

Lecture 9

Biology

Macromolecules



By: S.M.S.M

Characteristic of peptide bond: Rigid and Planar

الصفة الأولى

Coplanar

- **Planar:** The six atoms of the peptide group lie in a single plane, with the oxygen atom of the carbonyl group and the hydrogen atom of the amide nitrogen **trans to each other**.

الصفة الثانية

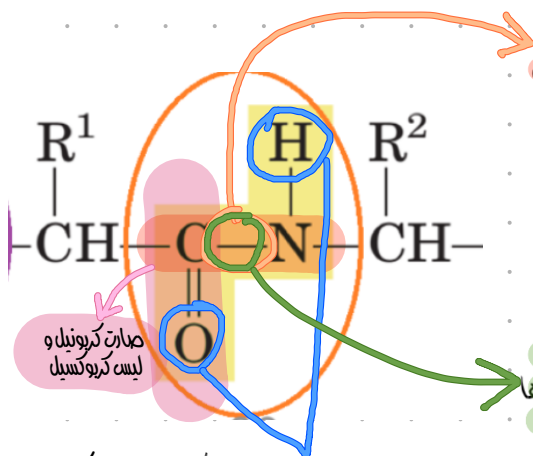
- **مسطحة (Planar):** تقع الذرات الست المكونة لمجموعة الببتيد في مستوى واحد، بحيث تكون ذرة الأكسجين في مجموعة الكربونيل (carbonyl group) وذرة الهيدروجين في نيتروجين الأميد (amide nitrogen) في وضعية "ترانس" (trans) (متقابلين) بالنسبة لبعضهما البعض.

الصفة الثالثة

- **Rigid, Unable to rotate around its axis.** The two amino acids linked by such a bond are **not free** to rotate around the N—C linkage because the peptide bond has a partial double-bond character, unlike the N—C and C—C bonds to the central carbon of the amino acid.

الصفة الرابعة

- **صلبة (Rigid):** غير قادرة على الدوران حول محورها. الحمضان الأمينيان المرتبطان بهذه الرابطة ليسا حرين في الدوران حول رابطة N—C لأن الرابطة الببتيدية تمتلك خاصية الرابطة المزدوجة الجزئية (partial double-bond character)، على عكس روابط N—C و C—C المرتبطة بالكربون المركزي للحمض الأميني.



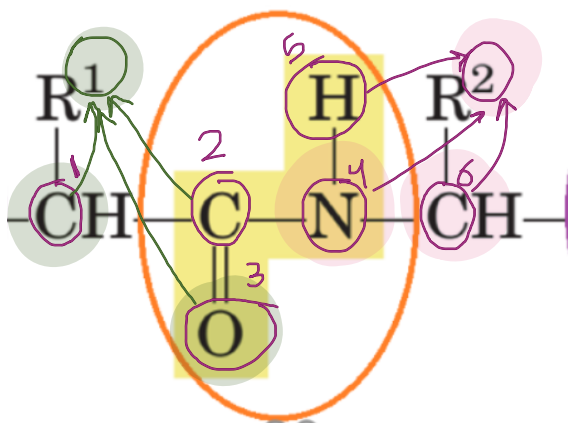
هذه الرابطة الببتيدية هي عبارة عن كربون نيتروجيني وهي رابطة أحادية اذ من المفترض انها تكون حرة الدوران حول محورها و لكن في الرابطة الببتيدية هذه الرابطة لا تكون حرة الدوران حول محورها كما هو معروف عن الروابط الأحادية

هذه الرابطة تحمل صفات أحادية وثنائية فهي أحادية لانها كربون نيتروجينية و لكن هي كرابطة ببتيدية عندها خصائص الرابطة ثنائية جزئية مثال على ذلك انها هي اقصر من الرابطة الأحادية و لكنها اطول من الثنائية بين طول الأحادية و الثنائية اذ هي جمعت صفات وسطية بين الأحادية و الثنائية

موجوديه في وضعية ترانس اي عكس بعض لذلك الأكسجين لمجموعة الكربونيل و الهيدروجين لمجموعة الأميد عكس اتجاه بعض (خلف خلف) وهذا الوضع معهم جدا عند تكوين الروابط الهيدروجينية داخل سلسلة الفا في عديد الببتيد

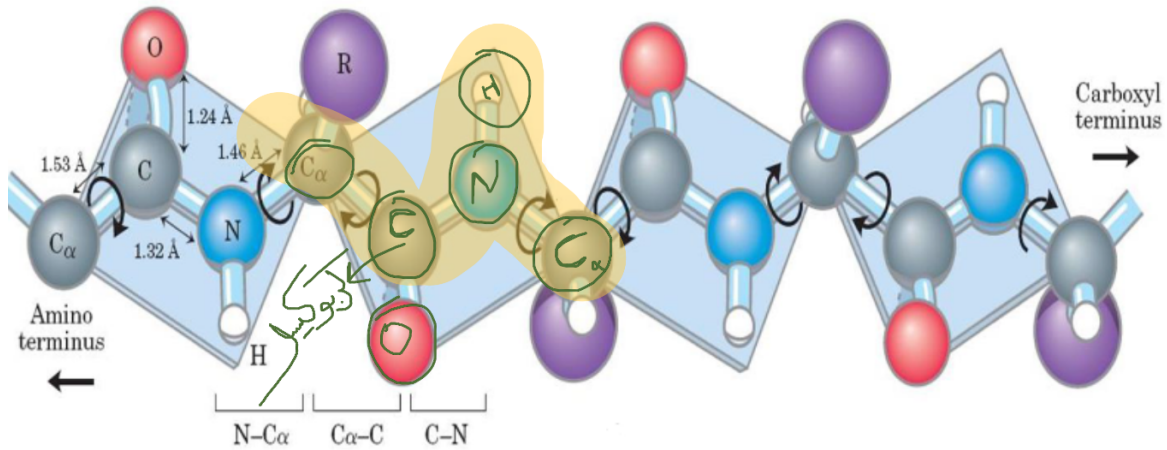
- **Longer than double bond but shorter than a single bond**

• هي أطول من الرابطة المزدوجة ولكنها أقصر من الرابطة الأحادية.

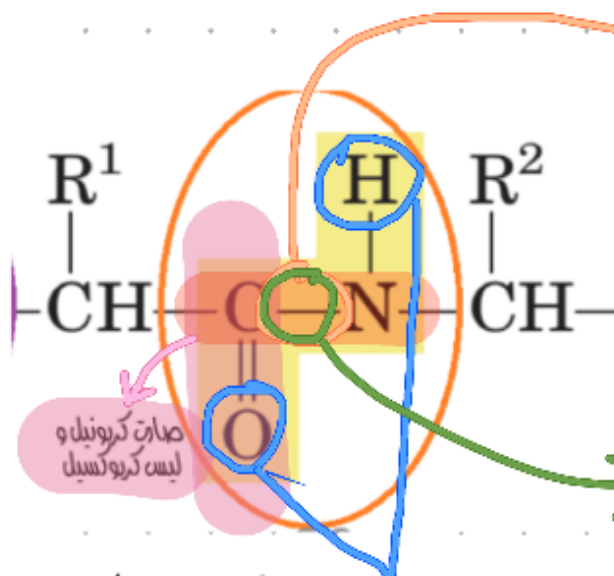


الرابطة الببتيدية هي رابطة بين ذرتين و لكن الست ذرات التي تحيط بالرابطة الببتيدية اي التي تشارك في تكوين هذه الرابطة الببتيدية هي موجودة في مستوى واحد وهي

(الألفا كربون للحمض الأميني الأول + الكربوكسيل للحمض الأميني الأول + النيتروجين للحمض الأميني الثاني + الهيدروجين للحمض الأميني الثاني + الألفا كربون للحمض الأميني الثاني)



- الشرح: يوضح الرسم أن الذرات الست للمجموعة الببتيدية تقع في مستوى واحد (Planar)، مع وجود ذرة الأكسجين وهيدروجين الأميد في وضعية تضاد (trans)
- الملخص: الرابطة الببتيدية صلبة وغير قابلة للدوران حول محورها بسبب امتلاكها خصائص الرابطة المزدوجة



هذه الرابطة الببتيدية هي عبارة عن كربون نيتروجيني وهي رابطة أحادية أذن هذه المفترض أنها تكون حرة الدوران حول محورها و لكن في الرابطة الببتيدية هذه الرابطة لا تكون حرة الدوران حول محورها كما هو معروف عن الروابط الأحادية

هذه الرابطة تحمل صفات أحادية و ثنائية هي أحادية لأنها كربون نيتروجيني و لكن هي كرابطة ببتيدية عندها خصائص الرابطة ثنائية جزئية مثال على ذلك أنها هي أقصر من الرابطة الأحادية و لكنها أطول من الثنائية بين طول الأحادية و الثنائية (اذن هي جمعت صفات وسطية بين الأحادية و الثنائية)

موجوديه في وضع ترانس اي عكس بعض لذلك الأيسجيه لمجموعة الكربونيك و الهيدروجين لمجموعة الأميد عكس اتجاه بعض (خلف خلاف) و هذا الوضع معهم جدا عند تكوين الروابط الهيدروجينية داخل سلسلة ألفا في عديد الببتيد

A Protein's Function Depends on its Shape

لانه لو انا بدي اعمل بروتين اذن هعمل عديد بيتيد البروتينات عبارة عن سلاسل طويلة
من عديد البيتيد ملتفة بشكل معين يعطي للبروتين الشكل الوظيفي له

وظيفة البروتين تعتمد على شكله

- Proteins consist of long **amino acid chains folded** into complex shapes

تتكون البروتينات من سلاسل طويلة من الأحماض الأمينية المطوية (folded) في أشكال معقدة.

- The **shape** of a protein is very important because it determines the **protein's function**.

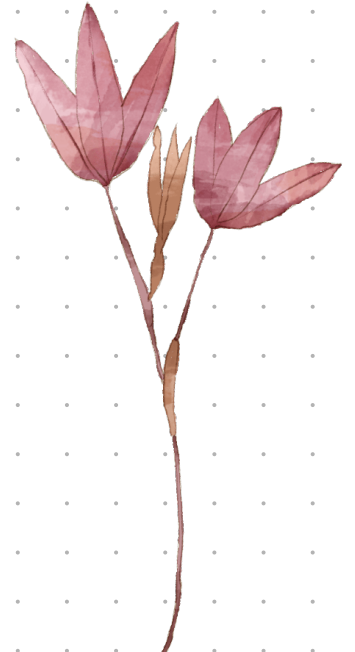
شكل البروتين مهم جداً لأنه يحدد وظيفة البروتين.

