كلية العلوم

القسم : **علم الحياة**

السنة : **الثانية**

المادة : كيمياء حيوية بنيوية

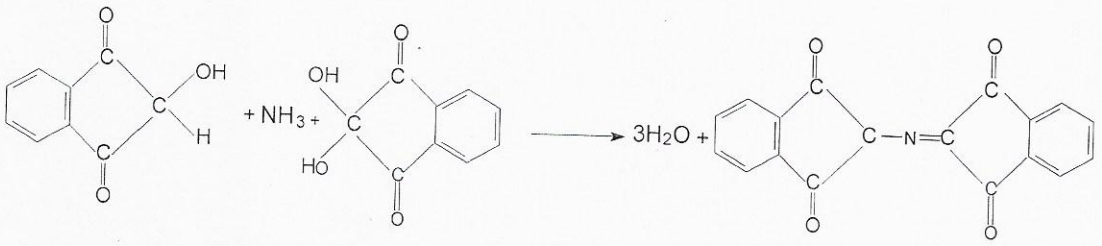
المحاضرة: الرابعة /نظري/د.احمد

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية ، تكنلوجيا المعلومات والاتصالات

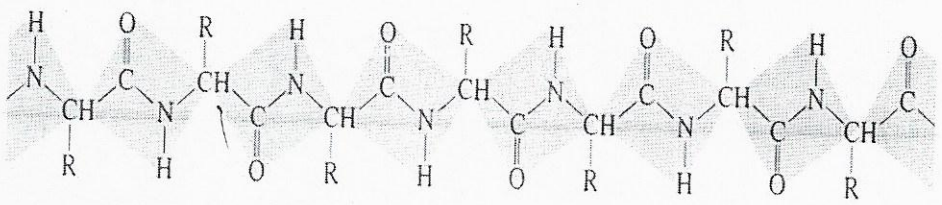
يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر (What's app-Telegram) على الرقم 0931497960



ناتج أزرق اللون

باستثناء البرولين وهيدروكسي البرولين فإنهما يعطيان مع النينهيدرين لوناً أصفر ولا يشكلان غاز النشادر بسبب احتوائهما على مجموعة أمين ثانوية تسمّى إيمينو ، بينما يعطي حمض الأسبارتيك جزيئتين من CO_2. يتم تفاعل النينهيدرين مع جميع α، β، γ الحموض الأمينية ومع الببتيدات والبروتينات ومع النشادر . يستعمل تفاعل النينهيدرين بصورة واسعة في تحليل الأحماض الأمينية.

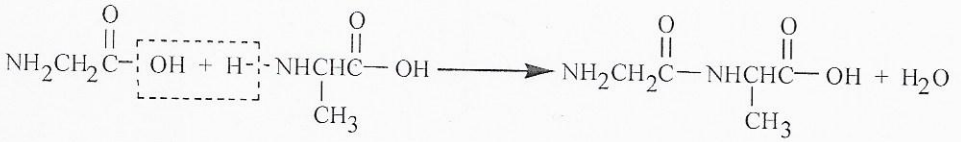
3-4- الببتيدات Peptides: ترتبط الاحماض الامينية مع بعضها البعض عن طريق المجموعة الكربوكسيلية من حمض أميني ومجموعة الأمين من حمض أميني آخر وتتشكل سلاسل ببتيدية وماء :



تختلف السلاسل الببتيدية عن بعضها البعض في عدد الوحدات البنائية المكونة من الاحماض الامينية ،ونحصل على الببتيد الثنائي Dipeptide من ارتباط جزيئيين من الاحماض الامينية ، ونحصل على ببتيد ثلاثي Tripeptide من ارتباط ثلاثة أحماض أمينية، واذا كانت السلاسل الببتيدية قصيرة(3 – 10) تدعى ببتيدات مركب Oligopeptide، تدعى السلاسل الببتيدية الطويلة(10 – 100) باسم ببتيدات عديدة Polypeptide، أما البروتينات فهي ببتيدات عديدة مرتفعة الوزن الجزيئي يزيد عدد الأحماض الأمينية فيها عن 100 عادة.

تملك كل سلسلة ببتيدية طرفين ، احداهما اميني ويقع في الجهة اليسرى والأخر كربوكسيلي ويقع في الجهة اليمنى من السلسلة . ويمكن تسمية الببتيدات القصيرة بذكر أسماء الاحماض الامينية الداخلة في السلسلة بالترتيب . ويستبدل الحرف الأخير من اسم الحمض الاميني وهو النون بالحرف ل ويبقى اسم الحمض الاميني الذي يحتوي على مجموعة كربوكسيلية حرة بدون تغيير ، مثال ببتيد ثلاثي مكون من حمض الغلايسين والالانين والاسبارتيك ويدعى غلايسيل الانيل اسبارتيك وهكذا.

