المقدمة:

تعد الكيمياء الحيوية من العلوم الحديثة نسبياً، تطورت بسرعة في وقتنا الحاضر، وساعد في ذلك استخدام الطرق الحديثة في الكيمياء، ومن بين هذه الطرق تحليل بنية المركبات باستخدام أشعة إكس، واستخدام الميكروسكوب الإلكتروني والمطياف الضوئي، والتحليل الكروماتوغرافيا، والرنين المغناطيسي، والرحلان الكهربائي، والطرد المركزي ... وغيرها. وساهمت الكيمياء الحيوية في تطوير العلوم الطبية في جميع فروعها، كالصيدلة والزراعة والصناعات الغذائية، وساعدت على حل كثير من مشاكل تلوث البيئة ومشاكل التغذية. علاوة على ذلك ظهرت فروع عديدة فيها أبرزها الهندسة الوراثية وغرس المورثات، وتطوير علم المناعة، وحل كثير من مشاكل أمراض السرطان المختلفة.

تم فصل الكيمياء الحيوية في علم مستقل بسبب الإنجازات التي تم التوصل إليها في علمي الكيمياء والبيولوجيا، ولارتباط علم الكيمياء الحيوية الوثيق بمتطلبات التطبيق في مجالات متعددة.

و يختص علم الكيمياء الحيوية (**Biochemistry**) وهو مصطلح مؤلف من شقين Bio و Chemistry بدراسة التركيب النوعي والكمي للمركبات التي تدخل في تكوين المادة الحية، واستقلابها، والتي من خلالها يظهر النشاط الحيوي للكائن الحي.

التركيب الكيميائي للكائنات الحية

يوجد (27) عنصراً فقط من أصل (92) عنصراً كيميائياً تعد ضرورية لجميع الأشكال المختلفة للحياة، ويعتقد أن الأغنام والأبقار تحتاج إلى 15 عنصراً معدنياً من أجل حياتها، وتضم العناصر كلاً من:

1- **العناصر الأكثر انتشاراً في المادة الحية:** عناصر تدخل بصفة دائمة في تركيب أي كائن حي وهذه العناصر:

الكربون (C)، الهيدروجين(H)، الآزوت (N)، الأوكسجين(O)، الكبريت(S)، الفوسفور(P).

2- **العناصر الموجودة كشوارد:** وتضم كلاً من شوارد المعادن التالية الصوديوم Na^+ والبوتاسيوم K^+ والمغنيزيوم Mg^{2+} والكالسيوم Ca^{++} والكلور Cl^-

3- **العناصر الزهيدة:** وتضم كلاً من العناصر التالية:

الحديد، النحاس، الزنك، المنغنيز، الكوبالت، اليود، الموليبيدن، الفاناديوم، النيكل، الكروم، الفلور، السيلينيوم، السيليكون، القصدير، البور، الزرنيخ.

تختلف نسبة توزع العناصر الموجودة في الكائنات الحية عما هو عليه في القشرة الأرضية. أما العناصر الأربعة الأكثر انتشاراً في الكائنات الحية فهي الهيدروجين، الأكسجين، الكربون، والآزوت، حيث تشكل هذه العناصر مجتمعة مع بعضها أكثر من (99 %) من كتلة معظم الخلايا. وتوجد عناصر ثلاثة من بين العناصر الأربعة وهي الهيدروجين، الكربون والآزوت في المادة الحية بنسبة أعلى مما هي في القشرة الأرضية.

إذا استثنينا المحتوى المائي والدي يشكل أكثر من (75 %) من معظم الخلايا .

يشكل الكربون غالباً بين (50– 60 %) من كتلة المادة الجافة للخلايا الحية ويشكل الآزوت (8 – 10 %)، والأكسجين حوالي (25 – 30 %)، ويشكل الهيدروجين (3 – 4 %) . بينما يشكل الكربون والهيدروجين والآزوت مجتمعة مع بعضها أقل من (1 %) من كتلة القشرة الأرضية. وتوجد ثمانية عناصر موجودة بشكل كبير في جسم الإنسان ومن بين العناصر الأرضية والأكثر غالبية في ماء البحر. من المعطيات السابقة يمكن القول إن:

العناصر الكيميائية الأكثر سيادة في الكائنات الحية هي الكربون، والهيدروجين والأكسجين، والآزوت. وهذه العناصر تلعب الدور الرئيسي في ظواهر الحياة وذلك لان هذه العناصر تتمتع بمجموعة من الخواص:

I – قدرة العناصر المذكورة تشكيل روابط مشتركة بسهولة، والتفاعل مع بعضها بعضاً، وثلاثة منها (الكربون، الآزوت، الأوكسجين) تستطيع تشكيل روابط أحادية (Single bonde) وروابط ثنائية (Double bonde) وروابط ثلاثية (Triple bonde). وبالتالي يمكن إعطاء عدد كبير من المركبات الكيميائية.

ترتبط ذرات الكربون مع بعضها بعضاً بروابط مشتركة أحادية ثابتة جداً، ويمكن لذرة الكربون أن تشكل روابط مشتركة مع الأوكسجين والهيدروجين والآزوت والكبريت وغيرها.

ويمكن لذرة الكربون أن ترتبط مع أكثر من ذرة كربون (ذرتين أو ثلاث ذرات أو أربع) .

ويمكن أن تشترك ذرتا كربون بزوجين إلكترونين مع بعضهما بعضاً وتشكل روابط مضاعفة.

كما يمكن أن تشكل ذرات الكربون المرتبطة مع بعضها بروابط تكافئية بنيات متعددة ذات سلاسل خطية أو متفرعة أو حلقية. ويمكن لعدد من الزمر الوظيفية أن تنضم لهذه الهياكل وإعطاء جزيئات عضوية مختلفة.

مثال: إن عدد وتنوع المركبات التي يدخل الكربون في تكوينها تفوق تلك التي يدخل في تركيبها السيليكون وتتميز كذلك بخواص فريدة من نوعها.

II – صغر حجم الذرات والذي يؤدي إلى تكوين جزيئات ثابتة وقوية متماسكة نسبياً وتكون هذه الجزيئات أكثر مقاومة لفعل المؤثرات الكيميائية المختلفة.

III–مشاركة الفوسفور (P) والكبريت (S) وإلى حد ما الآزوت (N) في تكوين بعض المركبات المتخصصة والتي ينتج عند تفككها انطلاق كمية كبيرة من الطاقة تستخدم في عمليات النشاط الحيوي للكائن الحي.

من أين يحصل الحيوان على هذه المعادن والفيتامينات؟

1– من الماء الذي يشربه.

2– من الأعلاف التي يستهلكها.

3– من التربة عن طريق إمداد النباتات التي يأكلها الحيوان.

4– عن طريق الأحياء الدقيقة في الكرش والتي تعمل على تصنيع بعض الفيتامينات.

5– عن طريق إضافة المعادن والفيتامينات إلى العليقة وهذه الإضافة يجب أن تكون للوصول إلى احتياجات الحيوان وليس ليأخذ كميات منه فتسبب له السمية والنفوق.

- **إن لكل عنصر معدني وظيفة مستقلة له ولكن تجتمع معظم العناصر المعدنية في الوظائف التالية:**

1- حفظ التوازن الحامضي القاعدي في الجسم.

2- ضرورية لحركة العضلات ونقل المنبهات العصبية.

3- مهمة في تنشيط الأنزيمات وأيضاً العناصر الغذائية

- **ولكل عنصر معدني أعراض النقص التالية:**

1- أكل التراب أو الرمل (أرضية الحظيرة).

2- لعق الجدران والمعالف.

3- أكل صوف أو شعر الحيوانات الأخرى.

4- الضعف والهزال وقلة الحركة ونقص الإنتاج.

- **المركبات الحيوية الرئيسة في الخلايا:**

1- الماء والمواد العضوية:

ان نسبة الماء في جسم الحيوان تتناقص تدريجيا مع التقدم بالعمر اذ تكون في الابقار عند 95% في الجنين عند بداية الحمل مباشرة وتنخفض الى 75-80% عند الولادة وبعد خمسة أشهر من العمر تصل النسبة الى 66-72% ثم تنخفض الى حوالي 50% عند عمر البلوغ وتعزى هذه الاختلافات الى ترسيب وخزن الدهن في الجسم على حساب الماء، وقد لوحظ ان الحيوانات المسمنة بشكل جيد تصل نسبة الماء فيها الى 40%.ايضا فان توزيع الماء في الجسم يختلف تبعا لاعضاء الجسم اذ يشكل 90-92% من تركيب الدم و 72-78% من تركيب العضلات و45% من تركيب العظام و5% من تركيب مينا الاسنان.

على خلاف الماء فإن نسبة الدهن بالجسم تزداد تدريجياً مع تقدم العمر اعتماداً على الحالة الغذائية وهذا يؤثر على بقية المكونات الأخرى مثل الماء والبروتين. وترتفع نسبة الدهن عادة في الأنسجة الدهنية وفي مناطق تخزين الدهن في الجسم تحت الجلد وحول الأمعاء والكليتين. أيضاً فإن الدهن يتواجد في تركيب كل خلية في الجسم بشكل مختلف.

أما البروتينات فتوجد في تركيب كل خلية حية في الجسم مثل العضلات والاوتار والأنسجة الرابطة، كما توجد كمية قليلة من الكربوهيدرات بشكل غلوكوز وغلايكوجين.

- يعد الماء المركب السائد الوحيد في خلية الجرثوم E. coli كما هو الحال بالنسبة لجميع الخلايا والأعضاء. بينما تشكل الأملاح اللاعضوية والعناصر المعدنية جزءاً ضئيلاً من الكتلة الجافة لهذه الخلية. إن جميع المواد الجافة في خلية الجرثوم السابق مركبات عضوية ﴿كذلك هو الحال بالنسبة لمواد جميع الخلايا الأخرى﴾ إذ توجد بأربعة أشكال: البروتينات، الحموض النووية، السكريدات المتعددة، الليبيدات (الشحوم).
- تتميز الصفوف الأربعة الرئيسة من الجزيئات **بميزات عامة:** فجميعها ذات كتل جزيئية مرتفعة نسبياً. لهذا تسمى بالجزيئات الكبيرة (Macromolecul) . يبلغ الوزن الجزيئي **للبروتينات** ما بين 5000 إلى أكثر من مليون، ويصل الوزن الجزيئي **للسكريدات العديدة** إلى عدة ملايين، بينما يصل الوزن الجزيئي للأنواع

المختلفة من **الحموض النووية** إلى عدة بليونات، ويتراوح الوزن الجزيئي **لليبيدات** المفردة ما بين 750 – 1500 وتتحد الليبيدات مع بعضها بعضاً بعدة آلاف من الوحدات.

جدول(1) توزع ونسبة الجزيئات العملاقة في خلية الجرثوم E. coli

اسم المركب	النسبة المئوية الوزنية ٪	عدد أنواع الجزيئات
ماء	70	1
البروتينات	15	3000
حموض RNA	6	1000
حموض DNA	1	1
سكريدات	3	50
مواد دسمة	2	40
وحدات بنيوية+مركبات انتقالية	2	500
شوارد لاعضوية	1	12

2- المواد اللاعضوية:

تشمل المادة اللاعضوية بالجسم أعداداً كبيرة من العناصر المعدنية التي تتوزع في مناطق الجسم ولها وظائف بنائية متعددة بالجسم ويلاحظ أن جميع العناصر باستثناء الكالسيوم توجد بنسبة أقل من 1%، وبالرغم من هذه النسبة الطفيفة إلا أنها ضرورية للحياة.

إن نسبة العناصر المعدنية تتغير بالجسم بتغير العمر ودرجة التسمين، حيث أن **الكالسيوم** هو المعدن الأكثر تواجداً في الجسم ويوجد في العظام والأسنان، كذلك **الفوسفور** يكون متحد مع الكالسيوم لتكوين الهيكل العظمي حيث يتواجد حوالي 80% منه والبقية 20% في أنسجة الجسم متحدة مع البروتينات والدهون بشكل أملاح لا عضوية، أيضاً **الكبريت** يكون موجود في جميع أنحاء الجسم ضمن جزيئات البروتين. أما **الصوديوم والبوتاسيوم والكلور** فتوجد على شكل أملاح لا عضوية في سوائل الجسم.

المغنيزيوم يكون موجود الجزء الأكبر منه في العظام، **والحديد** يتواجد في الدم وهو المكون الرئيسي للهيموغلوبين، أما بقية العناصر الأخرى فهي مهمة ولها مهام بنائية وأيضية في الجسم.

- **الخلية ومكوناتها:**

الخلية: هي وحدة التركيب والوظيفة لكل الكائنات الحية. وهي توجد منها نوعان:

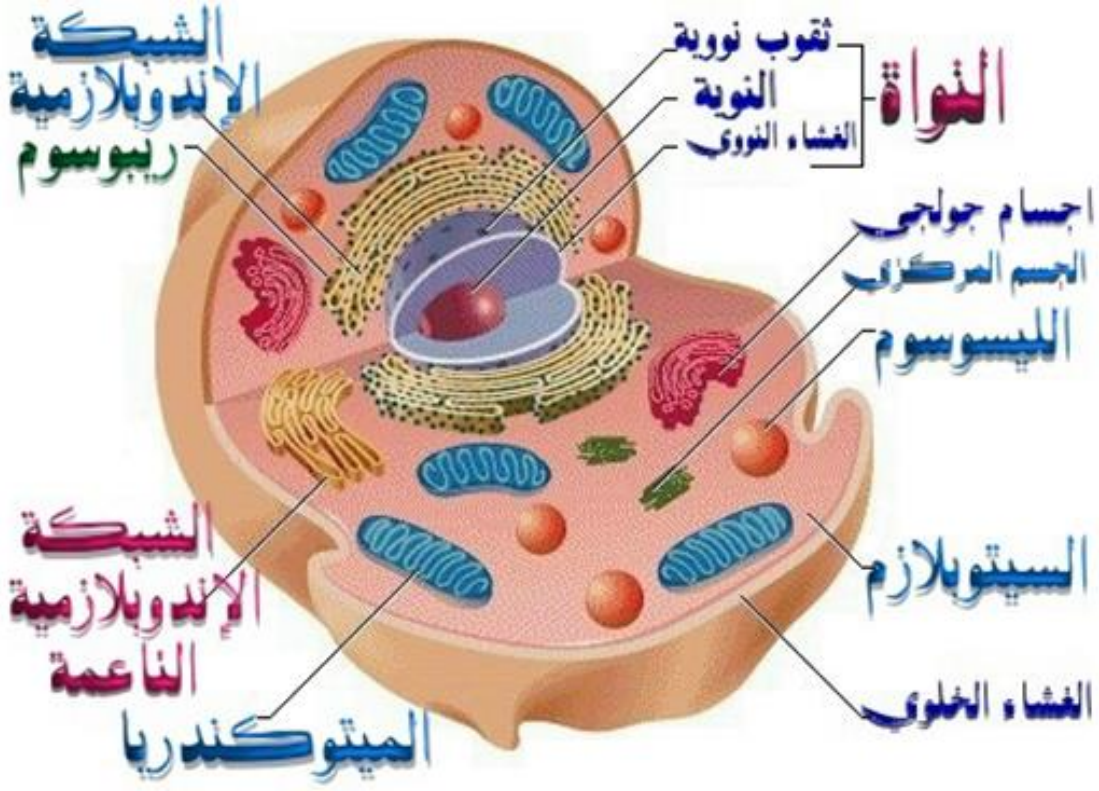
1- **خلية حقيقية النواة:** تحتوي على غشاء يفصل بين النواة ومكونات الخلية. والخلية حقيقية النواة نوعان خلية حيوانية و خلية نباتية.

2- **خلية بدائية النواة :** لا تحتوي على غشاء يفصل بين النواة وبقية مكونات الخلية وهي موجودة في البكتريا والطحالب الخضراء المزرقة.

مكونات الخلية الحيوانية:

1- الغشاء الخلوي Cell membrane:

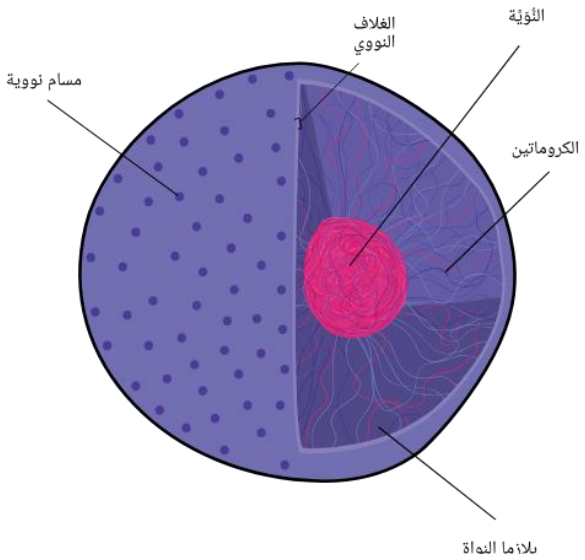
يحمي الخلية وهو غشاء ذو نفاذية اختيارية، ويتكون من ليبيدات 40 %، وبروتينات 60 %، وبعض الإنزيمات المتخصصة، ويرتبط ببعض المكونات الخاصة مثل الإنزيمات حيث يوجد على غشائه المستقبلات الخاصة بكل منها.



شكل يبين مكونات الخلية الحيوانية

2- النواة Nucleus:

هو مركز المعلومات في الخلية، ويحتوي على نسبة كبيرة من النيوكليوبروتين Nucleo proteins والتي تشكل فيها جزيء DNA النصف تقريباً بينما يشكل البروتين النصف الآخر والذي يكون عبارة عن نوع من الهستونات والبروتامين Histones and Protamine. وتحتوي النواة على ما يزيد عن 95 % من الأحماض النووية الموجودة في الخلية، وداخل النواة يوجد جسم دائري صغير يسمى النوية Nucleolus، وتتألف هذه النويات من مركبات كبيرة من جزيئات (RNA) تصل نسبتها إلى 25 – 20 % من مجموع جزيئات RNA الموجودة، وهي عبارة عن mRNA تقوم بحمل المعلومات الوراثية من جزيء الدنا والتي تقوم بدور بارز في تصنيع البروتين داخل الخلية.



شكل يبين نواة الخلية الحيوانية

3- السيتوبلازم Cytoplasm:

يحتوي على RNA وغلوكوز ونواتج أيضية مثل اليوريا Urea ، حمض اليورك Uric acid ، الكرياتينين Creatinine، وإنزيمات Enzymes ، وغيرها. ويوجد في السيتوبلازم المكونات التالية:

أ- **الميتوكندريا Mitochondria:**

هي مركز توليد الطاقة في الخلية، وذلك لقابليتها في تصنيع جزيئات ATP ، كما تتم فيها تفاعلات الأكسدة والاختزال، وأكسدة الأحماض الدهنية والبروتينات وغيرها.

ب- **الشبكة الإندوبلازمية: Endoplasmic Reticulum (ER)** وتتكون من:

- الشبكة الإندوبلازمية الملساء Smooth Endoplasmic reticulum (SER) : حيث تتكون من الستيرويدات والليبيدات والسكريات العالية معقدة التركيب كما يمكن من خلالها التخلص من المركبات السامة.
- الشبكة الإندوبلازمية الخشنة Rough Endoplasmic Reticulum (RER) : تحتوي على الريبوزومات وتقوم بتصنيع البروتين المطلوب إفرازه من الخلية أو امتصاصه في غشاء الخلية نفسها.

4- الرايبوزوم Ribosome :

تحتوي على RNA والبروتين وفيها مكان تصنيع المركبات البيتيدية المتعددة.

5- أجسام غولجي Golgi Apparatus:

تقوم بعمليات الخزن الاضطرارية المؤقتة للبروتينات.

6- الأجسام المحللة (ليسوسوم) Lysosomes:

تحتوي على الإنزيمات الهاضمة والمركبات الإنزيمية الغير فعالة.

- يعنى علم الكيمياء الحيوية بدراسة مكونات الخلية من أحماض أمينية وبروتينات وكربوهيدرات وغيرها ومواد عضوية أخرى مثل الفيتامينات والهرمونات والمواد الغير عضوية. تمهيداً للدخول في دراسات أعمق حول عمليات الهدم والبناء الحيوي لهذه المكونات وكذلك عمليات استهلاك الطاقة أو خزنها. لذلك فإن كثير من التفاعلات الكيميائية تحدث في الجسم للكربوهيدرات، أو الليبيدات، أو البروتينات والتي تعتبر المواد الرئيسية في الغذاء، كما يلزم هذه التفاعلات مواد محفزة أو منشطة تسمى الإنزيمات. هذه التفاعلات الكيميائية تنظم بواسطة مواد تسمى الهرمونات (Hormones) والتي تفرز بواسطة غدد معينة في الجسم تسمى غدد صماء (Endocrine Glands)

ومما سبق تتضح أهمية الكيمياء الحيوية في التعرف على كل من:

1- الكربوهيدرات والتمثيل الغذائي لها.
2- الليبيدات والتمثيل الغذائي لها.
3- الأحماض الأمينية والببتيدات والبروتينات والتمثيل الغذائي لها.
4- الإنزيمات والمرافقات الإنزيمية.
5- الفيتامينات والهرمونات.

الكربوهيدرات (السكريدات)
Carbohydrates

الكربوهيدرات: هي عبارة عن مركبات عضـــوية ألدهيدية أوكيتونية متعددة الزمر الهيدروكســيلية، أو مركبات تعطي بالحلمهة مشتقات الدهيدية أو كيتونية للأغوال متعددة الهيدروكسيل.

لمعظم الكربوهيدرات الصـيغة العامة $(CH_2O)_n$ ، حيث n =3 أو أكثر، وقد أتت هذه الصـيغة من الاعتقاد القديم بأن الكربوهيدرات يمكن اعتبارها ماءات الكربون . ولكن الصـيغة السـابقة لا تعبر عن كافة السـكريات، فالسـكر البسيط دي أوكسي رايبوز الموجود في كل خلية كأحد مكونات الحمض النووي المنقوص الأوكسجين له الصيغة الجزيئية $C_5H_{10}O_4$ بدلاً من $C_5H_{10}O_5$. وتعد الكربوهيدرات إحدى المركبات الحيوية المكونة للخلية الحية، وتنتشر الكربوهيدرات بشـكل كبير في عالم النبات حيث تشـكل (70 – 80 %) من كتلة الخلايا الجافة، وتوجد بكميات قليلة في أعضـاء الحيوانات (دم، بول، حليب) ولكن دورها ليس بقليل الأهمية حيث تتركز على شـكل غليكوجين في الكبد والعضـلات. والكربوهيدرات مركبات ذات صـفات متنوعة تختلف بشـدة فيما بينها فمنها مواد ذات أوزان جزيئية مرتفعة، وأخرى منخفضـــة ومنها ما يذوب في الماء، وبعضـــها الأخر ضـــعيف الذوبان فيه. وتعدَ الكربوهيدرات من المصـادر الغذائية والطاقية فهي أكبر مكونات غذاء الحيوانات، وتسـتخدم بعض الكربوهيدرات في بنية الهياكل الخلوية والعضـــيات داخل الخلية، وتعدَ مصـــدر لاصـــطناع عدد من المركبات الهامة مثل الحموض النووية والدهون.