- a **general principle** about proteins structure and the folding of the polypeptide chain (s): essentially all the **internal amino acids are nonpolar ones**, amino acids such as leucine, valine, and phenylalanine. Water's tendency to hydrophobically exclude nonpolar molecules **pulls the nonpolar portions** of the amino acid chain **into the protein's interior**.

مبدأ عام حول بنية البروتين وطبي سلسلة (أو سلاسل) متعدد الببتيد: أساساً، جميع الأحماض
الأمينية الداخلية هي أحماض غير قطبية (nonpolar)، مثل الليوسين، والفالين، والفينيل
ألانين. ميل الماء لـ الاستبعاد الكاره للماء (hydrophobically exclude) للجزيئات غير
القطبية يسحب الأجزاء غير القطبية من سلسلة الأحماض الأمينية إلى داخل (interior)
البروتين.

لمن نحكي عن بروتينات موجودة في وسط بيولوجي أنا بجلي عن خلية أو
نسيج يعني بجلي عن وسط يحتوي على ماء و أنا بعرف انه البروتينات مكونة
من عشرين حمض امين بشكل اساسي وهذه الاحماض الامينية فيها
مجموعة ال R القطبية وغير القطبية القاعدة العامة انه مجموعة
ال R الغير قطبية للاحماض الامينية عادة توجد في داخل البروتين

يقول عدم التوافق بينه الجزء المائي في الخلية مع الجزء غير
القطبي للحمض الامينية بسبب ان الاحماض الامينية
انها تكون محبوبة داخل البروتين



- This situation positions the **nonpolar amino acids in close contact** with one another, leaving little empty space inside.

• هذا الوضع يضع الأحماض الأمينية غير القطبية في اتصال وثيق مع بعضها البعض، مما يترك مساحة فارغة صغيرة في الداخل.

يعمل hydrophobic-hydrophobic تفاعل وهو تفاعل ليس له أي قوى كهربية أو كيميائية فقط هاربييه مع كرههم للماء

- Polar and charged amino acids are restricted to the surface of the protein** except for the few that play key functional roles.

• الأحماض الأمينية القطبية والمشحونة تقتصر على سطح البروتين باستثناء القلة التي تلعب أدواراً وظيفية رئيسية.

هذه الأحماض الأمينية المهمة (مهمة لأن شحنتها وقطبيتها تعمل تفاعل مع الماء وتجعل الماء ذائبة في المحاليل المائية في الخلية و إلا إذا فقدت الذائبة مع الماء اذن سيحدث لها مسخ وسنقذف طبيعتها و تصبح بروتينات غير وظيفية)

يعني انه يكون هذا الحمض الأميني القطبي او المشحون جزء من الناحية الفعالة في الانزيم وهذا الجزء الفعال في الانزيم موجود داخل البروتين سلكون في الداخل و ليس شرطاً ان يكون على السطح الخارجي

اذ من ناحية بنائية هذه الأحماض الأمينية القطبية والمشحونة يتواجدو على السطح اما من ناحية وظيفية فممكن انهم يتواجدو داخل هذا البروتين اذا كان هذا الحمض يلعب دور وظيفي في وظيفة هذا البروتين

- When a cell synthesizes a protein, polypeptides **folding is driven and reinforced** by the formation of **various bonds and forces** between parts of the chain, which in turn depends on the sequence of amino acids.

• عندما تخلق الخلية بروتيناً، يتم تحفيز وتعزيز طي سلاسل متعدد الببتيد من خلال تشكيل روابط وقوى مختلفة بين أجزاء السلسلة، وهو ما يعتمد بدوره على تسلسل الأحماض الأمينية.

اخذ الشكل الوظيفي لهذا البروتين يعتمد على تكوين روابط ما بين الأحماض الأمينية داخل السلسلة الببتيدية الواحدة للبروتين او بين السلاسل الببتيدية المختلفة لأن هناك بعض البروتينات تكون من سلسلة ببتيدية واحدة وبعضها يتكون من عدد من السلاسل الببتيدية مثل الهيموغلوبين يتكون من أربع سلاسل ببتيدية (2 ألفا و 2 بيتا او مشابهاً لافا و بيتا اذا كان هناك انواع مختلفة من الهيموغلوبين) اذن القوة الدافعة لتكوين هذا الشكل الوظيفي هي الروابط والقوى التي تربط جزيئات البروتين مع بعضها البعض داخل سلسلة عديد الببتيد و بين سلاسل عديد الببتيد المختلفة

- Many proteins are roughly spherical (**globular proteins**), while others are shaped like long fibers (**fibrous proteins**).

• العديد من البروتينات كروية تقريباً (البروتينات الكروية - globular proteins)، بينما يتشكل البعض الآخر مثل الألياف الطويلة (البروتينات الليفية - fibrous proteins).

Levels of Protein Structure

مستويات بنية البروتين :-

ما ندرس الشكل الوظيفي للبروتين بشكله على أربع مستويات شكلية لهذا البروتين

- The structure of proteins is traditionally discussed in terms of four levels of structure:

• تُناقش بنية البروتينات تقليدياً من حيث أربعة مستويات للبنية: الأولية، الثانية، الثالثة، والرابعة.

يتكلم عن عدد وأنواع و
تتابع الأحماض الأمينية في
السلسلة الببتيدية الواحدة

Primary,

هو يحدد شكل البروتين هو mRNA الذي تم
ترجمته و الذي حده تتابع النيوكليوتيدات
(القواعد النيتروجينية) في ال DNA او
تسلسل نيوكليوتيدات ال DNA في الجين
المسؤول عن تكوين هذا البروتين

هذا البروتين الشكل ال Primary له هو حده هو
تتابع القواعد النيتروجينية في جزء ال DNA الذي تم
نسخه ثم ترجمته ليعطي هذه الأحماض الأمينية

Secondary,

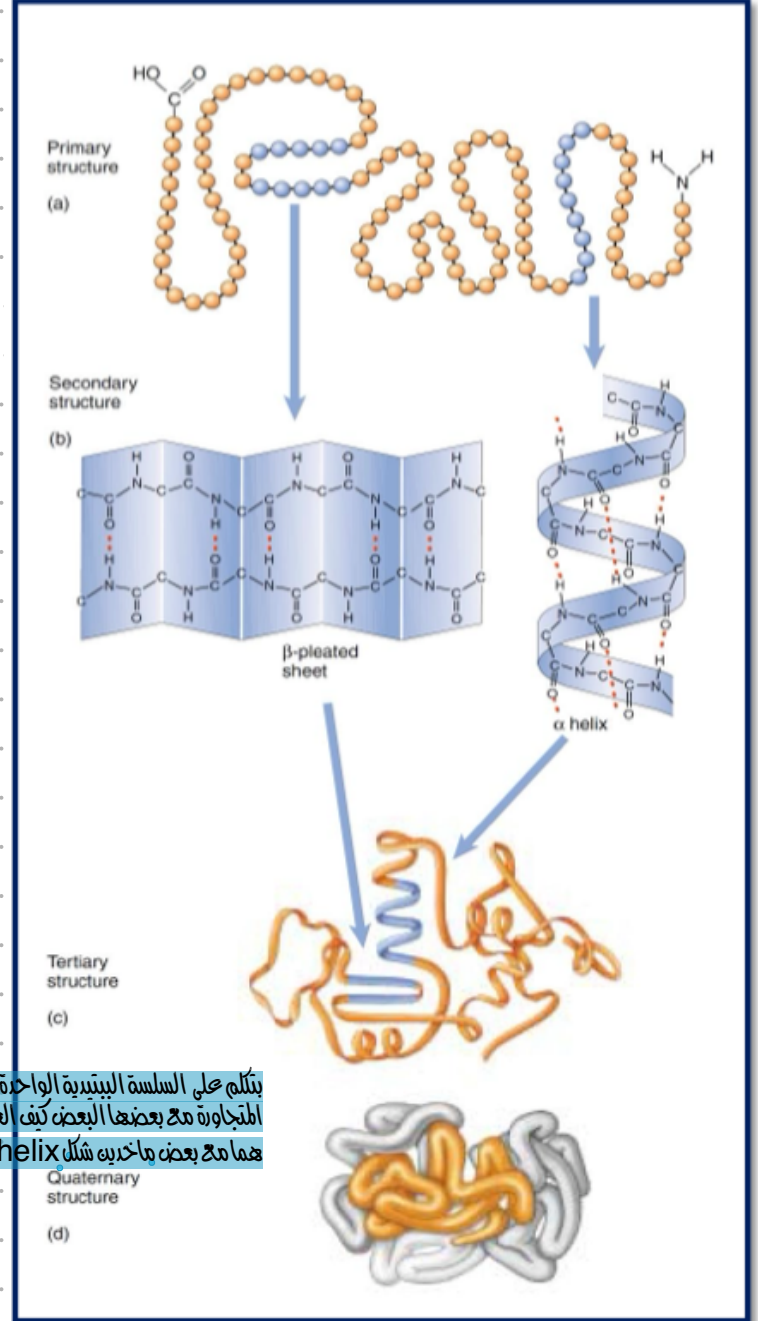
يتكلم على السلسلة الببتيدية الواحدة شو علاقة الأحماض الأمينية
المتجاورة مع بعضها البعض كيف العلاقة بين الأحماض الأمينية هل
هما مع بعض ماخريه شكل helix مثلا او شكل صفائح

Tertiary,

يتكلم عن الشكل ثلاثي الأبعاد
لهذه السلسلة الببتيدية

Quaternary

يتكلم عن علاقة أكثر من سلسلة ببتيدية في البروتين الواحد
يعني البروتينات التي تكون من أكثر من سلسلة ببتيدية واحدة لها شكل
Quaternary اما التي لها سلسلة واحدة فقط فلها فقط
Primary/ Secondary/ Tertiary



الشرح: تعرض الصور المستويات الأربعة لتنظيم البروتين:

○ الأولية (Primary): تسلسل خطي يحدده الحمض النووي (DNA).

○ الثانية (Secondary): طي السلسلة إلى حلزون ألفا (α helix) أو صفائح بيتا (β sheet) بفعل الروابط الهيدروجينية في العمود الفقري.

○ الثالثة (Tertiary): الترتيب ثلاثي الأبعاد الكامل للسلسلة.

○ الرابعة (Quaternary): تجمع وحدتين فرعيتين أو أكثر، مثل الهيموجلوبين.

