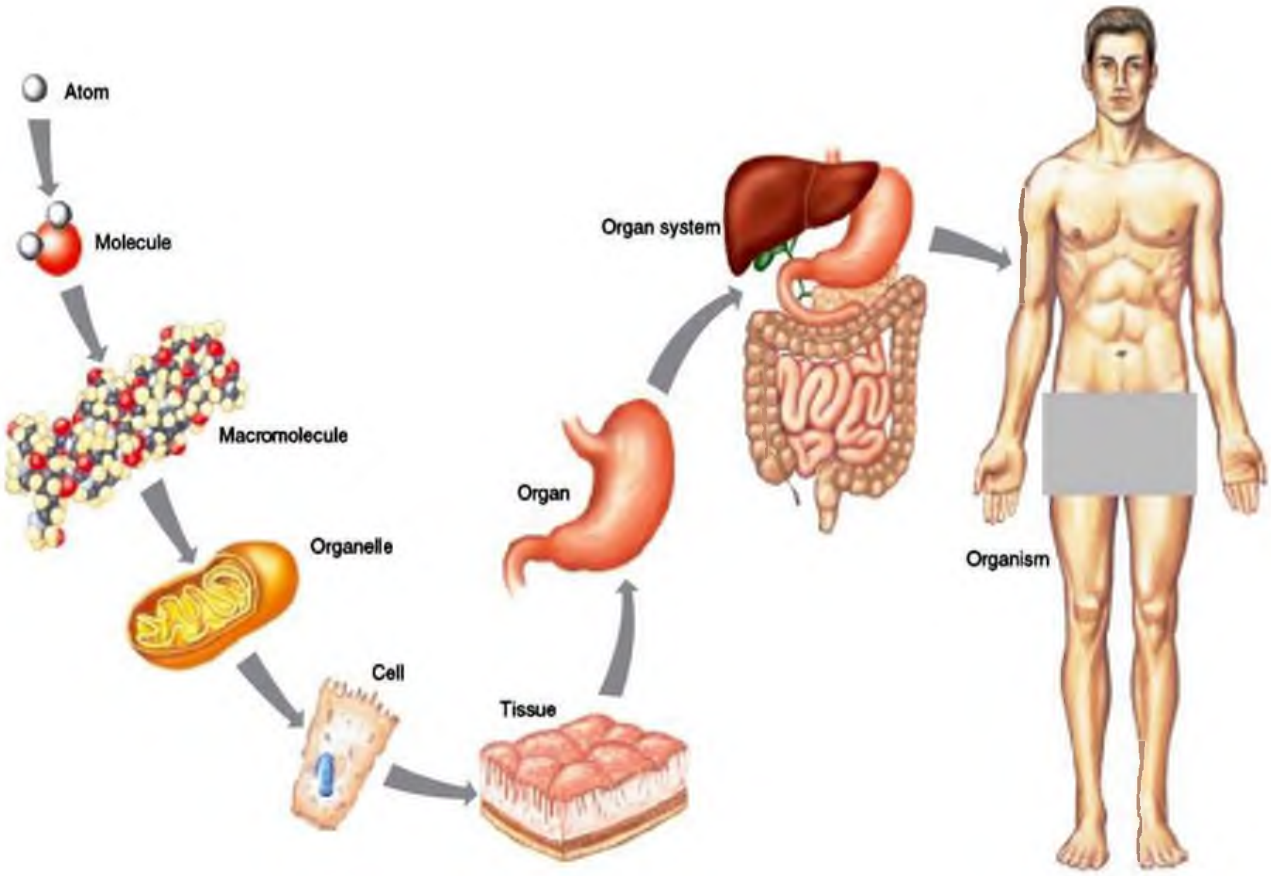
# الخلية ومكوناتها

## الخواص العامة للخلية

تتألف المادة الحية من العناصر المختلفة التي تكون أنواعاً مختلفة من المركبات البسيطة والمعقدة والتي بدورها تتجمع وتتآزر لتكون تراكيب خلوية غاية في التنظيم تتألف منها الخلية التي تشكل وحدة التركيب مجموعة من الخلايا تكوّن الأنسجة، ومجموعة الأنسجة تكوّن الأعضاء فالأجهزة فالجسم (**الشكل 1-2**) والوظيفة (كل تركيب خلوي يؤدي وظيفة معينة لتتآزر كافة الوظائف الخلوية لتشكل بذلك وحدة الوظيفة للنسيج فالعضو فالجهاز فالجسم) والوراثة والتكاثر(تنقسم الخلية لتعطي خلايا جديدة تنقل الصفات الوراثية) في الكائن الحي.



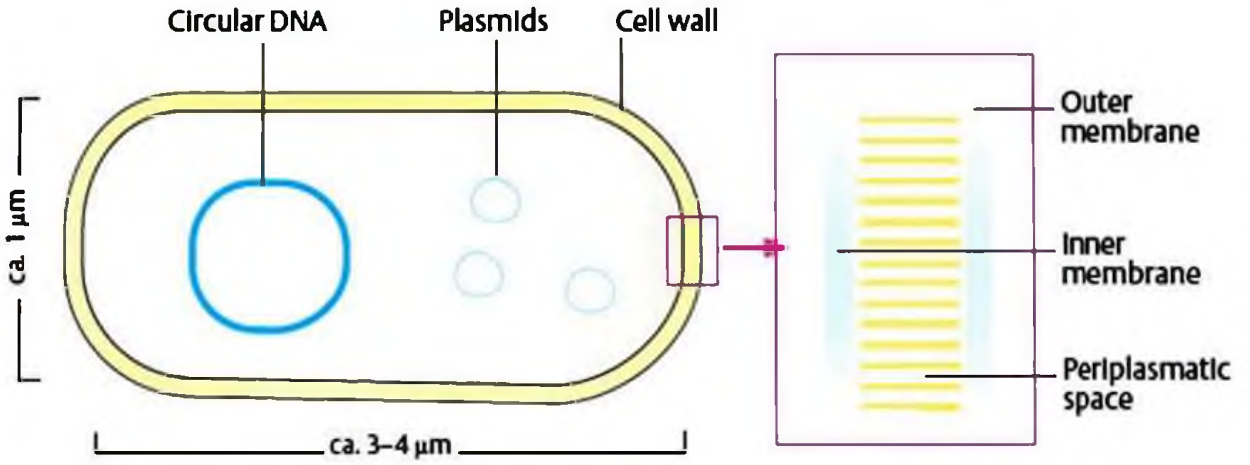

**الشكل(1-2): يوضح تسلسل تكوين الكائن الحي (من الذرة Atom- الجزيئة Molecule- الجزيئة الكبيرة Macromolecule – العضية Organelle – الخلية Cell- النسيج Tissue – العضو Organ – جهاز العضو Organ system وصولاً الى الكائن الحي Organism).**

## الحجم والشكل Size and shape

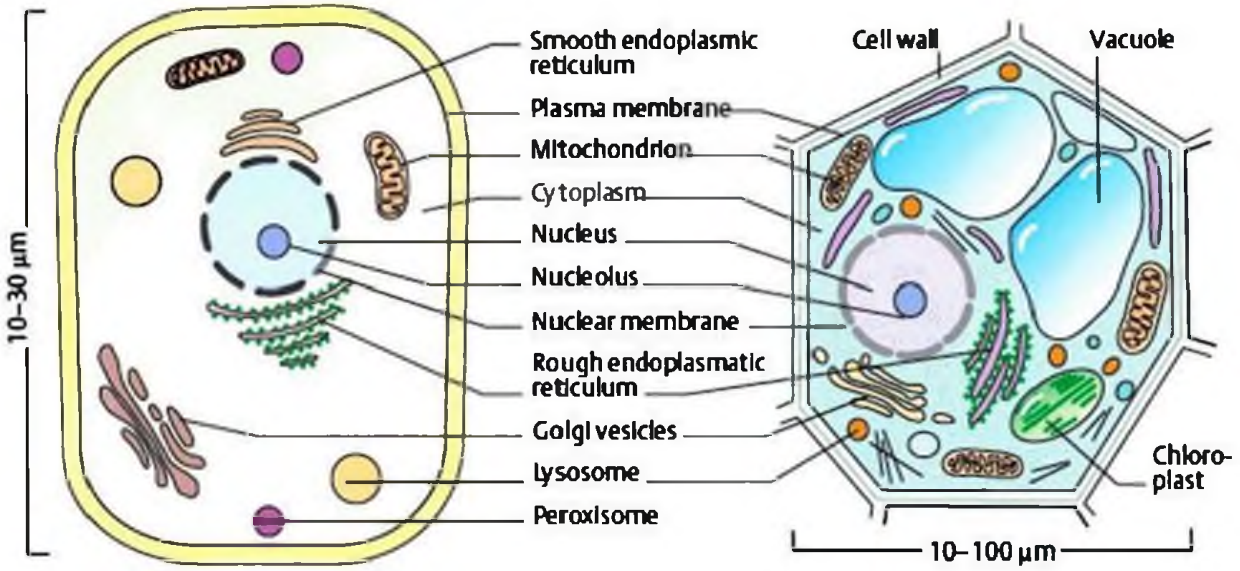
تختلف الخلايا في أشكالها وأحجامها عن بعضها البعض وذلك استناداً الى النسيج الذي تتواجد فيه الخلية وحسب الوظيفة التي تؤديها، فمثلا نجد ان خلية الدم الحمراء Red Blood Cell (RBC) تتخذ الشكل الدائري المنبعج لتتمكن من استيعاب اكبر كمية من الأوكسجين او ثاني أوكسيد الكاربون لنقلهما من والى الرئتين وأنسجة الجسم، وهي ذاتها كروية لتسهيل عملية انتقالها عبر الأوعية الدموية وتدحرجها داخل السائل الدموي، في حين وجد ان الخلية العصبية Neuron تتخذ الشكل الخيطي لان وظيفتها نقل الإشارات العصبية من نقطة معينة الى أخرى وبذلك يجب ان تكون طويلة لتسريع عملية النقل، وبالتالي تتراوح أشكال الخلايا من الدائرية الى المفلطحة أو المستطيلة او أحياناً غير منتظمة الشكل او ما يعرف بصاحبة الشكل المتغير، كما هو الحال في الأميبيا. أما حجم الخلايا فيختلف تبعاً للشكل إلا أن أغلبية الخلايا ذات حجم صغير يقاس بالميكرون (الخلايا الطلائية حوالي 60 ميكروناً) ما عدا بعض بيض الطيور التي تعد اكبر خلية لاحتوائها على مواد غذائية مخزونة. أما اصغر الخلايا فيعتقد انها خلية المايكوبلازما Mycoplasma (وهي على شكل كائنات دقيقة) والتي يبلغ قطرها تقريباً 0.1 مايكرون، وبالنسبة لعدد الخلايا في الجسم فيختلف استناداً الى نوع الكائن الحي ومراحل نموه وحالته الصحية فمثلاً يبلغ عدد خلايا جسم الإنسان الكامل النمو تقريباً 75 تريليون خلية.

## أنواع الخلايا Types of the cells

إن الخلايا بشكل عام تقسم الى **بدائية النواة Prokaryotes (الشكل 2-2)** (التراكيب الداخلية غير متميزة داخل أغشية خاصة بها كالمادة النووية، مثل خلايا البكتيريا والطحالب الخضراء- المزرقة) **وحقيقية النواة Eukaryotes** (التراكيب الداخلية متميزة كل داخل غشاء معين) وتشمل أنواع الخلايا الأخرى كافة**(الشكل 3-2)**.




**الشكل(2-2): خلية بدائية النواة.**




**الشكل(3–2): خلايا حقيقية النواة (1– خلية حيوانية Animal cell ، 2– خلية نباتية Plant cell).**

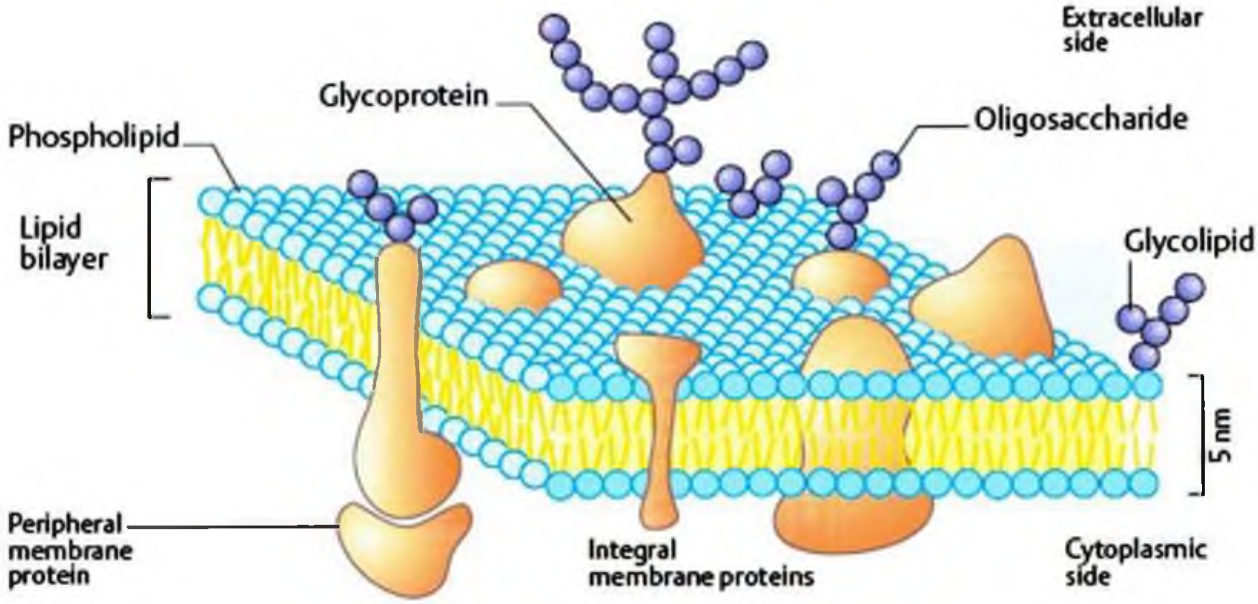
## التركيب الخلوي Cellular structure

### 1– الجدار الخلوي Cellular wall

يقتصر وجود هذا الجدار على خلايا النباتات والفطريات والطحالب والبكتيريا (**الشكل 3–2**) وبذلك يعّد نقطة اتصال بين الخلايا مع البيئة المحيطة للخلية. ويتألف الجدار من مادة السليلوز المغلّظة التي تتخللها فتحات صغيرة لمرور الماء وتنتشر عليه مجاميع كيميائية من مواد دهنية وبروتينية وبكتينية تساعد على ربط وتناول الغذاء خاصة المعادن منها. كما ويتخلل الجدار روابط بلازمية Plasmodesmata تربط بين السايتوبلازم في الخلايا النباتية المتجاورة. وقد يكون الجدار مغلّظاً بمادة الليكنين Lignin والهيميسليلوز Hemicellulose والبكتين Pectin. وهناك أهمية اقتصادية عالية للجدار الخلوي في صنع الورق والقطن والمطاط والأخشاب. وتتلخص وظائف الجدار الخلوي في حماية الخلية وإعطائها الشكل الثابت. كما يساهم في تنظيم الضغط الأزموزي Osmotic pressure للخلية فضلاً عن انه يساعد في عملية نقل العناصر الغذائية Nutrient uptake.

### 2– غشاء الخلية Cellular membrane

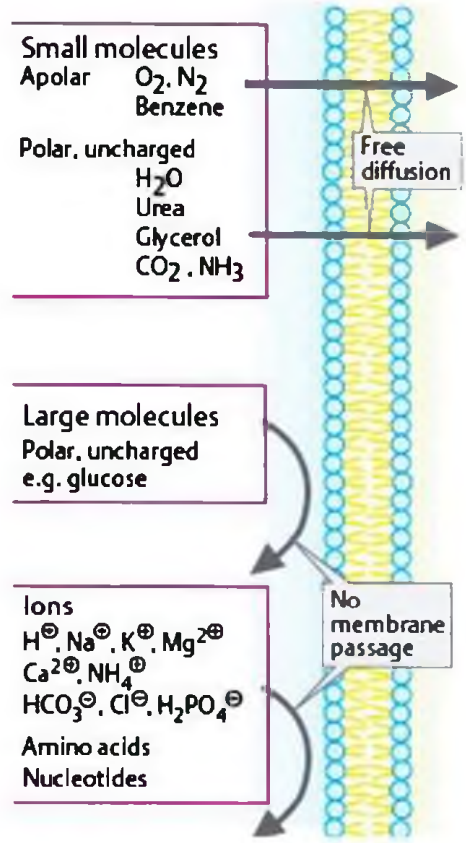
يشكل الغشاء الخلوي المحيط الخارجي لكافة الخلايا الحيوانية وهو عبارة عن جدار غشائي رقيق (60-90 أنكستروم) يتكون من مواد دهنية مفسفرة Phospholipids تتداخل مع بروتين داخلي وخارجي وهذا ما يعرف بالنموذج الفسيفسائي السائل Fluid Mosaic Model الذي افترضه العالمان سانكر ونيكلسون عام 1972 والذي يعّد الأكثر قبولاً بين النماذج العديدة التي وضعت سابقاً (**الشكل 4–2**).




**الشكل(4-2): تركيب الغشاء البلازمي للخلية.**

ويتألف الغشاء البلازمي من طبقتين من الدهون المفسفرة يتخللهما بروتين داخلي ويحيط بهما بروتين خارجي، وترتبط السكريات Carbohydrates بالبروتينات من الخارج مكونة ما يعرف بالسكريات البروتينية Glycoproteins. ويحمل الغشاء بروتينات متخصصة للاستقبال والنقل Protein carriers عبر الغشاء وكذلك للتمييز الخلوي أو ما يعرف بالتعارف الخلوي Cell recognition ويزداد حجم الغشاء البلازمي عن طريق الحويصلات الغشائية القادمة من أجسام كولجي وبذلك يمكن أصلاح الغشاء الخلوي إذا ما حصل خلل بسيط. **وتتلخص وظائف الغشاء البلازمي بالوظائف الآتية:**

1- **تنظيم عملية مرور المواد لداخل وخارج الخلية** حيث يتمكن الغشاء من اختيار المواد التي يسمح لها بالمرور خلاله وتدعى هذه الخاصية بالنفاذية الاختيارية (شبه نفاذية) Semi-permeability إذ تحتاج هذه العملية الى طاقة (**الشكل 5-2**). وبالرغم من أن هناك حداً أقصى لحجم الجزيئات التي يمكن ان تمر خلال الغشاء البلازمي، إلا أن الحجم وحده ليس هو العامل الفاصل في هذا الشأن فهناك مواد تمنع من المرور بالرغم من صغر حجم جزيئاتها المتناهي، كما أن قسماً من الجزيئات الصغيرة لا يسمح لها بالمرور في اتجاه معين دون الاتجاه المضاد كأن تمر مثلاً من خارج الخلية إلى داخلها وليس العكس. وتختلف المواد التي يسمح لها بالدخول إلى الخلية أو الخروج منها من وقت لآخر تبعاً للحالة الوظيفية للخلية.

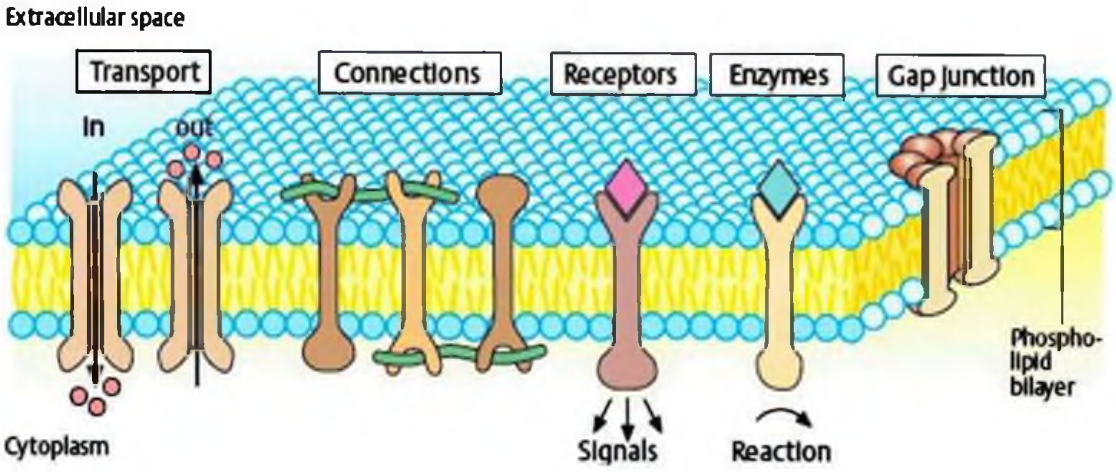



**الشكل(5-2): السماح او عدم السماح لعبور الجزيئات الصغيرة والكبيرة والأيونات والأحماض الأمينية والنيوكليوتيدات داخل الخلية من قبل الغشاء البلازمي Membrane.**

2- **استقبال المعلومات التي تمكّن الخلية من الإحساس بالتغيرات المحيطة والاستجابة لها**، إذ تحاط سطوح الخلايا بمستقبلات بروتينية Proteins receptors تستقبل أشارات كيميائية من الخلايا المحيطة تكون على شكل هورمونات Hormones او عوامل نمو Growth factors او نواقل عصبية Neurotransmitters . ونتيجة لذلك يعمل الغشاء البلازمي على إرسال أشارة الى داخل الخلية تؤدي الى استجابة محددة مرتبطة بشدة المؤشر.

