اولا :الجدار الخلوي The cell wall

وهو الغلاف الصلب الذي يحيط ببروتوبلاست الخلية النباتية , الذي يعد احد مميزات الخلية النباتية عن الخلية الحيوانية , يتراوح سمكه بين 3 - 1 مايكرون . وبصورة عامة يعتقد بان جدار الخلية طبقة غير حية تحيط بالخلية , بالرغم من تزايد اهمية فكرة وجود البروتينات في الجدار الخلوي بعد اكتشاف الحامضان الامينيان Proline و Hydroxyprolin في جدار الخلية.

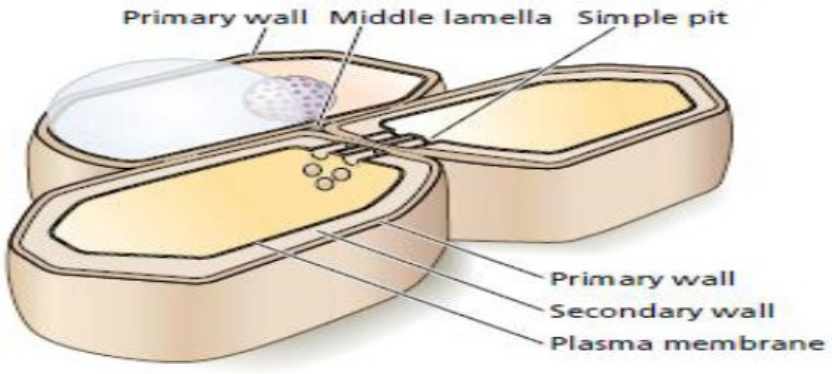
يمتاز عند بدء تكوينه بكونه رقيقاً للغاية له قابليته على التمدد والاتساع (المرونة واللدونة) اثناء نمو الخلية والذي لا يعد في اي حال من الاحوال دليلاً على حيويته بل يتسع نتيجة لازدياد حجم ونمو بروتوبلاست الخلية.

تكوين جدار الخلية cell wall formation

بداية تكون الجدار الخلوي يحدث عند الخطوات الاخيرة لانقسام النواة في عملية الانقسام غير المباشر وفي الطور الانفصالي Anaphase منه، إذ يتكون غشاء يفصل بين البروتوبلاستينٌ يعرف بالصفيحة الخلوية Cell plate . تتجمع اقساماً من الشبكة الاندوبلازمية في وسط الخلية التي تتحول الى جدار بكتيني يعرف بالصفيحة الوسطى Middle lamella تتكون اساساً من بكتات الكالسيوم والمغنسيوم التي تربط الخلاياٌ المتجاورة مع بعضها البعض. يعقب ذلك حدوث ترسيب على جانبي الصفيحة الوسطى مكونة الجدار الابتدائي Primary wall وهذا الجدار يتكون اساساً من السليلوز مختلطاً معه مركبات اخرى مثل الهيميسليلوز والبكتين وغيرها من المواد وهذا الجداريكون رقيقاً ومرناً وقابل للتمدد والنمو تبعاً لازدياد حجم الخلية، وقد تحتوي بعض الخلايا على الجدار الاولي فقط كالخلايا البرنكيمية، دون الجدار الثانوي Secondary wall الذي يعقب الجدار الاولي والذي يترسب بعد تمام نمو الخلية في الحجم . ويتكون عادة من ثلاث طبقات , الوسطية منها سميكة , اما الطبقتان الخارجية والداخلية فرقيقتان ويتركب الجدار الثانوي السليلوز اساساً، وتختلط معه مركبات اخرى غير سليلوزية اهمها اللكنين والسوبرين.