تقســم الكربوهيدرات وفق طعمها إلى **كربوهيدرات حلوة المذاق** (سـكريات sugars) و **كربوهيدرات غير حلوة المذاق** (السكريات المتعددة Polysaccharides). و يقسم كل من هذين النوعين حسب عدد وحدات السكر في الجزيء إلى:

1- السكريدات الأحادية (مونوزات) (Monosaccharides)

2- السكريدات قليلة التعدد (أوليغو سكاريد) (Oligosaccharides)

3- السكريدات المتعددة (بولي سكاريد) (Polysaccharides)

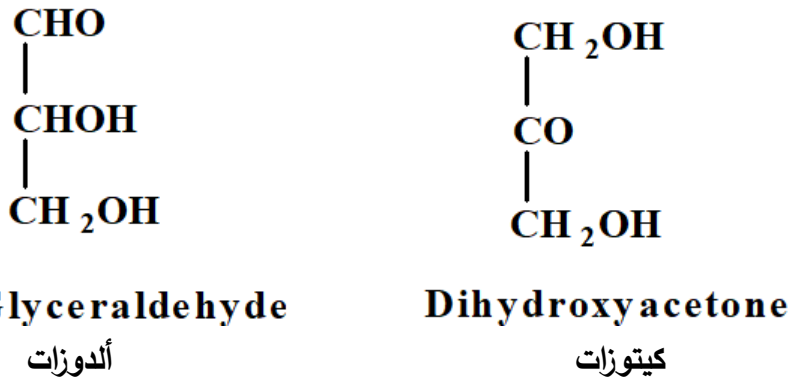
أولاً: السكريدات الأحادية (البسيطة):

مركبات عديمة اللون، صـــلبة متبلورة، تذوب في الماء، ولا تذوب في المحلات اللاقطبية، ولمعظمها طعم حلو والسـكريدات الأحادية مكونة من وحدة واحدة لا تتحلمهه إلى وحدات أصـغر بالشـروط العادية فمثلاً لا يتحلمه الغلوكوز بفضل الماء. والصيغة العامة للسكريدات البسيطة $(C H_2O)_n$ حيث n: (3 – 7).

- **تصنيف السكريدات الأحادية:**

تصنف المونوزات حسب **نوع الوظيفة الكربونيلية:**

1) الدهيدية (ألدوزات) (Aldoses) مثال: غليسرالدهيد، الغلوكوز حيث يسمى ألدوهكسوز (Aldohexose)
2) كيتونية (كيتوزات) (ketoses) مثال: ثنائي هيدروكسي أسيتون، الفركتوز يسمى كيتوهكسوز (ketohexose)



الشكل (1) صيغة غليسرالدهيد و ثنائي هيدروكسي أسيتون

كما وتصنف المونوزات بحسب **عدد ذرات الكربون في جزيئاتها** الى:

1) تريوزات (Trioses): تحتوي على ثلاث ذرات كربون. مثال: غليسر الدهيد(غليسروز)، ثنائي هيدروكسي اسيتون
2) تيتروزات (Tetroses): تحتوي على أربع ذرات كربون. مثال: إيرثروز، إيرثرولوز
3) بنتوزات (Pentoses): تحتوي على خمس ذرات كربون. مثال: رايبوز، رايبولوز
4) هكسوزات (Hexoses): تحتوي على ست ذرات كربون. مثال:غلوكوز، فركتوز
5) هبتوزات (Heptoses): تحتوي على سبع ذرات كربون.

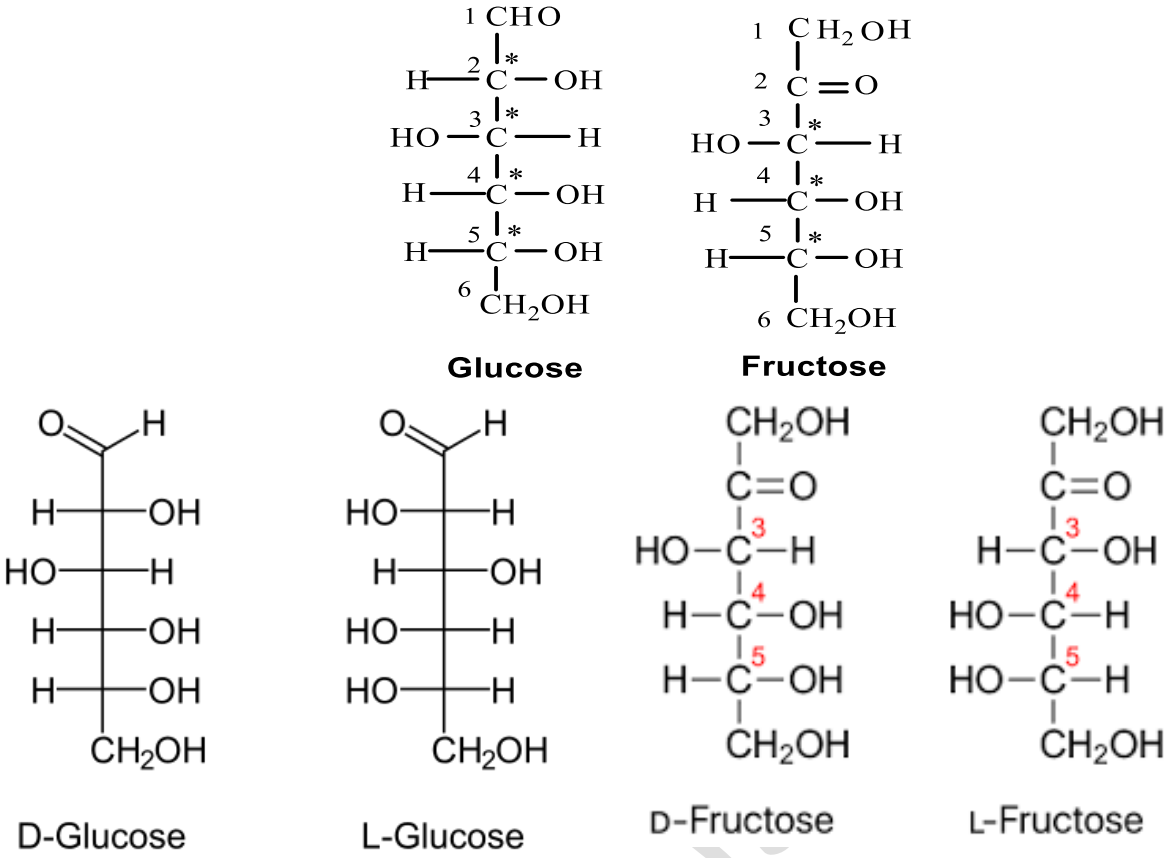
- **تماكب السكريدات الأحادية:**

تتميز السكريدات الأحادية بالتماكبية الضوئية نظراً لوجود ذرات كربون اللامتناظرة في جزيئات السكريدات الأحادية، ويحسب عدد المتماكبات الضوئية (x) للسكريدات الأحادية من معادلة فانت هوف (Van't Hoff)

$$x = 2^n$$

حيث إن: n : عدد ذرات الكربون اللامتناظرة ، (x): عدد المتماكبات الضوئية .

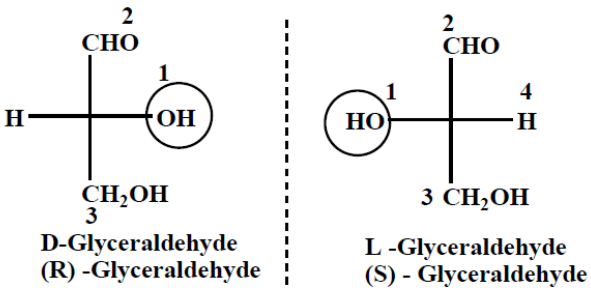
ويكون عدد ذرات الكربون غير المتناظرة في الكيتوزات أقل بذرة واحدة مما في الألدوزات المقابلة، فمثلاً يحوي جزيء الغلوكوز (سكر سداسي ألدهيدي) أربع ذرات كربون لا متناظرة وبالتالي عدد المتماكبات $16 = (2)^4$ متماكباً ضوئياً. بينما تحوي جزيئة الفركتوز (سكر سداسي كيتوني) ثلاث ذرات كربون لا متناظرة وبالتالي عدد المتماكبات $8 = (2)^3$ متماكباً ضوئياً. ويوضح الشكل (2) مساقط فيشر لصيغة كل من الغلوكوز والفركتوز وعدد ذرات الكربون اللامتناظرة التي تم الإشارة إليها بـ *C.

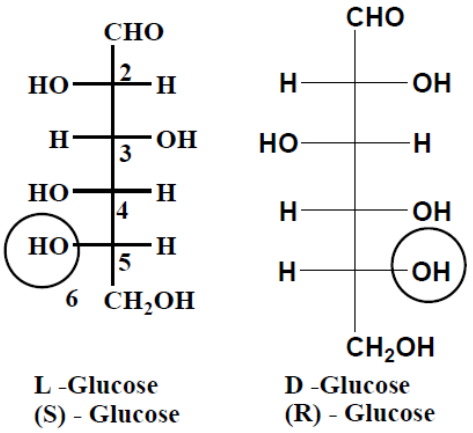


الشكل (2) صيغة الغلوكوز والفركتوز حسب مساقط فيشر

- **البنية الفراغية للسكريدات الأحادية:**

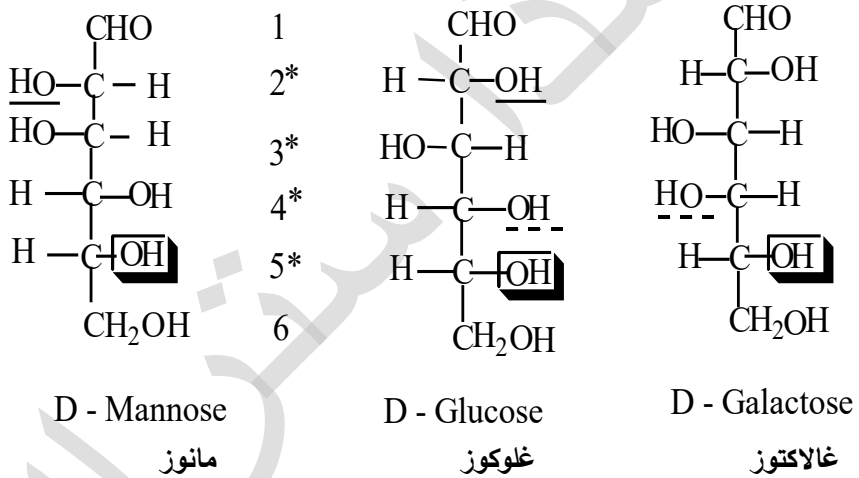
تنسب السكريدات البسيطة إلى المجموعة اليمينية (D) أو اليسارية (L) ليس تبعاً لتغير زاوية دوران الشعاع الضوئي المستطب(+) أو (-) بل تبعاً لبناء الطرف البعيد للجزيء عن مجموعة الكربونيل .وتتبع المجموعة اليمينية جميع المونوزات التي تكون فيها كل من ذرة الهيدروجين (H) وزمرة الهيدروكسيل (OH) وزمرة الهيدروكسي ميتيل (CH_2OH) مرتبطة بذرة الكربون قبل الأخيرة في الجزيء بحيث يتبع ترتيبها في الفراغ اتجاه حركة عقارب الساعة، والمونوزات التي تتبع المجموعة اليسارية تتوجه الزمر السابقة المذكورة فيها عكس حركة عقارب الساعة. يوضح الشكل (3) السكريدات الأحادية من النوع (D) و(L) .





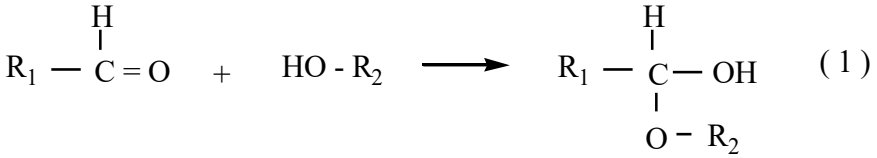
الشكل (3) السكريدات الأحادية من النوع D و L

ويطلق تسمية **الإبيميرات** (Epimers) على السكريدات الأحادية التي تختلف فيما بينها بالتوضع الفراغي لزمرة الهيدروكسيل عند ذرة كربون لا متناظرة واحدة. مثل: (D– غلوكوز وD– مانوز) ابيمران بالنسبة للكربون– 2 والسكريدان (D–غلوكوز و D – غالاكتوز) ابيمران بالنسبة للكربون – 4.



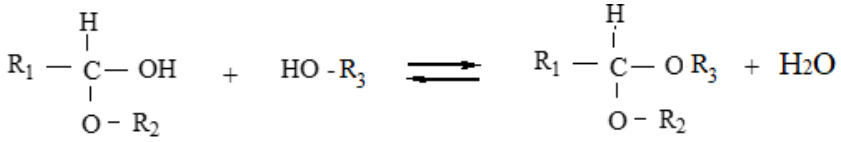
الشكل (4) إبيميرات الغلوكوز

تبين أن الصيغ المستقيمة للسكريدات لاتستطيع تعليل بعض الخواص، لا تعطي الألدوزات اللون الأحمر مع كاشف شيف والمميز للألدهيدات لهذا تم اقتراح الأشكال الحلقية للسكريدات . وتعتمد فكرة الأشكال الحلقية على التفاعل المشترك بين الزمرة CHO – في المركبات الألدهيدية والزمرة OH - في المركبات الغولية وتشكيل مركبات **الهيمي أسيتال** (Hemiacetal) ، أو بين الزمرة C = O في المركبات الكيتونية والزمرة OH - في المركبات الغولية، وتشكيل **مركبات الهيمي كيتال** (Hemiketal) كما يمكن أن يستمر التفاعل مع جزيء كحول آخر لتشكيل الأسيتال وجزيء الماء الشكل (5) .

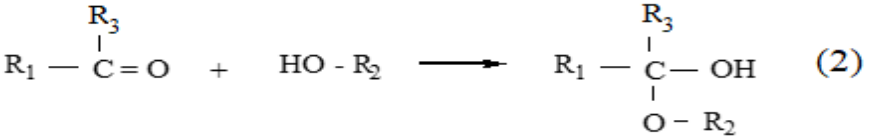


(1)

الهيمي اسيتال



أسيتال



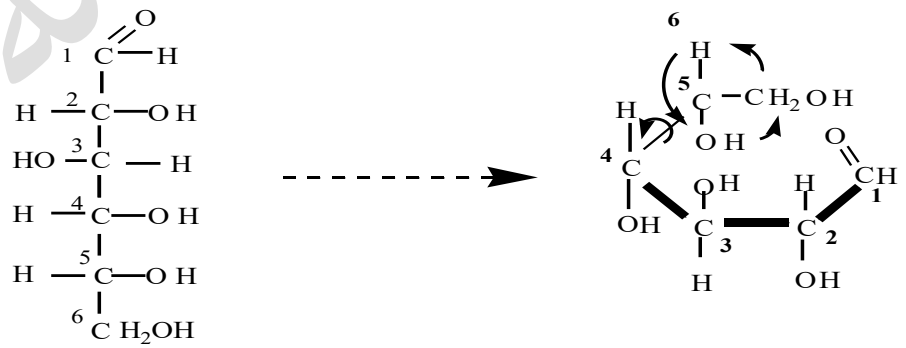
(2)

الهيمي كيتال

الشكل (5) تشكيل الهيمي أسيتال والهيمي كيتال

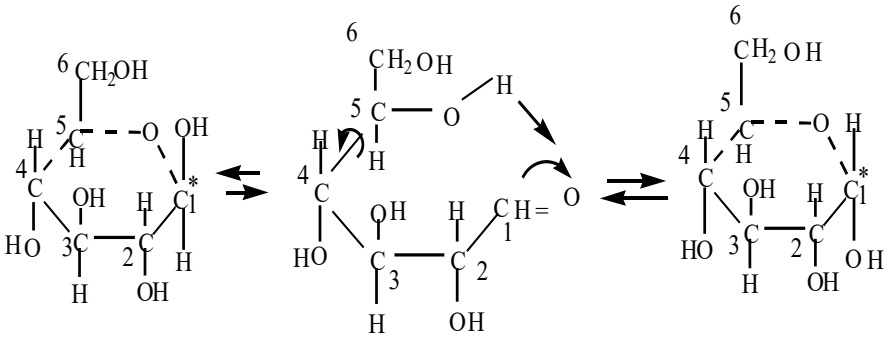
أما في السكريدات الأحادية فيتم إغلاق الشكل الخطي للسكر الأحادي وتشكيل حلقة باقتراب هيدروكسيل المرتبط مع الكربون– 4 أوالهيدروكسيل المرتبط مع الكربون – 5 في الألدوزات من الزمرة الألدهيدية CHO-، أو باقتراب هيدروكسيل المرتبط مع الكربون– 5 أوالهيدروكسيل المرتبط مع الكربون – 6 في الكيتوزات من الزمرة الكيتونية ، ينضم هيدروجين الهيدروكسيل إلى أوكسجين الزمرة الكربونيلية بعد تفكك الرابطة الثنائية C=O فيتشكل هيدروكسيل جديد هو الهيدروكسيل الغليكوزيدي. إن فعالية هذه الزمرة الغليكوزيدية في التفاعلات الكيميائية كبير جداً لارتباطها بذرة الكربون التي أصبحت غير متناظرة بعد أن كانت متناظرة. ويوضح الشكل (6) آلية إغلاق الشكل الخطي وتشكيل الحلقات **صيغة هاورث**.

ويتم في الوقت نفسه تكوين حلقات خماسية أو سداسية الأضلاع غير متجانسة من النوع فوران أو بيران، ولهذا السبب يطلق على الحلقات الخماسية بالصيغ الفورانوزية وعلى الحلقات السداسية بالصيغ البيرانوزية. ويوضح الشكل (7) صيغة كل من الفوران (Furan) والبيران (Pyran) .



البنية الخطية للغلوكوز

تدور الرابطة بين C_4 و C_5 وفق الأسهم أثناء اقتراب الهيدروكسيل C_5 من C_1



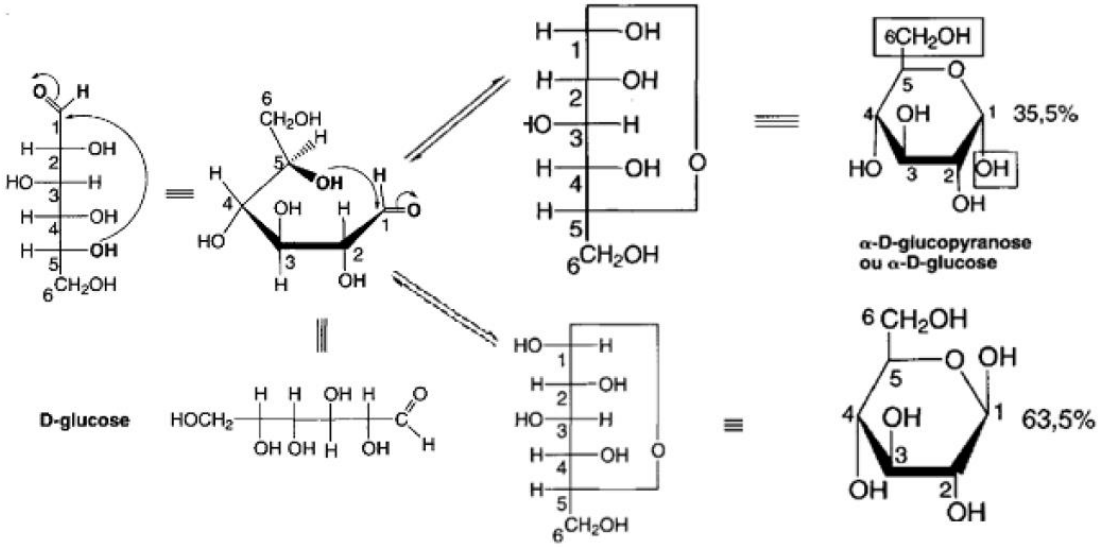
الشكل (6) آلية إغلاق الشكل الخطي للغلوكوز

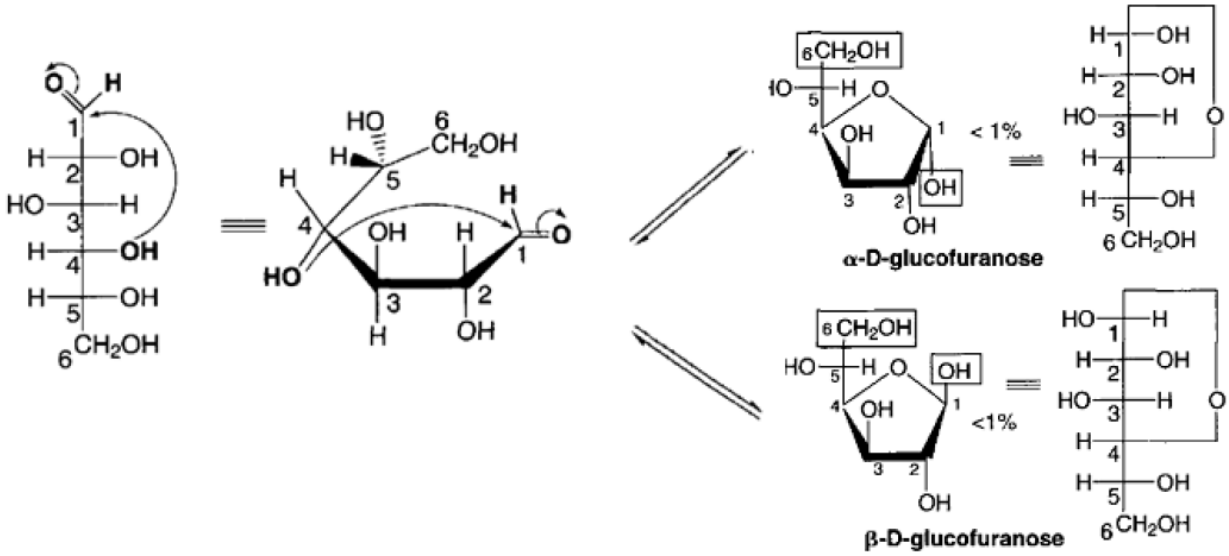
الشكل (7) صيغة الفوران والبيران

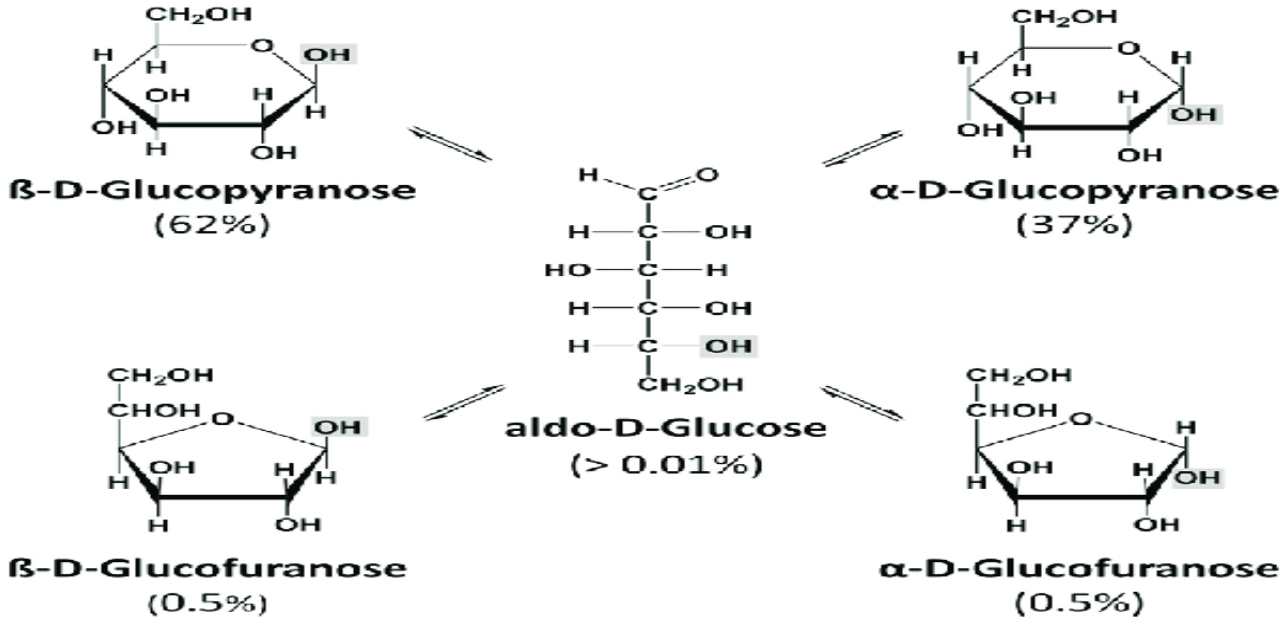
إن ظهور الشكل الحلقي للسكريدات الأحادية يكون مصحوباً بظهور متماكبين جديدين يطلق عليهما اسم إنوميرين (Anomers) وهما الشكل ألفا (α) والشكل بيتا (β) وهما ليسا كالشيء وخياله بالمرأة، وهكذا تحوي جزيئة السكر الأحادي الألدهيدية على خمس ذرات كربون غير متناظرة

(Asymmetric atoms) لذا يوجد للغلوكوز $2^5 = 32$ متماكباً ضوئياً.