3- **المحافظة على العلاقة الكيميائية والبنائية بين الخلايا المجاورة**، إذ توجد بروتينات معينة على الغشاء البلازمي تنظم عمليات الاتصالات الخلوية وتبادل المواد ومدى التصاقها مع بعضها البعض.

4- **وظائف أخرى** منها حماية الخلية، حركة الخلية، الإفرازات او في بعض الخلايا يقوم بنقل الإشارات العصبية Neurotransmitters **(الشكل 6-2)**.

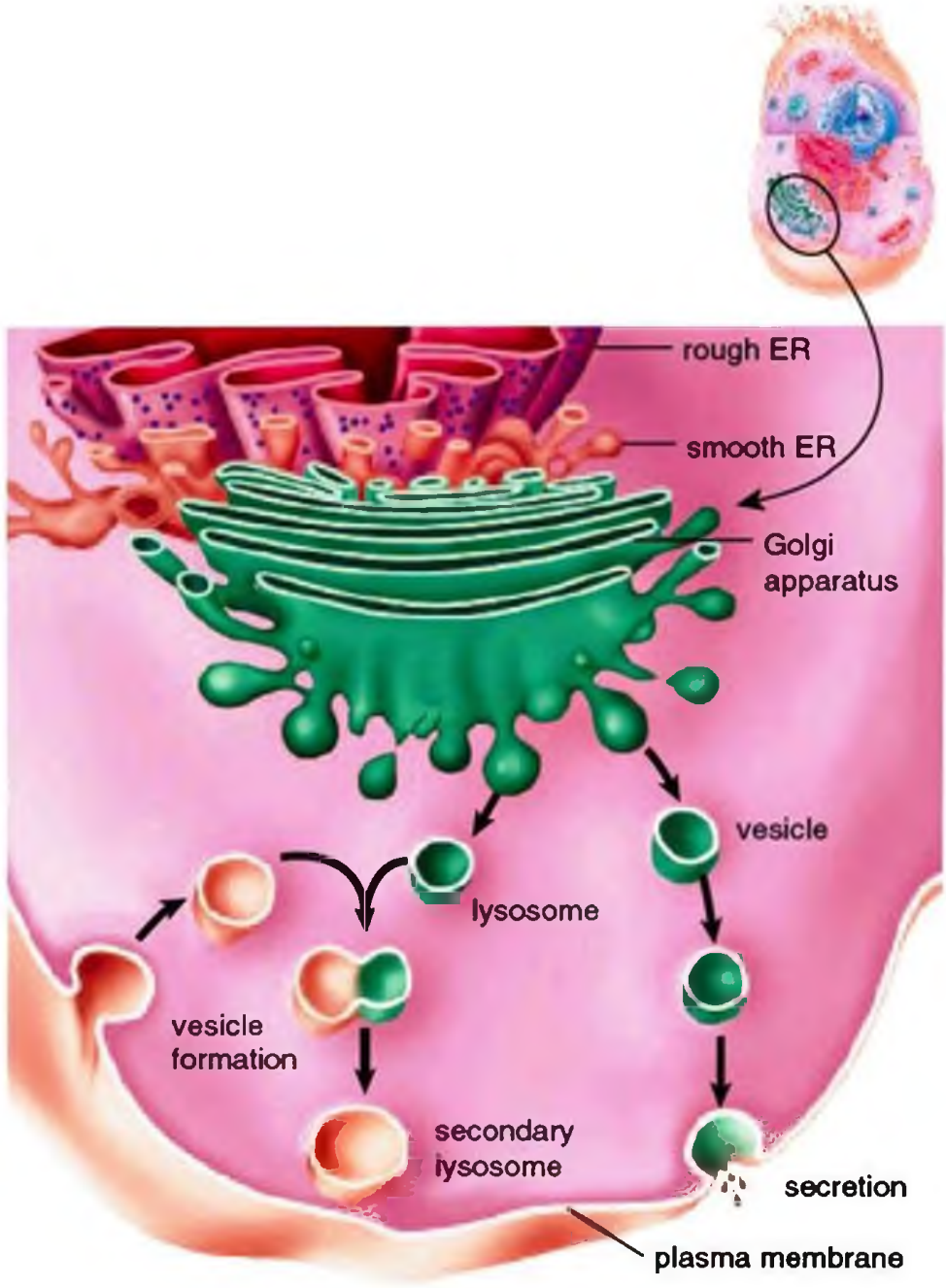



**الشكل(6-2): تركيب الغشاء البلازمي وأهم وظائفه (الإيصال Gap junction، الاستقبال Receptors، الربط Connection ، النقل Transport) .**

### 3- الشبكة الإندوبلازمية والرايبوزومات The Endoplasmic reticulum and the ribosomes

الشبكة الإندوبلازمية عبارة عن أنابيب وانبعاجات عشوائية تنتشر في السايتوبلازم على شكل شبكة وتتصل من الخارج مع الغشاء الخلوي ومن الداخل في بعض النقاط مع الغشاء النووي. ومن ناحية التركيب فلها التركيب نفسه للغشاء البلازمي وهي تعمل على توصيل ونقل المواد داخل الخلية او خارجها وخاصة البروتين. كما أنها تعمل على دعامة الخلية من الداخل نظراً لانتشارها داخل الخلية. وتقسم الشبكة الإندوبلازمية الى نوعين، الأول هو الشبكة الاندوبلازمية الناعمة Smooth endoplasmic reticulum (SER) لا تحمل رايبوزومات ولكنها تسهم في نقل المواد وبناء المواد الدهنية، اما النوع الثاني فهو الشبكة الاندوبلازمية الخشنة Rough endoplasmic reticulum (RER) والتي تحمل رايبوزومات.

والرايبوزومات عبارة عن جسيمات صغيرة توجد اما على الشبكة الاندوبلازمية او منتشرة في السايتوبلازم وقد تتجمع لتكون ما يعرف بالأجسام العديدة (بولي سوم) Polysome، وتتكوّن من البروتينات والحامض النووي، وهي مراكز تصنيع البروتينات التي تنتقل داخل الشبكة الإندوبلازمية او تخزن بالحويصلات الغشائية من أجسام كولجي ليتم شحنها الى الجهة المطلوبة **(الشكل7-2)**. وتمتاز خلايا الكبد والبنكرياس باحتوائها على كمية كبيرة من الشبكة الإندوبلازمية الخشنة نظراً لنشاطها الكثيف في صنع البروتينات. إذ أن الخلايا التي تتميز بصنع الدهنيات تحتوي على كمية اقل نسبياً من الشبكة الإندوبلازمية الخشنة، وتحتوي الشبكة الإندوبلازمية على مراكز تخزين مؤقت تدعى الجسم المركزي Cistern.




**الشكل(7-2): الشبكة الاندوبلازمية الخشنة(RER) والناعمة(SER) وجهاز كولجي واللايسوزومات Lysosomes وتكوين الحويصلات Vesicle والإفراز Secretion.**

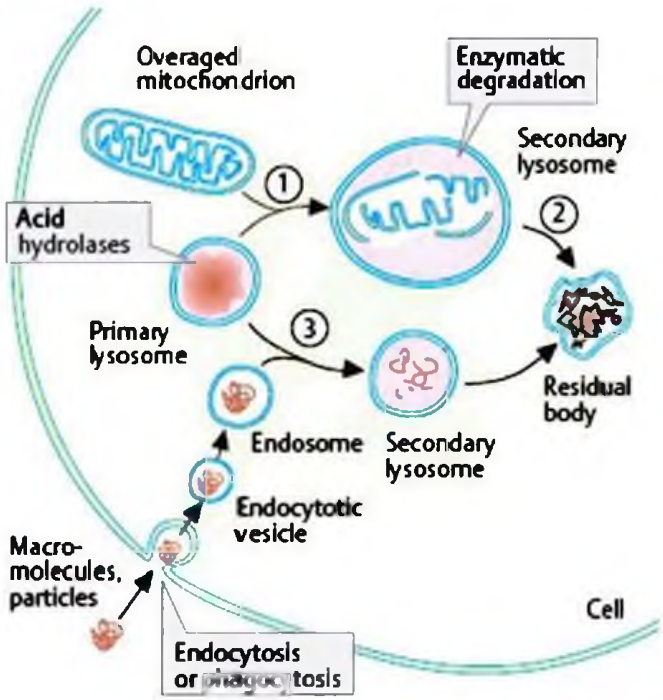
### 4- جهاز كولجي Golgi apparatus

وهي تراكيب غشائية أنبوبية تتجمع لتكوّن مجموعة ديكتوسومات Dictosomes وتتكون من مجموعة من الحويصلات الغشائية (تحتوي كل مجموعة على 5-8 حويصلات، **الشكل 7-2**). ويختلف عددها من خلية لأخرى حسب وظيفتها إذ تكثر في الخلايا الإفرازية(كما في بعض خلايا الأمعاء Goblet cells) وخلايا النقل. وترتبط وظيفة هذه الأجسام في النشاط الإفرازي للخلية، إذ يعمل الجهاز على تركيز إفرازات الخلية على شكل حبيبات او قطرات كوحدة للتخزين داخل الخلية او للتصدير خارجها فيتم شحن الإفرازات

داخل حويصلات تنتقل عبر الخلية لترتبط مع الغشاء البلازمي وبذلك يتم تفريغ المواد الإفرازية (**الشكل 7-2**). ولقد وجد ان وظيفة جهاز كولجي مرتبطة بتركيب الجسيمات الحالة (اللايسوزومات) Lysosomes. كذلك تكون الفوسفوليبيدات نشطة جداً في هذا الجهاز.

### 5- الجسيمات الحالة (اللايسوزومات) Lysosomes

الجسيمات الحالة او اللايسوزومات عبارة عن تراكيب غشائية صغيرة على شكل أكياس تعمل بوصفها حويصلات لتخزين إنزيمات ومواد معقدة هاضمة تستطيع هضم مختلف المواد الغذائية النشوية والبروتينية والدهنية والأحماض النووية. وتساعد هذه الأجسام في هضم ما يصعب تحلله وذلك عن طريق البلعمة Phagocytosis، ثم طرد المواد المحللة. كما تعمل محللاً ذاتياً للخلية Autolysis حال موتها ولذلك تدعى بأكياس الانتحار الخلوي Cellular suicide bags(**الشكل 8-2**).




**الشكل(8-2): دور اللايسوزومات في عملية هضم الاجسام الغريبة .**

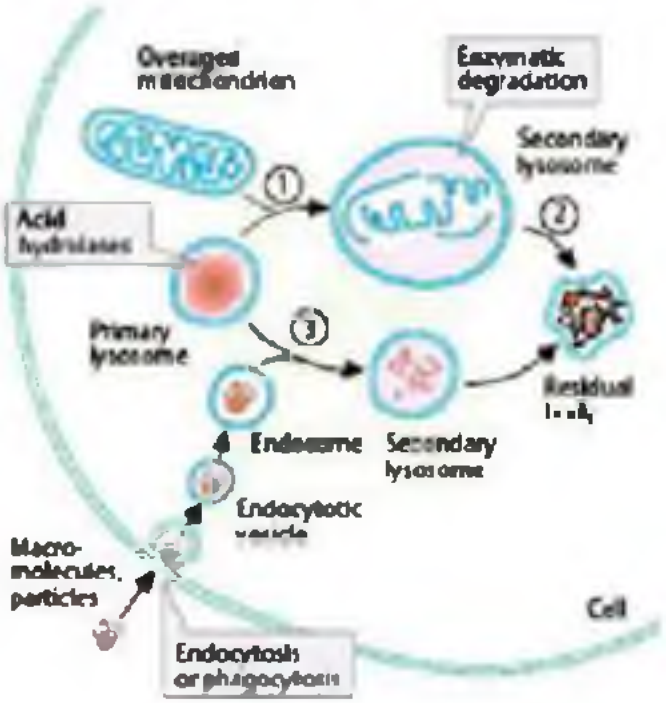
وتختلف أعداد اللايسوزومات من خلية لأخرى حسب وظيفتها، إذ تكثر في خلايا الدم البيض لتساعد في هضم الأجسام الغريبة كالميكروبات المختلفة، وتوجد اللايسوزومات في جميع الخلايا الحيوانية بأعداد وأشكال مختلفة.

تتكون اللايسوزومات من حشوه كثيفة تحاط بغشاء اللايسوزومات على إنزيمات محللة مثل الرايبونيوكليز Ribonuclease، دي اوكسي رايبونيوكليز Deoxyribonuclease، فوسفاتيز Phosphatase، كلايكوسايديز Glycosidase، اللايبيز Lipase، سلفاتيز Sulphatase، البروتينيز Proteinase، فوسفولايبيز Phospholipase وغيرها (**الشكل9-2**)، ومن المعلوم إن هذه الإنزيمات تبقى غير فعّالة ما دامت موجودة داخل اللايسوزومات. أما عند تمزق جدار اللايسوزومات تنطلق هذه الإنزيمات الى الخارج

داخل حويصلات تنتقل عبر الخلية لترتبط مع الغشاء البلازمي وبذلك يتم تفريغ المواد الإفرازية (الشكل 7-2). ولقد وجد ان وظيفة جهاز كولجي مرتبطة بتركيب الجسيمات الحالة (اللايسوزومات) Lysosomes. كذلك تكون الفوسفوليبيدات نشطة جداً في هذا الجهاز.

**5- الجسيمات الحالة (اللايسوزومات) Lysosomes**

الجسيمات الحالة او اللايسوزومات عبارة عن تراكيب غشائية صغيرة على شكل أكياس تعمل بوصفها حويصلات لتخزين إنزيمات ومواد معقدة هاضمة تستطيع هضم مختلف المواد الغذائية النشوية والبروتينية والدهنية والأحماض النووية. وتساعد هذه الأجسام في هضم ما يصعب تحلله وذلك عن طريق البلعمة Phagocytosis، ثم طرد المواد المحللة. كما تعمل محللاً ذاتياً للخلية Autolysis حال موتها ولذلك تدعى بأكياس الانتحار الخلوي Cellular suicide bags(**الشكل 8-2**).

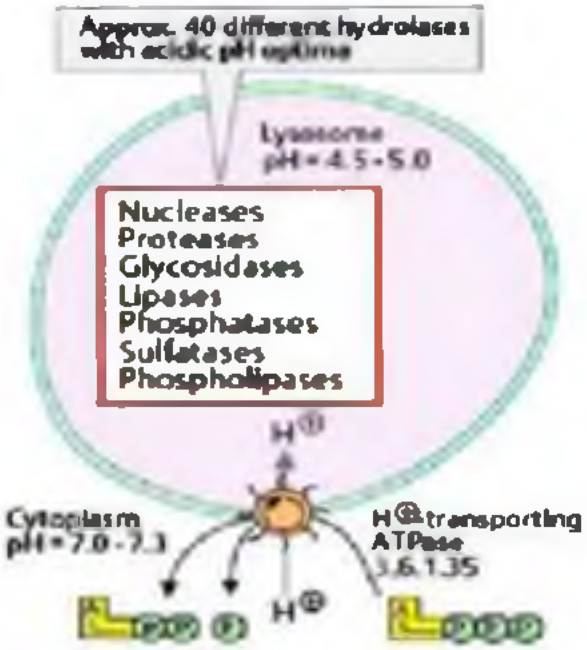



**الشكل(8-2): دور اللايسوزومات في عملية هضم الاجسام الغريبة .**

وتختلف أعداد اللايسوزومات من خلية لأخرى حسب وظيفتها، إذ تكثر في خلايا الدم البيض لتساعد في هضم الأجسام الغريبة كالميكروبات المختلفة، وتوجد اللايسوزومات في جميع الخلايا الحيوانية بأعداد وأشكال مختلفة.

تتكون اللايسوزومات من حشوه كثيفة تحاط بغشاء اللايسوزومات على إنزيمات محللة مثل الرايبونيوكليز Ribonuclease، دي اوكسي رايبونيوكليز Deoxyribonuclease، فوسفاتيز Phosphatase، كلايكوسيديز Glycosidase، اللايبيز Lipase، سلفاتيز Sulphatase، البروتينيز Proteinase، فوسفولايبيز Phospholipase وغيرها (**الشكل9-2**)، ومن المعلوم إن هذه الإنزيمات تبقى غير فعالة ما دامت موجودة داخل اللايسوزومات. أما عند تمزق جدار اللايسوزومات تنطلق هذه الإنزيمات الى الخارج

مؤدية الى هضم الخلية نفسها Autolysis. وتهضم البكتيريا بوساطة خلايا الدم البيض وذلك بان تقوم بتطويق البكتيريا وتطلق الإنزيمات المحللة الموجودة داخل اللايسوزومات.




**الشكل (9-2): تركيب ومحتويات اللايسوزوم.**

### 6- المايتوكوندريا Mitochondria

المايتوكوندريا (المفرد: المايتوكوندريوم Mitochondrium) عبارة عن تراكيب خلوية بيضوية الشكل محاطة بغشاء خارجي أملس يحتوي على مسامات Pores يطلق عليها اسم بورن porin وهي قنوات (بروتينية) غير تخصصية تسمح بمرور المركبات ذات الأوزان الجزيئية التي تقل عن 10 كيلو دالتون بآلية الانتشار Diffusion، وإنزيم بالموتيل مرافق الإنزيم A (Palomityl CoA) وغشاء داخلي يبرز منه طيات (انثناءات) تدعى Cristae والتجويف الداخلي الذي يدعى بالحشوة Matrix (الشكل 10-2) وتحتوي الأخيرة على البروتينات والإنزيمات اللازمة لعملية أيض المواد الغذائية لإنتاج الطاقة ولذلك تعرف المايتوكوندريا بمركز أنتاج الطاقة، وعليه فهي تكثر في الخلايا والأنسجة ذات النشاط الحيوي الكبير مثل الخلايا الدماغية وخلايا عضلة القلب. ويحتوي الغلاف الداخلي للمايتوكوندريا على المكونات الآتية:

أ- سلسلة نقل الالكترونات Electrons transport chain.

ب- الإنزيم المسؤول عن تكوين ATP والذي يسمى ATPase المعقد.

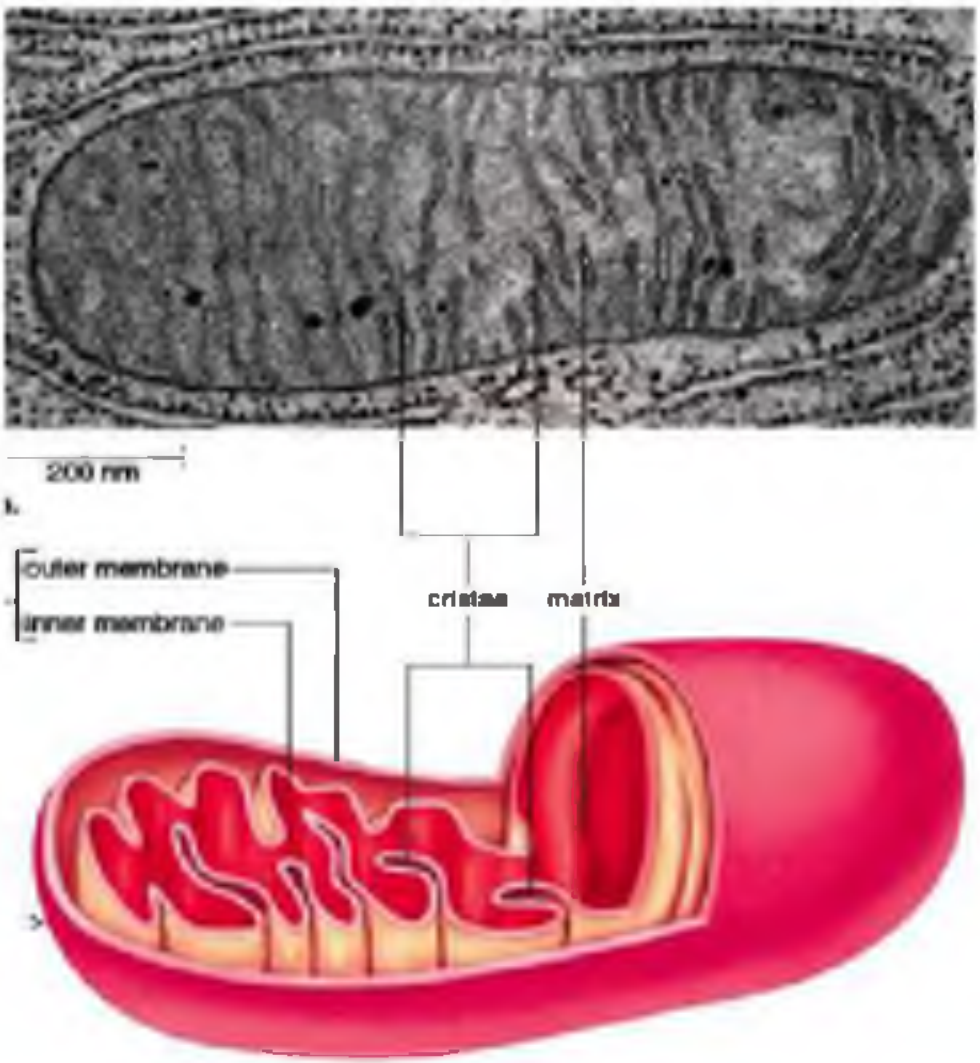
جـ- مجموعة من البروتينات الناقلة التي تقوم بنقل ATP/ADP، Pi، Ca، بعض المركبات الوسطية لدورة كربس.