Protein Primary Structure

- **Protein Primary Structure** refers to the specific amino acid sequence (type, number and order of amino acids)

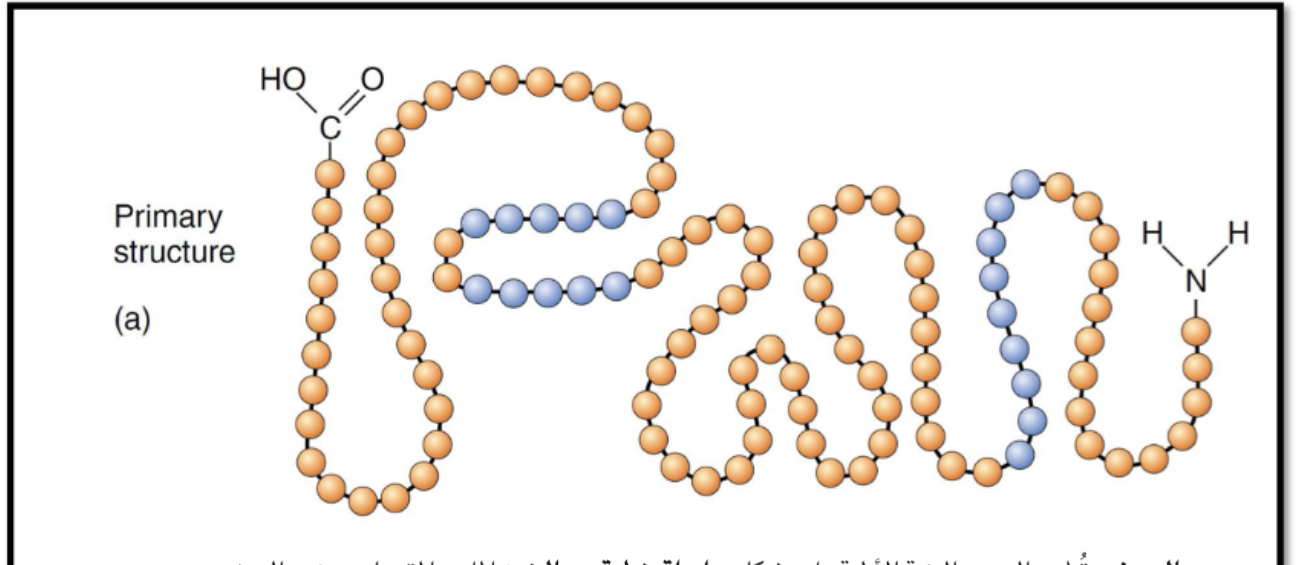
• البنية الأولية للبروتين (Protein Primary Structure): تشير إلى تسلسل الأحماض الأمينية المحدد (نوع، عدد، وترتيب الأحماض الأمينية).

- This sequence is determined by the nucleotide sequence of the gene (DNA) that encodes the protein.
- يتم تحديد هذا التسلسل من خلال تسلسل النيوكليوتيدات في الجين (DNA) الذي يشفر البروتين.

- Because the R groups that distinguish the various amino acids play no role in the peptide backbone of proteins, a protein can consist of any sequence of amino acids.

هناي الفقرة ما كانت موجودة
بسلايد الدكتور التي يشرح منه
لكنه موجودة بالسلايد !

• بما أن مجموعات R التي تميز الأحماض الأمينية المختلفة لا تلعب أي دور في العمود الفقري الببتيدي (peptide backbone) للبروتينات، يمكن للبروتين أن يتكون من أي تسلسل من الأحماض الأمينية.



- الوصف: تُظهر الصور البنية الأولية على شكل سلسلة خطية من الخرز الملون المتصل ببعضه البعض.
- التفسير: يمثل كل "خرزة" في الرسم حمضاً أمينياً واحداً، بينما تمثل الروابط بينها الروابط الببتيدية.
- الأهمية: تشير هذه الرسوم إلى أن البنية الأولية تتعلق بـ نوع وعدد وترتيب الأحماض الأمينية في السلسلة، وهو الترتيب الذي يحدده تتابع النيوكليوتيدات في الجين (DNA) المشفر لهذا البروتين.

Protein Secondary Structure

البنية الثانوية للبروتين

- **Secondary structure** is about the arrangement of the polypeptide chain in space

• البنية الثانوية تتعلق بترتيب سلسلة متعدد الببتيد في الفراغ.

- Most proteins have segments of their polypeptide chains repeatedly coiled or folded in patterns that contribute to the protein's overall shape.

• معظم البروتينات تحتوي على أجزاء من سلاسل متعدد الببتيد الخاصة بها ملتفة أو مطوية بشكل متكرر في أنماط تساهم في الشكل العام للبروتين.

- These **coils and folds (pleats)**, collectively referred to as **secondary structure**, are the result of hydrogen bonds between the repeating constituents of the polypeptide backbone (**not the amino acid side (R) chains**).

• هذه الالتفافات والطيّات (التثنّيات)، التي يشار إليها مجتمعة بالبنية الثانوية، هي نتيجة لـ الروابط الهيدروجينية (hydrogen bonds) بين المكونات المتكررة للعمود الفقري لمتعدد الببتيد (وليس السلاسل الجانبية R للأحماض الأمينية).

مهم جدا جدا انه هذه الرابطة الهيدروجينية عملتها الهيدروجين في مجموعة الاميد و الأوكسجين في مجموعة الكربونيل في الرابطة الببتيدية و ليس على الحمض الاميني في side chains

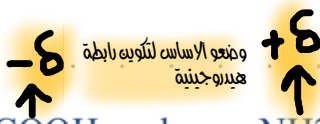
مكونات الأحماض الأمينية المكونة للسلسلة الببتيدية هي التي انتجت الرابطة الهيدروجينية لذلك ذكرنا على وجه التحديد الترانس في الرابطة الببتيدية لانهم مهمين في تكوين الرابطة الهيدروجينية في شكل الـ للسلسلة الببتيدية

لأنه يتكلم عن مكونات السلسلة الببتيدية يتكلم عن الأحماض الأمينية كيف عملت الرابطة الهيدروجينية بين بعضها البعض

- The folding of the amino acid chain by hydrogen bonding into these characteristic coils and pleats is called a protein's secondary structure.

إنّ انطواء سلسلة الأحماض الأمينية بفعل الروابط الهيدروجينية إلى هذه الالتفافات (الحلزونات) والتثنّيات المميزة يُسمى البنية الثانوية للبروتين.





- The α -COOH and α -NH₂ groups of the main chain form quite good hydrogen bonds.

تشكل مجموعات α -COOH و α -NH₂ في السلسلة الرئيسية روابط هيدروجينية جيدة تماماً.

نوعيه ال secondary

- Two patterns of H bonding occur: **α helix and β -pleated sheet** patterns.

يحدث نمطان من الروابط الهيدروجينية: حلزون ألفا (α helix) وأنماط صفيحة بيتا المطوية (β -pleated sheet).

الروابط الهيدروجينية في نفس السلسلة الببتيدية

- In one, hydrogen bonds form along a single polypeptide chain (**intrachain**), linking one amino acid to another farther down the chain, and thus tends to pull the chain into a coil called an **α helix**.

في النمط الاول، تتشكل روابط هيدروجينية على طول سلسلة متعدد ببتيد واحدة (داخل السلسلة - intrachain)، مما يربط حمضاً أمينياً بأخر أبعد في السلسلة، وبالتالي يسحب السلسلة إلى ملف يسمى حلزون ألفا.

انا عذري واحد helix و الروابط الهيدروجينية في نفس ال helix

بين سلسلتين

- In the other pattern, hydrogen bonds occur across two polypeptide chains (**interchain**), linking the amino acids in one chain to those in the other. Often, many parallel chains are linked, forming a pleated, sheet-like structure called a **β -pleated sheet**.

في النمط الآخر، تحدث الروابط الهيدروجينية عبر سلسلتي متعدد ببتيد (بين السلاسل - interchain)، مما يربط الأحماض الأمينية في إحدى السلاسل بتلك الموجودة في السلسلة الأخرى، وغالباً ما يتم ربط العديد من السلاسل المتوازية لتشكيل صفيحة بيتا المطوية.

في β -pleated sheet بتلك مع أكثر من سلسلة ببتيدية و الروابط بينها

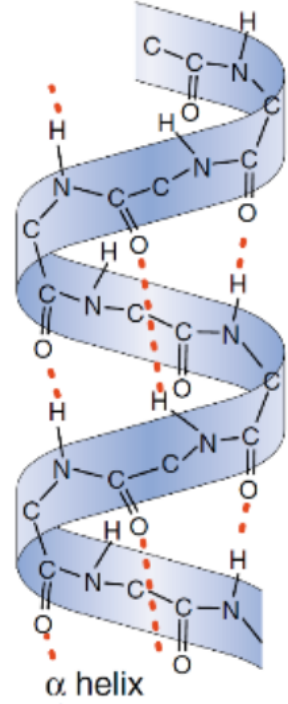


α helix and β -pleated sheet

1. رسم حلزون ألفا (α helix)

تُظهر الصور حلزون ألفا كبنية لولبية منتظمة، وتوضح التفاصيل التالية:

- **التفاف العمود الفقري:** يظهر العمود الفقري للبتيد ملتفاً بإحكام حول محور طولي وهمي، مما يعطيه شكلاً يشبه القضيب الملتوي.
- **مجموعات R الجانبية:** تبرز مجموعات R (السلاسل الجانبية) نحو الخارج من الهيكل الحلزوني، وهي مرتبة في مصفوفة حلزونية حول القلب الصلب للحلزون.
- **الروابط الهيدروجينية:** تظهر في الرسم كخطوط منقطة تربط بين ذرة الأكسجين في مجموعة (C=O) للحمض الأميني رقم (n) وذرة الهيدروجين في مجموعة (N-H) للحمض الأميني رقم (n+4): وهذه الروابط هي التي تضمن استقرار الحلزون وتكون داخل السلسلة الواحدة (Intrachain).
- **الأبعاد البنائية:** يحدد الرسم أن كل دورة كاملة في الحلزون يبلغ طولها 5.4 أنجستروم، وتتكون من 3.6 بقايا أحماض أمينية.
- **اتجاه الالتفاف:** يوضح المصدر أن الحلزون يكون عادةً يميني الاتجاه (Right-handed) لأنه الأكثر استقراراً من الناحية الطاقية.