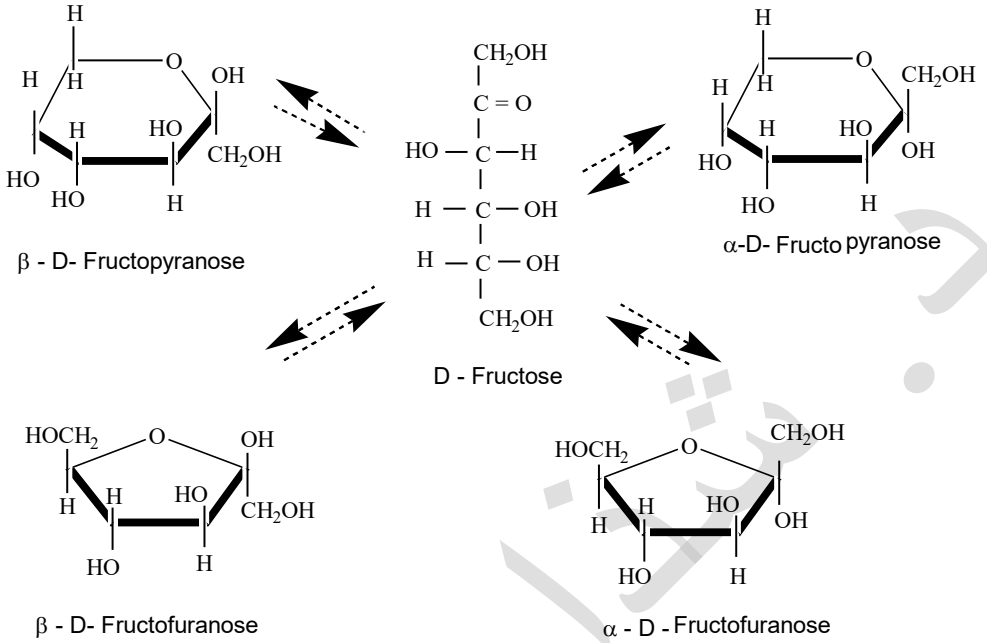
وهكذا **<u>يتم تكوين الهيدروكسيل الغليكوزيدي للغلوكوز (الالدوهيكسوزات) بطريقتين</u>**: بتفاعل زمرة ألدهيد الكربون الأول مع هيدروكسيل الكربون الخامس وتشكيل حلقة سداسية (بيرانوزية) غلوكوبيرانوز. أو أن يتم بتفاعل زمرة ألدهيد الكربون الأول مع هيدروكسيل الكربون الرابع وتشكيل حلقة خماسية (فورانوزية) غلوكوفورانوز.




α-D-glucofuranose
< 1%
β-D-glucofuranose
<1%


ß-D-Glucopyranose
(62%)
α-D-Glucopyranose
(37%)
aldo-D-Glucose
(> 0.01%)
ß-D-Glucofuranose
(0.5%)
α-D-Glucofuranose
(0.5%)

أما تكوين الهيدروكسيل الغليكوزيدي للفركتوز (الكيتوهيكسوزات) بطريقتين: بتفاعل زمرة الكيتون مع هيدروكسيل الكربون السادس وتشكيل حلقة سداسية (بيرانوزية) فركتوبيرانوز. أو أن يتم بتفاعل زمرة الكيتون مع هيدروكسيل الكربون الخامس وتشكيل حلقة خماسية (فورانوزية) فركتوفورانوز.

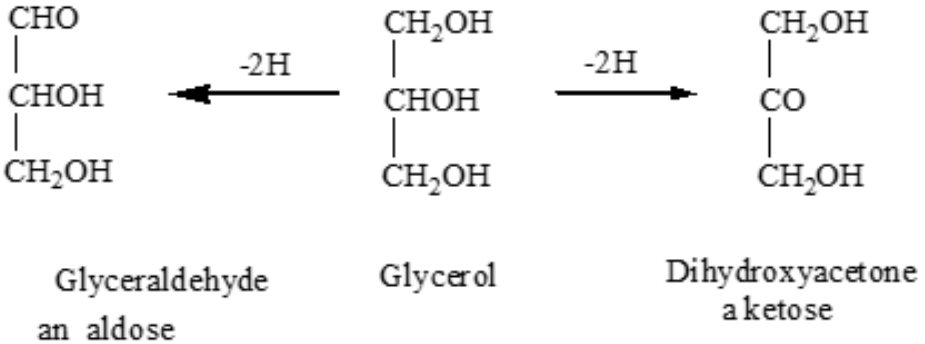


- **تعريف الهيدروكسيل الأنوميري (الغليكوزيدي):** يدعى الهيدروكسيل الذي نشأ عند ذرة كربون كربونيل نتيجة تشكل نصف اسيتال أونصف كيتال بالهيدروكسيل الأنوميري. ويكون السكاريد قادراً على إرجاع محلول فهلنغ إذا كان الهيدروكسيل الأنوميري حراً.

- **مشتقات السكريدات الأحادية الطبيعية:**

1) السكريدات الثلاثية (Trioses):

($C_3H_6O_3$) وتشمل غليسر ألدهيد (Glyceraldehyde) وثنائي هيدروكسي أستون (Dihydroxyacetone) وتشتق صيغاتهما من صيغة الغليسرين .

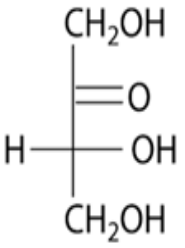


صيغة غليسر ألدهيد وثنائي هيدروكسي أستون

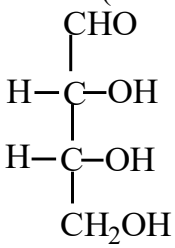
2) السكريدات الرباعية (Tetroses):

($C_4H_8O_4$) وأهمها D – الايرثروز (D- Erythrose) و-D الإيرثرولوز (كيتوني)

(D – Erythrolose)



D – Erythrolose



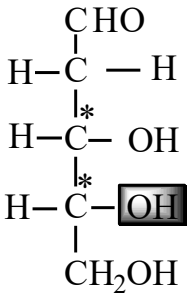
D - Erythrose

3) السكريدات الخماسية (Pentoses):

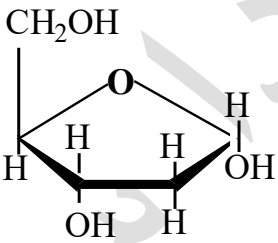
الصيغة العامة:($C_5H_{10}O_5$)

D – رايبوز(D-Ribose): يدخل في تركيب الحمض النووي RNA.

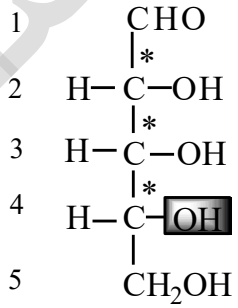
D- رايبوز منقوص الأوكسجين (D-Deoxyribose)($C_5H_{10}O_4$): الذي يدخل في تركيب الحمض النووي DNA



D - Deoxyribose



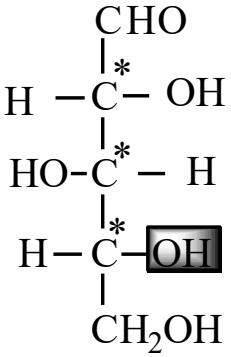
α- D - Deoxyribose



D - Ribose

صيغة الريبوز و الريبوز المنقوص الأوكسجين

D– كسيلوز(D – Xylose) : يسمى سكريد الخشب يتواجد بشكل حر في النباتات ويدخل في تركيب هيمي السليلوز (البنتوزان) والمواد المخاطية النباتية وبعض الغليكوزيدات. لايمتص الكسيلوز في جسم الانسان والحيوان.



D - Xylose

صيغة الكسيلوز

4) السكريدات السداسية (Hexoses):

الصيغة العامة: ($C_6H_{12}O_6$)

D - **غلوكوز:** أو سكريد العنب (D-Glucose) سكريد سداسي ألدهيدي يدخل الغلوكوز في تركيب بعض السكريدات الثنائية (المالتوز، السكروز، اللاكتوز) والسكريدات المتعددة (النشاء،السيللوز، الغليكوجين). يتبلور الغلوكوز في محاليله المائية مع جزيئة واحدة من الماء ($C_6H_{12}O_6 . H_2O$).

D - **مانوز:** (D-Mannose) سكريد سداسي ألدهيدي يتواجد في النباتات بشكل سكريدات متعددة يطلق عليها اسم المانانات (Mannanes) تدخل في تركيب بعض الجدر الخلوية، وفي تركيب البروتينات السكرية.

D -**غالاكتوز** (D-Galactose) سكريد سداسي ألدهيدي يتواجد في الحليب يتبلور في محاليله المائية بسهولة أكبر من بلورة الغلوكوز مع جزيئة واحدة من الماء ($C_6H_{12}O_6 . H_2O$).

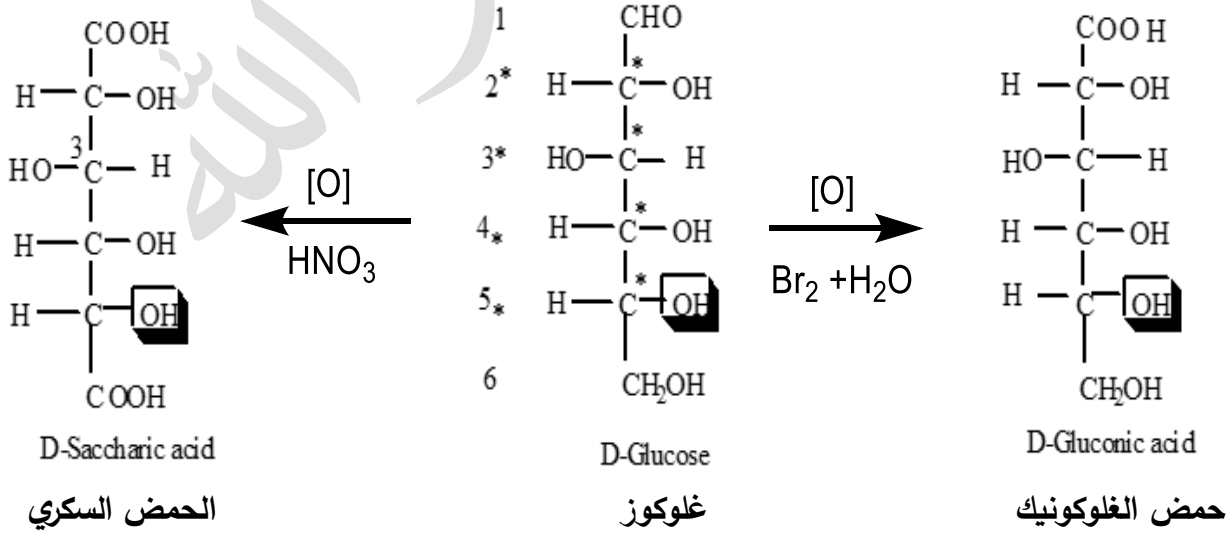
D - **فركتوز**(سكر الفواكه) (D-Fructose): سكريد سداسي كيتوني يتواجد في العسل في حالة حرة، يدخل في تركيب السكروز وهو أكثر حلاوة من الغلوكوز بمقدار 2.5 مرة ومن السكروز العادي بمقار 1.7 مرة. يتبلور في محاليله المائية على شكل بلورات أبرية.

- **الخواص الكيميائية (أكسدة السكريدات الأحادية):**

تتأكسد السكريدات الأحادية إلى حموض عضوية تختلف تبعاً لنوع المادة المؤكسدة.

تتأكسد المجموعة الألدهيدية بوجود ماء البروم الى الأحماض الألدونية أحادية الكربوكسيل (Aldonic acid)، وهكذا فناتج أكسدة الغلوكوز هو حمض الغلوكونيك (Gluconic acid).

يؤدي استخدام حمض الآزوت المركز إلى أكسدة مجموعة الألدهيد ومجموعة الغول الأولية ويدعى الناتج حمض ألداريك (Aldaric acid) أو الحمض السكري (Saccharic acid).



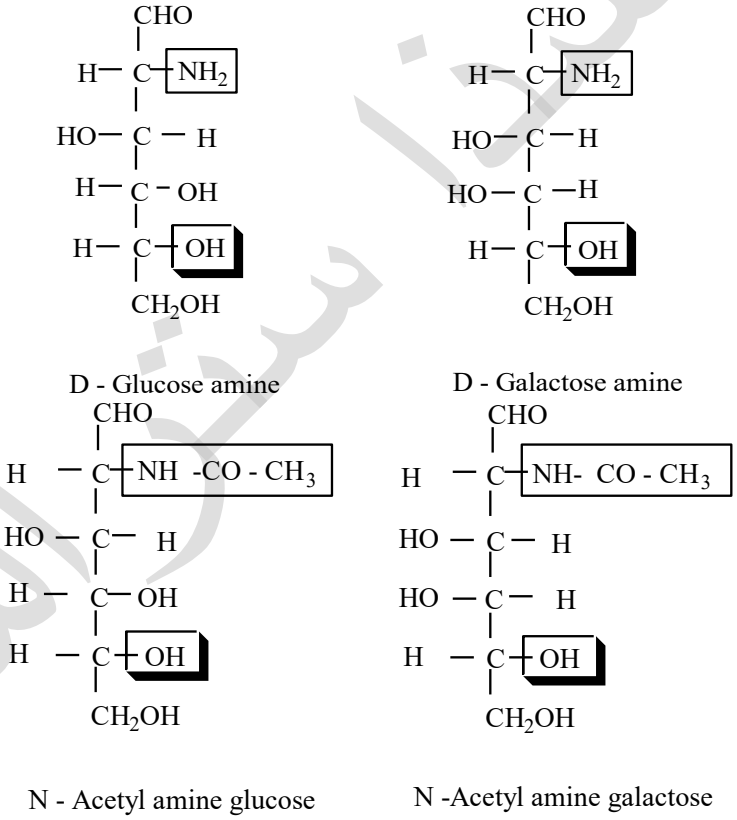
الحمض السكري **غلوكوز** **حمض الغلوكونيك**

- **مشتقات السكريدات الأحادية الفوسفورية:**

تتشكل المشتقات الفوسفورية نتيجة تفاعل السكريدات الأحادية مع الفوسفات اللاعضوية (حمض الفوسفور) الموجود في النسج أو نتيجة التفاعل مع مركبات تعطي حمض الفوسفور مثل ATP. تزيد جذور الفوسفات عند ارتباطها مع السكريدات فعاليتها وتحولها من مركبات معتدلة إلى مركبات مشحونة سلبياً، وتلعب دوراً اساسياً في استقلاب السكريدات أثناء اصطناعها وتفككها ضمن الخلايا، وكذلك في بناء الحموض النووية.

- **مشتقات السكريدات الأحادية الأمينية:**

يدخل في تركيب كثير من السكريدات المركبة كل من D- غلوكوز أمين وD – غالاكتوز أمين، ومشتقاتهما الأسيتيلية N – أسيتيل غلوكوز أمين وN – أسيتيل أمين غالاكتوز تستبدل زمرة الأمين بزمرة الهيدروكسيل في الموقع – 2 وعند تعرضها للأسئلة تتحول إلى مشتق N – أسيتيلي .



المشتقات الأمينية للسكريدات الأحادية

الكربوهيدرات (السكريدات)
Carbohydrates

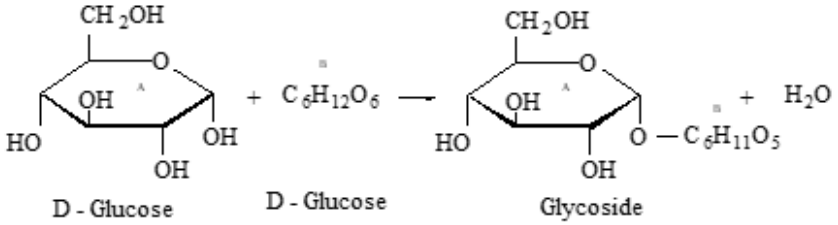
ثانياً: السكريدات قليلة التعدد (أوليغو سكاريد) (Oligosaccharides) :

تشمل السكريدات التي تتكون من 2 إلى 10 وحدات من السكر الأحادي، وهي قابلة للتحلل المائي (كيميائياً أو إنزيمياً) لتنتج سكريدات بسيطة.

وكأمثلة عن السكريدات قليلة التعدد: السكريدات الثنائية والثلاثية .

1-السكريدات الثنائية: (Disaccharides $C_{12}H_{22}O_{11}$) :

تتالف السكريدات الثنائية من اتحاد جزيئتي سكريد أحادي ترتبطان عبر جسر أوكسجيني مع خروج جزيئة ماء، والسكريدات الثنائية عبارة عن مركبات غليكوزيدية، أي إن إحدى جزيئتي السكريد الأحادي على الأقل يجب أن تساهم بهيدروكسيلها الغليكوزيدي، ويمثل دور الأغليكون الجزيء الثاني للسكريد .



تشكل السكريدات الثنائية

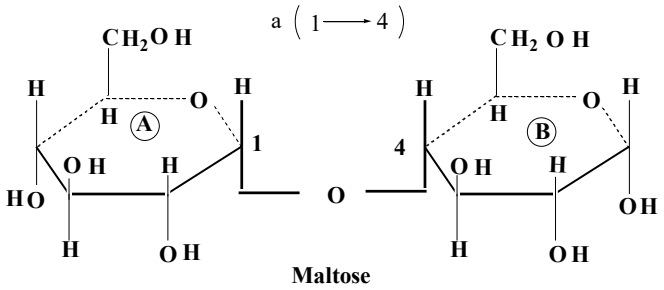
ويمكن أن تكون من نوع: **غليكوزيد -غليكوزيد**، وتتشكل عندما يرتبط الهيدروكسيل الغليكوزيدي من الحلقة (A) مع الهيدروكسيل الغليكوزيدي من الحلقة (B) وتكون غير مرجعة، أومن النوع **غليكوزيد -غليكوز**، وهذا يتم عندما يرتبط الهيدروكسيل الغليكوزيدي من الحلقة (A) مع الهيدروكسيل الغولي من الحلقة (B) وهي مرجعة. وتتحلمه السكاريدات الثنائية **بالتسخين** أو **تحت تأثير الإنزيمات المناسبة**، وتعطي جزيئتي سكر أحادي.

- **المالتوز** (Maltose) **سكر الشعير:**

والمالتوز جيد الذوبان في الماء، يتبلور في محاليله المائية مع جزيئة واحدة من الماء.

تتالف جزيئة هذا السكريد الثنائي من جذري α - D- غلوكوبيرانوز نتيجة تكاثف الهيدروكسيل الغلوكوزيدي للجذر الأول (A) مع الهيدروكسيل الغولي للكربون الرابع في الجذر الثاني (B)، الرابطة الغليكوزيدية من النوع α (1 ⟵ 4) ولهذا السبب يتمتع المالتوز بخواص إرجاعية نظراً لوجود هيدروكسيل غلوكوزيدي حر في جزيئته.

يتحلل المالتوز إنزيمياً بواسطة إنزيم المالتيز المتخصص على الرابطة α (1 ⟵ 4) بين وحدتي الغلوكوز.

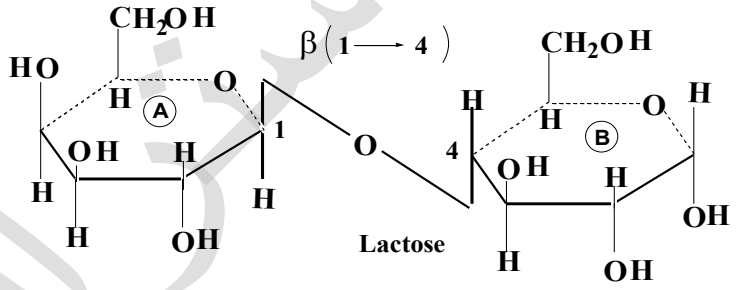


صيغة المالتوز

- **اللاكتوز** (Lactose) **سكر الحليب:**

تصل نسبته في الحليب 4 – 5 % يوجد بشكلين أنوميرين ألفا وبيتا، والشكل بيتا هو السائد في الحليب وهو السكر الوحيد ذو الأصل الحيواني ولا يوجد في النباتات. تتألف جزيئة اللاكتوز من الحلقة **(A)** (β – D – غالاكتوبيرانوز) والحلقة (B) (α - D - غلوكوبيرانوز) وتتشكل الرابطة الغليكوزيدية (4 ⟵ 1) β بنتيجة تكاثف الهيدروكسيل الغالاكتوزيدي لـ β – D – غالاكتوز مع الهيدروكسيل الغولي المرتبط بالكربون الرابع لـ α - D –غلوكوز أي من النوع **β– غالاكتوزيد –غليكوز**، ولهذا فإن اللاكتوز يتمتع **بخواص إرجاعية** نظراً لوجود هيدروكسيل غلوكوزيدي حر فيه تابعاً لجذر الغلوكوز، وتتميز بلورات اللاكتوز على عكس السكريدات الثنائية الأخرى بكونها غير ماصة لرطوبة الهواء. واللاكتوز رديء الذوبان في الماء، وهو أقل حلاوة من السكروز بمقدار 4– 5 مرات . يتبلور في محاليله المائية مع جزيئة واحدة من الماء.

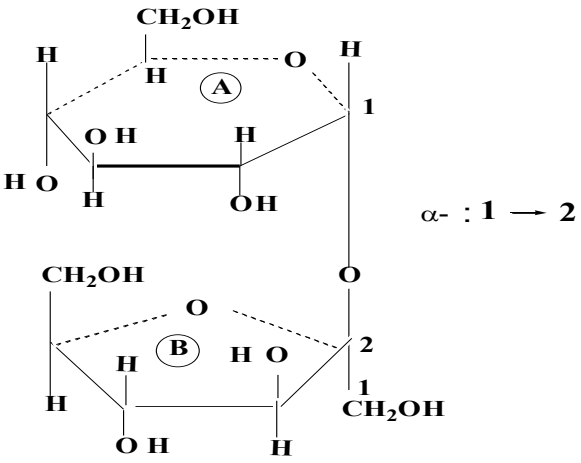
يتحلل بواسطة إنزيم اللاكتيز ليعطي سكر الغالاكتوز و الغلوكوز.