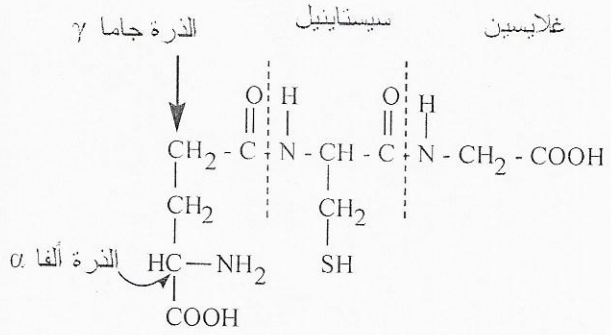
لنفترض أن الغليسين يعمل كحمض كربوكسيلي والألانين يعمل كأمين في تشكيل الأميدات يكتب الببتيد الثنائي غليسيل ألانين حسب التفاعل :



غليسين (حمض) — ألانين (أمين) — غليسيل ألانين، Gly.Ala (ببتيد ثنائي)

توجد بعض الببتيدات حرة في الطبيعية مثل الغلوتاثيون Glutathion الموجود في النباتات وفي الكبد والعضلات والدماغ وكرات الدم الحمراء في الإنسان والحيوان واسمه الكيميائي الكامل هو : (جاما-غلوتاميل سيستاينيل غلايسين: γ - Glu – Cys – Gly ، يلعب الغلوتاثيون دوراً فيزيزلوجياً مهماً في تحطيم عوامل الأكسدة الضارّة في الجسم والتي يُعتقد بأنّها المسؤولة عن تأثيرات الشيخوخة والإصابة بالسرطان، نظراً لاحتوائه على مجموعة سلفهيدريل في السيستايين وهي مجموعة مختزلة قادرة على إعطاء إلكترونات – تتحول بالأكسدة إلى ثنائي سلفيد والتفاعل عكسي .

وفيما يلي الصيغة الكيميائية للجلوتاثيون.



الببتيد الثلاثي غلوتاثيون Glutathione (γ-glutamyl–cycteinyl–glucine)

4-5- خواص الببتيدات:

تعطي الببتيدات جميع التفاعلات المميزة للاحماض الأمينية. يأتي الاختلاف من زيادة وزن الجزيئات، وكذلك طول المسافة بين زمرة الأمين وزمرة الكربوكسيل، والاختلاف الرئيس هو ظهور الوظيفة الأميدية الجديدة .

4-6- البروتينات Proteins:

4-6-1- بنية البروتينات Proteins Structure:

تعرف البروتينات كيميائياً بأنها مركبات عضوية ذات أوزان جزيئية مرتفعة تتشكل من سلاسل ببتيدية تدعى بولي ببتيد Polypeptide أو بولي أميد. يتراوح هذا الوزن بين عشرات الألوف ومئات الألوف (10^4–10^5)، ولمعرفة عدد الأحماض الأمينية الداخلة بتركيبه يُقسّم هذا الوزن الجزيئي عادةً

على 110 وبالتقريب، وقد يتألف جزيء البروتين من سلسلة ببتيدية واحدة أو أكثر . توجد آلاف من البروتينات المختلفة في كل نوع من أنواع الكائنات الحية الموجودة في الطبيعة، ويحتوي كل بروتين على نسب مختلفة من الوحدات البنائية وهي الأحماض الأمينية.

دراسة البروتينات

تدرس البروتينات ضمن أربعة مستويات معقدة تعطي بمجموعها بنية البروتين، وإذا تخرب أي مستو من المستويات الأربعة السابقة يفقد البروتين وظائفه الحيوية. يدعى المستوي الأول والرئيس الذي يجب دراسته البنية الأولية للبروتين Primary Structure. تدرس البنية الأولية الروابط المشتركة التي تربط بقايا الأحماض الأمينية مع بعضها.

توصف الجزيئة الطويلة للبروتين بالبنية الأولية، ولكن هذه الجزيئة تنثني وتلتف في بعض أجزائها. يدعى هذا الشكل من بنية البروتين بالبنية الثانوية Secondary Struture الذي تعطيه الروابط الهيدروجينية. وتقسم دراسة هذه البنية إلى ثلاثة أقسام، الحلزون ألفا alpha helix الذي تشكله الروابط الهيدروجينية في السلسلة الببتيدية نفسها، والبنية بيتا beta – plated sheet التي تشكلها الروابط الهيدروجينية بين السلاسل الببتيدية، والحلزون الثلاثي triple helix.

الحلزون – α والبنية – β لا يكونان الشكلين الوحيدين في بنية البروتينات، فالسلسة الببتيدية يمكنها أن تلتوي وتنثني وتنعقد ويتخرب الحلزون في بعض الأجزاء. يدعى هذا الشكل من بنية البروتين بالبنية الثالثية tertiary structure. يلعب في تثبيت هذه البنية سلاسل الأحماض الأمينية الجانبية.

٧- الترتيب الفراغي لجزيئة البروتين:

- الروابط الرئيسية التي تعمل على ثبات تركيب البروتين :

١- الرابطة الببتيدية:

أول شكل من هذه الروابط هي الرابطة الأميدية التي تظهر بين α – زمرة الأمين و α – زمرة الكربوكسيل والتي تسمى برابطة ببتيدية، وهي تتوضع على طول السلسلة الببتيدية، لذلك كان لدينا أول شكل منتظم هو سلسلة بولي ببتيد (البنية الأولية).