أما حشوة المايتوكوندريا فتحتوي على المكونات الآتية:

أ- إنزيمات دورة الحامض الثلاثي الكاربوكسيل(دورة كربس).

ب- إنزيمات أكسدة الأحماض الدهنية.

جـ- الحامض النووي الديوكسي رايبوزي DNA، والحامض النووي الرايبوزي RNA، ومكونات بناء البروتين.

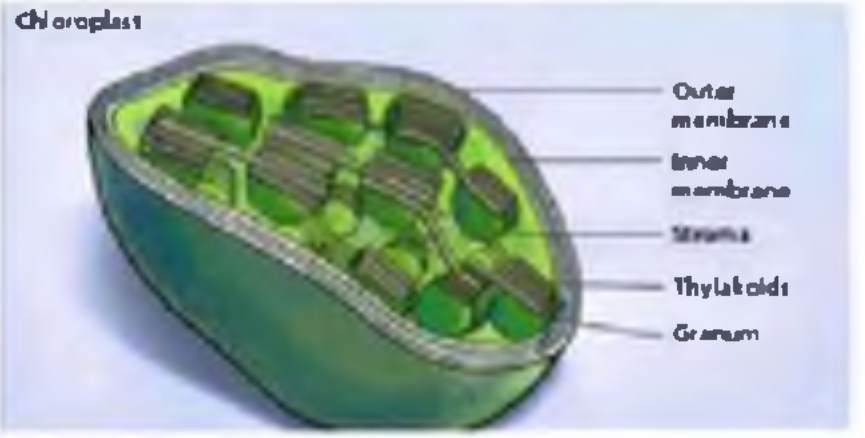



الشكل(10-2): المايتوكوندريوم Mitochondrium وتركيبه الداخلي(الجدار الخارجي Outer membrane والجدار الداخلي Inner membrane والطيات Cristae والحشوة الداخلية Matrix).

7- البلاستيدات Plastids

البلاستيدات تراكيب خلوية أهمها البلاستيدات الخضراء (كلوروبلاست)Chloroplasts (الشكل11-2) وهي مستقلة في مادتها الوراثية وإنزيماتها وبروتيناتها، كما هو الحال في المايتوكوندريا. وتعمل مركز البناء في الخلية وإنتاج المركبات الغذائية وبذلك تعمل عكس عمل المايتوكوندريا وظيفياً. ويقتصر وجود

البلاستيدات على النباتات الراقية والبسيطة والطحالب الدقيقة وتتفاوت في أعدادها وأنواعها بين نوع وآخر، وتقسم البلاستيدات من حيث أنواعها الى بلاستيدات خضراء Chloroplasts تقوم بعملية التمثيل الضوئي Photosynthesis وبلاستيدات ملونة Chromoplasts تحتوي على أصباغ ملونة تعطي الألوان كما في بعض الأزهار والثمار الناضجة بالإضافة للبلاستيدات عديمة اللون Leucoplasts التي تعمل على تخزين المواد الغذائية النشوية والدهنية والبروتين كما هو الحال في الجذور الخازنة (الجزر) والسوفان (البطاطا) والبذور (النشاء والفاصوليا).




**الشكل(11-2): البلاستيدات الخضراء (كلوروبلاست Chloroplast).**

**8- الأجسام الدقيقة (المجهرية) Peroxisomes or Microbodies**

الأجسام الدقيقة تراكيب صغيرة الحجم تنتشر على شكل حويصلات في السايتوبلازم وتحتوي على إنزيمات أكسدة متخصصة تقوم بتحويل المواد الزائدة عن الحاجة أو المواد السامة ومثال ذلك الإنزيمات المسؤولة عن تحويل الدهون المخزونة في بعض البذور الى سكريات أثناء عملية الإنبات Germination، وكذلك إنزيم البيروكسيديز Peroxidase (ومن هنا جاءت التسمية) الذي يحلل مادة بيروكسيد الهيدروجين $H_2O_2$ السامة الى الماء والأوكسجين.

**9- الهيكل الدعامي للسايتوبلازم Cytoskeleton**

**أ- الخيوط والانابيب الدقيقة Microfilaments and microtubules**

الخيوط عبارة عن ألياف اسطوانية طويلة جوفاء تتركب من مادة بروتينية تدعى أكتين Actin tublin ولها القدرة على الانقباض والحركة وبالتالي تساعد في دعامة السايتوبلازم والحركة السايتوبلازمية، اذ تساعد في حركة الكروموسومات أثناء انقسام الخلية ونقل المواد داخلها وفي المحافظة على شكلها العام وتوجد في الخلايا الحيوانية والنباتية.

**ب- الشبكة الخلوية الداخلية Micro trabecular lattice**

تتركب الشبكة من خيوط بروتينية رفيعة، تنتشر في أنحاء السايتوبلازم وتتصل بالغشاء البلازمي مع بعض التراكيب الداخلية وبالإضافة لوظيفة الدعامة التي تقدمها هذه الشبكة فان الدراسات الحديثة تشير الى أن الشبكة تلعب دوراً في الاستجابات الحركية داخل الخلية مثل حركة الحبيبات الصبغية في جلود بعض الحيوانات سريعة التغيير في اللون مثل حيوان الحرباء.

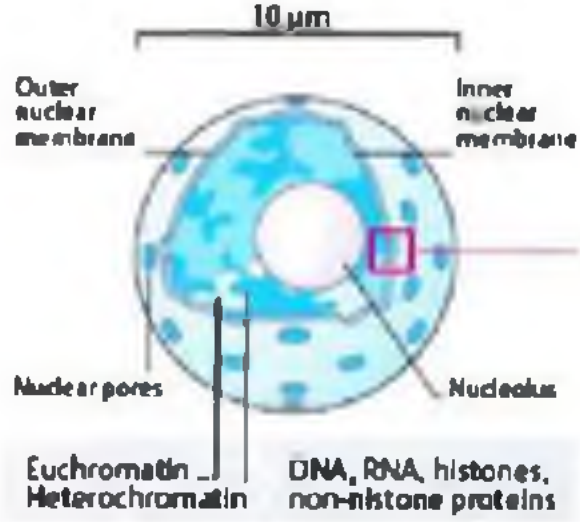
### 10- الفجوات العصارية Vacuoles

الفجوات العصارية تراكيب غشائية على شكل أكياس وحويصلات تحتوي على سائل او عصارة تتكون من مواد عضوية ولاعضوية، وأما أن تكون فجوة منقبضة Contractile vacuole تعمل على التخلص من الفضلات الزائدة او فجوة غذائية Food vacuole تعمل على تخزين الغذاء. وتحتوي الخلايا الحيوانية على عدد قليل جداً وصغير من هذه الفجوات او لا تحتويها إطلاقاً في حين تحتوي الخلايا النباتية على فجوة كبيرة يزداد حجمها بازدياد نضوج الخلية، حيث تشكل بين 80- 90% من حجم الخلية النباتية المحاطة بقليل من السايتوبلازم وهي بذلك تساعد في تنظيم الضغط الأزموزي Osmatic pressure إذ تحتوي على مواد عضوية ولاعضوية تساعد في الاتزان الأزموزي للخلية.

### 11- النواة Nucleus

النواة تركيب خلوي دائري الشكل يتوسط الخلية ويبلغ قطرها تقريباً 5 مايكرون. وتقوم النواة بمجمل محتوياتها بالسيطرة على مختلف النشاطات الحيوية. ومن الناحية التركيبية تتكون من الغشاء النووي والسائل النووي والشبكة الكروماتينية. والغشاء النووي يكون عادة مزدوجاً ويصل على حماية الأجزاء الداخلية وتتخلله عدة فتحات Pores تساعد على مرور المواد من والى النواة بالإضافة لقيامها بوظائف الشبكة الاندوبلازمية في حالة قلة أعداد الشبكة في بعض أنواع الفطريات. كما وتحتوي النواة على جسم النوية Nucleolus التي بدورها تتكون من بروتين وحامض نووي RNA وهي بذلك تتواجد حول منطقة من الجينات مسئولة عن صنع الحامض الرايبوسومي rRNA ولذلك تعرف هذه المنطقة بالمركز المنظم للنوية وبالتالي لها علاقة في صنع rRNA (الشكل 12-2).

أما السائل النووي Nuclear plasma فهو سائل شفاف وكثيف القوام يوفر الظروف الحيوية اللازمة (الكيميائية والفيزيائية والبيولوجية) للتراكيب النووية ونشاطاتها. وأما الشبكة الكروماتينية Chromatin net فهي شبكة من الخيوط الرفيعة في حالة عدم الانقسام والتي لا تلبث ان تتميز وتتضح الى كروموسومات Chromosomes حال بدء الانقسام.




الشكل (12-2 ): النواة ومحتوياتها.

**12- السايتوسول Cytosol**

السايتوسول عبارة عن جميع المواد الذائبة في السايتوبلازم، إذ أن السايتوبلازم عبارة عن جميع محتويات الخلية من المواد الذائبة وغير الذائبة، ويجري في السايتوسول المسارات الرئيسية المهمة وهي:

أ- تقويض الكلوكوز (مسار الكلايكولسيس) Glycolysis pathway .

ب- عدد كبير من تفاعلات بناء الكلوكوز ( مسار كلوكونيوجنسيس) Gluconeogenesis pathway .

جـ- مسار الفوسفوكلوكونيت Phosphogluconate pathway

د- بناء الأحماض الدهنية Fatty acids synthesis.

## عمليات النقل Transport process

أن الوظيفة الأساسية لغشاء الخلية هو السماح لحركة المركبات الضرورية التي تحتاجها الخلية وعبورها إلى داخل الخلية. وهناك عدة طرائق لذلك:

**1- النفاذ البسيط أو الحر Free or simple diffusion**

تتمكن المواد الغذائية ذات الوزن الجزيئي الواطئ من النفاذ الى داخل الخلية. وتعتمد هذه العملية على تركيز المادة على جانبي الغشاء. إذ تتجه المادة من المحيط الأعلى تركيزاً إلى الاوطأ. أن هذا النوع من النفاذ لا يظهر أي تخصص مجسمي Stereo specific فمثلاً ان الأحماض الأمينية من نوع D و L تنفذ عبر الغشاء بنفس السرعة. ولا يعتقد أن لهذا النوع من النفاذية ميكانيكية وذلك بسبب بطء هذا النوع من النفاذ وعدم وجود أي نوع من الاختيار ينظم عبور المواد المختلفة خلال الغشاء.

**2- النفاذ المسهل Facilitated diffusion**

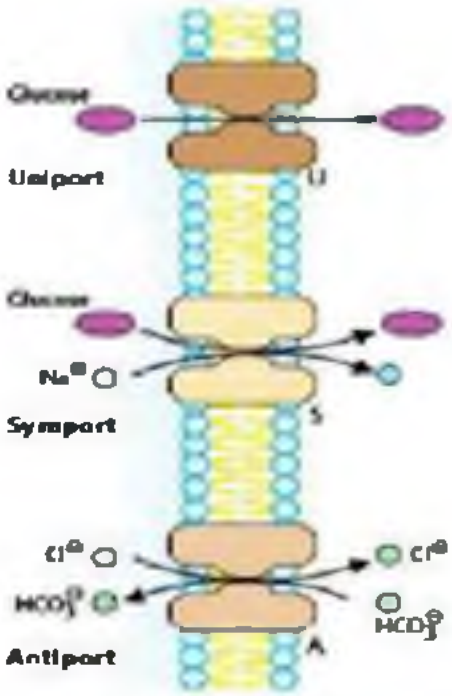
أن هذا النفاذ يشابه نوعاً ما النفاذ البسيط او الحر في وجوب اختلاف تراكيز المواد التي تعبر الغشاء على جانبيه ولا تحتاج عملية النفاذ هذه لصرف أي طاقة. أما نقاط اختلاف النفاذ المسهل عن النفاذ الحر او البسيط فهي:

I- وجود بروتين خاص يسمى الحامل Carrier الذي يساعد ويسرع في العملية.

II- وجود تخصص مجسمي في هذا النوع من النفاذ، أي يفرق بين الأحماض الأمينية من نوع D و L .

أن ميكانيكية النفاذ المسهل تتم بقيام البروتين الخاص المذكور أعلاه والموجود في الغشاء بتكوين مركب معقد مع المادة التي سوف تنفذ الى داخل الخلية. بعد ذلك تنفصل هذه المادة عن المركب المعقد وتنفذ الى داخل الخلية. أن البروتين الحامل Carrier متخصص بنقل مواد معينة، ولقد تم فصل العديد من هذه البروتينات الحاملة متخصصة للكالاكتوز والكلوكوز والليوسين والفنيل الانين والارجنين والهستيدين والتايروسين والفوسفات والكالسيوم والصوديوم والبوتاسيوم.

وهناك عدة طرائق في عملية نفاذ المواد بهذه الطريقة متبعةً أما أسلوب الإدخال المباشر (الأحادي) Uniport او الأسلوب التناظري Symport بارتباطه مع مواد أخرى او متبعةً أسلوب المضاد Antiport بإدخال مادة وطرح مادة أخرى (**الشكل 13-2**):




**الشكل( 13-2 ): طرائق إدخال المواد بالنفاذ المسهل (الأحادي Uniport والتناظري Symport والمضاد Antiport).**

**3- النقل الفعال Active transport**

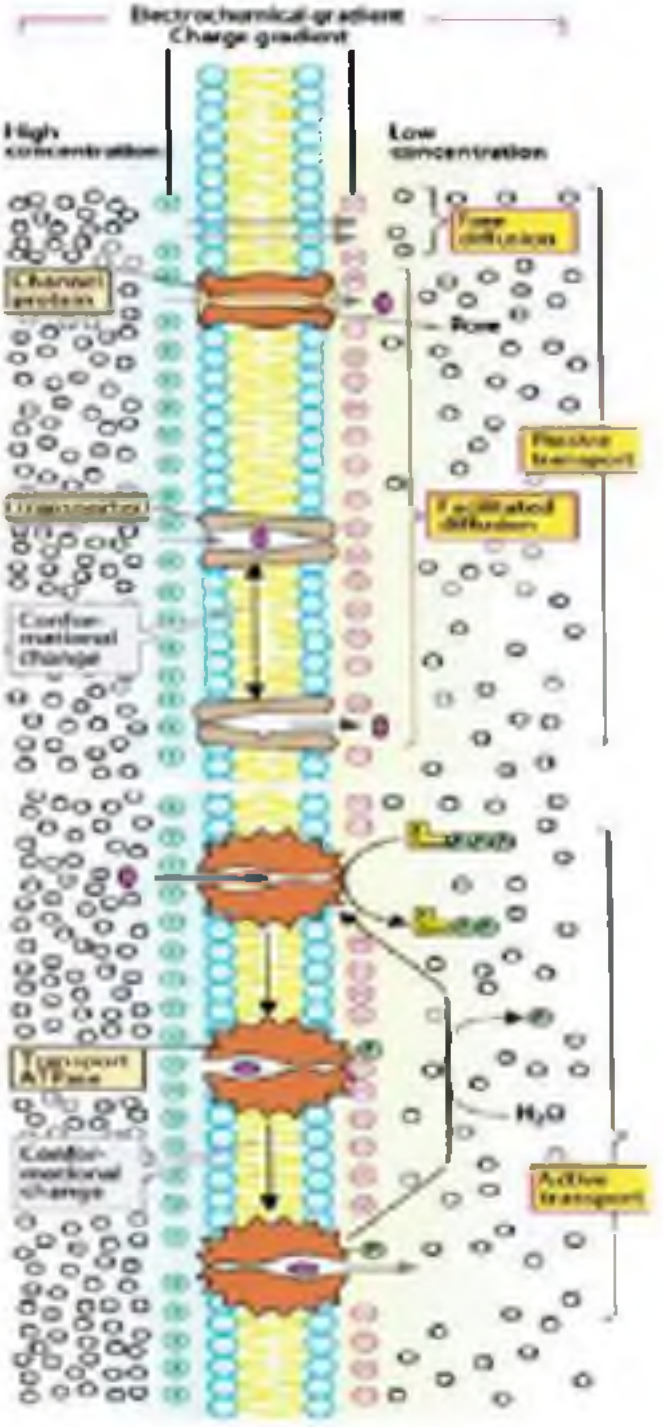
إن النقل بهذه الطريقة يشابه النفاذ المسهل عدا أن المادة التي تعبر خلال غشاء الخلية تمر من محيط ذي تركيز واطئ إلى محيط ذي تركيز عالٍ. واستناداً على ذلك فان العملية تحتاج لصرف طاقة. ولقد وجد أن بعض الخلايا تصرف أكثر من 50% من جزيئة الـ ATP الموجودة فيها للقيام بعملية تراكم الحامض الأميني الكلايسين داخلها(**الشكل 14-2**).

**4- الشرب الخلوي (الرشف) Pinocytosis**

في هذه الطريقة يتم انتقال الجزيئات الكبيرة مثل البروتين او الدهن عندما تكون سائلة من خلال جدار الخلية عن طريق احتضان هذه المكونات بالغشاء الخلوي وإحاطتها وإدخالها الى داخل الخلية ويطلق على هذه العملية اسم عملية شرب الخلية Cell drinking وعادة تمتص بعض البروتينات من خلال الخلايا المبطنة للأمعاء بهذه الطريقة.

### 5- الالتهام الخلوي (البلع) Phagocytosis

يتم انتقال الجزئيات الكبيرة من البروتينات أو الدهون أو غيرها من المواد بهذه الطريقة من خلال أحاطتها واحتضانها بوساطة الغشاء الخلوي ثم إدخالها الى داخل الخلية.




الشكل( 14-2 ): عمليات النقل من خلال غشاء الخلية.

## الفروقات بين الخلايا بدائية النواة وحقيقية النواة

يوضح الجدول (1-2) المقارنة التركيبية بين الخلايا بدائية النواة Prokaryotes من جهة والخلايا النباتية والحيوانية الحقيقية النواة Eukaryotes من جهة أخرى.

جدول (1-2) : المقارنة التركيبية بين الخلايا بدائية النواة وحقيقية النواة.

| التركيب | الخلية بدائية النواة | الخلايا حقيقية النواة | |
|---|---|---|---|
| | | الخلية الحيوانية | الخلية النباتية |
| 1- الغشاء الخلوي | موجود | موجود | موجود |
| 2- الجدار الخلوي | موجود يحتوي على ببتيدوكلايكان* | غير موجود | موجود ويحتوي على السليلوز |
| 3- الغشاء النووي | غير موجود | موجود | موجود |
| 4-الكروموسومات | تتكون من DNA وتكون حلقية الشكل | تتكون من DNA وبروتين وتكون خيطية الشكل | تتكون من DNA وبروتين وتكون خيطية الشكل |
| 5- المايتوكوندريا | غير موجودة | موجودة | موجودة |
| 6-الشبكة الأندوبلازمية | غير موجودة | موجودة | موجودة |
| 7- أجسام كولجي | غير موجودة | موجودة | موجودة |
| 8- البلاستيدات | غير موجودة | غير موجودة | موجودة |
| 9- الرايبوسومات | موجودة | موجودة | موجودة |
| 10-الفجوات العصارية | غير موجودة | صغيرة الحجم او غير موجودة | توجد عادة وتكون كبيرة الحجم |
| 11-الليسوزومات | غير موجودة | غالباً موجودة | غالبا غير موجودة |

- البيتيدوكلايكان Peptidoglycan عبارة عن مادة كاربوهيدراتية تتكون من عدة سلاسل من السكريات المتعددة Polysaccharides مربوطة ببعضها بوساطة سلاسل من الأحماض الأمينية.

# الدهون

## تعريف الدهون

الدهون من مركبات الكيمياء الحياتية التي تمتاز بعدم ذوبانها في الماء أو المذيبات القطبية Polar solvents وتذوب في المذيبات اللاقطبية Non-polar العضوية مثل الأيثر والبنزين والكلوروفورم والأسيتون. وتتكون من عناصر الكاربون والهيدروجين والأوكسجين وتحتوي بعضها على الفسفور والنيتروجين.

## وظائف الدهون

1- تخزن الدهون في الأنسجة كخزين للطاقة إذ يتم استخدامها بعد نفاذ الكاربوهيدرات المخزونة على شكل كلايكوجين في الجسم. وتعطي الدهون طاقة عالية بعد أكسدتها داخل الجسم.

2- تعد الدهون أحدى المكونات الواقية للجدران الخلوية في العديد من البكتريا وأوراق النباتات والهيكل الخارجي للحشرات.

3- الدهون مكونات أساسية تركيبية لأغشية الخلية كالنواة والمايكروسوم والمايتوكوندريا.

4- تتحد الدهون مع البروتينات لتكوين البروتينات الدهنية Lipoproteins التي تشترك أصنافها في نقل الدهون في الدم.

5- تعد بعض أنواع الدهون منشطات لبعض الإنزيمات لكي تبدي نشاطها التام فمثلاً إنزيم كلوكوز 6- فوسفاتيز Glucose 6-phosphatase ومونو أوكسيجنيز Monooxygenase وغيرها تحتاج إلى فوسفوتايديل كولين Phosphatidylcholine (أحد الدهون الفوسفورية) لتنشيطها.