اللاكتوز

- **السكروز (سكر الطعام Sucrose):**

نحصل عليه من الشمندر أو قصب السكر، ويذوب السكروز بسهولة في الماء وبصعوبة في الغول. يتكون نتيجة الحلمهة المائية للسكروز سكريدات أحادية للغلوكوز وللفركتوز. يطلق على السكروز المتحلل مائياً اسم السكر المحول. تتألف جزيئة هذا السكر من الحلقة **(A)** (**α** - D –غلوكوبيرانوز) والحلقة (B) التي هي عبارة عن (**β** – D – فركتوفورانوز) أما الرابطة الغليكوزيدية فتتشكل بنتيجة تكاثف الهيدروكسيل الغلوكوزيدي للكربون الأول في جذر الغلوكوز والهيدروكسيل الفركتوزيدي للكربون الثاني في الفركتوز، الرابطة من النوع (2 ⟵ 1) α ، ولهذا فإن جزيئة السكروز **لا تتمتع بالخواص الإرجاعية** نظراً لعدم احتوائها على هيدروكسيل غليكوزيدي حر. يتحلل السكروز بواسطة إنزيم السكريز (انفرتيز).



Sucrose

2-السكريدات الثلاثية (Trisaccharides):

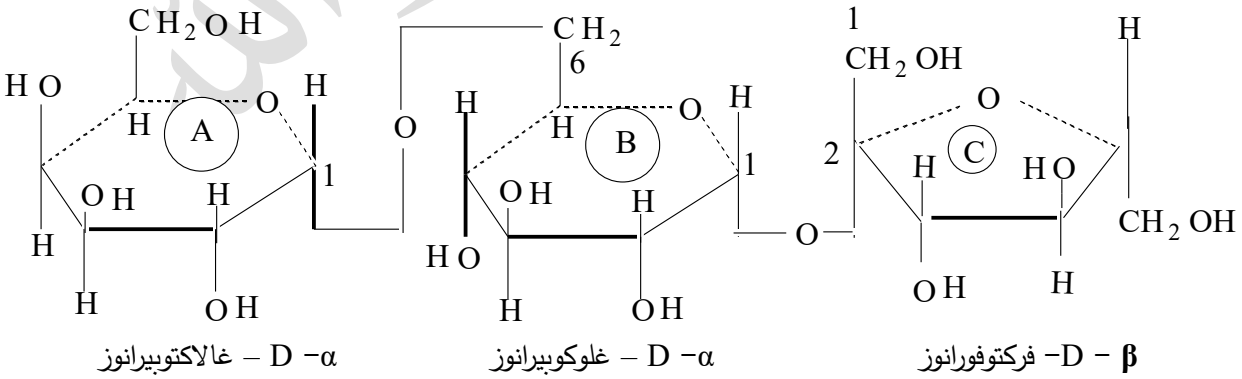
تتألف جزيئات السكريدات الثلاثية من ارتباط ثلاثة جذور سكريدية أحادية بواسطة رابطتين غليكوزيدتين متشكلتين مابين الجذر الأول والثاني وما بين الثاني والثالث وأهم السكريدات الثلاثية الطبيعية الرافينوز .

- **الرافينوز** (Raffinose) ($C_{18}H_{32}O_{16}$):

الرافينوز منتشر في النباتات ويوجد في عصير الشمندر السكري و بذور القرنيات (فول، بازلاء، فاصولياء)، وتتألف جزيئة هذا السكريد من الحلقة (A) (α - D – غالاكتوبيرانوز)

والحلقة (B) (α– D – غلوكوبيرانوز) والحلقة (C) (**β** – D– فركتوفورانوز)

وبما أن بنية هذا السكريد لا تحوي على زمر هيدروكسيلية غليكوزيدية حرة لذلك لا يتمتع بخواص إرجاعية. لاتستطيع إنزيمات حلمهة السكريدات في الأمعاء حلمهة الرافينوز لذلك يسبب هضم الفول والبازلاء والفاصولياء بعض الاضطرابات الهضمية.



α– D – غالاكتوبيرانوز α– D – غلوكوبيرانوز **β** – D– فركتوفورانوز

صيغة الرافينوز

ثالثاً: السكريدات المتعددة (بولي سكاريد): (Polysaccharides)

تقسم السكريدات المتعددة (المركبة) حسب بنية السكريدات الأحادية الداخلة في تركيبها إلى:

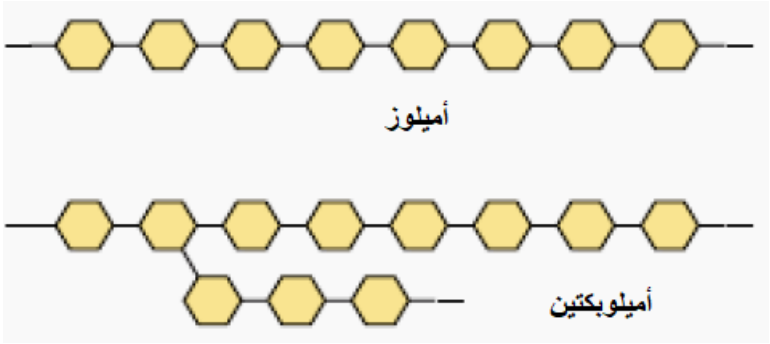
1- السكريدات المتعددة المتجانسة: (Homopolysaccharides)

وتتألف من اتحاد نوع واحد من السكريدات الأحادية، وهي تعطي بالحلمهة السكريد الأحادي نفسه وأهمها:

❖ **النشاء :** (Starch) $(C_6H_{10}O_5)_n$

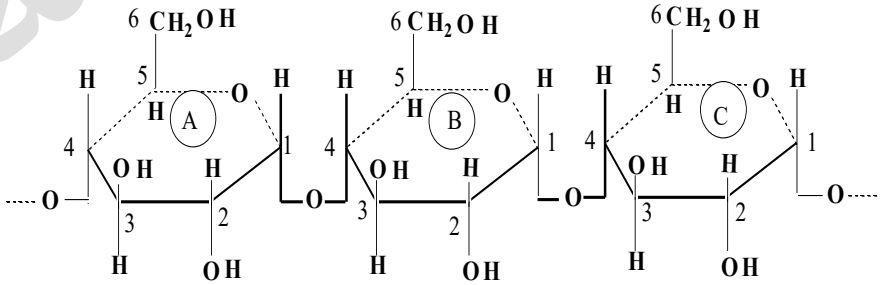
النشـــاء من الســـكريدات العديدة الادخارية التي توجد في النباتات، ويعد الناتج الأخير للتركيب الضـــوئي عند النباتات ويتراكم في الثمار والحبوب والدرنات والأوراق. يتركب النشاء من α . D . غلوكوبيرانوز.

يتكون النشـــاء الطبيعي من مكونين مختلفين من حيث البناء والخواص يمكن فصـــلهما وبالتالي تمييزهما، المكون الأول هو الأميلوز، والمكون الثاني هو الأميلوبكتين.



ا-**الأميلوز:** (Amylose) $(C_6H_{10}O_5)_n$

يشكل حوالي (20 %) من النشاء، ويذوب جيداً في الماء، وللأميلوز وزن جزيئي أصغر من الأميلوبكتين، ويعطي مع محلول اليود في يوديد البوتاسيوم لوناً أزرقاً صافياً والسبب تكون معقد من النوع الأمتزازي، وللأميلوز بنية خطية، حيث يتألف من سلاسل طويلة مستقيمة مؤلفة من وحدات من α . D . غلوكوبيرانوز مرتبطة بعضها مع بعضها الآخر بروابط غلوكوزيدية (4 ⟵ 1) α، وتتخذ السلاسل شكلاً حلزونياً، ولسلسلة الأميلوز نهايتان إحداهما من النمط المرجع والأخرى من نمط غير المرجع . ويتراوح الوزن الجزيئي للأميلوز حســـب التقديرات الحديثة بين 100 ألف وحتى المليون.

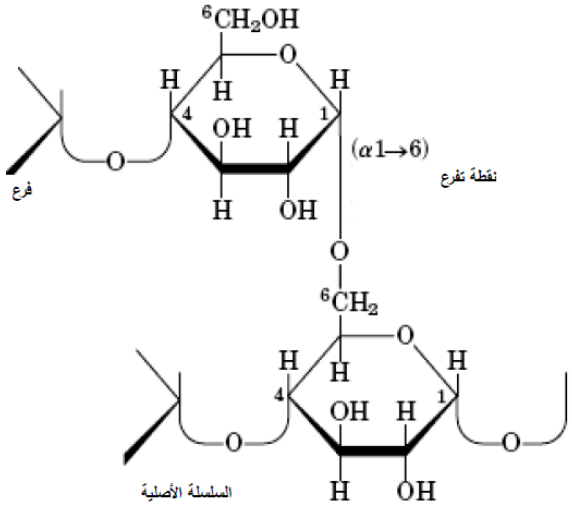


Amylose

البنية الخطية للسكريد المتعدد المتجانس الأميلوز

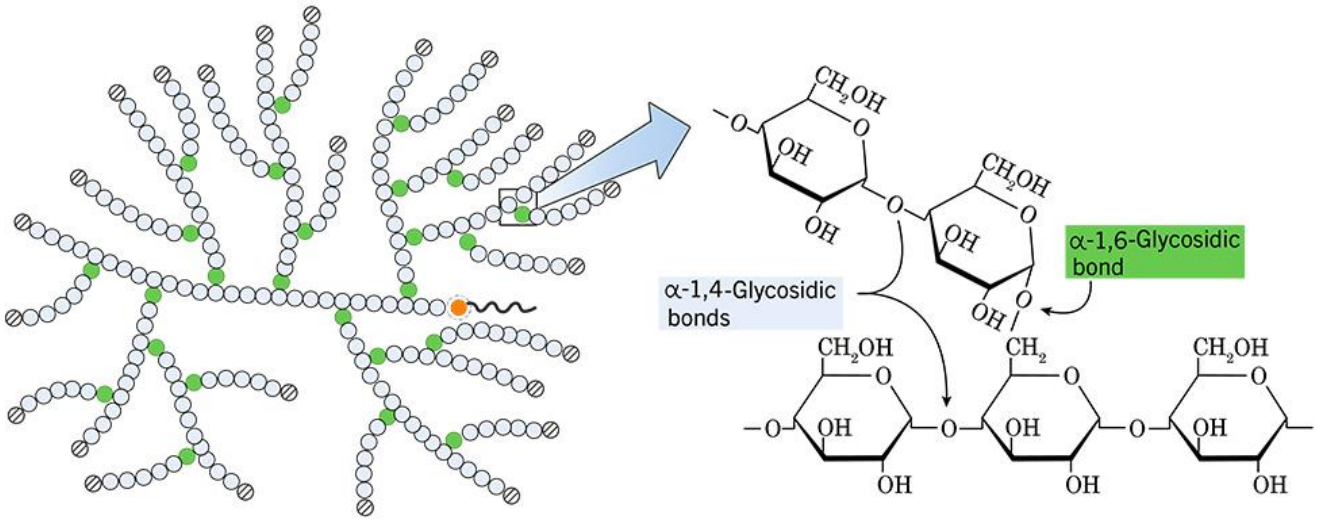
2-الأميلوبكتين: (Amylopectine)

يشكل حوالي (80 %) من النشاء، ويذوب بصعوبة في الماء الساخن، ويعطي مع محلول اليود في يوديد البوتاسيوم لوناً بنفسجياً، وللأميلوبكتين بناء متفرع، وحداته الأولية من الغلوكوز، ويكون التفرع بعد كل 20 – 30 وحدة غلوكوز.



❖ **الغليكوجين:** (Glycogen) $(C_6H_{10}O_5)_n$

الغليكوجين هو النشا الحيواني، يستخدم كمادة غذائية احتياطية في عضوية الإنسان والحيوانات، ويتركز وجوده في الكبد والعضلات تصل نسبته في كبد الإنسان إلى(5– 10 %)، وفي عضلات الإنسان إلى (1– 3 %)، ويشبه الغليكوجين الأميلوبكتين في بنيته. يمد الغليكوجين في أثناء تفككه إلى نواتج أبسط الجسم بالطاقة الضرورية للمحافظة على درجة حرارته ولحدوث التقلصات العضلية ولسير العمليات البيوكيميائية.

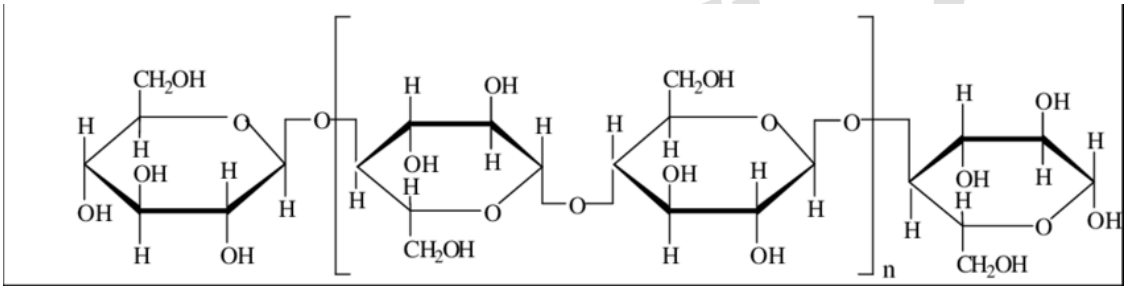


صيغة الغليكوجين

❖ **السيللوز:** (Cellulose) $(C_6H_{10}O_5)_n$

السيللوز سكريد متعدد، يشكل الجزء الرئيس في تركيب الجدر الخلوية للنباتات كالجذع والساق وتصل نسبته في القطن حتى (90–95%)، والسيللوز لا ينحل في الماء ولا يتأثر بالخمائر الموجودة في جهاز هضم الإنسان وذلك لأن الانزيم لا يستطيع التأثير على الارتباط β (1 ⟵ 4) وبالتالي لا يستفاد منه في تغذية معظم الحيوانات الراقية، لكن هناك أنواع من البكتريا والحيوانات المجهرية لها القدرة على هضم السيللوز كونها تحتوي في قناتها الهضمية على إنزيم السليولاز مثل النمل الأبيض لذلك يتمكن من هضم الخشب، أيضاً البكتريا والفطريات التي تقوم بتعفن الخشب تنتج إنزيم السليولاز.

الأبقار والحيوانات المجترة الأخرى هي الفقاريات الوحيدة التي تستطيع استخدام السليلوز كمادة غذائية بطريقة غير مباشرة، فمعدة هذه الحيوانات تكون بيئة مناسبة لنمو أنواع من الكائنات الدقيقة التي تفرز أنزيم السليولاز الذي يفكك السيللوز.



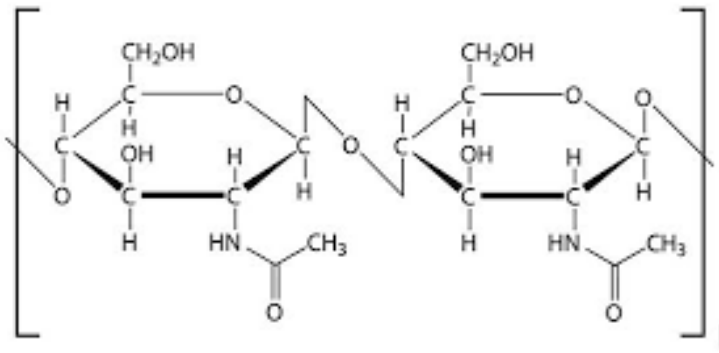
صيغة السيللوز

2–السكريدات المتعددة غير المتجانسة: (Hetero Polysaccharides):

تتألف من اتحاد جزيئات أكثر من نوع واحد من السكريدات الأحادية وتضم كلاً من السكريدات الآتية:

❖ **الكيتين** (Chitin):

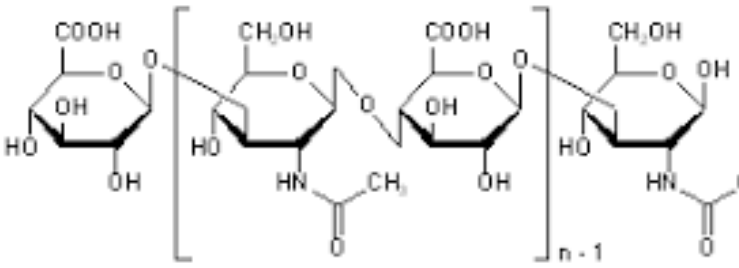
سكريد متعدد غير متجانس خطي البنية وتشبه بنيته إلى حد كبير بنية السليلوز. يعدَ الكيتين من أهم مكونات الأنسجة الغطائية للحشرات والحيوانات القشرية، ويحقق وظيفة وقائية.



الكيتين

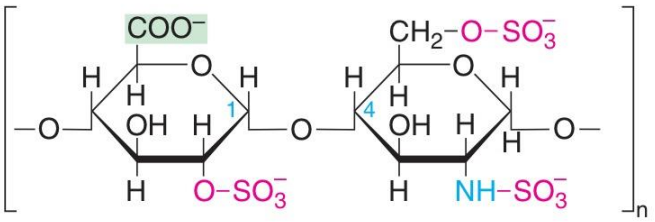
❖ **حمض الهيالورونيك** (Hyaluronic acid):

يعدَ هذا المركب من السكريدات المتعددة المخاطية، وهو أحد أهم مكونات المواد مابين الخلوية في الأنسجة الحيوانية، ويتواجد بكمية كبيرة في السوائل المفصلية، إما بشكله الحر أو المرتبط مع البروتينات مشكلاً مادة شديدة اللزوجة حيث يزيد حمض الهيالورونيك من مقاومة النسيج للانضغاط بسبب تميهه الشديد مما يجعله قادراً على الاحتفاظ بالماء في الفراغات مابين الخلوية، كما يقوم بدور المادة الشحمية في المفاصل مسهلاً انزلاقها. يتفكك حمض الهيالورونيك الذي يدخل في بنية غشاء البيضة، تحت تأثير إنزيم الهيالورونيداز الخصوي، وهذه العملية ضرورية جداً لنفوذ النطاف وحصول الإلقاح.



❖ **الهيبارين:** (Heparin)

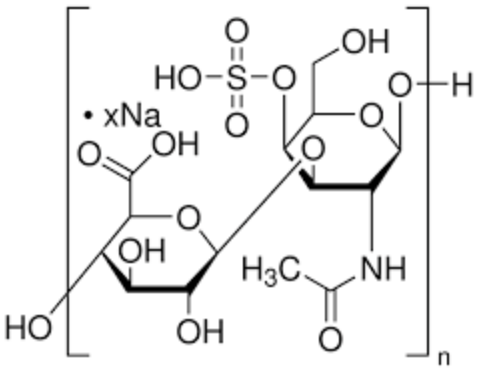
من السكريدات المتعددة المخاطية غير المتجانسة، متخصص في منع تجلط (تخثر) الدم عند الإنسان والحيوانات ويوجد الهيبارين في الكبد، والرئتين، والطحال والغدة الدرقية، والدم.



Heparin

❖ **كبريتات الكوندرويتين:** (Chondroitin)

تشكل كبريتات الكوندرويتين مجموعة مركبات من السكريدات المتعددة المخاطية وتعد إحدى المكونات الرئيسة للغضاريف، وتشكل (40 %) من الوزن الجاف لغضروف الحاجز الأنفي .



الليبيدات (الشحوم) Lipids

الليبيدات: مركبات تشـــكل إحدى مكونات الخلية الحية (حيوانية أو نباتية) وهي زيتية أو دهنية لا تنحل في الماء، ولكنها تنحل في المحلات العضوية بنسب متفاوتة.

- **القيمة البيولوجية لليبيدات:**

1-تعد الشحوم مصدراً مهماً من المصادر الغذائية فهي تزود الجسم بالطاقة.

2- تحتوي على حموض دسمة أساسية غير مشبعة التي لا يستطيع الجسم اصطناعها أو الاستغناء عنها.

3-تستخدم الشحوم كمصدر فعال للطاقة سواء أكان مباشراً أو كامناً في النسج الشحمية، وتوجد بكثرة في الأنسجة تحت الجلد وحول بعض الأعضاء، وتعطي عند احتراقها كمية من الطاقة أكبر مما تعطيه السكريات والأحماض الأمينية.

4-تخدم الجسم كغطاء واقي لبعض الطيور، وكمواد عازلة تقيه من الصدمات والبرودة كالحيتان والدببة القطبية التي تستخدم النسيج الشحمي الموجود تحت الجلد لمقاومة البرد.

5-تشكل بعض الشحوم في عضوية الإنسان معقدات ذات وزن جزيئي مرتفع وذلك باتحادها مع البروتينات.

6-تعد من المكونات البنيوية للغلف الخلوية وللميتوكوندريا وبها يتم نقل الشحوم إلى الدم.

7- للكثير من المواد الدهنية أدوار هرمونية وخاصة الهرمونات الجنسية.

8- بعض المواد الدهنية عبارة عن فيتامينات ومساعدات إنزيمات، مثل الفيتامينات A و D و E و... K إلخ.

- **الحموض الدسمة أو الدهنية (Fatty acids):**

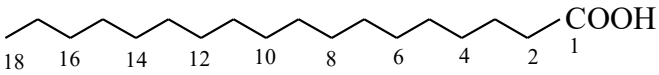
هي عبارة عن حموض عضوية أحادية الزمرة الكربوكسيلية (رأس قطبي) وذات سلاسل كربونية طويلة تحوي من 14 حتى 24 ذرة كربون (ذيل غير قطبي) ولهذا السبب فإن الشحوم لا تنحل في الماء. وهي أحماض زوجية ذرات الكربون تكون مرتبطة في خلايا الجسم أما في الدم فتكون بشكلها الحر، وتسمى هذه الحموض بالدسمة لأنه أول ما تم الحصول عليها من المواد الدسمة بالحلمهة.

تقسم الحموض الدسمة إلى:

1- حموض دسمة مشبعة: وهي تحوي فقط على روابط أحادية وتشتق من حمض الخل وللسلسلة الكربونية في الحموض الدسمة المشبعة ترتيب فراغي على شكل خط متعرج. وتذوب الحموض الدهنية ذات الكتلة الجزيئية الصغيرة في الماء وتقل هذه الخاصية بزيادة طول السلسلة. يرمز للحموض الدسمة المشبعة كمايلي:

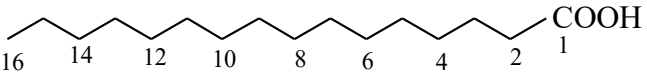
يرمز الرقم الأول إلى عدد ذرات الكربون في السلسلة الكربونية والرقم الثاني يكون عادة صفراً (لأنه لا يوجد روابط غير مشبعة)

مثل: حمض الشمع (الستياريك) يرمز له (C18:0) يوجد في دهون الحيوانات، وحمض النخيل (البالميتيك) يرمز له (C16:0) الذي يوجد في بعض الخضراوات ودهون الحيوانات.