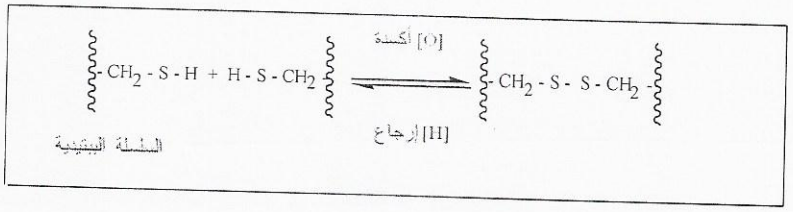
ب- الرابطة الهيدروجينية:

تنتج عن اختلاف في الكهرسلبية للهيدروجين من مركب ذرة أخرى مثل الاوكسجين والازوت من مركب اخر .

جـ- الرابطة ثنائية الكبريت:

الرابطة الببتيدية هي الرابطة المشتركة الرئيسة التي تربط وحدات الأحماض الأمينية مع بعضها في جزيئة البروتين. الرابطة المشتركة الأخرى في جزيئة البروتين هي الرابطة ثنائية الكبريت. إذا ظهرت عوامل أكسدة خفيفة في السلاسل الببتيدية المتجاورة الحاوية زمر سلفوهيدريل على السلاسل الجانبية

للسيستئين، فإن هذه السلاسل المتجاورة ترتبط مع بعضها خلال جسر ثنائي الكبريت، كما هو واضح على الشكل التالي. يمكن أن تظهر الروابط المستعرضة بين أقسام السلسلة الببتيدية نفسها، تشكل في هذه الحالة عروة مغلقة.



يبين الشكل الرابطة ثنائية الكبريت، التي تتشكل بأكسدة زمرة السلفوهيدريل في السيستئين لتربط سلسلة ببتيدية بأخرى أو تشكل عرى داخلية في السلسلة الببتيدية نفسها

تتالت الأبحاث بعد ذلك فعرف التركيب الأولي للعديد من البروتينات المهمة حيوياً مثل هيموغلوبين الدم الذي وجد أنه يتكون من أربع سلاسل ببتيدية تحتوي على ٥٧٤ حمضاً أمينياً عرفت أنواعها وترتيب اتصالها. والجدير بالذكر أن أي اختلال في التركيب الأولي للبروتين قد يؤثر على صفاته وخواصه، ونوضح ذلك بأن حلول حمض أميني واحد (فالين) محل حمض آخر (غلوتاميك) في التركيب الأولي لسلسلتين في الهيموغلوبين يسبب أحد أمراض فقر الدم الوراثية وهو فقر الدم المنجلي.

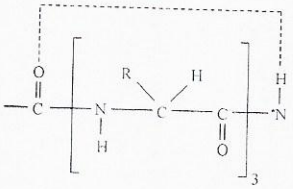
١-التركيب الأولي للبروتين :

يتحدد هذا التركيب بعدد وترتيب أو تسلسل الأحماض الأمينية في السلسلة أوالسلاسل الببتيدية المكونة للبروتين . ولكل بروتين تركيب أولي خاص به يتحدد وينضبط بشكل وراثي .

٢- البنية الثانوية للبروتينات

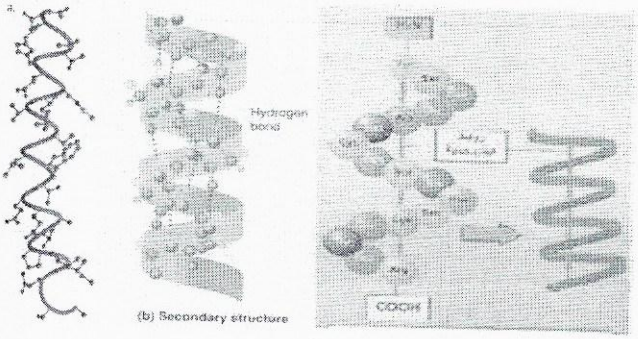
- الحلزون α Alpha Helix:

عندما تتوضع جزيئة البروتين الطويلة، توجد قوى جذب لا تكافؤية (روابط غير مشتركة) بين أجزاء السلسلة الببتيدية تجعلها تلتف بشكل خاص. هذه القوى اللاتكافؤية هي الرابطة الهيدروجينية hydrogen bond. تتكون الروابط الهيدروجينية من أكسجين زمرة الكربونيل وهيدروجين الزمرة – NH – في الرابطة الببتيدية بنزول الحلزون وتغلق كل رابطة هيدروجينية ثلاث بقايا من الأحماض الأمينية .



الروابط الهيدروجينية هي قوى جذب ضعيفة. ولكن بمجموعها تشكل قوى تمسك وتغلق قطعاً من جزيئة البروتين على شكل الحلزون – α.

