفاف صغيرة الأوراق Microphyllous xerophytes . ومن أمثلتها نباتات آذنات الخيل والصنوبر وكازوارينا .

❖ نباتات الجفاف اللحمية Fleshy Xerophytes

قد تلجأ النباتات إلى الاحتفاظ بكميات كبيرة من الماء داخل جسم معا مما يؤدي في بعض الأحيان إلى ظهورها بمظهر لحمي . ولذلك فهي تسمى بنباتات الجفاف اللحمية Fleshy xerophytes وتكون هذه النباتات أوراق أو سيقان لحمية تحتوي بداخلها على نسيج حشوي خازن للماء كما يحتوي بالإضافة إلى ذلك على مواد هلامية . وهذا الماء المختزن يمكن الاحتفاظ به حتى فترة الجفاف حين يحتاج النبات إلى استخدامه . ويتركب النسيج الخازن للماء من خلايا برنكيمية حية كبيرة الحجم بدرجة غير عادية وتحتوي على سايتوبلازم خارجي رقيق وفجوة مركزية واسعة مملوءة بالماء أو بسائل هلامي . وهذا النسيج الخازن قد يؤدي مهمة سد حاجة النبات إلى الماء أثناء الجفاف كما أنه يحفظ الأنسجة الداخلية من أشعة الشمس الحارة الساقطة على سطح النبات .



الشكل (١٤-٢): قطاع مستعرض في ورقة نبات الصنوبر



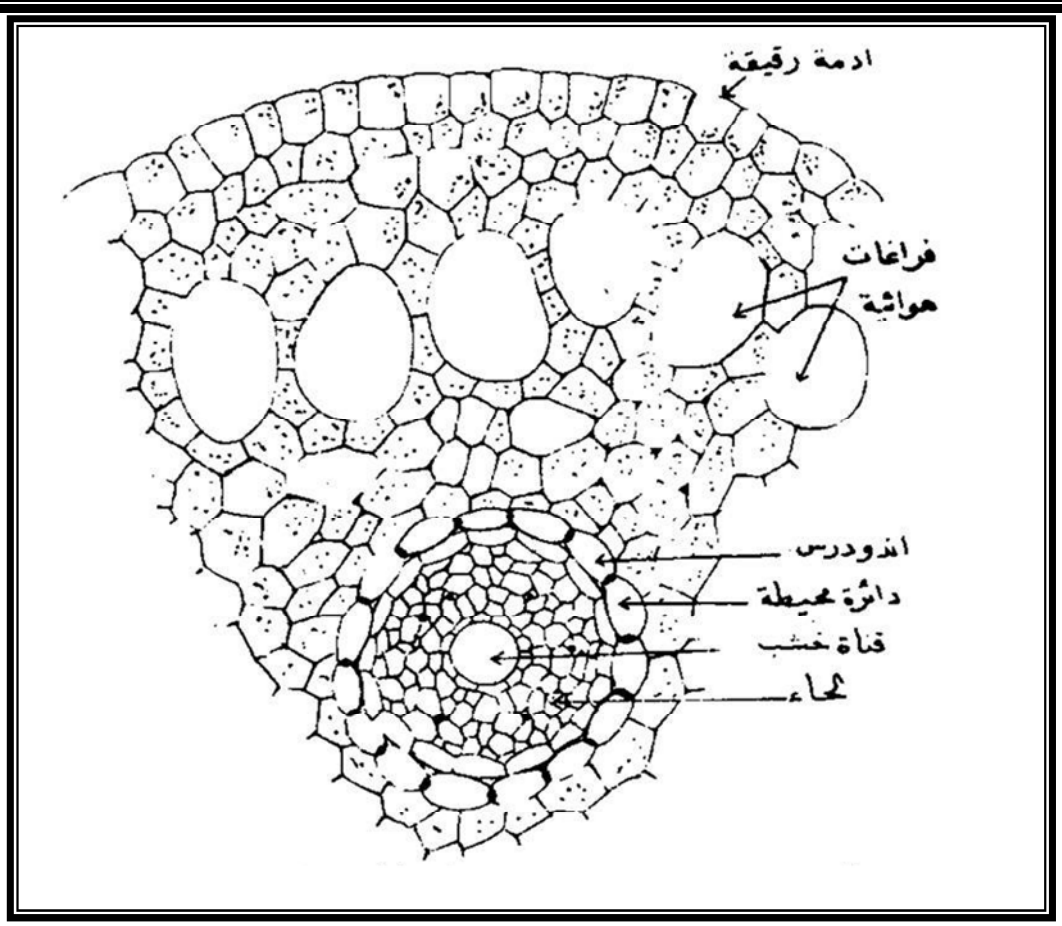
الشكل (١٤-٣): قطاع مستعرض في ورقة نبات الدفلة يبين بعض الخصائص الحافية