Stearic acid $(C_{18}H_{36}O_2)$

حمض الشمع (الستياريك)



Palmiic acid $(C_{16}H_{32}O_2)$

حمض النخيل (البالميتيك)

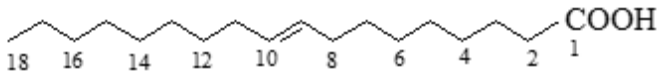
2 ـ حموض دسمة غير مشبعة: تحوي على رابطة ثنائية واحدة أو أكثر. ويرمز للحموض الدسمة غير المشبعة كمايلي: يرمز الرقم الأول إلى عدد ذرات الكربون في السلسلة الكربونية والرقم الثاني يعبر عن عدد الروابط المضاعفة التي يمكن أن تتواجد على طول السلسلة يليه رمز الرابطة المضاعفة Δ ثم رقم ذرة الكربون التي تظهر عندها الرابطة المضاعفة.

وتقسم هذه الحموض تبعاً لدرجة عدم الاشباع الى: **1- حموض دسمة أحادية الرابطة اللامشبعة** مثل: **حمض الأوليك** (حمض الزيت) يحوي رابطة غير مشبعة واحدة ($C18: 1, \Delta^9$) الذي يوجد تقريباً في جميع المواد الدسمة وخاصة في زيت الزيتون والمكسرات. **2- حموض دسمة ثنائية الرابطة اللامشبعة** مثل: **حمض اللينوليك** (حمض زيت الكتان) من الحموض الدسمة ثنائية الرابطة اللامشبعة ($C18: 2, \Delta^{9,12}$) الذي يوجد في الذرة، الفول السوداني، بذرة القطن، زيت الصويا.

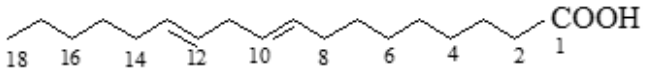
3-حموض دسمة ثلاثية الرابطة اللامشبعة ومثالها **حمض اللينولينيك** (حمض بذر الكتان)

($C18: 3, \Delta^{9,12,15}$) والذي يوجد مترافقاً مع حمض لينولييك وخاصة في زيت بذرة الكتان.

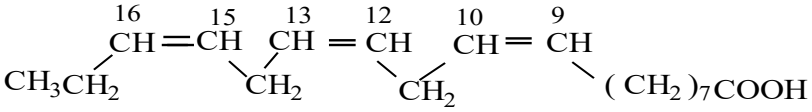
كما يتواجد حمض اللينوليك وحمض اللينولينيك عند الأسماك وفي الطيور والأجنة.



حمض الزيت (الأوليك)



حمض زيت الكتان (اللينوليك)



Lenolenic acid $(C_{18}H_{32}O_2)$ C18:3, $\Delta^{9,12,15}$

حمض زيت بذرة الكتان (اللينولينيك)

تقسم الليبيدات على أساس الخواص الفيزيائية والكيميائية الى ثلاثة أقسام رئيسية:

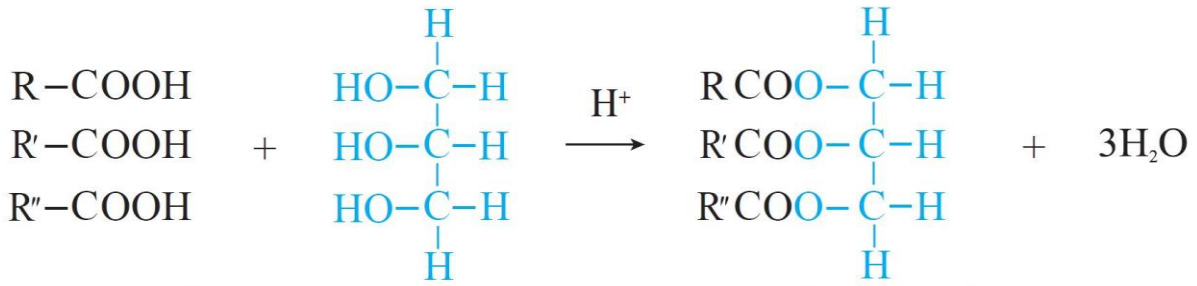
أولاً: الليبيدات البسيطة (الغليسيريدات الثلاثية): وتضم الزيوت والدهون والشموع.

ثانياً: الليبيدات المركبة (المعقدة): وتضم الليبيدات الفوسفورية والليبيدات السكرية.

ثالثاً: الليبيدات المشتقة: وتضم الستروئيدات والكاروتينات.

1- الليبيدات البسيطة(الغليسيريدات الثلاثية):

❖ تتكون من إسترات الحموض الدهنية (مشبعة أو غير مشبعة) مع الأغوال. إذا كان الغول غليسرولاً فالنواتج تدعى ثلاثي أسيل الغليسرول (غليسيريدات ثلاثية) (TAG)، وهي المكون الرئيسي **للزيوت والدهون** الغذائية، أما إذا الغول أحادي الهيدروكسيل ذو سلسة هيدروكربونية طويلة فإن النواتج هي **الشموع**.

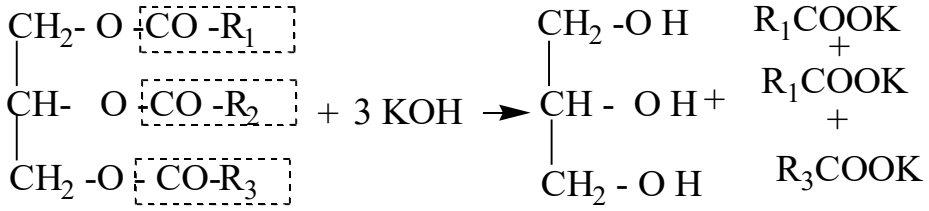


❖ تختلف الدهون الغذائية الطبيعية الزبدة ودهن البقر وزيت الزيتون عن بعضها بمحتواها من الحموض الدسمة وبالتالي تختلف في درجات انصهارها. حيث تعد **الزبدة** مزيجاً من الغليسيريدات الثلاثية يحوي بعضها على حموض دسمة ذات سلاسل قصيرة، وبما أن الحموض الدسمة ذات السلاسل القصيرة تتمتع بدرجات انصهار منخفضة، لهذا السبب تكون الزبدة لينة في درجة حرارة الغرفة. **ودهن البقر** غني بالحموض الدسمة المشبعة لذلك يكون دهن البقر صلب، بينما يحتوي **زيت الزيتون** على حموض دسمة غير مشبعة، لذلك يكون زيت الزيتون سائل.

❖ تخزن الغليسيريدات الثلاثية بكميات كبيرة جداً وبشكل نقي وغير مميه في الخلايا الدهنية الموجودة تحت الجلد والغدد الثديية وفي التجويف البطني ويعطي احتراق غرام واحد منها أكثر من ضعف الطاقة التي يعطيها غرام واحد من السكريات. تخزن بعض الحيوانات مثل الفقمة والبطريق الغليسيريدات الثلاثية تحت الجلد كمستودع ادخاري للطاقة وكعازل ضد درجات الحرارة المنخفضة.

❖ وتؤمن الغليسريدات الثلاثية للحيوان ما يحتاجه من حموض دهنية مختلفة عن طريق تفاعلات الحلمهة (Hydrolysis)، حيث تتحلمه في الوسط الحمضي أو بوجود الإنزيمات مثل أنزيم الليباز وتعطي الحموض الدسمة مما يؤدي الى زيادة الحموضة، فإذا زادت الحموضة الى أكثر من (1) درجة فإنها تسبب عسراً في الهضم، وإذا زادت الى أكثر من (3) درجات فتصبح المادة سامة.

❖ تدعى حلمهة الغليسيريدات الثلاثية مع القلويات القوية (KOH، NaOH) **بعملية التصبن** (وتعني تشكل الصابون) وتعطي الغليسرين وصابون البوتاسيوم أو الصوديوم (أملاح الحموض الدهنية)، يعد تفاعل التصبن من التفاعلات المعقدة ويتم بشكل تدريجي وعلى عدة مراحل.

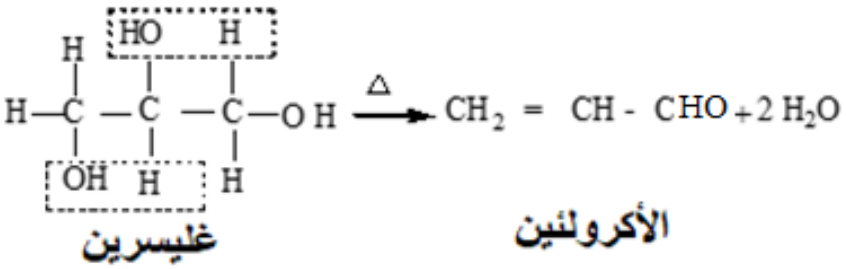


الغليسيريدات الثلاثية غليسرين أملاح قلوية للحموض الدسمة

تفاعل تصبن الغليسيريدات الثلاثية

❖ عندما تتعرض الغليسيريدات الثلاثية الحاوية على نسبة مرتفعة من الحموض الدسمة غير المشبعة للهواء الرطب أو للحرارة فترة من الزمن، فإنها تخضع لعملية أكسدة ذاتية وتظهر رائحة غير مقبولة وطعماً غير مستساغ. فعند اتحاد أوكسجين الهواء مع الرابطة الثنائية للحموض الدهنية الداخلة في تركيب ثلاثي أسيل الغليسرول، يتم قطع الرابطة الثنائية للحمض الدسم ويتشكل نواتج أكسدة ألدهيدية، وحموض كربونيلية ذات سلاسل أقصر من السلاسل الأصلية للحمض الدهني. والمركبات الألدهيدية والحموض الكربونيلية هي التي تعطي الزيوت طعمها غير المستساغ (الزنخ) ويؤثر في **تسرع عملية التزنخ** كل من: (أوكسجين الهواء، والرطوبة والضوء، والحرارة المرتفعة). لذلك تحفظ الدهون والزيوت بمعزل عن الهواء وبعيدة عن الضوء يضاف إليها موانع أكسدة مثل الفيتامين C وE، والفينولات.

❖ وعند تسخين الغليسيريدات الثلاثية مع مركبات ساحبة للماء مثل كبريتات البوتاسيوم الحامضية $KHSO_4$ أومع كبريتات المغنيزيوم اللامائية $MgSO_4$ يتشكل مركب ألدهيدي ذو رائحة واخزة يعرف باسم الأكرولئين وذلك نتيجة لبلمهة الغليسرين(بنتيجة تحرر جزيئتين من الماء من الغليسرين) الناتج عن تفكك ثلاثي أسيل الغليسرول ، ويمكن عن طريق هذا الاختبار أن نفرق بين المواد الدهنية، والشموع من جهة وبين المواد الدهنية والزيوت المعدنية من جهة أخرى.



تفاعل تشكل الأكرولئين

- **الشـموع (Waxes):** وهي إسـترات الحموض الدسـمة ذات السـلاسـل الطويلة (تحوي عدد من ذرات الكربون بين 14 و 36) مع الأغوال الدسمة طويلة السلسلة الكربونية أحادية الهيدروكسيل (تحوي عدد من ذرات الكربون بين 16 و 22) ولها الصيغة العامة الآتية: $R\text{-}O\text{-}CO\text{-}R_1$

حيث R: بقية غول دسم، R_1: بقية حمض دسم .

$$R_1COOH + R\,OH \longrightarrow R\,O\text{-}CO\text{-}R_1 + H_2O$$

وأهم أنواع الشموع: (شمع السبيرماسيت) وهو شمع حيواني مصدره الحيتان، و(شمع النحل).

تكون الشـموع مواد صـلبة في درجة حرارة الغرفة، وهي رديئة التوصـيل للحرارة، لذا فهي تطيل مدة حفظ الفاكهة وتحفظ العسـل، وتنتشـر الشـموع بكثرة في الأنسـجة النباتية والحيوانية وتعمل كمواد واقية من الماء وتكون طبقة واقية تسـاعد على حفظ ريش الطيور وصـوف الغنم، وتمنع تبخر الرطوبة نظراً لمقاومتها التفكك وعدم انحلالها بالماء، وتعطي الملمس الناعم لشعر الحيوانات ذات الفراء.

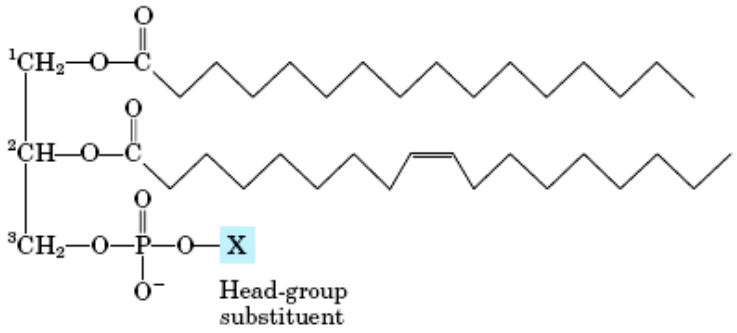
2- الليبيدات المعقدة:

وتحتوي على مركبات أخرى إضافة إلى الغول والحموض الدهنية ومنها:

أ-الليبيدات الفوسفورية: وهي مركبات واسعة الانتشار في الأنسجة الحيوانية، وتعتبر من المقومات الأساسية لجميع الخلايا الحيوانية، كما أنها تشكل جزءاً كبيراً من دسم الأنسجة، تكون أغماد النخاعين التي تحيط بالألياف العصبية غنية جدا بالشحوم الفوسفورية. وتصنف الشحوم الفوسفورية بحسب الجزيئة التي تتثبت على الحموض الدسمة:

a) **فوسفوغليسريد (فوسفوليبيد):** عندما يكون الغليسرول مؤستر بحمضين دسمين مختلفين وتتأستر الزمرة الغولية الثالثة في الغليسرول بحمض الفوسفور أي أن المركب الناتج أصبح يحتوي على (حمضين دهنيين ومجموعة فوسفات) يدعى بالفوسفاتيد.

تعتبر سـلاسل الأحماض الدهنية (ذيل لا قطبي) كارهة للماء أما مجموعة الفوسـفات (رأس قطبي) محبة للماء مما يجعل الفوسـفوليبيدات تكون طبقة غشـاء مزدوجة تلقائية، وهذه الخاصـية تجعل الفوسـفوليبيدات ملائمة لتشكيل أغشية الخلايا والعضيات.

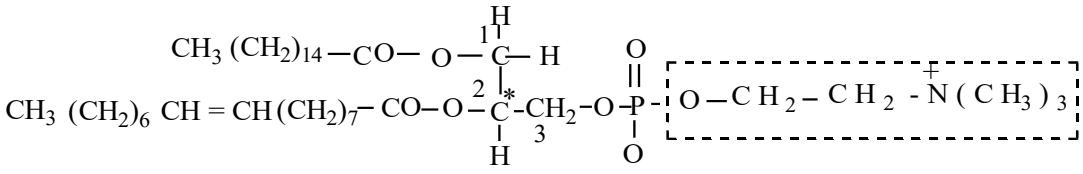


الفوسفاتيد

وتسمى الغليسريدات الفوسفورية اعتماداً على الغول الموجود على رؤوسها القطبية.

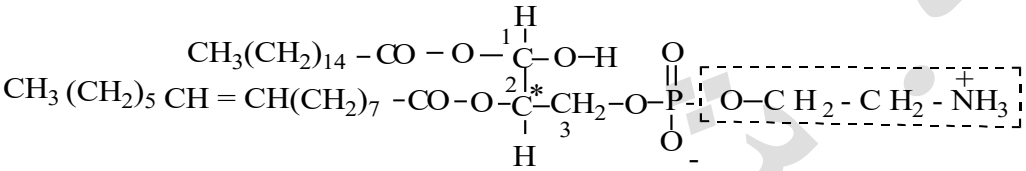
إن أهم المركبات التي ترتبط بالفوسفاتيد وتكون الغليسريدات الفوسفورية هي:

الكولين (Cholines) ، وإيتانول أمين (كولامين Ethanolamine)، والسيرين (Serine) ، والإينوسيتول .



Phosphatidyicholine

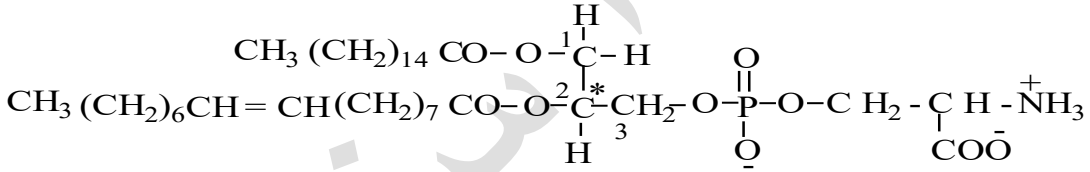
البنية الكيميائية للكولين فوسفاتيد (الليسثين)



Phosphatidylethanolamine

البنية الكيميائية لإيتانول أمين فوسفاتيد (السيفالين)

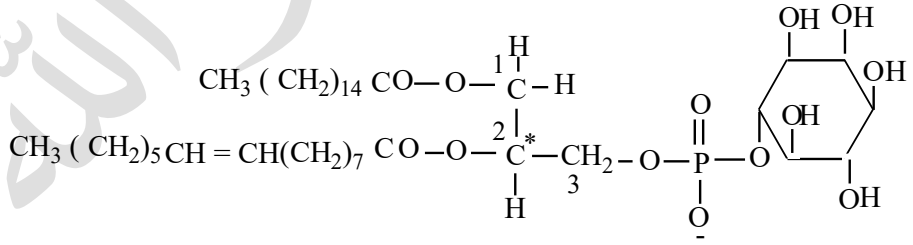
وعندما x = سيرين فالمركب الناتج هو فوسفاتيد سيرين.



Phosphatatidylserine

البنية الكيميائية للفوسفاتيد سيرين

وعندما x = إينوسيتول فالمركب الناتج هو فوسفاتيد إينوسيتول .



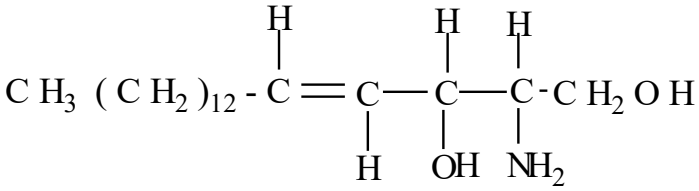
Phosphatidylinositol

البنية الكيميائية لفوسفاتيد الإينوسيتول

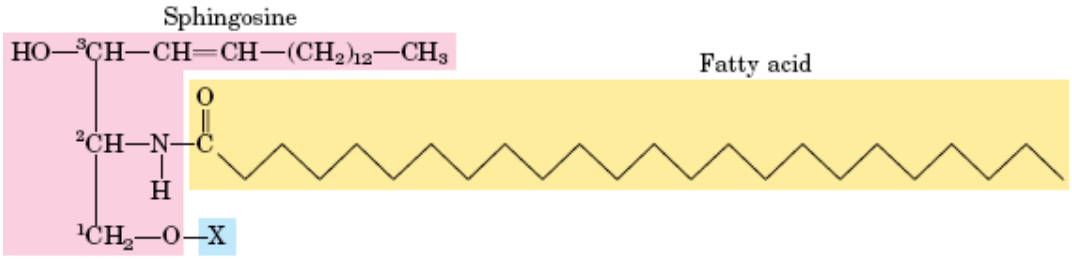
وتوجد الليستينات بكميات كبيرة في نسج الدماغ، والغدد الكظرية، وفي الكريات الحمراء، وفي صفار البيض. وتتواجد السيفالينات في النسج التي تتواجد فيها الليستينات. ووجد بأن السيفالينات تدخل في تركيب إنزيم (ترمبوكيناز) الخاص في عملية تخثر الدم . وتدخل الفوسفاتيدات الإينوسيتولية في تركيب الدماغ والكبد والرئتين، وتستعمل الليبيدات الفوسفورية صناعياً كعوامل مستحلبة.

b) السفينغو فوسفاتيدات (Sphingophosphatides):

تعطي السفينغوميلينات عند حلمهتها: حمضاً دسماً وأساساً أزوتياً (كولين) وحمض الفوسفور وغول السفينغوزين، ويرتبط الحمض الدسم في السفينغو فوسفاتيدات مع الزمرة الأمينية عن طريق الرابطة الببتيدية. وتختلف السفينغو فوسفاتيدات بعضها عن بعض بنوعية الحموض الدسمة الداخلة في تركيبها. وهي مركبات غير منحلة في الإيتر ولذلك يستخدم الإيتر لعزلها من مصادرها وتوجد السفينغو فوسفاتيدات في نسج الدماغ والطحال والرئتين.



البنية الكيميائية للسفينغوزين



البنية الكيميائية للسفينغوفوسفاتيدات

ب-الليبيدات السكرية (الغليكوليبيدات): وتتميز بإحتوائها على مركب كربوهيدراتي (غلوكوز، غالاكتوز ...الخ)، تتواجد هذه المركبات بكميات كبيرة في أنسجة المخ والكبد والكليتين و الكريات الحمراء. وأهم المجموعات التابعة لهذه المركبات:

السيربيروزيدات والشحوم الكبريتية التي تقوم بدور هام في استقلاب عنصر الكبريت في الجسم الحي وبشكل خاص في نسج الدماغ.

3- الليبيدات المشتقة:

هي مركبات تشبه في خواصها الليبيدات أو تنتج من التحلل المائي لليبيدات البسيطة والمعقدة، وهي تضم مجموعة عديدة من المركبات المختلفة بالتركيب وبالوظائف وتجمعها خاصة واحدة بأنها غير ذوابة في الماء. من هذه المركبات:

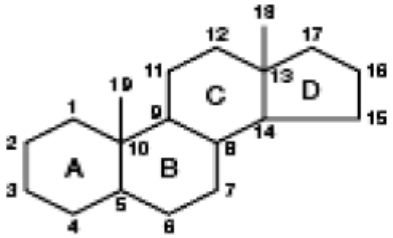
a) الستيروئيدات:

هي مركبات تختلف في بنيتها بشكل كبير عن الشحوم الفوسفورية، ويتألف هيكلها من ثلاث حلقات سداسية تدعى الفانترين، وتتصل تلك الحلقات بحلقة خماسية مشبعة لتشكل الستيران. يرتبط بالستيران زمرتا ميتيل يرتبط إحداهما عند ذرة الكربون 13(تأخذ زمرة الميتيل رقم 18) والأخرى عند ذرة الكربون 10(تأخذ زمرة الميتيل رقم 19) من الستيران. تقسم الستيروئيدات حسب شكل السلسلة الجانبية المتصلة بالكربون 17 وهي:

1- **الستيرولات** وكأمثلة على هذه المركبات نذكر الكولسترول والأرغوستيرول.

2- **الحموض الصفراوية** مثل حمض الكوليك الذي يساهم في استحلاب دهون الأمعاء وتسهيل هضمها وامتصاصها.