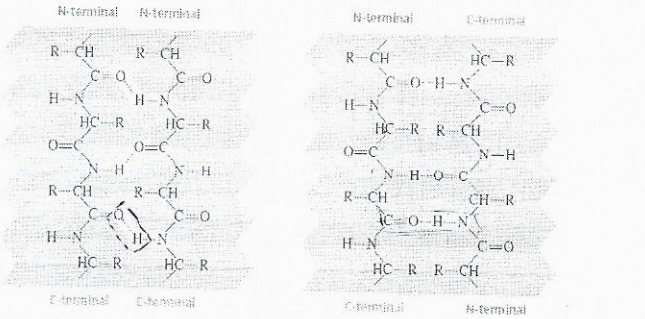
يوضح الرسم التالي التركيب الثانوي والثالثي لبروتين الميوغلوبين Myoglobin وهو بروتين موجود في الخلايا العضلية للثدييات ويحتوي كالهيموغلوبين على مجموعة حديد – بورفيرين تسمى هيم Heme.



- البنية – Beta – Pleated Sheet β:

اكتشف باولنغ وكوري أيضاً بأن الجزيئات في بعض البروتينات تصطف إلى جانب بعضها، لتعطي ثنيات منتظمة بشكل صفائح مرتبة. توضعات البنية – β (Beta – Pleated Sheet) ، وهو النمط الغالب في الليفين fibroin، البروتين الموجود في الحرير. توجد هذه الصفائح في البروتينات الأخرى في بعض الأجزاء الصغيرة، تربط السلاسل الببتيدية المتوازية الروابط الهيدروجينية .

تتوضع الزمر الببتيدية في مستوى واحد وتكون هذه البنية ممتدة مثال على هذا الشكل الممتد هو متعدد الغليسين، تتوضع السلاسل موازية لبعضها (ولها شكل زيكزاك). تتقدم الجذور الجانبية للأحماض الأمينية معاكسة لاتجاه هيكل متعدد الببتيد وتستقر عمودياً على مستوي التخطيط كما في الشكل التالي :



سلاسل متوازية — السلاسل الببتيدية بجهة واحدة

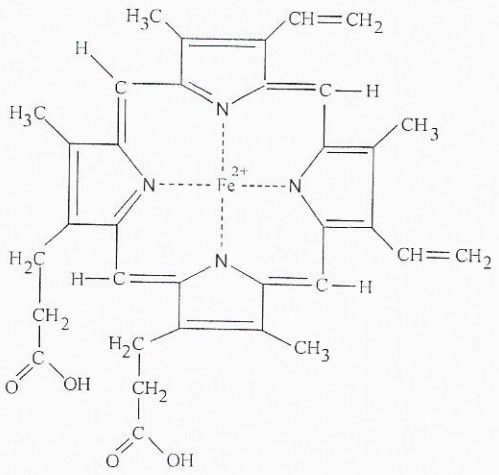
سلاسل غير متوازية — السلاسل الببتيدية بجهة متعاكسة

توضع السلاسل الببتيدية في البنية – β

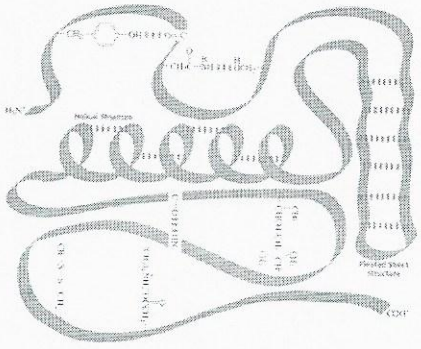
٣- البنية الثالثية للبروتينات:

تكون السلاسل الببتيدية ملتفة على بعضها في شكل كروي بأبعادها الثلاثة ، وتعمل الروابط الثانوية على تثبيت التركيب الثالثي مثل الروابط ثنائية الكبريت ، الاميدية ، الهيدروجينية ، الاستيرية ، الشحنات

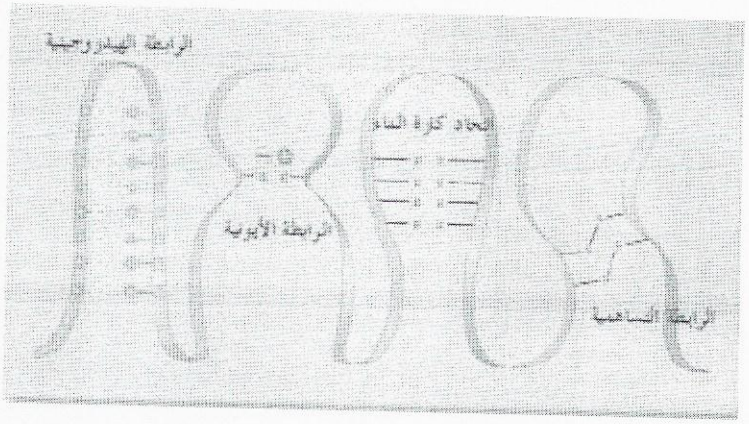
الكهربائية وقوى فاندرفالس . والشكل التالي يوضح التركيب الثانوي والثالثي لبروتين الميوغلوبين هو بروتين يحمل أكسجين الأنسجة العضلية، وهو يحفظ احتياطي الأكسجين ويساعد على حركته . يحتوي الميوغلوبين بالإضافة إلى السلسلة الببتيدية على زمر غير بروتينية تدعى بالهيم. ترتبط زمرة الهيم مع البروتين وهي بدورها تربط جزيئات الأكسجين. توجد زمرة الهيم أيضاً في الهيموغلوبين، خلايا الدم الحمراء التي تحمل الأكسجين. تدعى الزمر غير البروتينية المشتركة مع البروتين بالزمر الضميةProsthetic groups، وهي توجد في عدة بروتينات. تدعى البروتينات المحتوية على زمر خاصة غير بروتينية بالبروتينات المقرونة Conjugated Proteins.