6- تعمل الدهون بوصفها عازلاً حرارياً في الحيوان والإنسان من خلال تكوين طبقة عازلة تحت الجلد فتحافظ على درجة حرارة الجسم من التغيير السريع.

7- تدخل الدهون في تركيب الأنسجة العصبية بنسبة عالية وتعمل الدهون بوصفها عازلاً كهربائياً يسمح لنقل الإيعاز العصبي عبر الأعصاب.

8- تدخل الدهون بوصفها مركبات أولية Precursors لبعض الفيتامينات والهورمونات وأحماض الصفراء.

9- تحيط أعضاء الجسم الداخلي مثل الكليتين والقلب طبقة دهنية تعد وسادة تقي هذه الأعضاء من الصدمات الخارجية.

10- تزود الجسم بالأحماض الدهنية الأساسية Essential fatty acids إذ لهذه الأحماض أهمية كبيرة لحيوية الجسم مثل حامض اللينوليك الذي عند توفره يمكن منه بناء حامض الأراكيدونك الذي يطيل من فترة تخثر الدم ويزيد من تحلل الفايبرين Fibrin وبهذا يسبب في تقليل فرص الإصابة بالجلطات Thrombus فتقل فرص الإصابة بأمراض تصلب الشرايين.

11- تواجد الدهون في الغذاء يزيد من استساغته وكذلك يعطي الشعور بالشبع وذلك بسبب بطء الدهون في الهضم والامتصاص من خلال الجهاز الهضمي.

12- يعد فوسفاتيديل إينوسيتول ثلاثي الفوسفات المفتاح لتوليد إينوسيتول ثلاثي الفوسفات وثنائي أسيل الكلسيرول وهما رسولان ثانيان Second messengers أسوة بالرسل الثانية الأخرى مثل AMP الحلقي و GMP الحلقي والكالسيوم.

13- هناك أحماض دهنية غير مشبعة لها أهمية كبيرة على سبيل المثال الحامض الدهني أوميكا Omega fatty acid الذي يعمل على زيادة HDL (الكوليستيرول المفيد) وعندها يقلل من الإصابة بأمراض القلب.

## تصنيف الدهون Classification of lipids

**تصنف الدهون بشكل عام الى :**

I- الدهون البسيطة Simple lipids

II- الدهون المركبة (المقترنة) Conjugated lipids

III- الدهون المشتقة Derived lipids

**I- الدهون البسيطة وتشمل:**

أ- الدهون المتعادلة Neutral lipids

ب- الشمعيات Waxes

**II- الدهون المركبة (المقترنة) وتشمل:**

**أ- الدهون المفسفرة Phospholipids**

1- حامض الفوسفاتيديك Phosphatidic acid.

2- اللسيثينات Lecithins أو تطلق عليها فوسفوتايديل كولين Phosphatidyl choline .

3- السيفالينات Cephalins (تابع الى مركبات فوسفاتيديل إيثانول أمين Phosphatidyl ethanolamine وفوسفاتيديل سيرين Phosphatidyl serine)

4- فوسفاتيديل إنوسيتول Phosphatidyl inositol.

5- الدهون الاسفنجية (السفنكوليبدات) Sphingolipids (مثل السفنكومايلين Sphingomyelin).

6- بلازمالوجين Plasmalogen.

7- كارديولبينات Cardiolipinins.

8- الفوسفاتيديل كلسيرول Phosphatidyl glycerol.

**ب- الدهون السكرية Glycolipids**

1- السيروبروسايد Cerebrosides.

2- الكانكليوسايد Gangliosides.

**جـ- الدهون الكبريتية Sulfolipids.**

**د- البروتينات الدهنية Lipoproteins .**

تصنف البروتينات الدهنية أستناداً إلى الكثافة إلى:

1- الكيلومايكرونات Chylomicrones.

2- البروتينات الدهنية واطئة الكثافة جداً Very low density lipoproteins VLDL

3- البروتينات الدهنية متوسطة الكثافة Intermediate density lipoproteins (IDL)

4- البروتينات الدهنية واطئة الكثافة Low density lipoproteins (LDL)

5- البروتينات الدهنية عالية الكثافة High density lipoproteins (HDL)

**III- الدهون المشتقة Derived lipids**

1- أحماض دهنية (مشبعة وغير مشبعة).

2- ستيرويدات Steroid.

3- سيترولات Sterols.

4- ألديهايدات دهنية Fatty aldehyde.

5- أجسام كيتون Keton bodies.

6- التربينات Terpens.

**وفي ما يأتي شرح مبسط عن كل صنف من أصناف الدهون:**

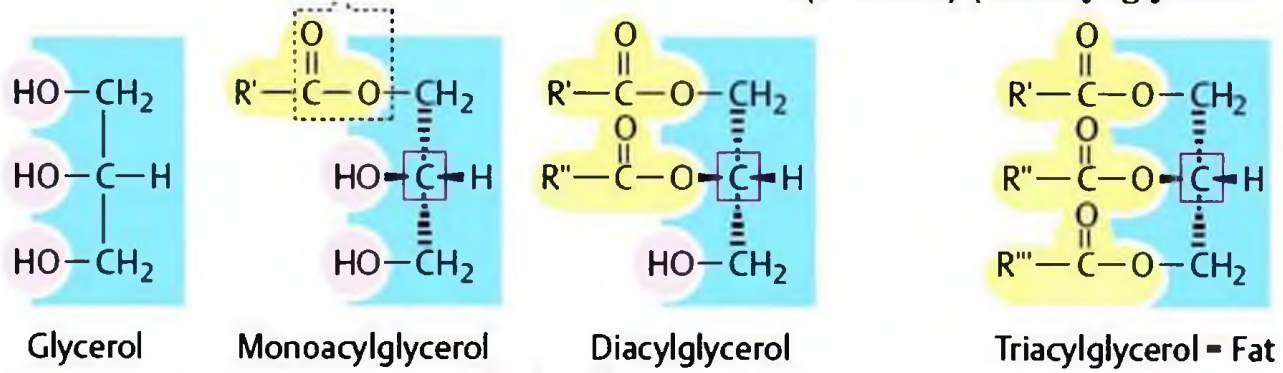
## I- الدهون البسيطة

وهي إسترات Esters لأحماض دهنية مع الكحول التي بدورها تنقسم إلى:

أ- الدهون المتعادلة Neutral lipids

ب- الشمعيات Waxes.

أ- **الدهون المتعادلة** : وتتكون من إسترات للأحماض الدهنية مع كحول ثلاثي هو الكلسيرول Glycerol اذ ينتج ما يسمى بالكلسيريدات Glycerides. وتنقسم هذه الكلسيريدات استناداً الى عدد الأحماض الدهنية المتصلة بالكلسيرول إلى كلسيريدات أحادية Monoglycerides (او تسمى **كلسيرول أحادية الأسيل Monoacyl glycerol** ) وكلسيريدات ثنائية Diglycerides (او تسمى **كلسيرول ثنائية الأسيل Diacyl glycerol** ) وكلسيريدات ثلاثية Triglycerides (**او تسمى كلسيرول ثلاثية الأسيل Triacyl glycerol** ) (**الشكل1-7**).




**الشكل(1-7): الكلسيرول Glycerol وكلسيرول أحادية الأسيل Monoacyl glycerol وكلسيرول ثنائية الأسيل Diacyl glycerol وكلسيرول ثلاثية الأسيل Triacyl glycerol (الشحوم Fat).**

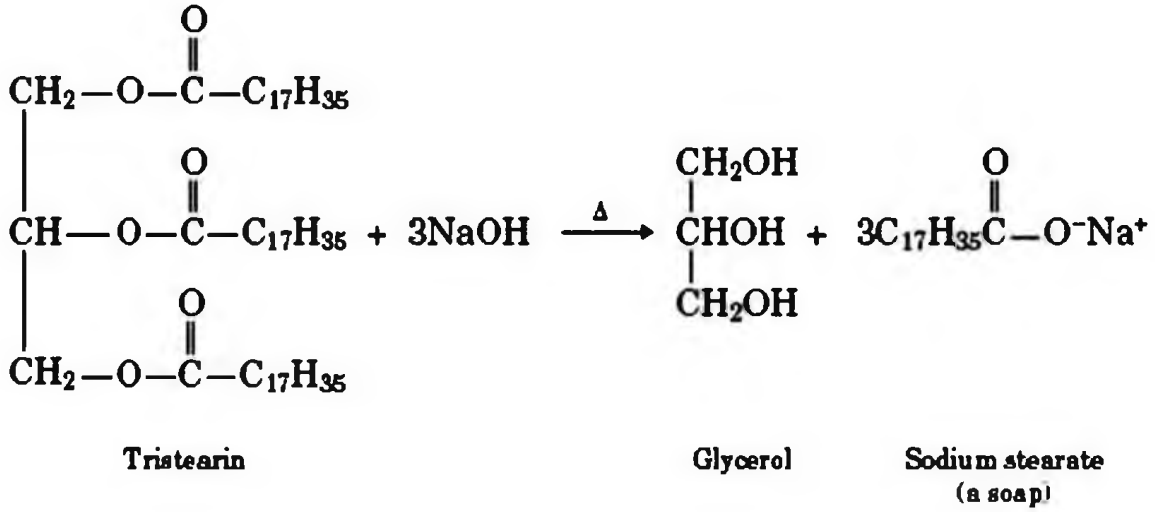
وقد تكون هذه الكلسيريدات متجانسة إذا ارتبطت ثلاث جزئيات من نفس الحامض الدهني بالكلسيرول اذ يطلق عليها بالكلسيريدات البسيطة Simple glycerides ومثال عليها عندما ترتبط ثلاث جزئيات من

حامض الستياريك Stearic acid بالكلسيرول فينتج مايسمى ثلاثي الستيارين Tristearin، أما إذا ارتبط الكلسيرول بأكثر من نوع واحد من الأحماض الدهنية فيسمى بالكلسيريدات المختلفة Mixed glycerides ومثال على ذلك عندما ترتبط جزيئة من حامض البالمتيك Palmitic acid وجزيئتان من حامض الستياريك لتكوين كلسيريد ثلاثي الذي يسمى بالميتدوثنائي ستيارين Palmitodistearin او يسمى بيتا- بالمتيك ألفا- ألفا ثنائي الستياريك β- Palmityl α- α - distearin والكلسيريدات الثلاثية الموجودة في الطبيعة هي من النوع المختلط ولا تحتوي على نوع واحد ولكن من أنواع مختلفة. والكلسيريدات الثلاثية منتشرة في دهن جسم الإنسان ولاسيما الأنسجة الدهنية Adipose tissues وتحت الجلد Subcutaneous وحول الأعضاء مثل القلب والكليتين.

إن جزئية الكلسيريدات الثلاثية ليس لها شحنة كهربائية ولذا سميت بالدهون المتعادلة والتي تكون أما مادة صلبة أو سائلة في درجة حرارة الغرفة، وأن صلابة وسيولة الدهون تتوقف على طبيعة الأحماض الدهنية المكونة للدهن.

إن معظم الزيوت النباتية تحوي أحماضاً دهنية غير مشبعة مثل حامض الأوليك Oleic acid وبهذا تكون هذه الزيوت سائلة في درجة حرارة الغرفة (25 درجة مئوية) أما الكلسيريدات الثلاثية التي تحتوي على أحماض دهنية مشبعة مثل حامض البالمتيك فتكون صلبة أو شبه صلبة في درجة حرارة الغرفة.

تتحلل الكلسيريدات الثلاثية إنزيمياً بوساطة إنزيم اللايبيز Lipase وينجم عنها مزيج من ثلاث جزئيات أحماض دهنية وكلسيرول. وكذلك تتحلل قاعدياً فينجم عنها صوابين الحامض الدهني وكلسيرول وتدعى العملية بالصوبنة Saponification **كما يلاحظ في التفاعل أدناه :**



## الفيتامينات Vitamins

الفيتامينات مركبات عضوية يحتاجها الكائن الحي بكميات قليلة في غذائه لأداء فعالياته الأيضية، وكلمة فيتامين مشتقة من كلمة Vita التي تعني بالإغريقية الحياة و amine تعني مجموعة أمين إذ أول فيتامين أمكن تشخيصه هو $B_1$ الذي يحتوي على مجموعة الأمين. **تصنف الفيتامينات إلى صنفين وهما:**

1- الفيتامينات الذائبة في الماء: مثل فيتامين C (حامض الأسكوربيك Ascorbic acid) وفيتامينات مجموعة B المعقدة ( B-complex) التي تتضمن: الثيامين Thiamine (ويسمى أيضاً فيتامين $B_1$) ورايبوفلافين( فيتامين $B_2$) Riboflavine وحامض النيكوتينك Nicotinic acid ($B_3$) وحامض البانتوثنك Pantothenic acid والبيريدوكسال Pyridoxal (فيتامين $B_6$) وبايوتين Biotin وحامض الفوليك Folic acid وسيانوكوبال أمين Cyanocobalamine (فيتامين $B_{12}$).

2- الفيتامينات الذائبة في الدهون: وهي فيتامينات A، E، D، K .

وفي ما يأتي الجدول الرقم (1-9) يوضح التسمية المعتمدة من قبل المنظمة IUPAC للفيتامينات فضلاً عن التسمية الشائعة والأسماء القديمة لها:

**الجدول (1-9): تسمية الفيتامينات.**

| التسمية المعتمدة من قبل IUPAC | التسمية الشائعة | الاسماء القديمة |
|---|---|---|
| ريتنول Retinol | فيتامين A | الفيتامين المضاد للخمج (Anti- infection) |
| أركوكالسفيرول Ergocalciferol | فيتامين $D_2$ | الفيتامين المضاد للكساح Anti- rickets |
| كولكالسفرول Cholecalciferol | فيتامين$D_3$ | الفيتامين المضاد للكساح Anti- rickets |
| توكوفيرولات Tocopherols | فيتامين E | الفيتامين المضاد للعقم |
| لا يوجد قرار رسمي | فيتامين K | الفيتامين المضاد للنزف، فيتامين التجلط، عامل البروثرومبين |
| الثيامين Thiamine | فيتامين $B_1$ | الفيتامين المضاد للألتهاب |
| الرايبوفلافين Riboflavin | فيتامين$B_2$(لاكتوفلافين) | الفيتامين الأصفر |
| النيكوتين أميد Nicotinamide | نياسين، حامض النيكوتنيك | فيتامين $B_3$ |
| لا يوجد قرار رسمي | بيريدوكسين Pyridoxin | فيتامين $B_6$ |
| حامض البنتوثنيك Pantothenic acid | حامض البنتوثنيك | ــــــــ |
| بايوتين Biotin | بيوتين | فيتامين H |
| لا يوجد قرار رسمي | حامض الفوليك Folic acid (Pteroylglutamic acid) | ــــــــ |
| كوبالامين Cobalamine | كوبالامين، فيتامين $B_{12}$ | ــــــــ |
| حامض الأسكوربيك Ascorbic acid | فيتامين C | الفيتامين المضاد للإسقربوط |

**الخواص العامة للفيتامينات:**

1- الفيتامينات مواد عضوية لا تحتوي على النيتروجين في تركيبها لصنف الفيتامينات الذائبة في الدهن خلافاً للصنف الذائب في الماء الذي يحتوي في تركيبها على نيتروجين عدا فيتامين C (حامض الأسكوربيك).

2- تعد مواد غير متجانسة إذ لا تتشابه في تركيبها الكيميائي وتأثيرها الفسيولوجي (لكل منها وظائف معينة).

3- الفيتامينات يتم الحصول عليها من مصادرها الخارجية وبكميات قليلة جداً لأغراض النمو و البناء وتنظيم العمليات الحيوية والبايولوجية. ومصادرها الخارجية تكون من النبات والحيوان وقسم منها تستطيع الكائنات الحية الدقيقة من صنعها داخل أمعاء الإنسان مثل فيتامين K وفيتامين $B_{12}$.

4- الفيتامينات لا تتحلل بالعمليات الهضمية بل تمتص من قبل الخلايا المعوية كما هي.

5- معظم الفيتامينات وخصوصاً الفيتامينات الذائبة بالماء تدخل بوصفها مرافقات للإنزيمات Coenzymes، إذ تحتاجها الإنزيمات لأداء دورها في التفاعلات المختلفة فهي تستهلك في التفاعلات ولهذا وجب تزويد الجسم بها باستمرار. وعند غيابها فأن هناك تفاعلات إنزيمية معينة قد تبطأ أو تضمحل فيتولد عن ذلك أعراض مرضية.

6- يستطيع الجسم أن يتخلص من الفيتامينات الذائبة في الماء بإفرازها عن طريق البول إذ لا يستطيع خزنها (عدا فيتامين $B_{12}$) ولذلك تعد مواد غير سامة وليس لها تأثير سام عندما يتناولها الجسم بكميات كبيرة Overdoses، أما الفيتامينات الذائبة في الدهون فإن الجسم يستطيع خزنها في الكبد على سبيل المثال فيتامين (A ، D، E ) فإنها تظهر بعض السمية عند تراكمها بكميات كبيرة اذ ينتج ما يسمى فرط الفيتامين Hypervitaminosis يمكن أن تسبب العديد من الأمراض المختلفة وحسب نوعية الفيتامين.

7- الفيتامينات سريعة التلف عند التسخين والطبخ والخزن وتتلف نتيجة للتفاعلات الكيميائية التي تحدث في الأغذية.

8- إن مرافقات الإنزيمات إما أن تكون معادن أيونية (كالحديد والكاليسيوم والسلينيوم ....الخ) أو مركبات عضوية غير بروتينية ترافق الإنزيمات لتساعد عملية نقل مجموعات وظيفية معينة ضمن العمليات الحياتية المختلفة وقد تعد مجموعة ترقيعية للإنزيم Prosthetic group في حالة عدم قابلية فصلها بتقنية الديلزة Dialysis (والتي سوف يتم ذكر هذه التقنية لاحقاً في الفصل الثالث عشر) لارتباطها تساهمياً بالإنزيم.

9- تشارك بعض الفيتامينات كوحدات بنائية للهورمونات أو قد تشارك البعض منها كمضادات أكسدة (مثل فيتامين E و فيتامين C وغيرها) للتخلص من الأكسدة داخل الجسم أو خارج الجسم عند إضافتها إلى بعض الأغذية للمحافظة عليها لفترة أطول.

10- أن الاحتياجات اليومية للفيتامينات تختلف من كائن حي إلى آخر وتتأثر أيضاً بالعمر والجنس والتغيرات الفسيولوجية المختلفة على سبيل المثال الحمل والرضاعة والتمارين الرياضية والتغذية.

11- الفيتامينات لا تعطي طاقة لكونها لا تحوي سعرات حرارية ولكنها تساعد في تحويل الطعام (أثناء العمليات الايضية للكاربوهيدرات والدهون والبروتينات) الى طاقة.

## العوامل التي تؤثر في توفر كمية الفيتامينات للجسم

**1- التوفر الحيوي Bioavailability : هناك عوامل مختلفة تؤثر في قابلية امتصاص الفيتامينات وإيصالها إلى خلايا الجسم ومن هذه العوامل:**

أ- قد يرتبط الفيتامين بعنصر من العناصر الغذائية (مثل البروتين) ويصبح من الصعوبة امتصاصه او توفره في الجسم مثال ذلك وجود النياسين أو حامض النيكوتينك على شكل نياستين Niacytin في نخالة الحنطة وهو ببتيد كاربوهيدراتي Glycopeptide اذ يرتبط به الفيتامين ويكون غير متوفر وغير مستفاد منه حتى لو حصل امتصاص لهذه المادة.

ب- خلل في عملية هضم وامتصاص الدهون يعرقل امتصاص الفيتامينات الذائبة فيه.

جـ- خلل إفراز الحامض المعوي (حامض الهيدروكلوريك HCl) نتيجة لأي إصابة يؤدي إلى قلة توفير فيتامينات معينة مثال ذلك فيتامين $B_{12}$ عند خلل أو قلة إفراز العامل الداخلي.

د- الإصابة بالإسهال أو بالطفيليات يؤدي إلى فقدان امتصاص الفيتامينات.

هـ- وجود الألياف الغذائية مثل البكتين (راجع الفصل الرابع في موضوع الألياف) تقلل من امتصاص العديد من الفيتامينات نتيجة عرقلة امتصاصها بسبب ارتباطها معها.

**2- مضادات الفيتامينات Antivitamins :** التي تتواجد في الأغذية أو يمكن أن تعطى بوصفها أدوية والتي تكون مشابهة للفيتامينات من الناحية التركيبية فيمكن أن تقلل عمل الفيتامينات في الجسم.

**3- بعض أنواع العقاقير** يمكن أن تعرقل عمل العديد من الفيتامينات ومن ثم تؤدي إلى ظهور أعراض نقصها مثل إستخدام عقار بيرميثامين Pyrimethamine لعلاج مرض الملاريا تعمل على عمل مضاد لفيتامين حامض الفوليك وبالتالي ظهور نقص حامض الفوليك.