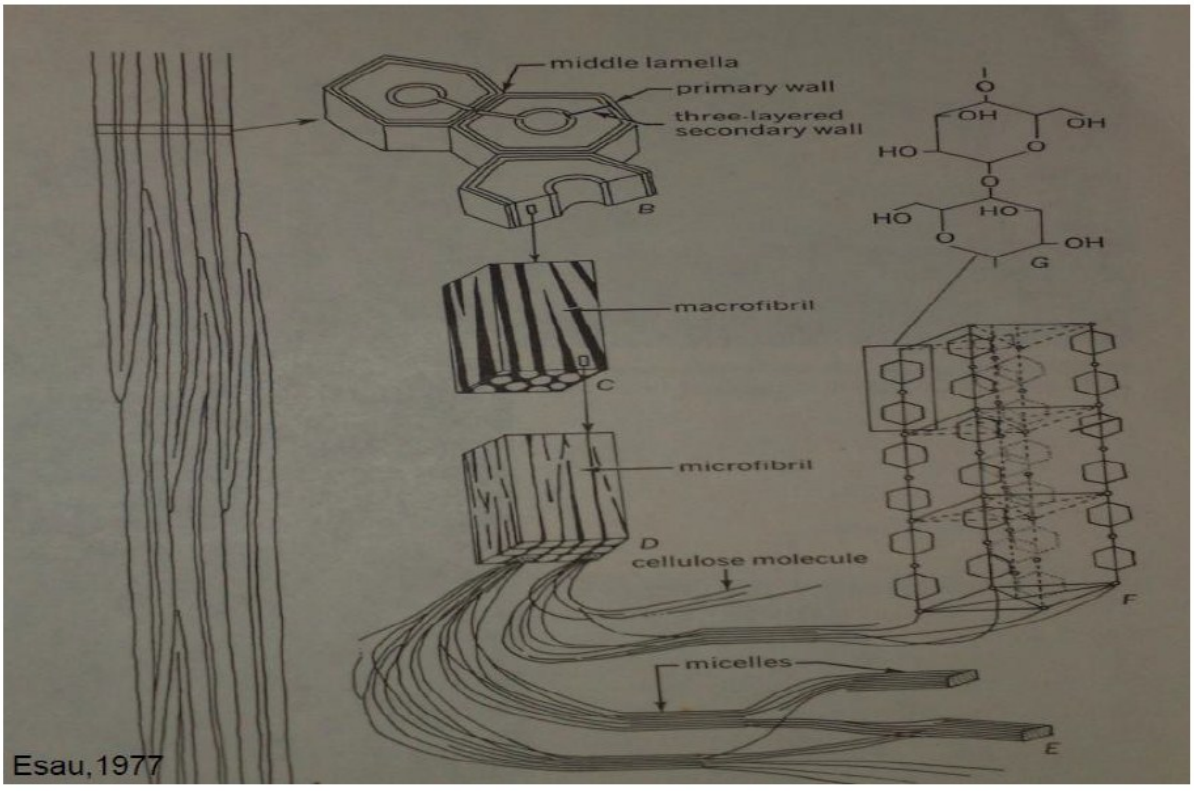
يمثل الجدول التالي المقارنة بين الجدار الاولي والثانوي:

مواد المقارنة	الجدار الاولي	الجدار الثانوي
السيليلوز	نسبة واطئة (10%)	نسبة عالية (50%)
الهيميسيليلوز والبكتين	نسبة عالية	نسبة واطئة
مدى تجمع الالياف	نسبة واطئة	نسبة عالية
طول سلاسل السيليلوز	حوالي 0.5 ميكرون	حوالي 5- 10 مايكرون
نسيج الليفات	الليفات مبعثرة	الليفات مرتبطة بطبقات وملتفة مع بعضها
مدى المرونة	نسبياً عالية	نسبياً واطئة
نوعية النمو (اضافة مواد جديدة الى الجدار)	اضافة النمو في السطح بعملية Aposition او بعملية التداخل	النمو سطحياً Aposition