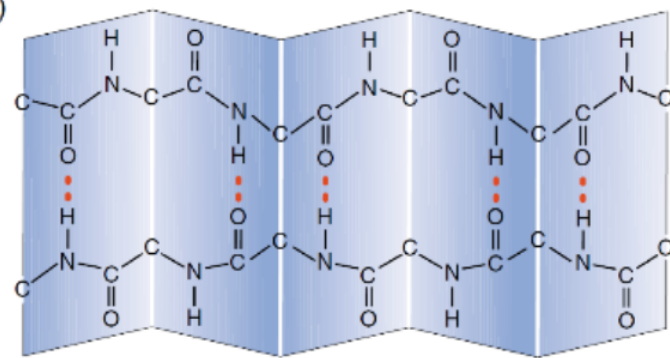
نلاحظ أن مجموعة الكربونيل في أحد الروابط الببتيدية ومجموعة الامية في رابطة ببتيدية أخرى نلاحظ أن الأكسجين يحمل شحنة جزئية سالبة والهيدروجين يحمل شحنة جزئية موجبة إذن يستطيعون أن يكونوا رابطة هيدروجينية ولك هذه الرابطة الهيدروجينية ما اجت مع المجاور له أو التالي أو الثالث اجت مع الرابع اللي بعده عشان أخذ شكل ألفا helix مستقر هذه الرابطة الهيدروجينية داخل السلسلة تتم ما بين كل حمض أميني يعني الرابطة الببتيدية فيه و الحمض الأميني الرابع الذي يكون قبله أو بعده

Secondary structure

2. رسم صفحة بيتا المطوية (β -pleated sheet)

يختلف شكل صفحة بيتا تماماً عن حلزون ألفا، حيث تظهر في الرسم كالتالي:

- **الامتداد:** يظهر خيط بيتا (β strand) في حالة تمدد كامل تقريباً بدلاً من الالتفاف المحكم.
- **الشكل المطوي:** تظهر السلاسل مرتبة بجانب بعضها البعض لتشكل بنية تشبه الورقة المطوية أو "الكسرات".
- **الروابط الهيدروجينية:** تظهر الروابط الهيدروجينية وهي تربط بين سلاسل ببتيدية متجاورة، أي أنها روابط بين السلاسل (Inter-chain).
- **توزع مجموعات R:** يوضح الرسم أن السلاسل الجانبية للأحماض الأمينية المتجاورة تبرز في اتجاهات متعاكسة (أعلى وأسفل مستوى الصفحة).
- **أنماط الترتيب (كما في الرسم 13):**
 - **متوازية (Parallel):** حيث تسير السلاسل المرتبطة في نفس الاتجاه.
 - **غير متوازية (Antiparallel):** حيث تسير السلاسل في اتجاهات متعاكسة، وهو النمط الذي يظهر غالباً في الرسوم التفصيلية.



β -pleated sheet

خلاصة القول: تبرز هذه الرسومات أن حلزون ألفا يعتمد على **الالتفاف الداخلي**، بينما تعتمد صفحة بيتا على **الاصطفاف الجانبي** للسلاسل الممددة، وكلاهما يستقر بواسطة الروابط الهيدروجينية في العمود الفقري للبروتين.

الرابطة الهيدروجينية صارت بين سلسلتين مختلفتين



The α Helix Is a Common Protein Secondary Structure

حلزون ألفا هو بنية ثانوية بروتينية شائعة

- The simplest arrangement the polypeptide chain could assume with its rigid peptide bonds (but other single bonds free to rotate) is a helical structure called the **α helix**.

• التعريف والترتيب الهيكلي: إن أبسط ترتيب يمكن أن تتخذه سلسلة متعدد الببتيد بروابطها الببتيدية الصلبة (Rigid) (مع حرية دوران الروابط الأحادية الأخرى) هو بنية حلزونية تسمى حلزون ألفا (α helix)

اذن هذا الشكل هو أبسط شكل ممكن تأخذه السلسلة الببتيدية اعتماداً على أن الرابطة الببتيدية صلبة فصلابتها الشكل الذي ممكن أن تكونه ويكون مستقر هو ألفا helix بهذه المواصفات

- In **α helix** structure the polypeptide backbone is tightly coiled around an imaginary longitudinal axis, and the R groups of the amino acid residues protrude or extend outward from the helical backbone.

في هذه البنية، يلتف العمود الفقري لمتعدد

الببتيد بإحكام حول محور طولي وهمي، وتبرز مجموعات R (السلاسل الجانبية) للأحماض الأمينية نحو الخارج من هذا العمود الفقري الحلزوني.

- A tightly coiled backbone forms the inner part of the rod and the side chains extend outward in a helical array
- The α helix is a coiled Structure stabilized by **intrachain hydrogen bonds**.

• وصف البنية: يشكل العمود الفقري الملتف بإحكام الجزء الداخلي من "القضيب" الحلزوني، بينما تمتد السلاسل الجانبية نحو الخارج في مصفوفة حلزونية. ويُعد حلزون ألفا بنية ملتفة يتم تثبيتها بواسطة روابط هيدروجينية داخل السلسلة (intrachain hydrogen bonds).

- The screw sense of a helix can be right-handed (clockwise) or left-handed (counterclockwise).
- However, right-handed helices are energetically more favorable because there is less steric clash between the side chains and the backbone.

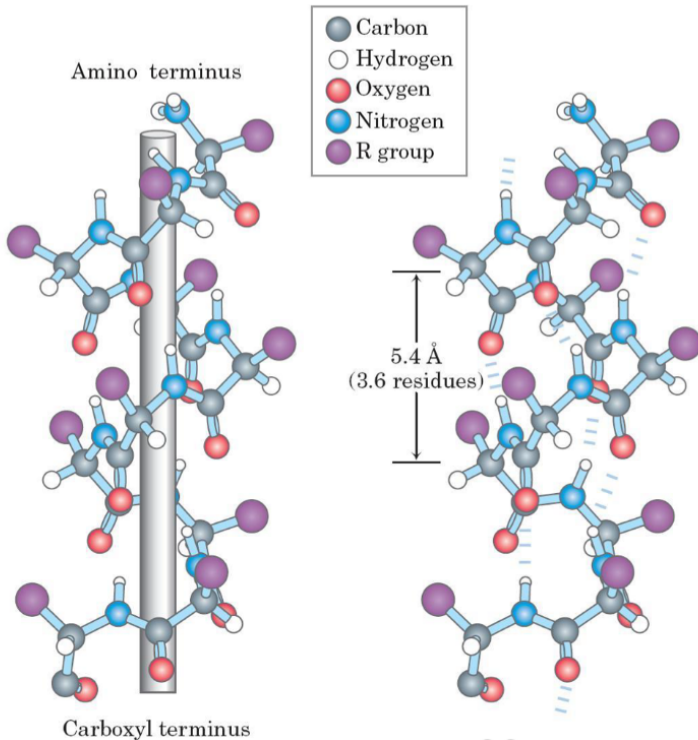
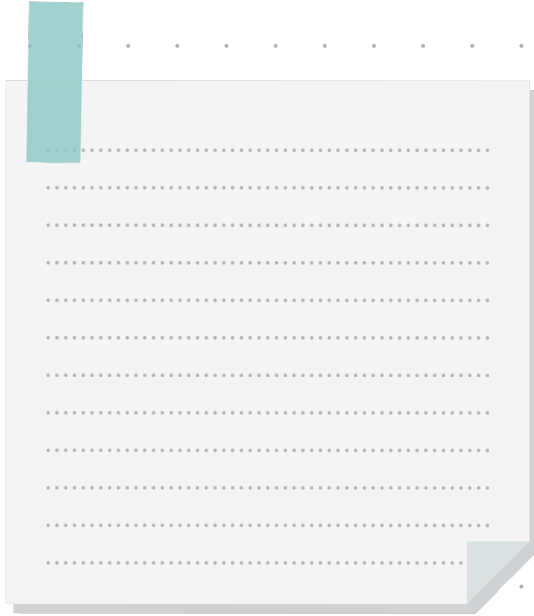
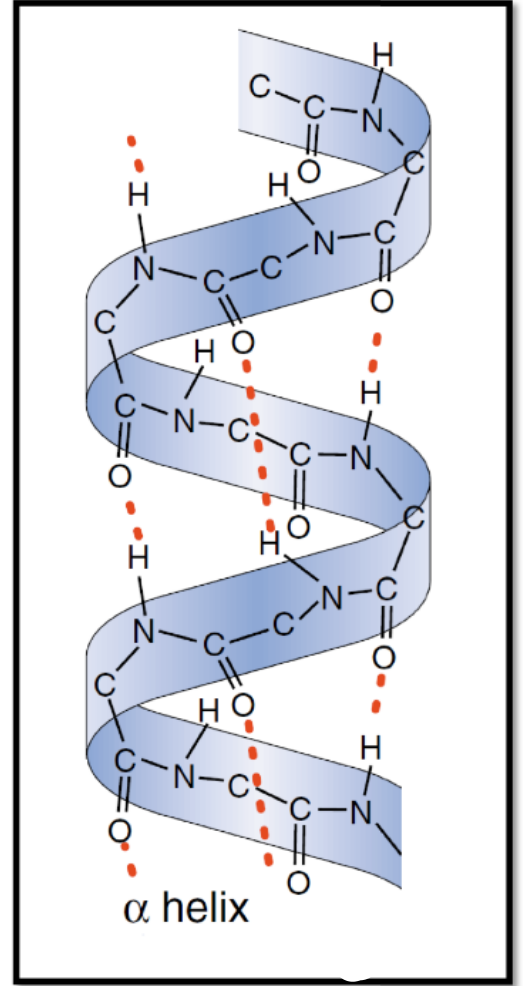
له بحكي عنه أي helix بحكي عنه يميني ويساري الاتجاه لكه له بكله عنه ال helix الموجود في سلسلة عديد الببتيد اذن هو يميني الاتجاه

- Essentially all α helices found in proteins are right-handed.

• اتجاه الدوران (Screw sense): يمكن أن يكون اتجاه دوران الحلزون يميني الاتجاه (مع عقارب الساعة) أو يساري الاتجاه (عكس عقارب الساعة). ومع ذلك، فإن الحلزونات يمينية الاتجاه هي الأكثر تفضيلاً من الناحية الطاقية لوجود تصادم فراغي (steric clash) أقل بين السلاسل الجانبية والعمود الفقري. وبناءً على ذلك، فإن جميع حلزونات ألفا الموجودة في البروتينات تقريباً هي يمينية الاتجاه.

• تمثيل الروابط الحمراء المنقطة: تمثل هذه النقاط الروابط الهيدروجينية (Hydrogen Bonds). وهي روابط "داخل السلسلة" (Intrachain) تربط أجزاء السلسلة الببتيدية ببعضها البعض لتثبيتها في هذا الشكل اللولبي..