**4- الإدمان على الكحول:** إذ يؤدي إلى سوء امتصاص حامض الفوليك وزيادة طرحه عن طريق البول.

**5- هناك بكتيريا طبيعية** تعمل على تكوين العديد من الفيتامينات مثل فيتامين K وحامض النيكوتينك وحامض الفوليك ورايبوفلافين وبالتالي فأن **أي تأثير على البكتريا عن طريق أدوية أو أمراض طفيلية او معوية تؤدي إلى تقليل من هذه الفيتامينات.**

# الفيتامينات الذائبة في الماء

## الثيامين Thiamin (فيتامين $B_1$)

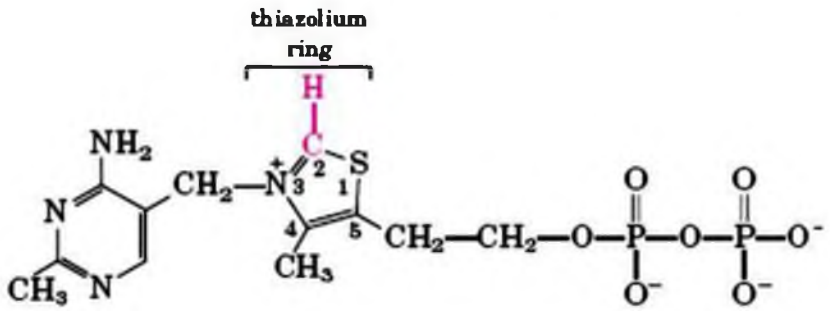
**الصفات العامة:**

1- يتكون الثيامين من حلقة البريميدين ونواة الثايوزول Thiazole التي ترتبط مع بعضها ببعض بمجموعة مثيل (**الشكل 1-9**).

2- الثيامين لا يتأثر بالحرارة وثابت في المحاليل الحامضية ومتغير في المحاليل القاعدية وهو يمتلك تركيباً أبيض اللون سهل الذوبان في الماء.

3- يكثر فيتامين $B_1$ في اللحوم بصورة عامة والكبد والبيض فضلاً عن وجوده في الخبز ولاسيما الحاوية على القشور (أو النخالة).

4- الثيـــايمين يتحـــول فـــي الجـــسم إلـــى الـــشكل الفعـــال وهـــو ثيـــامين بايروفوســـفات Thiamine pyrophosphate (TPP) ويرافق إنزيمات الديكاربوكسيليز Decarboxylase وينـــتج من تفاعل ATP مع الثيامين وإنزيم بايروفوسفوكاينيز Pyrophospho kinase (**الشكل1-9**).

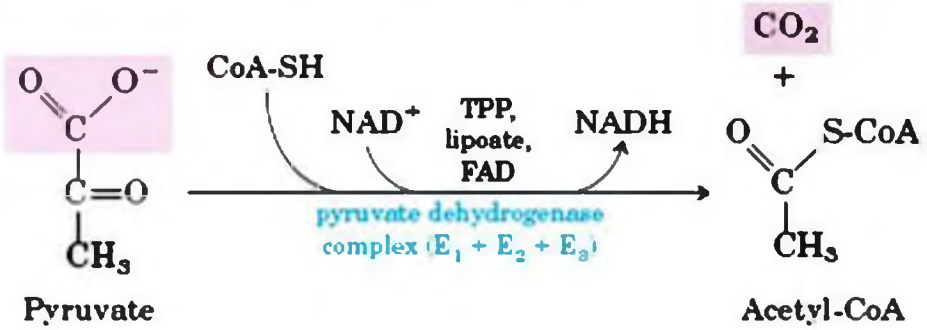



Thiamine pyrophosphate (TPP)

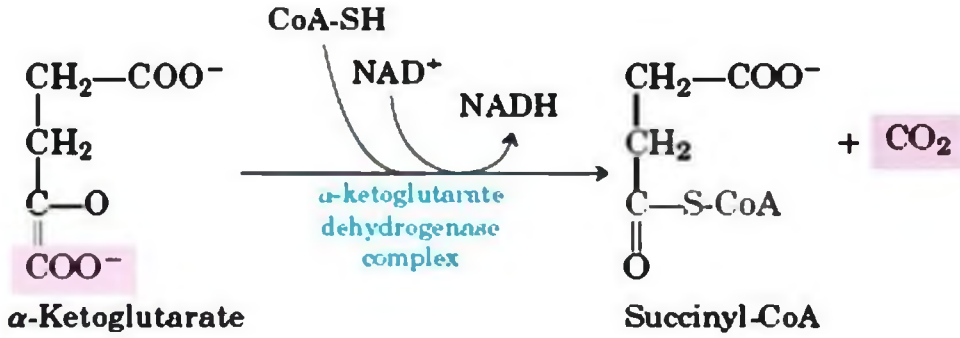
**الشكل(1-9): ثايمين بايروفوسفات Thiamine pyrophosphate (TPP).**

5- يشترك TPP في العمليات الايضية للكاربوهيدرات والبروتينات والدهون من خلال ارتباطه مع عمليات الأكسدة وإزالة الكاربوكسيل Oxidative decarboxylation **كما في التفاعلات الاتية:**

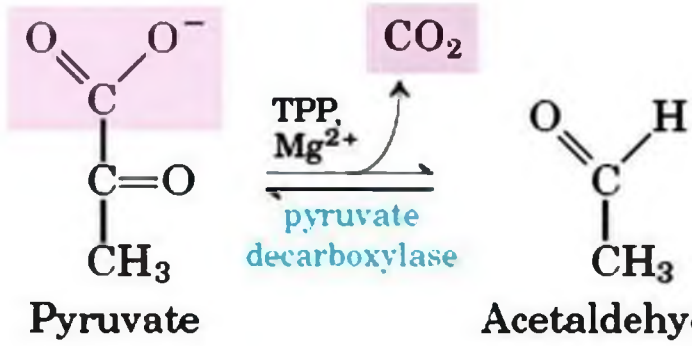
أ- تحول حامض البايروفيك الى أسيتايل مرافق الإنزايم A من قبل إنزيم بايروفيت ديهايدروجينيز المعقـد Pyruvate dehydrogenase complex **كما في المعادلة أدناه:**



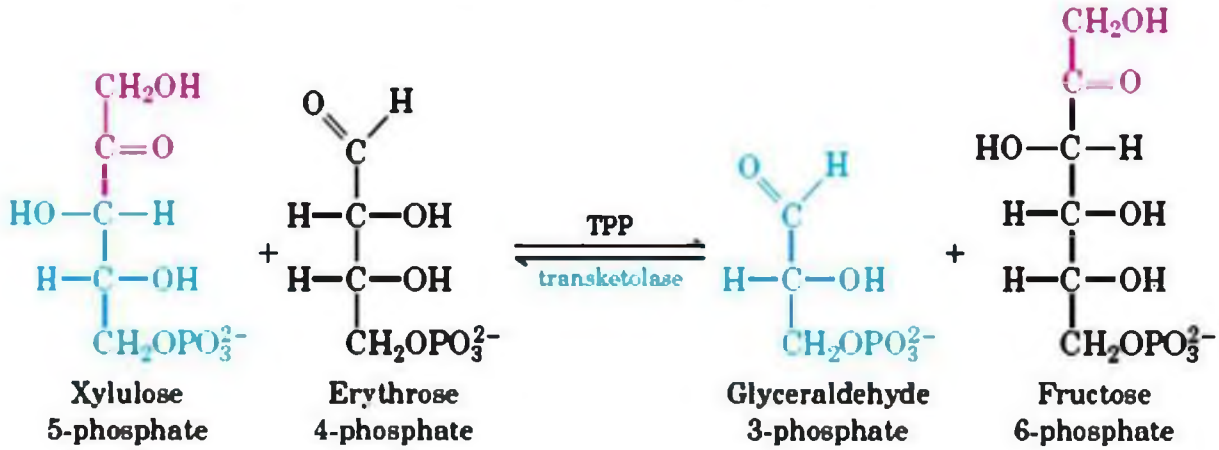
ب- تحول ألفا - كيتوكلوتاريت إلى سكسنايل مرافق الإنزيم A بوساطة إنزيم ألفا - كيتوكلوتاريت ديهيدروجينيز المعقد α-ketoglutarate dehydrogenase complex **كما في المعادلة أدناه:**

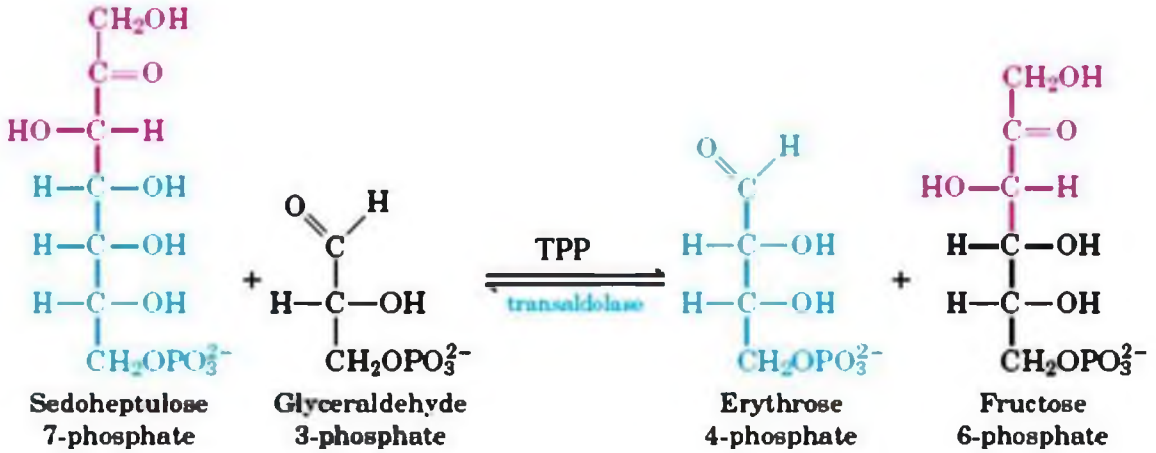



جـ- يدخل في تفاعل إزالة المجموعة الكاربوكسيلية من الأحماض الكيتونية α-Keto acid وتتضمن تحويل البايروفيت إلى أسيتالديهايد في الخميرة بفعل إنزيم بايروفيت ديكاربوكسيليز Pyruvate decarboxylase **كما في المعادلة الآتية:**




د- له دور كمرافق لإنزيم الترانس كيتوليز Transketolase وترانس ألدوليز Transaldolase ، فالإنزيم الأول يعمل على نقل ذرتي كاربون على شكل كلايكوألديهايد أما الإنزيم الثاني فيعمل على نقل ثلاث ذرات كاربون على شكل ثنائي هيدروكسي أسيتون **كما في التفاعلات الآتية** (تستخدم هذه التفاعلات لتكوين سكريات مختلفة والتي سوف يتم ذكرها في الفصل الثاني من الجزء الثاني).





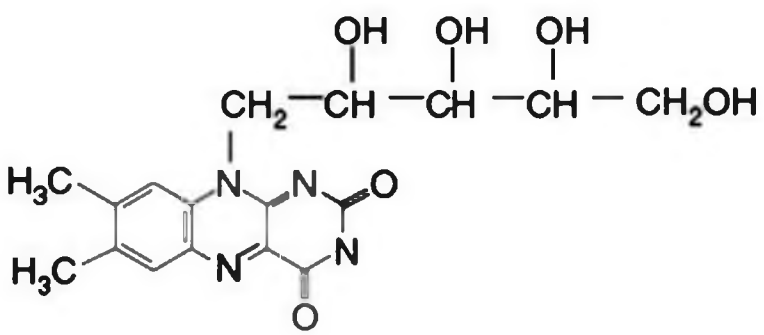

6- نقصه يؤدي إلى تشويش فكري (قلة التركيز) وفقدان الشهية وضعف وشلل عضلي Paralysis وعجز القلب (مرض بري بري Beri beri). فضلاً عن ذلك فإن نقصه يؤدي إلى عدم تحول البايروفيت إلى أسيتايل مرافق الإنزيم A وبالتالي فأن تناول الكاربوهيدرات بكميات عالية يؤدي إلى زيادة البايروفيت واللاكتيت في الجسم وحدوث زيادة الحموضة Lactic acidosis عن طريق اللاكتيت الفائض.

7- تزداد إحتياج الجسم من الثايمين كلما زادت كمية المواد السكرية التي يتناولها الإنسان عن نسبة المواد الدهنية والبروتينية المتناولة نتيجة لعلاقة الثايمين بأيض المواد السكرية وتعتمد حاجة الجسم من الثايميين على حجم الجسم وفعاليته ودرجة حرارة الجو والحالة الفسيولوجية.

## الرايبو فلافين Riboflavin (فيتامين $B_2$)

**الصفات العامة:**

1- يتكون فيتامين $B_2$ من تركيب حلقي يسمى الايزوألوكسازين Isoalloxazine مرتبط بنيتروجين الحلقة الوسطى وبشكل سلسلة جانبية كحول الرايبتول Ribitol المشتق من السكر الخماسي الرايبوز (**الشكل 2-9**).



Riboflavin

**الشكل(2-9): الرايبوفلافين Riboflavin.**

الكولونك L-Gulonic acid (وهو ناتج سلسلة من التفاعلات التي تبدأ بالكلوكوز) إلى حامض الأسكوربيك.

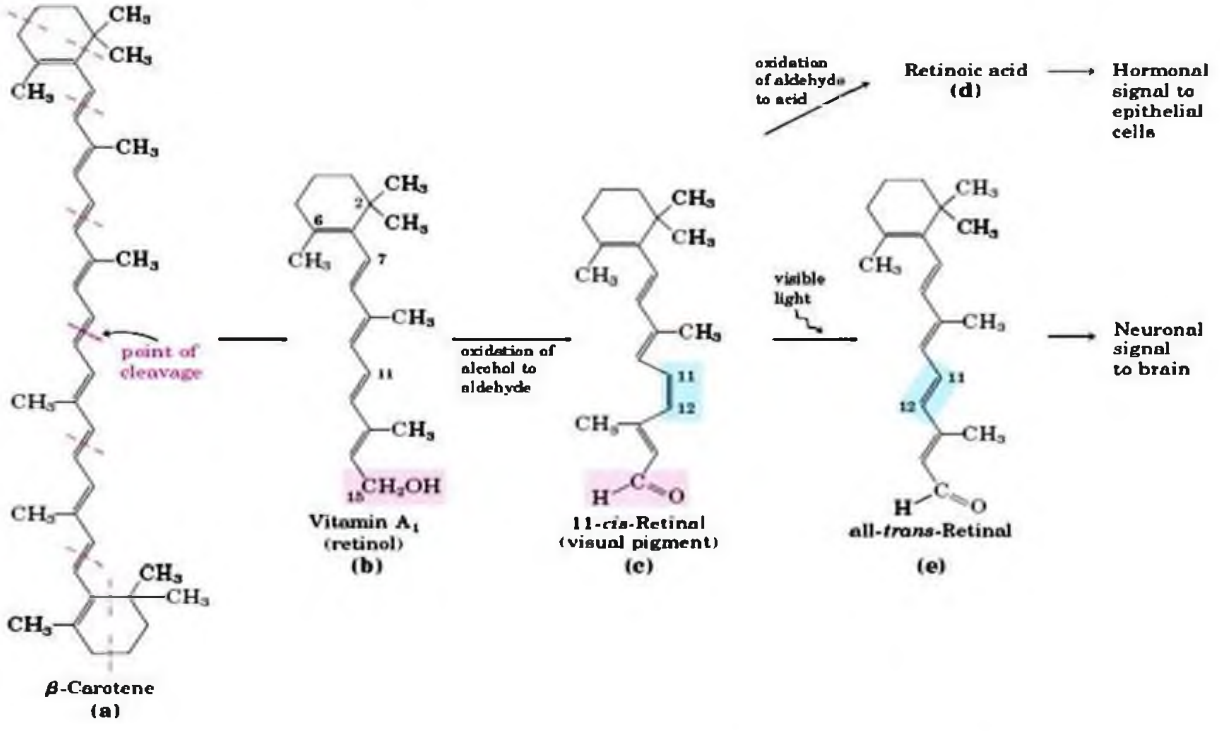
7- نقصه يسبب مرض الاسقربوط Scurvy وفقر الدم فضلاً عن بطء التئام الجروح وفقدان المادة اللاحمة في العظام والأسنان.

## الفيتامينات الذائبة في الدهون

تبنى جميع الفيتامينات الذائبة في الدهون(A، E، D، K) من مركب الأيزوبرينويد.

### فيتامين A

يتكون فيتامين A من بيتا- كاروتين وذلك بانشطار سلسلة الأيزوبرين في منتصفها بوجود إنزيم ثنائي أوكسجينيز Dioxgenase الذي بوساطته تتكون جزيئتان من الريتنال Retinal (**الشكل 21-9**) والذي يمكن اختزال مجموعة الألديهايد فيه متحولاً إلى Retinol الذي يعرف أيضاً بفيتامين A الكحولي.




**الشكل (21-9): (a) انقسام بيتا - كاروتين β-Carotene .(b) تكوين الريتونول Retinol .**
**(c) 11 - سيز- ريتينال 11-cis Retinal (d) حامض الرتينويك Retinoic acid .**
**(e) ترانس- ريتينال all-trans Retinal.**

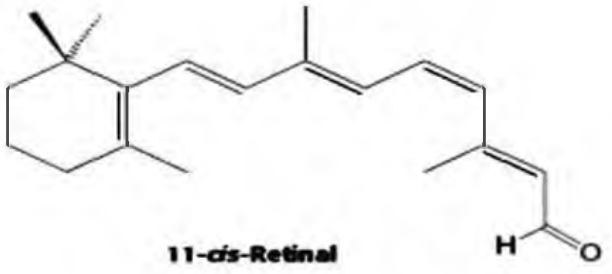
**الصفات العامة:**

1- إن مصادر جميع أنواع فيتامين A هي بعض الأصباغ النباتية وهذه الأصباغ تعرف بالأصباغ الكاروتينويدية Carotenoid pigments وتكثر في الجزر وكذلك في الحليب والبيض والكبد ويتواجد في المصادر الحيوانية على شكل ريتينول Retinol.

2- للفيتامين عدة وظائف مهمة منها المحافظة على سلامة الأنسجة الظهارية Epithelial tissue وفي غيابه تتحول الأنسجة الظهارية إلى متقرنة وجافة وبالتالي يمكن ان تحدث لها حالات مرضية مختلفة.

3- لفيتامين A دور في الرؤيا اذ يعد الرتينال مادة ملونة للصبغة الضوئية رودوبسين Rhodopsin الذي هو عبارة عن بروتين حساس للضوء ناتج عن إتحاد بروتين دهني يدعى أوبسين Opsin مع الرتينال.

أن فعل الضوء القادم إلى العين هو تحويل الرتينال من نوع سيز cis في الموقع 11 إلى ترانس trans ونتيجة لذلك فإن الخلايا الضوئية المستقبلة في العين تستقطب الضوء وتبدأ بأرسال الرسالة الضوئية إلى الدماغ.




4- فيتامين A محفز للتناسل ومهم في عملية النمو. إذ أثبتت البحوث إن لفيتامين A دوراً مهماً في تكوين النطف وتنظيم الدورة الشهرية عند الإناث وكذلك تثبيت الجنين في الرحم.

5- يحافظ على الجلد صحياً.

6- يدخل في وظائف العظام وخلايا الدم الحمر وله وظائف مناعية، ففي العظام قد يكون الفيتامين A دور في عملية انقسام الخلايا وتكوينها ودور في العمليات الحيوية والفسيولوجية. ويشارك أيضاً في الجهاز المناعي من خلال دخوله في تكوين الكاربوهيدرات المخاطية المكونة للمخاط Mucous والموجودة في القنوات الجسمية المختلفة والتي تستخدم للحماية من البكتريا والإصابة بالمكروبات والمواد الضارة اذ تمنع نفاذها إلى الجسم ومن هذه الكاربوهيدرات المخاطية هي المخاطية المكونة للدموع التي تكون ضرورية لصحة القرنية Cornea وبقائها بشكل طبيعي.

7- يدخل في تكوين عدد من الهورمونات مثل هورمونات الكورتيزون Cortisone وبالتالي فأن له دور في عمليات أيض الدهون والكاربوهيدرات والبروتينات والصوديوم والبوتاسيوم.

8- ينظم عملية التعبير الجيني Gene expression وتمايز الخلايا Cell differentiation من خلال حامض الريتيونيك Retionic acid الذي يرتبط مع مستقبلات نووية Nuclear receptors وهذا الارتباط هو المسؤول عن عملية تنظيم استنساخ المعلومات من الجينات في DNA.

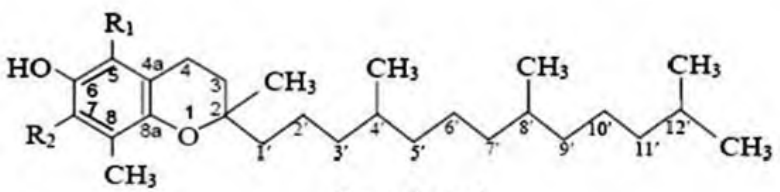
9- نقصانه يسبب العديد من الحالات غير الطبيعية منها: العشو الليلي Night blindness (يعني عدم قابلية المصاب من الرؤيا في الظلام والضوء الخافت)، واضطرابات في الجلد ونمو غير طبيعي ونقصان في عمليات التناسل بسبب ضعف في تكوين الحيوانات المنوية فضلاً عن فقدان الشهية وجفاف العين Xerophthalmia بسبب قلة إفراز الدمع. أما زيادته قد تؤدي إلى تحطيم الأنسجة المختلفة

وضعف عام في الشهية Anorexia ومن أعراض زيادته على الجهاز العصبي المركزي هي الصداع وغيرها من الأعراض. أما في الكبد فيحدث تضخم الكبد مع زيادة نسبة الدهون فيه Hyperlipidemia وفي العظام تحدث زيادة تثخين العظام وخاصة الطويلة مع زيادة نسبة الكالسيوم في الدم Hypercalcemia وفي الجلد يحصل جفاف له.