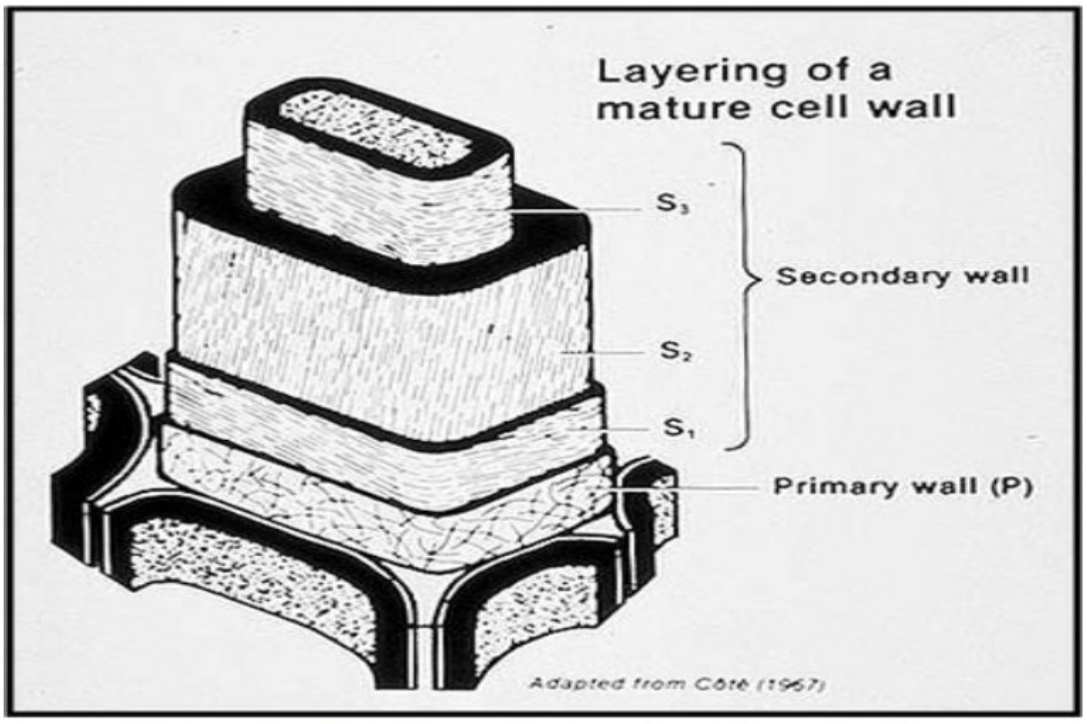
شكل توضيحي يمثل خلايا نباتية يلاحظ فيما بينها الجدر الفلصلة

من خلال دراسة التركيب الدقيق لجدار الخلية باستعمال الميكروسكوب الالكتروني وجد ان جدار الخلية مكون من شبكات السلاسل السليلوزية المكونة من العديد من جزيئات الكلكوز , إذ تتكون السلاسل السليلوزية من التحام جزيئات سليلوزية متبلورة ومتوازية مع جزيئات سليلوزية غير متبلورة غير المتوازية، ثم تتحد 100 سلسلة من السلاسل السليلوزية المتبلورة وغير المتبلورة لتكون ما يسمى بالليفات الاولية Micelle التي تعد اصغر وحدة في بناء جدار الخلية. تتحد ما يقرب 20 من Micelles لتكون تركيب اكبريدعى بالليفات الصغيرة Microfibril والتي يتجمع 250 من الاخيرة لتكون تركيباً يسمى بالليفات الكبيرة Fibrils .