- آلية الارتباط: يظهر الرسم أن هذه الروابط تتكون بين ذرة الأكسجين في مجموعة الكربونيل (C=O) لذرة كربون ببتيدية، وذرة الهيدروجين في مجموعة الأميد (N-H) لنيتروجين ببتيدي يقع بعيداً عنها في السلسلة..
- قاعدة الارتباط (n+4): توضح المصادر أن الرابطة الهيدروجينية (التي تمثلها النقاط الحمراء) تتشكل تحديداً بين مجموعة C=O للحمض الأميني رقم (n) ومجموعة N-H للحمض الأميني رقم (n+4)، أي الذي يبعد عنه بمقدار أربع بقايا أحماض أمينية.
- دور هذه الروابط: تعمل هذه الروابط كـ "دبابيس" أو "لدعائم" داخلية تقوم بسحب السلسلة الببتيدية وطّيها بشكل متكرر، مما يؤدي إلى تكوين هذا الملف المحكم (Coil).
- استقرار الهيكل: يظهر الهيكل الحلزوني ملتفاً حول محور طولي وهمي، وتبرز المجموعات الجانبية (R groups) نحو الخارج، بينما تظل الروابط الهيدروجينية (النقاط الحمراء) في قلب الحلزون لضمان عدم تفككه..



1. الالتفاف حول المحور الوهمي (الرسم في المصدر 9)

- تُظهر الصورة العمود الفقري المتعدد الببتيد وهو ملتف بإحكام حول محور طولي وهمي، مما يعطيه شكلاً يشبه القضيب الصلب.
- توضح الألوان في الرسم توزيع الذرات: الكربون (رمادي)، الهيدروجين (أبيض)، الأكسجين (أحمر)، والنيتروجين (أزرق).

2. تموضع مجموعات R (السلاسل الجانبية)

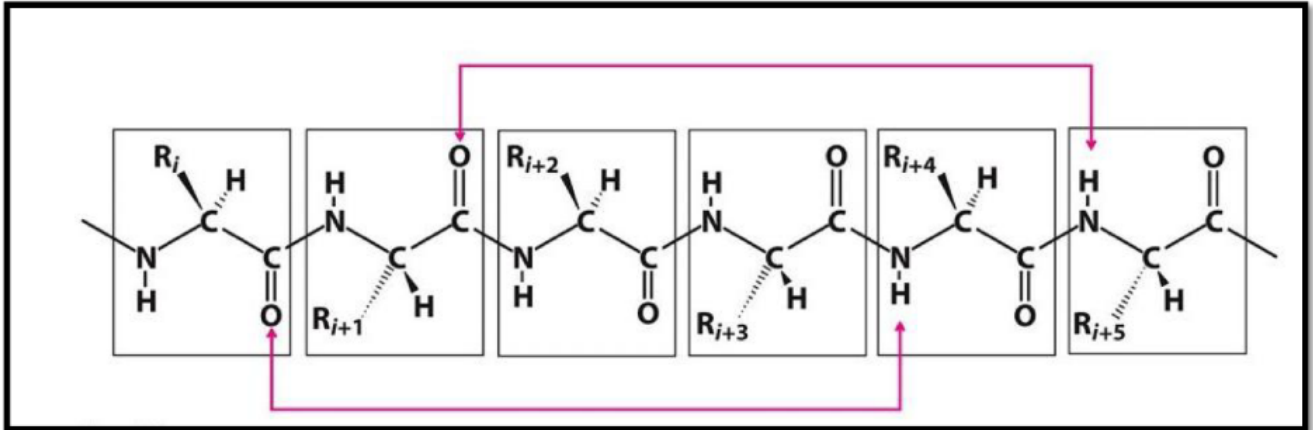
- تبرز مجموعات R (المثلة باللون الأرجواني في الرسم) نحو الخارج من الهيكل الحلزوني.
- هذا الترتيب، كما تظهره الصور، يمنع التصادم الفراغي (Steric clash) بين السلاسل الجانبية والعمود الفقري، وهو ما يجعل الحلزون يميني الاتجاه (Right-handed) هو الأكثر شيوعاً واستقراراً من الناحية الطاقة.

3. أبعاد الحلزون (الرسم في المصدر 9)

- يحدد الرسم المسافات الدقيقة داخل البنية: حيث يبلغ طول الدورة الواحدة للحلزون 5.4 أنجستروم (5.4 Å).
- تحتوي كل دورة كاملة في هذا الحلزون على 3.6 بقايا أحماض أمينية.

Hydrogen-Bonding Scheme For an α helix.

مخطط الروابط الهيدروجينية واستقرار التسلسل



- قاعدة الارتباط ($n+4$): يظهر الرسم أن مجموعة الكربونيل ($C=O$) للحمض الأميني رقم (n) تشكل رابطة هيدروجينية مع مجموعة الأميد ($N-H$) للحمض الأميني الذي يتتبع عنها بمقدار أربعة أحماض أمينية، أي الرقم ($n+4$).
- تتبع الأسهم في الرسم:
 - يشير السهم الوردي السفلي إلى ارتباط مجموعة $C=O$ من البقية الأولى (R_i) بمجموعة $N-H$ في البقية الخامسة (R_{i+4}).
 - يشير السهم العلوي إلى ارتباط مجموعة $C=O$ من البقية الثانية (R_{i+1}) بمجموعة $N-H$ في البقية الساد (R_{i+5}).
- نوع الروابط: هذه الروابط هي روابط هيدروجينية داخل السلسلة (Intrachain)، وهي المسؤولة عن سحب السلسلة الببتيدية لتأخذ شكل الملف أو الحلزون [6، 8].

In the α helix, the $C=O$ group of residue n forms a hydrogen bond with the $N-H$ group of residue $n+4$.

- آلية الترابط: في حلزون ألفا، تقوم مجموعة $C=O$ الموجودة في البقية (n residue) رقم n بتكوين رابطة هيدروجينية مع مجموعة $N-H$ في البقية رقم $n+4$.



Amino Acid Sequence Affects α Helix Stability

تأثير تسلسل الأحماض الأمينية على استقرار حلزون ألفا

- Not all polypeptides can form a stable α helix. Interactions between amino acid side chains can **stabilize or destabilize** this structure.

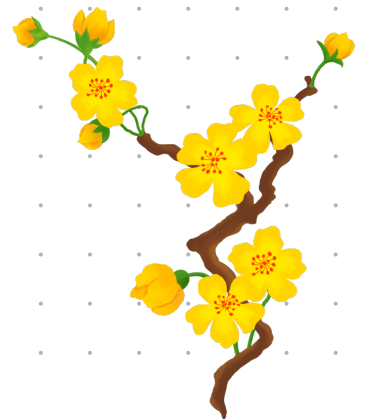
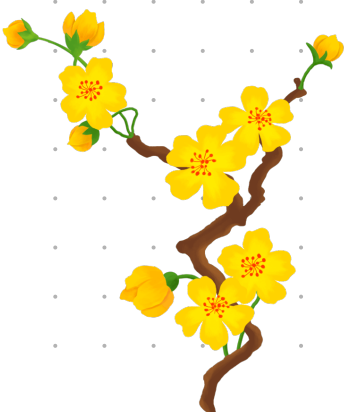
القواعد العامة والتنافر الكهربائي لا تستطيع جميع سلاسل متعدد الببتيد تكوين حلزون ألفا مستقر؛ إذ يمكن للتفاعلات بين السلاسل الجانبية للأحماض الأمينية أن تثبت هذا الهيكل أو تزعه استقراره

- If a polypeptide chain has a long block of **Glutamic acid** residues, this segment of the chain will not form an α helix at pH 7.0. The -ve carboxyl groups of adjacent Glutamic acid residues repel each other so strongly that they prevent formation of the helix. For the same reason, Lysine and/or Arginine residues (+ve).

فإذا كانت سلسلة متعدد الببتيد تحتوي على قطعة طويلة من بقايا حمض الجلوتاميك (Glutamic acid)، فإن هذا الجزء لن يشكل حلزون ألفا عند درجة حموضة (pH) تبلغ 7.0؛ لأن مجموعات الكربوكسيل سالبة الشحنة في البقايا المتجاورة تتنافر مع بعضها البعض بقوة شديدة تمنع تكوين الحلزون. وللسبب نفسه، تمنع بقايا اللايسين (Lysine) و/أو الأرجنين (Arginine) موجبة الشحنة تكوين الحلزون.

له يكون عذري أحماض أمينية مجموعة ال R عندها كبيرة مثل حمض الجلوتاميك لو عذري عدد كبير من أحماض الجلوتاميك في نفس المنطقة و بعضهم البعض و نعرف أنه مجموعة ال R عليها شحنة سالبة اذن هما عند $pH = 7$ و هو تقريبا الوسط الطبيعي يتوقع أنه يحدث تنافريه هذه الأحماض الأمينية بعضها البعض و هذا سيقلل الاستقرار تبع ال α helix لأنه الشحنة السالبة على مجموعة الكربوكسيل هي تنافروا مع بعضها البعض نفس الشيء لو بدل الجلوتاميك كان عذري حمض أميني يحمل شحنة موجبة مثل هستيدين أو أرجنين أو ليوسين

هذا لا يعني أن السلاسل الببتيدية لا تحتوي على حمض الجلوتاميك بل تحتوي و لكنه يكون عذري حمض جلوتاميك و حمض الجلوتاميك التالي أو الأسبارتيك التي بعده يكون بعيد عنه بمقدار مثلا عشر أحماض أمينية أو ١٢ اذن الشحنات السالبة له تكون قريبة على بعضها البعض أو أنه يكون أرجنين و ليوسين و هستيدين بعد عنه بعضهم البعض فالشحنات الموجبة له تكون قريبة حتى لا يحدث تنافر



- The bulk and shape of Tyr, Trp, Phe, Met Ile, Val, Thr residues can also **destabilize an α helix** if they are close together in the chain.

الضخامة والتنافس الكيميائي يمكن أيضا لضخامة وشكل بقايا أحماض التيروسين (Tyr)، التربتوفان (Trp)، الفينيل ألانين (Phe)، الميثيونين (Met)، الإيزوليوسين (Ile)، الفالين (Val)، والثريونين (Thr) أن تزعم استقرار حلزون ألفا إذا كانت متقاربة من بعضها في السلسلة. أما في

هذه عبارة عن مجموعات R ضخمة لذلك تعمل تراحم فراغي بين بعضها البعض إذا كانت موجودة وبا بعضها البعض في السلسلة الببتيدية سيكون تراحم بين مجموعة ال R للأحماض الأمينية وهذا يؤدي إلى عدم استقراره وهذا لا يمنع وجود هذه الأحماض ولكنه توجد متباعدة عن بعضها البعض يعني مثلا ممكنه يجي بعد التريتوفان الأنيه او سستينيه او جلايسينه

- In Asp, Asn, Ser, H-bonding side chains **compete** directly with backbone H-bonds.

في حالة أحماض الأسبارتيك (Asp)، الأسباراجين (Asn)، والسيرين (Ser)، فإن السلاسل الجانبية المكونة للروابط الهيدروجينية تتنافس مباشرة مع الروابط الهيدروجينية الخاصة بالعمود الفقري للبروتين.