جزيئة الهيم: تبقى شاردة Fe^{2+} في الحالة +2 في الهيموغلوبين الحامل للأكسجين دون أن يتأكسد



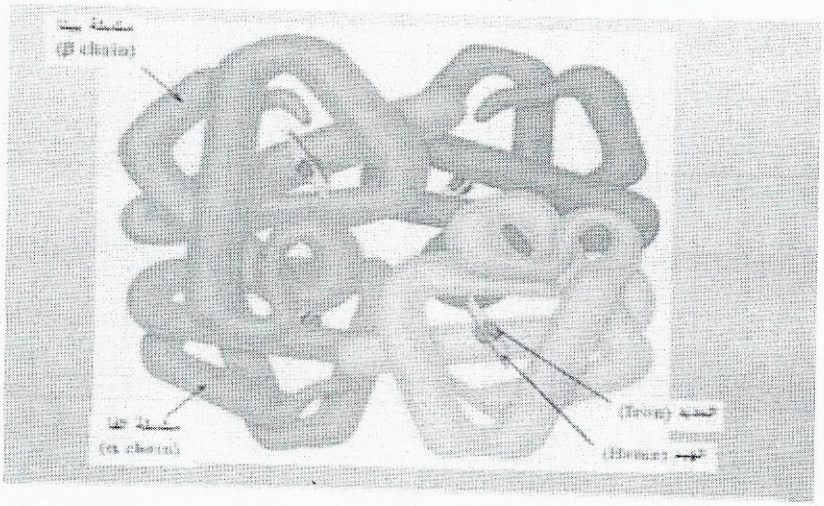
تنثني الجزيئة البروتينية آلياً على نفسها تحت تأثير القوى الناشئة عن الروابط السابقة وغيرها التي تشكلها السلاسل الجانبية. يوجد أيضاً لبعض البروتينات بنية رابعية.



-4- البنية الرابعية للبروتينات Quarternary Structures of Proteins :

البنية الرابعية للبروتينات هي التوضع الفراغي لجزيئة البروتين الحاوية عدة سلاسل بولي ببتيدية (وكل سلسلة لها بنيتها الخاصة الأولية والثانوية والثالثية) تثبت بشدة في الفراغ وتبدي فعالية بيولوجية.

أغلب البروتينات التي يبلغ وزنها الجزيئي أكثر من 50 ألف لها بنية رابعية. تتكون جزيئات كثير من البروتينات من عدة وحدات تدعى كل وحدة (مونومير) ويعطي اتحادهم (مولتمير) وتظهر الفعالية البيولوجية باجتماع كل وحداته المكونة للجزيئة.



التركيب الرباعي للبروتينات. كما في الهيموغلوبين

الذي يتكون من أربع جزيئات ملتفة من متعدّد الببتيدات

الروابط التي تثبت البنية الرابعية :

- **الروابط المشتركة:** وهي تشترك في ربط السلاسل الببتيدية في جزيئة (مولتمير) واحدة. وهي جسور ثنائية الكبريت.

- **الروابط الشاردية:** تشترك الروابط الشاردية بشكل واسع في تثبيت البنية الرابعية للبروتينات. وتتشكل بين الشوارد المعدنية وسلاسل الأحماض الأمينية الجانبية ثنائية الكربوكسيل.

- **قوى تبادل ضعيف:** وهي تساهم بشكل كبير في تثبيت البنية الرابعية. وتتشكل نتيجة التبادلات الهيدروفوبية لسلاسل الأحماض الأمينية الجانبية الهيدروفوبية، وكذلك الروابط الببتيدية بين السلاسل الجانبية.

مجموع التأثيرات السابقة كافية لضمان ثبات البنية الرابعية.

- **تصنيف البروتينات Classification of Proteins :**

لا يوجد تصنيف واحد يأخذ في الاعتبار كل خواص البروتينات، ولكن يمكن تقسيمها بشكل عام إلى قسمين رئيسين هما البروتينات البسيطة التي لا يدخل في تركيبها سوى السلاسل الببتيدية والبروتينات المقترنة أو المرتبطة وهي التي تحتوي في تركيبها على أجزاء أخرى غير بروتينية.