رسم تخطيطي يوضح تركيب جدار الخلية

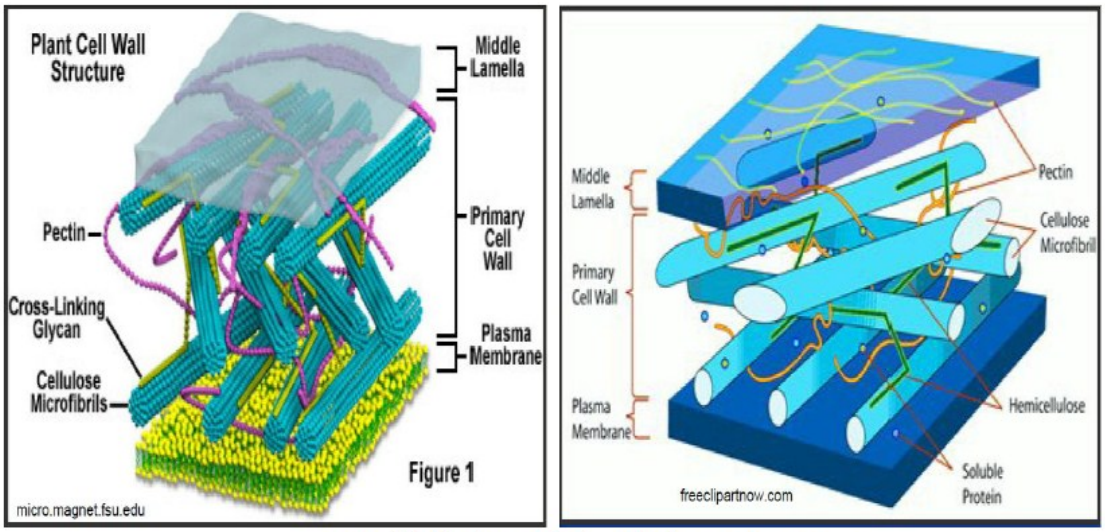
ان الترتيب الطبيعي لليفات الصغيرة في كل من الجدار الاول والثانوي للخلايا يكون مختلفاً، ففي الجدار الاولي للخلايا التي ستصبح متطاولة تكون الليفات الصغيرة متوازية عمودية او موازية للمحور الطولي للخلية، وفي الخلايا الكروية الشكل فان ترتيبها متداخلة شبكية. اما في الجدار الثانوي فان الليفات الصغيرة تكون متوازية ومائلة على المحور الطولي، وفي حالة تكون الجدار الثانوي من اكثر من طبقة واحدة(ثلاث طبقات) فان اتجاه ميل الليفات يختلف من طبقة الى اخرى. وترجع مرونة الجدار الابتدائي الى انخفاض نسبة السليلوز المتبلور وارتفاع نسبة السليلوز غير المتبلور والحالة معكوسة بالنسبة للجدار الثانوي , لهذا نجد ان السليلوز المتبلوريوجد بنسب منخفضة في جدر الخلايا الحديثة وتزداد هذه النسب مع كبر الخلايا في السن حتى تصل نسبته الى % 90 في جدر بعض الالياف النباتية.



رسم تخطيطي لترتيب الليفات الصغيرة في الجدار الاولي والثانوي لجدار الخلية

مما سبق يتضح ان الجدار الخلوي عبارة عن هيكل شبكي من سلاسل السليلُوز تتجمع في حزم تفصلها فراغات، وتتجمع الحزم في لويفات صغيرة تفصلها ايضاً فراغات، وكذا الحال بتجمع اللويفات الصغيرة في الجدار الثانوي بهيئة لويفات كبيرة تفصلها ايضاً فراغات تترسب في هذة الفراغات المختلفة

مواد مختلفة، تختلف حسب نوع الجدار ونوع وعمر الخلية، ففي الجدار الثانوي تمتلئ اساساً باللكنين، وفي جدر البشرة يترسب الكيوتين، وفي جدر خلايا الفلين يترسب السوبرين.



رسم توضيحي يمثل اهم مكونات جدار الخلية وترتيب

وظيفة الجدار الخلوي هو حفظ مكونات الخلية من المحيط الخارج , كما يعطي الخلية الصلابة والمتانة.