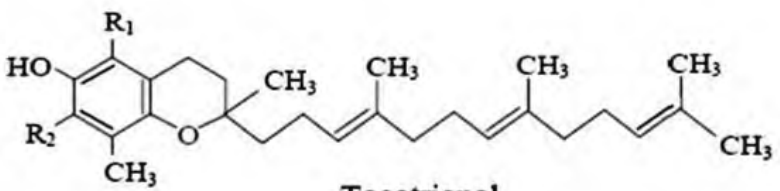
## فيتامين E

**الصفات العامة:**

1- يمثل فيتامين E مجموعة من المركبات الكحولية المشتقة من مركب الفايتول Phytol والتي تتكون أساساً من حلقة الكرومان وتدعى هذه المركبات بالتوكوفيرولات Tocopherols توجد منها في الطبيعة نحو 8 أشكال (أو أبيميرات Epimers) وهي ألفا وبيتا وكاما ودلتا وايتا وزيتا وابسيلون وإيتا و 8- مثيل التوكوترينول 8-Methyl tocotrienol وتتكون الأشكال الأربعة الأولى على شكل توكول Tocol تختلف فيها سلسلة الكاربون الجانبية ($R_4$) عن الأشكال الأربع الثانية التي تكون على شكل توكوترانيول Tocotrienol (**الشكل 22-9 والجدول 2-9**).




Tocopherol



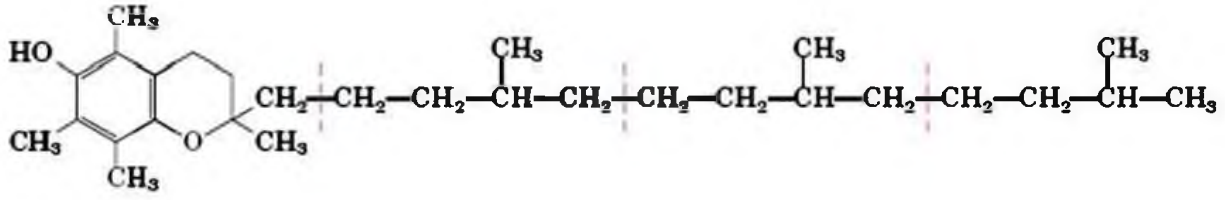

Tocotrienol

**الشكل(22-9): التوكوفيرول Tocopherol وتوكوترانيول Tocotrienol.**

**الجدول(2-9): بعض مشتقات التوكوفيرول والتوكوترانيول.**

| Trivial Name | Chemical Name | $R_1$ | $R_2$ |
|---|---|---|---|
| α-Tocopherol/Tocotrienol | 5,7,8-Trimethyltocopherol/tocotrienol | $CH_3$ | $CH_3$ |
| β-Tocopherol/Tocotrienol | 5,8-Dimethyltocopherol/tocotrienol | $CH_3$ | H |
| γ-Tocopherol/Tocotrienol | 7,8-Dimethyltocopherol/tocotrienol | H | $CH_3$ |
| δ-Tocopherol/Tocotrienol | 8-Methyltocopherol/tocotrienol | H | H |

غير أن أكثر هذه الاشكال وفرة واهمية هي ألفـا- توكـوفيرول (**الـشكل 23-9**) اذ عمليـة تـصنيع DL – α – توكوفيرول في المختبر لايؤدي نفس الفعالية البايولوجية لجزيئة D- α - توكوفيرول المتكونة في الجسم.



**الشكل(23-9): ألفا- توكوفيرول.**

1- يوجد فيتامين E بكثرة في الخضراوات والبيض والكبد والفستق والجوز والرز وبذور القطن.

2- يتم امتصاص الفيتامين عن طريق الأمعاء الدقيقة وينتقـل عـن طريـق الـدم إلـى الكبـد بوسـاطة الكيلومايكرون Chylomicron ومن ثم بعدها ينقل إلى الأنسجة المختلفة.

4- تكون التوكوفيرولات على شكل سائل أصفر زيتي لزج يذوب بالمذيبات العضوية ولا يتأثر بالحوامض أو القواعد أو الحرارة العالية لكنه سريع التأكسد وبهذا يعد مانعاً للأكسدة Antioxidants.

5- **يمتلك فيتامين E عدة وظائف مهمة منها:**

أ- فعالاً مانع للأكسدة Antioxidants إذ يعمل على حماية الأغشية البلازمية للخلية والغلاف الخـارجي للبروتينات الدهنية (المذيلات في الدم Chylomicron, LDL, HDL, IDL, VLDL) من الـتحطم نتيجة بيروكسيدة الـدهون فـي الـدهون المفـسفرة للغـشاء البلازمـي إذ أن عمـل فيتـامين E (وخاصةً الشكل ألفا- توكوفيرول مـن أشـكال الفيتـامين) منـع اسـتمرار بيروكـسيدة الـدهون Lipid peroxidation في سلسلة التفاعل للدهون المتعددة الأواصر المزدوجة وبالتالي إيقافها ومنـع حصول تأكسدها وتحولها إلى مركبات غير طبيعية في الجسم.

ب- دخوله مانعاً للأكسدة ( **لاحظ الشكل 20-9 السابق**) وبالتالي يمنع حدوث فقدان الهيموكلـوبين مـن كريات الدم الحمر Hemolysis (الناتج عن طريق أكسدة وتحطم جدارها) (الشكل فضلاً عن كونـه يمنع تمزق الأغشية للأطفال حديثي الولادة غير مكتملي النمو Premature infants مثـل أغـشية الأوعية الدموية والقصبات الهوائية والعين.

جـ- يقوي القابلية الجنسية والمحافظة على الحيوانات المنوية لدى الذكور.

د- له فوائد صحية أخرى من خلال خفض الإصابة بالأمراض المزمنـة (كـأمراض القلـب المختلفـة والسرطانات ومرض السكري) من خلال فعاليته كمضاد للأكسدة.

هـ- يوقف عملية تكوين مادة نايتروزامين Nitrosamine الخطرة والتي تدخل بوصـفها أحـد المـواد المسرطنة في الجسم والقادمة عن طريق الغذاء بعد تفاعلات عدة.

**6- نقصه يسبب:**

أ- ضمور العضلات وخاصةً الهيكلية.

ب- فقر الدم ألتحللي Hemolytic anemia نتيجة تمزق كريات الدم الحمر بعملية بيروكسيدة الدهن.

جـ- العقم في بعض الحالات.

د- الاستسقاء Edema والتي تظهر في الأطفال غير مكتملي النمو Premature والاطفال المصابين بمرض الكواشيوركور Kwashiorkor.

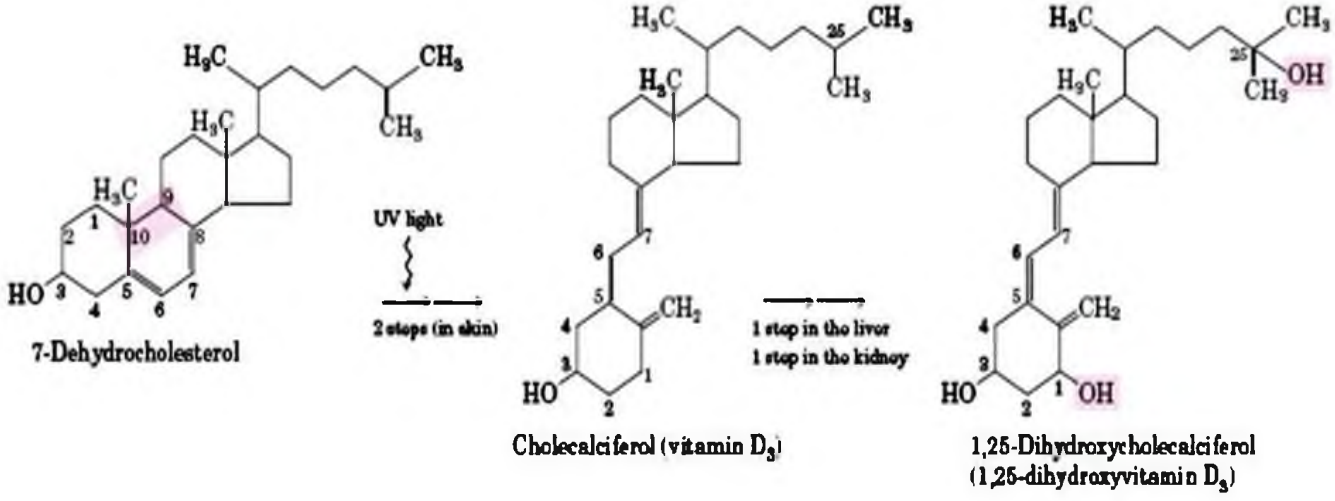
هـ- اضطرابات في الخلايا العصبية العضلية Neuromuscular.

## فيتامين D

فيتامين D يدعى أحياناً بفيتامين الشمس Solar vitamin وذلك لان تكوينه يشمل تعرض مركبات السيترول للأشعة الفوق البنفسجية القادمة من الشمس.

**الصفات العامة:**

1- يمثل فيتامين D مجموعة من المركبات عبارة عن ستيرولات يبلغ عددها نحو 11 مركباً. أهمها فيتامين $D_2$ أو الكالسفيرول Calciferol والذي يتكون من الاركوستيرول Ergosterol (الذي يكون مصدره نباتي) ويتكون بتعرضه للأشعة فوق البنفسجية ، وفيتامين $D_3$ أو المسمى الكول كالسيفيرول Cholecalciferol والذي يتكون من تعرض الستيرول الحيواني المشتق من الكوليسيترول وهو 7- ديهيدروكوليسيترول 7- Dehydrocholesterol للأشعة فوق البنفسجية (**الشكل 24-9**).




**الشكل (24-9): تفاعلات تحول 7- ديهيدروكوليسيترول 7- Dehydrocholesterol الى 25،1- ثنائي هيدروكسي الكول كالسيفيرول 1,25- Dihydroxycholecalciferol.**

2- فيتامين D يكثر في زيت الحوت والزبد والكبد وصفار البيض.

3- يمتص فيتامين D مع المواد الدهنية عن طريق الأمعاء الدقيقة ومن ثم ينتقل إلى الكبد اذ يخزن فيه لوقت الحاجة. وعند الحاجة للفيتامين يتحول في الكبد الى مركب 25- هيدروكسي كول كالسيفيرول 25-Dihydroxycholcalciferol ومن الكبد ينتقل إلى الكليتين فيتحول فيها إلى 1 , 25 - ثنائي هيدروكسي كول كالسيفرول الذي يتأثر تكوينه في الكليتين بوجود هورمون الغدة فوق الدرقية Parathyroid والذي يحفز تكوينه.

4- **فيتامين D له عدة وظائف:**

أ- أهم وظائفه يحافظ على توازن الكالسيوم في الجسم إذ يعد ضرورياً لامتصاص الكالسيوم والفسفور. فعند انخفاض الكالسيوم يفرز هورمون فوق الدرقية الذي يحفز الكليتين على أنتاج مركب 25,1 - ثنائي هيدروكسي كول كالسيفرول وهذا بدوره يعمل على زيادة امتصاص الكالسيوم من الامعاء الدقيقة عن طريق زيادة تكوين البروتين الحامل للكالسيوم.

ب- له دور في تحفيز إنزيم الفوسفاتيز القاعدي Alkaline phosphatase وبالتالي زيادة تحرر الفوسفات من مركباته داخل الجسم ومن ثم مشاركته مع الكالسيوم لتكوين العظام والوظائف الأخرى.

جـ- دوره في تحفيز الكلية على إعادة امتصاص الفوسفات مرة ثانية إلى الدم.

د- له دور في إعادة امتصاص الأحماض الأمينية من خلال الكليتين.

5- **نقصه يؤدي إلى:** الإصابة بمرض الكساح Rickets أو مرض لين العظام Ostemalacia (كساح الكبار) وعادة تصاب فيه النساء الحوامل اللاتي يكنّ بحاجة إلى كميات من الكالسيوم بصورة خاصة.

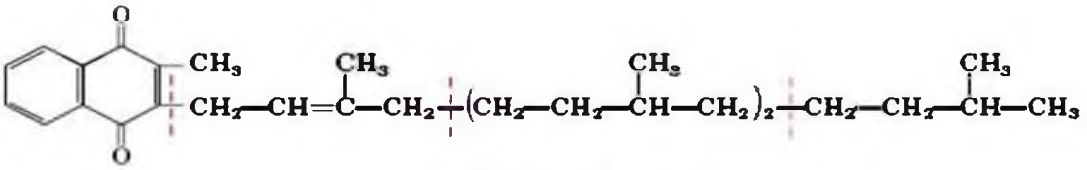
6-**زيادته تؤدي إلى:** زيادة الكالسيوم في الدم Hypercalcemia وبالتالي زيادة كثافة العظام وترسب الكالسيوم في خلايا الكليتين وقنواتها فضلاً عن حصول ترسيب الكالسيوم في المفاصل والشرايين وزيادة تقلص الأوعية الدموية وزيادة ضغط الدم Hypertension.

## فيتامين K

جاءت تسمية فيتامين K نسبة إلى فيتامين التخثر Koagulatiou vitamin (بالالمانية) عند اكتشافه لأول مرة ونسبة لهذه الكلمة سمى Vitamin K.

**الصفات العامة:**

1- تعود مجموعة فيتامين K إلى الكوينونات Quinines والتي يوجد فيها على هيئة ثلاثة أشكال وهي فيتامين $K_1$ ويدعى بالفايلوكويتون Phylloquinone أو الفايتومينودايون Phytomenodione (وهو الشكل الموجود في النباتات) وفيتامين $K_2$ ويدعى أيضاً Menaquinone (الناتج من البكتريا في الأمعاء الغليظة) وفيتامين $K_3$ الميناديون Menadione الذي لديه فعالية ضعف فعالية فيتامين $K_1$ و$K_2$ **(الشكل 25-9).**



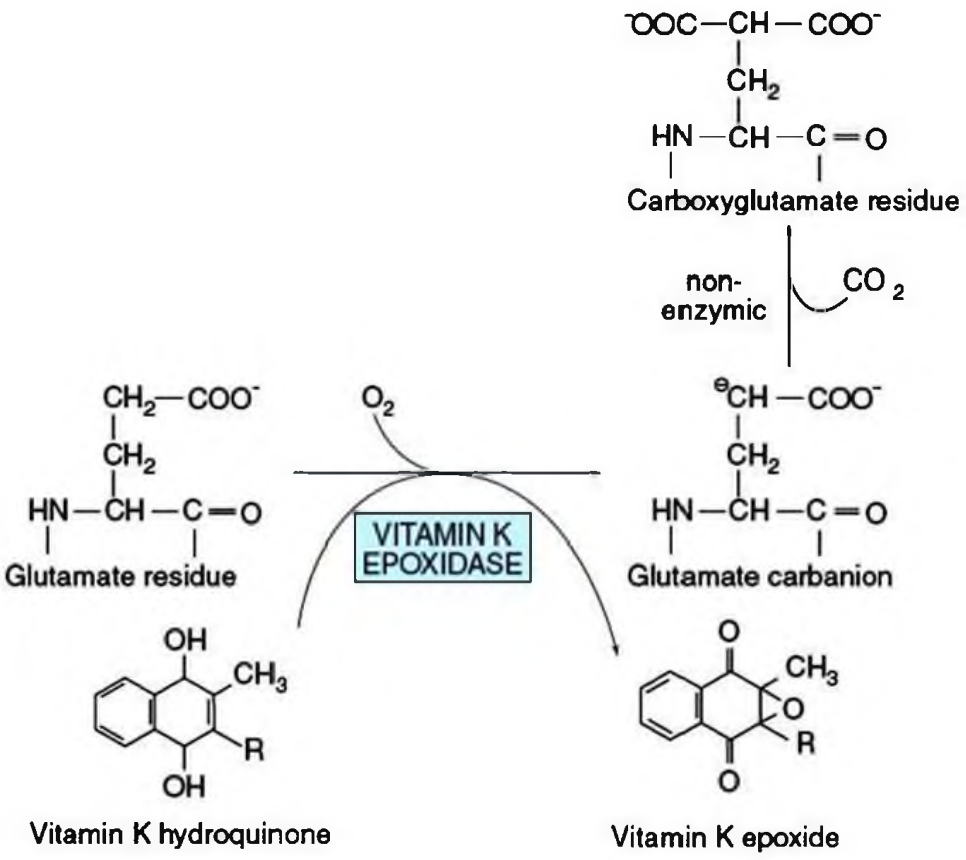
**الشكل (25-9): فيتامين K.**

2- يوجد فيتامين K بكثرة في الخضروات ذات الأوراق الخضر الداكنة كالسبانخ والسلق والخس ويوجد أيضاً في الطماطة والكبد وكميات قليلة في الحليب والبيض.

3- يمتص فيتامين K مع المواد الدهنية كمثل باقي الفيتامينات الذائبة في الدهون وينتقل بالكيلومايكرون إلى الكبد إذ يخزن هناك والكميات المخزونة في الكبد لا تكون كبيرة وتكفي لفترة قصيرة.

**4- فيتامين K له عدة وظائف:**

أ- له وظيفة رئيسية في عملية تخثر الدم من خلال المحافظة على مستويات طبيعية لعدد من عوامل التخثر وهي(II, VII , IX , X) وعوامل التخثر هي عبارة عن بروتينات تبنى في الكبد وتكون خاملة Inactive وفيتامين K يشترك في تحويلها إلى الأشكال الفعالة بإدخال مجموعة $CO_2$ Carboxylation إلى المجموعة الجانبية في حامض الكلوتاميك المتصلة بهذه البروتينات وتحويلها الى كاما- كاربوكسي حامض الكلوتاميك الذي يتحد فيما بعد مع الكالسيوم ليشارك في عملية التخثر **(الشكل 26-9).**




**الشكل(26-9): تحويل حامض الكلوتاميك الى كاما- كاربوكسي حامض الكلوتاميك بمشاركة فيتامين K.**

ب- لفيتامين K دور في عملية الفسفرة التأكسدية في المايتوكوندريا.

جـ- له دور في المحافظة على العظام من خلال مشاركته في تكوين بروتين العظام.

5- **نقصه يؤدي إلى:**

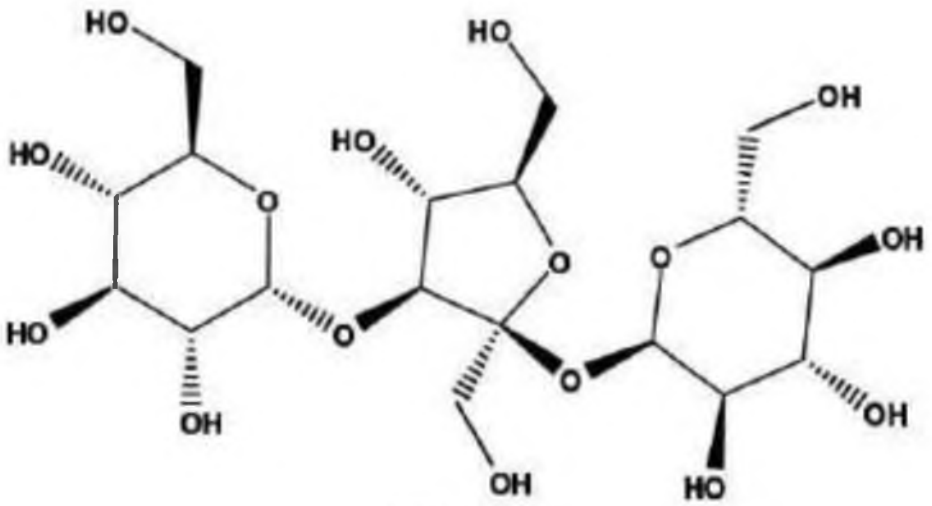
أ- بطؤ تخثر الدم وحدوث النزيف (مرض الرعاف) Hemorrhage disease.

ب- زيادة حالة هشاشة العظام.

6- **زيادته** وخصوصاً حديثي الولادة يؤدي إلى فقر الدم ألتحللي Hemolytic anemia.

## مشابهات الفيتامينات Vitamin likes

هناك بعض المركبات لكونها ذات أهمية في النمو والعمليات الايضية المختلفة والتي تصنع داخل الجسم لذلك سميت بمشابهات الفيتامينات إذ لها دور كمرافقات إنزيمية ولاتعد فيتامينات ومن هذه المركبات الكولين Choline وحامض الليبويك Lipoic acid والإينوسيتول Inositol ومرافق الإنزيم Q (Coenzyme Q) والكارنيتين Carnitine والبايوفلافينويدات Bioflavonoids.