1- البروتينات البسيطة:

وتشمل البروتينات البسيطة وهي البروتينات التي تعطي أحماضاً أمينية فقط بعملية الحلمهة وهي ذات وزن جزيئي مرتفع ، تلعب دوراً مهماً في النشاط الخلوي للخلايا والنسج الحية. تُقسم بدورها إلى :

أولاً: البروتينات الليفية Fibrous:

تشمل أغلب البروتينات الحيوانية ذات الوظيفة البنائية فهي تقابل إلى حد ما الكربوهيدرات البنائية في النباتات كالسيللوز والبكتين، وتتميز هذه البروتينات بقوة ميكانيكية ناتجة عن ترتيب سلاسلها الببتيدية بطرق منتظمة مثلما تنتج متانة الحبل من التفاف خيوطه التي قد تكون واهية لو أخذ كل منها بمفرده. وهي غير ذوابة في الماء، غنية بالأحماض الأمينية اللاقطبية الكارهة للماء، مقاومة للتحلل الأنزيمي وتشمل ما يلي:

1- الكيراتينات Keratins:

وتشمل البروتينات المكوّنة للشعر والصوف والحرير والريش والأظافر والحوافر والشوكيات والقرون... الخ، والكيراتين غني بروابط الكبريت. وتصنَّف بحسب التركيب البنيوي إلى صنيفين أساسيين هما:

أ- ألفا كيراتين α- Keratin:

وهي بروتينات تتميز باحتوائها على نسبة عالية من حمض السيستين بنسبة (10-20%)، ونظراً لتركيبها الحلزوني واحتواء سلاسلها على روابط كثيرة ثنائية السلفيد فإنّ لبعضها خاصية الامتطاطية كالشعر والصوف فيتمدّدان بالتسخين ويتقلصان بالبرد.

ب- بيتا كيراتين β − Keratin:

وأشهر أمثلتها الحرير وخيوط العنكبوت وقشور الزواحف وهي كيراتينات غير مطاطة فلا تتمدّد بالتسخين، لا تحتوي على روابط ثنائية السلفيد بشكل كبير كسابقتها بسبب قلة محتواها من السيستين، إلا أنها تتميز باحتوائها على نسبة عالية من الأحماض الأمينية ذات الجذور الصغيرة كالغلايسين والألانين والسيرين مما يسمح باستطالة سلاسلها الببتيدية فتكتسب بذلك تركيباً خاصاً غير حلزوني وإنما يكون على شكل مطوي أو مثني.

2- الكولاجينات Gollagens:

تشمل حوالي ثلث بروتينات الجسم في الثدييات حيث تشمل البروتينات الدعامية المكوّنة للأنسجة الرابطة والضامة كالجلد والغضاريف، تتميز الكولاجينات باحتوائها على نسبة عالية من الغلايسين (33%) ومن الأحماض الأمينية البرولين (10%) وهيدروكسي البرولين (10%)، ولكنها لا تحتوي مطلقاً على التريبتوفان ولا على أية روابط ثنائية السلفيد بسبب غياب حمض السيستين. وهي غير ذوابة في الماء لها تركيب إسفنجي تمتص الماء بنسبة كبيرة، تتحوّل بالغليان إلى جيلاتين ذواب وهو خليط من ببتيدات عديدة. تحول الكولاجين إلى جيلاتين عنما تطبخ اللحمة هي خطوة أولية مهمة لمراحل الهضم التالية. للكولاجينات بنية حلزونية ثلاثية الأبعاد خاصة وتلتف كل ثلاث سلاسل ببتيدية معاً كخيوط الحبال.

ثانياً: البروتينات الكروية أو المنطوية Globular:

وهي بروتينات تأخذ سلاسلها الببتيدية أشكالاً كروية أو بيضوية غالباً نتيجة الانطواء الكثير لسلسلتها أو سلاسلها الببتيدية، بحيث تكون جذور الأحماض الأمينية اللاقطبية متجهة للداخل والجذور القطبية المحبة للماء بارزة على السطح الخارجي نحو الخارج. يضم هذا القسم معظم البروتينات الذوابة في الماء وفي المحاليل الملحية الممددة وتمتاز بسرعة النفوذ والانتشار ذات الوظائف الحيوية. نذكر من أمثلة البروتينات المتكورة ما يلي:

1- الألبومينات Albumins:

هي مجموعة بروتينات تتميز بانخفاض وزنها الجزيئي، وذوبانيتها في الماء خالي الأم لاح (قليل القساوة) وتجلطها بالحرارة، ويكثر انتشارها في المملكتين النباتية والحيوانية. من أمثلتها: زلال البيض، ألبومين الدم،ألبومين النسيج العضلي، ألبومين مصل الحليب، ليوكوسين الحبوب، ليجيوميلين البقوليات. ولألبومين مصل الدم الذي يكوّن الجزء الرئيسي من بروتينات بلاسما الدم، أهمية كبيرة في المحافظة على الضغط الحلولي للدم، وحمل الشحوم، السكاكر، شوارد المعادن وغيرها من المركبات التي لا تستطيع الانحلال في الدم. تنحل اللبومينات بسهولة (أو تتشتت بسهولة في محلول غروي) في الماء النقي وتتخثر عند التسخين.