المكونات الكيميائية لجدار الخلية Chemical composition of Cell wall

يتكون الجدار الخلوي من هيكل سليلوزي تتداخل معه بعض المركبات الكيماوية اهمها:

1- **السليلوز Cellulose** : مادة كاربوهيدراتية تكون الهيكل الاساس للجدر الخلوية يتكون من سلسلة طويلة من وحدات سكر الكلوكوز مترابطة معاً وتتراوح عدد جزيئات سكر الكلوكوز في جزيئة السليلوز الواحدة بين 8000 - 3000 جزيئة، والسليلوز منفذ للماء والذائبات بصورة تامة , تصطبغ الجدران السليلوزية باللون عند معاملتها باليود ثم حامض الكبريتيك.

2- **الهيميسيليلوز Hemicellulose** : وهو مركب كاربوهيدراتي معقد يوجد في الجدران الاولية للخلايا، يتكون من خليط من تجمعات سكرية خماسية الكاربون مثل Arabinose والزايلول وسكريات سداسية مثل سكر المانوز. ويعتقد انها تعمل على ربط السليلوز بالمركبات الغير سليلوزية.

3- **المواد البكتينية Pectic Substances** وتشمل البكتين وحامض البكتيك يوجد في الجدار الاولي للخلية وكذلك في الصفيحة الوسطى بشكل بكتات الكالسيوم والمغنسيوم. وللبكتين خواص غروية فهو محب للماء ووجوده في جدران الخلايا يكسبها اللدانة والمرونة نتيجة لاحتفاظه بنسبة عالية من الماء.

4- **اللكنين Lignin** : وهو مجمعات من مركبات فينولية Phenyl Propanoids ويوجد في الجدران الثانوية لأوعية وقصبات الخشب والخلايا السكلرنكيمية. واللكنين يكسب الخلايا صلابة، إذ تعرف عملية تلكنن الجدران بمادة اللكنين بعملية اللكننة Lignification حيث يرتبط اللكنين بأواصر كيمياوية مع السكريات المتعددة الاخرى للجدار . تتلون الجدران الملكننة بلون اصفر عند معاملتها بمحلول كبريتات الانيلين.

5- الدهون Fatty Substances : و يشمل السوبرين Suberine الكيوتين Cutin والشموع Waxes وهذه تمثل بوليمرات لإحماض دهنية تختلف فيما بينها في محتواها من مجاميع الكاربوكسيل كما تختلف في خواصها الكيميائية والفيزيائية. يوجد الكيوتين عادة مع السليلوز في جدران خلايا نسيج البشرة (الاقسام الهوائية) ويطلق على تحمل الجدران الخلوية بمادة الكيوتين التكيتن Cutinization ، وتمثل هذة العملية الجدار الخارج لجدران خلايا البشرة وجدران ما بين الخلايا لهذا النسيج، وتزداد نسبة الكيوتين في طبقات الجدار المختلفة باتجاه الخارج الى ان تصبح مكونة من كيوتين نقي وخالي من السليلوز وتعرف بطبقة الادمة التي تكون مختلفة في النباتات من حيث السمك تبعاً لبيئة النبات. اما السوبرين فيوجد مع السليلوز في جدران خلايا الفلين ويطلق على عملية تحمل الجدار بعملية التسوبر Suberization . اما الشموع فتضاف بطرز مختلفة فوق طبقة الكيوتكل (الجدران الخارجية للبشرة) فتكسب بعض التراكيب النباتية كالثمار والاوراق المظهر الصقيل اللماع . ونظراً لكون المواد الدهنية في المواقع الخارجية لجسم النبات ولكونها غير منفذة للماء فهي تقوم بوظيفة وقائية ضد الحشرات والطفيليات , كما انها تحمي النبات من الجفاف وفقدان الماء . توجد هذه المواد بدرجة اقل في المناطق الداخلية للنبات فقد يتكون كيوتكل داخل البذور اما السوبرين فيوجد في جدران خلايا القشرة الداخلية Endodermis وكذلك في خلايا القشرة الخارجية Exodermis كما قد يوجدد السوبرين مع الكيوتين في جدران خلايا النسيج المتوسط للورقة في المناطق المقابلة للغرف الهوائية.