3- **الهرمونات الجنسية والقشرية** مثل هرمون الكورتيزون والفيتامين K1 , A, D

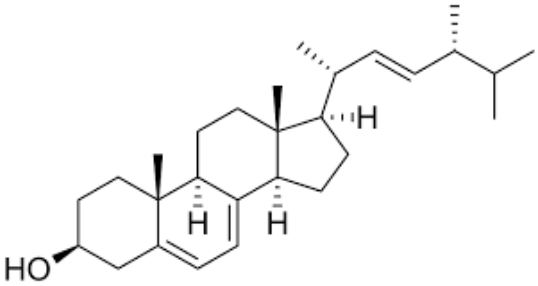


الستيران

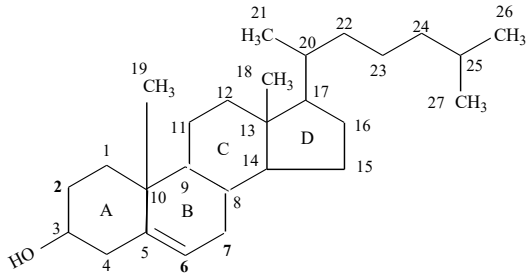
- **الكولسترول: (3-Hydroxy- 5,6- cholestene):**

يسمى بـ 3 هيدروكسي ــ 5 ، 6 ــ كوليستن وهو أحد الستيروئيدات الهامة في عضوية الإنسان، حيث يوجد في كل خلايا الجسم وخاصة في خلايا النسج العصبية، ويوجد أيضاً في المواد الدسمة ذات المنشأ الحيواني، ولا يوجد في المواد الدسمة النباتية المنشأ. يوجد بشكلين حر ومرتبط مع الحموض الدسمة مشكلاً إسترات، ويسبب ترسبه في الشرايين الدموية مرض تصلب الشرايين ويعد الكولسترول من المركبات غير المنحلة في الماء، ولكنه ينحل جيداً في محلات المواد الدسمة.

- **الأرغوستيرول (Ergosterol):** فصل من الخميرة، ينسب إلى الستيروئيدات وهو مهم لكونه طليعة الفيتامين D ويتحول إذا عرض للأشعة فوق البنفسجية إلى الفيتامين D .

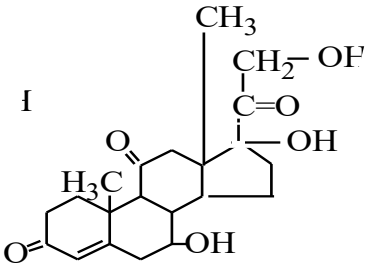


الأرغوستيرول



الكوليسترول

- **الكورتيزون:** الكورتيزون أحد هرمونات قشرة الكظر يعمل على ضبط استقلاب الكربوهيدرات والتخفيف من أعراض التهاب المفاصل الروماتزمي.



الكورتيزون

b) الكاروتينات (Carotenoids):

هي عدة وحدات لمركب الإيزوبرين ولذلك تنسب إلى الإيزوتربنوئيدات.

وتحتوي الكاروتينات عدداً من الروابط الثنائية (التي تسبب تلونها) في سلسلة هيدروكربونية طويلة تجعلها ذوابة في المذيبات العضوية، ولذلك ضمت إلى الليبيدات وتضم الكاروتينات مركبات كثيرة أهمها صبغات الكاروتين (α، β ، γ) التي تكثر في الخضر والفاكهة الصفراء، ويعد β – كاروتين أهمها فهو مولد الفيتامين A، حيث يتحول إلى جزيئين من الفيتامين A داخل الجسم .

- **البروتينات الشحمية (شحوم الدم):**

توجد البروتينات الشحمية في الدم، وتساعد هذه المركبات على نقل الليبيدات والكولسترول، وتتكون من ليبيدات مختلفة (غليسريدات ثلاثية، ليبيدات فوسفورية، كولسترول بشكليه الحر والمؤستر وحموض دسمة حرة واستيرات أخرى) مرتبطة مع البروتينات.

حيث يتم تغليف الدهون بالسلاسل البروتينية مما يجعل الحبيبات المتكونة قابلة للذوبان في الماء ويسهل نقلها في بلازما الدم، وتمتاز الدهون بقلة كثافتها مقارنة بالبروتين.

وتصنع البروتينات الشحمية داخلية المنشأ في الكبد، بينما تتشكل الليبيدات خارجية المنشأ في الأمعاء.

ويوجد أربعة أنواع من البروتينات الشحمية:

1- البروتينات الدهنية ذات الكثافة العالية High Density Lipoprotein (**HDL**)
2- البروتينات الدهنية ذات الكثافة المنخفضة Low Density Lipoprotein (**LDL**)
3- البروتينات الدهنية ذات الكثافة المتوسطة Intermediate Density Lipoprotein (**IDL**)
4- البروتينات الدهنية ذات الكثافة المنخفضة جدا Very Low Density Lipoprotein (**VLDL**)

وتحوي HDL على كمية متساوية تقريباً من البروتينات والدسم وتقي من ترسب الشحوم على جدر الأوعية الدموية لذلك فأن زيادة مستوى HDL في الدم تعطي مؤشراً على مقاومة الجسم على آفات القلب الوعائية العصيدية المنشأ، فهو يقوم بدور نقل الكولسترول المتحرر من الأنسجة المحيطية (الخلايا الميتة، الأغشية الخلوية) في البلاسما بعد استرته إلى الكبد أي ينظف ويقتلع ترسبات بطانة الأوعية الدموية لذلك يطلق على HDL بالكولسترول الجيد. أما LDL فيقوم بنقل الكولسترول المصنع في الكبد إلى الأنسجة المحيطية التي هي بحاجة إليه وتنظيم الاصطناع الحيوي للكولسترول، ومن الممكن أن ينشأ التصلب الشرياني من تشكل رواسب ثخينة من الكولسترول وإستيراته على السطوح الداخلية للأوعية الدموية، ويتعرض المصابون بحالة التصلب العصيدي لصدمات دماغية واحتشاء قلبي وهذه الحالات تنشأ نتيجة لتقييد جريان الدم وتدفقه عبر الأوعية الدموية المنسدة في كل من الدماغ والقلب على التوالي لذلك يدعى LDL بالكوليسترول الضار.

وتستخدم نسبة LDL إلى HDL كمعيار لتشخيص تطور الأمراض القلبية.

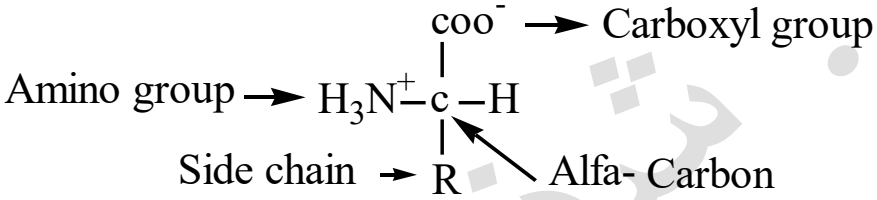
الحموض الأمينية والبروتينات
Amino acids and Proteins

تعريف الحموض الأمينية (Amino acids): هي مشتقات الحموض الكربوكسيلية (-COOH) التي استبدل فيها مجموعة أمينية ($-NH_2$) بدلاً من ذرة الهيدروجين في الكربون α.

وتتشابه الحموض الأمينية في موضع الزمرة الكربوكسيلية (ذات طبيعة حمضية) والزمرة الأمينية (ذات طبيعة قلوية) وتختلف بعضها عن بعضها الآخر ببنية الجذر (R).

وقد أمكن معرفة الحموض الأمينية التي تدخل في تركيب البروتينات الطبيعية وتحديد تركيبها البنائي.

تعطى الصيغة العامة للحموض الأمينية هي:



الصيغة العامة للحموض الأمينية

فهي الأحجار الأساسية للمركبات البروتينية التي تشكل الجزء الأكبر من بنية الخلايا الحية. فالبروتينات ليست إلا مركبات متعددة الحموض الأمينية (بوليميرات) تعطي عند الحلمهة بواسطة الأنزيمات أو الوسائط الكيميائية حموضاً أمينية من جديد.

ولكن الحموض الأمينية لا تلعب الدور الأساسي في تركيب المواد البروتينية فقط، بل يمكن لها من خلال التفاعلات الاستقلابية داخل الجسم الحي أن تعطي مركبات أولية لمواد هامة يحتاج إليها الجسم كالهيموغلوبين. كما يمكن لبعضها أن تلعب دور النواقل العصبية أو تشكل طليعة بعض النواقل العصبية.

يوجد في الطبيعة أكثر من 300 حمض أميني، تم الحصول عليها من المصادر البيولوجية المختلفة. يدخل في تركيب البروتينات فقط 20 حمضا أميني وتدعى بالحموض الأمينية المعيارية. من هذه الحموض الامينية العشرون هناك 10 حموض أمينية تدعى بالحموض الأمينية الأساسية، وهي الحموض التي لا يستطيع جسم الإنسان أو الحيوانات العليا اصطناعها بل يتم الحصول عليها من الغذاء وهي: الفالين، ألانين، الأرجينين، التيروزين، الهيستيدين، اللوسين، الإيزولوسين، التريبتوفان، الميتونين والليزين. أما 10 البقية فتدعى بالحموض الامينية الغير أساسية.

واستنادا الى هذه الدراسات تم تقسيم الأحماض الامينية عند الحيوان الى قسمين **اساسية وغير أساسية.**

1- الأحماض الامينية الأساسية: هي تلك الأحماض الامينية التي لا يستطيع الجسم تكوينها أو يكونها بكمية قليلة لا تلبي حاجة الحيوان وبالتالي فمن الأساسي تواجدها في غذاء الحيوان.

2- الأحماض الامينية غير الأساسية: هي مجموعة الأحماض الامينية التي يستطيع الجسم تكوينها بكمية تكفي حاجة الحيوان للإدامة والنمو والإنتاج.

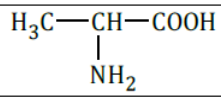
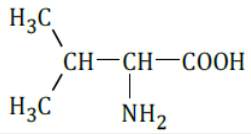
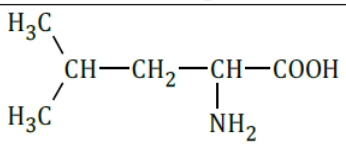
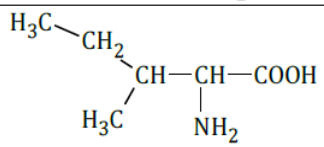
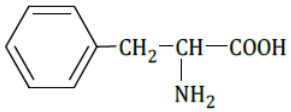
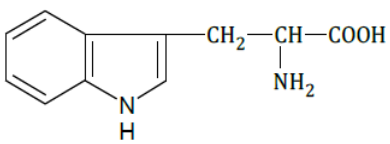
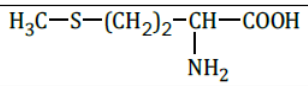
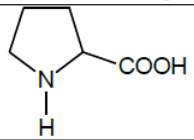
وعليه فان محتوى البروتين من الأحماض الامينية يمكن أن يحدد نوعية البروتين في الأغذية وقيمة هذه الأغذية اذ كلما احتوى الغذاء على كمية من الأحماض الامينية الاساسية تتناسب مع احتياجات الحيوان للإدامة والنمو والانتاج كانت قيمة البروتين الغذائية عالية وبالعكس.

ملاحظة: بسبب قابلية المجترات على الاستفادة من المركبات النيتروجينية اللابروتينية فإن نوعية البروتين أو الأحماض الامينية الاساسية غير ضرورية في هذه الحيوانات باستثناء الحيوانات ذات الانتاج العالي وذلك لأن كمية البروتين الميكروبي التي تتكون بالكرش غير كافية لسد حاجة الحيوانات ويمكن أن يؤدي تغذية الأحماض الامينية الاساسية إلى تحسن أو زيادة الإنتاج.

تصنيف الحموض الأمينية تبعا لخواصها القطبية:

تصنف الحموض الأمينية تبعاً **لاختلاف قطبية المجموعة R** أي ميلها للتفاعل مع الماء إلى:

1- حموض أمينية تحوي زمر ألكيلية لاقطبية كارهة للماء (هيدروفوبية): أي الجذر R غير متشرد ولا يحوي على أي شحنة كهربائية، وتضم ثمانية حموض هي:

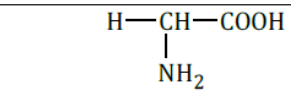
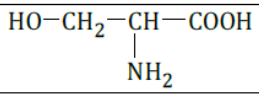
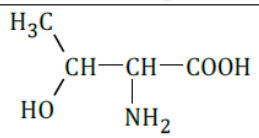
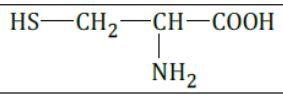
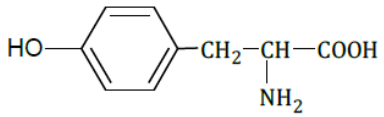
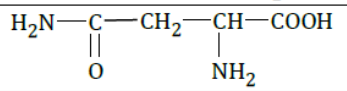
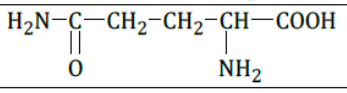
الحمض الأميني	البنية الكيميائية	ضرورته لجسم الإنسان
الحموض الأمينية غير المستقطبة		
الألانين *Ala*		غير ضروري
الفالين *Val*		ضروري
اللوسين *Leu*		
إيزو لوسين *Ile*		
فنيل ألانين *Phe*		
التربتوفان *Trp*		
المثيونين *Met*		
البرولين *Pro*		غير ضروري

2 – حموض أمينية قطبية وتقسم إلى ثلاثة أقسام:

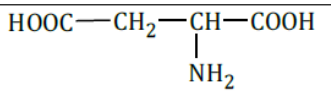
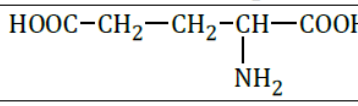
أ- حموض تحوي جذر R قطبي وغير مشحون:

يكون الجذر الألكيلي لهذه الحموض أكثر ذوباناً في الماء (أي أكثر هيدروفيلية محبة للماء) بسبب احتوائه على زمر وظيفية يمكنها تشكيل روابط هيدروجينية مع الماء.

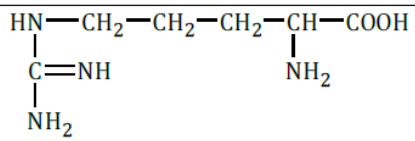
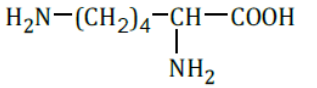
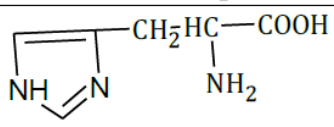
وتضم سبعة حموض هي:

الغليسين *Gly*		غير ضروري
السيرين *Ser*		
الثريونين *Thr*		ضروري
السيستئين *Cys*		غير ضروري
التيروزين *Tyr*		غير ضروري
الأسباراجين Asn		
الغلوتامين Gln		

ب- حموض تحوي جذر R قطبي ومشحون سلباً:

حمض الأسباراتيك Asp		غير ضروري
حمض الغلوتاميك Glu		

ج- حموض تحوي جذر R قطبي ومشحون ايجاباً:

الأرجنين Arg		ضروري
الليزين Lys		
الهيستيدين His		

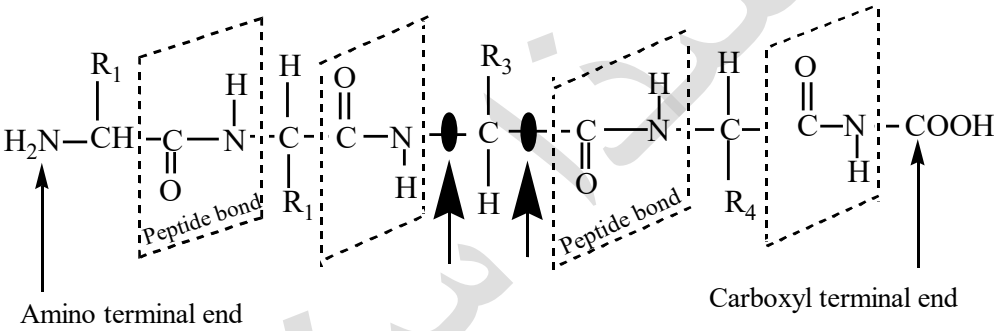
✓ تشرد الحموض الأمينية:

تعد الحموض الأمينية مركبات مترددة (متذبذبة)، فهي تحوي على زمر أمينية وزمر كربوكسيلية معاً، ولذلك فهي تملك خواصاً حمضية وخواصاً قلوية في الوقت نفسه، لذلك تستطيع تشكيل أملاح مع الحموض ومع الأسس، وتستطيع الحموض الأمينية ضم شوارد الهيدروجين وشوارد الهيدروكسيل، وذلك تبعاً للوسط الذي توجد فيه، وبالتالي تشكيل مركبات ملحية مع القلويات والحموض.

Peptides البيتيدات

✓ تشكيل البيتيدات وتسميتها:

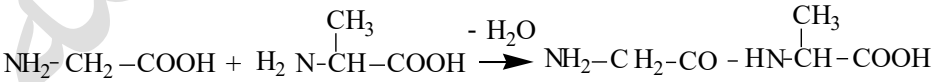
تنتج البيتيدات من ارتباط الحموض الأمينية بعضها مع بعضها الآخر بروابط ببتيدية ناتجة عن عملية تكاثف بين الزمرة الكربوكسيلية لحمض أميني والزمرة الأمينية لحمض أميني مجاور فتتشكل رابطة أميدية (ببتيدية) ويسمى المركب الناتج ببتيد. حيث تبدأ السلسلة الببتيدية بالحمض الأميني الحامل للزمرة الأمينية وتسمى البداية N – وتنتهي بالحمض الأميني الحامل للزمرة الكربوكسيلية الحرة وتسمى بالنهاية – C.



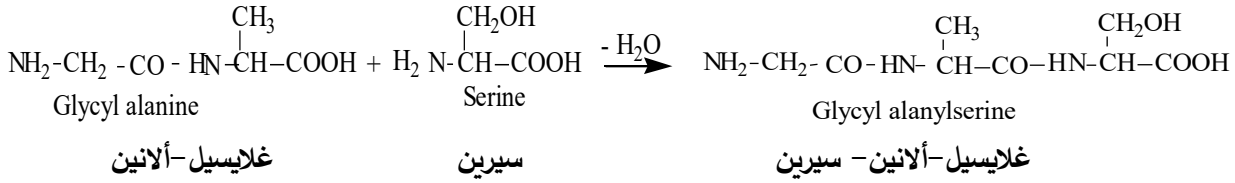
تشير الأسهم إلى مكان الدوران في السلسلة الببتيدية بينما لا تستطيع الدوران العناصر الموجودة ضمن إطار منقط إلا بصعوبة.

✓ تكتب صيغة الببتيدات باستعمال رموز الحموض الأمينية الثلاثية الأحرف وتفصل بنقاط، وتقرأ صيغة الببتيد من اليسار إلى اليمين.

مثال: تكتب صيغة الببتيد الثنائي **غلايسيل–ألانين** على الشكل الآتي **Gly.Ala**



مثال: تكتب صيغة الببتيد **غلايسيل – ألانيل– سيرين** على الشكل الآتي **Gly . Ala . Ser**



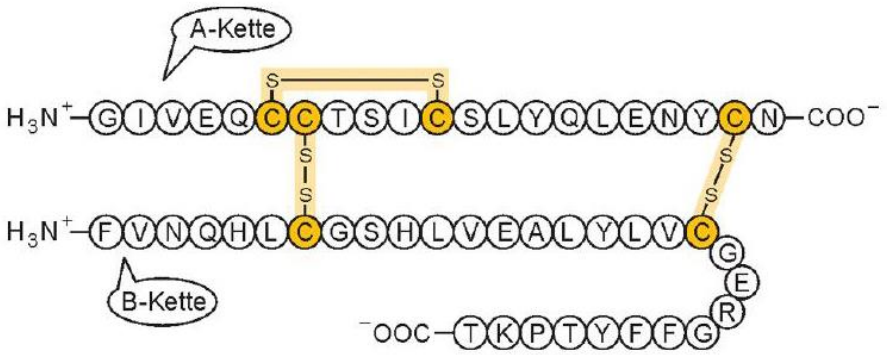
ملاحظة هامة: تعطي الببتيدات مع أملاح النحاس في وسط قلوي معقدات ملونة بنفسجية، ويستعمل هذا التفاعل في التحليل النوعي والكمي للبروتينات.

بعض الببتيدات ذات الفعالية الحيوية:

1- الغلوتاثيون: أحد الببتيدات الثلاثية (Glu – Cys –Gly) **غلوتاميك–سيستئين– غلايسيل** المنتشرة داخل الخلايا تم اكتشافه سنة **1921**، ويؤدي دور كوإنزيمي في عدد من تفاعلات الأكسدة والإرجاع، ويوجد في الخلية الشكل المرجَع إلى جانب الشكل المؤكسَد في حالة توازن، ويهدم الجذور الحرة المخربة من خلال تفعيل العوامل المؤكسدة، وهو ضروري لإظهار فعالية الأنسولين، ويتواجد في الدم والعضلات والخميرة وفي معظم خلايا الجسم الحي.

2- الانسولين: هو هرمون ببتيدي في البنكرياس ووزنه الجزيئي 5734، يتألف من سلسلتين ببتيديتين تتحدان بعضهما مع بعض بوساطة الجسر الكبريتي، تحوي السلسلة A على 21 حمض أميني، والسلسة B على 30 حمض أميني.

إن تسلسل الحموض الأمينية في الأنسولين عند الحيوانات مشابه لأنسولين الانسان ما عدا الحموض الأمينية 8 , 10 في السلسلة A والحمض الأميني 30 في السلسلة B.



3- البراديكينين: يعيق الإفراز المعوي ويسبب توسع الأوعية الدموية (تمددها)، ويسلك دوراً وسيطياً في التفاعلات الالتهابية، يتألف من تسعة حموض أمينية:

Arg–Phe–Pro–Ser–Phe–Gly–Pro–Pro–Arg

4–الكاليدين: يعد من المركبات الخافضة لتوتر العضلات الملساء وخافضة للتوتر الشرياني، يتألف من عشرة حموض أمينية: **Lys–Arg–Phe–Pro–Ser–Phe–Gly–Pro–Pro–Arg**

البروتينات Proteins

تعرف البروتينات من الناحية الكيميائية بأنها مركبات عضوية آزوتية ذات وزن جزيئي مرتفع، وتتكون من عدد كبير من الحموض الأمينية ترتبط فيما بينها بروابط ببتيدية تنشأ بين الزمرة الكربوكسيلية (- COOH) من حمض أميني مع الزمرة الأمينية ألفا (NH2 -) من حمض أميني مجاور له .

وتقدر نسبتها العامة في المادة الحية الجافة (40–45 %)، وبينت التحاليل العنصرية على أنها تحوي على العناصر الآتية: الكربون بنسبة (50.6–54.5 %) والأوكسجين (21.5– 23.5 %) والهيدروجين (6.5 – 7.3 %) و الآزوت (15– 18.6 %) و يحوي بعضها على الكبريت بنسبة ضئيلة (0.3 - 2.5 %).

توجد المواد البروتينية في جميع الكائنات الحية النباتية والحيوانية اذ تمثل المكونات الأساسية للبروتوبلازم في الدم واللبن والعضلات والغضاريف كما تدخل في تركيب الشعر والأظافر والقرون والجلد والريش والصوف والحرير. وتعد البروتينات مواد عضوية تتكون من الكربون، الأوكسجين، الهيدروجين، النتروجين، والكبريت وتحتوي بعض المواد البروتينية الهامة على الفسفور أيضا بالإضافة إلى العناصر السابقة.

✓ **مصادر البروتينات:**

هناك مصدرين رئيسين يحصل الإنسان منها على البروتينات هما:

1– مصادر بروتينية حيوانية: وهي المصادر التي تأتي من الحيوانات. مثل: اللبن ومشتقاته، الاسماك، اللحوم المختلفة، الدواجن والبيض.