2- الغلوبيولينات Globulins: غلوبيولين

ذوابة في المحاليل الملحية الممدة وغير ذوابة بالماء، وتترسب بمحلول نصف مشبع من كبريتات الأمونيوم. توجد في زلال البيض والنسيج العضلي وفي بلاسما الدم والأنسجة النباتية ولها عدة أنواع يرمز لها بحروف مثل ألفا – بيتا – جاما ... الخ. ولـ γ – غلوبولينات بلاسما الدم أهمية كبيرة لأنها تشكل جزءاً من دفاعات الجسم ضد الأمراض المعدية. من أمثلتها: غلوبيولين الحليب ، الميوسين والأكتين في اللحوم، الغلايسينين في الصويا .

ينتج الجسم بعض أنواع الغلوبيولينات كرد فعل عند دخول جزيئات معقّدة غريبة إليه وتسمّى هذه المفرزات بالأجسام المضادة Antibodies .

3- الغلوتيلينات Glutelins:

بروتينات نباتية غير ذوابة في الماء وذوابة في المحاليل الممدة للأحماض والقلويات . من أمثلتها: الغلوتينين في القمح والأورايزينين في الأرز .

4- البرولامينات Prolamins:

بروتينات نباتية غير ذوابة بالماء وتذوب في محاليل كحولية (70-80%) من أمثلتها: الزين في الذرة ، الجلياذين في القمح والهوردينين في الشعير ، وهي مجموعة البروتينات الرئيسة في الذرة والشعير والقمح.

- تغيّر التركيب الطبيعي للبروتين Protein Denaturation:

يُسمَّى في بعض الكتب التشوه أو المسخ وهو تحطيم التركيب ثلاثي الأبعاد شديد التنظيم بتغيّر التركيب الطبيعي (Denaturation)، ويؤدّي ذلك إلى انكسار معظم الروابط الهيدروجينية دون التأثير على روابط الببتيد مما يعني تحطيم التراكيب الثانوية والثالثية وارتخاء الحلزونات، فيفقد البروتين تركيبه الطبيعي الأصلي وتتغيّر خواصه الفيزيائية فتزداد اللزوجة وتقل الذوبانية، وغالباً ما يؤدي ذلك إلى فقدان الأنزيمات لنشاطها نتيجة الخلل الذي يحدث في المواقع الفعالة المسؤولة بشكل مباشر عن النشاط الحيوي فتتغير الخواص الحيوية. والسبب الرئيس في تغير تلك الخواص هو الخلل الذي يحدث في المواقع الفعالة الموجودة في أماكن معينة من سطح الجزيء البروتيني والمسؤولة بشكل مباشر عن قيامه بنشاطه الحيوي.

أهم العوامل التي تؤدي إلى تخثير البروتينات وتغير تركيبها الطبيعي:

- تغيّر pH الوسط يؤدي إلى تغيّر طبيعة البروتين وغالباً ما تترسب بفعل ذلك نتيجة تغيّر شحنات معظم مجموعات السلسلة الجانبية للبروتين وتساوي الشحنات الموجبة والسالبة وتجاذبها، وهذا يعرقل التجاذبات الإلكتروستاتيكية ويعرقل تشكيل الروابط الهيدروجينية.
- تؤدي بعض المواد مثل اليوريا إلى تغير في طبيعة الهروتين.

- بعض منظّفات الصوديوم تؤدي إلى تغيّر في طبيعة البروتين من خلال الارتباط مع المجموعات اللاقطبية للبروتين، وبذلك تدخل في التفاعلات الهيدروفوبية الطبيعية .
- تحدث المذيبات العضوية إعاقة في التفاعلات الهيدروفوبية مما يغيّر التركيب الطبيعي للبروتين وتؤدي لتخثره .
- يمكن أن تتغيّر طبيعة البروتين ويترسّب بعوامل الحرارة والاهتزاز المؤدّية إلى زيادة الحركة الجزيئية والتي تعرقل قوى التجاذب مما يعني تخثّر البروتين ، ومثال ذلك التخثر الحاصل لألبومين البيض عند التعرّض للحرارة.

وغالباً ما يكون تغير التركيب الطبيعي غير عكسي ولكن يمكن أحياناً في ظروف خاصة أن يعود جزيء البروتين إلى بنيته الأصلية ويسترجع خواصه كلها أو بعضها بعد أن يكون قد تغير تركيبه الطبيعي، ويتغير عند تجلطها بالحرارة ولكن لا يتغير عند ترسيبها بالأملاح.

البروتينات المعقدة:

تصنف البروتينات بشكل آخر وذلك بالنسبة إلى طبيعة الزمر الضمية (الملحقة، Prosthetic group) غير البروتينية المرتبطة مع البيروتينات البسيطة. وتسمى البروتينات المعقدة أو المرتبطة. نذكر من أمثلتها ما يلي:

1- البروتينات السكرية:

هي البروتينات التي يرافقها وحدات سكرية، وهي في أغلب الحالات مركبات عالية الوزن الجزيئي. توجد بعض بروتينات هذه المجموعة في الإفرازات المخاطية للكائنات الحية. تتكون هذه البروتينات في الغدد اللعابية تحت الفك السفل والكبد وغدد المعدة والأمعاء . وتوجد في الغضاريف وزلال البيض وجسم العين البلوري.