6- السيليكا Silica : وهي مادة معدنية تترسب في جدران الخلايا لبعض الانسجة النباتية وخاصة بشرة الحشائش وعندئذ تصبح حواف اوراقها حادة ومسننة.

7- التانين Tannin والراتنجات Resins والاصماغ Gums ويكثر وجود هذه المركبات في جدر الخشب الصميم ومعضمها تسبب زيادة متانة الخشب الصلب مقارنة بالخشب الرخو.

نمو جدار الخلية Growth of cell wall

يعتقد بان السبب في التوسع الحاصل في جدار الخلية الاولي يكون بسبب نمو الخلية , و يظهر ان الضغط الانتفاخي يلعب دوراً مهماً في عملية نمو جدار الخلية , كما تشترك الهرمونات النباتية (كالاوكسين) بطريقة ما في عملية نمو الجدار , ولابد من ان نعلم ان ترسب الجدار الثانوي على الجدار الاولي يعني ان نمو الخلية قد اكتمل وتوقف . وقد اختلفت الآراء حول كيفية النمو والترسيب في الجدار الخلوي , لذا وضعت نظريات مختلفة منهما نظريتان قديمتان هما .

1- نظرية التداخل Intussusception Theory

تفسر هذه النظرية زيادة النمو في مساحة الجدار , أذ تفترض النظرية ان نمو واستطالة الخلية يؤدئ الى اتساع المسافات بين الليفات الصغيرة المكونة لجدار الخلية لذى فان ملء هذه المسافات بليفات صغيرة جديدة تكون مواد جديدة للجدار يمنع تمزقه.