2– مصادر بروتينية نباتية: ويأتي في مقدمتها فول الصويا وهو من أغنى المصادر النباتية بالبروتينات يأتي بعده الفاصولياء، البطاطس، العدس، الأرز، كما وتوجد البروتينات بكميات قليلة في كل من الحمص، الذرة، الخبز والشعير.

.وتجدر الإشارة إلى إن المصادر الحيوانية هي أغنى من المصادر النباتية بكثير بالنسبة للمواد البروتينية.

✓ **تصنيف البروتينات:**

تصنف البروتينات حسب بنيتها (تركيبها) إلى: بروتينات بسيطة – بروتينات معقدة– بروتينات مشتقة.

أ– البروتينات البسيطة:

هي بروتينات تعطي عند حلمهتها حموضاً أمينية فقط. مثل: بروتين الكلوبين (مفصول من لقاح ذكور بعض أنواع السمك)، فبروين الحرير(تفرزه يرقات دود القز)، ألبومين زلال بيض الدجاج ومصل دم الإنسان .

ب–البروتينات المعقدة:

هي بروتينات تتألف من جزيء بروتيني مرتبطاً معه جزء غير بروتيني. مثل: بروتينات سكرية، بروتينات نووية، بروتينات صباغيه، بروتينات معدنية، بروتينات إنزيمية وبروتينات فوسفورية.

ج– البروتينات المشتقة:

هو كل بروتين ينتج من عمليات فصل الارتباط في البروتينات المقترنة أو التميه الجزئي للبروتينات البسيطة أو تغير الطبيعة الأساسية لأي بروتين في عملية الإفساد حيث تخرج عن حالتها الطبيعية وتنتج بفعل إنزيمي أو كيميائي.

كما تصنف البروتينات حسب **شكلها** إلى: بروتينات كروية – بروتينات ليفية.

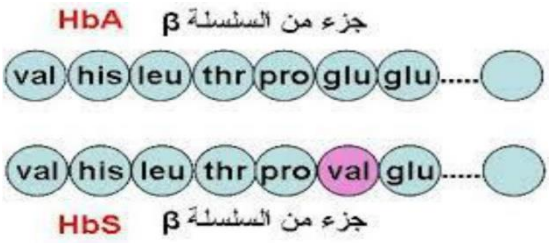
أ- البروتينات الكروية:

تأخذ السلاسل الببتيدية فيها أشكالاً ملتفة بعضها على بعض على شكل كريات، إن أغلبية البروتينات الكروية الطبيعية منحلة في الماء. مثل: الألبومينات، الغلوبولينات، الهستونات والبروتامينات.

ب- البروتينات الليفية:

تكون السلاسل الببتيدية متوضعة إلى جانب بعضها بعضاً بشكل متوازي مشكلة ليفاً أو طبقات متوازية في جزيئة البروتينات ومعظمها غير منحل في الماء. مثل: الكولاجين (توجد بكثرة في المملكة الحيوانية وخاصة في العظام والأسنان والجلد والنسيج الضام)، الكيراتين (توجد في كل من الشعر والصوف والأظافر والحوافر والريش والقرون والشوكيات)، الليفين (بروتين خثرة الدم)، الإيلاستين (توجد في أوتار العضلات وجدران الأوعية الدموية الدموية ورقاب الحيوانات آكلة العشب).

كما تصنف حسب **الوظيفة الحيوية** إلى: مستقبلات حيوية، بروتينات مناعية، بروتينات ناقلة، بروتينات وسائطية وبروتينات هيكلية بنيوية.



دنترة البروتين:

تتوقف الوظيفة البيولوجية للبروتين على البناء الثلاثي بما فيه من انطواء وانثناء والتفاف، وهناك عوامل تفسد هذا الترتيب منها:

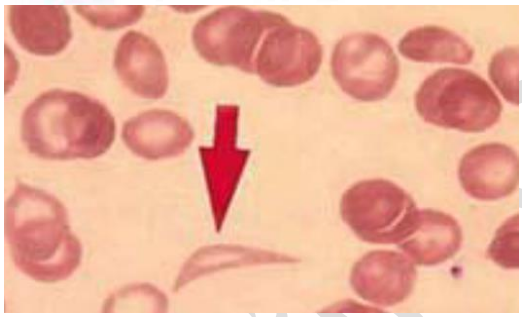
1- التسخين والتعرض لدرجات حرارة عالية.

2-إضافة حمض قوي أو قاعدة قوية (تغير PH)

3- الضوء والأشعة فوق بنفسجية.

4- أشعة X

5- تعرضه لتركيزات عالية من مركبات قطبية مثل اليوريا والكحول.



صورة مجهرية لكريات حمراء منجلية

ويؤدي ذلك إلى إبطال الأفعال المتبادلة والارتباطات في السلسلة الببتيدية وتصبح سلاسل مفتوحة وأحيانا يكون الإفساد نهائي أي أن العملية غير عكسية حيث يفقد البروتين خواصه الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية ويضيع الشكل والتركيب الفراغي الخاص به.

ملاحظة: (مرض الأنيميا المنجلية) سببه حدوث خلل وراثي أثناء اصطناع الهيموغلوبين في الجسم فبروتين هيموغلوبين كرية الدم الحمراء يتألف من زوجين من سلاسل متعدد الببتيد يتألف أحدها من 141 حمض أميني والأخرى على 146 حمض اميني، مما يشكل بالإجمال 574 وحدة حمض أميني في السلاسل الأربعة والتي لكل منها موقع محدد، يحدث المرض عندما يحل الفالين محل حامض الغلوتاميك في مكانه الخاص، بالتالي فإن الروابط الهيدروجينية التي تشكل البنى الأعلى من الهيموغلوبين تعطي شكل غير طبيعي للبروتين المتشكل.

الحموض النووية
Nucleic Acids

تعريف الحموض النووية: وهي مركبات معقدة مرتفعة الوزن الجزيئي (بوليمرات)، بمعنى أنها جزيئات كبيرة مكوَّنة من عدة مونومرات (وحدات جزيئية فرعية متكررة) وتُسمى المونومرات المُكوّنة للأحماض النووية بالنيوكليوتيدات.

تقوم الحموض النووية بدور مهم في نشاط الكائن الحي، وتكفل حفظ المعلومات الوراثية ونقلها، وتساهم مباشرة في اصطناع البروتينات في الخلايا بما فيها الإنزيمات البروتينية، وأن جميع عمليات استقلاب المواد في الخلايا مرتبطة ارتباطاً وثيقاً مع الحموض النووية.

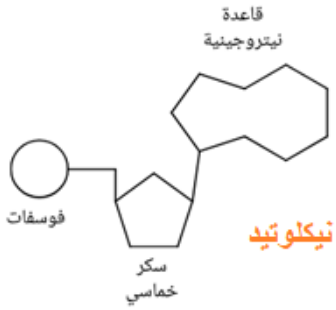
وسُميت الأحماض النووية بهذا الاسم لأنه عثر عليها للمرة الأولى في نواة الخلية. هناك نوعان من الأحماض النووية: الحمض النووي الريبوزي المنقوص الأكسجين أو DNA ، والحمض النووي الريبوزي أو RNA ، وعلى الرغم من أن الأحماض النووية اكتُشفت للمرة الأولى في نوى الخلايا الحقيقية النوى، فإنها موجودة في جميع الكائنات الحية، بما في ذلك الكائنات البدائية النوى التي ليس بها نواة من الأساس.

- مكونات الحموض النووية: تتكون من ثلاثة أنواع من المركبات هي:

1- القواعد (الأسس) البيريميدينية أوالبورينية

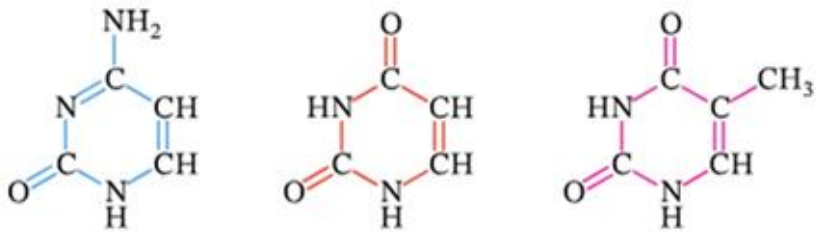
2- سكر خماسي

3- حمض الفوسفور

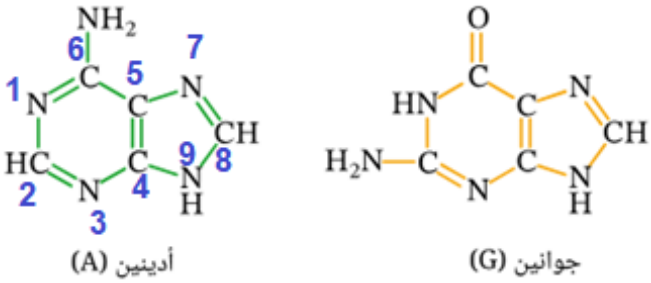


1- الأسس البيريميدينية والبورينية(القاعدة النتروجينية):

تشتق **الأسس البيريميدينية** من مركب البيريميدين، وهو مركب حلقي غير متجانس، وتتألف جزيئته من أربع ذرات من الكربون، وذرتين من الأزوت وأربع ذرات من الهيدروجين والمشتقات البيريميدينية الثلاثة الرئيسة الداخلة في تركيب الحموض النووية هي: **السيتوزين (C)، اليوراسيل (U) والتايمين (T).**



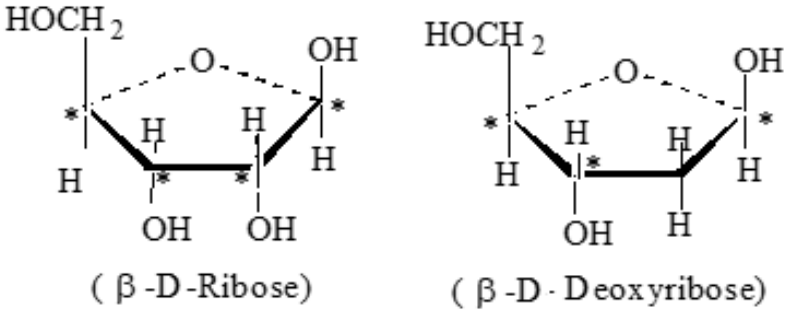
و**الأسس البورينية** الرئيسة الداخلة في تركيب الحموض النووية هي: **الأدينين (A) والجوانين (G)** ومشتقاتهما.



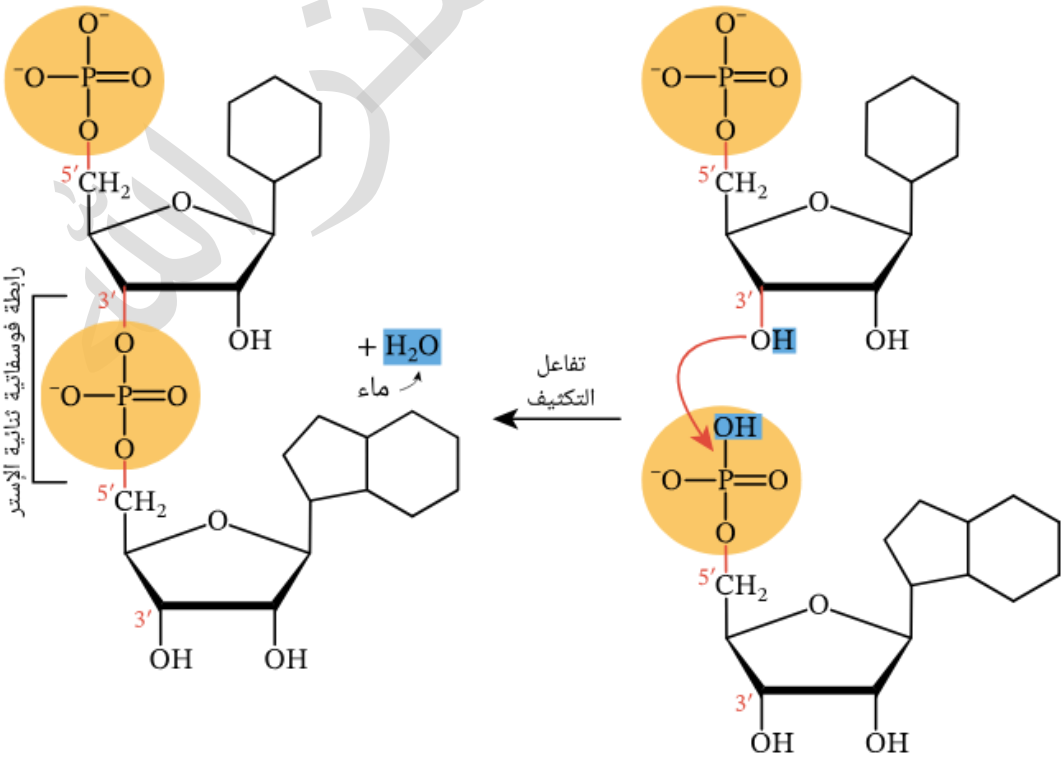
ويحتوي كلاُ من الحمضـــين النووين **RNA،DNA** على القاعدتين النتروجينيتين من البورين وهما الأدينين و الجوانين.

2- السكر الخماسي:

يدخل في تركيب الحموض النووية سكريات أحادية تضم كلاً من: β-D- رايبوز ويوجد في (RNA) و β –D– رايبوز منقوص الأوكســجين ويوجد في (DNA) وتكون لها الشــكل الفورانوزي. ومن الخصــائص الهامة للسكر الخماسي هو قدرة المجموعات الهيدروكسيلية (OH) على تكوين استرات مع حمض الفوسفور.



الصيغ الفورانوزية للرايبوز والريبوز المنقوص الأوكسجين

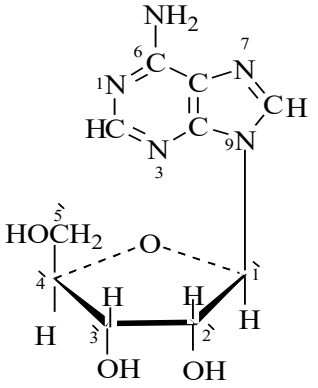


كيفية تكوين الرابطة الفوسفاتية ثنائية الاستر من تفاعل التكثيف لجزيء الماء

- **النوكليوزيدات (Nucleosides):**

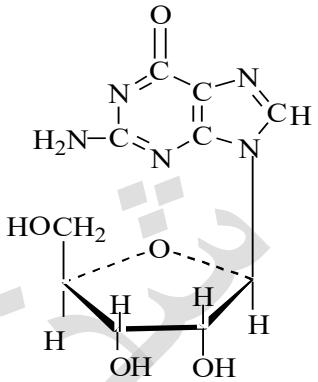
النيوكليوزيدات هي مركبات ناتجة من اتحاد أحد جزيئات القواعد النتروجينية من نوع البورين أو البيرميدين مع جزيء السكر (β-رايبوز أو β-رايبوز منقوص الأوكسجين) برابطة غليكوزيدية β، ويكون الارتباط في النوكليوزيدات حيث تتصل القاعدة النتروجينية مع مجموعة هيدروكسيل(هيدروكسيل غليكوزيدي) على ذرة الكربون الأولى للسكر. ومكان اتصال القاعدة النتروجينية بالسكر هو ذرة النيتروجين رقم **9** في **اليورينات** (الأدينين والجوانين)، بينما في **البيرميدينات** فمكان الاتصال مع السكر هو ذرة النيتروجين رقم **3**.

تعطي النوكليوزيدات الطبيعية البورينية والبيريميدينية بالحلمهة الحامضية القاسية أساس أزوتي وسكر.



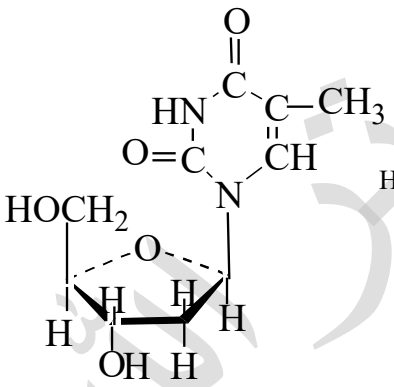
Adenosine

أدينوزين

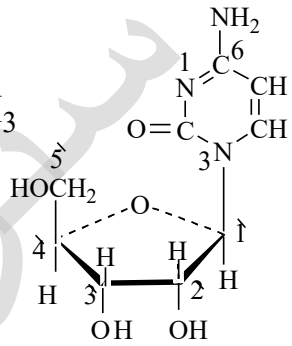


Guanosine

غوانوزين

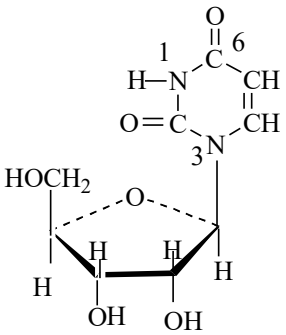


تيميدين



Cytidine

سيتيدين



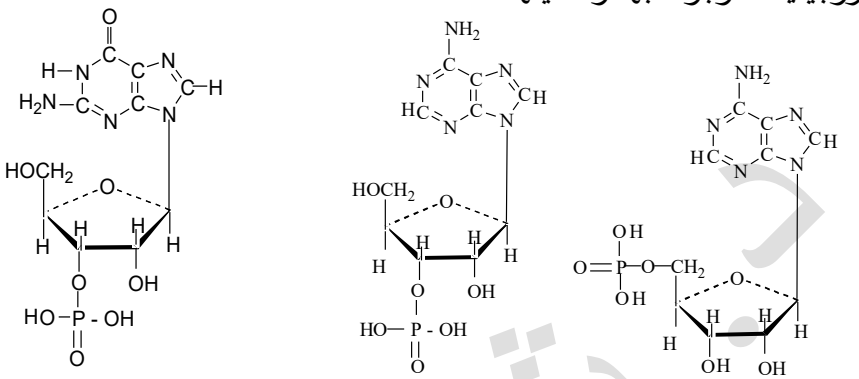
Uridine

يوريدين

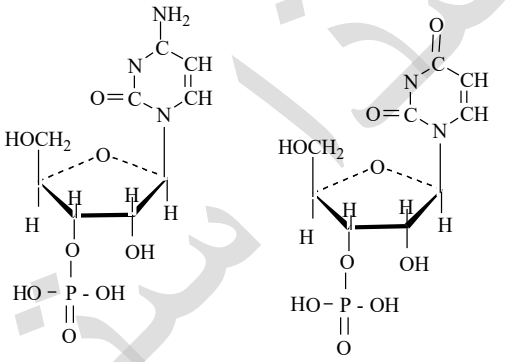
- **النوكليوتيدات (Nucleotides):**

تسمى الإسترات الفوسفورية للنوكليوزيدات (النوكليوتيدات)، ويتكون النوكليوتيد الأحادي من قاعدة أزوتية (بيريميدين أو بورين) وسكر خماسي (رايبوز أو رايبوز منقوص الأوكسجين) وحمض الفوسفور.

والنوكليوتيدات الأكثر انتشـــاراً في العضـــوية الحية هي: أدينوزين أحادي فوســـفات (AMP) وأدينوزين ثنائي الفوسفات (ADP) وأدينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP) الذي يلعب دوراً هاماً في حفظ الطاقة وفي الاستفادة من الطاقة المنطلقة خلال عمليات التمثيل الغذائي بالخلايا، والأهمية الفســـيولوجية لهذه المركبات تكمن في قدرتها على إعطاء واكتساب مجموعات فوسفاتية في التفاعلات البيوكيميائية. وتسمى النيوكليوزيدات والنيكليوتيدات تبعاً للقاعدة النتروجينية الموجودة بها وتسميتها.



أدينوزين -5- فوسفات أدينوزين -3- فوسفات غوانوزين - 3- فوسفات



يوريدين - 3- فوسفات سيتيدين - 3- فوسفات

البنية الكيميائية لبعض النوكليوتيدات

- **البنية الكيميائية للحموض النووية:**

توجد الحموض النووية في جميع خلايا الكائنات الحية الحيوانية والنباتية حرة أو مرتبطة مع البروتينات، ويوجد نوعان من الحموض النووية: الحمض الريبي النووي (RNA) والحمض الريبي النووي المنقوص الأوكســـجين (DNA).

1- الحموض الريبية النووية RNA:

جزيئة الحمض (RNA) عبارة عن بوليمر (متماثر) وحداته الأولية نوكليوتيدات ترتبط بعضـــها مع بعضـها الآخر بجسـور فوسـفو ثنائي الإسـتر وكل جسـر من جسـور ثنائي فوسـفو الإسـتر تربط ما بين زمرة هيدروكسـيل الرايبوز المرتبطة بذرة الكربون 3 لأحد النوكليوتيدات مع هيدروكسـيل الرايبوز المرتبط بذرة الكربون 5 لنوكليوتيد آخر مجاور. وتكون جزيئة الحمض (RNA) على شكل سلسلة مفردة، ويوجد الحمض (RNA) بشكل رئيسي خارج النواة في السيتوبلاسما ويشكل حوالي (5-10%) من الوزن الكلي للخلية.

ويوجد ثلاثة أنواع من حموض (RNA) في الخلية الحية وهي:

أ- الحمض الريبي النووي الإعلامي أو الرسول (mRNA)

ب- الحمض الريبي النووي الناقل (tRNA)

ت-الحمض الريبي النووي الريبوسومي (rRNA)

وتتكون جزيئات كل نوع من الأنواع الثلاثة من سلسلة وحيدة ووظيفته بشكل عام نقل المعلومات.

أ- الحموض الريبية النووية الإعلامية mRNA:

يوجد الحمض الريبي النووي الإعلامي في النواة وعند اقترابه من (DNA) يستنسخ إحدى سلسلتيه ، ثم يخرج من النواة إلى الريبوسومات حيث يوجه اصطناع السلسلة البروتينية وذلك بانتقاء الحموض الأمينية المناسبة وترتيبها بالشكل المناسب لاصطناعها، ولكل بروتين يتم اصطناعه في الخلية الحية حمض رسول (mRNA) خاص باصطناعه.

ب-الحموض النووية الناقلة (tRNA):

يقوم الحمض (tRNA) بنقل الحموض الأمينية إلى أماكن اصطناع البروتينات، ولكل حمض أميني حمض ناقل (tRNA) خاص به على الأقل يقوم بنقله، وتوجد عدة حموض (tRNA) لنقل بعض الحموض الأمينية.

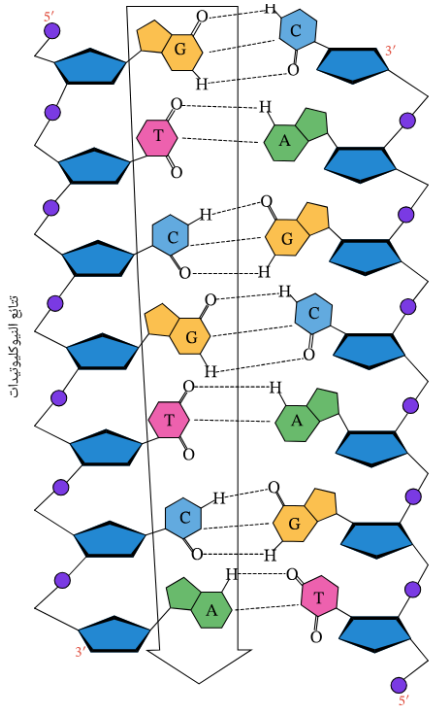
ت-الحموض النووية الريبوسومية (rRNA):

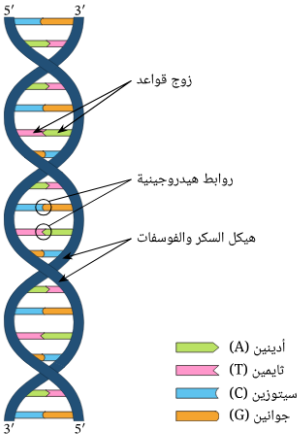
يمثل (80 %) من الحموض النووية، ويرمز لها بالرمز (rRNA) وتتراوح أوزانها الجزيئية من 35 ألف حتى المليون، وتوجد في السيتوبلاسما والأجسام الريبية، وهي بمثابة مصنع يتم فيها اصطناع البروتينات في الخلية الحية.