النباتات المائية Hydrophytes :

تتحور النباتات المائية أيضاً لكيما تتلائم مع بيئتها فالعوامل التي تؤثر على النباتات المائية تتضمن أساساً درجة الحرارة والتهوية الكافية والتركيز الأزموزي والسمية وغير ذلك . وتحدث التحورات التركيبية في النباتات المائية عن طريق اختزال الأنسجة الواقية والدعامية والموصلة بالإضافة إلى زيادة في المسافات البينية خلال الأنسجة الداخلية (شكل ١٥-١) . ويمكن تلخيص مميزات النباتات المائية فيما يأتي :

أولاً – البشرة :

تفقد البشرة في النباتات المائية وظيفتها الوقائية ولكنها تقوم عوضاً عن ذلك بامتصاص الماء والغازات والأملاح مباشرة من المياه المحيطة ، وفي النباتات المائية النموذجية يغطي البشرة طبقة رقيقة جداً من الأدمة Cuticle . ومن المعروف أن نباتات البيئة المتوسطة لا تحتوي خلايا البشرة العادية فيها على كلوروفيل إلا أن خلايا البشرة العادية Ordinary epidermis في النباتات المائية تحتوي على كلوروفيل بغزارة وتقوم بدور هام في عملية البناء الضوئي ولاسيما في الأوراق الرقيقة . أما من جهة الثغور فهي بسيطة التركيب وتوجد بوفرة في الأجزاء الطافية وتختفي تماماً في الأجزاء المغمورة ويحدث تبادل الغازات مباشرة خلال البشرة ذات الجدران الرقيقة .



الشكل (١٥-١): قطاع مستعرض في ساق نبات عشب البط (إيلوديا) يبين بعض خصائص النباتات المائية .

ثانياً – الشكل العام للورقة :

تكون مغمورة تماماً أو طافية وعلى هذا الأساس فالنباتات المغمورة تكون أوراقها جميعاً مغمورة . أما النباتات الطافية فهذه تكون لها أوراق طافية وربما أخرى هوائية بجانب الأوراق المغمورة . والأوراق المغمورة تكون عادة أما رفيعة للغاية أو مجزأة ، كما في نبات الحزنبل أو الأشنبلان *Myriophyllum* وحامول الماء *Utricularia* نخشوش الحوت *Ceratophyllum* . ويعود ذلك إلى أن الأوراق المجزأة تمتاز بسطح أكبر لامتصاص الغازات بالإضافة إلى أنها أقدر على المقاومة من الناحية الميكانيكية إذ تستطيع التبارات المائية أن تنساب بين أجزائها . وتوجد في بعض النباتات المائية ظاهرة التباين الورقي Heterophylly والتي تنمي وجود نوعين أو أكثر من الأوراق على النبات الواحد ومن الأمثلة البارزة في هذا الصدد نبات الشقيق المائي *Ranunculus agvatilis* إذ يحمل النبات أوراقاً مغمورة ريشية كثيرة التجزء وأوراقاً طافية بسيطة مفصصة .أما في نبات اللوتس *Nymphaea* فتوجد أوراق قليلة مغمورة شريطية الشكل وأوراق طافية بيضية وقلبية الشكل ويمثل جنس ساجيتاريا *Sagittaria* مثلاً طريفاً للنباتات المائية فأنواعه التي تعيش في الماء الضحل تحمل ثلاثة أنواع من الأوراق : أوراق مغمورة وهذه شريطية الشكل Linear وأوراق طافية وهذه رمحية الشكل Lanceolate وأوراق هوائية وهذه سهمية الشكل Sagittate . أما أنواعه التي تعيش في الماء العميق الجاري فيوجد بها نوع واحد من الأوراق هي الأوراق المغمورة الشريطية . والأوراق الطافية