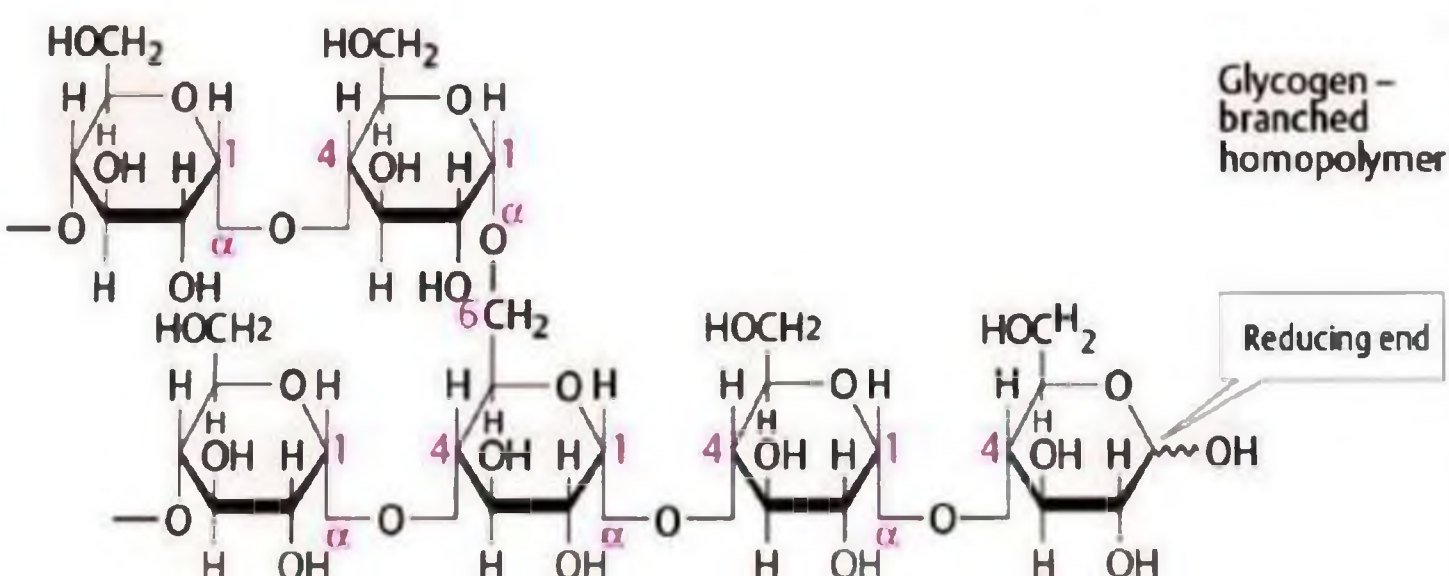

**الشكل (26-4): الميليزيتوز Melezitose.**

**جـ- جنتيانوز Gentianose:** يتكون من وحدتي كلوكوز ووحدة فركتوز فهو شبيه بالمليزيتوز بمكوناتـه لكن تختلف فيه الروابط بين السكريات الاحادية يوجد أيضاً في المملكة النباتية ولاسيما في جـذور نبـات الجينتيان Gentian .

## السكريات المتعددة Polysaccharides

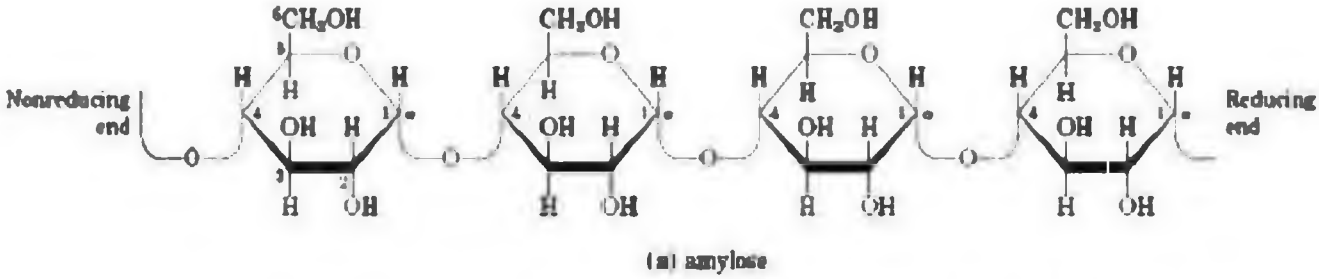
تعرف الكاربوهيدرات التي تحتوي على اكثر من عشرة وحدات من السكريات الأحاديـة بالسكريات المتعددة وعادة توجد في الطبيعة على شكل مركبات ذات اوزان جزيئية عالية تختلف في طبيعتها البوليميرية Polymeric ، اذ منها بشكل سلاسل مستقيمة ومنها بشكل متفرعات معقدة وهناك نوعان مـن السكريات المتعددة وهي:

**السكريات المتعددة المتجانسة Homopolysaccharides** التي تنتج نوعاً واحداً من السكريات الاحاديـة عند تحللها (**الشكل27-4**) وكأمثلة عليها : النشا Starch والكلايكوجين Glycogen والسليلوز Cellulose والكايتين Chitin . وفيما يأتي وصف للأمثلة أعلاه:



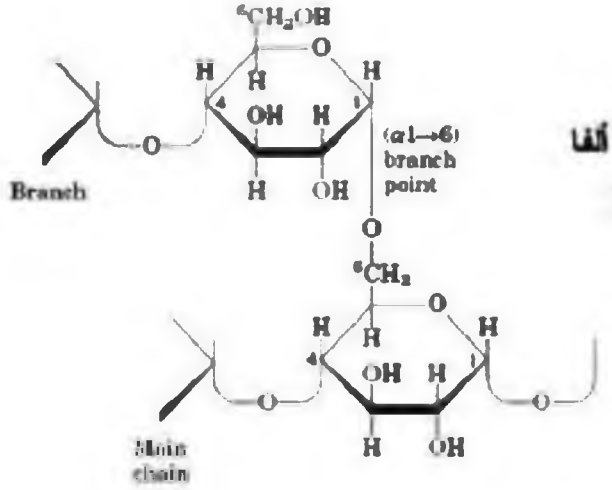
1- النشا Starch : يعد من أهم مركبات الكاربوهيدرات الموجودة في الطبيعة وهو مخزون في النباتات إذ يكوّن تقريباً أكثر من 50٪ من مجموع الكاربوهيدرات التي يتناولها الإنسان ويوجد بشكل حبيبات نشوية تختلف بشكلها وحجمها حسب نوع ومصدر النشا. يتكون النشا من مكونين أساسين هما الأميلوز Amylose وبنسبة 10-30٪ والأميلوبكتين Amylopectin وبنسبة 70-90٪ ، ويكون كلا المكونين من وحدات بنائية من الكلوكوز لكن يختلفان في التركيب.

أ - **الأميلوز**: يتكون الأميلوز (**الشكل 28-4**) من سلاسل مستقيمة من وحدات الكلوكوز المرتبط بعضها مع بعض بأواصر كلايكوسيدية من نوع ألفا 1-4 ، وتتراوح عدد وحدات الكلوكوز بين 100-200 وحدة بنائية.



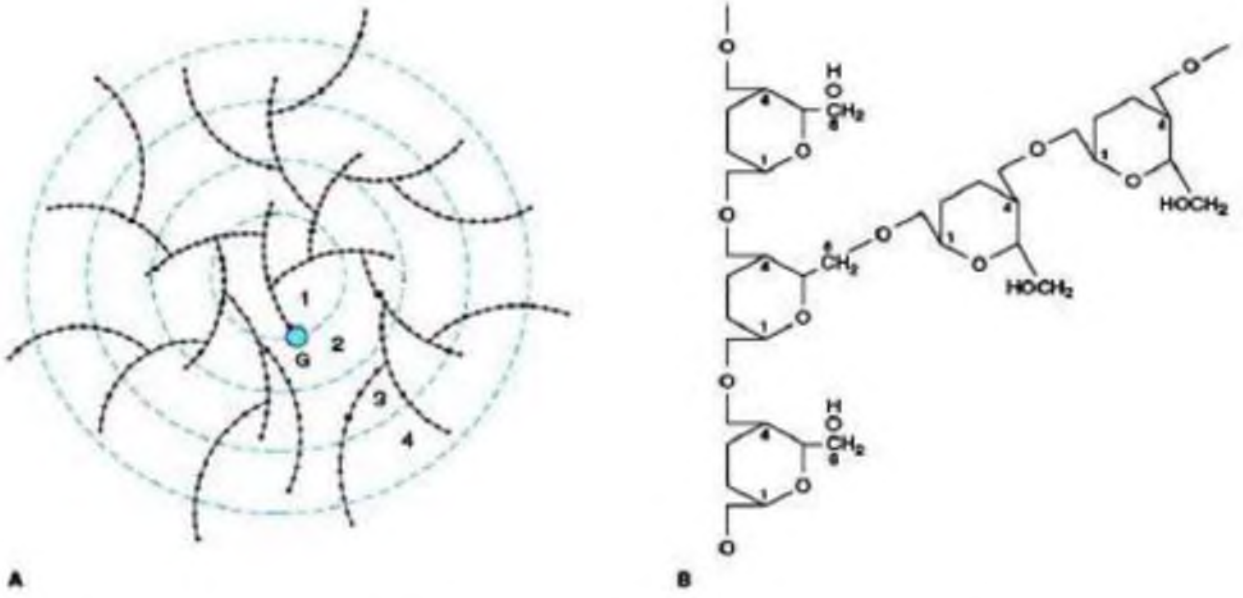

**الشكل (28-4): الأميلوز والنهاية المختزلة وغير المختزلة Reducing and Nonreducing end.**

ب- **الأميلوبكتين** : يتكون من سلاسل متفرعة من وحدات الكلوكوز مرتبطة بعضها مع بعض بأواصر من نوع α 1-4 لتكون السلاسل المستقيمة منه ثم ارتباط هذه السلاسل بأصرة أخرى من نوع ألفا 1-6 (**الشكل 29-4**) بحيث يتكون التفرع مابين 24-30 وحدة كلوكوز ويتكون التفرع ايضاً لكل 24 وحدة كلوكوز تقريباً على السلسلة الرئيسة للاميلوبكتين. إن الوزن الجزيئي للأميلوز قد لا يتجاوز 400000 دالتون على حين يكون الوزن الجزيئي للاميلوبكتين على أقل تقدير المليون دالتون. يتحلل النشا بفعل الإنزيمات المحللة Hydrolytic enzymes فإنزيم ألفا أميليز α – amylase الموجود في اللعاب والبنكرياس يحلل النشا عشوائياً الى سكر المالتوز ووحدات من الكلوكوز. أما إنزيم البيتا أميليز β-amylase فهو يحلل النشا من النهاية غير المختزلة من سلاسل النشا ويحلل بشكل منظم بحيث يكون الناتج سكر المالتوز فقط.



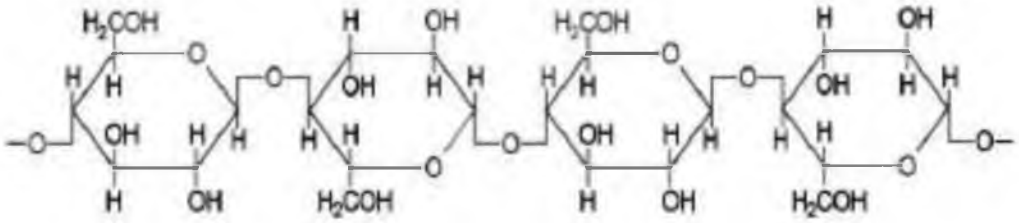

**الشكل (29-4): ارتباط السلسلة بأصرة من نوع ألفا 1-6 بين السلسلة الرئيسة Main chain والمتفرعة Branch في الأميلوبكتين Amylopectin.**

2- **كلايكوجين Glycogen** : يسمى الكلايكوجين بالنشا الحيواني وهو الخزين الكاربوهيدراتي في الكبد والعضلات للإنسان والحيوان. ويتكون من وحدات من الكلوكوز وهو شبيه بالأميلوبكتين في النشا الاعتيادي أي انه يتكون من سلاسل متفرعة لكنه يختلف عن الأميلوبكتين بأنه أكثر تعقيداً او تفرعاً منه إذ يوجد تفرع في السلاسل لكل 8-10 وحدات كلوكوز(**الشكل 30-4**). ويختلف باختلاف الحيوان والنسيج وكذلك الحالة الفسيولوجية للحيوان. ويكون الوزن الجزيئي للكلايكوجين المستخلص من كبد الجرذان تقريباً $5 \times 10^8$ دالتون على حين يبلغ الوزن الجزيئي للكلايكوجين المستخلص من عضلات الجرذان تقريباً $5 \times 10^6$ دالتون .



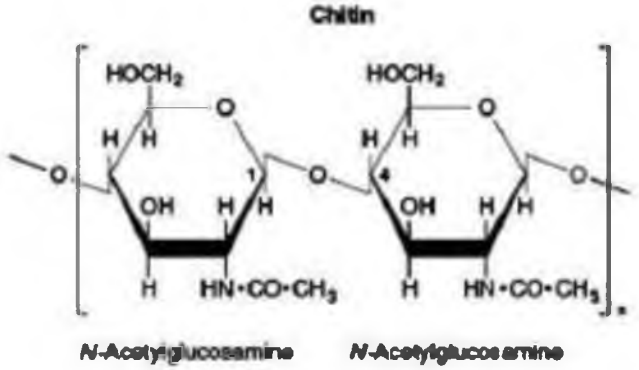

**الشكل(31-4): جزيئة الكلايكوجين، اذ (A) التركيب بشكل عام، و(B ) الارتباط بين وحدات الكلايكوجين.**

3- **السليلوز Cellulose** : يعد هذا السكر من الكاربوهيدرات التركيبية المكونة للهيكل البنائي إذ يكون جدار الخلايا فضلاً عن املاكن اخرى من النباتات ويكون عادة مصاحباً للهيميسليلوز والبكتين واللكنين لكنه يوجد بصورة نقية تقريباً في ألياف القطن. يتكون السليلوز من سلاسل مستقيمة من وحدات الكلوكوز شبيه بالنشا لكن الاختلاف في الأصرة حيث ترتبط وحدات الكلوكوز في السليلوز بأصرة من نوع بيتا **1→ 4 (الشكل 32-4)**. إن السليلوز لا يتحلل بفعل الإنزيمات التي يفرزها الجهاز الهضمي في الانسان. لكن يمكن تحليله بوساطة الإنزيمات التي تفرزها البكتريا التي تعيش في الجهاز الهضمي للمجترات وهو احد مكونات الألياف Fiber في غذاء الإنسان.



الشكل(32-4): السليلوز.

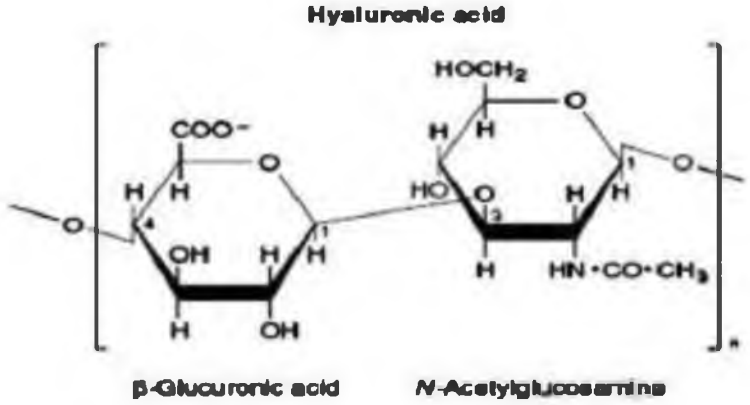
4- **الكايتين Chitin** : الكايتين يعد أيضاً سكراً معقداً موجوداً في الغلاف الخارجي للحشرات والقشريات وهو شبيه بالسليلوز في النباتات. يتكون من سلسلة متكررة لسكر مشتق من الكلوكوز هو N- أسيتيل- D - كلوكوز أمين N-acetyl-D-glucosamine (**الشكل 33-4**).




الشكل (33-4): الكايتين.

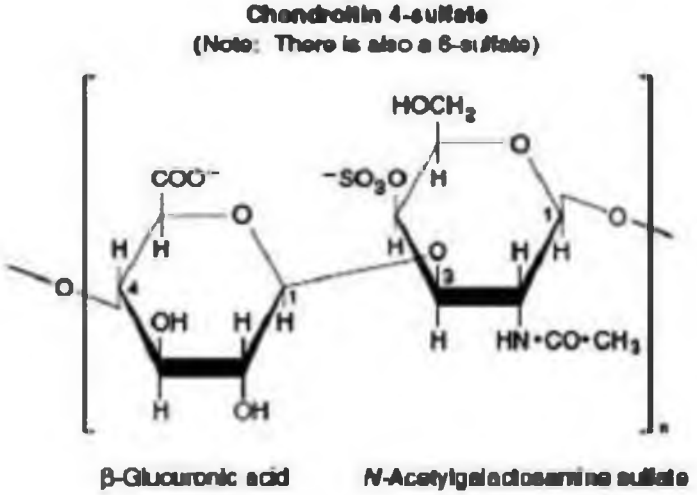
**II- السكريات المتعددة غير المتجانسة Heteropolysaccharides** : وهي السكريات التي تنتج عند تحللها أكثر من نوع واحد من السكريات الأحادية ومن هذه السكريات غير المتجانسة السكريات المخاطية Mucopolysaccharides (مثل حامض الهيالورونيك Hyaluronic acid والكوندرويتين Chonodroitin والهيبارين Heparin) فضلاً عن البكتين والمواد البكتينية **وفيما يأتي أيجاز عن كل واحداً منها:**

أ- **حامض الهيالورونيك Hyaluronic acid** : يتكون من وحدات كلوكوز أمين D-Glucosamine عادةً وحامض الكلوكيورونيك D-Glucuronic acid (**الشكل 34-4**) وهو مركب يوجد في المفاصل بوصفه مادة مزيتة Lubricant والحبل السري Umbilical cord وكذلك في الجلد ويتواجد أيضاً في سم الأفعى وسم النحل.




**الشكل (34-4): حامض الهيالورونيك Hyaluronic acid.**

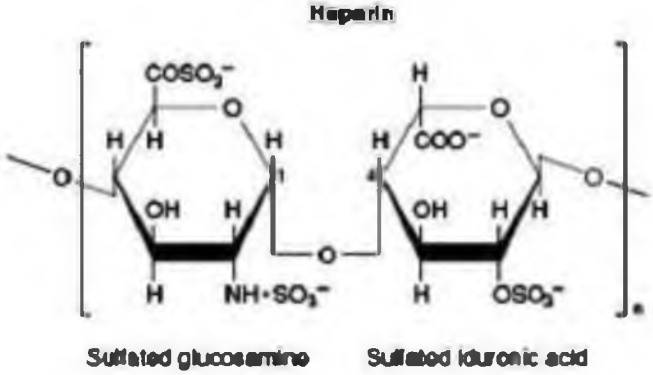
**ب_ الكوندرويتين Chondroitin** : وهو مركب شبيه بحامض الهيالورونيك **(الشكل 35- 4)** لكن يختلف عنه بأنه يحتوي على السكر الأميني من نوع D- كالاكتوز أمين بدلاً من الكلوكوز أمين في حامض الهيالورونيك فضلاً عن ان مركباته تحتوي على مجموعة الكبريتات ولهذا فانها تعد من المركبات المخاطية المكبرتة. يوجد أكثر من نوع من هذه المركبات، منها مركب A ويوجد في قرنية العين Cornea والغضاريف Cartilage ومركب B ويوجد في الأبهر Aorta والجلد وصمامات القلب Heart valves وهناك نوع آخر هو مركب C أيضاً موجود في الغضاريف والحبل السري وتختلف مع بعضها بعدد ومواقع ارتباط مجموعة الكبريتات في السكر.




**الشكل (35-4): الكوندرويتين.**

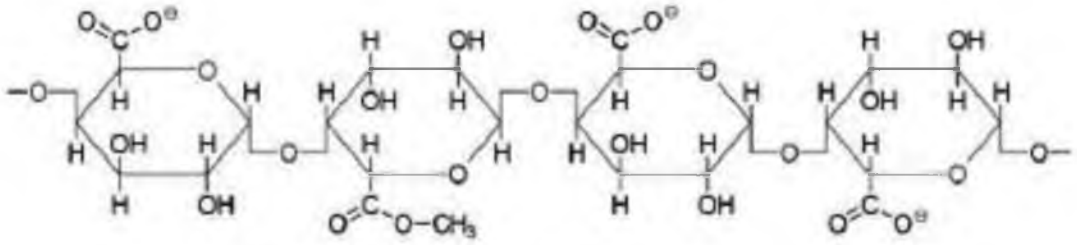
**جـ- الهيبارين Heparin** : وهو من الكاربوهيدرات المتعددة المخاطية المكبرتة **(الشكل 36-4)** ذات وزن جزيئي 17 كيلو دالتون، وتعد من المواد المانعة لتخثر الدم Anticoagulants من خلال منع تنشيط عوامل التخثر وبإرتباطه بهم يعمل على تثبيط فعالية الثرومبين Thrombin ويوجد في الكبد

والرئتين والطحال والدم. يعمل الهيبارين على زيادة تحرر إنزيمات اللايبيز Lipase ولذلك يعد أحد العوامل المساعدة Cofactor في فعالية هذه الإنزيمات.