هذه الأحماض ممكنه تعمل تنافس مع الروابط الهيدروجينية خلال الـ helix لأن روابطه تحدث ما بين الأمية و الكربونيل حول الرابطة الببتيدية وليس مع مجموعة ال R و لكن أي حمض أميني مجموعة ال R ممكنه تعمل رابطه هيدروجينية ممكنه تتنافس هذه الرابطة مع الرابطة ال intrachain وتقلل الاستقرار للحمض الأميني

- A **constraint** on the formation of the α helix is the presence of **Pro or Gly** residues.

بعد وجود بقايا البرولين (Pro) أو الجلايسين (Gly) قيدا أساسيا على تشكيل حلزون ألفا

- In proline, the nitrogen atom is part of a rigid ring, so **free rotation is not** possible. Thus, a Pro residue introduces a destabilizing **kink** in an α helix. In addition, the **nitrogen atom** of a Pro residue in peptide linkage has **no substituent hydrogen** to participate in hydrogen bonds with other residues. For these reasons, proline is only rarely found within an α helix.

في البرولين (Proline)، تكون ذرة النيتروجين جزءاً من حلقة صلبة (rigid ring)، لذا فإن الدوران الحر غير ممكن. وبالتالي، فإن بقايا البرولين (Pro residue) تُحدث انثناءً (kink) يزعم استقرار حلزون ألفا (α helix). بالإضافة إلى ذلك، فإن ذرة النيتروجين في بقايا البرولين الموجودة ضمن الرابطة الببتيدية لا تملك ذرة هيدروجين مرتبطة بها للمشاركة في الروابط الهيدروجينية مع بقايا الأحماض الأمينية الأخرى. ولهذه الأسباب، نادراً ما يوجد البرولين داخل حلزون ألفا.

يمنع البرولين نتيجة الانثناء استكمال تكوين الـ helix في هذه المنطقة فنلاحظ ان السلسلة الببتيدية في هذه المنطقة لم تعد تمتلك الـ helix ممكنه تعمل بعدها الـ helix لكن في المنطقة التي كان فيها برولين فلا

- **Glycine occurs infrequently** in α helices for a different reason: it has more conformational flexibility than the other amino acid residues. Polymers of glycine tend to take up coiled structures quite different from an α helix.

أما الجليسين (Glycine)، فيتواجد بشكل غير متكرر في حلزونات ألفا لسبب مختلف؛ وهو أنه يتمتع بمرونة تركيبية (conformational flexibility) أكبر من بقايا الأحماض الأمينية الأخرى. وتميل بوليمرات الجليسين إلى اتخاذ هياكل ملتفة تختلف تماماً عن بنية حلزون ألفا

له يكون عذري عدد من الجلايسين ووا بعضهم البعض يمنعوا استقرار بسبب زيادة المرونة الناتجة عن الحرية الزائدة تبعث الجلايسين لانه مجموعة ال R عذره هيدروجين

- A final factor affecting the stability of an helix in a polypeptide is the identity of the amino acid residues near the **ends of the -helical segment**.

"العامل الأخير الذي يؤثر على استقرار الحلزون في متعدد الببتيد هو هوية بقايا الأحماض الأمينية القريبة من نهايات القطعة الحلزونية."

- Normally, a small electric dipole exists in each peptide bond. These dipoles are connected through the hydrogen bonds of the helix, resulting in a **net dipole extending along the helix, with** partial positive and negative charges of the helix dipole actually exist near the amino-terminal and carboxyl-terminal ends of the helix, respectively.

- عادةً ما يوجد ثنائي قطب كهربائي صغير في كل رابطة ببتيدية. ترتبط هذه الأقطاب الثنائية عبر الروابط الهيدروجينية للحلزون، مما ينتج عنه ثنائي قطب صافٍ يمتد على طول الحلزون.
- توجد شحنات موجبة وسالبة جزئية لثنائي قطب الحلزون فعلياً بالقرب من النهايات الأمينية (-amino terminal) والكربوكسيلية (carboxyl-terminal) للحلزون، على التوالي.

- **The four amino acid residues** at each end of the helix do not participate fully in the helix hydrogen bonds.

لا تشارك بقايا الأحماض الأمينية الأربعة الموجودة عند كل نهاية من نهايات الحلزون بشكل كامل في الروابط الهيدروجينية للحلزون.

- For this reason, **negatively charged amino acids** are often found near the **amino terminus** of the helical segment, where they have a **stabilizing** interaction with the positive charge of the helix dipole.

ولهذا السبب، غالباً ما توجد الأحماض الأمينية سالبة الشحنة بالقرب من الطرف الأميني للقطعة الحلزونية، حيث يكون لها تفاعل استقرار (Stabilizing interaction) مع الشحنة الموجبة لثنائي قطب الحلزون.

- a **positively charged** amino acid at the amino terminal end is **destabilizing**.
- The opposite is true at the carboxyl-terminal end of the helical segment.

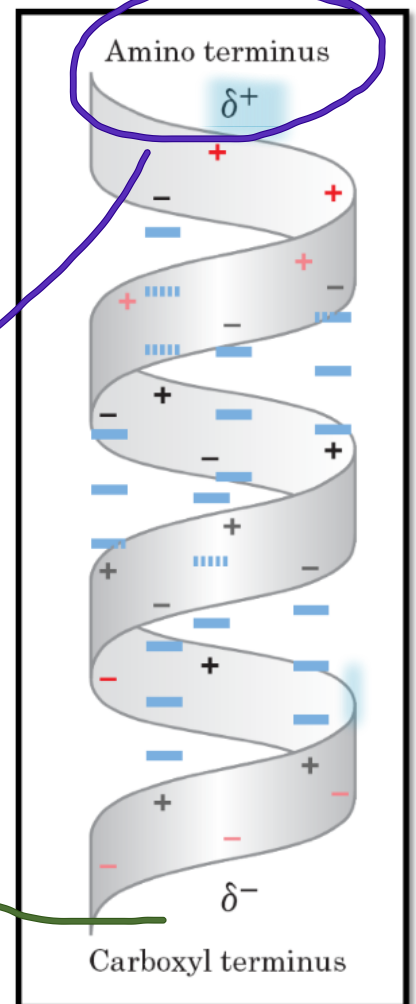
إن وجود حمض أميني موجب الشحنة عند النهاية الأمينية (Amino-terminal end) يؤدي إلى زعزعة الاستقرار، والعكس صحيح عند النهاية الكربوكسيلية (Carboxyl-terminal end) للقطعة الحلزونية.

5. ثنائي القطب الكهربائي للحلزون (الرسم في المصدر 11)

- تُظهر الصورة الحلزون مع علامات شحنات جزئية: موجبة (δ^+) عند النهاية الأمينية (Amino terminus) وسالبة (δ^-) عند النهاية الكربوكسيلية (Carboxyl terminus).
- يشرح الرسم أن هذه الشحنات تنتج عن تراكم الأقطاب الكهربائية الصغيرة لكل رابطة ببتيدية عبر الروابط الهيدروجينية على طول الحلزون.

إذا الأحماض الأمينية الموجودة هنا أو القريبة من هذه النهاية تحمل شحنة موجبة يعني أرجائيه أو هسديك أو ليوسيك هذه بيقول الاستقرار لأنه يصير تناقض على الشحنة أي تنافر على الشحنة الكهربائية

لو هنا الأحماض الأمينية تحمل شحنة سالبة مثل الأسبارتات أو الجلوتامات هتعمل تناقض هذا طبعاً هيعمل عدم استقرار للسلسلة الببتيدية أو على اللف helix في حديد الببتيد



5 kinds of restrictions affect the stability of an α helix

- (1) the electrostatic **repulsion (or attraction)** between successive amino acid residues with charged R groups.
- (2) the **bulkiness** of adjacent R groups
- (3) the **interactions between R groups** spaced three (or four) residues apart.
- (4) the occurrence of **Pro and Gly** residues
- (5) the interaction between **amino acid residues at the ends** of the helical segment and the electric dipole inherent to the α helix.
- So, the tendency of a given segment of a polypeptide chain to fold up as an α helix therefore **depends** on the identity and sequence of amino acid residues within the segment.

تؤثر خمسة أنواع من القيود على استقرار حلزون ألفا (α helix) وهي:

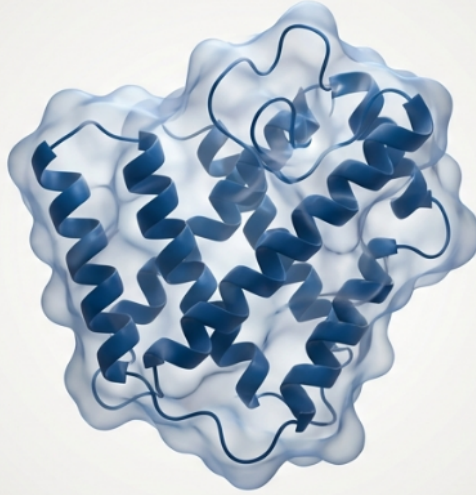
- (1) التنافر (أو التجاذب) الكهروستاتيكي بين بقايا الأحماض الأمينية المتتالية ذات مجموعات R المشحونة.
- (2) ضخامة مجموعات R المتجاورة.
- (3) التفاعلات بين مجموعات R التي تفصل بينها ثلاث (أو أربع) بقايا.
- (4) وجود بقايا البرولين (Pro) والجليسين (Gly).
- (5) التفاعل بين بقايا الأحماض الأمينية عند نهايات القطعة الحلزونية وثنائي القطب الكهربائي المتأصل في حلزون ألفا.

لذا، فإن ميل قطعة معينة من سلسلة متعدد الببتيد للانطواء كحلزون ألفا يعتمد بالتالي على هوية وتسلسل بقايا الأحماض الأمينية داخل هذه القطعة.



بنية البروتين: رحلة من سلسلة بسيطة إلى آلة بيولوجية معقدة

استكشاف الهندسة المعمارية للحياة



المبدأ الأساسي: الشكل يحدد الوظيفة

البروتينات هي سلاسل طويلة من الأحماض الأمينية المطوية (folded) في أشكال معقدة.

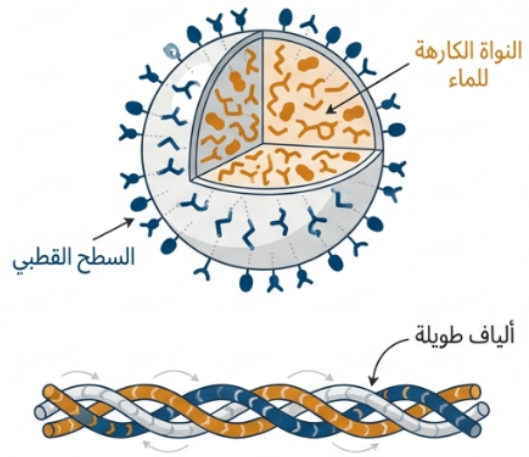
شكل البروتين هو الذي يحدد وظيفته البيولوجية بشكل مباشر.