الرابطة بين السكاكر والبروتينات ثابتة وينفصل السكر فقط بعد هضم الجزاء البروتينية . تتحقق الرابطة بين السكاكر والأجزاء البروتينية غالباً بواسطة الزمرة الكربوكسيلية لبقية حمض الأسبارتيك، وأحياناً مع الحمض الأميني الموجود في الطرف – N للجزيئة البروتينية.

2- البروتينات الصبغية:

وهي البروتينات التي يرافقها وحدات صبغية، وقد درس من هذه البروتينات الصبغية بشكل جيد الهيموغلوبين. والهيموغلوبين عبارة عن اتحاد بروتين الغلوبين مع الهيم المادة الملونة لكريات الدم الحمراء. لا ينتسب الهيموغلوبين إلى البروتينات المعدنية بالرغم من وجود معدن الحديد، لأن الحديد يدخل بتركيب زمرة الهيم ولا يرتبط مباشرة مع البروتين.

تلعب البروتينات الصبغية دوراً مهماً في النشاط الحيوي وفي تسريع الوساطة الحيوية في مراحل البيوكيمياء الرئيسية كالاصطناع الضوئي ونقل الأكسجين وتفاعلات الكسدة والإرجاع.

3- الفلافوبروتينات: وتلعب أدواراً مهمة في عمليات الأكسدة والاختزال نظراً لاحتوائها على صبغة الفلافين الصفراء والتي يمكنها أخذ إلكترونات وإعطاؤها.

4- البروتينات الشحمية:

وهي البروتينات التي تحمل جزيئات شحمية، كالشحوم الفوسفورية والكولسترول، بالإضافة للحموض المينية. تنتشر البروتينات الشحمية بشكل واسع في الطبيعة. درس بشكل جيد α – و β – ليبوبروتئيدات بلازما الدم. يضم α – ليبوبروتئيد حوالي 3% من بروتينات بلازما الدم (وزنه الجزيئي 200000)، ويتألف من 65% بروتين و 35% شحوم. ويوجد أيضاً β – ليبوبروتئيد في بروتينات بلازما الدم بنسبة 5% (وزنه الجزيئي 1300000)، ويحتوي على ٢٥% بروتين وبقية ٧٥% تذهب لمختلف الشحوم.

تكون الروابط الكيميائية بين الشحوم والبروتينات شاردية إذا كانت الجزيئات الشحمية تحتوي على زمرة شاردية كما في الشحوم الفوسفورية. أما إذا كانت الجزيئات الشحمية غير متشردة كما في الدسم المعتدلة فالبروتين في هذه الحالة يلتف حول القسم الشحمي الذي يصبح في المركز .

5- البروتينات المعدنية:

وهي البروتينات التي تضم شوارد معدنية بالإضافة إلى الأحماض الأمينية. ويقترح بأن المعادن (Fe, Cu, Mg, ...) ترتبط مباشرة مع عناصر السلسلة الببتيدية وليس عن طريق زمر خاصة. والمثال على البروتينات المعدنية هو الفرريتين الموجود في الطحال والذي يستخلص بشكل نقي. يدخل بتركيب الفرريتين 20% حديد.

6- البروتينات النووية:

وهي البروتينات المرتبطة مع الأحماض النووية مثل الريبوسومات وبعض الفيروسات. تلعب البروتينات النووية دوراً عظيماً في النشاط الحيوي للكائنات الحية، فهي تدخل بتركيب أي خلية فهي توجد حتماً في النواة والسيتوبلازما. وتوجد بعض البروتينات النووية في الطبيعة بشكل جزيئات خاصة لها فعالية مرضية (فيروسات).

يكون الارتباط بين الحمض النووي والبروتين شاردي، لأن البروتينات تحمل عدداً كبيراً من الشحن الموجبة (على بقية الأرجينين والليزين) بينما تحمل الأحماض النووية عدداً كبيراً من الشحن السالبة (على بقية الفوسفات).

7- البروتينات الفوسفورية:

وهي البروتينات الحاوية رابطة إسترية بين السلسلة الجانبية لبقية السيرين والثريونين وزمرة الفوسفات، وتتسم هذه الفئة بخواص حمضية واضحة.

يعتبر الكازئين بروتين الحليب الشكل المثالي النموذجي على البروتينات الفوسفورية. يوجد الكازئين في الحليب بشكل ملح كالسيومي. لا يتخثر عند تسخينه، وينفصل بشكل حر بتأثير الحُماض على أملاحه. يتراوح الوزن الجزيئي للكازئين من ٢٥ – 100 ألف وهو مكون من ثلاث بروتينات α – و β – و γ – كازئين بنسبة 1:4:15 ونسبة الفوسفور هي 0.96% ، 0.52% ، 0.1% على التوالي.