**الشكل (4-36): الهيبارين Heparin.**

**د- البكتين ومشتقاته:** تكون هذه المجموعة جزءاً من الألياف الغذائية والتي تشمل البكتين Pectin **(الشكل 4-37)** وحامض البكتيك Pectic acid والبروتوبكتين Protopectin وهي عبارة عن مشتقات لكاربوهيدرات متعددة غير متجانسة لها صفات غروية تكوّن الهلام Jel وتوجد في النباتات ولاسيما قشور الفواكه مثل التفاح والحمضيات اذ تكون غنية بالبكتين وعادة تستخدم في صناعة المربيات والجلي بسبب قابليتها على زيادة لزوجة الناتج وتثخينه.



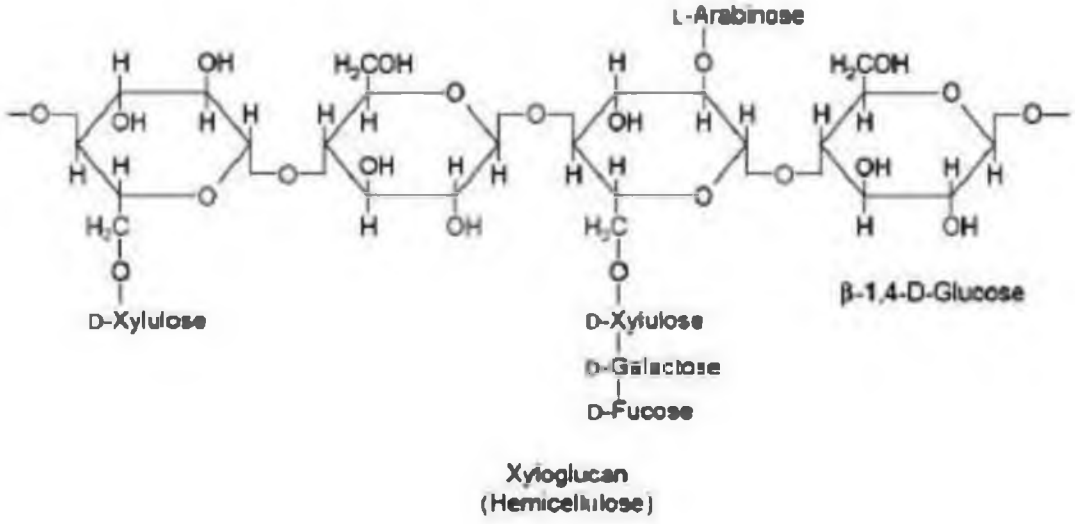

**الشكل (4-37): الوحدة الأساسية للبكتين Pectin.**

## الألياف الغذائية Dietary Fibers

تعرف الألياف الغذائية على أنها مجموعة المكونات النباتية القابلة للأكل والتي لا تستطيع إنزيمات الجهاز الهضمي في الإنسان تحليلها وهضمها كلياً وتصنف الى صنفين حسب ذوبانها في الماء .

1- الألياف الذائبة في الماء وتشمل الهميسللوز **(الشكل 4-38)** والبكتين والاصماغ.

2- الألياف غير الذائبة في الماء وتشمل السليلوز واللكنين.




**الشكل (4-38): الهيميسليلوز Hemicellulose.**

توجد الألياف إما في جدار الخلية مثل السليلوز والهيميسليلوز والبكتين واللكنين، أو في أماكن أخرى من الخلية غير جدارها كالأصماغ. وفي ما يأتي الجدول (4-1) يوضح الأغذية الحاوية على نسبة عالية من الألياف:

**جدول (4-1): بعض الأغذية الحاوية على الألياف.**

| المادة الغذائية | أنواعها |
|---|---|
| الخضراوات | كل انواع الخضراوات، الخضراء والجافة من ضمنها البطاطا مع قشورها والقرنابيط والخس والكرفس والبزاليا والفاصوليا |
| الفواكه | كل انواع الفواكه مثل التفاح والحمضيات والاجاص والرقي والكرز. |
| النخالة | النواتج العرضية من نخل طحين حبوب الحنطة والشعير والشوفان وغيرها(تعد النخالة من أغنى المواد الحاوية على الألياف). |

## الخصائص الفسيولوجية للألياف Fibers physiological properties

1- تملك الألياف قابلية عالية للأرتباط بالماء وهذا العامل يجعل الفضلات أو البراز في الامعاء ليناً وأقل كثافة ولكبر حجماً ويسهل حركته داخل الامعاء وبالنتيجة يمنع الامساك Constipation (الهيميسللوز هو

الأكثر ارتباطاً بالماء من غيره من الألياف وبهذا يكون الاكثر فائدة في التخلص من الامساك والسليلوز أقل منه لكن اللكنين والبكتين تعد مواد قابضة).

2- الألياف لها القابلية على ربط الكوليسيترول وكذلك أملاح وأحماض العصارة الصفراء Bile salts and acids إذ تساعد الجسم على التخلص من جزء لابأس به منها عن طريق الفضلات فضلاً عن تشجيع نمو البكتريا التي تستطيع ان تحلل هذه المركبات في القولون وتقلل من فرص أعادة امتصاصها مرة ثانية وأعادتها الى الغدة الصفراء والدم، وبالتالي تقلل من حدوث أمراض تصلب الشرايين Atherosclerosis ومنع تكون الحصاة في المرارة Gallstones.

3- للألياف دور مهم في خفض وتنظيم كمية سكر الدم (الكلوكوز) والسبب يرجع الى ان الألياف تعيق من عملية هضم الكاربوهيدرات وحصول الجسم على الكلوكوز فضلاً عن أن الألياف تسرع من عملية مرور هذه المواد خلال الأمعاء وتقلل فرص هضمها وامتصاصها الى جانب ان اخذ كمية من الألياف يجعل الشخص اكثر شعوراً بالشبع عوضاً عن اخذ كميات كبيرة من المواد الكاربوهيدراتية والدهنية التي ترفع من سكر الدم. فضلاً عن كونها يعتقد بأنها تنشط إفراز هورمون الأنسولين.

4- لها دور في تقليل او عرقلة امتصاص العناصر الثقيلة والمواد السمية إذ ترتبط بها ويمكن التخلص منها عن طريق الفضلات.

5- تعد الألياف مفيدة لإنقاص الوزن لعدة أسباب أولها عدم تحولها بسهولة الى شحوم تترسب بالجسم ومعنى ذلك أنها تمد الجسم بالطاقة اللازمة لأداء أنشطته المختلفة مع استبعاد حدوث زيادة في الوزن. فضلاً أنها تعطي احساساً بالشبع يدوم لفترة طويلة أكثر من غيرها من أنواع الغذاء الأخرى.

6- **للألياف دورٌ في التقليل من فرص الإصابة بسرطان القولون Colon cancer من خلال:**

أ- ارتباطها بالمواد السامة التي قد تلامس الخلايا المبطنة للأمعاء. وتقليل وقت مرور الكتلة البرازية من الامعاء.

ب- لها تأثيرٌ على الكائنات الدقيقة الموجودة في الأمعاء إذ توقف نشاطها وبالتالي تمنع تكون المواد المسرطنة والتي قد تكونها هذه الاحياء.

جـ- تمتص الألياف كميات من الماء مما يجعل المواد الكيميائية المسرطنة اقل تركيزاً وبالتالي يقل خطرها على الأمعاء.

وعلى الرغم من فوائد الألياف فأن للألياف مضار، اذ ان تناول كميات كبيرة من الألياف أكثر من المقررات اليومية للألياف (بحدود 15-20 غم/ يوم) قد تسبب التقليل من امتصاص فيتامين $B_{12}$ (Cyanocobalamin) والذي قد يؤدي الى مرض فقر الدم الخبيث Pernicious anemia وكذلك يمكن ان تقلل من التوفر الحيوي Bioavailability للعناصر المعدنية مثل الحديد والكالسيوم والزنك والمغنسيوم وغيرها التي لها ادوار فعالة في الوظائف الحيوية المختلفة في الجسم.

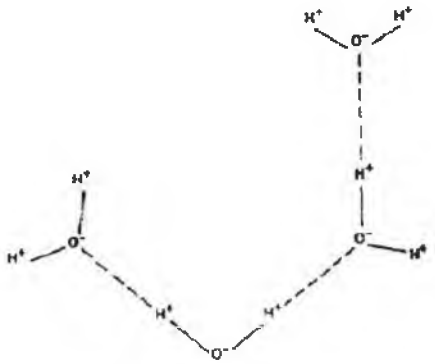
# الماء والمحاليل
# Water and Solutions

**خصائص الماء :**

يحتوي جسم الكائن الحي على أعلى نسبة من جزيئات الماء تقدر بـ 70% او أكثر من وزن الجسم مقارنة بالجزيئات الاخرى. وفضلاً عن وجود الماء بغزارة على سطح المعمورة فإنه يمتلك خواص كيمياوية وفيزياوية فريدة بحيث تلائم جداً الانظمة البايولوجية. إن معظم هذه الخواص مشتقة من القطبية Polarity ، ومن الآصرة الهيدروجينية Hydrogen bonding التي تملكها جزئية الماء.

**١ – قطبية جزئية الماء** **Polarity of water Molecule**

نظراً للكهربائية السالبة electronegativity لذرة الاوكسجين وزاوية الآصرة bond angle مابين ذرتي الهيدروجين، اصبحت جزئية الماء قطبية، فذرة الاوكسجين تحمل شحنة سالبة جزئياً، وكل من ذرتي الهيدروجين تحمل شحنة موجبة جزئياً (انظر الشكل 2 – 1).



شكل (2 – 1) دور الاواصر الهيدروجينية في تركيب الماء الموضحة بالخطوط المتقطعة



ولكون الماء مركباً قطبياً فعليه يعد مذيباً جيداً للمركبات القطبية، ولكنه غير قابل للامتزاج بالمركبات غير القطبية الحاوية على مجاميع كارهة للماء hydrophobic groups.

**٢ – الآصرة الهيدروجينية لجزيئة الماء** **Hydrogen bonding of water molecule**

تتكون الأصرة الهيدروجينية على العموم من تجاذب الحث الكهربائي electrostatic attraction مابين ذرة سالبة كهربائياً (عادة الاوكسجين او النتروجين) مع ذرة الهيدروجين المرتبطة بآصرة تساهمية مع ذرة اخرى سالبة كهربائياً. فجزيئة الماء في الحالة السائلة اذن لها القابلية على تكوين اواصر هيدروجينية مع جزيئات الماء الاخرى كما في الشكل 2 – 1. ونظراً لاحتواء جزيئات الماء على هذه الخاصية فانه يمتلك الصفات الآتية :

١) الماء Water

يشكل الماء اعلى نسبة بين المركبات الكيميائية الموجودة في الكائنات الحية حيث يمثل حوالي ٦—٩٥% من الوزن الكلي لمختلف الخلايا والانسجة مع بعض الاستثناءات كما في عظام الانسان والبذور وكذلك السبورات. ان الماء مذيب طبيعي للايونات المعدنية ولا يمكن ان يستغنى عنه في العمليات الايضية التي تتم كلياً داخل محيط مائي كما يكون الماء كوسط انتشار للنظام الغروي للبروتويلازم حيث ان الماء يمتزج بسهولة مع البروتويلازم فضلاً عن ان جزيئات الماء تسهم كذلك في العديد من التفاعلات الانزيمية في الخلية ويمكن ان تنشأ نتيجة العمليات الايضية. ويوجد الماء في الخلية على شكلين :

أ- ماء حر Free Water: هو الماء الذي ينتقل بحرية بين مكونات الخلية ويدخل في عمليات التحول الغذائي ((الايض)) ويعمل وسطاً للتفاعلات الكيميائية ويشكل نسبة ٩٥% من كمية الماء الموجود في الخلية

ب- ماء مقيد Bound Water: وهو الماء المتصل بجزيئات البروتين بروابط كيميائية أي انه يدخل ضمن تركيب مكونات الخلية وتقدر نسبته ٤-٥% من كمية الماء الموجود في الخلية.

يمتلك الماء بعض الخواص الكيميائية والفيزيائية الفريدة والتي جعلته ملائماً جداً للانظمة البايولوجية ومن اهم الخواص البايولوجية المهمة للماء هي القطبية polarity والآصرة الهيدروجينية Hydrogen bonding فيما يتعلق بقطبية جزيئة الماء فأن من صفات الماء امتلاكه قوة تجاذب وتماسك كبيرتين حيث ان كل ذرة من ذرتي الهيدروجين تشترك بزوج من الالكترونات مع ذرة الاوكسجين والابعاد الهندسية للزوج الالكتروني المشترك والذي يوجد في الغلاف الخارجي لذرة الاوكسجين مما يجعل الجزيئة بشكل حرف V كما ان قابلية السحب الكبيرة لالكترون ذرة الاوكسجين يكسبها شحنة سالبة عند الحرف V معطية شحنتين لنواتي الهيدروجين المكشوفة ونظراً لان جزيئة الماء متعادلة كهربائياً فان الشحنات الموجبة والسالبة بعيدة جداً بعضها عن البعض كما ان جزيئة الماء تعد ثنائية القطبية وهذه الحقيقة هي السبب الرئيس المسؤول عن قوة التجاذب بين جزيئات الماء ونظراً للكهربائية السالبة لذرة الاوكسجين ومقدار الزاوية التي تربط بين ذرتي الهيدروجين اصبحت جزئية الماء قطبية فذرة الاوكسجين تحمل شحنة سالبة جزئياً ويحمل كل من ذرتي الهيدروجين شحنة موجبة جزئياً ولكون الماء مركباً قطبياً لذلك يعد مذيباً جيداً للمركبات القطبية ولكنه غير قابل للامتزاج بالمركبات غير القطبية الحاوية على مجاميع كارهة للماء Hydrophobic groups .

الرابطة الهيدروجينية لجزيئة الماء Hydrogen bonds of water molecule

الاواصر الهيدروجينية هي قوى جذب ضعيفة بين ذرة سالبة الالكترونات (N او O) وبين ذرة هيدروجين (O-H او N-H) فجزيئة الماء في الحالة السائلة لها القابلية على تكوين اواصر هيدروجينية مع جزيئة ماء اخرى فضلاً عن ذلك تستطيع تكوين اواصر هيدروجينية مع مركبات (الهيدروكسيل والفوسفات والامين) ونظرا لاحتواء جزيئات

الماء على هاتين الخاصيتين (القطبية والاصرة الهيدروجينية) فانه يمتلك الصفات الاتية:

اولاً: الماء كمذيب Water a Solvcnt

تحتاج العمليات الحياتية الى اذابة عدد كبير من الايونات والجزيئات الكبيرة والصغيرة نظراً لقابلية الماء غير الاعتيادية لاذابة المواد فانه يعد محيطاً خلوياً داخلياً وخارجياً عاماً ونظراً لكون الماء مركباً قطبياً فهو يعد مذيباً جيداً للمركبات القطبية التي تكون اواصر هيدروجينية مع الماء مكونة جزيئات محبة للماء Hydrophilic ومن هذه المركبات الذائبة هي المركبات الهيدروكسيلية والامينات ومركبات الثايول والاسترات والكيتونات وعدد كبير من المركبات العضوية ويعود السبب في ذلك الى ان الماء يضعف القوى الكهربائية والاواصر الهيدروجينية ما بين الجزيئات القطبية وذلك عن طريق تنافسه باجتذاب تلك الجزيئات فمثلاً ان تأثير الماء على الاصرة الهيدروجينية بين مجموعة الكاربونيل و مجموعة الامينو حيث ان ذرات الهيدروجين للماء تحل محل هيدروجين الاميد كواهبة Doner للاواصر الهيروجينية كما ان ذرة اوكسجين الماء تحل محل اوكسجين مجموعة الكاربونيل كمستقبلة acceptor للاواصر الهيدروجينية وعليه فان الاصرة الهيدروجينية تكون قوية ما بين مجموعة CO ومجموعة NH فقط في غياب الماء .

ثانياً: يعد الماء متماسكاً ومتلاصقاً Water is Cohesive and adhesive

تظهر هاتان الصفتان نتيجة للشد السطحي Surface tension لجزيئات الماء الذي يظهر سطحة وكأنه يغطى بطبقة من الجلد يتولد الشد السطحي للماء نتيجة لتماسك جزيئات الماء مع بعضها بواسطة الاصرة الهيدروجينية لذا فهو يعد اكثر السوائل تماسكاً عدا الزئبق فالماء هو عبارة عن مادة متلاصقة ومتماسكة والتي تفسر لنا الخاصية الشعرية Capillarity وقابلية الماء للحركة الى الاعلى في قطعه من الورق المسامي او الزحف في مسامات التربة واغصان النباتات وانتفاخ بذور النباتات اثناء الانبات .

ثالثاً: قابلية استيعاب عال للحرارة High heat capacity

ان كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة غرام واحد من الماء تقدر بسعرة حرارية واحدة ان هذه الكمية من الحرارة تعد عالية بالنسبة للماء. وان اهمية هذه الصفة تعود الى ان الكائن الحي بامكانه ان يكتسب او يفقد حرارة عالية نسبياً بأقل ما يمكن من تغيير في درجة حرارة الجسم .

رابعاً: ارتفاع درجة حرارة التبخر High heat of vaporization

تعد درجة حرارة التبخر بانها الطاقة الحرارية اللازمة لتغيير غرام واحد من الماء الى بخار وقدرها ٥٤٠ سعرة أي بعبارة اخرى ان كل غرام واحد من الماء لكي يتبخر من جسم الانسان فانه يزيل ٥٤٠ سعرة حرارية وهكذا فان تبخر الماء من السطح يولد تبريداً كبيراً وعليه فان عدداً كبيراً من الكائنات الحية تتخلص من الحرارة الزائدة عن طريق التبخر .

خامساً: درجة انصهار عالية High melting Point

تعد درجة انصهار الماء ((صفر درجة مئوية)) عالية مقارنة بدرجات انصهار المذيبات الاخرى كالميثانول

والايثانول والبروبانول والاستون والكلوروفورم. وتكمن أهمية ارتفاع درجة انصهار الماء في المحافظة على الكائنات الحية من الانجماد فكلما زادت درجة حرارة الانصهار تطلب رفع تلك الدرجة لذلك السائل لغرض تحويله الى صلب .

الاملاح والايونات Ions & Salt

تعد الاملاح ضرورية للمحافظة على الضغط الازموزي والتوازن الحامضي القاعدي للخلية حيث يزداد الضغط الازموزي داخل الخلية بزيادة تراكيز الايونات مما يؤدي الى دخول الماء الى داخل الخلية. ان تراكيز الايونات في السائل الخلوي تختلف حسب نوعية الايونات فمثلاً تكون تراكيز ايونات البوتاسيوم والمغنسيوم داخل الخلية عالية في حين ان ايونات الصوديوم والكلوريد توجد بشكل رئيسي خارج الخلية كما يعد الفوسفات المصدر الرئيسي داخل الخلية كما تحتوي الخلية على ايون البيكاربونات. اما ايونات الكالسيوم فهي موجودة في كل من الخلايا ومجرى الدم، أما في العظام فأن ايونات الكالسيوم ترتبط مع ايونات الفوسفات والكاربونات لتكون ترتيبات بلورية وتوجد الفوسفات في الدم والسوائل النسيجية على شكل أيون حر ولكن اكثر الفوسفات يكون مرتبطاً على شكل دهون مفسفرة Phospholipids ونيوكليوتيدات Nucleotides وبروتينات مفسفرة Phosphoproteins وسكريات مفسفرة Phosphates Sugar وهناك الفوسفات الاحادية H3PO4 والفوسفات الثنائية HPO4-2 تلعب دوراً في تثبيت pH الدم وسوائل الانسجة وهناك ايونات موجودة في الانسجة كالكبرتيات والكاربونات والبيكاربونات والمغنيسيوم والاحماض الامينية وهنالك معادن توجد باشكال غير متأينة كالحديد الذي يوجد في جزيئة الفيريتين Ferrtin والسايتوكرومات Cytochromes وبعض الانزيمات مثل الكتاليز Catalase وسايتوكروم اوكسيديز Cytochrome Oxidase كما ان هناك اثار قليلة من المعادن منها المنغنيز والنحاس والكوبلت واليود والسلينيوم والنيكل والموليدنيوم والخارصين وهي ضرورية لادامة فعالية الخلية.

التفكك الايوني وتنظيم الرقم الهيدروجيني Ionic Dissociation and Regulation of pH

توجد معظم جزيئات الماء النقي في صورة غير مفككة H2O وفي حالة متأينة توجد نسبة منها (H . +OH-) ولاتحتوي المحاليل المائية على بروتونات Protons حرة ولكنها تكون في صورتها الهيدروجينية (nH+H2O) وتدل هذه الزيادة في تركيز الهيدروجين على الحموضة وان المحاليل الحامضية تحتوي على اكثر من ٧-١٠ من ايونات الهيدروجين وقد لوحظ ان الـ pH يكون قريباً من التعادل في معظم الكائنات الحية الا ان هناك بعض الحالات الشاذة مثل حالة عصير الليمون والعصير المعدي حيث يتراوح الرقم الهيدروجيني pH من ١-٢ في حين يتراوح الرقم الهيدروجيني في دم الانسان والليمفاوية الاخرى من ٣.٧ – ٧.٤ وعملية تنظيم الـpH تعود الى ازالة الزيادة في ايونات الهيدروجين عن طريق الكلية وكذلك الى فعل المنظمات الحيوية Buffers الموجودة في الجسم.