2- نظرية التراكم Apposition

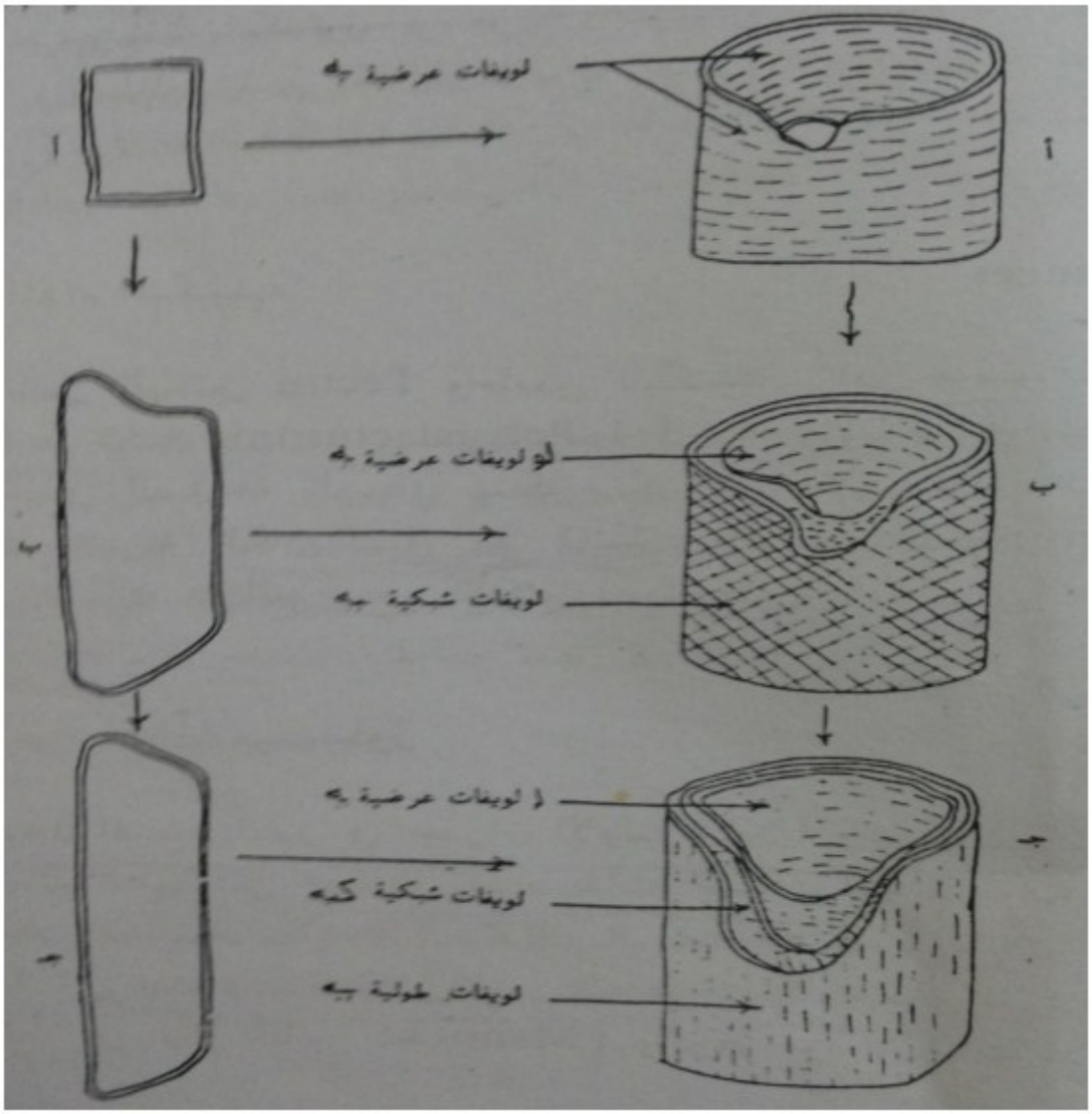
تفسر هذه النظرية الزيادة في سمك الجدار , إذ تفترض النظرية ان نمو الجدار الخلوي يرجع الى تكون مواد جديدة تضاف فوق مواد الجدار السابق اي ان النمو يحدث بشكل طبقات بعضها فوق بعض.

3 - نظرية النمو الموزايكي Mosaic Growth Theory

تبنى هذه النظرية على وجود مساحات دقيقة من الجدار الابتدائي يتخللها السيتوبلازم ويحدث في هذه المساحات تخليق لسيتوبلازم جديد يؤدي الى زيادة كميتة ، وبالتالي الى ابتعاد اللويفات الصغيرة عن بعضها وكبر سطح الخلية . يلي ذلك تكون لويفات صغيرة أخرى تملأ هذه الفراغات الدقيقة.

4 - نظرية النمو الشبكي المتعدد Multinet Growth Theory

تعتقد هذه النظرية أن نمو الجدار الأولي يتم بطريقة التراكم مع تغير اتجاه الليفات الصغيرة في الطبقات المختلفة ، إذ تكون الليفات الصغيرة الجديدة القريبة من غشاء البلازما في وضع أفقي او عامودي على محور الخلية وتتحول تدريجيا تلك الطبقات من الليفات الى وضع شبكي ثم تصبح عمودية (طولية) أي موازية لمحور الخلية ويحدث اتساع الخلية وبذلك تنمو.



5 - نظرية اتساع البروتين Extension Theory

تفترض هذه النظرية أن البروتين الغني بالحامض الاميني Hydroxy proline الموجود في الجدار يحتوي على اواصر التي تربط السكريات المضاعفة وتصبح هذه الأواصر ضعيفة في حالات الاختزال بعدد من التفاعلات الحيوية التي يعتقد بأن الأوكسين Auxin يحفزها وبالتالي تزداد خاصية الليونة غير العكسية لجدار الخلية وبفعل الظغط الانتفاخي يحدث نمو جدار الخلية او نمو الخلية.