مبدأ الطي العام (The Hydrophobic Core):

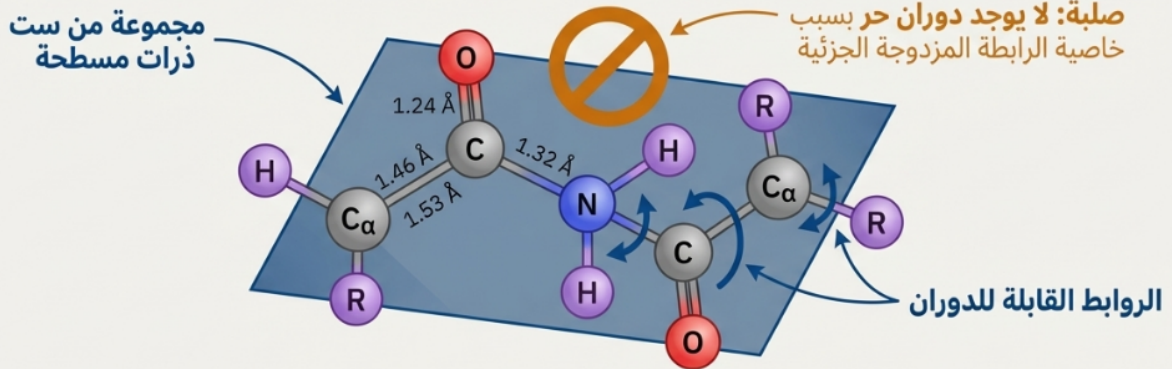
- تتجه الأحماض الأمينية غير القطبية (مثل الليوسين والفالين) إلى داخل البروتين، بعيداً عن الماء.
- تتوضع الأحماض الأمينية القطبية والمشحونة على السطح الخارجي للبروتين.

الأشكال الرئيسية للبروتينات:

- **البروتينات الكروية (Globular proteins):** كروية الشكل تقريباً.
- **البروتينات الليفية (Fibrous proteins):** على شكل ألياف طويلة.



القيد الأساسي: الرابطة الببتيدية صلبة ومسطحة



مسطحة (Planar): تقع الذرات الست لمجموعة الببتيد في مستوى واحد. تكون ذرة الأكسجين لمجموعة الكربونيل وذرة النقع الترونييل وذرة الهيدروجين لنيتروجين الأميد في وضعية "ترانس" (trans) متقابلتين.

صلبة (Rigid): طول الرابطة الببتيدية أقصر من الرابطة الأحادية، مما يمنع الدوران حول محورها.

المخطط المعماري: مستويات البنية الأربعة للبروتين

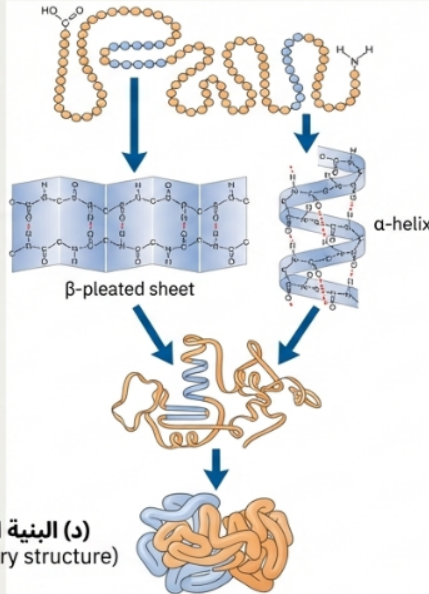
تُناقش بنية البروتينات تقليدياً من حيث أربعة مستويات تنظيم هرمية: الأولية، الثانوية، الثالثية، والرابعة.

(أ) البنية الأولية
(Primary structure)

(ب) البنية الثانوية
(Secondary structure)

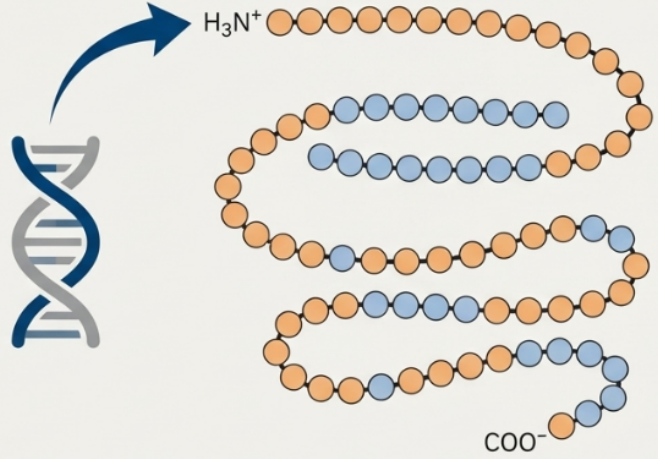
(ج) البنية الثالثية
(Tertiary structure)

(د) البنية الرابعة
(Quaternary structure)



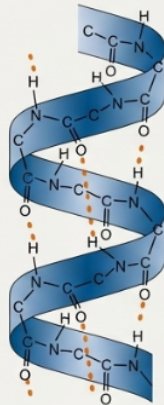
المستوى الأول (الأولي): تسلسل الأحماض الأمينية المحدد وراثيًا

- تشير البنية الأولية إلى التسلسل المحدد للأحماض الأمينية (النوع والعدد والترتيب).
- يتم تحديد هذا التسلسل من خلال تسلسل النيوكليوتيدات في الجين (DNA) الذي يشفر البروتين.
- هذا التسلسل هو الخطوة الأولى ولأساسية التي تحدد في النهاية الشكل ثلاثي الأبعاد للبروتين.



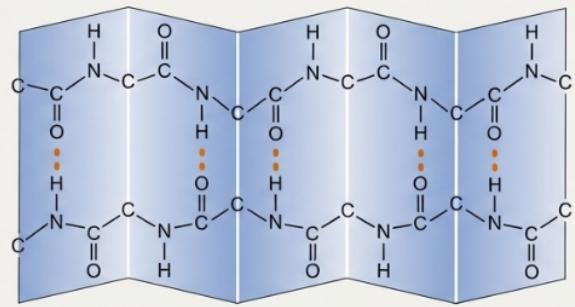
المستوى الثاني (الثانوي): ظهور الأنماط المحلية - الحلزون والصفائح

البنية الثانوية هي الترتيبات المكانية المنتظمة لأجزاء من سلسلة عديد الببتيد. تنشأ هذه الأنماط (الالتفافات والطيّات) نتيجة للروابط الهيدروجينية بين المكونات المتكررة للعمود الفقري للببتيد (وليس السلاسل الجانبية R).



1. حلزون ألفا (α helix)

روابط هيدروجينية داخل السلسلة الواحدة (intrachain)

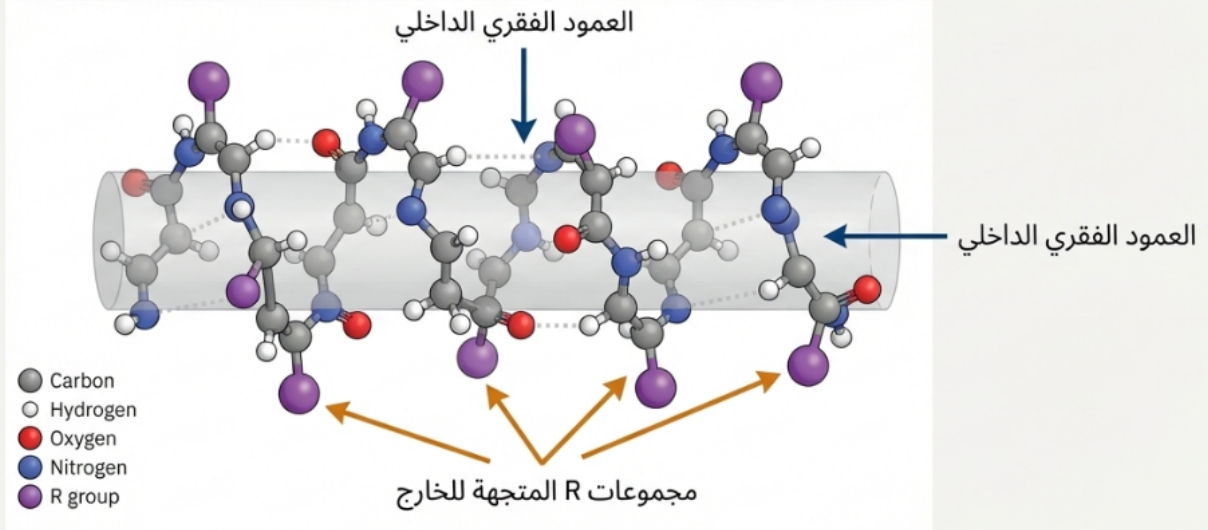


2. صفحة بيتا المطوية (β-pleated sheet)

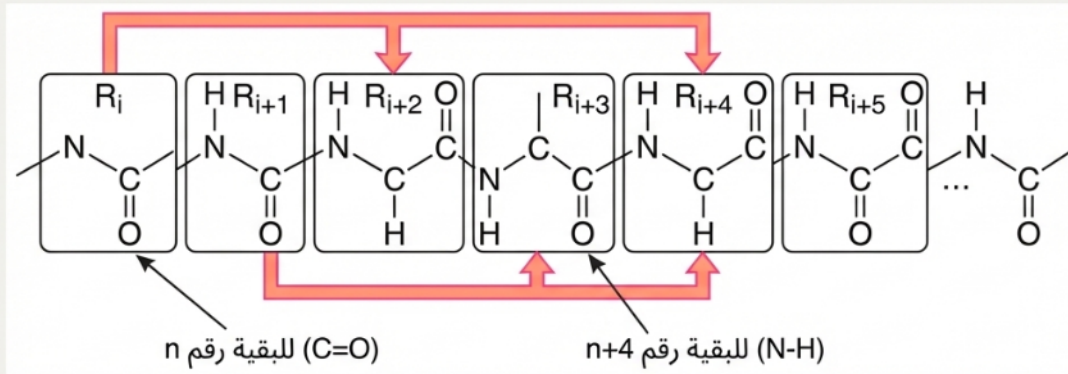
روابط هيدروجينية بين سلاسل مختلفة (interchain)

نظرة عن قرب: التركيب الحلزوني لـ "ألفا هيلكس"

حلزون ألفا هو أبسط ترتيب يمكن أن تتخذه سلسلة عديد الببتيد مع روابطها الببتيدية الصلبة. وهو بنية شائعة ومستقرة.