تجتمع في الريبوسومات جزيئات (mRNA) الحاملة للصفات الوراثية المحددة لبنية البروتين مع مختلف الحموض الأمينية المحمولة على جزيئات (tRNA) حيث يتم ربط الحموض الأمينية باشتراك الأنواع الثلاثة للحموض الريبية (RNA).

2- الحموض الريبية النووية المنقوصة الأوكسجين DNA:

توجد حموض (DNA) في نوى الخلايا، وبكميات ضئيلة في الميتوكوندري وتوجد في الجسيمات اليخضورية أيضاً بشكل حر غير مرتبط بالبروتينات وتصل الكتلة الجزيئية للحمض النووي (DNA) إلى ملايين عدة. وظيفة الحمض النووي DNA هي تخزين المعلومات. وهو جزيء مكون من شريطين يحتوي على سكر الرايبوز منقوص الاوكسجين وعلى القواعد النيتروجينية : الأدينين والجوانين والثايمين والسيتوزين، في حين يحتوي جزيء RNA على قاعدة يوراسيل بدلًا من الثايمين.





نموذج للحمض النووي (DNA) يوضّح تركيب اللولب المزدوج وأزواج القواعد التي تتصل معًا بروابط هيدروجينية. في جزيء الحمض النووي (DNA)، يقترن الأدينين بالثايمين، ويقترن السيتوزين بالجوانين.

نستنتج:

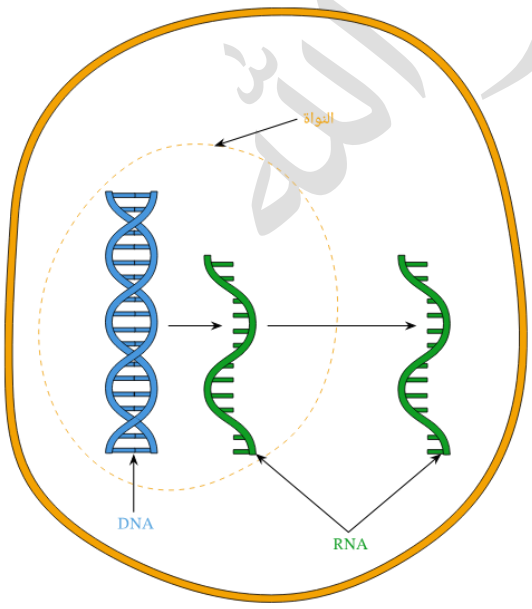
1- يعد كلٌّ من DNA و RNA نوعاً من الأحماض النووية والتي هي بوليمرات تتكون من مونومرات من النيوكليوتيدات. النيوكليوتيدة هي جزيء يتكوَّن من مجموعة فوسفات وسكر خماسي وقاعدة نيتروجينية.

2- يوجد خمسة أنواع من القواعد النيتروجينية وهي: الأدينين والثايمين والسيتوزين والجوانين واليوراسيل. تحتوي النيوكليوتيدات في جزيئي DNA و RNAعلى قواعد أدينين و جوانين و سيتوزين. لكن قاعدة **الثايمين** تكون موجودة فقط في جزيء DNA بينما تكون قاعدة **اليوراسيل** موجودة فقط في جزيء RNA .

هذا يعني أنه عند تزاوُج القواعد تقترن قاعدة الأدينين بقاعدة الثايمين المكمِّلة في جزيءDNA ، لكنها ستقترن باليوراسيل في جزيء RNA.

3-يؤدي جزيئا DNA وRNA وظائف مختلفة في الخلايا الحية. حيث يخزن جزيء DNA المعلومات الوراثية ويقوم جزيء RNA بنسخ هذه المعلومات لنقلها من مكان لآخر.

4- تحديداً يقوم جزيء RNA بحمل الشفرة الوراثية من جزيء DNA في النواة إلى أجزاء الخلية المسؤولة عن تخليق البروتينات، ولكي يتحقق ذلك ينفصل الشريطان في جزيء DNA وتقترن النيوكليوتيدات في جزيء RNA بالقواعد المكشوفة في جزيء DNA لتكون شريطاً مفرداً من المعلومات التي يمكن نقلها إلى مكان آخر.



مخطط يوضح كيفية تفاعل جزيئات DNA وجزيئات RNA في نواة الخلايا

الإنزيمات
Enzymes

تعريف الإنزيمات: هي عوامل مساعدة حيوية تعمل على تسريع معدلات التفاعلات الكيميائية، وهي ذات تركيب بروتيني عالي الوزن الجزيئي، وكغيرها من البروتينات فإن الإنزيم يتألف من اتحاد عدد كبير من الأحماض الأمينية تكون فيما بينها سلسلة أو أكثر من عديد الببتيد.

وظيفة الإنزيمات:

تسريع حدوث التفاعلات بالخلايا دون أن تؤثر في النواتج النهائية للتفاعل أو توازن الطاقة في التفاعلات التمثيلية. يمكن للإنزيمات من زيادة سرعة التفاعل بمقدار 1000 ضعف او أكثر مقارنة بإجراء نفس التفاعل في المختبر.

ويتم تحويل المواد إلى نواتجها **بمرحلتين:** في المرحلة الأولى: يتحد الانزيم مع المادة في مواقع محددة، وفي المرحلة الثانية: يتحرر من المادة بعد تكوين النواتج ثم يتحد مع جزيئة اخرى وهكذا.

والانزيمات تتميز بصفات عديدة:

1- التخصص بالعمل اذ ان انزيم اليوريز يؤثر باليوريا والاستريز يؤثر في استرات الحموض الدهنية.

2- تعمل الأنزيمات ضمن مدى ضيق من درجة الحموضة.

3-الإنزيمات حساسة لدرجات الحرارة وفي اللبائن الحرارة المثلى 37 مئوية.

4-تمتلك الإنزيمات قابلية تأثير قوية اذ تبين ان جزيئة واحدة من الإنزيم يمكن ان تجزئ ثلاثة ملايين جزيء من بيروكسيد الهيدروجين.

تقوم الانزيمات بالعديد من التفاعلات بالجسم تشمل:

1- التحلل المائي وهو فصل المركب الى قسمين.

2- group transfer نقل المجموعة وهو نقل مجموعة من الذرات من جزئية الى أخرى.

3- oxidation reduction التأكسد والارجاع.

4- condensation التكثيف وهو ربط جزيئتين.

5- التناظر وهو إعادة الترتيب داخل الجزيئة.

يتم تسمية الإنزيمات بإضافة المقطع(يز) ase الى نهاية اسم المادة التي يعمل عليها الإنزيم مثل: إنزيم المالتيز وإنزيم السكريز.

مكونات الإنزيمات:

1- **الإنزيمات التى تتكون من البروتينات البسيطة:** وتتألف من سلسلة واحدة او عدة سلاسل ببتيدية، مثل الإنزيمات المحللة: إنزيم اليوريز وإنزيم الأميليز.

2- الإنزيمات التي تتكون من جزئين أحدهما بروتيني والآخر غير بروتيني:

الأول بروتيني يسمى **أبو إنزيم** (Apoenzyme) والثاني يسمى بالعامل المساعد (Cofactor) مساعد الإنزيم وهو ضروري لنشاط الانزيم، وقد يكون هذا الجزء **عنصر معدني** مثل النحاس والحديد والكوبالت وغيرها.

أو يمكن أن يكون الجزء الثاني **على شكل جزيئات عضوية معقدة** تسمى مرافقات الانزيم (Coenzyme) ترتبط بالجزء البروتيني للإنزيم وقت التفاعل فقط.

آلية عمل الإنزيمات:

يفسر ذلك وفق نظريتين: **نظرية السطوح، نظرية المركب الانتقالي.**

النظرية الأولى نظرية السطوح: لكل إنزيم شكل هندسي خاص به، وتوجد عليه مراكز فعالة، تتوضع عليها جزيئات المواد المتفاعلة، يسبب هذا التموضع تمدد رابطة المادة المتفاعلة وتشوهها، مما يسهل فصمها بطاقة قليلة، وسبب تشوه الرابطة هو أن المسافة بين مركزين فعالين على جزيئة الإنزيم أطول من طول الرابطة بين A و B .

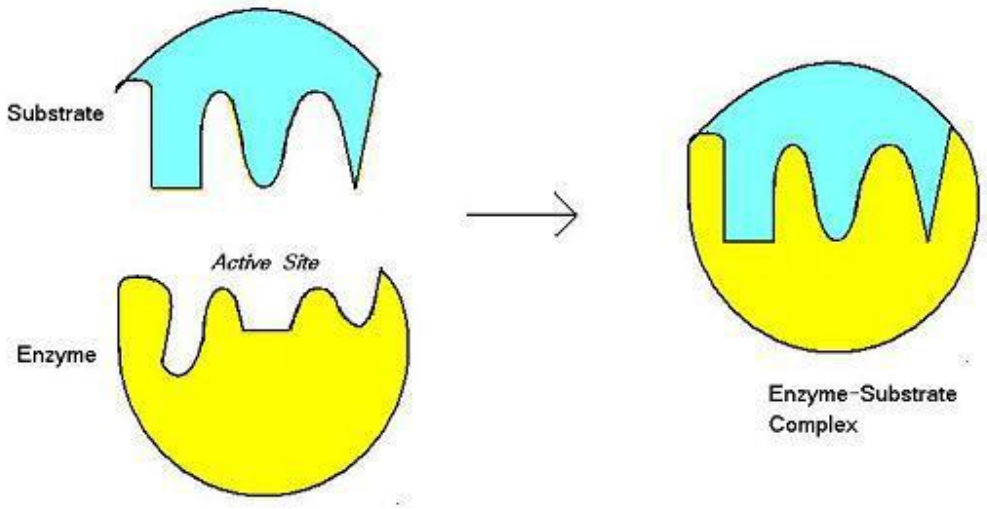
$$AB + H_2O \rightleftharpoons AOH + BH$$

النظرية الثانية: نظرية المركب الانتقالي

تفترض هذه النظرية تشكل مركب انتقالي غير ثابت مؤلف من الحفاز والمواد المتفاعلة، يتحول بعد ذلك إلى معقد منشط غير مستقر يحتاج لطاقة قليلة لفصم روابط المركب المتفاعل تقل كثيراً عن الطاقة اللازمة لفصم المركب نفسه بغياب الإنزيم. وهكذا يكون عمل الإنزيم خفض الطاقة اللازمة لإجراء التفاعل.

المركز الفعال للإنزيم:

المركز الفعال هو ذلك القسم من الجزيئة البروتينة، الذي يؤمن الارتباط بين الإنزيم ومادة التفاعل، ويحوي المركز الفعال عدداً من الزمر الوظيفية التي يكون لها شكل معين في الفراغ. ويمكن أن يدخل في تركيب المركز الفعال للإنزيم جزء من سلسلة ببتيدية يكون لها فعالية وساطية.



ميكانيكية الفعل الإنزيمي:

الخطوة الأولى: في أي تفاعل إنزيمي يرتبط الإنزيم (E) مع المادة الهدف (S) مكوناً معقد يسمى الإنزيم والهدف (ES)

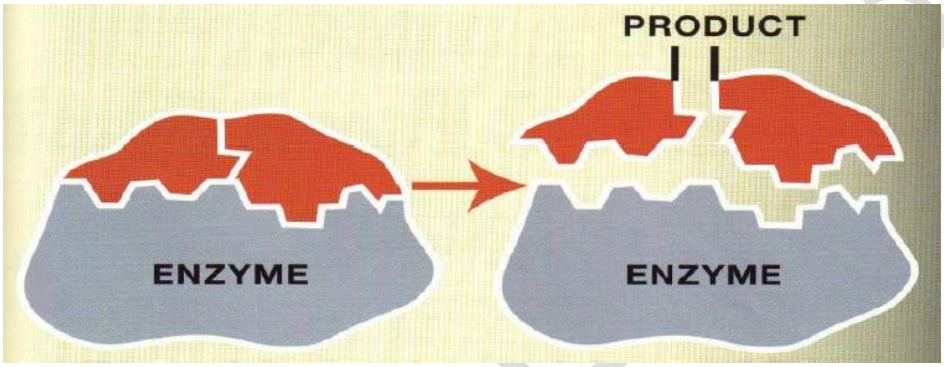
$$E + S \longrightarrow ES$$

ويتم هذا الارتباط على موقع معين في تركيب الإنزيم يسمى الموقع النشط أو الفعال Active site

ويتم الارتباط بين الهدف والإنزيم بمشاركة مجموعة من القوى الضعيفة مثل الروابط الهيدروجينية والأيونية.

الخطوة الثانية: يتحلل المعقد ويكون نواتج التفاعل ويتحرر الإنزيم.

$$ES \longrightarrow E + P$$



العوامل المساهمة في الفعالية الوساطية للإنزيمات:

تسرع الإنزيمات عن طريق أربعة عوامل رئيسية سرعة التفاعلات الكيميائية:

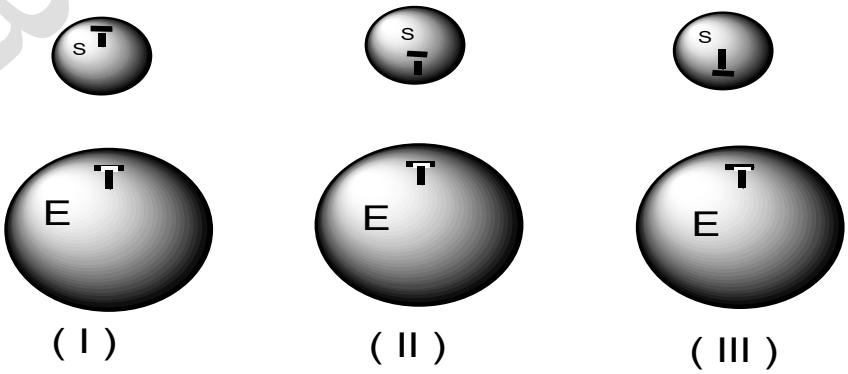
1- التقارب والاتجاه (Proximity and orientation):

إحدى هذه الطرق المستعملة من قبل الإنزيمات من أجل زيادة سرعة التفاعل الإنزيمي هو التوجيه المضبوط لمادة التفاعل وللزمر الوساطية للإنزيم من قبل المركز الفعال للإنزيم. ونميز الحالات التالية:

I- تقارب غير مناسب واتجاه غير مناسب

II- تقارب مناسب واتجاه غير مناسب

III- تقارب مناسب واتجاه مناسب.



حالات توجيه مادة التفاعل والزمر الوساطية للإنزيم

2– الشد والتشويه التوافق المحرض:

يمكن أن يسبب الإنزيم شداً في الرابطة الحساسة للتفاعل في جزيئة مادة التفاعل وتصبح أكثر سهولة للقطع.

الشد والتشويه لمادة التفاعل من قبل الإنزيم

مثال: التوافق المحرض لجزيء الهكسو كيناز مع أحد مواد تفاعله D–غلوكوز

يحفز إنزيم الهكسو كيناز تفاعل فسفرة D – غلوكوز والسكريات السداسية الأخرى بوجود المركب ATP حسب التفاعل التالي:

$$\text{D- Glucose} + \text{ATP} \xrightarrow{\textit{Hexokinase}} \text{D- Glucose 6- phosphate} + \text{ADP}$$

3– التحفيز الحمضي الأساسي العام(General acid –base catalysis) :

يمكن أن يزود المقر الفعال بزمر R مانحة للبروتونات أو مستقبلة للبروتونات

حيث تعد هذه الزمر الحمضية – العامة أو الأساسية – العامة حفازات فعالة لكثير من التفاعلات العفوية في الجمل المائية.

4–التحفيز التكافئي (Covalent catalysis):

تستطيع بعض الإنزيمات الاتحاد مع مادة تفاعلها وتشكيل مركب انتقالي تساهمي غير ثابت مرتبط بشكل تكافئي الذي يخضع بسهولة لتفاعل آخر ويتشكل نواتج التفاعل انطلاقاً منه.

$$RX + H_2O \longrightarrow ROH + HX$$

تفاعل غير محفز

$$RX + E\text{-}OH \longrightarrow ROH + EX$$

$$EX + HOH \longrightarrow E\text{-}OH + HX$$

$$\text{Sum: } RX + HOH \longrightarrow ROH + HX$$

تفاعل محفز

مخطط لعملية تحفيز تكافئية لبعض التفاعلات الإنزيمية

يزيح الإنزيم زمرة وظيفية R من مادة التفاعل ويتشـــكل معقد تكافئي EX غير ثابت يتم حلمهة المعقد EX بسرعة أكبر من حلمهة RX.

العوامل التي تؤثر في حركية التفاعلات الإنزيمية:

تشمل: **درجة الحرارة، درجة الحموضة (pH)، تركيز الإنزيم، تركيز مادة التفاعل، المنشطات والمثبطات.**

1- درجة الحرارة:

الإنزيمات حساسة لدرجة الحرارة فعند درجة الصفر يقف عمل الإنزيم تماما ويمكن أن يستعيد نشاطه مرة أخرى تدريجيا برفع درجة الحرارة. ويصل نشاط الإنزيم إلى ذروته عند درجة الحرارة تتراوح بين (37 – 40) درجة حرارة الجسم، وينخفض نشاطه برفع درجة الحرارة. أي ينخفض نشاط الإنزيم بالتسخين حيث يفقد فاعليته تماما عند درجة الغليان وذلك لتغير طبيعة الإنزيم.

2- تأثير درجة الحموضة (pH):

لكل إنزيم درجة حموضة PH مناسبة يكون نشاطه عندها أكبر ما يمكن ويقل نشاطه إذا تغيرت درجة الحموضة ارتفاعاً أو انخفاضاً، وذلك لما يطرأ على الإنزيم من تغير وذلك لتغيير شحنة الأحماض الامينية المكونة لسلسلة البروتين والتي تشارك في ربط المواد المتفاعلة بمركز نشاط الإنزيم.

3- تأثير تركيز الإنزيم:

تتناسب شدة التفاعل الإنزيمي طرداً مع تركيز الإنزيم عند توفر فائض من مادة التفاعل بشرط أن تكون درجة الحرارة ودرجة الحموضة ثابتتين.

4- تأثير تركيز مادة التفاعل:

تزداد سرعة التفاعل طرديا بزيادة تركيز المواد المتفاعلة حتى تصل إلى سرعة معينة لا تزيد بعدها سرعة التفاعل مهما زاد تركيز المواد المتفاعلة وتسمى هذه السرعة بالسرعة القصوى.

5- تأثير المنشطات:

تتعلق فعالية بعض الإنزيمات بالبنية الهيكلية لجزيئاتها، أو وجود كوإنزيمات أو شـــوارد معدنية، وتكمن وظيفة الشـــوارد المعدنية الداخلة في تركيب الإنزيمات بربط الإنزيم بمادة التفاعل أو تقوم بدور التحفيز. ويمكن أن تقوم العناصـر المنشـطة بتنشـيط إنزيم معين، وتثبط إنزيماً آخر في نفس الوقت. ويمكن أن تقوم بدور منشـط بتركيز معين، ومثبط بتركيز أخر للإنزيم نفسه.

6- تأثير المثبطات:

يقصد بالمثبطات مركبات يترتب على وجودها انخفاض في نشاط الإنزيم وفي بعض الأحيان توقف نشاط الإنزيم كلياً. وتنقسم الى قسمين:

أولاً: **النوع الأول** له تأثير مؤقت على النشاط الإنزيمي حيث يستعيد الإنزيم نشاطه بعد زوال المثبط.

ثانياً: **النوع الثاني** مثبطات لها تأثير دائم على الإنزيم فلا يستعيد الإنزيم نشاطه بزوال تأثير المثبط.

تصنيف الإنزيمات وتسميتها:

وضعت اللجنة الدولية لتسمية الإنزيمات عام 1961 قائمة عامة بالإنزيمات المعروفة وضح فيها:

I–التسمية العلمية لكل إنزيم

II – الاسم القديم (الشائع)

تكون التسمية العلمية أكثر صعوبة من التسمية القديمة (الشائعة) في بعض الأحيان. إن اسم الإنزيم الشائع الذي يسرع تفاعل التحلل المائي لمادة اليوريا هو اليورياز (Ureas) بينما الاسم العلمي هو كاربواميد أميد هيدرولاز .

$$\underset{\text{Urea}}{H_2N - CO - NH_2} + H_2O \longrightarrow \underset{\text{Ammonia}}{2NH_3} + CO_2$$

III – التفاعل الذي يحفزه الإنزيم

VI– شيفرة الإنزيم (تشير الشيفرة بدقة إلى مكان الإنزيم في القائمة العامة)

صنفت اللجنة الدولية الإنزيمات إلى ست صفوف رئيسية هي:

1 – إنزيمات الأكسدة والإرجاع (Oxidoreductases): وهي تقوم بنقل الإلكترونات من مادة الهدف إلى أخر فتؤكسد الأولى وترجع الثانية مثل إنزيم أوكسيداز

2 – إنزيمات النقل (Transferases): وتشمل جميع الإنزيمات التي تعمل على نقل مجموعة كيميائية من هدف إلى آخر، مثل: **الإنزيمات التي تنقل مجموعة الفوسفات من ATP إلى الغلوكوز**، والإنزيم الناقل للزمرة الأمينية -NH2

3– إنزيمات الحلمهة (Hydrolases): وهي تقوم بتحطيم بعض الروابط بإضافة الماء، ومنها الإنزيمات التي تعمل على تميه أو تحلل الروابط الغليكوزيدية والاسترية والببتيدية. **مثل إنزيم الليباز المحلمه للدسم.**

4– الإنزيمات النازعة (إنزيمات التفكك اللامائي) (Lyases): تعمل على نزع مجموعة كيميائية من المادة الهدف دون إضافة الماء، حيث يحل محل ذرات المجموعة المنزوعة رابطة مزدوجة، مثل فصل مجموعة الأمين في صورة أمونيا. **مثل إنزيم ألدولاز المفكك لسكر الفركتوز.**

5– إنزيمات الإيزوميراز(التماكب) (Isomerases): وتشمل جميع الإنزيمات التي تعمل على تحويل المادة الهدف إلى متشكل آخر. **مثل الإنزيم الذي يحول سكر الغلوكوز إلى سكر الفركتوز.**

6– الإنزيمات الصانعة (التركيب) (Synthetases):

وتشمل جميع الإنزيمات التي تعمل على إنشاء رابطة جديدة من مركبين مختلفين، وتعتمد في ذلك على الطاقة المختزنة في جزيء أدينوزين ثلاثي الفوسفات ATP

مثل: الإنزيمات المشكلة للرابطة الببتيدية، مثل إنزيم RNA ligase الذي يعمل في بناء البروتين في الخلية.