بوجه عام تكون عادة كاملة الحافة يتصل عنقها بمركز النصل حتى يكون الشد مركزياً وحتى يبقى النصل طافياً .

ثالثاً – الغرف الهوائية :

تحتوي النباتات المائية خلال أنسجتها على مسافات هوائية واسعة ممتلئة بالغازات وتقوم بمهمة خزن هذه الغازات . وهذه المسافات تكون أما مسافات بينية واعة تحيطها من جميع الجوانب خلايا برنكيمية رقيقة الجدران أو غرف هوائية حقيقية واسعة ومنتظمة . وتقوم هذه الغرف الهوائية مقام الجو الداخلي بالنسبة للأنسجة . فيخزن فيها الأوكسجين الناتج من التمثيل الضوئي Photosynthesis وثاني أوكسيد الكاربون الناتج من التنفس Respiration لكيما تستخدم في التنفس والتمثيل الضوئي على التوالي . ويمكن مشاهدة هذه الفراغات بوضوح في نبات بوتدريا قلبية . وسمى النسيج الحاوي على المسافات البينية الواسعة البرنكيما الهوائية Aerenchyma وهذا النسيج – من الناحية المورفولوجية قد يكون جزءاً من القشرة أو من النخاع أو من النسيج المتوسط للورقة .

رابعاً – اختفاء النسيج السكلرنكيمي :

يختفي عادة النسيج السكلرنكيمي من النباتات المائية وإذا وجد فيكون ضعيف التكوين . ويعتمد النبات على الماء ذاته كدعامة له . وقد يوجد في بعض الحالات نسيج كولنكيمي كما في ساق نخشوش الحوت *Ceratophyllum* كما قد توجد أشرطة سكرنكيمية أحياناً على مدار حافة الورقة في النباتات المغمورة .

خامساً – اختزال الأنسجة الوعائية والماصة :

يحدث امتصاص الماء والأملاح في النباتات المائية من المياه المحيطة خلال السطح المغمور للنبات ولذلك فالنظام الجذري يكون مختزلاً في مثل هذه النباتات إلى حد كبير . وتبقى له عند ذلك الوظيفة الميكانيكية بصورة أساسية . وتختفي لذلك الشعيرات الجذرية تماماً . وكذلك فإن عناصر الخشب تختزل هي الأخرى أو قد تختفي تماماً في بعض الحالات . ويبقى الخشب عندئذ ممثلاً بقناة خشبية Xylem canal تتكون بالطريقة الانفعالية Schizogenously ، وذلك من الخلايا البرنكيمية التي تحتل مركز الساق . كما قد تتكون بطريقة انحلال بعض العناصر الناتجة من أشرطة الكمبيوم الأولي Procambial strands . وفي كلتا الحالتين تحاط قناة الخشب بخلايا برنكيمية بليها الحاء إلى الخارج . ويمكن الاستدلال على موضع اللحاء بسهولة بواسطة أنابيبه المنخلية الكبيرة . أن ظاهرة اختزال الخشب في النباتات المائية رغم وجود لحاء جيد التكوين تعود أساساً إلى أن الامتصاص يحدث عن طريق سطح النبات كله .