قوة التثبيت: نمط الروابط الهيدروجينية في حلزون ألفا



- **Mechanism:** يتم تثبيت بنية حلزون ألفا بواسطة روابط هيدروجينية داخل السلسلة (intrachain).
- **The n to n+4 Rule:** تتكون رابطة هيدروجينية بين مجموعة الكربونيل (C=O) للبقية رقم n ومجموعة الأמיד (N-H) للبقية رقم n+4. هذا يعني أن كل مجموعة كربونيل في العمود الفقري ترتبط بالبقية التي تسبقها بأربع وحدات في التسلسل.

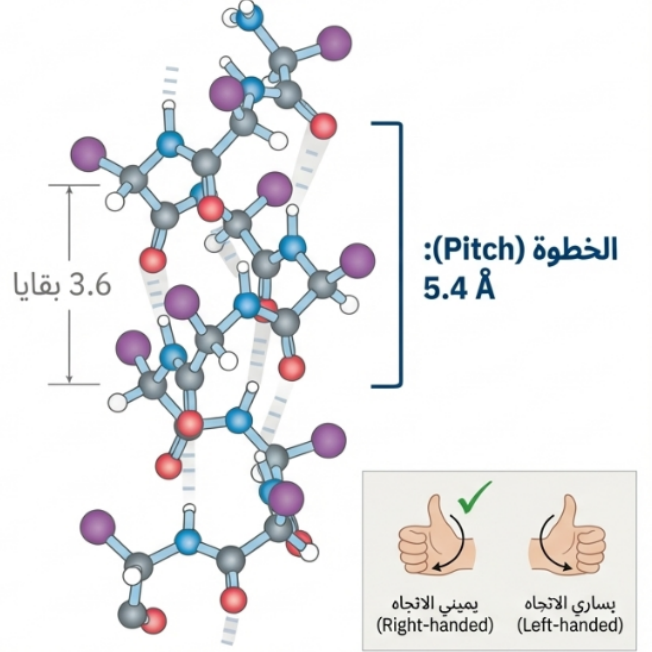
الأبعاد والخصائص: بصمة حلزون ألفا

:Key Geometric Data

- عدد البقايا لكل دورة: 3.6 بقايا أحماض أمينية.
- الخطوة (Pitch): تبلغ المسافة 5.4 أنجستروم (Å) لكل دورة كاملة في الحلزون.

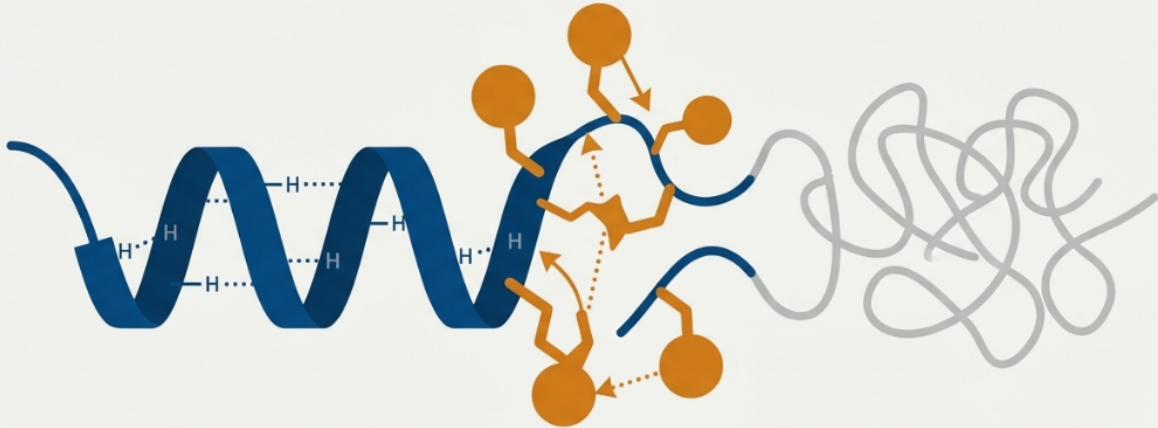
:Handedness (اتجاه الالتفاف)

- يمكن أن يكون الحلزون يميني الاتجاه (right-handed) أو يساري الاتجاه (left-handed).
- الحلزونات يمينية الاتجاه هي المفضلة طاقياً والأكثر شيوعاً في البروتينات، لوجود تصادم فراغي (steric clash) أقل بين السلاسل الجانبية والعمود الفقري.



ليست كل السلاسل متساوية: العوامل المؤثرة على استقرار حلزون ألفا

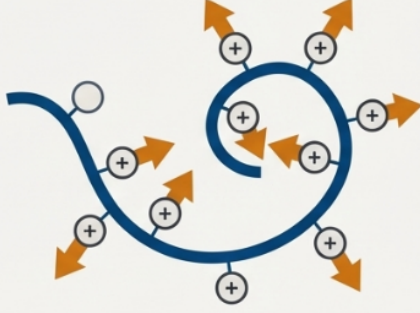
لا تستطيع جميع سلاسل عديد الببتيد تكوين حلزون ألفا مستقر. يمكن للتفاعلات بين السلاسل الجانبية للأحماض الأمينية أن تثبت هذا الهيكل أو تزعزع استقراره.



عوامل عدم الاستقرار (1): التنافر الكهروستاتيكي والحجمي

1. التنافر الكهروستاتيكي (Electrostatic Repulsion)

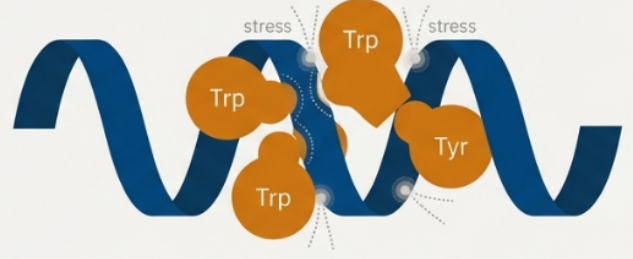
وجود سلسلة طويلة من بقايا الأحماض الأمينية ذات الشحنة المتماثلة (مثل حمض الجلوتاميك السالب أو اللايسين الموجب) يمنع تكوين الحلزون بسبب التنافر الشديد بين الشحنات.



2. الضخامة والتنافر الفراغي (Steric Hindrance)

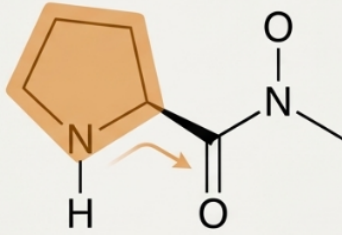
ضخامة وشكل السلاسل الجانبية المتقاربة يمكن أن تعزز استقرار الحلزون.

أمثلة: التيروسين (Tyr)، التربتوفان (Trp).



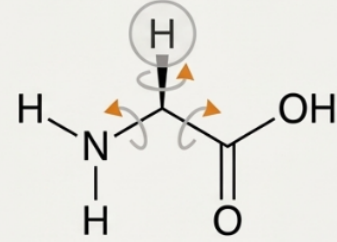
"كاسرات الحلزون": لماذا يُعد البرولين والجلايسين استثناءً؟

1. البرولين (Proline)



- **السبب:** ذرة النيتروجين جزء من حلقة صلبة (rigid ring)، مما يمنع الدوران اللازم لتشكيل الحلزون ويُحدث 'انثناء' (kink) يعزز استقراره.
- **سبب إضافي:** نيتروجين الأميد في البرولين لا يحمل ذرة هيدروجين، وبالتالي لا يمكنه المشاركة كمانح في الرابطة الهيدروجينية.

2. الجلايسين (Glycine)



- **السبب:** يمتلك مرونة تركيبية (conformational flexibility) أكبر بكثير من باقي الأحماض الأمينية. تميل بوليمرات الجلايسين إلى اتخاذ هياكل ملتفة مختلفة تمامًا عن حلزون ألفا.

ثنائي القطب الكهربائي للحلزون: شحنة خفية ذات تأثير كبير

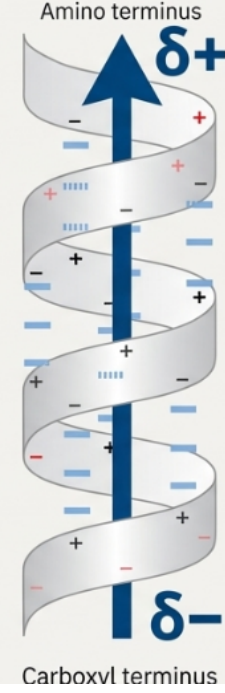
:The Concept

في كل رابطة ببتيدية يوجد ثنائي قطب كهربائي صغير.

في حلزون ألفا، تتراصف هذه الأقطاب الصغيرة على طول محور الحلزون.

ينتج عن هذا التراصف ثنائي قطب صافي (dipole) net) يمتد على طول الحلزون.

النتيجة: شحنة جزئية موجبة ($\delta+$) بالقرب من النهاية الأمينية وشحنة جزئية سالبة ($\delta-$) بالقرب من النهاية الكربوكسيلية.



تثبيت الأطراف: تفاعل الشحنات مع ثنائي القطب

✓ تفاعل استقراري

✗ يزعزع الاستقرار

**عند النهاية الكربوكسيلية (السالبة جزئياً): يحدث العكس.

****عند النهاية الأمينية (الموجبة جزئياً):**
وجود أحماض أمينية سالبة الشحنة (مثل الأسبارتات) يؤدي إلى تفاعل استقراري.
وجود أحماض أمينية موجبة الشحنة يزعزع الاستقرار.



✓ تفاعل استقراري

✗ يزعزع الاستقرار

الخلاصة: القواعد الخمس لاستقرار حلزون ألفا

ميل قطعة معينة من سلسلة عديد الببتيد للالتفاف كحلزون ألفا يعتمد على هوية وتسلسل بقايا الأحماض الأمينية داخل هذه القطعة. تتأثر هذه العملية بخمسة أنواع من القيود:

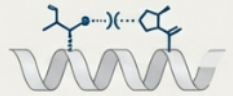
1. **التنافر (أو التجاذب) الكهروستاتيكي** بين بقايا الأحماض الأمينية المتتالية ذات مجموعات R المشحونة.



2. **ضخامة** مجموعات R المتجاورة.



3. **التفاعلات بين مجموعات R** التي تفصل بينها ثلاث (أو أربع) بقايا.



4. وجود بقايا البرولين (Pro) والجلاليسين (Gly).



5. **التفاعل** بين بقايا الأحماض الأمينية عند نهايات القطعة الحلزونية وثنائي القطب الكهربائي المتأصل في حلزون ألفا.



Your Notes

